

「リスク評価ガイドライン」の開発

開発部

1. はじめに

石油開発に用いられる海洋構造物や、原子力発電所等の設計及び運用に際してはリスク評価の実施が必須である。また、海事（商船）分野でもリスク評価の応用範囲は拡大しており、既に実用段階に入っていると言える。

本会においても長年に渡りリスク評価に関する研究開発を進めてきたが、より実用的な形でリスク評価の知識、ノウハウを蓄積かつ広めるため、課題解決型の複数のリスク評価プロジェクトを実施した。代表的なものとしては「LNG船のリスク評価に関する研究」が挙げられる。具体的には、LNG船の10年後の運航環境の変化に伴うリスク変動を予測し、リスク変動に対応した安全対策の検討を行った。

また、これらの課題解決型のリスク評価の実施を通して得られた知見に基づき、リスク評価の入門的な書として「リスク評価ガイドライン」を開発した。

本報では、「リスク評価ガイドライン」及び「LNG船のリスク評価に関する研究」の概要について報告する。

2. 「リスク評価ガイドライン」の概要

リスク評価手法に関する調査及び課題解決型のリスク評価プロジェクトの実施を通して得られた知見をとりまとめ、リスク評価の入門的な書としてリスク評価ガイドライン（図1）を作成した。

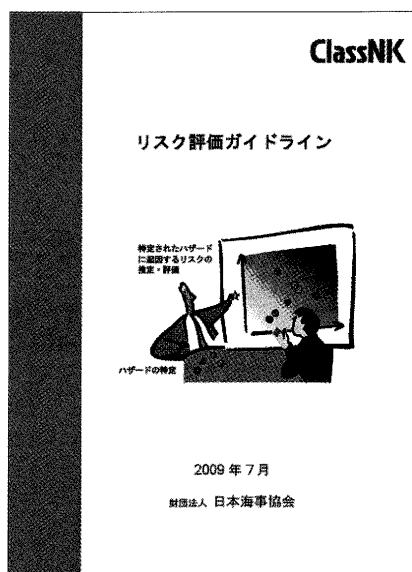


図1 リスク評価ガイドライン

本ガイドラインでは、出来るだけ平易にリスク及びリスク評価に関する情報を記述するように努めるとともに、基本的にはIMOが開発した規則作成のためのFSAガイドラインの考え方を踏襲し、船舶・海事分野の方々がリスク及びリスク評価に係る様々な活動に参加される際の参考となるよう作成した。ガイドラインの目次を以下に示す。

1章 概要

2章 基本的な概念

3章 リスク評価概説

4章 FSA (Formal Safety Assessment)

ガイドラインには、1～2章にリスク評価に関する基本事項及び基本概念の説明、リスクに係る用語の定義を取りまとめるとともに、3章にリスク評価手法を、そして4章にIMOにて策定されたFSAの手順を掲載している。以下にガイドライン各章の概要を示す。

2.1 「1章 概要」

2.1.1 安全とリスク

リスクという言葉は、使用する立場、分野及び対象等によって異なる意味で使われている。本ガイドラインでは、主に安全に関係するリスクを対象とし、リスクとは「生命や身体の損害、事故・災害が生じる可能性とその被害の程度の組合せ」とであると定義した。国際規格の一つであるISO/IEC Guide51 (1999)によれば、安全とは「受入れ不可能なリスクが無いこと」とされている。

2.1.2 リスク管理（リスクマネジメント）とリスク評価（リスクアセスメント）

リスク管理（リスクマネジメント）もリスクと同様、使用する立場、分野及び対象等によって異なる意味で使われている。

本ガイドラインでは、システムや機械の安全の分野で用いられているリスク管理の定義を用いる。すなわち、リスク管理とは、ある対象（組織、システム、または人間の活動等）における現状のリスクを推定し、そのリスクを許容しうるレベル以下に抑制するために必要な効果的な対策を検討・実施し、その効果を確認し、必要に応じて新たな対策を実施することを継続的に行うことを指す。これはPDCAサイクル（図2）に当てはめることが出来る。

また、リスク管理の枠組みの中で考えると、リスク評価（リスクアセスメント）とはリスクの大きさを予測し、リスクを受け入れ可能なレベルに抑制するための対策を立案するためのツールとして捉えることが出来る。

