

PS-16 燃料タンク配置に係る代替設計支援ツールの開発

海洋リスク評価系 * 工藤 潤一, 木村 新太, 伊藤 博子

1. はじめに

世界的な脱炭素化が進む中、国内でも 2050 年のカーボンニュートラルの実現に向けて官民をあげた取組みが進行し、ゼロエミッション船の導入に向けた研究開発が進められている。このうち、内航船を対象とした基準整備としては、国土交通省が 2021 年 8 月に水素燃料電池船の安全ガイドライン¹⁾（以下、安全ガイドライン）を公表した。しかし、安全ガイドラインは、外航大型船や液化ガスを主たる対象とする国際ガス燃料船安全コード²⁾（IGF コード）を基に作成されたため、圧縮ガスや小型船に対しては、火災安全・防爆、タンク配置、パンカリングなどに関する基準の中に、適用が困難な安全要件が含まれている。これを踏まえ、安全ガイドラインでは、リスク評価やシミュレーション等により同等安全を証明した場合には、代替設計が可能と定めている。

しかしながら、代替燃料を用いる技術は導入実績が少なく、このため、同等安全性を証明するための手法選定や計算条件設定の前例が十分になく、標準的な手法が確立されていない。

そこで、著者らは、内航の圧縮水素燃料電池船を取り上げ、船舶事故情報を活用することで、燃料タンク配置の代替設計に必要なリスク評価手法を開発した³⁾。本稿では、このリスク評価手法に基づく代替設計を支援するツールを開発したので、その概要を紹介する。

2. 安全ガイドラインにおけるタンク配置の規定

安全ガイドラインでは、衝突や座礁から燃料タンクを保護することを目的としてタンクの配置に制限を課している。この制限は、決定論と確率論の手法により規定されている。決定論による規定では、安全ガイドラインの 5.3.3 項に確保すべき寸法に関する計算方法が記されており、図-1 に示すように (1) 喫水線での外板位置から水平方向に船の型幅に応じた距離内、(2) 外板から指定距離内（旅客船は船の型幅に応じた距離、貨物船は燃料タンクの容積に応じた距離）、(3) 船底から船の型幅に応じた距離内のいずれかに該当する箇所を燃料タンクの設置が禁止される箇所としている。

一方、確率論による規定は安全ガイドラインの 5.3.4 項に記載され、IGF コードの 5.3.4 項を参照する形で図-1 の (1) の距離の代替を認めている。IGF コードの同項は、確率論によるタンク配置の設計方法として、SOLAS 条約 II-1 章に記載の損傷時復原性の計算式を参照している。この計算に必要な寸法を表-1 に、それらの関係の略図を図-2 に示す。

確率論の規定に従う場合、あるタンク配置を考え、これらの寸法を参照先の計算式に代入することで、衝突が発生した

際に、燃料タンクの外板の位置まで損傷が到達する確率に相当する指標である f_{CN} を算出する。得られた値が船種に応じて与えられた閾値を下回る範囲であれば、そのタンク配置は認められる。

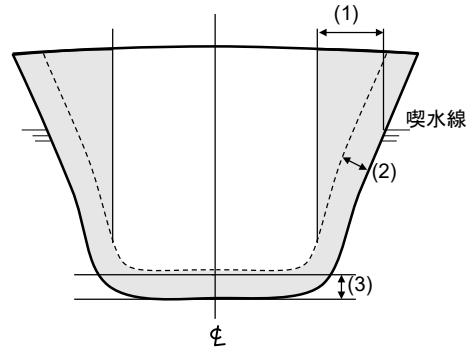


図-1 決定論における燃料タンク設置禁止場所（IMO, resolution MSC. 370 (93)⁴⁾を参考に作成）

表-1 安全ガイドラインにおける確率論の手法による設計で必要となる寸法

	記号
隔壁甲板長	L_s
船の型幅	B
最高喫水	d
船尾端から燃料タンク後端までの距離	x_1
船尾端から燃料タンク前端までの距離	x_2
最高区画喫水線における外板境界とタンク境界の水平距離	b
燃料タンクの最下部から船底までの距離	H

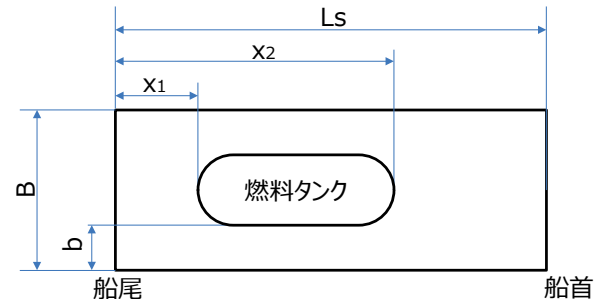


図-2 安全ガイドラインにおける確率論の手法による設計で必要となる寸法の関係

3. 船舶事故の情報を用いた f_{CN} の計算方法

小型船の場合、船体が小さく燃料タンクの配置の自由度が限られる可能性があるため、前節の大型船を前提とする IGF コードの規定に対してさらなるタンクの設置可能範囲の拡大が望まれている。そこで著者らは、燃料タンク配置を代替設計により行う方法として、船舶事故情報を基に衝突時の部位ごと（ここでは、船体前部、中央部、後部の3部に分けた）の損傷確率を求め、その確率を用いる指標 f_{CN} の計算方法を開発した³⁾。

