

# 海底熱水鉱床採鉱機の走行制御手法の基礎的検討

大阪府立大学 大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 海洋システム工学分野 寺嶋一二

## 研究背景・目的

<p><b>日本の現状</b></p> <p>金属資源を輸入に依存し、資源産出国に資源供給量が左右され、安定的な資源確保が大きな課題</p> <p>積極的に開発に向けた取り組みが行われている</p>	<p><b>海底熱水鉱床</b></p> <p>有用金属を高品位かつバランス良く含み、比較的水深の浅いEEZ内に存在し、注目されている</p>	<p><b>取り組み(採鉱システム概念イメージ)</b></p> <p>採鉱母船システム 揚鉱システム 採鉱システム</p> <p>世界的に開発事例はない</p>	<p><b>問題点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>深海での人による作業は困難</li> <li>流体力による採鉱機の走行範囲や姿勢への影響</li> <li>音波や電波の、ノイズの影響や計測レンジの不確かさ</li> <li>24時間遠隔操縦による作業はコストがかかる</li> <li>突発的な動きに対応できる制御システムが必要</li> <li>実際に採鉱機は開発されていない</li> </ul> <p><b>研究目的</b></p> <p><b>海底熱水鉱床採鉱機の自律走行制御手法の構築</b></p>
---	---	---	--

## 走行制御手法

**海底熱水鉱床の地形**

- 鉱体がある大きさを持った塊状
- チムニー等の塔状突起物が存在

**問題**  
堆積物の粒子間の摩擦や採鉱機と堆積物の摩擦が小さい  
↓  
堆積物が動く・採鉱機が滑るといったSlip現象が発生する

**実験機の作成**

Slipを捉える

- マイクロコンピュータのH8/36064マイコン・I/O拡張ボードを搭載
- 回転運動・並進運動を計測できる2軸ジャイロセンサ・3軸加速度センサを搭載
- 電源には、eneloop liteを搭載
- 実験データを保存するためにSDインターフェースを搭載
- モータの回転数を計測するためにロータリーエンコーダを搭載

