

平成16年度
船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響
に関する調査報告書

平成17年3月
(財)シップ・アンド・オーシャン財団

はじめに

本報告書は、競艇交付金による日本財団の平成16年度助成事業として実施した「船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響に関する調査」事業の成果をとりまとめたものです。

近年、船舶の環境影響に対して、IMOをはじめとして国際的な規制が制定されつつあります。この中で、特に船舶からの排気ガスにおける大気環境影響は、地球温暖化ガスの調査検討が進められているところでもあります。排ガス中に含まれる窒素酸化物、硫黄酸化物、二酸化炭素等が良く知られているところですが、原油、ガソリン、化学薬品類等の輸送中に大気に排出される揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)は、大気環境の上では、悪臭物質、発ガン性等の有害物質、光化学スモッグ等の原因物質及び地球温暖化の影響を及ぼす重要な物質であり、その正確な把握影響評価が求められています。

本事業では、当財団の過去の船舶排ガス実態調査の実績とノウハウを生かし、VOCの船舶からの排出実態の解明、排出モデル策定等の今後のVOC対策に資する総合的な調査に取り組むものです。

本報告書が広く皆様に活用され、大気環境保全、地球温暖化対策に貢献できることを期待致しております。

なお、本事業を実施するに当たっては、芝浦工業大学先端工学研究機構客員教授平田 賢氏を委員長とする「船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響に関する調査委員会」各委員による熱心なご審議・ご検討を頂きました。また、アンケート・ヒアリング調査、実船計測調査にご協力頂いた各海運会社、荷主、オペレータ社等関係者に対し、感謝の意を表する次第です。

平成17年3月

(財)シップ・アント・オーシャン財団

船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響に関する調査委員会 委員名簿

(順不同、敬称略)

- 委員長 平田 賢 芝浦工業大学 先端工学研究機構 客員教授
- 委員 近藤 明 大阪大学 大学院 工学研究科 地球総合工学系 環境工学専攻 助教授
- 〃 間島 隆博 (独)海上技術安全研究所 環境・エネルギー研究領域
- 〃 古志 秀人 石油連盟 技術環境安全部 環境・安全グループ長
- 〃 石崎 直温 (社)日本化学工業協会 環境安全部 部長
- 〃 黒越 仁 (社)日本船主協会 海務部 係長
- 〃 井崎 宣昭 日本内航海運組合総連合会 審議役
- 〃 内田 成孝 全国内航タンカー海運組合 業務グループ 海工務部長

関係者

華山 伸一 日本エヌ・ユー・エス(株)

事務局

工藤 栄介 (財)シップ・アンド・オーシャン財団

仙頭 達也 (財)シップ・アンド・オーシャン財団

丸山 直子 (財)シップ・アンド・オーシャン財団

目次

1.調査の概要	1
2.調査の内容	3
2.1 VOC の解説	3
2.2 船舶からの VOC 排出実態調査	11
2.2.1 実船計測調査	11
(1) VOC ベイパー採取および分析方法	11
(2) 実測結果	15
(a) 荷積み時における VOC 濃度	15
(b) 原油排出係数	23
(c) ケミカル排出係数	25
(d) エンジンからの排出係数	25
(e) VOC 排出係数のまとめ	26
2.2.2 VOC 排出量の算定に関する調査	27
(1) 輸送量に関する統計量	27
(a) 船型別白油輸送量に関する統計量	29
(b) 船型別ケミカル輸送量に関する統計量	31
2.2.3 輸送オペレーション	34
(1) 輸送オペレーションに関する聞き取り調査結果	34
(2) アンケート調査結果	38
(a) ベイパーリターン装置の装備状況	38
(b) ベイパーリターン作業の実施状況	38
(c) ガスフリー作業の実施状況	39
(d) ガスフリー作業の要請状況	39
(e) タンク容量に対する荷積み量の状況	39
(f) 荷役速度の状況	40
2.3 VOC 発生量に関する試算	41
2.4 船舶及び陸上からの VOC 排出に対する対策動向調査	42
2.5 船舶からの VOC 排出対策技術の動向調査	46
2.5.1 船舶 VOC に関する排出対策技術	46
2.5.1 陸上における VOC 排出対策技術	48
(1) 冷却凝縮法の特徴	48
(2) 直接燃焼法の特徴	49
(3) 触媒燃焼法の特徴	51
(4) 蓄熱燃焼法の特徴	52
(5) 溶剤回収法の特徴	53
(6) 膜分離法の特徴	54
(7) 吸着法の特徴	55
3.まとめ	57

1.調査の概要

船舶から大気環境影響を与えるものには、排ガス中に含まれる窒素酸化物、硫黄酸化物、二酸化炭素等が良く知られているが、原油、ガソリン、化学薬品類等の輸送中に大気に排出される揮発性有機化合物(VOC : Volatile Organic Compounds)もある。この VOC は、沸点が低く大気中に放出しやすい有機化合物の総称であり、メタン、エタンといったガス状物質、トルエン、ベンゼン、キシレンといった有機溶媒の蒸発分、メルカプタンや硫化水素といった微量物質が様々な濃度で混合している。これら VOC は、大気環境の上では、悪臭物質、発ガン性等の有害物質、光化学スモッグ等の原因物質及び地球温暖化の影響を及ぼす重要な物質であり、その正確な把握影響評価が求められている。陸上においては、自動車の排出基準が設定されており、大型ガソリンタンクでは、浮き屋根式タンクを用いるなどの排出削減対策が、既に進められている。

一方、船舶から排出される VOC は、燃料の未燃分として排ガス中に含まれるほか、液体貨物の輸送中もしくは荷役中に大量に大気中に排出されることが知られている。内航、外航海運に関わらず、原油、重油、ガソリン類を大量輸送している。輸送時には安全上の観点からは十分な管理対策が実施されているが、爆発限界範囲外の環境大気を対象にした対策は行われていないため、大気への蒸散量など、その排出実態については不明な点が多い。同様に排ガス中の未燃成分についても十分な調査と解析が行われてきた訳ではない。

本調査においては、これらのオキシダント生成の前駆体である船舶からのVOC発生に着目し、その排出実態の解明、排出モデル策定等の今後のVOC対策に資する総合的な調査を行い、もって、大気環境保全、地球温暖化対策に貢献するものとする。

本調査の全体の調査フローを図 1 に示す。平成 16 年度の主な調査内容は以下のとおりである。

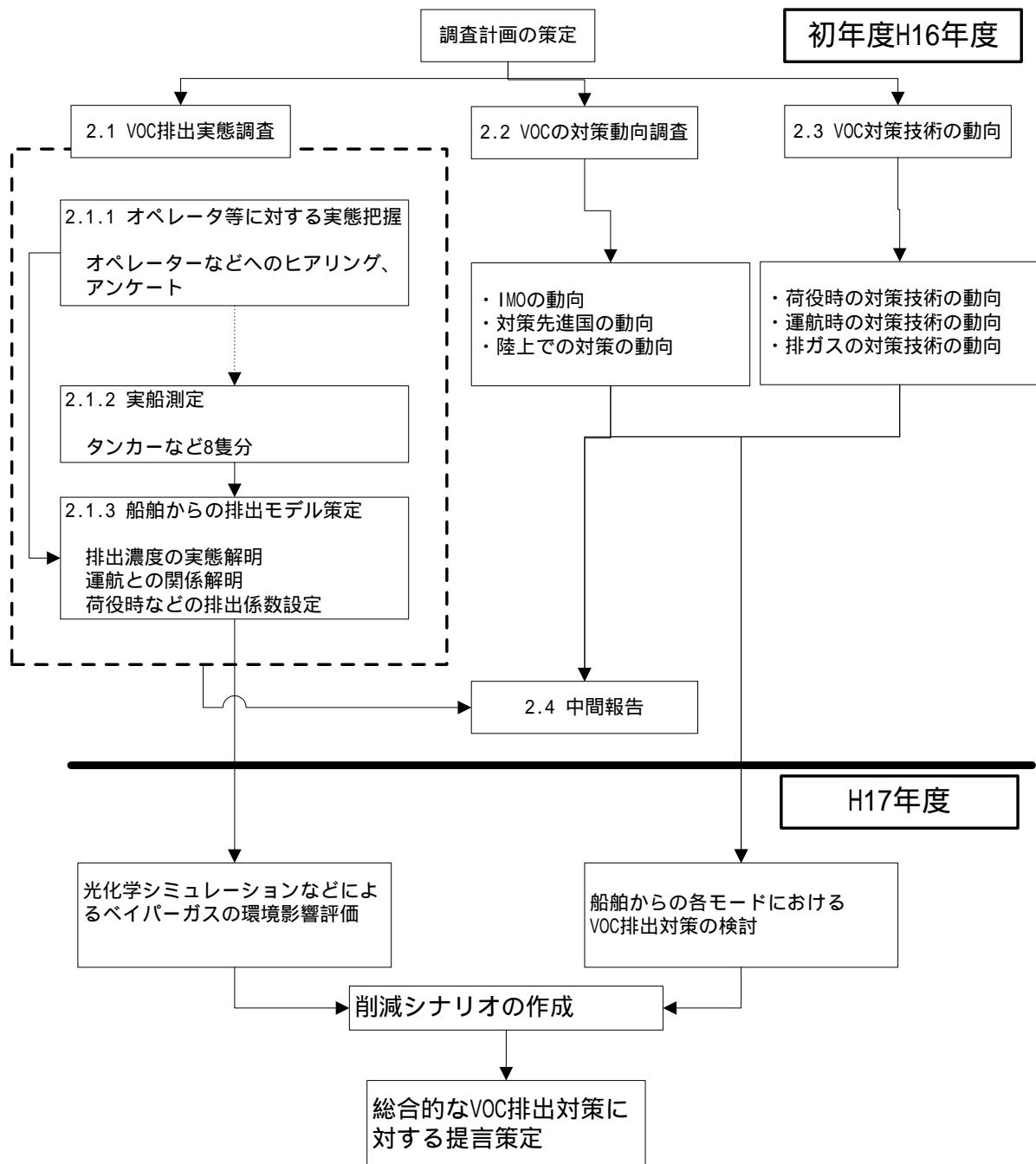


図 1 本事業の調査フロー

2.調査の内容

2.1 VOC の解説

VOC(Volatile Organic Compounds)は、大気環境の上では、①悪臭物質としての局的な影響、②PRTR 物質としての移動量把握の義務化と局所的な影響、③光化学オキシダント(Ox)などの酸性物質の前駆体としての広域への影響、④VOC 中に含まれるメタンによる地球温暖化の影響、と、影響面も非常に多岐にわたる。特に③に関連したオキシダント生成に対する影響が最近注目されており、我が国においても VOC 放出を削減することを目的とした二つの法律改正が平成 16 年に公示されている。図 2 に陸上における VOC 排出とその規制の動向を示した。①の悪臭対策、②の PRTR 制度下における事業者の自主的な削減取り組みは陸上では既に実施されているところであり、NO_x、SO_x など既存の大気汚染物質排出量と同じく、未規制の船舶からの VOC の寄与割合が、相対的に高くなっている可能性がある。

次に③の光化学オキシダントの前駆体としての VOC について考える。図 2 の上半分に示しているようにオキシダントは、NO_x と VOC の共存下で光化学反応により生成する。このため、我が国においてはこれまで両前駆体のうち、それ自身に環境基準値が設定されている NO_x の削減のみがはかられてきた。しかし、NO_x の環境基準の達成状況に比較しても光化学オキシダントの環境基準達成状況は芳しくない。

図 3 に、我が国のオキシダント環境基準の達成状況を示した。我が国のオキシダント環境基準は、1 時間値が 0.06 ppm を超えないこととされている。環境基準の 2 倍の 0.12 ppm を超える可能性が高い時に「光化学スモッグ注意報」が発令され、環境基準の 4 倍の 0.12 ppm を超える可能性が高い時には「光化学スモッグ警報」が発令される¹。

環境基準の達成状況および注意報・警報発令回数の改善ともに芳しくなく、特に近年は平成 14 年に千葉県で 18 年ぶりに警報が発令されるなど、その悪化が懸念されているところである。また、大気環境濃度の年平均値も高いまま推移しており、オキシダント高濃度状況が日常化している可能性を示唆している。前述のように、大気中のオキシダント生成に関しては、図 4 に示すように VOC と NO_x の共存下で複雑な光反応が起き、オキシダントや二次粒子と呼ばれる浮遊粒子状物質が生成することが知られている。このような複雑な反応系があることから、従来のような NO_x 削減だけでは、光化学オキシダント生成量を十分に抑えることができず、オキシダント環境濃度の減少には充分ではないことが指摘されてきた。

このためオキシダントおよび浮遊粒子上物質に対する総合的な対策の一環として、平成 16 年 5 月 26 日に平成 16 年法律第 53 号として改正大気汚染防止法が公布された。その主な抜粋を表 1 に示す。また、平成 16 年度に同法律の具体的な規制内容を定めるために環境省内に設置された揮発性有機化合物(VOC)排出抑制対策検討会では、表 2 に示すようにリード蒸気圧が 20 kPa 上の

¹ 大気汚染防止法(第 23 条第 1 項)においては、光化学オキシダントの濃度が高くなり、被害が生ずるおそれがあるときは、都道府県知事等が注意報を発令し、報道、教育機関等を通じて、住民、工場・事業場等に対して情報の周知徹底を迅速に行うこととなっている。また、この際、光化学オキシダントの原因物質である窒素酸化物及び炭化水素類の排出削減のため、工場・事業場等に対してはばい煙排出量の削減について、自動車の使用者に対しては運転の自主的制限について、それぞれ協力を求めることとなっている。

燃料を1,000キロリットル以上貯蔵する新設タンク(既設タンクは2,000キロリットル以上)を揮発性有機化合物排出施設として指定し、法に基づく届け出および規制値(60,000 ppmC=6%C)の遵守が求められる見込みである。

これとは別に、MARPOL 73/78 条約VI附属書²の批准に伴う海洋汚染防止法の改正において、第十九条の二十三に揮発性物質放出規制港湾の指定をうたっており、将来港湾において船舶からの VOC 排出を抑制する制度の枠組みが整備されている(表 3)。本規制は、国際条約の批准手続きに基づくものであるため、我が国における船舶 VOC 規制の事由などについて現時点では整理されていない。

MARPOL 73/78 条約は、1991 年の総会決議において大気汚染防止の必要性を決議され、新附属書として採択された経緯がある。この 1991 年の総会決議においては、その前文で必要性として 1979 年に採択された「長距離越境大気汚染条約³」を引いている。長距離越境大気汚染条約では 1991 年当時 VOC 削減を目的とした議定書についても作業・検討を行っており、外航船についてはその実効性を担保するために NO_x、SO_x と同じく IMO に対して条約作成を要請したと考えられる。

したがって、ここで影響低減を目的としている VOC 影響は、長距離越境大気汚染条約が示しているように、「産業活動およびエネルギー使用に伴い発生する物質により、間接的、直接的に、人間の健康を害したり、動植物や生態系を破壊したり、財産を侵害したりするなど低減しなければいけない影響」と考えられる。VOC による悪臭や人体への直接的な有害性は越境など長距離に渡って引き起こされる可能性はごく小さい。従って、長距離越境大気汚染条約が規制対象としている VOC は、「間接的」にオキシダントや酸性物質の前駆体としての VOC であると解釈できる。従って、IMO 総会決議においても、長距離越境大気汚染条約に基づき削減を検討された VOC は、オキシダントや酸性雨の前駆体としての VOC を想定していると考えられる。

² MARPOL73/78 条約VI附属書の第 15 規則には、揮発性有機化合物の排出規制として以下の規定がある。

タンカーからの揮発性有機化合物(VOCs)の排出が、1997 年の議定書締約国の管轄下にある港湾又は係留施設において規制される場合には、IMO に対してその旨の通告を提出するものとされている。通告には、規制されるタンカーの大きさ、規制対象荷種を含むことが必要である。指定された港湾又は係留施設において蒸気排出の規制を受けるタンカーは、機関が作成した標準を考慮して主管庁が承認した蒸気収集装置を装備するものとし、貨物の荷役中、この装置を使用するものとされている。

³1979 年締結、1983 年発効。日本は未加盟。国連ヨーロッパ経済委員会(ECE)のもとで採択されており、EU 諸国だけでなく米国、カナダなども署名批准を行っており、大陸間を隔てた長距離輸送を想定した条約である。SO_x の 30%削減を定めたヘルシンキ議定書(1985)、NO_x の削減について定めたソフィア議定書(1988)、VOC 規制議定書(1991)、SO_x の削減について定めたオスロ議定書(1994)、重金属議定書(1998)、POPs 議定書、酸性化・富栄養化・地上レベルオゾン低減議定書(1999)の 8 つの議定書により、補足・強化されてきている。

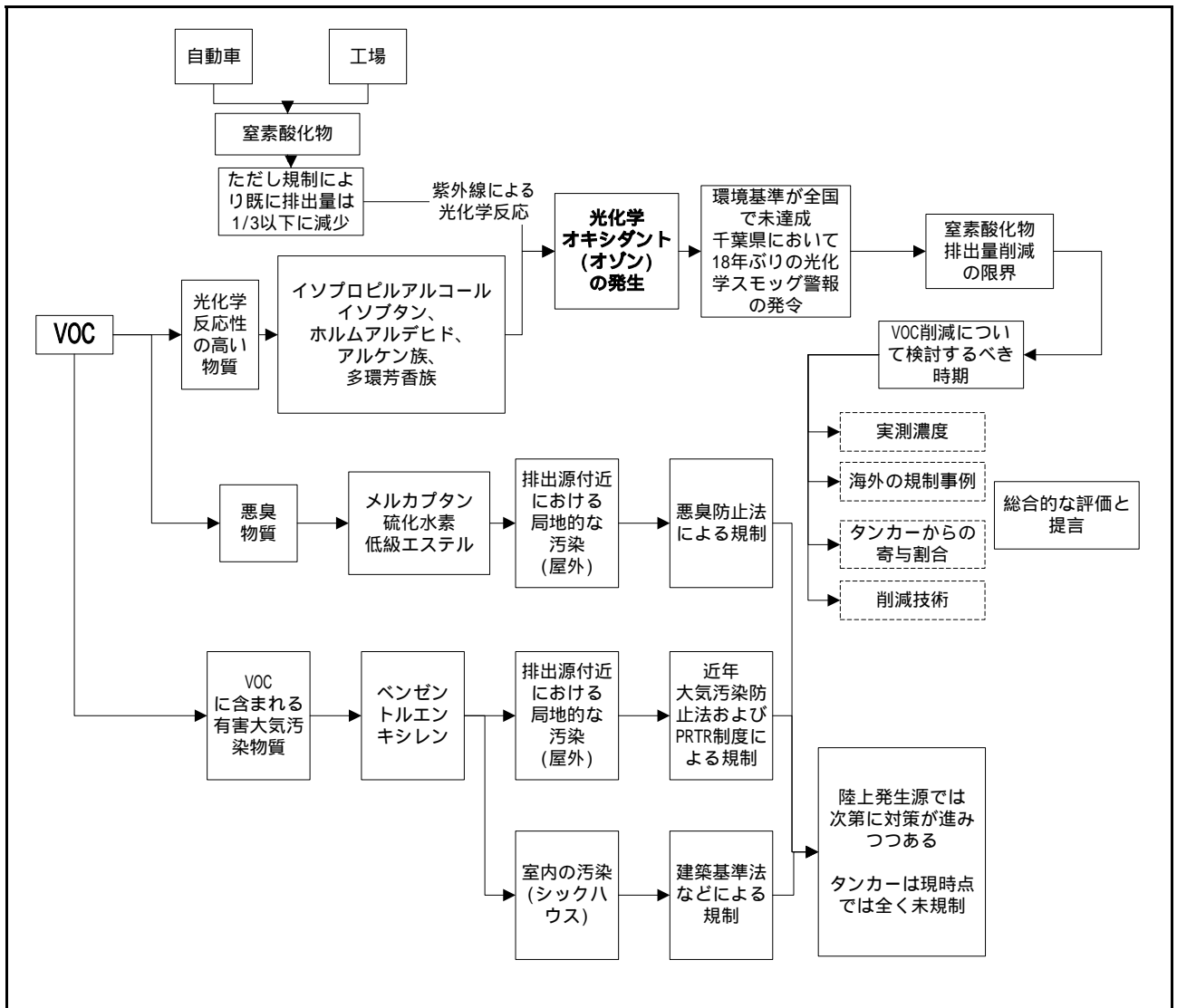


図 2 VOC 排出と健康被害の関係の概念図

○光化学オキシダント(Ox)

平成 14 年度の光化学オキシダントの有効測定局数のうち、環境基準達成局数は、一般局と自排局で 6 局(0.5%)と依然として低い水準となっている。

また、平成 14 年度における光化学オキシダント注意報等の発令延べ日数(都道府県単位での発令日の全国合計値)は 184 日であり、特に千葉県では 18 年ぶりに光化学オキシダント警報が発令された。濃度別の測定時間の割合で見ると、1 時間値が 0.06 ppm 以下の割合は 94.5%、0.06 ppm を超え 0.12 ppm 未満の割合は 5.4%、0.12 ppm 以上の割合は 0.1%となっており、ほとんどの測定時間において環境基準値以下であった。

一方、年平均値については近年漸増している。また、大都市に限らず都市周辺部での光化学オキシダント濃度が 0.12 ppm 以上となる日数も多くなっており、光化学大気汚染の特徴である広域的な汚染傾向が認められる。

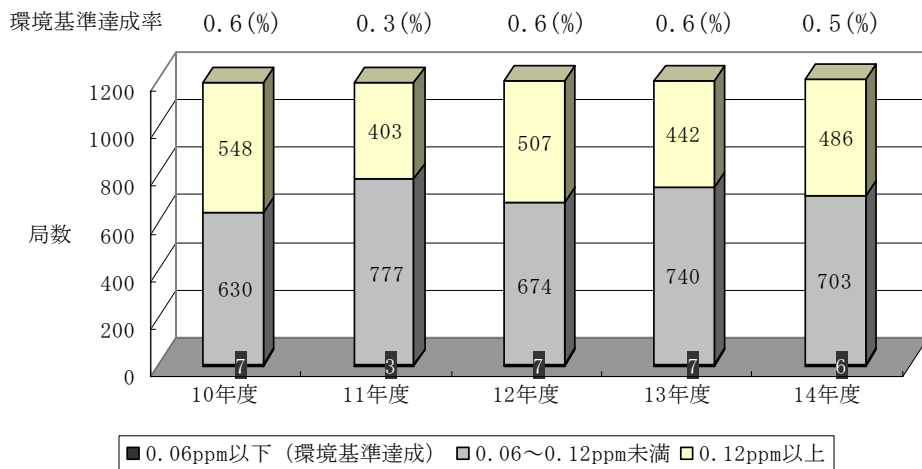


図 光化学オキシダント(1 時間値の最高値)濃度レベル別測定局数の推移

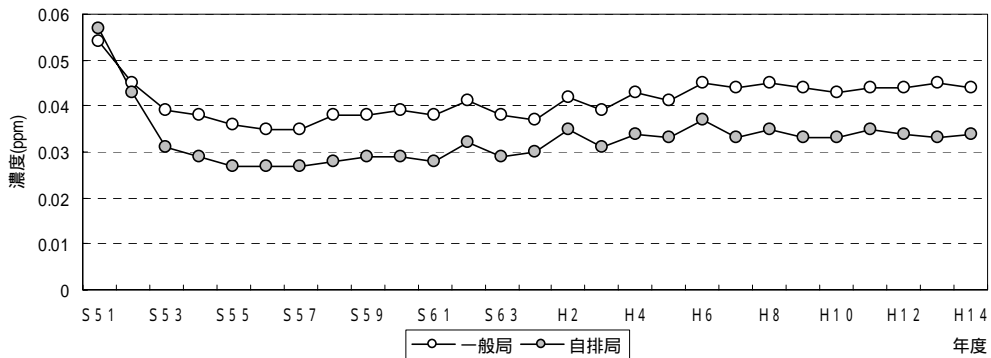


図 光化学オキシダントの昼間の日最高 1 時間値の年平均値の推移

図 3 光化学オキシダントの環境濃度の状況
(環境省、揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制について—検討結果—より作成)

○ 揮発性有機化合物(VOC)による光化学オキシダントの生成について

揮発性有機化合物(VOC)は、光化学オキシダント及び浮遊粒子状物質(SPM)の二次生成粒子の原因物質とされている。このうち、光化学オキシダントは、大気中の VOC を含む有機化合物と窒素酸化物の混合系が、太陽光(特に紫外線)照射による反応を通じて生成する。

また、浮遊粒子状物質は、発生源から排出された時点で粒子となっている一次粒子と、排出された時点ではガス状であるが大気中における光化学反応などにより粒子化する二次粒子とに分類される。

