

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02356

研究課題名（和文）構造安全性評価のためのデジタルツイン構築のための要素技術の検討

研究課題名（英文）An elemental study on the development of digital twin technologies for structural safety assessment

研究代表者

川村 恭己（Kawamura, Yasumi）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50262407

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、船舶の運航を構造安全性の観点からサポートするためのデジタルツインに関する要素技術を検討した。第一に、船体のモニタリングに基づく構造安全性に資するデジタルツインの考え方を示した。第二に、モニタリングデータを用いて船体の任意部位の構造応答の評価を可能とすることを目的として、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いてモニタリングで得られる運動・構造応答のスペクトルから遭遇海象スペクトルを推定する手法を開発した。ところで、構造安全性を適切に評価するためには、荷重や強度に関する不確定性評価が重要である。本研究では第三に、防撓板の構造強度、及びホイッピング荷重の不確定性について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、船舶の構造安全性のための具体的なデジタルツインシステムを検討するとともに、構造モニタリングデータに基づく機械学習(CNN)を用いた海象推定手法の開発を行った。これらの研究により、船舶の構造安全性を実現するために有効な考え方と手法を提案できたと考えている。また、本研究で提案した機械学習(CNN)を用いた海象推定手法は、学術的な観点からも独自性が高く、今後の発展が期待される成果である。さらに、構造強度やホイッピング荷重の不確定性に関しては、有限要素解析を用いた評価やモニタリングデータの解析を実施することにより、構造健全性評価のために有用な確率モデルを示すことができたと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this research project, an elemental study on the development of digital twin technologies for structural safety assessment is carried out. Firstly, the concept of a digital twin contributing to structural safety based on hull monitoring is presented. Secondly, in order to evaluate structural response at any part of ship hull structures using the monitoring data, a method to estimate the encounter sea state spectrum from the spectrum of motion and structural response obtained from monitoring data is developed using convolutional neural networks (CNN). Thirdly in this study, the ultimate strength of stiffened plates and the uncertainties of whipping loads are examined, because uncertainty assessment regarding loading and strength is important for the proper evaluation of structural safety.

研究分野：船舶海洋工学、構造力学、CAE

キーワード：構造安全性 確定性評価 デジタルツイン ホイッピング モニタリング 海象推定 畳み込みニューラルネットワーク(CNN) 不

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

船舶設計生産の分野においては、1990年代にプロダクトモデルに関する研究が盛んに行われ、主として船舶を構成する部材や部品の形状やその特徴量のデジタル化が検討されてきた。一方、近年の船舶の大型化に伴い、ホイッピング等の従来考慮しなかった荷重の影響が問題になる等、船舶の構造安全性評価が重要な課題となってきた。そのため、運航中の船舶の応力等の実船計測(モニタリング)が行われるとともに、それらを解析することにより疲労被害度の計算や縦曲げモーメント(作用荷重)の統計的評価など、より高度な安全性評価が行われるようになってきている。

このような中、近年のコンピュータの発展に伴い、従来困難であった大規模データの保存・解析が容易となってきた。よって、これらの運航中の船舶に関するデータを統合的にコンピュータ内に取り込み、デジタル上でシミュレーションを行うことにより、高度なライフサイクルのサポートが可能となるようなデジタルツインシステムが提唱されるようになった。本研究では、船体構造データだけでなく、モニタリングデータや運航データを活用し、運航中の船舶の構造安全性をサポートするための手法について検討する。

2. 研究の目的

(1) 近年、ソフトウェア・ハードウェアの発展に伴いビッグデータの利用が容易となったが、それらのデータは利用形態を考慮して特徴を示すデータに加工・利用することにより、初めて実用的なシステムの構築が可能になると考えている。本研究では第一の目的として、このような考え方に基づいた構造安全性に資するデジタルツインのあるべきモデルを検討する。