Slipを軽減し、目的進路を走行する制御システムを構築 → 予測制御システムを用いる

**予測制御システム**

まず、船首揺れと横揺れと左右モーター回転数を考慮に入れて予測モデルである**多変量自己回帰モデル**を作成

$$X_n = \sum_{m=1}^M (A_m X_{n-m}) + U_n$$

回帰係数 残差項

左右モーター回転数を入力、船首揺れと横揺れを出力として、二つの関係を表す**制御型自己回帰モデル**を作成

$$X_n = \sum_{m=1}^M (A_m X_{n-m}) + \sum_{m=1}^M (B_m Y_{n-m}) + U_n$$

状態遷移行列 入力重み行列 残差項

$$z(n) = Fz(n-1) + Gy(n-1) + w(n)$$

$$x(n) = Hz(n)$$

システムの内部構造を知るために、**状態空間表現**とする

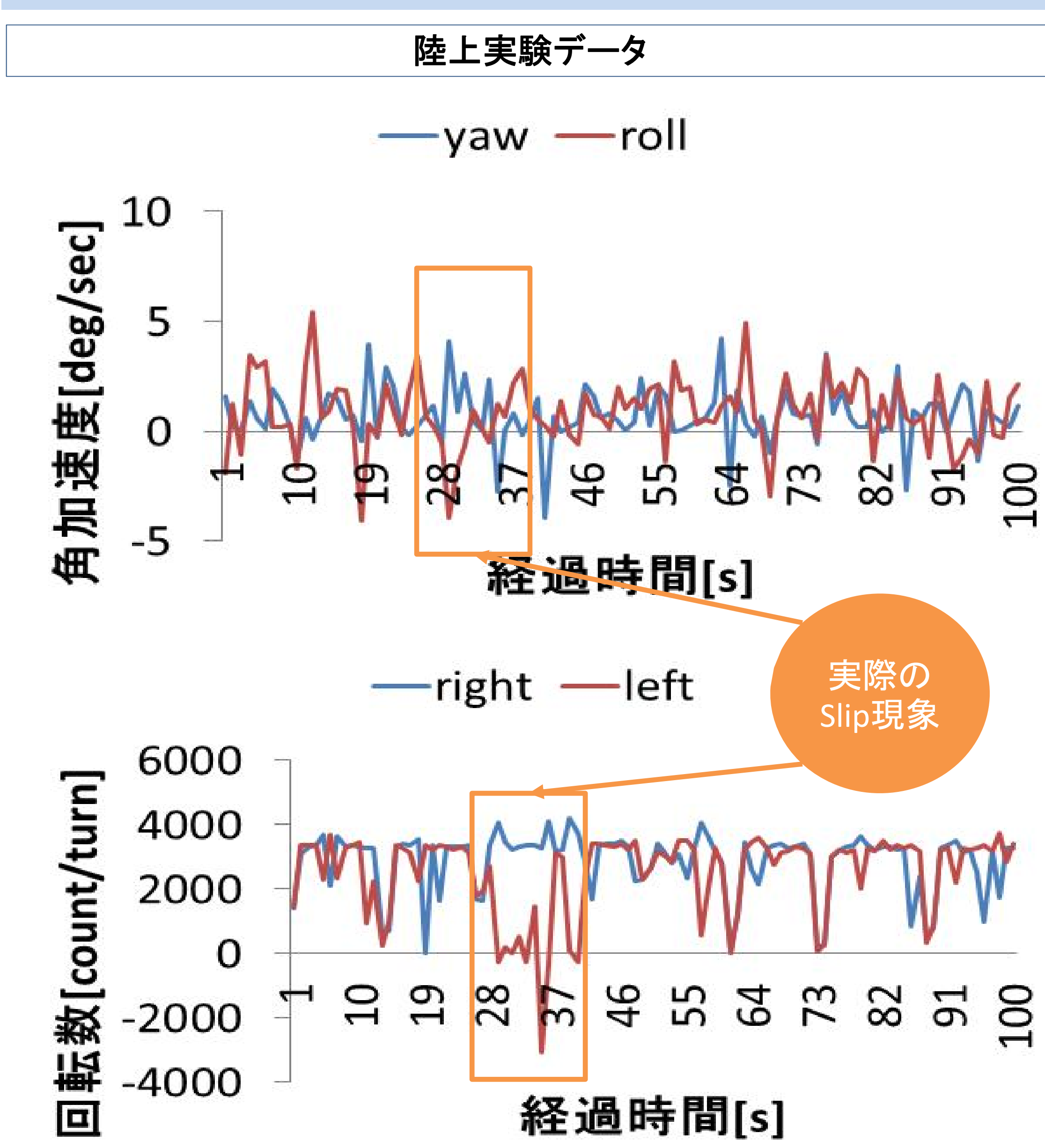
それぞれの係数と残差項は、MAICE法(赤池情報基準)より算出した

ここで、動的なシステムを実現するには、容易に解析する必要がある。そこで、**最適制御設計**を行う。

**赤池情報基準**

**統計的最適制御設計**

- 被制御変数(出力)であるYawとRollの偏差をできるだけ小さくすること
- 操作変数(入力)である左右モーター回転数の制御量も小さくして、1を実現すること



状態フィードバック則  $Y_n = K(m)Z_n$  最適制御ゲイン

評価関数  $J_l = E \left[ \sum_{n=1}^l \{Z(n)^T Q(n) Z(n) + Y(n-1)^T R(n) Y(n-1)\} \right]$

ダイナミックプログラミング法より得たアルゴリズムを用いて、**最適制御ゲイン**を算出する

$$K(m) = -\{G^T S(m) G + R\}^{-1} G^T S(m) F$$

$$S(m) = Q + P(m-1)$$

$$P(m) = F^T [S(m) - S(m) G \{G^T S(m) G + R\}^{-1} G^T S(m)] F$$

以上のアルゴリズムを長期間繰り返すと、最適制御ゲインは収束し、**定常ゲイン**となる。

$$K = \begin{bmatrix} 0.0119 & 0.0136 & -0.0537 & -0.0176 & 0.0707 & -0.0114 \\ -0.0158 & -0.0521 & 0.0025 & 0.0393 & -0.0196 & 0.0329 \end{bmatrix}$$

## 今後の予定

- QとRを同定し、モデルの整合性をシミュレーションする
- 完成した状態フィードバック則を実験機に実装することにより、設計した制御モデルが海底熱水鉱床のSlip現象に適用できるか考察する。