

令和 6 年 5 月 12 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02380

研究課題名(和文) 計測融合解析によるドリルビット挙動把握と機械学習による掘削状態識別への展開

研究課題名(英文) Understanding drill bit motion through measurement integrated analysis and identifying drilling conditions through machine learning

研究代表者

井上 朝哉 (Inoue, Tomoya)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・技術開発部・主任研究員

研究者番号：10359127

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：海洋掘削では海底下数千mに位置するドリルビットの挙動把握と掘削状態の把握が重要である。本研究では、数理モデルによる理論解析および数値解析によるドリルビット挙動解析を行い、その特性を示した。また、ドリルビット挙動解析と機械学習を用いて異常検知、地層把握、コア回収率を予測する手法を提案し、「ちきゅう」の過去の航海で得られたデータをもとに予測実行し、その有効性を確認した。更に、掘削中のリアルタイムでのドリルビット挙動解析や掘削状態把握を目指し、掘削データの取得・伝送装置の開発、および掘削データを入力とした掘削データ融合解析手法やシステムの開発を行い、掘削航海中に実行試験を実施し有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドリルビット挙動解析、機械学習を用いた掘削状態予測手法、掘削データ取得装置、リアルタイム解析システムの開発を行った。これらにより、掘削操業に大きな影響を与えるものでありながら実操業において計測不可能なドリルビット挙動を示すことができ、また、掘削地層予測など掘削状態を提示することができ、掘削操業への貢献が期待できる。また、本研究課題で開発した掘削データ取得装置により、掘削航海中のデータの取得が可能となり、このデータを公開することができれば、海洋掘削に関する研究の進展に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：We performed theoretical analysis using a mathematical model as well as numerical analysis of drill bit motion and demonstrated its characteristics. We also proposed a method to understand the drilling status via detecting anomalies, understanding geological formations, and predicting sediment properties and core recovery rates using drill bit motion analysis and machine learning. We performed predictions based on data obtained from Chikyu's past cruises. The effectiveness of proposed method was confirmed. Furthermore, with the aim of real-time understanding of the drill bit motion and drilling conditions during drilling operations, we have developed drilling data acquisition and transfer system, and a data integrated analysis method uses drilling data as input to provide the drill bit motion and drilling conditions in real-time. We conducted a practical test of the real-time drill bit analysis during the actual drilling operations and confirmed the method and system.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：海洋掘削 ドリルパイプダイナミクス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋掘削は、船体と海底を繋いだライザーの中にドリルパイプを降下し回転させて掘進する。しかし、掘削中に、掘削の第一義と言える、ドリルビット（掘削刃）の回転挙動は監視できず、どのように掘削しているかを知る術がない。このため、掘削効率低下は勿論、掘削孔崩落やドリルパイプ破断などの事故が絶えない。この背景に対して、2つの課題がある。

(1) 海洋掘削におけるドリルビット挙動把握

ドリルビット挙動は、長大なドリルパイプを介した回転の伝搬が元となり、掘削地層摩擦に起因し、ドリルビット接地圧に依存する。しかし、これらの境界条件は未知であり、また、解析結果を検証する術がなく、これまで研究が進んでこなかった。つまり、海底下数千 m に位置するドリルビット挙動の把握が第一の課題と言える。

(2) ドリルビット挙動情報から操業への展開

ドリルビット挙動を得たとしても、効率的で安全な掘削か、もしくは、ドリルパイプの破断や抑留（掘屑や地層崩落によりドリルパイプやドリルビットが埋没すること）に繋がる掘削かの識別に至らないのが現状である。つまり、ドリルビット挙動情報をどのように実操業へ展開し、また検証するのかが第二の課題と言える。

2. 研究の目的

海洋掘削における異常検知や掘削状態識別への展開を最終目標とし、背景で述べた2つの課題に取り組む。

(1) 海洋掘削におけるドリルビット挙動把握

ドリルパイプ挙動に起因するドリルビット接地圧、および掘削地層摩擦特性を、船上掘削データ融合解析により逐次推定を試みる。そして、実機相当データによる検証を行う。

(2) ドリルビット挙動情報から操業への展開

過去の航海で得た掘削情報（コア回収率、掘進速度、抑留や掘削孔壁崩落などの事故を誘発する掘削か、など）を用いて、船上掘削データとドリルビット挙動解析結果から学習データを創出し、機械学習によりドリルビット挙動と操業状態を特徴付ける。そして、実操業でのリアルタイムでの識別を目指し、逐次解析手法の開発およびシステム開発を行い、実装相当実験を行い有効性の確認を行う。

3. 研究の方法

(1) 海洋掘削におけるドリルビット挙動把握

船体動揺の伝搬により惹起される接地荷重変動を加味したドリルビット回転挙動の数理モデルを構築し、ドリルビット挙動の特徴の考察を理論的に行う。また、ドリルパイプの縦振動の数値解析モデルおよび回転伝搬解析モデルを構築する。縦振動モデルにて接地荷重変動解析を行い、境界条件となるドリルビット接地を得る。更に、マグナス効果によるドリルパイプ撓みによりドリルビット接地荷重が生じることが想定されるため、その撓みの考察を行う。得られたドリルビット接地荷重変動を境界条件として、回転伝搬解析モデルにてドリルビット挙動解析を行う。

この際、地層摩擦特性を、未知パラメータを含んだ数式にてモデル化する。ドリルビット挙動解析結果を展開し、ドリルパイプ上端の掘削トルクを推算する。この掘削トルクは、TD Torqueとして計測されていることから、数値計算結果と実測値から、地層摩擦モデルに含まれるパラメータを推定し、これにより最終的にドリルビット挙動を得る。手法の有効性を確認するために、過去の航海で得たデータをもとに解析を行う。