- ・一次粒子には、工場・事業場から排出されるばいじん、粉じん、自動車等から排出される粒子状物質などがある。土壌の巻き上げ粒子や海塩粒子など自然起源のものも含まれる。
- ・二次粒子は、工場・事業場、自動車などから排出される VOC、硫黄酸化物、窒素酸化物などが原因物質となる。火山などから排出される硫黄酸化物など自然起源のものも考えられる。

なお、二次生成粒子が生成するためには、VOC から生成した反応物の蒸気圧が低い必要があるため、通常、炭素数の多い VOC が関与するが、光化学オキシダントの生成にはほとんど全ての VOC が関与する。

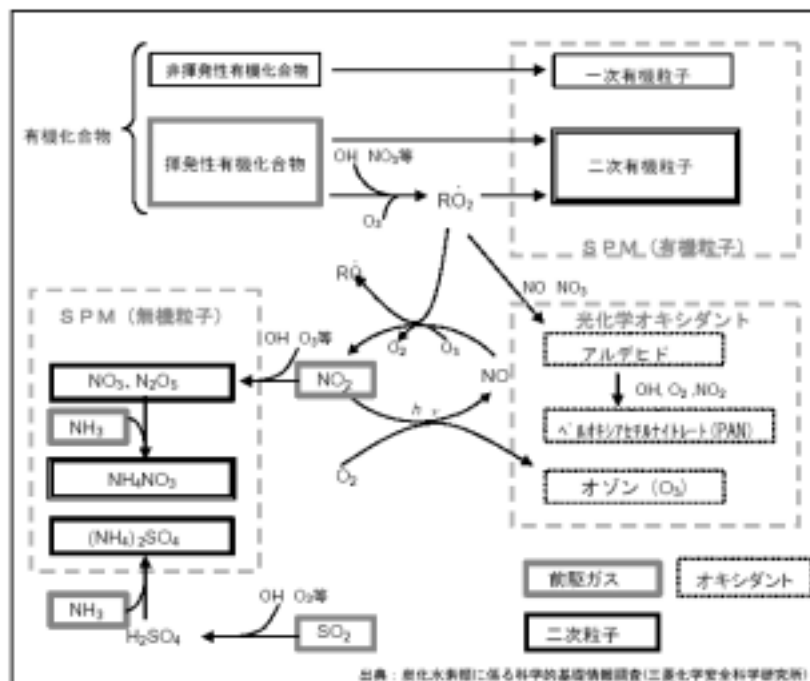
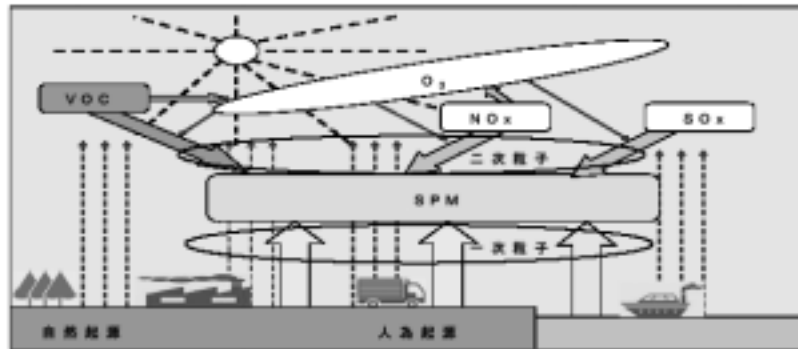


図 大気中の VOC の反応を中心とした二次粒子の生成プロセス

図 4 VOC による光化学オキシダント生成機構

(環境省、揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制について—検討結果—より作成)

表 1 VOC に関連する改正大気汚染防止法(抜粋)

平成十六年五月二十六日 法律第五十六号改正「大気汚染防止法」より作成。

第一条 目的

この法律は、工場及び事業場における事業活動並びに建築物の解体等に伴うばい煙、揮発性有機化合物及び粉じんの排出等を規制し、有害大気汚染物質対策の実施を推進し、並びに自動車排出ガスに係る許容限度を定めること等により、大気の汚染に関し、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全し、並びに大気の汚染に関して人の健康に係る被害が生じた場合における事業者の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図ることを目的とする。

第二条(定義など)

4 この法律において「揮発性有機化合物」とは、大気中に排出され、又は飛散した時に気体である有機化合物(浮遊粒子状物質及びオキシダントの生成の原因とならない物質として政令で定める物質を除く。)をいう。

5 この法律において「揮発性有機化合物排出施設」とは、工場又は事業場に設置される施設で揮発性有機化合物を排出するもののうち、その施設から排出される揮発性有機化合物が大気の汚染の原因となるものであつて、揮発性有機化合物の排出量が多いためにその規制を行うことが特に必要なものとして政令で定めるものをいう。

6 前項の政令は、事業者が自主的に行う揮発性有機化合物の排出及び飛散の抑制のための取組が促進されるよう十分配慮して定めるものとする。

第二章の二 揮発性有機化合物の排出の規制等

(施策等の実施の指針)

第十七条の二 揮発性有機化合物の排出及び飛散の抑制に関する施策その他の措置は、この章に規定する揮発性有機化合物の排出の規制と事業者が自主的に行う揮発性有機化合物の排出及び飛散の抑制のための取組とを適切に組み合わせて、効果的な揮発性有機化合物の排出及び飛散の抑制を図ることを旨として、実施されなければならない。

(排出基準)

第十七条の三 揮発性有機化合物に係る排出基準は、揮発性有機化合物排出施設の排出口から大気中に排出される排出物に含まれる揮発性有機化合物の量(以下「揮発性有機化合物濃度」という。)について、施設の種類及び規模ごとの許容限度として、環境省令で定める。

(揮発性有機化合物排出施設の設置の届出)

第十七条の四 揮発性有機化合物を大気中に排出する者は、揮発性有機化合物排出施設を設置しようとするときは、環境省令で定めるところにより、次の事項を都道府県知事に届け出なければならない。

- 一 氏名又は名称及び住所並びに法人にあつては、その代表者の氏名
- 二 工場又は事業場の名称及び所在地
- 三 揮発性有機化合物排出施設の種類
- 四 揮発性有機化合物排出施設の構造
- 五 揮発性有機化合物排出施設の使用の方法
- 六 揮発性有機化合物の処理の方法

2 前項の規定による届出には、揮発性有機化合物濃度及び揮発性有機化合物の排出の方法その他の環境省令で定める事項を記載した書類を添付しなければならない。

表 2 改正大気汚染防止法における燃料貯蔵施設に対する規制案

揮発性有機化合物(VOC)排出抑制対策検討会(平成 16 年度)貯蔵小委員会報告書より作成

規制対象外施設

施設	規模
ガソリン、原油、ナフサその他の温度 37.8 度において蒸気圧が 20 キロパスカルを超える揮発性有機化合物の貯蔵タンク(密閉式及び浮屋根式(内部浮屋根式を含む。))のものを除く。)	容量が 1,000 キロリットル以上のもの

※ ただし、既設の貯蔵タンクは容量が 2,000 キロリットル以上のものについて排出基準を適用する。

参考 各種物質のリード蒸気圧(37.8℃) ケミカル貨物は 20℃における蒸気圧からの換算値

	kPa	出典
原油	28～40	石油産業における炭化水素ベイパー防止トータルシステム研究調査報告書
ナフサ	60～100	石連資料
ガソリン	44～78	JIS K2202
ジェット燃料(JET A-1)	0.1 以下	石連資料
灯油	0.1 以下	石連資料
軽油	0.1 以下	石連資料
A 重油	0.1 以下	石連資料
ベンゼン	22.2	Chemical Safety Cards(国際化学物質安全性カード)
トルエン	7.1	
n-ヘキサン	34.2	
アセトン	51.7	
メチルエチルケトン	22.2	
メタノール	32.0	
エタノール	16.0	

規制値

施設	規模
ガソリン、原油、ナフサその他の温度 37.8 度において蒸気圧が 20 キロパスカルを超える揮発性有機化合物の貯蔵タンク(密閉式及び浮屋根式(内部浮屋根式を含む。))のものを除く。)	60,000ppmC

回収処理については、欧州連合(EU)の規制では、排出基準値を 35 g/m³と設定している。

この基準値はガソリンの場合は、概ね 54,000ppmC となる。また、米国の規制では、回収処理装置の処理効率を 95%以上と設定している。この米国の基準は概ね EU の基準値に相当している。これらのことから、適用可能な技術を用いた場合の排出ガス濃度は 60,000ppmC 程度まで低減可能と考えられることから、排出基準値は 60,000ppmC とすることが適当である。

表 3 改正海防法における VOC 排出規制港湾(抜粋)

平成十六年四月二十一日 法律第三十六号改正「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律⁴」より作成

第四章の二 船舶からの排出ガスの放出の規制

(揮発性物質放出規制港湾の指定)

第十九条の二十三 国土交通大臣は、揮発性有機化合物質(油、有害液体物質等その他の貨物から揮発することにより発生する有機化合物質をいう。以下同じ。)を放出する貨物の積込みの状況その他の事情から判断して揮発性有機化合物質の放出による大気の汚染を防止するための措置を講ずる必要があると認められる港湾について、これを揮発性物質放出規制港湾として指定することができる。

2 国土交通大臣は、前項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、当該港湾の港湾管理者の意見を聴かなければならない。

3 環境大臣は、船舶からの揮発性有機化合物質の放出の抑制を図るため必要があると認めるときは、国土交通大臣に対し、港湾を特定して、第一項の指定を求めることができる。

4 国土交通大臣は、第一項の規定による指定をしたときは、国土交通省令で定めるところにより、揮発性物質放出規制港湾の名称及びその区域を公示しなければならない。

5 第二項及び第三項の規定は、外国の港湾を指定する場合には、適用しない。

6 前各項の規定は、第一項の規定による指定の変更又は廃止について準用する。

(揮発性物質放出防止設備等)

第十九条の二十四 船舶所有者は、揮発性物質放出規制港湾において揮発性有機化合物質を放出する貨物の積込みが行われる場合には、当該船舶(その用途、総トン数、貨物の種類等の区分に応じ国土交通省令で定めるものに限る。以下「揮発性物質放出規制対象船舶」という。)に、揮発性有機化合物質の放出による大気の汚染を防止するための設備(以下「揮発性物質放出防止設備」という。)を設置しなければならない。

2 前項の規定による揮発性物質放出防止設備の設置に関する技術上の基準は、国土交通省令で定める。

3 揮発性物質放出規制港湾にある揮発性物質放出規制対象船舶において揮発性有機化合物質を放出する貨物の積込みを行う者は、国土交通省令で定めるところにより、揮発性物質放出防止設備を使用しなければならない。ただし、次の各号のいずれかに該当する場合には、この限りでない。

一 揮発性物質放出規制対象船舶の安全を確保し、又は人命を救助するために必要な場合

二 揮発性物質放出規制対象船舶の損傷その他やむを得ない原因により揮発性有機化合物質が放出された場合において、引き続き揮発性有機化合物質の放出を防止するための可能な一切の措置をとったとき。

⁴ 法律名は、平成 16 年 4 月 21 日法律第 36 号により「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」に改正される。ただし、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 1978 年の議定書によって修正された同条約を改正する 1997 年の議定書が日本国について効力を生ずる日から施行。

2.2 船舶からの VOC 排出実態調査

船舶運航に伴う VOC 排出経路は、機関からの排出と原油及びガソリン、ケミカル輸送プロセス時の大気への漏えい・放出の二つに大別される。後者の液体燃料輸送プロセスに伴う VOC の排出は、積荷航海時、移入作業(タンカーからの揚げ荷時)、バラスト航海時(空き荷航海時)、移出作業(タンカーへの積み荷時)、の 4 つのモードに分解できる。各過程から発生する VOC 排出量を算定するために、排出実態と排出濃度の把握を行う。このため、文献調査、ヒアリング及びアンケート、実船計測を行った(図 5 参照)。

なお、機関からの排出(排ガス)については、排出実態は機関の稼働率及び負荷率を用いることで推定できることから、既存文献調査による排気ガス中の VOC 濃度の情報収集整理のみとした。

2.2.1 実船計測調査

主に内航プロダクトタンカーを対象に荷主、運航会社を選択し、表 4 に示す 4 隻について測定調査を実施した。

表 4 VOC 実船計測対象船舶(白油タンカー)

	総トン数	ベントポスト高(m)	荷種	実施日
1,000 kl 型	328	4.53	レギュラーガソリン	9/16
2,000 kl 型	688	6.45	プレミアムガソリン	9/17-18
2,000 kl 型	749	6.5	レギュラーガソリン	9/22
5,000 kl 型	2,559	6.3	レギュラーガソリン	10/26-27

(1) VOC ベイパー採取および分析方法

タンカーの荷積み作業時における VOC 採取方法は図 7 に示すとおりである。ベントポストのフレームアレストには、ろうと状の傘を取り付けたテフロンチューブを固縛した実際の固縛状況を図 8 に示した。チューブなどは全て本質防爆機材とし、テフロンチューブは静電気防止のために、導電用チューブを外側に巻いて利用した。

現場で用いる FID 計は本質防爆タイプのものであるが、国内の防爆型式認定を受けていない。このため、ベントポスト直下付近の防爆地域内での測定は行わず、図 9 に示すようにテドラーバッグに手動で 5 分ごとに採取後に、直ちに船橋内に持ち込み FID 計で総 HC 濃度を測定した。実際の作業状況を図 10 および図 11 に示した。

また、同様にテフロン製チューブから手動でバッグに数リットル採取持ち帰り後、ラボで成分分析(MS-FID)を行った。

MS-FID 法と現場測定に用いた FID 計との濃度関係を図 6 に示した。n-ブタンとイソブタンの Response Factor が、メーカー出荷時でそれぞれ 1.8 および 1.9 程度あるため、現場での指示値は小さいものとなっている。以下では、全ての現場での VOC 濃度は、下記関係式を用いて補正したものである。なお、現場で使用したテフロンチューブ 20m を用いて、n-ブタンの吸着を計測した結果、入力濃度に対して 99%以上の VOC 濃度がチューブ出口で観測されたため、管壁面の吸着による濃度減少は無視した。

作業名称	積み荷航海時	揚げ荷(移入)作業	ガスフリー作業	バラスト航海	積み荷(移出)作業	機関からの排出
VOC 排出状況	タンク内はほぼ満載である。タンク内の上部空間の圧力変化(気象や海象による温度変化や揺れに伴うもの)によりわずかに呼吸ロスが発生する	タンカーから陸上タンクへの荷揚げ作業である。カーゴタンク内の燃料を船舶側動力源により陸上へ移送する。間隙には外気が導かれる	タンク内のVOC濃度を下げするため、航海中に電動ファン外気を送り込む	タンク内の酸素濃度を下げる作業。タンク内の圧力変化によりわずかに呼吸ロスが発生する。一方、壁面および底面にたまった残存燃料が揮発	タンカーに対する荷積み作業である。陸上側からの燃料の移入に伴い、タンク内のVOCを含んだガスが大気へと放出	主機関などで燃焼される燃料の未燃分が、煙突より排出される
タンク内と外部とのやり取り 点線は気体の流れ、太実線は液体燃料の流れ						
大気へのガス放出量	微量	無視できる	大量(タンク容量の5倍以上)	無視できる	大量(荷役量とほぼ同値である)	微量
VOC 濃度	非常に濃い	非常に濃い状態からやや希釈される	タンククリーニングを伴う場合、初期は非常に濃いですが次第に薄くなる	しだいに濃くなる。ガスフリー作業を行った場合は変化無し。	初期は薄いですが、満載時に従って非常に濃くなる。	非常に薄い
作業場所	港湾区域外	港湾内	港湾区域外	港湾区域外	港湾内	主に外洋航海中

	太線は、VOCを含むイナートガスの放出を模式的に示す。長さは放出量の大小を示す。
	ハッチングは、タンカーカーゴタンク内の積み荷燃料の量を模式的に示す
	細点線は、船上で生成したイナートガス(低酸素の低反応性ガス)のカーゴタンクへの注入を模式的に示す。長さは放出量の大小を示す。
	灰色線は、カーゴタンクから出し入れされる積み荷燃料の動きを。長さは荷役体積の大小を示す。

図 5 船舶運航に伴う VOC 排出の模式図

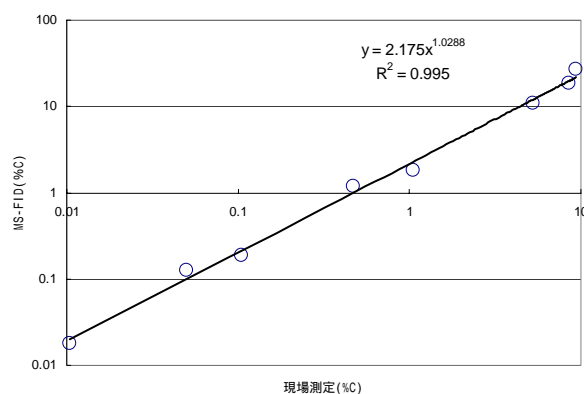


図 6 MS-FID 法と現場測定に用いた FID 計との濃度関係

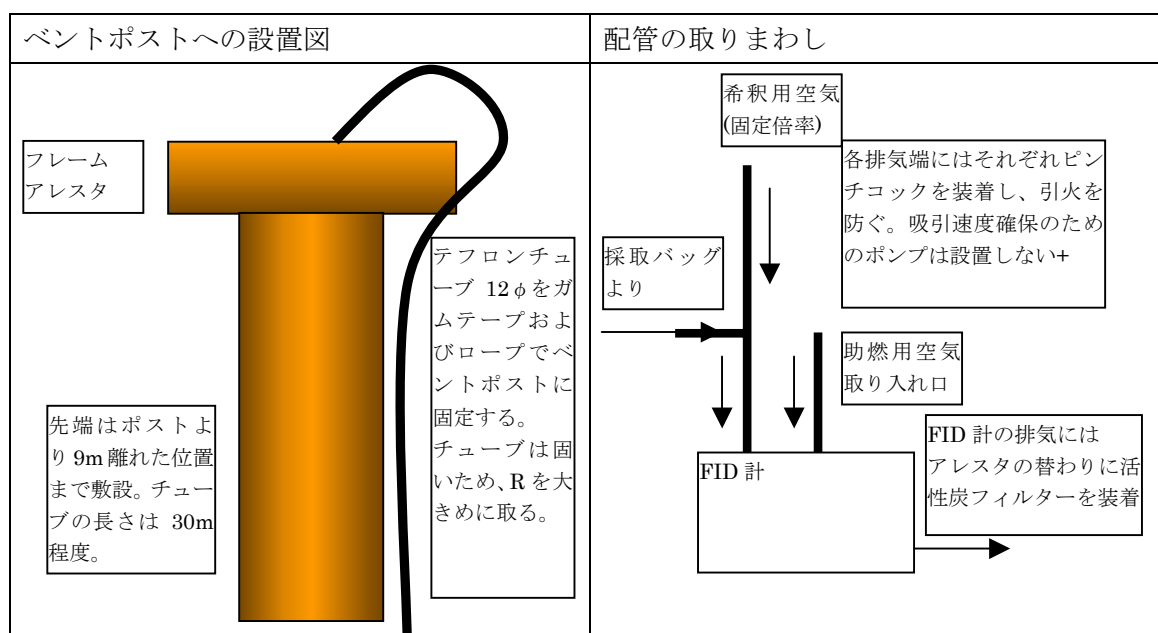


図 7 VOC ベイパーの採取および現場における分析方法



図 8 サンプル採取状況

(ベントポストのフレームアレスタに、ろうと状の採取ポイントを固定し、テフロンチューブにて甲板上まで固縛)

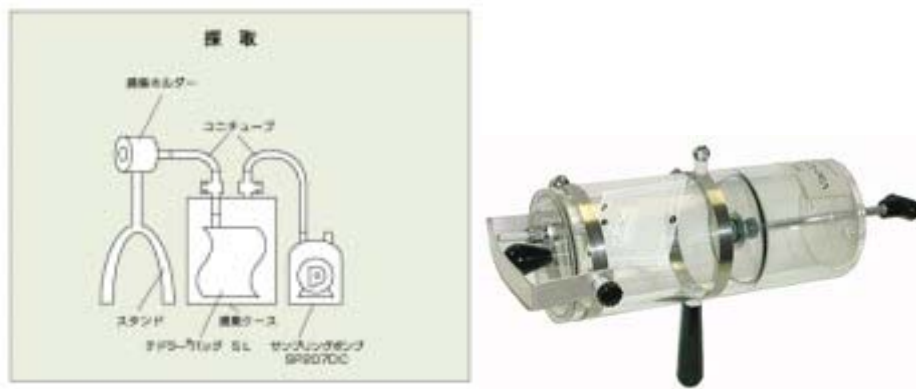


図 9 テドラーバッグを用いた採取方法
 (通常は左図のように、捕集ケース内を負圧するために電動ポンプを用いるが、今回の測定では右図のような手動のシリンダーポンプを用いる)。

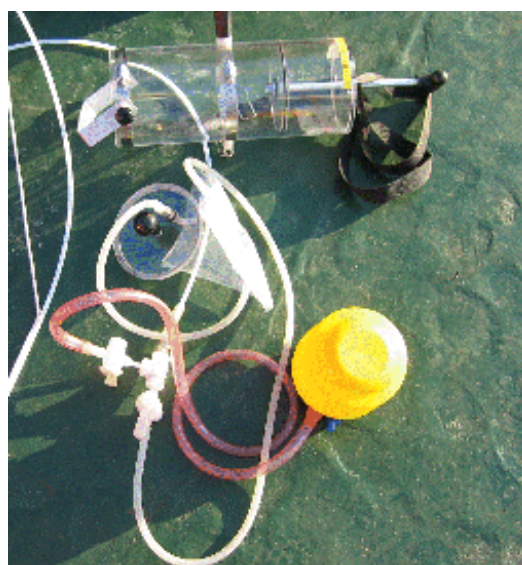


図 10 サンプル時のポンプ接続状況
 (黄色の足踏みポンプはチューブ内の空気を置換するために用いる)

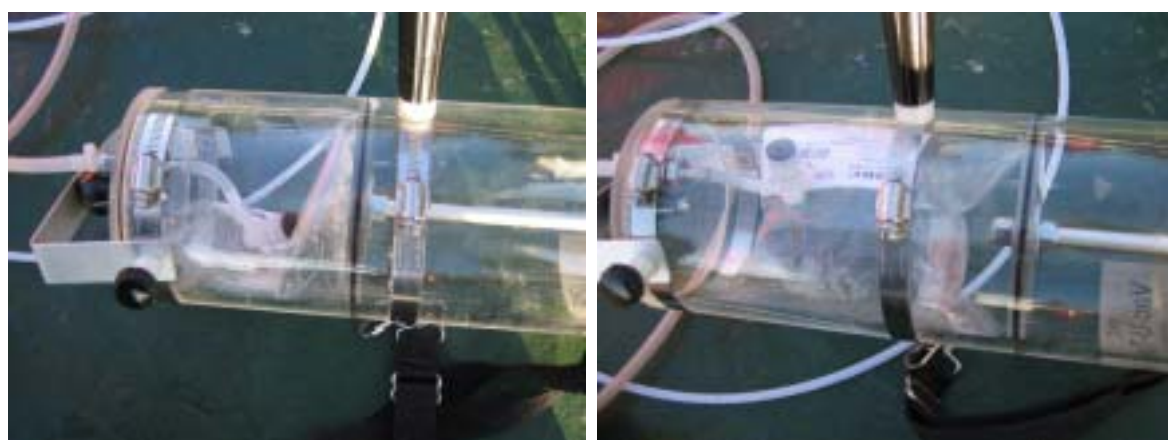


図 11 サンプル用の手動ポンプ作動状況
 (右図ではシリンダーが右側に引かれているため、シリンダー内の採取バッグが膨らんでいる)

(2) 実測結果

(a) 荷積み時における VOC 濃度

(1)項において説明した方法で測定された荷積み時の VOC 濃度について図 12 から図 15 に示した。図 12 に示した 1000 kl タンカーでは、5 つある全てのタンクに同時にガソリンが注入されていた。このため、VOC 濃度の波形は単純な増加を示しており、最終的には 40 %C(=400,000 ppmC)に近い値を示した。これ以外のタンカーは複数の貨物タンクを有しており、荷役作業中にタンクの切り替えが行われる(満載時に行うすり切り作業が個別タンクごとに行われるため)。このため、VOC 濃度はタンク切り替えの回数に応じた鋸歯状の形状を示している。また、切り替えが行われる際に他のタンク内の VOC 濃度も上昇するため、荷役直後の 10ppmC 以下の濃度から回数が増すにつれて次第に VOC 濃度が高くなることわかる。

また、東京都が平成 7 年に実施した炭化水素類排出低減技術(蒸発防止設備)マニュアルでは、コーンルーフタンクとして船舶タンクの測定を行っている。この際の満載時 VOC 濃度は 33%C であり、本測定結果とほぼ同等であると考えられた。