(2) 構造安全性評価のためのデジタルツインシステムにおいては、構造の任意部位の構造応答(応力等)を正確に推定することが最も重要である。本研究の第二の目的として、船舶運航中のモニタリングデータを活用した構造応答評価手法の検討を行う。一般に構造モニタリングにより、センサー設置個所の構造応答は計測されるが、構造全体(すべての部位)の応答を知ることが現状では不可能である。そこで本研究では、モニタリングより得られる運動・構造応答のスペクトルより、遭遇海象の2次元海象スペクトルを予測する手法の開発を行う。これにより得られた2次元海象スペクトルとデジタルツインシステムで保持していると想定される応答関数を用いて短期予測を行うことにより、構造の任意の箇所の構造応答推定が可能となる。

(3) 本研究の第3の目的として、構造安全性評価における不確定性に関する調査・検討を行う。強度の不確定性評価としては、防撓板における各種不確定性をモデル化するとともに弾塑性有限要素解析を用いた最終強度評価を行うことにより、最終強度の不確定性を評価する。また、荷重の不確定性に関しては、コンテナ船の構造モニタリングデータを用いて、船体縦曲げ荷重に重畳するホイッピング荷重の統計的性質について検討する。

3. 研究の方法

本研究では、まず構造安全性評価のためのデジタルツインシステムのコンセプトを検討する。次に、提案するコンセプトに基づいて、機械学習を用いたモニタリングデータから海象推定を行う手法の検討を行う。具体的には、モニタリングデータのうち運動応答・応力応答を入力データとし、2次元海象スペクトルのパラメータを推定するニューラルネットワークの構築を行う。実際のモニタリングデータでは、学習のためのデータ数が十分でないため、仮想的に生成した海象スペクトルに対応する応答スペクトルを準備することにより、教師データとした。また、ニューラルネットワークの構築には、近年機械学習の分野で良く用いられている Python で動作する TensorFlow を用いる。強度解析の不確定性に関する検討においては、弾塑性有限要素解析ソフトウェア LS-DYNA を用いた防撓板の圧縮最終強度の解析を行い、初期たわみ・残留応力等の物理的な不確定性による、最終強度の違いを評価する。また、ホイッピング荷重の不確定性に関しては、コンテナ船の縦曲げ応力のモニタリング結果を整理し、その統計的性質を検討する。

4. 研究成果

(1) 運航中の船舶の構造安全性評価のためのデジタルツインシステム

本研究で提案するデジタルツインシステムの概念を図1に示す。まず、デジタルデータの核となる Basic Ship Model として船体構造モデルを想定する(図1左中)。本提案は構造安全性に関する研究であるので、構造モデルとしては FEM モデルを想定する。また、デジタルデータとしては構造モデルだけでなく、構造特性を表現する規則波に対する応答関数等の基本データを保存し(図1左下)、シミュレーションや意思決定に使用可能なシステムとする。次に、運航中の船舶においては、船体運動やある特定の箇所の応力等がリアルタイムモニタリングされていると想定する(図1左上)。さらに、運用中の定期検査等で、腐食衰耗や損傷・修理情報を得ることができる。そしてこれらのデータを、構造モデルの対象部位と関連付けたデータとして保存する(図1左上 左中)。また、腐食衰耗による板厚減少に伴う構造モデルの変化や、それに伴う応答関数の変化等に対応して、基本データを更新できる体制とする。構造健全性に関するデジタルツインシステムにおいては、これらのデータを利用して、(a) リアルタイム構造健全性評価、(b) 短期・長期の構造健全性予測、(c) 操船判断支援、(d) 設計へのフィードバック等、が可能になると考えられる。本研究では、このうちリアルタイム構造健全性評価に着目した。すなわち、モニタリングデータを用いて2次元海象スペクトルのリアルタイム予測を可能とすることにより(図

2上) 図1のデジタルツインシステムにおける基本データを用いて、図2の手順で任意部位の構造応答(応答スペクトル)の推定、及びそれに基づく安全性評価が可能となると考えられる。

