

ポート・ハミルトン系モデルを用いた パラメトリック横揺れの舵減揺手法の開発

地球総合工学専攻 船舶海洋工学コース
船舶知能化領域 勝村 佳司

1. 諸言

パラメトリック横揺れは波浪中の船舶に生じる危険な横揺れ現象の一つである。パラメトリック横揺れは波浪中の復原力変動に起因する現象であり、非線形力学分野ではパラメトリック励振と呼ばれる。その発生は特にコンテナ船などの船種で顕著であり、パラメトリック横揺れが原因とされるコンテナ流出事故も、以前から問題となっている。このような危険な現象であるパラメトリック横揺れを防ぐため、その発生条件や横揺れ振幅に関する理論的推定法、リスク評価などの研究が数多く行われてきた。不規則波中のパラメトリック横揺れを扱う際には、有色雑音で励起されるシステムを扱う必要がある。このような確率的なシステムを扱う方法として、確率論的平均化法やモーメント方程式を用いる方法などが提案されてきた。

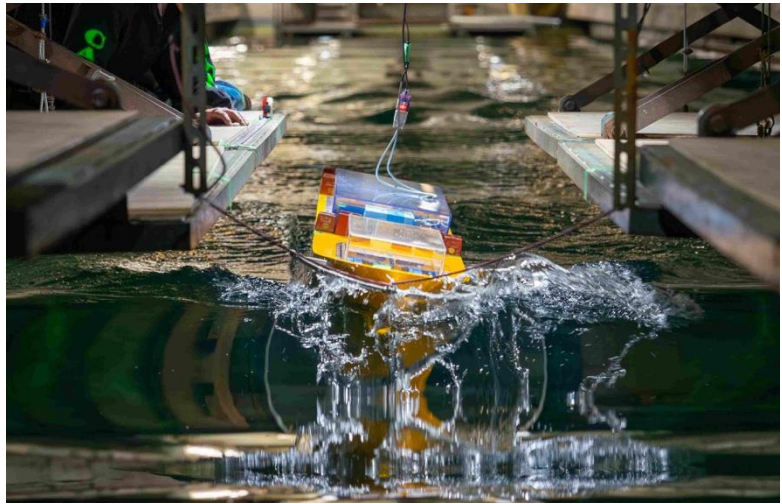


図 1 : パラメトリック横揺れの様子

一方、船体の横揺れ運動を制御によって積極的に防ごうとするアプローチも存在する。船舶における主要な入力器である舵によって船舶の横揺れ運動を安定化させようとする RRS(Rudder Roll Stabilization) はその手法の一つである。船舶が変針するために舵を切る際、回頭モーメントに加え横揺れ方向の傾斜モーメントが発生する。これを利用した横揺れ運動の舵による減揺手法がこれまで数多く研究されてきた。パラメトリック横揺れに対する舵減揺は、これまでに PID 制御をベースにした研究が行われ、模型試験や実船試験によってその効果が検証された。しかしながら、PID 制御はシステムの理論的安定性を保証せず、ゲインチューニングも容易ではない。

本研究では、制御工学の分野で発展されてきた手法である受動性に基づく手法を用いて、パラメトリック横揺れの舵減揺を達成する制御則を開発した。ポート・ハミルトン系¹⁾モデルを用いた制御則の設計によって、システムの非線形性の反映と、理論的な安定性の保証を実現することを試みる。

2. ポート・ハミルトン系モデルを用いた制御

本研究では、受動性に基づく制御手法の一つである、ポート・ハミルトン系¹⁾の枠組みによって制御則を設計した。受動性に基づく制御は、制御工学の分野において発展してきた手法で、非線形性を有する機械系のダイナミクスを利用する手法である。その中で、ハミルトンの正準方程式の拡張としてポート・ハミルトン系を扱う手法が発展してきた。ポート・ハミルトン系の安定化手法として、リアプノフの安定論に基づき、リアプノフ関数と制御アルゴリズムの設計をある種の偏微分方程式に帰着させる方法がいくつ

