

JSTRA 研究開発成果報告セミナー
－内航船の課題解決に向けて－
2024年3月6日（水）13:30-17:00

資料3-2

水素燃料電池船の安全評価手法の開発

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 リスク解析研究グループ
工藤潤一

目次

□ 概要

- 背景、目的

□ 燃料タンクの配置の代替設計に係るリスク評価

- 概要
- リスク評価の方法・試解析の結果

□ まとめ

概要

□ 背景・目的

- 世界的な脱炭素化が進む中、とりわけ国内物流を支える内航カーボンニュートラル実現の環境整備が今後進められる予定である。
- 国交省海事局では、水素燃料電池船の安全ガイドラインを整備。大型船前提の基準適用が困難なことを踏まえ、代替設計を認めている。
- 代替設計は、前例が少なく、標準的な手法が確立されていない。

➔ 内航小型船を対象とした代替設計のための同等安全性評価ガイドが必要とされている。

同等安全性評価のためのリスク評価手法を開発した。

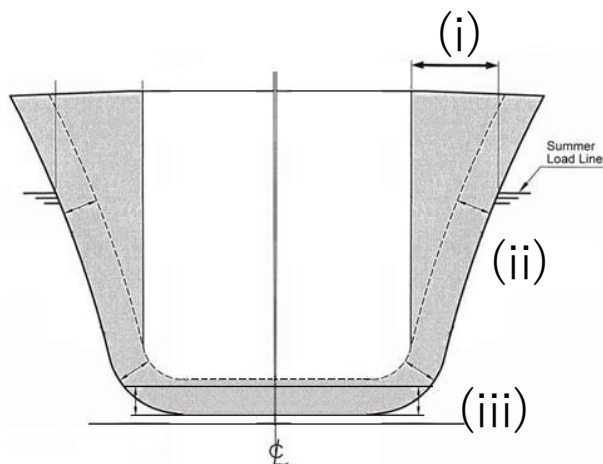
- 水素燃料電池船の安全ガイドラインの第5.3.3項 (燃料タンクの配置) に対する同等安全性評価の方法について紹介する

燃料タンクの配置の代替設計に係るリスク評価

□ 背景

- 安全ガイドライン5.5.3では、タンクを外部損傷から保護するため外板からの距離の確保を要求
- 決定論と確率論の2種類の方法から選択できる

決定論



安全ガイドライン5.3.3には次の指定がある。

- (i) 夏季満載喫水線から水平方向に $B/5$ 、
- (ii) 外板からの距離として、旅客船は $B/15$ 又は $2m$ 、
貨物船は燃料タンク容積に応じて $0.8-2m$
- (iii) センターライン上の船底外板から $B/15$ と $2m$ の小さい方



小型船の場合には、設計の自由度が限られる可能性があるため、タンクの設置可能範囲の拡大が望まれている。

燃料タンクの配置の代替設計に係るリスク評価

□ 背景

- 安全ガイドライン5.5.3では、タンクを外部損傷から保護するため外板からの距離の確保を要求
- 決定論と確率論の2種類の方法から選択できる

確率論

安全ガイドライン5.3.4にて、夏季満載喫水線からの水平距離の代替としてIGFコード5.3.4項を参照しており、衝突が発生した際に、タンクの外板の場所まで損傷が至る確率 f_{CN} にて評価する。

$$f_{CN} = f_l \times f_t \times f_v \quad (1)$$

f_l : 船の長さ方向の確率、 f_t : 幅方向の確率、 f_v : 深さ方向の確率

$J \leq J_k$:

$$f_l = \frac{1}{6} J^2 (b_{11} J + 3b_{12}) \quad (2)$$

$J > J_k$:

$$f_l = -\frac{1}{3} b_{11} J_k^3 + \frac{1}{2} (b_{11} J - b_{12}) J_k^2 + b_{12} J J_k - \frac{1}{3} b_{21} (J_k^3 - J^3) + \frac{1}{2} (b_{21} J - b_{22}) (J_k^2 - J^2) + b_{22} J (J_k - J) \quad (3)$$

