

RR-SP8

船舶の総合的安全評価手法による 安全性向上策の策定に関する調査研究

(平成16年度報告書)

平成 17年 3月

社団法人 日本造船研究協会

は し が き

本報告書は、日本財団の平成16年度助成事業「船舶関係諸基準に関する調査研究」の一環として、RR-SP8(安全評価)プロジェクトにおいて実施した「船舶の総合的安全評価による安全性向上策の策定に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

RR-SP8 (安全評価) プロジェクト・ステアリング・グループ名簿 (順不同、敬称略)

プロジェクト・リーダー 松岡 猛 (海上技術安全研究所)

委員 大和 裕幸 (東京大学)

篠田 岳思 (九州大学)

吉澤 和彦 (高等海難審判庁)

吉田 公一 (海上技術安全研究所)

金湖富士夫 (海上技術安全研究所)

伊藤 博子 (海上技術安全研究所)

三友 信夫 (日本原子力研究所)

有馬 俊朗 (日本海事協会)

黒川 暁博 (日本海難防止協会)

有坂 俊一 (川崎汽船)

豊田 昌信 (アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド)

原 大地 (日本海洋科学)

関係官庁 安藤 昇 (国土交通省海事局安全基準課安全評価室)

河合 崇 (国土交通省海事局安全基準課安全評価室)

吉田 晶子 (国土交通省海事局海技資格課)

事務局 柳頼 啓 (日本造船研究協会 IMO担当)

山岸 進 (日本造船研究協会)

注:()内は前任者を示す。

目 次

1.	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2.	IMO での審議状況・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
2.1	燃料油タンク防護・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
2.2	MSC78 の動向及び対応・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2.3	MSC79 の動向及び対応・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2.4	DE48 への対応・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
3.	安全評価手法の調査研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
3.1	油流出量と処理費用の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
3.2	エクソン・バルディーズ号の油流出事故と環境価値の仮想評価法 \cdots 13
3.3	複数の RCO がある場合の費用対効果導出方法・・・・・・・・・・ 19
4.	安全評価事例「非常時曳航システム(ETS)」の有効性の評価・・・・・・ 29
4.1	ETS に関する IMO 関連規則・・・・・・・・・・・・・・・ 29
4.2	ETS の種類と使用方法・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
4.3	ETS 以外による漂流防止策・・・・・・・・・・・ 50
4.4	ETS および関連設備の強度、価格・・・・・・・・・・ 51
4.5	曳航が関与した海難事例の分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56
4.6	海外における事例分析・・・・・・・・・・・・・・・・・ 61
4.7	海難事例分析による事象発生頻度の推定・・・・・・・・・・・・・・・ 74
4.8	ETS に関するアンケート調査・・・・・・・・・・・ 78
4.9	ドイツによる ETS 有効性評価の概要・・・・・・・・・・・・・・ 92
4.10	FSA 手法による ETS 有効性評価・・・・・・・・・・・・ 99
4.11	解析結果検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 106
5.	むすび・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・108
5.1	安全評価法の調査検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
5.2	安全評価事例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
	添付資料
添付1	DE48/14/1 Review of the FSA study on ETS by Germany · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
添付2	DE48/14/1 Review of the ESA study on ETS by Germany (和訳)

1.はじめに

船舶関連の安全規制の提案に当たっては、規制の効果の事前評価が求められている。その評価手法の一つとして IMO の FSA ガイドラインがある。 FSA を用いた評価が IMO においてバルクキャリアの安全規制の検討や国内規則の緩和において実施され、安全規制の評価のツールとして具体的な適用が行われて出している。しかしながら、FSA の使い方によっては、その評価の透明性に課題を残す場合が少なくない。

2003 年には、IMO/DE47 において「非常時曳航システム」の義務化を 300 トン以上の全ての船舶に課すことの有効性の FSA による評価結果をドイツが提出してきた。しかし、この FSA の方法論には重要な検討課題が多く残されており、ドイツの評価結果は必ずしも妥当なものとはいえない。本短期プロジェクトでは、従来から進めてきた海上安全分野において広く活用できる安全評価手法を構築することを目的する調査研究を実施するとともに、FSA の具体的適用事例として「非常時曳航システム」の有効性評価を取り上げ、解析を実施し、その成果である評価結果を DE48 に報告した。

安全評価手法に関する調査研究では、

- (1) 油流出量と処理費用の検討
- (2) 環境価値の仮想的評価法
- (3) 複数リスクコントロールオプション(RCO)のある場合の費用対効果算出方法

を実施した。即ち、(1)については、油流出事故時の被害額の算出方法を検討し、リスク算出のための 資料を整備した。(2)においては環境汚染が発生した場合に環境価値をどのように捉えるべきかの評価 法を検討した。これにより費用対効果をより総合的に判断することが可能となる。(3)については、RCO の理論的な側面からの検討を行い、有効な RCO 選択に役立てられる方法を提案した。

安全評価事例として取り上げた「非常時曳航システム(ETS)」関連では、

- (4) ETS に関する IMO 関連規則
- (5) ETS の種類と使用方法
- (6) ETS 以外による漂流防止策
- (7) ETS 及び関連設備の強度、価格
- (8) 曳航が関与した海難事例の分析
- (9) 海外における事例分析

を実施した。即ち、(4)~(9)においては、ETS をとりまく状況・実態を調査・分析し、FSA 手法による評価実施のための種々の情報を取得した。

FSA 手法による評価実施では以下の項目を実施した。

- (10)海難事例分析による事象発生頻度推定
- (11) ETS に関するアンケート調査
- (12)ドイツの評価結果(DE47/INF.3)の概要
- (13) FSA 手法による ETS 有効性の評価

FSA実施にとり必要となる事象発生頻度算出のため海難事例分析とアンケート調査による専門家意見収集を行った。また、ドイツの実施した ETS 有効性評価の内容を分析し、本短期プロジェクトでの評価実施の参考とした。最後に、これらの情報をもとに FSA 手法による ETS の有効性評価を実施し、その成果を IMO/DE48(2005 年)へ報告した。

2.IMO での審議状況

- 2.1. DE47 の動向及び対応
- 2.1.1 燃料油タンクの防護 (議題 6)

本件に関しては、プレナリー初日に独が、DE47/6/3 に基づいて MARPOL ANNEX I 改正案を用意しているため、これを WP として提出することの承諾を求めた。プレナリーはこの申し出を承認した。 当該文書は DE47/WP.3 として、3月1日に配布された。

当議題ではまず、本件関連文書 MEPC49/16/6(Norway) DE46/29(蘭) DE49/INF.4(INTERTANKO) が紹介された後、今次会合への提出文書(DE47/6~DE47/6/4)及びDE47/WP.3 が紹介された。

その後の一般審議の冒頭、日本は概略以下の内容を発言した。

- (1) 貨物タンクの保護、特に重質油を運送する船舶の保護に関する MARROL 条約 ANNEX I の改正が MEPC50 にて成功裏に採択された後、燃料油タンクの保護が海洋環境保護について次の重要課題であり、日本はその重要性を認識し、支持していること。
- (2) 本件に関する審議を推進するためには、まず基本原則を審議して、その上に立って MARPOL 条約 ANNEX I の改正規則を検討すべきこと。
- (3) 基本原則としては、以下を検討すること
 - (ア) 適用は新船とすること (DE47/6 paragraph 3)。
 - (イ) 燃料油タンクの保護は、MARPOL ANNEX I 13F 規則の油タンクの保護と同じレベルとすること (DE47/6 paragraph 4)。
 - (ウ) 燃料油タンクの保護は、MARPOL ANNEX I 13H 規則の定義の重質油のタンクに適用すること (DE47/6 paragraph 5)。
 - (I) 規定のパラメータとして、燃料油タンクの総容量 (m³) を用いること。
 - (オ) 燃料油タンクの保護に関して、確率論的なアプローチも認めること(DE46/INF.4、DE47/6/2、 DE47/6/3、 DE47/WP.3)。
- (4) 本件の目標年が 2005 年であることを鑑み、今次会合では基本原則について議論し、その上に 則ってコレスポンデンスグループを設立して条約改正案を検討し、DE48 にて WG を設置して 仕上げること。

(日本発言では、(イ) 適用対象の燃料油タンク総容量の数値、及び(ウ)の重質油密度の数値は直接には 言及していない。)

議長は以上の日本意見が建設的かつ適当であることを認め、これに則って審議を進めることを提案 し、プレナリーはこれに合意し、これに則って議論した。

- (3)(ア)(イ)(ウ)(エ)について異論は出なかった。
- (3)(かについては、提案国の独をはじめ、希、シンガポール、リベリア、ICSが、確率論的な性能要件はすでに SOLASの復原性、及び MARPOL の油流出算定にて採用されていることに鑑み、支持を表明し、DE47/WP.3 を規則案作成の基本文書とすることを主張した。一方、米、仏は確率論的な規則は一般 Public への説明が困難であること、及びその取り扱いが複雑で困難であることを理由に難色を示し、OCIMF がこれを支持した。

その他の意見としては、韓、仏が、小型船への適用が困難であることを指摘した。これに関連して リベリアは、本件規則の検討には本件新規則の経済効果も考慮するよう、要請した(暗にFSAを言 及)。

米は、本件規則案では 13F 規則の引用を避けることを要求した (米国は本件規則を採用する用意があるものと思われる)。

(4)については、独がコーディネータをしたい旨提案し、プレナリーはこれを受け入れ、CG の設立 に合意した。日本は、海事局鈴木氏及び海技研吉田氏をメンバーとして登録した。

プレナリーは CG に対し、以上の議論を踏まえ、DE47/WP.3 を基本文書とし、MARPOL ANNEX I に加えるべき燃料油タンク保護のための規則案を作成して DE48 に提出するよう、指示した。

本件の重要性に鑑み、日本は CG へ参加することを表明した。

本件規則は、船舶への影響が大きいと考えられるところ、その影響を FSA 等によって的確に把握し、かつ二重底タンクに関する確率論的取り扱いについては日本から CG へ提案する必要があり、これらを踏まえて CG における規則案作成に参画すべきであると思料されるため、的確かつ積極的な対応をお願い申し上げる。

2.1.2 非常用曳航装置(ETS)

独より、現在 20,000DWT 以上の油タンカーに設置が義務付けられている非常用曳航設備(ETS)について同国で実施した FSA の結果から搭載対象船舶の拡大及び DE48 までの間に CG を設けて又は DE48 で WG を設けて検討することの提案(DE47/24、INF.3)が説明された。検討の内容としては、搭載対象船舶の拡大、適用除外船舶及び ETS の性能要件の見直し等が挙げられた。

これに対し、IMCA より、Off-shore Support Vessel 等は、適用除外にすべきとの提案(DE47/24/3) がなされた。本案に対しては、シンガポール、ノルウェー、ライベリアなどが賛同した。

日本は、CG を作るのであれば、その TOR として、まず独が行った FSA について Peer Review を行うこととし、MSC の FSA グループのリコメンデーション MSC/Circ.1022 に倣って RCO をつけて行うべきである。タンカーなど事故が起こった場合、影響の多い船舶に比べ、その他の船舶では、ETS 自体の価格及びそれに付随する船殻構造強化の作業などトータルで費用対効果を考えるべきとし、その後でどのような船種のどのような大きさの船に適用するのか等、詳細な検討を行うべきと発言した。

豪州は、これまで 20,000DWT 以上のタンカーにのみ適用してきたのは、環境に影響を多大に与えるためであり、危険物積載船以外にも適用範囲を拡大する案は、受け入れ難く、検討をするのであれば、危険度の高い船舶にのみ検討をすべきである、また ETS の性能基準の見直しは必要であろうとコメントした。

ノルウェーは、年にいくつもの座礁事故が起こっているが、ETS を設備しても事故は無くなる事はなく、本小委員会で F.O.Tank の保護の検討も開始したところであり、本件は、優先度合いが低いのではないかとした。また、ライベリアは、一つの事故で全ての船舶に対処するのは、過剰であり、まずは、事故を起こさないように訓練すべきである。本件を全ての船に適用して、船首尾に ETS を設けて全ての船舶を Tug にするのか等と簡単に決めるのでなく深く検討すべしとコメントした。

INTERTANKO は、詳細に検討するためにも、次回 DE48 にもう一度本件について提案すべきとし、ICS は、昨今、安全基準 (ISM コード等)が増加し、船舶の安全は、確保し易くなっており、そういったこともトータルに勘案した上で、本件を検討すべきとコメントした。

議長は、委員会の手順により CG を 3 つしか作れないこと、また増やすにしても正規の議題で高優先事項でないと不可能であり、本件に対して本小委員会では次回までの間、CG は作れず、今次会合では何も決められないため、次回会合で本件を議題に採り上げるよう MSC78 に要請し、次回 DE48 以降で検討することとした。また次回会合で検討するに当たって、日本が提案した FSA の Peer Review

は、開始したほうが良いであろうこと、また、独を含め本件に関心を持つ各国・団体は、次回 DE48 に本件について、性能基準のガイドライン案等も含めて SOLAS -1/3-4 規則の改正案の提案を提出するよう加えてコメントした。

2.2 MSC78 の動向及び対応

フォーマル・セーフティー・アセスメント (議題 19 関係)

今次会合への提案は、時間の都合により審議されず、次回会合(MSC79)で検討されることとなった。

2.3 MSC79 の動向及び対応

フォーマル・セーフティー・アセスメント (議題 15 関連)

(1) プレナリーにおける議論

事務局から、MSC 79/15 に従って、FSA に関する本議題は 2004 年 5 月に開催された MSC 78 で議論 される予定であったが、時間不足の為に、MSC 79 に先送りされたものであることが報告され、先送りされた関連文書のリストが紹介された。

[MSC 議長は、これまでに IMO に提出された FSA が、時に全く異なる結論を導き出し、決定事項が覆る等、FSA の信用が失墜しており、これを立て直すために、FSA ガイドライン他の見直しが必要であることを述べた。]

(イ) FSA Corresponding Group (CG)の報告

日本が幹事国を務めた FSA に関する CG の報告書 (MSC 78/19) がコーディネーター (Coordinator) の吉田氏から報告され、審議された。

CG が提案した FSA ガイドラインを改定するとの提案については、委員会はこれを承認し、MEPC 53 にその旨を通知するように、事務局に指示した。

CG が報告した、独立した複数の FSA が異なる結論を出した場合の取り扱いや問題点についての専門家の意見については、委員会はノートした。

英国が提案した FSA 手法を事故解析に適用することに関して、CG は現時点では適切でないと報告したが、これを受けて以下の議論があった。Spain は FSI 小委員会の事故分析グループの現状を説明し、FSA 手法を適用する必要がないことを述べた。バハマは事故分析に FSA 手法を適用することが適切でないであろうことは理解するが、その結果を FSA 等で活用するには、事故データの収集は統一的な方法で行われるべきと主張し、カナダ他の大勢がこれを支持した。英国は、自身の提案が誤った理解の下に否定されており、不満足であることを表明し、再度英国提案の主旨を説明した。ギリシャは事故調査グループのこれまでの成果が不満であることを表明し、これがうまく機能するような枠組みが必要であると主張した。デンマークは第 12 回 FSI 小委員会の報告書の付録 2 (事故分析の手順に関するガイドライン)について、CG/FSA が Review を実施すべきことを主張したが、FSI 小委員会の関係者は作業進捗が更に遅れるとの懸念を表明し、賛否両論が交錯したものの、最終的には合意に至らなかった。

CG が報告した環境保護に関するリスク指標が将来課題として残ったことについて議論があり、MEPC 議長を務める Cyprus が、CG/FSA で引き続き検討し、時間的な余裕が出来ることから、間に合えば MEPC に直接報告すべきことを示唆した。

最終的に、委員会は、上記以外の CG が報告した意見をノートすると共に、FSA の利用方法に関するガイドラインの見直し、海洋環境保護の為のリスク指標の開発については、更に検討を続けるべき

であることに合意した。

(ロ) IACS 提案文書に関する審議

IACS が MSC 79 に提出した 3 つの文書 (MSC 78/9/1, MSC 79/8/2, MSC 79/8/3) が IACS から報告された。それぞれ、過去に実施された FSA から得られた経験に基づく提言、リスク評価基準に関する提案、専門家意見の一致度を照査するための方法の提案である。日本は、FSA ガイドラインを改正する際に、CG の報告書に加えて、これらの文書を考慮すべきと主張し、これが認められた。

(八) FSA の Expert Group (専門家グループ) の設置提案について

MSC 議長より、IACS の提案(MSC 78/19/1)を受けて、FSA の方法論の見直し、IMO に提出された FSA 報告の独立した Review 等を実施する専門家グループを設置する必要があるとの提案があり、本件について議論が行われた。日本、米国、Norway 等、大勢はこれを支持した。議長は、FSA の専門家グループに対して想定される付託事項の第一次案を MSC 79/J/13 として配布し、これを念頭に議論するように要請した。英国は FSA 専門家グループの設置に賛成する一方で、次回の MSC 80 で FSA の WG を設置し、専門家グループに対する付託事項等を検討すべきと提案した。これを、日本、ノルウェー、ギリシャ等の大勢が支持した。また、この際、ギリシャ他が専門家の独立性、資格、選考方法、専門家設置に係わる費用等の潜在的な問題があることを指摘し、これらも含めて次回の FSA WG で検討することが合意された。また、この際に、GBS と FSA の関連についても議論されたが、ギリシャは GBS と FSA は独立でありリンクは無いと主張した。一方、ドイツを中心とする GBS は Risk Based Standard とすべきと考える国は強いリンクがあると主張した。日本は、GBS の中でリスク許容基準を検討することが合意されていることから FSA と GBS には明確なリンクがあるべきと主張した。大勢は、GBS と FSA にリンクのあることに合意し、次回の GBS と FSA の 2 つの WG においてそれぞれ両者のリンクについて検討することを決定した。

最終的に、委員会は MSC 80 に WG/FSA を設置して検討を開始すること合意し、事務局に FSA 専門家グループの設置に関するベース文書を用意することを支持した。

(二) FSA の CG の再設置

MSC 77 で設置された FSA の CG は、検討結果及び将来の課題についてレポート(MSC 78/16)を MSC 78 に提出した。 CG が報告した将来の課題及び積み残しの課題は、来年 5 月開催予定の MSC 80 に設置予定の FSA WG で検討することが合意されたが、一方で、Cyprus は引き続き CG を設置し、環境保護のリスク指標を検討し、出来れば次回の MEPC に結果を報告して欲しい旨を要請した。議長をはじめ次回の MSC 80 までの時間が限られることから、CG の設置に慎重であったが、コーディネータである日本が課題を限れば、ある程度の成果を報告できると発言したため、委員会は CG を再設置することに合意した。

(2) 今後の対応

次回の MSC 80 では、FSA の WG が設置されることとなったため、日本の専門家の出席を検討願いたい。また、本 WG に対する付託事項が MSC 78/WP.6/Add.1 に報告されているので準備を開始されたい。尚、GBS の WG においても、GBS と FSA のリンクについて議論されることが合意されたことに留意願いたい。

2.4 DE48 への対応

2.4.1 ETS 関連

本プロジェクトにおいて、ETS に関するドイツの FSA を検証した結果を、DE48 に提出した。

3. 安全評価手法の調査研究

船舶の総合的安全評価 (FSA) は、安全をリスクの観点から捉えて評価する手法といえる。本調査検討会では、この安全評価法の一層の充実を図ることも調査研究の目的の一つと設定し、本年度においては、「油流出量と処理費用の検討」、「環境価値の仮想的評価法」、「複数のRCO(リスクコントロールオプション)がある場合の費用対効果導出方法」に関しての研究を実施した。

3.1 油流出量と処理費用の検討

3.1.1 油濁事故データベースの作成

油濁事故により起こり得る被害と被害額,油濁処理費用等の関連を調査するため,国際油濁補償基金が毎年公表している年次報告書を整理してデータベースを作成した。なお,この年次報告書には補償対象としたものや係争中のものを含め年間約30件程度の油濁事件が記載されている。

(1) 国際油濁基金

国際油濁基金は基金加盟国内の油濁損害の被害者が民事責任条約の下で十分な補償が得られない場合に補完的補償を提供することがこの基金の機能である。基金は年間 15 万トンを超える油を受け取る業者 (石油会社,港湾)が数量に応じて納付される納付金から構成される。日本からの納付額は全体の 20-25% に上るが、アメリカのこの基金への加盟は無い。また、基金の適用は「タンカーから漏えいされた持続性油によって発生した油濁損害に適用される」ため、油タンカー以外は対象外である。

流出油事故当該者の船主については戦争等の不可抗力を除き,船主の賠償責任額は通常船舶のトン数に応じた一定額に限定されており,これを責任制限あるいは船主責任限度額という。基金の適用には賠償責任をカバーする保険を付保することが義務付けられており,船主責任制限額は船舶のサイズにより決められている。69年民事責任条約に基づく船主責任制限額は、当該船の条約トン数にSDR 133 (112 GBP ないし 181 USD)を掛けた金額か、SDR 14 million (12 million GBP ないし 19 million USD)のいずれか低い額である。なお、船主側に過失があった場合には船主責任限度額は認められない。92年条約では船主責任限度額は次のように規定されている。

a)5,000GT以下の船舶:SDR 3 million(2.5 million GBP ないし4.1 million USD)

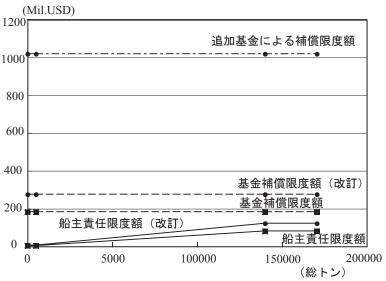


図 3.1.1 9 2 年基金による船主責任限度額および基金補償限度

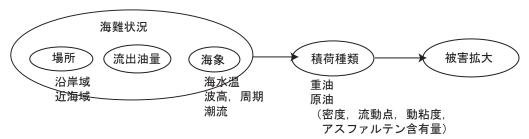


図 3.1.2 油流出後から事故の拡大要因

- b)5,000 超 140,000GT 未満の船舶:SDR 3 million (2.5 million GBP ないし
 - 4.1 million USD)+SDR 420 (355 GBP ないし571 USD) × 5,000GT を超えるトン数
- c)140,000GT 以上の船舶:SDR 59.7 million(50 million GBP ないし81 million USD) 昨今の大規模な事故の影響から、これらの金額は2003年11月1日に50.37%引き上げ改訂され、基金による補償限度額も引き上げられた。

以上に述べた船主責任制限額と国際油濁基金による補償額を整理すると図 3.1.1 のように表せる。 (2) データベースの作成

1998年から2002年の5年分の油濁事故の年次報告に記載があるものについてデータベースを作成した。なお作成にはデータベースソフトであるファイルメーカーを用いた。

図3.1.2 に事故から油濁事故に拡大する要因を大まかに示す。流出油の性状は流動点と動粘度,密度,アスファルテン含有量により異なり,原油でも例えばアラビアンヘビーのように低流動点であり動粘度が重質なものと C 重油は流出後の性質が似ており,安定なムース状の油(エマルジョン化した油)を形成し被害を拡大する可能性が高い。また海象,海水温等も被害の拡大に影響を及ぼす。

これら全てを記載されたデータから読み取ることは難しいため、ここではデータベースの大項目としては 1) 船に関するデータ, 2) 事故に関するデータ, 3) 損害,油濁基金支払い額に関するデータとして,船名,船籍,トン数(GT),積載油量,事故の発生日,場所,流出油量,事故原因,基金で支払った清掃費等の補償額等を取った。なお,補償限度額や船主賠償額等は資料から読みとれる範囲で拾い上げた。また,事故に関連する当時の状況もできるだけテキストデータとして入力することとした。

3.1.2 データベース解析

データを扱う際に,事故の規模,支払いの考え方では71年基金と92年基金との仕訳が難しい部分もある。また,為替レートの変化や現在価値への換算等による支払い金の補正も必要ではあるが,ここでは円レートを1USD=107JPYとして計算を行った。

表 3.2.1 にデータ数 113 件について油濁事故への支払い金を費用・被害項目毎に整理して、各支払い項目について平均値や比率等を集計表としてまとめて示す。この表中下段には、費用・被害項目の説明を付記する。項目には主に清掃や防除にかかる費用と損害に対する補償があるが、海洋環境の生態系への損害である環境損害については、基金では「理論的モデルに従って計算した抽象的な損害定量化に基づく海洋環境損害補償額の評価」による支払いを一部の例外を除き、拒否してきている。

この集計表によると、これまでに油濁被害の請求に対して支払われて来た 113 件について総額は約 1040 億円あるが、支払額が決定していないクレーム中の額も多いため、これらを含め被害額とすると被害の総計は約 2070 億円ある。また過去の油濁事故での補償額でも請求額が高額であった場合には、和解により請求に対して大きな割引が見られるようなケースもあった。しかし、ここではクレーム中のものは割り引かずに、支払額との合計金額を被害額として計算に用いるものとする。集計表

表 3.1.1 油濁事故にみる費用・被害集計

	総データ (件数113件)							
│費用 ・被害項目	支払済 (億円)	クレーム中 (億円)	合計 (億円)	平均 (億円)	比率 (%)			
清掃費用	518.66	448.63	967.29	8.56	46.7			
防除費用	7.55	10.05	17.51	0.16	0.9			
漁業被害	241.96	343.20	585.16	5.18	28.3			
観光被害	71.41	97.88	169.28	1.50	8.2			
養殖被害	7.06	0	7.06	0.06	0.4			
逸失所得	8.27	33.25	41.52	0.37	2.0			
財産被害	21.38	6.86	28.24	0.25	1.4			
環境被害	0.74	92.15	92.89	0.82	4.5			
その他	160.94	0	160.94	1.43	7.8			
合計	1037.87	1032.01	2069.88	18.32	100			
船主責任	549.50	-	549.50	4.86	-			
内数(%)	52.9	-	26.6	-	-			
流出量合計	(万ton)	_	39.55					
流出量平均	(ton)	3500						
被害額/トン	、(万円/ton)	52.3					

費用・被害項目の説明

清掃費用:流出油の清掃や浄化に要した費用

防除費用:油濁事故の拡大を防止するための

防除対策に要した費用

漁業被害:油濁事故の影響で漁業に与えた損失 観光被害:油濁事故の影響で観光業に与えた損失

養殖被害:油濁事故の影響で養殖業に与えた損失逸失利益:漁業、観光、養殖被害以外の失われた

逸失利益への補償

財産被害:油濁によって被害を受けた財産に対

する補償金(例えば油で汚濁した

船舶の船体清掃費用等)

環境被害:油濁事故後の環境調査に要した費用

や被害,地域の環境価値の損失額

トラス その他被害:上記以外の被害

(例えば船体引揚費用等)

表 3.1.2 データベース項目での相関関係

項目	流出油量	海岸汚損長さ	油種	積載油量	GT	事故原因
推定被害額	AB	A	A	A	AB	AB
流出油量		N	A	AB	AB	AB
海岸汚損長さ			N	В	N	N
油種				AB	AB	AB
積載油量					AB	A
GT						В

A:全データでの相関あり

B: 小規模流出(費用・被害額10億円以下, 流出油量2000ton以下)のデータに相関あり

の計算では大雑把ではあるが、1件当たり平均18億3200万円油濁防除費用と損害が生じ、その内 訳は半々程度であり、1トン当たりの平均油濁被害にかかる費用は52万3千円である。

次にデータベースの各項目間での関連を調べるために、項目間の相関値を求め有為差による検定を行い相関表としてまとめたものを表3.1.2に示す。なお、油濁事故データには取り上げた項目のデータ全てを具備しているものとは限らないため項目の程度に応じて調整して計算を行った。この表によると、例えば、推定被害額の項目には油濁事故の規模によるが、流出油量、海岸汚染長さ、油種等の多くの項目に関連があることが分かる。

そこで関連のある項目の中からいくつか取り出してプロット図として描き、関連の傾向を把握していくことにする。

図3.1.3 に推定被害額と流出油量の値をプロットした図を示す。この図では、流出油量と被害額には相関関係が予測されるが、油量は多いが拡散が抑制された場合には被害も抑制される場合もあり、これとは逆にナホトカ号、エリカ号、プレステージ号の事故のように流出油が沿岸に広範囲に拡大した場合には、流出油量以上に被害額が高額となり得ることが分かる。そこで、ここでは油濁事故のタイプを沿岸域を汚損した沿岸汚損型、流出油量の割に被害が小さかった油量支配型、流出油と被害額がほぼリニアの関係が予測される油量相関型に分けることとする。

図3.1.4に油濁事故のタイプの例として、沿岸汚染型について推定被害額と汚損海岸長さのデータをプロットしたものを示す。図によると、汚損海域が拡大するに従い、現状復帰のための清掃費

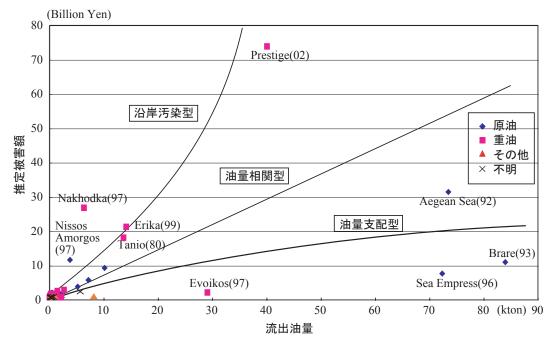


図 3.1.3 流出油量と推定被害額のプロット図

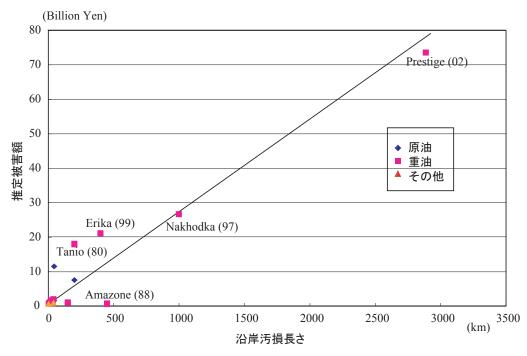


図 3.1.4 汚損沿岸長さと推定被害額のプロット図

用等に莫大な金額を要するため被害額も上昇し、沿岸汚損長さと被害額には強い相関が予測される。また、沿岸汚染型事故では重油によるものが被害の大きな事故につながっていることが予測される。

また、関連項目から図3.1.5に事故当時の積載油量と推定被害額の関連を示す。この図では、積載油量が多いと被害額は上昇するが、積載油量8万トン付近でのピークを境に被害額が減少する傾向がある。また、重油を積載していて油濁事故を起こした場合には、積載量の割に事故が拡大していることから、積載油種の違いにより被害の拡大が異なることもうかがえ、図中、円で囲んだように、油濁事故の種類を積載貨物の油種により、重油、原油のグループ毎に関連づけられることが推察される。

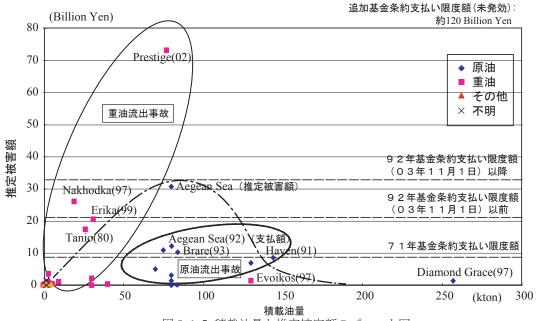


図 3.1.5 積載油量と推定被害額のプロット図

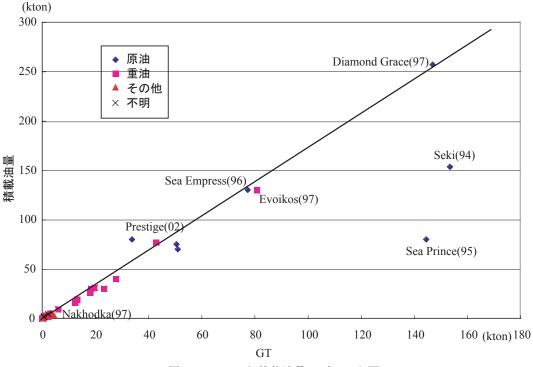


図 3.1.6 GTと積載油量のプロット図

また、関連項目から積載油量とタンカーの GT についてプロットしたものを図 3.1.6 に示す。この図によると積載油量と GT はほぼ比例関係にあるため、事故時にはほぼ満載状態での事故が多いことも推察される。

これらのことから、油濁事故をいくつかに類型化して表にした例を次に示す。

表 3.1.3 に油濁事故を沿岸汚染型、油量支配型、油量相関型に分けて、費用・被害額の各項目と 比率を整理して示す。沿岸汚染型では事故が沿岸部に拡大しているため清掃費用が高額となり、さ らにそれに伴う漁業、観光被害額が高額化する傾向がある。またこれらの被害に対して船主責任で は十分に対処できず、基金の拠出が大きい可能性もある。また、1トン当たりの被害額も160万円 と高額であり他の事故型と大きく差がある。

表 3.1.3 油濁事故にみる汚損型別費用・被害集計

	;	5損型別内部	3			汚損型	別内訳((平均)	
費用・被害項目 [該当件数]	沿岸汚染型 [7]	油量支配型[6]	油量相関型 [100]	沿岸:	汚染型 (%)	油量 金額	支配型 〔 (%)	油量金額	相関型 (%)
清掃費用(億円)	699.3	90.9	177.1	99.9	49.2	15.1	27.4	1.8	56.1
防除費用 (億円)	1.8	6.4	9.3	0.3	0.1	1.1	1.9	0.09	3.0
漁業被害 (億円)	337.2	176.9	71.1	48.2	23.7	29.5	53.4	0.7	22.5
観光被害 (億円)	167.3	1.0	1.0	23.9	11.8	0.2	0.3	0.01	0.3
養殖被害 (億円)	0	7.1	0	0	0	1.2	2.1	0	0
逸失所得 (億円)	31.8	1.0	8.7	4.6	2.2	0.2	0.3	0.09	2.8
財産被害 (億円)	8.0	19.6	0.64	1.2	0.6	3.3	5.9	0.006	0.2
環境被害 (億円)	66.0	3.5	23.4	9.4	4.6	0.6	1.1	0.2	7.4
その他 (億円)	111.2	25.2	24.5	15.9	7.8	4.2	7.6	0.2	7.8
合計 (億円)	1422.8	331.6	315.6	205.2	100	55.2	100	3.2	100
船主責任(億円)	236.8	83.1	229.5						_
内数(%)	16.7	25.1	72.7						
流出量合計(万ton)	8.88	27.24	3.44						
流出量平均(ton)	12686	45393	344						
被害額/トン(万円/ton)	160.2	12.2	91.7						

