

令和元年6月7日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02327

研究課題名(和文) 地球環境規制と復原性基準を両立させるための船舶性能評価法の構築

研究課題名(英文) Development of ship performance prediction methods for environmental regulation and stability criteria

研究代表者

梅田 直哉 (Naoya, Umeda)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：20314370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,200,000円

研究成果の概要(和文)：国際海事機関において、地球環境規制の一環としての船舶最低出力ガイドライン、そして安全規制としての第2世代非損傷時復原性基準が独立して検討されている。いずれも荒天下での船の運航限界を扱うことから、両者を統一的に研究した。まず風波中の模型実験を行って現象を把握し、数値シミュレーションでその再現を行い、基準化に向けて確率論的評価法を構築した。この結果として、前方から風波を受けて機関出力の制限から船速が低下するとき、復原性上の脅威であるパラメトリック横揺れが発生するなど二つの規制に関わる現象を見出し、その物理的説明や確率論的評価を行った。同様に横や後方から風波を受ける場合についても同様に検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最低出力ガイドラインについての成果は、国際海事機関IMOにおいて日本政府代表団より紹介され、審議のベースの一つとなった。第2世代非損傷時復原性基準に関する成果についても、IMOにおいて日本政府提案に活用され、同基準案の一部として採用された。このように、本研究の成果の一部は、今後IMOの所掌する国際条約の附属書等に反映される形で、国際的な船舶の安全・環境規制として社会実装される可能性が高まっている。学問的には、不規則外乱下の非線形振動問題の評価と制御に分類できるので、ここでの新たな確率論的扱いの提案や最適制御理論の応用といった点が新しく、本研究成果の他分野への波及も期待できる。

研究成果の概要(英文)：At the International Maritime Organization (IMO), the minimum propulsion power guidelines as a part of environmental regulations, and the second generation intact stability criteria, as a part of ship safety regulations, are separately under development. Since these two deals with operational limits of ships under adverse weather, this study investigated these two together. First, model experiments in wind and waves were executed to identify the relevant phenomena. Second, they were simulated with numerical model. Third, probabilistic assessment procedures were developed towards more sophisticated regulations. An example of phenomena relating to both aspects is that parametric roll, which could induce capsizing or cargo loss, occurs when the ship forward velocity is almost lost due to strong head wind and waves under the limited engine power. This phenomenon was physically explained and probabilistically assessed. Similarly, the cases in beam and astern waves were also investigated.

研究分野：船舶工学

キーワード：IMO 最低出力ガイドライン 第2世代非損傷時復原性基準 パラメトリック横揺れ ブローチング デッドシップ 復原力喪失 船速低下

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国際海事機関 (IMO) では、地球温暖化を防ぐため船舶からの温室効果ガスの排出削減という環境規制、そして船舶の転覆を防ぐ第二世代非損傷時復原性基準という安全規制が独立して検討されていた。このうち、前者では単なる機関出力低下で規制を逃れることを防ぐために、荒天下最低出力ガイドラインが検討され、後者ではパラメトリック横揺れ、復原力喪失現象、ブローチング、デッドシップ状態復原性といった転覆モードごとの基準案の検討が始まっていた。

2. 研究の目的

上記の環境規制と復原性基準はいずれも荒天下の船体運動を扱うことから、別々に技術的検討を行うのではなく、両者を同時に俯瞰しつつガイドラインや基準を策定するための研究を行うことを目的とした。これによって、科学技術的により進んだ方法論の双方への適用を可能とすつつ、両者に関係する現象を抽出し、同一船舶に合理的に適用可能とする規制の実現を目指した。

3. 研究の方法

いずれの規制にたいしても、まず対象とする現象について模型実験での再現を試みた。すなわち、最低出力ガイドラインが主対象とする現象として、風波中に向かって船が進む状況の模型実験である。第二世代非損傷時復原性基準の主たる対象としては、風波を横から受ける、あるいは斜め後方から受ける状況での模型実験である。次にそのような現象を時間領域での船体運動理論モデルでの計算でその説明を試みた。さらに、その発生確率を理論的に評価する方法を導いた。

4. 研究成果

得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 水産工学研究所角水槽において、自動車専用運搬船の模型に、プロペラと舵検力装置、推進用モータ、操舵機を取り付け、一定風と不規則波中で波方向速度が零となるプロペラ回転数を探索した。このときの船体運動、プロペラトルク、舵直圧力などを計測した。この実験および理論計算により、自動車運搬船は、ビューフォート階級9まで正面および斜め波中에서도4ノットで航行可能であることが確認された。