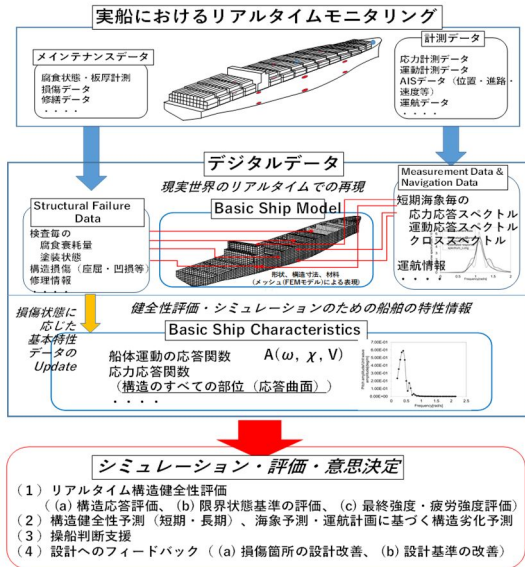


図1 デジタルツインの概念

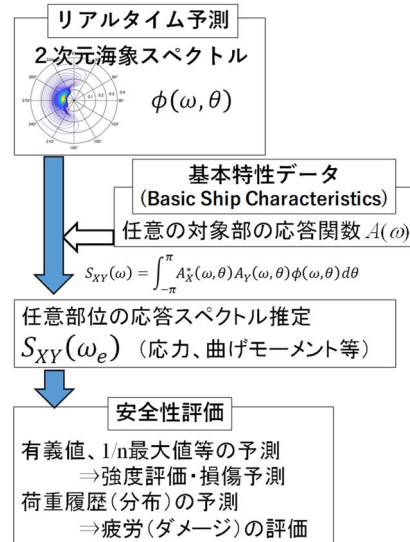


図2 リアルタイム構造健全性評価の概念

(2) 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた海象推定に関する研究

船体計測データから波浪スペクトルを逆推定する方法に関する研究は、Nielsenらや井関ら等によって行われてきた。研究代表者らのグループにおいても船体計測データと応答関数を用いて、非線形計画法を用いて波浪スペクトルの推定を試みている。これまでの研究により、船体応答からある程度の精度で波浪情報を推定することができるとされてきたが、現状では広く実用化されるまでには至っていない。そこで、本研究では、従来の研究のアプローチとは異なり、機械学習(畳み込みニューラルネットワーク(CNN))を用いて実船計測データから波浪スペクトルを推定する方法の検討を行った。

開発した波浪推定手法の概要

図3に、本研究で開発したCNNを用いた波浪推定開発の概要を示す。まず、図3左にあるように波浪推定を行うCNNの学習のための教師データ(Training data)を準備する。本推定の入力としては、船体構造モニタリングで計測された運動や構造の応答(応答スペクトル)を想定する。また、学習の際に出力(推定)する海象(Sea state)の情報としては、複数のパラメータで表現されるOchi-Hubble型波浪スペクトルを想定する。CNNを用いて学習する場合には、大量の教師データが必要となる。教師データとしては、実際の船体構造モニタリングで得られたデータを利用することが理想ではあるが、本研究ではこれらの実データを用いずに、人工的に作成する仮想海象とそれを用いて計算した応答データを用いて学習することを試みた。仮想的なデータは不確実性が少ないため、CNNによる海象推定の有効性を検討するのに適していると考えられる。