表 3.1.4 油濁事故にみる油種別費用・被害集計

		油種別内訳		;	由種別内訳(平均	匀)
費用・被害項目 [該当件数]	原油 [17]	重油 [65]	その他 [31]	原油 金額 (%)	重油 金額 (%)	その他 金額 (%)
清掃費用(億円)	152.1	776.6	38.6	8.9 26.3	11.9 53.9	1.2 79.3
清冊复用 (徳円) 防除費用 (億円)	6.4	9.9	1.1	0.4 1.1	0.2 0.7	0.04 2.3
			2.3	12.1 35.6		
漁業被害 (億円)	206.1	376.7		-		0.07 4.7
観光被害(億円)	8.0	161.3	0	0.5 1.4	2.5 11.2	0 0
養殖被害(億円)	7.1	0	0	0.4 1.2	0 0	0 0
逸失所得(億円)	9.5	31.8	0.2	0.6 1.6	0.5 2.2	0.008 0.4
財産被害(億円)	18.3	9.9	0.04	1.1 3.2	0.2 0.7	0.001 0.08
環境被害(億円)	85.5	7.4	0	5.0 14.8	0.1 0.5	0 0
その他 (億円)	86.3	68.2	6.4	5.1 14.9	1.0 4.7	0.2 13.1
合計(億円)	579.4	1441.8	48.7	34.1 100	22.2 100	1.57 100
船主責任(億円)	217.4	283.9	48.2			
内数(%)	37.5	19.7	99.0			
流出量合計(万ton)	26.31	11.62	1.62			
流出量平均(ton)	15479	1788	522			
被害額/トン(万円/ton)	22.0	124.0	30.0			

表 3.1.4 に油濁事故を積載油種として重油,原油,その他(アスファルト等)に分け費用・被害額の各項目と比率を整理して示す。該当件数も積荷に重油輸送中のものが多く,油濁事故による流出油量は少ないが,1トン当たりの被害額は原油に比べ124万円と高額である。これは主に費用・被害額内訳では50%以上を占める清掃費用に起因する。エマルジョン化した重油処理に伴う清掃費用が高額化することに因るものと考えられる。

また表 3.1.5 に油濁事故を油濁基金における船主責任限度額での区分に従い船舶のGTに分けて費用・被害額の各項目と比率を整理して示す。この区分では、5000GT以上の船舶での事故が重大事故につながっていることが推察される。

3.1.3 被害予測値の算出の検討

表 3.1.5 油濁事故にみるGT別費用・被害集計

	5000GT以下 [該当件数76件]		5000—140000GT [28]			140000GT以上 [3]			
費用 ・被害項目	合計 (億円)	平均 (億円)	比率 (%)	合計 (億円)	平均 (億円)	比率 (%)	合計 (億円)	平均 (億円)	比率 (%)
清掃費用	83.1	1.09	56.6	844.6	30.2	45.2	39.1	13.0	72.0
防除費用	9.3	0.12	6.3	8.3	0.3	0.4	0	0	0.0
漁業被害	40.8	0.54	27.8	538.7	19.2	28.8	5.7	1.9	10.5
観光被害	0.3	0.0034	0.2	168.3	6.0	9.0	0.74	0.25	1.4
養殖被害	0	0	0.0	7.1	0.3	0.4	0	0	0.0
逸失所得	0.3	0.0041	0.2	41.1	1.5	2.2	0.080	0.027	0.1
財産被害	0.3	0.0035	0.2	28.0	1.0	1.5	0	0	0.0
環境被害	0	0	0.0	92.2	3.3	4.9	0.69	0.23	1.3
その他	12.9	0.17	8.8	140.0	5.0	7.5	8.0	2.7	14.8
合計	146.9	1.93	100	1868.1	66.7	100	54.3	18.1	100
船主責任	32.1	0.42	-	470.6	18.5	-	42.1	14.0	-
内数(%)	21.8	-	-	25.2	-	-	77.5	-	-

表 3.1.6 油濁事故での被害額の推定

	被害額推定のための回帰係数						
関連項目費用 1 	単位量当たりの 費用・被害額 $(eta_{\scriptscriptstyle m l})$	切片定数 (β2)					
流出油量 油種 原油 重油	9.80 (万円/ton) 34.4 (万円/ton)	34.8 (億円) 0.449 (億円)					
沿岸汚損長	2512 (万円/km)	4.51 (億円)					

総費用・損害額あるいはこれらを構成する各別費用・損害項目に対する流出量等の事故データおよび総トン数のような船データの項目との関連度を推定するために回帰分析を試みる。総費用・被害の予測値の算出のための要因としては、表 3.1.2 のデータ項目間の相関表とプロット図を参考にして、被害推定値 Y_i を関連の可能性のある変数 X_i として流出量、汚損海岸線長さ、油種を取り、 u_i を回帰式からのばらつきとすると、回帰式は回帰係数 β_1 , β_2 により次式により表せる。

$$Y_i = \beta_1 X_i + \beta_2 + u_i \tag{1}$$

この式より u_i を最小とする β_{l} , β_{l} を最小二乗法により求める。さらに,各データの回帰残差 e_i を求め,各 e_i よりデータ数をnとしたときの推定値の標準誤差sを次式により求め,ここでは,データのはずれ値として e_i がs の 2 倍となるものを除去して計算を行う。

$$s^2 = \sum e_i^2 / (n-2) \tag{2}$$

計算の過程で現れたはずれ値は、例えばクレーム中のものに大きな環境被害を請求しているものや、 被害に絡み清掃費用に莫大な金額が発生しており審査中のものについてはデータから除去した。

前節までの考察の過程から、流出量と被害額には油種による差が大きいことが分かり、これらを表 3.2.6 に示すように予想被害額の回帰係数 β_1 , β_2 として示す。なお、流出量については重油と原油について油種に分けて示している。この表によると原油事故には流出量が大きいケースが多く一度事故が起こると一件当たりの被害額が大きい。また重油流出事故では、トン当たりの費用・被害額

は原油に比べるとエマルジョン化による清掃費用に費用を要するため高額化する傾向がある。さらに沿岸汚損に発展すると汚損長さ1km当たり約2500万円の費用・被害が発生する可能性があることが推察できる。今回の計算では単回帰により係数を求めているため、例えば、油濁事故の際に油種が原油であり沿岸に汚損がある程度広がったケースには、(1)の回帰式での計算において費用が高い側に発生し、沿岸汚損費用が高額に発生する可能性があると考えられる。

3. 2 エクソン・バルデス号の油流出事故と環境価値の仮想的評価法

油濁基金では環境被害についての請求を拒否しているため、損害の課題として残されている部分であるが、ここでは、環境価値の損失額を推定して油濁事故の被害額として策定した例について、文献を引用し解説を加えながら述べる。環境価値の推定にはCVM (Contingent Valuation Method)と呼ばれる仮想的評価法が用いられているが、これはエクソン・バルデス号の油流出事故の際に訴訟の場で環境損害額の査定に適用された手法である。

(1)油流出事故

流出油事故の概況を図 3.2.1 に示す。エクソン社所有の VLCC(21 万 DWT) のエクソン・バルデス号は,1989年3月23日木曜日の夕刻にアラスカのプリンス・ウィリアム湾の湾奥にあるバルディーズ港を出港して,カリフォルニア州ロングビーチに向う途中に,湾口の氷山を避航しようとした際に人的ミスが幾つか重なり航路を大きく逸脱して,3月24日金曜日の0009時頃にブライリーフに座礁した。この座礁事故によりシングルハル構造のタンクの11の貨物油タンクが破損し38,800トンの原油が流出して大規模油流出事故となった。

(2) 事故への対応

事故後3日間は天候が穏やかであったにも拘わらず,初期対応に当ったエクソン社やアリエスカ・パイプライン社には油防除の資機材が十分でなかった。展張されたオイルフェンスはほとんど無く,



図 3.2.1 事故当時の推定航路

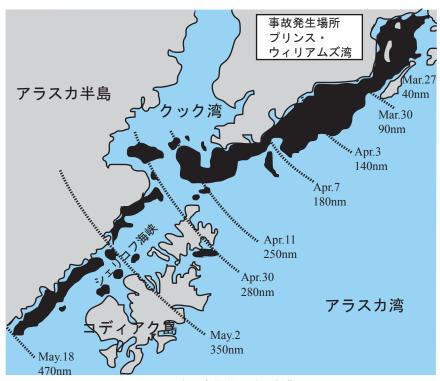


図3.2.2 油濁事故後の油の拡散

展張されたものも役に立たっていなかった。また試験的に焼却による防除方法が試されたが、原油が既にムース状態になり、かなりの水分含有があり焼却は難しかった。油処理剤の散布テストも行われたが成果が出なかった。

その後天候が時化となり、油は広範囲に拡散して防除不可能な状態に急速に変化して、流出油は プリンス・ウィリアム湾の西側海岸に漂着し始めた。図 3.2.2 に示すように、その後、流出油は西 方に広範囲に拡散して、事故後 7 週間後には西方 470 海里まで油汚染が拡大した。

事故後5ヵ月半は,浄化作業が大規模に行われ,作業のピーク時には作業者11,000人,船舶1,400隻,航空機80機が作業にあたり,4年間にわたる作業において総額約20億ドルが,海岸線距離1,500海里(直線距離では約500海里)以上に渡る油により汚染された海岸浄化のために費やされた。被害の復旧費用については政府当局者の州政府と連邦政府が協力して環境被害の程度を査定して被害額を算定し,エクソン社に対して損害賠償請求を行い賠償金により復旧を行うこととなった。

(3) 環境被害の査定

環境被害の程度の査定には損失の前後の査定基準が必要となるが、流出地域には事故前の環境資源の査定の基準となる情報がほとんどなかった。油流出後に大量の動物の死体が発見されたことから、流出油により死亡した動物数を数えることにより環境被害が査定された。調査によるとウミガラス約21,000羽,マダラウミスズメ1,100羽,鵜838羽,ハクトウワシ151羽,ラッコ1,000頭等が含まれていたが、また流出域が広大であるため、この中で死体として発見できなかった可能性もあり、また発見されなかった種も存在しうることが懸念され幾つか推定値が出された。しかし、死亡動物では生態系全体についての被害算定ではなく、生物種の被害に限られた調査となった。

さらに環境損害として天然資源に対する将来に渡るリスクについての被害は、査定に問題を呈した。例えばトラウトの成長へ与える被害や、カラフトマスのように天然種と養殖種がありうる場合は、産卵種への汚染はどのように遺伝的影響があり、影響はどの程度になるのか、となると不明確であったが、一応の推定値が出された。

(4) 環境損失評価額の査定方法

さらに天然資源の被害額を金銭価値で評価することも困難を呈した。カワウソ1頭, アザラシ1頭, ウミガラス1羽の価値はそれぞれいくらなのか? 成長の遅いトラウトの飼育費はどれほどか? 政府当局の弁護士は, 主としてこれらの資源が人間に提供するサービス(例えばス ポーツフィッシングや観光)の価値から算定を試みた。

(a) 代替コスト法

代替コスト法とは、被害を受けた動物が他地域で十分な生息数が確認されている場合に、被害地域への代替動物として移転する方法を取るときにかかる移転費用や、被害を受けた動物のリハビリテーションに要する費用を、天然資源の損害額として代替して算定する方法である。

移転費用とは、動物一頭を捕獲し、新しい場所に適応させるまでのに要する費用である。例えば タカ類の場合、捕獲・移転の費用は1羽当たり1,000-1,500ドルであった。しかし、タカ類は営巣 地に戻る習性があるために、つがいの移転費用を算出する必要もありうるという問題も生じた。

また、代替費用とは、子供の動物を成長するまで育てるのに要する費用である。タカの幼鳥を育て自然界に戻す試みが行われてきていたものを参考にして、一羽のタカの成鳥を自然界で生息できるようにするための費用として見積もった。ケースにより異なるが、12,500-22,500ドル程度と算出された。

さらに被害を受けた動物に対するリハビリ費用は、エクソン社が油流出の被害を受けた動物のリハビリ・プログラムでタカ1羽に対して約100,000ドルを費やしたことがあった。 これらの数字を総括して、タカ類には1羽当たり約22,000ドルと評価された。

(b) トラベルコスト法

この方法は、本来得るべき利益を事故により逸失したとして求める、逸失利益の算定に近い。

例えば、この地域には多くの釣り人が訪れるため、スポーツフィッシングによる地域への経済効果があるため、エコノミストが釣り人に対してインタビュー調査を行い、この地域での魚釣りには1日平均250ドルを支出していると算定し、これが平均的なスポーツフィッシングによる価値であると仮定した。この金額に減少した釣り人の延日数(124,185日)を乗じることにより、エコノミストは1989年のスポーツフィッシングの損失額は約3,100万ドルと算定した。

また、油流出が観光に与えたであろう影響は、アラスカ州への旅行を計画した人と実行した人および住民への調査によって算定された。調査の結果、1989年における旅行者の支出はアラスカ中南部で8%、アラスカ南西部で35%減少したことが判明した。実際に流出地域では59%がキャンセルされた。また実際にアラスカを訪問した旅行者の調査では16%の人が「油流出が旅行計画に影響を与えた」と答え、さらにその半数がプリンス・ウィリアム湾の観光を避けたと回答があった。これらの結果から1989年の損失額は1,900万ドルと算定された。

トラベルコストにより算定したとしても、損失を十分に補償する算定結果は得られなかった。

(c) 仮想的評価法 (CVM, Contingent Valuation Method)

逸失利益をスポーツフィッシングをする人や漁業関係者のように天然資源を直接に利用する者から算出するのではなく、「消極的利用」による損失もあり得ることが検討された。

消極的利用とは、流出地域を訪れたことはないがいつかは行ってみたいと思っている者、この地域を利用する計画はないが子供達には利用する機会を与えたいと思っている者、直接利用する計画はないが損なわれていない未開の自然の存在に価値を認めている者などの被害を受けた地域に間接的な関係しか持っていない者に発生する喪失感も被害に含まれるものとして算出するものである。

表 3.2.1 環境価値の分類

	価値	分類基準	例
利用価値	直接利用価値	消費可能な生産物 資源享受)	木材生産 食物生産 水産資源 鉱物資源
	間接利用価値	消費的な利用はされないが、 間接的に利用されることで得られる価値	レクリエーション, 航路水源涵養 自然の浄化機能
	オプション価値	現在は利用されていないが、将来的に利用 される可能性があるため、その時まで自然 環境を残すことで得られる価値	将来のレクリエーション 将来の遺伝子資源
非利用価値	遺産価値	現在利用することはないが、将来世代に 自然環境を残すことで得られる価値	将来世代のための原生自然 生物多様性
	存在価値	利用することはないが、そこに存在 することによって得られる価値	野生動物 原生資源

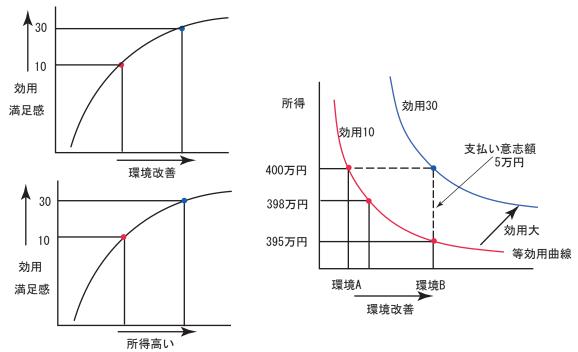


図3.2.3 効用関数と支払い意志額

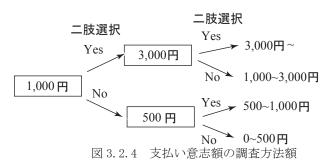
アラスカ州は消極的損失の算定分野における国内で最も有能なエコノミストから成るプロジェクトチームが結成された。またこのチーム評価としてピア・レビュー (peer review) と呼ばれる合理性を確保するために同分野の専門家が中立的な立場からの評価が行われ,これにはノーベル経済学賞を受賞したロバート・ソローが担当した。この消極的損失の算定で当時最も受け入れられた方法が「仮想評価法」である。被害を受けた人全体を推定できるような世論調査行い,その結果から全体が被った損害を算定しようというものである。アラスカ州は消極的利用の損失額算定研究に対して最終的に300万ドル以上を費やしたと言われる。

この手法は環境価値の評価において数多く用いられてきていたが、訴訟の場で試されたのはこの 事例が初めてである。当時、エコノミストの間でもこの手法の訴訟への導入に賛否両論があったた め、実施にはより多くの支持が得られそうなダブルバウンド方式と呼ばれる方法が取られた。

消極的利用価値とは、表 3.2.1 に示すように環境価値を大きく利用と非利用とに分類されるものとすると、直接利用価値以外の価値を算定するものである。これには図 3.2.3 に示すような環境改

主な支払意志額の調査方法

- (1) 自由回答方式: 金額を自由に記入
- (2) 値付けゲーム方式: 市場の競りのように値段をつり上げていく
- (3) 支払いカード方式:上げた数字から一つを選択する
- (4) 数直線法方式:支払い金額を明記した数直直線上に金額をプロットしてもらう
- (5) 二肢選択・ダブルバウンド方式:提示した数字にYes/Noで回答してもらいこれを2度繰り返す



善による効用と所得による効用から、同等の効用曲線があるものとしてこれを定める。

例えば、図中効用が10とした曲線では所得が400万円と仮定し環境がAの状態であったものと所得が395万円であるが環境がBという状態に改善されたものとが同等の効用があるとすると、その差が環境改善にたいしての支払い意志額となりうるとして、環境価値として評価しようとすることに基づいている。

どのような改善を提示するかについては、エクソンバルデスの例ではいくつかの調査から、タンカーが油流出を防止するために取られる対策としてエスコートシップを付けるとしたときに、1人が対策に支払う意志額を調べることで算定できるものとした。

また、この支払い意志額の調査方法には図3.2.4に示すように自由回答、値付けゲーム等の方法があるが、金額の答えにくさを排除するために、ダブルバウンド方式と呼ばれる提示された金額についてYes/Noの二つの選択肢から答え、これを2回繰り返すことにより金額を査定していく方法がある。これに最尤法(さいゆうほう)という「回答を受けた標本は確率最大のものが実現している」という仮定のもとに統計的推定から尤度関数を推定して、支払い意志額を算定するものである。

一方,評価額を全体値として拡大する際には,損害を被った人数を決める必要があるが,エクソン・バルデス号油流出事故では,この事故に対する世間の認識と感情の大きさが甚大であるため,全米国民を対象とすることが適切であることは明白であるとされた。支払い意志額の調査は1,200名に対して直接行われ,回答者の90%以上が油流出について認知していたと報告があるが,アラスカ州民は意志額が極端に大きくなる可能性があることから調査対象から外し,漁業関係者等の他の訴訟当事者も請求する被害額が入る可能性が高いため,調査対象から除外された。尤度関数によると半数の人が支払い,残りの半数の人が支払わないであろうという確率に相当する中央値として,調査結果から一世帯当たりの支払意志額は31ドルであると算定された。これに米国で英語を話す世帯数(約9,100万戸)を乗じて,消極的利用の損害総額は28億ドルと算定された。

(5) 和解

損害額推定でのCVMの適用の可否は裁判で審理されたことはなかったが、調査に多少方法論的な問題があったという指摘から、金額を50%削減すべきだと言うエコノミストもいたため、不確定要素を考慮し、州政府は請求額を計算値の半額以下の金額にすべきであると考え、和解を受け入れられる金額として10億ドルが決定された。

連邦刑事裁判の日程が迫るにつれ,エクソン社は州政府および連邦政府との和解に関心を持った

と言われる。1991年8月28日に和解協定書が連邦地方裁判所によって承認された。この協定書に基づいて、州政府と連邦政府は受け取る和解金を使って復旧を図ることとなり、9月末には州政府および連邦政府とエクソン社が民事和解協定に署名した。また、エクソン社と国は刑事司法取引を行った。裁判所はこの和解と司法取引を1991年10月8日付けで承認した。

民事和解協定の下で、州政府および連邦政府はエクソン社から向こう 10 年間に 9 億ドルを受け取り、さらに和解時に判明していない損害に対しては追加として 1 億ドルの支払いを受けることになった。この受領金は、油流出に関する政府出費の弁償、今後の浄化に対する費用、および復旧のための費用として使われることとなった。また刑事審判によりエクソン社は刑事補償金として州政府および連邦政府にそれぞれ 5,000 万ドルを,刑事罰金として国に 2,500 万ドルを支払うこととなった。(6) 流出油の長期影響

2001年及び2002年に行われた海岸調査では、プリンス・ウィリアム湾内の浜辺は合計約28 エーカー(11万3千㎡)相当が油で汚染されていることが判明した。特に風化されにくく毒性が強い地表下の油の問題が指摘された。また、流出油が礫浜の深部、貝床の下、さらには生物学的生産帯に最も近い潮間帯の低部に残留しており、これらの影響から流出油が食物連鎖に入り込んでいることが懸念され、海ガモ類やラッコが摂取する餌を汚染しているため、これらの回復は遅れているとの指摘もある。動物に摂取された油は新陳代謝され、代謝産物が組織損傷の原因になっている可能性

時間経過に従い、生物種に対する流出油の影響を他の要因による影響と区別することが難しくなるため、資金約1億ドルを投じて油流出地域の長期モニタリングと調査を行うGEM(Global Environment Monitoring)計画を決定した。調査により人類に有益な魚類や野生生物の生物過程と個体数のコントロールに気候と海洋学が重要な役割を果たしていることが一層明らかになってきている。

(7) 人的影響

があり長期影響が懸念されている。

事故は家庭や地域社会にも大きな影響を与えた。例えば、洗浄作業に参加して以前より収入が増えた(時給16.69ドル、ボート借上げ1日6000ドル)、民宿の開業、空き部屋の貸出、漁業を放棄した(サケの漁獲が減り、風評により価格暴落)、先住民生活の伝統的社会的つながりが薄れた、飲酒、麻薬中毒、家庭内暴力が増えた、流出事故後の不安傷害、心的外傷性ストレス、鬱病が増加した等が報告されている。

州政府と連邦政府がエクソン社に対する補償請求を解決できたことで政府関係者にとって損害はなかったが、民間人はまだ解決に至っていない。1994年に民間人が原告となった請求訴訟において、陪審は漁業関係者に対する損害補償として約2億8,700万ドル、更に住民、地方自治体、地域企業など他の原告に対しては350万ドルという評決を下した。さらに陪審は懲罰的損害賠償として50億ドルを課した。この民間訴訟はエクソン社が控訴しており、連邦裁判所で審理中である。

参考・引用文献

[1]Molly McCammon (Executive Director Exxon Valdez 0il Spill Trustee Council), エクソン・バルディーズ号の油流出事故による環境負荷コストの算出,油流出に関する国際シンポジウム「タンカー事故:周辺国の蒙る被害と課題」- 経済的・技術的視点から -, 石油連盟講演資料,平成15年2月27日(木)~28日(金)

[2] J. K. ミッチェル編,7つの巨大事故,創芸出版

[3] 栗山浩一:公共事業と環境の価値,築地書館,(1999)

3.3 複数の RCO(リスクコントロールオプション)がある場合の費用対効果導出方法

3.3.1 概要

対象船舶のカテゴリーが ALARP 領域にあると評価された場合、可能な限りリスクを低減すべしとの圧力が生じ、効果的と判断される RCO を複数導入することが検討される。バルクキャリアの安全性評価ではまさにこのことが IMO で議論され、種々の安全対策の強制化が決定した。しかし、考えうる RCO が複数ある場合、それらの組合せによるリスク低減量は、RCO 個々の場合のそれぞれの効果の和にはならない。この点は RCO の組合せによる安全基準を施行する場合に注意を必要とする事柄である。この場合の問題点は、RCO 個々のリスク低減量が何らかの方法で推定されている場合に、それらの組合せによるリスク低減量を推定する方法である。

ここでは、妥当な仮定に基づき、理論的に複数の RCO の組合せによるリスク低減量を推定する方法を提案する。また、個々の RCO のリスク低減量、およびそれらの和と、この方法により得られる複数の RCO の組合せによるリスク低減量との関連を示す。

3.3.2 複数の RCO の組合せによるリスク低減量の推定方法

図 3.3.2.1 のようにハザード発生から避難に至る事故シナリオにおける RCO とリスクの関係を示す。 ハザード発生に起因する事故シナリオは概略図 3.3.2.1 のように表現される。

	ハザー ド発生	事故発生防止RCO (分野1RCO)	災害進展抑制 RCO (分野2RCO)	避難RCO (分野3RCO)	シナリオ概要	発生頻 度	人命損 失数	リスク
ハザード発 生頻度:h _f		Y:分野1RCO成功 (確率:1-q1)			事故発生せず	p ₁	n ₁	r ₁
	l	N:分野1RCO失敗 (確率∶q1)	Y:分野2RCO成功 (確率:1-q2)		事故発生・災 害進展せず	p ₂	n ₂	r ₂
			N:分野2RCO失敗 (確率 : q2)	(確率∶1-q3)	事故発生·災 害進展·避難 成功	p ₃	n ₃	r ₃
				N:分野3RCO失敗 (確率∶q3)	事故発生·災 害進展·避難 失敗	p ₄	n ₄	r ₄

図 3.3.2.1 事故シナリオのリスク

図3.3.2.1 で、事故発生防止 RCO が成功すれば事故は発生しないため、r1=0 となる。また、同図で避難とは被災船舶から脱出する、すなわち退船する事であり、事故発生防止 RCO が失敗し、災害進展抑制 RCO が成功した場合でも、被災船舶内で避難することはあり得る。火災時の避難がこれに該当する。

同じ分野における RCO は、その分野の対処成功確率を向上させる、すなわち、その分野の RCO 全体の信頼性を上げることになる。

(1) 定式化

以下のように定義する。なお、以下は主要事故毎に考慮することとする。

h_f: 考慮対象ハザードの発生頻度

i:事故および対処の進展分野(1:ハザード発生->事故発生、2:事故発生->避難開始(災害進展抑制)、3:避難)

j: 各分野におけるリスク抑制方策(安全対策)

q1:事故発生防止失敗確率

q2:事故発生防止失敗時の災害進展抑制失敗確率

q3:災害進展抑制失敗時の避難失敗確率

qii: 分野 i における j 番目のリスク抑制方策の失敗確率

 $_{ij}$: 分野 $_{i}$ におけるリスク抑制方策に影響を及ぼす $_{j}$ 番目の RCO による失敗確率の減少率(この RCO 導入後の分野 $_{i}$ における $_{j}$ 番目のリスク抑制方策の失敗確率は、 $_{ij}$ $_{ij}$ となる)

p1:事故発生防止成功頻度

p2:事故発生防止失敗時の災害進展抑制成功の頻度(事故および船舶データベースより求められる)

p3:災害進展抑制失敗時の避難成功の頻度(事故および船舶データベースより求められる)

p4:避難失敗の頻度(事故および船舶データベースより求められる)

n1:事故発生防止成功時の平均人命損失数(=0)

n2:事故発生防止失敗かつ災害進展抑制成功時の平均人命損失数(n2 n1 と仮定できる)

n3:災害進展抑制失敗かつ避難成功時の平均人命損失数(n3 n2と仮定できる)

n4:避難失敗時の人命損失数 (=Nall) (n4 n3 と仮定できる)

r1: 事故発生防止成功シナリオのリスク (=p1×n1=0)

 ${
m r2}$: 事故発生防止失敗かつ災害進展抑制成功シナリオのリスク (= ${
m p2} \times {
m n2}$)(事故および船舶データベースより求められる)

r3:避難成功シナリオのリスク(=p3×n3)(事故および船舶データベースより求められる)

r4:避難失敗シナリオのリスク (=p4×n4)(事故および船舶データベースより求められる)

R: すべての事故による基本リスク

とすると、R を以下のように定義する。

$$R = h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \left(1 - \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \right) + n_{3} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \left(1 - \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right) + n_{4} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$= h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$...(1)$$

また、以下が成立する。

$$p_{2} = h_{f} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \left(1 - \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \right), \quad p_{3} = h_{f} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \left(1 - \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right), \quad p_{4} = h_{f} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \cdot \cdot \cdot (2)$$

r2、r3、r4 は、事故および船舶データベースより 1 件毎の人命損失数と事故発生頻度を乗じて総和を取ることにより求める。n2、n3、n4 は、p2、p3、p4 および r2、r3、r4 より求められる。 また、

$$h_f \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} = p_2 + p_3 + p_4, \quad h_f \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} = p_3 + p_4$$
 . (3)

である。

ここで、

$$q_1=\prod_{j=1}^{m_1}q_{1j}$$
、 $q_2=\prod_{j=1}^{m_2}q_{2j}$ 、 $q_3=\prod_{j=1}^{m_3}q_{3j}$ 、すなわち、それぞれの分野は、関係するその分野のすべて

の RCO が失敗した場合に失敗する。

また、

 $r_{u_iv_j}$:特定分野 ui の j 番目のリスク抑制方策へ影響する RCO を導入した場合のリスク

$$\Delta r_{u_i v_i} = r_{u_i v_i} - R$$

とすると、

(1)分野1の場合

$$\Delta r_{1v_{j}} = h_{f} \left(n_{2} \alpha_{1v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \alpha_{1v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \alpha_{1v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$- h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$\frac{\Delta r_{1v_{j}}}{h_{f}} = \left(\alpha_{1v_{j}} - 1 \right) \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

この場合の $lpha_{{\scriptscriptstyle 1}
u_j}$ は(4)式のように求められる。

$$\alpha_{1v_{j}} = \frac{\Delta r_{1v_{j}}}{h_{f}\left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + \left(n_{3} - n_{2}\right) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + \left(n_{4} - n_{3}\right) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j}\right)} + 1 \qquad (4)$$

あるいは、

$$\alpha_{1v_j} = \frac{\Delta r_{1v_j}}{r_2 + r_3 + r_4} + 1$$

(2)分野 2 の場合

$$\Delta r_{2v_{j}} = h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \bullet \alpha_{2v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \bullet \alpha_{2v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$- h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$\frac{\Delta r_{2v_{j}}}{h_{f}} = \left(\alpha_{2v_{j}} - 1 \right) \left((n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

この場合の $\alpha_{2\nu_j}$ は(5)式のように求められる。

$$\alpha_{2v_{j}} = \frac{\Delta r_{2v_{j}}}{h_{f}\left((n_{3} - n_{2})\prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3})\prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j}\right)} + 1 \qquad (5)$$

(3)分野 3 の場合

$$\Delta r_{3v_{j}} = h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \cdot \alpha_{3v_{j}} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$- h_{f} \left(n_{2} \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} + (n_{3} - n_{2}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} + (n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

$$\frac{\Delta r_{3v_{j}}}{h_{f}} = \left(\alpha_{3v_{j}} - 1 \right) \left((n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j} \right)$$

この場合の α_{2v_i} は(6)式のように求められる。

$$\alpha_{3v_{j}} = \frac{\Delta r_{3v_{j}}}{h_{f}\left((n_{4} - n_{3}) \prod_{j=1}^{m_{1}} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_{2}} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_{3}} q_{3j}\right)} \cdot \cdot \cdot (6)$$

(4)、(5)、(6)より、式中の分母が下流側になればなるほど小さくなるため、同じリスク減少値でもより下流側の RCO の失敗確率の減少率が大きくなる。言い替えるならば、リスク低減値が定められた場合、それを満足させるためにはより下流側の RCO であればあるほど信頼性が高くなければならないということである。逆に、失敗確率の減少率が同じであればより上流側の RCO を採用した方がリスク減少値は大きくなる。

- (2) 複数 RCO の組合せによるリスク低減量と、個々の RCO によるリスク低減量との関係 まず、2 つの RCO における関係を、同じ分野における RCO、異なった分野における RCO の場合に分けて求める。3 個以上の RCO の場合は 2 つの RCO の場合に還元できる。
- (a) 同じ分野における複数 RCO の場合

(i)分野 1 の場合

$$\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}} = h_f \left(n_2 \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$- h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} - 1 \right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \cdot \cdot \cdot (7)$$

(ii)分野 2 の場合

$$\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}} = h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \bullet \alpha_{2\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \bullet \alpha_{2\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) - h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) - \frac{\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{2\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} - 1 \right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \cdot \cdot \cdot (8)$$

(iii)分野 3 の場合

$$\Delta r_{3v_{j1}v_{j2}} = h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \bullet \alpha_{3v_{j1}} \alpha_{3v2} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$- h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$\frac{\Delta r_{3v_{j1}v_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{3v_{j1}} \alpha_{3v2} - 1 \right) \left((n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$\cdot \cdot \cdot \cdot (9)$$

また、個々の RCO のリスク低減量の和は以下のように求められる。

(i)分野 1 の場合

$$\begin{split} \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{1\nu_{j2}}}{h_f} &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) + \\ & \left(\alpha_{1\nu_{j2}} - 1\right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} + \alpha_{1\nu_{j2}} - 2\right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \end{split}$$

よって、

$$\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{1\nu_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{1\nu_{j1}}\alpha_{1\nu_{j2}} - \alpha_{1\nu_{j1}} - \alpha_{1\nu_{j2}} + 1\right) \bullet \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right)$$

ここで、

$$\alpha_{1\nu_{j1}}\alpha_{1\nu_{j2}} - \alpha_{1\nu_{j1}} - \alpha_{1\nu_{j2}} + 1 = (\alpha_{1\nu_{j1}} - 1)(\alpha_{1\nu_{j2}} - 1) \ge 0$$

