

2022年度船舶基準セミナー
～IMOにおける安全関係諸基準の策定状況（自動運航船及びその他安全関係）
& 第二世代非損傷時復原性基準の解説～
セミナープログラム

2023年3月9日（木）13時00分～16時30分
赤坂インターシティカンファレンス 301 会議室

<第一部：IMOにおける基準の策定状況について>

12:30～

開場

13:00～13:05

開会挨拶

一般財団法人 日本船舶技術研究協会 会長

田中 誠一

13:05～13:25

IMOにおける自動運航船関係の審議動向

国土交通省 海事局 安全政策課 船舶安全基準室長

鈴木 長之 様

13:25～14:05

IMOにおける安全諸基準の最近の審議動向

(2026年発効の条約改正、現在審議中の改正、今後審議予定の改正)

一般財団法人 日本船舶技術研究協会 主任研究員

江黒 広訓

<第二部：第二世代非損傷時復原性基準の策定について>

14:05～14:45

第二世代非損傷時復原性基準の概要

第二世代非損傷時復原性基準の概要

国立大学法人 大阪大学 大学院 工学研究科

地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門 教授

梅田 直哉 様

14:45～15:00

コーヒープレーク

15:00～16:30

5つの危険モードの解説

国立大学法人 大阪大学 大学院 工学研究科

地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門 教授

梅田 直哉 様

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

流体性能評価系 耐航性能研究グループ 上席研究員

黒田 貴子 様

IMOにおける 自動運航船関係の審議動向

国土交通省 海事局
安全政策課 船舶安全基準室
令和5年3月



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

自動運航船の実用化に向けて



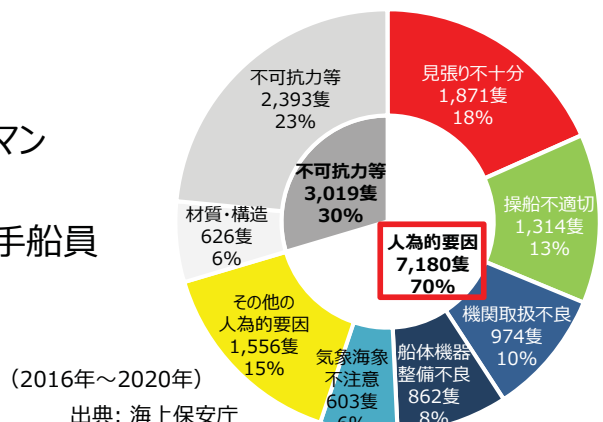
- デジタライゼーションの進展に伴い、近年注目を集める**自動運航船**について、海難事故の減少、船員労働環境の改善、我が国海事産業の国際競争力強化を目的として、フェーズⅡ自動運航船※の**2025年までの実用化**を目指す。

※ フェーズⅠ自動運航船：IoT技術活用船 フェーズⅡ自動運航船：陸上からの操船や高度なAI等による行動提案で、船員をサポートする船舶
フェーズⅢ自動運航船：自律性が高く、最終意思決定者が船員ではない領域が存在する船舶

自動運航船への注目の背景と実用化による効果等

課題

- 海難事故の約7割はヒューマンエラーに起因（右図）
- 船員の高齢化を踏まえ、若手船員の確保・育成が急務
- 造船業の競争激化

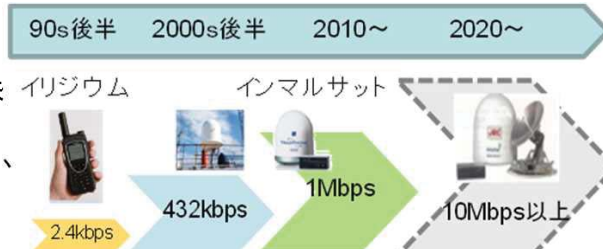


自動運航船への注目

- ✓ ヒューマンエラー起因海難事故の減少
- ✓ 船員労働環境改善・職場の魅力向上
- ✓ 日中韓の競争が激化するなか、省エネ性能に続く我が国造船・船用工業の競争優位性の確立

技術革新

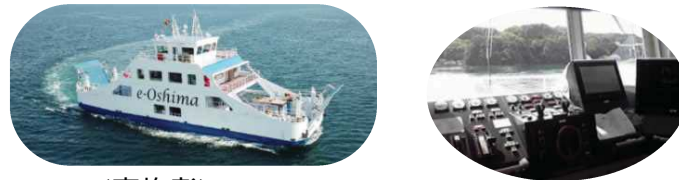
- 海上ブロードバンド通信の発展（右図）
- IoT・AI技術等の急速な進歩
- 自動船舶識別装置（AIS）、電子海図等の普及等



- 国土交通省海事局では、2016年から補助金による要素技術の開発支援を行うとともに、2018年からは自動運航船の実現に必要な安全要件の策定などの環境整備を進めるため、我が国で初めての実証事業を本格的に開始。
- 2018年にはシミュレーション試験によって安全性の検証に必要なデータの収集等を、2019年には実船実証によるシミュレーションデータの妥当性等の検証を実施。実船実証で得られた知見等を踏まえ、安全ガイドラインを作成・公表（2022年2月）

自動操船機能

自動操船機能を有する先進的なバッテリー船（海のEV）による実証



<実施者>
大島造船所、MHI マリンエンジニアリング

遠隔操船機能

400km離れた陸上施設から遠隔操船機能を実証



<実施者>
MTI、日本海事協会、海上・港湾・航空技術研究所、イコース、日本郵船、京浜ドック、三菱造船、IHI原動機、BEMAC、スカパーJSAT、東京計器、日本電信電話、NTTドコモ、日本無線、古野電気、日本海洋科学

自動離着岸機能

11,410GTの大型船でも自動着岸機能を実証



<実施者>
三井E&S造船、東京海洋大学、商船三井、三井造船昭島研究所

2025年までのフェーズII 自動運航船の実現

自動運航船に関する安全ガイドライン

□ 自動運航船に関する安全ガイドライン

- 海事イノベーション戦略推進本部の下に設置された有識者で構成される「自動運航船安全検討WG」（2019年1月設置）での検討結果を踏まえ、自動運航船の設計、自動化システムの搭載、運航の各段階において安全上留意すべき事項をまとめた「自動運航船に関する安全ガイドライン」を发出（2022年2月）

① 設計段階における留意事項

1. 運航設計領域の設定
2. ヒューマン・マシン・インターフェイスの設定
3. 自動化システム故障時等の船員の操船への円滑な移行措置
4. 記録装置の搭載
5. サイバーセキュリティの確保
6. 避航・離着岸機能を実行するための作動環境の確保
7. 遠隔制御機能を実行するための作動環境の確保
8. 自動化システムの重要パラメータの特定
9. リスク評価の実施
10. 自動化システムの手引き書等の作成
11. 自動化システムの不具合発見時の迅速な通知と対応

② 搭載段階における留意事項

1. 自動化システムと他の機器・設備との連携確保
2. 船上におけるシステム統合試験の実施
3. 離着岸機能を安全に実行するための作動環境確保
4. 遠隔制御機能を実行するための作動環境確保
5. 実海域における試験を実施する場合の手続きと緊急時安全手順の文書化
6. 自動運航船へ備え付ける図書

自動運航船安全検討WG

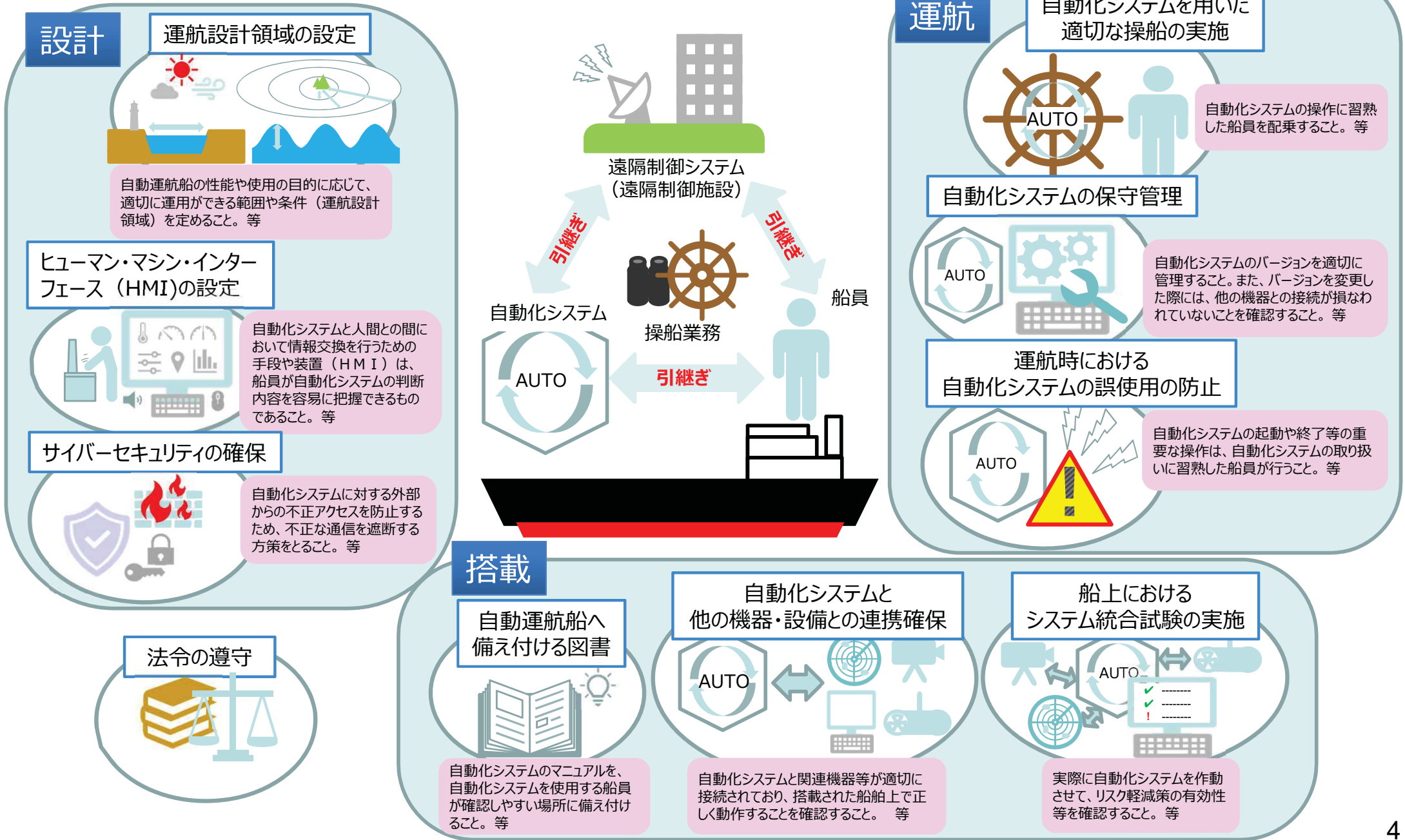
- 座長 今津 隼馬 東京海洋大学名誉教授
委員 東京海洋大学
日本大学
海上技術安全研究所
日本海事協会
海技教育機構
日本船長協会
日本船舶機関士協会



③ 運航段階における留意事項

1. 自動化システムを用いた適切な操船の実施
2. 自動化システムの操作習熟と知識獲得に必要な教育及び訓練
3. 運航時における自動化システムの誤使用の防止
4. 自動運航船へ備え付ける図書
5. 自動化システムの保守管理
6. 遠隔操船を安全に実行するための準備と定期的な保守管理

設計・搭載・運航の各段階における留意事項の具体例

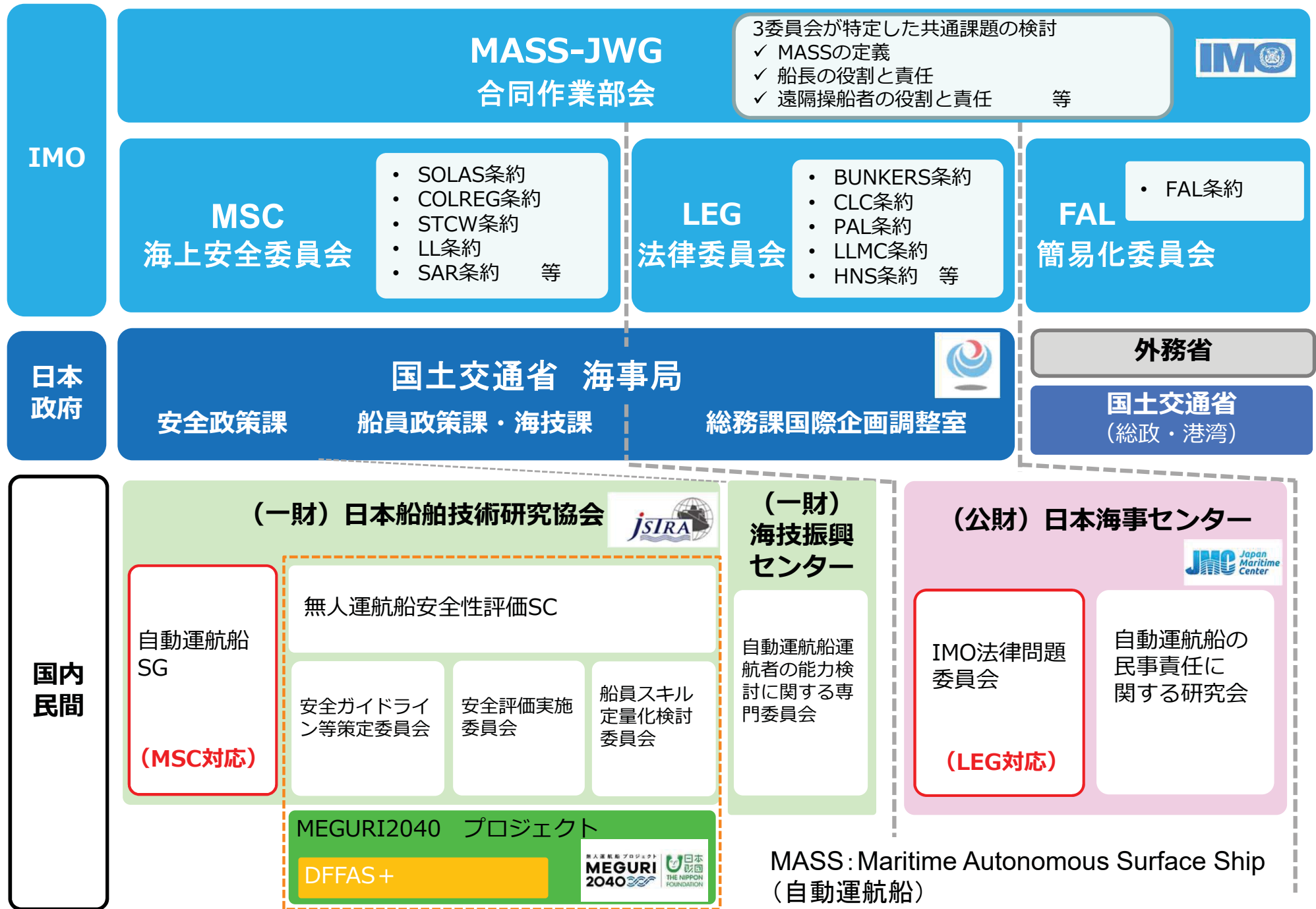


国際海事機関 (IMO)

- 国際海事機関(IMO)
海上の安全、船舶からの海洋汚染防止等、海事分野の諸問題についての政府間の協力を推進するために設立された国連の専門機関
- 設立: 1958年
- 本部: ロンドン
- 加盟国: 175カ国
- 国際条約の制定数: 50

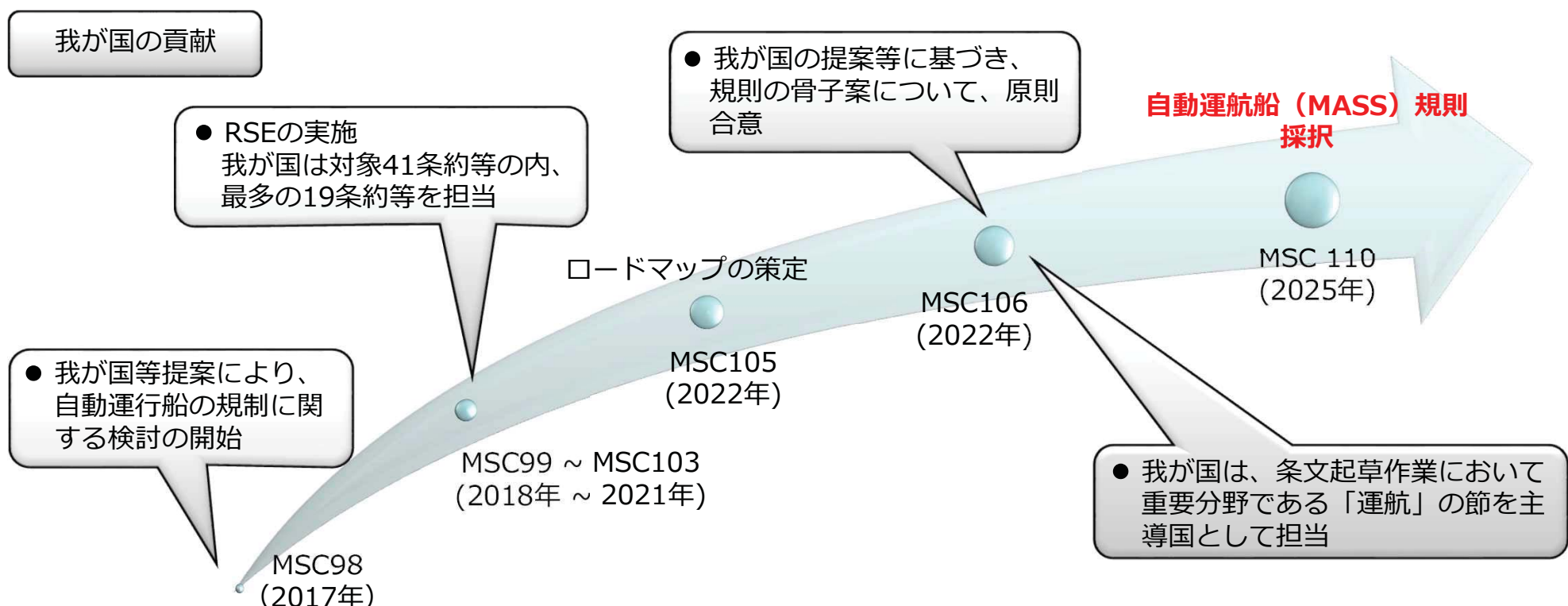


出典: IMO



MSCにおける自動運航船に関する議論

- MSC 98 (2017年6月) : 我が国等*の提案により審議の結果、現行基準の改正の要否等についての検討 (RSE)を開始することが合意
* 日本、米国、英国、ノルウェー、デンマーク、フィンランド、オランダ、エストニア及び韓国の共同提案
- MSC 103 (2021年5月) : RSEの結果を承認。船長、船員、責任者の定義等の各条約に共通の検討テーマが特定されたとともに、自動運航船規則の策定、性能評価を可能とするための枠組みの創設等、ルール策定に向けた今後の優先検討事項を特定
- MSC 105 (2022年4月) : 自動運航船に関する国際基準策定に係るIMO作業ロードマップを策定
- MSC 106 (2022年11月) : 規則の策定方法について議論し、有志国により分担して起草することに合意

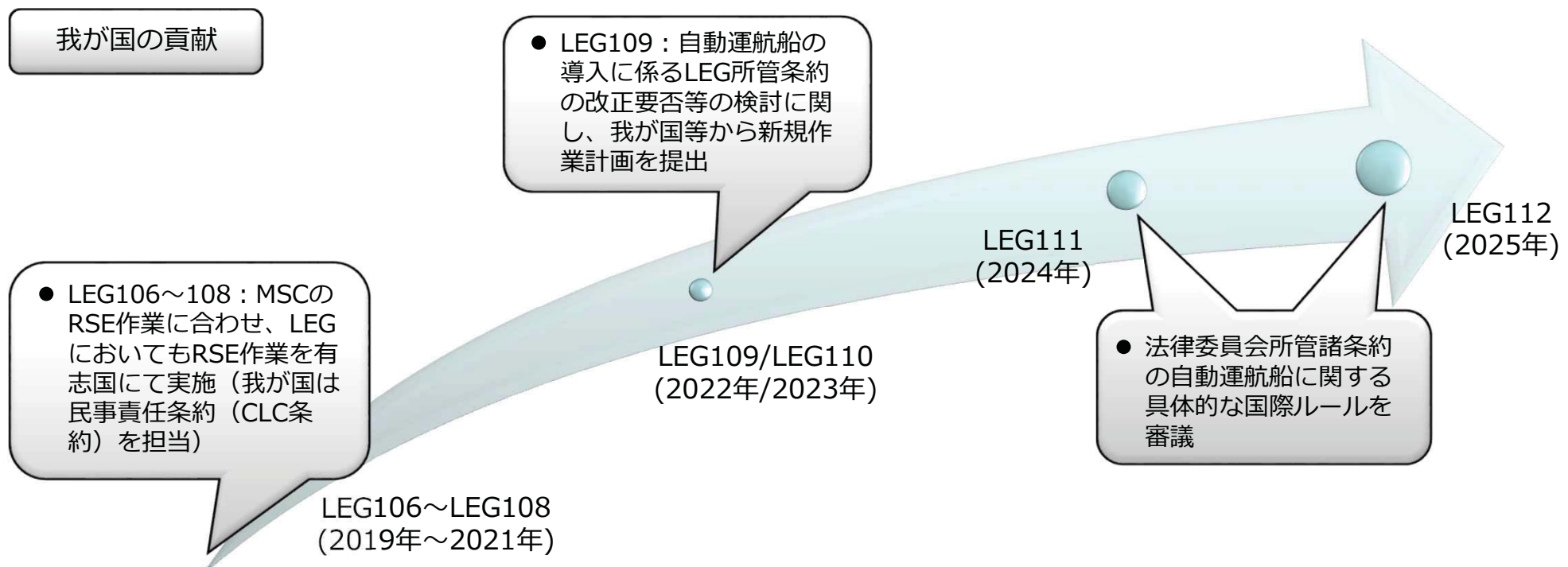


- 今後の作業に関するロードマップがMSC 105で合意。
- 非義務的規則の策定に向け、MSC 106（2022年11月）から具体的な検討を実施中。

	MSC 105 22年4月	MSC 106 22年11月	MSC 107 23年5月	MSC 108 24年5月	MSC 109 24年12月	MSC 110 25年前半
自動運航船 (MASS) 規則	➢ MASS規則 まずは、 非強制のものから制定	非義務的規則 検討開始		義務化方法 検討開始	最終化	採択 発効は2028.1見込
複数の条約にまた がる課題・テーマ		検討開始				
用語						
会期間作業	➢ CGの設置	検討開始	報告			
関連規則類の改正				➢ 既存規則類の 改正方法検討	検討開始	最終化
その他	➢ 3委員会合同WG (MASS-JWG)設置検討 ・海上安全委員会 ・法律委員会 ・簡易化委員会 →設置に合意		➢ 小委員会の 作業項目検討		➢ 今後の作業の 特定	