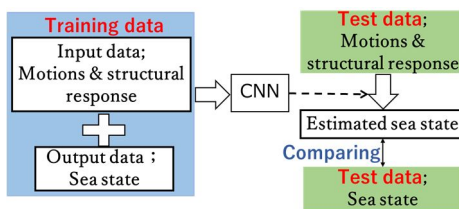


図3 海象推定の手順

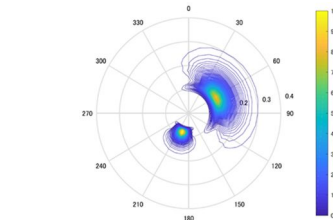


図4 海象スペクトルの例

出力データ(海象データ)の表現

本研究では、推定する2次元海象スペクトルの表現法としては、光易・合田型方向分布関数 $D(\theta; s_i, \theta_{mi})$ と Ochi-Hubble 型波浪スペクトルを用いた (1) 式を想定する。

$$\phi(\omega, \theta; H_{si}, \lambda_i, \omega_{mi}) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \frac{(4\lambda_i + 1 - \omega_{mi}^4)^{\lambda_i}}{\Gamma(\lambda_i)} \frac{H_{si}^2}{\omega^{4\lambda_i + 1}} \exp\left[-\frac{4\lambda_i + 1}{4} \left(\frac{\omega_{mi}}{\omega}\right)^4\right] \times D(\theta; s_i, \theta_{mi}) \quad (1)$$

ここで、 s_i は方向分布関数における波の集中度、 θ_{mi} は主波向(rad)を表す。また、 H_{si} は有義波高(m)、 λ_i は尖度、 ω_{mi} は主波角周波数(rad/s)である。(1)式は、 $i=1$ と $i=2$ の二つの峰(ピーク)の足し合わせで表現されている。さらに、本研究では合田らの観察結果から、波の集中度(s_i)が波高と角周波数から定められると仮定した。すなわち、推定する海象のパラメータとしては、8パラメータ($(H_{si}, \omega_{mi}, \lambda_i, \theta_{mi}) (i=1,2)$)とする。ただし、 θ_{mi} については、連続性を考慮して $\cos\theta_{mi}$ と $\sin\theta_{mi}$ に分けて考える。よって、本研究で開発したCNNにおいて推定するパラメータは10パラメータとなる。図4に(1)式で表現される海象スペクトルの例を示す。

入力データ(船体応答データ)の準備

本研究では、上記のパラメータを変化させることにより定義される多数の海象に対し、仮想的な船体応答データを準備した。まず第一に、対象とするコンテナ船に関して、ストリップ法を用いて単位波振幅に対する波周波数ごとの船体応答である周波数応答関数を求めた。具体的には、船速 20 ノットでのピッチ、ロール、ヒープ、縦曲げ応力の 4 成分の周波数応答関数 $A_X(\omega, \theta)$ を用意した。第 2 に、短期予測の手順 (2) 式を用いて、当該海象に対する各種 (ピッチ、ロール、ヒープ、縦曲げ) 船体応答スペクトル (パワースペクトルとクロススペクトル) $S_{XY}(\omega)$ を求めた。

$$S_{XY}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} A_X^*(\omega, \theta) A_Y(\omega, \theta) \phi(\omega, \theta) d\theta \quad (2)$$

ここで、 $A_X(\omega, \theta), A_Y(\omega, \theta)$ はピッチ、ロール、ヒープ、縦曲げ応力などの応答関数を表し、 A_X^* は A_X の共役複素数を表している。ただし、上式で得られる応答スペクトル $S_{XY}(\omega)$ は、波周波数 ω に関するスペクトルとなっており、実際に船舶上で観測される出会い波周波数に関する応答スペクトルとは異なっている。よって、 $S_{XY}(\omega)$ を、出会い波周波数 ω_e に関する応答スペクトル $S_{XY}(\omega_e)$ に変換したものを海象推定のため学習データ (入力データ) として準備する。最終的に、海象推定のために入力データは、図 5 のように、各応答スペクトル (パワースペクトルとクロススペクトル) を並べた 16 行 \times 71 列のデータとした。

71 values of Pitch power spectrum
71 values of Roll power spectrum
⋮
71 values of Pitch and Roll cross spectrum in real part
71 values of Pitch and Roll cross spectrum in imaginary part

