

船舶海洋分野におけるリスク評価の事例としての FSA

金湖 富士夫*、有馬 俊朗**

FSA as Applications of Risk Assessment in the Maritime Field

by

Fujio KANEKO and Toshiro ARIMA

Abstract

United Kingdom submitted FSA procedure in rule making process of IMO. FSA guidelines were approved after a lot of discussion. After approval of the guidelines several modifications have been made in the guidelines. Around the time when draft FSA guidelines were under consideration the FSA proposals on mandatory equipment of HLA to non-RORO passenger ships of 130m and above were submitted by Norway, with ICCL and Italy separately. Those FSA proposals stated that the mandatory equipment were not justified. MSC admitted the proposal and the pre-determined modification of SOLAS III/28.2 was rejected. That impressed member governments of IMO on the power of FSA. After those FSA proposals were submitted to the IMO, recently many FSA proposals, which are the outputs of the SAFEDOR(Design for Safety/Operation/Regulation), which is one of the EU research project and aims at developing risk based ship design method, were submitted to the IMO. In addition to those FSA which dealt with safety aspect mainly until now FSA is expanding its application area to the environmental protection.

FSA is the rule making tool used in the IMO, which consists of risk and cost benefit assessment aiming at making rational rules for safe ship and clean sea. NMRI has been contributing to development of FSA from the beginning of FSA under the guidance of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

In this paper, firstly FSA and developing process of FSA guidelines are explained briefly and made several important FSA proposals until now, to which NMRI contributed, are introduced, finally problems of FSA and those solutions are discussed.

* 運航・システム研究部門

** 財団法人日本海事協会

原稿受付 平成21年2月6日

審査済 平成21年3月10日

目 次

1. はじめに	20
2. FSA について	20
2. 1 FSA の概要	21
2. 2 FSA ガイドライン	
の成立・改正の経過	23
2. 2. 1 暫定 FSA ガイドラインの成立	23
2. 2. 2 FSA ガイドラインの成立	24
2. 2. 3 FSA ガイドラインの改正	24
3. FSA 初期段階での試適用	24
3. 1 英国による HSC の安全性	
に関する FSA	24
3. 2 ヘリコプター着艦領域(HLA)	
の非 RORO 旅客船への強制化に	
関する FSA	28
4. 主な FSA 審議	30
4. 1 バルクキャリアの安全性に関する FSA	30
4. 1. 1 概要	30
4. 1. 2 問題定義	32
4. 1. 3 実施概要	32
4. 1. 4 FSA 各段階の記述	33
4. 2 非常時曳航システム強制化(ETS)	
に関する FSA	40
4. 2. 1 LOC の発生から曳航に至る	
包括的イベントツリー	40
4. 2. 2 ヘディングの分岐確率の推定	
および費用対効果解析	41
4. 2. 3 不確実さ解析	42
4. 2. 4 結論	43
4. 2. 5 リスク解析結果の比較	44
4. 3 電子海図表示システム(ECDIS)	
強制化に関する FSA	45
4. 3. 1 リスクモデル	45
4. 3. 2 貨物船航路への適用	47
4. 4 イナートガスシステム(IGS)	
強制化に関する FSA	47
4. 4. 1 概要	48
4. 4. 2 問題定義	48
4. 4. 3 背景情報	49
4. 4. 4 方法	49
4. 4. 5 FSA 各段階の記述	49
4. 4. 6 最終提案	51
5. 主な FSA の問題点とその解決方法について	52
5. 1 複数 RCO のリスク削減効果の推定	52
5. 2 不確実さ解析	54
5. 3 原因不明事故の扱い	54
5. 3. 1 問題点	54
5. 3. 2 手法概要	55

5. 3. 3 バルクキャリア事故の	
原因推定への応用	55
6. おわりに	56
参考文献	56

1. はじめに

英国が 1993 年の IMO/MSC62(第 62 回海上安全委員会)において FSA(Formal Safety Assessment: 総合安全評価)の提案を行い、その後の議論および試験的な適用の積み重ねに基き暫定ガイドラインが修正されて FSA ガイドラインが生み出され IMO において承認された。その後多くの安全基準の改正が FSA により提案され審議されてきた。また、最近船舶のリスクベース設計技術の開発を目的とした欧州の研究開発プロジェクト SAFEDOR(Design for Safety/ Operation/ Regulation))の成果として多くの FSA 提案が IMO に提出された。

FSA とはリスク評価と費用対効果の評価を実施して合理的な基準を策定しようとする IMO における基準審議の道具である。海上技術安全研究所はその当初から運輸省、そして、国土交通省の指導の下、(財)日本船舶技術研究協会(旧名: (社)日本造船研究協会)の委員会を通して(財)日本海事協会および造船会社の協力をいただきつつ、日本 FSA の発展に寄与してきた。

また、これまでの FSA は安全分野の基準が主な対象であったが、最近は環境分野にも対象を広げている。

ここでは、FSA の概要説明、FSA ガイドラインの成立過程、およびこれまでに IMO に提出されてきた主な FSA による安全基準改正の提案の紹介を行うとともに、FSA の問題点やその解決方法について論じる¹⁾。

なお、ここで紹介する FSA の事例は IMO への提出文書が元となっているが、理解しやすさを目的として、できる限り図表内の語を和訳している。

また、4.1.1 節は日本海事協会 有馬が、他は金湖が担当した。

2. FSA について

本章では、2.1 節で FSA の概要について FSA ガイドラインに基づき解説し、2.2 節で FSA ガイドラインの成立および改正の経過について概略説明を行う。

2. 1 FSA の概要

FSAの実施過程はFSAガイドライン(最新版はMSC83/INF.220)に記されている。以下、同ガイドラインに基づき解説する。なお、以下の説明ではガイドラインの章節はGをその接頭辞としている。

(1) FSAの準備段階

検討対象のリスク評価に入る前に対象や関連する事項の定義を行う、すなわち、問題の定義をする必要がある。

このような問題定義部分はFSAガイドラインでStep 1以前に実施する事項として記されている。

G1.緒言(Introduction)

この部分には、FSAの目的、ガイドラインの適用範囲等が記されている。また、FSAは人命、健康、財産および環境の保護を含む海事分野の安全向上を目的とする構造化された方法論であることが示されている。また、それは当面の問題に関係する全ての団体が、リスク評価等に不慣れであっても理解可能かつ透明性のある結果をもたらすものでなければならない。

FSAは上記の目的を実現するため、IMOの海上安全委員会(MSC)でも海洋環境防止委員会(MEPC)でも基準策定手続きにおいて適用可能である。現実には両委員会においてFSA関連の議題が審議されてきた。

G2 基本用語の定義(Basic Terminology)

FSAガイドラインで使用されるリスク評価関連の基本用語が定義されている。

G3.方法論(Methodology)

G3.1 手続き(Process)

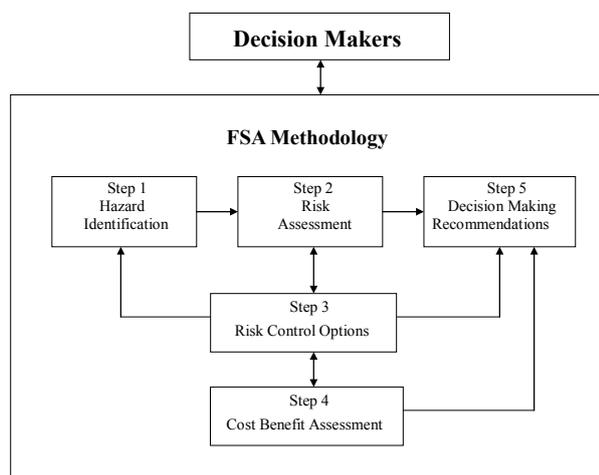


図-1.1 FSAの方法論のフローチャート

この節では、FSAの5段階の概要を述べている。現実的な時間と労力の投入により重要な問題を確実に扱いことを可能とするため、階層的に重要なシナリオを絞り込む方法の活用が推奨されている。(図-1.1)

G3.2 情報とデータ(Information and data)

この節ではFSAの各ステップで利用可能なデータの存在の重要性を指摘するとともに、海難データ等の統計データが使用不能な場合には専門家判断、解析モデル、シミュレーション等の使用可能性を指摘している。データは過去の事例により得られるが、FSAはプロアクティブ(proactive)に使用されることが最も有益であるとし、それは確率モデルの作成と事故シナリオの展開により実現されることが指摘されている。

G3.3 専門家判断(Expert judgment)

使用可能なデータがない場合に専門家判断は重要である。専門家判断を使用する場合は異なった専門分野の専門家が関与すべきである。いつもすべての専門家が一致した結論に至ることは稀であるが、ある程度の意見の一致は望ましい。専門家の意見の一致の程度を評価する助けとして、FSAガイドラインではその付録9に意見の一致度を数値化する手法を示している。

G3.4 人間要素の考慮(Incorporation of human element)

人間要素は因果関係の説明や事故防止にとって重要であり、FSAの枠組みの中で考慮すべきである。そのためにHRA(Human Reliability Analysis: 人間信頼性解析)の使用を勧めており、付録にHRAのガイダンスを置いている。

FSAガイドラインでは3.4節の後に3.5節として基準の影響評価が一文で記述されており、付録3にある影響関連図(Influence Diagrams)がそのための助けとなるとしている。影響関連図は暫定ガイドラインでは基準影響関連図(Regulatory Impact Diagrams)と称して英国がその使用を強く勧めていたが、学術的な根拠が不足しているためガイドラインでは元の名称となり付録送りにされ強調の程度が低くなった。

G4 問題定義(Problem definition)

G4.1 検討準備(Preparation for the study)

基準と関連した解析対象の定義の重要性が示され、考慮すべき観点(船舶の区分方法、船舶の種々のシステムや機能、運航の段階、外部要素、考慮すべき海難の範疇、事故の結果)が列挙されている。

G4.2 一般化モデル(Generic model)

検討対象となる船舶に共通する特徴をシステムや機能の集合として定義し、それを一般化モデルと呼んでいる。これは、FSAがオイルリグ等の海洋構造物のリスク評価を基にした安全審査方法であるSafety Caseのような一品評価ではなく、多数の船舶のリスク評価を実施する都合上必要な船舶の抽象化である。

以下、FSAの主手続きであるStep 1~Step 5

の5段階が行なわれるが、FSAガイドラインでは各段階の記述が、Scope、Methods、Resultsという構成になっている。この構成はFSAガイドラインの成立段階において当所が提案したものであり、そのまま採用されることとなった。なお、以下のそれら主要手続きの説明ではそのような構成毎にせず、FSAガイドラインの付録にある記述も含めて要点を説明するに止める。

G5 Step 1 - ハザード同定 (Identification of Hazard)

事故に至る種々の危険性(ハザード)を特定する。そのために種々の分野の専門家の意見を組織的に汲み上げる方法を主体とした創造的(Creative)な手法と、種々の海難データ、事故の記述等の分析を主体とする分析的(Analytical)な方法を用いる。創造的な方法はこれまでの実績のない分野のプロアクティブな評価を確実に行うために重要であり、分析的な方法はこれまでの実績を正しく考慮に入れるために重要である。さらに、表-1.1に示すような発生頻度と被害の程度の荒い数値化を基に作成したリスクマトリクス等によるハザード発生時の粗い影響評価も実施し、リスクの大きいハザードの絞り込みを行う。また、ハザードに関連した粗い事故シナリオを作成し、その発生頻度や結果の重大性、すなわちリスクレベル(リスクマトリクスではRI(Risk Index))により事故シナリオを優先順位付けする。

表-1.1 リスクマトリクス

Risk Index(RI)					
FI	Frequency	Severity(SI)			
		1 Minor	2 Significant	3 Severe	4 Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely Remote	2	3	4	5

Step 1の結果は、1) リスクレベルで順位付けされたハザードと関連する事故シナリオ(ハザードから事故が発生し災害が進展して最終状態に至る過程)のリスト、2) 原因とその影響の記述である。

G6. Step 2 : リスク解析(Risk Analysis)

Step 1で特定されたハザードにおける事故シナリオの詳細なリスク解析を行い、事故の生じる確率、事故後の災害拡大の推定、およびそれらの災害拡大が生じる確率、各災害拡大が生じた場合の結果の重大性(以下、影響度と呼び、人命損失数、環境汚染の

程度、財産の喪失等で表現する)を求めることにより、対象船舶の全体リスクを個々の事故シナリオのリスクの総和として求める。

リスクとは安全の指標であり、事故の発生頻度と事故時の影響度との積により求められる。リスクおよびリスク評価についてはリスク評価関連の解説書を参照されたい。被害として考慮される主要なものは、人命損失、環境影響、財産の喪失である。安全分野のリスク評価で主に用いられる指標として、個人リスク及び社会リスクがある。それらについてFSAガイドラインはその付録6で説明を加えている。個人リスクとは、個人が交通機関を利用している等の危険に暴露されている期間中にその個人の死傷の頻度はどれぐらいかを示す指標である。また社会リスクとは、ある集団の人間が考慮対象の危険に暴露されている期間中にその集団の死傷の頻度はどれぐらいか、ということを示す指標である。人間の集団としては、ある種類の交通機関に乗っている人々等がある。ある集団の社会リスクはその集団に属する個人リスクに集団の大きさをかけたものである。社会リスクの指標としてPLL(Potential Loss of Lives: 事故発生頻度と事故時の被害の大きさとの積)があり、船舶の場合は1隻1年当りの死者数である。またPLLを船舶1隻当りの乗船者数で除することにより個人リスクに変換することができる。また、社会リスクに関しては、PLLの値が同じであっても、1回で多数の死者を出す事故ほど許容し難くなるため、この観点を反映するものとしてFN(Frequency vs Number of Fatality)線図(人命損失数とある数以上の人命損失が発生する事故の発生頻度をグラフ化したもの)を用いて分析を行う方法があり、FSAでも使用されている。

表-1.2 リスク評価におけるリスク許容基準

決定パラメータ		許容基準	
		ALARP 領域の下限 (無視可能リスク/年)	ALARP 領域の上限(最大許容リスク/年)
個人リスク	乗組員	10 ⁻⁶	10 ⁻³
	乗客	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
	海浜にいる公衆	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
	新船に対する目標値	10 ⁻⁶	上記の数値から一桁下げた値
社会リスク	上記のグループ	経済指標より得られる(MSC72/16 ¹³)参照)	

リスク評価の結果、対象とされる船舶の現状の

リスクが受容不可能(Intolerable)な領域に入っている場合はその領域以下にするための対処をとることが緊急に必要である。また、現状のリスクがALARP(As Low AS Reasonably Practicable)の領域にある場合は費用対効果が良ければ何らかの対策を講じる必要があるとされる。したがって、Step 2で、現状リスクがALARPおよびIntolerableの領域にあればStep 3以降を考慮することになる。FSAガイドラインでは人命損失リスクの許容値として個人リスクにより定義されたその付録5に記載してある閾値が使用されている。同付録にある閾値を表-1.2に示す。

G7. Step 3: リスク制御オプション(Risk Control Options(RCOs))

Step 2で判別された、高リスクをもたらすハザードあるいは事故シナリオの発生を抑制するための安全対策を検討し、それらを導入した場合のリスクの減少を推定する。FSAでは個別の対策のことをリスク制御手段(Risk Control Measure: RCM)、それらが複数集まり1つのまとまった対策として導入されるRCMの集合をリスク制御オプション(Risk Control Options: RCOs)と呼んでいる。

なお、RCOが複数考えられ、それらの間に依存関係がある場合、Step 4で実施する費用対効果の評価で複数のRCOを適用した場合のリスク削減効果の評価を誤る可能性があるため、FSAガイドラインではリスク削減効果を正しく評価することを目的としてRCO間の依存関係の程度を評価した表を作成することを勧めている。

G8. Step 4: 費用対効果の評価(Cost Benefit Assessment)

Step 3で考案された種々のRCOを実現するためのコストを評価し、妥当なコスト指標値を求めることにより費用対効果の評価を行い、その値の小さい順でRCOの優先順位付けする。IMOでは指標値として以下の式で求めた値が使用されている。

$$\text{Gross CAF} = \Delta C / \Delta R$$

$$\text{Net CAF} = (\Delta C - \Delta B) / \Delta R$$

ここで、

ΔR : RCOの導入により削減されるリスク

ΔC : RCOの導入による追加コスト(RCOの価格、訓練費用、逸失利益等を含む)

ΔB : RCOの導入による経済的利益である。

Gross CAF(以下GCAFと表記する)とはGross Cost of Averting a Fatalityのことであり、1単位のリスク(人命損失リスクでは1隻1年当たり1人であるが、船舶のライフタイムでのリスク削減値を考慮する場合は1隻当たり1人となる)を削減する場合に

必要とされるコストを意味する。また、Net CAF(以下NCAFと表記する)とは、Net Cost of Averting a Fatalityのことで、分母はGCAFと同じであるが、分子はコストから利益を差引いた値であり、RCO導入により利益が得られる場合の正味のコストを意味する。利益としてRCOの導入により防止されるはずの被害の金銭的な価値が含まれる。

重要なことは、それらの指標値の閾値である。FSAガイドラインでは、ノルウェーが提出した文書¹⁴⁾に言及し、OECD加盟国のGross CAFの現状より、死亡および障害の場合の閾値として300万米ドルが、また、死亡、障害のそれぞれのしきい値として150万米ドルを提案している。また、利害関係者(Stakeholder)を特定し、それらの利害を評価することも重要である。

G9. Step 5: 意思決定のための推薦(Recommendations for Decision-Making)

Step 4の結果を判断し、導入すべきRCOを提案する。その際に、RCOの比較を客観的に示すこと、また、Step 4以前の結果のレビューのための情報を提示することが重要である。

G10 Presentation of FSA results

共通の理解を促進するような方法で、Step 5までのFSAの結果を提出する。そのための標準報告様式がガイドラインに添付されている。

2. 2 FSAガイドラインの成立・改正の経過

FSAは1993年のIMO/MS62(第62回海上安全委員会)において英国により提案され²⁾、1997年のMSC68においてFSA暫定ガイドライン⁷⁾が承認された。さらに同ガイドラインに検討が加えられ、2001年のMSC74において正式なFSAガイドライン¹⁷⁾が承認された。FSAガイドラインにはその後も細かな修正が施され、改正されてきた^{18),19)}。

以下に、FSAガイドラインの成立・改正の経過の概要を示す。また、その過程における当所の貢献についても触れる。

2. 2. 1 暫定FSAガイドラインの成立

英国は、MSC62において、当時海洋構造物で既に実施されていた、リスク評価を基にした安全審査方法であるSafety Caseを船舶に適用すべきことを提案した²⁾。その提案で英国はSafety Caseと区別するため、Formal Safety Assessmentという名称を提唱した。それまでは船舶の個別の分野での基準により安全が担保されてきたが、総合的な安全の検討をする場がIMOにはなかったという反省があったため、同文書で英国はリスク評

価と費用対効果の評価を実施して安全向上のための種々の選択肢から最適なものを選び適用するという Safety Case で用いられていた総合的な安全対策の策定方法が個船にも適用可能であることに言及した。

また、同文書の中で、英国上院特別委員会の船舶設計と技術の安全上の観点の報告(House of Lords Select Committee Report on Safety Aspects of Ship Design and Technology)に言及した。その文書には、Safety Case の概念を船舶に適用することを IMO の場で議論すべし、とされている。また、リスク評価の適用の利点を指摘している。

その後 FSA の関係各国への周知のため、FSA セミナーが MSC65 の最終日の翌日にロンドンで開催され、FSA に関する各国の研究動向等が紹介された^{3),4),5),6)}。日本も当所が(財)日本船舶技術研究協会(当時、(社)日本造船研究協会)との共同研究で実施している FSA 関連の研究の紹介を行った⁶⁾。FSA セミナーで紹介した研究はその後さらに発展し IMO に情報提供文書として3編提出されている^{11),12),13)}。