(2) しかしビューフォート階級10の向波中で停船するとき、この船は20度程度のパラメトリック横揺れを起こすことを模型実験で見出した。これについて詳細に調べるために、規則波中模型実験(斜め追波中自由航走実験)とそれに対応する平均化法の解析を行った。この結果、波長が船長よりも小さなところでパラメトリック横揺れは起こりうるがそれには大きな波粗度を要することを確認した。関連してパラメトリック横揺れの平均化法による理論推定法を高調波などを考慮して改良した。

(3) 荒天下の向波での操船限界に注目し、機関出力を抑えたケースを対象に、不規則風波中の船体運動を計算する時間領域数値シミュレーションモデルを構築するとともに、対象海域の波浪統計を用いて危険回避のために最小限必要な機関出力を確率的に求める方法を構築した。これらの手法により、最低出力ガイドラインの釣り合い計算と釣り合い点の安定解析が時間領域シミュレーションに比べて安全側の推定となり環境規制として有効であること、そして確率的評価により過去の日本沿岸でのバルクキャリアの事故が本研究での方法論で説明できることを示した。

(4) 風波を横から受ける船というデッドシップ状態に関しては、上部構造物まで再現したクルーズ客船の模型について、水産工学研究所角水槽において、不規則横波、横風状態での横揺れ実験を行った。その実験と理論計算との比較から、デッドシップ復原性基準案で仮定している同調横揺れではなくむしろパラメトリック横揺れが生じていることを見出した。

(5) 現行基準やデッドシップ基準案の適用に問題があるとされる沖合補給船や海洋調査船などの斜め追波中自由航走模型実験を行い、甲板上滞流水と横揺れ角の関係について知見を得た。また沖合補給船の復原性に与える甲板上滞流水の影響も既存のデータベースなどを活用して定量的評価を行った。

(6) デッドシップ状態を対象とした時間領域数値シミュレーションに、非線形影響も近似的に取り込んだメモリ-影響を反映させた。これにより、不規則横波横風中の転覆確率についての実験と計算の一致度を改善した。

(7) そして、デッドシップ基準案と現行基準の保証する安全レベルについて、10数隻の実存船に対しパラメトリック横揺れも含めて定量化することで今後の安全基準化へのつながりとなることができた。デッドシップ基準第1段階簡易基準と第2段階基準の間で不整合が生じたセメント運搬船について、横波中模型実験を行い、その原因が横揺れ減衰力の推定法にあることを確認した。

(8) さらに、デッドシップ基準第1段階簡易基準であるウェザークライテリオンとの整合性を再検討するため、その基準制定時の事故船の模型を作成し、その拘束模型実験と数値シミュレーションを行った。その結果この事故の原因は縦波中の復原力変化でなく旋回運動と横揺れの連成にあることを明らかにした。また、海洋調査船について、前年度の規則波中に続き、不規則波中の自由航走模型実験と数値シミュレーションの比較により、やはり旋回運動と横揺れの連

成の重要性を見出した。

(9)一方、拘束模型実験で斜め波中の波力を計測して、CFD との良い位置を確認するとともに、波力の理論推定法に実験的修正を行ったうえ、操縦不能現象(ブローチング)の発生確率の理論推定を行い、不規則波中の自由航走模型実験との一致度を改善した。

(10)最低出力ガイドラインについては、主機・ターボチャージャの動的モデリングを時間領域数値シミュレーションモデルに反映させ、荒天下の操船限界となる海象をより正確に推定することができた。

(11) 斜め向波中の操縦性能については、風、波のもとでの船体、舵、プロペラ、主機、ターボチャージャの作動状況を推定する方法に、波浪によるプロペラ、舵の瞬時の空中露出影響を加え、バルクキャリアを対象にその影響を定量化した。その方法により、荒天下で追波から向波に変針するシナリオと荒天下で港から風波に向かって保針操船で脱出するシナリオという事故対応状態での航行限界海象を求めた。

(12)荒天による船速低下が問題とならない斜め追波中の操船限界については、事故を起こしたカーフェリーについての拘束模型実験を実施し、横転事故原因が定説である復原力喪失現象でなく船首揺れと横揺れの連成効果であることを明らかにし、その危険の定量的評価法を示した。

(13)さらに、斜め追波中の操縦不能現象についてそのリスクのレベルについて直接的なモンテカルロ数値シミュレーションで試算を行うとともに、それを踏まえて簡易推定法を提案した。またその危険を回避する操船法に対して最適制御理論を適用して見出した。