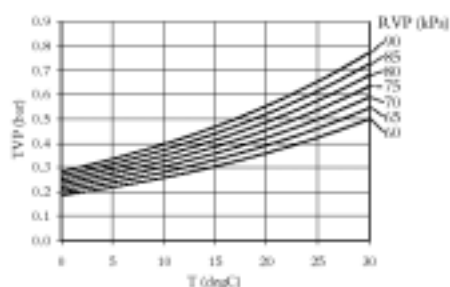
また資源エネルギー庁が昭和 50 年に実施した石油産業における炭化水素ベイパー防止トータルシステム研究調査報告書によれば、50%液面時および 100%液面時のガソリン VOC 濃度はそれぞれ 0.3%C と 50% C となっている。

夏季におけるガソリンのリード蒸気圧は業界の自主的対応により 72kPa 程度に抑えられており⁵、これを下式⁶の実験式により実際の気圧に転換すると、気温 30°Cにおいて 61vol%(=61 kPa /101.3 kPa)と計算される。ガソリン蒸気の平均炭素数を本測定の実測値である 3.89(表 6 参照)とすると、今回観測された 45%C の VOC 濃度は、飽和蒸気圧の 19%(=45/(61×3.89))に留まっており、飽和蒸気圧には遠く及ばない結果となっている。

$$p_i = k \times p_R 10^{[ap_R T + bT + cp_R + d]}$$

k	0.01
a	7.047×10^{-6}
b	0.01392
c	2.311×10^{-4}
d	-0.5236

Figure 5 - TVF of gasoline as a function of temperature and RVP



⁵ 夏場のガソリンの蒸気圧については、品質確保法に基づくものではないが、石油精製事業者の自主的対応として、平成 10 年(1998 年)の中央環境審議会第三次答申を受けて、平成 13 年(2001 年)からは 72kPa 以下とし、その後、昨年(2004 年)の本小委員会第一次答申及び中央環境審議会第五次答申において、平成 17 年(2005 年)以降 65kPa 以下まで低減することとされた(平成 15 年、総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質小委員会、今後の自動車用燃料品質のあり方について)。

⁶ Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU. 原典は The Institute of Petroleum in the UK 資料とされている。

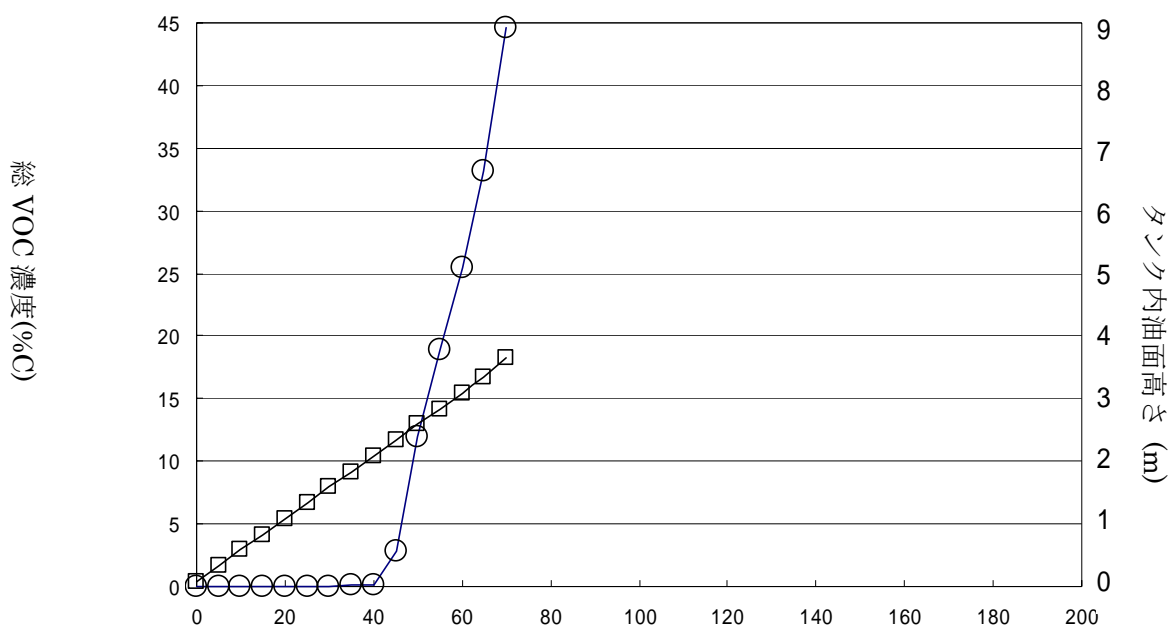


図 1.2 VOC 濃度と液面の時間変化(1000kl タンカー)

横軸は、荷役開始後の経過時間(分)、縦軸は○が VOC 濃度(炭素換算 C%)、□が液面高さ(m)
 総ガソリン荷役量 986kl、平均荷役速度 780kl/時間(液面計を未搭載のため液面は推定値)、レギュ
 ラーガソリン。事前のガスフリー作業あり。3つのタンクに分入。単純平均 9.1% C

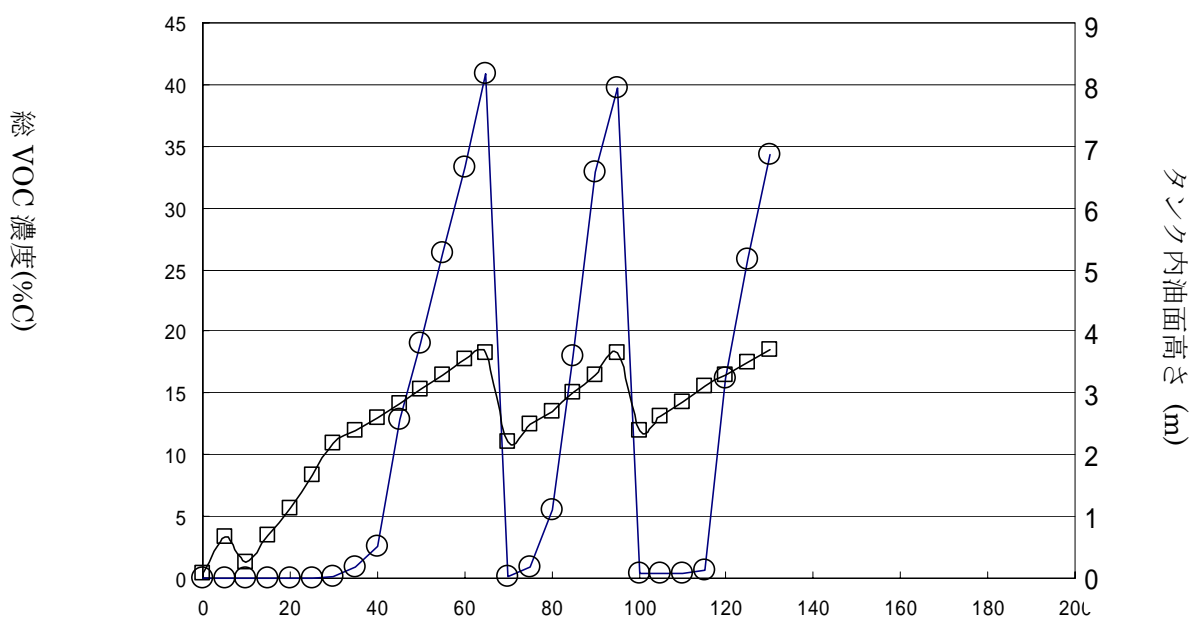


図 1.3 VOC 濃度と液面の時間変化(2000kl タンカー)

横軸は、荷役開始後の経過時間(分)、縦軸は○が VOC 濃度(炭素換算 C%)、□が液面高さ(m)
 総ガソリン荷役量 1035kl、平均荷役速度 790kl/時間、レギュラーガソリン。事前のガスフリー作
 業あり。3つのタンクに分入。単純平均 11.5% C

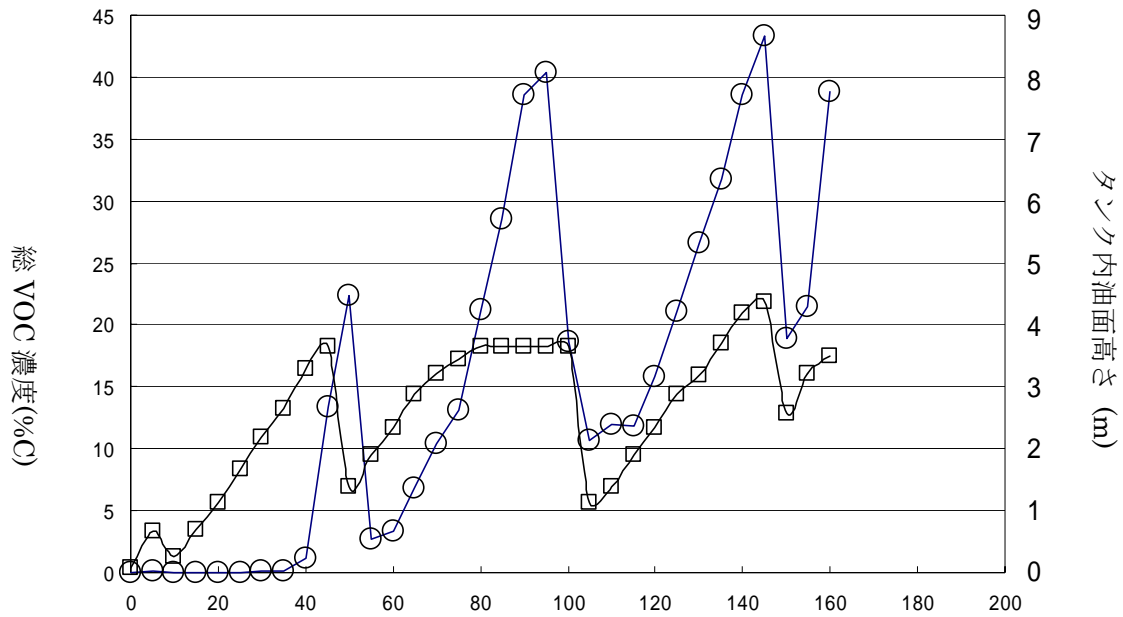


図 1 4 VOC 濃度と液面の時間変化(2000kl タンカー)

横軸は、荷役開始後の経過時間(分)、縦軸は○が VOC 濃度(炭素換算 C%)、□が液面高さ(m)
 総ガソリン荷役量 2035kl、平均荷役速度 790kl/時間、レギュラーガソリン。事前のガスフリー作業あり。3つのタンクに分入。単純平均 15.5%C

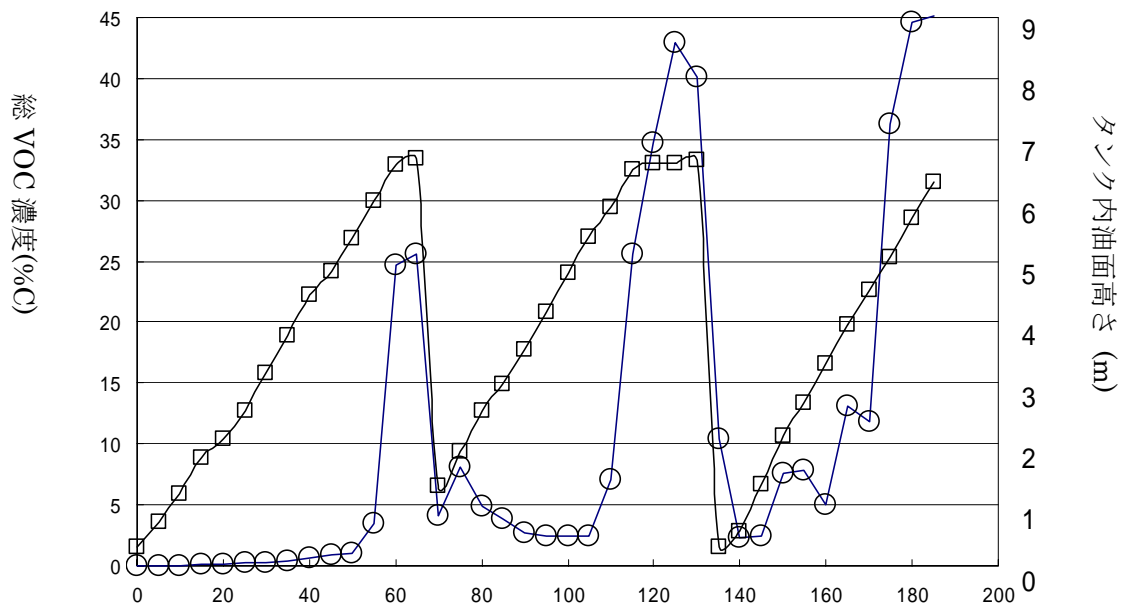


図 1 5 VOC 濃度と液面の時間変化(5000kl タンカー)

横軸は、荷役開始後の経過時間(分)、縦軸は○が VOC 濃度(炭素換算 C%)、□が液面高さ
 総ガソリン荷役量 2080kl、平均荷役速度 780kl/時間、レギュラーガソリン。事前のガスフリー作業あり。3つのタンクに分入。単純平均で 11.2%C

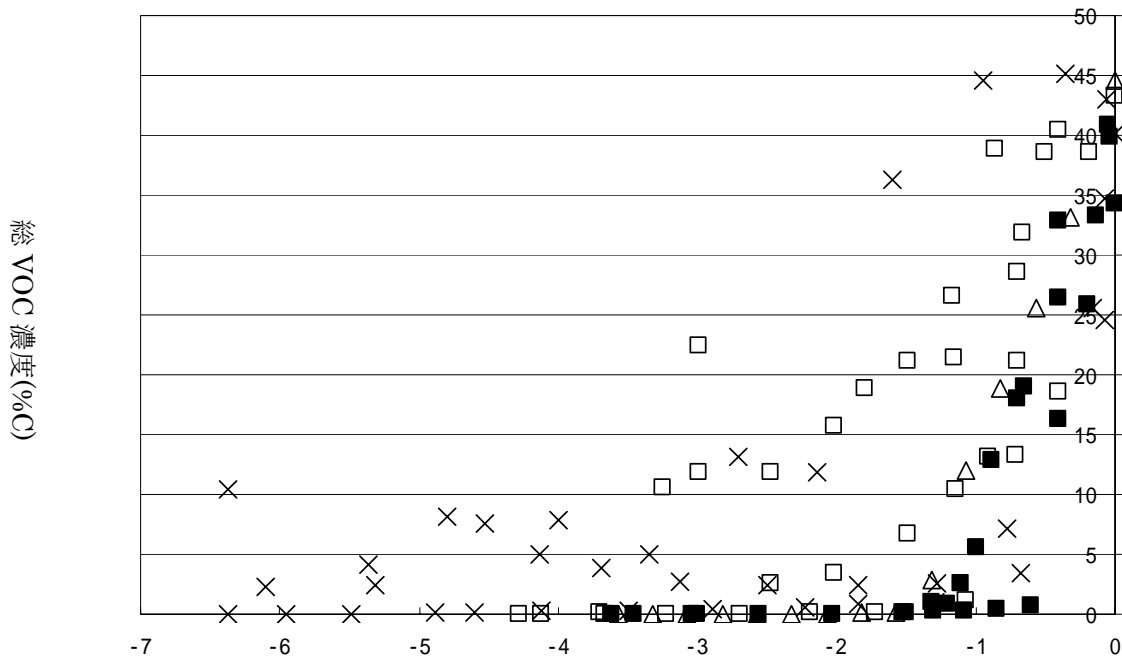


図 16 液面からタンク上面距離と VOC 濃度の関係

横軸は満載時の液面高さからの差異 m。縦軸は VOC 濃度(%C)、△が 1,000kl、□と■は 2,000kl、×が 5,000kl 積みタンカー。

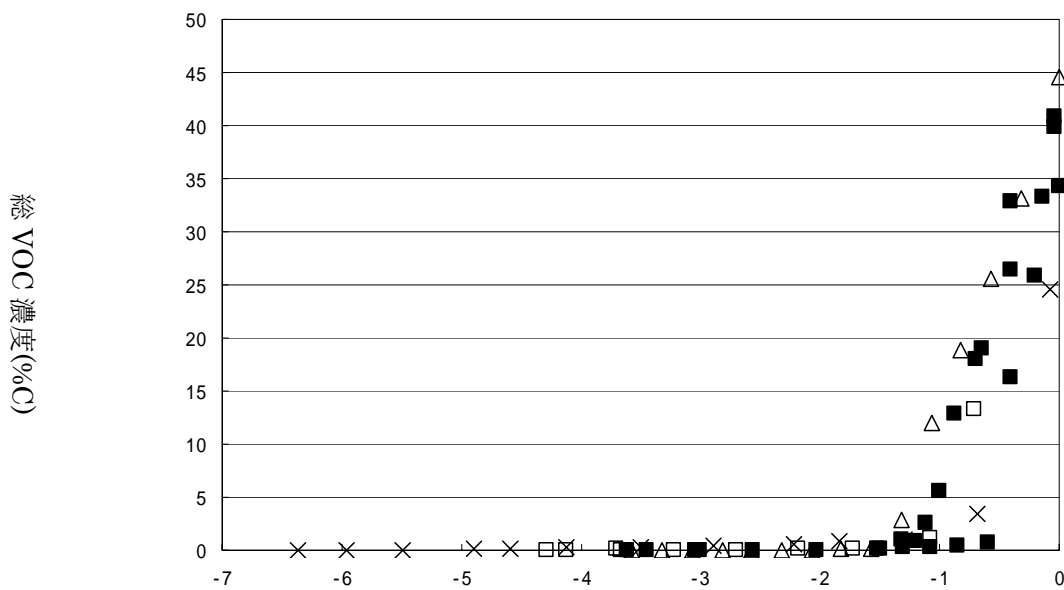


図 17 正規化した液面高さと VOC 濃度の関係(一度目のタンク切換えまで)

横軸は満載時の液面高さからの差異 m。縦軸は VOC 濃度(%C)、△が 1,000kl、□と■は 2,000kl、×が 5,000kl 積みタンカー。

最終的な濃度が飽和蒸気圧に対して十分に低く、蒸散速度が一定であると仮定すると、時間当たりの蒸散量は空間に均一に分布していると仮定した場合、時間当たりの濃度は以下のように示される。50%C 弱の VOC 濃度は飽和蒸気圧に満たないが、搭載直後では十分な蒸散が進んでいないと考えられる。また、航海時には気密状態で運搬されるため、飽和蒸気圧までの上昇は進まない。今回の測定においても、揚げ荷直前の VOC 濃度は、搭載直後とほとんど変化がなく、現在の荷役作業形態では、飽和蒸気圧までの上昇はないものと考えられた。

ここで、簡単なモデルを考える。蒸散速度を求める Kawamura and Mackay (1985) 式に、上記のリード蒸気圧(72kPa)を代入すると、蒸散速度はおよそ 0.167 kg/sec と計算される。荷役全体では、およそ荷役量の 0.15% のガソリンが蒸散しており(排出係数は 1.5 kg/t)、いずれかのタイミングで大気中に放出されることになる。上記の蒸散速度(一定)から、タンク内の空間が経時的に減少する際の濃度上昇を図 16 に示した。簡易モデルにおいては、タンク満載時の濃度はおよそ 45%C 程度となっており、実測値とほぼ合致する。

$$E = A \times KM \times \left(\frac{M_w \times P_v}{R \times T} \right) \quad (\text{kg s}^{-1})$$

where E = evaporation rate, in kg s⁻¹

A = area of the evaporating puddle (4m × 5m = 20 m²)

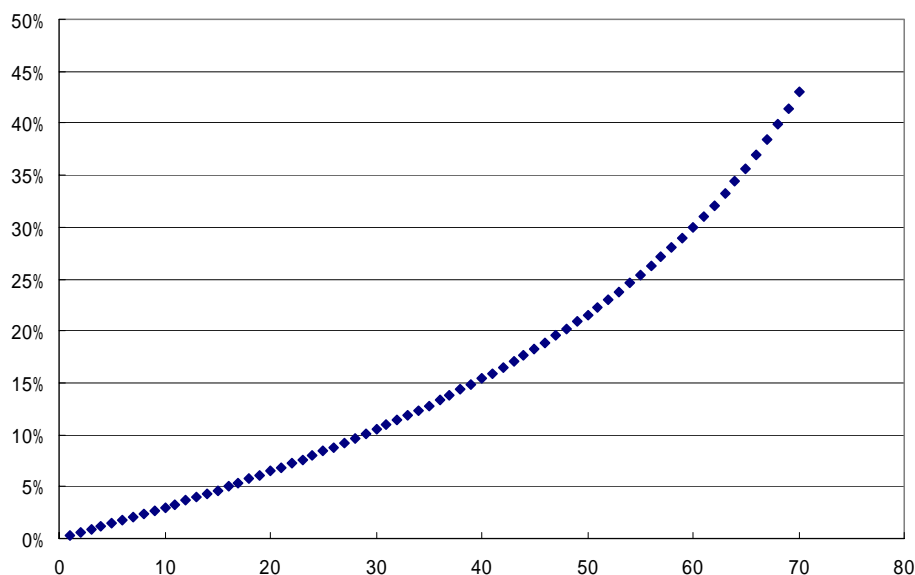
KM = mass transfer coefficient, in m s⁻¹

M_w = molecular weight of gasoline (66.1 kg kmol⁻¹)

P_v = vapor pressure, in Pa

R = the gas constant (8314 J kmol⁻¹ K⁻¹), and

T = ambient temperature, in K (20°C is equal to 293.2 K).