図 5 海象推定のために入力データ

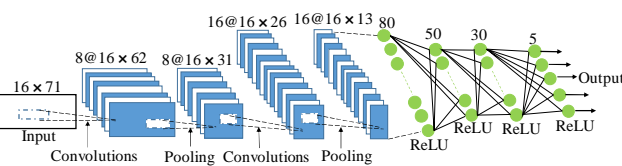


図 6 開発した海象推定のための CNN の構造

海象推定のための畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の構築

本研究では、当初多層の全結合型のニューラルネットワークを用いた海象推定を試みたが、十分精度の高い海象推定が困難であることがわかった。そこで、近年画像認識等で用いられている畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた海象推定手法を開発することにより、より精度の高い海象推定が可能となることがわかった。詳細な説明は文献 [1] に示しているが、最終的に 4 つの畳み込み層と 4 層の全結合層からなる CNN を開発した (図 6)。

海象推定結果の検証

ここでは、(1) 式で示した海象スペクトルのうち、1 ピーク ($i=1$ のみ) を考慮した場合の海象推定の精度を検証した結果を示す。この場合、推定するパラメータは 4 パラメータ ($\cos\theta_{m1}$ と $\sin\theta_{m1}$ に分けて考えた場合 5 パラメータ) となる。教師データとしては 70000 セットのデータを準備し、そのうち 80% のデータを用いて CNN の学習を行った。残りの 20% のデータをテストデータと位置づけ、学習した CNN に入力データとして与えて、推定された海象パラメータと正しい海象パラメータを比較した (図 7: 横軸が推定されたパラメータの値、縦軸は正しい値)。これより、本研究で構築した CNN による海象推定が精度よく行えていることが分かる。

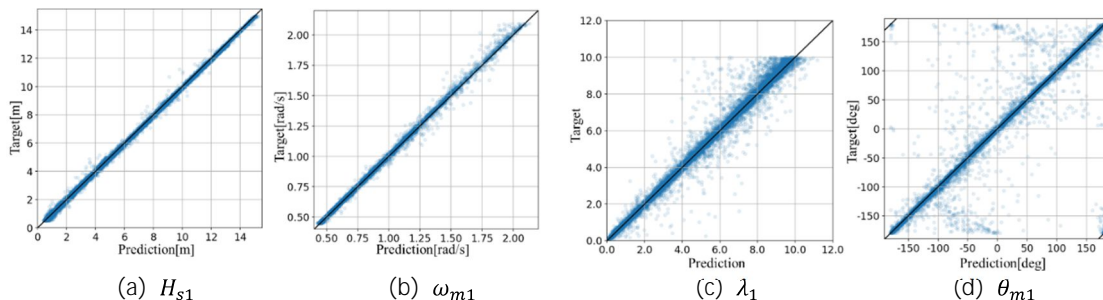


図 7 CNN による海象推定結果と正解値との比較

結論

本研究では、CNN を用いて船舶の構造モニタリングデータから海象を推定する手法の開発を行った。提案した手法は、仮想的な計測データに対して適切に海象パラメータの推定を行えることがわかった。今後本手法を実船に適用する際の課題としては、実際の計測に生じる不確定性の取り扱いや、より複雑な海象スペクトルの表現を用いた海象推定法の開発等が挙げられる。

(3) 構造安全性評価における不確定性に関する検討

本研究では、構造安全性評価における不確定性に関する調査を行った。具体的には、強度の不確定性評価として防撓板の最終強度評価を行うことにより、最終強度の不確定性を評価した [2]。また、荷重に関しては、船体縦曲げのホイッピング荷重の統計的性質について検討した [3]。ここでは、防撓板の強度に関する不確定性を評価した結果について報告する。

解析対象

近年、構造信頼性評価等の確率的評価が用いられるようになったことから、構造強度評価においても物理的な不確定性が最終強度に与える影響について多くの研究が行われてきた。本研究では、これに加えて、解析におけるモデル化の違いや、解析コードの違いが、最終強度評価にど