したがって、

$$\begin{split} & \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{1\nu_{j2}}}{h_f} \ge 0\\ & 0 \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{1\nu_{j2}}}{h_f} \end{split}$$

となり、同じ分野に複数の RCO を導入した場合のリスク低減効果は、個々の RCO の導入時のリスク低減量の和を上回らない。

分野2および分野3の場合も同様である。

- (b) 異なった分野における複数 RCO の場合
- 2個のRCOを考慮すると、分野の組合せは、(1,2)、(1,3)、(2,3)の3通りである。
- (i) 分野 1 および分野 2

$$\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}} = h_f \left(n_2 \alpha_{1\nu_{j1}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{$$

また、この場合の個々の RCO のリスク低減量の和は以下のように求められる。

$$\begin{split} \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{2\nu_{j2}}}{h_f} &= \left(\alpha_{1\nu_j} - 1\right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) + \\ & \left(\alpha_{2\nu_j} - 1\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \\ & \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{2\nu_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{1\nu_j} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(\alpha_{1\nu_{j1}} + \alpha_{2\nu_{j2}} - 2\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \end{split}$$

よって、

$$\begin{split} \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{2\nu_{j2}}}{h_f} &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} - 1\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{2j} \right) \\ - \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} - \left(\alpha_{1\nu_{j1}} + \alpha_{2\nu_{j2}} - 2\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} - 1 - \alpha_{1\nu_{j1}} - \alpha_{2\nu_{j2}} + 2\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) \left(\alpha_{2\nu_{j2}} - 1\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right) \end{split}$$

したがって、

$$\begin{split} &\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{2\nu_{j2}}}{h_f} \geq 0 \\ &0 \geq \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} \geq \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}} + \Delta r_{2\nu_{j2}}}{h_f} \end{split}$$

となり、異なる分野に複数の RCO を導入した場合のリスク低減効果も、個々の RCO の導入時のリスク低減量の和を上回らない。

分野2および分野3の場合も同様である。

次に、同じ分野と異なる分野の 2 つの RCO の失敗確率減少率がそれぞれ同じである場合のリスク 低減効果を比較してみる。まず、分野 1 の 1 つの RCO が共通の場合を考慮する。

$$\begin{split} &\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} = \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} - 1\right) \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \\ &- \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} - 1\right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}}\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} - \alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}}\right) \left(\left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \\ &= \alpha_{1\nu_{j1}} \left(1 - \alpha_{1\nu_{j2}}\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \alpha_{1\nu_{j1}} \left(\alpha_{2\nu_{j2}} - \alpha_{1\nu_{j2}}\right) \left(\left(n_3 - n_2\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + \left(n_4 - n_3\right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right) \end{split}$$

ここで、 $\alpha_{2v_{j2}} = \alpha_{1v_{j2}}$ とすると、

$$\begin{split} &\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} = \alpha_{1\nu_{j1}} \left(1 - \alpha_{1\nu_{j2}} \right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \ge 0 \\ &0 \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \end{split}$$

となり、分野 1 と分野 2 の失敗確率の減少率が同じ場合、分野 1 の RCO を追加した方がリスク低減

量は大きい。また、 $\Delta_{2v_{j2}}=\Delta_{1v_{j2}}$ の場合は $\alpha_{2v_{j2}}\geq \alpha_{1v_{j2}}$ であるため、明らかに

$$\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \ge 0$$

$$0 \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} \ge \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f}$$

となる。したがって、分野 1 の RCO が共通で、同じリスク低減量の RCO をさらに追加する場合は分野 1 の RCO を追加した方が合成したリスク低減量は大きくなる。

次に、分野 2 の 1 つの RCO が共通の場合を考慮する。下記の式で $\alpha_{2\nu_{ii}}=\alpha_{l\nu_{ii}}$ とすると、

$$\begin{split} \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} - 1\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{2j} \right) \\ &- \left(\alpha_{2\nu_{j1}} \alpha_{2\nu_{j2}} - 1\right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + \alpha_{2\nu_{j2}} \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - \alpha_{2\nu_{j1}} \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j}\right) \\ &= \left(\alpha_{1\nu_{j1}} - 1\right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \leq 0 \\ \frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} \leq \frac{\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \leq 0 \end{split}$$

となり、分野 1 と分野 2 の失敗確率の減少率が同じ場合、分野 2 に RCO を追加するよりも上流側の RCO を追加した方がリスク低減量は大きい。また、 $\Delta_{2\nu_{j_1}}=\Delta_{1\nu_{j_1}}$ の場合は $\alpha_{2\nu_{j_1}}\geq\alpha_{1\nu_{j_1}}$ であるため、

明らかに

$$\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} - \frac{\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \le 0$$

$$\frac{\Delta r_{1\nu_{j1}+2\nu_{j2}}}{h_f} \le \frac{\Delta r_{2\nu_{j1}\nu_{j2}}}{h_f} \le 0$$

となる。したがって、分野 2 の RCO が共通で、同じリスク低減量の RCO をさらに追加する場合は分野 1 の RCO を追加した方が合成したリスク低減量は大きくなる。

したがって、同じリスク低減量の RCO をさらに追加する場合はより上流側に追加した方がリスク低減量は大きい。

これらのことは他の分野の組合せでも同様に言える。したがって、より上流側に RCO を設定するようにした方が効果は大きいことになる。

(3) 複数 RCO によるリスク低減量の求め方

以上の論議から、以下のように複数 RCO によるリスク低減量 $\Delta r_{u_iv_{i1}v_{i2}}$ ・・・を求めることができる。

- 1) 海難データおよび船舶データより、対象分野の ni(i=1,2,3,4)、pi(i=1,2,3,4)、ri(i=1,2,3,4)等を求める。
- 2) 専門家判断等により、単体 RCO によるリスク低減量 Δr_{uv} を推定する。
- 3) 1)、2)より、(4)式、(5)式、(6)式を用いて _{ii}を求める。
- 4) $\Delta r_{u_iv_i}$ 、 $_{ij}$ ・・・より、(7)式、(8)式、(9)式、(10)式等を用いて $\Delta r_{u_iv_iv_i}$ ・・・を求める。

3.3.2 例題

ある船種に対して事故全体の頻度、1 隻あたりの死者数が各段階の RCO の成功 / 失敗毎に次のように求められたとする。

p2(事故防止 RCO 失敗、災害進展防止 RCO 成功頻度)=0.005, n2(平均死者数)=4 p3(災害進展防止 RCO 失敗、避難 RCO 成功頻度)=0.002、n3(平均死者数)=10 p4(避難 RCO 失敗頻度)=0.001、n4(平均死者数)=20

それらに対応するリスクは以下のように求められる。

 $r2=p2 \times n2=0.02$

 $r3=p3 \times n3=0.02$

 $r4=p4 \times n4=0.02$

$$h_f \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} = p_2 + p_3 + p_4 = 0.008$$

$$h_f \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} = p_3 + p_4 = 0.003$$

$$h_f \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} = p_4 = 0.001$$

である。このような船種に対して事故防止 RCO を 2 種類、災害進展防止 RCO を 2 種類考慮し、それ ぞれ単一のリスク削減効果を以下のように推定したとする。

$$\Delta r_{1.1} = -0.001$$
, $\Delta r_{1.2} = -0.002$, $\Delta r_{2.1} = -0.001$, $\Delta r_{2.2} = -0.002$

$$\begin{split} \alpha_{1\cdot 1} &= \frac{\Delta r_{1\cdot 1}}{h_f \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1\,j} + \left(n_3 - n_2 \right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1\,j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2\,j} + \left(n_4 - n_3 \right) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1\,j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2\,j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3\,j} \right)} + 1 \\ &= \frac{-0.001}{4 \bullet 0.008 + (10 - 4) \bullet 0.003 + (20 - 10) \bullet 0.001} + 1 = -\frac{0.001}{0.06} + 1 = 0.9833 \\ \alpha_{1\cdot 2} &= \frac{-0.002}{0.06} + 1 = 0.9667 \end{split}$$

$$\alpha_{2.1} = \frac{\Delta r_{2.1}}{h_f \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)} + 1$$

$$= \frac{-0.001}{(10 - 4) \bullet 0.003 + (20 - 10) \bullet 0.001} + 1 = -\frac{0.001}{0.028} + 1 = 0.9643$$

$$\alpha_{2.2} = \frac{-0.002}{0.028} + 1 = 0.9286$$

として、各 RCO によるリスク減少率が求められる。

$$\Delta r_{1\nu_{j1}\nu_{j2}} = h_f \left(\alpha_{1\nu_{j1}} \alpha_{1\nu_{j2}} - 1 \right) \left(n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + (n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$\Delta r_{1 \bullet 1 + 2} = \left(0.9833 \bullet 0.9667 - 1\right) \bullet 0.06 = -0.002967 > \Delta r_{1 \bullet 1} + \Delta r_{1 \bullet 2} = -0.003$$

$$\Delta r_{2v_{j1}v_{j2}} = h_f \left(\alpha_{2v_{j1}} \alpha_{2v_{j2}} - 1 \right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_3} q_{3j} \right)$$

$$\Delta r_{2 \bullet 1 + 2} = \left(0.9643 \bullet 0.9286 - 1\right) \bullet 0.028 = -0.002927 > \Delta r_{2 \bullet 1} + \Delta r_{2 \bullet 2} = -0.003$$

$$\Delta r_{1v_{j1}+2v_{j1}} = h_f \left(\alpha_{1v_{j1}} - 1 \right) n_2 \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} + h_f \left(\alpha_{1v_{j1}} \alpha_{1v_{j1}} - 1 \right) \left((n_3 - n_2) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} + (n_4 - n_3) \prod_{j=1}^{m_1} q_{1j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \prod_{j=1}^{m_2} q_{2j} \right)$$

$$\Delta r_{1 \bullet 1 + 2 \bullet 1} = \left(0.9833 - 1\right) \bullet 4 \bullet 0.008 + \left(0.9833 \bullet 0.9643 - 1\right) \bullet 0.028 = -0.001504 < \Delta r_{1 \bullet 1} + \Delta r_{2 \bullet 1} + \Delta$$

$$\Delta r_{1 \bullet 1 + 2 \bullet 1} > \Delta r_{1 \bullet 1 + 2} = -0.002967$$

として、複数 RCO によるリスク低減値が求められる。同じリスク低減量でも下流側の失敗確率減少値の方が大きいことがわかる。複数 RCO による減少効果は、単独 RCO の場合よりも高くなるが、それぞれの RCO によるリスク低減量の和よりも効果は低くなる。

また、この例では、

 $\Delta r_{1\bullet 1+2\bullet 2} < \Delta r_{1\bullet 1+2} < \Delta r_{2\bullet 1+2}$

であり、同じリスク低減量の RCO は、より上流側のものを採用する方が合成した場合のリスク減少効果が高い。

4. 安全評価事例「非常時曳航システム (ETS)」の有効性の評価

FSA 手法が安全規制の評価のツールとして具体的な適用が行われて出している。しかしながら、FSA の使い方によっては、その評価の透明性に課題を残す場合が少なくない。

具体的には、2003 年の IMO/DE47 において「非常時曳航システム」の義務化を 300 トン以上の全ての船舶に課すことの有効性の FSA による評価結果をドイツが提出してきた。しかし、この FSA の方法論には重要な検討課題が多く残されており、ドイツの評価結果は必ずしも妥当なものとはいえない。そこで、本短期プロジェクトでは、FSA の具体的適用事例として「非常時曳航システム」取り上げ、有効性の評価を FSA 手法により実施し、その成果を IMO/DE 48 に報告することを目標に調査研究を実施した。

4.1 ETS に関する IMO 関連規則

4.1.1 ETS に関する規則導入の背景

ETS に関する規則導入の背景は、タンカーの座礁等の事故により、大量の油流出事故が発生し、社会的な問題となっており、IMO においては、タンカーからの油流出事故が海洋環境等へ及ぼす影響の重大さに鑑み、MARPOL 条約を改正して、ダブルハル構造の強制化や検査強化等の対応をしてきたが、その改正作業中にもタンカーによる油流出事故があり、特に 1993 年 1 月に英国シェトランド諸島付近にて発生したブレアー号の事故を契機に更なる対策をタンカーに課すことが検討されてきたことである。その内容は、ブレアー号の事故が、主機が停止した後においても他の船舶又はタグにより漂流する船舶を曳航することができれば、座礁や油の流出を防ぐことができたのではないかということであった。そこで、ETS をタンカー等に設置することを義務づける改正が提案されたのである。

4.1.2 SOLAS 条約

1944 年 5 月に開催された IMO 第 63 回海上安全委員会において, ETS の設置を義務づける決議 MSC.31(63)により, SOLAS 条約第 V 章第 15-1 規則が追加され、更に、ETS の設計等の指針となる 決議 MSC.35(63)が採択され、1996 年 1 月 1 日より 20,000DWT 以上のタンカー,液化ガスばら積船 及び危険化学品ばら積船に強制化されている。現在,ETS の規定は,SOLAS 条約第 -1 章 A-1 部第 3-4 規則に示されている。(表 4.1.1 参照)

表 4.1.1 SOLAS 条約第 -1 章 A-1 部第 3-4 規則対訳

第 3-4 規則 タンカーの非常用曳航設備 Regulation 3-4 **Emergency** towing arrangements on tankers 1 Emergency towing arrangements shall be 1 非常用曳航設備は ,2 万戴貨重量トン以上のすべ fitted at both ends on board every tanker of てのタンカーの前後に取り付けなければならない。 not less than 20,000 tonnes deadweight. 2 2002 年 7 月 1 日以後に建造されたタンカーにつ 2 For tankers constructed on or after 1 July 2002: いては, .1 設備は,いかなる時においても,曳航される船 .1 the arrangements shall, at all times, be capable of rapid deployment in the absence of 舶の主動力源の喪失において迅速に展開できるも main power on the ship to be towed and easy のでなければならず,また,曳航する船舶に容易に connection to the towing ship. At least one of 連結できるものでなければならない。非常用曳航設 the emergency towing arrangements shall be 備の少なくとも1つは 迅速に展開するためにプレ リグトにしなければならない。 pre-rigged ready for rapid deployment; and .2 emergency towing arrangements at both .2 前後の非常用曳航設備は ,船舶の大きさ及び戴 貨重量並びに悪天候下において予定される力を考 ends shall be of adequate strength taking into account the size and deadweight of the ship, 慮した十分な強度を有しなければならない。非常用 and the expected forces during bad weather 曳航設備の設計及び構造プロトタイプ試験につい ては、機関が作成する指針に基づいて主官庁が承認 conditions. The design and construction and prototype testing of emergency towing しなければならない。 arrangements shall be approved by the Administration, based on the Guidelines developed by the Organization. 3 For tankers constructed before 1 July 2002, 3 2002 年 7 月 1 日前に建造されたタンカーについ the design and construction of emergency ては,非常用曳航設備の設計及び構造は,機関が作 towing arrangements shall be approved by the 成する指針2に基づいて主官庁が承認しなければな Administration, based on the Guidelines らない。 developed by the Organization. 1

- ¹ Refer to the Guidelines on emergency towing arrangements for tankers adopted by the Maritime Safety Committee by resolution MSC.35(63), as may be amended.
- ² 海上安全委員会が決議 MSC.35(63)において採択したタンカーの非常曳航装置のための指針を参照すること。

4.1.3 船級規則

IMO Resolution A.535(13)及び IMO Resolution MSC.35(63) (表 4.1.2 参照) において , 具体的な規定が示されており , (財)日本海事協会の鋼船規則 C 編 C 27 章 C 27.2 非常曳航設備及び鋼船規則検査要領 C 編 C 27C 27.2 非常曳航設備に取り込まれている。

表 4.1.2 IMO Resolution MSC.35(63)対訳(仮)

RESOLUTION MSC.35(63) adopted 20 May 1994 ANNEX

GUIDELINES FOR EMERGENCY TOWING ARRANGEMENTS ON TANKER

決議 MSC.35(63) 1994 年 5 月 20 日採択 付録 タンカーにおける非常曳航設備要領

1 PURPOSE

1.1 Under regulation V/15-1 of the 1974 SOLAS Convention, as amended by resolution MSC.31(63) in 1994, new and existing tankers of 20,000 tonnes deadweight and above shall be fitted with an emergency towing arrangement, the design and construction of which shall be approved by the Administration, based on the Guidelines developed by the Organization.

- **1.2** The present Guidelines are intended to provide standards for the design and construction of emergency towing arrangements which Administrations are recommended to implement.
- 1.3 For existing tankers fitted with the emergency towing arrangements in accordance with resolution A.535(13), the existing towing arrangements forward of the ship may be retained, but the towing arrangements aft of the ship should be upgraded to comply with the requirements of the present Guidelines.

FOR

1 目的

1.1 1974 年 SOLAS 条約の第 V 章第 15-1 規則において,1994 年 MSC.31(63)で次のように改正された。 戴貨重量 20,000 トン以上の新造タンカー及び現存タンカーは、機関により作成された要領を基本にし、主官庁により承認された非常曳航設備,設計及び構造を備えなければならない。

- 1.2 現行の要領は,主官庁が施工することを推奨する非常曳航設備の設計及び構造を標準とすること。
- 1.3 A.535(13)に従い,非常曳航設備を備える現存タンカーにおいて,船首部の現行曳航設備はそのままで差し支えないが,船尾部の曳航設備は現行の要領規定に従うこと。

ARRANGEMENTS AND COMPONENTS

REQUIREMENTS

2.1 General

The emergency towing arrangements should be so designed as to facilitate salvage and emergency towing operations on tankers primarily to reduce the risk of pollution. The arrangements should at all times be capable of rapid deployment in the absence of main power on the ship to be towed and easy connection to the towing vessel. Figure 1 shows arrangements which may be used as reference.

2 設備及び部品の規定

2.1 一般

THE

非常曳航設備は、汚染の危険を軽減するためにタンカーの海難救助及び非常曳航操作を容易にするように設計されること。設備は船舶の主動力が損失した場合においても、常に迅速な展開及び曳航船への接続ができること。図1は参考として概念図を示す。

2.2 Towing components

The major components of the towing arrangements should consist of the following:

2.2 曳航部品

主要構成部品を以下に示す:

1		4			
	Forward of ship	Aft of ship	Strength requirements		
	(船首部)	(船尾部)	(強度規定)		
Pick-up gear	Optional (オプション)	Yes(必須)			
(ピックアップギア)			! ! !		
Towing pennant	Optional (オプション)	Yes(必須)	Yes (必須)		
(トーイングペナント)					
Chafing gear	Yes (必須)	Depending on design	Yes (必須)		
(チェイフィングギア)		(設計次第)	i ! !		
Fairlead	Yes (必須)	Yes(必須)	Yes(必須)		
(フェアリード)			! ! !		
Strongpoint	Yes (必須)	Yes(必須)	Yes (必須)		
(ストロングポイント)			! ! !		
Roller pedestal	Yes (必須)	Depending on design			
(台座付きローラ)		(設計次第)	; ; ; ;		
[1			

2.3 Strength of the towing components

2.3.1 Towing components as specified in 2.2 for strength should have a working strength of at least 1,000 kN for tankers of 20,000 tonnes deadweight and over but less than 50,000 tonnes deadweight, and at least 2,000 kN for tankers of 50,000 tonnes deadweight and over (working strength is defined as one half ultimate strength). The strength should be sufficient for all relevant angles of towline, i.e. up to 90 degrees from the ship's centreline to port and starboard and 30 degrees vertical downwards.

2.3 曳航部品強度

2.3.1 強度において 2.2 に記載される曳航部品は , 戴貨重量が 20,000 トン以上 50,000 トン未満の 船舶にあっては 1,000kN の使用強度 , 戴貨重量 が 50,000 トン以上の船舶にあっては 2,000kN の 使用強度を有すること(使用強度とは最終強度の 1/2 とする)。強度は , 曳航索の全ての曳航角度 (左舷 , 右舷方向に関しては中心線から 90°ま での角度 , 及び上下方向に対しては下向き 30° の角度) に対して十分なものであること。

2.3.2 Other components should have a working strength sufficient to withstand the load to which such components may be subjected during the towing operation.

2.3.2 その他の部品は、曳航作業中に生じる荷重 に耐える十分な使用荷重を有すること。

2.4 Length of towing pennant

The towing pennant should have a length of at least twice the lightest seagoing ballast freeboard at the fairlead plus 50 m.

2.4 トーイングペナント長さ

トーイングペナントは 軽荷バラスト喫水からフェアリードまでの高さの 2 倍の長さに 50m を加えた以上の長さであること。

2.5 Location of strongpoint and fairlead

The bow and stern strongpoint and fairleads should be located so as to facilitate towing from either side of the bow or stern and minimize the stress on the towing system.

2.6 Strongpoint

The inboard end fastening should be a stopper or bracket or other fitting of equivalent strength. The strongpoint can be designed integral with the fairlead.

2.7 Fairleads

2.7.1 Size

Fairleads should have an opening large enough to pass the largest portion of the chafing gear, towing pennant or towing line.

2.7.2 Geometry

The fairlead should give adequate support for the towing pennant during towing operation which means bending 90 degrees to port and to starboard side and 30 degrees vertical downwards. The bending ratio (towing pennant Bearing surface diameter to towing pennant diameter) should be not less than 7 to 1.

2.7.3 Vertical location

The fairlead should be located as close aspossible to the deck and, in any case, in such a position that the chafing chain is approximately parallel to the deck when it is under strain between the strongpoint and the fairlead.

2.8 Chafing chain

Different solutions on design of chafing gear can be used. If a chafing chain is to be used, it should have the following characteristics:

2.8.1 Type

The chafing chain should be stud link chain.

2.8.2 Length

2.5 ストロングポイント並びにフェアリードの

配置

船首と船尾のストロングポイント並びにフェア リードは ,左右舷いずれの側からも曳航も容易に でき,かつ,曳航設備に生じる応力を最小とする ような配置とすること。

2.6 ストロングポイント

ストロングポイントは,ストッパー,ブラケット 又はこれらと同等の強度を有するその他の装置 をいう。ストロングポイントは,フェアリードと 一体型のものとして差し支えない。

2.7 フェアリード

2.7.1 大きさ

フェアリードは,チェイフィングギア,トーイン グペナント又は曳航索の最大部分が通り抜ける ために十分な大きさの開口を有すること。

2.7.2 形状

トーイングペナントが左舷又は右舷に 90°,下 方へ 30°曲げられた状態であっても,フェアリ ードを適切に支持できる構造であること。曲げ比 (トーイングペナントとの当たり面の直径とト ーイングペナントの直径の比)は,7:1以上で あること。

2.7.3 垂直配置

フェアリードは可能な限り甲板に近く,かつ,チ ェイフィングチェーンがストロングポイントと フェアリード間で引っ張られた際に,チェイフィ ングチェーンが甲板面に対しほぼ平行となるよ うに取り付けること。

2.8 チェイフィングチェーン

チェイフィングギアの設計上異なる解法は使用 して差し支えない。チェイフィングチェーンを使 用するなら,次の要件を満足すること:

2.8.1 型

チェイフィングチェーンはスタッドリンクチェ ーンであること。

2.8.2 長さ

The chafing chain should be long enough to チェイフィングチェーンの長さは,曳航作業中

ensure that the towing pennant remains outside the fairlead during the towing operation. A chain extending from the strongpoint to a point at least 3 m beyond the fairlead should meet this criterion. 常時トーイングペナントがフェアリードの外側にあることを確実にするべく十分な長さを有すること。ストロングポイントからフェアリードの先3mとなるような長さは十分な長さとみなす。

2.8.3 Connecting limits

One end of the chafing chain should be suitablefor connection to the strongpoint. The other end should be fitted with a standard pear-shaped open link allowing connection to a standard bow shackle.

2.8.3 接続制限

チェイフィングチェーンの一端は ,ストロングポイントへの接続に適したものであること。他端は ,標準的な連結具との接続が可能な西洋梨型オープンリンクとすること。

2.8.4 Stowage

The chafing chain should be stowed in such a way that it can be rapidly connected to the strongpoint.

2.8.4 積み込み

チェイフィングチェーンは ,ストロングポイント への接続が迅速にできるように積み付けておく こと。

2.9 Towing connection

The towing pennant should have a hard eye-formed termination allowing connection to a standard bow shackle.

2.9 曳航接続

トーイングペナントは、標準的な連結具との接続が可能なようにハードアイ加工が施されたものであること。

2.10 Prototype test

Designs of emergency towing arrangements in accordance with these Guidelines should be prototype tested to the satisfaction of the Administration.

2.10 プロトタイプ試験

これらの要領に従い非常曳航設備の設計は,管理者の承認を得たプロトタイプ試験であるとする。

3 READY AVAILABILITY OF TOWING ARRANGEMENTS

- **3.1** To facilitate approval of such equipment and to ensure rapid deployment, emergency towing arrangements should comply with the following criteria:
- .1 The aft emergency towing arrangement should be pre-rigged and be capable of being deployed in a controlled manner in harbour conditions in not more than 15 min.
- .2 The pick-up gear for the aft towing pennant should be designed at least for manual operation by one person taking into account the absence of power and the potential for adverse environmental conditions that may prevail

3 曳航設備の準備しやすさ

- 3.1 設備の承認を容易にしたり,迅速な展開を確実にするために,非常曳航設備は次の要件を満足するとする:
- .1 船尾部の非常曳航設備に艤装するとし,港内 停泊中に15分以内に展開することが可能である こと。
- .2 船尾トーイングペナントにおいてピックアップギアは、動力を喪失した場合並びに非常曳航作業中に起こりうる悪環境状態で 1 人の人間が手動で操作できるものであること。

during such emergency towing operations. The pick-up gear should be protected against the weather and other adverse conditions that may prevail.

- .3 The forward emergency towing arrangement should be capable of being deployed in harbour conditions in not more than 1 h.
- .4 The forward emergency towing arrangement should be designed at least with a means of securing a towline to the chafing gear using a suitably positioned pedestal roller to facilitate connection of the towing pennant.
- .5 Forward emergency towing arrangements which comply with the requirements for aft emergency towing arrangements may be accepted.
- **.6** All emergency towing arrangements should be clearly marked to facilitate safe and effective use even in darkness and poor visibility.
- **3.2** All emergency towing components should be inspected by ship personnel at regular intervals and maintained in good working order.

- .3 船首部の非常曳航設備は港内停泊中に 1 時間 以内に展開することが可能なように配置された ものであること。
- .4 船首部の非常曳航設備はトーイングペナントとの接続を容易にするために,適切な適切な位置の台座付ローラを用いて,曳航索とチェイフィングギアを確実に接続できるような構造とすること。
- .5 船尾部の非常曳航設備における規定を満足する船首部の非常曳航設備は差し支えない。
- .6 全ての非常曳航設備は,暗闇や視界不良といった悪条件下でも安全に,かつ,有効に使用できるよう明瞭なマーキングを施すこと。
- 3.2 非常曳航部品は ,定期的に船舶作業者により 検査され , 正常に運転できる状態で維持すること。

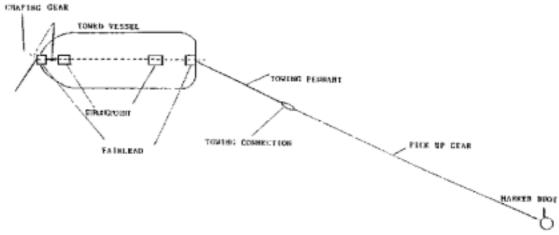


図 4.1.1 非常曳航設備の概念図

4.2 ETS の種類と使用方法

前述のとおり現行の非常用曳航設備(ETS)は SOLAS 第 -1 章 A-1 部第 3-4 規則により設備要件が、IMO 決議 MSC35(63)によって技術要件が定められ、2 万トン以上のタンカー(含むガスキャリアー及びケミカルタンカー)の船首と船尾に要求されている。これらの設備は、自力航行能力を喪失しかつ動力源さえ失って漂流する本船をタグボートと連結して安全に曳航することを目的としており、本船側の設備としては船体に確実に個縛され要求される引張り力に耐えるチェンまたはワイヤー、引っ張り強度を確実に船体に伝える金物類、タグ側の曳航索と確実に接続できる金物などから構成される。

4.2.1 船首部 ETS の設備

図 4.2.1 に 10 万トン級タンカーの船首部係船甲板の一般配置を示す。このうち非常用曳航設備として設けられているものは「Chafing Chain(Chafing Gear)」「Fairlead」「Chain Stopper(Strongpoint)」「Roller Pedestal」である。図 4.2.2 は装着状態を示しており、Chafing Chain の先端に曳航タグから繰り出されるロープが接続されている。曳航船の引っ張り力は Chafing Chain から船首先端の Fairlead を介して船体に強固に取り付けられている Chain Stopper により船体に伝えられる。図 4.2.1 は OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)の係船設備基準を適用したタンカーであるため、チェンによるブイ係留装置である「Single Point Mooring」の設備を有している。従って ETS の Chain Stopper と OCIMF の Single Point Mooring 用 Chain Stopper を兼用している事例である。OCIMF の係船配置を非適用とした場合のETS として Fairlead に強度を持たせて Chain Stopper と兼用させる事例もある(図 4.2.3)。

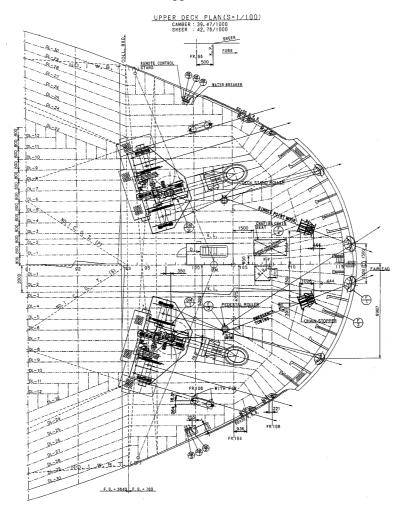
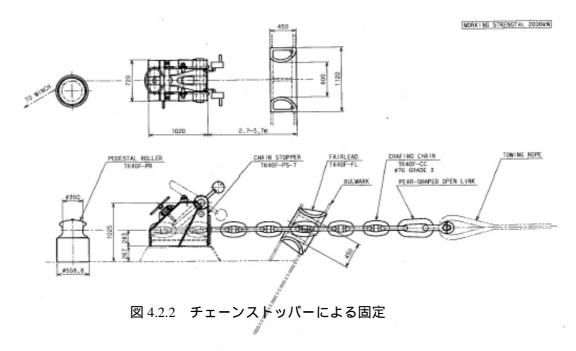


図 4.2.1 10 万トン級タンカーの船首部係船甲板の一般配置図



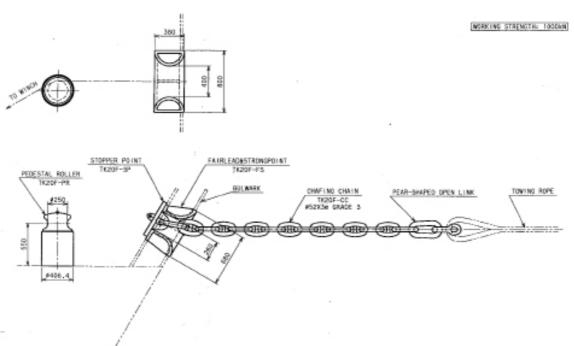


図 4.2.3 チェーンストッパーとフェアーリードの兼用例

4.2.2 船首部 ETS の使用方法

非常用曳航設備は動力を喪失した状況で、人力のみにより迅速に展開することが求められており、船首部の ETS 設備は港内停泊中 1 時間以内に展開を完了させることが要求されている。 その使用方法について以下図に示す。

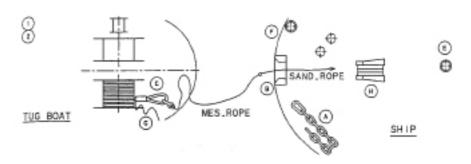


図 4.2.4 メッセンジャー・ロープの取り込み

曳航タグから繰り出されたメッセンジャー・ロープを、Fairlead を介して Chain Stopper 後方の Roller Pedestal に導く。

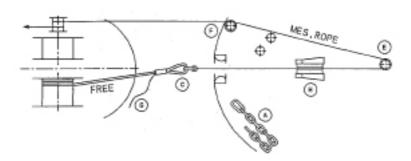


図 4.2.5 曳航用ロープの繰り出し

Roller Pedestal により反転させたメッセンジャー・ロープをタグ・ボート側の巻き取り機により巻き取りながら、メッセンジャー・ロープに接続された曳航用ロープを本船に向け繰り出す。

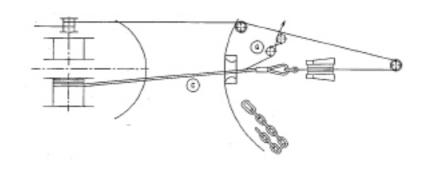


図 4.2.6 曳航用ロープのボラード等への係止 本船上まで繰り出された曳航用ロープを、一旦ボラード等に係止する。

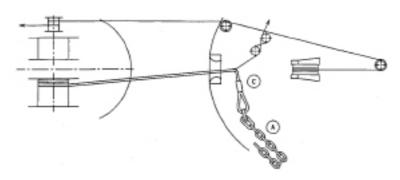


図 4.2.7 曳航用ロープの Chafing Chain との接続 曳航用ロープの先端を本船上の Chafing Chain とシャックルなどで接続する。

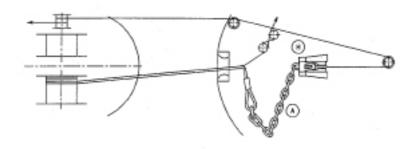


図 4.2.8 メッセンジャー・ロープと Chafing Chain との接続

メッセンジャー・ロープを Chain の反対側に取り付け、タグの巻き取り機にて Chain を引き込みながら Chain Stopper にチェンをセットする。

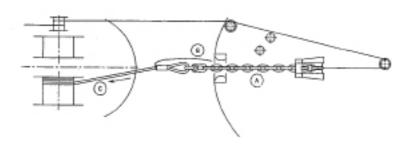


図 4.2.9 曳航の開始

タグ側の巻き取り機で曳航ロープを巻き取り、Chafing Chainを船外に繰り出して曳航を開始する。

4.2.3 船尾部 ETS の設備

図 4.2.10 に船尾部係船甲板に配置された ETS の事例を示す。このうち非常用曳航設備として設けられたものは、中心線上に配置された「Stowage Drum」及び船尾端の「Fairleader &Strong Point」である。 Storage Drumには図 4.2.11 に示すように曳航用ロープとなる「Towing Pennant」及びその先端にメッセンジャー・ロープとしてタグ・ボート側に回収される「Pick-up Gear」が取り付けられている。また Towing Pennant の逆一方の端部には曳航船の引っ張り荷重を Fairleader & Strong Point に伝えるための Stopper Ring が取り付けられている。