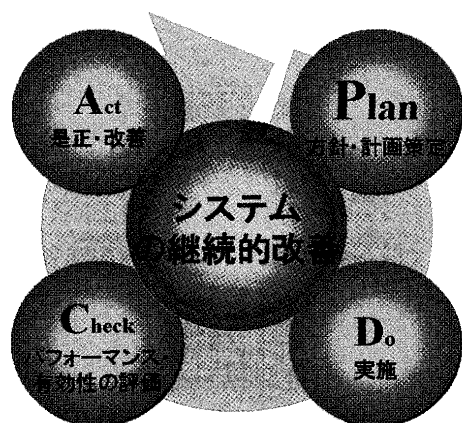


図2 PDCAサイクルの概念図

2.1.3 リスク管理、リスク評価の必要性

現在では、事故が起きた際の影響や被害が非常に大きくなる場合がある。一般に身近なところでは、株取引システムの障害や電車の遅延などがあり、船舶分野においてはタンカーの油流出事故などが挙げられる。

このような影響が健康、財産、環境など多岐に及ぶ事故が、社会的に許容されないと判断される場合には、事故が起きてから再発の防止を行う「Re-Active」な事故対策だけではなく、未然に事故を防止する対策、つまり、「Pro-Active」な対策の実施が求められる。この「Pro-Active」な対策を行うのに必要なツールがリスク管理、リスク評価である。(図3)

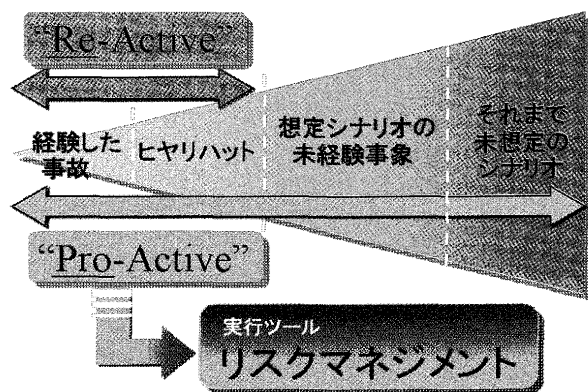


図3 Re-Activeな対策とPro-Activeな対策

2.2 「2章 基本的な概念」

2.2.1 リスクとは

本ガイドラインにおいて、リスクとは「生命や身体の損害、事故・災害が生じる可能性とその被害の程度の組合せ」としており、それを定量的に表すには工学的に広く用いられる、「(リスクの大きさ) = (危害の程度) × (危害の発生頻度)」という定義を採用している。

2.2.2 リスクに基づくアプローチ

個別の技術要件によって顕在化したことのある危害の再

発を防止する努力の代わりに、システムの持つリスクを理解し、リスクのレベルを一定以下に保持する努力をするという考えが昨今一般的になりつつある。これがリスクに基づくアプローチ、すなわちリスク評価の考え方である。

2.2.3 リスクを求めるには

システムの持つリスクを評価するためには、リスクの程度を何らかの方法で表現する必要がある。つまり、失われるものを定量化しなくてはならない。

そこで、システムに存在する危害を与えうる要因、すなわちハザードを発見し、ハザードに対して起こりうる事象の連鎖である事故シナリオを描き、結果として発生しうる危害の大きさと危害が発生する確率を求めてリスクを推定し、その結果を評価するという作業を実施する必要がある。

2.2.4 そのリスクは許容可能か

リスクが定量的に推定できたとして、次に行うべきことは、得られたリスクが許容可能であるかを判断することである。リスクを下げるためには、システムの利用をやめるか、システムに対して資金や時間、人手などの資源を費やして改善する必要がある。そこで、リスクの大きさとシステムを用いることにより得られる便益を比較して、「仕方がないから我慢して使おう」と皆が考えるようであればリスクは許容可能なものと言える。このような考え方に基づいて目指すべきリスクの大きさを安全目標という。

2.3 「3章 リスク評価概説」

2.3.1 リスク評価とは

リスク評価とは、リスクの分析、リスクの大きさの評価、リスクを低減するための対策からなる一連のプロセスのことをいう。つまり、システムにおけるハザードを発見し、危害の大きさと危害が発生する確率を求めてリスクを推定し、その結果を評価した上で、評価結果をもとに対策立案、実行する。組織における意思決定のうち、リスクに関わる部分を合理的に行おうと考える場合、リスク評価は重要な役割を果たすことになる。