$$J = \frac{x_2 - x_1}{L_c} \quad (4)$$

f_{CN} が旅客船は0.02未満、貨物船は0.04未満が求められている。

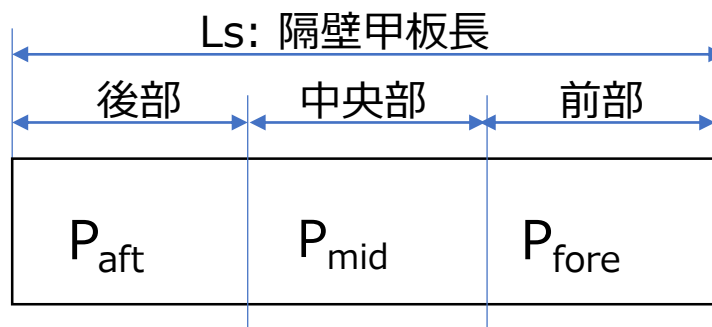


タンクの設置場所と大きさ、その場所の損傷確率を考慮した長さ方向の確率 f_l を使用したい

□ 長さ方向の損傷確率 f_l の計算方法

- 船舶を長さ方向に3等分する*
- 統計データから、衝突事故のうち、各部分で発生した割合 P を調査する
- 各部分の割合から、各部分の損傷確率を求め、燃料タンク長さを掛けたものを合算して長さ方向の損傷確率 f_l とする

*使用する統計データに応じて設定する



$$f_l = P_{aft} (l_{aft}/(Ls/3)) + P_{mid} (l_{mid}/(Ls/3)) + P_{fore} (l_{fore}/(Ls/3)) \quad (5)$$

[調査結果] 衝突事故のうち、各部分で発生した割合 P

- ・海難審判庁裁決録（平成17年）から、衝突事故を抽出
- ・総トン数が20以上499以下の船舶に絞り込み（109隻）
- ・各部で発生した割合を算出

後部(P_{aft})13%、中央部(P_{mid})16%、前部(P_{fore})72%

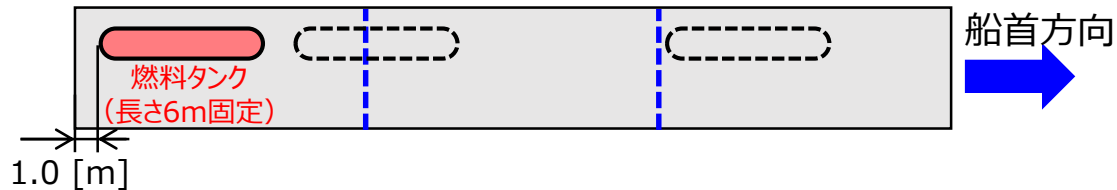
試解析

□ 概要

- コードの f_l (式2) と、提案式の f_l (式5) を比較する
- コードと提案式の f_{CN} (式1) について、船側からの可能な距離 b を比較する

➤ 試解析の解析ケース

- タンク位置を前後方向に変えた場合 (タンク長さを固定)

