

論文の内容の要旨

論文題目 船舶安全対策のリスク評価手法に関する研究

氏 名 金 湖 富 士 夫

序論では、本研究の背景とその目的を述べ、本研究の基礎となるリスク評価について略述し、船舶の安全向上の必要性を示すために現状の船舶のリスクレベルを示し、さらに、安全対策、すなわち RCO(Risk Control Option)の設置を正当化するために RCO によるリスク低減効果を高精度で推定する技術を開発し、リスクによる安全の主張を可能とする方法論の提案を目指した本研究の意義を示した。

今後の海事分野の安全基準、船舶設計のパラダイムは FSA(Formal Safety Assessment)、GBS(Goal Based Design)、そしてリスクベース設計と言える。それらに共通の方法論はリスク評価であって、リスクによる安全の主張を目的としている。リスク評価とはすなわち、評価対象の事故発生頻度と事故時の被害の程度を求めることによりその積の概念であるリスクを求め、リスクと ALARP(As Low As Reasonably Practicable)領域を比較してその領域を超えているならば即座に RCO を考慮する、また、評価対象のリスクが ALARP 領域に入っているならば RCO を検討し、それらの RCO によるリスク減少の推定値と RCO のコストとを比較して費用対効果が良いと判定されるならばその RCO を導入する、さもなければ費用対効果が良い RCO をさらに検討することを継続する、ということになる。何もしなくても良いのは評価対象の現状のリスクが Negligible 領域に入っている場合のみである。現状船舶の安全向上の必要性を確認するため、LRFP(Lloyd's Register Fairplay)による海難および船舶要目データから、貨物船と旅客船の主要船種のリスクレベルの解析を実施した。

貨物船の7つの主要船種(LPG 船、LNG 船、タンカー、バルク／オアキャリア、一般貨物船、RORO 貨物船、コンテナ船)においては、最近10年間のリスクレベルは ALARP 領域にあることが判明した。旅客船も、FN(Frequency vs Number of Fatality)線図による解析により、主要な旅客船3船種(貨客船、RORO 旅客船、クルーズ客船)も現在は ALARP 領域であることが確認された。したがって、現状の船舶は貨物船、旅客船とも同様費用対効果が高い RCO を継続的に検討すべきである。

2章では、リスクによる安全の主張を可能とする船舶の高精度なリスク解析を目指して開発された手続きを示し(Fig.1)、事故発生シナリオおよび災害進展シナリオにおける人命損失リスク評価方法の詳細を説明している。

人命損失をもたらす主な事故として、1) 衝突、2)接触(岸壁への衝突等、固定された物に対する衝突のこと。海難審判庁による事故の区分では単衝突とされている)、3) 乗揚、4) 着火(爆発を含む)、5) 転覆、6) 船体損傷、7)開口生成を考慮した。機関損傷はそれ自体が直接人命損失をもたらすことは稀なため、ここでは人命損失をもたらす事故とはみなさないことにするが、操船不能となることにより衝突、座礁あるいは転覆や船体損傷の原因となる。転覆や大きな爆発は、避難のための時間のない瞬時災害として本研究では別扱いにしている。事故発生後、人命損失をもたらす主な災害として、浸水災害と火災災害がある。ここで提案した船舶のリスク評価手続きは、起因事象から事故発生に至るまで、事故発生後災害進展から死者が出るまでの過程を明示し、リスクを求めるために、それぞれの過程において重要な13の機能を上げて説明を加えた。3、4章で論じるRCOによるリスク削減効果を解析する手法はその手続きに基いている。