2.3.2 リスク評価の手順

リスク評価の手順としては、「ハザードの同定」、「リスク解析」、「リスクの見積もり」、「リスクの大きさの評価」、「リスク対策」、「費用対効果評価」の5ステップが考えられる。「費用対効果評価」は場合によって、実施されることと実施されないことがある。これは経済的な評価の必要性に左右される。

2.4 「4章 FSA (Formal Safety Assessment)」

2.4.1 FSAの概要

FSA (Formal Safety Assessment) とは、総合安全評価と訳され、国際連合の専門機関の一つであるIMOにおいて規則策定のプロセスで用いる評価手法であり、リスク評価が用いられている。FSAで実施手順(図4)は、「ハザード

の同定」、「リスク解析」、「リスク制御措置（Risk Control Option、RCO）の検討」、「RCOの費用対効果の評価」、「意思決定のための提言」の5ステップから構成されており、費用対効果の評価及び意思決定のための提言が含まれているのが特徴的である。

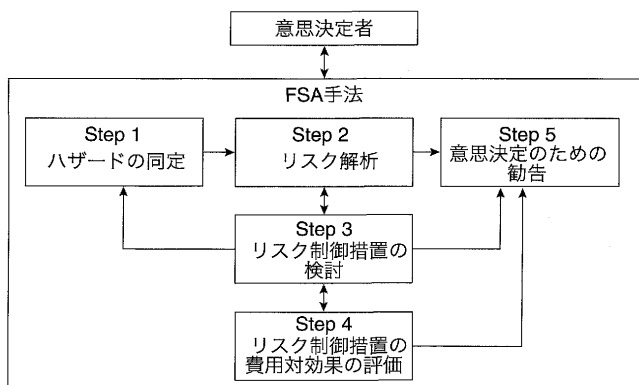


図4 FSAの実施のステップ

2.4.2 FSAの目的と特徴

FSAの最大の目的は、IMOの規則策定プロセスを系統的かつ先行的に行うということである。つまり、従来行ってきたように事故の対応としての規則ではなく、リスク評価に基づく合理的な対策を行うことである。また、FSAには、費用対効果を考慮する手順を含め、各段階の手続きが明瞭に定められているという特徴がある。従って、FSAの手順に従えば、従来よりも透明性が高く合理的な安全基準が策定できる。

2.4.3 問題の定義

問題の定義を行う際には、関連する全ての事項を考慮する必要がある。IMOのFSAガイドラインでは、船舶を取り扱う場合に関連すると考えられる以下の事項が挙げられている。

- 1) 船舶の分類区分（例えば、船種、長さまたは総トン数の範囲、新造船または現存船の区分、貨物の種類）
- 2) 船舶の運航（例えば、港内操船、航海中の操船）
- 3) 船舶に対する外部影響（例えば、船舶交通システム、気象予測、報告、航路選択）
- 4) 事故カテゴリー（例えば、衝突、爆発、火災）
- 5) 旅客や乗組員の負傷や死亡、環境影響、船舶や港湾設備の損傷、あるいは、商業面への影響のような結果に關与するリスク

2.4.4 FSA Step1 「Hazard Identification」

検討中の問題における一連のハザードと、リスクレベルによっては各ハザードから危害へ至るシナリオを同定する。ハザードの同定は標準的手法で、スクリーニングは、利用可能なデータや専門家の判断を活用して達成できる。各ハザードに対して、表1、2に示すような深刻度及び頻度の資料を用いて優先順位を付け、重要度が低いものは以降のス

テップでは扱わないことになる。

2.4.5 FSA Step2 「Risk Analysis」

Step1で同定された重要なシナリオについて、その原因および結果を詳細に研究する。具体的には、リスクモデルを構築し、より詳細な取り扱いを行うことで、どこに高いリスク領域があるか、リスクレベルに影響を及ぼす因子は何かを明らかにする。それぞれのリスクがどのレベルにあるかは本ステップで判定する。