か提案されてきた。本研究ではその一つである一般化正準変換²⁾という方法を用いて、システムを安定化させるような制御則を設計する。

3. 制御則の設計

本研究の制御対象は、不規則波中パラメトリック横揺れを表す非線形横揺れ運動方程式と、方位角に関する非線形方程式である。ただし、パラメトリック励起項である横揺れ角に関する復原力の変動項と、システムの外乱は白色雑音で置換される。システムの入力は舵角に比例する項と仮定する。このようなシステムについて、横揺れ角がゼロ、方位角がある一定値で安定化するような制御を行う。システムをポート・ハミルトン系の形式に変換し、さらに一般化正準変換を導入することによって、横揺れ角と方位角の目標値に対する受動誤差系を作成し、パラメトリック横揺れの舵減揺と方位角制御を同時に達成するような制御則を導出する。こ

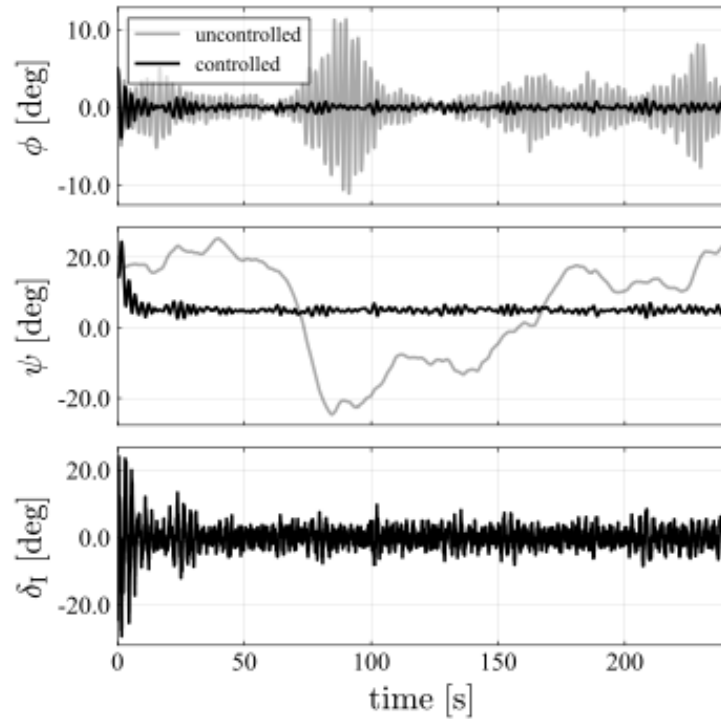


図 2：数値計算結果

の際、変換後のシステムが一般化正準変換の条件とシステムが受動性を保つ条件を満たすようにフリーパラメータを調整する。数値計算結果を図 2 に示す。横軸は時間 [s]、縦軸は上から横揺れ角 ϕ [deg.]、方位角 ψ [deg.]、舵角 δ_r [deg.] を表す。図中グレーの線が舵の制御を行わない状態の結果、黒い線が本研究で導出した制御則を適用した結果である。計算は 1/100 模型船スケールを想定して行われた。また、方位角の目標値は 5 [deg.] である。図 2 より、舵の制御を行わない状態では横揺れ運動が発生し、また方位角も安定していないことがわかる。一方、本研究で導出した制御則を適用することによって、横揺れ角をゼロ、方位角を目標値で安定化できていることがわかる。以上より、本研究で導出した制御則によって、パラメトリック横揺れの舵減揺と方位角制御を達成できることを確認した。

4. 結言

本研究では、不規則波中パラメトリック横揺れの舵減揺のため、舵によって横揺れ角と方位角の制御を同時に行うような制御則の設計が試みられた。制御手法としては受動性に基づく制御手法であるポート・ハミルトン系の枠組みが用いられ、一般化正準変換による誤差系の作成とその安定化制御が検討された。数値計算の結果、本研究で導出された制御則を用いることにより、パラメトリック横揺れの舵減揺と方位角制御が達成されることを確認した。

参考文献

- 1) B. Maschke, A.J. van der Schaft: In Proc. 2nd IFAC Symp. Nonlin. Control Syst., pp.282-288, 1992.
- 2) K. Fujimoto, T. Sugie: In Proc. 4th IFAC Symp. Nonlin. Control Syst., pp.544-549, 1998.