また、MSC66 と MSC67 において FSA の WG が設置され、暫定 FSA ガイドラインの審議が実施された。また、同時に、HLA(Helicopter Landing Area)の非 RORO 旅客船への設置の強制化に関するノルウェー⁹⁾とイタリア¹⁰⁾による FSA 提案も検討された。

そして MSC68 において暫定 FSA ガイドラインが承認された。その後暫定 FSA ガイドラインが MEPC40 で承認され、サーキュラー(MSC/Circ.829-MEPC/Circ.335)⁷⁾となった。

2. 2. 2 FSA ガイドラインの成立

暫定 FSA ガイドラインの成立後、FSA ガイドラインの検討のための CG(Correspondence Group、コーディネータ：吉田公一(国際連携センター長)が設置され、当所が FSA ガイドラインの構成を見直したものが議論され^{15),16)}、修正されて MSC74 において正式な FSA ガイドラインとして承認され、新たなサーキュラー (MSC/Circ.1023・MEPC/Circ.392)¹⁷⁾となった。

2. 2. 3 FSA ガイドラインの改正

FSA ガイドラインの成立と前後して、MSC の場で、バルクキャリア安全性の FSA による審議が FSA 議題の下ではなく、バルクキャリア安全性の議題の下で行われていたが、それに関して英国主導により欧州が合同で実施した FSA 提案と日本が実施した FSA 提案が、同じ海難データベースを使用していたにも拘わらず、それぞれ異なった結果が提出された。またライベリアが Step 5 の意思決定に関する FSA ガイドラインの改正を提案した。これらが発端となり、FSA ガイドラインの見直しの議論が開始さ

れ、そのため CG(コーディネータ：吉田公一)を設置して検討することになった。

同 CG の出力として、MSC80 および MEPC53 までに検討された FSA ガイドラインの変更点が MSC80 および MEPC53 で承認され、その後それらの修正点がサーキュラー MSC/Circ.1180-MEPC/Circ.474)¹⁸⁾にまとめられた。

その後 MSC81 および MEPC55 において環境リスクの評価基準等につき SAFEDOR で検討された結果を基にさらに修正が加えられ、それらの修正点がサーキュラー(MSC-MEPC.2/Circ.5)¹⁹⁾にまとめられた。なお、2 回目の改正の審議の際、当所の研究を基に IMO に提出した、複数 RCO の検討に Bayesian network が有効であるとの文書²⁴⁾に基づき FSA ガイドライン本文がの修正された。その後、それらのサーキュラーに基づき修正された FSA ガイドライン全文が情報提供文書(MSC83/INF.2)²⁰⁾となり現在に至っている。

3. FSA 初期段階での試適用

暫定 FSA ガイドラインに基づき種々の船舶の FSA の試行結果が IMO に提案された。それらのうち代表的なものとして英国による HSC(High Speed Craft)の安全性に関する FSA と 2 章でも触れたノルウェーおよびイタリアによる HLA の非 RORO 旅客船への強制化に関する FSA を紹介する。

3. 1 英国による HSC の安全性に関する FSA^{8), 21)}

英国による IMO 提出文書⁷⁾は、FSA 暫定ガイドラインと時を同じくして準備されたもので、暫定 FSA ガイドラインに全体的に従って作成された報告となっている。この文書には、各国に FSA の試適用の模範としての実例を提示し、FSA ガイドラインの審議および FSA の実施において指導的立場を維持したいという英国の意図が感じられる。また、この文書は、“暫定(Interim)”という語がとれた本格的なガイドラインからは外されてしまった RID (Regulatory Impact Diagrams)の宣伝となっている。なお、同 FSA の勧告に従った HSC コードの改正はなかった。

以下に、この文書の概要を示す。

(1) 問題定義

ここでは、FSA 試適用の対象となる船舶の種類、考慮した事故およびリスクの種類、リスクの定量化の際の単位、一般化モデルへの言及等がなされている。

(i) 考慮した 船舶の種類

国際航行あるいは主要な国内航路を航行する高速船(カタマラン、カタマランハイドロfoil、foil援助型カタマラン、ウェーブピアシング型カタマラン、SWATH、SES)が対象とされている。

(ii)考慮したリスクの種類およびリスクの単位

FSAでは、人命、環境、財産に影響するリスクを考慮するが、試適用では、人命に影響するリスクを対象とする。また、リスクの単位としてHSC1隻1年間における傷害および人命損失数を採用する。

(iii)考慮した事故カテゴリー

衝突、接触、火災、船体の健全性喪失の4種類の事故カテゴリーを考慮する。

これらの他に、考慮した基準の種類、および一般化モデルが記されている。

(2) 背景的情報

ここでは、使用したデータ(インシデントデータ(事故データのこと)、船舶データ)についての説明がある。

(i)船舶データ

使用した船舶データの大部分は、The Fast Ferry International Database, Version 2.0から得ており、船舶データはデータベース化されている。データベースには1044隻が登録され、その内502隻はカタマラン型である。

(ii)インシデントデータ

インシデントデータには、以下の3種類がある。

(a) 国際的なインシデント: この報告では、カテゴリー1と称している。

カテゴリー1のインシデントデータは、会議、あるいは技術論文、国際的に活用可能な出版物から得られ、インシデントの75%以上が含まれているが、それらのインシデントに対応する船舶の数が不明であるため、それらのデータからインシデントの頻度を算出することは不可能である。

(b) 地域当局インシデント: この報告では、カテゴリー2と称している。

このカテゴリーのデータは、地域あるいは国の当局へ報告されたデータである。同FSAのStep2では、カテゴリー2のデータを使用している。

カテゴリー2のインシデントが他のカテゴリーに含まれている場合、リスクの定量化のためにそれらをすべてカテゴリー2に入れている。このうち、約95%は英国、ノルウェー、フィンランド、香港/中国の運航区間のデータである。その内訳は、ノルウェーが、1981-1995の間で、計415隻・年、英国およびフィンランドは、1991-1995の間で、計61隻・年、香港/中国では、1991-1996夏の間で、計540隻・年で、これらの合計は、1016隻・年となる。

(c) 企業のログインシデント: この報告では、カテ

ゴリー3と称している。

以上の限られた数のHSCのインシデントおよび船舶がデータ源であるが、接触等の高頻度/低損害の結果の事故カテゴリーのかなりの部分を占めている。

(iii)等価致命度(Equivalent fatalities)

怪我の場合は、以下のように、軽い怪我(minor injury)、重い怪我(major injury)をそれぞれ下記のようにして死者数に換算する。

軽い怪我人100人=重い怪我人10人=死者1人

(3) Step1-ハザード同定

この段階では、以下の4つの作業が実施された。

(i)HAZID(HAZard IDentification)ミーティングの実施および事故シナリオの構成

(ii)予備的フォールトツリーの準備

(iii)ハザード同定の手続きにおけるヒューマンファクターの考慮を容易にするためのタスクインベントリーの開発

(iv)重要な事故シナリオを同定するために、デルファイ法およびインシデントデータベースの吟味により、事故シナリオを選別する。

衝突および接触の事故カテゴリーは、HSCの操船の段階(海上航行時、港内操船時等)と関連して同定された。火災の事故カテゴリーは、火災発生場所(主機室、船橋等)に従って同定された。船体の健全性喪失の事故カテゴリーは、損傷の生じる船体構造に従って同定された。

これらの事故カテゴリーは、予備的フォールトツリーの形で表現されている。

インシデントデータベースは、試適用で考慮した4つの事故カテゴリーに含まれる220のインシデントデータを含んでいる。

カテゴリー1のデータには、統一的な報告様式がないため、比較的低い損害のものは含まれないと思われるので、低い発生確率で高い損害の事故が強調されると考えられる。この点で、カテゴリー2のデータは、バランスの良いデータを含むと考えられるため、ステップ2で用いることとしている。

カテゴリー2のインシデントデータより、事故発生頻度は以下のように求められる。

- ・衝突 $69/1016 = 0.0679/(隻 \cdot 年)$
- ・接触 $48/1016 = 0.0472/(隻 \cdot 年)$
- ・火災 $8/1016 = 0.0079/(隻 \cdot 年)$
- ・船体の健全性喪失 $4/1016 = 0.0039/(隻 \cdot 年)$

Step1の出力は、以下に示す重要度付きの事故カテゴリーのリストである。

(a) 衝突(特に、港内航行時、および海岸近くを高速航行中)

- (b) 接触（特に、離着浅時）
- (c) 火災（特に主機室）
- (d) 船体の健全性喪失（特に船体の前端）
- (4) Step 2ーリスクアセスメント

この Step の目的は、以下の 4 点である。

- ①リスク寄与木 (Risk Contribution Trees) の構成
- ②基準影響関連図 (Regulatory Impact Diagrams) の構成および定量化
- ③リスク寄与木の定量化
- ④潜在人命損失 (PLL のこと)、FN 曲線、およびリスク寄与木内のリスクの分布の計算

(i) リスク寄与木

リスク寄与木は、通常、事故発生まではフォールトツリーで、また、事故発生後最終状態まではイベントツリーで表現され、事故カテゴリー毎に作成される。

(ii) 基準影響関連図 (Regulatory Impact Diagrams)

基準のレベルから事故カテゴリーのレベルまで、影響を与える要素間を結んで図を作成する。そして、事故カテゴリーのレベルから下方向に、ある要素が直下の幾つかの要素からどれほどの影響を受けるかを、それら 2 つの要素間の重みで表現する（それらの重みの総和は 1）。これは基準の事故発生頻度への影響を定量化するために使用することを目的とするが、この報告では、Step 3 の RCO の有効性を評価するためにのみ用いられている。各要素には、その要素が HSC 産業の中でどれほどの位置づけかを示す評点（0 から 1 まで）を付ける。

ある要素が、下位の複数の要素から影響を受ける場合、それらの要素の評点を p_j 、対象の要素と下位の要素間の重みを w_{ij} とすると、対象要素の評点 p_i は式(3.1)のようになる。

$$p_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot p_j \quad \dots (3.1)$$

このようにして得られた、現在の標準および慣習を反映する各事故カテゴリーのインデックスは以下のようになる。

- (a) 衝突/接触(Collision/Contact)
Index=0.497 Uncertainty=0.085
- (b) 火災(Fire)
Index=0.522 Uncertainty=0.040
- (c) 船体の健全性喪失(Loss of Hull Integrity)
Index=0.535 Uncertainty=0.043

(iii) 災害拡大イベントツリーの定量化、F-N 線図および PLL

各事故カテゴリー毎に、事故発生後の災害の拡大を、その進展図および進展の各分岐における確率を専門家が推定して、災害拡大イベントツリーおよび

その定量化を実施している。

イベントツリーの各最終状態の確率は、データから求めた事故発生確率に、各分岐確率を乗じるにより求まる。また、各最終状態毎に、死者数の推定値を記す。

イベントツリーの最終状態の発生頻度およびその際の死者数から、F-N 線図および PLL が求められる。

FN 線図を作成するためには、死者数（=等価致命度: Equivalent Fatality 10人）毎にその数を出力する幾つかの最終状態の発生頻度を加えることにより、その死者数の発生する頻度を求める。次に、横軸に死者数、縦軸にその死者数以上の死者が生じる事故の累積発生頻度を取るにより FN 線図が作成される。

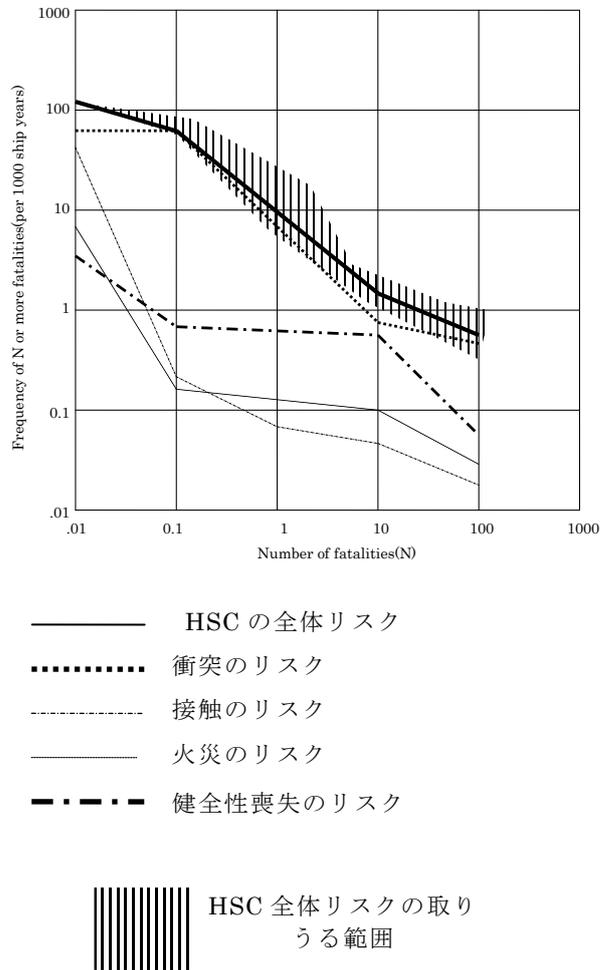


図-3.1 HSC の FN 線図

得られた FN 線図を図-3.1 に示す。この図で縦軸の単位は、1000 隻年当たりの発生頻度である。また、PLL は、イベントツリーの最終状態毎に出力される発生頻度と死者数の推定値を乗じて、事

故カテゴリー毎のイベントツリー全体で総和を取ることにより、事故カテゴリー毎の PLL が求められる。以下にこのようにして求められた PLL を示す。

- (a) 衝突：0.065(等価致命度/隻年)
- (b) 船体の健全性喪失:0.0060(等価致命度/隻年)
- (c) 火災：0.0039(等価致命度/隻年)
- (d) 接触：0.0024(等価致命度/隻年)

なお、PLL は FN 曲線の積分値と等しい。

(5)Step3-Risk Control Options

(i) 実施すべき事項

- ・抑制すべき、リスクに寄与する分野の特定
- ・可能な RCM(Risk Control Measures)の特定、および RCM 表を作成する。
- ・RCM を幾つか組にして RCO(Risk Control Options)を構成し、RCO とする。
- ・各 RCO 毎に Step 2 を行い、それらによるリスクを再計算する。

(ii) 出力

- リスクの改善値が計算された RCO のリスト
 なお、RCM を 3 種類の属性で特徴付けている。
- ・カテゴリー A(リスクが抑制される分野によるカテゴリー区分)

①予防的(Prevention)

②拡大防止(Mitigation)

- ・カテゴリー B(実際に要求される行動に関係し、コストに反映されるという観点からのカテゴリー区分)

①技術的(Engineering)...設計に反映されるもの

②本質的(Inherent)...設計の最も高いレベルにおいて、リスクを抑制するようになされる選択

③手順的(Procedural)...定められた手順に従って行動することによりリスクが抑制されるようになるもの

- ・カテゴリー C(上記2つのカテゴリーの属性以外の、さらに詳細な複数の属性によるカテゴリー区分)

①散在的か、集中的か(Diverse or Concentrated): システムの幾つかの異なる観点からリスクの抑制を行うもの、あるいは、システムの少数の観点からのみリスクの抑制を行うもの

②冗長か、単一か(Redundant or Single)

③受動的か、能動的か(Passive or Active)

④独立か、依存的か(Independent or Dependent)

⑤ヒューマンファクターを内在しているか、重大な寄与をしているか(Human Factors Involved or Human Factors Critical)

⑥検査可能か、検査不可能か(Auditable or Not Auditable)

⑦定量的か、定性的か(Quantitative or Qualitative): RCM が定量的なリスク評価に基づいているか、それとも定性的なリスク評価に基づいて

いるか

⑧確立されたものか、新規なものか(Established or Novel)

⑨開発されたものか、今後開発すべきものか(Developed or Non-developed)

(iii)原因鎖(Causal Chains):

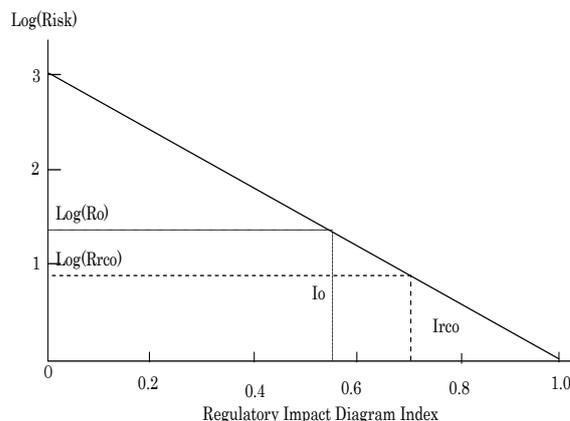
不安全なシステムが不安全な環境のもとにおかれると事故が導かれるとの認識のもとに、事故の原因から事故の結果まで記述した事故の発展を示した図で、RCM を検討する際に作成する。一般的に以下のような鎖を成す。

Causal factors >> Failure >> Circumstance >> Event >> Consequence

(iv) RCO によるリスク削減評価方法

基準影響関連図(Regulatory Impact Diagram, 図-3.2)の RCO それぞれに特徴的な部分のリスク評価指標(図-3.2 の横軸の変数であり、0~1 までの値を取り、図-3.2 では I という記号で表している。0 が PLL の取りうる最小値(例では 10^{-3} としている)の対数に対応し、1 が PLL の取りうる最大値(例では 10^0 としている)の対数と対応する)を見直し、それによって影響を受ける各事故の頂上事象が生起するリスク評価指標を再計算する。その後、リスク評価指標と、リスクとの関連を示す関係から、リスクの変化分を導きだす。この試適用では種々の RCO を検討し、最終的に以下の 3 つの RCO に絞込みリスク減少値、GCAF 等を算出して Step5 の勧告に反映させている。

- 1) 外部の交通管理・・・CRCO-2 で表わす。(衝突、接触に対する RCO)
- 2) 衝突の安全基準のレビュー・・・CRCO-3 (衝突に対する RCO)
- 3) 作業手順の遵守・・・ComRCO-3(共通の RCO)



$$\text{Log(Rrco)} - \text{Log(Ro)} = -3(\text{Irco} - \text{Io})$$

$$\text{Rrco/Ro} = 10^{-3(\text{Irco} - \text{Io})}$$

図-3.2 HSC の基準影響関連図(RID)

表-3.1 各 RCO によるリスク削減効果の計算

事故カテゴリーとRCO	RCO適用前のリスク指標 (I _o)	RCO適用後のリスク指標 (I _{rc})	RCO適用後のリスク $F_r=10^{-8}(I_{rc}-I_o)$	RCO適用前のPLL (R _o)	削減されたPLL Ro-Rero(=Ro×Fr)
衝突 CRCO2 CRCO3	0.497	0.648 0.579	0.352 0.568	0.065	0.042 0.028
意思伝達 ComRC O3	0.497 (衝突) 0.522 (火災) 0.535 (船体の健全性喪失)	0.559 (衝突) 0.601 (火災) 0.537 (船体の健全性喪失)	0.651(衝突) 0.579(火災) 0.986 (船体の健全性喪失)	0.065 (衝突) 0.0039 (火災) 0.006 (船体の健全性喪失)	0.02269 (衝突) 0.00164 (火災) 0.00008 (船体の健全性喪失) 0.02441 (合計)

表-3.1 に、上述の方法で実施した 3 種類の RCO のリスク減少値を求める手順を、表-3.2 に、Step3 のまとめとして、表 3.1 のリスク削減値と影響を受ける利害関係者を示している。

表-3.2 Step 3 のまとめ

RCO	RCO適用前のPLL(Step 2)	RCO適用後のPLL	影響を受ける利害関係者
CRCO2	0.065	0.042	旗国，船主/運航会社，造船会社/設計者，乗客，乗員，艀装関連装置製作者
CRCO3	0.065	0.028	旗国，寄港国，乗客，乗員，船主/運航会社