LEGにおける自動運航船に関する議論

- LEG106（2019年3月）：自動運航船に関する責任の所在や海上での損害に対する補償のあり方を検討する目的から、有志国において、法律委員会所管諸条約に関するRSEを実施。
- LEG108（2021年7月）：法律委員会所管諸条約に関するRSE作業結果をまとめた報告書案について審議し、これを最終化。
- LEG109（2022年3月）：自動運航船の実用化に向けた法律委員会所管諸条約の見直しに関する新規作業計画を2022-2023年、2024-2025年のそれぞれの2ヶ年議題に含め、目標完了年を2025年とすることで合意。また、自動運航船に関連する3つの委員会（LEG/MSC/FAL）の所管諸条約に共通する潜在的課題への対処を目的とした合同作業部会の設立を承認。



- RSEの結果によって特定された課題は、MSC、LEG、FALの3委員会に共通する課題が含まれているため、各委員会での審議に加え、3委員会合同作業部会（JWG）を設置し、審議することに合意
⇒ JWGでは、以下の3委員会共通課題について検討・議論される。
 - ✓ 「MASS」の定義
 - ✓ 「船長」、「船員」、「責任を有する者」の役割・責任、
 - ✓ 遠隔操船所や遠隔操船者の役割・責任及び要件 等
- JWG 1（2022年9月）：共通課題の検討の進め方や作業計画が合意
- JWG 2（2023年4月開催予定）：JWG 1の結果を踏まえて引き続き共通課題について検討

MASS-JWGの作業計画

22年9月	22年11月～	23年4月	23年～
JWG 1	各委員会	JWG 2	各委員会
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 検討の進め方、作業計画に合意 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ JWG 1の結果を踏まえて、追加の指示を行うなど各委員会（MSC106、LEG 110、FAL47）で適切な行動をとる 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ JWG 1の結果や各委員会の検討結果を踏まえて引き続き共通課題について検討 ➢ 作業計画の更新 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ JWG 2の結果を踏まえて各委員会（MSC 107、LEG 111、FAL48）で適切な行動をとる

10

MASS-JWGで議論すべき課題例①

MASSの定義と自動化レベル

想定するMASS規則の対象は？
想定する自動化レベルは？

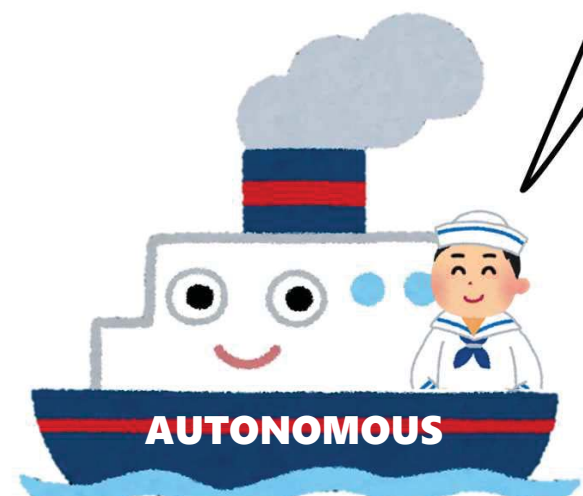
RSEを実施する際に定義された暫定的自動化レベル

- Degree one : 自動化された処理機能や意思決定支援機能を持つ船舶
- Degree two : 船上に船員を乗せて遠隔制御される船舶
- Degree three : 船上に船員を乗せずに遠隔制御される船舶
- Degree four : 完全に自律運航することができる船舶

乗船していても
操船に関与せず？



従来船



MASS

11

船長、船員の役割及び責任等

船舶が遠隔操船又は完全に自律運航している場合、船舶の安全、保安の維持はどのように行うのか？ 船長、船員の役割や責任は？

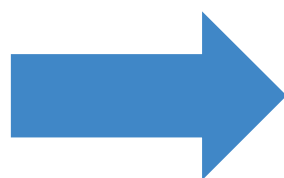
例えば、他船等より救助要請があった場合、どのように対応する？



遠隔操船所



従来船

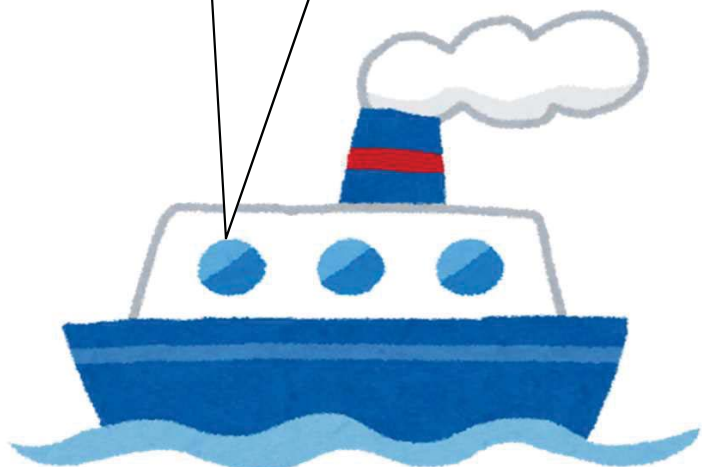


MASS

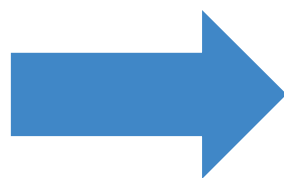
遠隔操船所、操船者の要件等

遠隔操作するオペレータの訓練内容や資格は？ 安全に遠隔操船するための操船所の要件は？

そもそも船に乗船しない操船者は、これまでの船員と異なる資格？ 安全な遠隔操船のため、操船所にはサイバーセキュリティ要件も必要？



従来船



遠隔操船所



MASS

ご清聴ありがとうございました



IMOにおける安全関係諸基準の最新の審議動向



2023年3月9日
2022年度船舶基準セミナー

一般財団法人 日本船舶技術研究協会 江黒 広訓

1

IMOにおける安全関係諸基準の検討の流れ

海上安全委員会(MSC: Maritime Safety Committee)へ、IMOメンバー国が新たな議題の設置(新規作業計画)を提案 (発生した事故や現行規則の不整合等に基づく)



関連小委員会(通常1回/年、5日間開催)にて、SOLAS条約・各種コード改正案・ガイドライン案を検討 (自動運航船のようにMSC自身で検討される議題もある)
→必要に応じ、会議間でメールベースによる審議を行うコレスポデンス・グループ(CG)を設置して継続的に検討
→必要に応じ、会議期間中にアドホックな作業部会(WG: Working Group等)を設置して詳細に審議



MSCにて、小委員会が作成した条約改正案・ガイドライン案を承認・採択



採択された改正条約が定められた適用日(2024/1/1, 2026/1/1, 2028/1/1等)に発効(義務的要件改正に関連しないガイドライン・統一解釈については適用日を明記しない場合もある)

安全関係の技術基準を審議するIMO委員会・小委員会の構成

海上安全委員会 (MSC: Maritime Safety Committee)

主な審議事項: 義務的要件の採択、自動運航船、GBS構造規則、燃料油の安全性問題、各小委員会の報告事項、海賊・難民問題、海上保安、新規作業計画の承認 etc.

船舶設計・建造小委員会 (SDC: Sub-Committee on Ship Design and Constructions)

主な審議事項: 復原性、推進・操舵装置、係船・えい航設備、旅客船安全帰港 etc.

航行安全・無線通信・捜索救助小委員会 (NCSR: Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue)

主な審議事項: GMDSS、デジタル海上通信(VDES & NAVDAT)、ECDIS、パイロットラダー etc.

船舶設備小委員会 (SSE: Sub-Committee on Ship Systems and Equipment)

主な審議事項: 救命、防火、その他艦装品、陸電 etc.

貨物運送小委員会 (CCC: Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers)

主な審議事項: IGCコード、IGFコード&代替燃料ガイドライン、IMSBCコード、IMDGコード etc.

3

IMOの議論に対する日本及び船技協(JSTRA)の役割

主要な海運・造船・舶用工業を有する国の立場から、IMOにおける基準策定・改正が合理的なものとなるよう積極的にIMO会議の議論に対応。

JSTRAでは、産・学・官の知見を集約しIMOの議論に効果的に対応するため、学識経験者、研究所、試験機関、海運会社、造船所、舶用機器メーカー、船級協会等のメンバーにより構成される各種の検討プラットフォームを設置。



2017年度第2回救命検討会

4

IMOの議論に対する日本及び船技協(JSTRA)の役割

IMO対応の検討に必要な調査研究を実施。その結果に基づき、IMOへ提案文書を提出。



出典：SSE 9/INF.2(日本)

IMO会議の審議にて日本の意見を反映するため、職員及び業界関係者を日本代表団メンバーとして派遣。



出典：IMO

5

船技協(JSTRA)の安全関係IMO対応委員会 (検討プラットフォーム)の構成 -その1-

SG: ステアリング・グループ
WG: ワーキング・グループ

自動運航船の開発・実装に係る制度の研究に関する検討プロジェクトSG

検討事項: IMO MSCにおける自動運航船関連の審議に対応

目標指向型復原性基準プロジェクト SG

検討事項: IMO SDCにおける復原性関連の審議に対応(SOLAS条約 II-1章& 2008 IS Code改正、各種ガイドライン、統一解釈 etc.)

航海設備近代化に伴う関連基準の検討プロジェクトSG

検討事項: IMO NCSRにおける航海設備・無線設備関連の審議に対応(SOLAS条約 IV章&V章改正、各種性能基準、ガイドライン、統一解釈 etc.)

救命設備基準改正プロジェクトSG

検討事項: IMO SSEにおける救命設備関連の審議に対応(SOLAS条約 III章&LSA Code改正、試験勧告、ガイドライン、統一解釈 etc.)

救命胴衣試験基準改正WG

検討事項: IMO SSEにおける救命胴衣の試験基準改正関連の審議に対応

ガス燃料船・新液化ガス運搬船基準の策定プロジェクトSG

検討事項: IMO CCCにおける液化ガス運搬船・ガス燃料船関連の審議に対応(IGC Code & IGF Code改正、各種ガイドライン、統一解釈 etc.)

代替燃料WG

検討事項: IMO CCCにおける代替燃料(水素、アンモニア、LPG)関連の審議に対応(各種ガイドライン)

6

船技協(JSTRA)の安全関係委員会(検討プラットフォーム)の構成 -その2-

防火検討会

検討事項:IMO SSEにおける火災安全関連の審議に対応(SOLAS条約 II-2章 & FSS Code & FTP Code改正、各種ガイドライン、統一解釈 etc.)

RORO旅客船火災安全WG

検討事項:IMO SSEにおけるRORO旅客船(フェリー)火災安全基準改正の審議に対応

ドライケミカル粉末消火装置WG

検討事項:IMO SSEにおける液化ガス運搬船用ドライケミカル粉末消火装置ガイドライン改正の審議に対応

陸電装置に係る基準検討WG

検討事項:IMO SSEにおける陸電ガイドライン策定の審議に対応

燃料油の安全性検討会

検討事項:IMO MSCにおける燃料油の安全性関連の審議に対応(SOLAS条約 II-2章改正、ガイドライン作成)

船上揚貨装置及びアンカーハンドリングウインチ検討会

検討事項:IMO SSEにおける船上揚貨装置&アンカーハンドリングウインチの基準策定関連の審議に対応(SOLAS条約 II-1章改正、各種ガイドライン作成)

SOLAS II-1章機能要件検討会

検討事項:IMO SDCIにおける代替設計のための機関設備、電気設備の目標・機能要件関連の審議に対応(代替設計ガイドライン作成)

※：上記の検討プラットフォームは、IMOの審議状況に応じて適宜、新設・廃止される。

7

IMO MSC(海上安全委員会)の審議トピック： “自動運航船(MASS)” 関連の審議動向

【背景】

- MSC 98(2017/6)より、日本等の提案に基づき、MASSに係わる基準の検を開始。
- MSC 103(2021/5)にて、MASSのルール策定のための優先検討事項を特定。
- MSC 105(2022/4)にて、基準策定のロードマップを策定、
- MSC 106(2022/11)にて、日本を含む有志国により分担して規則をドラフトすることを合意。



【今後の予定】

- 2024年の制定に向けて、非義務の目標指向型(ゴールベース)MASS規則を策定予定。
- 義務的なMASSコードの2025年採択、2028年発効を目指す。
- 具体的規則案のための議論をコレスポネンス・グループ(CG) (※)で実施。

(※)会期間通信部会。次の会合までの間に電子メールベースで審議を進めるためのグループ。

8

IMO MSC(海上安全委員会)の審議トピック： “燃料油の安全性” 関連の審議動向

【背景】

- 燃料油が原因とされる機関故障等の不安全事象が発生したため、MSC 100(2018/12)より、リバリア、ICS等の提案に基づき検討を開始。
- MSC 106(2022/11)にて、SOLAS条約の引火点要件(60°C)に適合しない燃料油が確認された場合の報告及び燃料油サプライヤーへの措置、並びにバンカーデリバリヤーノートへの引火点の記載etc.に関するSOLAS条約改正案を採択。



出典：Martech社HP

【今後の予定】

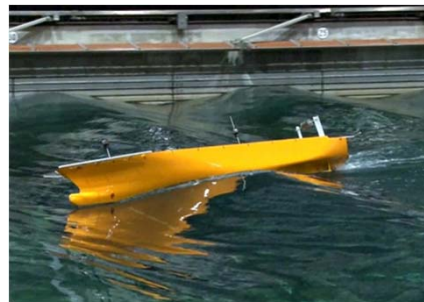
- SOLAS条約改正は2026年1月1日に発効予定。
- 次の事項を引き続きコレスポネンス・グループ(CG)で議論。その結果に基づきMSC 107(2023/6)で更に検討予定。
 - 燃料油のサンプリング手順に関するガイドライン(MEPC.182(59))の改正
 - 引火点以外の燃料油パラメータに関連する措置の検討

9

IMO SDC(船舶設計・建造)小委員会の審議トピック： “復原性” 関連の審議動向 ～第二世代非損傷時復原性基準～

【背景】

- 現行の2008 ISコードでは、波浪等による影響について十分に考慮されていないこと、及び新形式の船型や近年の超大型船への対応が難しいことから、「パラメトリック横揺れ」、「復原力喪失」、「フローチング」、「デッドシップ状態」及び「過大加速度」の5つの危険現象に対応した次世代の非損傷時復原性基準の検討を開始。
- MSC 102(2020/5)にて、第二世代非損傷時復原性基準の暫定ガイドラインを承認。
- MSC 105(2022/4)にて、第二世代非損傷時復原性基準の解説文書(Explanatory Note)を承認。



出典：2021年度大阪大学調査研究報告書

【今後の予定】

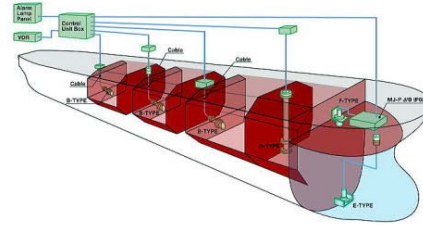
- 本件の審議は一旦完了したものの、各国・団体に対して暫定ガイドライン及び解説文書の適用について更なる研究を実施し、そこから得られた経験を将来のSDC小委員会の議題“その他の事項”に提出することが要請されている。
- そのため、第二世代非損傷時復原性基準の適用から得られたデータや経験をIMOにインプットしていくことが考えられる。

10

IMO SDC (船舶設計・建造)小委員会の審議トピック： “復原性” 関連の審議動向 ～水面探知器の適用拡大～

【背景】

- MSC 100(2018/12)にて、米国の提案に基づき、バルクキャリア及び単船倉貨物船に要求される貨物倉内の水面探知器を、全ての船種の貨物船に適用拡大するためのSOLAS条約改正の検討の開始を合意。
- MSC 103(2021/5)にて、水面探知器の適用拡大のためのSOLAS条約改正案を採択。
- SDC 9(2023/1)について、SOLAS条約改正に合わせた水面探知器の性能基準(MSC.188(79))の改正案を最終化。



出典：(株)宇津木計器HP

【今後の予定】

- 水面探知器の適用拡大のためのSOLAS条約改正は、2024年1月1日以降に建造される複数の船倉を有する貨物船に適用される。
- ただし同改正は、タンカー及びバルクキャリアには適用されず、また乾舷甲板より上方の貨物倉にも適用されない。
- SDC 9(2023/1)で最終化された性能基準改正案は、MSC 107(2023/6)で採択される予定。

11

IMO SDC (船舶設計・建造)小委員会の審議トピック： 新たな議題の動向 ～非常用えい航装置(ETA)の適用拡大～

【背景】

- MSC 103(2021/5)にて、フランス等の提案に基づき、現状2万DWT以上のタンカーに要求される非常用えい航設備(ETA)を、2万総トン以上の全ての船種に適用拡大するためのSOLAS条約改正の検討の開始を合意。
- SDC 9(2023/1)にて、タンカー以外の船種の2万総トン以上の船舶にETAの搭載を要求するSOLAS条約改正案を合意。



出典：Tanktech社HP

【今後の予定】

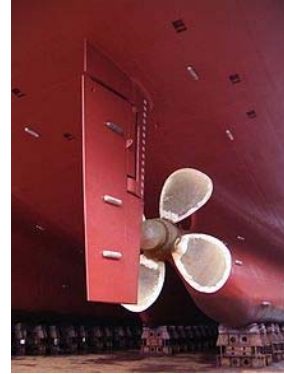
- SDC 9で合意されたSOLAS改正案はMSC 107(2023/6)にて承認される予定。同改正案は2028年1月1日以降に建造される新造船に適用される見込み。
- 船種の違いを考慮したETAのガイドラインの策定のための審議がSDC 10(2024/1)にて行われる見込み。

12

IMO SDC (船舶設計・建造)小委員会の審議トピック： 新たな議題の動向 ～推進・操舵装置要件の見直し～

【背景】

- MSC 105(2022/5)にて、欧州諸国の提案に基づき、単一のプロペラ及び舵による従来型の推進・操舵装置だけでなく、非従来型の装置(アジマススラスター等)も扱えるようにSOLAS条約等を改正する審議の開始を合意。
- SSE 9(2023/3)にて、本件をSDC 10(2024/1)の議題に含め、本格的に議論を開始することを合意。



【今後の予定】

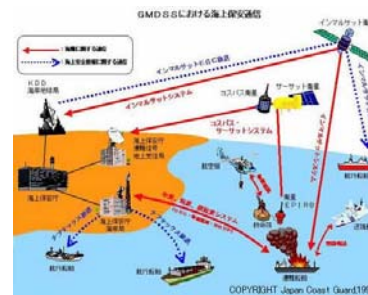
- SDC 10(2024/1)より具体的な規則改正の審議が開始される。出典：Wikipedia
早ければ2028年1月1日に改正規則が発効することが予想される。
- 欧州諸国の提案(MSC 105/18/1)にはSOLAS及び各種関連基準の改正案が含まれている。これによると、従来型の装置(単一のプロペラ及び舵)に関する要件も影響を受けるとされている。

13

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック： “航海・無線設備” 関連の審議動向 ～GMDSS近代化～

【背景】

- MSC 86(2009/5)にて、海上無線通信技術による「全世界的な海上遭難・安全システム(GMDSS)」の近代化の検討の開始を合意。
- NCSR 8(2017/6)にて、GMDSS近代化のためのSOLAS III章及びIV章改正案を最終化。
- MSC 105(2022/4)にて、上記改正案を採択。また各種性能基準案を承認。
- MSC 106(2022/11)にて、残項目であった関連サーキュラー改正案を承認。



出典：総務省HP

【今後の予定】

- GMDSS近代化のための各種条約・性能基準改正は、2024年1月1日に発効。
- COMSAR/Circ.32/Rev.1「SOLAS船に搭載する無線設備のGMDSS要件の調和」について、日本は装置の搭載要件の明確化のための修正の必要性を表明しており、NCSR 10(2023/5)にて審議予定。

14

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック： “航海・無線設備” 関連の審議動向 ～ECDIS性能基準改正～

【背景】

- NCSR 9(2022/6)にて、新しい世代の電子海図(S-101 ENC)の導入を可能とするためのECDIS性能基準(MSC.232(82))改正案を最終化。
- MSC 106(2022/11)にて、改正性能基準をMSC.530(106)として採択。



出典：Wikipedia

【今後の予定】

- 改正性能基準(MSC.530(106))の適用日は2026年1月1日とされている。
(ただし、2026年1月1日以降搭載される装置については、2029年1月1日までは、現行性能基準(MSC.232(82))又は改正性能基準(MSC.530(106))のいずれかを満足することでよいとする経過期間あり)
- IHOに対して、IHO S-100基準の策定プロセスをIMOに通知し続けることが要請されている。
- NCSR 10(2023/5)では、改正性能基準に基づき、船舶の航路計画の船陸間のやり取り(デジタル・エクステンジ)について審議が行われる予定。

15

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック： “航海・無線設備” 関連の審議動向 ～電子傾斜計の搭載義務化～

【背景】

- MSC 101(2019/6)にて、ドイツの提案に基づき、コンテナ船及びバルクキャリアに電子傾斜計の搭載を義務付けるためのSOLAS改正案の検討を開始することを合意。
- NCSR 9(2022/6)にて、SOLAS V章及び関連条約証書様式の改正案を最終化。
- MSC 106(2022/11)にて、上記の改正案を承認。



出典：(株)宇津木計器HP

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、上記の改正案が採択される予定。
- 電子傾斜計の搭載義務付けは、2026年1月1日以降に建造される総トン数3,000トン以上のコンテナ船及びバルクキャリアに適用される。
- 搭載される電子傾斜計は、国際基準(MSC.362(92))に適合したものであることが要求される。

16

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック：

“航海・無線設備” 関連の審議動向 ～VDR性能基準&搭載基準改正～

【背景】

- MSC 101(2019/6)にて、米国の提案に基づき、VDRの回収を容易にするため、新規に搭載する全てのVDR及びS-VDRに浮遊型の記録媒体を有することを規定するSOLAS改正案の検討を開始することを合意。
- また米国は、VDR及びS-VDRが全ての船内電話を記録することを規定するよう性能基準(決議MSC.333(90)及び決議MSC.163(78))を改正することも提案。



出典：FURUNO HP

【今後の予定】

- NCSR 10(2023/5)より、本件の審議が本格的に開始される予定。
- 本件の審議が早期に合意された場合、2028年1月1日に改正条約が発効することが予想される。

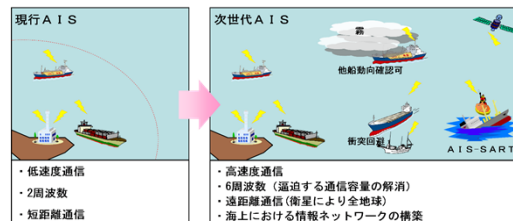
17

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック：

“航海・無線設備” 関連の審議動向 ～VDES導入のためのSOLAS改正～

【背景】

- MSC 103(2021/5)にて、日本等の提案に基づき、「VHFデータ交換システム(VDES)」の導入のためのSOLAS改正案の検討を開始することを合意。
- NCSR 9(2022/6)にて、本件を次回NCSR 10の議題に含め、本格的に議論を開始することを合意。