(2) ドリルビット挙動情報から操業への展開

ドリルパイプ挙動と掘削データを学習データとして機械学習にて、異常状態、掘削地層やコア回収率などの掘削状態の推定を行う予測モデルを構築する。

まず、船上掘削データ、地層サンプル採取率、地層情報、また操業情報などの掘削航海データの収集を行う。そして、収集した航海データおよびドリルビット挙動解析結果から学習データを構築する。抑留、掘削孔崩落、ドリルパイプ破断などの異常状態、および掘削効率を示す地層サンプル採取率を掘削状態ラベルとして付与する。機械学習手法としては汎用的手法である畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた時系列次元CNNと区間特徴量CNNによる機械学習を行う。また、未遭遇の異常検知を目指し、EncoderとDecoderから成る自己符号化学習Autoencoderを用いた恒等写像の不成立時による判別による異常検知を試みる。

更に、これらの開発する手法による実操業におけるリアルタイムでの把握に向けて、既に一部構築済の掘削船の掘削制御装置より掘削データの取得装置を展開した、掘削データ取得・伝送を行うシステムの開発を行う。掘削データを入力とするドリルビット回転挙動および掘削状態推定を行う逐次行う計測融合解析システムの構築を行う。そして、掘削航海中に解析の実行により有効性の確認を行う。

4. 研究成果

数理モデルによる理論解析および数値解析によるドリルビット挙動解析を行い、その特性を示した。また、ドリルビット挙動解析と機械学習を用いて異常検知、地層把握、コア回収率を予測する手法を提案し、「ちきゅう」の過去の航海で得られたデータをもとに予測実行し、その有効性を確認した。更に、掘削中のリアルタイムでのドリルビット挙動解析や掘削状態把握を目指し、掘削データの取得・伝送装置の開発、および掘削データを入力とした掘削データ融合解析手法やシステムの開発を行い、掘削航海中に実行試験を実施し有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tun Hanny, Suzuki Hiroyoshi, Koga Taito, Htun Thant Zin, Inoue Tomoya	4. 巻 33
2. 論文標題 Nonlinear Dynamics Analysis of a Rotating Drill Pipe Model Incorporating the Magnus Effect and Rotary Inertia of the Pipe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Offshore and Polar Engineering	6. 最初と最後の頁 286 ~ 293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17736/ijope.2023.jc900	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 Hiroyoshi Suzuki, Tomoya Inoue, Tokihiro Katsui, Ryota Wada, Keita Tsuchiya, Yusuke Notani, Keita Ishida, Taito Koga	4. 巻 32
2. 論文標題 Experimental and Numerical Studies on Behavior of Rotating Drill Pipe Model in Uniform Flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Offshore and Polar Engineering	6. 最初と最後の頁 1,11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17736/ijope.2022.mt32	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Hanny Tun, Hiroyoshi Suzuki, Taito Koga, Thant Zin Htun, Tomoya Inoue
2. 発表標題 Dynamics Analysis of a Rotating Drill Pipe Model incorporating Magnus effect and Rotary Inertia of the Pipe
3. 学会等名 Proceedings of the International Society of Offshore and Polar Engineers (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoya Inoue, Yujin Nakagawa, Tatsuya Kaneko, Ryota Wada, Keisuke Miyoshi, Shungo Abe
2. 発表標題 Early Stuck Pipe Detection Using Graph Attention Machine Learning
3. 学会等名 Proceedings of the ASME International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Katsuya Kaneko, Tomoya Inoue, Ryota Wada, Tokihiro Katsui, Hiroyoshi Suzuki
2. 発表標題 Analytical, Numerical and Field Data Investigation for Deriving the Condition of Stick-Slip Drill String Vibration
3. 学会等名 Proceedings of the ASME International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 朝哉, 中川 友進, 金子 達哉, 和田 良太, 三好 啓介, 安部 俊吾
2. 発表標題 Graph Attention機械学習による海洋科学掘削における異常検知
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 達哉, 井上 朝哉, 和田 良太, 勝井 辰博, 鈴木 博善
2. 発表標題 ドリルパイプのStick-Slip 発生要因に関する解析解及び数値解による検討
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyoshi Suzuki, Tomoya Inoue, Tokihiro Katsui, Ryota Wada, Keita Tsuchiya, Yusuke Notani, Keita Ishida, Taito Koga
2. 発表標題 Experimental and Numerical Studies on Behavior of Rotating Model Drill Pipe in Uniform Flow
3. 学会等名 Proceedings of the Thirty-second International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川 友進, 井上 朝哉, 勝井 辰博, 和田 良太, 鈴木 博善
2. 発表標題 機械学習による掘削地層の岩質予測
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 博善, 井上 朝哉, 古賀 太斗, 小笹 卓海
2. 発表標題 風洞における模型ドリルパイプの挙動計測
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 十河大介, 勝井辰博, 井上朝哉, 和田良太, 鈴木博善
2. 発表標題 海洋掘削用ドリルパイプのStick-Slip現象の数値解析
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Inoue, Yujin Nakagawa, Hakan Bilen, Ryota Wada, Tokihiro Katsui, Hiroyoshi Suzuki.
2. 発表標題 Machine Learning Approaches for Predicting the Lithology and Core Recovery Rate
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting
4. 発表年 2021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	鈴木 博善 (Suzuki Hiroyoshi) (00252601)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	和田 良太 (Wada Ryota) (20724420)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授 (12601)	
研究分担者	中川 友進 (Nakagawa Yujin) (50513454)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム 運用開発部門・特任研究員 (82706)	
研究分担者	勝井 辰博 (Katsui Tokihiro) (80343416)	神戸大学・海洋底探査センター・教授 (14501)	

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
---------	---------