3章では、衝突リスクを削減するためのRCOとして航行環境整備による衝突事故発生防止対策を取り上げる。まず、衝突事故発生頻度を求める新たな確率論的推定法を提示した。次に、効果的な衝突事故防止対策として航行分離があるが、現在日本内海に設定されている航行分離航路の例として浦賀水道航路を取り上げ、同航路において航行分離が大幅な衝突発生頻度の減少をもたらしたことを本研究で開発した方法を用いて確率論的に可能な限り厳密に示した。浦賀水道航路の設置により、衝突危険発生数が3分の1になることが浦賀水道航路航行船の観測結果と本研究で開発した理論的方法により推定された。また、事故データより浦賀水道航路の設置により衝突頻度が約7分の1になることが示されたが、この理由を航行方向による衝突回避失敗確率の違いを考慮することにより、説明可能であることを示した。また、衝突防止RCOとして、航行分離に加えて速度管理を実施した場合の効果についても検討した。その結果、浦賀水道航路航行船舶の速度分布の標準偏差を現状の10%にするよう速度管理を行うことにより、さらに衝突危険発生数がさらに4分の1になることが推定された。さらに、それら衝突防止RCOのリスク削減効果を評価した。その結果、航行分離により、1日1回浦賀水道航路を往復すると仮定した場合は、1隻1年当たりの人命損失リスクの減少分は 1.57×10^{-3} [人/(隻・年)]であり、1隻のライフタイムを25年とすれば、人命損失リスク減少分は1隻当たり 3.93×10^2 [人/隻]となり、FSAガイドラインによれば、1隻当たり最大0.118 million US\$(=1,180万円, 100円@US\$)のRCOが正当化され、その額は浦賀水道航路設置によるリスク減少値に見合う浦賀水道航路通航船舶の負担額の最大値とみなすことができる。また、速度の平均値は現状のまま、速度の標準偏差を現状の10%にした場合の1隻1年当たりの人命損失リスクの減少分は1隻当たり 4.96×10^{-3} [人/隻]となり、1隻当たり最大0.0149 million US\$(=149万円, 100円@US\$)のコストが正当化されることになる。

4章では、対象船舶としてクルーズ客船、そして対象災害として居室火災を取り上げ、火災および避難シミュレーションを行い得られた人命損失数の推定結果より火災進展防止RCOのリスク評価を行う手法を示し、例題として、消火器による初期消火、スプリンクラ、防火扉、消火栓を考慮し、それらの火災災害進展防止RCOによるリスク削減効果を評価した。この方法の一部として、成功時間確率密度関数が定義された火災対処の一般化イベントツリーが開発された。また、

一般化イベントツリーと成功時間を区分してイベント毎の成功時間の区分の組合せの避難成功における順序関係を定義することにより、火災および避難シミュレーションを実施すべき火災進展シナリオの数を大幅に削減する手法が開発された。これらの手法を乗船者 120 人の小型旅客船に適用して種々の火災の RCO の組合せの人命損失リスクを求めることができた。また、リスクの上限と下限を求めることができ、リスク評価の不確実さの評価を実施してリスク評価結果の信頼性を高めることが可能となった。

この手法により得られた小型旅客船の居室火災リスクの推定値(PLL)は 3.57×10^{-6} [人/(隻*年)] である。1993 年以降はすべての船舶の乗船者数は乗客定員の相乗平均値(259 人)で、死者数は乗船者数に比例するとの仮定を置くと、ここで得られた小型旅客船の居室火災リスクから推定した 1993 年以降のクルーズ客船の居室火災の平均的な人命損失リスクは 7.71×10^{-6} [人/(隻*年)] となり、この値は 1993 年以降のクルーズ客船の居室火災の人命損失リスクの半分弱程度となる。これより、ここで開発した手法は居室火災リスクの推定の点である程度妥当性があると言えると思われる。

5 章では、まとめとして本論文の意義を示し、本論文で提案された各種の手法の概要をまとめた。本論文の最も重要な結論は、対象船舶のリスクを求める包括的な手続きが得られ、同手続きの例題への適用により、リスクによる船舶の安全の主張が可能であることが示されたことである。

本論文では船舶というハードウェアの設計のリスク評価だけでなく、船舶外部の航行環境まで含めた運航時のリスク評価を実施して、リスクによる船舶の安全を主張することが可能であることを示した。リスクによる安全の主張は、基準の順守による安全の主張より多くの時間と労力が求められるため、比較的安価な船舶には適用しづらいかもしれないが、その方法論が確立すれば、未だ基準による安全の主張が現実的であるタンカーやバルクキャリア等の従来型船舶でもリスクによる安全の主張が可能となり、結果として海事分野全体の安全が向上することが期待できるとともに、新たな技術の導入、あるいは新たなコンセプトの船舶の開発、運航をこれまでより容易に可能とする道が開かれることになり、設計自由度の拡大により海事分野の経済性の更なる向上も期待できると思われる。