次世代AIS(VDES)イメージ (海上保安庁HP)

【今後の予定】

- NCSR 10(2023/5)より、本格的にSOLAS条約へのVDES導入の議論が開始される。
- VDESは、地上で用いるVHF周波数によるデータ交換(地上VDE：VDE-TER)、低軌道衛星によるVHF周波数によるデータ交換(衛星VDE：VDE-SAT)、自動船舶識別システム(AIS：Automatic Identification System)及びASM(Application Specific Messages：AISを応用したメッセージ交換)をまとめて扱うものであり、従来のAISよりも高速通信可能で多くの周波数帯を利用可能。海上情報ネットワークの構築等への活用が期待される。

18

IMO NCSR (航行安全・無線通信・捜索救助)小委員会の審議トピック： “航海・無線設備” 関連の審議動向 ～NAVDAT性能基準の策定～

【背景】

- MSC 104(2021/10)にて、フランス等の提案に基づき、海上安全情報及びセキュリティ関連情報の受信のためのNAVDAT受信機の性能基準の策定を開始することを合意。
- NCSR 9(2022/6)にて、本件を次回NCSR 10の議題に含め、本格的に議論を開始することを合意。



従来のNAVTEX (出典：Wikipedia)

【今後の予定】

- NAVDATは、テキスト配信のみのNAVTEXに代わり、デジタル方式でのデータ配信の受信も可能な機器とされる。
- フランス等の提案(MSC 102/21/6)によると、NAVDATを義務化せず、NAVTEXに加えてオプションとしてこれを利用可能とすることとされている。

19

IMO CCC(貨物運送)小委員会の審議トピック： “IGCコード” 関連の審議動向 ～IGCコードの見直し作業～

【背景】

- MSC 103(2021/5)にて、2016年に発効した現行IGCコードの運用上の問題や不具合を解消するための見直し作業の開始を合意。
- CCC 8(2022/9)にて、これまでに合意された統一解釈や各国の提案を踏まえた改正案を原則合意。
- その他にも多くの改正提案があったことから、コレスポнденス・グループにて継続してIGCコード改正案を検討することを合意。



出典：Wikipedia

【今後の予定】

- 現在審議されているIGCコード改正案は、2028年1月1日以降に建造される船舶に適用することを念頭にしている。
- 次回CCC 9(2023/9)では、CGの審議結果を踏まえて、更に改正案が審議される予定。

20

IMO CCC(貨物運送)小委員会の審議トピック： “低引火点燃料” 関連の審議動向 ～IGFコード改正&各種ガイドライン策定～

【背景】

- 現行IGFコードは2017年1月1日に発効。
- MSC 102(2020/11)にて、メタノール/エタノール燃料に関する暫定ガイドラインが承認。その際に、IGFコードの更なる改正及び各種ガイドラインの策定のための作業計画を合意。
- MSC 105(2022/5)にて、燃料電池搭載船に関する暫定ガイドラインを承認。
- CCC 8(2022/9)にて、LPG燃料船の安全性に関する暫定ガイドライン案を最終化
- CCC 8(2022/9)にて、 IGFコード改正案及び水素燃料船の安全性に関する暫定ガイドライン案について、次回CCC 9(2023/9)に向けてコレスポンデンス・グループにて引き続き検討することを決定。



出典：IMO

【今後の予定】

- LPG燃料船の安全性に関する暫定ガイドライン案は、MSC 107(2023/6)にて承認される予定。
- 次回CCC 9(2023/9)では、CGの審議結果を踏まえて、 IGFコード改正案及び水素燃料船の安全性に関する暫定ガイドライン案が更に審議される予定。

21

IMO CCC(貨物運送)小委員会の審議トピック： “代替燃料” 関連の審議動向 ～アンモニア燃料船ガイドライン策定～

【背景】

- MSC 105(2022/4)にて、日本の提案に基づき、アンモニア燃料の使用のためのガイドライン検討の開始を合意。
- CCC 8(2022/9)にて、コレスポンデンス・グループにて日本提案をベースにガイドライン案を引き続き検討することを合意。



出典：日本郵船

【今後の予定】

- 次回CCC 9(2023/9)では、CGの審議結果を踏まえて、アンモニア燃料の使用のためのガイドライン案が更に審議される予定。

22

IMO CCC(貨物運送)小委員会の審議トピック： “液化水素”関連の審議動向 ～液化水素運搬船暫定勧告の見直し～

【背景】

- MSC 97(2016/11)にて、液化水素運搬船の暫定勧告を承認。
- MSC 105(2022/4)にて、日本の提案に基づき、暫定勧告の見直し作業の開始を合意。
- CCC 8(2022/9)にて、大型タンクに対応した章の新設等の方向性について合意。次回CCC 9(2023/9)に向けて、日本を中心に暫定勧告の見直しの検討を実施することを決定。



出典：川崎重工業

【今後の予定】

- 次回CCC 9(2023/9)では、日本からのインプットを踏まえて、液化水素運搬船の暫定勧告の見直し作業が行われる予定。

23

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “救命設備”関連の審議動向 ～生存艇の換気要件～

【背景】

- MSC 97(2016/11)より、日本及びバハマの提案に基づき、全閉型救命艇の換気要件の策定の検討を開始。その際にドイツの提案に基づき、検討対象を生存艇に拡大(部分閉型救命艇と救命いかだを含む)。
- SSE 8(2022/3)までに、全閉型救命艇、部分閉型救命艇及び救命いかだの換気のためのLSAコード改正案等を最終化。
- MSC 106(2022/11)にて、日本及び米国等が部分閉型救命艇と救命いかだの換気要件に反対した結果、これらへの換気要件の必要性を再検討することを決定。
- SSE 9(2023/3)にて、部分閉型救命艇と救命いかだの換気要件の必要性について意見が分かれたため、次回SSE 10で改めて審議することを決定。



出典：MSC 97/INF.11(日本&バハマ)

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、全閉型救命艇の換気要件のためのLSAコード改正案が採択される予定。(2026年1月1日発効予定)
- 各国主管庁及びメーカーに対して十分な準備期間を設けるため、2029年1月1日を適用日とすることがSSE 8(2022/3)にて合意されている。

24

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “救命設備” 関連の審議動向 ～救命胴衣の試験基準改正～

【背景】

- MSC 101(2019/6)より、欧州諸国の提案に基づき、救命胴衣の性能を改善するためのLSAコード等の改正の検討を開始。
- 欧州諸国は、復正性能(注)を向上させるために、衣服を着用した状態での試験を提案。更に既存の救命胴衣を新基準適用品に置き換えることも提案。
(注)うつ伏せで浮かんだ状態から、自然に上向きになること。現状は水着を着用して試験
- 日本は、衣服を着用した試験の再現性に懸念があるとして、代わりに浮力材を身につけた復正試験方法を提案し、各国に試験実施と結果の共有を呼びかけ。
- SSE 9(2023/3)にて、現状の試験基準を僅かに改正したLSAコード改正案を最終化。



出典：SSE 9/INF.2(日本)

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、LSAコード改正案が承認され、MSC 108(2024年春)にてこれが採択される予定。(2026年1月1日発効予定)
- 復正試験基準の更なる改正は、今後、各国から提案が提出された際に検討される余地が残されている。
- 欧州が当初提案していた、既存の救命胴衣の置き換えについては、改めて提案があるか不明。

25

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “救命設備” 関連の審議動向 ～救命いかだ搭載要件の強化～

【背景】

- MSC 99(2018/5)にて、中国の提案に基づき、RORO旅客船に要求される「自己復原型又は天蓋付き両面式救命いかだ」を全ての新造の旅客船と貨物船に適用するためのSOLAS改正の検討の開始を合意。
- SSE 9(2023/3)にて、本件を次回SSE 10(2024/3)の議題に含め本格的に議論を開始することを合意。



出典：藤倉コンポジットHP

【今後の予定】

- 中国の提案するSOLAS改正が、想定される最も早いスケジュールで合意された場合、2028年1月1日に発効することとなる。

26

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “火災安全” 関連の審議動向 ～RORO旅客船火災安全要件～

【背景】

- MSC 97(2016/11)より、欧州諸国の提案に基づき、RORO旅客船の火災安全性の向上のための規則改正の検討を開始。
- SSE 9(2023/3)にて、RORO区域への熱・煙探知器及び監視カメラの設置、船側開口の制限、暴露甲板への放水モニターの設置等を含む SOLAS改正案及びFSSコード改正案を最終化。



出典：EU FIRESAFE II Study report

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にてSOLAS改正案及びFSSコード改正案が承認され、MSC 108(2024年春)にてこれらが採択される予定。(2026年1月1日発効予定)
- 改正案に含まれるRORO区域への熱・煙探知器の設置、監視カメラの設置及び暴露甲板への放水モニターの設置は既存のRORO旅客船にも遡及適用される。(2028年1月1日以降の最初の検査までに)

27

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “火災安全” 関連の審議動向 ～ドライケミカル粉末消火装置～

【背景】

- MSC 98(2017/6)より、韓国の提案に基づき、試験方法の明確化及びナトリウムベースの粉末の禁止のための液化ガス運搬船用の固定式ドライケミカル粉末消火設備のガイドライン(MSC.1/Circ.1315)改正の検討を開始。
- SSE 8(2022/3)にて、ナトリウムベース粉末の禁止規定は含めずにISO規格への適合を求めるガイドライン改正案を最終化。
- MSC 106(2022/11)にて、ガイドライン改正案を承認。(2023/7/1以降適用)



出典：プロテックHP

【今後の予定】

- 改正ガイドラインは、2023年7月1日以降に搭載される装置に適用される。

28

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “火災安全” 関連の審議動向 ～電気自動車等の新エネルギー自動車を積載する船舶の火災安全要件～

【背景】

- MSC 105(2022/4)より、中国の提案に基づき、リチウムイオンバッテリー電気自動車等の新エネルギー自動車を運送する船舶の火災安全性の向上のための検討を開始。
- SSE 9(2023/3)にて、本件を次回SSE 10(2024/3)の議題に含め、本格的に議論を開始することを合意。



出典：Forbs

【今後の予定】

- 本件については、欧州も研究プロジェクト(LASHFIRE)を実施しており、その成果は本年夏に公表される予定。IMO SSEへ欧州の研究成果に基づく規則改正提案が提出されることが予想される。
- 本件では、電気自動車だけでなく、ハイブリッド自動車や水素燃料自動車といった他のタイプの自動車を運送する船舶の火災安全性についても議論される可能性がある。
- 本件では、PCC(貨物船)だけでなく、RORO旅客船も検討対象となる。

29

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “火災安全” 関連の審議動向 ～コンテナ船の火災安全要件～

【背景】

- MSC 103(2021/5)より、マーシャル諸島等の提案に基づきコンテナ船の火災安全性を向上するためのSOLAS改正の検討を開始。
- SSE 8(2022/3)にて、ゴールベースの基準検討アプローチをとること、及び欧州が実施する研究(CARGOSAFE)の成果をレビューすることを合意。
- SSE 9(2023/3)にて、韓国は高所からの放水設備及びAIカメラによる火災探知の導入を提案するも、欧州の研究のレビュー結果を待つために審議を延期することを合意。



出典：SSE 9/10(韓国)

【今後の予定】

- 欧州の研究(CARGOSAFE)の成果はMSC 107(2023/6)に提出された後に、FSA EGでレビューされることが予想される。
- 次回SSE 10(2024/3)より、本件の審議が本格的に開始されることが見込まれる。

30

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “火災安全” 関連の審議動向 ～有機フッ素化合物(PFOS等) を含む泡消火剤の禁止～

【背景】

- MSC 101(2019/6)より、ノルウェーの提案に基づきPFOSを含む泡消火剤を禁止するためのSOLAS改正の検討を開始。
- SSE 8(2022/3)にて、既存の消火剤の廃棄も含めたPFOS禁止のためのSOLAS改正案を最終化。
- MSC 106(2022/11)にて、英国及びIACSがPFOSだけでなく、他のフッ素化合物(PFOA等)の禁止の検討を提案。
- SSE 9(2023/3)にて、PFOSを禁止するためのSOLAS改正の採択を進めつつ、他の物質の禁止については、コレスポンデンス・グループで継続審議することを合意。

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、既存船も含めたPFOSを含む泡消火剤の使用禁止のためのSOLAS改正案が採択される予定。(2026年1月1日発効予定)
- PFOS以外の物質の禁止については、今後議論される予定。



出典：BIMCO HP

31

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “船上揚貨装置” 関連の審議動向 ～新たな義務的要件の策定～

【背景】

- MSC 89(2011/5)より、日本等の提案に基づき揚貨装置の基準策定の検討を開始。
- MSC 98(2017/6)にて、ノルウェーの提案に基づきアンカーハンドリングウィンチの基準も策定することを合意。
- SSE 8(2022/3)にて、船上揚貨装置及びアンカーハンドリングウィンチの設計、建造、検査、試験、点検・保守、操作の要件を定めるSOLAS改正案及び各種ガイドライン案を最終化。

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、SOLAS改正案が採択され、各種ガイドラインも最終承認される予定。(2026年1月1日発効予定)
- 同SOLAS改正の発効後は、既存の装置も含めて、揚貨装置の詳細検査及び5年次の荷重試験、船上での保守・点検等が義務化される。



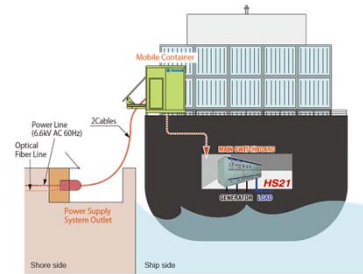
出典：Lloyd's Register

32

IMO SSE(船舶設備)小委員会の審議トピック： “陸電”関連の審議動向 ～安全なオペレーションのための 暫定ガイドラインの策定～

【背景】

- MSC 98(2017/6)より、中国の提案に基づき検討を開始。
- SSE 9(2023/3)にて、陸電装置の各種試験、操作手順、保守、所持文書、習熟に関する指針を定めた暫定ガイドライン案を最終化。陸電装置の規格としてIEC/IEEE 80005-1:2019を参照。



出典：寺崎電気産業(株)

【今後の予定】

- MSC 107(2023/6)にて、暫定ガイドラインが承認される予定。
- 同暫定ガイドラインは、SOLAS規則で参照されないため非義務のガイドラインとなる。

33

Supported by  日本 THE NIPPON
財団 FOUNDATION

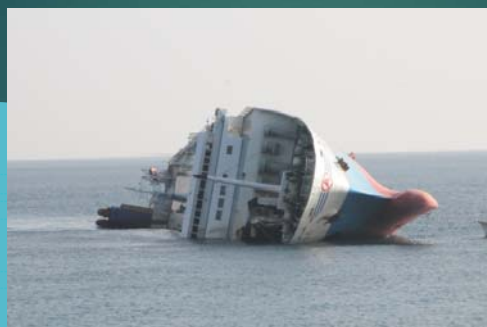
ご清聴ありがとうございました。



船技協マスコットキャラクター
ジェイ・ストラクン

34

第二世代非損傷時復原性基準の概要



写真：池田良穂

国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

復原性基準

- ▶ 非損傷時復原性 intact stability
- ▶ 損傷時復原性 damage stability

船舶非損傷時復原性基準

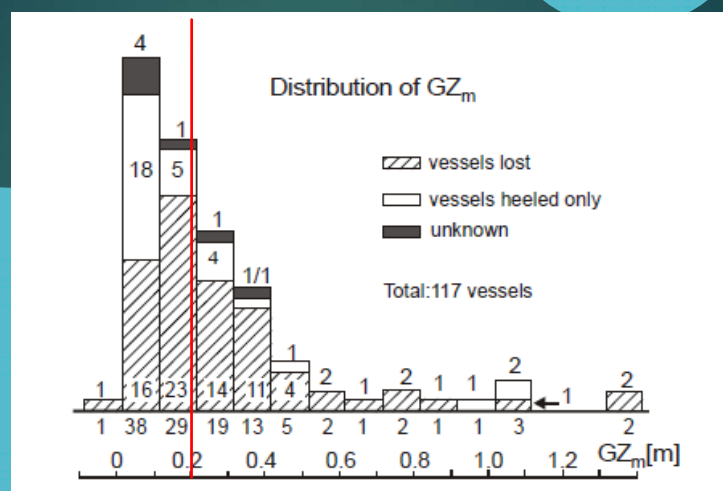
- ▶ 2008 非損傷時復原性コード (2008 IS Code)
 - Part A 強制要件
 - Part B 一部船種への勧告要件と補足ガイドライン
 - Part C 解説文書
- ▶ 1974 SOLAS条約および1966 LL条約の1988議定書は、上記のコードPart Aを参照することで、それを強制化

▶ 非損傷時復原性基準

- 2008 International Code on Intact Stability (2008 IS Code) 2008年12月5日、IMOでadopt (Resolution MSC 267(85))
- そのPart Aを2010年7月1日以降、強制化 (74SOLAS条約と88LL議定書の改正の結果)
 - 対象：LLでは24m以上の客船・貨物船、SOLASではすべての客船、500トン以上の貨物船
- ▶ これを先取りして、国内法（船舶復原性規則）を改正（2009年1月1日施行）

2008ISコード Part A

- ▶ GZ曲線基準
 - 事故統計とGZ曲線の関係に基づく経験則
 - フィンランドのRahola教授の方法に基づき、IMCOが約100隻の事故データで1965年に決定。
- ▶ ウエザークラテリオン
 - 横波横風中の同調横揺れのエネルギーバランスのモデルでその風速を事故統計でチューニングした半経験則
 - 渡辺恵弘教授らの方法にもとづき日本が作成した国内規則（乙基準）をソ連国内規則の横揺れ角の実験式と組み合わせてIMCOが1985年に作成。
- ▶ 客船、木材運搬船などへの付加基準



2008 IS Code Part A, 2.2

General Criteria (Res. A. 167(ES.IV))

$$E(30 \text{ degrees}) > 0.055 \text{ m} \cdot \text{rad}$$

$$E(40 \text{ degrees}) > 0.09 \text{ m} \cdot \text{rad}$$

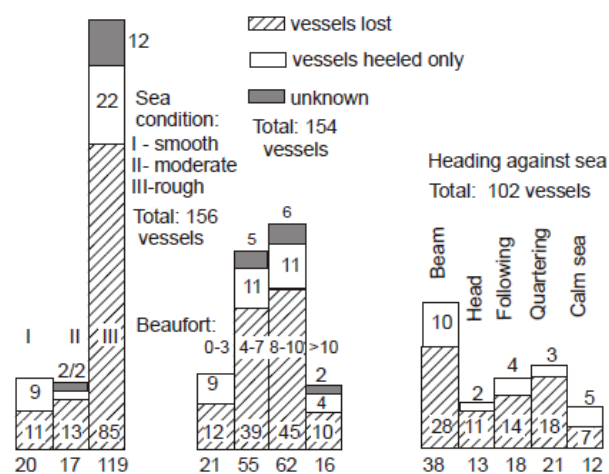
$$E(40 \text{ degrees}) - E(30 \text{ degrees}) > 0.03 \text{ m} \cdot \text{rad}$$

$$GZ(\phi_{\max}) > 0.2 \text{ m}$$

$$\phi_{\max} > 25 \text{ degrees}$$

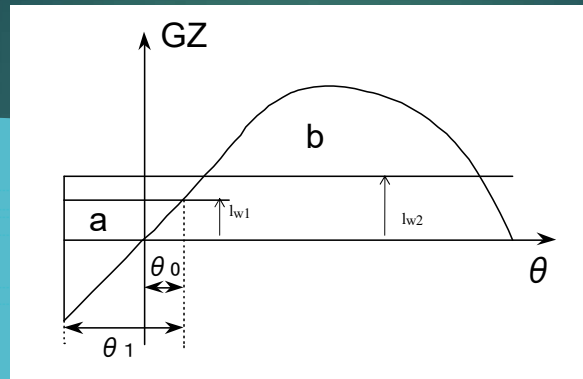
$$GM > 0.15 \text{ m}$$

$$E(\phi) = \int_0^{\phi} GZ(\phi) d\phi$$



2008 IS Code Part A, 2.3

Weather Criterion (Res. A. 562(14))


 $b/a > 1$

横波、横風、船は停船中

日本の国内基準に準拠but横揺れ角はソ連国内基準で計算

Weather criterionの計算式

$$\phi_1 = 109kX_1X_2\sqrt{rs} \text{ (degrees)}$$

JAPAN

k : ビルジキール面積の関数 (数表)

X_1 : B/d の関数 (数表) USSR

X_2 : C_b の関数 (数表)

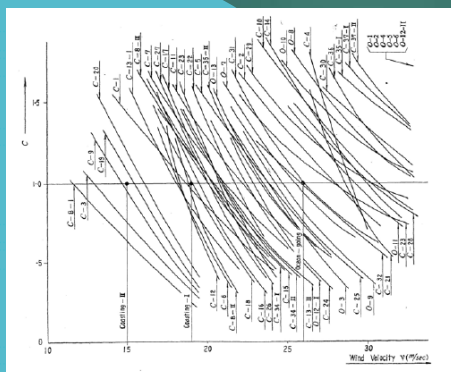
$r=0.73+0.6 (OG/d)$

s (波岨度): 横揺れ固有周期の関数 (数表)

ただし、これに依りがたい場合は、模型実験による推定も可

Weather criterionの考え方 (我が国の昭和 20年代の研究成果による)

- ▶ 平均風速 ← 事故統計 (50隻) とのチューニング



遠洋・近海：風速26m/s

沿海：風速19m/s

限定沿海：風速15m/s

(危険) 水雷艇、駆逐艦、客船3隻

(安全) 貨物船2隻、客船3隻、大型客船3隻

IS Code

- ▶ IMOでは以下の項目について、機能要件化 (模型実験or/and 数値シミュレーションによる代替承認) または物理則による新基準策定を図ることで合意(Part A, 1.2)
 1. パラメトリック横揺れなど復原力変動問題
 2. ブローチングなど操縦性関連問題
 3. デッドシップの生存性

第2世代非損傷時復原性基準の必要性

- ▶ 現在の非損傷時復原性基準は、経験則（GZ曲線基準）と半経験則（ウェザークライテリオン）であり、ここでの事故データは50年以上前のものと古い。
- ▶ その後、船舶は専用船化、大型化、高速化が進んだ。
- ▶ そのような船種では、近年事故が多発したり、現行基準での設計に困難をきたすようになった。

第2世代非損傷時復原性基準の必要性



© 若林伸和

大型コンテナ船の横揺れによるコンテナ損傷事故

第2世代非損傷時復原性基準の必要性



写真：池田良穂



from New Zealand Transport Accident
Investigation Commission report

高速カーフェリーの追波中大傾斜事故

第2世代非損傷時復原性基準の必要性

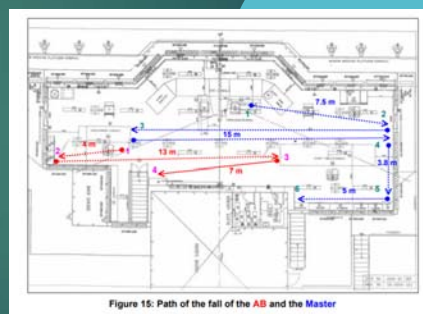


大型クルーズ客船のウェザークライテリオン適合困難

第2世代非損傷時復原性基準の必要性



https://www.atsb.gov.au/media/3446314/bsu%20Investigation%20report%20510_08%20-%20cmv%20chicago%20express.pdf#search=Chicago+Express+accident+container