4. 代替設計支援ツールの紹介

2. および 3. で述べた各方法は、船舶の諸元やタンク配置の条件が与えられた時点で、タンク配置が可能な範囲は自動的に決まるため、確率論に基づく方法のうち IGF コードの規定および事故情報に基づく方法によってタンクの配置に関する代替設計を支援するためのツールとしてアプリケーションソフトウェアを開発した。本ツールは、指標値 f_{CN} を計算する機能、得られた結果から燃料タンクを配置できる範囲を明示する機能を備えている。

コードに規定された方法と事故情報を用いる方法は共に入力した条件に対してのみ適否が得られるため、燃料タンクを配置できる範囲は表-1 に記載した寸法を変化させ、計算を繰り返すことで求めている。計算量の関係から、前述のように船舶の諸元が与えられている状態を想定することで、変化させる寸法の数を減らした。また、基本的な燃料タンク配置を対象とした。計算条件は以下の通りとした。

- ・船体寸法 (L_s , B , d) は固定。
- ・船長方向のタンク位置 (x_1 , x_2) は、後端位置を固定、前端位置を固定、タンク長さを固定の3つの選択肢からユーザーが選択。
- ・幅方向は左右対称。

図-3 に本ツールのメインウィンドウを示す。これは計算条件の設定を行うもので、左側で船体の情報として、 L_s , B , d を入力し、右側でタンクに関する変数を設定する。



図-3 代替設計支援ツールのメインウィンドウ

図-4 に本ツールのグラフウィンドウを示す。このウィンドウはメインウィンドウにて指定した条件で計算した結果を対象に、燃料タンクを配置できる範囲を表示する。このウィンドウの左側で船種などの設定を変更し、右側に対応するグラフが表示される。図-4 に示すグラフは、 x_1 を固定した場合

で、縦軸が b 、横軸が x_2 である。青線は安全ガイドラインで定める確率論的手法による境界を、橙色の線は代替手法による境界をそれぞれ表す。各曲線の上側が IGF コードにて指定されている f_{CN} の条件を満たす範囲になる。したがって、図-4 では規則通り(青色)よりも代替手法(橙色)の方が曲線の上側の範囲が広く、代替手法によって、例えば長い燃料タンクの使用や燃料タンクを船側に近づけた配置が可能となり設計の自由度が高くなると判断できる。

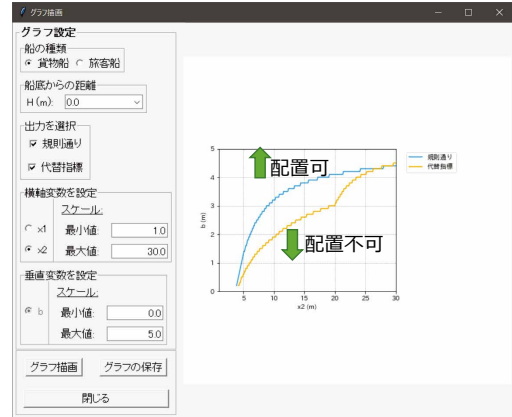


図-4 グラフ描画ウィンドウによる燃料タンクを配置できる範囲の描画例

5. まとめ

内航の圧縮水素燃料電池船を想定して開発された燃料タンク配置に係るリスク評価手法に基づく代替設計のための支援ツールとしてアプリケーションソフトウェアを開発した。本稿ではそのソフトウェアの概要を紹介した。

謝辞

本支援ツールで採用したリスク評価手法は、一般財団法人日本船舶技術研究協会が実施した「内航カーボンニュートラルに向けた新技術の安全評価手法の構築」事業の一環として、当所への請負研究において開発したものです。また、本事業は日本財団の助成事業として実施されました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国交省、水素燃料電池船の安全ガイドライン第1回改訂版(2021)
- 2) IMO, resolution MSC.391(95), Adoption of the international code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF code) (2015)
- 3) (一財)日本船舶技術研究協会、内航カーボンニュートラルに向けた新技術の安全評価手法の構築, (2023)
- 4) IMO, resolution MSC.370(93), Amendments to the international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk (IGC Code) (2014)