(6) Step 4 –費用対効果の評価

実施すべき事項

- ・基本ケースを定義する。
- ・各 RCO を実現するために必要なコストとそのリスク削減効果の評価する。
- ・財産と環境への悪影響の評価を含めたコストベネフィットモデルを開発する。
- ・各 RCO を実現するためのコスト効果を比較する。
- ・感度解析を実施する。

RCO を実現するための費用対効果は利害関係者間で異なり、利害関係者毎に、コストとリスク削減値を記述する。人命に関する箇所では、リスク削減値を PLL で表現する。

それらを統合した数値として、式(3.2)に示す CURR(Cost per Unit Reduction in Risk, GCAF のこと)を採用する。

$$CURR(GCAF) = - NPV / BRM_{RCO} \quad \dots (3.2)$$

NPV は Net Present Value のことで式(3.3)で計算される。

$$NPV = \sum (B_t - C_t) (1+r)^{-t} \quad \dots (3.3)$$

B_t : 期間 t におけるベネフィットの合計

C_t : 期間 t におけるコストの合計

r : 原価償却率

t : 開始時点からの経過時間

BRM_{RCO} : RCO によるリスク削減値 (PLL の基本ケースとの差)

リスク削減値を正 (リスクが減少する) とすると、NPV が正 (すなわち利益が上がる) の場合に CURR は負になる。したがって、CURR は小さければ小さいほど良いということになる。

3 種類の RCO 毎に、各利害関係者毎のコスト、ベネフィットおよび CURR を計算したものを表-3.3 に示す。ただし、Discount rate=6%として NPV を計算している。

(7) Step 5 および最終勧告

ステップ 4 までの情報に基づき、意思決定者に勧告を行う。

表-3.3 に試適用のまとめとして、3 種類の RCO のリスク減少値、CURR NPV 等を示している。

表-3.3 費用対効果の評価のまとめ

RCO	RCO適用前のPLL	RCOによるPLL削減値	CURR (US\$million)	運航期間全体における正味コスト (US\$kilo)
CRCO2	0.065	0.042	-0.171	-7.2
CRCO3	0.065	0.028	-0.482	-13.5
ComRCO3	0.077	0.025	-0.545	-13.6

表-3.3 より、3 種類の RCO は見積もり誤差等を考慮すると、ほぼ同じ効果を持つとしている。

3.2 ヘリコプター着艦領域の非 RORO 旅客船への強制化に関する FSA²¹⁾

1998 年に開催された MSC69 において、ノルウェーおよび ICCL(International Council of Cruise Lines)から提出された文書⁹⁾、イタリアから提出された文書¹⁰⁾は、それぞれ独自の検討を行いながらも、HLA(Helicopter Landing Area)を 130m 以上の非 RORO 旅客船に強制化することは正当化されないと結論付けている。これらの提案文書を、MSC69 および MSC70 で FSA の WG で検討した結果、WG および本会議はそれらの結果を追認した。この結果、SOLAS 規則 III/28.2 規

則は「HLAを1999年7月1日以降に建造された130m以上のRO-RO旅客船に強制化する。」という主旨に改正され(すなわちRO-ROでない旅客船にはHLAは不要)、MSC72において決議MSC91(72)により採択され、2002年1月1日に発効した。このことによりFSAの適用及び審議にはずみがつき、各国はFSAを真剣に検討するきっかけとなった。

ここでは、ノルウェーとICCLによる提出文書⁹⁾の概要を示す。

(1)問題定義

一般化モデル(130m以上の非RORO旅客船)はHLA(Helicopter Landing Area)を持ち、事故船の近くにきた時、そのような旅客船がヘリコプター基地より近ければヘリコプターは事故船と旅客船を往復すると仮定する。なお、HLAには給油設備はない。

(2)背景的情報

最近審議された規則(バルクキャリアの貨物倉No.1とNo.2の間の隔壁の補強等)を振り返り、ICAF(Implied Cost per Fatality Averted, GCAFのこと)の観点から見て、合理的なものが施行され、そうでないものは施行されていないことを指摘している。

また、これまで退船を余儀なくされた48ケースの分析の結果、最もケース数の多かった事故は火災であり、この場合は煙でHLAが使用できない可能性が高いこと、その次に多いのは衝突で、その場合は短時間で船が傾き沈没に至るケースが多く、HLAが使用できないこと、多くのケースで救命艇が使用され、この場合はHLAは有効でないこと等が指摘されている。

(3)Step 1

人命損失をもたらす主な海難事故がヘリコプターでどれほど死者が救助されるか簡単に吟味されている。また、ヘリコプターを導入する際に新たに増加する危険性(着艦時のヘリコプターの事故等)につき議論されている。

(4)Step 2

HLAを導入することにより回避できるリスクは人命損失リスクのみであり、それを推定するための基礎として、旅客船、および旅客船以外の船舶に分けて人命損失のFN線図を作成している。

(5)Step 3

問題の性質上、この報告ではHLAが唯一のRCOであるが、HLAが有効と考えられる状況が2種類(事故船からの避難、近くの船舶からの避難)示され、ヘリコプターだけで救出される人数はそれほど多くないことが指摘されている。

(6)Step 4

統計モデルによるリスク削減の算定結果が表-3.4に示されている。

その他のモデルとして、地球上の海全体、および北半球の海全体での、HLAを搭載した旅客船による人命損失リスクの減少を、種々の妥当な仮定のもとでモデル化し、使用するヘリコプターの種類毎にその値を出している(表-3.5)。

次に以下のようにそれらの比較をICAFで表現した費用便益で実施している。その際に使用したHLAを導入する際のコストの増加分は、表-3.6に示されている。

表-3.4 統計データに基づく推定リスク削減値

リスク上の効果の推定における要素	自船からの避難・退船	旅客船の海難	一般商船の海難
1HLA当りの緊急避難(退船)の頻度	1.80E-2	1.80E-2	2.60E-3
緊急事態が生じたときにヘリコプターの基地がヘリコプターの運用範囲内にある確率	0.5	0.5	0.3
気象・海象がヘリコプターの運用範囲内にある確率	0.97	0.97	0.9
他の方法による救助が他の方法よりヘリコプターによる救助が早く終了する確率	0.22	0.31	0.56
	0.2	0.55	0.1
	0.8	0.2	0.5
			0.5
HLAが有効である確率(自船あるいは他の旅客船)	0.1	0.08	0.08
		0.67	0.06
		0.5	0.5
HLAがない場合と比較して、回避できる死者の数	18	18	2.4
リスクの減少	5.53E-4	1.44E-4	1.76E-5

表-3.5 1HLA・1年当りの回避できる死者数

	面積(km ²)	HP1	HP2	HP3	HP4	HP5
一般商船	3.4E8(全地球の海面)	1.4E-4	6.3E-5	6.4E-5	7.8E-5	4.2E-5
	1.2E8(北半球の海面)	7.7E-6	2.1E-6	1.4E-6	1.4E-6	4.5E-7
旅客船	3.4E8(全地球の海面)	3.2E-6	3.1E-6	3.8E-6	5.2E-6	3.2E-6
	1.2E8(北半球の海面)	2.2E-7	1.9E-7	2.0E-7	2.9E-7	1.5E-7
合計	3.4E8(全地球の海面)	1.4E-4	6.6E-5	6.8E-5	8.3E-5	4.5E-5
	1.2E8(北半球の海面)	7.9E-6	2.3E-6	1.6E-7	1.7E-6	6.0E-7

表-3.5にあるヘリコプターの種類

- HP1: Aerospatiale
 HP2: Sikorsky HH-60J
 HP3: Westland Sea King
 HP4: Sikorsky S-61
 HP5: Super Puma

表-3.6 130m以上の旅客船にHLAを導入することによるコストの増加

コストの要素		量 (t)	単価 (USD/t)	コスト (USD)
建造	HLA設置のための追加の鋼材	20	6,000	120,000
	追加保守経費(15年)			50,000
訓練、資格取得	15年			245,070
当局	15年			84,507
検査	15年			245,070
追加コスト総額	15年			744,647

Case1: 統計データに基づくモデル

期間は15年とする。

$$ICAF(GCAF) = \frac{\text{Net cost of measure}}{\text{Number of averted fatalities}} \\ = \frac{744650}{1.07 \times 10^{-2}} = USD70,000,000$$

Case2: Westland Sea King ヘリコプターを使用し、地球上の海全体を考慮した地形モデル

期間は15年とする。

表-3.5より、15年間の回避できる人命損失リスク
 $= 6.8 \times 10^{-5} \times 15 = 1.02 \times 10^{-3}$

したがって、

$$ICAF = \frac{\text{Net cost of measure}}{\text{Number of averted fatalities}} \\ = \frac{744650}{1.02 \times 10^{-3}} = USD730,000,000$$

Case3: Westland Sea King ヘリコプターを使用し、北半球の海全体を考慮した地形モデル

期間は15年とする。

表-3.5より、15年間の回避できる人命損失リスク
 $= 1.6 \times 10^{-6} \times 15 = 2.4 \times 10^{-5}$

したがって、

$$ICAF = \frac{\text{Net cost of measure}}{\text{Number of averted fatalities}} \\ = \frac{744650}{2.4 \times 10^{-5}} = USD31,000,000,000$$

(7) Step 5

OECDのメンバー国では、何か安全対策を強制化する際のICAFはUSD2-4 Million程度が一般的である。したがって、この報告で考慮した方法によると、HLAを設置する際のICAFとしてのUSD70Millionはこの基準に比べると桁違いに大きいため、1999年7月1日からの非RORO旅客船へのHLAの強制化は推奨できないという結論となった。

4. 主なFSA審議

FSAガイドラインに基づきFSAによる種々の提案IMOに提出された。ここではそれらのうち当局が関与し、かつ主要なもの取り上げ、詳細を示す。

4.1 バルクキャリアの安全性に関するFSA²²⁾⁻²⁵⁾

4.1.1 概要

(1) はじめに

LRFP(旧名: LMIS (Lloyd's Maritime Information Service))の海難データベースによるとバルクキャリアの事故で1978年からの約22年間に累積で2000人を超える船員が亡くなっている。バルクキャリアの死者を伴う事故の特徴は、ほぼ乗組員全員が死亡するような事故が決して少なくないことである。従って、事故の詳細が不明なままのケースも少なくない。

事故原因がある程度以上ははっきりしている事故については1990年前半に各種の調査が行われており、これによれば貨物倉の船側構造損傷に起因する浸水事故数が顕著である。

一方、英国は1980年に沈没したDerbyshire号の事故調査を行い、これに基づきIMOに一連の提案を行った。Derbyshire号の事故調査結果によれば、船首部の浸水がきっかけとなりHatch Coverが海水打ち込みにより崩壊したことが事故原因とされている。また、英国で実施された各種研究によれば、Hatch Cover関連の浸水沈没事故が少なくないことが報告されている。

英国はDerbyshire事故調査に関連する一連の安全性改善提案の中で、バルクキャリアの安全性について、国際海事機関(IMO)で規則作成の為のツ

ールとして開発されたFSA(Formal Safety Assessment)による検討を行うべきと提案した。その結果、IMOの第70回海上安全委員会(MSC70)において、英国主導の国際共同BC FSA検討プロジェクト(以下、ICFSA Study)を立ち上げることが合意された。この際、日本は独自にFSA検討を行うことを表明し、1999年から日本造船研究協会第74基準研究部会「バルクキャリアの安全対策に関する調査研究」において検討が行われた²²⁾。

また、IACS等もそれぞれの立場から、バルクキャリアのFSA評価を実施した。

以下に、各FSA評価の概要を紹介すると共に、日本の実施したバルクキャリアの安全に関するFSA評価については4.1.2により詳細に紹介する。

(2) IACSのFSA評価の概要

Derbyshire号事故報告関連の英国提案にはIACSを対象とした推奨事項が含まれていた。そこで、IACSはバルクキャリアの船首部の水密性に関してFSAのステップ1であるHazard Identificationを実施し、MSC 71/INF.7及びMSC 72/INF.4として報告した。

更に、IACSは残りのステップについてもFSA検討を継続・実施し、検討結果をIACSのWeb Site (<http://www.iacs.org.uk>)にて公開する一方、MSC 74に報告した(MSC74/5/4)。IACSは更に、船側構造の構造損傷防止に重点を置いた検討を進め、その結果をMSC 76に報告した(MSC76/INF.21)。

(3) Norway他のFSA評価の概要

NorwayとICFTUが共同でバルクキャリアの救命設備に注目したFSA Studyを実施し、検討結果をMSC 74に報告した(MSC 74/5/5)。

この検討によれば、バルクキャリアでは短時間で沈没する事故が多い為に救命設備が有効に働かないことが問題であり、浸水警報装置+自由降下型救命艇の設置、これに加えて補助的にイマージョンスーツの全員配布が費用対効果の高いリスク制御オプション(RCO)であると提案している。

これらの提案はMSC76で検討され、将来のバルクキャリアへの自由降下型救命艇の備え付け義務化と、すべての(新船及び現存船)バルクキャリアへの定員分のイマージョンスーツの備え付けの義務化を進める方向で、さらに検討することが合意された。

(3) ICFSA StudyのFSA評価の概要

英国主導の国際共同プロジェクトは英国MCA (Maritime and Coastguard Agency)が調整役を務め、FSAの5ステップをWork Package (WP) と呼ばれる複数の小作業項目に分け、これを本プロジェクトに参加した国や組織或いは契約したコンサルタント等に割り振って作業が実施された。

国際共同プロジェクトの検討結果はMSC 74に報告される予定であったが、複数のWPに分割して実施

された結果、取り纏めに手間取り、MSC 75に暫定的なRCOの一覧が、最終結果がMSC 76に調整役の英国より報告された。

また、一部のWPは英国が調整役を務めたWPとは完全に独立した形で進められており、これらは単独の報告書の形で報告された(MSC 76/5/1,2,3など)。

この国際共同プロジェクトの基となった海難データの分類は英国が実施したが、その際に事故記録からは原因が不明である事故について、英国はその多くの事故原因をハッチカバーの損傷であると専門家判断により断定した。事故データ自身は日本のFSAと多くが共通のため、日本はその事故原因分析をさらに進め、英国の事故原因分類が不相当であることをMSC76に強く指摘した。結果、英国は我が国の指摘を大筋で受け入れた。

英国は調整役として国際共同プロジェクトの検討結果をIMOに提出する一方、これとは別に英国自身の意見を取り纏めて別途MSC 76に提出した(MSC 76/5/17)。この主張は必ずしもFSAの結果のみに基づいているものではなく、多くは従来からの専門家による直感的な判断の帰結であった。

またMSC議長(英国)は、FSAは判断のための材料を提供するためのものであって、判断そのものではないとMSC76にて述べた。

結果としてこれらの影響で、英国を中心にグループの意見が形成され、MSC 76でバルクキャリアの安全性向上策の骨子について結論を出すべきとの議論になった。この動向は、IMOにおけるFSAの利用の利点である「科学技術的かつ客観的なFSAの結果の尊重」に対して、その採否の判断の恣意性という不明確な点を残した。

(4) 日本のFSA評価概要22)-25)

日本のバルクキャリアのFSA Studyにおいては、ビルジ・ホッパー・タンクとトップ・サイド・タンクを持つ典型的なバルクキャリアの貨物倉への浸水及び構造損傷に重点が置かれた。

ハザードの同定とリスク評価はブレンストーミングによる創造的手法も併用しながら、主に過去の事故統計、事故事例分析に基づいて実施した。その結果、同定されたハザードのスクリーニングとLRFPの海難データベースの調査によって図-4.1に示した重要な事故シナリオを特定した。現在のバルクキャリアのリスクの大きさはSOLAS条約第XII章の効果の予測シミュレーション等により、ALARP領域にあると判断された。

次にStep 3としてブレンストーミング等により出来るだけ多くのRCOを特定し、Step 4において費用対効果解析を実施した。GCAF或いはNCAFという指標を用いた費用対効果解析の結果

によれば、以下の事項をIMOにおいて検討することが推奨された。

単船側バルクキャリアについては、SOLAS XII章の貨物倉浸水時の強度要件等の方が二重船側の強制化より費用対効果が高く、実際に前者が強制化されたことは正当化される。

二重船側の強制化は浸水時の強度要件等より費用対効果が悪く、これに代えて二重船側を強制化することは正当化されない。

150m未満の単船側バルクキャリアは、単一貨物倉の浸水が致命傷となる可能性が高いことから、

バルクキャリアの安全レベルを調査し、バルクキャリアのハザード及びリスクを調査し、バルクキャリアの安全性向上につながる更なる対策の必要性を検討し、

必要性が確認された場合、バルクキャリアの安全性を向上させる対策を追及することにある。

尚、他の船種にも共通するハザードやリスクについては検討対象から外している。

(2) 関連規則

出来るだけバルクキャリアの安全に関連する全てのRegulationを考慮するとの方針の下、表-4.2

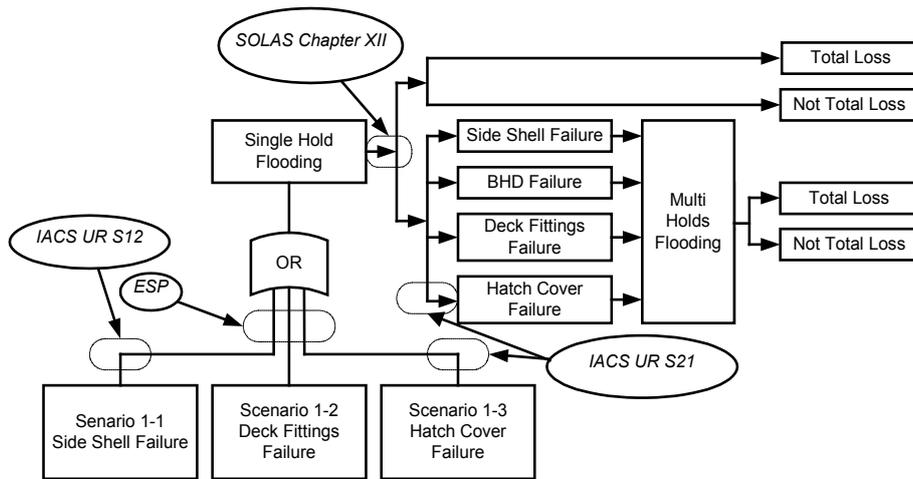


図-4.1 日本のバルクキャリアの安全性に関する FSA 評価で用いた概念的なリスクモデル

浸水防止を目的とした対策が必要である。例えば、以下のRCOが推奨される。

- 新造時：船側構造の腐食予備厚の増加
- 就航後：船側構造の腐食制御

150m以上の単船側バルクキャリアについては、貨物倉浸水後の対策に加えて浸水防止対策が有効である。費用対効果の検討結果によれば、単船側のまま例えば以下のRCOが推奨される。

- 新造時：船側構造の腐食予備厚の増加
- 就航後：船側構造の腐食制御

以下に、FSAの標準書式様式に従い、日本が実施したバルクキャリアの安全性に関するFSA評価を記述する。

4.1.2 問題定義

(1) FSAの目的

バルクキャリアの安全に関してIMOで議論されてきた事項に対応して、以下を実施し、IMOでのバルクキャリアの安全に関する議論の基礎を提供することである。特に、本研究を開始する契機となった以下の事項に重点を置いている。

に示す規則等について検討を行った。

(3) 一般化モデル

図-4.2に示すビルジホッパータンクとトップサイドタンクを持つ典型的なバルクキャリア(SOLAS条約第IX章の定義)を対象とした。

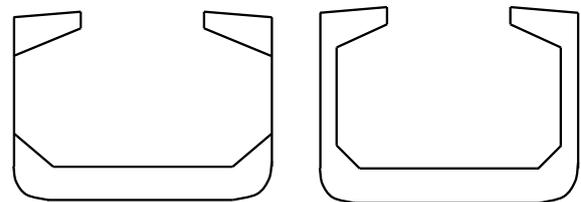


図-4.2 典型的なバルクキャリアの断面図

4.1.3 実施概要

(社)日本造船研究協会の第74基準部会の中にバルクキャリアの安全評価作業分科会を設置し、出来る限りIMOの暫定FSAガイドラインに従ってFSA評価を実施した。尚、検討期間は1999年1月～2002年2月であった。