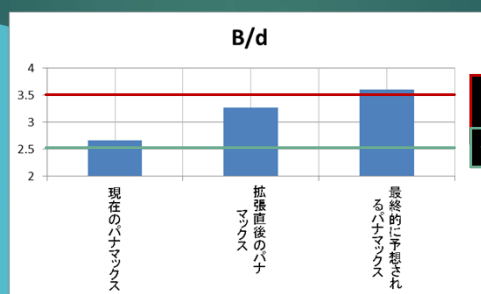
大型コンテナ船の船橋での過大加速度による船員死傷事故

第2世代非損傷時復原性基準の必要性

- ▶ 現在の非損傷時復原性基準は、経験則（GZ曲線基準）と半経験則（ウェザークライテリオン）であり、ここでの事故データは50年以上前のものと古い。
- ▶ その後、船舶は専用船化、大型化、高速化が進んだ。
- ▶ そのような船種では、近年事故が多発したり、現行基準での設計に困難をきたすようになった。例：大型コンテナ船の向波中パラメトリック横揺れによるコンテナ損傷事故、高速カーフェリーの追波中大傾斜事故多発、大型クルーズ客船のウェザークライテリオン適合困難。
- ▶ 現行基準だけでは事故を防ぐことには限界があり、新形式船の開発を困難としている。

その新船型の開発の例？

- ▶ パナマ運河の拡張に対応できる船型



ウェザークライテリオン
最大復原力角基準

第2世代非損傷時復原性基準

- ▶ IMOのSLF小委員会において、2008年より本格審議開始。（2002年～2007年は、主にIS Code改正）
- ▶ 現行の経験則的基準で対応できない、以下の動的危険モードについて、物理則で対応。
 - ▶ パラメトリック横揺れ
 - ▶ 追波中復原力喪失
 - ▶ ブローチング
 - ▶ デッドシップ状態の同調横揺れ
 - ▶ 過大加速度

第2世代非損傷時復原性基準

- 物理則による時間領域数値シミュレーションは有効なツールであるが、全船舶に強制化することは無駄である。
- 対象とする危険モードごとに、簡易な基準で危険の有無をまず判定。
- 危険があるとされた船のみについて、数値シミュレーションによる直接評価を行う。
- 簡易基準は第1段階と第2段階に分けて、いずれかに合格すれば、直接評価は不要。
- 直接評価に不合格となると、操船ガイダンスによる運航制限を課する。
- ただし、第2段階から操船ガイダンスによる運航制限を課することも可とする。

第2世代非損傷時復原性基準の構成

- 簡易基準（第1段階） 電卓使用レベル
海象条件を代表的な規則波に置き換えてOX判定
- 簡易基準（第2段階） 表計算ソフト使用レベル
海象条件と代表規則波の関係を考慮して確率で判定
- 直接復原性評価基準 PCプログラム使用レベル
不規則な海象の下での時間領域シミュレーションにより求めた確率で判定
- 操船ガイダンス
遭遇海象下で安全な船速、針路を指定
 - 上記を定める暫定ガイドライン（2020年11月）
MSC.1/Circ.1627
 - その解説文書（2022年6月） MSC.1/Circ.1652

第2世代非損傷時復原性基準 の対象

- 対象船：すべての船舶（ただし、OSVのような長く低い暴露甲板を持つ船は除外）
- パッシブな横揺れ防止装置は考慮可
- アクティブな横揺れ防止装置は操船ガイダンスに限っては考慮可
- 海象条件：北大西洋、ただし航行海域や季節が限定される場合はその海域・季節、短波頂波での方向分布は \cos^2 乗
- 危険判定の閾値：次のいずれか
 - ① 横揺れ角40度または海水流入角、復原力消失角以上
40度はC11コンテナ船「APLチャイナ」のパラメトリック横揺れ事故での値
 - ② 横加速度1g以上（船上の人員搭載場所で）
1gはコンテナ船「シカゴエクスプレス」過大加速度による死傷事故での値

直接復原性評価基準の選択肢

- 全面確率論的評価
北大西洋における復原性事故の長期発生率の平均値を尺度
- 設計短期海象の確率論基準
設計短期海象（北大西洋における出現確率 10^{-5} ）下での事故発生率の95%信頼区間の上限を尺度
- 設計短期海象の決定論基準
設計短期海象（北大西洋における出現確率 10^{-5} ）下での3時間最大横揺れ振幅または横加速度を尺度

いずれにおいても、シミュレーション上での事故判定が対象とする復原性事故モードと一致していることを確認すること。例：パラメトリック横揺れでは、局所的な横揺れ周期が局所的な波周期の約2倍で、横揺れ固有周期にほぼ近いこと。

直接復原性評価基準用の計算コード 検証法

- 定性的検証
 - 例：パラメトリック横揺れが再現できるかどうか
- 定量的検証
 - 例：模型実験によるパラメトリック横揺れの分散を95%信頼性区間内または安全側に推定できるかどうか
- 検証に用いる模型実験は、ITTCガイドライン（非損傷時復原性試験）に準拠していること

直接復原性評価基準における事故率計算法

- ダイレクトカウンティング法
 - ✓ 復原性事故発生は独立事象と仮定
 - ✓ 事故発生率の95%信頼性区間の上限に着目
 - ✓ 各試行における最初の事故発生までの時間 T から事故率 r の計算

$$r = 1/T$$
 - ✓ または、一定時間 t_{exp} のシミュレーションでの事故発生確率 p より、

$$p = 1 - \exp(-rt_{exp})$$

□ 外挿法

- 波高による外挿法
- 包絡線閾値越え極値法（EPOT）
- スプリットタイム/運動摂動法（MPM）
- クリティカル・ウェーブ法
- 外挿法はダイレクトカウンティング法と95%信頼区間が重複するならば使用可

第2世代非損傷時復原性基準の安全レベル

□ 直接復原性評価基準（全面確率的評価）要求安全（リスク）レベル：

- ① $2.6 \cdot 10^{-3}$ （1年あたり1隻あたりの確率）
種々のFSA結果から、荒天によるコンテナ船の事故頻度を採用
 $1/2.6 \times 10^{-3} = 384.6$ 年に1事故
- ② $2.6 \cdot 10^{-8}$ （単位時間あたりの事故発生率の長期平均値）
 - ・ 問題のある載荷状態の割合を0.1, 航海中の割合を0.8, 北大西洋がより厳しい割合0.2, 荒天回避の割合0.2として、
 - ・ $384.6 \times 0.1 \times 0.8 \times 0.2 \times 0.2 = 1.2$ 年に1回事故
 - ・ $1/(1.2[\text{年}] \times 365[\text{日/年}] \times 24[\text{時間/日}] \times 3600[\text{秒/時間}]) = 2.6 \cdot 10^{-8}$

□ 直接復原性評価基準（設計短期海象）要求安全（リスク）レベル：

- ① 2時間に1回（発生確率 10^{-5} の海象下での事故発生間隔）
シミュレーション結果の比較より、全面確率的評価での長期事故率 $2.6 \cdot 10^{-8}$ に相当する 10^{-5} の海象下での短期事故率 $1.38 \cdot 10^{-4}$

ダイレクトカウンティング法の手順

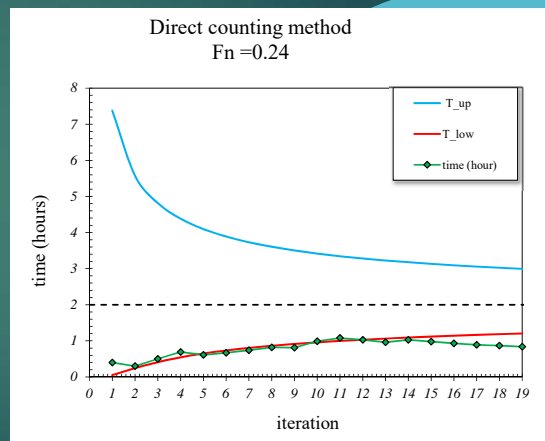
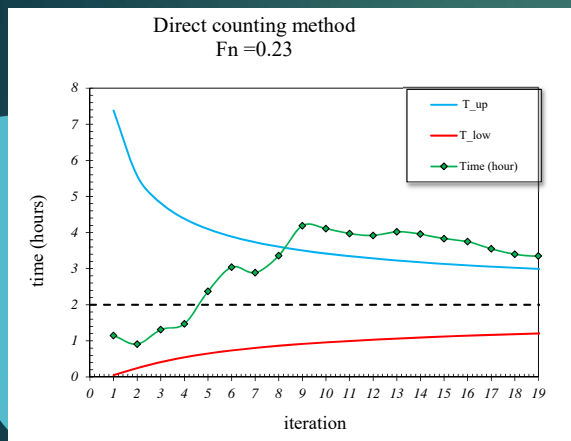
- ① 不規則波中数値シミュレーションを反復して実施（各試行で、波と風のスペクトルは同じで、位相はランダムに変化）
- ② 最初の50揺れを無視して、最初の復原性事故発生まで計算を実施し、その発生時間 T_i を記録。その平均値を T とする。
- ③ 事象発生がポアソン過程であれば、発生時間の平均値は指数分布に従う。
- ④ その平均値の分散はカイ2乗分布に従うため、発生時間の $(1-\alpha)/2$ 100%信頼区間は、次式で与えられる。

$$\frac{2N}{\hat{r}\chi_{1-\alpha/2,2N}^2} < \frac{1}{r} < \frac{2N}{\hat{r}\chi_{\alpha/2,2N}^2}$$

ここで、 $\chi_{p,f}^2$ は、 f 自由度のカイ2乗分布の $p \cdot 100\%$ 分位数。

- ⑤ これより事故発生率 r の95%信頼区間の上限が求まる。

ダイレクトカウンティング法の計算例 復原力喪失現象



岡本聡一郎修士論文（阪大：2023）より

操船手段の構成

- 操船制限
 - 航行可能な海域・季節の制限
 - 航行可能な有義波高の上限を定める
波浪頻度表を利用して作成できる
- 操船ガイダンス

各短期海象下で避けるべき船速と（波の主方向に対する）針路を指定

 - 確率論的操船ガイダンス
 - 事故発生率推定値の95%信頼区間 $< 10^{-6}$
 - 決定論的操船ガイダンス
 - 3時間最大横揺れまたは横加速度の振幅の2倍 < 40 度または $1g$
 - 簡易操船ガイダンス
 - 直接復原性評価より安全側であればどのような方法でも可
(簡易基準の方法など)

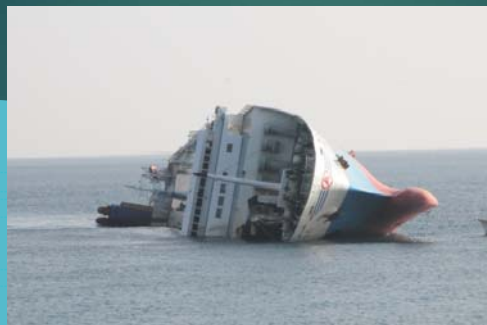
操船手段利用の制限

- 有義波高の上限を定める操船制限や操船ガイダンスにおいて、全航海時間の内2割以上の避航時間がある場合は、その載荷状態の利用を不可とする。
- この計算では、海象は波浪頻度表の全体、波向きと船速は一様分布と仮定する。
- 適用例：標準波浪頻度表であれば、有義波高の上限を5mとしなければならない。C11級コンテナ船（GM=1.965m：簡易基準不合格）では、レベル2チェック2合格の限界有義波高は10mとなった。よって、有義波高の上限を定める操船制限は利用可能となる。

非損傷時復原性基準の位置づけ

- ▶ 経験則 GZ曲線と事故統計（1968）
- ▶ 半経験則 横波横風モデル
+ 事故統計（1985）
- ▶ 物理則 確率論的力学モデル
+ 許容確率
= 第2世代非損傷時復原性基準
（2020）

追波中復原力喪失現象



写真：池田良穂

国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

第2世代非損傷時復原性基準

1. 追波中復原力喪失現象
2. パラメトリック横揺れ
3. ブローチング現象
4. デッドシップ状態の同調横揺れ
5. 過大加速度

我が国カーフェリーの大傾斜例（2005-2009）

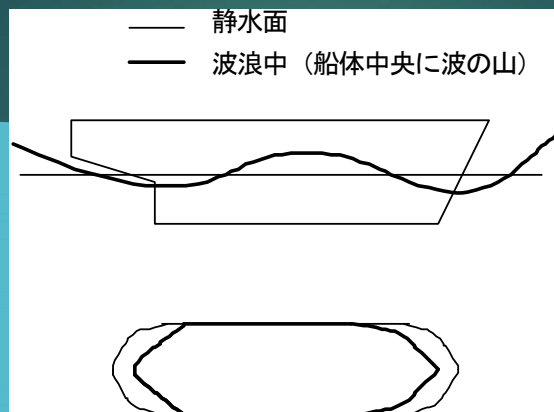
Ship Gross tonnage	Water Area	Wave direction	Maximum Roll angle (degrees)	Reported incidents
12,000	Off Ibaraki Prefecture	Following waves	27	The Ship suffered large roll due to a large wave from stern. As a result, Cargo damage was reported.
10,000	Off Ibaraki Prefecture	Stern quartering waves	More than 30	Large roll occurred due to swell from port stern. Onboard vehicles were shifted.
13,000	Off Ibaraki Prefecture	Stern quartering waves (heading of 30 degrees from wave direction)	40	The Ship rolled to 40 degrees due to restoring reduction in a following wave and strong wind and then rolled back to 20 degrees in the opposite direction with increased restoring. As a result, onboard vehicles were shifted.
14,000	Off Miyagi Prefecture	Stern quartering waves	25	During the navigation wave height increases so that large list and cargo shift occurred.
11,000	Off Aomori Prefecture	Stern quartering waves	More than 25	Combination of Ship Oscillation due to swell from stern and punching due to swell from bow. As a result, lashing equipment was damaged.
14,000	Off Wakayama Prefecture	Stern quartering waves	26	After course change due to wind from starboard stern, large list occurred due to swell from stern. As a result, cargo shift was reported.
7,900	Off Wakayama Prefecture	Stern quartering waves	40	The Ship rolled to 25 degrees due to a wave from starboard stern. It induced cargo shift and then the large heel due to cargo shift occurred.

(注)H22年5月 国土交通省海事局調べ

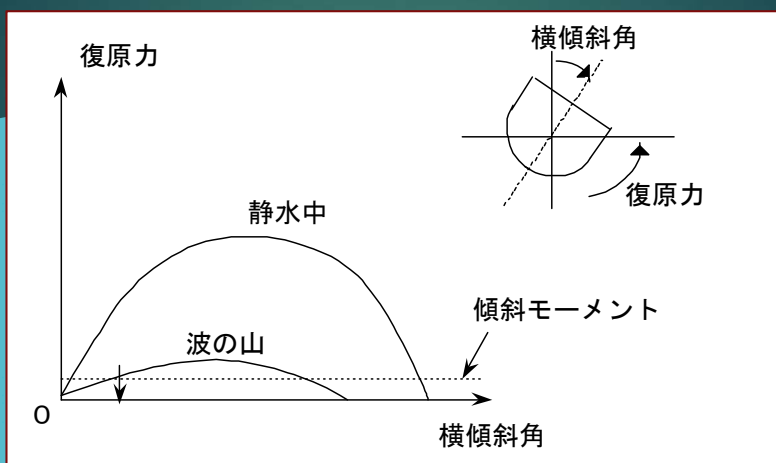
追波中復原力喪失現象

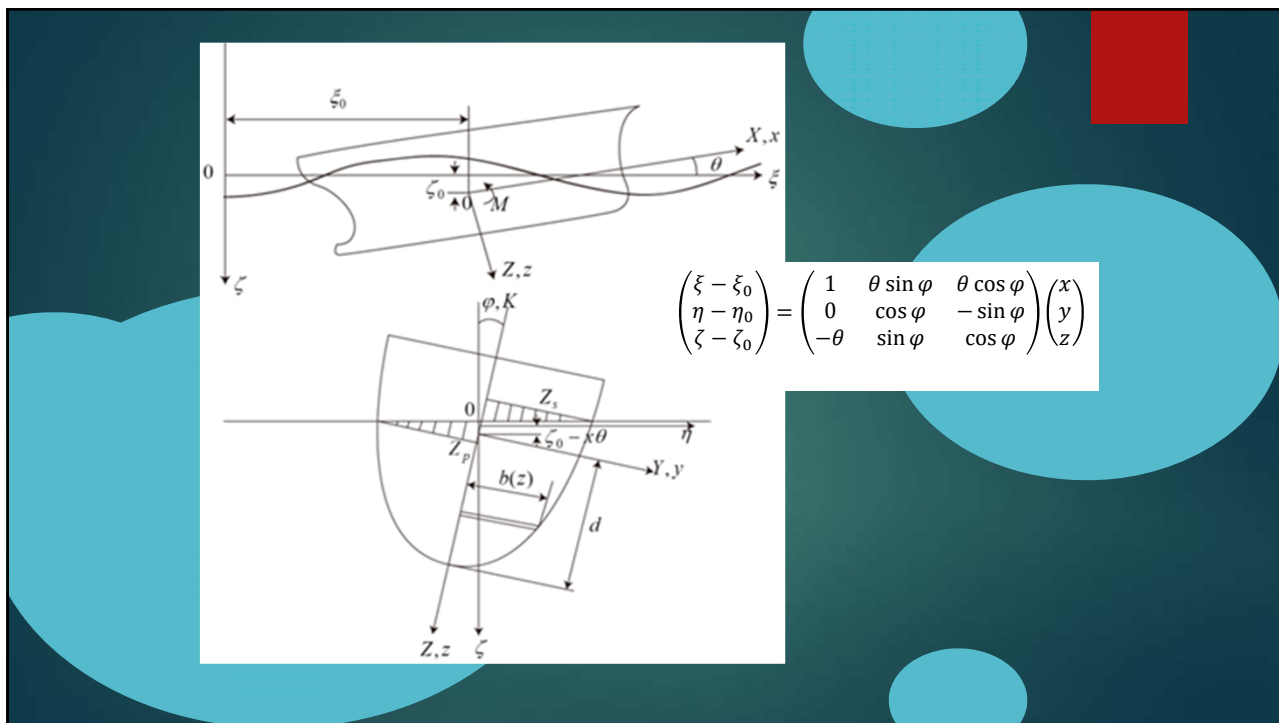
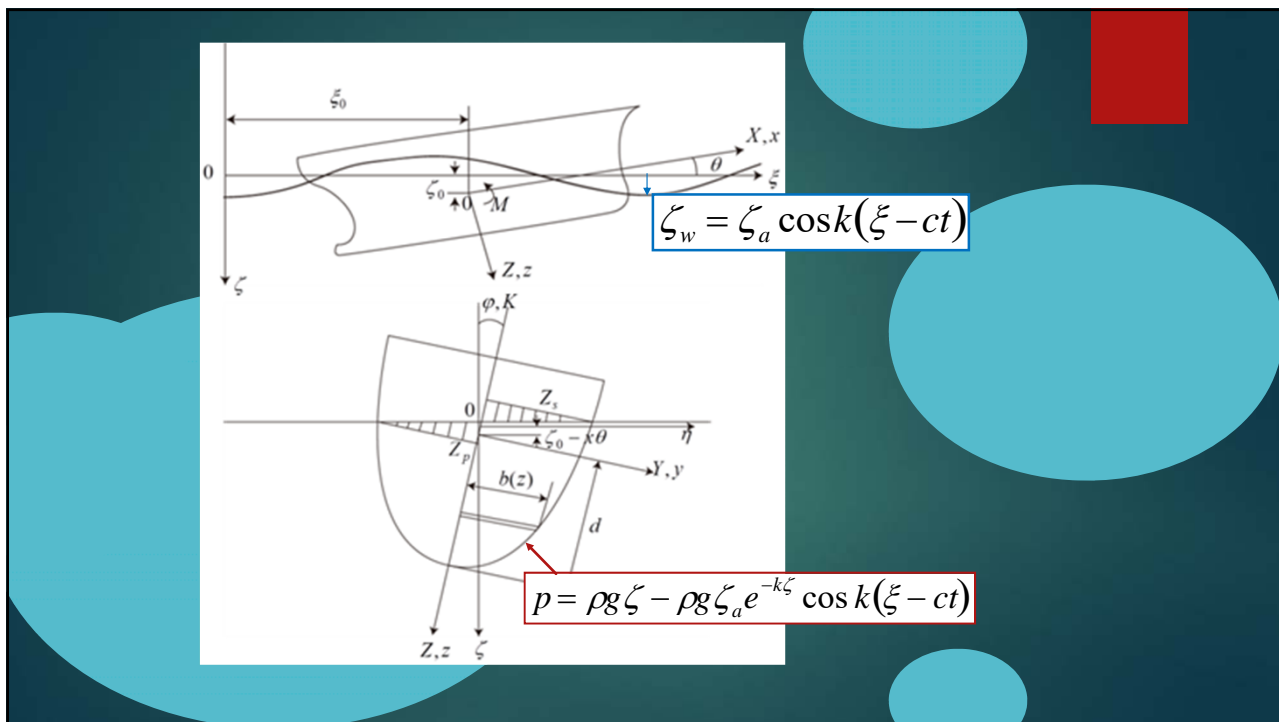