表1 船舶の場合の深刻度の指標(SI)の例

SI	定性的表現	人間への影響	船舶への影響	死者数に換算
1	小さな影響	単一負傷者または複数の軽傷者	局所的な損傷	0.01
2	大きな影響	複数の負傷者または重傷者	深刻でない船舶への影響	0.1
3	深刻な影響	単一の死者または複数の重傷者	深刻な船舶への影響	1
4	破滅的な影響	複数の死者	船舶を失う	10

表2 船舶の場合の頻度の指標(FI)の例

FI	頻度	定義	年隻あたり
7	頻繁	1隻において、月に1回起こり得る。	10
5	時々	10隻の船団において年に1回起こりうる。一隻の船舶の生涯で数回。	0.1
3	稀な	1000隻の船団において年に1回。同型船が数隻あった場合の生涯で起こるかどうかわからない。	0.001
1	非常に稀な	全世界の5000隻の船団があったとして、全船の生涯の中で1回起こりうる。	0.00001

2.4.6 FSA Step3 「Risk Control Options」

解決すべき高リスク領域が同定されたら、リスクを制御するための対策を検討する。リスクの単一要素を制御するための手段をリスク制御手段（RCM: Risk Control Measure）といい、RCMの組み合わせをRCOという。Step3の目的は、同定された高リスク領域の問題に対し、効果的かつ実用的なRCOを提案することである。

2.4.7 FSA Step4 「Cost Benefit Assessment」

Step3で特定・定義された各RCOの実施に関して、費用対効果を評価して比較する。FSAにおけるRCOの費用対効果は、GCAF（Gross Cost of Averting a Fatality）、つまり

人命損失を回避するために必要とされる総コストと、NCAF (Net Cost of Averting a Fatality)、つまり人命損失を回避するために必要とされるコストから、得られる便益を差し引いた純コストの2つの指標を用いて評価される。

これらの指標は以下の式で表現される。

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

$$NCAF = (\Delta C - \Delta B) / \Delta R$$

ここで、

ΔC はRCO実施に必要となる1隻あたりのコスト

ΔB はRCO実施の結果得られる1隻あたりの経済的効果

ΔR はRCO実施の結果得られる1隻あたりのリスク減少量
算出されたGCAFをもって費用対効果の良し悪しを判断するための基準としては、IMOのMSC72/16で提案され、その後のFSA報告書でも踏襲されているGACF3百万USドル以下という基準がある。

また、財産や環境の問題については、それらに対する損害や影響に基づいた別の指標を使うこともできる。

2.4.8 FSA Step5 「Recommendations for Decision Making」

Step5の目的は、関連する意思決定者に対して、監査および追跡可能な方法で勧告を提案することである。勧告は、全てのハザードとその背後にある原因の比較と順位付け、付随する費用対効果に関連付けられたリスク制御措置の比較と順位付け、リスクを合理的・実用的に低水準に抑えられるリスク制御措置の判定に基づいたものでなければならない。

3. 「LNG船のリスク評価に関する研究」の概要

LNG船は図5に示すように他の船種に比べて遙かに高い安全レベルが保たれてきた。一方でLNG船の運航環境は次のような変化を受けて急速に変わりつつある。

- ・ LNG市場の拡大と、LNG船数の増加。現在のところ200隻のLNG船が就航しており、140隻が発注済み。
- ・ 新規の船舶運航事業者のLNG事業参入
- ・ 船舶の大型化
- ・ スポット傭船契約の増加、等

これらの変化は経済的問題、環境問題、人的問題を引き起こしている。例えば、LNG船のタービンエンジンを扱える機関士の数の不足等がある。それゆえに、これらの変化を反映させて正確なLNG船のリスクレベルを推定することは、プロアクティブな安全対策を計画し、研究・評価する上で必須となっている。

