



Title	On Absolute-coordinates-based Multi-body Modeling of Rigid-flexible Coupled Dynamics of a Deep-sea ROV and its Tether Management System (TMS)
Author(s)	Htun, Thant Zin
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/85403">https://hdl.handle.net/11094/85403</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">大阪大学の博士論文について</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

Name (THANT ZIN HTUN)	
Title	On Absolute-coordinates-based Multi-body Modeling of Rigid-flexible Coupled Dynamics of a Deep-sea ROV and its Tether Management System (TMS) (深海探査用ROV (遠隔操作無人探査機) とそのテザーマネジメントシステム (TMS) の剛体-柔軟体結合動力学の絶対座標に基づく多体モデリングについて)
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>In this dissertation, an absolute-coordinates-based mixed formulation, in which absolute nodal coordinate formulation (ANCF) is employed for the modeling of flexible multilayered tethered cables and the natural-coordinates-based formulation (NCF) is used to describe the kinematics of underwater rigid-bodies. The governing equations of motion for the underwater vehicles have been developed by using the NCF. The formulations developed in this research shows that formulation of different kinematic constraints of the tether connections are simple and very easy to program. By using this mixed formulation, the contact detection of the flexible beam to rigid surfaces in three-dimensional problems has been proposed. Within the framework of rigid-flexible multi-body dynamics, the governing equations of motion of these bodies are assembled as a monolithic system, and are solved using an implicit integrator. The constraints-violations-elimination technique is also applied to keep the violations of the constraints under control. The development of each formulation is verified through the experimental results or numerical benchmark problems. Therefore, this study provides new insights into the dynamic modeling of the deep-sea ROV systems with higher pair DOFs by using the alternative approach.</p> <p>The dissertation is arranged in 9 chapters.</p> <p>The dissertation starts with an introduction chapter that gives an overview of the whole thesis, describing the research background, motivation for the research, the literature review and the major contributions of the research.</p> <p>Chapter 2 describes the dynamic modeling of a radially-multilayered anisotropic subsea cables based on the ANCF framework. Analytical determination of dissipation factors is presented and the efficient formulations of the viscoelastic forces are presented by applying the matrix manipulations. The hyperelastic forces and its Jacobians are explicitly given through the application of two parameter Mooney-Rivlin material model in the ANCF framework.</p> <p>Chapter 3 presents the formulations of the hydrodynamic forces acting on the submerged tether cable. The forces are directly calculated in the global inertia frame through the use of projection matrices which are developed by fully-utilizing the ANCF position gradient vectors.</p> <p>Chapter 4 is about the modeling of underwater vehicle's kinematics using the natural coordinate formulation (NCF). All the kinematic properties and added mass matrices have been developed by using the NCF based on one basic point and three basic vectors. A singularity-free yet efficient formulation of any externally applied concentrated moment on the vehicle or a solid rigid body has been presented. At the end of the chapter, the equations of motion that account for the intrinsic rigid-body geometric constraints as well are given in a form of index-3 DAE (differential algebraic equations).</p> <p>In Chapter 5, modeling of a three-dimensional winch is developed using the NCF and a three-dimensional contact forces are formulated by making the use of Hunt-Crossley contact model.</p> <p>Chapter 6 addresses the shortcomings and issues associated with the kinetic and kinematic singularities in the conventional modeling approach and discuss the convenience of modeling tether connection joints and systematic coordinate reduction method.</p> <p>Chapter 7 is about the global assembly of the rigid-flexible multi-body system and numerical results and the validations of the proposed models are presented in chapter 8.</p> <p>Finally, chapter 9 is the conclusion of this dissertation. The whole contents have been summarized here with the important features of this dissertation. In addition, the necessary future works have been pointed out.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( THANT ZIN HTUN )	
論文審査担当者	(職) 氏 名
主 査	准教授 鈴木 博善
副 査	教 授 戸田 保幸
副 査	教 授 飯島 一博