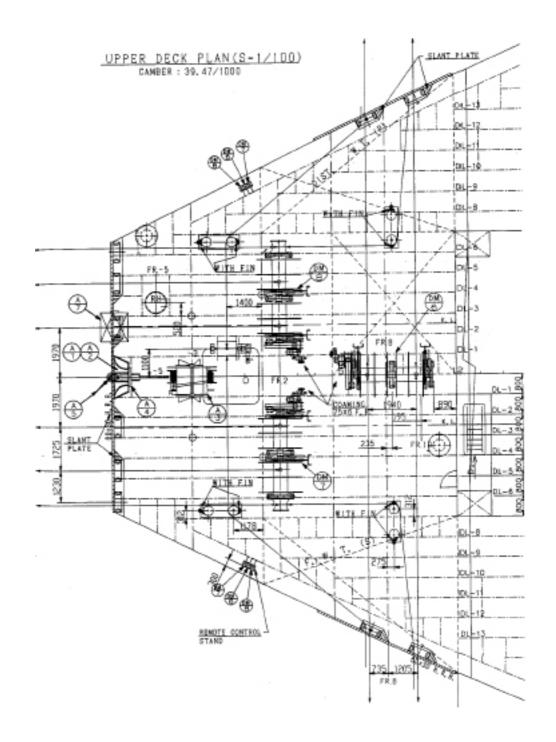


図 4.2.10 船尾部係船甲板上の ETS 配置例

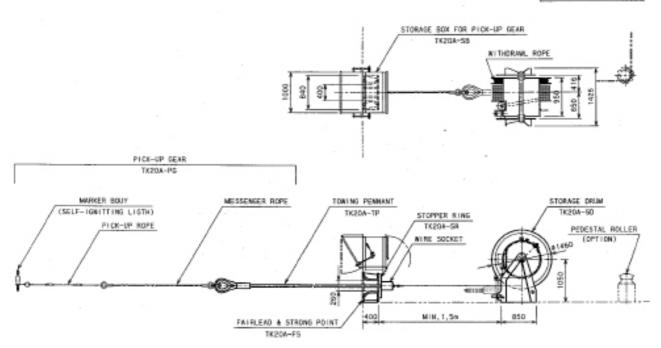


図 4.2.11 曳航用ロープとなる Towing Pennant 及び Stopper Ring

4.2.4 船尾部 ETS の使用方法

船尾部の ETS は人力のみで港内停泊中に 15 分以内に展開することが要求されている。以下図に従い 使用方法を示す。

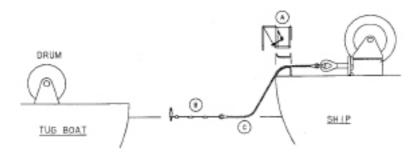


図 4.2.12 Pick-up Gear の繰り出し

Stowage Drum から繰り出された Pick-up Gear は Fairleader & Strong Point を介して海面に展開される。 Pick-up Gear のメッセンジャー・ロープ先端には自己点火式マーカーと浮力ブイが取り付けられており、これらによりタグによる回収を容易にさせている。

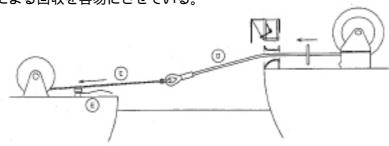


図 4.2.13 メッセンジャー・ロープの巻き取り 回収されたメッセンジャー・ロープはタグの巻き取り機により巻き取られる。

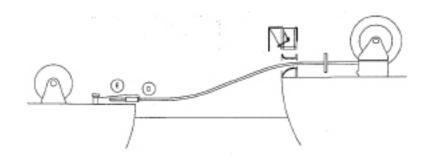


図 4.2.14 タグ・ボート上でのペナントの係止
Towing Pennant をタグ・ボート上まで巻き込んだら、端部を一旦係止する。

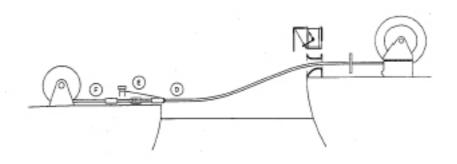


図 4.2.15 ペナントと曳航用ロープの接続

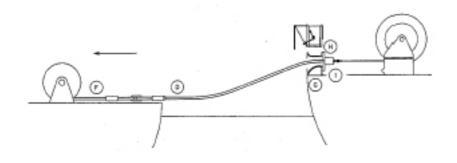


図 4.2.16 曳航の開始

Towing Pennant を Fairlead & Strong Point と Stopper Ring に当たるまで繰り出し、曳航時の引っ張り力が確実に Strong Point に伝えられる状態で曳航を開始する。

4.2.5 10 万トン級タンカーにおける ETS 設置事例

ETS の搭載が義務付けられている 10 万トン級タンカーにおいて現に設置されている装置の概観および設置船舶の操船者による使用実績や使用感について調査を行った。

4.2.5.1 事例調査船舶の概要

本調査の協力は、10万トン級タンカーと VLCC 合わせて 9 隻を運航している新日本石油タンカー株式会社によって得られた。同社の保有する 10万トン級タンカーの錦江丸が事例調査の対象船舶となった。同船は喜入港を積地として原油を国内の各港に輸送している内航船である。同社の海務品質監督および本船の船長により、以下に概要を示す取材が実現した。

実施日 2005年1月12日

協力 新日本石油タンカー(株)

見学船舶 錦江丸 (10 万 DWT、タンカー)

場所 根岸タンカーバース

4.2.5.2 10 万トン級タンカー錦江丸における ETS の構成

1) 船首部 ETS

船首部 ETS は、チェン、Chain Stopper、Fairlead、Roller Pedestal により構成される。チェンは、平時はデッキ上に設置された枠に格納し、カバーで覆われている。使用時には、ここから取り出してFairlead より繰り出し、片端を Chain Stopper に固定する。チェンの直径は 10 センチ程度あるため、取り回しには付近に設置されている手動ダビットを使用する。通常、被曳航船となる場合、こちらの装置を使用する。

2) 船尾部 ETS

船尾部 ETS は、Storage Drum に巻かれたワイヤーとこれを繰り出すための細いワイヤー、Fairlead、固定用の器具からなる。細いワイヤーを相手方に受け渡せば、それ以外の動力は不要とされるが、一度繰り出した場合、終端部の Stopper Ring で停止する以外にワイヤーを固定する方法はない。この装置は、曳航準備の容易さが長所である反面、大型の Storage Drum が必要となる短所がある。船尾部の装置を使用して本船が被曳航船となる場合、船舶の進行方向が船尾部になる問題がある。同装置は、曳航船となった場合に使用することも想定されている。

以上について、写真 4.2.1 から 4.2.13 に、取材船舶における ETS 装置の概観等を示す。



写真 4.2.1 本船概観 (前方より)



写真 4.2.2 船橋より船首部を望む



写真 4.2.3 船首部 ETS 装置の構成物 1



写真 4.2.4 Chain Stopper (手前) と Fairlead (奥)

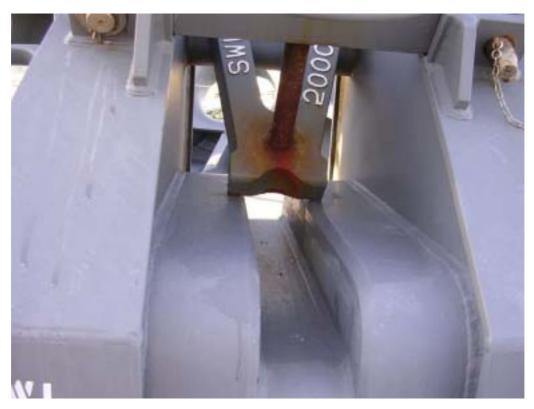


写真 4.2.5 Chain Stopper のチェンを固定する部分



写真 6 Chain Stopper 概観



写真 4.2.7 船首部 ETS 構成物 2

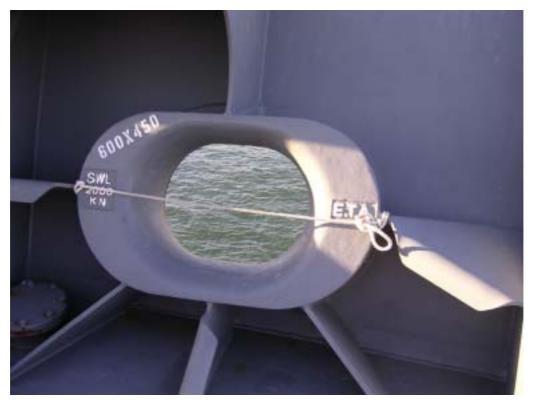


写真 4.2.8 Fairlead

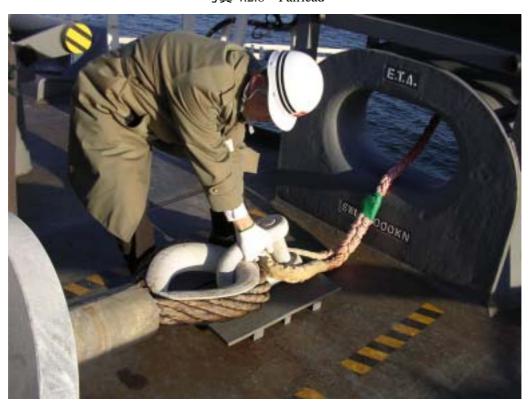


写真 4.2.9 船尾部 ETS 装置 (ロープ先端部分と Fairlead)



写真 4.2.10 船尾部 ETS のロープと固定用ドラム



写真 4.2.11 船尾部 ETS ロープの終端用固定装置

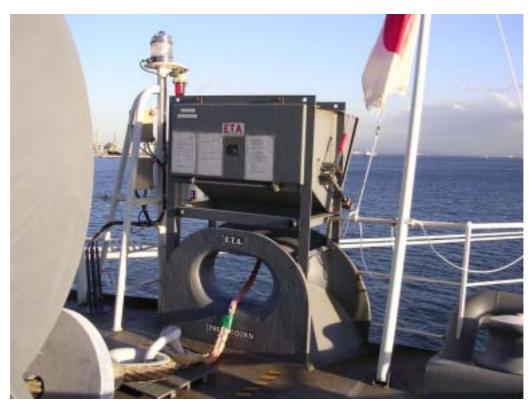


写真 4.2.12 船尾部 ETS 装置概観

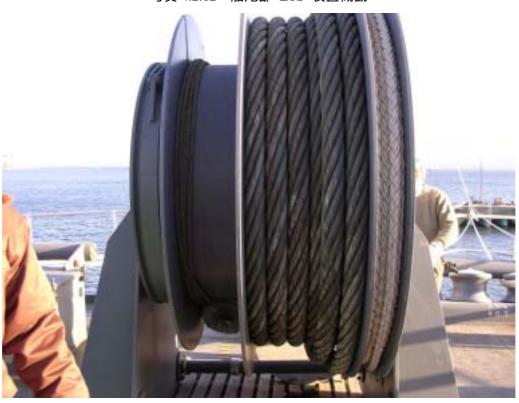


写真 4.2.13 船尾部 ETS ロープのドラム (船首側から見たところ)

4.2.5.3 使用実績と使用感

本船および同社所有の各船における ETS については、使用実績がない。本船操船者にとって、ETS の使用は、本船における火災発生等の事態を意味するものである。

ただし、船首部 ETS に関しては、年1度の訓練により1時間以内に使用可能な状態とできるようにしている。この作業は、海上平穏時でも困難に感じられている。船尾部については、訓練は行われないが、構造上使用可能な状態にすることは簡単と考えられている。

本船および同社所有の各船においては、大型であることから海面からデッキまでの高さが高く、ETS 用のチェンの取り回しが難しく感じられる。さらに、船長が長いため、前部、あるいは後部の一点におけるチェンを介した制御が困難なものであることが予想される。これらの点に関しては、より小型の船舶の方が ETS の使用に向いていると考えられる。

4.2.5.4 非常時の対応

非常時の対応としては、第一に、人命の保全が考えられ、その上で可能であれば環境等への影響を踏まえた行動 (二次災害の防止) を取ることになる。本船では危険物を積載していることもあり、人命保全の重要性は高い。火災等の場合、あるいは気象海象条件の厳しい中では、ETS 装置の設置場所 (特に船首部) へのアクセスに困難を伴うことが予想され、断念する確率が高いと考えている。また船首部の場合、仮に船員がアクセスできたとしても、動力のない状態で手動ダビット等を用いてチェンを引き回して Fairlead 経由で曳航船へと引き渡す操作が可能な状況であることは少ないのではないか、と考えている。

本船が被災船舶となった場合の対応としては、係留索を複数用いることが考えられる。また、浦賀 水道等の特定水域を航行する場合には、ファイヤーワイヤーを準備するなど、規則に従った対応策を 行っている。

また、被災船舶に出会った場合について考えると、本船船尾部の ETS 装置は曳航用として使用可能ではあるが、制御の問題としてほぼ不可能と考えられる。なお、ETS 装置の使用とは別の話であるが、 荒天時に航行不能となった船舶に出会った場合、本船が風上側に停止することにより壁としての役割を果たし、乗組員の救助を可能とした経験がある。このような方法での支援も被災船舶にとっては重要である。

4.3 ETS 以外による漂流防止策

SOLAS で求められる非常用曳航設備は曳航の為の専用設備として2万トン以上のタンカーに要求されているが、それ以外の方法でも保有する係留設備を利用しての曳航が可能である。これら本船の係留設備は、岸壁着岸時に本船を迅速かつ安全に係止するためのものであり係留ロープ、ロープ巻き取り機、ロープ繰り出し用 Fairleader やチョック、係止用ボラードからなり、動力源が確保されていれば迅速な展開が可能となり曳航用設備としては有用と思われる。然しながら、岸壁係留が本船を静止状態に係留固定することを目的とすることに対し曳航では本船を動的に移動させることとなり、ロープや固縛金物・機器に加わる集中的な荷重や衝撃力は曳航時の方が大きい。従って大型船の曳航や荒天時の曳航では係留設備を通常使用方法で固縛係止するだけでは不十分であり、個別の対応が必要となる。

Michael Hancox 監修"Oilfield Seammanship:Rescue Towing"には非常用曳航の事例や係留・係止・曳航テクニックが示されている。 図 4.3.1 には一例として本船のボラードを係留ポイントとして利用し曳航する場合を示す。

その他、小型船の場合は居住区そのものを大回しにして係留させる方法などがあるが、いずれにせ

よ係留される側の荷重点とロープやチェンが切断しないフェアリーダーの形状や引っ張り方向の配慮

が重要である。

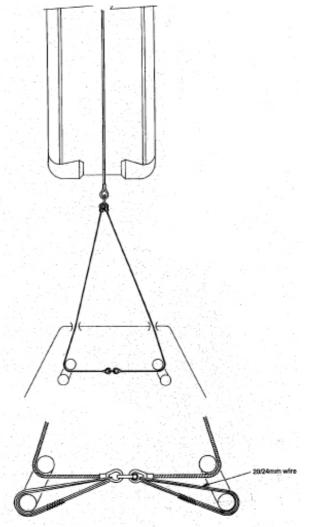


図 4.3.1 ボラードを係留ポイントとして利用し曳航する場合

4.4 ETS および関連設備の強度、価格

4.4.1 ETS の価格

ETS メーカー2社に対して調査を行った結果以下の値が得られた。

● 20,000DWT 以上 50,000DWT 未満(円)

	A社	B社	平均
船首	570,000	1,430,000	1,000,000
船尾	2,010,000	4,400,000	3,205,000
合計	2,580,000	5,830,000	4,205,000

● 50,000DWT 以上(円)

	A社	B社	平均
船首	1,540,000	4,730,000	3,135,000
船尾	3,270,000	5,830,000	4,550,000
合計	4,810,000	10,560,000	7,685,000

船首 Chain Stopper には別途取り付け台が必要で、150,000 円

(B 社は USD による見積もりのため, 110JPY/USD で換算した。)

4.4.2 船殼下部補強費用

設計、加工費

● 20,000DWT 以上 50,000DWT 未満 船尾が約 50 万円、船首が約 80 万円

● 50,000DWT 以上 船尾が約 60 万円、船首が約 100 万円

4.4.3 ETS および関連設備の強度

(ア) ETS の強度要件

20,000DWT 以上 50,000DWT 未満使用荷重 1,000kN (破断荷重 2,000kN)50,000DWT 以上使用荷重 2,000kN (破断荷重 4,000kN)

(イ) 船殻下部補強

使用荷重に対しては相当応力 e=0.67 y

破断荷重に対しては材料の最大強度(最大引張強さ/最大剪断強)

4.4.4 設計変更による不具合

(ア) 設計上のデメリット(係船装置配置上の問題)

ETS が現行規則で配置されている 300,000DWT VLCC の配置図と、ETS が要求されていない B/C、コンテナ船、PCC、フェリーの係船装置の配置図を調査した。

<船尾> 大型船では、比較的係船配置に余裕あるものの、中心線に索を集める配置となっている場合や、ウインチが中心線上にある場合には ETS の追加が難しいと思われる。また、Storage Drum を追加することは B/C を除いて困難と考えられる。

<船首> 50,000DWT 未満の VLCC と同様に Chain Stopper を設置せずに Fairlead で Strongpoint を兼用するタイプとすれば、Pedestal の追加と Fairlead の配置変更を行うことは可能と思われる。 ただし、船尾同様に中心線にウインチを設置している場合(PCC の例)には困難と考えられる。

(イ) 通常作業への危険度 UP

上記のようにウインチが中心線上にあって、そのウインチからの索取りが中心線付近のフェアリーダーを使う場合に Storage Drum や Pedestal を設置することで、索が干渉するなど危険があると考えられる。

(ウ) 設計変更による不具合

船尾に Storage Drum や船首に Chain Stopper を配置することは、配置上と安全上で不具合があると考えられるが、Strong Point 兼用の Fairlead と Chafing Chain のみの組み合わせとするなど、大型の装置を必要としない曳航装置とすれば、不具合を解消することは可能と考えられる。

ETS 配置実績の例を図 4.4.1~図 4.4.8 に示す。

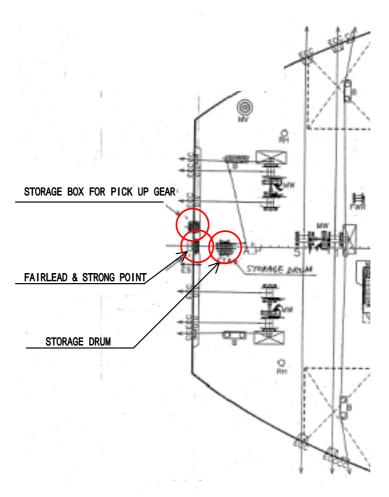


図 4.4.1 ETS 配置実績の例 1 (300,000 DWT VLCC の船尾部)

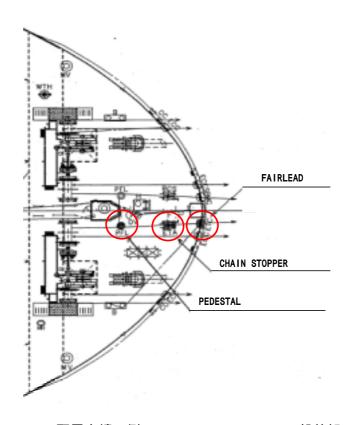


図 4.4.2 ETS 配置実績の例 2 (300,000 DWT VLCC の船首部)

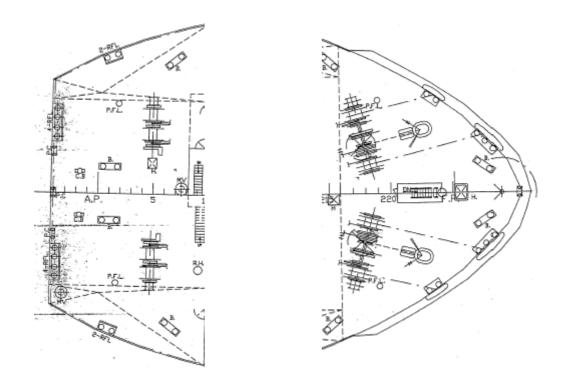


図 4.4.3 B/C の船首尾配置図の例

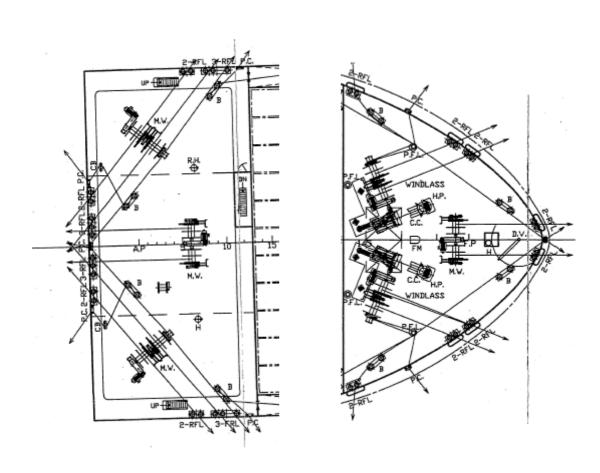


図 4.4.4 コンテナ船の船首尾配置図の例

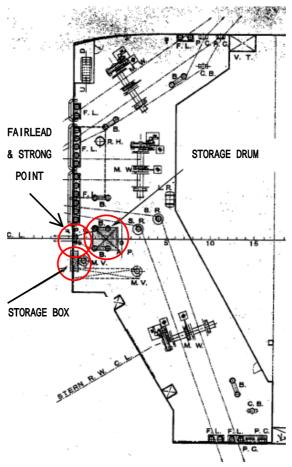


図 4.4.5 PCC に ETS を配置した場合の例 (実際には装備されていない)

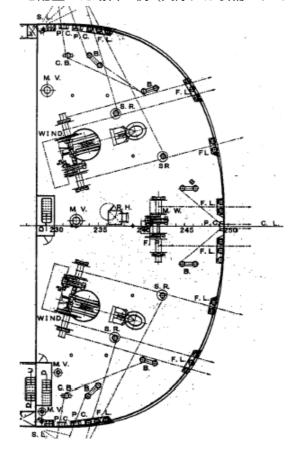


図 4.4.6 PCC の船首配置の例

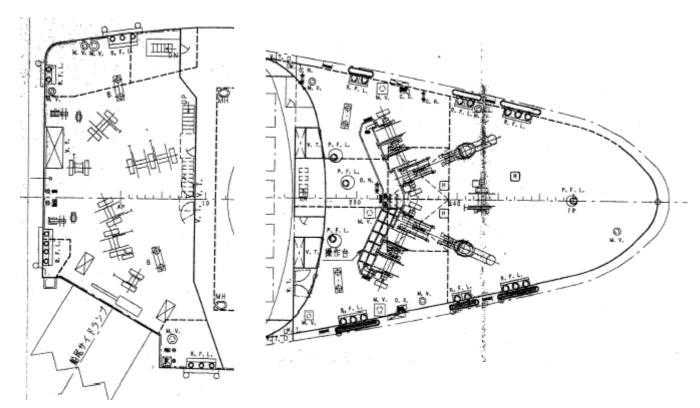


図 4.4.6 フェリーの船首尾配置の例

4.5 曳航が関与した海難事例の分析

4.5.1 海難件数と曳航実績

昭和50年1月から平成16年6月までの約30年間に,海難審判庁によって約230,000件の海難が認知され,その1割にあたる23,000件余について海難審判によって原因が究明されており,このうち海難の種別として,衝突,乗揚,機関損傷,火災,爆発,浸水等が9割を占めている。そしてこの種海難において,操船不能となった船舶が曳船や巡視船等によって最寄りの港へ曳航された事例は,2,296件である。

曳航実績を総トン数別に示すと以下のとおりである。

総トン数1.000トン以上・・・・・96件

300トン以上1,000トン未満・・・750件

300トン未満・・・・・・・1.450件

4.5.2 総トン数 1,0 0 0 トン以上の船舶の曳航事例

96件の曳航事例を次表に示す。

曳航の83%は風力4以下の環境下で行われており、風力5以上の環境下においては17%の曳航実績がある。 また、曳航開始発生地点は、約80%が距岸20海里以内となっている。1996年以降一部の船舶にETSの装備が義務づけられたが、ETS装備船舶が曳航された事例は3件発生しており、うち2件はETSを使用せずに曳航され、1件については使用実績が不明である。

番号	事 件 名	発生年月日	船舶の種類	総トン数	発生場所	電源喪失の有無	気象・海象
1	日忠丸機関損傷事件	1973年12/13	自動車運搬船	1,952	石廊崎南西方沖3海里	電源確保	風力2 ・ 平穏
2	第五十八佐津丸火災事件	1974年6/14	冷凍運搬船	2,996	ハ゛ミュータ゛島南東沖	喪失	風力1 ・ 少しウネリ
3	第拾雄洋丸八 [°] シフィックアレス衝突事件	1974年11/9	液化石油 力[*] ス 運搬船	43,723	東京湾中ノ瀬航路北口	喪失	風力3 ・ 平穏
4	天光丸遭難事件	1975年1/16	油送船	91,085	ルソン島西方沖50海里	喪失	風力5 ・ 波高し
5	兵庫丸火災事件	1975年6/30	自動車運搬船	9,053	メルホ゛ルン 東方沖	喪失	風力3 ・ 平穏
6	ぱしふいっくはいうえい機関損傷事件	1977年4/30	自動車運搬船	13,533	大王埼南東沖170海里	電源確保	風力3 ・ 平穏
7	第三松島丸爆発事件	1977年11/2	油送船	46,226	室戸岬東方沖18海里	不明	風力3
8	そよかぜ機関損傷事件	1978#4/2	漁獲物運搬船	2,907	アテネ南東沖100海里	電源確保	風力5 ・ 波高し
9	さんりばー機関損傷事件	1978年7/9	液化石油 力[*] ス 運搬船	45,647	マラッカ海峡北口	電源確保	風力4 • やや波高し
10	ふじりいふぁ機関損傷事件	1979年4/12	冷凍運搬船	7,197	プ゛ラシ゛ ルナタール 港沖	電源確保	風力5 ・ 波高し
11	第六興栄丸機関損傷事件	1979#10/10	セメント運搬船	5,986	室戸岬南東方沖38海里	電源確保	不明
12	とうきょう丸機関損傷事件	1979#4/14	自動車運搬船	6,737	野島埼南方沖3海里	電源確保	風力フ ・ 波高し
13	三重川丸機関損傷事件	1980#3/16	ばら積運搬船	28,528	シト゛ニー北東沖	電源確保	風力3
14	ベラザノブリッシ ゙火災事件	1980年9/13	コンテナ船	39,153	シ [*] ャ クソ ンヒ [*] ル 西方沖	喪失	風力4 • やや波高し
15	泉邦丸機関損傷事件	1980#10/3	液化石油 カ゛ス 運搬船	1,598	ハ[°] ラワン 島西方沖	電源確保	風力2 ・ 平穏
16	第一協栄丸機関損傷事件	1982#1/16	油送船	2,085	石廊崎南東沖2海里	電源確保	風力4
17	海神丸機関損傷事件	1982#1/22	自動車運搬船	15,647	石垣島北東沖40海里	電源確保	風力3
18	第二函館丸機関損傷事件	1982#3/20	漁獲物運搬船	1,910	キスカ 島南方沖	電源確保	風力7 • 波高し
19	第三にっぽん丸爆発事件	1982#3/25	鉱石運搬船	89,498	潮岬南方沖25海里	喪失	風力5 ・ 波高し
20	錦江丸乗揚事件	1982#4/31	油送船	129,216	和歌山県由良港外	電源確保	風力7 走錨
21	オーキット゛ヘ゛ンチャー乗揚事件	1982#10/7	鋼材運搬船	7,027	帥埼水道	電源確保	風力 1
22	フ゛ルーホ゜ラリス 火災事件	1982#11/8	自動車運搬船	11,325	マラッカ海峡中央部	喪失	風力2 ・ 平穏
23	菱東丸機関損傷事件	1983年3/17	セメント運搬船	5,346	足摺岬西北西沖8海里	電源確保	風力 1
24	マカレナ乗揚事件	1983\\$3/24	木材運搬船	3,850	瀬戸内海 向島	電源確保	風力3
25	ニアリート・機関損傷事件	1983年5/11	貨物船	2,491	宮古島南東沖40海里	電源確保	風力2
26	清安丸機関損傷事件	1983年8/11	セメント運搬船	9,237	隠岐西郷港南東沖18 海里	電源確保	風力3 ・ 少しウネリ
27	千恵丸乗揚事件	1983年9/28	ケミカルタンカー	4,103	南シナ海 梶掛礁	電源確保	風力4
28	あるこつず遭難事件	1983年11/4	油送船	72,368	サンフランシスコ南西沖	喪失	風力4 ・ 少しウネリ
29	サンコーロヒ・ン乗揚事件	1984年6/22	貨物船	24,111	関門港	電源確保	風力2
30	ネフ゜チュンコラルホ゜ルトロッス゛衝突事件	1984年7/2	貨物船	8,382	神戸港内	喪失	風力3
31	ふがく丸機関損傷事件	1984年12/21	自動車運搬船	9,725	石廊崎南西沖16 海里	電源確保	風力 1 ・ 平穏
32	雄洋丸乗揚事件	1985年2/17	液化石油 力 、ス 運搬船	48,959	插磨灘	電源確保	風力3
33	海龍乗揚事件	1985年6/30	自動車運搬船	4,069	来島海峡	電源確保	風力 1
34	志賀丸乗揚事件	1985年8/31	冷凍運搬船	3,616	加計呂麻島	電源確保	風力3
35	第五桃邦丸第十一幸伸丸衝突事件	1986年5/9	液化石油 力 、ス 運搬船	1,535	伊豆大島北方3 海里	喪失	風力3
36	トヨタ丸機関損傷事件	1987年7/12	自動車運搬船	1,700	師埼水道	電源確保	風力2
37	芳和丸機関損傷事件	1987年10/17	油送船	2,844	京浜港内	電源確保	不明
38	天祐丸遭難事件	1987#12/30	木材運搬船	3,702	マレーシアミリ港沖	喪失	風力4 ・ 波高2m
39	第五十六日港丸乗揚事件	1988#3/4	砂利運搬船	4,196	安芸灘	電源確保	風力 1

番号	事件名	発生年月日	船舶の種類	総トン数	発生場所	電源喪失の有無	気象・海象
40	松風乗揚事件	1988#4/28	ケミカルタンカー	10,588	米国シ゛ュアンテ゛フカ海峡	電源確保	風力 1
41	しゅり機関損傷事件	1988年7/14	貨物船	3,887	徳之島西方沖25 海里	電源確保	風力2 • 少し波あり
42	ふくしお丸乗揚事件	1988#8/2	冷凍運搬船	1,849	六連島	電源確保	風力3
43	新神戸丸乗揚事件	1988年9/2	鉱石運搬船	63,150	播磨灘	電源確保	風力2
44	平尾山丸機関損傷事件	1989年9/27	セメント運搬船	2,381	沖縄東方沖6 海里	電源確保	風力 1 • 平穏
45	旭竜丸機関損傷事件	1989年10/5	油送船	3,669	大王埼南方沖12 海里	電源確保	風力3 • 少し波あり
46	第十二星宝丸機関損傷事件	1990年1/3	油送船	1,598	秋田船川港内	電源確保	風力2 • 少し波あり
47	第二十一明神丸機関損傷事件	1990年11/12	油送船	1,518	美保関沖17 海里	電源確保	風力4 ・ 白波あり
48	コープ [°] サンライス [*] 火災事件	1991年4/21	液化石油 カ゛ス 運搬船	47,249	潮岬南南東沖75 海里	喪失	風力4 • 少し波あり
49	エターナルク゛ローリー乗揚事件	1991年6/18	自動車運搬船	12,353	関門海峡	電源確保	無風
50	シ゛ャハ゜ンフ゜ラタナス乗揚事件	1991年9/27	石炭運搬船	77,871	壱岐	電源確保	台風
51	星光丸機関損傷事件	1992年1/14	鉱石兼油運搬船	8,413	シンカ゛ホ゜ール海峡	電源確保	風力 1 ・ 平穏
52	コ゛ールテ゛ントレータ゛ー乗揚事件	1992年1/19	貨物船	17,061	布刈瀬戸	電源確保	風力3
53	大昭和丸乗揚事件	1992年2/12	チップ運搬船	48,566	豪州 ツーホルド湾	電源確保	風力8 走錨
54	シク゛ナス乗揚事件	1992年4/10	貨物船	4,964	来島海峡	電源確保	風力 1
55	開洋丸シーホーフ。衝突事件	1992年4/24	セメント運搬船	3,648	大船渡港東方13 海里	喪失	風力 1
56	札幌丸機関損傷事件	1992年11/11	石炭運搬船	48,844	東京湾洲崎沖	電源確保	風力 1 ・ 平穏
57	伯島丸乗揚事件	1992年11/20	石材運搬船	3,927	石垣港	電源確保	風力6 走錨
58	わかなつおきなわ機関損傷事件	1993#10/23	カーフェリー	8,052	大阪港南西沖	電源確保	風力4 • 少し波あり
59	タ゛イヤモント゛ハイウェイ乗揚事件	1993#12/23	自動車運搬船	33,131	備讃瀬戸	電源確保	風力7
60	フェリータ゛イヤモント゛乗揚事件	1993#10/25	旅客船	9,023	速吸瀬戸	電源確保	風力4
61	アーリーハ゛ート゛乗揚事件	1994#8/16	貨物船	17,999	関門港	電源確保	風力2
62	シーエース乗揚事件	1994#10/14	木材運搬船	17,429	沖 ノ 鳥島	電源確保	風力5
63	コスモヒ゛ーナス機関損傷事件	1994#10/31	油送船	136,688	マラッカ海峡北口	電源確保	風力 1
64	すとれちあ丸乗揚事件	1995#2/25	旅客船	3,708	三宅島	喪失	風力3
65	フェリーつばさ乗揚事件	1995年11/10	カーフェリー	1,585	厳原港	電源確保	風力4
66	フェリーくろしお乗揚事件	1995年11/27	カーフェリー	7,060	播磨灘	電源確保	風力2
67	エーシーエックスパ゛イオレット乗揚事件	1996年2/2	コンテナ船	18,487	東京腕	電源確保	風力6
68	鴻洋丸機関損傷事件	1996#3/26	セメント運搬船	4,389	恵山岬東方18海里	電源確保	風力6・ 波高し
69	ヤヨイ乗揚事件	1996年6/3	冷凍運搬船	1,232	石垣島	電源確保	風力3
70	みやらび機関損傷事件	1996年11/5	貨物船	5,592	沖永良部島西方12海里	電源確保	風力4・ ウネリ 2m
71	北星丸乗揚事件	1997#1/15	石炭運搬船	3,354	関門海峡	電源確保	風力 1
72	第十五陽周丸乗揚事件	1997#2/2	セメント運搬船	2,504	水島航路	電源確保	無風
73	リッチウェイ乗揚事件	1997#4/2	鉱石運搬船	27,423	水島航路	電源確保	風力 1
74	伊豆山丸機関損傷事件	1997#11/18	油送船	146,541	東京湾口洲崎北方5海里	電源確保	風力8 ・ 波高し
75	三泉丸火災事件	1997#11/27	油送船	1,556	浜田市北西沖12海里	喪失	風力2 ・ 平穏
76	ありげーたーりばてい機関損傷事	1997#12/6	コンテナ船	42,121	ミト゛ ウェイ 北方750海里	電源確保	風力5 ・ 波高し
77	第三日昌丸機関損傷事件	1998#2/6	砂利運搬船	4,341	姫島北西沖 <i>5</i> 海里	電源確保	風力4 ・ 少し波あり
78	テ゛ィオサ゛イサ゛へ゛ラ乗揚事件	1998#10/18	冷凍運搬船	1,987	清水港	電源確保	風力10 走錨