4.1.4 FSA 各段階の記述

(1) STEP1 : ハザードの特定

表-4.1に示す事故のカテゴリ毎にハザードを特定した。一例を表-4.3に示す。

表-4.1 バルクキャリアの事故カテゴリー

Accident Category 1	Structural Failure of Cargo Hold Part
Accident Category 2	Structural Failure of Fore End Part
Accident Category 3	Structural Failure of Aft End Part (on going)
Accident Category 4	Water Ingress through Openings

特定されたハザードに対して、Severity Index (SI) 及びFrequency Index (FI) を使ってランキング作業を実施した。結果の一例を表-4.4に示す。

ハザードの同定及びランキング作業を実施する過程で、Step 2で実施すべき事故シナリオの絞り込み及び定性的な故障の木の検討を実施した。その結果、検討対象となる事故シナリオを以下の4つに分類した。

- シナリオ1：以下の初期損傷と逐次浸水
 - 船側損傷のような船体構造損傷による浸水
 - 各種閉鎖装置等の甲板付き部品の損傷による船首部浸水
 - 貨物倉口蓋の損傷またはその締付装置の不具合による浸水
- シナリオ2：浸水に至らなかった荒天中の船体構造損傷
- シナリオ3：荷役作業中の船体構造損傷
- シナリオ4：航海中の貨物荷崩れによる事故

これらの事故シナリオ中のEventの分岐確率に関連するハザードからFault Treeを構築した。

(2) STEP 2 : リスク解析

-1. はじめに

リスク評価は、事故統計の調査・分析・整理及びハ

ザードの同定から絞り込んだ事故シナリオについて、事故事例分析に基づいて定量化を行った。また、バルクキャリアのリスクを求めるにあたっては、以下の2段階に分けて分析作業を実施した。

- 近年導入された、ESP (検査強化プログラム) やSOLAS XII章等の各種対策の効果は過去の事故事例の中には含まれていないとの前提で、事故事例分析に基づく導入前のリスクレベル評価を行う。
- 事故事例ごとに、これら対策の効果を実後推定することにより、導入後のリスクレベルを推定する。

-2. ESP及びSOLAS条約第XII章等の導入前

事故事例を分析した結果、1978年から2000年8月迄に1126人の乗組員が死亡していることが判明した。死者数の内訳を事故シナリオ/グループ毎に見ると図-4.3のように表すことが出来る。これはこれ以外の原因による死者も加えた総数2067人の死者数の約54%を占めている。

これから、バルクキャリアの構造損傷及び浸水事故による死者数を問題にする場合、事故シナリオ1が重要であることが分かる。シナリオ1のPLL (Potential Loss of Life) (死者数/ship-year) の上限値は次のように計算された。

$$PLL_{water_ingress} = \frac{1,031}{89,900} = 1.15 \cdot 10^{-2}$$

このPLLをサイズ毎に求めたものを図-4.4に示すが、事故統計によれば大型のバルクキャリアのリスクが高いことが確認された。

-3. ESP及びSOLAS条約第XII章等の導入後

本解析では、ESP、ISM Code及びPSC等による効果も船側構造損傷に対するリスク制御オプションと考え、ESP等の効果は事故件数ベースのリスク低減率に表れると仮定した。

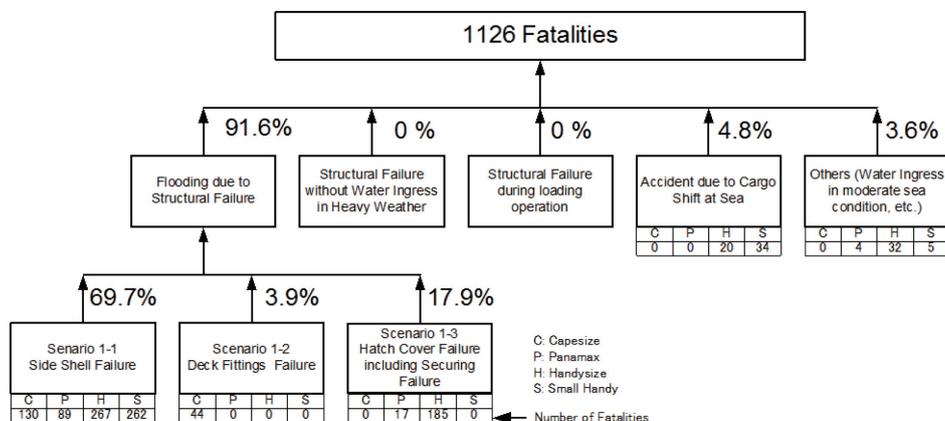


図-4.3 事故シナリオ/グループ毎の死亡者数の内訳

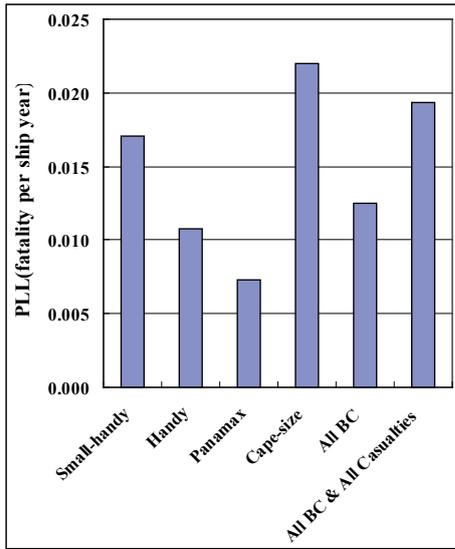


図-4.4 船のサイズ別のPLL

SOLAS第XII章の効果については、発効後の年数が短いため、それが統計的に事故データに表れるまでの十分な時間が経っていないと考えられる。

そこで、過去の事故事例の1件1件を一定の基準に従い専門家が判断し、事故防止の可能性、事故拡大抑制の可能性を判断した。このようにしてSOLAS第XII章の導入後20年間の仮想的な事故統計を作って、PLL及びF-N Curveの変化をシミュレーションした。リスク評価実施時点のバルクキャリアのリスクレベルは、ESP等による効果とSOLAS第XII章の効果の相乗効果で低下していると考えられる。そこで、ESP等は事故の発生防止に、SOLAS XII章等は事故拡大抑制に効くものと考え、以下に示す仮定に基づき、両者の相乗効果を推定した。

$$PLL_{Current} = PLL \times (1 - r_{ESP}^{all}) \times (1 - r_{SOLAS_XII})$$

PLL及びF-N Curveの結果を他船種／過去の実績と比較する形で、それぞれ図-4.5及び図4.6に示す。

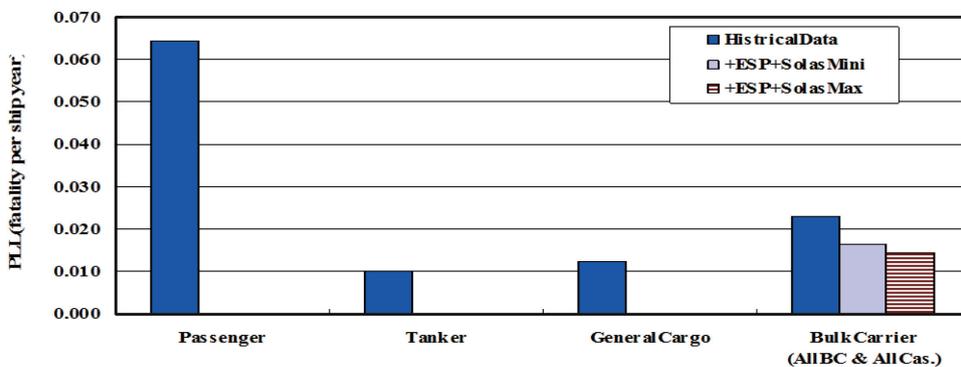


図-4.5 FSA評価時点のPLLの推定値

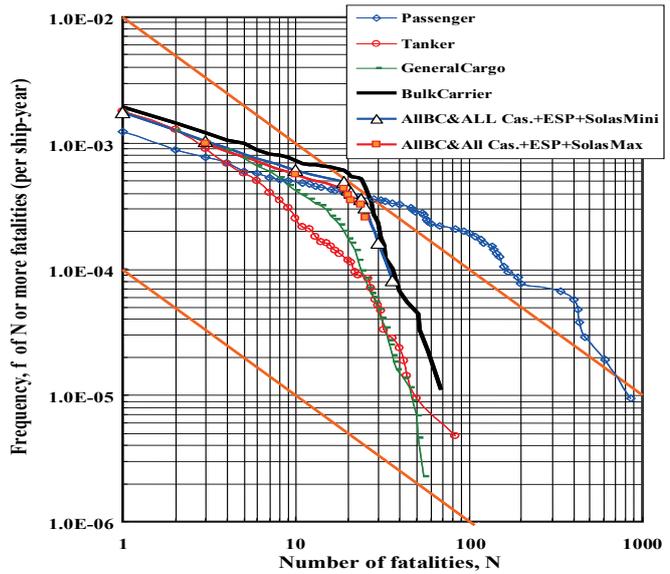


図-4.6 FSA 評価時点の FN 線図

これらの結果から、死者数20人前後の発生頻度が高い部分は、これまでに導入された安全対策によりかなり下がってきているものの、依然としてALARP領域のIntolerable領域に近い側にあること、TankerやGeneral Cargo等の他の船種と比較しても、相対的に発生頻度が大きいといえる。従って、実行可能な範囲でReasonableな安全対策が見つければ、導入を検討すべきと結論された。

(3) Step 3 : リスク制御オプション (RCO)

-1. RCOのリストアップ

バルクキャリアについてはSOLAS 新XII章を含め、リスク低減を目的に各種の対策 (RCO) が実施されてきた。しかしながら、その効果が目に見える形ですぐに現れ難い側面もあることから、導入済みのRCO以外に様々なRCOに関連する提言がなされてきた。

そこで、①文献調査等により既に議論されているRCOをリストアップするとともに、それらの既

提案のRCO適用上の問題点や効果等を整理した表を作成した。更に、専門家による

Brain Storming 及びアンケート調査により、上記RCOの表を更新すると共に新規RCO

を検討し、想定可能なRCOを出来る限り多く特定した。

-2. RCOのスクリーニング

各RCOの適用によるリスク低減量は、ヒストリカルデータに対する考察と専門家判断に基づき推定した。これはヒストリカルデータが様々な損傷形態を網羅したものであるとともに、確率としてその効果を捉えやすいことによる。各々のRCOを過去の事例に適用した場合の効果については、専門家によるヒストリカルデータの細やかな検討により想定し、問題をより簡易化するために『効果がある』、『効果があるかもしれない』及び『効果は無い』の3つのグループに分類するものとした。これらの効果を一義的にそれぞれ100%、50%及び0%と設定し、以下の式を用いてRCO適用の効果を推定した。

$$r_{Risk_Reduction} = \frac{N_{probable_mitigated} + N_{possible_mitigated} \times 0.5}{N_{total_loss}}$$

以上の結果を用い、RCO導入後のPLLについては、人的損害数が全損にいたる重大損傷数に比例するものとして推定した。

$$PLL_{total_loss}^{RCO} = PLL_{total_loss} \times (1 - r_{Risk_Reduction})$$

最終的に高いリスク低減効果が期待できるか等を考慮し、Step 4のCost Benefit Assessmentを実施すべきRCOの候補を絞り込んだ。絞り込んだRCOのリストを表-4.5に、リスク低減量の推定結果を表-4.6に示す。

最終的には、Step 2におけるリスク解析結果も考慮して導入済みのSOLAS第 XII章関連のRCO (新造船及び現存船) 以外に、以下のRCO等についてStep 4で費用対効果を検討することとした。

1) SOLAS XII章の150m未満のバルクキャリアへの拡大適用 (新造船及び現存船)

- ・ 二重船側の強制化 (新造船及び現存船)
- ・ 単船側構造崩壊による浸水防止対策 (新造船及び現存船)
- ・ ハッチカバー構造の強化 (現存船)

(4) Step 4 : コスト便益評価 (Cost Benefit Assessment)

1) 評価方法

Step 4では、厳密にはRCOの費用対効果 (Cost Effectiveness) を評価するための指標であるCAF (Cost of Averting a Fatality) を用いた。具体的には、「死者一人を防ぐための換算総コスト」(GrossCAF又はGCAF)及び「死者一人を防ぐための換算純コスト」(NetCAF 又は NCAF)という指標を用いている。

$$GrossCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

$$NetCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

- ここに ΔC : RCO の導入に必要なコスト
 ΔB : RCO の導入による経済的利益
 ΔR : RCO によるスク低減量

2) 評価結果

ESP適用開始後、SOLAS XII章適用前のリスクレベルを基準とした新造船、現存船に対する主要RCOのGCAFの結果を、それぞれ図-4.7及び図-4.8に示す。また、RCOをGCAFの大きさに応じて分類し、表-4.7に示す。

新造船に対しては、RCO10「新船に対する浸水後の構造強度及び損傷時復原性要件 (Regulation 4 and 5 in SOLAS Chapter XII for new BC & UR S21)」はGCAFが0.7 (Million US\$ per averted fatality) であり、十分に費用対効果が高い結果となった。

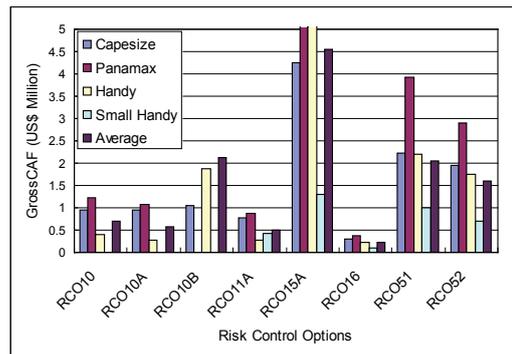


図-4.7 新造船用RCOのGCAFの推定値

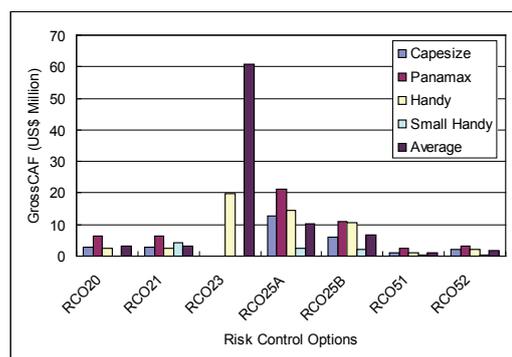


図-4.8 現存船用RCOのGCAFの推定値

現存船に対しては、RCO20「現存船に対する浸水後の構造強度及び損傷時復原性要件 (Regulation 4 and 6 in SOLAS Chapter XII for existing BC)」はGCAFが3.0 Million US\$/Averted Fatalityであり、導入の可否に関して意見が分かれる (マージナルな) 範囲にあると

の結果となった。また、今回の解析結果によれば、倉内肋骨の腐食制御（塗装管理強化（RCO51）或いは切り替え強化（RCO52））が費用対効果の点からは推奨されるとの結果となった。

(5) Step 5：勧告

1) 総論

FSA評価の結果、以下の知見が得られた。

- ・ 現在のバルクキャリアのリスクの大きさは、ALARP領域にあると推定された。
- ・ 近年導入されたESPやSOLAS XII章によるリスク低減を考慮すると、SOLAS XII章の適用外となっている150m未満（本解析の分類ではSmall-handyに該当）のバルクキャリアのリスクは、相対的に高い。従って、150m未満のバルクキャリアのリスクを低減させる対策を検討すべきである。但し、150m未満のバルクキャリアでは1ホールドの浸水が致命傷となる可能性が高いことを考慮すると、SOLAS XII章のような事故拡大を抑止する対策(Mitigating RCO)は推奨されない。従って、浸水事故防止を目的とした有効なRCOの検討が望まれる。
- ・ 二重船側バルクキャリアのリスクレベルは、SOLAS第XII章の要件を適用したバルクキャリアと同程度あるいはいくらか低いと推定された。
- ・ 過去の事故データには、SOLAS XII章やIACS UR S21等のような最近発効した要件の効果は表れていない。これらの効果が事故データに反映されるまでには、まだ何年か必要と思われる。新しい要件が新船のみに適用された場合、短期間で見ると、現存船すなわちフリートのほとんどにはこのような新要件の効果は表れず、フリート中ごくわずかの新船だけに効果が表れることとなる。この場合、フリート全体の安全レベルは、年々ゆっくりと向上していくこととなる。

2) 導入済みのRCOについて

- ・ 海難データの分析により、Enhanced Survey Programme (ESP) が効果のあったことが確認された。
- ・ 既に導入されたRCOであるSOLAS XII章（150m以上に適用、本解析の分類ではCapesize、Panamax, Handyの3つのサイズ分類に該当）は費用対効果が高いという結果になった。
- ・ IACS UR S21 (RCO10B)のGrossCAFも十分低いと考えられる。更に、SOLAS XII章との組み合わせ (RCO10) においても、互いに補完するような関係にあるため、GrossCAFは低くなっている。
- ・ SOLAS XII章によって既に発効している、現存船に対するRCO (RCO20) のGCAFは、評価基準US\$ 3 Millionとほぼ同程度の値を示している。しかしながら、本研究で対象外とした衝突等の事

故で沈没に至ったもののいくつかはNo.1貨物倉の浸水が引き金になっていると思われ、SOLAS XII章の遡及適用 (RCO20) によって事故の進展を防ぐことができた可能性があり、費用対効果はもう少し高くなると思われる。

- ・ 船齢15年以上のバルクキャリアに対するハッチカバー規則 (IACS UR S21) の遡及適用 (RCO23) については、GrossCAFの値は高く、遡及適用しなかったことが妥当であったと考えられる。ただしこの評価結果は、事故分析における仮定と専門家判断に左右される部分が大きいため、十分に詳細が報告されていない事故についての原因推定により見解が異なることが予想される。
- ・ 新船に対する二重船側化関連のRCOについては、全サイズ平均での比較においてGrossCAFが低いとは言えない。一方、二重船側バルクキャリアのリスクレベルはSOLAS XII章適用の新造バルクキャリアのリスクレベルと同程度である。これは、二重船側構造を強制化することは推奨できないものの、SOLAS XII章の適用において、二重船側バルクキャリアが適用から除外されたことが正当化されることを意味している。

3) バルクキャリア全体に対する最終勧告

バルクキャリア全体のリスクレベルはSOLAS XII章適用後も他船種と比べてALARP領域の比較的高い位置にあると予測され、費用対効果の観点で現実的な範囲で出来るだけリスクが小さくなるように安全性向上対策を検討すべきである。サイズ毎に見ると、150m未満のバルクキャリアのリスクレベルが高く、対策検討の優先度が高いと言える。

4) 二重船側バルクキャリアに対する最終勧告

単船側BCのSOLAS XII章の適用後のCEの事後評価から、二重船側の強制化とCEと比較するとSOLAS XII章の方が費用対効果が高く、結果として前者が強制化されたことは正当化される。二重船側の強制化はこれと比べるCEが低く、SOLAS XII章に変えて、二重船側を強制化することは正当化されない。但し、船主がオプションとして採用した場合は、ダブルサイドスキンとSOLAS XII章適用後のシングルサイドスキンのリスクレベルは同程度であると考えられることから、追加的なRCOが強制化されなかったことも正当化される。

・ 150m未満の単船側バルクキャリア

150m未満の単船側バルクキャリアは、現在SOLAS XII章の適用外であるが、バルクキャリアの中では相対的にRiskが高く、対策の必要性が大きい。しかし、150m未満のBCに対

しては単一貨物倉の浸水が致命傷となる可能性が高いと考えられ、貨物倉の数を増やす等の抜本的な対策を採らないのであれば、SOLAS XII章で要求されている浸水後の事故拡大防止策は有効と判断されないため、浸水防止を目的とした対策が必要である。従って、以下のRCOの導入の検討が推奨される。