そこで、弊会ではLNG船のリスク評価を実施する大規模な継続的研究プロジェクトに積極的に取り組んできた。

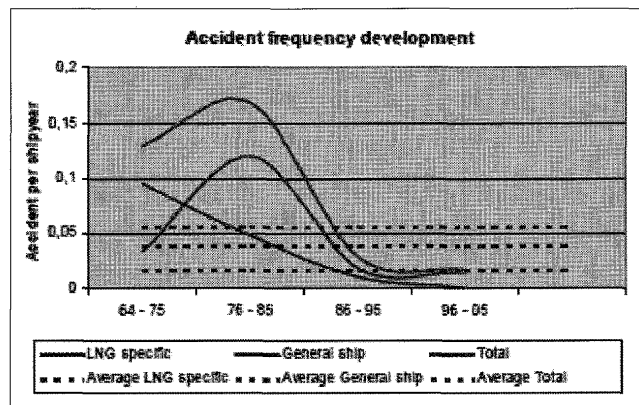


図5 事故分類別発生頻度

3.1 研究の目的

研究ではLNG船の船体構造のリスク評価を行っており、この主な目的は、10年後の将来におけるLNG船の安全レベルに対して予想される変化(図6)を推定することと、LNG船の船体構造に焦点を置いた高度な安全レベルを維持するためのプロアクティブな対策を策定すること(図7)にある。

リスク評価は、図8に示しているIMOで開発されたFSAの手法に従って実施された。この手法は以下のような5つの明確なステップで構成される。

- ・ Step 1: Hazard Identification (HAZID)
- ・ Step 2: Risk Analysis
- ・ Step 3: Risk Control Options
- ・ Step 4: Cost Benefit Assessment
- ・ Step 5: Recommendations for Decision Making

3.2 STEP 1: HAZARD IDENTIFICATION

10年後の将来におけるLNG船運航環境は予想される市場の変化、及び、過去の損傷データ等を基にして推定した。次の段階として、多分野の専門家を招いてHAZID会議を実施し、ハザードの同定作業を行った。このHAZID会議では、LNG船の船体構造だけでなく、機関等の要素まで検討範囲を拡大して実施した。結果として同定されたハザードを、リスク指標(RI: Risk Index)を用いてリスクの観点から優先順位付けするとともに、ハザードから起こりうる事故シナリオを検討し、優先順位付けを行った。

10年後の将来においてLNG船のリスクを上昇させるハザードとして、表3に示す7つのハザードが同定された。ここで、HAZID会議ではLNG船の予想される環境変化を踏まえて、将来におけるハザードの同定を行ったことが注目に値する。