(14)横波中の運動については、パラメトリック横揺れの評価法を、デッドシップ状態用復原性基準と共存できる形での数値計算法として示し、新たに実施したクルーズ客船の模型実験でその検証を行った。加えて、不規則横波中の横揺れ確率の評価法を提案するとともに、分岐現象の発生条件の推定法にも知見を得た。

(15)いずれの危険モードにおいても重要なパラメータの一つである横揺れ固有周期について、船上での横揺れデータから推定する方法を新たに提案、検証した。

(16)以上により、全方位を対象として、限定された機関出力下での航行限界推定法を示すことができた。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 25 件)

大杉御月、梅田直哉、松田秋彦, 大型カーフェリーの追波中大横傾斜事故の原因についての考察, 日本クルーズ&フェリー学会論文集, No. 9, 査読有, 2019, pp.1-5.

http://cruise-ferry.main.jp/wp-content/uploads/Papers/paper_9th.pdf.

Thet Zaw Htet, Naoya Umeda, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Effect of above-waterline hull shape on broaching-induced roll in irregular stern-quartering waves, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 24, 査読有, 2019, pp. 166-173. DOI: 10.1007/s00773-018-0544-4.

Thet Zaw Htet, Naoya Umeda, Atsuo Maki, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Estimation of Broaching Probability using Wave-induced Forces and Moments Measured in Captive Model Tests, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 24, 査読有, 2019, pp. 317-327.

DOI: 10.1007/s00773-017-0507-1.

Kentaro Mizumoto, Motoki Araki, Frederick Stern, Hirotsada Hashimoto, Naoya Umeda, Improvement of Broaching Prediction Method by System Identification Using CFD, Proceedings of the 13th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 92-98.

Atsuo Maki, Naoya Umeda, Haruka Nagato, Akihiko Matsuda, Capsize of a torpedo boat in following waves in 1930`, Proceedings of the 13th International Conference on Stability and Ocean Vehicles, 査読無, 2018, pp. 25-26.

Myo Zin Aung, Naoya Umeda, Minimum Propulsion Power Prediction of a Ship under Adverse Weather Conditions with Dynamics of Diesel Engine and Turbocharger Taken into Account, Proceedings of the 7th International Maritime Conference on Design for Safety, 査読有, 2018, pp. 115-124.

Atsuo Maki, Naoya Umeda, Akihiko Matsuda, Hiroki Yoshizumi, Non-Gaussian PDF of ship roll motion in irregular beam sea and wind conditions -Comparison between theory and experiment-, Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 541-553.

Masahiro Sakai, Naoya Umeda, Atsuo Maki, Encounter Frequency Effect on the Simplified Design Criteria Against Parametric Roll, Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 252-260.

Daisuke Terada, Hirotsada Hashimoto, Akihiko Matsuda, Naoya Umeda, Direct Estimation of Natural Roll Frequency Using Onboard Data Based Bayesian Modeling Procedure, Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 517-523.