新造時：船側構造の腐食予備厚の増加

就航後：船側構造の腐食制御

- ・ 150m以上の単船側バルクキャリア

150m以上の単船側バルクキャリアについては、二次防壁として浸水後の対策がとられているが、更なる安全性対策としては浸水防止対策が有効である。費用対効果の検討結果によれば、単船側のまま腐食予備厚を増加させる等の方法が推奨され、二重船側の強制化はこれと比べて費用対効果が悪いので推奨されない。従って、以下のRCOの導入の検討が推奨される。

新造時：船側構造の腐食予備厚の増加

就航後：船側構造の腐食制御

表-4.2 関連条約、規則等一覧

SOLAS		第 XII 章 - バルクキャリアの追加の安全措置(IACS UR S12,および S17~24 を含む)
	ISM Code	第 IX 章 - 船舶の安全運航の管理(国際安全管理規則(ISM コード))
	ESP	第 XI 章- 海上の安全性を高めるための特別措置(バルクキャリア及び油タンカーに対する強化された検査計画(ESP)および IMO 総会決議 A.744(18))
	LSA	第 III 章 - 救命設備
	BC Code	第 II-2 章, VI 章および VII 章 -危険化学品のばら積み運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則(IBC コード)
	IMDG Code	第 II-2 章および VII 章 - 国際危険物海上運送規約(IMDG コード)
ILLC66		国際満載喫水線条約
MARPOL73		海洋汚染防止条約
STCW		船員の訓練および資格証明並びに当直の基準に関する国際条約
IACS URs	S12	単船側のバルクキャリアの船側構造に関する統一規則
	S17	バルクキャリアの浸水時のハルガーダの縦強度に関する統一規則
	S18	浸水を考慮したバルクキャリアの波型横水密隔壁の板厚の評価に関する統一規則
	S19	浸水を考慮した現存バルクキャリアの1番と2番貨物倉の間の波型横水密隔壁の板厚の評価に関する統一規則
	S20	浸水を考慮したバルクキャリアの許容貨物積載量に関する評価に関する統一規則
	S21	バルクキャリアの貨物倉のハッチカバーの板厚の評価に関する統一規則
	S22	現存バルクキャリアの1番貨物倉の浸水後の許容される1番貨物倉の浸水量の評価に関する統一規則
	S23	UR S19 と S22 を単船側の現存バルクキャリアへ適用に関する統一規則
	S24	現存バルクキャリアの貨物倉への浸水検知に関する統一規則
	Circular	MSC74 で検討された英国提案の船長に対するサーキュラー

表-4.3 ハザード特定用の作業用紙

ID	ハザードの記述／ハザードと看做せる状況	状態	原因	効果	検知方法	事故シナリオ／サブカテゴリ	規制、規則等	備考(ハザードの発生頻度を含む)
1.1	貨物倉							
1.1.1	腐食							
1.1.1.1	ホールドフレームの急速な腐食	全て All	1) 塗装仕様の誤った選択 2) 塗装技師の技術不足 3) 積荷による塗装の損傷 (3) ブルドーザーなどによる乱暴な荷降ろし(続く)	1) 溶接部を含む構造部材の減厚 (2) 亀裂の発生及び貫通 3) 胴板からの一部プレート分離	船員及び検査員による目視	貨物倉近くの船側構造における構造欠陥	海上人命安全条約第XI章 総会決議A.744(18) IACS統一規則S12,Z10.2 船級規則	バルクキャリア及び油タンカーに対する強化された検査計画及びIACS統一規則の発効(無理なく起り得る)

表-4.4 ハザードのランキング結果

No	ID	R.I.	Level	ハザード	MOD
1	1.1.3.1	7.86	4	内底板, 船側構造, ホッパープレート及び隔壁のへこみ	Load
2	1.1.4.3	7.71	4	前部船側構造への過度の衝撃荷重(第1貨物倉)	All
3	1.1.1.1	7.29	5	貨物倉の急速な腐食	All
4	1.1.4.1	7.29	5	貨物倉船側(貨物圧力なし)に作用する極限の動的海水圧力	All
5	1.4.3.2	7.00	5	タンク頂板(内底板)のへこみ	Load
6	1.1.1.2	6.64	5	船側外板(溶接ビードを含む)の急速な腐食	All
7	1.1.5.1	6.64	5	ハルガーダに作用する過度の曲げモーメント/せん断応力	All
8	1.1.3.2	6.57	5	ハッチカバー上部のへこみ	Load
9	1.1.1.3	6.50	5	上部スツール及び下部スツールを含む横隔壁の急速な腐食	All
10	1.1.1.5	6.50	5	ハッチコーミングの急速な腐食	All
11	1.4.1.2	6.50	5	釣鐘型測深管下部の船底外板	All
12	2.2.4.1	6.50	5	船首部暴露甲板への過度の波荷重	All
13	1.2.1.1	6.43	6	構造部材の急速な腐食	All
14	1.3.3.2	6.42	6	ホッパープレートのへこみ	Load
15	1.1.2.1	6.36	6	倉内肋骨ブラケット端部への過度の応力集中	All
16	1.1.4.2	6.36	6	クロスデッキへの過度の波浪衝撃圧	All
17	2.2.4.2	6.36	6	船首部外板構造に作用する過度の波浪衝撃圧	All
18	1.2.4.3	6.31	6	バラスト水交換時のバラストタンクにおける過度の水圧	WBE
19	4.1.1.	6.31	6	錨鎖管への水の進入	All
20	1.1.2.7	6.29	6	ハッチコーミング端部ブラケットへの応力集中	All

表-4.5 費用対効果を評価することとしたリスク低減対策(RCO)のリスト

No.	Application	Contents
10	新船	海上人命安全条約第 XII 章+IACS 統一規則 S21
10A		海上人命安全条約第 XII 章
10B		IACS 統一規則 S21
20A 20B	現存船(15年)	海上人命安全条約第 XII 章(A:隔壁の交換 / B:補強)
11	新船	150m 以下のバルクキャリアへの RCO10 の適用
21	現存船(15年)	150m 以下のバルクキャリアへの RCO20 の適用
12	新船	比重 1.00 t/m ³ 以下の貨物を積載するバルクキャリアに対する RCO10 の適用
22A 22B	現存船(15年)	比重 1.00 t/m ³ 以下の貨物を積載するバルクキャリアに対する RCO20 の適用
23	現存船(15年)	RCO20 + 統一規則 S21
14	新船	RCO10 + ハッチカバーの安全設備の強化
24	現存船	RCO20 + ハッチカバーの安全設備の強化
15	新船	二重船側構造の適用 (全貨物倉)
25A 25B	現存船(15年)	二重船側構造の適用 (A:全 / B:1 番 2 番貨物倉)
16	新船	倉内肋骨の腐食予備厚の増加 (全貨物倉)
51	新船及び現存船	貨物倉の腐食の制御 (10年毎の再塗装) (全貨物倉)
52	新船及び現存船	貨物倉の腐食の制御 (20年毎の再塗装) (全貨物倉)
53	新船及び現存船	最適航路の選択

表-4.6 リスク低減対策(RCO)によるリスク低減量のまとめ

RCO ID	ESP 導入後	SOLAS XII 適用後	備考
RCO10:海上人命安全条約第 XII 章 + IACS 統一解釈 S 21	1.40 x 10 ⁻¹	---	
RCO11:小型のバルクキャリアへの RCO10 の適用	1.46 x 10 ⁻¹	---	
RCO15:二重船側 (全貨物倉)	1.47 x 10 ⁻¹ (2.27 x 10 ⁻¹)	5.03 x 10 ⁻²	()内の数値は Small Handy の値
RCO16: 倉内肋骨の腐食制御(腐食代増)	8.62 x 10 ⁻² (1.14 x 10 ⁻¹)	3.07 x 10 ⁻²	同上
RCO51: 倉内肋骨の腐食制御(塗装管理強化)	7.46 x 10 ⁻² (9.84 x 10 ⁻²)	2.65 x 10 ⁻²	()内の数値は Small Handy の値
RCO52: 倉内肋骨の腐食制御(切り替え強化)	8.31 x 10 ⁻² (1.10 x 10 ⁻¹)	2.95 x 10 ⁻² / 6.66 x 10 ⁻²	同上
RCO20: 現存船に対する Ch.XII	4.70 x 10 ⁻²	---	
RCO21: 小型のバルクキャリアへの RCO20 の適用	8.43 x 10 ⁻²	---	
RCO23: 現存船に対する S21	5.92 x 10 ⁻³	4.44 x 10 ⁻³	Handy BC のみに対する値
RCO25A: 現存船に対する二重船側化 (全貨物倉)	1.08 x 10 ⁻¹ (1.81 x 10 ⁻¹)	3.77 x 10 ⁻²	()内の数値は Small Handy の値
RCO25B: 現存船に対する二重船側化 (1 番 2 番貨物倉)	6.00 x 10 ⁻² (9.69 x 10 ⁻²)	2.09 x 10 ⁻² / 4.81 x 10 ⁻²	同上

表-4.7 RCO の費用対効果 (GCAF) のまとめ

GCAF (Million US\$)	新船	現存船	
	新船適用 RCO	現存船適用 RCO (XII 章新船要件適用船)	現存船適用 RCO (XII 章現存船要件適用船)
1 未満	RCO16: 倉内肋骨の腐食制御 (腐食代増加) (US\$ 0.7 million per averted fatality)	Nil	Nil
1-3	Nil	Nil	RCO52: 倉内肋骨の腐食制御 (切り替え強化) (US\$ 2.3 million per averted fatality)
	Nil	Nil	RCO51: 倉内肋骨の腐食制御 (塗装管理強化) (US\$ 2.9 million per averted fatality)
3-10	RCO52: 倉内肋骨の腐食制御 (切り替え強化) (US\$ 5.4 million per averted fatality)	RCO52: 倉内肋骨の腐食制御 (切り替え強化) (US\$ 5.4 million per averted fatality)	Nil
	RCO51: 倉内肋骨の腐食制御 (塗装管理強化) (US\$ 6.8 million per averted fatality)	RCO51: 倉内肋骨の腐食制御 (塗装管理強化) (US\$ 6.8 million per averted fatality)	Nil
10 以上	RCO15: 二重船側化 (US\$ 15.9 million per averted fatality)	RCO25: 二重船側化 (US\$ 53.1 million per averted fatality)	RCO25: 二重船側化 (US\$ 22.8 million per averted fatality)
	Nil	Nil	RCO23: S21 の遡及適用によるハッチカバーの補強 (US\$ 26.3 million per averted fatality) ** ** Handy の値による。

4. 2 非常時曳航システム (ETS) 強化に関する FSA²⁶⁾⁻³⁰⁾

この節では、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^{26),27)}に対して日本側として反論を試みたもので²⁸⁾、同文書にあるリスク評価過程を吟味し、その弱点を突くことが基本となるが、同時に Step 2 のリスク評価と Step 4 の費用対効果において不確実な解析を実施しており、説得力を強化する方法を示すものとなっている²⁸⁾。

ドイツ提案では影響度として LOC になった場合の乗揚等により生じる船舶の修繕費、サルベージ船のチャーター代等の処理経費を取り、ETS により乗揚が防止されることによる費用が ETS の設置に伴い発生する費用より上回る場合に費用対効果が良いとしている。すなわち、乗揚による人命損失数が確定できないとして金銭的な損失のみを取り上げたことになる。人命損失数を考慮する場合は、GCAF を計算することになるが、この場合は、NCAF の分子部分のみの正負で費用対効果を判定する方法を取ったことになる。

ドイツによる ETS 強化の論議が正しければ得られた

結論は正当ということになるが、論議の大半は専門家判断に基づくものであるため論議の正当性は確立されていない。日本提案ではまず、LOC(Loss of Command:機関停止、海難等のため船舶の運航の制御が不可能となった状態のこと)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。最後に不確実な解析を行ってドイツの提案が非合理であることを示している。そのため、FSA の全体手続きをやり直す必要はなく、Step2 と Step4 を実施することで十分である。以下、日本提案の核となる部分を示す。

4. 2. 1 LOC の発生から曳航に至る包括的イベントツリー

図-4.9 に LOC 発生から曳航に至る包括的イベントツリーを示す。

ドイツ提案^{26),27)}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。ドイツ提案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-4.9 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、CASE2 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、CASE3 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、CASE4 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。

LOC発生 (n)	発生地点が海岸の近く(c)	曳航(Y)あるいは自力回航(N)(r)	発生時点は悪天候(錨が効かない)(w)	支援船の種類(Salvage(k),その他(1-k))	LOC船の電気系統の使用可能性(e)	ETSの有無による緊急曳航失敗確率	緊急曳航失敗頻度	運航年数	座礁時の損失(Euro)	リスク	シーケンス(CAS E)	
Y	Y(r)	Y(w)	Salvage(k)	Y(e)	f1(CASE1:Other)	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot e \cdot f1$	25	m	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot e \cdot f1 \cdot 25 \cdot m$	1		
					f2(CASE1:ETS)	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot e \cdot f2$			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot e \cdot f2 \cdot 25 \cdot m$	1'		
					N(1-e)	f1(CASE2:Other)			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f1$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f1 \cdot 25 \cdot m$	2	
						f2(CASE2:ETS)			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f2$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot k \cdot (1-e) \cdot f2 \cdot 25 \cdot m$	2'	
					Others(1-k)	Y(e)			f1(CASE3:Other)	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot e \cdot f1$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot e \cdot f1 \cdot 25 \cdot m$	3
									f2(CASE3:ETS)	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot e \cdot f2$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot e \cdot f2 \cdot 25 \cdot m$	3'
					N(1-e)	f1(CASE4:Other)			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot (1-e) \cdot f1$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot (1-e) \cdot f1 \cdot 25 \cdot m$	4	
						f2(CASE4:ETS)			$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot (1-e) \cdot f2$	$n \cdot c \cdot r \cdot w \cdot (1-k) \cdot (1-e) \cdot f2 \cdot 25 \cdot m$	4'	
					0 (by 海難審判庁裁決録)	0			0	5		
					0	0			0	6		
0	0	0	7									

図-4.9 LOC 発生時の包括的イベントツリー

4. 2. 2 ヘディングの分岐確率の推定および費用対効果解析

ヘディングの分岐確率等の表記(n,c,f1,f2)はドイツ提案と同じである。

ここで、新たなヘ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 が発生し曳航に至る頻度を求めるため、海難審判庁裁決録の情報を使用した。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-4.8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、
 $n \cdot c \cdot r = 64 / 15160 = 0.00422$

とし、n,c,rの各は求めないことにした。また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、月に1回の割合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-4.9 に示す。

表-4.10 に ETS の導入により低減されたリスク(p)を示す。f1,f2 は表-4.9 の対応する平均値である。表-4.10 より、300GT 以上の日本籍タンカーの p は DE47/INF.3²⁷⁾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-4.8 300 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)

海難	自力回航	曳航	計
爆発	0	1	1
火災	1	4	5
機関損傷	14	21	35
座礁	41	26	67
衝突	413	5	418
その他	13	7	20
計	482	64	546

表-4.9 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
回答者 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
回答者 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
回答者 3	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	0	0
回答者 4	-	-	0.6	1	-	-	0.6	1	-	-	0	0
回答者 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
回答者 6	-	-	0.333	0.667	-	-	0.333	0.667	-	-	0	0
回答者 7	-	-	0.2	0.333	-	-	0.2	0.2	-	-	0	0.1333
回答者 8	0.0976	0.0993	-	-	0.0976	0.0993	-	-	0	0	-	-
平均	0.0976	0.0993	0.5333	0.750	0.0976	0.0993	0.5333	0.7167	0	0	0	0.0333

表-4.10 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

事故シナリオ	n	c	r	w	a	k or (1-k)	e or (1-e)	f1	f2	y	m(\$)	P(\$)
2 万 DWT 未満タンカー (DE47/INF.3)	0.8	0.7	1	0.03	0.8			0.7	0.15	25	2,000,000	369,600
n・c・r>0.00422	0.00422			0.03	0.8			0.7	0.15	25	2,000,000	2,785
CASE 1	0.00422			0.03		0.9	0.5	0.0976	0.0976	25	2,000,000	0
CASE 2	0.00422			0.03		0.9	0.5	0.0993	0.0993	25	2,000,000	0
CASE 3	0.00422			0.03		0.1	0.5	0.533	0.533	25	2,000,000	0
CASE 4	0.00422			0.03		0.1	0.5	0.75	0.717	25	2,000,000	11
計 (CASE1-CASE4)												11

4. 2. 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、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。

得られた CASE 3 および CASE 4 の累積確率密度関数を図-4.10 および図-4.11 に示す。

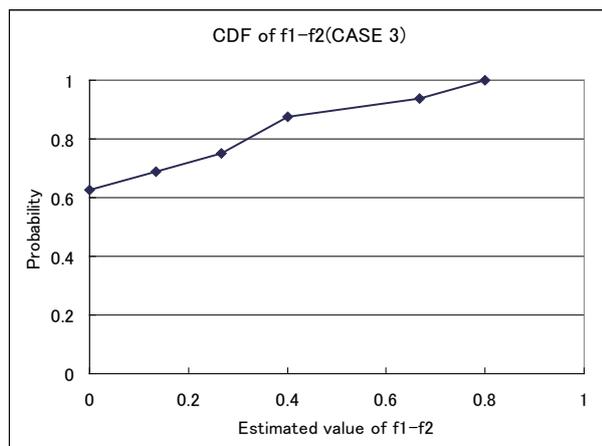


図-4.10 CASE 3 の f1-f2 の累積確率分布関数

以上より求めた CASE1~CASE4 の不確実解析の結果、すなわち各 CASE の上限と下限を表-4.11 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.3²⁷⁾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

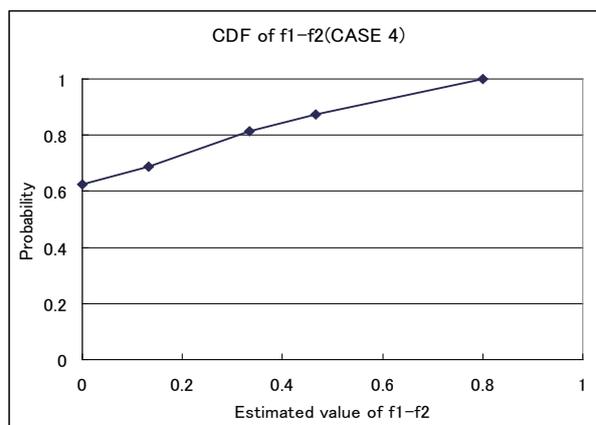


図-4.11 CASE 4 の f1-f2 の累積確率分布関数

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。

4. 2. 4 結論

以上の検討により、以下の結論が導かれる。

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。

表-4.11 f1-f2 の信頼限界推定による不確実さ解析

CASES		n c r	w	k/1-k	e/1-e	f1-f2	y	m	p			
CASE1	下限	0.00422	0.03	0.9	0.5	0	25	two millio n EUR O	0			
	平均					0.0049			14			
	上限					0.0098			28			
CASE 2	下限					0			0			
	平均					0.0050			14			
	上限					0.0099			28			
CASE 3	下限			0.1	0.5	0.1			0	25	two millio n EUR O	0
	平均								0.1667			53
	上限								0.7467			236
CASE 4	下限								0			0
	平均								0.1792			57
	上限								0.7333			232
T 下限の合計									0			
平均の合計									138			
上限の合計									525			

*仮定：CASE 1(平均)と CASE 2(平均)では f2 は f1 より f1 の 5 % だけ小さい

CASE 1(上限)と CASE 2(上限)では f2 は f1 より f1 の 19 % だけ小さい

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. 2. 5 リスク解析結果の比較

ここではドイツ提案と比較しながらリスク解析結果を検討する。

ドイツ提案の解析も日本提案の解析も、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、ドイツ提案では「乗揚事故」に至る単一のシーケンスのみを検討しているが、日本提案の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。ドイツ提案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、f1 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。