横軸は経過時間、縦軸は VOC 濃度(%C)タンク体積を 1200kl、蒸散速度を 0.17kg/sec、タンク内は完全混合、ガソリンの平均分子量 66、RVP72kPa、温度 30°C とした。

図 18 ガソリンタンク内理論上 VOC 濃度の上昇

図 16 のように、最終的に到達する VOC 濃度は 40%C 程度といずれも大きな差異がない。一方、液面が低い状態では、船舶によって差異が大きく、特に 2 番目以降のタンク切換えによって低液面時の VOC 濃度が大きく押し上げられていることがわかる。

図 17 に一度目の切換え時までの濃度上昇を示した。ここでは、タンク容量が関わらず、満載液面レベルの 1.5m 下から、VOC 濃度の上昇が始まる傾向があることが伺える。VOC 排出量は、荷役速度が一定であれば、VOC 濃度に比例するので、以下のようなモデルで示される。

$$\begin{aligned}
 \text{VOC 排出量} &= \text{タンク満載時直前の高濃度排出} + \text{それ以外の排出} \\
 &= \text{タンク切換え回数} \times \text{高濃度排出量} \\
 &\quad + \text{初回排出量} (\approx 0) \\
 &\quad + \sum \text{2 回目以降のタンク切換直後の排出量}
 \end{aligned}$$

ここで、高濃度排出量を 1.5m までの高濃度区(45%C=45/3.89=11.6 vol%)の積算濃度を三角形で近似した。タンク液面積(m²)×1.5m×0.116÷2 とし、タンク切換え時の高濃度を、タンク切換え回数ごとに、全排出量を上記の 3 つの排出量に分割した結果を表 5 に示した。タンク切換えを行わない小型タンカーでは、高濃度排出時のみで全体排出量の 98%程度を説明できるのに対して、切換えを行う荷役では全体の 7~8 割の排出を説明できるに過ぎない。また、タンク切換え直後の排出量は切換え回数などとの相関は少なく、特に同じ 2000kl タンカーで見た場合でも明確な蛍光は見られなかった。船舶のタンク構造やベントポストまでの配管の構造が大きく影響していると考えられた。

このため、今回の計算においては、1000 kl 以下の小型タンカーについては、0.086 kg-VOC/t-Gasoline を、それ以外のタンカーについては、3 隻の平均を取り 0.122 kg-VOC/t-Gasoline の排出係数を採用する。

表 5 VOC 排出量のまとめ

タンカー kl 級	荷役量 m ³	VOC 総排出量 m ³	タンク 切換え回数	高濃度時 排出量 m ³	低濃度の 排出量 m ³	高濃度排出量 による寄与率	タンク切換直 後の排出量m ³ (2回目以降)	平均排出率 kg-VOC/ t-Gasoline
1000	986	23.1	1	22.6	0.49	97.9%	-	0.087
2000	1035	30.6	3	23.7	6.90	77.4%	3.21	0.110
2000	2035	81.1	4	58.2	22.85	71.8%	11.18	0.149
5000	2080	59.9	3	39.9	19.97	66.7%	9.74	0.108

なお、EPA の Air Pollutant Emission Factors, AP-42⁷においては、下式のような係数 S(飽和係数)を導入し、飽和蒸気圧による理論上の排出係数 E/Mw(t/t)を、補正するとしている。今回の測定では、小型タンカーにおける S は 0.04、それ以外のタンカーでは 0.05 と計算できる。この数値は、EPA のサブマージドフィル時の S 値 0.2 よりも大幅に低い。その理由として、米国に比較してタンカーの大きさが小さく、安全面から荷役速度が小さくなっていることが考えられる。

また、今回測定したタンカーは全てガスフリー作業を実施しており、荷役開始直後の VOC 排出濃度が小さくなる可能性、また同じく安全面からタンク容量の 95%までガソリンを搭載することになっており、荷役終了直前の濃度も小さくなる可能性があることが指摘された。ただし、2.2.3 項のアンケート調査では、ガソリンタンカーでは年間 100 回程度のガスフリー作業を実施されており、ガスフリー作業が日常化していることから、今回の VOC 排出係数を平均的な数値として用いても差し支えないと考える。今後国内外のガソリンオペレーションの差異について情報を収集することで、排出係数の差異について考察することが重要であると考えられた。

$$E = S \frac{M_w p_v m_l}{10^3 R T \rho_l}$$

where	E	the emission in tonnes
	M_w	the molecular weight of the vapour
	p_v	the vapour pressure of the cargo in Pa
	m_l	the mass of liquid loaded in tonnes,
	R	the gas constant in J/(mol.K)
	T	the absolute temperature in K
	ρ_l	the density of the liquid in kg/m ³
	S	飽和係数、無次元

表 6 EPA の Air Pollutant Emission Factors, AP-42 における S(飽和係数の設定例)

Cargo Carrier	Mode of Operation	S Factor
Marine vessels	Submerged loading: ships	0.2
	Submerged loading: barges	0.5
Tank trucks and rail tank cars	Submerged loading of a clean cargo tank	0.50
	Submerged loading: dedicated normal service	0.60
	Submerged loading: dedicated vapour balance service	1.00
	Splash loading of a clean cargo tank	1.45
	Splash loading: dedicated normal service	1.45
	Splash loading: dedicated vapour balance service	1.00
本測定	小型タンカー (Submerged loading: ships of a clean cargo tank)	0.04
	中型タンカー (Submerged loading: ships of a clean cargo tank)	0.05

ただし、ガソリンと原油に対しては上記 S 係数は適用より、実測値からの推定を推奨するとされている。

⁷ U.S. EPA, Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, AP 42, Fourth Edition, Volume I Chapter 5: Petroleum Industry

排出された VOC の成分について表 7 に示した。国立環境研究所によるガソリンそのものの組成(表 7 の右側に示す)との比較では、軽量成分が増加していることがわかる。ブタンの成分比は 49.7(n-ブタンとイソブタンの合計)から 65.2(C4 paraffins に相当)に増加し、プロパンの成分比 11.1 から 27.2(C5 paraffins に相当)と大幅に増加している。一方、オレフィン系の成分はガソリン中の成分比に対して VOC 内の成分比では、蒸気圧が軽量成分に比較して小さいことから、全て割合を落としている。

なお、欧米においては、ガソリン中に含まれる MTBE などの有害成分による暴露が問題になっているが、日本においては現在 MTBE の混入は行われていないことから、今回の測定では MTBE などの微量成分は測定していない。

表 7 ガソリン VOC 組成表(左表が VOC 中の濃度組成割合、右表がガソリン中の濃度組成割合)

Component	Vol % MW
C3 paraffins	<0.1
C4 paraffins	65.2
C5 paraffins	27.2
C6 paraffins	0.5
C7 paraffins	0.3
C8 paraffins	<0.1
C4 olefins	3.3
C5 olefins	1.9
C6 olefins	0.1
C7 olefins	<0.1
C8 olefins	<0.1
C6 aromatics	0.5
C7 aromatics	0.2
C8 aromatics	0.1

GC-FID による体積濃度組成%

VOC コード	VOC成分	排出量 構成比(%)
1	n-ヘキサン	2.5%
2	シクロヘキサン	0.1%
3	ベンゼン	0.6%
4	トルエン	0.7%
5	キシレン	0.2%
7	1,3,5-トリメチルベンゼン	0.001%
76	n-ヘプタン	0.1%
77	n-ペンタン	11.1%
103	エチルベンゼン	0.03%
109	n-オクタン	0.02%
162	メチルシクロヘキサン	0.1%
171	n-ブタン	25.5%
172	イソブタン	24.2%
174	cis-2-ブテン	10.4%
175	trans-2-ブテン	6.7%
176	2-メチルペンタン	4.4%
177	2-メチル-2-ブテン	3.4%
178	2-メチル-1-ブテン	2.2%
179	trans-2-ペンテン	1.8%
180	cis-2-ペンテン	1.8%
181	2,3-ジメチルブタン	1.1%
182	2,2-ジメチルブタン	1.0%
183	メチルシクロペンタン	0.9%
184	3-メチルヘキサン	0.4%
185	2,4-ジメチルペンタン	0.3%
186	1-ヘブテン	0.2%
188	3-メチルヘブタン	0.1%
189	1-ヘキセン	0.04%
190	2-メチル-1,3-ブタジエン	0.1%
191	1,2,4-トリメチルベンゼン	0.01%
192	2,2,4-トリメチルペンタン	0.01%
193	1,2,3-トリメチルベンゼン	0.001%
194	n-プロピルベンゼン	0.0003%
195	2,3,4-トリメチルペンタン	0.0004%
196	1,4-ジエチルベンゼン	0.0001%
合計		100.0%

右表の出典は「都市域における VOC の動態解明と大気質に及ぼす影響評価に関する研究」

((独)国立環境研究所；平成 12 年)

(b) 原油排出係数

原油タンカーを対象とした SO 財団の調査概要を表 8 から表 11 に示した。

原油洗浄を行う前提では、ガソリントankとは異なり、初期の濃度が 15vol%程度になっており、その後 41%まで VOC 濃度が上昇する。原油の場合は、S 係数 1 以上になることが知られている。メタンやエタンなど蒸気圧の高いガス物質が大量に荷役中に蒸散するためである。同報告書のシミュレーション結果では、放出される発生ガス量は、原油積み荷総体積の約 1.8 倍とされている。VOC 放出量は発生ガス量のほぼ 40%、原油積み荷総体積の約 $1.8 \times 0.4 = 0.72$ 倍と想定されている。NMVOC の比率が 85%、原油の比重 0.89、VOC 平均分子量を 48 とすると、0.14kg/ton 原油と計算される。この値は表 11 に示した EU の原油データの 1/10 程度となっている。日本国内で荷役される原油は、中近東など原産地における荷役、原油輸送、さらに一次備蓄基地での保管などの際に、軽量成分が蒸散していると考えられることから、妥当なものと考えられた。

表 8 SO 財団 2000 年調査における調査対象船舶及び調査期間など

対象船	原油タンカー
調査期間	2000年12月1日～12月9日
総トン数	約70,000総トン
航路	国内原油備蓄基地-国内石油精製工場
積荷	Quate、Iranian Heavy、Arabian Light原油の混合。
分析項目	FID/MS(水素炎イオン化検出器)を用いた炭素数7までの揮発性炭化水素ガス濃度及びそれらの総計として TOC(総炭化水素量)濃度。 ただし、主たる対象物質はメタンである。

表 9 バラスト航海時のタンク内原油ガス組成濃度(vol%)
(深さ方向の変化、出港後 約 24 時間後)

タンク頂部と採取ポイントの距離	1m	5m	10m	15m
メタン	0.59	0.58	0.63	0.62
エタン	0.66	0.67	0.71	0.70
プロパン	2.27	2.31	2.45	2.41
ブタン	3.19	3.25	3.44	3.38
ペンタン	2.00	2.05	2.17	2.14
ヘキサン	0.89	0.91	0.97	0.95
ヘプタン	0.27	0.28	0.30	0.29
TOC	9.86	10.06	10.70	10.50

ほぼ+300mmHg に加圧された状態から常圧まで点検口を開放し減圧した後に、採取した。

表 1 0 原油洗浄作業による揚げ荷作業直後のタンク内原油ガス組成濃度への影響(vol%)

	バラスト航海出向直後	
	原油洗浄なし	原油洗浄実施
メタン	0.61	0.87
エタン	0.69	0.82
プロパン	2.37	3.72
ブタン	3.32	5.19
ペンタン	2.08	2.97
ヘキサン	0.92	1.07
ヘプタン	0.28	0.23
TOC	10.26	14.89

表 1 1 原油積み込み作業直後及び積荷航海時のタンク内原油ガス組成濃度 (vol%)

(入荷開始からの経過時間)	出港直後	積荷航海時	
	6時間後	40時間後	48時間後
メタン	4.51	6.75	7.42
エタン	7.52	8.16	8.34
プロパン	14.59	14.82	15.05
ブタン	9.82	9.93	10.04
ペンタン	3.65	3.67	3.69
ヘキサン	1.22	1.22	1.21
ヘプタン	0.33	0.33	0.32
TOC	41.63	44.88	46.07

深さ方向の採取点は一点

表 1 2 UKにおける原油 VOC 排出係数との比較

Operation	原油のVOC排出係数 kg-NMVOC/t-CrudeOil
Offshore Loading	0.6-1.1
Onshore loading	1.2-2.5
本調査(原油洗浄あり)	0.14
米国(EPA)	0.13

原油の値にはメタンとエタンが含まれていない

(c) ケミカル排出係数

ケミカル物質に関する排出係数を以下に示した。EU レポートでは、S 係数をガソリンと同じく 0.175 と設定しているが、我が国でも荷役の実態を考えると、ガソリンよりもタンク満載まで積み込むことが少なく、また、複数タンクへの同時積み込みも少ないことから、過大となる可能性もある。別途実施されている(独)海上技術安全研究所の測定⁸でも、ベンゼンタンクの満載時における排出濃度の飽和蒸気圧に対する割合は実測で 45%程度であり、ガソリンの 20%ほどではないまでも飽和蒸気圧までは達していない。分子量が大きなガソリンやケミカルカーゴのタンク内では、空気密度との差異により、液面から垂直方向に濃度勾配ができており、ベントから実際に排出される排出濃度は飽和蒸気圧に達していないと考えられる。一方、タンク切換え時には高密度ガスが一部のベイパー配管に滞留したり、他のタンク下部に流入する事により、切換え直後の濃度を押し上げている可能性もある。

このため、ガソリンタンカーで検討を行った S 係数(飽和蒸気圧×荷役容量に対する実際の排出量の割合)は、ガソリンタンカーと同等程度になることが予測される。仮に、小型タンカーの S 係数 0.04(表 6 参照)を採用した場合の、荷種ごとの VOC 排出係数を表 1 3 に示した。

表 1 3 ケミカルタンカーにおける VOC 排出係数

	アセトン	ベンゼン	トルエン	メタノール	ジクロロエタン
temp温度	30	30	30	30	30
TVP(蒸気圧kPa)	19.6	7.84	2.21	9.84	13.3
Mw(分子量)	58.65	78	92.14	32	98.96
R気体定数	8,314	8,314	8,314	8,314	8,314
比重	0.791	0.8765	0.8669	0.793	1.25
S(S係数)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
E排出係数kg/ton	0.023	0.011	0.004	0.006	0.016

EPA の Air Pollutant Emission Factors, AP-42 より算定。

ただし S 係数として、小型ガソリンタンカーの実測値 0.04 を仮定した。

(d) エンジンからの排出係数

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)では、船舶用エンジンからの排出量は、大型自動車用ディーゼル機関のデータをもとに 12g-VOC/kg-fuel という値が採用されているが、船舶機関が低速であること、燃料が低質であり炭素数の少ない未燃分の発生は少ないと予測されることなどから、上記の値より低いことが予測される。日本マリンエンジニアリング学会では、実船舶実験により、定常状態での THC の排出係数は 1.2~3.0 g/kg-Fuel 程度であることから、2.5 g-VOC/kg-fuel を採用している。

本調査では、SO 財団平成 10 年度「船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査報告書」の 1.9 g/kg-Fuel を採用した。これは、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、88 %が NMVOC と考え、ディーゼル機関における排出係数を算定したものである。

⁸ 船舶から発生する有害揮発性ガスによる複合汚染の低減に関する研究(2004、間島隆博他)

(e) VOC 排出係数のまとめ

表 14 に原油とガソリンの VOC 排出係数を示した。ガソリンで比較すると 1 以上の群と 0.2 以下の群の二つに分かれる。1 以上の群は地下タンク、タンクローリーもしくは飽和蒸気圧から算定したものである。今回、実測により満載時においても飽和蒸気圧に達することがないことが確認されており、EPA が定義する S ファクターが 0.1 程度であることから考えて、0.1~0.2 kg-VOC/t-燃料の排出係数が妥当であると考えられた。

ガソリン荷役作業環境時の甲板上での作業暴露量を 53.5 g/m³(J Occup Health 2001; 43: 287-290)とした論文もある。同論文では、タンカーの甲板作業員に暴露メーターを持たせた値であり、考察には付近の排出口からの高濃度 VOC は、直後に 10 倍程度にまで希釈されるとしている。同暴露量から推定される初期濃度も平均 0.54 kg/m³ は、排出係数としては 0.18 kg-VOC/t-燃料となり、やや大きめの値となる。

表 14 VOC 排出係数の比較

	原油 (kg-VOC/t-燃料)	ガソリン (kg-VOC/t-燃料)	補足
EU レポート	1	燃料平均で 0.18 ガソリンは 0.24	いずれもタンカーの 排出係数
PRTR マニュアル (ガソリン地下タンク)	-	1.06	ガソリン地下タンク に対する排出係数
UK	0.6-1.1/1.2-2.5	0.15	タンカーの排出係数 原油は 1.2-2.5 の範 囲で示してある
SO 財団	0.14	1.11	タンカーの排出係数 (理論値より)
東京都	-	1.11	タンクローリー実測 値より算定
資源・エネルギー庁	0.18	0.24	環境省の VOC 試算で も用いられる
EPA	0.08	0.17	S=0.2 として計算
	0.13*	ガスフリー後のガソ リン荷役として 0.23	原油の値にはメタン とエタンが含まれて いない
本報告書	0.14	0.12	

出典：

- EU レポート Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU(2002)。原典は UK Petroleum Industry Association(UKPIA)のもの。
- PRTR マニュアル 経済産業省環境省 P R T R 排出量等算出マニュアル第 2 版(ただしに対するもの)
- SO 財団 平成 13 年度船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査報告書
- エネ庁 石油産業における炭化水素ベイパー防止トータルシステム研究調査報告書(昭和 50 年)掲載値は 0.12 と 0.19 kg-VOC/kl 出荷
- UK Guidelines for the Design & Operation of Gasoline Vapour Emission Controls
- 東京都 炭化水素類低減技術(蒸発防止設備)マニュアル、東京都平成 7 年
- EPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42,2003

2.2.2 VOC 排出量の算定に関する調査

(1) 輸送量に関する統計量

カーゴタンクから発生する VOC 排出総量を算定するために、国内の輸送総量に関する基礎的な統計量を収集整理した。なお、平成 16 年 3 月末現在の船舶台帳収録明細は表 15 のとおりである。また、内航輸送統計年報の基礎統計となっている元請輸送量調査(1 号票)によると、石油類、ケミカルをあわせた輸送量の実績は表 16 に示すとおりである。黒油および油脂タンカーおよび特殊タンクタンカーが運搬する荷物からの VOC 発生は、前 2 者は蒸気圧が低いこと、特殊タンク船の荷役はクローズドサイクルで行なわれることから、両者の排出は非常に少なく、無視できると考えられる。

一般タンカーの中では、主に、軽油、ガソリン、灯油を運搬する白油タンカーが隻数、カーゴタンクののべ容量とも多く、また一隻あたりの平均容量も 2,200m³ と比較的大きい。ケミカルタンカーは一隻あたりの平均容量が 1,047 m³ で、平均総トン数も 461 総トンと、499 総トンクラスや 299 総トンクラスの小型タンカーによる輸送が主となっていることがわかる。

輸送量でみた場合、やはり白油の輸送量が最も多く 1 億 kl に近い。なお、港湾統計では、石油製品の移出量が 80,031,765 となっており、ガソリンなどの比重から考えると、約 1 億 kl の輸送量は充分に実態を把握していると考えられる。また、のべカーゴタンク容量(m³)で、年間輸送量(kl またはトン)を割った平均利用率でみると、黒油、白油がそれぞれ 123 回/年、108 回/年と、ほぼ半分程度の利用率となっているのに対して、ケミカルでは 76 回/年と低くなっている。これは船舶あるいはタンク容量の大小というより、輸送の需要供給において小口の航海が多いことが影響していると考えられる。

なお、白油の内訳については、船舶側の統計(白油合計として計上)である元請輸送量調査(1 号票)と、港湾側の統計(ガソリン、ナフサ、灯油、軽油、潤滑油を石油製品として計上)である内航輸送統計年報という、また港湾統計ともにその記載がないため、白油中のガソリン荷役の割合については、統計量が存在しない。

今回の試算では、平成 15 年の資源・エネルギー統計年報における、国内向け販売および輸送量の比率から、白油全体の約 31%(平成 15 年の国内向けおよび輸送量約 1.9 億 kl のうち、約 0.6 億 kl がガソリン)をガソリンと仮定して計算を行った。

表 15 内航タンカーの隻数と輸送キャパシティー(船舶台帳収録明細)

	隻数	のべ総トン数 G/T	のべカーゴタンク m ³
黒油船	384	215,227.60	484,386
白油船	400	426,208.26	890,389
油脂船	16	3,331.45	7,978
油脂艇	11	1,466.20	2,496
ケミカル船	196	90,364.24	205,212
一般船中計	1007	736,597.75	1,590,461
高压液化ガス船	143	109,868.91	178,612
高温液体船	31	22,055.00	34,064
耐腐食船	188	46,989.45	65,436
整合船	20	8,226.00	15,989
特殊タンク船中計	382	187,139.36	294,101
合計	1389	923,737.11	1,884,562

表 16 内航タンカーによる液体貨物輸送量(元請輸送量実績表)

	品目	平成 14 年度	平成 15 年度	前年 対比(%)	単 位	タンクの 平均利用率
一般タンカ ーの貨物	黒油	58,986,103	59,517,803	100.9	kl	123
	白油	96,738,159	96,197,153	99.44	kl	108
	小計	155,724,262	155,714,956	99.99	kl	-
	油脂	983,678	1,054,769	107.23	t	-
	ケミカル	16,057,031	15,668,135	97.58	t	76.
	小計	17,040,709	16,722,904	98.14	t	-
	合計	172,764,971	172,437,860	99.81	t	-
特殊タンク 船の貨物	液化石油ガス	8,098,534	7,853,482	96.97	t	-
	エチレン	698,951	643,619	92.08	t	-
	塩ビモノマー	525,374	638,430	121.52	t	-
	液化アンモニア	449,744	482,754	107.34	t	-
	アセトアルデヒド	102,963	100,476	97.58	t	-
	その他の高压ガス	41,031	256,364	624.81	t	-
	小計	9,916,597	9,975,125	100.59	t	-
	アスファルト	2,198,909	1,659,479	75.47	t	-
	石炭系液体油	283,987	278,519	98.07	t	-
	その他高温液体	1,288,933	1,374,447	106.63	t	-
	小計	3,771,829	3,312,445	87.82	t	-
	硫酸	3,083,546	3,005,611	97.47	t	-
	苛性ソーダ	3,704,190	3,773,120	101.86	t	-
	その他化学品	2,150,017	2,281,855	106.13	t	-
	小計	8,937,753	9,060,586	101.37	t	-
	合計	22,626,179	22,348,156	98.77	t	-
	総計	195,391,150	194,786,016	99.69		-

黒油および白油の単位は kl、その他の貨物の単位はトン、総計は比重 1 として計算。

白油輸送量には、石油化学系に用いられる分解ガソリン等石油類似物質等が一部含まれる

(a) 船型別白油輸送量に関する統計量

油槽船船腹量調査のオペレーターアンケート調査によると、平成 15 年における 6 月と 12 月の船型ごとの輸送量は表 18 および表 19 に示すとおりである。白油輸送においては、2,000 kl 搭載と 5,000 kl 搭載の船舶が、その多くを占めており、両者の合計では 66% を占めている(表 17 参照)。また、1 隻あたりの荷待ち日数も 3 日程度と短く、タンクの容量の大きさや使用頻度の両方から、両者の船型クラスが白油輸送の主力となっていることがわかる。

表 17 内航タンカーによる船型ごとの白油輸送量(集約)

積荷	船型	6 月と 12 月の 輸送量合計	船型ごとの 割合
白油船 船腹量 890(千 m^3)	500 kl 積未満	364,184	4%
	500 kl 積	540,868	6%
	1,000 kl 積	499,716	6%
	2,000 kl 積	1,907,040	22%
	3,000 kl 積	981,108	11%
	4,000 kl 積	490,350	6%
	5,000 kl 積以上	3,789,117	44%
	小計	8,572,382	100%

油槽船船腹量調査のオペレーターアンケート調査より作成

表 18 内航タンカーによる船型ごとの輸送量(6月)

積荷	船型	隻数	延航海数	総輸送量 kl	荷待ちおよび 不稼動日数	1隻当たり 荷待ち日数
白油船 船腹量 890(千 m^3)	500kl 積未満	52	932	238,343	373	7.2
	500kl 積	49	754	398,856	343	7.0
	1,000kl 積	29	395	420,131	143	4.9
	2,000kl 積	71	780	1,534,452	227	3.2
	3,000kl 積	27	274	764,635	93	3.4
	4,000kl 積	7	94	383,747	43	6.1
	5,000kl 積以上	86	670	3,349,168	255	3.0
	小計	321	3,899	7,089,332	1,477	4.6
黒油船 506(千 m^3)	500kl 積未満	98	2,079	375,151	472	4.8
	500kl 積	63	1,018	446,053	261	4.1
	1,000kl 積	71	919	851,172	269	3.8
	2,000kl 積	61	580	1,127,642	205	3.4
	3,000kl 積	11	98	270,318	36	3.3
	4,000kl 積	0	0	0	0	0
	5,000kl 積以上	38	364	1,733,979	148	3.9
	小計	342	5,058	4,804,315	1,391	4.1

船種の数値はのベカーゴタンクの体積を示す。

表 19 内航タンカーによる船型ごとの輸送量(12月)

積荷	船型	隻数	延航海数	総輸送量 kl	荷待ちおよび 不稼動日数	1隻当たり 荷待ち日数
白油船 船腹量 890(千 m^3)	500kl 積未満	51	1,275	363,424	193	3.8
	500kl 積	46	1,011	538,482	148	3.2
	1,000kl 積	26	473	497,610	104	4
	2,000kl 積	68	946	1,889,728	164	2.4
	3,000kl 積	29	323	971,899	67	2.3
	4,000kl 積	7	114	490,350	25	3.6
	5,000kl 積以上	89	750	3,752,276	250	2.8
	小計	316	4,892	8,503,769	951	3
黒油船 506(千 m^3)	500kl 積未満	104	2,602	443,190	473	4.5
	500kl 積	55	941	421,804	201	3.7
	1,000kl 積	61	888	865,890	244	4.0
	2,000kl 積	61	646	1,270,066	295	4.8
	3,000kl 積	9	80	190,680	26	2.9
	4,000kl 積	0	0	0	0	0
	5,000kl 積以上	31	292	1,384,464	146	4.7
	小計	321	5,449	4,576,094	1,385	4.3

船種の数値はのベカーゴタンクの体積を示す。

(b) 船型別ケミカル輸送量に関する統計量

ケミカルタンカーの輸送量について、表 20 から表 24 に示した。表 23 によると、BTX(ベンゼン、トルエン、キシレン)を含む上位 10 品目でトンベース輸送量の 63%を占める。このうち、蒸気圧が高く VOC 発生が考えられるのは、キシレン、ベンゼン、メタノールなどごく一部である。既に(a)項で述べたように、ケミカルタンカーでは小口の輸送が多く、表 21 および表 22 に示すように、全体では 1000 kl 積みタンカーでの輸送が半分以上を占めている。表 24 に示すように物質ごとでも大きな相違は見られないが、キシレンでは 1700 kl 以上の輸送も多くなっている。表 24 には、実際に VOC 排出が予想される 35℃付近での蒸気圧が 22 kPa 以上の物質を抽出した。ベンゼン、メタノール、トルエン、ジクロロエタン、アセトンの 5 物質であると予想される。

表 20 ケミカルタンカー輸送量の経年変化

年	年間輸送量 (千トン)
1997年	16,565
1998年	16,108
1999年	16,701
2000年	16,723
2001年	15,950
2002年	15,945
2003年	15,577

表 21 内航タンカーによる船型ごとのケミカル製品輸送量(6月)

船種	船型	隻数	延航海数	総輸送量 KL	荷待ちおよび 不稼動日数	1隻当たり 荷待ち日数
一般 ケミカル船 205(千m ³)	500 kl 積未満	25	230	80,867	135	5.4
	500 kl 積	68	666	289,708	327	4.8
	1,000 kl 積	106	1,041	862,436	501	4.7
	2,000 kl 積	8	79	92,070	37	4.6
	小計	207	2,016	1,325,081	999	4.8

船種の数値はのべカーゴタンクの体積を示す。

表 22 内航タンカーによる船型ごとのケミカル製品輸送量(12月)