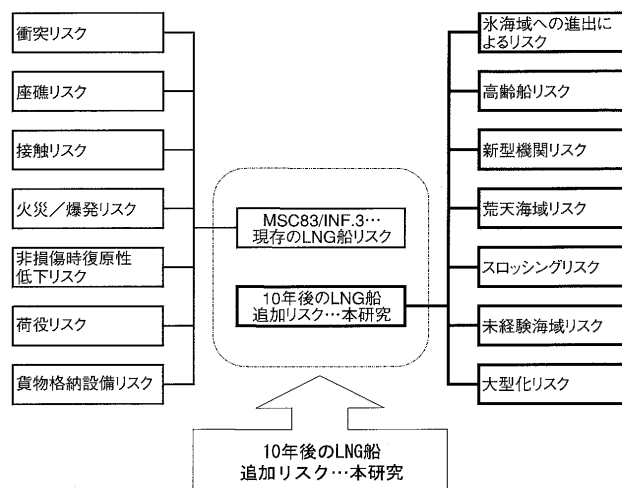


図6 10年後のLNG船リスク推定のための概念的リスクモデル

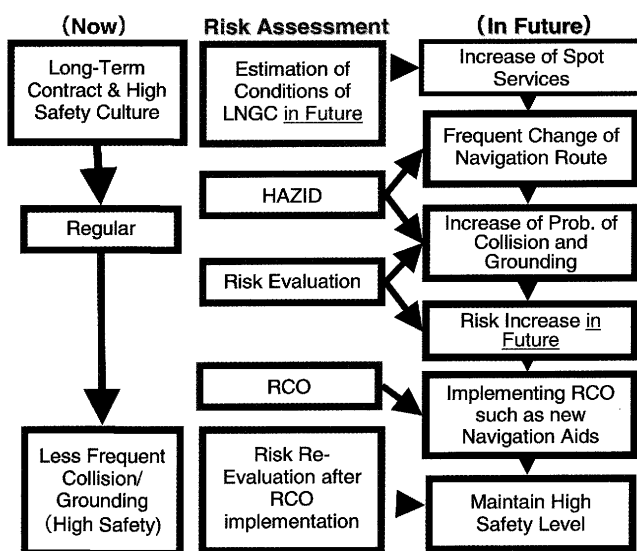


図7 衝突及び座礁シナリオに関する概念的リスク評価フロー

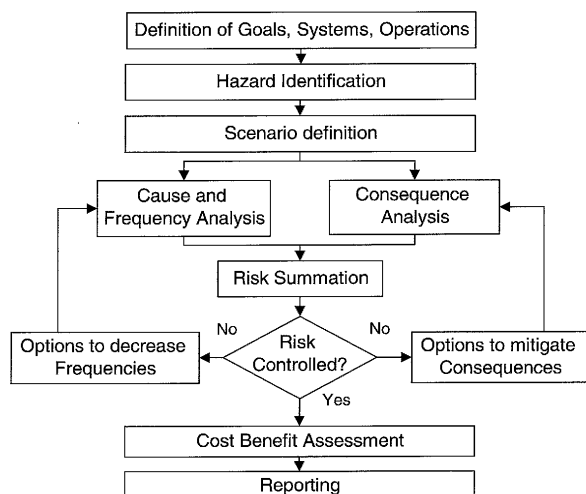


図8 FSAのリスク評価フローチャート [1]

3.3 STEP 2: RISK ASSESSMENT

10年後の将来におけるLNG船のリスクレベルの変化を推定するために優先順位付けを行った事故シナリオに関して、定量的なリスク解析を実施した。その結果、リスクレベルの変化に関する統計的な推定は、LNG船の運航環境の変化によって起こりうる新しいリスクと併せて調査した。LNG船のリスク評価における評価値は、「累積発生頻度」と「死亡者数(F-N)」との比較から推定している。

Step 2で得られた結論を基に描いたF-N線図を図9及び図10に示す。図9では、それぞれの事故シナリオのF-N線図を示しており、図10ではMSC 83/INF.3[4]で与えられている現在のリスクレベルと同様に10年後の将来におけるリスクレベルを推定したF-N線図を示している。これらの図において、ALARP (As Low As Reasonably Practicable) 領域の上限と下限は、MSC 83/INF.3[4]で与えられている値を参照している。ここで、10年後の将来におけるLNG船のリスクレベルもALARP領域に入っていることが示された。

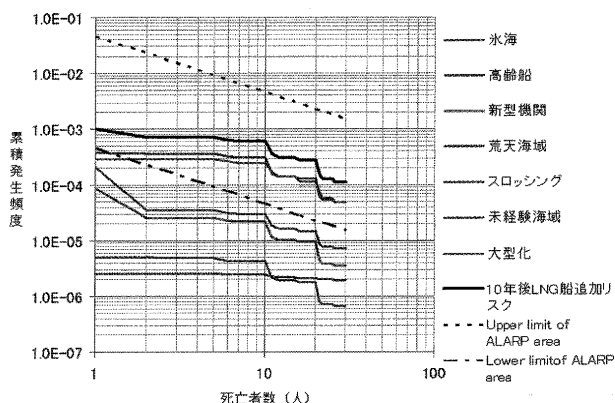


図9 事故シナリオ別F-N線図

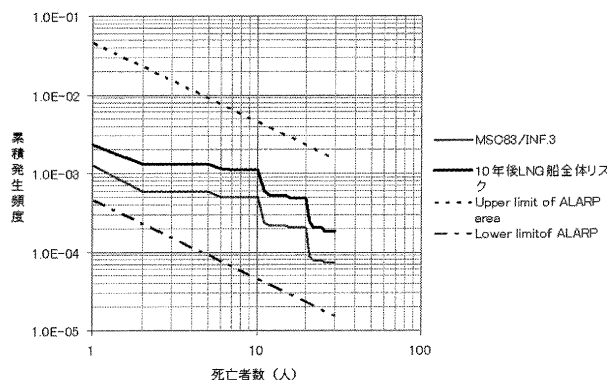


図10 総リスクレベルを示すF-N線図

3.4 STEP 3: RISK CONTROL OPTIONS

このステップでは、事故を避けるために考慮すべき対応策を決定するため、LNG船の船体構造に影響を与える特に高いリスクに対してリスク制御対策(RCO: Risk Control Options)を検討する。また、リスク制御手段(RCM: Risk