番号	事 件 名	発生年月日	船舶の種類	総トン数	発生場所	電源喪失の有無	気象・海象
79	コーキサン乗揚事件	1998年11/7	石炭運搬船	75,905	福山港	電源確保	風力 1
80	リューコ゛ンタ゛オ乗揚事件	1998年11/29	貨物船	1,135	中城港	電源確保	風力4
81	第二東洋丸機関損傷事件	1999年1/9	自動車運搬船	4,428	小豆島西方1海里	電源確保	風力3 • 少し波あり
82	第五地洋丸機関損傷事件	2000年3/12	漁船	3,086	フォークラント゛沖50海里	電源確保	風力3
83	はやと乗揚事件	2000年10/16	巡視船	3,231	奄美大島	電源確保	風力2
84	テ゛ィスティニー乗揚事件	2000年11/21	油送船	23,333	沖縄島	電源確保	風力7
85	エスケイ7号乗揚事件	2001年7/21	セメント運搬船	1,980	長崎県 江ノ島	電源確保	風力3
86	第八栄吉丸乗揚事件	2001年8/3	砂利運搬船	1,451	中城港	電源確保	風力4
87	第十五永進丸揚事件	2001年12/11	油送船	3,074	柱島水道	電源確保	風力2
88	北神丸乗揚事件	2002年4/26	油送船	3,146	山口県 諸島	電源確保	風力 1
89	フ゛リリアントセンチュリー乗揚事件	2002年5/18	石炭運搬船	5,295	播磨灘	電源確保	風力2
90	第弐十六天神丸乗揚事件	2002年7/23	石材運搬船	1,594	家島	電源確保	風力2
91	鶴翔丸機関損傷事件	2002年9/12	油送船	1,599	釜石港東方 <i>5</i> 海里	電源確保	風力3
92	美津川丸機関損傷事件	2002年9/14	石灰石運搬船	2,361	佐賀関北東沖フ海里	電源確保	風力3
93	姬高丸乗揚事件	2002年9/29	油送船	2,944	松島水道	電源確保	風力3
94	エルエヌシ゛ーウ゛ エ スタ機関損傷事件	2002年11/11	LNG船	105,708	東京湾口剣埼東方沖4海里	電源確保	風力2
95	ヒ゛トゥメンク゛ローリイ乗揚事件	2003年2/5	油送船	3,932	竹富島	電源確保	風力4
96	コリアンエキスフ [°] レス乗揚事件	2003年7/1	コンテナ船	3,953	関門海峡	電源確保	無風

4.5.3 表中の3件の事例について概要を示す。

事故例 爆発(表番号7)

第三松島丸(総トン数46,226トン)は,京浜港で原油の揚荷を終えたのち1977年 11月1日バラスト状態で同港を出港し,喜入港に向かった。

翌2日午前10時02分室戸岬の東方沖18海里のところで,乗組員が,バタワース作業を終えた5番中央荷油槽内のカーゴパイプの修理を行っていたところ,1番左舷荷油槽で原因不明の原油ガスの爆発が起こり,他のタンクも次々に誘爆して航行不能となった。

乗組員が退船して無人となった第三松島丸は,風力6の北風と黒潮によって漂流を続け,駆け付けた救援船が荒天のため曳航作業が出来ず監視するなか,天候が回復した11月5日午後3時30分からサルベージ船航洋丸により曳航が開始され,11月8日夕刻因島に到着した。

事故例 乗揚(表番号20)

錦江丸(総トン数129,216トン)は,中検受検の目的で1982年4月31日午後3時和歌山県由良港外に至り,入渠作業を容易にするため海水バラストを減らして31,000トンとし,左舷錨10節を延出してプロペラボスの大部分が露出した状態で錨泊した。

その後前線の接近により風勢が増大して風力7に達し,本船は,振れ回りが大きくなったが,ポンプによるバラスト水の緩慢な注入を行うのみで,速やかに左舷錨鎖全14節を延出したうえ,右舷錨を振れ止め用として投下するなどの措置をとらないでいるうち,午後8時ころ走錨して浅所に乗り揚げた。

本船は午後11時50分,曳船6隻によって引き下ろされ,ドックまで曳航された。

事故例 機関損傷(表番号74)

伊豆山丸(総トン数146,541トン)は,1997年11月18日,原油約25万トンを 積載して京浜港に向かう途上,洲崎の北方5海里付近の東京湾口に接近したとき,機関の後進テストを行うためいったん停止して微速力後進を発令したところ,始動空気主管内で爆発が起こり,同 管系統の弁が損傷し,午前9時ころ機関が使用不能となった。

海上は風力 8 の西南西の風が吹き波は高かったが,本船は,装備されていたETSを使用せず 来援した曳船により自船のホーサー等を使用して館山湾まで曳航された。

4.6 海外における事例分析

4.6.1 海外における曳航事例

海外における ETS の使用例を調査するため、ニュージーランド事故調査委員会が取りまとめた文献 資料 (http://www.taic.org.nz/) より、船舶の事故のうち座礁、機関故障等により自力航行不能となり曳航された事例について調査した。

調査の結果、文献資料から ETS の装備及び使用に関する記述を見つけることはできながったため、ここでは、ETS を装備していれば使用していた可能性があったと思われるいくつかの事故事例より、船舶に事故が発生し曳航に至る経緯を整理した。

(1) 事例 1: コンテナ船の舵損失事故*

2003 年 8 月 16 日 1420 時頃、コンテナ船 A 号(全長 113.8m、幅 16.2m、喫水 8.5m、4,529 総トン) が狭水道の砂洲上通過時に大きなうねりに数回遭遇し、船体が大きく動揺したため、舵が海底に接触し、舵を損失して制御不能となった。

当該船舶は前日の8月15日12時頃、オークランド港 Onehunga 岸壁に着岸し、荷役を終えて1230時に出港した。1415時頃、砂州上を通過しているときに推定波高3.5mの波に遭遇し、2番目のピッチで船首が持ち上がったときに船尾が海底に接触し、舵を損失した。

その後、左右蛇行を繰り返したが、速力を 3 ノットまで減じることによりバウスラスターで船体制御が可能となり、沖合でタグボートの到着を待った。

翌朝 0650 時にタグボートが到着し、舵の損失を確認した後、Lyttelton まで曳航された。

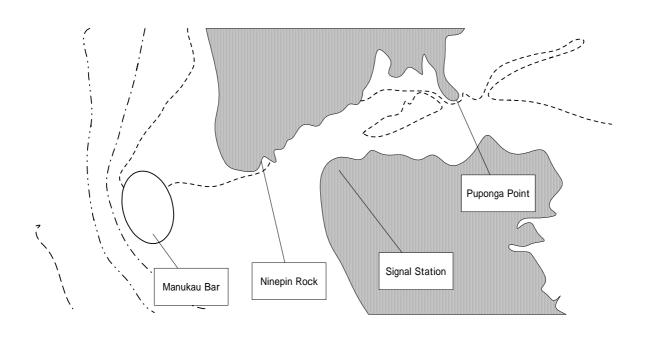


図 4.6.1 事例 1 の発生位置略図

(2) 事例 2: バルカー座礁事故*

-

^{*} Report 03-212, 16 August 2003, TRANSPORT ACCIDENT INVESTIGATION COMMISSION NEW ZEALAND

2002年10月8日早朝、バルカーB号(全長168.6m、幅26.0m、16,041総トン)はBulffにて貨物の一部を降ろした後、出発し、海峡付近で濃霧に遭遇して視界が著しく制限されたため、同海峡の北東部側面に乗揚げた。

当該船舶は 2002 年 10 月 6 日 Bulff に到着し、2136 時、内港 8 号埠頭に着岸し、10 月 7 日 0745 時から 10 月 8 日 0300 時にかけて本船クレーンを使って荷役を行った。10 月 8 日 0315 分に出港するため、2 隻の港内タグボートを配置し、水先人が 0310 時に乗船した。

予定よりやや出港が遅れ、0326 時頃、船尾と船首にそれぞれ1隻ずつタグボートを配置し、係留索をレッコ、岸壁沿いに後進し、Island Harbour3~6号岸壁入口に設置されたターニングベースンで回頭、ブイに向首したところでタグラインをレッコした。

海峡部は視界が悪く、導灯が見づらかったため、パイロットボート、船首タグボートに先導させた。減速のため機関を停止したことにより、速力低下とともに舵効も悪くなり、船首が左舷側に133°から128°に落とされた。

海峡入口付近において、左舷側に標識があることに気づき、左変針してこれを 2~3m でかわしたが、元の進路に戻る前 0356 時に海峡の北東部側面に乗揚げた。

右舷船首は水深が浅かったためタグラインが取れず、船尾において 2 隻のタグボートが本船の安全確保に努めたが、離礁はできなかった。

本船は、海難救助と汚染防止作業中の 10 日間、座礁したままとなり、10 月 17 日に離礁された。 Bluff において仮修理を行い 11 月 9 日に Lyttelton に向け、そこで残りの貨物を降ろし、燃料を補給 して本格的な修理のため中国の大連へ向けて出発した。

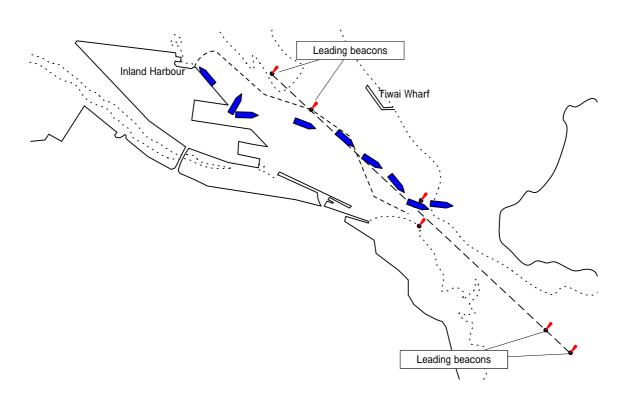


図 4.6.2 事例 2 の発生位置略図

^{*} Report 02-206, 8 October 2002, TRANSPORT ACCIDENT INVESTIGATION COMMISSION NEW ZEALAND

(3) 事例 3: 貨客フェリー停電による漂流*

1999 年 2 月 24 日水曜日 0645 時頃、貨客フェリーC 号 (乗客 221 名、33 名乗組、全長 150.0m、幅 20.25m、12,596 総トン) は、Wellington 港 Halswell 岬沖合を航行中、停電により漂流した。

1999 年 2 月 24 日水曜日、当該フェリーは Wellington 港 Aotea 第 5 埠頭に保守点検のため係留していた。0530 時頃、乗客の乗船及び貨物積込みのためフェリーターミナルに移動、0630 時までに荷役と乗客 221 人の乗船が完了し 0635 時に出帆した。

本船が Halswell 岬からおよそ 1.5 ケーブル手前、針路 110 度で接近中、電気推進装置が停止した。 操舵が可能であったので船長は Halswell 岬に対する危険を回避するため変針し、Wellington ハーバーラジオと入港船に状況を知らせた。

一旦推進力が復旧したので元の進路に戻すために右舵を取り始めたが、再び推進力が失われた。 このとき右舷側に回頭し、およそ 120 度の針路をとっていたため、船長は右変針を中止して左舵一杯とした。

大舵角と回頭の効果により、速力が相当減少し、間もなく港の中心に向かったところで停止し漂流した。緊急用発電機も始動せず、完全に電力を失った。

機関部のスタッフが電力復旧に取り組む間、本船は Wellington 港の中央で漂流し続けた。エンジンが利用できないことから 2 隻のタグボートとパイロットが手配され、0812 時、ハーバーパイロットが Aratere に乗船し、0815 時にタグボートが配備されてフェリーターミナルへ帰港が開始された。

曳航中、電力が復旧し、1000 時頃ターミナルに近づいたとき推進力が回復した。C 号は 1005 にターミナルに係留され、乗客が降ろされ、貨物は他の船に移し替えられた。

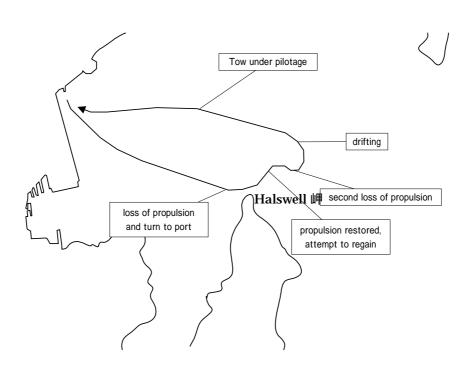


図 4.6.3 事例 3 の発生位置略図

-

 $^{^{}st}$ Report 99-202, 24 February 1999, TRANSPORT ACCIDENT INVESTIGATION COMMISSION NEW ZEALAND

4.6.2 海外における標準的曳航装置

本節では Michael Hancox 監修"Oilfield Seammanship:Rescue Towing"の記載内容の概要を記述し、海外ではどのような曳航装置を備え、どのように曳航が実施されているかを紹介する。

(1) 一般事項

救助曳航装置

基本的な曳航装備には次のものがある

- 1. 主曳航ワイヤ
- 2. 予備曳航ワイヤ
- 3. Towing / Anchor ハンドリング・シャックル
- 4. ワークワイヤ
- 5. 曳航索 (スプリング)
- 6. Tugger ワイヤ
- 7. グラップル(鉤いかり)
- 8. Jフックチェーン・チェイサー

その他の補助装備には次のものがある。

- 1. 両端がオープンリンク (スタッドのないエンドリンク)となった 76mmORQ スタッドリンクチェーン 1×10 m と 1×5 m の 2 本
- 2. 長さ 150m、径 40mm ポリプロピレン製のメッセンジャー(補助索)2 本及び 長さ 150m、径 72mm ポリプロピレン製のメッセンジャー2 本
- 3. 長さ 200m、径 26mm ポリプロピレン製のメッセンジャー2 本 両端にラージ・ソフト・アイ・スプライス
- 長さ 200m、径 24mm のワイヤロープ 2 巻 両端にラージ・ソフト・アイ・スプライス
- 5. 長さ 20~25m のペナントワイヤ (短索)
- 6. ワイヤーロープストッパー4~6本(径70mm、72mm、76mm)
- 7. 長さ 100m、径 28mm のポリプロピレンロープ 2 巻
- 8. 船橋内小型テープレコーダーと 12 時間以上のテープ

救助作業の段階・手順

曳航作業は概ね次の手順で行われる。

- 1. 海難現場に向かって航行中、曳航具を準備する。
- 2. 海難現場到着時の海面状態を調査する。
- 3. 曳航装備を接続する。
- 4. 危険を回避しながら曳航する。
- 5. 避難港/場所へ被曳航船舶を誘導する。

タグボートの船長が必要とする情報

救助曳航を要請されたとき、タグボートの船長は次の詳細情報を現場到着までに入手しなければならない。

- 1. 船名及び船種
- 2. 正確な船位

ドリフト針路、現在の船首方位、ドリフト速度、近くに存在する危険物からの距離、水面

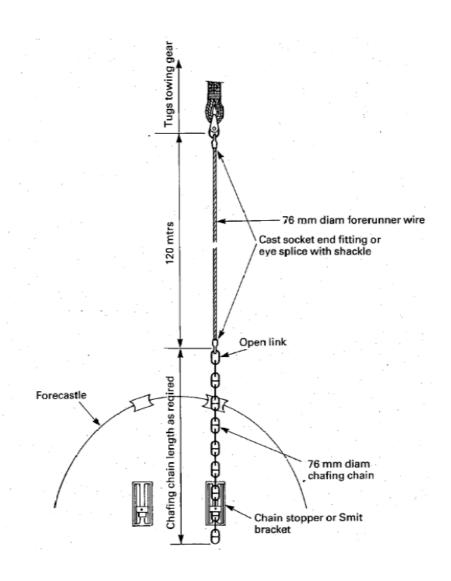


図 4.6.4 基本的な曳航装備

- 3. 下に存在する危険物(パイプライン、マニホールド、連結部等) その他の視界内にある危険物・障害物(プラットホーム、係留された構造物や船舶)
- 4. 海難現場の気象状況
- 5. 船舶の損傷及び使用可能な主機と補助動力の能力について。火災もしくはフリーガス(炭化水素もしくは硫化水素)の危険性
- 6. 乗船中の乗組員数、乗組員の言語、乗組員が曳航装置の設置場所へ移動できるかどうか
- 7. 船舶が曳航中もしくは曳航装置が故障しているとき、残された曳航具及び緊急曳航装置を接続できるかどうか
- 8. 始めに装備された曳航策具と何が残っているか。係留中に海難が発生した場合、
- 9. 付近にある他の船舶
- 10. 付近に使用可能なヘリコプターはあるか
- 11. 船舶周辺の生存者の存在及び乗組員生命への切迫した危険の有無
- 12. 爆発、火災の危険性

タグボートの船長は、海難や救助曳航に備えて無線通信手段を確保し、船橋に備えられたテープレ

コーダー等を使用して無線通信を記録する。

タグボート乗組員の構成

一般的に最大クラスのタグボートには10~12名が乗り組んでいる。

デッキ上に波が打ちあがるほどの悪天候の場合には、次の人員が必要となる。

1. 船長:指令

2. 一等機関士:制御盤操作

3. 一等航海士:デッキ上総責任者

4. 二等航海士:船橋において無線通信、ログ付け、サーチライト、曳航機の制御、見張り等

5. 2 等機関士:機関室内

6. 甲板員3名:一等航海士とともにデッキ上で作業

(2) 曳航装備の準備

タグボートのデッキ上で準備される曳航装備を図 4.6.5、図 4.6.6 に示す。

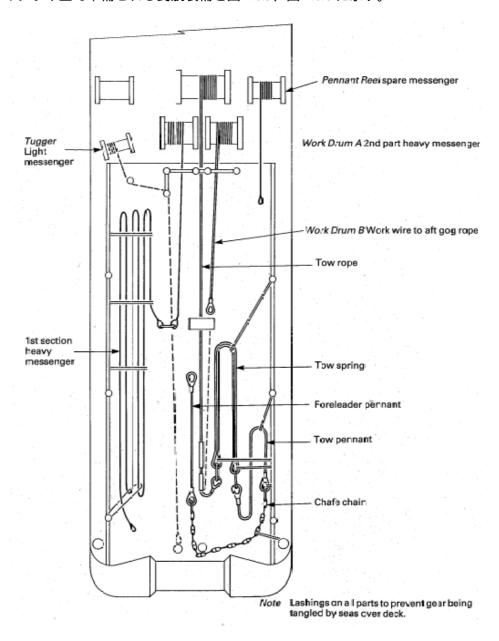
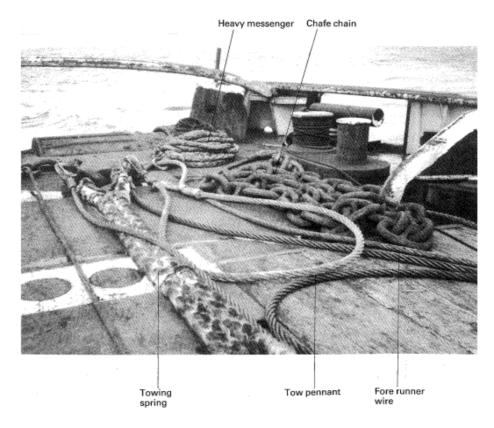


図 4.6.5 準備される曳航装備の種類 (その1)



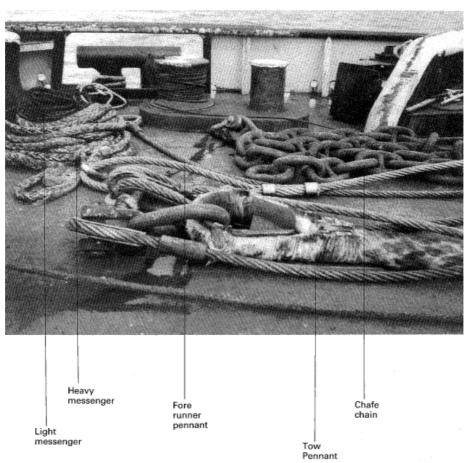


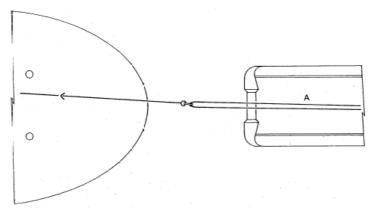
図 4.6.6. 準備される曳航装備の種類 (その2)

(3) 一般船舶に対する救助曳航手順

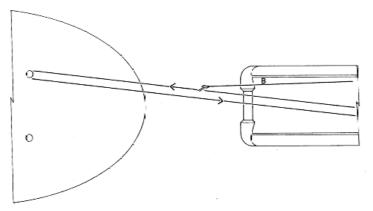
曳航装備の取り付け手順

被曳航船の電力が使用できない場合は次の方法がよく採られる。

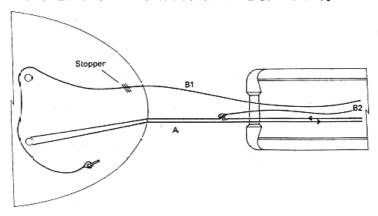
1. 径 28mm ポリプロピレンのメッセンジャーA をダブルでとり、ロケットラインで被曳航船に受け渡す。



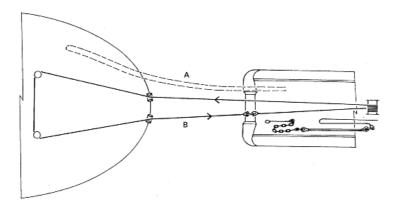
2. 被曳航船乗組員(もしくは回航員)がボラードなどにメッセンジャーA をバイトにとり、ヘビーメッセンジャーB を取り付けてタグボート側で手繰って被曳航船側に受け渡す。



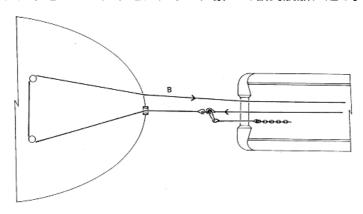
3. メッセンジャーA を反対舷に移し替え、同じようにヘビーメッセンジャーB2 を被曳航船に送る。 最初に送ったヘビーメッセンジャーB1 にはストッパーを取っておく。



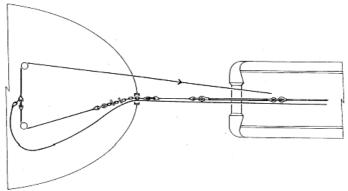
4. 2 つのヘビーメッセンジャーB1 と B2 を繋ぎ合わせ、タグボートのウィンチで巻き上げる。



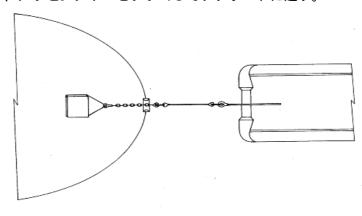
5. フォアリーダペナントをヘビーメッセンジャーに繋いで被曳航船に送る。



6. チェーフ・チェーンをフォアリーダーに設置し、チェーンストッパーをとり、フォアリーダペナントを確保する。



7. ペナントを固定し、メッセンジャーをレッコしてタグボートに返す。



被曳航船における曳航装備の固定方法

船上における曳航装備の固定方法は次の図のとおり様々な方法がある。図の上から順に

フォアリーダペナントをビットに廻してからウィンドラス据付部に廻してシャックルで繋ぐ 方法

フォアリーダペナントをジプシーホイールに巻きつけて直接チェーフ・チェーンに繋ぐ方法 チェーフ・チェーンをウィンドラス据付部に廻し、フォアリーダペナントの両端と繋ぐ方法 チェーフ・チェーンのコモンエンドリンクをプラケットに接続する方法

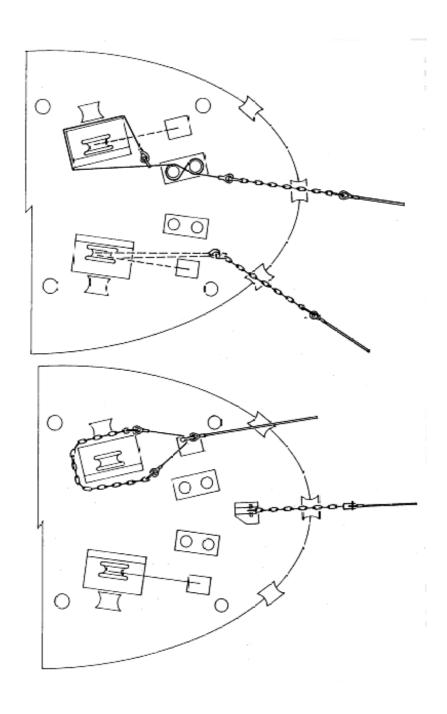


図 4.6.7 曳航装備の固定方法各種

被曳航船に固定された曳航装備 被曳航船に固定された曳航装備の状況を図 4.6.8、図 4.6.9 に示す。

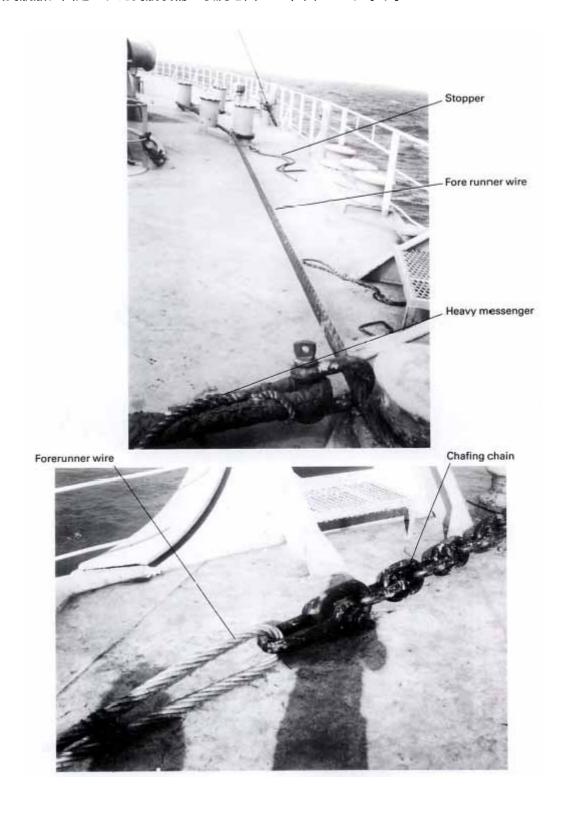


図 4.6.8 被曳航船の曳航装備の固定状況 (その1)

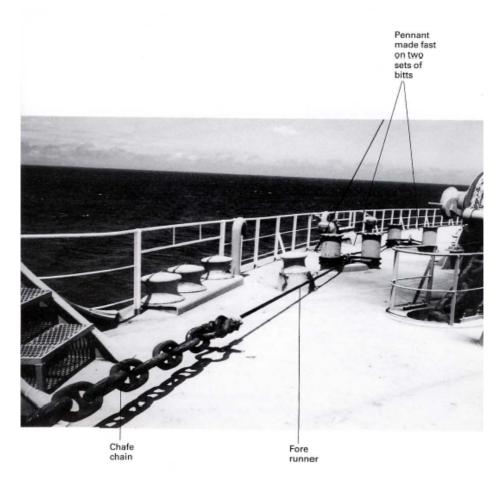


図 4.6.9 被曳航船の曳航装備の固定状況 (その2)

(4) 曳航装備連結中の操船

一般船舶におけるドリフト及びタグボートの曳航装備連結中の位置取りを図 4.6.10、図 4.6.11 に示す。

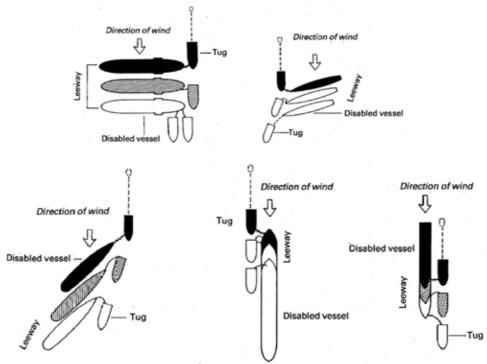


図 4.6.10 被曳航船のドリフト (Captain R.E.Sanders による)

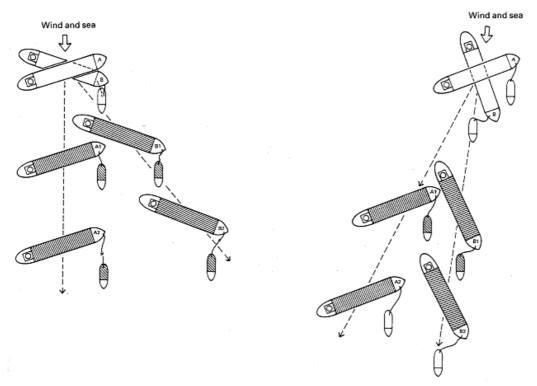


図 4.6.11 OCIMF (石油会社国際海事評議会)による球形船首形状 VLCC の予測ドリフト領域

(5) 荒天時の曳航

荒天時は適宜ちちゅうする。後方からの風浪に対してのちちゅう方法を図 4.6.12 に示す。

- 1. 曳航索ウィンチのブレーキを緩め、左エンジン前進、右エンジン後進とする。(Pos.C)
- 2. 回頭したところでちちゅうする。(Pos.D)ウィンチのブレーキをかける。
- 3. ワイヤに荷重がかかり始めたら、ショックを避けるため両エンジンを後進とし、ワイヤをスラックする。
- 4. 適宜制御する。

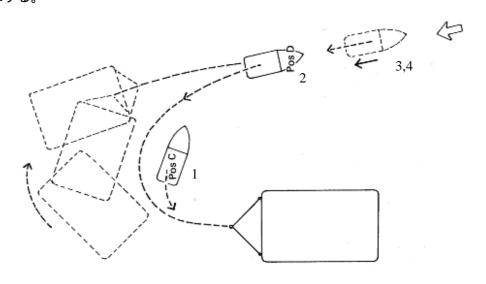


図 4.6.12 回頭してちちゅうする手順

4.7 海難事例分析による事象発生頻度の推定

4.7.1 海難審判庁裁決録からの ETS 関係事例分析

本節では、海難審判庁裁決録平成2年から平成13年掲載分にあたる約9,530件のうち、ETSに関係すると考えられる事例を選出し、個別に分析して事象の発生頻度を推定する。

まず、タンカー、旅客船、および貨物船の総トン数300トン以上の船舶が関連している各事件種類について、各事件の経過を裁決録記録内容から読み取り、該当する事例の件数を元に発生頻度を算出した。なお、当該年間における総トン数300トン以上の船舶に関連する裁決録記録件数の内訳は以下の通りであった。

	タンカー	タンカー以外	計
爆発	5	3	8
沈没	0	3	3
電線損傷	1	3	4
火災	8	21	29
機関損傷	47	116	163
乗揚	70	386	456
衝突	413*1)	1,443	1,856
遭難	4	32	36
転覆	2	17	19
その他	40*2)	143	183
計	590	2,167	2,757

表 4.7.1 総トン数 300 トン以上の件数

4.7.2 タンカーの分析結果

4.7.2.1 分析データの概要

タンカー590件について専門家による分析を行った。その結果、以下のデータが得られた(表3.7.2)。

^{*1)} 衝突 413 件には、448 隻の船舶が関連している。

^{*2)} その他 40 件のうちで、爆発、機関損傷、他物衝突、乗揚を起こしているものは 23 件存在している。

	分析件数	航行中 / 係留·停泊中(隻)	自力回航 / 曳航(隻)
爆発	5	1 / 4	0 / 1
沈没	0	0 / 0	0 / 0
電線損傷	1	0 / 1	0 / 0
火災	8	5 / 3	1 / 4
機関損傷	47	35 / 12	14 / 21
乗揚	70	67 / 3	41 / 26
衝突	413 (448隻)	418 / 30	413 / 5
遭難	4	0 / 4	0 / 0
転覆	2	0 / 2	0 / 0
その他	40	20 / 20	13 / 7
計	590 (625	546 / 79	482 / 64