船種	船型	隻数	延航海数	総輸送量 kL	荷待ちおよび 不稼動日数	1隻当たり 荷待ち日数
一般 ケミカル船 205(千 m ³)	500 kl 積未満	19	220	67,917	101	5.3
	500 kl 積	73	723	325,375	261	3.6
	1,000 kl 積	116	1,274	1,078,346	353	3.0
	2,000 kl 積	7	67	103,806	36	5.1
	小計	215	2,284	1,575,444	751	3.5

船種の数値はのべカーゴタンクの体積を示す。

表 23 ケミカルタンカー輸送量の物質別内訳(2003年1~12月)

No.	品名	輸送量		航海数		VOCの発生が 予想される物質
1	キシレン	2,511,415	17.3%	2,547		×
2	ベンゼン	1,779,155	12.3%	2,093		○
3	スチレン	1,321,313	9.1%	1,511		×
4	メタノール	720,274	5.0%	1,255		○
5	コールタール	663,249	4.6%	737		×
6	トルエン	616,006	4.2%	1,084		○
7	シクロヘキサノン	504,487	3.5%	725		△
8	クレオソート	434,040	3.0%	859		×
9	アクリロニトリル	363,449	2.5%	746		△
10	ブタノール	283,676	2.0%	421		△
	上位10品目	9,197,064	63.4%	11,978	53.3%	
11	メタクリル酸メチル	282,951	1.9%	633		△
12	酢酸	225,654	1.6%	367		×
13	ジクロロエタン	221,656	1.5%	389		○
14	アセトン	208,325	1.4%	266		○
15	エチレングリコール	207,630	1.4%	380		×
16	酢酸ビニル	191,730	1.3%	376		×
17	水酸化カリウム溶液	178,692	1.2%	338		×
18	フェノール	164,450	1.1%	122		×
19	エタノール	158,033	1.1%	446		△
20	クメン	151,192	1.0%	205		×
	上位11~20品目	1,990,313	13.7%	3,522	15.7%	
	その他141品目	2,256,897	15.6%	4,987	22.2%	
	品目コードにないもの	1,066,529	7.3%	1,973	8.8%	
	調査回答合計	14,510,803	100.0%	22,460	100.0%	

2004年3月、ケミカル輸送実態調査より作成

VOCの発生が予測される物質、○はリード蒸気圧または37.8℃における蒸気圧が20 kPa以上、△は20 kPa以下、×は水溶液または蒸気圧が1以下のもの。

表 24 ケミカルタンカー輸送量の物質ごとと船型ごとの内訳

品目	船型(kl)	～500	500～ 750	750～ 1400	1400～ 1700	1700～	合計
キシレン	輸送数量	8,493	160,180	1,048,649	246,000	1,048,093	2,511,415
	総航海数	33	401	1,145	246	722	2,547
	積載率	63.91	60.00	71.97	63.19	70.20	69.38
ベンゼン	輸送数量	26,542	111,528	1,370,617	49,383	221,085	1,779,155
	総航海数	108	246	1,520	54	165	2,093
	積載率	77.03	70.56	71.62	59.98	62.88	70.04
スチレン	輸送数量	8,048	83,243	1,005,615	7,600	216,807	1,321,313
	総航海数	23	190	1,157	7	134	1,511
	積載率	87.23	66.44	69.30	67.27	73.96	69.91
品名のないもの	輸送数量	82,984	218,675	628,349	119,010	17,511	1,066,529
	総航海数	287	553	953	127	19	1,939
	積載率	78.50	63.36	54.43	59.75	48.53	57.95
メタノール	輸送数量	18,417	193,052	478,597		30,208	720,274
	総航海数	73	479	672		31	1,255
	積載率	63.78	60.65	62.10		48.25	61.02
コールタール	輸送数量	3,170	16,187	407,790	236,102		663,249
	総航海数	11	54	450	222		737
	積載率	72.05	49.96	78.30	71.57		74.73
トルエン	輸送数量	19,662	149,520	435,702	4,000	7,122	616,006
	総航海数	70	408	593	5	8	1,084
	積載率	69.30	55.77	59.88	49.57	39.17	58.65
シクロ ヘキサノン	輸送数量	3,671	84,329	340,471	11,015	65,001	504,487
	総航海数	13	200	450	12	50	725
	積載率	66.72	64.40	59.62	56.87	59.48	60.33
クレオソート	輸送数量	49,905	10,065	284,588	89,482		434,040
	総航海数	138	41	460	220		859
	積載率	90.41	40.91	53.39	27.40		46.20
アクリロ ニトリル	輸送数量	50,032	59,299	216,648	37,470		363,449
	総航海数	163	176	369	38		746
	積載率	73.88	54.02	50.62	61.63		54.55
ブタノール	輸送数量	3,000	33,458	171,399	61,680	14,139	283,676
	総航海数	15	96	231	66	13	421
	積載率	50.65	51.88	60.67	58.41	49.32	58.23
メタクリル酸 メチル	輸送数量	3,012	79,300	197,539	3,100		282,951
	総航海数	10	207	358	5		580
	積載率	72.07	60.65	46.36	38.61		49.72

ケミカル輸送実態調査より作成

船型クラスはタンク容量(kl)、輸送数量はトン。

「品名のないもの」は、予め選出した品目名リストにない貨物種の総計を示している。未査定物質の輸送量とは異なる。

2.2.3 輸送オペレーション

(1) 輸送オペレーションに関する聞き取り調査結果

オペレーターに対する聞き取りにより以下の実態が把握できた。

- ①ガスフリー作業は基本的にはサイトの指示に従って実施される。このため、同一荷種(前航海、次航海ともにガソリンが積み荷など)であっても、ガスフリー作業を実施する場合がある。実施要請は陸上の後背地に対する悪臭防止の観点から行われている場合が多いようである。また、積み荷が異なる場合(前航海荷種がガソリンであり今航海の荷種が軽油の場合など)は必ず実施されている。
- ②ナフサの荷積み作業では、既にベイパーリターンが実施されており、白油タンカーにおいては、ほとんどの船舶でベイパーリターン系のガスラインを使用した経験を有すると思われる。このため、専用のフランジが用意されており、取り外しも可能な状態にある船舶がほとんどである。ただし、今後規制が開始されれば、毎回接続が必要となるため、フランジの軽量化や、取り外し用のバーの設置が必要となる。
- ③油槽所によって、荷揚げ速度に制限があり、タンカーのカーゴポンプ定格値で作動していない場合がある。
- ④ケミカルタンカーでは、タンク容量いっぱいの荷を積むことは少なく、500 kl タンクの半分程度の積み荷で運航を行うことも多くある。
- ⑤油面計が設置されている船舶では、基本的に検量は油面計の数値を基に算定されるべきであるが、ケミカル、白油ともに、荷主からのリクエストによりハッチを開放した上での検量も同時に行われる場合がある。

以上のことから、白油、ケミカルともに内航タンカーについては、ベイパーリターンのために ISOGOTT (OCIMF)規格に基づくリターンバルブおよびデフューザーが設置されているものと考えられる。一方、外航の原油、プロダクトおよびケミカルタンカーに対しては、リターンバルブが設置されている例はきわめて少ない。このため、内航タンカーについては、使用の経験もあることから、陸上側の施設整備が行われれば、実施に際しての問題は大きくないと考えられる。

また、現在同一荷種が搭載される場合にも実施されているガスフリー作業も、VOC 処理が実施されれば省略できる可能性もあり、むしろ省力化に進む可能性もある。ガスフリー作業の頻度が高くなれば、東京湾や大阪湾など比較的狭い海域から海上での放出量が大幅に大きくなる可能性もあることから、その頻度については実態を把握する必要があると考えられる。



図 19 ベイパーリターン用パイプ(2,000kl 積みタンカーの例)



図 20 ベイパーリターン用パイプ(1,000kl 積みタンカーの例)

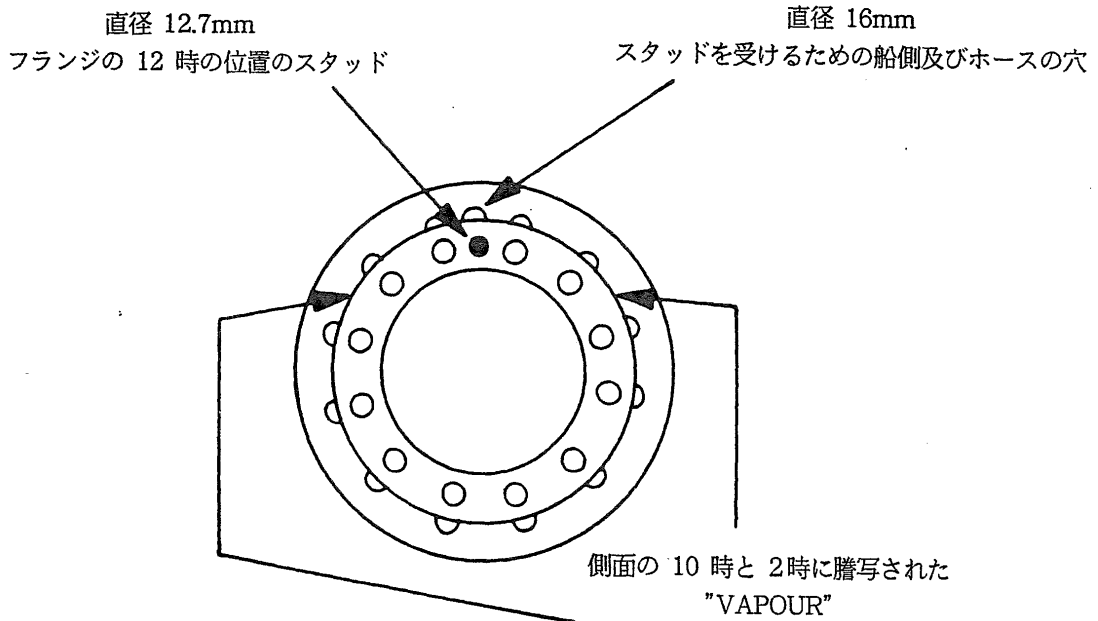
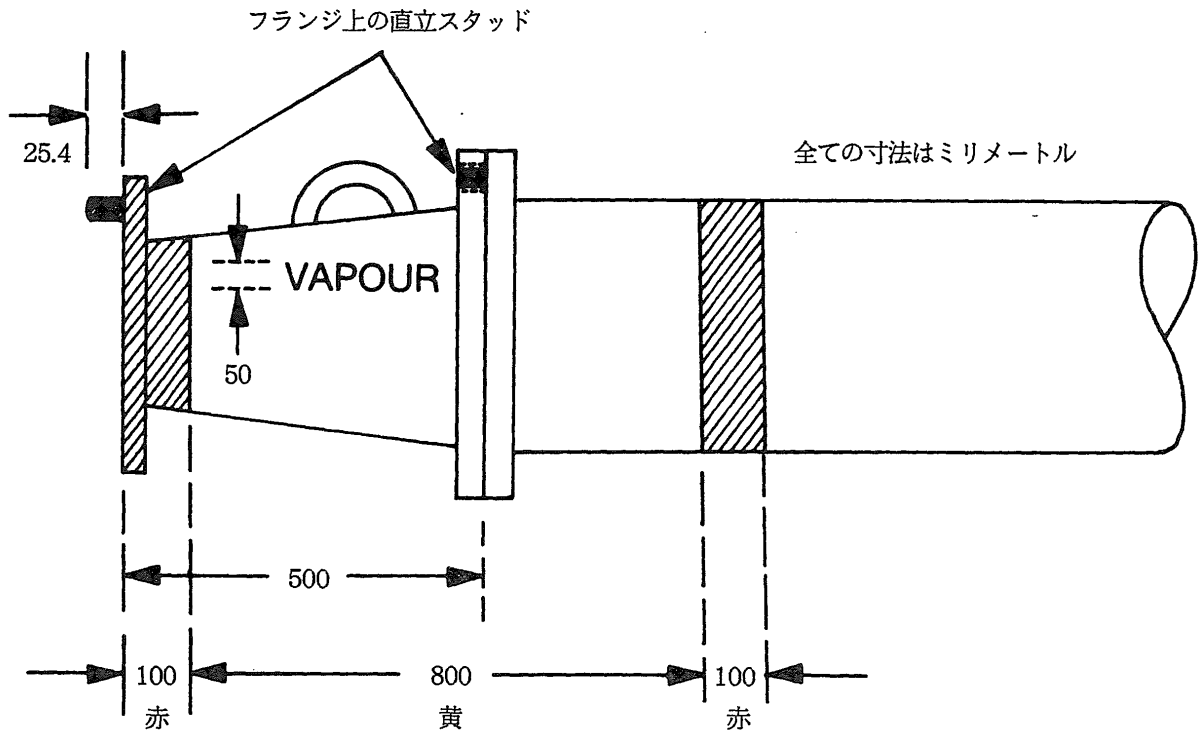


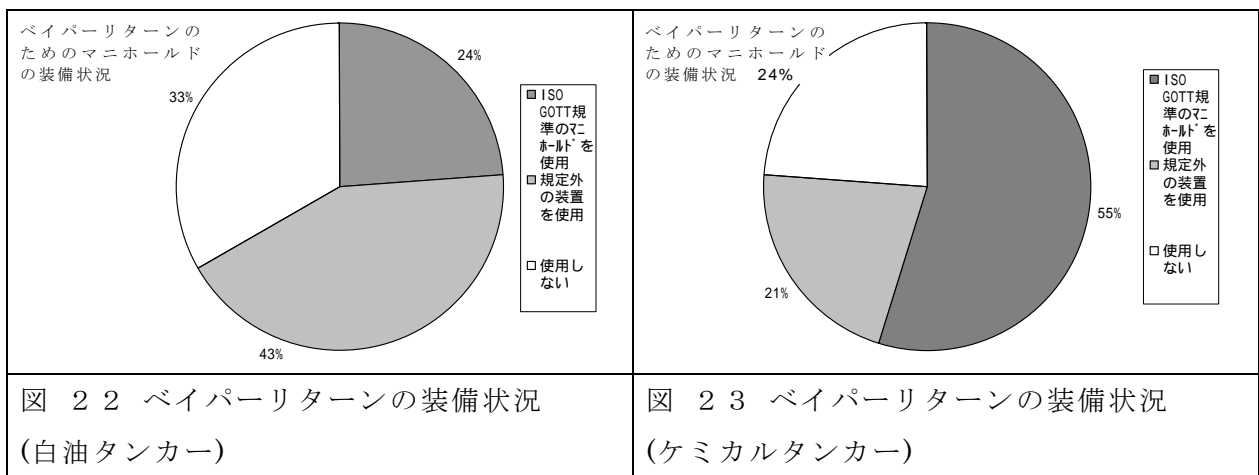
図 2 1 ベイパーリターン用パイプの規格 (ISOGOTT 規格)

(2) アンケート調査結果

(1)に基づき、内航タンカーを対象にして、アンケート調査を全隻対象に実施したアンケート票を巻末参考資料に示す。白油タンカー400隻のうち117隻、ケミカルタンカー196隻のうち40隻からの回答があった。

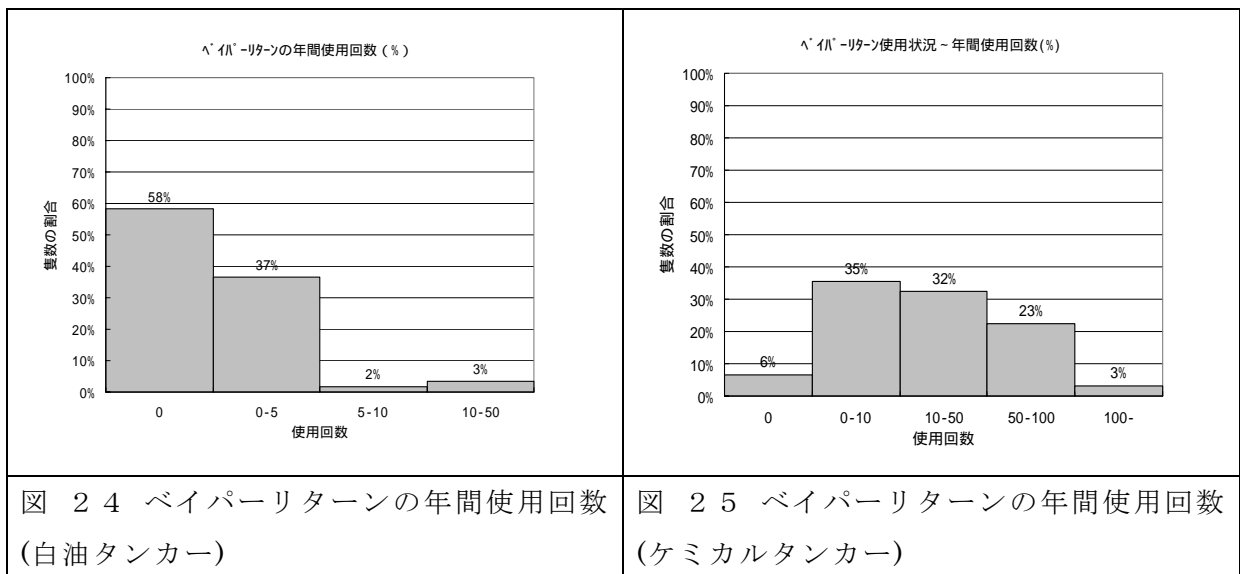
(a) ベイパーリターン装置の装備状況

図21に示したISOGOTT規格のガスリターン系およびマニホールドおよび規格外のガスリターン系装置を装備している船舶の割合を図22および図23に示した。それぞれ、70%程度および75%程度のタンカーはガスリターン系を装備している。将来的には、マニホールド部の変更など小規模な改造で対応できるものと考えられる。



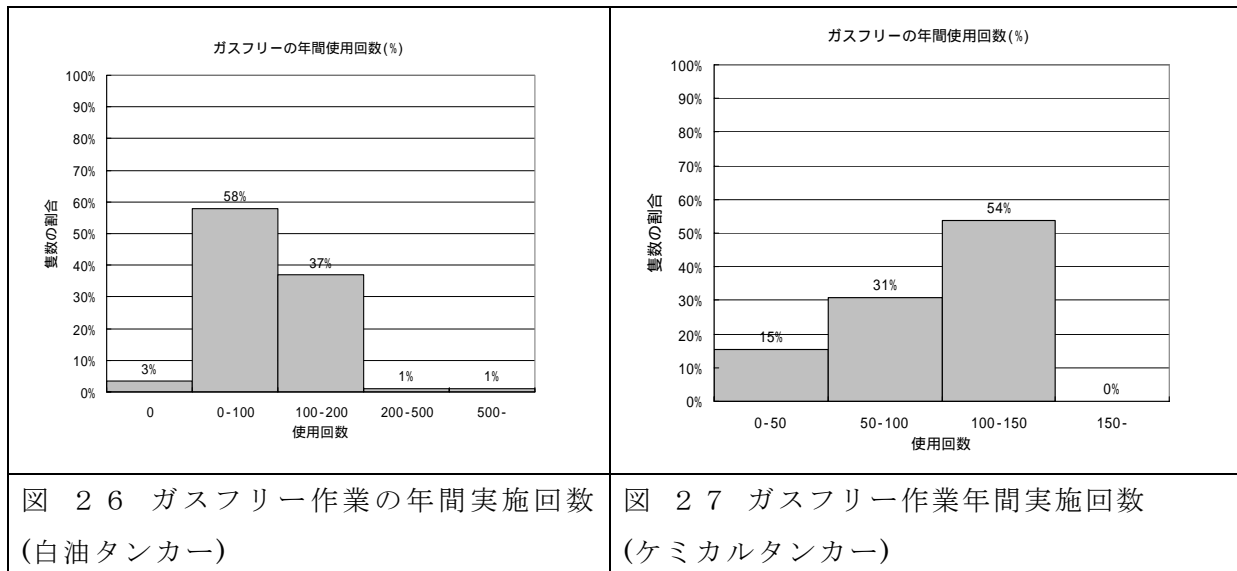
(b) ベイパーリターン作業の実施状況

ベイパーリターン装置を用いて、ガスリターン作業を実施した年間回数を図24および図25に示した。白油タンカーでは、60%程度が使用経験を有していないが、有害物質などを用いるケミカルタンカーでは、90%以上のタンカーが使用経験を有していることがわかる。



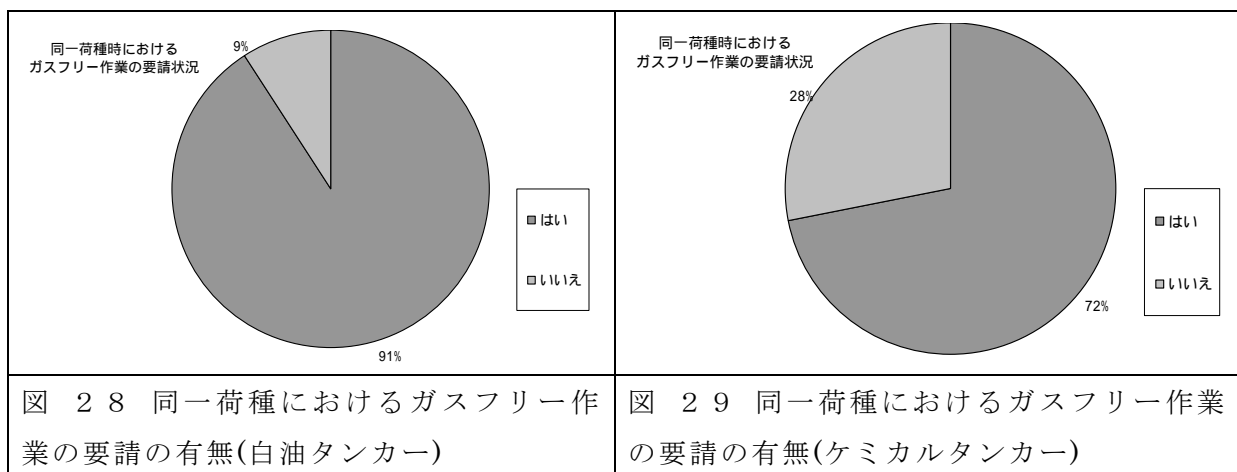
(c) ガスフリー作業の実施状況

ガスフリー作業の実施状況として、年間のガスフリー実施回数を図 26 および図 27 に示した。白油タンカーは年間 100 回までのガスフリー作業を実施しており、ケミカルタンカーではそれよりやや多い 150 回までの作業を実施している。両者の差異は、全く異なる荷種を航海ごとに運搬するケミカルタンカーの実態を表していると考えられる。



(d) ガスフリー作業の要請状況

荷主サイドからの、同じ荷種であってもガスフリー作業の要請の有無を尋ねた。多くの船舶は要請を受けた経験があり、特にガソリンについては VOC 対策を考慮した総合的な判断と統一基準を今後制定することも考えられる。



(e) タンク容量に対する荷積み量の状況

スペック上の満載タンク容量に対して、どの程度の燃料量を運搬することが多いか、年間に最も荷積みを行う事業所での年間平均荷積み量を訊ねた。白油タンカーでは、80%以上のタンクを満載にしていることが多いのに対して、ケミカルタンカーでは 60%以上が最頻値となっており、聞き取り調査で得られたタンクを満載にしないで運搬する小口輸送が多いことが裏付けられた。

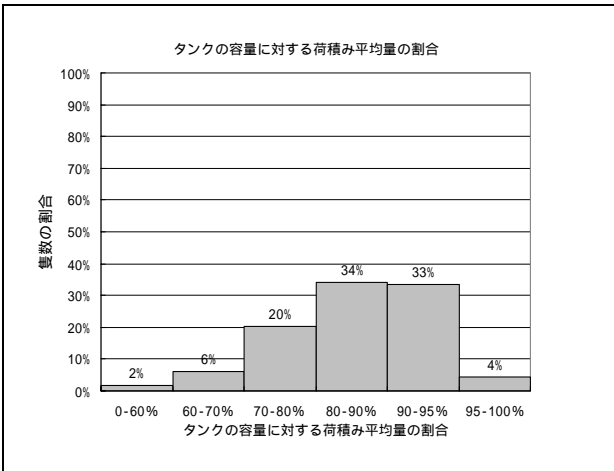


図 30 タンク容量に対する年間平均荷積み量の割合(白油タンカー)

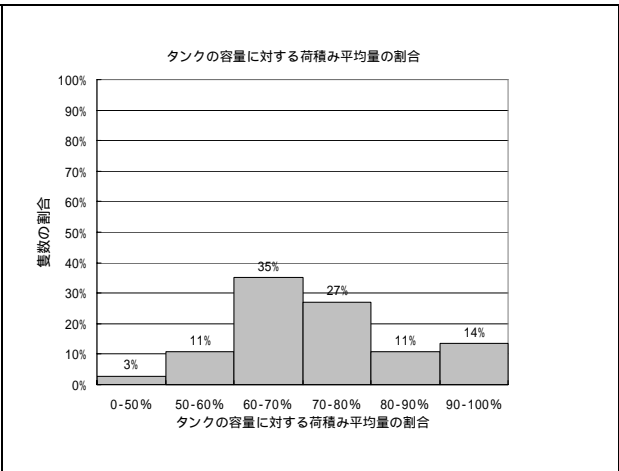


図 31 タンク容量に対する年間平均荷積み量の割合(ケミカルタンカー)