のような影響を与えるかについて考察した。具体的には、実船における船体構造を念頭に置いて、防撓板の一軸圧縮問題を題材とした解析・考察を行った。解析には主として非線形有限要素解析ソフトウェア LS-DYNA を用いて図 8 のような解析モデルを作成し、最終強度を評価した。

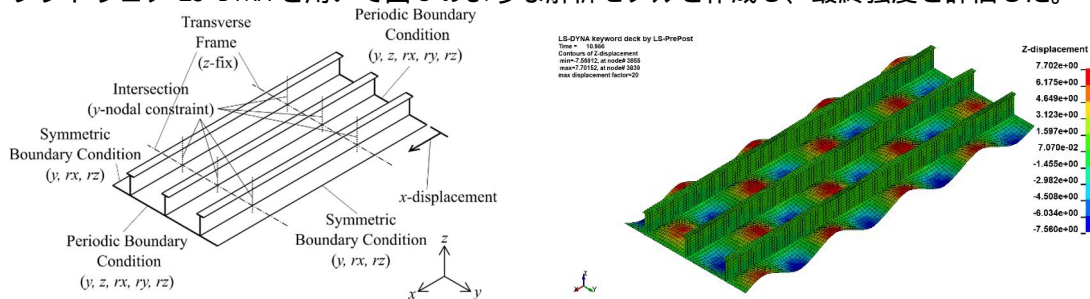


図 8 解析対象の防撓板モデルと解析例

物理的不確定性の最終強度への影響

物理的な不確定性については、材料の降伏応力、最大初期たわみ量、残留応力等の不確定性に関して調査するとともに、調査結果に基づいて仮定した不確定性が、最終強度にどのように影響するかを調べた。図 9 に各不確定性の最終強度への影響を箱ひげ図で示す。これらの中では、初期たわみの不確定性に加えて残留応力を考慮した場合 (Init. Deform. with σ_{rx})、最終強度の平均値が 6% 低下するとともに、ばらつきも大きくなっていることがわかる。

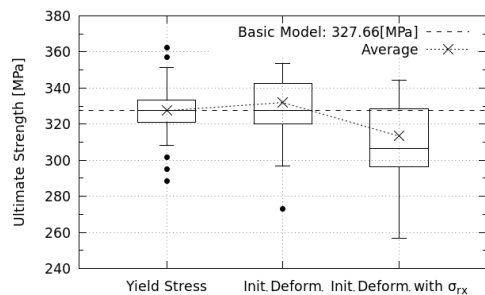


図 9 降伏応力の不確定性の最終強度への影響

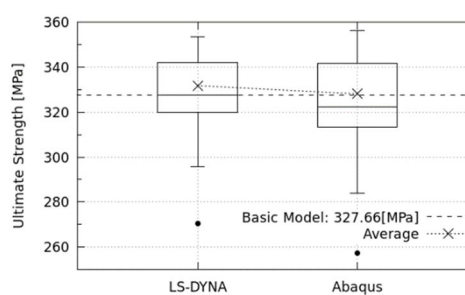


図 10 解析コードの違いの最終強度への影響

モデル化の不確定性の最終強度への影響

本研究では、モデル化の不確定性として、(a)初期たわみ形状の違い、(b)モデル化範囲・境界条件の違い、(c)材料モデルの違い、(d)解析コードの違いの、最終強度への影響を調査した。(a)においては、基準となる弾性座屈モードの初期たわみを有するモデルに対して、初期たわみ形状としてやせ馬モードを与えた場合の最終強度の変化を評価した。その結果、やせ馬モードの初期たわみを与えた場合、平均で約 18% 強度が上昇することが観察できた。また、(b)では、図 8 で示した 1/2+1+1/2bay のモデルの他に、3bay モデルや 1/2+1/2bay モデルを作成し最終強度を評価した。最終的に、モデル化範囲や境界条件の違いは、妥当なモデル化であれば解析結果に大きくは影響していないことが観察できた。また、(c)では、材料特性として移動硬化を考慮した二直線近似の等方弾塑性体モデルと、高強度鋼の材料モデルを用いた解析を実施したが、得られる最終強度に大きな変化はなかった。さらに、(d)においては、LS-DYNA による解析と Abaqus を用いた解析を比較した。図 10 に、弾性座屈モードの初期たわみ形状を与えて行った解析の最終強度を比較した箱ひげ図を示す。Abaqus の評価が低めに出ているとともに、全体的なばらつきも多くなっている。最終的に、解析コードの違いによる最終強度の違いは、条件により異なるが、場合によっては物理的不確定性 (降伏応力、初期たわみ量) の影響と同程度の影響があることがわかった。