- Hirofumi Hashimoto, Shota Yoneda, Tomoyuki Omura, Naoya Umeda, Akihiko Matsuda, Frederick Stern, Yusuke Tahara, CFD Prediction of Wave-Induced Forces on Ships Running in Irregular Stern Quartering Seas, Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 99-108.
- Su Sandy Htun, Naoya Umeda, Masahiro Sakai, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Water-on-Deck Effects on Roll Motions of an Offshore Supply Vessel in Regular Stern Quartering Waves, Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 査読有, 2018, pp. 148-156.
- Atsuo Maki, Masahiro Sakai, Naoya Umeda, Estimating a non-Gaussian probability density of the rolling motion in irregular beam seas, Journal of Marine Science and Technology, First Online, 査読有, 2018
DOI: 10.1007/s00773-018-0606-7.
- Atsuo Maki, Lawrence N. Virgin, Naoya Umeda, Tetsushi Ueta, Yu Miino, Masahiro Sakai, Hiroshi Kawakami, On the loss of stability of periodic oscillations and its relevance to ship capsizing, Journal of Marine Science and Technology, First online, 査読有, 2018.
DOI: 10.1007/s00773-018-0591-x.
- Naoya Umeda, Mizuki Osugi, Masahiro Sakai, Akihiko Matsuda, Model experiment on pure loss of stability for a ship in astern waves and its relationship with the Second Generation Intact Stability Criteria, Proceedings of the 16th International Ship Stability Workshop, 査読無, 2017, pp.21-26.
http://shipstab.org/files/Proceedings/ISSW/ISSW_2017_Belgrade_Serbia/Papers/Session_1_Challenges_in_the_development_of_Second_Generation_Intact_Stability_Criteria/1_4_Umeda_et_al_ISSW2017.pdf.
- Masahiro Sakai, Naoya Umeda, Takehiro Yano, Atsuo Maki, Naho Yamashita, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Averaging methods for estimating parametric roll in longitudinal and oblique waves, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 23, 査読有, 2017, pp. 413-424
DOI: 10.1007/s00773-017-0490-6.
- Naho Yamashita, Naoya Umeda, Masahiro Sakai, Safety Level Required by the IMO Second Generation Intact Stability Criteria for Ships under Dead Ship Conditions and Parametric Roll Resonance, Proceedings of the 6th International Maritime Conference on Design for Safety, 査読有, 2016, pp. 153-157.
- Shusuke Ohiwa, Naoya Umeda, Probabilistic Aspect on Minimum Propulsion Power Requirement Issue under Adverse Weather Conditions, Proceedings of the 6th International Maritime Conference on Design for Safety, 査読有, 2016, pp. 127-131.
- Naoya Umeda, Masahiro Sakai, Naoki Fujita, Ayumi Morimoto, Daisuke Terada, Akihiko Matsuda, Numerical prediction of parametric roll in oblique waves, Ocean Engineering, Vol. 120, 査読有, 2016, pp. 212-219.
DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.05.014.
- Manabu Takabayashi, Naoya Umeda, Masahiro Sakai, Daisuke Terada and Akihiko Matsuda, Parametric Roll of a Car Carrier in Short Longitudinal Waves, Proceedings of the 8th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics in Naval Architecture, Ocean Technology and Constructions, 査読有, 2016, pp. 232-237.
- Naoya Umeda, Shusuke Ohiwa, Daichi Kawaida, Daisuke Terada and Akihiko Matsuda, JASNAOE Project for Minimum Propulsion Power Guidelines under Adverse Weather Conditions, Proceedings of the 8th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics in Naval Architecture, Ocean Technology and Constructions, 査読有, 2016, pp. 29-31
- ⑳ Naoya Umeda, Aqmil Alway, Satoshi Sakai, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Model Experiment of an Offshore Supply Vessel Running in Astern Waves, Proceedings of the 15th International Ship Stability Workshop, 査読無, 2016, pp. 1-16.
http://shipstab.org/files/Proceedings/ISSW/ISSW_2016_Stockholm/Papers/1_2_Umeda_et_al_ISSW2016.pdf.
- ㉑ Naoya Umeda, Alberto Francescutto, Current state of the second generation intact stability criteria -achievements and remaining issues, Proceedings of the 15th International Ship Stability Workshop, 査読無, 2016, pp.3-9.
http://shipstab.org/files/Proceedings/ISSW/ISSW_2016_Stockholm/Papers/1_1_Umeda_and_Francescutto_ISSW2016.pdf.
- ㉒ 宇貞哲、梅田直哉、内航長距離カーフェリーのブローチング現象に対する安全性評価、日本クルーズ&フェリー学会論文集、No. 6、査読有, 2016, pp. 1-8,
http://cruise-ferry.main.jp/wp-content/uploads/Papers/paper_6th.pdf.
- ㉓ 梅田直哉、川井田大地、大岩秀祐、松田秋彦、寺田大介、荒天中の水槽実験結果とシミュレーション、船舶の最低出力に関するシンポジウム, 査読無, 2016, pp.51-56.
https://www.jasnaoe.or.jp/old_sites/jasnaoe02/lecture/symp/senpaku_20160121.html

- ②5 Naoya Umeda, Satoshi Usada, Kentaro Mizumoto and Akihiko Matsuda, Broaching probability for a ship in irregular stern-quartering waves: theoretical prediction and experimental validation, Journal of Marine Science and Technology, 査読有, Vol. 21, 2016, pp. 23-37,
DOI: 10.1007/s00773-015-0364-8.

[学会発表](計 14 件)

Haruka Nagato, Naoya Umeda, Atsuo Maki, and Akihiko Matsuda, Numerical Simulation on Capsizing of a Torpedo Boat in Following Waves in 1934, 9th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, Launceston, 2019.

Yuito Ikenaga, Kazuma Matsubara, Naoya Umeda, and Akihiko Matsuda, Model Experiment of Extreme Roll Motions of an Ocean Research Vessel in Irregular Astern Seas, 9th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, Launceston, 2019.

牧 敦生, 伴野祐生, 梅田 直哉, 阪本 直気, 秋本 洋平, 進化計算手法を用いた最適制御によるブローチング現象の研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2018.

牧 敦生, Virgin, L.N., 梅田 直哉, 上田 哲史, 美井野 優, 酒井 政宏, 川上 博, 横揺れ運動に生じる対称性の破れと各種分岐現象に関する理論的研究, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2018.