(f) 荷役速度の状況

荷積みと荷揚げのそれぞれの荷役速度を訊ねた。ガソリンは500-1000 kl/時間が荷揚げ荷積みとも最も多く、ケミカルタンカーでは荷役装置が小型なこともあり、100-200kl/時間の速度が多くなっている。

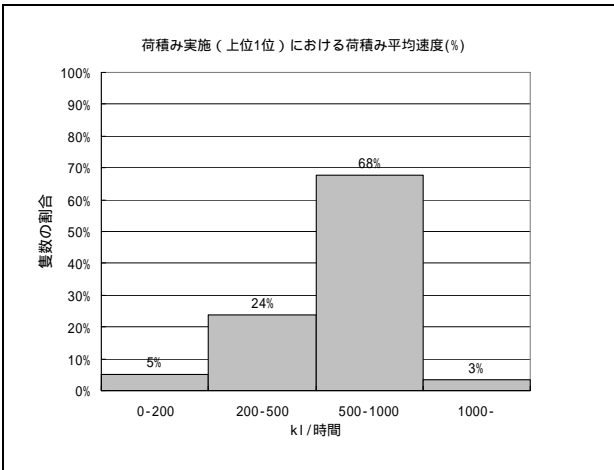


図 32 荷積み時の平均荷役速度(白油タンカー)

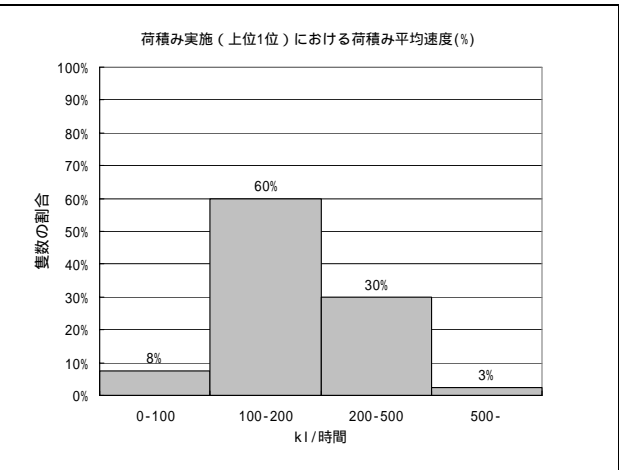


図 33 荷積み時の平均荷役速度(ケミカルタンカー)

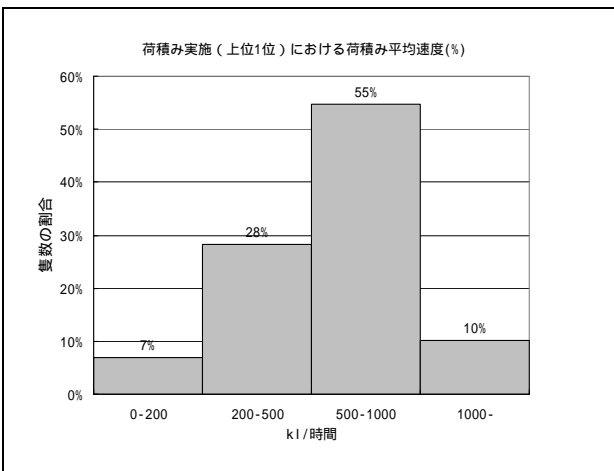


図 34 荷揚げ時の平均荷役速度(白油タンカー)

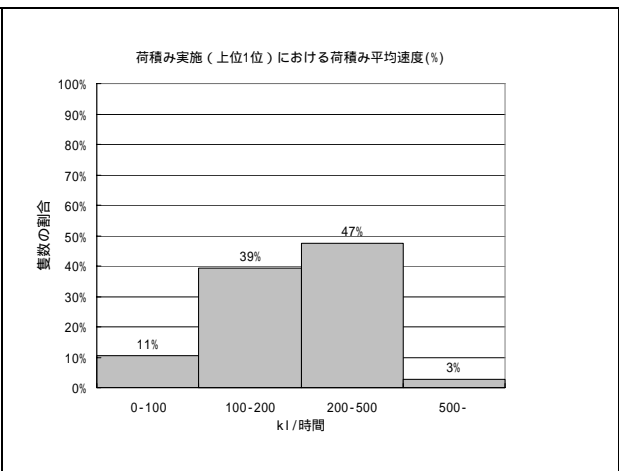


図 35 荷揚げ時の平均荷役速度(ケミカルタンカー)

2.3 VOC 発生量に関する試算

統計量に基づく荷種ごとの輸送量および荷種ごとの排出係数から、VOC 排出量を算定した結果を表 25 に示した。船舶全体からの排出量は 1.1 万トンであり、これは陸上からの排出量約 150 万トンの 0.8% に当たる。

また、ガソリンスタンドおよび製油所からの排出量と、船舶による燃料輸送の排出量と比較すると後者は前者の 12% に当たる。

表 25 平成 15 年における船舶からの VOC 排出量

		輸送量ト	排出係数 kg/t	排出量 Mt/年	備考
ガソリン	<1000	3,855,707	0.086	332	油槽船舶腹量調査のオペレーターアンケート調査より推定。 RVP>20kPa以上の荷種のみを選定。
	1000	19,673,155	0.122	2,400	
原油		33,960,076	0.14	4,754	港湾統計の移出量(国内輸送)
ケミカル					油槽船舶腹量調査のオペレーターアンケート調査より推定。 RVP>20kPa以上の荷種のみを選定。
ベンゼン		1,559,429	0.011	19	
メタノール		571,177	0.006	3	
トルエン		534,016	0.004	2	
ジクロロエタン		277,070	0.016	7	
アセトン		164,785	0.023	4	
機関からの排出		7,280,000	1.9	3,832	内航船、外航船のみ燃料使用量は1996年推定値
船舶からの排出量 合計				11,353	
(参考)					
陸上からの排出量				1,504,164	
うち燃料経由				59,560	油槽所、製油所およびガソリンスタンドからの排出を含む。

陸上からの排出は、社団法人 環境情報科学センター平成 14 年度揮発性有機化合物(VOC)排出に関する調査報告書～VOC 排出インベントリ～より作成。

2.4 船舶及び陸上からの VOC 排出に対する対策動向調査

文献調査などにより船舶および陸上からの VOC 対策に関する情報を収集整理した。

IMO では、MARPOL 73/78 条約VI附属書は 2005 年 5 月 19 日に発効する。IMO 事務局に聞き取りを行ったところ、条約に基づき VOC 規制港湾の指定を通告してきた国は現時点ではないとのことだった。つまり、現時点では以下に示す規制港においても、規制対象は条約の対象外となる内航船を中心に行われているものと考えられる。諸外国において、海上の石油タンクに限らず、受入ロスによる VOC 発生に対する対策を行っている例を表 26 に示した。陸上船舶を問わず、受入ロスに関しては、ガソリンおよび原油などリード蒸気圧が高い燃料種を中心に既に対策が行われている。特に米国においては、日本と同様にオキシダントの大気環境状況が劣悪であるカリフォルニア州および製油所が多く存在し、船舶への荷積みの盛んなテキサス州において、既に船舶に対する VOC 対策が行われている。

機器メーカーへの聞き取りによれば、米国西海岸を中心に、60 基程度の VOC 処理装置が現在設置稼動しており、主に燃焼処理装置が占めている。また、ガスフリー作業用に可搬式の処理装置も実用化されている(図 36 参照)。

また、欧州においては Council Directive 94/63/EC に基づき、内航船を荷役対象とした出荷施設に対して既に規制が行われている。また、北海周辺を中心に国内法においては外航タンカーを規制対象にする法案が既に整備されている。

特に EU については、現在 MARPOL 73/78 条約より厳しい SO_x 対策案が船舶に対して提案されており、さらに荷役時に発生する VOC についても 2005 年までに対策を提案するとされているが、EU 担当者への聞き取りによれば、SO_x 規制内容が決まるまでは、VOC 規制案の公表はなされない模様である。

大型ディーゼル機関の排出ガスに関しては、米国 EPA の CFR などにおいて、NO_x+HC を一つの排出指標として取り扱う考え方が、小型機関から適用されつつあり、40CFR PART 94 においてシリンダー当たり 30 リットル未満の中小型機関については、HC 対策が実際に導入されている。2007 年に対策値案が公表される予定の大型機関についても同様の HC 対策がかけられるものと考えられる。この規制にあわせて、従来は実態が把握されていない船舶機関、特に低質燃料使用時におけるメタンを含めた VOC 排出レベルに関する情報が増加することが期待できる。



図 36 ふ頭に設置された VOC 処理装置(米国 John Zink 社)

表 26 燃料出荷施設に対する各国の VOC 規制内容

国及び地域	船舶への荷役作業が規制対象	規制対象 (対象施設および対象燃料の除外規定)	規制内容	IMO MARPOL 附属書VIとの関係
米国連邦 (NSPS,40CFR Part 60. Subpart XX Standards of Performance for Bulk Gasoline Terminals)	×	全米。ガソリンタンクローリー(タンクローリー車)に対し、ガソリンのばら積み供給作業を行う施設(ガソリン出荷量が 75,700 リットル/日以上)のガソリンの規定は ASTM による。	a)タンクローリー車の受け入れロスを回収する装置を施設側に設置していること。(b)回収装置からの大気排出量は 35mg TOC/ガソリン供給 1 (TOC;Total Organic Carbon ガソリンの場合 VOC と同意) (c)既設は 80mg/l)(d)回収装置が作動中に他の供給ラインからの漏れがないこと(e) タンクローリー車に搭載されたタンクにおいて、急激な内部圧力変化(5 分間で 750 から 4,500Pa まで変化)を与えた場合に、タンクからの漏洩がないこと。(f)回収装置に適したタンクローリーに対してのみ燃料供給を行うこと。	国内陸上施設のため必要なし。
米国連邦 (NSPS,40CFR Part 68.410)	○	全米。有害大気汚染物質(BTX、イソオクタンなどの)の大気への排出量が、1ty 以上ある新規海上出荷施設。	MACT(Maximum Available Controll technology 最大限実施可能な汚染防止技術)を定める。具体的な条件としては、ターミナル全体で平均 93%の排出削減か、98%以上の削減効果のある燃焼装置もしくは 95%以上の回収効率(もしくは排気中のガソリン蒸気が 1000ppm 以下)の回収装置を設置。	米国は VI 附属書を批准していない(2005 年 1 月現在)
米国カリフォルニア州 BAAQMD (REGULATION 8,RULE 44)	○	石油系燃料(ガソリン、ガソリン系燃料、航空ガソリン、原油)の荷役のみが対象。年間の荷役量が 159,000m ³ 未満のふ頭および全てのふ頭における一回当たりの 159m ³ 未満の荷役作業は除外。	以下の 2 点のいずれかを満たさない限りタンカーへの荷役ができない。 (1)大気への放出量を 5.7g/m ³ 荷役量を超えないこと、(2)大気へ放出される VOC 量を最低 95%以上削減すること。	米国は VI 附属書を批准していない(2005 年 1 月現在)
米国カリフォルニア州 SCAQMD (RULE 1142)	○	石油系燃料(ガソリン、ガソリン系燃料、航空ガソリン、原油)の荷役のみが対象。ふ頭の取扱量による除外規定はなし、前面海域(港湾区域より広い)内の海上における全ての排出が対象(海域内であればガスフリー作業やナーディング作業も対象と明記)	以下の 2 点のいずれかを満たさない限りタンカーへの荷役ができない。 (1)大気への放出量を 5.7g/m ³ 荷役量を超えないこと、(2)大気へ放出される VOC 量を最低 95%以上削減すること。	米国は VI 附属書を批准していない(2005 年 1 月現在)

国及び地域	船舶への荷役作業が規制対象	規制対象 (対象施設および対象燃料の除外規定)	規制内容	IMO MARPOL 附属書VIとの関係
米国テキサス州 Texas Administrative Code Title30, Part1, Capter115, SubchapterF	○	Beaumont/Port Arthur, Dallas/Fort Worth, El Paso, and Houston/Galveston 地域内のふ頭(陸上の100万ガロン未満のタンクおよび42万ガロン未満の積載量を持つタンカーへの荷役は除外)。 船舶の規定はガソリンのみが対象。	船舶のタンクに対してガソリンの荷役を行う場合、陸上タンクへのバイパーリターンを設置し、確実に接続しなければいけない。 90%以上の削減率を持つ VOC 処理装置を通さない限り VOC を大気中に排出できない 蒸気回収系を設け、下記の汚染防止施設の中の1つに接続すること。 1. ボイラ又は加熱炉の燃焼室 2. 汚染防止設備を有するタンク 3. 揮発性有機化合物の削減率(R)が90%以上又は排出濃度(C)が200ppm以下の汚染防止設備	米国はVI附属書を批准していない(2005年1月現在)
台湾 大気汚染防止法令 39条	○	揮発性有機化合物の重量百分率が10%以上の液体 (年間の積出し量が1,500m ³ 未満のもの、また年間の積出し量が10,000m ³ 未満の積込みと積出し操作時の実蒸気圧が210mmHg未満のものは除外)	蒸気回収系を設け、下記の汚染防止施設の中の1つに接続すること。 1. ボイラ又は加熱炉の燃焼室 2. 汚染防止設備を有するタンク 3. 揮発性有機化合物の削減率(R)が90%以上又は排出濃度(C)が200ppm以下の汚染防止設備	IMO など国連機関への加盟をしていない
韓国	×	貯油所(出荷施設)は全て対象。 原油、ガソリン、ナフサが、VOCとして規定されている	リーク率での規定(貯蔵量の0.5%以下荷役量の2%以下とする)および施設要件がある。	韓国はVI附属書を批准していない(2005年1月現在)
EU Council Directive 94/63/EC	○	リード蒸気圧が27.6kPa以上の石油から製造される自動車燃料として用いられる液体燃料(LPGを除く)を取り扱う荷役施設 船舶の規制対象は河川など内陸水面を航行する船舶(Council Directive 82/714/EECにおいて定義される inland waterway vessel)。船舶向け出荷施設のうち、規制対象は、取扱量25 000 t/year以上の施設のみ。	燃焼装置からの排出量は35g/Nm ³ を超えないこと。 オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイスランド、アイルランド、イタリア、リヒテンシュタイン、ルクセンブルク、ネザール、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、イギリスにおいて、同指令に基づき国内法が立法化されている。また、同EU指令の規制を上乗せ規制として、イギリス、ノルウェーのように、左記規制対象船舶以外(international vessel)に拡大している国もある。	EU 諸国のうちキプロス、デンマーク、ドイツ、ギリシャ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、イギリスが2005年1月現在批准しているが、VOC規制港指定の通告は、2004年12月段階でなし。

国及び地域	船舶への荷役作業が規制対象	規制対象 (対象施設および対象燃料の除外規定)	規制内容	IMO MARPOL 附属書VIとの関係
EU Council Directive 1999/13/EC	×	- (石油類貯蔵施設は規制対象外)	-	国内陸上施設のため関係なし。
日本 大気汚染防止法の改正	×	揮発性の気体を発生させる発生源は全て規制対象となる方向で検討が進められており、陸上の貯蔵施設は規制対象となる模様。	一定規模以上の貯蔵施設に対して濃度規制が想定される。	国内陸上施設のため関係なし。
日本 海防法の改正	○	揮発性物質放出規制港湾として指定を受けた港湾における荷役。燃料種、総トン数などの対象区分は未定であるが、外航船が対象になると予想される。	放出防止設備の設置(具体的な内容については未定)	批准済み
日本 神奈川県生活環境の保全等に関する条例	×	タンク車又はタンクローリーに、原油、揮発油、ナフサを給油する油槽所(貯蔵施設)の容量が合計で 1,000 キロリットル以上であるものに限る。)又は製油所に設置される出荷施設に限る。	炭化水素系物質の排出口における濃度が 8vol%以下、またはベーパー除去率が 80%以上である排出防止装置の設置。	国内陸上施設のため関係なし。
大阪府生活環境の保全等に関する条例	×	タンク車又はタンクローリーに対するガソリン出荷施設。	薬液による吸収式処理装置またはこれと同等以上の性能を有する処理装置を設置し、適正に稼働させること。	国内陸上施設のため関係なし。
京都府環境を守り育てる条例	×	タンクローリーにガソリンを積み込む出荷施設	タンクローリーと直結するベーパーリターン装置の設置もしくはベーパー処理装置の設置	国内陸上施設のため関係なし。
大分県生活環境の保全等に関する条例	×	タンクローリーに対する揮発油出荷施設。	炭化水素系物質の排出口における濃度が 8vol%以下、またはベーパー除去率が 80%以上である排出防止装置の設置。	国内陸上施設のため関係なし。
横浜市	×	車両への炭化水素系物質の最大出荷量が 0.54 kl/日以上の出荷施設。	炭化水素系物質の排出口における濃度が 5vol%以下、またはベーパー除去率が 90%以上である排出防止装置の設置。	国内陸上施設のため関係なし。

米国 EPA ホームページ、英国 EHSNI ホームページ、EU の環境関連ホームページ、環境省資料などから作成。

2.5 船舶からの VOC 排出対策技術の動向調査

2.5.1 船舶 VOC に関する排出対策技術

文献などより、船舶からの VOC 排出対策の動向について情報を収集整理した。VOC の排出対策には、VOC 回収および VOC 処理過程が含まれる。燃料中の蒸散の回収には、燃料が当初積載されていた空タンクあるいは処理装置に、VOC を導入するベイパーリターン装置またはパイプが用いられることが一般である。

船舶においては、回収された VOC を含むガスはボイラーと同じ構造をもつ装置で燃焼されることが多い。ベイパーリターンパイプより導かれた VOC は少量の油からなる助燃剤と空気とともに燃焼され、無害な二酸化炭素および水となって大気に放出される。ただし、欧州においては、PSA(Pressure Swing Adsorption)方式を用いたガソリン回収装置に接続可能なガソリン出荷ふ頭が 150 ヶ所以上あり、経済的にも出荷量ベースで年間に 0.5%程度の回収ができるため、EU の金利および焼却年数の条件下において、15 年で初期コストを回収できるとしているレポートもある。

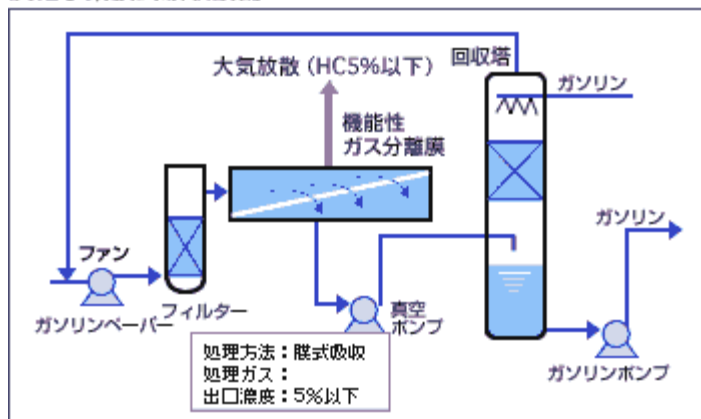
また、我が国においては一部のふ頭において地方自治体からの要請により、タンクローリー車への出荷施設において膜分離法が、ベンゼンの積み荷ふ頭において溶剤回収法が採用された例があるが、現時点ではコスト高と考えられる(図 37 参照)。

ガスフリー作業など海上での排出に適用できる対策技術は現時点では、存在しないと考えられる。(独)海上技術安全研究所では、船員への暴露防止を目的に船舶に搭載可能な VOC 処理装置を開発中であり、今後の動向が注目される。

船舶排ガス中に含まれる VOC を削減は、NO_x、SO_x 対策に比較して重視されていない。また、船舶に搭載された機関は、自動車用機関などに比較して低速であり、かつ負荷変動が穏やかなことから、VOC 濃度は低いこともその原因であると考えられる。このため、VOC 排出濃度削減を主目的とした対策技術は現時点ではないと言える。ただし、低 NO_x 化のためのスワール発生や燃料噴霧の均一化などの燃焼技術は、初期燃焼雰囲気平均化されるため NO_x 濃度の低下とともに、VOC 濃度の低下もある程度は期待できると考えられる。ただし、ディーゼル噴霧の場合、予混合燃焼後の定常状態における VOC 発生量もあると考えられ、低 NO_x 技術は VOC 濃度に及ぼす影響については今後注意をしていく必要があると考えられる。

根岸製油所では、光化学オキシダント原因物質の1つとされている炭化水素について、タンクローリーやタンク車の出荷設備に炭化水素回収設備を設置し、排出抑制をおこなっています。下のフロー図および写真は、平成10年に完成した膜分離方式の最新装置で、排出ガス中の炭化水素濃度は県条例(8%以下)、横浜市指導値(5%以下)に比べ、さらに低い排出値(1%以下)となっています。

炭化水素膜式吸収設備



神奈川県生活環境の保全等に関する条例(平成13年4月1日施行)第二十五条(1)ウにおいて、タンク車又はタンクローリーに原油、揮発油、ナフサ給油する油槽所(貯蔵施設の容量が合計で1,000キロリットル以上であるものに限る。又は製油所に設置される出荷施設に限る。)において、炭化水素系物質の排出口における濃度が8容量パーセント以下である排出防止装置又は炭化水素系物質の除去率が温度20度において80パーセント以上である排出防止装置を設置すること。

横浜市横浜市生活環境の保全等に関する条例(平成14年12月25日条例第58号)第6章 特定行為の制限等 第2節 炭化水素系物質を使用する作業の制限等(炭化水素系物質の発散の防止の設備)

第48条 「炭化水素系物質を車両(交通安全対策基本法(昭和45年法律第110号)第2条第2号に規定する車両をいう。以下同じ。)で規則で定めるものにより運搬する事業者は、当該車両に係る積卸しの作業の際における当該物質の発散の防止に必要な設備で規則で定めるものを当該車両に設けなければならない。」 出荷施設の排出濃度に関する指導値は当初8%、その後5%に変更された。

図 37 陸上のタンクローリー用出荷施設に設置された VOC 回収装置の例
(新日本石油根岸製油所 HP より)

2.5.1 陸上における VOC 排出対策技術

陸上における VOC 処理技術として、環境省資料などにおいては①冷却凝集法、②直接燃焼法、③触媒燃焼法、④蓄熱燃焼法、⑤溶剤回収法、⑥膜分離法、⑦吸着法があげられている。

(1) 冷却凝縮法の特徴

冷却凝縮法とは、冷却装置(以下「冷却回収装置」と言う。)に VOC を含む排ガスを通すことにより、露点以下に冷却して VOC を回収する方法である。単一の VOC が使用されており、排ガス風量が少なく、VOC 濃度が高い場合に適用されることが多い。冷却回収装置の特徴を表 27 示す。

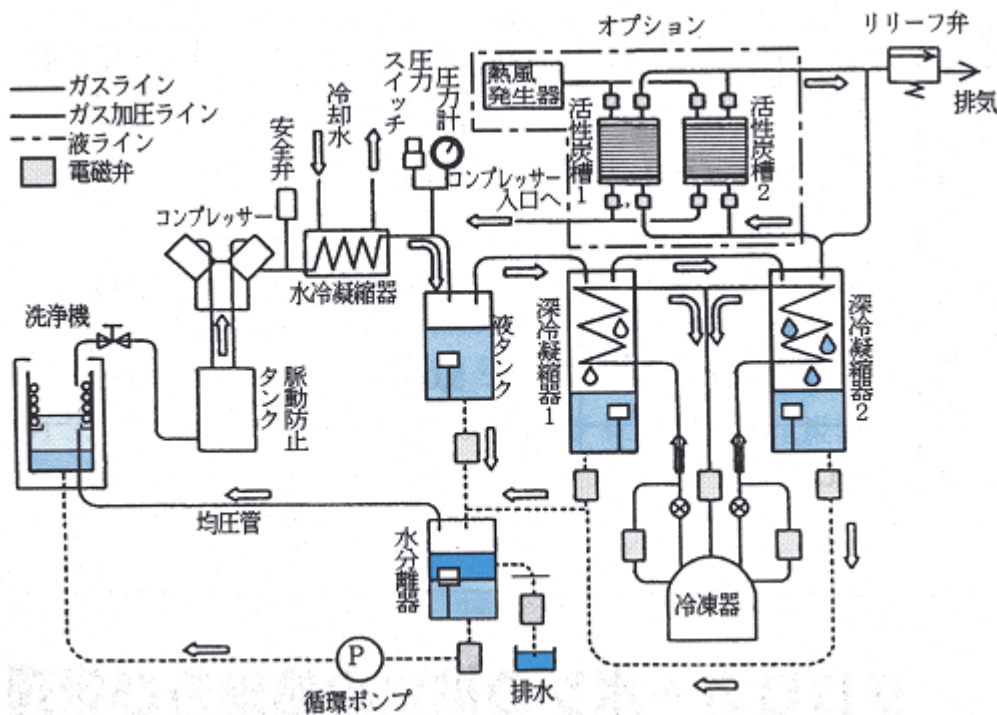
除去効率は他の方法に比べて高くないが、非常に高濃度の物質の除去には有効である。排ガスから回収した物質を再利用する目的で行われることがあり、再利用する場合は、回収後に蒸留などの処理を行うこともある。