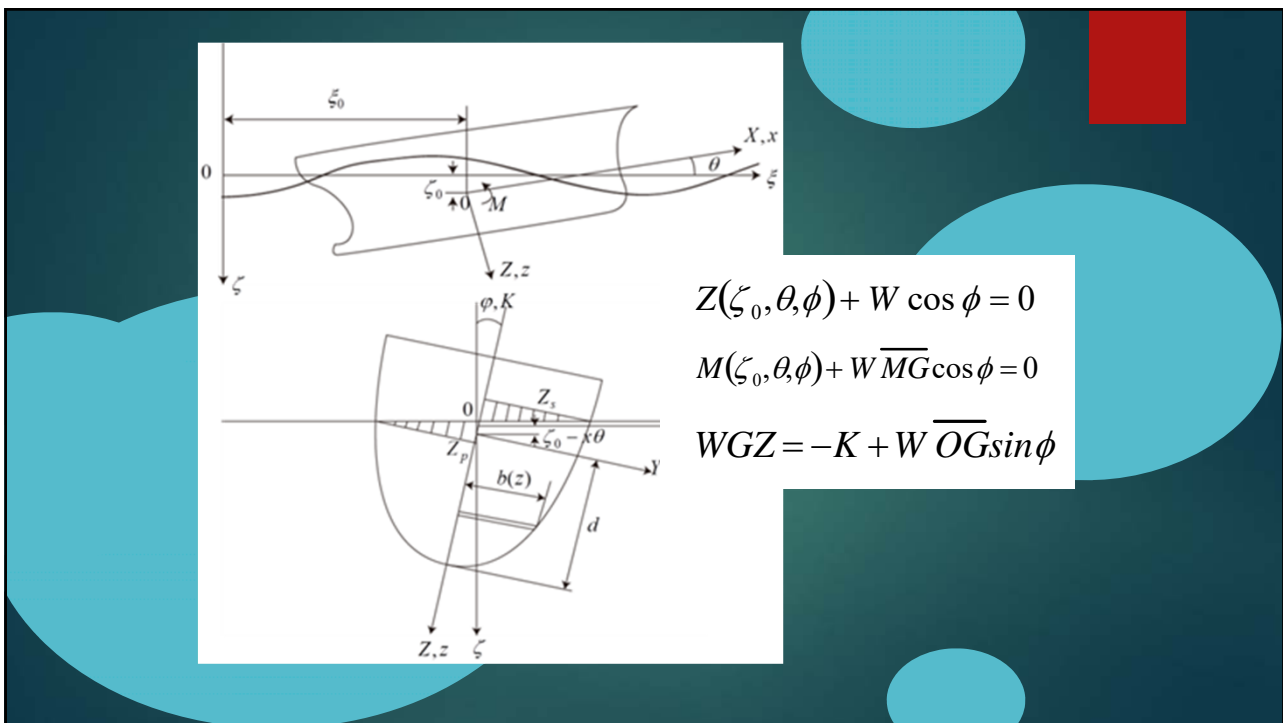
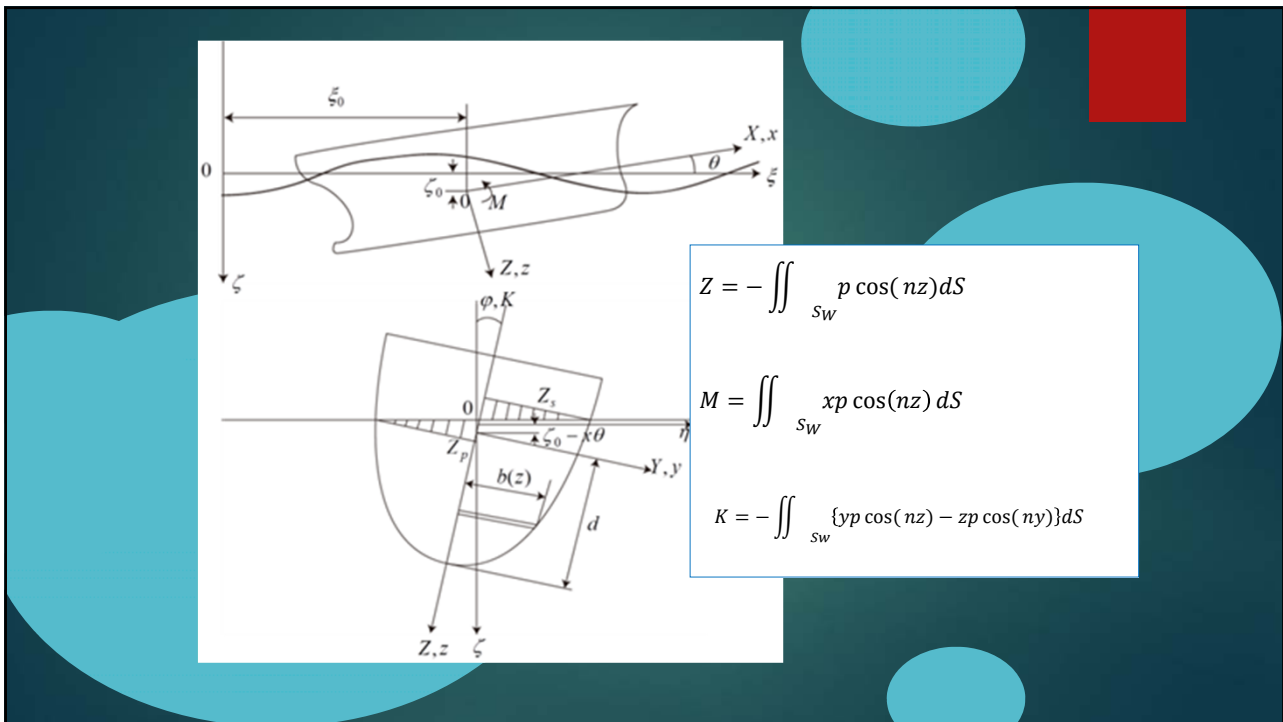
縦波中の復原力変動

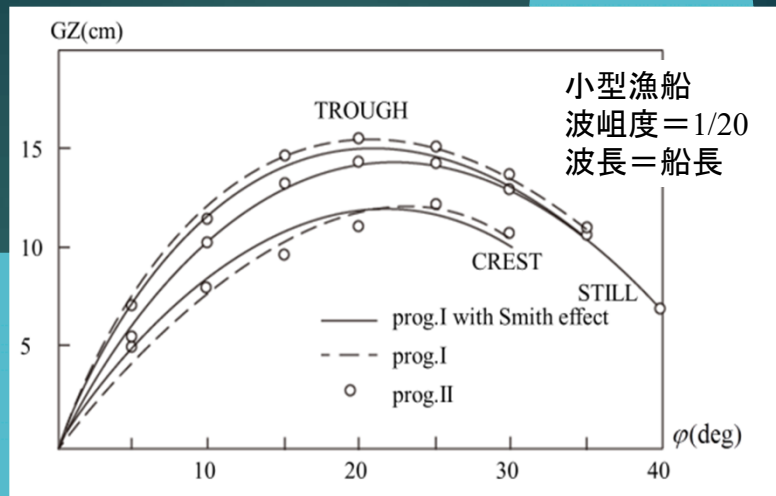


波による復原力の変化







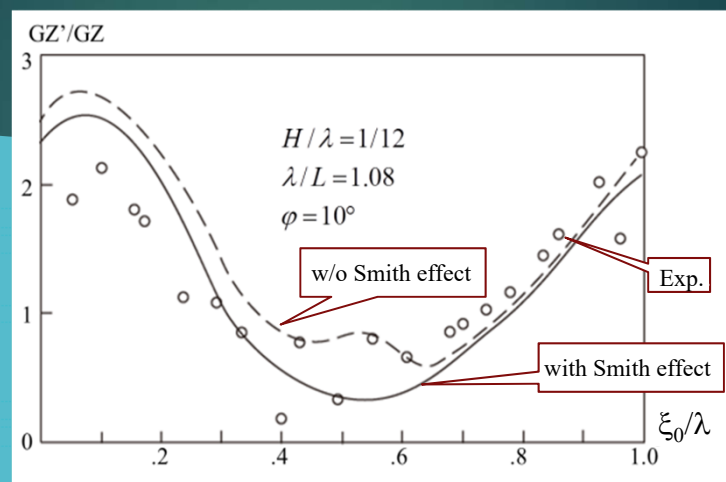


$$p = \rho g \zeta - \rho g \zeta_a e^{-k\zeta} \cos k(\xi - ct)$$

$$p \approx \rho g \zeta - \rho g \zeta_a \cos k(\xi - ct)$$

梅田直哉：漁船 258 (1985)

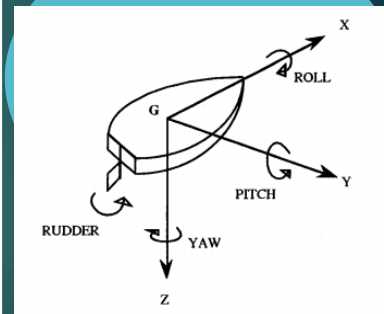
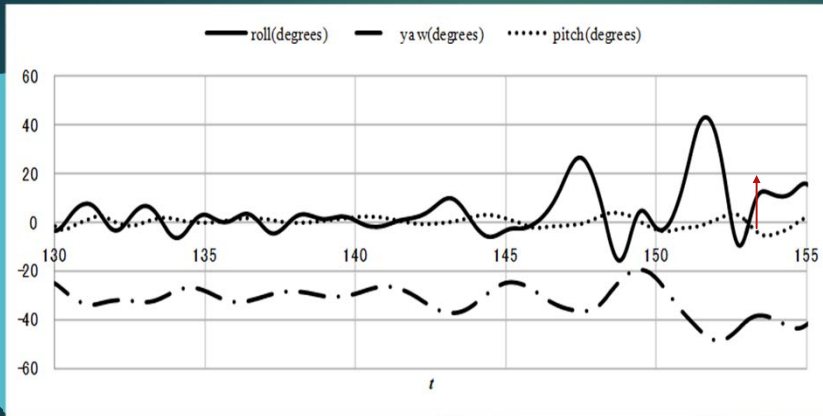
実験と計算の比較
(小型漁船: 波速=船速)



梅田直哉：漁船 258 (1985)

追波中復原力喪失現象

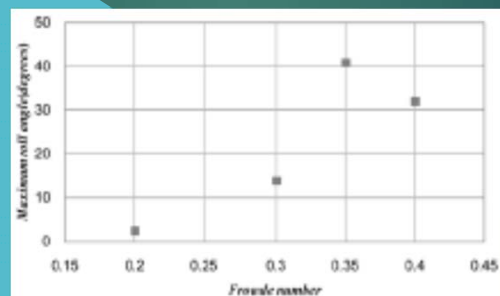
(模型実験：ポストパナマックスコンテナ船、
有義波高10.5m、平均波周期17.5 s)



久保尚子：阪大修論（2012）

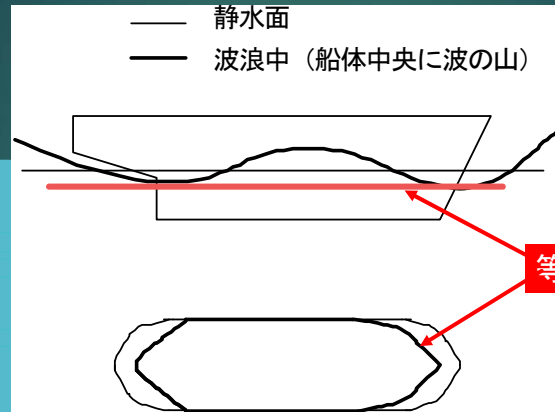
追波中復原力喪失現象

(模型実験：ポストパナマックスコンテナ船、
波長船長比 = 1.0、波峯度 = 0.05、指令進路 = 30
(degrees)、オートパイロットの比例ゲイン
= 3.0)



久保尚子：阪大修論（2012）

第1段階簡易基準



$F_n < 0.24$ かつ
縦波中 $GM > 0.05m$

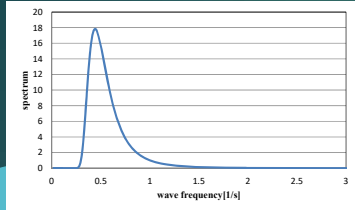
$$GM = KB + \frac{I}{V} - KG$$

第2段階簡易基準

- $F_n < 0.24$ であれば合格
- 北大西洋の波浪頻度表における各有義波高、平均波周期の組み合わせに、グリムの有効波の考え方で、3%最大有効波高を計算する。
- その波高の頂が船体中央にあって波長=船長の時の余弦波の中でのGZ曲線を船舶算法的に計算する。
- そのGZ曲線に対して、
 - ✓ 復原力喪失角 < 30 度ならば、 $C_{11} = 1$
 - ✓ 遠心力による横傾斜モーメントを加えたときの定傾斜角 $>$ 許容角ならば、 $C_{21} = 1$
- 北大西洋の波浪頻度を用いて、 C_{11} と C_{21} を重み平均し、そのうち大きな値が0.06未満であれば、合格。
- 「フェリーありあけ」を不合格とするように要求値設定

Grim's effective waves

17



: ITTC スペクトル

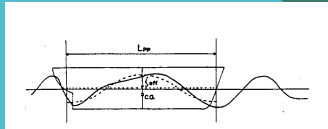
$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right)$$

$$A = \frac{173H_1/3^2}{T_0^4}$$

$$B = \frac{691}{T_0^4}$$

$$\zeta_{eff}(t) = \int_0^\infty |H(\omega)| \sqrt{2S(\omega)} d\omega \cos(\omega t + \delta)$$

$$H(\omega) = \frac{\left[\frac{\omega^2 L}{g} \sin\left\{ \frac{\omega^2 L}{2g} \right\} \right]}{\pi^2 - \left\{ \frac{\omega^2 L}{2g} \right\}^2}$$



$\zeta_w(x, t)$
入射波

$\zeta_{eff}(t)$
有効波高

$GZ(\phi, t)$
縦波中復原力

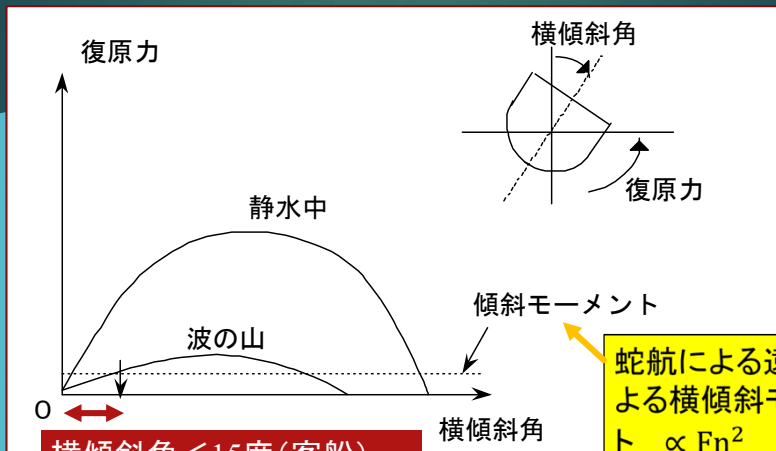
空間波形を余弦波($\lambda/L=1.0$, ship center on a wave crest)で最小二乗近似

有効波高と縦波中復原力の非線形・ノンメモリー関係

: 伝達関数 (入射波から有効波高)

第2段階簡易基準

$F_n < 0.24$ かつ



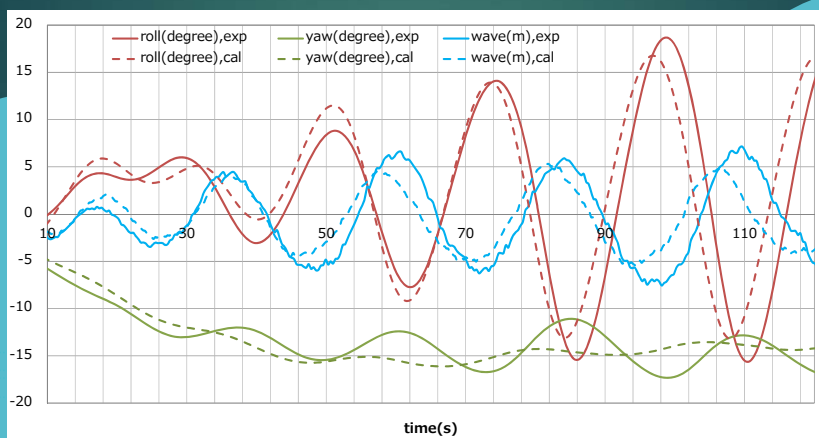
横傾斜角 < 15度 (客船)
< 25度 (貨物船)

蛇航による遠心力による横傾斜モーメント $\propto F_n^2$

直接復原性評価（阪大）

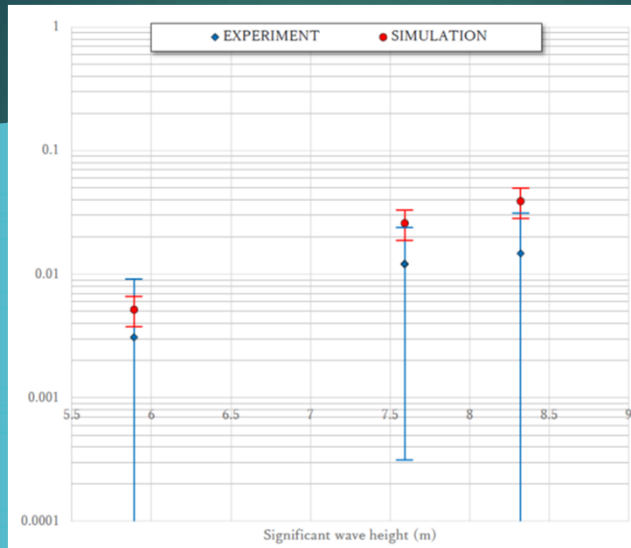
- ▶ 短波頂不規則波中の時間領域シミュレーション
- ▶ 4自由度（surge-sway-yaw-roll）+オートパイロットモデル
- ▶ 低周波数であるため、非線形操縦性数学モデルをベースに、線形波浪強制力（揚力成分主体）を付加
- ▶ Heave-pitchは波面上での静的平衡と近似
- ▶ 復原力は、グリムの有効波を用いて推定
- ▶ 平水中の操縦流体力、横揺れ減衰力、推進性能は模型実験による

直接復原性評価計算と実験の比較 （ONR フレアー船型）



N. Umeda et al. : Proc. ISSW 2014

直接復原性評価法の実験的検証



一波当たりの25度以上横傾斜発生確率

カーフェリー「ありあけ」

岡本聡一郎：阪大修論（2023）

復原力喪失基準の設計影響

- ▶ 26隻の国内での試算結果より、第1、第2段階基準に不合格となるのは、
- ▶ コンテナ船（L=348mでGM=4m以下。L=262mでGM=1.4m以下）
- ▶ PCC（L=190mでGM2m以下。）
- ▶ カーフェリー（L=208mでGM=1.93m以下。L=100mで、GM=1.6m以下、L=70mでGM=1m以下）
- ▶ その他は合格

Ref: IMO.: SDC5/INF.4, Annex 17, 2017

ship type	Lpp (m)
bulk carrier 1	280.8
bulk carrier 2	279
bulk carrier 3	187
oil tanker 1	324
oil tanker 2	320
oil tanker 3	172
chemical tanker	108.5
LNG carrier 1	286.5
LNG carrier 2	274
general cargo	96.5
containership 1	348
containership 2	262
car carrier 1	190
car carrier 2	183.7
cruise ship	246
RoPax 1	208
RoPax 2	100
OSV 1	84.5
OSV 2	75.4
chemical tanker 2	118
chemical tanker 3	139
chemical tanker 4	119.3
chemical tanker 5	138
chemical tanker 6	149.3
chemical tanker 7	169
cement carrier	106
RoPax 3	70

パラメトリック横揺れ



国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

第2世代非損傷時復原性基準

1. 追波中復原力喪失現象
2. パラメトリック横揺れ
3. ブローチング現象
4. デッドシップ状態の同調横揺れ
5. 過大加速度

第2世代非損傷時復原性基準の必要性

C11級ポストパナマックスコンテナ船（5100TEU）の向波中パラメトリック横揺れによるコンテナ損傷事故（1998年 北太平洋）

$L_{BP}=262\text{m}$, $B=40\text{m}$, $d=12.34\text{m}$, $GM=2.0\text{m}$, $T_{\phi}=25.7\text{ s}$

$H_s=14.9\text{m}$, $T_p=16.4\text{s}$

35~40度の横揺れにより、1300の搭載コンテナの1/3を船外流出、1/3を損傷。

Ref: France, W.N. et al.: Marine Technology, 40(1), 2003

14000TEU コンテナ船 ONE APUS (2020年12月)



© 若林伸和

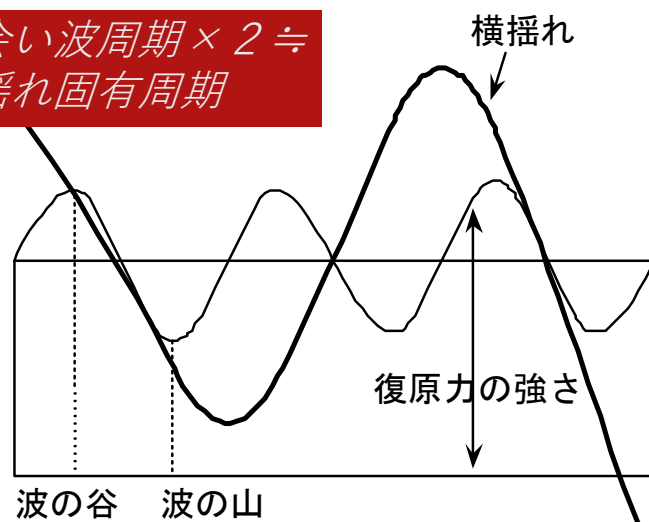
ワン・アパスは中国塩田港（深セン）から米国ロングビーチ港に向けて航行していた11月30日夜、ハワイの北西沖1600カイリの海域で嵐に遭遇。危険物コンテナ64本を含む1816本のコンテナが海上に流出して失い、行き先を神戸港に修正して航行を続け、8日同港に入港した。（ロジスティック ツデーより）