結論

本研究では、有限要素解析を用いた最終強度評価の不確定性について調査した。物理的な不確定性に関しては、残留応力を考慮した場合の強度の低下とばらつきが大きいことがわかった。また、モデル化の不確定性については、解析コードの違いは、物理的な不確定性と同様に、不確定性として考慮されるべきものであると考えられる。

< 引用文献 >

- [1] Kawai, Kawamura, Okada, Mitsuyuki, Chen: Sea state estimation using monitoring data by convolutional neural network (CNN). J Mar Sci Technol, 26, 947-962, 2021.
- [2] 高崎, 川村, 王, 岡田, 早川: 有限要素法を用いた防撓板の最終強度の不確定性評価について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 30, pp461-466, 2020.
- [3] 早川, 川村, 岡田, 高橋: 実船計測に基づくホイッピング現象の統計的なモデル化とその疲労き裂進展への影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 31, pp185-190, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toshiki Kawai, Yasumi Kawamura, Tetsuo Okada, Taiga Mitsuyuki, Xi Chen,	4. 巻 26
2. 論文標題 Sea state estimation using monitoring data by convolutional neural network (CNN)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 947-962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00773-020-00785-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 早川銀河, 川村恭己, 岡田哲男, 高橋 諒	4. 巻 31
2. 論文標題 実船計測に基づくホイッピング現象の統計的なモデル化とその疲労き裂進展への影響に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 185-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toshiki Kawai, Nao Ou, Yasumi Kawamura, Tetsuo Okada, Taiga Mitsuyuki, Xi Chen	4. 巻 -
2. 論文標題 A study on sea state estimation using monitoring data of large container ships -estimation of directional wave spectrum by machine learning-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 33rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2019), Oct. 14 - 17, 2019, Tainan, Taiwan	6. 最初と最後の頁 8 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 高崎隼, 川村恭己, Wang Gaoyang, 岡田哲男, 早川銀河	4. 巻 30
2. 論文標題 有限要素法を用いた防撓板の最終強度の不確定性評価について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 461-466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 早川銀河, 川村恭己, 岡田哲男, Dumbarangage Eashan Gayantha Nandasiri	4. 巻 34
2. 論文標題 変動荷重下におけるき裂先端近傍のひずみ計測に基づくき裂先端塑性域形成挙動の推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 241-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 早川銀河
2. 発表標題 実船計測に基づくホイッピング現象の統計的なモデル化とその疲労き裂進展への影響に関する研究
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河合俊希
2. 発表標題 コンテナ船の船体応答実船計測に基づく 畳み込みニューラルネットワークを用いた海象推定
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会第54回東部支部構造研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiki Kawai
2. 発表標題 A study on sea state estimation using monitoring data of large container ships -estimation of directional wave spectrum by machine learning-
3. 学会等名 33rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2019), Oct. 14 - 17, 2019, Tainan, Taiwan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川銀河
2. 発表標題 コンテナ船の実船計測に基づくホイッピングの統計的モデルの構築
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会第57回東部支部構造研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	岡田 哲男 (Okada Tetsuo) (10753048)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	
研究 分担者	満行 泰河 (Mitsuyuki Taiga) (40741335)	横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授 (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------