日本提案のリスク解析結果とドイツ提案のリスク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、ドイツ提案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 0.31~0.63/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 f_1 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 f_2 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 f_1 と f_2 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生じてきた。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。

4. 3 電子海図表示システム(ECDIS)強制化に関する FSA³¹⁾⁻³⁶⁾

ノルウエーはベイジアンネットワークを用いて乗揚のリスクモデルを構築し、ECDIS(Electronic Chart Display and Information System)の FSA(Formal Safety Assessment)評価を実施した³¹⁾。その結果 ECDIS は乗揚の安全対策として有効であるとの結論を導いた。日本は、同モデルの再構築および分析によりベイジアンネットワークが現在 FSA の問題点として指摘されている複数の安全対策の有効性の評価および不確かさ解析に有効であることを示し、IMO/MSC81(国際海事機関/第 81 回海上安全委員会)に報告した³²⁾。また、ENC の評価部分を同モデルに付加し、ECDIS の有効性の再検討を実施した。その結果、ENC(Electronic

Navigational Chart)の整備状況が不十分な海域を航行する船舶では ECDIS は有効でない場合があることを示して IMO/NAV52(第 52 回航行安全小委員会)に報告し³³⁾、ECDIS 搭載強制化においては ENC の整備状況の十分な考慮の必要性を各国に銘記させた。

4. 3. 1 リスクモデル

(1) 基本モデル

ノルウエーによるモデルをそのまま再構築した。対象は乗船者 5000 人の大型旅客船である。そのモデルには、乗揚に影響する種々の要素(乗組員による認知、航行支援装置による認知、海図による認知、ヒューマンエラー、組織的な対応、機器の信頼性等)とそれらの間の関係がそれぞれノードおよびリンクにより表現され、危険な状況の発生 1 回当たりの乗揚確率、乗船者の死亡頻度等が出力されるように、モデル化されている。ノード数は 69 である。次に示す ENC のモデル化部分も含め、乗揚のベイジアンネットワークを図-4.12 に示す。

(2) 乗揚シナリオ

ノルウエーの報告では、乗揚危険が発生する次の 5 つの乗揚シナリオが考慮されている。

- 1) 海岸への航路上で進路を変えない。
- 2) 海岸と並行する航路上で海岸へ進路を向ける。
- 3) 海岸と並行する航路を航行中に海岸へ流される。
- 4) 航路上に障害物があるが、回避行動を取らない。
- 5) 避航操船中に海岸へ向かう。

(3) 海域の区分

ノルウエーによるモデルでは 1 回の乗揚危険の発生における乗揚回避失敗確率および乗船者 1 人の人命損失の確率が出力であるため、対象となる大型旅客船が航行する海域における乗揚危険発生頻度を推定する必要がある。そのために、海域を 3 種類(Open waters:5 マイル以内には障害物が存在しない、Coastal waters:2 マイル以内には障害物が存在しない、Narrow waters:0.5 マイル以内には障害物が存在しない)に区分し、3.2 の乗揚シナリオ毎にその発生頻度を推定する。

(4) ENC のモデル化

乗揚の危険が発生する海岸近くの海域では港からの距離により航法が異なると仮定でき、さらに、航法毎に必要な ENC の縮尺は異なる。これらを ECDIS による認知成功確率に反映させることが必要である。そのために、(3)で言及した海域毎に、航法の異なる部分海域(航法領域(Navigation Area)と呼ぶ。(図-4.13))の発生割合を、また、航法エリア毎にそこで得られる ENC の最小確率を

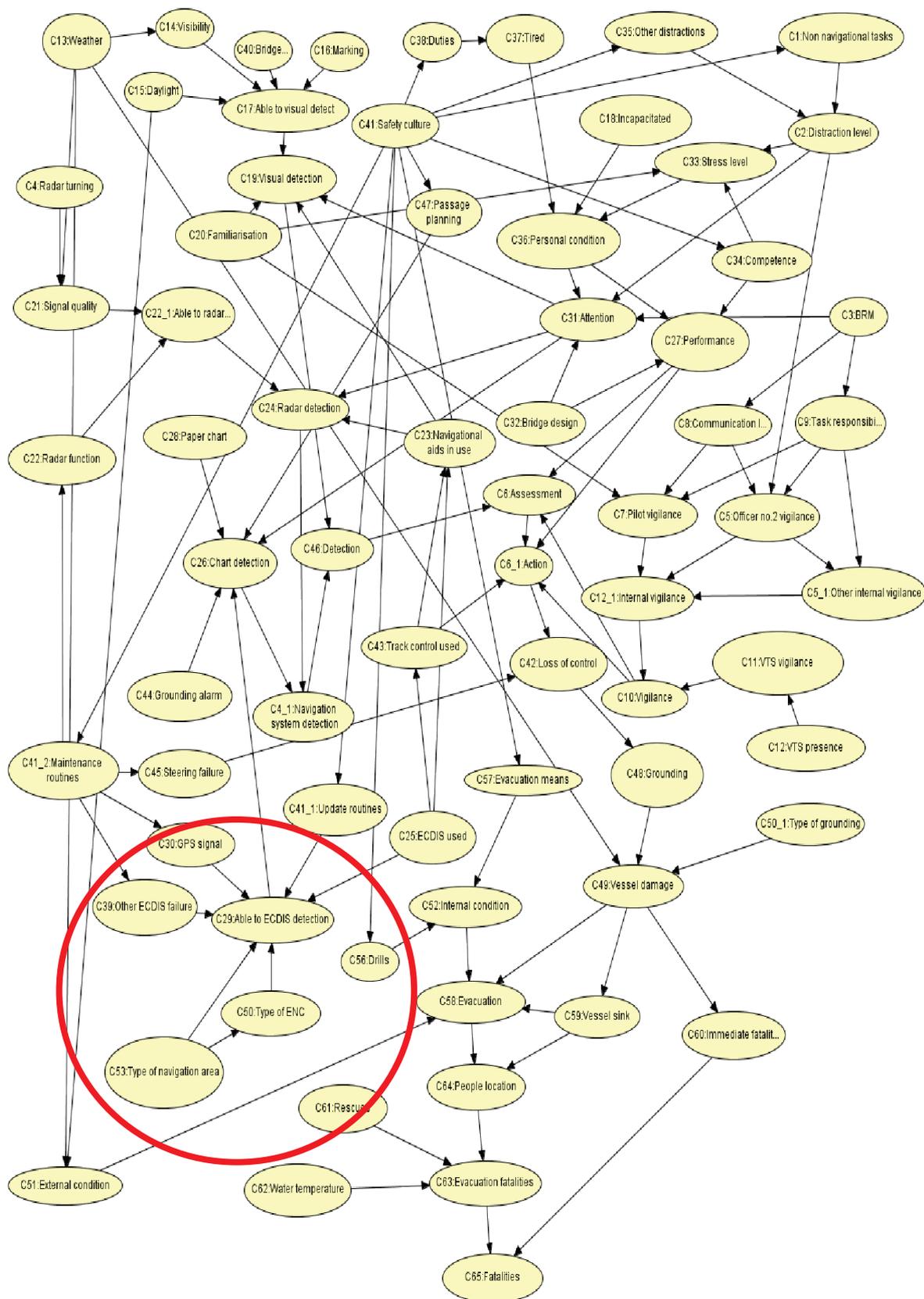


図-4.12 乗揚のベイジアンネットワークの全体モデル(赤丸内は ENC のモデル化部分)

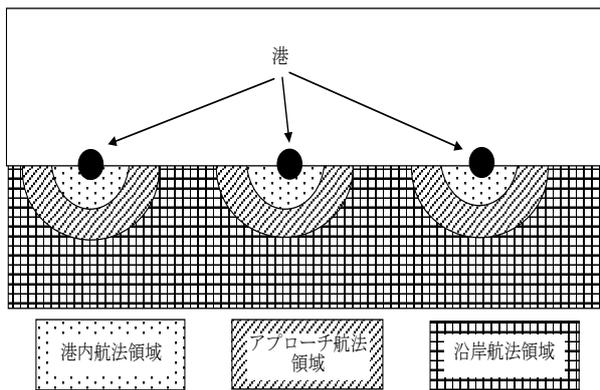


図-4.13 航法領域のモデル化

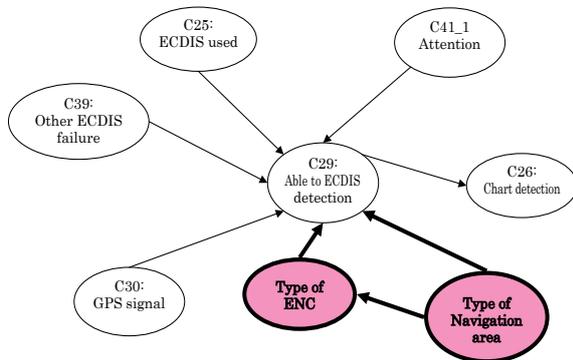


図-4.14 ENC のベイジアン・ネットワークでのモデル化

推定した。

これらのために、計2つのノードと3つのリンクを新設するとともに(図-4.14)、新たなノードの条件付確率を設定した。

4. 3. 2 貨物船航路への適用

(4)で概説した ENC のモデルを使用し、日本の港を端点とする貨物船航路(乗船者 22 人とする)に適用し、ECDIS の費用対効果の評価を行った。結果を表-4.12 に示す。Route4-2 は、Route4-1 に広島～名古屋の航路を付加した航路である。GCAFは1隻の船舶に対して1人の死者の発生を抑える場合に必要な費用を意味しており、それが300 万米ドル以下であれば費用対効果が高いとすることが IMO で合意されている。航路1～航路3までは ECDIS の費用対効果は高いと言える。航路4-1 はしきい値を4倍程度上回っているが、航路4-2 ではほぼしきい値と同程度になっている。これは ENC が完備されている海域が長ければ ECDIS の効果が高くなることを示している。このことは、ECDIS の搭載強制化に当っては ENC の整備状況を勘案すべきことを示しており、NAV52 において、ECIDS の搭載義務化にあたっては、その規則発効日と ENC 整備状況との整合性が図られるべきであるという結論になった。

4. 4 イナートガスシステム(IGS)強制化に関する FSA³⁷⁾⁻⁴²⁾

最近のケミカルタンカーの爆発事故が IMO で大きく取り上げられたため、これまで IGS の搭載が義務付けられていなかった 20,000DWT 未満のタンカーにも IGS を強制化する機運が IMO 内に高まった。しかし、IMO/MSC ではその前に IGS の 20,000DWT 未満のタンカーに強制化することを FSA で評価すべきことが定められたため、日本はそれを実施することにし、主に海難データを使用したもので、人間要素等の本格的な評価を実施していないと言う意味で予備的 FSA と

表-4.12 貨物船航路毎の ECDIS の費用対効果の評価

航路	船種	平均稼働年数	CDIS 搭載時の1隻あたり死者数(A)	ECDIS なしの場合の1隻あたり死者数(B)	1隻あたり ECDIS 搭載により減少する死者数(C=B-A)	死者数減少率(C/A)	GCAF(ECDIS 搭載に要する経費総額=6万\$(NPV))
航路1: 横浜-ラスナヌラ	タンカー	25	1.88E-2	4.65E-2	2.77E-2	60%	2.17E+06
航路2: 大分-ポートアイランド	オアキャリアー	25	1.96E-2	4.32E-2	2.36E-2	55%	2.55E+06
航路3: 神戸-ロッテルダム	コンテナ船	25	3.30E-2	6.91E-2	3.61E-2	52%	1.66E+06
航路4-1: 名古屋-ニューヨーク	自動車運搬船	25	2.73E-3	7.99E-3	5.26E-3	66%	1.14E+07
航路4-2: 広島-紀伊水道-名古屋-ニューヨーク			8.67E-3	2.70E-2	1.83E-2	68%	3.28E+06

位置付けているが、FSA ガイドラインに準拠した本格的な FSA 提案として IMO/FP(防火小委員会) に提出した。以下、その基となった報告の概要を示す。

4. 4. 1 概要

IGS 搭載の有無によるリスクの比較のため、大半のタンカーに IGS が搭載されていない 1978～1983 年(前期 6 年)の死傷者データと、SOLAS II-2 章の要求により全ての 20,000DWT 以上のタンカーに IGS が搭載されたみなされる 1990～2005 年(後期 16 年)の期間のデータの分析を行った。FSA 調査の中で使用される人命損失数および船舶要目データは、LRFP(Lloyd's Register Fairplay)によるものである。本調査で想定した「タンカー」は、油/原油タンカー、プロダクトタンカー、ケミカル・タンカーである。はじめに、その結果を列挙する。

- 1) 20,000DWT タンカーのタンク火災・爆発リスク (PLL)を比較すると、後期における PLL は前期における PLL の 18.2%であり、81.8%のリスクが削減されたことになる。これは種々の安全対策の結果によるものであり、IGS 搭載もこれに大きく寄与しているものと考えられる。
- 2) 20,000DWT 未満のタンカーに IGS を搭載することの効果を推定するために、20,000DWT 未満のタンカーの現状の貨油タンクの火災・爆発リスクに、上記の 20,000DWT 以上のタンカーにおけるリスク削減率をかけることにより、20,000DWT 未満のタンカーに IGS を設置することによるリスク削減量とした。このことは、20,000DWT 以上のタンカーの前期に比較した後期の後期火災・爆発リスクの減少はすべて IGS によって達成されたと仮定したことによる。しかしながら、上述のように、このリスク減少は IGS のみではなく、前期以後に導入された種々の安全対策の効果が総合された結果であることに注意すべきである。
- 3) また、そのようにして求めた 20,000DWT 未満のリスク削減量の推定値と 20,000DWT 未満の主な型のタンカーに搭載する IGS の設置コストからそれらのタンカー毎に IGS の Gross CAF を求めた。IGS 設置コストとして 4,000GT および 8,000GT のタンカー用が得られたので、4,000～8,000GT までのタンカーを一まとめに、同様に 8,000～20,000GT までのタンカーを一まとめにして費用対効果の解析を行った。このことは、それら 2つのグループでコスト最小を考慮したことを意味し、この結果として Cost effective でなければそれらのグループへの IGS 設置は明らかに Cost effective ではないことになる。
- 4) その結果、4,000DWT 以上で 20,000DWT 未満の

どの船型でも Gross CAF は FSA ガイドライン (MSC/Circ.1023+MEPC/Circ.392)で限界値として提案されている 300 万ドルを大幅に上回っていることが判明した。Gross CAF の最大値は 300 万ドルとされているため、20,000DWT 未満のタンカーにおいては、IGS の設置は Cost effective ではないと結論できる。

- 5) IGS 搭載により 20,000DWT 以上のタンカーの火災・爆発リスクは顕著に低下していると考えられるが、現時点では IGS 未搭載船が多数を占めると思われる 20,000DWT 未満のタンカーは、すべてが IGS を搭載していると思われる 20,000DWT 以上のタンカーより火災・爆発リスクは若干低い。
- 6) さらに 20,000DWT 未満のタンカーは 20,000DWT 以上のタンカーに比べて 1 航海が短く、1 年あたりのタンク火災・爆発のハザードの発生回数が 20,000DWT よりもかなり多いと思われる。したがって、現状の 20,000DWT 未満のタンカーは 20,000DWT 以上のタンカーに比べて 1 ハザードの発生時における火災・爆発のリスクが大幅に低いことを意味している。
- 7) 以上より、IGS は 4,000DWT 以上で 20,000DWT 未満のタンカーでは Cost effective でなく、その搭載強制化は正当化されないが、20,000DWT 以上、未満のタンカーとも海難全体のリスクは ALARP 領域にあるため、費用対効果の高い RCO があれば両者に対してその適用は正当化され得る。しかし、IIWG の報告にもあるように、静電気の逐電等のハザードの発生に係る最も重要な要素は、確立された作業手順に従わない等のヒューマンエラーであり、まず、その改善を目的とした RCO を検討し、それらを FSA で評価すべきと思われる。

4. 4. 2 問題定義

- (1) 本 FSA の目的
20,000DWT 未満のタンカーへの IGS の搭載の正当性の評価
- (2) 関連規則
SOLAS II-2 章 4.5.5 規則
- (3) 一般化モデル
・対象船舶： 20,000DWT 未満の油、プロダクト、ケミカルタンカー(LPG,LNG を除く)

4. 4. 3 背景情報

- (a) 最近の情勢
第 81 回海上安全小委員会では、Inter-Industry Working Group (IIWG) からのケミカル及びプロダクトタンカーにおける爆発事故の報告

(MSC81/INF.8³⁷) が検討された。IIWG は、当該事故の主要な原因はプロシジャーに従わなかったことであるとしてヒューマンファクター・タスクグループを設けたことを報告するとともに、追加の安全措置とし、20,000DWT 未満の新造ケミカルタンカーと新造プロダクトタンカーにイナート・ガスを適用する SOLAS 改正の検討を提案した。

同委員会は、現存タンカーへの IGS の搭載に関し、決定の前に、FSA とコストベネフィット分析を実施すべきこととし、FP51 と DE50 に検討を支持した。このため、日本は、イナートガスシステムの搭載に関する FSA を実施した。以下はその報告である。

IIWG の報告では最近ケミカルタンカーの事故が増加しているとしているが、IIWG が解析した事例は過去の事例数が少ないため、最近の事故の傾向が強調される傾向がある。

(b) 海難データおよび母集団データ

1978～2005 年(28 年間)の LRFPL(Lloyd's Register Fairplay)社による海難および船舶データを使用した。図-4.15 に LRFPL 船舶データに基づく 500GT 以上のタンカーの隻数の推移を示す。

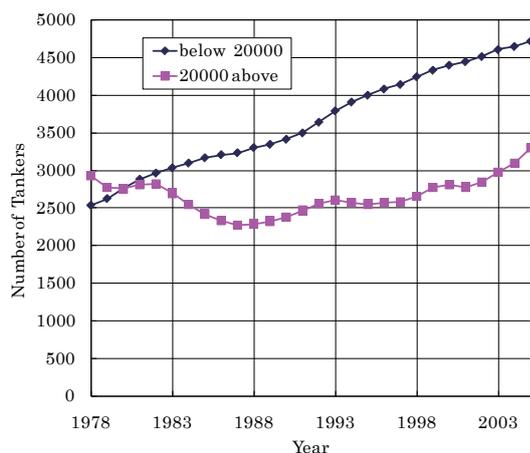


図-4.15 500GT 以上のタンカー隻数の時系列

4. 4. 4 方法

IGS が適用されていないと思われる期間として 1978～1983 年の 6 年間(前期)、また、20,000DWT 以上のタンカーの全船に SOLAS II-2 章の要求により IGS が適用されていると思われる期間として 1990～2005 年の 16 年間(後期)を考慮し、それらの間の期間における 20,000DWT 以上のタンカーの貨油タンクでの事故の人命損失リスクの減少値を求め、リスク減少はすべて IGS の導入によるものと仮定して後期における 20,000DWT 以上のタンカーのリスク減少率を求める。続いてそのようにして求めたリスク減少率を 1990～2005 年の 20,000DWT 未満のタンカーの貨油タンクでの事故の人命損失リスク

に乘じそれを全火災・爆発事故リスクから差引くことにより同期間の 20,000DWT 未満のタンカーの全火災・爆発事故リスクと推定する。このようにすることにより、IGS によるリスク減少値を最大に評価したことになる。

また、20,000DWT 未満のタンカーの IGS 装置のコストとして、20,000DWT 未満のタンカー船型として代表的なもの 2 種類(4,000DWT 型、8,000DWT 型)に対する IGS の新船における設置コストのみを考慮する。

以上より得られるリスク減少値およびコストから船型毎に Gross CAF を求め、限界値(300 万ドル)と比較して費用対効果を判断する。その結果から 20,000DWT 未満のタンカーへの IGS の強制搭載の正当性を判定する。