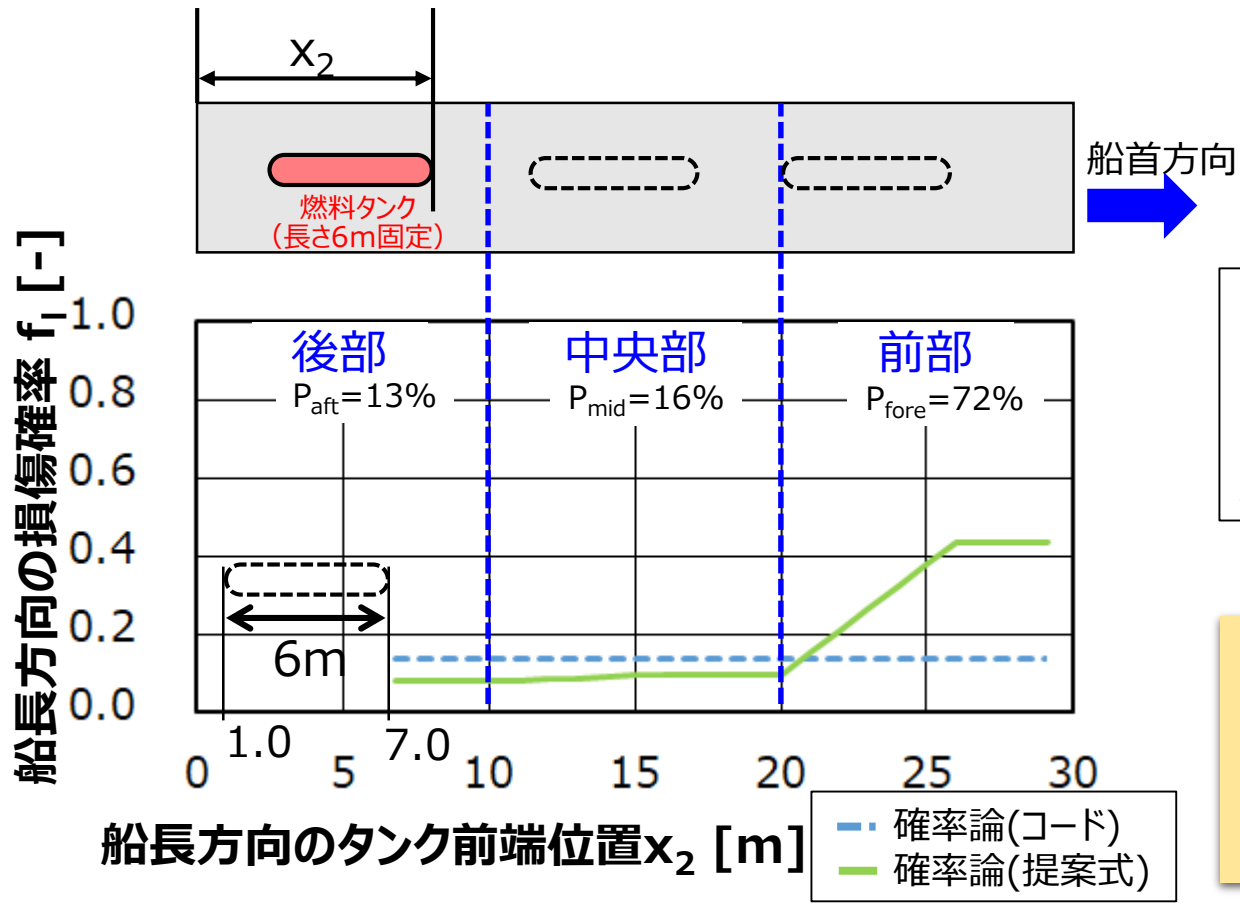


➤ 試解析の条件

- 船舶の諸元は右表の通り
- 燃料タンクと外板を1m以上離す

パラメータ	値(m)
隔壁甲板長 L_s	30.0
船幅 B	10.0
喫水 d	1.0
船底からタンク底部の高さ H	2.3

平面図 (イメージ)