牧 敦生, 酒井 政宏, 梅田 直哉, 不規則横波中における非ガウス型確率密度関数の近似的推定手法に関する研究, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2018.

Hiroki Yoshizumi, Takashi Tsuji, Naoya Umeda, Atsuo Maki, Akihiko Matsuda, Daisuke Terada, Effect of Hydrodynamic Memory on Ship Capsizing in Irregular Beam Wind and Waves, the 30th American Towing Tank Conference, Carderock, 2017.

増山豊, 梅田直哉, 470 級実船試験結果報告 (大阪大学における計測結果), 第 53 回セーリングヨット研究会, 2017.

米田翔太, 橋本博公, 梅田直哉, 松田秋彦, 田原裕介, 寺田大介, Frederic Stern, 斜め追波中の船舶に働く波強制力の推定精度向上に関する研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

Masahiro Sakai, Atsuo Maki, Taiki Murakami, Naoya Umeda, Analytical Solution of Critical Speed for Surf-Riding in the Light of Melnikov Analysis, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

Masahiro Sakai, Atsuo Maki, Naoya Umeda, Theoretical Estimation of Parametric Roll without Any Polynomial Approximation of Calm-Water GZ Curve, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

矢野雄大, 酒井政宏, 牧敦生, 梅田直哉, 高調波成分も考慮したパラメトリック横揺れの理論推定, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

松村知弥, 梅田直哉, 大岩秀祐, 時間領域シミュレーションによる荒天時主機最低出力問題の検討, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

酒井政宏, 梅田直哉, 寺田大介, 松田秋彦, 副不安定領域におけるパラメトリック横揺れと復原力喪失現象の関係, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2017.

Naoya Umeda, Progress Report of JASNAOE project on Minimum Propulsion Power of Ships, 2nd International Workshop on Environmentally Friendly Ships, Athens, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 松田 秋彦

ローマ字氏名: Akihiko MATSUDA

所属研究機関名: 水産研究・教育機構

部局名: 水産工学研究所

職名: グループ長

研究者番号(8桁): 10344334

研究分担者氏名: 橋本 博公

ローマ字氏名: Hirotada HASHIMOTO

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: 海洋底探査センター

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 30397731

研究分担者氏名: 寺田 大介

ローマ字氏名: Daisuke TERADA

所属研究機関名：防衛大学校
部局名：システム工学群
職名：准教授
研究者番号（8桁）：80435453

研究分担者氏名：牧 敦生
ローマ字氏名：Atsuo MAKI
所属研究機関名：大阪大学
部局名：大学院工学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50556496

(2)研究協力者

研究協力者氏名：フレッドリック スターン (米国 アイオワ大学)
ローマ字氏名：Frederick STERN
研究協力者氏名：ローレンス バージン (米国 デューク大学)
ローマ字氏名：Lawrence VIRGIN
研究協力者氏名：アルバート フランシスコート(イタリア トリエステ大学)
ローマ字氏名：Alberto Francescutto

研究協力者氏名：増山 豊 (金沢工業大学)
ローマ字氏名：Yutaka MASUYAMA
研究協力者氏名：秋本 洋平 (筑波大学)
ローマ字氏名：Yoihei AKIMOTO
研究協力者氏名：酒井 政宏 (大阪大学)
ローマ字氏名：Masahiro SAKAI
研究協力者氏名：テ ソウ テ
ローマ字氏名：Thet Zaw Htet
研究協力者氏名：大岩 秀祐
ローマ字氏名：Shusuke OHIWA
研究協力者氏名：水本 健太郎
ローマ字氏名：Kentaro MIZUMOTO
研究協力者氏名：川井田 大地
ローマ字氏名：Daichi KAWAIDA
研究協力者氏名：山下 奈穂
ローマ字氏名：Naho YAMASHITA
研究協力者氏名：大杉 御月
ローマ字氏名：Mizuki OSUGI
研究協力者氏名：矢野 雄大
ローマ字氏名：Takehiro YANO
研究協力者氏名：大村 智之
ローマ字氏名：Tomoyuki OMURA
研究協力者氏名：池永 唯人
ローマ字氏名：Yuito IKENAGA
研究協力者氏名：高垣 昂佑
ローマ字氏名：Kosuke TAKAGAKI
研究協力者氏名：長門 晴香
ローマ字氏名：Haruka NAGATO
研究協力者氏名：ミョー ジン アン
ローマ字氏名：Myo Zin Aung
研究協力者氏名：松原 冬馬
ローマ字氏名：Kazuma MATSUBARA

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。