ガソリンベーパーに使用する場合は、圧縮深冷凝縮法が実用的である。海外では適用事例があるが国内では陸上向け出荷施設を含めて例がない。

表 27 冷却回収装置の特徴

冷却方式	特徴
単純冷却法 (Chilled liquid ABSORPTION)	VOC を冷却して液化回収する方法。 大気圧下で処理後の出口濃度を 50ppm 以下にするには、トリクロロエチレンで約-80℃まで冷却する必要がある。
圧縮深冷凝縮法 (CRYOGENIC CONDENSATION)	加圧下で VOC を冷却して回収する方法。 ガスの吸引方法を工夫することで、トリクロロエチレンで-30℃程度まで冷却すれば、出口濃度を 50ppm 以下が達成できる。

資料：「クロロカーボン適正使用ハンドブック」(平成 12 年 9 月、クロロカーボン衛生協会)に基づいて作成した。



出典：「クロロカーボン適正使用ハンドブック」(平成 12 年 9 月、クロロカーボン衛生協会)

図 38 圧縮深冷凝縮法による冷却回収装置の例

(2) 直接燃焼法の特徴

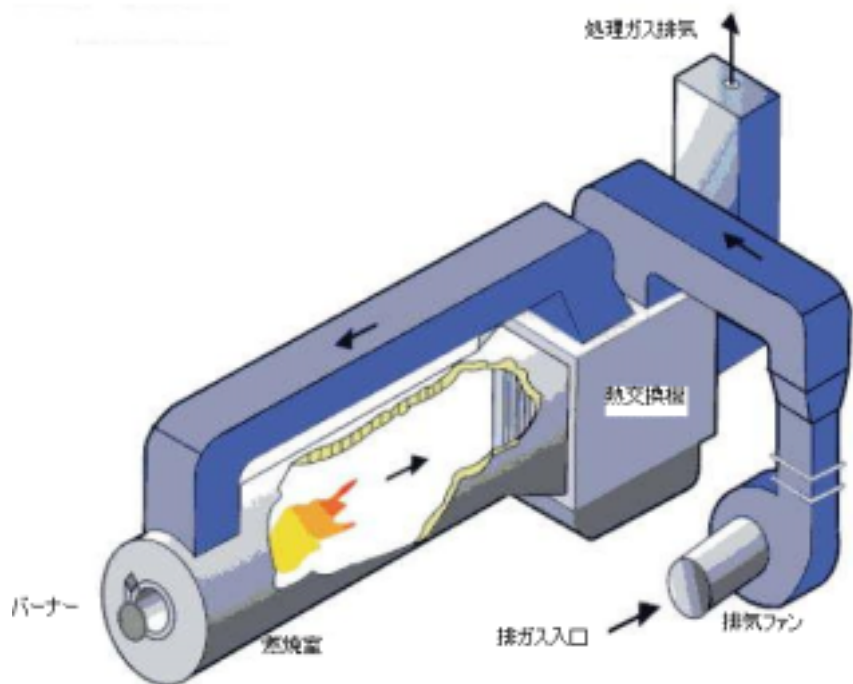
直接燃焼法とは、バーナーにより、VOC を 650℃～800℃の高温下で瞬時に酸化分解する方法である。直接燃焼法を用いた VOC 処理装置(以下「直接燃焼装置」と言う。)の特徴を表 28 に、直接燃焼装置の例を図 39 に示す。

酸化分解可能な物質であれば、ほとんどの臭気及び有機溶剤ガスに対応できる。VOC 濃度が高いとき(1000ppm 以上)に有効で、広範囲の有機溶剤(炭化水素系)に適用できる。排ガスが低濃度で自燃領域より低い場合、処理効率が悪くなるが、前処理として濃縮を行うことにより、処理効率を良くすることができる。塗装の焼付乾燥炉のように非意図的の生成物がある場合、直接燃焼法を用いることが多い。

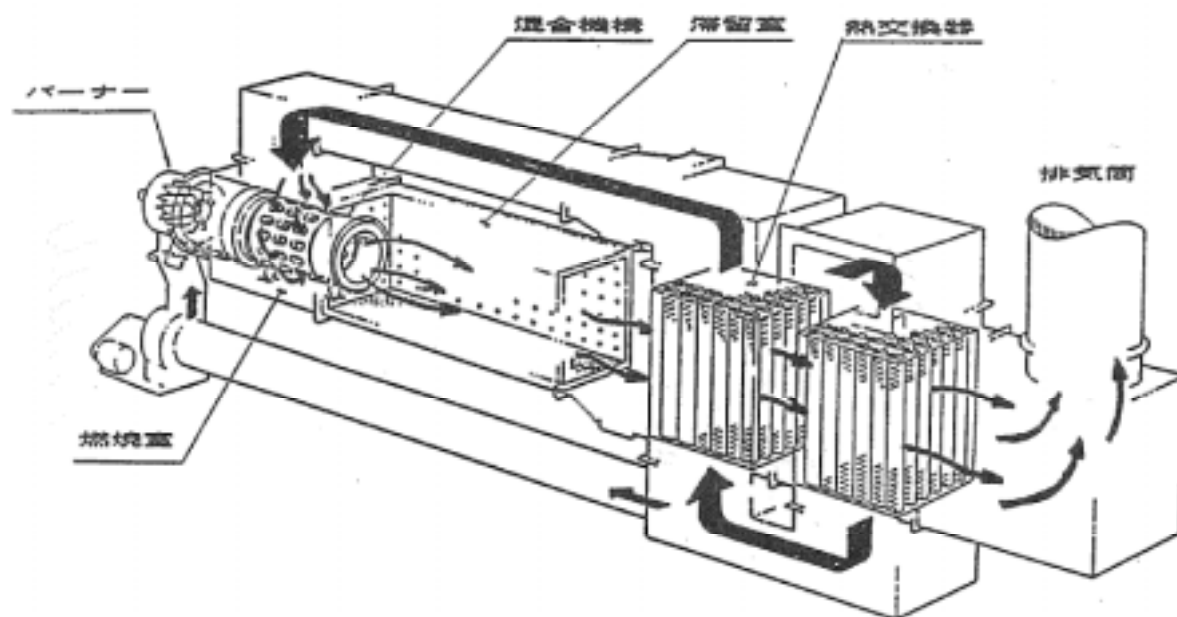
最も建設コストが安くランニングコストも比較的安価であるケースが多いため、米国の船舶向け出荷施設に対する適用例が多い。

表 28 直接燃焼装置の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none">・極めて高い処理効率が得られる・処理効率の経時変化がない・VOC の発生源の負荷変動に伴う処理効率の低下が見られない・操作及び保守管理が容易・ほとんどの VOC に対して適用可能	<ul style="list-style-type: none">・適切な廃熱回収のできない場合は、燃費が高い・重油燃料使用時に SO_x が発生する・NO_x が発生する・VOC 濃度が低くなるほど、経済性は悪くなる



資料：「炭化水素類排出低減技術マニュアル」（平成4年1月、東京都）に基づいて作成した。



メーカー技術資料より作成

図 39 直接燃焼装置の例

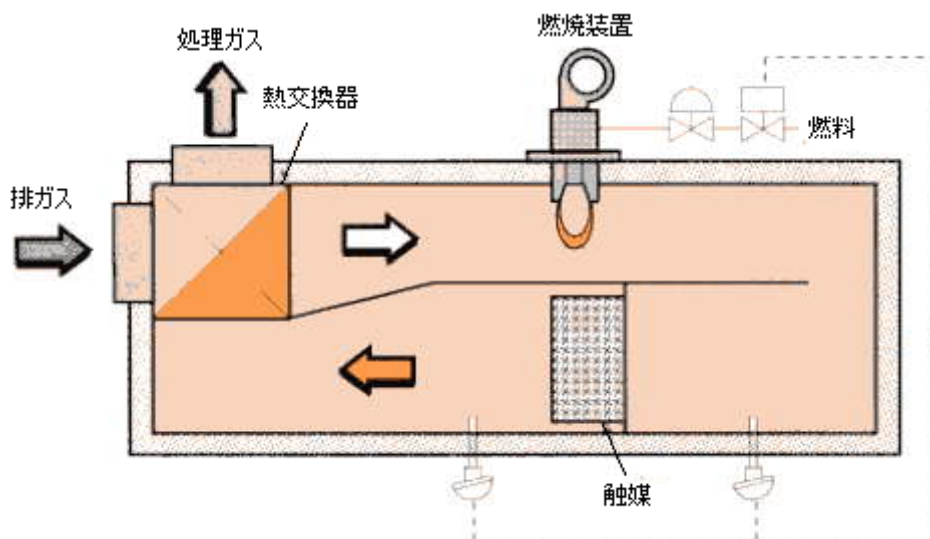
(3) 触媒燃焼法の特徴

触媒燃焼法とは、白金やパラジウムなどの触媒を用いて VOC を 200℃～350℃の低温下で酸化分解する方法である。触媒燃焼法を用いた VOC 処理装置(以下「触媒燃焼装置」と言う。)の特徴を表 29 に、触媒燃焼装置の例を図 40 示す。廃熱回収を行わないのであればガソリンペーパーに対しても適用可能である。

表 29 触媒燃焼装置の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> 触媒により低温での燃焼が可能 直接燃焼法に較べて燃料費が少ない 装置は比較的低温仕様で軽量である 防爆危険性が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> タール、ミスト、ダストの影響が大 物理、化学的触媒毒の影響が大 熱回収の投資効率が低い 触媒の劣化がわかりにくい

資料：「炭化水素類排出低減技術マニュアル」(平成4年1月、東京都)に基づいて作成した。



メーカー技術資料より作成

図 40 触媒燃焼装置の例

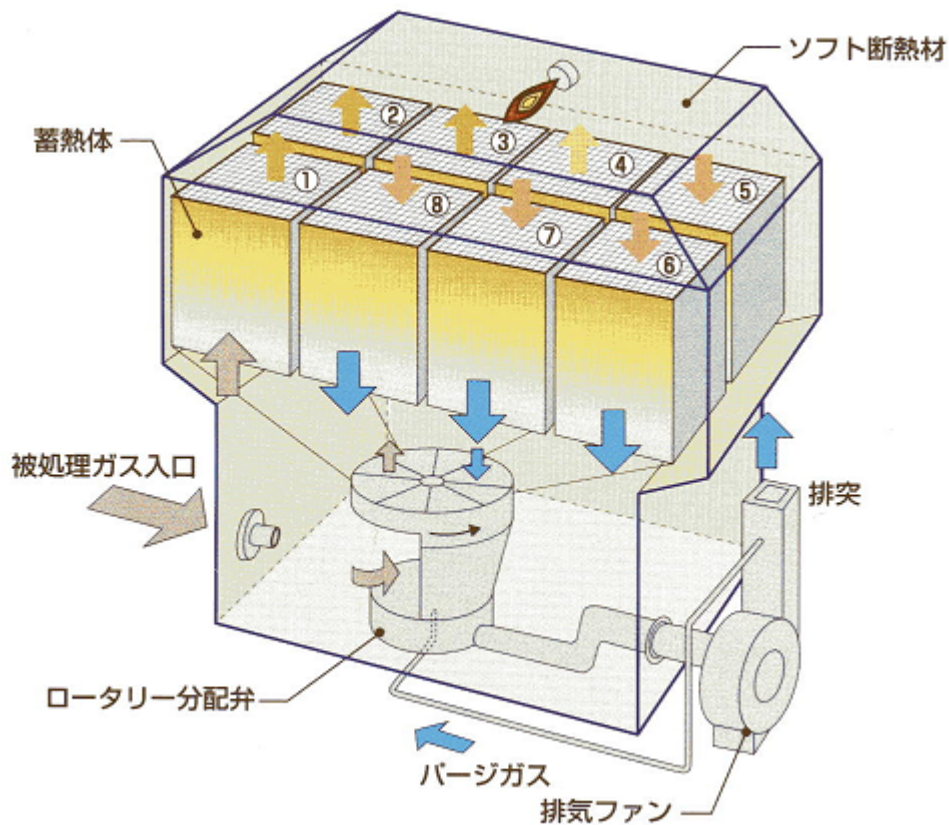
(4) 蓄熱燃焼法の特徴

蓄熱燃焼法とは、砂やセラミックなどの耐熱性、蓄熱性のある固定層(蓄熱層)を持ち、これを媒体として高温(800℃～1000℃)で、VOC と接触させて酸化分解する方法である。蓄熱燃焼法を用いたVOC 処理装置(以下「蓄熱燃焼装置」と言う。)の特徴を表 30に、蓄熱燃焼装置の例を図 41に示す。ガソリン出荷施設のように、ベーパー発生が間歇的になる場合は適用が難しい。

表 30 蓄熱燃焼装置の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> ・低濃度で自燃する(熱交換効率が最高で98%までとれるので、トルエン換算で200ppm あれば自燃する) ・処理ガスの濃度変化にも対応 ・NO_x、SO_x の発生が少ない ・保守、点検が容易 ・据付工事が容易で短期間 ・固定層の寿命は半永久的 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗装排ガスを直接使用する場合にはフィルターが必要 ・電力使用量が比較的大 ・装置重量が比較的大

資料：「炭化水素類排出低減技術マニュアル」(平成4年1月、東京都)に基づいて作成した。



メーカー技術資料より作成

図 41 蓄熱燃焼装置の例

(5) 溶剤回収法の特徴

溶剤回収法とは、炭化水素蒸気を専用の溶媒に溶かし込み、その後に回収または処理をするものであり、比較的古くから用いられてきた技術である。

装置は炭化水素蒸気の吸収セクション、吸収油の再生セクション、炭化水素の回収セクションにわけられる。図ではガソリンベーパーに対してガソリンを溶剤に用いる例を示した。炭化水素を含んだガスは吸収塔のボトムから導入され、ポールリングが充填された塔内で吸収油(ガソリン)と気液が向流接触する。回収された有機炭素を含んだ溶剤はそのまま出荷されたり、図に示すように容易に分離できる場合は、分離後製品として再利用される。

溶剤回収法を用いた VOC 処理装置(以下「溶剤回収装置」と言う。)の特徴を表 3 1 に、溶媒回収装置の例を図 42 に示す。

表 3 1 溶剤回収装置の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 単一溶媒で複数荷種に対応できる ・ 処理ガスの濃度変化にも対応できる ・ 据付工事が容易で短期間 ・ 電力使用量が比較的大 ・ 固定層の寿命は半永久的 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 回収する場合は、別プロセスが必要 ・ 装置重量が比較的大 ・ 保守、点検が煩雑

資料：「炭化水素類排出低減技術マニュアル」(平成 4 年 1 月、東京都)に基づいて作成した。

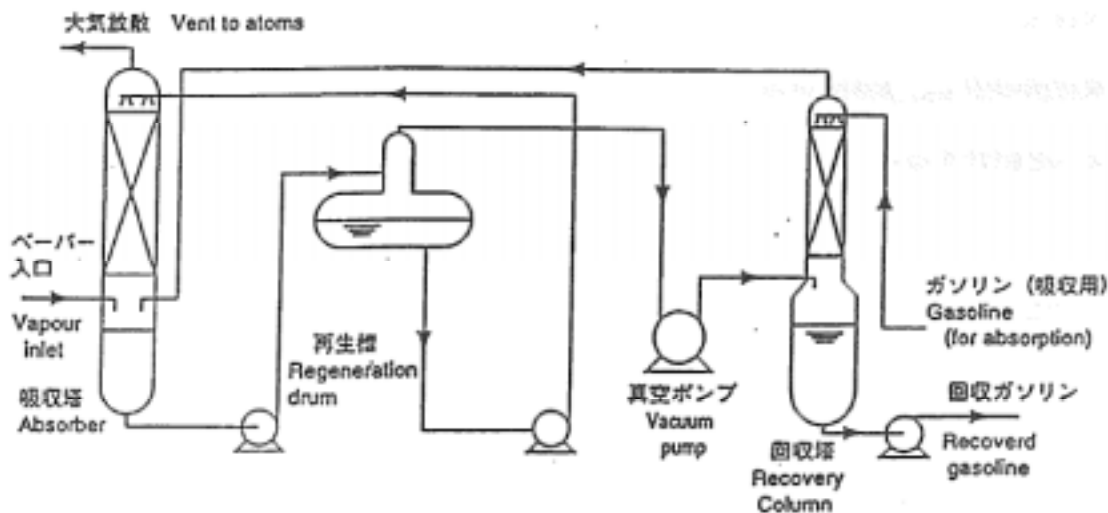


図 42 溶媒回収装置の原理

出典;平成 7 年度揮発性有機化合物光化学大気汚染抑制技術と削減対策のガイドラインに関する調査報告書

(6) 膜分離法の特徴

膜分離法とは、吸着法や深冷凝集法の設備の巨大化、運転、保守などの煩雑性を改善させるために開発されたもので、ガス分離膜ユニットと回収塔に大別される。膜ユニット内部では膜の透過側を真空ポンプにより負圧に保ち、膜を通過する空気と炭化水素類の透過速度差を利用して、ガス中の炭化水素類を選択的に分離する(膜ユニット内で数 100 回の膜透過が行われる)。回収塔では、60-70vol%に濃縮されたガソリンベイパーがボールリングなどを充填した回収塔に入り、液体ガソリンとの向流接触により大半が液体ガソリンに吸収される。未回収は再び膜分離ユニットの上流側に戻される。膜分離法を用いた VOC 処理装置の特徴を表 3 2 に、膜分離法装置の例を図 43 に示す。

横浜根岸の新日本石油根岸精油所において、ガソリンベイパーへの適用例がある。

表 3 2 膜分離回収装置の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃焼雰囲気が存在しない。 ・ 処理ガスの大幅な濃度変化にも対応 ・ 保守、点検が容易 ・ 据付工事が容易で短期間 ・ 膜分離ユニットの寿命は半永久的 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不純物や水分に弱い(膜分離性能が低下する) ・ 電力使用量が比較的大 ・ 装置重量体積が比較的大

資料：「炭化水素類排出低減技術マニュアル」(平成 4 年 1 月、東京都)に基づいて作成した。

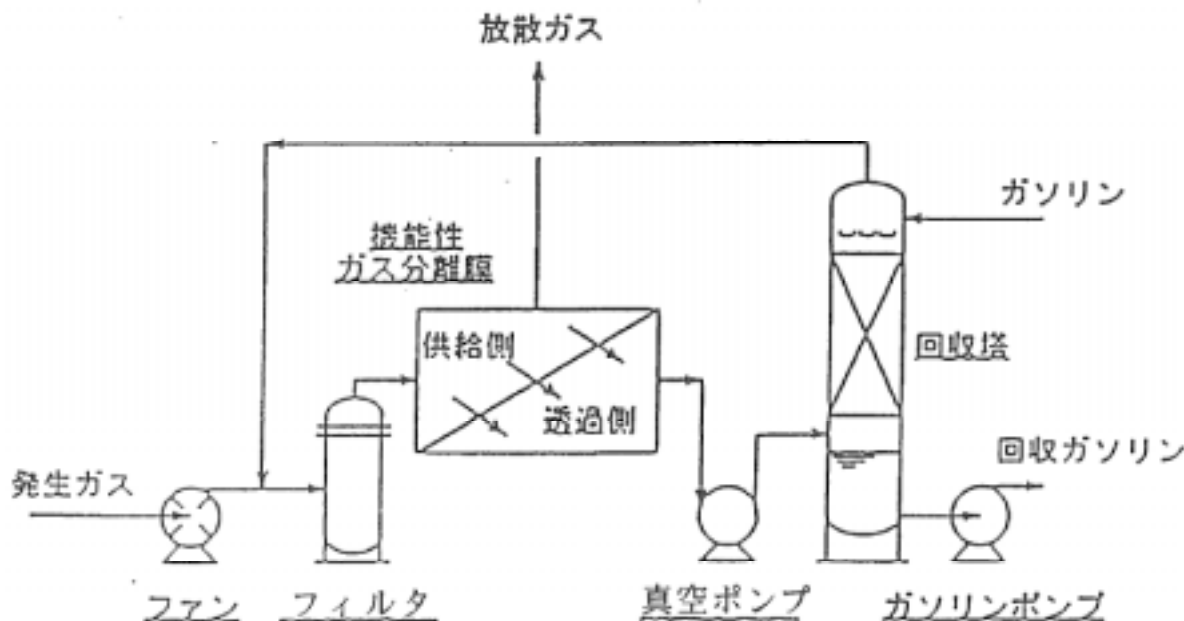


図 43 膜分離法の原理

出典;平成 7 年度揮発性有機化合物光化学大気汚染抑制技術と削減対策のガイドラインに関する調査報告書

(7) 吸着法の特徴

吸着法とは、吸着剤に VOC を含む排ガスを通すことにより、VOC を回収(又は濃縮)する方法である。吸着剤としては、活性炭、シリカゲル、アルミナ、ゼオライト等があるが、VOC の処理には活性炭が多く使用されている。

吸着法による VOC 処理装置(以下、「吸着装置」という。)には、吸着剤を定期的に交換する交換型と、吸着剤を交換せず吸着脱着を繰り返す回収型がある。ここでは、活性炭を使用した吸着装置の特徴を表 33 に、吸着法の例を図 44 および図 45 示す。

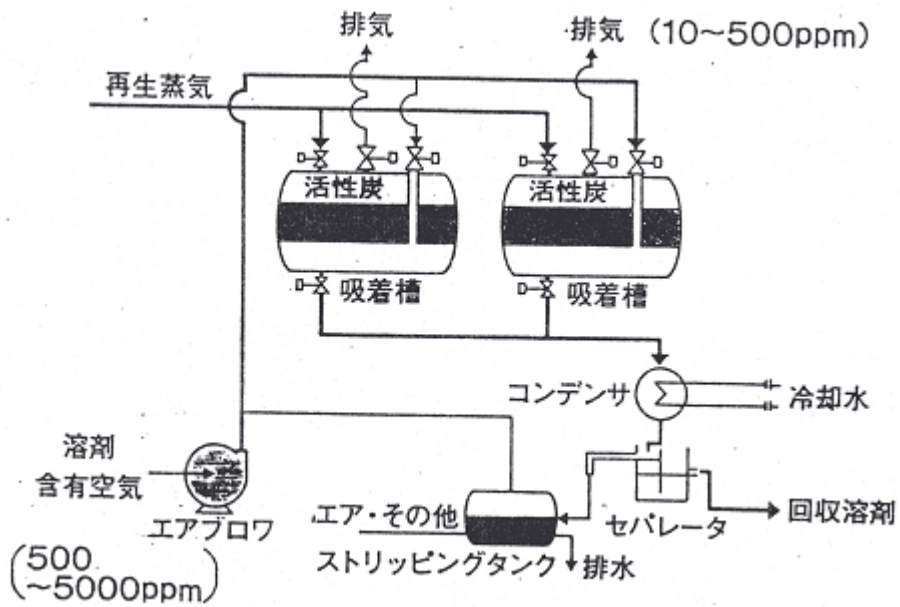
また、回収したガスの脱着法により以下の二種類に分類される。

- ・ Thermal Swing Adsorption 吸着剤の温度による吸着量差を利用
- ・ Pressure Swing Adsorption 吸着剤の圧力による吸着量差を利用