表 4.7.2 タンカーデータの内訳

分析件数 590 件(625 隻) において、航行中の船舶は 572 隻、係留・停泊中船舶は 53 隻であった。*3)*4) *3) 避泊は航行中とした。

4.7.2.2 事故後の回航手段

航行中船舶 546 隻における事故発生後における回航手段は、

- ◆ 現場からの回航手段が自力航行のもの: 482 隻 (88.3%)
- ◆ 現場からの回航手段が曳航のもの: 64隻 (11.7%)

4.7.2.3 回航時の曳航の難易度

タンカーの事故のうち、回航時の曳航が困難であったと考えられる事例として、以下のものが挙げられる。

- ◆ 曳航による回航が不成功に終わったケース (裁決録中): 0件
 - ▶ 事故発生後の経緯、行われた措置から、曳航が不成功に終わったと読み取れるケースは存在 しない。
 - ▶ 曳航船舶(救助側)の到着前、到着後に座礁、沈没等の二次海難が発生したと読み取れるケースは存在しない。
- ◆ 曳航された64隻の当時の気象・海象については、以下の通りである。1件を除き、作業環境としては通常の範囲内と考えられる。
 - ▶ 風力4以下・白波が立つ程度の平穏と推察されるケース: 62件
 - ▶ 風力 5・波やや高しと推察されるケース:1件
 - ▶ 風力 8・波高 8 メートルのケース: 1 件 (平成 11 年横審第 6 号、油送船伊豆山丸機器損傷事件、総トン数 146,540 トン、1997 年 11 月 18 日浦賀水道にて発生)
- ◆ 被災船舶あるいは付近の状態が曳航作業を困難にさせる状況であると推察されるケースは0件であった。

^{*4)} 事故現場からの自力脱出後、曳航されたケースは自力回航に含めない。

- ▶ 具体的には、被災船舶が浸水により著しく傾斜した場合、付近に浅瀬が点在し被災船舶、曳航船舶に座礁の恐れがある場合、等を調査したが、そのような状況であったと読み取れるケースは存在しない。
- ◆ 二次海難防止のために曳航するまでの時間を短縮する必要があったと考えられるケース: 0件
 - ▶ 回航するまでに二次海難が発生したとの記述があるケースを対象としたが、裁決録中には該当記述はないため。

4.7.2.4 捕捉

現在までの分析において、港外に錨泊し、夜半に低気圧通過により走錨し、乗り揚げたケースが 1 件存在する。ただし、この件においては走錨時乗組員は全員就眠中であり、乗揚げ時まで気づかなかった。なお、当該船舶は乗揚により廃船となった。

4.7.3 旅客船の分析結果

4.7.3.1 分析データの概要

旅客船についても総トン数300トン以上のものを選出し、タンカーの場合と同様に分析を行った。 該当件数及び航行中船舶の隻数、自力回航の数は表4.7.3の通りである。

	分析件数	航行中 / 係留・停泊中	自力回航 / 曳航
爆発	0	0 / 0	0 / 0
沈没	0	0 / 0	0 / 0
電線損傷	0	0 / 0	0 / 0
火災	4	2 / 2	1 / 1
機関損傷	20	17 / 3	16 / 1
乗揚	20	17 / 3	13 / 4
衝突	128	117 / 11	116 / 1
遭難	3	2 / 1	1 / 1
転覆	3	0 / 3	0 / 0
その他	17	5 / 12	1 / 4
計	195	160 / 35	148 / 12

表 4.7.3 旅客船データの内訳

4.7.3.2 事故後の回航手段

旅客船における分析件数 195 件のうち、航行中の船舶は 160 隻であった。航行中船舶 160 隻における事故発生後の回航手段は、

◆ 現場からの回航手段が自力のもの: 148 隻 (92.5%)

◆ 現場からの回航手段が曳航のもの: 12隻 (7.5%)

なお、乗揚事例中に、曳航4隻の他に、待機錨泊中に走錨して陸揚げし、引き下ろされた例が1件 ある。(平成7年広審第71号、旅客船三島乗揚事件、総トン数698トン、1994年2月9日来島海峡小 島南西岸にて発生)この事例では、操船者が強風となることを想定せず、天候の変化に対して対策を とらなかったことが原因となっている。

4.7.3.3 回航時の曳航の難易度について

旅客船の事故のうち、回航時の曳航が困難であったと考えられる事例として、以下のものが挙げられる。

- ◆ 曳航による回航が不成功に終わったケース: 0件
 - ▶ 事故発生後の経緯、行われた措置から曳航が不成功に終わったと読み取れるケースは存在しない。
 - ▶ 曳航船舶(救助側)の到着前後に座礁、沈没等の二次海難に至ったと読み取れるケースは存在しない。
- ◆ 曳航された12隻の当時の気象・海象については以下の通りである。
 - ▶ 風力4以下:9隻 いずれも海上平穏又は白波立つ程度の状況下での曳航であった。
 - ▶ 風力6以上:3隻
 - ◆ 驟雨・風力 8・波高 1m、視程 100m の状況下で入港し、港入口付近の岩場に乗揚げた。救助作業の難しさを考慮し、移動、任意乗揚を行い、ヘリ・本船ライフボートで乗客全員救助。その後引き下ろし。(平成 12 年神審第 18 号、旅客船フェリーむろと乗揚事件、旅客船、総トン数 6,472 トン、1999 年 7 月 27 日高知県甲浦港にて発生。)
 - ◆ 雨・風力 6・波高 1.5m。知床巡航中、主機関不能となる。投錨の後、僚船により曳航された。サービスタンクの遮断弁が閉弁していたことが原因であるが、帰港時までは原因不明。(平成 6 年函審第 3 号、旅客船おーろら運航阻害事件、旅客船、総トン数 491 トン、1993 年 10 月 5 日北海道知床半島西岸にて発生。)
 - ◆ 曇り・風力 7・突風 20m の状況下、タグボートなしで空倉にて離岸後、突風を受け岸壁に衝突。右舷中央部防舷材下部外板に幅約3メートル長さ約12メートルの破口を生じ、機関室右舷側の機関監視室外板に接していた主配電盤後面からの主電路が切断して電源を喪失し、機関が停止したうえ、岸壁の返し波で破口から機関室に大量の海水が浸入し、主機及び各機器が損傷を生じて航行不能となった。(平成11年神審第67号、旅客船ニューあかし岸壁衝突事件、カーフェリー、総トン数14,988トン、1999年4月13日大阪港堺泉北区助松ふ頭にて発生。)

4.7.4 貨物船の分析結果

4.7.4.1 分析データの概要

貨物船についても航行中または係留・停泊中と回航の手段を調査した。該当件数及び航行中船舶の 隻数、自力回航の数は表 4.7.4 の通りである。

4.7.4.2 事故後の回航手段

貨物船における分析件数 1940 件のうち、航行中の船舶は 2094 隻であった。航行中船舶における事 故発生後の回航手段は、

- ◆ 現場からの回航手段が自力のもの: 1800 隻 (86.0%)
- ◆ 現場からの回航手段が曳航のもの: 231隻 (11.0%)
- ◆ 沈没等のもの: 63隻 (3.0%)

分析件数 航行中 / 係留・停泊中 自力回航 / 曳航 爆発 1 / 2 1 / 0 3 沈没 2 / 1 0 / 0 3 火災 17 10 / 7 5 / 5 機関損傷 92 84 / 8 40 / 44 335 / 15 乗揚 350 175 / 142 衝突 1317 1578 / 2 / 5 遭難 27 7 / 20 0 / 0 転覆 1 /10 55 / 21 11 電線損傷/その他 76 / 44 120 1522 / 14 計 1940 2094 1800 / 231

表 4.7.4 貨物船データの内訳

自力回航、曳航以外にも沈没等があるが、詳細は省略した。

4.7.5 海難事例分析からの結論

本節では、海難審判庁裁決録平成2年から平成13年掲載分約9,530件のうち、総トン数300トン以上の船舶の中からタンカー、旅客船および貨物船の関連する各事件種類について分析を行った。その結果、以下の結論が得られた。

掲載事例の中には、ETS の義務化されている船舶も存在するが、ETS に関する記述は皆無であった。 仮に ETS が設置されていた場合に効果を発揮するか検証するため、一次海難発生の後に、自力回航が 行えなくなったために曳航されたケースにおいて、曳航が不成功に終わったと記述されている事例を 調査したところ、このような事例は見受けられなかった。気象・海象等の環境条件により曳航のため の作業が困難であったと考えられる事例については数件存在した。これら数件の場合において ETS が あれば作業が容易であったかどうかを簡単に推測することはできないが、いずれも厳しい環境条件下であり、船員による船尾部等へのアクセスおよび甲板における作業は困難であると考えられる。

また、二次海難防止のために曳航するまでの時間を短縮する必要があった事例等についても調査を行ったが、裁決録中には該当の記述は見受けられなかった。

これらにより、裁決録においては、日本国内で発生している海難について、ETS が設置されていたと仮定することで事故後の対処、二次災害防止等に効果を期待させる事例を探すことはできなかったといえる。

4.8 ETS に関するアンケート調査

4.8.1 アンケート調査の目的

ETS の有効性に関する FSA 評価を実施するにあたって必要となる、事故に至る経過を表すイベント ツリーを構成する分岐確率は、前節における過去事例の分析のみからでは完全に得ることができていない。

特に、後述の 3.10 節に示すイベントツリーのうち、ETS の使用時、不使用時における曳航の成功・ 不成功の分岐確率においては、成功事例・不成功事例ともに確率を得られるだけの実例が過去に存在 しないことが判明している。そこで、これらの確率を近似的に得るために、操船あるいは曳航におけ る専門家を対象としたアンケート調査を実施することとした。

4.8.2 アンケート調査票

主たる目的が前項の通りであるため、ETS の有無による曳航の成功、不成功を想定した質問を用意し、輸送船を中心とする船舶運航管理会社等へ配布した。配布は電子メールによるメーリングリスト等を用いた形式で不特定多数に対して行い、回収は全部で8件であった。調査票、回答、および回答から得られた分岐確率を次ページ以降に掲載する。なお、回答のうち、回答者1~7は船舶運航者であり、8はサルベージ会社の曳航専門家であった。

4.10 節の解析で用いている. 表 4.10.2 の数値は本アンケート結果に基づいている。

2004/11/2

海上技術安全研究所

ETS (Emergency Towing Systems) に関するアンケート

日本造船研究協会 SP8 委員会活動の一環としまして、非常用曳航装置 (ETS) の有効性を検討しております。つきましては専門家のご意見を伺い解析の参考としたいと思います。ご経験に基づき感覚的なものでも結構ですから、以下の項目にご回答お願いいたします。

緊急曳航 (Emergency Towing) とは、機関故障等の原因により船舶が制御不能に陥った状態で、座礁等の危険が切迫している時に、これを防止するために引船、僚船、付近の船舶等により当該の船舶を曳航、ないしは位置保持すること、また、不幸にして座礁した場合に更なる漂流、座礁を繰り返さないように座礁した所で船舶の体勢を保持することを言います。

以下の質問では、制御不能となった船舶の緊急曳航についてご回答いただきます。ご回答にあたってはご自分の経験にもとづき、当該船舶として、特定の船種、総トン数の船舶を想定してください。 はじめに想定なさる船種、総トン数をご記入ください。その他を選択される場合は、できれば種類が分かるようお示しください。

船種:	油送船 コンテナ船 旅客船 その他 (ケミカルタンカー ばら積み船 その他の客船(- その他のタ 自動車運搬船)	7ンカー (その他の運搬船)	())
総トン数: 一年間の乗			,				
以下の質	質問にお答え下	「さい。					

- 1. 制御不能となった船舶 (被災船舶) が走錨する程度の荒天とはどの程度のものでしょうか。風力、波高、その他ご自由な表現でお答えください。また、あなたが運航中、または錨泊中にそのような荒天に遭遇する日数は1年のうち何日くらいありますか。
- 1.1 被災船舶が走錨する程度の荒天とは・・・ (風力、波高、その他の表現で) (回答)
- 1.2 あなたがそのような荒天に遭遇するおよその日数 (1年内に) (回答) 日くらい

- 2. 制御不能となった船舶 (被災船舶) が走錨する程度の荒天時に、被災船舶を緊急曳航するかど うかをどのように決定しますか。決定の際に参考にする項目に 印を付けて下さい。複数の条 件を考慮して決定する場合には、その考え方が分かるように組み合わせをお示しください。
 - 1) 被災船舶の陸地からの距離 (km 以内)
 - 2) 被災船舶が存在する海域、海底の性質 (漁場、生物保護区、岩盤等) 具体的にあれば:
 - 3) 風力 (以下、以上)
 - 4) 波高 (m以下)
 - 5) 潮流の大きさ (kt 以上)
 - 6) 風向、海流、潮流等の向き (風向・海流・潮流・その他 ()が、陸 に対して 離れる・近づく 向きのとき)
 - 7) その他 ()

(回答例1)

被災船舶が陸地から 10km 以内にあり、風力が 5 以下の場合。

(回答例2)

1) - 10km 以内 AND 3) - 風力 5 以下 回答例 1、2 では、1) 、3) だけの組み合わせで決定することを表しています。 従って、2) 、4) 、5) 、6) は、影響を与えないことを意味します。

(回答)

3. 制御不能となった船舶(被災船舶)が走錨する程度の荒天時に、被災船舶を緊急曳航する割合はどの程度でしょうか。

(回答例)

- 1. 走錨する程度の荒天時に、10回に7~8回程度
- 2. 最近 2 年間でこのような荒天に 10 回遭遇したが、緊急曳航することにしたのは 3 回であった

(回答)

- 4. 制御不能となった船舶 (被災船舶) が走錨する程度の荒天時で、切迫した状況になり緊急曳航を行う場合、ETS を使用せずに (係船装置等を用いる等の ETS 以外の方法で) 実施して、失敗することはあり得ますか。失敗とは、曳航に時間を要して乗揚等の二次災害に至る場合を指します。
- 4.1 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が使用できる場合 (回答例)

5回のうち1回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

4.2 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が喪失している場合 (回答例)

5回のうち2回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

4.3 曳航専門の船舶が緊急曳航を実施する場合

(回答)

回のうち 回失敗

- 5. 制御不能となった船舶 (被災船舶) が走錨する程度の荒天時で、切迫した状況になり緊急曳航を行う場合、ETS を使用して実施して、失敗することはあり得ますか。 (失敗の条件は質問 4 と同じとします。)
- 5.1 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が使用できる場合 (回答例)

5回のうち1回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

5.2 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が喪失している場合 (回答例)

5回のうち2回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

5.3 曳航専門の船舶が緊急曳航を実施する場合

(回答)

回のうち 回失敗

6. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に制御不能となった船舶が錨で位置を保持できない状況はあり得ますか。また、もし今までに制御不能となった経験がおありでしたら、錨で位置を保持できなかった回数をお示し下さい。複数の状況が考えられる場合は、複数お書き下さい。

(回答例)

位置保持できない状況: 水深・海底の状況により投錨不可能であった。

経験:10回の制御不能経験のうち1回

位置保持できない状況: 潮流により投錨はしたものの、走錨した。

経験: 2回の制御不能経験のうち1回

(答)

位置保持でき	·ない状況:
経験:	_回の制御不能経験のうち回
位置保持でき	·ない状況:
終睎・	回の制御不能経験のうち 回

- 7. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に、制御不能となった船舶 (被災船舶) に緊急曳航 を実施するような切迫した状況は考えられますか。決定の際に参考にする項目に 印を付けて 下さい。複数の条件を考慮して決定する場合には、その考え方がわかるように組み合わせをお 示しください。
 - 1) 被災船舶の陸地からの距離 (km 以内)
 - 2) 被災船舶が存在する海域、海底の性質 (漁場、生物保護区、岩盤等) 具体的にあれば:
 - 3) 風力 (以下)
 - 4) 波高 (m 以下)
 - 5) 潮流の大きさ (kt以上)
 - 6) 風向、海流、潮流等の向き (風向・海流・潮流・その他 ()が、 陸に対して 離れる・近づく 向きのとき)
 - 7) 質問6で回答したいずれかの状況が発生する時
 - 8) その他 (

(回答例)

- 1. 被災船舶の陸地からの距離が 10km 以内で、風力 5 以下のときに、質問 6 の の状況が 発生した場合。
- 2. 1) 10km 以内 AND 3) 風力 5 以下 AND 6) -回答 1、2 では、1)、3)、6)の項目だけが決定に影響することを表します。

(回答)

8. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に、制御不能となった船舶に対して緊急曳航を実施するとき、あなたは ETS を使用しますか。自由にコメントをお書き下さい。

(回答)

9. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に、制御不能となった船舶に対して緊急曳航を必要とするような切迫した状況に至ることはどのくらいありますか。(ETS に限らず、全ての曳航方法を対象にしています。)

(回答例)

- 1. 通常の天候で10回の制御不能状態になれば、1回程度は緊急曳航が必要となる
- 2. 昨年は通常の天候で5回の制御不能状態に陥ったが、切迫して緊急曳航に至ったのは3回(回答)

- 10. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に、制御不能となった船舶 (被災船舶) に対して緊急曳航を行う場合で、ETS を使用せずに実施して、曳航に失敗することはあり得ますか。 (失敗の条件は質問 4 と同じとします。)
- 10.1 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が使用できる場合 (回答例)

5回のうち1回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

10.2 付近の僚船等により緊急曳航を実施、被災船舶内の電源が喪失している場合 (回答例)

5回のうち2回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

10.3 曳航専門の船舶が緊急曳航を実施する場合 回のうち 回失敗

- 11. 通常の天候時 (風、波では走錨しない天候) に、制御不能となった船舶 (被災船舶) に対して緊急曳航を行う場合、ETS を使用して実施して、失敗することはあり得ますか。 (失敗の条件は質問 4 と同じとします。)
- 11.1 付近の僚船等により緊急曳航を実施、制御不能船舶内の電源が使用できる場合 (回答例)

5回のうち1回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

11.2 付近の僚船等により緊急曳航を実施、制御不能船舶内の電源が喪失している場合 (回答例)

5回のうち2回失敗

(回答)

回のうち 回失敗

11.3 曳航専門の船舶が緊急曳航を実施する場合 回のうち 回失敗

ご回答ありがとうございました。

不明な点等がございましたら、下記に連絡をお願いいたします。

(連絡先)

〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1 (独)海上技術安全研究所 海上安全研究領域 金湖富士夫(Tel.0422-41-3457, Fax. 0422-41-3115, E-mail: kaneko@nmri.go.jp)
伊藤 博子(Tel.0422-41-3131, Fax. 0422-41-3126, E-mail: hiroko@nmri.go.jp)

アンケートの回答および集計結果

Г				1.1	1.2	l		2	1)	2)	3)	4)	5)	6)
回答者	船種	総トン数	年間 の乗 船日 数	走錨する荒天とは	あなたが 遭遇する 日数は	荒天の割合 (多目に見て)	荒天の割合 (少な目に見て)	<u></u> 緊急曳航決定の方法	ウ 陸地と の距離	海域	風力	波高	潮流	外力の 向き
1	油送船	160,000		20m以上 (風速20m/s)	5	0.0250	0.0208	沖では波高が高く、タグボートは近づけないので、同設備 は現実的に使用不可。港内 にいる船のみ使用可である のが現実。						
2	コンテナ船	68,000		25m以上 (風速25m/s)	3	0.0150	0.0125	被災する状況であれば、同 海域は波が高く、曳航船の 接近は困難。 ETSを使用できるのは、波が おさまった状況であり、被災 船が走錨中に使用出来る可 能性は低い。						
3	L N G 船	111,000		風速25m/s, (GUST35m/s)	1	0.0050	0.0042	陸岸から5マイル以内、底質 が砂等で錨掻きが悪い場合 で風力6以上。						
4	巡視船	5,000	200	風力10以上	10	0.0500	0.0500	被災船舶が30km以内、近く に漁業施設、岩場があり、風 力9以下、波高5メートル以 下、海潮流、風向が陸に近 づく方向のとき。						
5	油送船	153,139	240	ballast conditionで45 m/s以上になればかな り底質が良くても走錨 する。特にうめりの入 る錨地では走錨し易 い。満船では殆ど走錨 しない。	10	0.0417	0.0417	LEE SHOREで風力11-12以 上、且ウネリがあれば走錨 する。 その時、緊急曳航の手配を しても曳船が制御出来ない ので流されっぱなしにならざ るを得ない。	6km以 内	海底の質	風力 10以 上			近づく 向きの とき
6	油送船	150,000	240	風力6以上、波高3m以 上	1	0.0042	0.0042		5km以 内	考慮する	6以上	3m以 下	考慮する	近づ〈 向きの とき
7	ばら積み船	7,700	240	喫水、トリム等にもよる が、およそ30ノット (15.4m/s) ただし、12m/s以上で は走錨のおそれありと して対応している。	24	0.1000	0.1000	船体が風潮流により陸岸または危険区域へ接近するおそれのある場合に緊急曳航の対象。 その他船体等に損傷がある場合にはそのではない。 場合にはその程度に応じて判断する。						近づく 向きの とき
		1				0.0344	0.0333			1				
						以上より、「発生 (錨が効かない は、 w = 0.034 程度と算出され	· -							
8	大型台船	12,000		時風速30-40m/s、波 浪4-5mに遭遇、錨泊 中(AC14、7.5ton×64m/m 10節 投入) Tug Boat 4000PS×3隻にて Holdingするも走錨 2) コンテナクレーン3 基積込み中高連遇。風 大の表し、一部である。 3) シンガポール港にて 大り Rig 搭記のの にてJ/U Rig 搭卸にて コールにて走錨 (Tug4000PS舷側配置 時)	4~5年に 一度			非自航船の場合、曳船は常時配置しているが、風速 20m/sを超えると予想される 場合曳船作業が直ちに行えるよう準備する。			風速 20m/ s以上			陸に対 して近 づく

	3	4 f1	4.1		4.2		4.3		I		
回答者	荒天時に緊急曳航する割合	ETSを使用せずに失 敗する割合	回のうち	回 失敗	回のうち	回 失敗	回のう ち	回失敗	僚船 電源 使用	僚船 電源 なし	曳航 専門
1	0						5	2			0.400
2	0						5	5 2			0.400
3	100%		1	1	1	1	2	. 1	1.000	1.000	0.500
4	走錨する程度の荒天時、10回に3 ~4回程度		5	3	5	5	5	5 2	0.600	1.000	0.400
5	最近緊急曳航を要する機会はありませんが、曳船が動けるうちに早 目に手配する事が肝要。	気象、海象の状況に より成否は大き〈左右 される。電源喪失であ ればETSを使用するし かない。									
6	走錨する程度の荒天時に 10回に 0.5回		3	1	3	2	5	5 1	0.333	0.667	0.200
7	気象・海象を考慮した航海計画であればほとんど発生しないと考える。ただし、200隻程度の運航船で緊急曳航を検討するのは年に1回あるかないか程度が現実。		5	1	3	1	10	1	0.200	0.333	0.100
		4 f1 f1 の平均							0.533 0.523	0.750	0.286
8	推進器が無いため、走錨する前よ リスローにて曳船に保持するよう 指示を出す。		係に付例回に動動つだたと の場合では、 ののでは、		電てP.C.(パクマトリロす率る。回あ頻程源いるパクェリス)に根がれずが機大数限失年、サーベーのようで、当代のはが、はのでは、は、では、いるでは、いるでは、いるでは、いるでは、いるでは、いるでは、いる				0.0976	0.0993	

	5 f2	5.1		5.2		5.3				
回答者	ETSを使用して失敗する割合	回のうち	回失敗	E o : t	回 失敗	回のうち		電源	僚船 電源 なし	曳航 専門
1						5	2			0.4
2						5	2			0.4
3		1	1	1	1	1	0	1.000	1.000	0.000
4		5	3	5	5	5	2	0.600	1.000	0.400
5	走錨するような条件では僚船等で曳航することは考えられません。 特に、電源喪失していればなおさら曳航は困難と思います。 専門の曳船でもかなり困難ではないでしょうか。大きい船舶例えばVLCCなどでは曳船を多数使用しないと曳航はできませんので特に難しいとおもいます。									
6		3	1	3	2	5	1	0.333	0.667	0.200
7	ETSを使用した経験がなく、推測になるが。	5	1	5	1	20	1	0.200	0.200	0.050
	5 f2 f2 の平均							0.533 0.497	0.717	0.242
8		失敗は曳索の切断、馬力不足などとなり、もっとも多いPCあるいはFLでの当たり部分での曳船索切断がなくなり、失敗する確率は大きく減少するものと考えるが、具体的回答は困難。4とほとんど同じ程度。		失敗は曳索の切断、馬力不足などとなり、もっとも多いPCあるいはFLでの当たり部分での曳船索切断がなり、失敗する価率は大きく減少するものと考えるが、具体的回答は困難。4とほとんど同じ程度。				0.0976	0.0993	

	6	7	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
回答者	通常の天候で位置保持できない状況		陸地との距離	海域	風力	波高	潮流	外 力 の 向き	6の状況
1	水深·海底の状況により投錨不可能であった。 経験: 20回の制御不能経験のうち 1回		の到着	漁場、岩盤 等近づけば 問題となる ものすべて	船移速にる	船移速にる	船移速にる		
2	水深、潮流、底質により、錨の掻きが悪〈走錨(位置が保持できない)。 経験: 20回の制御不能経験のうち1回 * 錨地の変更等で対処。		曳航船 の到着 時間に よる	漁場、岩盤等のみならず暗礁危険遅滞への距離。	漂流速にる	漂流度にる	漂流度にる		
3	錨掻きの悪い底質で潮流が早い場合 経験: 20回の制御不能経験のうち1回	陸岸から5マイル以内、底 質が砂等で錨掻きが悪い 場合で潮流が3ノット以上。							
4	位置保持できない状況: 水深により投錨不可の場合あり。 経験: 回の制御不能経験のうち 回	被災船舶の陸地からの距離が15km以内、潮流1kt以上、風向、海潮流が陸に近づく方向のとき。							
5	走錨しない状態で、制御不能になっても問題はありません。勿論、バースから離して沖の錨地にシフトを要請されることでしょうから曳船で引き出して可能です。 VLCCでは位置を保持できないほどの強い潮流ある場所では投錨しません。 仁川付近の錨地では最強8ノット程度の潮流のあるところもありますが走錨することはありませんでした。	走錨さえしなければ切迫し た状況は考えにくいです。							
6		通常の天候で緊急曳航が必要とされる場合は、主機関係や舵のトラブルなので本船から要請があれば条件の如何には捉われない。							
7	水深・海底の状況により投錨不可能。 経験なし。 潮流により投錨したものの、走錨。 経験なし。	船体が風潮流により陸岸 または危険区域へ接近す るおそれのある場合に緊 きの他船体等に損傷があ る場合にはその程度に応 じて判断する。						近何のきき	
8	潮流及び海底質の状況により走錨 曳航中被曳航物が大き〈yawingする場合 (Fore Body, Rig, Full Draft/Even Keel)				風速 20m/ s				風向、陸に対 して近づく

	8	9	10 g1	10.1		10.2		10.3				
回答者	通常天候でもETSを使用する か。	通常天候で切迫する割合	通常天候でETS を使用せずに失 敗	回のうち	回 失敗	回のうち	回 失敗	回の うち	回 失敗	僚船 電源 使用	僚船 電源 なし	曳航 専門
1	使用しやすいものであれば使 用する。それがなくとも本船で 持っている、fire wireや mooring lineを使う。			5	1	5	4	5	0	0.200	0.800	0.000
2	ETSの実使用経験なし。 使 用の難易度によるが、fire wireやmooring lineも考慮す る。	経験はない。 早期に危険遅 滞より避航する。		5	1	5	4	10	1	0.200	0.800	0.100
3	使用する	投錨可能な海域では錨泊で対応、制御不能が洋上であれば緊急曳航を要請、その割合は2回に1回程度。		2	. 1	2	1	1	0	0.500	0.500	0.000
4	ETS搭載船の経験はないが、 使いやすそうな船尾のものならば利用すると思う。	通常の天候で10回の制御不 能状態になれば3回程度		5	0	5	1	5	0	0.000	0.200	0.000
5	仮に、緊急曳航が必要になったとしたら、電源喪失していたらETSを使用しますがウインチが使用できるならば多分ETSは使用しない。	通常航海でMAIN ENGが故障して、船内で修理が不可能という状況であれば考えられます。例えば東京湾でS/B中に制御不能になることは可能性としてあります。実例はありませんがその時は緊急曳航の手配をする事となる。	使えなければ ETSを使用せざ るを得ないと思 います。 またどれだけの									
6	使用しない	100回に1回		2	. 1	2	1	2	0	0.500	0.500	0.000
7	ETSの使用経験がなく、有効性、操作性等に不慣れであるため断言は出来ないが、緊急 曳航時の専用設備であり、いかなる場合でも迅速・確かが取れるものと思われるので、使用するものと考える。	機関故障、舵故障等は年間 に数件ある。		10	1	5	1	10	0	0.100	0.200	0.000
			10 g1 g1 の平均							0.250 0.256	0.500	0.017
8	ETSは極力使用すべきと考えるが、その時の気象、海象、本船状況、曳船能力、海域などにより、曳航索取付位置は決定されるものと考える。			荒天でない状 況下で失敗は ほとんど無い と思われる。		細いメッセン を 使用し、順プにく ですくり、 ですり、 でいたしていた。 は無い。						

	11 g2	11.1		11.2		11.3				
回答者	通常天候でETSを使 用して失敗する割合		回 失敗	回のうち	回 失敗	回の うち	回 失敗	僚船 電源 使用	僚船 電源 なし	曳航 専門
1		5	1	5	4	5	0	0.200	0.800	0.000
2		5	1	5	4	10	1	0.200	0.800	0.100
3		2	1	2	1	1	0	0.500	0.500	0.000
4		5	0	5	1	5	0	0.000	0.200	0.000
5	ETSを使用できる状況であれば失敗は 考えにくいです。排水量の大きい船舶 を曳航する場合特 に長距離曳航する 場合はETS以外に 安全に曳航する方 法はない。									
6		2	1	2	1	2	O	0.500	0.500	0.000
7	ETSを使用した経験 がな〈推測になる が。	10	1	10	1	10	0	0.100	0.100	0.000
	11 g2 g2 の平均							0.250 0.250	0.483	0.017
	g∠ V/T+∂							0.230		
8		過去、ETSを使用して 曳航した事例は無い。 被曳船の船首部、フェ アリーダーを通してボ ラードに曳航用ワイ ヤーを固定する。		事例は無い。						

4.9 ドイツによる ETS 有効性評価の概要

2003 年 11 月 26 日にドイツより提出された文書 DE47/INF.3 "Mandatory emergency towing systems (ETS) in ships other than tankers greater than 20,000 dwt " において、2000 トン以下の船舶についても ETS の設置が望ましいとの意見を出し、その論拠として ANNEX において FSA 研究を提示している。本節ではその FSA 研究内容の概要を紹介し、ドイツの論拠を検討することとする。

なお ANNEX の表題は "Formal Safety Assessment on Emergency Towing Systems for other ships than tankers 20,000 tdw"となっており、約50ページの資料である。

4.9.1 序論

曳航とは通常は発生するものではなく、船乗りにとりほとんど経験がない。しかし万一曳航が必要な事態になった場合は、事前の準備も計画もない不慣れな作業を悪天候下で実施しなければならないこととなる。まず、5 つの事例研究を実施し、どのような状況下で船舶の救助がなされるかを見ている。その結果、天候条件が船舶の救助を困難にしているだけでなく、天候条件自体が救助を必要とする原因にもなっていることがわかった。

4.9.1.1 ケース・スタディ

ケース・スタディとして取り上げた事故は以下の5例である。

タンカーBraer 号 (1993 年 11 月 5 日、Sumburth Head、機関故障から漂流開始、曳航を試みるが 失敗。座礁 し 84,700 トンの原油が流出)

Pallas号 (7,997 トン)(1998 年 10 月 25 日、北海、木材積載、火災発生で火災のため錨下ろせず。非常曳航を試みるも悪天候のためうまくいかず。)

Lucky Fortune 号 (43,665 トン)(1999 年 12 月 3 日、シルト島付近、バルクキャリアー、機関 故障で錨を下ろし停泊するも、悪天候で漂流開始。曳航を試みるが悪天候のため何度か失敗す るも最後に成功。環境破壊を防げたが、曳航ロープの接続時に危険が伴い二次災害の瀬戸際で あった。)

Vikartindur 号(9,200 トン) (1997 年 3 月 5 日、アイスランド南岸、コンテナー船、機関故障、悪天候のため錨を下ろして停泊。アイスランド沿岸警備隊が曳航のため近づくが曳航設備がなかった。錨の綱が悪天候のため破断、漂流を開始。曳航を試みるが曳航ロープの破断により失敗。最後に乗り揚げ事故発生。)

NikolaosP 号 (34,750 トン)(2001 年 5 月 12 日、デンマーク近くのバルチック海、バルクキャリアー、何度かの試みの後曳航索を取り付けることに成功したが、ニコラオス号が突然クラッシュアスターンをかけたため破断。3 日後になり天候が治まり曳航に成功。)

4.9.1.2 ETS の歴史

非常時のための曳航設備はとりわけ新しいものではない。曳航索は 1912 年になり Det Norske Veritas (DNV) 規則に取り入れられた。1982 年には IACS が停泊索と曳航索についてのガイダンスを導入した。オイルタンカーの事故により曳航設備を常備すべしとの認識が出てきた。1978 年の 23 万トンの原油が流出するという Amoco Cadiz 号の事故のあと、非常用曳航装置 (ETS) の設置の必要性が国際的に認識され、1983 年になり IMO-Resolution A.535(13) "Recommendation on Emergency Towing Arrangements for Tankers" が 採択された。これは5万トン以上のタンカーが規制の対象となっていた。