Control Measure)を用いることによって、リスクを単純な要素として制御することができる。このようにして、10年後の将来におけるLNG船のリスクレベルの上昇または新しい

リスクの発生への対応策としてリスクを制御する効果的な対策を特定した。

表3 10年後の将来におけるLNG船に関して同定された主要なハザード

分類	事故シナリオ
a. 氷海域への進出	1. 着氷の問題(復原性) 2. 着氷の問題(落水) 3. 浮遊氷の巻き込みによるプロペラ損傷 4. 極夜の連続運航による衝突 5. 極夜の日出に運航することによる衝突 6. 操舵室窓の損傷 7. バラストタンクの凍結の問題 8. 非常用発電機起動失敗 9. 氷荷重の問題(船体)
b. 高齢船	1. ボイラ・高圧蒸気ラインの経年劣化 2. SUS配管のSCC 3. バラストタンク外殻の腐食 4. バラストタンク内殻の腐食
c. 新型機関	1. ディーゼルエンジン振動の問題(LNGタンク) 2. 低速油専焼ディーゼルエンジン(従来型)振動の問題(貨物圧縮機室における漏れ) 3. 低速油ディーゼルエンジン振動の問題(機関室燃料油管からの油漏れ) 4. 低速混焼ディーゼルエンジン(DFD)振動の問題(貨物圧縮機室における漏れ) 5. 低速混焼ディーゼルエンジン(DFD)振動の問題(機関室のガス管からガス漏洩) 6. 全主機関故障の問題
d. 荒天海域	1. 荒天海域(スラミング) 2. 荒天海域(疲労)
e. スロッシング	1. メンブレン船の問題 2. 再ガス荷役中の問題 3. 荷役中の問題
f. 未経験海域	1. 未経験海域の航行
g. 大型化	1. 高電圧化の問題(操作ミス) 2. 高電圧化の問題(ショートの発生)

表4 主要なRCO例

RCO	GCAF	NCAF	ハザード分類
	(million US\$)		
船橋にサングラスを置く	0.004	≤ 0	氷海への進出、極夜
氷山発見用のサーチライト	0.2	≤ 0	
夜が続くことに対する精神的ケア/サポート	0.4	≤ 0	
甲板上の凍結防止対策	0.8	≤ 0	
ノクトビジョンから得られる画像データの自動解析による警報システム	0.8	≤ 0	
氷海気象データサービス	0.9	≤ 0	
氷山探知可能レーダーの設置	1.0	≤ 0	
ノクトビジョンの装備	2.7	≤ 0	
高リスクな特定箇所の板厚計測	2.3	≤ 0	高齢船、ボイラ主機停止
強化防熱箱の適用範囲拡大	1.8	≤ 0	スロッシング・メンブレン

3.5 STEP 4:COST EFFECTIVENESS ASSESSMENT

Step 3において同定したRCOに関して費用対効果評価 (Cost Effectiveness Assessment)を実施した。IMOのFSAガイドラインによると、一人の人命損失を回避するために必要となる総コスト (GCAF: Gross Cost of Averting a Fatality)が費用対効果指標として用いられている。費用対効果のよい主要なRCOを表4に示す。

3.6 STEP 5:RECOMMENDATIONS

3.3に記述したように、10年後の将来におけるLNG船の推定リスクレベルはALARP領域に入っている。加えて、Step 4にて費用対効果のよいRCOが同定されている。これらの結果から、10年後の将来におけるLNG船のリスクレベルは、本研究で同定されたような費用対効果のよいRCOが、LNG船の環境の変化に対して適切に実行されればALARPとなることが示された。

参考文献

- [1] MSC 83/INF.2「FORMAL SAFETY ASSESSMENT」
2007
- [2] 資源エネルギー庁ホームページ、
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2007/energyhtml/html/2-1-3-2.html>
- [3] 日本郵船LNG運航研究会：LNG船運航のABC 2006
- [4] MSC 83/INF.3「FORMAL SAFETY ASSESSMENT
FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers Details
of the Formal Safety Assessment」 2007
- [5] 有馬俊朗：実用化に向かうFSA 2001
- [6] 向殿政男：よくわかるリスクアセスメント－事故未然防止の技術－ 2003
- [7] U.S.CoastGuard：Risk-based Decision-making
Guideline