表 33 活性炭を使用した吸着装置の種類別の特徴

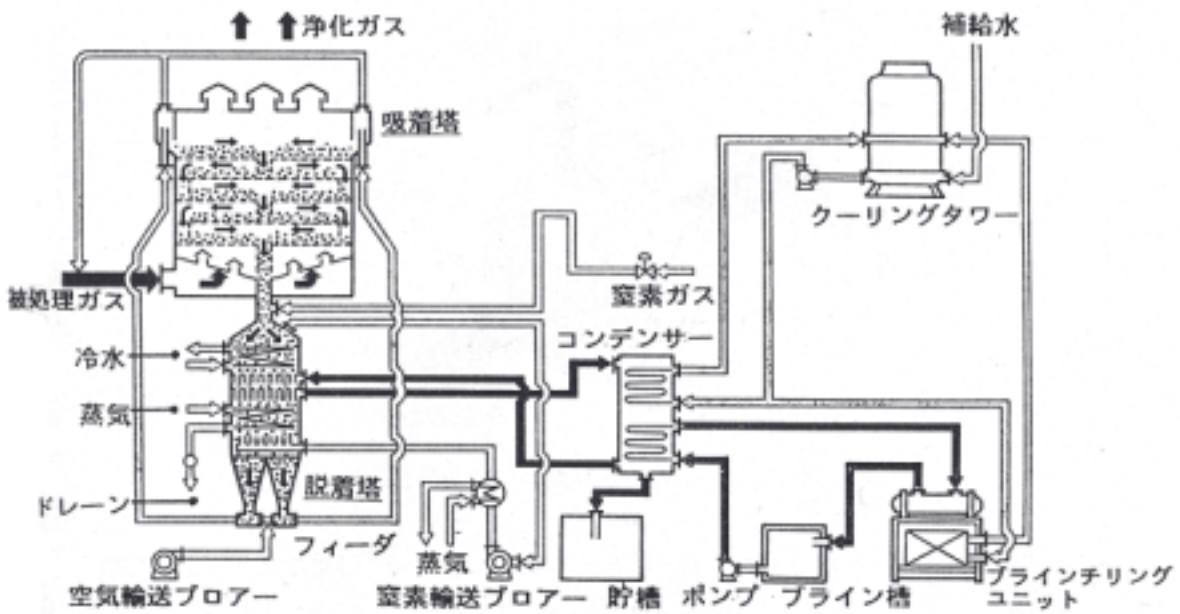
吸着装置の種類		特徴	
		長所	短所
交換型		<ul style="list-style-type: none"> ・ システムの構成、装置の構造が簡単 ・ 設備費が安い ・ 運転管理が容易 ・ 排水処理が不要 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定期的に再生又は交換が必要 ・ 排ガス濃度が高い場合、粉じん中のタール状物質、ミストが含有されている場合には前処理が必要 ・ ガス温度が高い場合には冷却しなければならない 等
回収型	固定床吸着式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 操作が容易 ・ 風量や濃度変動に対応しやすい ・ 回収し省資源化が図れる 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凝縮排水の処理設備が必要(ただし、排水を生じない圧力スイング法もある)。 ・ 塗装排ガスを直接処理する場合には高度の除じん設備が必要 ・ 水溶性溶剤は、凝縮排水側に流出して回収できない ・ MEK 等のケトン系溶剤を処理するときは発火防止等の十分な安全対策が必要 等
	流動床吸着式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再生ガスとして窒素を利用する場合には、排水の処理設備が不要 ・ 水溶性溶剤も回収できる ・ ケトン類も安全に回収できる ・ 回収し省資源化が図れる 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塗装排ガスを直接処理する場合には高度の除じん設備が必要 ・ 据付面積は小さいが、高さが高くなる 等
	ハニカム型吸着式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低濃度、大風量でも処理し得る(高濃度、小風量化できる) ・ 保守、保全が非常に簡単 ・ 故障がほとんどない ・ 据付面積が小さい 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高濃度になるほど、経済性が低くなる 等

資料：「炭化水素類排出低減技マニュアル」(平成 4 年 1 月、東京都)に基づいて作成した。



出典：「炭化水素類排出低減マニュアル」（平成4年1月、東京都）

図 44 固定床吸着式の例



出典：「炭化水素類排出低減マニュアル」（平成4年1月、東京都）

図 45 流動床吸着式の例

3.まとめ

船舶運航に伴う排出のうち大気環境に影響を与えるものとしては、排ガス中に含まれる NO_x、SO_x、ばいじん、二酸化炭素等がよく知られ、国際的にも国内においても規制が実施されつつある。最近では、これら従来の大気汚染物質に加え、原油、ガソリン、化学製品類等をタンカーにより輸送中に大気に排出される揮発性有機化合物(VOC)についても、悪臭、発がん性等、光化学スモッグ等を引き起こす可能性が指摘されつつある。

一方、平成 16 年 4 月、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律(海防法)」が改正され、国土交通大臣が指定する港湾においては、VOC を放出する貨物の積み込みが行われる場合には、当該船舶に「揮発性物質放出防止設備」を設置使用が義務付けられた。また、米国カルフォルニア州、欧州などの海外においては、既にそれぞれの国内法により、これらの荷役中の VOC 排出が規制されている。

このような背景から、VOC の排出実態について関心が高まってきているものの、船舶からの VOC 排出については、排気ガスの性状に比較して、その排出実態が必ずしも明確になっていなかった。

本事業ではその初年度として、特に VOC 排出量が多く発生すると予測されるガソリンタンカー等の荷積み時の VOC 排出実態を中心に、実船計測および内航タンカーオペレーターに対するアンケート調査を実施した。その結果、原油とガソリンについて荷役量トン数当たりそれぞれ 0.14 および 0.12 kg-VOC/t-燃料の排出係数を得た。両数値は下表に示すように、従来報告されている排出係数に比較すると小さい。その理由として、国内のガソリンタンカーでは日常的に行われているガスフリー作業により、荷積み開始直後の VOC 排出濃度が小さくなっている可能性があることなどが考えられるが、国内外の荷積み方法について一層の情報を収集する必要がある。これらの排出係数から算出される船舶からの VOC 排出量は 1.1 万トンであり、これは陸上からの排出量の 0.8%に当たると推定される。ただし、海上で行われるガスフリー作業による発生については、大気環境に対する影響を含めて、荷役時における排出と同様に評価を行う必要がある。

荷役作業中に発生する VOC の削減技術は、陸上側にガスを戻し処理を行うことで海外では実現されている。船舶側にはガスを戻すためのガス配管には陸上にガスを戻すためのマニホールドが、白油タンカー、ケミカルタンカーともに 70%程度の装備されていること、ナフサの荷役などで使用経験も多く持つことから、船舶側の対応は比較的容易であると思われる。

表 VOC 排出係数の比較

	原油 (kg- VOC /t-燃料)	ガソリン (kg-VOC/t-燃料)	補足
EU レポート(2002 年)	1	燃料平均で 0.18 ガソリンは 0.24	いずれもタンカーの排出係数
UK(1999 年)	1.2-2.5	0.15	タンカーの排出係数 原油は 1.2-2.5 の範囲で示してある
資源・エネルギー庁 (昭和 50 年)	0.18	0.24	昭和 50 年
EPA (2003 年)	0.08	0.17	S=0.2 として理論値として計算
	0.13*	0.23	実測からの平均値 原油の値にはメタンとエタンが含まれていない。ガソリンはガスフリー後の荷役の排出係数
本報告書	0.14	0.12	実船計測からの推定値

出典などは本文参照のこと

参考資料

内航タンカーの荷役に関するアンケート調査依頼

2004/11/2

財団法人シップ・アンド・オーシャン財団

シップ・アンド・オーシャン財団では現在タンカーの荷室から発生する揮発性有機化合物の発生量に関する調査を競艇交付金による日本財団の助成を受けて実施しております。

裏面に示しているように、本年「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律(海防法)」が改正され、国土交通大臣が指定する港湾においては、揮発性有機化合物質を放出する貨物の積み込みが行われる場合に、当該船舶に「揮発性物質放出防止設備」を設置使用しなければならない、とされております。この港湾指定を行うためには、荷積みバースにおいてガソリンなどの揮発性の高い貨物を荷積みする機会の多い内航タンカーの荷役の実態を把握することが重要です。

今回、日本内航海運組合総連合会および全国内航タンカー海運組合のご協力により、排出実態把握のための内航タンカーオペレーターに対する実態調査を行うこととなりました。

ここで収集しましたデータは本調査目的のみに使用いたします。外部に対して会社名・船名およびその属性データが公表されることはありません。組合員様のご協力をお願い申し上げます。

調査の方法

アンケートは、全国内航タンカー海運組合を通じ、全ての内航タンカーオペレーターを対象にしております。御社で運航している全ての白油タンカーと BTX をあつかうケミカルタンカーの全隻についてデータをご記入ください。

白油タンカーとケミカルタンカーでは質問票が別になっております。大変お手数ですが、対象となるタンカー一隻ごとに複写してご記入ください。

主なアンケート調査項目

次葉以降で示す質問票(白油タンカーとケミカルタンカーで別葉になっております)

- ・年間の荷役量
- ・荷役時間と荷役速度(荷揚げ・荷積みの作業における同時に流入するタンクの数、荷役に用いる船内動力および燃料消費量など)
- ・タンククリーニングの実態(回数、用いられる船内動力および燃料消費量など)

アンケート回収期限

アンケートの回収は**本年 12 月末**とさせていただきます。

同封の返却用封筒を用い、対象船舶の質問票のみをご返送ください。

問い合わせ先

質問票の内容などについて不明の点がございましたら、下記までお問い合わせください。

日本エヌユーエス株式会社

華山(はなやま) 伸一

電話 03-5440-3845

メール hanayama@janus.co.jp

参考；「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律等の一部を改正する法律案について」国土交通省平成 16 年 2 月 23 日、記者発表資料より作成

第四章の二船舶からの排出ガスの放出の規制

(揮発性物質放出規制港湾の指定)

第十九条の二十三国土交通大臣は、揮発性有機化合物質(油、有害液体物質等その他の貨物から揮発することにより発生する有機化合物質をいう。以下同じ。)を放出する貨物の積込みの状況その他の事情から判断して揮発性有機化合物質の放出による大気の汚染を防止するための措置を講ずる必要があると認められる港湾について、これを揮発性物質放出規制港湾として指定することができる。

2 国土交通大臣は、前項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、当該港湾の港湾管理者の意見を聴かなければならない。

3 環境大臣は、船舶からの揮発性有機化合物質の放出の抑制を図るため必要があると認めるときは、国土交通大臣に対し、港湾を特定して、第一項の指定を求めることができる。

4 国土交通大臣は、第一項の規定による指定をしたときは、国土交通省令で定めるところにより、揮発性物質放出規制港湾の名称及びその区域を公示しなければならない。

5 第二項及び第三項の規定は、外国の港湾を指定する場合には、適用しない。

6 前各項の規定は、第一項の規定による指定の変更又は廃止について準用する。

(揮発性物質放出防止設備等)

第十九条の二十四船舶所有者は、揮発性物質放出規制港湾において揮発性有機化合物質を放出する貨物の積込みが行われる場合には、当該船舶(その用途、総トン数、貨物の種類等の区分に応じ国土交通省令で定めるものに限る。以下「揮発性物質放出規制対象船舶」という。)に、揮発性有機化合物質の放出による大気の汚染を防止するための設備(以下「揮発性物質放出防止設備」という。)を設置しなければならない。

2 前項の規定による揮発性物質放出防止設備の設置に関する技術上の基準は、国土交通省令で定める。

3 揮発性物質放出規制港湾にある揮発性物質放出規制対象船舶において揮発性有機化合物質を放出する貨物の積込みを行う者は、国土交通省令で定めるところにより、揮発性物質放出防止設備を使用しなければならない。ただし、次の各号のいずれかに該当する場合には、この限りでない。

一揮発性物質放出規制対象船舶の安全を確保し、又は人命を救助するために必要な場合

二揮発性物質放出規制対象船舶の損傷その他やむを得ない原因により揮発性有機化合物質が放出された場合において、引き続き揮発性有機化合物質の放出を防止するための可能な一切の措置をとつたとき。

揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds; VOC)

揮発性の有機化合物の総称。WHO(世界保健機関)の定義では沸点 260 以下の有機化合物とされており、ガソリンの蒸気や BTX 蒸気が含まれる。揮発性有機化合物自体が有害大気汚染物質あるいは悪臭物質である場合も多く、同時に、オゾンならびに浮遊粒子状物質の原因物質として問題とされている。

聞き取り調査票(白油タンカー用)。複数のタンカーが該当する場合、複写の上ご記入ください。

船名		
船の主な諸元	総トン数 _____ 総トン ベントポストの高さ _____ m	カーゴタンク容量 合計 _____ kl
至近1年間のおおよその輸送量(輸送物質ごと)	航海距離 _____ マイル/年 荷種ごとの年間輸送量 ガソリン(レギュラー) _____ kl/年 ガソリン(ハイオク) _____ kl/年	荷種ごとの年間輸送量(続き) ナフサ _____ kl/年 軽油 _____ kl/年 灯油 _____ kl/年
着さん回数と主な入港名(上位2港まで)	荷積みのため 1位 _____ 港(_____ 回/年) 2位 _____ 港(_____ 回/年) 荷揚げのため 1位 _____ 港(_____ 回/年) 2位 _____ 港(_____ 回/年) その他(係船地など) 1位 _____ 港(_____ 回/年) 2位 _____ 港(_____ 回/年)	
荷積みの実施状況(上位1位港)	平均荷積み量 _____ kl/回 平均荷積み時間 _____ 時間/回	平均荷積み速度 _____ kl/時間
荷積みの実施状況(上位2位港)	平均荷積み量 _____ kl/回 平均荷積み時間 _____ 時間/回	平均荷積み速度 _____ kl/時間
荷揚げの実施状況(上位1位港)	平均荷揚げ量 _____ kl/回 平均荷揚げ時間 _____ 時間/回	平均荷揚げ速度 _____ kl/時間 荷揚げ時の燃料消費量と船内動力源 _____ kl/回 主機 D、補機 D、BO
荷揚げの実施状況(上位2位港)	平均荷揚げ量 _____ kl/回 平均荷揚げ時間 _____ 時間/回	平均荷揚げ速度 _____ kl/時間 荷揚げ時の燃料消費量と船内動力源 _____ kl/回 主機 D、補機 D、BO
ベイパーリターン装置の使用状況	ISOGOTT (OCIMF)に定められたマニホールド 所有している 所有していない ISOGOTT (OCIMF)規程外の装置 所有している 所有していない 装置の年間使用回数と対象荷種 _____ 回/年程度 荷種(ナフサ、その他)	
ガスフリー作業の実施状況	年間実施回数 _____ 回/年 一回あたりの平均ブローア作動時間 _____ 時間/回 作動時のブロー用ファンの定格出力 _____ kW 年間の空荷航海のうちガスフリーを行う割合 空荷航海 _____ 回/年のうち、 _____ 回/年程度でガスフリーを実施。 同一カーゴタンク内の荷種が前航海と次航海で同一の場合でもガスフリーを行っている、または要請されていますか? はい いいえ	
ベイパーリターンを行う際の本船側の問題点	今後ガソリンやケミカルの荷積み時に、ベイパーリターンの使用が義務付けられた場合、実施にあたって本船側の作業面、安全面などで問題があれば記入して下さい。	
その他	荷役時およびガスフリー作業時にカーゴタンクから発生するベイパー対策についてご意見をご記入ください。	

ご協力ありがとうございました。

聞き取り調査票(ケミカルタンカー用)。複数のタンカーが該当する場合、複写の上ご記入ください。

船名		
船の主な諸元	総トン数 _____ 総トン ベントポストの高さ _____ m	カーゴタンク容量 合計 _____ kl
至近1年間のおおよその輸送量(輸送物質ごと)	航海距離 _____ マイル/年 荷種ごとの年間輸送量 ベンゼン _____ kl/年 トルエン _____ kl/年	荷種ごとの年間輸送量(続き) キシレン _____ kl/年 その他のケミカル _____ kl/年 その他のケミカル _____ kl/年
着さん回数と主な入港名(上位2港まで)	荷積みのため 1位 _____ 港(____回/年) 2位 _____ 港(____回/年) 荷揚げのため 1位 _____ 港(____回/年) 2位 _____ 港(____回/年) その他(係船地など) 1位 _____ 港(____回/年) 2位 _____ 港(____回/年)	
荷積みの実施状況(上位1位港)	平均荷積み量 _____ kl/回 平均荷積み時間 _____ 時間/回	平均荷積み速度 _____ kl/時間
荷積みの実施状況(上位2位港)	平均荷積み量 _____ kl/回 平均荷積み時間 _____ 時間/回	平均荷積み速度 _____ kl/時間
荷揚げの実施状況(上位1位港)	平均荷揚げ量 _____ kl/回 平均荷揚げ時間 _____ 時間/回	平均荷揚げ速度 _____ kl/時間 荷揚げ時の燃料消費量と船内動力源 _____ kl/回 主機D、補機D、BO
荷揚げの実施状況(上位2位港)	平均荷揚げ量 _____ kl/回 平均荷揚げ時間 _____ 時間/回	平均荷揚げ速度 _____ kl/時間 荷揚げ時の燃料消費量と船内動力源 _____ kl/回 主機D、補機D、BO
ベイパーリターン装置の使用状況	ISOGOTT (OCIMF)に定められたマニホールド 所有している 所有していない ISOGOTT (OCIMF)規程外の装置 所有している 所有していない 装置の年間使用回数と対象荷種 _____ 回/年程度 荷種(ナフサ、その他)	
ガスフリー作業の実施状況	年間実施回数 _____ 回/年 一回あたりの平均ブロワー作動時間 _____ 時間/回 作動時のブロワ用ファンの定格出力 _____ kW 年間の空荷航海のうちガスフリーを行う割合 空荷航海 _____ 回/年のうち、 _____ 回/年程度でガスフリーを実施。 同一カーゴタンク内の荷種が前航海と次航海で同一の場合でもガスフリーを行っている、または要請されていますか? はい いいえ	
ベイパーリターンを行う際の本船側の問題点	今後ガソリンやケミカルの荷積み時に、ベイパーリターンの使用が義務付けられた場合、実施にあたって本船側の作業面、安全面などで問題があれば記入して下さい。	
その他	荷役時およびガスフリー作業時にカーゴタンクから発生するベイパー対策についてご意見をご記入ください。	

ご協力ありがとうございました。

「船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響に関する調査」略語集

用語	説明
中央環境審議会 (中環審)	環境基本法に基づいて環境省に設置された審議会。環境の保全に関して調査審議等を行う。
環境基本法	環境保護を目的とした法律であり、平成5年に制定された。環境関連の法律の基礎となっている。環境基本計画、環境審議会が規定されている。
大気汚染防止法	大気環境を保全するため、昭和43年に制定された。この法律は、大気汚染に関して、国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全することを目的としている。 http://www.env.go.jp/air/osen/law/
VOC	Volatile Organic Compounds;揮発性有機化合物。 揮発性の有機化合物。WHO(世界保健機関)の定義では沸点 260℃以下の有機化合物とされている。VOC 自体が有害大気汚染物質あるいは悪臭物質である場合も多く、同時に、オゾンならびに浮遊粒子状物質の原因物質として問題とされている。
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register。日本における法律名は、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(平成11年7月13日公布法律第86号)改正 平成11年12月22日公布法律第160号(中央省庁等改革関係法施行法)。 人の健康や生態系に有害なおそれがある特定の化学物質について、その環境中への排出量及び廃棄物に含まれて事業所の外に移動する量を事業者が自ら把握して行政庁に報告し、行政庁は事業者からの報告や統計資料等を用いた推計に基づき、排出量・移動量を集計・公表する仕組みである。 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律により定められている。
S P M	Suspended Particular Matter 浮遊粒子状物質。 浮遊粉じんのうち、直径 10 μ m以下の粒子状物質のことをいい、大気中に長時間滞留し、高濃度で肺や気管などに沈着して呼吸器に影響を及ぼす。ボイラーや自動車の排出ガス等から発生する一次粒子と、VOCやNO _x 、SO _x などが大気中の光化学反応により粒子化した二次粒子が含まれる。
F I D	水素炎イオン化型分析計(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、その間に直流電圧を印可すれば、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。
T H C	FID計においては、原理としてVOC成分ごとの濃度は測定できず、炭化水素の炭素数に比例した濃度として測定される。ケミカルタンカーのように、対象ガスが既知である場合は、分子量と感度係数から、物質濃度に変換することが可能である。単位は ppmC として表される。
ppmC	炭素数換算濃度。大気中の濃度を炭素数で換算したものである。NMHCのように複数物質を対象としている場合に用いる。 体積百万分率濃度におけるベンゼン 1ppm はベンゼンは1分子中に炭素を6つ含むので、6ppmCに換算される。
CFR	Code of Federal Register。米国連邦法をコード化したもの。大気清浄法および官報などによる政令や修正などが、全て反映されたものになっている。
EPA	Environmental Protection Agency。米国環境保護庁、日本の環境庁に相当する。
NSPS	New Source Performance Standards。アメリカにおいて、1970年の大気浄化法で導入され、新設の発生施設での原料または生産物の単位当たりの汚染排出許容限度を定めたものである。アメリカでは、環境基準の達成地域か未達成地域かで、適用される排出基準が異なるが、NSPSは全地域で新規排出源に対して適用される最低限の基準であり、NO _x 、SO _x を含めて1995年から大幅な見直しが行われている。VOCについても連邦レベルにおける規制が初めて導入された。

用語	説明
BAAQMD	Bay Area Air Quality Management District。サンフランシスコ湾岸大気環境管理地区(局)などと訳される。アメリカでは大気浄化法により、連邦全体での管理とともに、大気環境管理地区ごとの管理が行われている。米国で唯一のオキシダント極度汚染地域に指定されていた。このため、BAAQMDでのVOC規制も他の地域に比較して厳しいものとなっている。
SCAQMD	South Coast Air Quality Management District。アメリカ南部沿岸管区大気質管理地区(局)などと訳される。ロサンゼルスを含む、カリフォルニアの南部沿岸地域である。
MACT	最大限実施可能な汚染防止技術。最新あるいは最適の技術を導入した場合に“達成可能な汚染物質の排出基準”の1つ。既存の同じカテゴリーの発生源が採用している技術のうち性能の良い12%の技術の平均をMACT基準とする。
TOC	Total Organic Carbon 総有機炭素。VOCとほぼ同値。米国CFRにおいては、メタンなど光化学反応性のない物質濃度をVOC濃度から差し引いたものとして定義される。
一般大気環境測定局(一般局) 自動車排出ガス測定局(自排局)	大気汚染常時監視測定局には一般環境大気測定局と自動車排出ガス測定局の2種類があり、設置目的で分類される。 一般環境大気測定局は、環境大気の汚染状況を常時監視(24時間測定)する測定局、自動車排出ガス測定局は、自動車排出ガスによる環境大気の汚染状況を常時監視(24時間測定)する測定局である。自排局には設置環境により、沿道局と車道局があり、車道局には環境基準が適用されない。
ベイパーリターン	タンク内に燃料などを積み込む際に発生するVOCを積み込み側のタンクまたは処理装置に戻すためのガス配管こと。LNGタンカーの場合は安全上の観点から、ベイパーリターンを含むクローズドサイクルでの荷役が行われる。また、ナフサなど一部の白油タンカーにおいてもベイパーリターン用の配管を用いて発生VOCを陸側に戻すオペレーションが行われる。
OCIMF	石油会社・国際海事評議会。1970年ロンドンで設立。1967年のトリーキャニオン号事故を契機に海洋汚染に対する関心が高まり、石油企業にもその知識経験等につき一定の役割を求められたことから、原油および石油製品の荷役およびターミナルに関心を持つ石油企業が自主的に集まった。タンカーとタンカーターミナルの安全および環境に配慮した運用について、第一義的な権威たること、構造要件ならびに運用基準の継続的な改善の促進を目的とする。
ガスフリー	白油タンカーやケミカルタンカーが、液体貨物を揚荷したのち、タンク内ガス濃度が爆発濃度範囲に入らないよう、タンク空間部のガソリン蒸気を排除する作業のこと。上甲板のマンホール蓋を開いてガスフリー用の換気ファンを運転し、タンク底部が乾燥するまで換気を数時間に渡って行う。
S係数	EPAが、タンクからのVOC排出係数算定のために導入した係数。対象物質の飽和蒸気圧×タンク体積(または荷役体積)で計算される理論上の最大排出量と、実際の排出量の比を取ったもの。
ベントポスト	タンカーの上甲板に設けられた。通常、甲板中央付近に設置され甲板上から5m以上の高さ(タンカーの大きさによる)にフレームアレスター付きの吹き出し口が設けられている。荷役中のタンク内のガスは、全量ベントポストから大気中へ排出されます。周辺区域は防爆指定地域である。
リード蒸気圧	Reid Vapour Pressure。ガソリンなど混合燃料の蒸気圧として利用されるパラメータ。リードの標準方式によって実験室で測定された温度100度F(38℃)における液体の蒸気圧であって平方インチあたりのポンドまたは平方センチメートルあたりキログラムの絶対圧力であらわせる。
IPCC(気候変動に関する政府間パネル)	気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change) IPCCは1988年11月、WMO(世界気象機関)とUNEP(国連環境計画)の共催により、地球温暖化問題を初めて政府レベルで検討する場として設立された。世界中の約1,000人の科学者や専門家による地球温暖化の検討を2年間にわたって行い、1990年8月にその成果を第1次報告書「The First Assessment Report」として完成させた。この結果は第45回国連総会や第2回世界気候会議などで報告され、1992年6月のUNCED(国連環境開発会議)においてUNFCCC(国連気候変動枠組み条約)の採択がなされるに至った。1995年12月には第2次報告書「The 1995 Second Assessment Report」が完成している。

平成16年度

船舶からの揮発性有機化合物(VOC)の排出影響に関する調査報告書

平成17年3月発行

発行 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団 業務部

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-16 海洋船舶ビル

TEL 03-3502-1828 FAX 03-3502-2033

<http://www.sof.or.jp>

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

ISBN4-88404-150-X