4. 4. 5 FSA 各段階の記述

(1) STEP 1 : ハザードの特定

LRFPL データより、IGS が効果を示すとみなされる、貨油タンクの火災・爆発をもたらす事象として以下のものがある。

- 1) 貨油タンク上での溶接
- 2) 積荷・揚荷
- 3) タンク洗浄
- 4) ガスフリー
- 5) 落雷
- 6) 衝突
- 7) 不明(運航中、停泊中)

爆発物を除く事象で貨油タンクの爆発をもたらす要因としては、1)は可燃性蒸気への熱の供給があり、それ以外の事象には、要因として静電気が係っている。それらの事象の発生、すなわち作業の遂行にあたっては静電気を蓄積させないような対策が採られている。しかしながら、作業過程において何らかのヒューマンエラーが入り、静電気の発生・放電に至り、爆発、火災が生じている。

表 4.13 より、20,000DWT 未満のタンカーでは、1978-1983 年では、全海難発生数は 1025 件、人命損失数は 96 人であり、対応する母集団は、16,799 隻・年である。また、同期間中で、20,000DWT 以上のタンカーでは、全海難発生数は 2255 件、人命損失数は 524 人であり、対応する母集団は、16,807 隻・年である。

また、20,000DWT 未満のタンカーでは、1978-1983 年では、全火災・爆発事故発生数は 97 件、人命損失数は 86 人である。また、20,000DWT 以上のタンカーでは、全火災・爆発事故発生数は 240 件、人命損失数は 485 人である。

同様に表-4.13 より、20,000DWT 未満のタンカーでは、1978-1983 年では、貨油タンクでの火災・

爆発事故発生数は 29 件、人命損失数は 67 人である。また、20,000DWT 以上のタンカーでは、貨油タンクでの火災・爆発事故発生数は 51 件、人命損失数は 328 人である。

これより、大半のタンカーが IGS を搭載していないと想定される期間においては、20,000DWT 未満、以上とも火災・爆発事故の発生件数は全海難の 10% 程度であるが、人命損失数はどちらも全海難の 90% 程度であり、火災・爆発事故はタンカーの主要リスク要因であることがわかる。また、貨油タンクにおける火災・爆発事故件数はどちらも火災・爆発事故の 20% 強であるが、人命損失数は、20,000DWT 未満では全火災・爆発事故の 78%、20,000DWT 以上では全火災・爆発事故の 68% であり、貨油タンクにおける火災・爆発事故は火災・爆発事故における主要リスク要因であることがわかる。

また表-4.13 より、20,000DWT 未満のタンカーでは、1990-2005 年では、全海難発生数は 2175 件、人命損失数は 358 人であり、対応する母集団は、106,550 隻・年である。また、同期間中で、20,000DWT 以上のタンカーでは、全海難発生数は 2064 件、人命損失数は 374 人であり、対応する母集団は、58,058 隻・年である。

さらに表-4.13 より、20,000DWT 未満のタンカーでは、1978-1983 年では、全火災・爆発事故発生数は 248 件、人命損失数は 226 人である。また、20,000DWT 以上のタンカーでは、全火災・爆発事

故発生数は 261 件、人命損失数は 342 人である。また、20,000DWT 未満のタンカーでは、1990-2005 年では、貨油タンクでの火災・爆発事故発生数は 68 件、人命損失数は 128 人である。また、20,000DWT 以上のタンカーでは、貨油タンクでの火災・爆発事故発生数は 63 件、人命損失数は 155 人である。

これより、20,000DWT 以上のタンカー全船が IGS を搭載していると想定される期間においては、20,000DWT 未満の貨油タンクの火災・爆発事故の発生頻度の発生頻度(1.02E-3)は、1978~1983 年における発生頻度(1.73E-3)の約 60% に減少しているが、20,000DWT 以上のタンカーにおいては、3.03E-3~1.42E-3 へと約 46% に減少している。これは、前期以降に導入された種々の安全対策、特に IGS の効果によるものと考えられる。さらに、貨油タンクにおける火災・爆発事故の発生頻度は全海難の 3% 程度であるが、人命損失数はどちらも全海難の 30% 以上であり、現状でも貨油タンクの火災・爆発事故は 20,000DWT 以上、未満ともタンカーの主要リスク要因であることがわかる。

図-4.16 に最近(1991~2005 年)のタンカーの貨油タンク火災/爆発事故発生件数、人命損失数を 3 年毎の期間に分けて示す。それらを比較すると、20,000DWT 未満、以上のタンカーとも、貨油タンクの火災/爆発事故発生頻度、人命損失数にほと

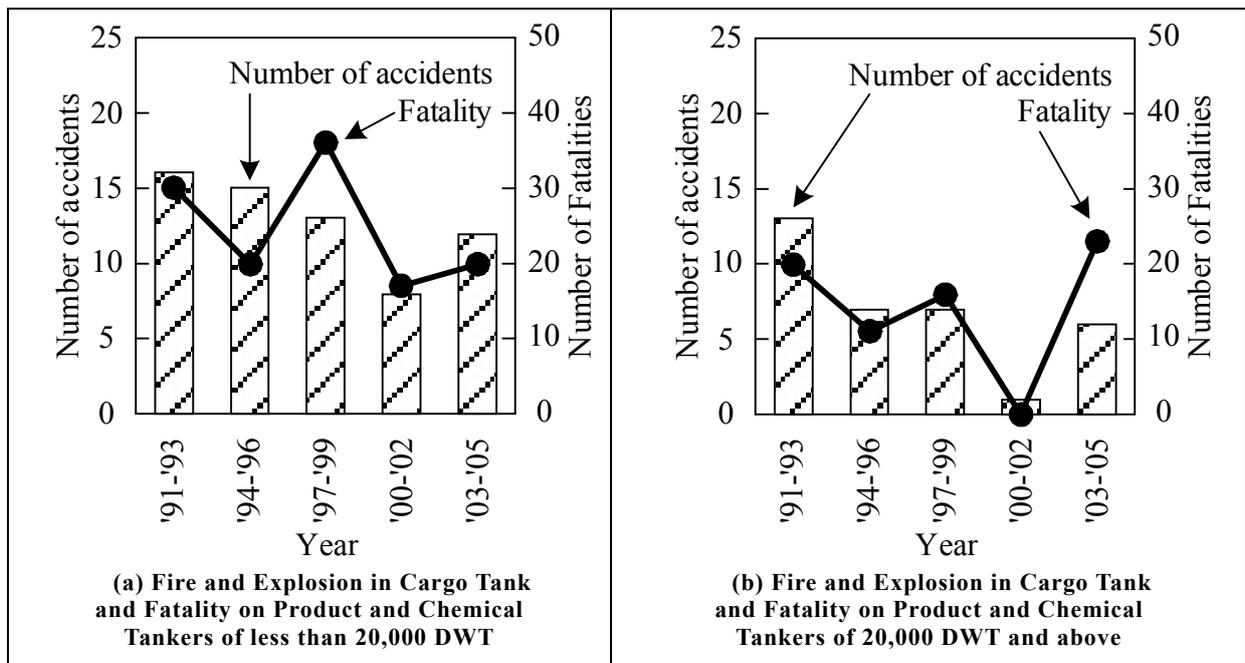


図-4.16 貨油タンク火災・爆発事故の発生件数および人命損失数(1991-2005 LRF データより)

表-4.13 リスク評価結果

期間	DWT	母集団の大きさ	対象海難	事故件数	発生頻度(1/隻年)	人命損失数	PLL	Individual Risk(1/Year)
1978～1983	20,000トン未満	16,799	全海難	1025	6.10E-2	96	5.71E-3	3.01E-4
			火災/爆発	97	5.77E-3	86	5.12E-3	2.69E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	29	1.73E-3	67	3.99E-3	2.10E-4
	4,000～8,000	3,927	全海難	247	6.29E-2	60	1.53E-2	8.04E-4
			火災/爆発	27	6.88E-3	50	1.27E-2	6.70E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	8	2.04E-3	36	9.17E-3	4.82E-4
	8,000～20,000	3,084	全海難	285	9.24E-2	10	3.24E-3	1.71E-4
			火災/爆発	27	8.75E-3	10	3.24E-3	1.71E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	7	2.27E-3	10	3.24E-3	1.71E-4
	20,000トン以上	16,807	全海難	2255	1.34E-1	524	3.12E-2	1.64E-3
			火災/爆発	240	1.43E-2	485	2.89E-2	1.20E-3
			火災/爆発(荷油タンク)	51	3.03E-3	328	1.95E-2	8.13E-4
1990～2005	20,000トン未満	66,426	全海難	2141	3.22E-2	354	5.33E-3	2.96E-4
			火災/爆発	246	3.70E-3	224	3.37E-3	1.87E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	68	1.02E-3	128	1.93E-3	1.07E-4
	4,000～8,000	18,597	全海難	612	3.29E-2	57	3.07E-3	1.70E-4
			火災/爆発	67	3.60E-3	55	2.96E-3	1.64E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	21	1.13E-3	24	1.29E-3	7.17E-5
	8,000～20,000	10,972	全海難	569	5.19E-2	137	1.25E-2	6.94E-4
			火災/爆発	74	6.74E-3	87	7.93E-3	4.41E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	17	1.55E-3	46	4.19E-3	2.33E-4
	20,000トン以上	43,588	全海難	2050	4.70E-2	370	8.49E-3	3.86E-4
			火災/爆発	259	5.94E-3	342	7.85E-3	3.57E-4
			火災/爆発(荷油タンク)	62	1.42E-3	155	3.56E-3	1.62E-4

んど変化がなく、1991年以降これまでの期間において、貨油タンク火災/爆発が増加傾向にあるというこ

とは言えないと思われる。しかし、1999-2002年の期間に比べるとその後の2003-2005年の期間

の事故および人命損失数とも増加している。しかしながら、2003-2005年の事故数、人命損失数の絶対値は1991年以降の平均的な値と比べて大差ない。

(2) STEP 2 : リスク評価

表-4.13に20,000DWT以上、未満のタンカーの前期(1978-1983)、後期(1990-2005)のPLLおよび個人リスクを全海難、火災・爆発事故、および貨油タンクにおける火災/爆発事故について示す。

表-4.13より、20,000DWT未満の貨油タンクにおける火災/爆発事故のPLLは、1990~2005年の値(1.93E-3)は1978~1983年の値(3.99E-3)の48%に減少していることがわかる。これに対して、20,000DWT以上では、1990~2005年の火災/爆発のPLL(3.56E-3)は1978~1983年の値(1.95E-2)の18.2%と桁違いに減少している。20,000DWT以上における大幅なPLLの減少はIGSの効果が大きいことを示していると言えよう。しかし、1990~2005年では20,000DWT未満のPLLおよび個人リスクとも20,000DWT以上のPLLの半分程度でありIGSがほとんど搭載されていないと思われる20,000DWT未満のタンカーの方が全船に搭載されている20,000DWT以上のタンカーよりリスクが大幅に低いことになる。20,000DWT未満の全海難の個人リスクは 1.87×10^{-4} であり、表-4.15における文献¹⁴⁾にある目標リスクより大きく、かつALARP領域内であるため、Cost-effectiveであれば更なるRCOの適用を考慮することは正当化される。同様のことが20,000DWT以上のタンカーにも言える。

なお、個人リスクを求める際に使用した1船当りの乗組員数は表-4.16のように仮定した。

(3) STEP 3 RCO(Risk Control Options)

IGSを20,000DWT未満のタンカーのRCOとして考慮し、IGSによるリスク減少効果を推定する。

表-4.13より、20,000DWT以上のタンカーでは、PLLの改善率が81.8%ほどであり、PLLの減少はおそらくIGSの効果が大きいと仮定されるため、IGSは効果的なRCOであることが実証されたと言えよう。

表-4.13および表-4.14より、IGS適用後の20,000DWT未満の貨油タンク火災/爆発事故のPLL、個人リスク、現状と比較したPLLの減少値、稼働期間を25年間とした場合の救助可能な人命数の推定値は表-4.17のようになる。同様にして求めた4,000~8,000DWTおよび8,000~20,000DWTのタンカーのPLL等の推定値も表-4.17に示す。

(4) STEP 4 費用対効果解析

IGSを搭載する場合にかかる費用を計算し、GCAFを求める。

$$GCAF = \Delta C / \Delta R$$

ΔC : IGSを搭載する際にかかる費用(1隻

のライフサイクルにおける)この中には初期費用、メンテナンス費用等が含まれるが、ここでは設置に要する費用のみ考慮する。

ΔR : IGSを搭載することによるリスク減少値(1隻のライフサイクルで何人救えるか)

表-4.18に、4,000~8,000DWTおよび8,000~20,000DWTのタンカーへのIGSの設置コストおよびGCAFを示す。

IGSのリスク減少値として、1978~1983年におけるPLLと1990~2005年におけるPLLの差を使用しており、PLLの減少をもたらす要因はIGS以外にもあるかも知れないため、IGSのみによるPLL減少値はさらに小さくなる可能性が高い。

以上より、GCAFの最大値は300万ドルとれているため、4,000DWT以上で20,000DWT未満のどの船型でもGCAFは300万ドルを大幅に上回っており、20,000DWT未満のタンカーにおいては、IGSはCost effectiveではないと結論できる。

(5) STEP 5 意思決定のための提案

以上より、IGSを4,000DWT以上で20,000DWT未満のタンカーへ強制化することは正当化されないと結論可能と思われる。しかし、20,000DWT以上、未満ともタンカーの現状の火災/爆発の個人リスク(20,000DWT未満では 1.97×10^{-4} 、20,000DWT以上では、 3.57×10^{-4})はALARP領域にあるため、IGS以外に費用対効果の高いRCOについて検討すべきと思われる。

4. 4. 6 最終提案

- 1) 4,000DWT以上で20,000DWT未満のタンカーへのIGSの強制搭載化は正当化されない。
- 2) しかし、20,000DWT未満のタンカーの個人リスクはいまだにALARP領域にあるため、費用対効果の高いRCOの検討を実施すべきと思われる。
- 3) 同様に20,000DWT以上のタンカーの現状の個人リスクもALARP領域にあるため、費用対効果の高いRCOの検討を実施すべきと思われる。
- 4) IIWGの報告にもあるように、静電気の逐電等のハザードの発生に係る最も重要な要素は、確立された作業手順に従わない等のヒューマンエラーであり、まずその改善を目的としたRCOを検討し、それらをFSAで評価すべきと思われる。

表-4.14 20,000DWT以上のタンカーの貨油タンクにおける火災/爆発リスク(PLL)の減少

DWT	PLL (1978-1983) (A)	PLL (1990-2005) (B)	PLL削減 率 (B/A)
2万トン以上	1.95E-2	3.56E-3	0.818

表-4.15 個人リスクの限界値および目標値 (MSC72/16)

	最大許容リスク (1/年)	目標リスク (1/年)	無視可能 リスク (1/年)
乗組員	10E-3	10E-4	10E-6
乗客	10E-4	10E-4	10E-6

表-4.16 調査期間における乗組員数

期間	1978~1983		1990~2005	
	2万トン未満	2万トン以上	2万トン未満	2万トン以上
タンカーの大きさ (DWT)				
乗組員数	19	24	19	22

表-4.17 20,000DWT未満のタンカーのIGS設置による火災/爆発リスク減少の推定値

DWT	PLL (人/隻年) (1990~2005)	個人リスク (1/年) (1990~2005)	リスク削減 ΔR (人/隻年)	防止可能な人命損失数 (稼働期間中) ΔR*25 (人/隻)
~2万	1.93E-3	1.07E-4	1.58E-3	3.94E-2
4千~8千	1.29E-3	7.17E-5	1.06E-3	2.64E-2
8千~2万	4.19E-3	2.33E-4	3.43E-3	8.57E-2

表-4.18 IGS設置に伴うGCAF (100万米\$ (1\$/110円))

DWT	IGS導入経費	GCAF
8千~2万	0.82	9.5
4千~8千	0.44	16.6

5. FSAの問題点とその解決方法について

バルクキャリアの安全性に関する英国を中心にし

た欧州共同で実施した FSA と日本が実施した FSA でほとんど同じデータを使用しながら結論が異なるという問題、単一 RCO のリスク削減効果が推定できても複数 RCO のリスク削減効果の推定は困難であること、また、解析結果に不可避の不確かさなど FSA には解決困難な問題がある。ここではそれらの問題の解決方法につき検討する。

5.1 複数RCOのリスク削減効果の推定

単一の RCO のリスク削減効果が妥当な方法により見積もられていても、それらが複数導入された場合のリスク低減効果は単一の場合の和ではなく、その推定は困難で専門家判断を用いるとしてもかなりの恣意性が混入する。バルクキャリアの FSA において英国は費用対効果が良いとされた RCO の大部分を導入すべきであると主張し、ハッチカバーの強度強化を除いて、ほぼその主張が実現することとなった。同 FSA の審議段階で日本は複数 RCO の効果の推定について疑問を提起した⁴³⁾が、受け入れられなかった。その後、当所はベイジアンネットワークを使用することにより、個々の RCO と同様の方法で合理的に複数 RCO のリスク低減効果が推定できることを示し、IMO に文書を提出した。その文書が評価されて FSA ガイドラインの本文にリスクの定量化に有効な方法としてベイジアンネットワークが明記されることとなった。

ベイジアンネットワークでは複数の要因が影響しあって決定される事故発生確率あるいは事故時の被害の程度の発生確率が、ノード間の条件付確率の設定が合理的であれば、ベイジアンネットワークのシステムが確率演算を正しく行うために各ノードに定義されている状態の発生確率が正しく評価でき、その結果リスク削減効果を正しく推定できる。その例として、乗揚に対する RCO として ECDIS とトラックコントロールシステム (TCS:Track Control System)の組合せがある。通常トラックコントロールは ECDIS の使用が前提となっているが、それらが独立に使用できると仮定した場合の人命リスク減少効果を表-5.1 に示す。

表-5.1 より、それらが独立の場合は TCS と ECDIS が同程度の効果があり、それぞれ 25 人と 20 人の救出効果があるが、それらを併用した場合の救出効果は単一の値を加えたものではなく、単一の場合より若干高いものとなるに過ぎないことがわかる。ベイジアンネットワークで RCO を含めて全体モデルを記述することの有効性がこの例から明らかである。

なお、乗揚危険発生頻度はノルウェーによる値を使用した。

表-5.1 ECDIS と TCS が独立に使用可能な場合 (TCS の使用が ECDIS の使用に依存しない場合)

ECDIS の使用の有無	TCS の有無	個人リスク (1/年)	人命損失数(1/隻) (A)	防止され得る人命損失数 (1/隻) (A-A0)
有	有	1.57E-5	2.35	-25.9
	無	5.28E-5	7.92	-20.3
無	有	1.61 E-5	2.42	-25.8
	無	18.8 E-5	28.2(A0)	0

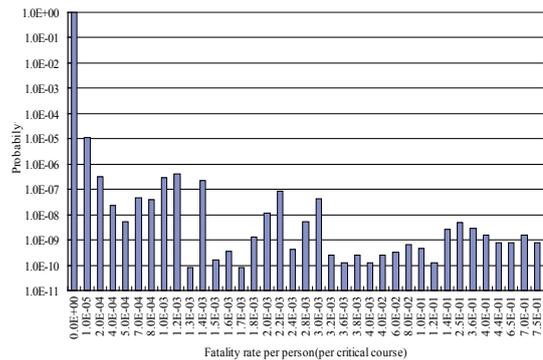


図-5.1 乗揚時死亡確率の推定時の不確実さ

5. 2 不確実さ解析

FSA の問題点としてさらに不確実さの混入がある。イベントツリーのヘディングの分岐確率は、多数の実績に基づかず、専門家判断により推定される場合にはかなりの幅の不確実さが入ってくる。そのようなヘディングが複数ある場合、得られる個々のシーケンスの発生頻度あるいは確率には大きな不確実さが存在することになる。そのような不確実さは、モンテカルロシミュレーションあるいは数値積分により推定することができる。ここでは、ベイジアンネットワークによる乗揚モデルを用いて、ベイジアンネットワークでも不確実さ解析が可能であることを示す。この結果はベイジアンネットワークによる複数 RCO のリスク削減効果の評価とともに IMO に報告された。