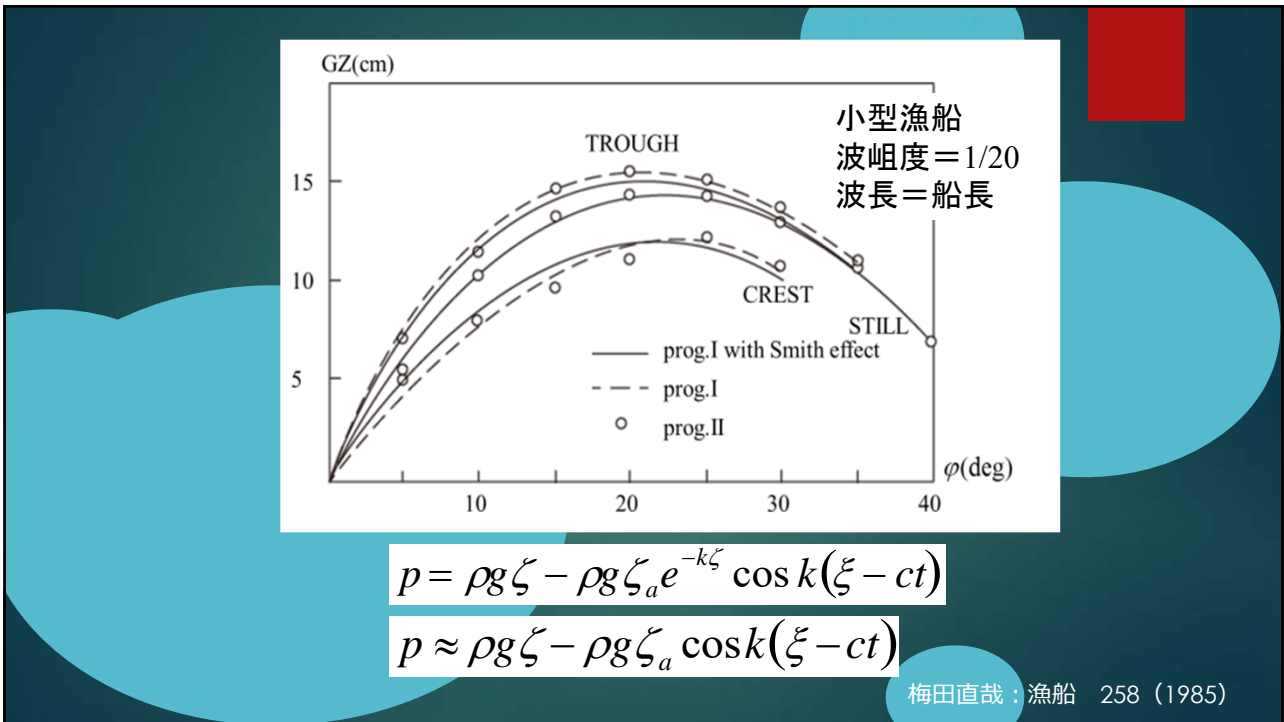
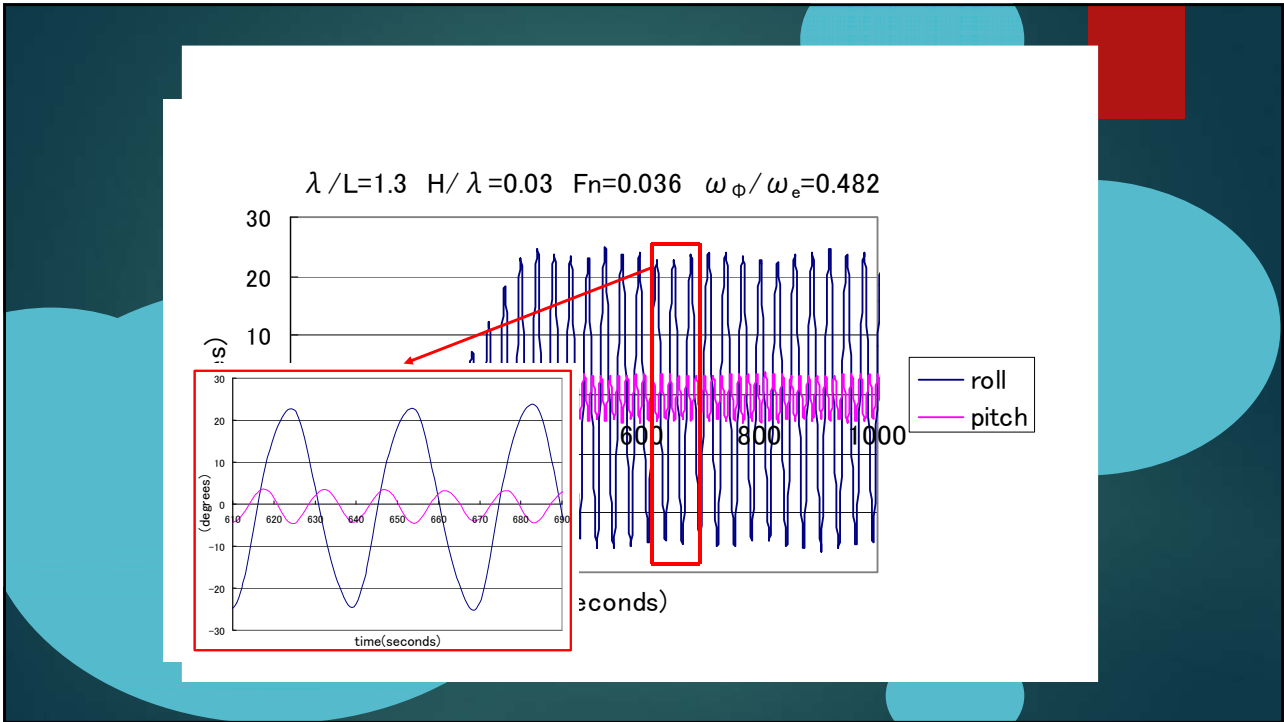
パラメトリック横揺れ



パラメトリック横揺れのメカニズム

出会い波周期 $\times 2 \doteq$
横揺れ固有周期





縦波中のパラメトリック横揺れ

復原力変動

$$GM = GM_0 + \Delta GM \cos \omega_e t$$

運動方程式

$$\ddot{\phi} + 2\alpha\dot{\phi} + \omega_\phi^2(1 + b\cos\omega_e t)\phi = 0$$

次の解を仮定する

$$\phi = A\cos\omega t + B\sin\omega t$$

よって、

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= -A\omega\sin\omega t + B\omega\cos\omega t \\ \ddot{\phi} &= -A\omega^2\cos\omega t - B\omega^2\sin\omega t\end{aligned}$$

これらを運動方程式に代入

$$-A\omega^2\cos\omega t - B\omega^2\sin\omega t - 2\alpha A\omega\sin\omega t + 2\alpha B\omega\cos\omega t + \omega_\phi^2(1 + b\cos\omega_e t)(A\cos\omega t + B\sin\omega t) = 0$$

ここで、 $\omega_e = 2\omega$ とおくと、

$$\begin{aligned}(-A\omega^2 + 2\alpha B\omega + \omega_\phi^2 A)\cos\omega t + (-B\omega^2 - 2\alpha A\omega + \omega_\phi^2 B)\sin\omega t \\ + \omega_\phi^2 b\cos 2\omega t(A\cos\omega t + B\sin\omega t) = 0\end{aligned}$$

次の関係

$$\begin{aligned}\cos 2\omega t \cos \omega t &= \frac{1}{2}[\cos 3\omega t + \cos \omega t] \\ \cos 2\omega t \sin \omega t &= \frac{1}{2}[\sin 3\omega t - \sin \omega t]\end{aligned}$$

を考慮して、

$$\begin{aligned} [(\omega_\phi^2 - \omega^2) + \frac{1}{2}b\omega_\phi^2]A + 2\alpha\omega B &= 0 \\ [(\omega_\phi^2 - \omega^2) - \frac{1}{2}b\omega_\phi^2]B - 2\alpha\omega A &= 0 \end{aligned}$$

すなわち、

$$\begin{bmatrix} (\omega_\phi^2 - \omega^2) + \frac{1}{2}b\omega_\phi^2 & 2\alpha\omega \\ -2\alpha\omega & (\omega_\phi^2 - \omega^2) - \frac{1}{2}b\omega_\phi^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

この連立一次方程式が自明でない解を持つ条件は、

$$\begin{vmatrix} (\omega_\phi^2 - \omega^2) + \frac{1}{2}b\omega_\phi^2 & 2\alpha\omega \\ -2\alpha\omega & (\omega_\phi^2 - \omega^2) - \frac{1}{2}b\omega_\phi^2 \end{vmatrix} = 0$$

つまり、

$$(\omega_\phi^2 - \omega^2)^2 - \frac{1}{4}b^2\omega_\phi^4 + 4\alpha^2\omega^2 = 0$$

よって、

$$b_{cr}^2 \triangleq b^2 = \frac{4}{\omega_\phi^4} \{ (\omega_\phi^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2 \}$$

$$b_{cr}^2 \triangleq b^2 = \frac{4}{\omega_\phi^4} \{ (\omega_\phi^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2 \}$$

$b = b_{cr}$ ならば、

$$\phi = A\cos\omega t + B\sin\omega t$$

の周期解が存在。

よって、パラメトリック横揺れの発生条件は、

$$b > 2 \sqrt{\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_\phi}\right)^2 \right\}^2 + 4 \left(\frac{\alpha}{\omega_\phi}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_\phi}\right)^2}$$

$\omega = \omega_\phi$ が最も危険なので、これを代入すると、

$$b > 4 \left(\frac{\alpha}{\omega_\phi}\right)$$

この条件が、パラメトリック横揺れの簡易基準レベル1に採用。

また $\alpha = \alpha_0 + \beta_0 \phi_0$ と減衰力が非線形であるとする、

$$b = 2 \sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_\phi}\right)^2\right\}^2 + 4 \left(\frac{\alpha_0 + \beta_0 \phi_0}{\omega_\phi}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_\phi}\right)^2}$$

これを解くと、横揺れ振幅 ϕ_0 が ω の関数として求まる。

例えば、 $\omega = \omega_\phi$ では、

$$b = 4 \frac{\alpha_0 + \beta_0 \phi_0}{\omega_\phi}$$

$$\phi_0 = \frac{1}{\beta_0} \left(\frac{b \omega_\phi}{4} - \alpha_0 \right)$$

これが最大横揺れ振幅となる。ただし復原力は線形と仮定。
レベル2基準では、復原力の非線形性も考慮したより複雑な式を用いている。

パラメトリック横揺れの基準

▶ 簡易基準 レベル1

パラメトリック横揺れの発生条件の計算式

$$\frac{\delta GM}{GM} < 4 \frac{\alpha}{\omega_\phi}$$

ここで、

α : 線形横揺れ減衰力係数 (池田の簡易推定法をさらに簡略化して、ビルジキール面積と C_m の関数として与える)、

δGM : GM変動の片振幅 (波振幅だけ喫水が上下したときのGMの変化をハイドロカーブから読み取る: 波岨度は0.0167)、

ω_ϕ : 横揺れ固有周波数

パラメトリック横揺れの基準

▶ 簡易基準 レベル2 チェック1

パラメトリック横揺れの発生条件

$$\frac{\delta GM}{GM} < 4 \frac{\alpha}{\omega_{\phi}}$$

を満たし、出会い波周期が横揺れ固有周期の1/2となる船速 V_{PR} の絶対値よりも航海船速が低いこと。

$$\frac{T_{\phi}}{2} = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} - V_{PR}}}$$

上記の検討を、16の代表的な規則波（波浪頻度表の各波周期について、有義波高の平均値を代表として選定）に適用し、不合格となる波条件の重み平均値 $C1$ が、0.06以下であれば、合格と判定。

（C11級コンテナ船を不合格とするようにこの要求値を決定）

パラメトリック横揺れの基準

▶ 簡易基準 レベル2 チェック2

$$\ddot{\phi} + 2\alpha\dot{\phi} + \gamma\phi^3 + \omega_{\phi}^2 \frac{1}{GM} GZ(\phi, t) = 0$$

ここで、

α, γ : 横揺れ減衰力係数（標準としては池田の簡易推定法で算出）

GZ : 波浪中の復原てこ

上記の運動方程式を、ルンゲクッタ法により、初期横揺れ角5度、初期横揺れ角速度0で解き、定常横揺れ振幅を求める。

パラメトリック横揺れの基準

- 北大西洋の波浪頻度表における各有義波高、平均波周期の組み合わせに、グリムの有効波の考え方で、1/3最大有効波高を計算する。
- その波高の頂が船体中央にあって波長=船長の時の余弦波の中でのGZ曲線を船舶算法的に計算する。
- そのGZ曲線を用いて、
 - ✓ 運動方程式の数値解で求めた定常横揺れ振幅が25度以上ならば、 $C_{S1} = 1$
- 北大西洋の波浪頻度を用いて、 C_{S1} を重み平均し、 $C2(F_n, \beta)$ とする。
- そのうえで、航海船速で25種の波向きで航行するケースを、追波と向波を区別の上、船速の方向余弦として船速に換算して $C2(F_n, \beta)$ を平均し、 $C2$ とする。
- この $C2$ が0.025以下であれば、合格とする。
(C11級コンテナ船を不合格とするようにこの要求値を決定)

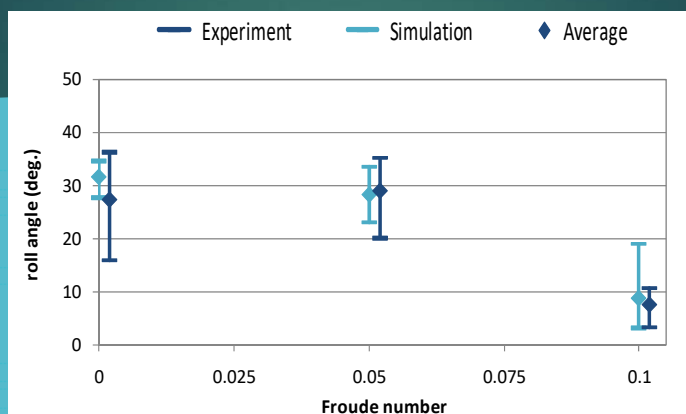
直接復原性評価（阪大）

- ▶ 短波頂不規則波中の時間領域シミュレーション
- ▶ 5自由度（sway-heave-roll-pitch-yaw）+オートパイロットモデル
- ▶ Surge方向は指定速度で一定に進むと近似（波浪中抵抗増加の推定と切り離すため）
- ▶ 高周波数であるため、ストリップ法に、復原力変動項を付加
- ▶ 浮力成分は波面まで、フルードクリロフ成分は静止水面まで時々刻々の船体姿勢を考慮して圧力積分。
- ▶ ラディエーション成分は、縦運動は出会い波ピーク周波数、横運動は横揺れ固有周波数に対して計算。ディフラクション成分はSTFM。いずれも船体姿勢は直立。
- ▶ 平水中の操縦流体力、横揺れ減衰力、プロペラ性能は模型実験による

パラメトリック横揺れ (長波頂不規則波)

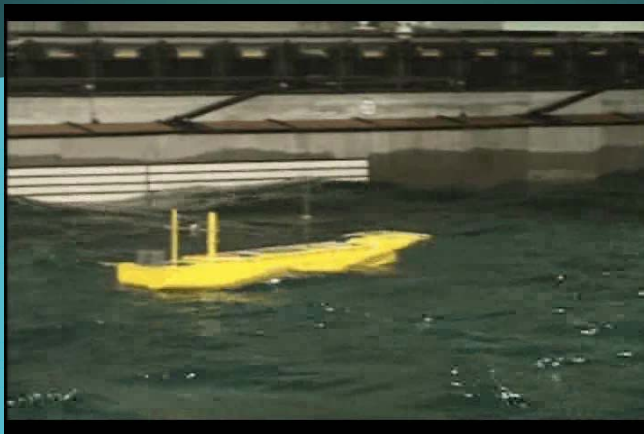


パラメトリック横揺れ (長波頂不規則波：実験と計算の比較)

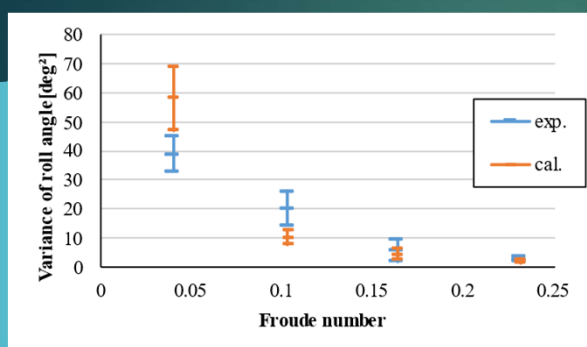


H. Hashimoto & N. Umeda: Fluid Mechanics and its Application, Springer, 119, 2019

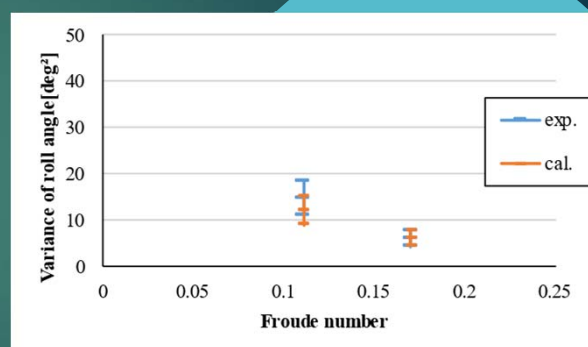
パラメトリック横揺れ (短波頂不規則波)



パラメトリック横揺れ (短波頂不規則波：実験と計算の比較)



X = 180度



X = 150度

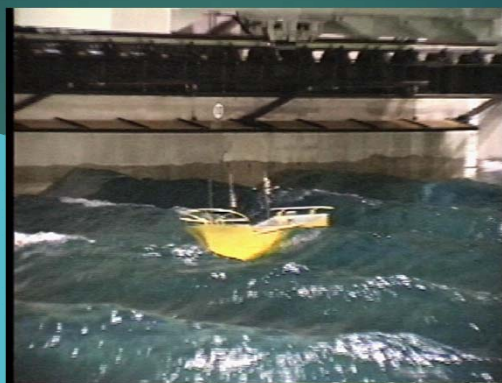
パラメトリック横揺れ基準の 設計影響

- ▶ 26隻の国内での試算結果より、第1、第2段階基準に不合格となるのは、
- ▶ コンテナ船：L=348mではGM=0.5mのみ、L=262mではGM=4.2m以下。
- ▶ PCC：L=190mではGM=2m以下、L=183.7mはGM=1.8m以下
- ▶ その他は合格

Ref: IMO.; SDC5/INF.4, Annex 17, 2017

ship type	Lpp (m)
bulk carrier 1	280.8
bulk carrier 2	279
bulk carrier 3	187
oil tanker 1	324
oil tanker 2	320
oil tanker 3	172
chemical tanker	108.5
LNG carrier 1	286.5
LNG carrier 2	274
general cargo	96.5
containership 1	348
containership 2	262
car carrier 1	190
car carrier 2	183.7
cruise ship	246
RoPax 1	208
RoPax 2	100
OSV 1	84.5
OSV 2	75.4
chemical tanker 2	118
chemical tanker 3	139
chemical tanker 4	119.3
chemical tanker 5	138
chemical tanker 6	149.3
chemical tanker 7	169
cement carrier	106
RoPax 3	70

ブローチング現象

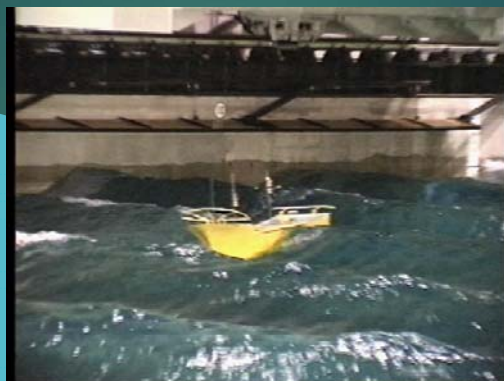


国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

第2世代非損傷時復原性基準

1. 追波中復原力喪失現象
2. パラメトリック横揺れ
3. ブローチング現象
4. デッドシップ状態の同調横揺れ
5. 過大加速度

ブローチング現象

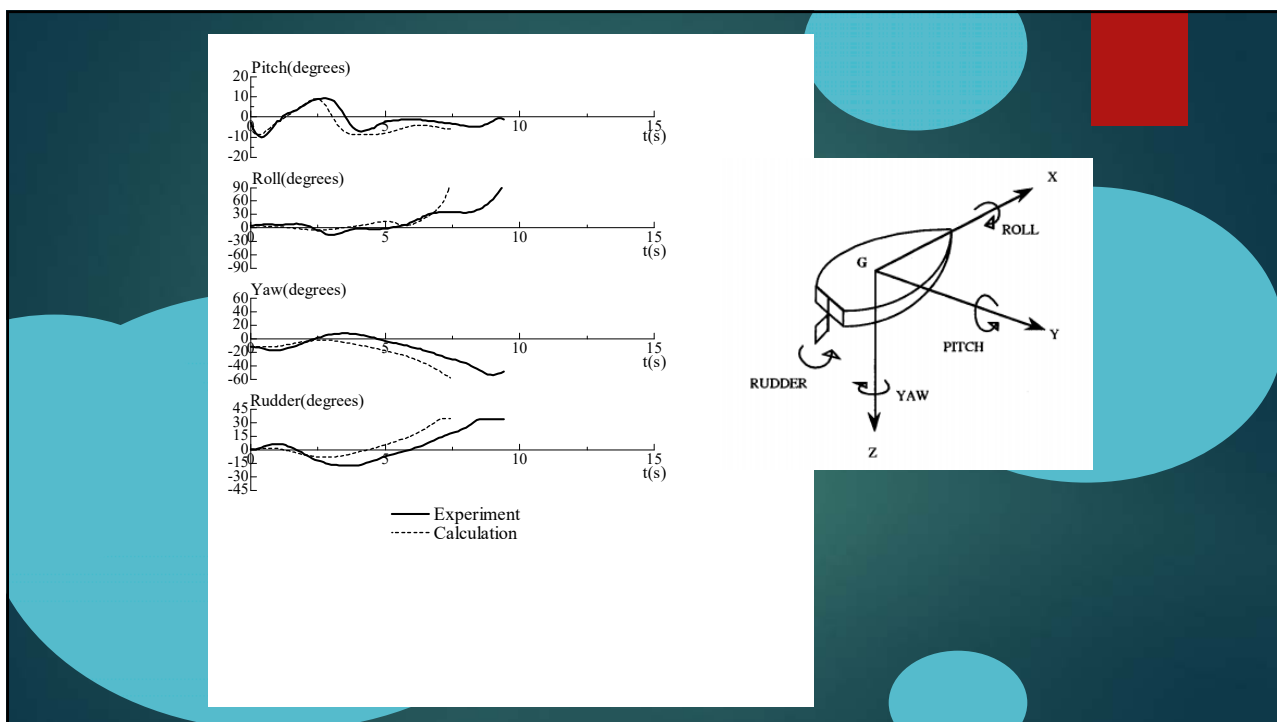


ブローチング

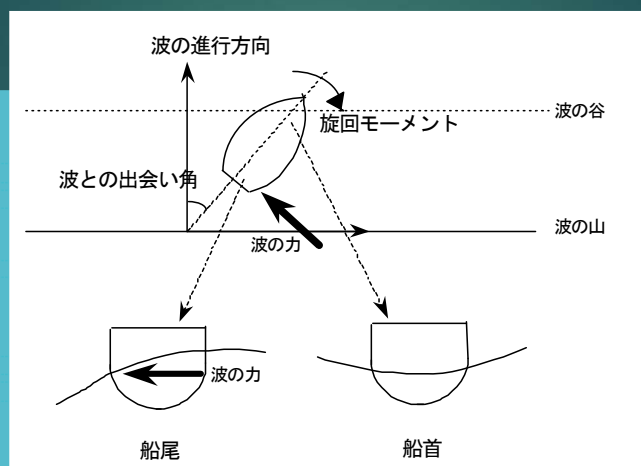
- ▶ 最大限の操舵努力にもかかわらず船が一定の針路を維持できないこと。
- ▶ 多くの場合、追波中で波乗りを起こし、逆方向に最大の舵角にもかかわらず下り波面で急旋回し、その遠心力で転覆する。

具体例：ポルトガル海軍駆逐艦

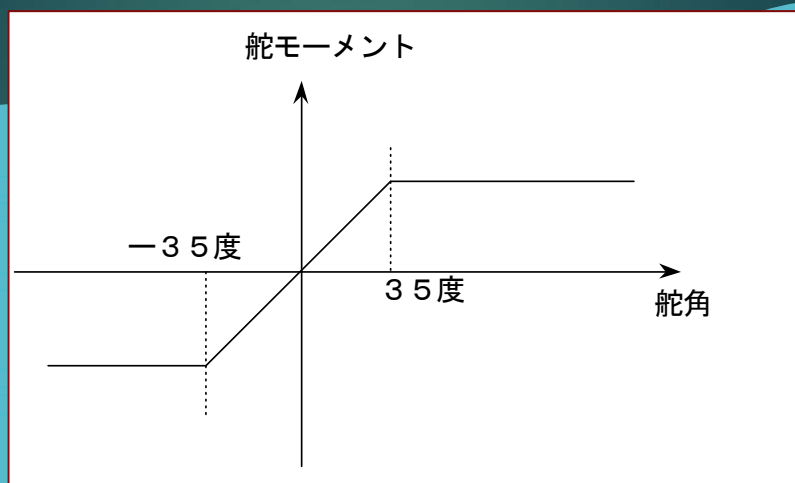
大西洋上をフルード数0.43で追波航行中、大きな波に運ばれ逆方向に最大限の操舵を行ったにもかかわらず右舷に回頭させられ、その間遠心力の方向にあたる左舷へ67度まで横傾斜



