



Title	Preventing broaching-to of a ship in stern-quartering seas in the light of optimal control and dynamical system theories
Author(s)	Maniyappan, Sreenath
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/89636">https://hdl.handle.net/11094/89636</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

N a m e      ( M A N I Y A P P A N S R E E N A T H )	
Title	Preventing broaching-to of a ship in stern-quartering seas in the light of optimal control and dynamical system theories (最適制御理論および力学系理論を駆使した斜め追波中の船のブローチング防止について)
Abstract of Thesis	
<p>This thesis explains the mechanism and effectiveness of broaching-to prevention using global optimal rudder control with the covariance matrix adaptation evolution strategy (CMA-ES). It then proposes a real-time control strategy for prevention of broaching-to by adapting the Ott, Grebogi and Yorke (OGY) algorithm used for chaos control. The effectiveness of the real-time momentary state-feedback approach in irregular waves is shown using a probabilistic approach called the critical wave method. The research provided much-needed insight into the broaching-to prevention mechanism and strategies. The outcomes combined with wave prediction technologies could lead to developing an autopilot capable of handling broaching-to scenarios.</p> <p>Chapter 1 provides the literature survey, which covers the basic understanding of the broaching-to phenomenon, the importance of broaching-to prevention, and previous research on broaching-to prevention. The research objectives, its contributions, and an outline of the thesis are also provided.</p> <p>Chapter 2 presents the fundamental theories used in this research for nonlinear dynamical system analysis with examples from the broaching-to perspective and provides an understanding of optimal control, optimal global control, and evolutionary algorithms.</p> <p>Chapter 3 describes the time-domain manoeuvring numerical simulation model in detail. It includes the details of the subject ship, coordinate system, sign convention, assumptions, reasonings, and formulae used for the numerical model. The numerical simulation study was carried out using a 4 degrees of freedom (surge-sway-yaw-roll) model in regular waves. The model considered the rudder and propeller as the control surfaces or actuators. The practical limitations of the actuators were also taken into account.</p> <p>In Chapter 4, the optimal rudder control using CMA-ES was applied to the manoeuvring numerical model, and simulations were carried out for the quartering wave conditions at high Froude numbers. Two different mechanisms to prevent broaching-to and its effectiveness were identified using the stability analysis of the surf-riding equilibria and the time domain simulation.</p> <p>In Chapter 5, to overcome the high computation time required by CMA-ES, the OGY approach was adapted as a momentary state-feedback controller using the linear quadratic regulator with both rudder and propeller as the actuators. A parameter termed the ‘vicinity parameter’ was used to evaluate the proximity of the system to the saddle point. The robustness of the method to modelling uncertainties was checked using a controller model that neglects the nonlinear terms in calm water manoeuvring forces and the relative position of the ship's centre of gravity on waves.</p> <p>In Chapter 6, the effectiveness in irregular waves was analyzed focusing the broaching probability in the North Atlantic, combining a linear stochastic local wave theory and nonlinear deterministic simulation study.</p> <p>In Chapter 7, the research outcomes are summed up.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( MANIYAPPAN SREENATH )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	梅田 直哉
	副 査	教授	飯島 一博
	副 査	准教授	牧 敦生
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>本論文は、共分散行列適合型強化学習 (CMA-ES) 利用の大域的最適操船制御理論による船舶の操縦不能 (ブローチング) 現象防止の仕組みと有効性を説明している。そのうえで、カオス制御に使われるオットー・グレボギ・ヨーク (OGY) 法の適用によるブローチング防止の実時間制御を提案している。その不規則波中の間欠の状態フィードバック実時間制御の不規則波中での有効性について、限界波浪法 (クリティカル・ウエーブ法) と呼ばれる確率論的手法で確認している。この結果は、ブローチングを防ぐ自動操船装置の開発への途を拓くものとしている。</p> <p>第 1 章では、ブローチング現象の解明、防止策の重要性、既存の防止手段についての研究史を説明したうえで、本研究の目的と効用、そして本論文の概要を記述している。</p> <p>第 2 章では、本研究で用いる非線形力学系理論についてブローチングへの適用例も含めて紹介するとともに、最適制御理論、大域的最適制御、強化学習について知見を整理している。</p> <p>第 3 章では、本研究で用いる時間領域の操縦数学モデルについて紹介している。そこには、供試船、座標系、基礎仮定の説明やモデル方程式の記述を含めている。数値シミュレーションは、周期的水波中船舶の前後、左右、旋回、横揺れの 4 自由度モデルによっており、制御手段としての舵とプロペラとそれらの作動限界も含めモデル化されている。</p> <p>第 4 章では、CMA-ES を用いた最適舵制御を数学モデルに適用して、斜め追波中を高速で航行する船舶の数値シミュレーションを実施している。そこでは、ブローチングを防止する仕組みが 2 種類あることを、波乗り平衡点の局所安定性解析と大域的な時間領域シミュレーションで見出している。ひとつは、力学系の鞍部点にあたる波乗り平衡点に接近するときに大きな舵角を取って波乗りから離脱する軌道に移る制御である。もうひとつは、波乗り平衡点自体を安定化して進路を維持した波乗りを持続させる制御である。</p> <p>第 5 章では、CMA-ES の膨大な計算時間という制約への解決策として、前章での知見と OGY 法の考え方より、舵とプロペラの両方を制御手段とする線形最適レギュレータを間欠的制御に用いることを採用している。すなわち、力学系の鞍部点に十分接近したときのみフィードバック制御を行うものである。ただし、数学モデル中に含まれる非線形操縦性流体力微係数や波に対する船の相対的位置情報の推定には、不確かさが一定程度存在する。よってこれらを意図的に省略した計算により、提案する制御法の不確かさに対する頑強性を確認している。</p> <p>第 6 章では、実際の海面に近い不規則波中での有効性を、決定論的なブローチングについてのシミュレーション・スタディと局所的な個別波の統計解析理論、北大西洋における波浪統計を組み合わせることで確認している。</p> <p>第 7 章では、以上の研究を総括した結論を示している。</p> <p>以上のように、本論文は、船舶の転覆事故の主要なモードのひとつであるブローチング現象の防止が未解決である状況のもと、オフラインでの強化学習による最適制御で防止法を見出したうえで、その実時間での制御法をカオス制御の考え方で提案し、北大西洋におけるブローチング発生確率の提言を確かめている。これにより、ブローチングによる転覆事故を防止する自動制御を現実の手段としている。</p> <p>よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			