このモデルでは、乗船者 1 人が避難に失敗して死亡する確率および即死の確率が定義され、それらの和をとって死亡確率としており、それぞれのノードにおける死亡確率を中心としてその前後に適当な間隔内に死亡確率が分布すると仮定して、不確実さ解析を実施した。

その結果乗揚時の死亡確率は広い範囲の死亡確率を出力することが分かった(図-5.1)。その単純平均値は 7.77E-9 標準偏差は 5.26E-5 である。これより、標準偏差は 10 の-5 乗オーダーで平均値の絶対値に比較すると、桁違いに大きく無視できない値と言える。死亡確率のノードに設定した不確実さの幅は死亡する要因の組合せ毎に絶対値の 50%に満たないが、結果としてかなり大きくなるため、不確実さを十分に考慮する必要があることがわかる。この検討によりベイジアンネットワークが不確実さの取扱にも有効であることが示された。

5. 3 原因不明事故の扱い^{44), 45)}

4.1.1(3)で述べたように、バルクキャリアの安全性に関する FSA で、日本による F S A 結果と英国

主導で欧州諸国が実施した結果の 2 つ対立した理由の 1 つは、それらで使用されている海難データは双方とも同じ LRFP(Lloyds Register Fairplay) によるデータを使用しているながら、バルクキャリアの構造損傷事故の主要な原因の分類に大きな違いがあったためです。この主たる理由は原因不明な事故の原因推定にある。

この節では、それらの違いを乗り越えるべく開発した原因不明事故の原因推定法の概要を紹介し、それをバルクキャリアの原因推定に用いた結果を示す。

5. 3. 1 問題点

英国は、MSC76 会議の前に提出予定の提案文書の草稿を各国に送付し、その中で LRFP のデータを用いてバルクキャリアの原因不明事故はすべてハッチカバー関連事故であり、特に青波の垂直荷重によるハッチカバー損傷が危険であるため、ハッチカバー垂直荷重強度の強化が必要であると主張してきた。その根拠は図-5.2 にあるバルクキャリアの主要な事故原因であるハッチカバー関連事故および船側損傷であると明確に原因が判明している事故の全損事故数と、全損事故のうち人命損失(死者および行方不明者を含む)が多数の事故数のグラフの形(バルクキャリア大きさ別グループ毎:①Cape Size 型、②Panamax 型、③Handymax 型、④Handysize 型)が、原因明確なハッチカバー関連事故の形と、原因不明事故を全てハッチカバー事故とした場合とがよく似ているという定性的なものである。しかし、原因明確な船側損傷事故および側原因不明事故を全て船側損傷に帰した同様のグラフの形も良く似ているいわざるを得ない。(図-5.2-(c)、(d))

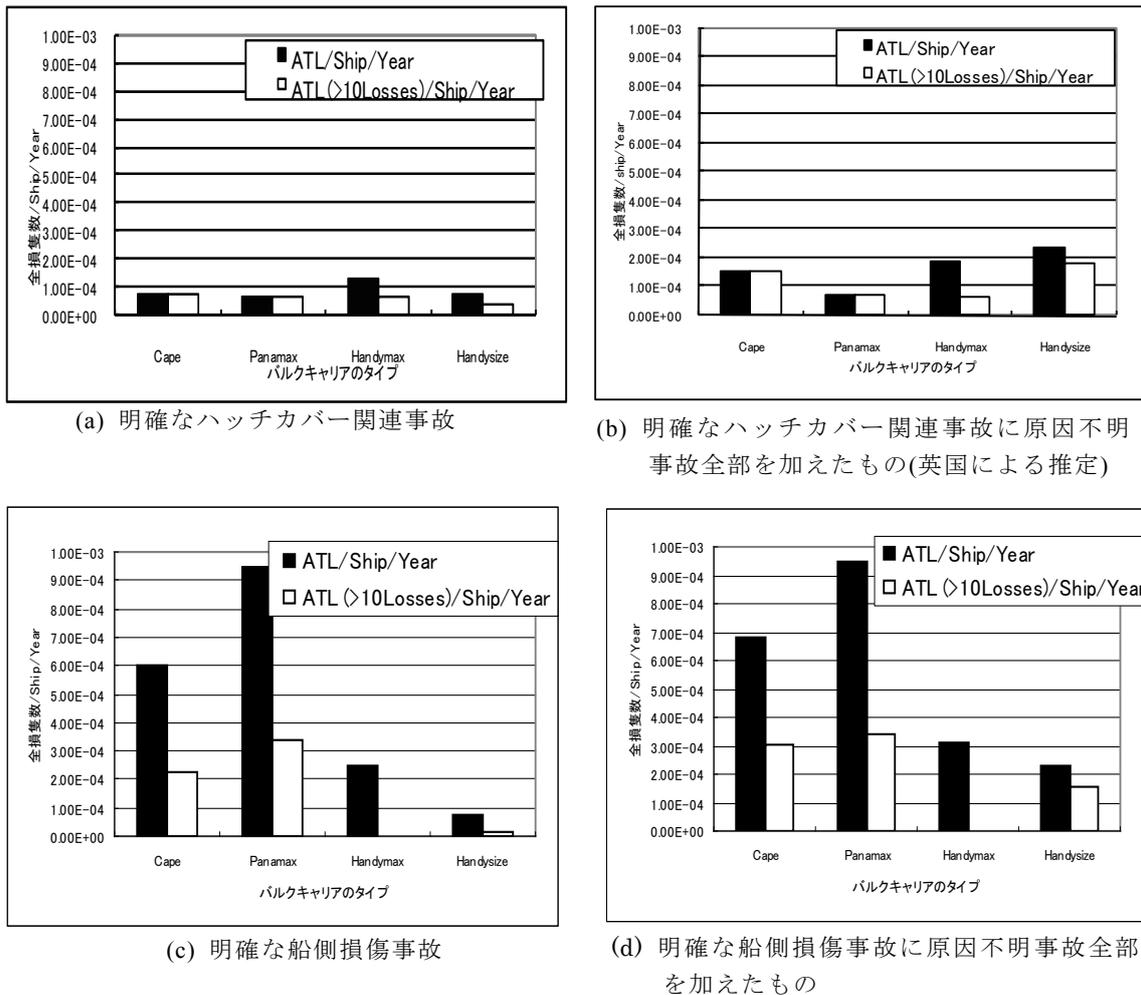


図-5.2 原因不明事故の原因推定の不確実さ

5.3.2 手法概要

事故原因の種類が複数あり、原因の種類毎に、原因明確な事故がそれぞれの種類につきある件数存在するが、原因不明の事故があり、それらの原因の特定は不可能とする場合、原因明確な事故件数と不明な事故件数から、真の事故件数を確率的に予測することが可能である。

この問題は以下のようにモデル化される。

事故の原因が数種類あり、それぞれの事故は死者・行方不明者の多い重大事故と、それほど死者・行方不明者が多くない事故とに分けられ、原因不明になる確率は、原因に拠らず事故の重大さによって変わると仮定する。得られている情報は、原因が明確である事故において、重大な事故、重大でない事故、原因不明な事故において、重大事故の総数、および重大でない事故の総数および各事故の死者・行方不明者である。このような情報があつた場合、各原因における重大な事故数、重大でない事故数、死者・行方不明者数の最も確からしい値をどのように求めることができるか。

このようにモデル化し、ベイズの定理を使用して、得られている情報から、それらの値の確率密度関数を求め、得られた確率密度関数から各種の事故の件数、死者・行方不明者数の点推定(平均値)を行うことができる。

5.3.3 バルクキャリア事故の原因推定への応用

表-5.2にLRFP海難データから得られたバルクキャリアの原因別事故数および人命損失数を示す。上記の方法により、得られた結果を表-5.3および図-5.3に示す。それらより、英国の主張は確率的にほとんど根拠がないことが明白である。英国の代表団はMSC76開催前の日本との会合においてその結果を見てその合理性を認め原因不明事故をすべてハッチカバーの損傷が原因であるとするには無理があることを納得した。しかし最終的なIMOへの提案文書⁴⁶⁾ではそれまでの態度を変えず原因不明事故はすべてハッチカバー損傷が原因であるとしたが、原因推定には大幅な不確実さが

あることは認め、原因推定の違いにより大幅な PLL および NCAF の違いを生じることを示している。

6. おわりに

FSA の提案当初からこれまでの IMO における FSA による基準審議について概観するとともに、当所の貢献について紹介した。FSA の暫定ガイドラインが審議途中であるにもかかわらず HLA の強制適用の基準が FSA による審議により削除されことより FSA の効力が各国に印象付けられ、このことをきっかけとして IMO における FSA の活用に弾みがつき、今日のような FSA 提案の活発化に至っている。これまでは安全面での適用が主であったが、最近では環境面にも適用が拡大する勢いである。当所は IMO

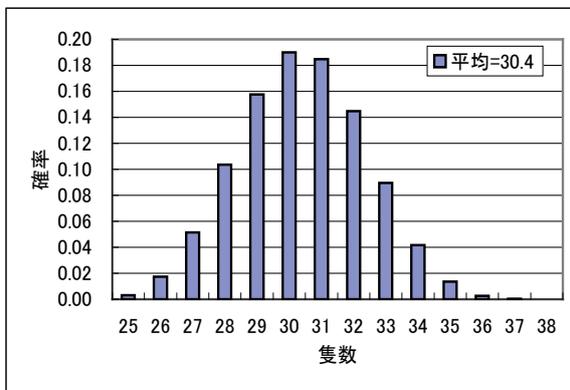
における FSA ガイドラインの成立および改正において一定の貢献を成し遂げてきたことに加えて、バルクキャリア安全性に関する FSA の日本提案作成において海難データに基づくバルクキャリアの安全レベルの解析、原因不明事故の原因の合理的推定方法の作成と IMO における審議へ一定の貢献をするとともに、FSA による ETS、ECDIS、IGS 強制化によるリスクおよび費用対効果の評価と、IMO における種々の FSA 提案の審議へ貢献してきた。現在は、環境 FS の発展段階であるが、それへの貢献も果たしつつある。本論文の執筆段階で SAFEDOR の出力である種々の船種の FSA 提案が IMO に提出されており、MSC86 において FSA 専門家グループが構成され審議がなされる予定である。当所はそれにも対応しつつある。今後、中国、インド等の BRICs 諸国の経済発展によ

表-5.2 バルクキャリア原因別事故および人命損失数

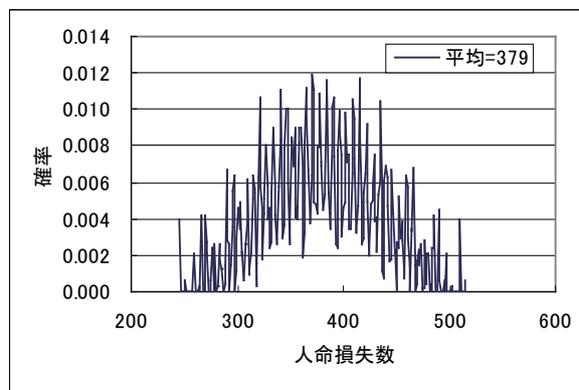
	ハッチカバー関連事故			船側損傷	原因不明事故	合計
	垂直荷重による損傷	閉鎖不良等によるハッチカバー喪失	他原因			
重大事故発生件数	0	3	4	9	10	26
非重大事故発生件数	6	1	11	139	3	160
人命損失数	2	110	134	249	269	764

表-5.3 バルクキャリア原因別事故および人命損失数の推定値

	ハッチカバー関連事故			合計	船側損傷	合計
	垂直荷重による損傷	閉鎖不良等によるハッチカバー喪失	他原因			
重大事故発生件数	6.6	6	17.7	30.3	155.7	186
人命損失数	15.4	163.2	200	378.6	385.4	764



(a) 事故推定件数(全体)



(b) 人命損失推定数(全体)

図-5.3 ハッチカバー関連事故における発生件数および人命損失数推定値の確率密度関数 (バルクキャリアー全タイプ)

る海上輸送の活発化、あるいは脱石油の方向性の進展によるエネルギー源の多様化に伴い、NGH 船等の新形式船の開発、運航が実現されると思われるが、そのようなこれまでの基準の対象外の船舶の安全基準策定に FSA がさらに活用されることは想像に難くない。当所は日本のみならず世界における海運の安全の確保のため、FSA の発展に資するリスク評価技術の高度化を図るとともに、IMO における審議にも対応することが求められている。

謝辞

4 および 5 章の研究は国土交通省の指導の下、日本財団助成による(財)日本船舶技術研究協会の種々の調査研究(2001 および 2002 年度「設計設備に関する調査研究(バルクキャリアの安全対策に関する検討)」、2004 年度「船舶の総合安全評価に関する調査研究」、2--5 年度「船舶の安全評価法に関する調査研究」、そして 2006 および 2007 年度「船舶の防火に係る基準に関する調査研究」において、さらに同協会と当所との共同研究ないしは受託研究として実施した。上記の研究の実施に当たり各関係者各位の御指導、御協力に心より感謝する次第である。

参考文献

- 1) 金湖富士夫: 「FSA による船舶安全基準の新たな策定方法」,安全工学,Vol.46,No.1(207),pp.2-9
- 2) United Kingdom : Consideration of Current Safety Issues Formal Safety Assessment, MSC62/24/3(1993)
- 3) Peachey J. : Overview of the 5 step, Proceedings of FSA seminar(1995)
- 4) Skjong R. : Experience with FSA and Related Topics, Proceedings of FSA seminar(1995)
- 5) Brennan G. : Hazard Identification and Screening, Proceedings of FSA seminar(1995)
- 6) Watanabe : Watanabe I.; Risk Quantification, Proceedings of FSA seminar(1995)
- 7) IMO : Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment(FSA) to the IMO Rule-Making Process, MSC/Circ.829-MEPC/Circ.335(1997)
- 8) United Kingdom : Trial Application to High Speed Passenger Catamaran vessels (Final Report),DE41/INF.7(1997)
- 9) Norway,ICCL(1997) : MATTERS CONCERNING SEARCH AND RESCUE, INCLUDING THOSE RELATED TO THE 1979 SAR CONFERENCE AND THE INTRODUCTION OF THE GMDSS – SOLAS regulation III/28.2: Helicopter Landing Area(HLA) on non-ro-ro passenger shipsCOMSAR 3/9/13,Add,1)
- 10) Italy : Formal Safety Assessment Study on the Effects of Introducing Helicopter Landing Areas(HLA) on Cruise Ships, MSC69/INF.31(1998)
- 11) JAPAN(1996) :Formal Safety Assessment – Research project on quantification of risk on lives, IMO/MSC67/INF.9
- 12) JAPAN(1998): FORMAL SAFETY ASSESSMENT, MSC70/INF.7, 1998/9/11
- 13) JAPAN(2000): Formal Safety Assessment – Method for reduction of number of accident scenarios, IMO/MSC72/INF.17
- 14) Norway : Decision Parameters including risk acceptance criteria, MSC72/16(2000)
- 15) Japan :Report of the Correspondence Group Part 1:Minutes on Discussion, MSC74/16(2001)
- 16) Japan : Report of the Correspondence Group Part 2:Draft Guidelines for FSA, MSC74/16/1(2001)
- 17) IMO : Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process, MSC/Circ.1023 -MEPC/circ.392 (2002)
- 18) IMO : Amendments to the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process(MSC/Circ.1023 -MEPC/Circ.392), MSC/Circ.1180- MEPC/Circ.474(2005)
- 19) IMO : Amendments to the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process (MSC/Circ.1023 -MEPC/ Circ.392), MSC-MEPC.2/Circ.5(2006)
- 20) IMO Secretariat : Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392), MSC 83/INF.2(2007)
- 21) (社)日本造船研究協会 : 「RR49 平成 13 年度報告書(設計設備に関する調査研究,バルクキャリアの安全対策に関する検討)」(2002).
- 22) (社)日本造船研究協会 : 「RR74平成13年度報告書(船舶の総合的安全評価に関する研究)」(2002.)

- 23) Arima, T., "FSA Study on Bulk Carrier Safety", Proceedings of RINA International Conference on Formal Safety Assessment, UK, 2002.
- 24) (社) 日本造船研究協会: 「RR-S702平成14年度報告書」(2003.)
- 25) 有馬俊朗, "IMOのRule-makingツールとしてのFSAの開発とバルクキャリアへの適用", 平成15年度ClassNK研究発表会講演集(2003.)
- 26) Germany: Mandatory emergency towing system(ETS) in ships other than tankers greater than 20,000 dwt, DE47/24/1(2003)
- 27) Germany: Mandatory emergency towing system(ETS) in ships other than tankers greater than 20,000 dwt, DE47/INF.3(2003)
- 28) Japan: Review of the FSA study on ETS by Germany, DE48/14/1(2004)
- 29) (社) 日本造船研究協会: 「RR-SP8 平成 16 年度報告書(船舶の総合的安全評価に関する調査研究)」, 2004.
- 30) 金湖富士夫, 松岡猛, 伊藤博子: 「非常時曳航装置義務化に関する FSA について」, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 1 号(2005), pp.135-136
- 31) Norway: FSA-Large Passenger Ships – Navigational Safety, NAV51/10
- 32) Japan: Consideration on utilization of Bayesian network at step3 of FSA – Evaluation of the effect of ECDIS, ENC and Track control; by using Bayesian network, MSC81/18/1(2006)
- 33) Japan: Evaluation of cost-effectiveness of ECDIS in routes of cargo ships considering ENC coverage, NAV52/6/2(2006)
- 34) Kaneko F., Yoshida K.: Consideration of Bayesian Network's Applicability to FSA and an Evaluation of Effectiveness of ECDIS by Application of the Network, Proceedings of 3rd Annual Conference on DFS(Design for Safety)(2007)
- 35) (社) 日本造船研究協会: 「RR-SPF2005 年度報告書(船舶の安全評価手法に関する調査研究)」(2005)
- 36) 金湖富士夫: 「ベイジアンネットワークを用いた ECDIS の有効性評価」, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 3 号(2006), pp.461-462
- 37) ICS,IAPH,CEFIC,OCIMF, INTERTANKO and IPTA: Study on incidents of explosions on chemical and product tankers - Report of the activities of the Inter-Industry Working Group(IIWG), MSC81/8/1(2006)
- 38) ICS,IAPH,CEFIC,OCIMF, INTERTANKO and IPTA: Study on incidents of explosions on chemical and product tankers - Report of the activities of the Inter-Industry Working Group(IIWG): Incident Review Analysis, MSC81/INF.8(2006)
- 39) Japan: Preliminary FSA study on application of requirement of Inert Gas Systems to tankers of less than 20,000DWT, FP51/10/1(2006)
- 40) Japan: Analysis of the costs and benefits of the application of requirement for inert gas systems to tankers of less than 20,000 dwt using Net CAF, FP52/INF.2(2007)
- 41) (社) 日本造船研究協会: 「R2 2006 年度報告書(火災試験方法コードの総合見直し及び火災安全に係る基準に関する調査研究)」(2007)
- 42) 金湖富士夫, 太田進: 「イナータガスシステムの適用に関する予備的 FSA」, 日本造船学会講演会講演論文集 第 4 号(2007), pp.405-406
- 43) Japan: Consideration on decision-making process using independent FSA studies, MSC76/5/12(2000)
- 44) JAPAN: Estimated number of casualties caused by hatch cover failures and those caused by side shell failures and fatalities in them of bulk carriers, MSC76/INF.17
- 45) 金湖富士夫: 船舶の確率論的安全評価手法—その 4: リスク評価における不確かさの扱い—, 日本造船学会論文集, Vol.194(2003), pp.255-269
- 46) United Kingdom: BULK CARRIER SAFETY - International Collaborative FSA Study - Final Report, MSC76/5/5(2002)