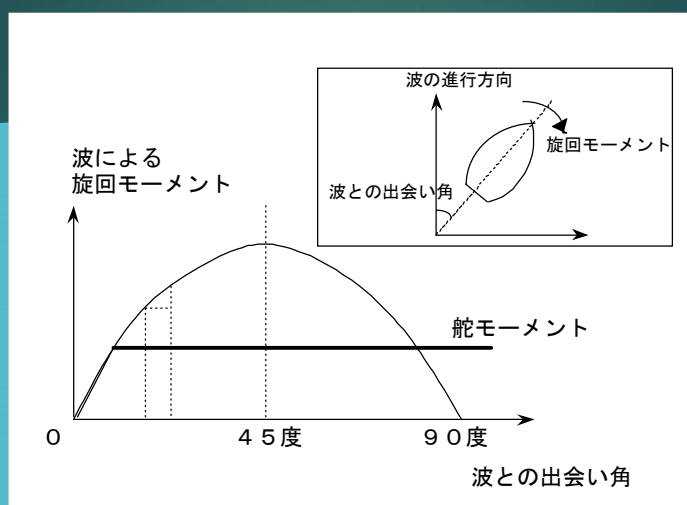
波による回頭



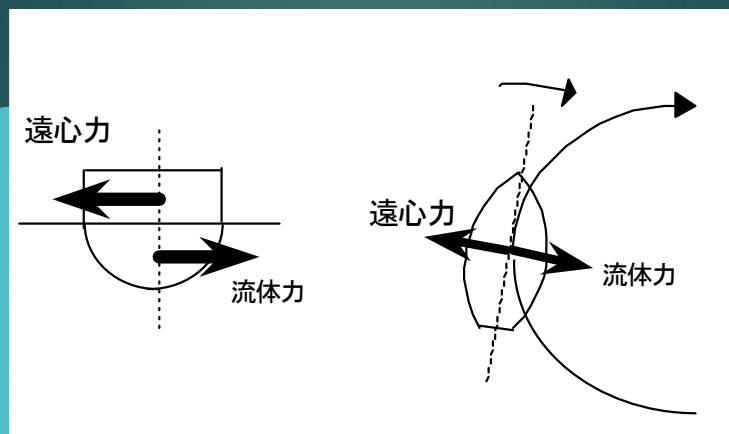
舵の作用の限界



舵力と波の力のバランスの喪失

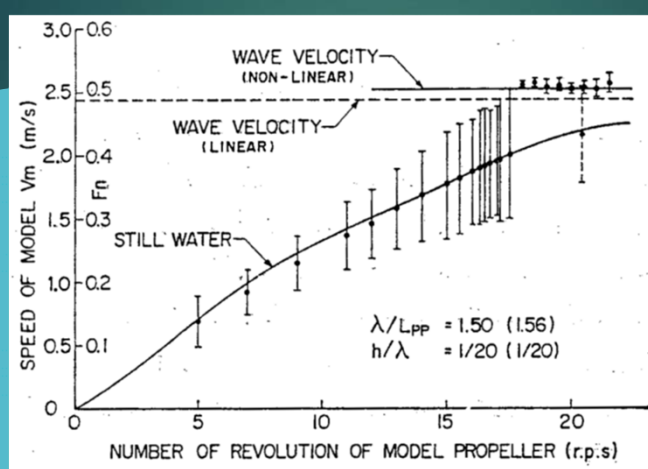


急旋回による横傾斜



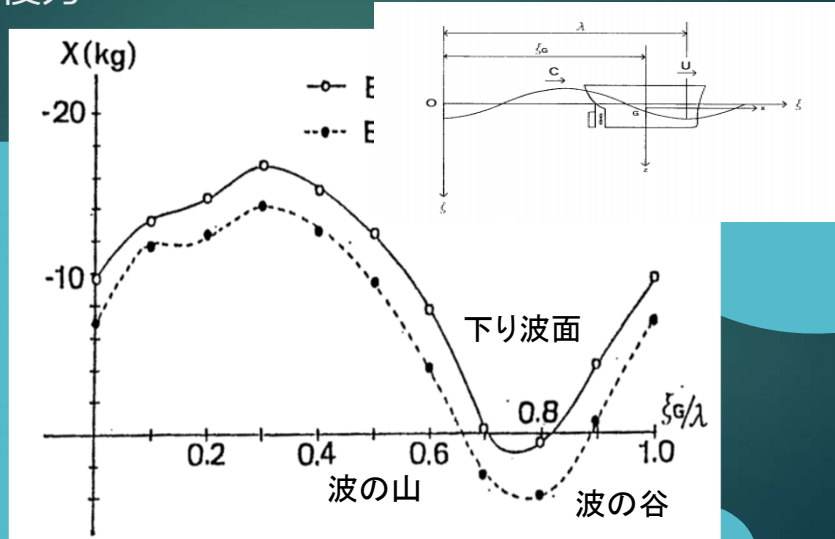
波乗り

- ▶ 船が本来の自航速度から波の位相速度まで波の作用によって加速または減速される現象

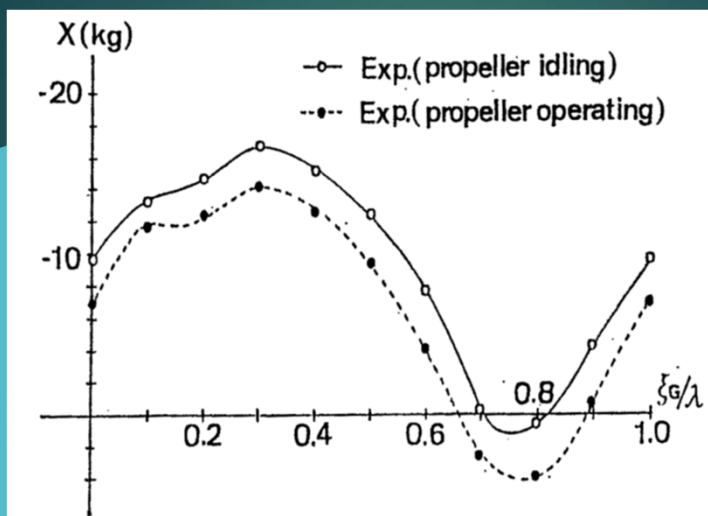


菅信：日本造船学会
論文集166号
(1989)

船速と波速の等しい場合の追波中の 前後力

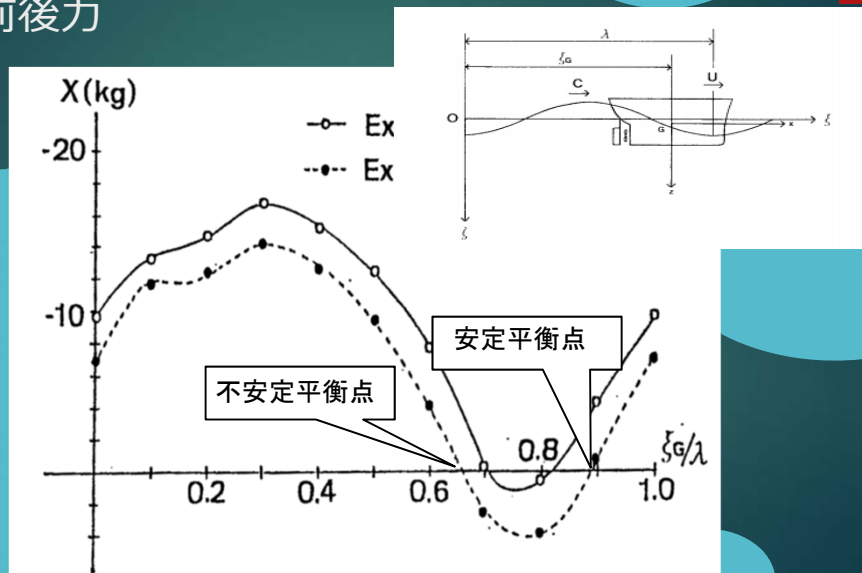


船速と波速の等しい場合の追波中の 前後力



梅田：日本造船学会論文
集152号（1983）

船速と波速の等しい場合の追波中の 前後力



波乗りの発生条件

- ▶ 第1の条件： 平衡点の発生
船体抵抗+プロペラ推力+前後方向波力 = 0
安定平衡点と不安定平衡点が発生
- ▶ 第2の条件： ？

前後運動の力学

真追波中の前後運動方程式

$$\ddot{\xi}_G + \mu \dot{\xi}_G + f \sin(k\xi_G + \varepsilon) = b$$

(変位が波の影響を表す正弦関数の引数に含まれるので非線形)

この平衡点は次式の解である

$$f \sin(k\bar{\xi}_G + \varepsilon) = b$$

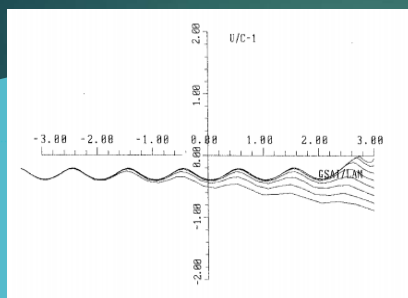
この平衡点付近で運動方程式を線形化すると、

$$\ddot{\xi}_G + \mu \dot{\xi}_G + k(\xi_G - \bar{\xi}_G)f \cos(k\bar{\xi}_G + \varepsilon) = 0$$

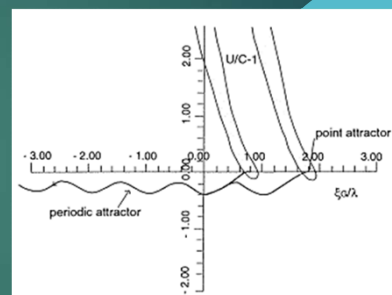
この線形系の2つの固有値の実部の両方が負であれば、 $\bar{\xi}_G$ は安定な平衡点であり、そうでなければ不安定な平衡点である。ここでは安定と不安定の2つの平衡点をもつ可能性があり、波乗りはこのうち安定な平衡点に捕捉されること

前後運動の力学

位相面 この系では、 ξ_G と $\dot{\xi}_G$ という2つの変数だけで運動が記述できるため、位相面上の軌道でそのすべてが表現される。



周期運動のみ

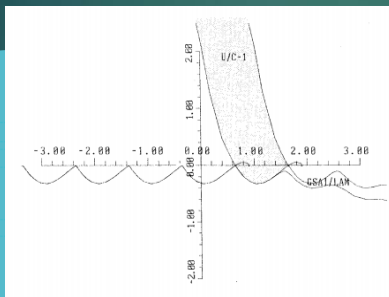


周期運動と波乗りが共存

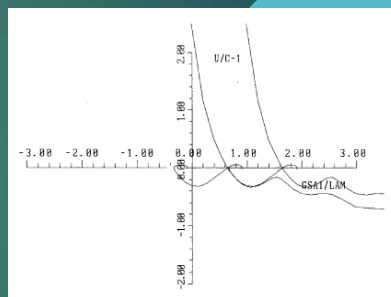
両者の境界; 平衡点の発生

前後運動の力学

位相面 この系では、 ξ_G と $\dot{\xi}_G$ という2つの変数だけで運動が記述できるため、位相面上の軌道でそのすべてが表現される。



周期運動と波乗りが共存



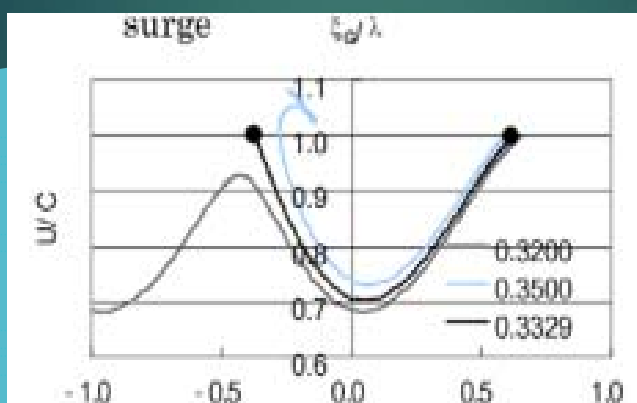
波乗りのみ

両者の境界: 周期運動の消滅(ヘテロクリニック分岐)

梅田・神山: 関西造船協会誌213号 (1990)

前後運動の力学

ヘテロクリニック分岐 不安定平衡点と不安定平衡点を結ぶ軌道の出現



Umeda, Hori, Hashimoto:
International Shipbuilding
Progress, 54(4), (2007)

ヘテロクリニック分岐点の近似推定法(メルニコフ解析)

$$\frac{d^2\eta}{ds^2} + \beta \frac{d\eta}{ds} + \sin\eta = \alpha$$

ここで、 $\alpha = \beta = 0$ ならば、解析解がある。

$$\frac{d^2\eta}{ds^2} + \sin\eta = 0$$

$$\dot{\eta} = \frac{d\eta}{ds} \text{とおくと、}$$

$$\frac{d^2\eta}{ds^2} = \frac{d\dot{\eta}}{ds} = \frac{d\dot{\eta}}{d\eta} \frac{d\eta}{ds} = \dot{\eta} \frac{d\dot{\eta}}{d\eta} = \frac{d}{d\eta} \left(\frac{\dot{\eta}^2}{2} \right) \text{となるので、}$$

$$\frac{d}{d\eta} \left(\frac{\dot{\eta}^2}{2} \right) = -\sin\eta$$

すなわち

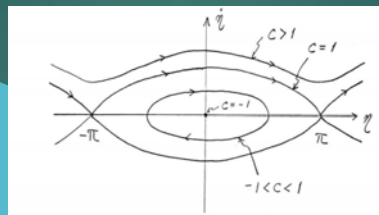
$$\frac{\dot{\eta}^2}{2} = \cos\eta + C$$

ただしCは任意定数

菅信：日本造船学会
論文集166号
(1989)

$$\frac{\dot{\eta}^2}{2} = \cos\eta + C \quad \dot{\eta} = \pm \sqrt{2C + 2\cos\eta}$$

図示すると、



- $-1 < C < 1$ 安定平衡点まわりの軌道 (波乗りに対応)
- $C = 1$ 不安定平衡点をつなぐ軌道
(ヘテロクリニック軌道)
- $C > 1$ 平衡点に達しない軌道 (周期運動に対応)

$\dot{\eta} = \pm\sqrt{2C + 2\cos\eta}$ は $\alpha = \beta = 0$ についての結果である。

$\alpha \neq 0$ 、 $\beta \neq 0$ とすると、

$$\frac{d}{d\eta} \left(\frac{\dot{\eta}^2}{2} \right) = \alpha - \beta\dot{\eta} - \sin\eta \text{ となるが、}$$

右辺の $\dot{\eta}$ に $\alpha = \beta = 0$ の解を第1近似として代入する。

すると、低速からの波乗りに対応する $\dot{\eta} < 0$ について、

$$\frac{d}{d\eta} \left(\frac{\dot{\eta}^2}{2} \right) = \alpha + \beta\sqrt{2C + 2\cos\eta} - \sin\eta$$

$-\pi$ から π まで積分すると、

$$\begin{aligned} E(C) &= \int_{-\pi}^{\pi} \frac{d}{d\eta} \left(\frac{\dot{\eta}^2}{2} \right) d\eta = \frac{\dot{\eta}^2(\eta=\pi)}{2} - \frac{\dot{\eta}^2(\eta=-\pi)}{2} \\ &= \int_{-\pi}^{\pi} \{ \alpha + \beta\sqrt{2C + 2\cos\eta} - \sin\eta \} d\eta \\ &= 2 \int_0^{\pi} \{ \alpha + \beta\sqrt{2C + 2\cos\eta} \} d\eta \end{aligned}$$

これは、軌道に沿っての $-\pi$ と π での運動エネルギーの変化の近似値にあたる。

よって、 $E(C) = 0$ ($C \geq 1$) であれば、その軌道は周期的となる。

$$E(C = 1) = 2 \int_0^{\pi} \{ \alpha + \beta\sqrt{2 + 2\cos\eta} \} d\eta = 0$$

とすると、 $\alpha = \beta = 0$ でのヘテロクリニック軌道での $-\pi$ と π での運動エネルギー変化零（周期性）が、 $\alpha \neq 0$ 、 $\beta \neq 0$ でも変わらないことを示している。すなわち、 $\alpha \neq 0$ 、 $\beta \neq 0$ でもヘテロクリニック軌道が存在すると近似的にみなせる。

よって

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \{\alpha + \beta\sqrt{2+2\cos\eta}\}d\eta &= \alpha\pi + \sqrt{2}\beta 2\sqrt{2}[\sin\frac{\eta}{2}]_0^\pi \\ &= \alpha\pi + 4\beta = 0 \\ \therefore \int \sqrt{1+\cos\eta}d\eta &= \int \sqrt{1+\cos 2\frac{\eta}{2}}d\eta = \int \sqrt{1-1+2\cos^2\frac{\eta}{2}}d\eta \\ &= \sqrt{2} \int \cos\frac{\eta}{2}d\eta = 2\sqrt{2}[\sin\frac{\eta}{2}] \end{aligned}$$

すなわち、

$$\alpha = -\frac{4\beta}{\pi}$$

波乗り条件

$$\frac{d^2\xi_G}{dt^2} + \mu\frac{d\xi_G}{dt} + f \sin(k\xi_G + \varepsilon) = b$$

次の変数変換を行う

$$k\xi_G + \varepsilon = \eta$$

$$t = \frac{s}{\sqrt{fk}}$$

すると、

$$\frac{d\xi_G}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{\eta}{k}\right) = \frac{d}{ds}\left(\frac{\eta}{k}\right)\frac{ds}{dt} = \sqrt{\frac{f d\eta}{k ds}}$$

$$\frac{d^2\xi_G}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left(\sqrt{\frac{f d\eta}{k ds}}\right) = \frac{d}{ds}\left(\sqrt{\frac{f d\eta}{k ds}}\right)\frac{ds}{dt} = \sqrt{fk}\sqrt{\frac{f d^2\eta}{k ds^2}} = f\frac{d^2\eta}{ds^2}$$

よって、

$$f\frac{d^2\eta}{ds^2} + \mu\sqrt{\frac{f d\eta}{k ds}} + f \sin\eta = b$$

波乗り条件

$$f \frac{d^2 \eta}{ds^2} + \mu \sqrt{\frac{f}{k}} \frac{d\eta}{ds} + f \sin \eta = b$$

$$\frac{d^2 \eta}{ds^2} + \mu \sqrt{\frac{1}{fk}} \frac{d\eta}{ds} + \sin \eta = \frac{b}{f}$$

これを先の方程式

$$\frac{d^2 \eta}{ds^2} + \beta \frac{d\eta}{ds} + \sin \eta = \alpha$$

と比較すると、

$$\alpha = \frac{b}{f}$$

$$\beta = \mu \sqrt{\frac{1}{fk}}$$

よって、波乗り条件は、 $\alpha = -\frac{4\beta}{\pi}$ すなわち、

$$\frac{b}{f} = -\frac{4}{\pi} \mu \sqrt{\frac{1}{fk}}$$

波乗り条件

$$\frac{b}{f} = -\frac{4}{\pi} \mu \sqrt{\frac{1}{fk}}$$

整理すると、

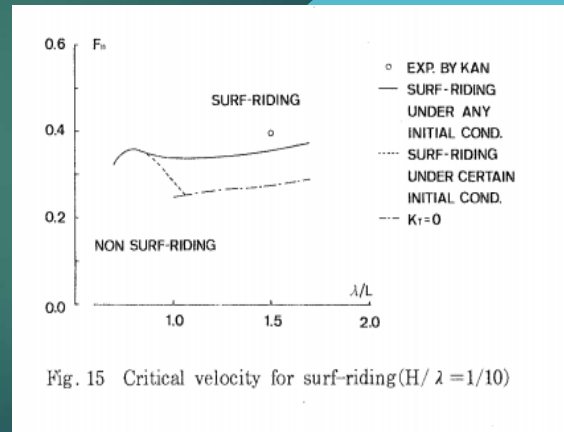
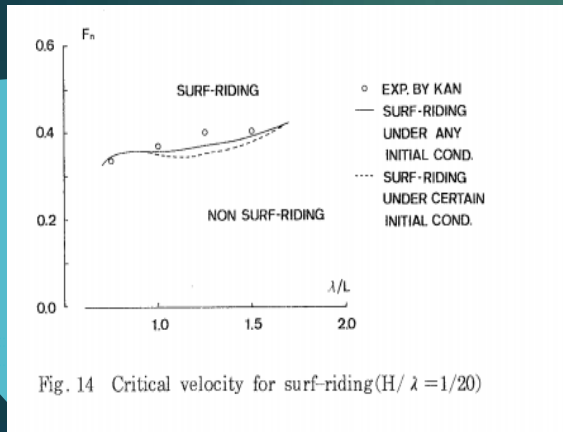
$$f = \frac{k(\pi b)^2}{16\mu^2} = \frac{k(\pi b)^2}{16\mu^2} = \frac{k}{16} \left(\frac{\pi b}{\mu}\right)^2$$

この条件式は、船体抵抗とプロペラ推力が船速に比例すると近似している。

実際には、船体抵抗は船速の5次式、プロペラ推力は船速の2次式で表現されることから、

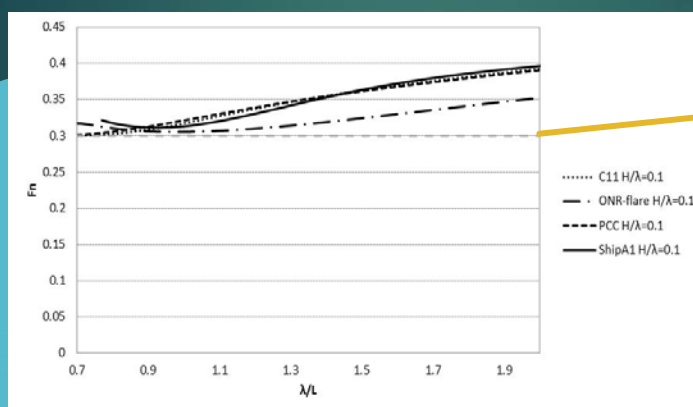
レベル2基準ではこれらを反映したメルニコフ解析の式を用いている。

波乗り条件 (実験と計算の比較)



梅田・神山：関西造船協会誌213号（1990）

波乗り条件 種々の船舶への適用



Y. Ito, N. Umeda, H. Kubo:
Jurnal Teknologi (Sciences
and Engineering) 66(2), 2014

波乗りの発生条件

- ▶ 第1の条件： 平衡点の発生
船体抵抗+プロペラ推力+前後方向波力 = 0
安定平衡点と不安定平衡点が発生
- ▶ 第2の条件： ヘテロクリニック分岐の発生