1993 年に Braer 号事故が発生し、その後もタンカー事故が相次いだ。その結果 1994 年になり

IMO-Resolution A.535(13)が IMO-Resolution MSC.35 (63)に置き換えられ、対象とする船も 20,000トン以上のタンカーとなった。

4.9.1.3 ETS に関する IMO 関連規則

IMO-Resolution A.535(13)、IMO-Resolution MSC.35(63)、SOLAS amendments, Chapters & 、International Code of Safety for Ships in Polar Waters (Polar Code)についての説明があるが、4.1 節と重複するのでここでは省略する。

4.9.1.4 イツにおける公的私的な発案

1993年のPallas号事故の後、Grobecker委員会が設けられ報告書の中で30の勧告が出された。その中の勧告16においてETSが言及されている。

2000年の2月にはドイツ連邦議会の議員による提案がなされている。その中では、タンカーに限らず全ての船舶に ETS を設置すべしと述べられている。また、一般公衆への質問では80%以上の人々が ETS 設置のための追加費用を容認するとの回答を寄せている。

4.9.1.5 ETS についての本 FSA のスコープ

- 1 . 20,000 トン以下のタンカーについても ETS を備えるべきか
- 2 . タンカー以外の船舶も ETS を備えるべきか
- 3. このような強制化の拡張において適切な判定基準とその線引き

4.9.2 ハザードの同定

4.9.2.1 海難

主要海難は 「衝突」、「火災・爆発」、「乗り揚げ」、「浸水沈没」、「機関損傷」、「その他」に分類されるが、これは非常曳航が必要であるか否かを考えた場合、必ずしも適切な分類とは言えない。むしる、適切なイベント・ツリーを用いたほうが良いと考える。

4.9.2.2 事故シーケンス

全ての事故において、事故発生後、"loss of Command"(LOC;指揮・統率の喪失)の時間帯が生ずる。 その後、非常曳航あるいは非常錨泊により危険を逃れる場合と漂流・座礁に至るシケーンスに分かれ ると考えられる。もちろん、全ての"loss of Command"に引き続いて非常曳航、座礁、…に至るわけ ではない。また、地理的要因、海象条件が関与してくるし、非常錨泊が可能な地理的条件も限られて いる。

4.9.2.3 指揮喪失後のなりゆき

非常曳航あるいは非常錨泊が失敗した後すみやかに取るべき処置は乗客・乗員の非難・救助である。 その後、乗り揚げあるいは他船等との衝突が発生する事が考えられる。座礁した場合は船底が破損し、 燃料油あるいは液体積荷が流出し場合によっては沈没が発生する。 さらにサルベージ業務、環境汚染 へと発展する可能性がある。 非常用曳航装置はこれらのシーケンスによる最悪の事態を防ぐ手段とし て魅力的である。

4.9.2.4 非常曳航の役割

非常曳航とは、船舶が荒天時において制御を失った場合に救助船に曳航策で結びつけることを言う。 非常曳航の目的は、船舶をその場所にとどめておき、漂流を防ぎ座礁の発生を防ぐことにある。さら に座礁した船については風・潮流に対して位置を保持し、潮が満ちてきたときさらに沿岸(浅瀬)へ 流れる事を防ぐ。また、消火活動、非常下船を容易にする事も目的としている。

救助船はサルベージタグに限られているわけでなく、専用サルベージタグ、多目的救助船、 沿岸警備隊のカッター、Certain types of offshore supply vessels、港湾のタグボート、一般商船が考え

られる。それぞれの特徴の概要が述べられている。

4.9.2.5 非常曳航の利点

今日、船舶がLOCに陥ることは稀になっているが、万一LOCが発生しても近くに救助船が存在する確率は高い。しかし、非常曳航が行われなかった場合に起こりえる事態としては以下のものが考えられる。「人命の損失、負傷、」、「船舶の部分的あるいは全面的喪失」、「海洋汚染」、「サルベージ費用の増大」、「清掃費用の増大」、「経済的損失」

非常曳航が必要な主要理由は座礁あるいは他船舶等との衝突防止にある。この目的として錨による 制御が考えられるが、事故の経験からすると悪天候、強潮流下では必ずしも有効でない。

4.9.2.6 非常曳航の限界

非常曳航は遭難に対する救済策ではない。つまり、衝突の発生、火災等の事故を防止するものではない。また、河川とか海峡で LOC が発生したとき非常曳航により座礁を防ぐことは期待できない。なぜならば非常曳航を完成させるまでに要する時間が長いからである。

4.9.2.7 認可 ETS の可能性

非常曳航の成功/失敗の経験から次の問題点が指摘されている。

a.遭難船と救助船の最初の結合、b.曳航索を船上に持ち上げる、c.曳航索を両船にしっかりと固定する、d.曳航索がこすれて破損しないようにする、e.衝撃の発生しないような注意深い操船。

また、非常時に曳航索をつなぐ際の危険性としては以下の点が述べられている。

a.荒天下で曳航索を結合させることは危険な作業である。暗闇、火災、船舶の動揺、強風等が一層作業を困難にする。b.経験不足、さらに近年の乗組員数の減少傾向も悪い方に作用する、c.動力源がない場合には索の結合までに1時間以上要してしまう、d.結合作業中、救助船は悪天候下での操船が必要となる、e.救助船は往々にして低い艦舷を有しているので甲板上に波が来ることが多い、そのため作業者の危険が増える。

以上のことから非常曳航策はできるだけ短時間に結合させなければならない。そのためにも認可された非常用曳航装置(ETS)を備えておくことは効果的であろう。

4.9.2.8 ETS の基本的要件

ETS の基本要件の説明が述べられているが、本報告 4.2 節と重複する内容であるためここでは省略 する。

4.9.3 リスクの定量化

4.9.3.1 方法論

リスクは被害の大きさと事故の発生確率の積として捉えられる。発生確率は一年当たりの事故数として表せられ、対象の寿命を掛けると全発生確率となる。被害の大きさには、損失価格(回復のための費用も含む)や人命の損失。さらには環境の破壊があるが、人命や回復不可能な環境破壊はその損失高を算定できないという困難さがある。

本評価の目的は以下の項目についての数値を求めることとなる。

- 1. "Loss of command(LOC)"を引き起こす海難事故発生頻度(n)
- 2 . 上記事故で乗り揚げが発生する心配のある海岸付近での発生割合。(c)
- 3.上記場合において、錨による漂流が防げないような天候の発生割合(w)
- 4. 上記場合において、ETS 利用のための救助船が近くにいる割合(a)
- 5. 上記場合において認可 ETS がないため曳航に失敗し、乗り揚げ事故にいたる割合 (f1)

- 6. 認可 ETS があるにもかかわらず曳航に失敗し、乗り揚げ事故にいたる割合(f2)
- 7. 対象船舶の就航時間(y)
- 8. 事故の結果の被害高(m)

認可 ETS を備えていない事によるリスク P は上記数値をもとに

$$P = n \cdot c \cdot w \cdot a \cdot (f1 - f2) \cdot y \cdot m$$

• • • (4.9.1)

と表せる。

数値例 n;1, c;0.7, w;0.05, a;0.8, f1;0.7, f2;0.1, y;25, m;1,000,000 ユーロ を仮定すると、 リスク P は P=420,000 ユーロ / 隻 となる。

4.9.3.2 対象とする船種と大きさ

対象とする船種、大きさによりリスクの評価は異なってくるであろう。それ故、LOC 発生時のハザードの違いから以下の船舶に分類して考える。

タンカー 300~20,000

バルクキャリアー 30,000~

コンテナー船 1,200~

コンテナー船 (feeder ship) 300~1,200

Dry カーゴ 10,000~

Dry カーゴ 300~10,000

自動車運搬船 20,000~

クルーズ旅客船 300~

Ro-Ro 船 300~

ハザードの様相は以下のパラメータに依存している。燃料の量、危険物の量と種類、海岸線を航行する割合、漂流速度、リスクにさらされる人数。

4.9.3.3 数値の評価

1. "Loss of command"を引き起こす海難事故発生頻度(n)

Ro-Ro passenger ferries.

日本の船舶信頼性データ(SRIC)を基に算出し、航行中の操船失敗を 14.8 事例 / 隻・年 と推定しているが、全てが LOC を引き起こしたのではないと思われるので、この値は上限値である。

ドイツの航行、事故に関するデータより LOC の発生頻度を推定した結果 0.7~1.0/隻・年 と 推測(表4.9.1)。これらの値はエキスパートの同意も得ている。

Ship type	n
Tankers of less than 20,000 tdw.	0.80
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	1.10
Containerships of 1,200 TEU and above.	0.90
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	0.90
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	1.00
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	1.00
Car-carriers of 20,000 gt and above.	0.90
Cruise passenger vessels.	0.70

表 4.9.1 LOC 発生頻度 n

0.70

2.上記事故で乗り揚げが発生する心配のある海岸付近での発生割合。(c) 統計データが存在しないのでエキスパート意見を取り入れ、0.3~0.75 と推測。(表 4.9.2)

表 4.9.2 発生場所が海岸の近くである割合 c

Ship type	c
Tankers of less than 20,000 tdw.	0.70
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	0.30
Containerships of 1,200 TEU and above.	0.40
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	0.70
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	0.50
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	0.65
Car-carriers of 20,000 gt and above.	0.35
Cruise passenger vessels.	0.50
Ro-Ro passenger ferries.	0.75

3.上記場合において、錨による漂流が防げないような天候の発生割合(w) この値には天候の発生確率の他に事故の発生した海底の様子にも関連している。同じく統計データ が存在しないのでエキスパート意見を取り入れ、0.03~0.08 と推測。(表 4.9.3)

表 4.9.3 悪天候である割合 w

Ship type	W
Tankers of less than 20,000 tdw.	0.03
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	0.04
Containerships of 1,200 TEU and above.	0.06
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	0.06
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	0.04
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	0.04
Car-carriers of 20,000 gt and above.	0.08
Cruise passenger vessels.	0.07
Ro-Ro passenger ferries.	0.07

- 4. 上記場合において、ETS 利用のための救助船が近くにいる割合(a) データなし。 すべての船に対して 0.8 と推測。
- 5. 上記場合において認可 ETS がないため曳航に失敗し、乗り揚げ事故にいたる割合(f1) 0.6~0.8 と仮定する。(表 4.9.4)

表 4.9.4 認可 ETS がないために曳航に失敗する確率 f 1

Ship type	f1
Tankers of less than 20,000 tdw.	0.70
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	0.80
Containerships of 1,200 TEU and above.	0.75
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	0.60
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	0.70
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	0.60
Car-carriers of 20,000 gt and above.	0.75
Cruise passenger vessels.	0.65
Ro-Ro passenger ferries.	0.65

6. 認可 ETS があるにもかかわらず曳航に失敗し、乗り揚げ事故にいたる割合(f2) エキスパート意見により、0.1~0.2 と推測。(表 4.9.5)

表 4.9.5 認可 ETS があるにもかかわらず曳航に失敗する確率 f 2

Ship type	f2
Tankers of less than 20,000 tdw.	0.15
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	0.20
Containerships of 1,200 TEU and above.	0.15
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	0.10
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	0.15
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	0.10
Car-carriers of 20,000 gt and above.	0.15
Cruise passenger vessels.	0.10
Ro-Ro passenger ferries.	0.10

7.対象船舶の就航時間 (y) 25年と仮定。

8.事故の結果の被害額(m)

統計データ無し。推測結果を表 4.9.6 に示す。

表 4.9.5 事故による被害額 m

Ship type	m(Euro)
Tankers of less than 20,000 tdw.	2,000,000
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	800,000
Containerships of 1,200 TEU and above.	800,000
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	400,000
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	500,000
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	300,000
Car-carriers of 20,000 gt and above.	600,000
Cruise passenger vessels.	1,000,000
Ro-Ro passenger ferries.	1,000,000

9.解析結果

上記で示した数値を(4.9.1)式に代入すると船種別のリスク P が求まる。 表 4.9.6 P の最小値は Dry カーゴ (300~10,000)の 78,000で最大値は Ro-Ro 船 (300~)の 404,250 である。

Ship type a f1 f2 y m [Euro] p [Euro] Tankers less than 20,000 tdw 0.80 0.70 0.03 0.80 0.70 0.15 25 2,000,000 369,600 Bulk carriers 30,000 tdw 1.10 0.30 0.04 0.80 0.80 0.20 25 800,000 126,720 Container ships 1,200 TEU 0.90 0.40 0.06 0.80 0.75 0.15 25 800,000 207,360 Container ships < 1,200 TEU 0.90 0.70 0.06 0.80 0.60 0.10 25 400,000 151,200 Dry cargo vessels 10,000 tdw 1.00 0.50 0.04 0.80 0.70 0.15 25 500,000 110,000 Dry cargo vessels < 10,000 tdw 1.00 0.65 0.04 0.80 0.60 0.10 25 300,000 78,000 Car carriers 20,000 gt 0.90 0.35 0.08 0.80 0.75 0.15 25 600,000 181,440 Cruise passenger vessels 0.70 0.50 0.07 0.80 0.65 0.10 25 1,000,000 269,500 Ro-Ro passenger ferries 0.70 0.75 0.07 0.80 0.65 0.10 25 1,000,000 404,250

表 4.9.6 解析結果

4.9.3.4 保険掛け金との比較

上記解析結果は保険料と比較することによって検証され得る。保険料は長年にわたる保険業者の経験から導き出されたもので、一種の統計データに基づいていると言える。

1,200TEU のコンテナー船の 25 年間の保険料を 12,600,000 ユーロと算定した。これは全事故をカバーする保険料であるので、表 4.9.6 の値、207,360 ユーロ、151,200 ユーロは 1.2% および 1.6% となっている。実際の座礁事故による損害額はの全事故による損害額の約 8%であるので、表 4.9.6 の値はやや控えめな評価と言える。

4.9.4 他の選択肢の可能性

上記 FSA の評価は 2 万トン以上のタンカー以外の船舶への ETS の設置義務化を検討する材料であるが、ETS 以外の方法が可能であるかどうかを検討する必要がある。そこで、このドイツ提案文章では、

錨あるいは錨鎖の使用、ヘリコプターによる非常曳航索の設置、船上機器の冗長性の増大、MSC.35(63)による認可 ETS、IMO 要求を満足する ETS (前方設置 ETS、前方および後方設置 ETS、後方設置 ETS) 遠隔無線信号による ETS の解放、についても検討している。

4.9.5 アンケートおよび専門家に対する聞き取り

この FSA 研究結果について専門家に対する聞き取り及び船乗りに対するアンケート調査を実施した。 アンケートは 74 名に配布し 38%の回答率であった。ETS の義務化については船種別に賛同割合が得られていずれも高い支持割合が得られている。

4.9.5 費用対効果評価

費用対効果を調べるため、まず ETS 設置の費用を 5 社の製造会社について調べた。調査内容は、各種 ETS の価格、設計料と設置費用、保守費用でありこれからトータルコストを算出した。その結果をリスク P と比較したものが表 4.9.7 である。これによると ETS のコストはリスク P の 10%から 50%となっている。

Ship type	Risk "p"	Costs of ETS
Tankers less than 20,000 tdw.	369,600	18,900 - 56,900
Bulk-carriers of 30,000 tdw and above.	126,720	56,900 - 63,000
Containerships of 1,200 TEU and above.	207,360	56,900 - 63,000
Containerships of less than 1,200 TEU (feeder ships).	151,200	56,900
Dry cargo vessels of 10,000 tdw and above.	110,000	56,900
Dry cargo vessels of less than 10,000 tdw.	78,000	18,900 - 56,900
Car-carriers of 20,000 gt and above.	181,440	56,900
Cruise passenger vessels.	269,500	56,900
Ro-Ro passenger ferries.	404,250	56,900

表 4.9.7 費用対効果比較表

4.9.6 結論

ドイツ提案文書はこの後、船種ごとの ETS の有効性を論じ、勧告の形でまとめている。勧告では認可 ETS を 300 トン以上の全ての商船に義務付けるべきであると述べている。但し、漁船、近海供給船、タグボートには義務付けの必要はない。義務付けされる ETS は、現状でのオプションであるピックアップギア及び曳航ペナントのない船主部システムは除外されるべきである。

4.10 FSA 手法による ETS 有効性の評価

本節では、DE48/14/1(付録 1,2 参照)の日本提案のために実施した解析内容を説明する。日本提案は、300GT以上のタンカー以外の大部分の船種に対してETSの搭載を義務付けることを提案しているドイツのIMO文書(DE47/INF.3)に対して反論を試みるもので、同文書にあるリスク評価過程を吟味するものである。

まず、LOC の発生から曳航に至る包括的なイベントツリーを作成し、その後同イベントツリーのヘッディングを種々のデータおよび専門家意見に基づき定量化する。最後に不確実さ解析を行ってドイツの提案が非合理であることを示す。

4.10.1 LOC の発生から曳航に至る包括的イベントツリー

図 4.10.1 に LOC 発生から曳航に至る包括的イベントツリーを示す。

DE47/INF.3 (ドイツ提案における解析)は緊急曳航のイベントツリーを含んでいない。しかし、リスク解析の透明性を保つために LOC から曳航に至る包括的なプロセスをイベントツリーで明快に記述し分岐確率を定量化することは重要である。DE47/INF.3 には援助可能な割合(a)が導入されている。この値は専門的なサルベージ船以外の船舶が援助する場合が生じることを考慮し、専門家判断で決めている。ここでは、専門的なサルベージ船およびそれ以外の船舶が援助する場合を別々に考慮した。LOC になってもその船舶のみで回航できる場合も考慮した。さらに、本船の電源の使用可能性の有無も考慮した。海難審判庁裁決録には、荒天下でない場合の曳航の失敗の記述がなかったため、荒天下でない場合のイベントツリーの枝は考慮しなかった。しかし、速い潮流下で LOC になる場合など、緊急曳航が必要で曳航が失敗に至る場合もあることが考えられるため。緊急曳航の完全なリスク解析のために将来的にこれらの場合を考慮すべきである。

図 4.10.1 において、CASE 1 とは、専門的なサルベージ船が援助し本船の電源が使用可能な場合、CASE 2 とは、専門的なサルベージ船が援助し本船の電源が使用不可能な場合、CASE 3 とは、専門的なサルベージ船以外の船舶が援助し本船の電源が使用可能な場合、CASE 4 とは、専門的なサルベージ船以外の船舶が援助し本船の電源が使用不可能な場合である。

Occurrence of LOC(n)	Place of LOC is close to coast(c)	Towed or return by herself(r) ("Y" specifies "Towed")	Adverce weather condition(w)	Kind of assistance vassels(k)	Electric power supply of ship in LOC(e)	Failure probability of emergency towing using ETS or not Pailure frequency of emengency towing using ETS or not Service - Consequences tion (Year)				Risk	Se- quence (CASE) No.
	Υ	Y(r)	Y(w)	Salvage(k)	Y(e)	f1(CASE1:Other)	n*c*r*w*k*e*f1			n*c*r*w*k*e*f1*25*m	1
_						f2(CASE1:ETS)	n*c*r*w*k*e*f2			n*c*r*w*k*e*f2*25*m	1'
					N(1-e)	f1(CASE2:Other)	n*c*r*w*k*(1-e)*f1		i	n*c*r*w*k*(1-e)*f1*25*m	2
				Others(1-k) Y(e)		f2(CASE2:ETS)	n*c*r*w*k*(1-e)*f2			n*c*r*w*k*(1-e)*f2*25*m	2'
					Y(e)	f1(CASE3:Other)	n*c*r*w*(1-k)*e*f1			n*c*r*w*(1-k)*e*f1*25*m	3
						f2(CASE3:ETS)	n*c*r*w*(1-k)*e*2	25	m	n*c*r*w*(1-k)*e*f2*25*m	3'
					N(1-e)	f1(CASE4:Other)	n*c*r*w*(1-k)*(1-e)*f1			n*c*r*w*(1-k)*(1-e)*f1*25*m	4
						f2(CASE4:ETS)	n*c*r*w*(1-k)*(1-e)*f2			n*c*r*w*(1-k)*(1-e)*f2*25*m	4'
			N(1-w)			0(by JR-MAIA)	0			0	5
		N(1-r)				0	0			0	6
	N					0	0			0	7

図 4.10.1 LOC の発生から曳航に至る包括的イベントツリー

4.10.2 ヘッディングの分岐確率の推定および費用対効果解析

ヘッディングの分岐確率等の表記(n,c,f1,f2)は DE47/INF.3 と同一とした。新たなヘッディングの分岐確率として以下を導入する。

- r: LOC 後曳航に至る確率
- k: 錨が効かない荒天時にサルベージ会社の船舶が使用される比率
- e: LOC になった船舶の電源が使用可能な確率

海岸近くで LOC が発生する頻度を求めるため、海難審判庁裁決録の情報を使用する。同資料では海難審判に至った事故の審判記録が記述してある。ここでは、1990~2002 年の 13 年間の記録を用いる。表 4.10.1 に 300GT 以上のタンカーの事故を示す。同表より、曳航された船舶は 13 年間で 64 隻であることがわかる。この間の対応する 300GT 以上の船舶母集団は 15160 隻である。なお、船舶母集団の数

は日本船舶明細書から得た。

以上より、

 $n \times c \times r = 64/15160 = 0.00422$

である。

サルベージ会社の船舶が使用される比率 k はサルベージ会社の意見から求めた。同社は荒天の場合はほとんどの場合サルベージ船舶が使用されると述べた。ここでは、k として 0.9 を使用した。e もサルベージ会社の意見から求めた。 同社は曳航される船舶の半数は電源が使用できると述べたので、e を 0.5 と推定した。

そのサルベージ会社は、錨が効かない程度の荒天であっても、過去 10 年に 1 回しか失敗しなかったと述べた。また、 1 月に 1 回の割りで援助船を出動させるとも述べた。また、本船の電源が有効でない場合の曳航失敗確率("fb")は、有効である場合の曳航失敗確率("fa")より 25%程度高いと示唆した。これら r と e=0.5 を考慮すると、fa=0.00741、fb=0.00926 と推定できる。しかし、援助船の出動 10 件につき、1 件は天候があまりに厳しく出動できない場合が発生するとのことである。したがって、 $f1(CASE\ 1)=(0.00741+0.1)/1.1=0.0976$ 、

f1(CASE~2)=(0.00926+0.1)/1.1=0.0993 と推定した。また、ETS があってもなくても曳航結果にはほとんど違いが生じないとのことであるため、f2 は f1 と同じとした。"f1(CASE~3)"、"f1(CASE~4)"、"f2(CASE~3)"、"f2(CASE~4)"は海運会社へのアンケートにより求めた。それらの値を表 4.10.2に示す。

表 4.10.3 に ETS の導入により低減されたリスク(p)を示す。f1,f2 は表 4.10.2.の対応する平均値である。表 4.10.3 より、300GT 以上の日本籍タンカーの p は DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカーよりもはるかに小さいことがわかる。

表 4.10.1 300 総トン以上のタンカーの海難発生数 (1990-2002 海難審判庁裁決録より)

Casualty	Return by herself	Towed	Total
Explosion	0	1	1
Fire	1	4	5
Machinery damage	14	21	35
Grounding	41	26	67
Collision	413	5	418
Miscellaneous	13	7	20
Total	482	64	546

表 4.10.2 専門家判断に基づく f1 と f2 の推定

	f1 f2						f1 - f2					
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Answerer 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Answerer 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Answerer 3	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	0	0
Answerer 4	-	-	0.6	1	-	-	0.6	1	-	-	0	0
Answerer 5	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-
Answerer 6	-	-	0.333	0.667	-	1	0.333	0.667	1	-	0	0
Answerer 7	-	-	0.2	0.333	-	1	0.2	0.2	1	-	0	0.1333
Salvage Co.	0.0976	0.0993	-	-	0.0976	0.0993	ı	-	0	0	-	-
Average	0.0976	0.0993	0.5333	0.7500	0.0976	0.0993	0.5333	0.7167	0	0	0	0.0333

表 4.10.3 海難審判庁裁決録から得られた n*c*r の値を用いた p の推定および専門家意見に基づく f1 と f2 の推定による p の推定

Ship type	n	с	r	w	a	k/1-k	e/1-e	f1	f2	у	m	p				
Tankers less than 20,000	0.8	0.7	1	0.03	0.8			0.7	0.15			260 600				
DWT in DE 47/INF.3	0.8	0.7		0.03	0.8			0.7	0.15			369,600				
$\mathbf{n} \cdot \mathbf{c} \cdot \mathbf{r} = 0.00422$	0.00422				0.8			0.7	0.15			2,785				
CASE 1							0.9		0.0976	0.0976	25	2,000,000	0			
CASE 2				0.03			/								0.9	0.5
CASE 3					0.1	0.5	0.533	0.533			0					
CASE 4						0.1		0.75	0.717			11				
Total (CASE 1 to 4)										11						

4.10.3 不確実さ解析

分岐確率には、データが少なく専門家判断を使用せざるを得ない場合は特に、広い幅の分散が存在する。したがって、恣意的な結論を排除するためには不確実さ解析が重要である。ここでは、信頼区間、すなわち、"p"の上限と下限を推定することにより不確実さ解析を行った。この手続きの中では、"f1"と"f2"のみの分散を考慮している。この不確実さ解析より、300GT以上のタンカーに ETS を強制化することは正当化されないことが明らかとなった。この詳細は以下のとおりである。

まず、4.9 の操船専門家へのアンケート結果から CASE 毎の f1 および f2 の分布を求める。しかし回答数が少ないために統計的な分布は決定することができない。そのため、各回答による f1 と f2 の推定値毎にそれらに対応する回答数の割合を付して DPD(Discrete Probability Distribution:離散的な確率分布)を作成することにした。したがって、f1 と f2 は離散分布となる。これら f1 と f2 の分布から、f1 > f2 を考慮して"f1-f2"の DPD を求める。その後、"f1-f2"の CDF(Cumulative Distribution Function:累積確率分布関数)を DPD から作成する。この時点では"f1-f2"の CDF は階段関数であるが、値が飛んでいる f1-f2 の点を結んで折れ線とする。この CDF は CASE 3 と CASE 4 で作成する。CASE 1 と CASE 2 で

は一般商船の運航者からの回答もあったが、専門的なサルベージ会社が作業する場合であるのでサルベージ会社社員の意見のみ採用した。CASE 1 と CASE 2 では回答が 1 つしかないため、f1 の平均あるいは上限は、それぞれ 10%あるいは 20%f2 より大きいと仮定した。

以下に CASE3 と CASE4 の f1-f2 の CDF を作成する方法を示す。

まず、f2 の値毎に f1 の取り得る確率を推定する。f2 の各値の取り得る確率は等しいと仮定する。 表 4.10.2 より、CASE3 では f1 と f2 の取り得る値とその値の発生確率は等しい。よって、f2=0.2 の場合は、どの f1 の値も等確率(0.25)とする。すなわち、p(f1|f2=0.2)=0.25 である。f2=0.333,06,1.0 の場合は、まず、f1 のどの値にも等確率(0.25)を与え、その後 f1<f2 の場合には 0 に置き換え、最初に与えられた確率は f1>=f2 となる最も小さい値の確率に加えることにする。

そのようにしてできた p(f1|f2)の値を表 4.10.4 に、また、p(f1,f2)=p(f2)* p(f1|f2)の値を表 4.10.5 に示す。また、表 4.10.6 には、f1-f2 の取り得る値を f1 と f2 の組合せ毎に示す。以上より得られる f1-f2 の取り得る値のそれぞれの発生確率と累積確率を表 4.10.7 に示す。図 4.10.2 に CASE 3 の f1-f2 の累積確率分布関数のグラフを示す。

同様に、CASE 4 に関して表 4.10.8 に p(f1|f2)、表 4.10.9 に p(f1,f2)、表 4.10.10 に f1-f2、表 4.10.11 に p(f1-f2)および P(f1-f2)、そして、図 4.10.3 に f1-f2 の累積確率分布関数のグラフを示す。

表 4.10.4 CASE3 の p(f1|f2)

p(f)	f2)		f	1	
f2	p(f2)	0.2	0.333	0.6	1
0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.333	0.25	0	0 0.5 0.25		0.25
0.6	0.25	0	0	0.75	0.25
1	0.25	0	0	0	1

表 4.10.5 CASE3 の p(f1,f2)

	(
	(f1 f2)		f	1								
ŀ	o(f1,f2)	0.2	0.333	0.6	1							
	0.2	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625							
f2	0.333	0	0.125	0.0625	0.0625							
12	0.6	0	0	0.1875	0.0625							
	1	0	0	0	0.25							

表 4.10.6 CASE3 の f1-f2

f1-f2		f1									
	11-12	0.2	0.333	0.6	1						
	0.2	0	0.133	0.4	0.8						
fo	0.333	-0.133	0	0.267	0.667						
f2	0.6	-0.4	-0.267	0	0.4						
	1	-0.8	-0.667	-0.4	0						

表 4.10.7 CASE3 の p(f1-f2)および P(f1-f2)

f1-f2	p(f1-f2)	P(f1-f2)
0	0.625	0.625
0.133	0.0625	0.6875
0.267	0.0625	0.75
0.4	0.125	0.875
0.667	0.0625	0.9375
0.8	0.0625	1

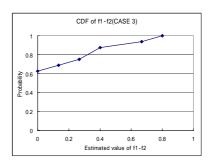


図 4.10.2 CASE 3 の f1-f2 の累積確率分布関数

表 4.10.8 CASE4 の p(f1|f2)

p(f1	(f2)		f1		
f2	p(f2)	0.333	0.667	1	
0.2	0.25	0.25 0.25 0.25			
0.667	7 0.25 0		0.5	0.25	
1	0.5	0	0	1	

表 4.10.9 CASE4 の p(f1,f2)

n	(f1,f2)		f1	
P	(11,12)	0.333	0.667	1
	0.2	0.0625	0.0625	0.125
f2	0.667	0	0.125	0.0625
	1	0	0	0.5

表 4.10.10 CASE4 の f1-f2

n	(f1 f2)		f1	
p(f1,f2)		0.333	0.667	1
	0.2	0.133	0.467	0.8
f2	0.667	-0.334	0	0.333
	1	-0.667	-0.333	0

CDF of f1-f2(CASE 4)

1
0.8
25 0.6
0.4
0.2
0 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
Estimated value of f1-f2

図 4.10.3 CASE 4 の f1-f2 の累積確率分布関数

表 4.10.11 CASE4 の p(f1-f2)および P(f1-f2)

		1 \
f1-f2	p(f1-f2)	P(f1-f2)
0	0.625	0.625
0.1333	0.0625	0.6875
0.3333	0.125	0.8125
0.4666	0.0625	0.875
0.8	0.125	1

以上より求めた CASE1 ~ CASE4 の不確実解析の結果、すわなち各 CASE の上限と下限を表 4.10.12 に示す。

この表より、ETS 導入に伴う p の上限が 525Euro であることがわかり、これは、DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカーの ETS のコスト(18,900~~56,900 Euro)に比べるとはるかに小さい。また、CASE 1 と CASE 2 においては、"f1-f2"がたとえその最大値である 1.0 であるとしても、すべての場合 の最大値は 6165Euro になり、20000DWT 以上のタンカーに ETS を設置する際の最小コストの 18900Euro より小さい。これらのことは 300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は、特に日本近海では費用対効果が悪いことを意味する。300GT 以上のタンカーの世界的な安全レベルは同様な大きさの日本籍タンカーとそれほど異ならないと思われるため、300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は正当化されないと言える。

CASES n·c·r k/1-ke/1-e f1-f2 m p Lower limit^{*} 0 0 CASE1 Mean* 0.0049 14 Upper limit* 0.0098 28 0.9 Lower limit* 0 0 CASE 2 Mean* 0.0050 14 two Upper limit^{*} 0.0099 28 0.00422 0.03 0.5 25 million Lower limit 0 0 **EURO** CASE 3 Mean 0.1667 53 Upper limit 0.7467 236 0.1 Lower limit 0 0 CASE 4 Mean 0.1792 57 Upper limit 0.7333 232 Total (Lower limit) 0 Total (Mean) 138 Total (Upper limit) 525

表 4.10.12 f1-f2 の信頼限界推定による不確実さ解析

*Assumption: In CASEs 1 and 2 (mean) f2 is smaller than f1 by 5 % of f1, In CASEs 1 and 2 (upper) f2 is smaller than f1 by 10 % of f1

4.10.4 操船専門家によるコメント

走錨する程度の荒天では、ETSの使用の有無にかかわらず、緊急曳航の非現実性を指摘するコメントがあった。それらを下記に示す。

- 1)沖では波高が高く、タグボートは近づけないので、同設備は現実的に使用不可。港内にいる船のみ使用可であるのが現実。
- 2)被災する状況であれば、同海域は波が高く、曳航船の接近は困難。ETS を使用できるのは、波がおさまった状況であり、被災船が走錨中に使用出来る可能性は低いと考える。
- 3) LEE SHORE で風力 11-12 以上、且ウネリがあれば走錨する。その時、緊急曳航の手配をしても曳船が制御出来ないので流されっぱなしにならざるを得ない。

なお、ETS があっても使用しなかった例がある。

また、海難審判庁裁決録には ETS があっても曳航に使用されなかった例が 2 例記されている。そのうちの 1 つは風力 8 の場合である。

4.10.5 結論

以上の検討により、以下の結論が得られた。

- 1 . 300GT 以上の日本籍タンカーが日本近海で LOC になり曳航に至る頻度は 1990 年から 2002 年の海難審判庁裁決録より 0.00422/Ship*Year である。
- 2 .ETS の導入による 300GT 以上の日本籍タンカーのリスク低減値の上限は 525Euro と推定され、この値は DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカー用の ETS のコストよりはるかに小さい。また、300GT 以上のタンカーの世界的な安全レベルは同様な大きさの日本籍タンカーとそれほど異ならないと思われる。
- 3.したがって、300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は専門家意見とデータに基づく費用対効果の不確実さ解析では正当化されない。