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、柔軟な多層テザーケーブルの運動のモデル化の基礎として ANCF (absolute nodal coordinate formulation) を採用し、水中剛体 (水中探査機) の運動を記述するために自然座標を基礎とする定式化 (natural coordinate formulation : NCF) を用いた、テザーケーブルの運動と水中探査機の運動の記述に対し、双方ともに絶対座標を基礎とする混合定式化を行っている。

前述のように、水中探査機の運動方程式は、NCF を基礎として導出されている。本研究で用いられた定式化法は、様々なテザーケーブルと水中探査機の接続方法に対する運動学的な制約の定式化が単純で、非常に簡単にプログラムできることを示している。この混合定式化を用いて、3 次元問題における剛体面への柔軟な梁 (ケーブル) の接触検出法を提案している。

剛体-柔軟体マルチボディ・ダイナミクスの枠組みの中で、これら、それぞれの個体の運動の支配方程式は、一体のシステムとして組み立てられ、陰解法の数値積分法を適用して解かれている。制約違反除去テクニックはまた、制約の違反を制御するために適用されている。さらに、各定式化によって開発された数値計算プログラムおよびその計算結果は、実験結果または数値ベンチマーク問題によって検証されている。これらより本研究は、テザーケーブルと水中探査機の連成運動のモデリングに対し、これまでと異なるアプローチを用いて、より高い自由度を持つ深海 ROV システムの動的モデリングに新たな知見を与えるものである。

学位論文は 9 つの章で構成されている。

この論文は、研究背景、研究の動機、文献調査、本研究の主な貢献など、論文全体の概要を説明する序章から始まっている。

第 2 章では、ANCF の枠組みに基づいて、半径方向に多層化された異方性テザーケーブルの動的モデリングを説明している。散逸係数の解析的な決定を行い、行列操作を適用して粘弾性力の効率的な定式化を行っている。超弾性力とそのヤコビアンは、2 パラメータの Mooney-Rivlin 材料モデルを ANCF の枠組みに適用することにより明示的に与えている。

第 3 章では、水中のテザーケーブルに作用する流体力の定式化を行っている。この流体力は、ANCF の位置勾配ベクトルを活用して導出された投影行列を用いて、グローバルな慣性座標に基づいて直接計算されている。

第 4 章では、NCF を用いた水中探査機に関する運動特性のモデリングを行っている。すべての運動特性と付加質量行列は、1 つの基本点と 3 つの基本ベクトルに基づく NCF を用いて導出されている。機体や固体剛体に外部から印加される、あらゆる集中モーメントについて、特異点がなく、かつ効率的な定式化を行っている。本章の最後には、剛体固有の幾何学的制約を考慮した運動方程式が、指標 3 の DAE (代数微分方程式 : differential algebraic equations) の形で与えられている。

第 5 章では、NCF を用いてウインチの 3 次元モデリングを行い、Hunt-Crossley 接触モデルを用いた 3 次元接触力を定式化している。

第 6 章では、従来のモデリング手法における運動学的および運動学的特異点に関する欠点および問題点を取り上げ、水中探査機とテザーケーブルの接続 (連結) のモデリングの利便性と体系的な座標削減法について論じている。

第 7 章では、水中探査機と水中のテザーケーブルの運動を表現する剛体-柔軟体マルチボディ・ダイナミクスシステムの一体化的な組み上げについて論じている。

第 8 章では、テザーケーブルと水中探査機の連成運動に関する数値計算結果とこれら提案したモデルの検証について紹介している。

第 9 章では、本論文の結論を述べており、本論文の重要な特徴とともに、全体の内容をまとめている。さらに、今後の課題についても示している。

以上のように、本論文はテザーケーブルを有する遠隔操作型水中探査機の運動推定法について、特に、多層で構成されるテザーケーブルの解析手法について新たな知見を与えており、今後の海洋開発に対し、大きな貢献が期待できる。さらに、公聴会においても流体力学的立場や構造力学的な立場からの質問に対する活発な質疑応答がなされた。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。