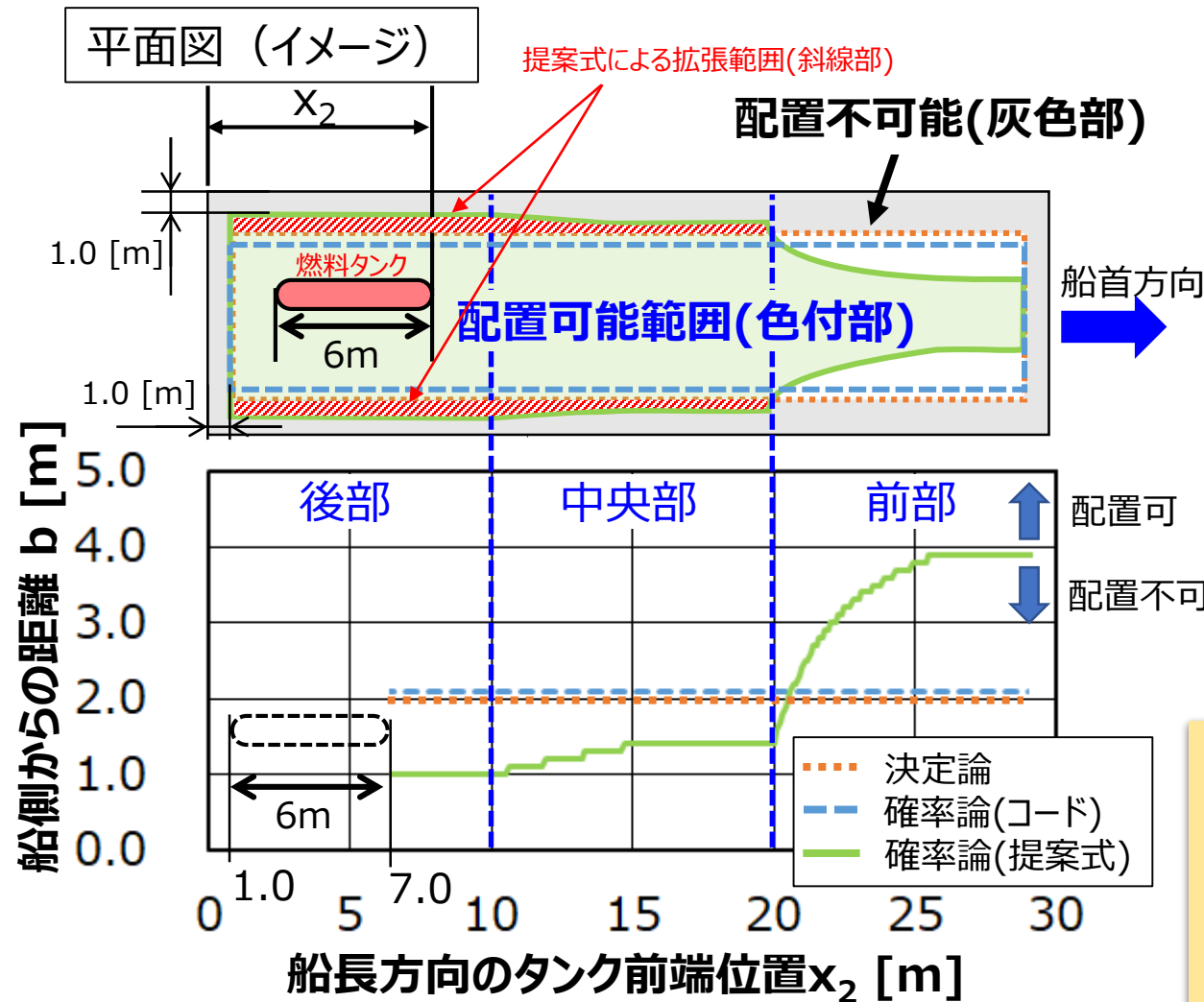


▶コードの確率論の f_1 (式2)は位置に依らない(一定値となる)
 ▶提案式の f_1 (式5)は燃料タンクが前部に入る点から上昇

衝突被害の観点では、前部を避けた燃料タンク配置が望ましいと考えられる

図：船長方向のタンク位置に対する損傷確率 f_1 値 (例*)

試解析 タンク長さ固定時の船側からの距離bの比較



▶コードの離隔 b は、決定論、確率論ともに約2m(一定値)必要となる
 ▶提案式の離隔 b は、燃料タンクが後部・中央部では小さく、前部では大きくなる

各線の上が配置可、下が不可と判断される

本条件では、赤色斜線部で(中央部～後部で)タンク配置の設計自由度が高くなると試算された

図: 燃料タンクの前端位置に対する船側からの距離 (例*)

*燃料タンクの長さを6mとした場合

- 水素燃料電池船の安全ガイドラインでは、大型船前提の基準適用が困難なことを踏まえ、代替設計を認めている。
- 代替設計では同等安全性評価が必要であり、これを行うためのリスク評価手法を開発した。
- この手法のうち、燃料タンク配置に関する部分について、手法と試解析の結果を紹介した。
 - 試解析の範囲では、確率論での設計可能な範囲が拡張され得ることが分かった。

謝辞

本発表は、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ける成果をまとめたものです。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。