4.11 解析結果検討

ここではドイツの評価(DE47/INF.3 ANNEX)と比較しながら解析結果を検討していく。

ドイツの評価も本プロジェクトの解析も、海難事故発生に至るシーケンスを基本的な事象に分解し、それぞれの事象の発生頻度/確率を評価し、それらを総合しETSの有無による効果を定量的に評価するというFSA 手法を用いており、方法論としては基本的には同一である。しかし、ドイツの解析では「乗り揚げ事故」に至る単一のシーケンスのみを検討しているが、本解析ではイベントツリーに展開し、より多様な場合を網羅した一般的な解析となっている。ドイツの解析では複数のシーケンスを考慮しなければならない場合でも無理に一本のシーケンスにしているため、本来分けて考慮すべき分岐確率を専門家判断で強引に決定せざるを得なくなり不透明な結果となっている。その例として、支援船により援助可能な割合(a)があり、この値は専門的なサルベージ会社の支援船以外の船舶が援助する場合が生じることを考慮するものである。本報告では、専門的なサルベージ船およびそれ以外の船舶が援助する割合で分岐しその後のシーケンスを別々に考慮し、それぞれでETSの有無による支援失敗確率(すなわち、fl とf2)を推定している。この結果、サルベージ会社と一般的な海運会社のそれぞれの専門家がそれぞれの専門性を有する箇所の分岐確率を推定すればよく解析の妥当性を向上させることが可能となる。

本プロジェクトの結果とドイツの解析結果には大きな違いが生じたが、その主な原因は ETS についての期待度、考え方の違いから生じる各基本事象の発生頻度 / 確率の値の評価における違いにある。本来 ETS を必要とする様な事態は稀な事象であるためデータがそろわない。そのためどうしても専門家判断を利用せざるを得なくなるが、ドイツの解析では解析者の周囲にいる経験者に確かめた程度と推定され、根拠がそれほど明確とは言えない。一方、本解析では可能な限り統計データを収集して検討した。また、審判裁決録の専門家チェックにより非常時曳航が有効に機能したであろう状況の出現割合の推定、経験者に対するアンケート調査実施による専門家意見集約という回答者の専門性を十分発揮できる方法で専門家判断を活用した。

まず、事象の発端となる LOC(指揮・統率の喪失)の発生頻度としては、ドイツは " 航行中の操船失 敗 "を念頭に 0.7~1.0 / 隻・年と推定している。海岸近くで発生する確率を 0.3~0.75 と推定してお り、LOC 後曳航に至る頻度は $0.31 \sim 0.63$ / 隻・年と推定している事になる。これに対して本解析では 13 年間の海難審判裁決録のデータから LOC 後曳航に至る頻度を 0.00422 / 隻・年と算出している。この評価値に約 2 桁の差があることになる。

非常時曳航システムの有効性の捉え方にも大きな差がある。ドイツの報告の中にも、曳航索を結ぶのには時間を要し、そのため特に荒天時には危険が増大するという記述があるが、そのことから、非常時曳航システムを備えておけばこの時間が短縮できるとの考えから有効性に結び付けている。それ故 ETS がない場合に曳航に失敗する確率 f1 を 0.75 としているのに対して ETS がある場合の曳航に失敗する確率 f2 を 0.15 と評価している。

それに対し、日本の専門家の意見では、例え非常時曳航システムが準備されていても、索等の巨大さと万一の作業で不慣れなことから有効性が評価されていない。それ故アンケート調査結果から得られた f1 と f2 の値の差はほとんどなく、この点でドイツの評価と異なっている。

これら、二つの要因が主として効いて本解析とドイツの評価結果との違いが出てきた。結論にも述べたように、ETS の導入による 300GT 以上の日本籍タンカーのリスク低減値の上限は 525Euro と推定されたが、ドイツの評価では 20,000 トン以下のタンカーのリスク低減値は 369,600 Euro という結果となっている。

本年度の調査研究では安全評価手法の構築を目的とする調査研究と具体的な評価事例としての非常時曳航システム(ETS)の有効性評価を取上げた解析を実施した。特に後者の解析結果は、DE47においてドイツがFSAの解析結果として主張している「ETSを300トン以上の全ての船舶に課すことの有効性」に対する反論として、DE48への提案文書としてまとめた。

一年間という短期プロジェクトであったが、目的の一つとして、具体的事例評価実施とその結果に基づいた IMO への提案文書作成を設定して検討を効率的に進め、当初予定していた成果を得ることができた。本短期プロジェクト委員の皆様のご尽力に感謝する。

5.1 安全評価法の調査研究

安全評価法の調査研究においては、油流出量と処理費用の検討、環境価値の仮想的評価法、複数のリスクコントロールオプション(RCO)がある場合の効果について検討した。

油流出量と処理費用の検討においては、1998年からの5年間の油濁事故113件について統計的な検討を行い、被害予測値の算出式を得た。油流出事故の油流出量、汚染海岸線長さ、油種から被害額を算出する回帰式が得られている。FSA解析中において、油流出事故シーケンスの被害額を設定する際に活用できる。

環境価値の仮想的評価法の検討においては、環境価値という概念に着目し、油流出事故等の直接的な被害額以外に失われた環境の価値をどのように評価するかの考え方を検討した。エクソン・バルデス号油流出事故ではこの環境価値を考慮した和解が成立している。今後、環境価値という考え方が広まっていく可能性もあり、費用対効果判断における被害額の判定にとり貴重な知見が得られた。

複数の RCO がある場合の効果についての検討では、理論的な検討を実施し複数の RCO を導入した時のリスク低減量を求める式を導出した。この結果、どのような組み合わせで RCO を実施すればより効果的となるかの判定が理論的に可能となった。

5.2 安全評価事例

安全評価事例としては「非常時曳航システム」を取り上げその有効性評価を FSA 手法により実施した。FSA 実施においては、いかに評価対象となるシステムや取り巻く状況、起こり得る事象・事故を深く理解するかが、評価結果の質に大きく影響する。

本プロジェクトにおいては、まず ETS に関する IMO 関連規則を調べた。現状では 20,000 トン以上のタンカー,液化ガスばら積船及び危険化学品ばら積船に大規模汚染事故防止の観点から ETS が強制化されている。今後 ETS の適用範囲を拡大しようとする動きが IMO にある。

ETS の種類と使用方法の調査では、10 万トン級タンカー図面等を参考に設置状況、使用方法について確認した。また、新日本石油タンカー所有のタンカーを訪問し実地調査をするとともに船長に ETS を使用する場合についての意見聴取を行った。万一の事故時に有効に使用できるかについては疑念を持っていた。

ETS 以外による漂流防止策についても検討し、ETS を設置せずとも他に有効な事故防止策があるかを調べた。

ETS および関連設備の強度、価格の調査により、費用対効果を算出するための基礎資料を収集した。 曳航が関与した海難事例の分析を実施した。現在まで ETS を設置した船舶は少ないため、曳航が関 与した事故事例の状況を分析し ETS の有効性を検討した。昭和 50 年からの 30 年間の海難審判庁採決録では曳航された事例は 2,296 件あった。1,000 トン以上の船舶は 96 件であったが、ETS を装備していた船舶は 3 例でそのうち 2 例は使用せずに曳航され、残りの 1 例は状況が不明であった。曳航された事例のうち 17% が風力 5 以上の天候下であった。

海外における事例分析では、ニュージーランド事故調査委員会の記録を調査した。ETS の使用に関する事例がなかったため、ETS を装備していれば使用していた可能性があったと思われるいくつかの事故事例を調べ、事故が発生し曳航に至る経緯を整理した。また、海外文献を調査し、海外ではどのような曳航装置を備え、どのように曳航が実施されているかを検討した。

海難事例分析による事象発生頻度の推定においては、海難審判庁採決録の曳航に関係すると思われる記録 2,757 件について、その内容を検討し、「回航手段」、「曳航の難易度」、「緊急度」について出現割合をタンカー、旅客船、貨物船別に推定した。採決録の分析の結果、ETS が設置されていたと仮定することで事故後の対処、二次災害防止等に効果を期待させる事例は見出せなかった。

ETS に関するアンケート調査を専門家に対して実施した。回答の絶対数は少なかったが、アンケート結果から ETS の使用時、不使用時における曳航の成功・不成功の分岐確率値を推定した。

ドイツによるETS有効性評価の概要ではドイツがDE47へ提出した文書内容を分析しそこで用いられている条件、仮定、数値等を検討し本短期プロジェクトでの評価実施の参考とした。

最後に、収集した情報をもとに FSA 手法により ETS 有効性の評価を実施した。ETS の導入による 300GT 以上の日本籍タンカーのリスク低減値の上限は 525Euro と推定された。この結果から、300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は費用対効果の面から合理的でないと結論づけられる。

この成果は IMO/DE48(2005 年 2 月)への提案文書として報告した。

付録

付録 1 . IMO/DE48 への提案文書 DE48/14/1 "MANDATORY EMERGENCY TOWING SYSTEMS IN SHIPS OTHER THAN TANKERS GREATER THAN 20,000 DWT Review of the FSA study on ETS by Germany"

付録2.同上和訳



SUB-COMMITTEE ON SHIP DESIGN AND EQUIPMENT 48th session Agenda item 14

DE 48/14/1 17 December 2004 Original: ENGLISH

MANDATORY EMERGENCY TOWING SYSTEMS IN SHIPS OTHER THAN TANKERS GREATER THAN 20,000 DWT

Review of the FSA study on ETS by Germany

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: This document provides the review of the FSA study on ETS

Action to be taken: Paragraph 3

Related documents: DE 47/INF.3, DE 47/24/1, DE 47/24/3, DE 47/25 paragraph 24.9

Background

1 At the 47th session, the Sub-Committee noted information provided by Germany (DE 47/24/1 and DE 47/INF.3) and IMCA (DE 47/24/3). In document DE 47/24/1, Germany proposed mandatory application of emergency towing arrangement to all ships not less than 300 tons of gross tonnage based on the results of FSA study presented in DE 47/INF.3.

Standpoint of Japan to ETS and amendment of SOLAS regulation II-1/3-4

Japan recognizes the needs of actual data, e.g. casualty records, experts' opinion and considers that uncertainty analysis, which is not used in the above FSA study, is essential in the quantitative risk analysis. Japan carried out a FSA study including uncertainty analysis based on casualty data. As a result of the study, as set out in the annex to this document, mandatory application of the requirement for emergency towing arrangement to ship of all types not less than 300 tons of gross tonnage has not been proven as necessary.

Action requested of the Sub-Committee

3 The Sub-Committee is invited to consider the above comment and information set out in the annex and takes action as appropriate.

ANNEX*

RISK ANALYSIS BY HOLISTIC EVENT TREE AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF ETS

1 Holistic event tree from the occurrences of Loss of Command to towing

Fig.1 shows the holistic event tree from the occurrences of Loss of Command (LOC) to towing. DE 47/INF.3 did not include the event tree for emergency towing. However, clear description of whole process from LOC to towing by an event tree and quantification of branching probabilities of the event tree were thought to be important for keeping transparency of risk analysis. In DE 47/INF.3 a proportion of available assistance ("a") was introduced. The value was determined judgmentally by considering the possibility of occurrences of the situation that ships except professional salvage vessels assist. Here the situations that professional salvage vessels assist and that the other kinds of ships assist are considered differently. The fact that there exist the cases that ships in LOC condition can return without assistance by other vessels is also considered. Furthermore possibility of loss of electric power supply of a ship in LOC condition is considered. In case of not adverse or heavy weather, branches after the heading is not considered in Fig.1 because in the considering period there are no records that indicate the failure of towing in the Judgment Records of MAIA (Japan Marine Accidents Inquiry Agency). However there thought to be the cases that emergency towing is needed and the towing results in failure e.g., LOC in rapid tidal current. Therefore these cases should be considered in the future for complete risk analysis of emergency towing.

In Fig.1, "CASE 1" means the case that professional salvage vessels assist and electric power supply of assisted ship is available, "CASE 2" means the case that professional salvage vessels assist and electric power supply of assisted ship is not available, "CASE 3" means the case that the ships other than professional salvage vessels assist and electric power supply of assisted ship is available and "CASE 4" means the case that the ships other than professional salvage vessels assist and electric power supply of assisted ship is not available.

2 Estimation of branching probabilities of event tree and cost and benefit analysis

Notation of headings ("n "and "c" in Fig.1) and failure probability of towing ("f1" and "f2") are the same as that in DE 47/INF.3. New branching probabilities defined below are introduced in the assessment:

- r: Probability for the ship in LOC condition to be towed;
- k: The ratio that vessel of salvage company is used in heavy weather when an anchor does not work; and
- e: The probability that electric power from the generator of a ship in LOC condition can be supplied.

The information in the Judgment Records of MAIA was used for estimation of the frequency that LOC in tanker occur near coast and the tanker will be towed. Here 13 years records in Judgment Records of MAIA from 1990 to 2002 were analyzed. Table 1 shows the number of accidents of the tankers 300 GT and above. The table indicates that 64 tankers 300 GT and above were towed after LOC. The corresponding population of tankers 300 GT and above is 15160. Then:

 $n \times c \times r = 64/15160 = 0.00422/Ship*Year.$

^{*} The annex was developed by the National Maritime Research Institute (NMRI), based on the discussion of Research panel SP8 of the Shipbuilding Research Association of Japan. For detailed information, please contact to the following persons:

F. Kaneko: kaneko@nmri.go.jp, T. Matsuoka: mats@nmri.go.jp, H.Itoh: hiroko@nmri.go.jp I:\DE\48\14-1.doc 113

DE 48/14/1 ANNEX Page 2

"k" was determined from opinion by an Japanese salvage company. The company told that in heavy weather condition professional salvage vessels are used in most cases. In this report as "k" 0.9 was used. "e" was determined also from the opinion by the salvage company. The company told that in about half of the towed ships electric power supply thought to be available. Therefore "e" was estimated at 0.5.

The salvage company told that even in heavy weather when an anchor cannot secure a ship, only one failure occurred in past 10 years, and the rate of sending assisting ships is about one time per a month. The company also suggested that, in case of loss of electric power supply, failure ratio ("fb") in assisting operation was 25% higher than that ("fa") in case without loss of electric power supply. Based on these comments by the experts, "e", "fa" and "fb" were estimated as 0.5, 0.00741 and 0.00926, respectively. However at about one to 10 cases of sending assisting ships those ships cannot be sent to a ship in LOC condition due to heavy weather. Therefore "f1(CASE 1)" is estimated at (0.00741 + 0.1)/1.1 = 0.0976 and "f1(CASE 2)" is estimated at (0.00926 + 0.1)/1.1 = 0.0993. The company also told that even if ETS is installed on the deck of the ship in LOC condition, the failure ratio hardly changes in most cases. By this comment f2 is assumed to be the same as f1. Therefore, "f1(CASE 3)", "f1(CASE 4)", "f2(CASE 3)" and "f2(CASE 4)" were estimated from the answers to the questionnaires which were sent to several shipping companies. Several estimated values of "f1" and "f2" at each case is shown in Table 2.

Table 3 shows estimated "p" that is the reduced risk by adoption of ETS. In the table f1 and f2 in every case are the corresponding average values in Table 2. In Table 3 "p" of the Japanese flag tankers of 300GT and above is greatly smaller than that of tankers less than 20,000 tdw in DE 47/INF.3.

3 Uncertainty analysis

There often exist wide ranges of variances in branching probabilities especially in case that there are so few data that it cannot be inevitable to use only expert judgments for estimation of such probabilities. Therefore to carry out uncertainty analysis is very important for avoiding arbitrary conclusion. Japan carried out the uncertainty analysis by estimation of confidence interval i.e. estimation of lower and upper limit of "p". The variances of only "f1" and "f2" are considered in this process. By the uncertainty analysis it became clear that mandatory installation of ETS to tankers of 300GT and above cannot be justified. Detail description of the uncertainty analysis is as follows.

The number of answers is so few that statistical distribution of those values cannot be determined. Therefore to carry out the uncertainty analysis the DPD (Discrete Probability Distribution) was derived by attaching the ratio of the answers to the corresponding values of estimated probabilities f1 and f2. The DPD of "f1-f2" is estimated using those of f1 and f2. In the process of estimating DPD of "f1-f2", f1 is assumed to be dependent to f2 by considering that f1 > f2 is quite obvious. After that, estimated DPD of "f1-f2" the CDF (cumulative distribution functions) is derived from the DPD as a step function. Finally for ease of uncertainty analysis the CDF was transformed into poly-line by connecting jumping points of it. The CDF of "f1-f2" is constructed at CASE 3 and CASE 4. The CDFs are shown in Fig.2. In CASE 1 and CASE 2 mean or upper limit of f1 is assumed to be 10% or 20% higher than f2 respectively because only one salvage company was inquired.

Table 4 shows that the upper limit of "p" by introducing ETS is 525 Euro and is greatly smaller than the cost of ETS to the tankers less than 20,000 tdw in DE 47/INF.3 which varies from 18,900 to 56,900 Euro. In CASE 1 and CASE 2, even if "f1-f2" is assumed to be the maximum value 1.0, upper limit of all cases becomes 6,165 Euro which is less than 18,900 Euro, the minimum cost of ETS to the tankers less than 20,000 tdw. These results indicate that mandatory installation of ETS to the tankers of 300 tons of gross tonnage and above is not cost effective especially in the sea area

around Japan. The worldwide safety level of the tankers of 300 tons of gross tonnage and above is thought to be not so different from that of Japanese flag tankers of same size. Therefore mandatory installation of ETS to tankers of 300GT and above cannot be justified.

4 Comments by experts

There are several comments that indicate the impracticality of emergency towing in heavy weather regardless whether ETS are used or not. These are listed in the following.

- .1 The waves are so high in offing that tug boats cannot approach a ship in the situation of LOC. Therefore ETS cannot be available in heavy weather. In heavy weather condition, ETS can be applied only in harbour.
- .2 In heavy weather condition it is hard for towing vessels to approach a ship in the situation of LOC due to high waves. ETS can be applied only in low waves. The possibility of applying ETS for towing a ship in the situation of LOC is very low when the anchor cannot secure her in heavy weather condition.
- .3 The anchor cannot secure a ship in case that her locates in lee shore, there are swells and Beaufort Number is 10 and above. At that time towing boats cannot be controlled. Therefore even if towing boats can approach a ship in the situation of LOC, the ships will remain being drifting.

There were records of 2 cases that the ships did not apply the installed ETS in the situation of LOC in the Judgment Record of MAIA. In the one case towing was successfully performed in heavy weather condition, the Beaufort Number of which was 8.

5 Conclusion

From the above consideration, the following results can be derived:

- .1 The estimated frequency that LOCs which happens to Japanese flag tankers of 300GT and above at Japanese coastal area and consequently leads to emergency towing is 0.00422/Ship*Year. The result is derived from the records in Judgment Records of MAIA (Japan Marine Accidents Inquiry Agency) from 1990 to 2002.
- .2 The maximum estimated risk reduction by introducing ETS to Japanese flag tankers of 300GT and over in cost is 525 Euro which is greatly smaller than the cost of ETS to the tankers less than 20,000tdw shown in DE 47/INF.3.
- .3 Mandatory installation of ETS to tankers of 300GT and above cannot be justified by the uncertainty analysis of the cost and benefit assessment in which experts' opinions and data are used.

Occurrence of LOC (n)	Place of Loss is close to coast (c)	Towed or return by herself (r), ("Y" means Towed.)	Adverse weather condition (w)	Type of assistant vessel (k) (S: Salvage, O: Others)	Electric power supply in ship at LOC (e)	Failure probability of emergency towing (using ETS and without ETS)	Failure frequency of emergency towing	Service duration (year)	Consequence (EURO)	Risk	Sequence (case) number
	Y(c)	Y(r)	Y(w)	S(k)	Y(e)	f1(CASE1:Ohters)	n·c·r·w·k·e·f1			n·c·r·w·k·e·f1·25·m	1
						f2(CASE1:ETS)	n·c·r·w·k·e·f2			n·c·r·w·k·e·f2·25·m	1'
					N(1-e)	f1(CASE2:Ohters)	n·c·r·w·k·(1-e)·f1			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f1 \cdot 25 \cdot m$	2
						f2(CASE2:ETS)	n·c·r·w·k·(1-e)·f2			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f2 \cdot 25 \cdot m$	2'
				O(1-k)	Y(e)	f1(CASE3:Ohters)	n·c·r·w·(1-k)·e·f1			n·c·r·w·(1-k)·e·f1·25·m	3
						f2(CASE3:ETS)	n·c·r·w·(1-k·)e·f2	25	m	n·c·r·w·(1-k·)e·f2·25·m	3'
					N(1-e)	f1(CASE4:Ohters)	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot (1-e) \cdot f1$			n·c·r·w·(1-k)·(1-e)·f1·25·m	4
						f2(CASE4:ETS)	n·c·r·w·(1-k)·(1-e)·f2			n·c·r·w·(1-k)·(1-e)·f2·25·m	4'
			N(1-w)			0 (by JR-MAIA)	0			0	5
		N(1-r)				0	0			0	6
	N(1-c)					0	0			0	7

Fig.1 Holistic event tree from the occurrences of LOC to towing

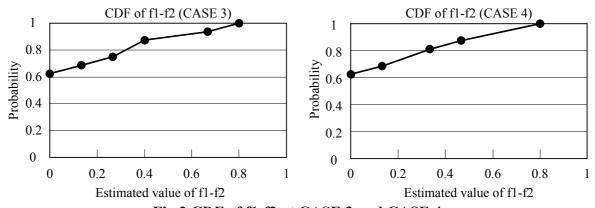


Fig.2 CDF of f1-f2 at CASE 3 and CASE 4

Table 1 The number of accidents of the tankers 300GT and above (1990-2002, MAIA)

Casualty	Return by herself	Towed	Total
Explosion	0	1	1
Fire	1	4	5
Machinery damage	14	21	35
Grounding	41	26	67
Collision	413	5	418
Miscellaneous	13	7	20
Total	482	64	546

Table 2 Estimation of "f1", "f2" from the experts' opinions

		f	1			f	2	f1 -			- f2	
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Answerer 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Answerer 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Answerer 3	-	-	1	1	1	-	1	1		-	0	0
Answerer 4	-	-	0.6	1	1	-	0.6	1		-	0	0
Answerer 5	-	-	1	1	1	-	-	-		-	ı	-
Answerer 6	-	-	0.333	0.667	1	-	0.333	0.667	1	-	0	0
Answerer 7	-	-	0.2	0.333	1	-	0.2	0.2		-	0	0.1333
Salvage Co.	0.0976	0.0993	1	1	0.0976	0.0993	-	-	0	0	-	-
Average	0.0976	0.0993	0.5333	0.7500	0.0976	0.0993	0.5333	0.7167	0	0	0	0.0333

Table 3 Estimated "p" from "n*c*r" which were obtained from Judgement Records by

MAIA 1990-2002 and estimated f1.f2 from experts opinion

Ship type	n	c	r	W	a	k/1-k	e/1-e	f1	f2	у	m	p
Tankers less than 20,000 DWT in DE 47/INF.3	0.8	0.7	1	0.03	0.8			0.7	0.15			369,600
$n \cdot c \cdot r = 0.00422$					0.8			0.7	0.15			2,785
CASE 1						0.9		0.0976	0.0976	25	2,000,000	0
CASE 2		0.00422		0.03	13 /	0.5	0.0993	0.0993			0	
CASE 3					0.1	0.3	0.533	0.533			0	
CASE 4					/	/ 0.1		0.75	0.717			11
Total (CASE 1 to 4)								11				

Table 4 Uncertainty analysis by considering confidence limits of f1-f2

Table 1 electrating analysis by considering confidence mines of 11 12									
CASES		n·c·r	W	k/1-k	e/1-e	f1-f2	у	m	р
CASE1	Lower limit*	0.00422	0.03	0.9	0.5	0	25	two million EURO	0
	Mean*					0.0049			14
	Upper limit*					0.0098			28
CASE 2	Lower limit*					0			0
	Mean*					0.0050			14
	Upper limit*					0.0099			28
CASE 3	Lower limit			0.1		0			0
	Mean					0.1667			53
	Upper limit					0.7467			236
CASE 4	Lower limit					0			0
	Mean					0.1792			57
	Upper limit					0.7333			232
Total (Lower limit)		-							0
Total (Mean)		-							138
Total (Upper limit)		-							525

*Assumption: In CASEs 1 and 2 (mean) f2 is smaller than f1 by 5 % of f1, In CASEs 1 and 2 (upper) f2 is smaller than f1 by 10 % of f1

118 (頁調整)

MANDATORY EMERGENCY TOWING SYSTEMS IN SHIPS OTHER THAN TANKERS GREATER THAN 20,000 DWT

Review of the FSA study on ETS by Germany

Submitted by Japan

和訳

背景

1 . DE 小委員会は DE47 においてドイツ (DE47/24/1 および DE47/INF.3) と IMCA(DE47/24/3)が提出した提案を考慮した。 DE47/24/1 では 300GT 以上のすべて の船舶に緊急曳航用機器配置の適用を強制化することを DE47/INF.3 で実施した FSA の結果に基づき提案している。

ETS および SOLAS II-1/Reg.3-4 の修正に対する日本の立場

2.日本は緊急曳航は特に環境汚染防止のための重要な作業であると認識しており、そのための包括的な FSA の実施を提案する。このような FSA の本質的な部分であるリスク定量化のためには、海難データ等の実績データが使用できるところではそれらを活用する、それが困難であれば専門家意見を考慮する。さらに、不確実さ解析が重要である。日本はドイツの提案においても不確実さ解析を含めた FSA の実施が重要であると認識している。そのような FSA の結果を ANNEX に詳述する。その結果、日本近海では ETS の義務化は正当化されないことが明らかとなった。

小委員会に対する行動要請

3. 小委員会は上記コメントおよび付属文書の情報に注意し、適宜対処されたい。

ANNEX

ETS の包括的イベントツリーによるリスク解析および不確実さ解析

1.LOC の発生から曳航に至る包括的イベントツリー

Fig.1 に LOC 発生から曳航に至る包括的イベントツリーを示す。

DE47/INF.3 は緊急曳航のイベントツリーを含んでいない。しかし、リスク解析の透明性を保つためにLOCから曳航に至る包括的なプロセスをイベントツリーで明快に記述し分岐確率を定量化することは重要である。DE47/INF.3 には援助可能な割合(a)が導入されている。この値は専門的なサルベージ船以外の船舶が援助する場合が生じることを考慮し、専門家判断で決めている。ここでは、専門的なサルベージ船およびそれ以外の船舶が援助する場合を別々に考慮した。LOCになってもその船舶のみで回航できる場合も考慮した。さらに、本船の電源の使用可能性の有無も考慮した。海難審判庁裁決録には、荒天下でない場合の曳航の失敗の記述がなかったため、荒天下でない場合のイベントツリーの枝は考慮しなかった。しかし、速い潮流下でLOCになる場合など、緊急曳航が必要で曳航が失敗に至る場合もあることが考えられるため。緊急曳航の完全なリスク解析のために将来的にこれらの場合を考慮すべきである。

Fig.1 において、CASE 1 とは、専門的なサルベージ船が援助し本船の電源が使用可能な場合、CASE 2 とは、専門的なサルベージ船が援助し本船の電源が使用不可能な場合、CASE 3 とは、専門的なサルベージ船以外の船舶が援助し本船の電源が使用可能な場合、CASE 4 とは、専門的なサルベージ船以外の船舶が援助し本船の電源が使用不可能な場合である。

2. ヘッディングの分岐確率の推定および費用対効果解析

ヘッディングの分岐確率等の表記(n,c,f1,f2)は DE47/INF.3 と同じである。 新たなヘッディングの分岐確率として以下を導入する。

- r: LOC 後曳航に至る確率
- k: 錨が効かない荒天時にサルベージ会社の船舶が使用される比率
- e: LOC になった船舶の電源が使用可能な確率

海岸近くで LOC が発生する頻度を求めるため、海難審判庁裁決録の情報を使用する。同 資料では海難審判に至った事故の審判記録が記述してある。ここでは、1990~2002 年の 13 年間の記録を用いる。Table1 に 300GT 以上のタンカーの事故を示す。同表より、曳航 された船舶は 13 年間で 64 隻であることがわかる。この間の対応する 300GT 以上の船舶母 集団は 15160 隻である。 以上より、

 $n \times c \times r = 64/15160 = 0.00422$

である。

k はサルベージ会社の意見から求めた。同社は荒天の場合はほとんどの場合サルベージ船舶が使用されると述べた。ここでは、k として 0.9 を使用した。

e もサルベージ会社の意見から求めた。 同社は曳航される船舶の半数は電源が使用できると述べたので、e を 0.5 と推定した。

そのサルベージ会社は、錨が効かない程度の荒天であっても、過去 10 年に 1 回しか失敗しなかったと述べた。また、1 月に 1 回の割りで援助船を出動させるとも述べた。また、本船の電源が有効でない場合の曳航失敗確率("fb")は、有効である場合の曳航失敗確率("fa")より 25%程度高いと示唆した。これら r と e=0.5 を考慮すると、fa=0.00741、fb=0.00926 と推定できる。しかし、援助船の出動 10 件につき、1 件は天候があまりに厳しく出動できない場合が発生するとのことである。したがって、 $f1(CASE\ 1)=(0.00741+0.1)/1.1=0.0976$ 、 $f1(CASE\ 2)=(0.00926+0.1)/1.1=0.0993$ と推定した。また、ETS があってもなくても曳航結果にはほとんど違いが生じないとのことであるため、f2 は f1 と同じとした。" $f1(CASE\ 3)$ "、" $f2(CASE\ 3)$ "、" $f2(CASE\ 4)$ "は海運会社へのアンケートにより求めた。それらの値を Table f2 に示す。

Table 3 に ETS の導入により低減されたリスク(p)を示す。f1,f2 は Table 2 の対応する平均値である。Table 3 より、300GT 以上の日本籍タンカーの p は DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカーよりもはるかに小さいことがわかる。

3.不確実さ解析

分岐確率には、データが少なく専門家判断を使用せざるを得ない場合は特に、広い幅の分散が存在する。したがって、恣意的な結論を排除するためには不確実さ解析が非常に重要である。日本は、信頼区間、すなわち、"p"の上限と下限を推定することにより不確実さ解析を行った。この手続きの中では、"f1"と "f2"のみの分散を考慮している。この不確実さ解析より、300GT以上のタンカーに ETS を強制化することは正当化されないことが明らかとなった。この詳細は以下のとおり。

回答数が少ないため、統計的な分布は決定することができない。そのため、不確実さ解析のため、各回答による f1 と f2 の推定値毎にそれらに対応する回答数の割合を付して DPD(離散的な確率分布)を作成する。"f1-f2"の DPD は、f1 > f2 を考慮して f1 と f2 の DPD から作成する。その後、"f1-f2"の CDF(累積確率分布関数)を DPD から作成する。この時点では階段関数であるが、飛んでいる f1-f2 の値を結んで折れ線とする。この CDF は CASE 3 と CASE 4 で作成する。Fig.2 にそれらを示す。CASE 1 と CASE 2 では、f1 の平均ある

いは上限は、それぞれ 10%あるいは 20%f2 より大きいと仮定した。

Table 4 は、ETS 導入に伴う p の上限が 525Euro であることを示し、これは、DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカーの ETS のコスト(18,900 ~ 56,900 Euro) に比べるとはるかに小さい。CASE 1 と CASE 2 においては、"f1-f2"がたとえその最大値である 1.0 であるとしても、すべての場合の最大値は 6165Euro ということにない。 20000DWT 以上のタンカーに ETS を設置する際の最小コストの 18900Euro より小さい。 これらのことは 300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は、特に日本近海では費用対効果が悪いことを意味する。300GT 以上のタンカーの世界的な安全レベルは同様な大きさの日本籍タンカーとそれほど異ならないと思われるため、300GT 以上のタンカーへの ETS の強制化は正当化されない。

4.操船専門家によるコメント

走錨する程度の荒天では、ETS の使用の有無にかかわらず、緊急曳航の非現実性を指摘するコメントがあった。それらを下記に示す。

- 1)沖では波高が高く、タグボートは近づけないので、同設備は現実的に使用不可。港内にいる船のみ使用可であるのが現実。
- 2)被災する状況であれば、同海域は波が高く、曳航船の接近は困難。ETS を使用できるのは、波がおさまった状況であり、被災船が走錨中に使用出来る可能性は低いと考える。
- 3) LEE SHORE で風力 11-12 以上、且ウネリがあれば走錨します。その時、緊急曳航の手配をしても曳船が制御出来ないので流されっぱなしにならざるを得ないと思います。なお、ETS があっても使用しなかった例を下記に示す。(by 吉澤氏)

海難審判庁裁決録には ETS があっても曳航に使用されなかった例が 2 例記されている。 そのうちの1つは風力8の場合である。

5 . 結論

以上の検討により、以下の結論が得られた。

- 1)300GT 以上の日本籍タンカーが日本近海で LOC になり曳航に至る頻度は 1990 年から 2002 年の海難審判庁裁決録より 0.00422/Ship*Year である。
- 2) ETS の導入による 300GT 以上の日本籍タンカーのリスク低減の上限は 525Euro と推

定され、この値は DE47/INF.3 にある 20000DWT 未満のタンカー用の ETS のコストより はるかに小さい。なお、300GT 以上のタンカーの世界的な安全レベルは同様な大きさの日本籍タンカーとそれほど異ならないと思われる。

3)したがって、300GT以上のタンカーへの ETS の強制化は専門家意見とデータに基づく 費用対効果の不確実さ解析では正当化されない。

執筆担当者 (RR-SP8)

有坂俊一有馬俊朗伊藤博子金湖富士夫篠田岳志豊田昌信原大地松岡猛柳瀬 啓吉澤和彦(五十音順)

発行者 社団法人 日本造船研究協会

東京都港区虎ノ門 一丁目 15 番 16 号 (〒105-0001)

海洋船舶ビル6階

電話: 03-3502-2132(総務部) 03-3502-2134(基準部)

ファックス:03-3504-2350

ホームページ: http://www.zoken.jp/

本書は、日本財団の助成金を受けて作製したものです。 本書の無断転載・複写・複製を禁じます。