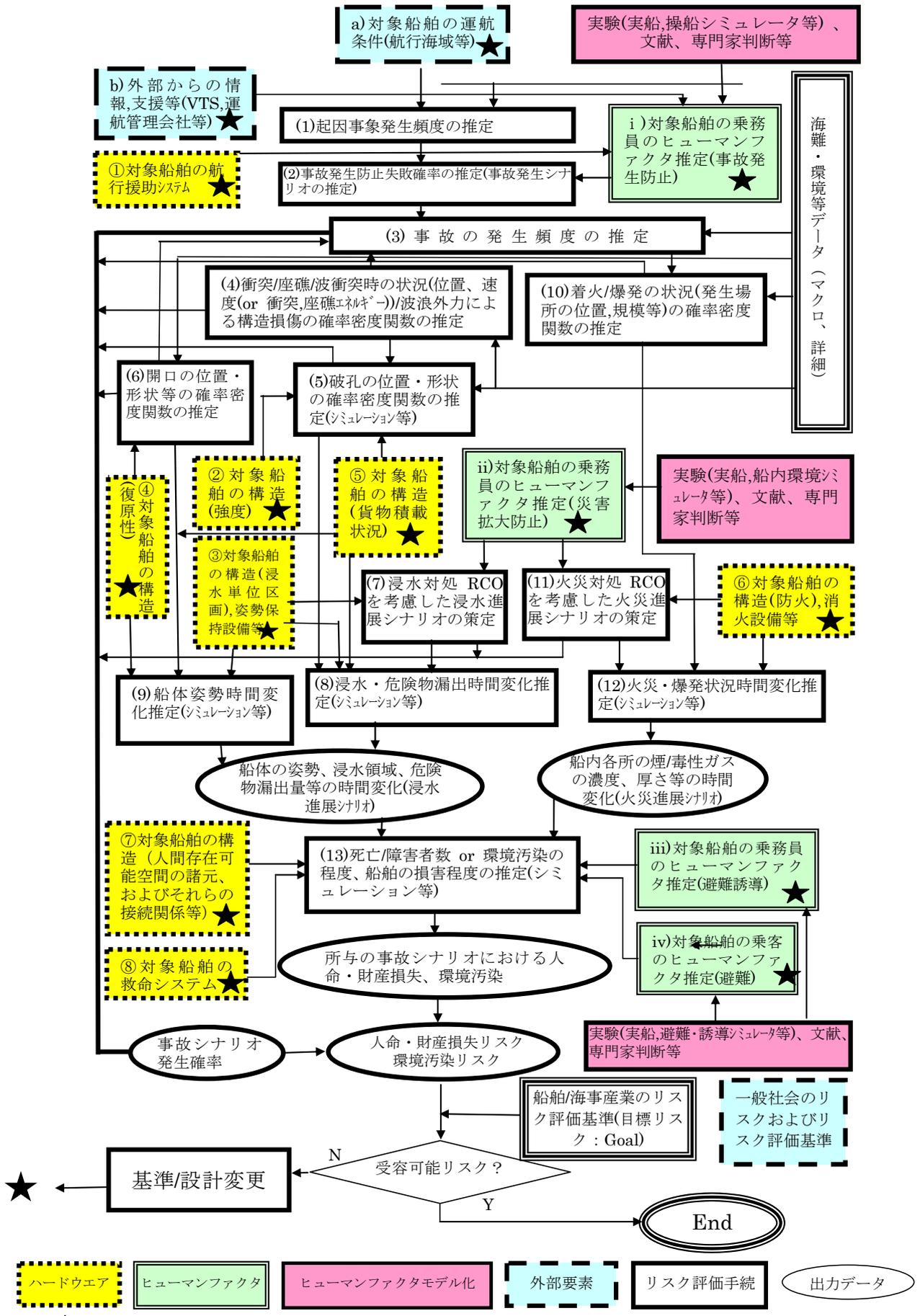


Fig.1 船舶設計のリスク評価過程