第2世代基準のブローチングに対する要件

- ◆ レベル1： フルード数0.3以上かつ船長200m以下
- ◆ レベル2： ヘテロクリニック分岐としての波乗り発生領域の（波高、波長）の北大西洋での発生確率の計算
- ◆ 直接評価：不規則波中時間領域シミュレーションにより、ブローチングによる40度以上の横傾斜発生¹⁾の北大西洋での発生確率の計算

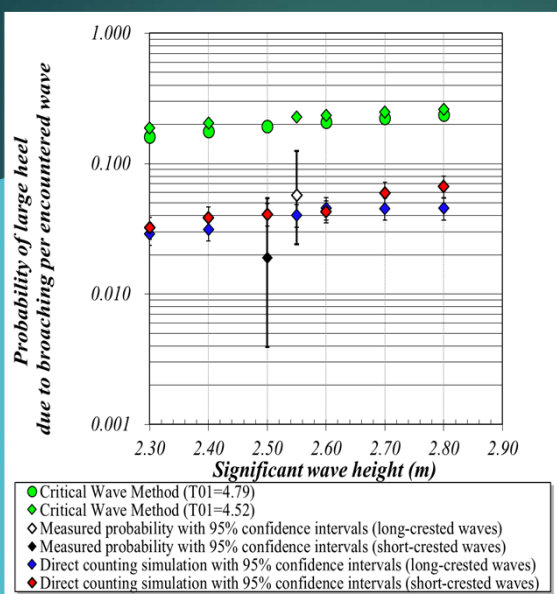
第2段階簡易基準

- ヘテロクリニック分岐の計算より、規則波中で波乗りの発生する波高と波長を求める。
- 大西洋の波浪頻度表における各有義波高、平均波周期の組み合わせについて、Longuet-Higginsの理論式（proc. Royal Society Lond., 1983）より、個別の波高と波長の結合確率密度関数を求め、それを波乗りの発生する範囲内で積分することで、1波ごとの波乗り発生確率を計算する。
- 北大西洋の波浪頻度を用いて、その確率を重み平均して、長期の1波ごとの波乗り発生確率Cとする。
- その値が0.005未満であれば、合格。

直接復原性評価（阪大）

- ▶ 短波頂不規則波中の時間領域シミュレーション
- ▶ 4自由度（surge-sway-yaw-roll）+オートパイロットモデル
- ▶ 低周波数であるため、非線形操縦性数学モデルをベースに、線形波浪強制力（揚力成分主体）を付加
- ▶ Heave-pitchは波面上での静的平衡と近似
- ▶ 平水中の操縦流体力、横揺れ減衰力、抵抗・推進性能は模型実験による

直接復原性評価法の実験的検証

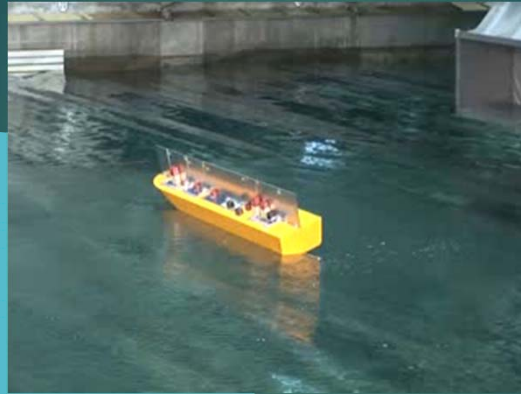


一波当たりの40度以上横傾斜発生確率

海洋調査船(L=22m)

K. Matsubara, N. Umeda and A. Matsuda: Ocean Engineering, 2023

デッドシップ状態の同調横揺れ



国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

第2世代非損傷時復原性基準

1. 追波中復原力喪失現象
2. パラメトリック横揺れ
3. ブローチング現象
4. **デッドシップ状態の同調横揺れ**
5. 過大加速度

デッドシップ状態の同調横揺れ



デッドシップ状態

- ▶ 主推進装置、ボイラー、補機が動力の欠如により作動しない状態（SOLASの定義）→操船者は全く無力
- ▶ 船体の前後対称性が顕著でなければ、横波、横風中を横漂流
- ▶ この状態で転覆しないこと：復原性基準の最低限の要求

デッドシップ状態

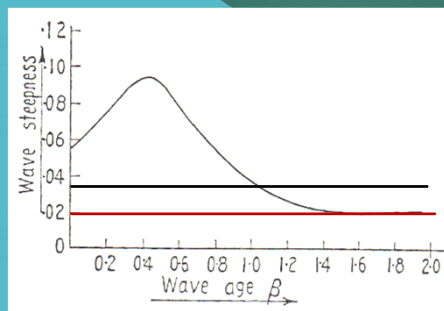
具体例

☆波浪により船橋の窓から浸水→船橋機能の喪失→主機停止

- ▶ やまと丸 (1997)
風力11、有義波高10m/s以上
⇒ 転覆せず
- ▶ Bremen (2001)
- ▶ Caledonian Star (2001)

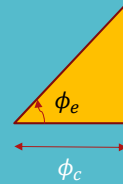
デッドシップ状態：第1段階簡易基準

- ▶ 現行のウェザークライテリオン
ただし、波峯度と横揺れ周期の関係の表
は、波峯度0.02まで延長。



デッドシップ：第2段階簡易基準

- ▶ GZ曲線: 直角三角形近似
 - ▶ 近似GZのGM、 ϕ_e 、は一定風に対する平衡角での原GZの接線勾配
 - ▶ 原GZの面積（直立時から復原力消失角まで）が近似GZの面積と一致するように、限界角、 ϕ_c 、を設定
- ▶ 横波横風中の線形横揺れ運動方程式の周波数応答
- ▶ 横波：Bretshneiderスペクトル
- ▶ 横風：Davenportスペクトル



デッドシップ：第2段階簡易基準

- ▶ 横揺れ振幅が狭帯域でRayleigh分布に従うとして、限界角を振幅の1秒あたりの発生率 r_{EA} を計算
- ▶ 横揺れ角が近似復原力消失角を1時間のうちに超える短期確率 C_{Si} を計算

$$C_{Si} = 1 - \exp(-r_{EA} \cdot 3600)$$
- ▶ 北大西洋の波浪頻度を用いて、 C_{Si} を重み平均し、横揺れ角が近似復原力消失角を1時間のうちに超える長期確率 C を計算
- ▶ $C < 0.06$ ならば、合格
(weather criterionとの整合性より)

デッドシップ：第2段階簡易基準

9

$$\ddot{x} + 2 \cdot \mu_e(\sigma_{\dot{x}}) \cdot \dot{x} + \omega_{0,e}^2(\phi_s) \cdot x = \omega_0^2 \cdot m(t)$$

$$\mu_e(\sigma_{\dot{x}}) = \mu + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \beta \cdot \sigma_{\dot{x}} + \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot \sigma_{\dot{x}}^2$$

$$m(t) = \frac{M(t)}{W \cdot GM}$$

x : 横揺れ角（定常風による横傾斜角 ϕ_s から）
 μ, β, δ : 横揺れ減衰係数
 $\omega_{0,e}$: 横揺れ固有周波数（横傾斜時）
 ω_0 : 横揺れ固有周波数（直立時）
 M : 波と変動風による横揺れモーメント
 $\sigma_{\dot{x}}$: 横揺れ角速度の分散

統計的等価線形化された減衰係数を持つ線形常微分方程式
 \Rightarrow 解析解の逐次近似法で解ける

デッドシップ状態：第2段階簡易基準

▶ 流体力パラメータの推定法

▶ 有効波傾斜係数:

各横断面を矩形断面近似したうえフルードクリロフ成分の厳密計算を標準とする

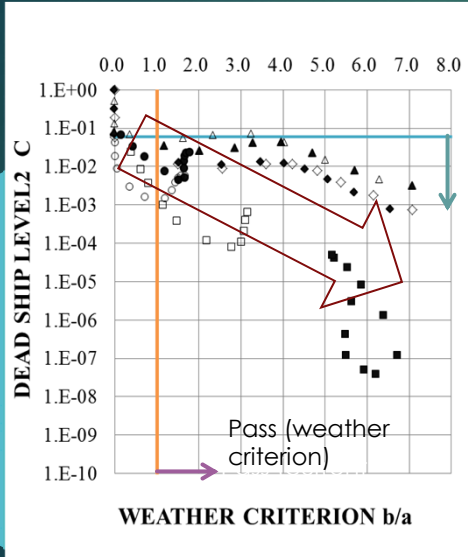
▶ 横揺れ減衰力:

池田の簡易推定式（池田の組み立て推定法結果から作成した主要目について回帰式）を標準とする

▶ 風圧力: ウエザークライテリオンと同じ

▶ 水圧反力: ウエザークライテリオンと同じ

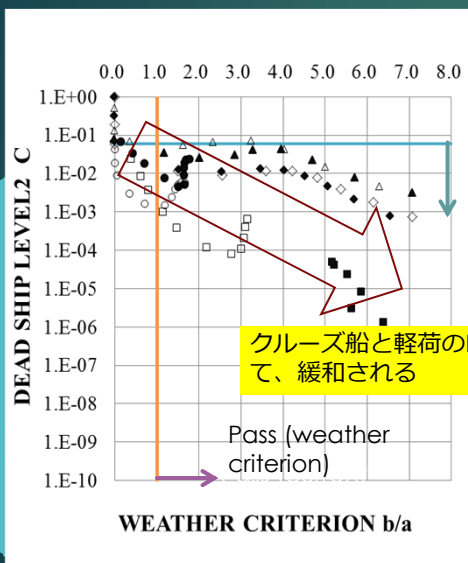
デッドシップ状態：第2段階簡易基準



- cruise ship (full)
- cruise ship (light)
- LNG (full)
- LNG (light)
- ◆ RoPax1 (full)
- ◇ RoPax1 (light)
- ▲ RoPax2 (full)
- △ RoPax2 (light)
- C=0.06
- b/a=1.0

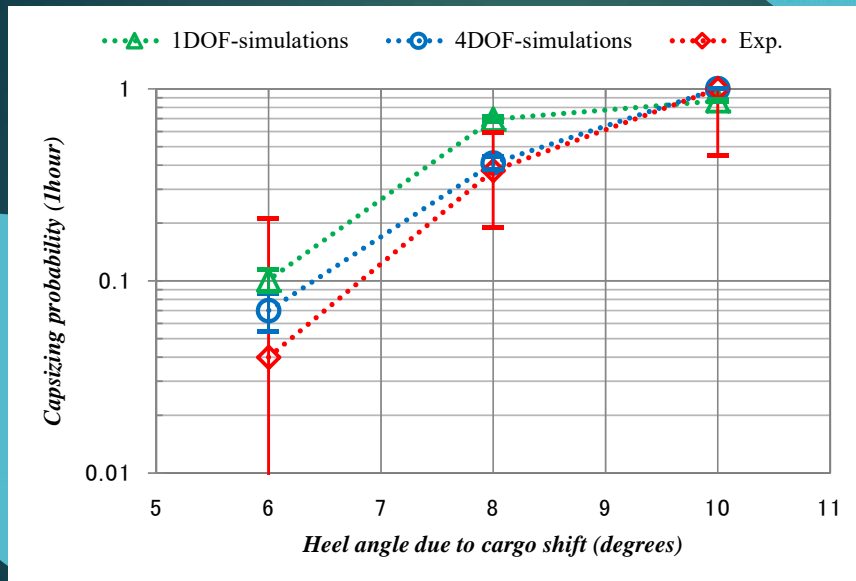
N. Yamashita, N. Umeda & M. Sakai, Proc. of Design for Safety 2016

デッドシップ状態：第2段階簡易基準



- cruise ship (full)
- cruise ship (light)
- LNG (full)
- LNG (light)
- ◆ RoPax1 (full)
- ◇ RoPax1 (light)
- ▲ RoPax2 (full)
- △ RoPax2 (light)
- C=0.06
- b/a=1.0

直接復原性評価の実験的検証



T. Kubo, N. Umeda et al.: Fluid Mechanics and its Application, Springer, 119, 2019

デッドシップ基準の設計への影響

- ▶ 現在のウェザークライテリオンに合格する船には無関係。
- ▶ 大型クルーズ客船など現在のウェザークライテリオンに適合が容易でない船も、第1階層基準の波岨度の修正で、適合可能、あるいは客室数の10%増設可能へ。
(Francescutto, Umeda et al., Design for Safety, 2004)
- ▶ 第2段階簡易基準でも、クルーズ船や軽荷のLNG船は緩和される方向。

2022年度船舶基準セミナー

第二世代非損傷時復原性基準 5モードの解説

- 過大加速度モード -

海上技術安全研究所 流体性能評価系 耐航性能研究グループ
黒田 貴子

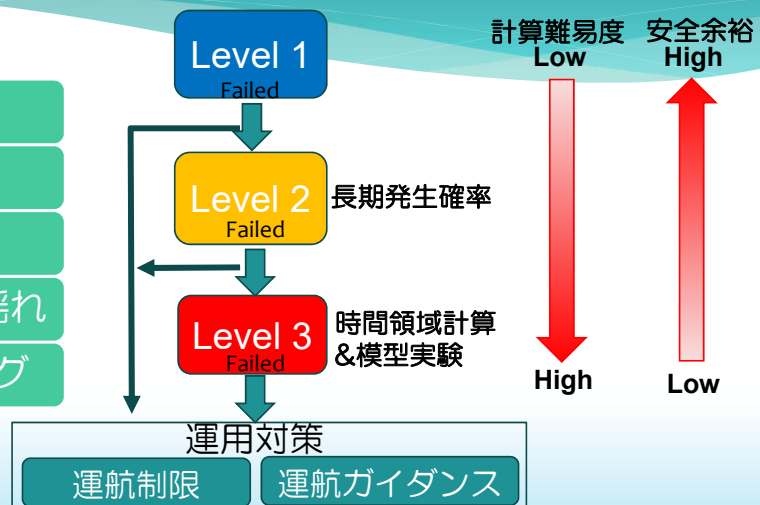
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

第二世代非損傷時復原性基準

物理則に基づく動的復原性に起因する5つの危険モードの脆弱性を3段階で判定

危険モード

1. デッドシップ
- ② 2. 過大加速度
3. 復原力喪失
4. パラメトリック横揺れ
5. 波乗り/ブローチング



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

2

過大加速度モード

旅客や乗組員が居る，最も高い位置（居住区や船橋）に働く横方向の加速度

香港沖台風回避中のコンテナ船Chicago Expressのブリッジに居た乗組員の大きな横加速度による死傷事故(2008)*がきっかけでドイツの提案により本基準に取り入れられた危険モード。

船長/GM	336.19m/8.54m
積載状態	バラスト
船速	2~4kts
有義波高/平均波周期	7.5m/9~10sec
出会波角度	120~150°
横揺れ角/横加速度	最大32° /1.0g越
人身被害	死亡1名，重傷1名



転倒した人が転がって当たったキャビネット*

*Fatal accident on board the CMV CHICAGO EXPRESS during Typhoon "HAGUPIT" on 24 September 2008 off the coast of Hong Kong, Investigation report 510/08, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, 2009.

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

3

過大加速度モード Level 1

適用範囲：喫水から人が居る最も高い位置までの距離が船幅の70%を超え，GMが船幅の8%を超える場合

Level 1 前進速度0，不規則横波中での同調横揺れ時の横方向加速度が基準値 $R_{EA1} = 4.64m/s^2$ 以下であること

横加速度の式

$$\phi K_L (g + 4\pi^2 \frac{h}{T_r^2})$$

重力加速度の横方向成分 横揺れによる横方向成分

横揺れ振幅 横揺れ回転中心から人が居る位置までの高さ

ブリッジが高く，GMが大きくて横揺れ固有周期が短くなる载荷状態のある船が脆弱性高い

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

4

過大加速度モード Level 2

Level 2 北大西洋の波浪条件 (IACS No.34) で横波を主方向とする短波頂不規則波中にある船の横加速度が閾値 $R_2 = 9.81m/s^2$ を超える長期発生確率 C は基準値 $R_{EA2} = 0.00039$ 以下であること

基準値の設定法：事故船が不合格と判定され、かつLevel1と2の判定が逆転しないこと

Level 2の基準値：事故船の計算値

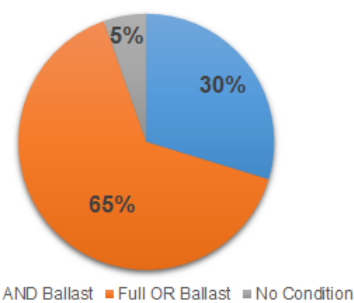
Level 1の基準値：既存船に対する計算結果でLevel 2と判定が逆転しない値

過大加速度モード脆弱性基準適合率

10種の船種、37隻の満載・空載状態でのLevel 1, 2の計算を実施

船種	隻数
バルクキャリア	10
コンテナ船	4
PCC	2
LNG船	2
VLCC	2
ケミカルタンカー	11
PSV	2
フェリー	1
タンカー	2
一般貨物船	1

Pass rate of 37 ships



満載・空載状態ともに合格した船は全体の30%

運用する際の問題点として指摘

Level 3 直接復原性評価 Direct Stability Assessment (DSA)

- 横揺れ角 40° ，横加速度 9.81m/s^2 を閾値として不規則波中船体運動計算を行い，以下のいずれかの評価を行う（全モード共通）。
⇒不規則波中時間領域計算が必要
- 模型実験との比較で精度が確認された計算ツールを使用する必要がある。

評価法	計算条件
完全確率論的評価	IACS No.34の海象条件 波向き，船速毎に計算
Design situationによる確率論的評価	過大加速度のdesign situation ・横波中，前進速度零
Design situationによる決定論的評価	・設定された波条件のうち，波周期と横揺れ 固有周期の比が $0.7\sim 1.3$ の範囲で計算

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

7

過大加速度モードのDSA計算法

Level3を使う可能性が高いため，簡易な計算法が必須。
復原力の非線形影響が表れにくい。

時間領域計算法の他に周波数応答の線形重ね合わせ法が適用可能

IACS No.34の海象条件(197ケース)で横波を主方向とする不規則波中前進速度零での横加速度を線形重ね合わせ法，時間領域計算法で計算し，一波当たりの平均長期危険事象発生確率 p を算出。

Average long-term failure probabilities per encounter wave p	Method		
	Level 2	Linear superposition > method	Time-domain situations
	$5.35 \cdot 10^{-5}$	$2.02 \cdot 10^{-5}$	$1.68 \cdot 10^{-5}$

線形重ね合わせ法と時間領域計算法を用いた結果は近い値となり，かつ，Level 2との整合性もとれている。模型実験との比較で計算法の精度も確認。

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

8

運航制限, 運航ガイダンス

- Level 1, 2に適合しない場合, Level 3の他に, **運航制限**, **運航ガイダンス**がある.

運航制限	運航ガイダンス
<ul style="list-style-type: none"> • 最大有義波高 • 航行海域または航行する季節を指定 	<ul style="list-style-type: none"> • 波浪条件における船の速度と針路（波向き）について推奨条件（回避すべき条件）を操船者に提示する

- Level 1, 2, 3での計算法を適用
- 総運航時間に対して推奨される条件での合計存続時間の比率は0.8以上
- 運航ガイダンスは不適合となった载荷状態で航行しうる船速, 波条件すべての計算結果のうち, 必要な情報を操船者に適切に示す工夫が必要

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

9

最大有義波高による運航制限

- 北大西洋の波浪発現頻度(IACS No.34)の場合, 総運航時間に対する基準に適合した状態での運航時間の比率を0.8以上にするには最大有義波高による運航制限は4.5m以上でなければならない.

コンテナ船の有義波高による運航制限の計算例

設定有義波高以上の発生確率を0としてLevel 2で評価

航行できる 最大有義波高	C	Judge
7.5m	2.55E-04	PASS
8.5m	4.06E-04	FAIL

最大有義波高7.5mまでは運航可能

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

10

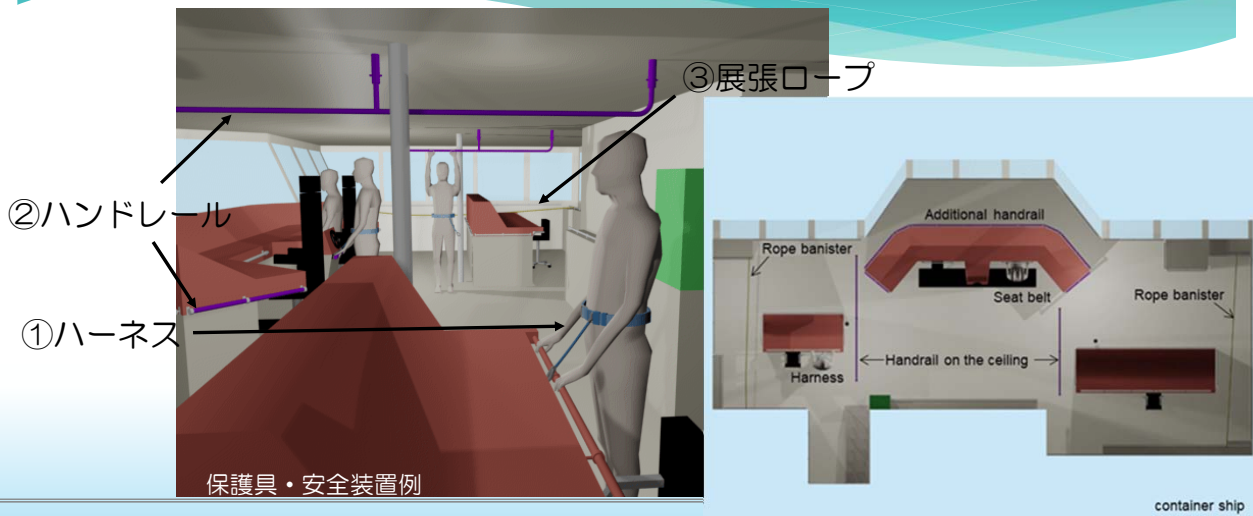
運航ガイダンス適用例（過大加速度）

不適合になった载荷状態での船速，有義波高，波周期，波向に対する短期発生確率で評価



安全装置・保護具の適用

説明文書では，過大加速度モードを評価する位置は，シートベルトやハーネスなどのsafety device（保護具・安全装置）によって保護されていない乗客や乗組員が居る可能性のある一番高い場所としている。**船橋に安全装置や保護具を備えれば，船橋は評価対象から外れる。**



まとめ

第二世代非損傷時復原性基準暫定ガイドラインで扱う5つの危険モードの1つである過大加速度モードについて解説した。

- GMが大きい荷状態があり、船橋位置が高い船が適合しにくい。
- 既存船を対象とした脆弱性基準試計算での適合率は30%である。

脆弱性基準不適合の荷状態には

- Level 3では周波数応答の線形重ね合わせ法が適用できる。
- 船橋に安全装置や保護具を備えれば、船橋は評価対象から外れる。
- 運航制限や運航ガイダンスを適用する。

謝 辞

本研究の一部は日本財団助成事業の一環として一般財団法人日本船舶技術研究協会からの受託研究「目的指向型復原性基準の策定に関する調査研究」（平成28年度から令和3年度）で実施しました。