

修理資材運搬水上ロボットの動的挙動解析のための運動モデル導出 Modellings of USVs for Dynamic Motion Analytics while Transporting Repair Materials

○西村 光生¹, 河内山 学¹, 李 賢品¹, 竹入 将平², 根本 幹大², 羽多野 正俊³
Mitsuo Nishimura¹, Manabu Kawachiyama¹, Kenpin Ri¹, Syouhei Takeiri², Harumi Nemoto², Masatoshi Hatano³

Abstract: USVs(Unmanned Surface Vehicles) are needed to transport repair parts instead of divers. However, robots are influenced by waves and ocean current. Thus, it is necessary for control design that it can oppose external influences. In this report, we show that a dynamic model of USV was formulated and basic simulations were performed with the model.

1. 緒言

港湾などに建築されている海洋構造物の脚部には風や海水による浸食や風化が発生しており, 定期的に修理が必要になる. 従来, 人間が船やボートに乗り, 脚部まで補修部材を運搬していたが, 海流や波の影響により作業には多くの危険が伴う. よって, 人間の代わりに修理資材の運搬を目的とした水上ロボットが期待されている.

水上ロボットが波の影響を受けずに自律制御ができるようになるためには動的挙動を明らかにし, そのモデルを考慮した制御系の設計を行わなければならないと考える. 本発表では, まず天井クレーンのモデルをベースに垂直 2 次元平面内を運動する修理部材運搬用 USV(Unmanned Surface Vehicle)システムのモデル化について述べる. そしてそのモデルの運動方程式を導出しシミュレーションを行い, ロボットと運搬物の動的挙動について検証する.

2. 水上ロボットのモデル

初期研究として, 天井クレーンをベースに Fig. 1 に示すようなモデルを考える.

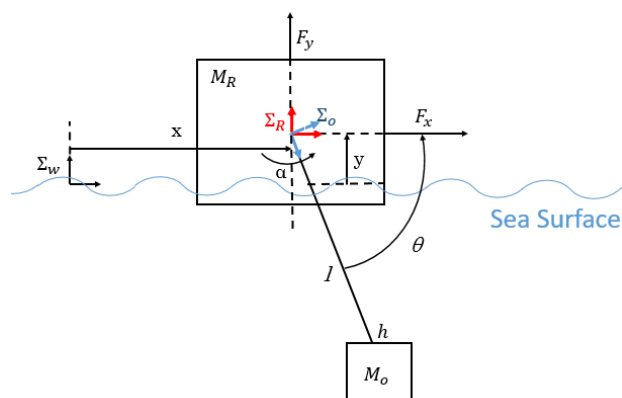


Fig. 1 USV Model

2 次元垂直平面内を運動するモデルを考えた. 基準座標系を Σ_w , ロボット本体中央に質量中心を取ったロボット座標系を Σ_R , 釣り荷の中心に質量中心を取ったオブジェクト座標系を Σ_o とする. 水平方向に移動する為の推進力を F_x , 垂直方向に働く力を F_y , ロボット本体のピッチ角を α , 振子の振れ角度を θ とする.

モデルの各物理パラメータは以下の様に設定した. ロボットの質量: $M = 8.6[\text{kg}]$, 釣り荷の質量: $M_o = 1[\text{kg}]$, クランクの長さ: $l = 0.2[\text{m}]$, ロボットの慣性モーメント: $I_1 = 0.33[\text{kgm}^2]$, 釣り荷の慣性モーメント: $I_2 = 0.1[\text{kgm}^2]$, 重力加速度: $g = 9.8067[\text{m}^2/\text{s}^2]$

ラグランジュ方程式より x, y, α, θ をそれぞれ一般化座標とすると運動方程式は以下のように導出された.

$$F_x = (M + M_o)\ddot{x} - M_o l(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) \sin(\alpha + \theta) - M_o l(\dot{\alpha} + \dot{\theta})^2 \cos(\alpha + \theta) \quad (1)$$

$$F_y = (M + M_o)\ddot{y} + M_o l(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) \cos(\alpha + \theta) - M_o l(\dot{\alpha} + \dot{\theta})^2 \sin(\alpha + \theta) + (M + m)g \quad (2)$$

$$\tau_\alpha = M_o l^2(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) + M_o l\{\ddot{y} \cos(\alpha + \theta) - \ddot{x} \sin(\alpha + \theta)\} + M_o g l \cos(\alpha + \theta) + I_1 \ddot{\alpha} + I_2(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) \quad (3)$$

$$0 = M_o l^2(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) + M_o l\{\ddot{y} \cos(\alpha + \theta) - \ddot{x} \sin(\alpha + \theta)\} + M_o g l \cos(\alpha + \theta) + I_2(\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}) \quad (4)$$

τ_α はピッチ角 α のトルクである.

3. シミュレーション

この運動方程式を用いて MATLAB でシミュレーションを行った。制御則には PD 制御を用い、 F_y と τ_α のコントローラを以下の様に設定した。

$$F_y = k_{py}(y_d - y) + k_{dy}(\dot{y}_d - \dot{y}) \quad (5)$$

$$\tau_\alpha = k_{pa}(a_d - a) + k_{da}(\dot{a}_d - \dot{a}) \quad (6)$$

k_{py} , k_{pa} : P 制御ゲイン, k_{dy} , k_{da} : D 制御ゲイン
 y_d , a_d : 目標値, y , a : 現在値

シミュレーションの各設定は以下の様に設定した。

初期値: $(x, y, \alpha, \theta) = (0, 0, 0, -\frac{\pi}{2})$

目標値: $(x, y, \alpha, \theta) = (0, 0, 0, -\frac{\pi}{2})$

$F_x = 5[N]$, $k_{py} = 3000$, $k_{dy} = 20$, $k_{pa} = 100$, $k_{da} = 20$
 微分方程式の解析方法に Runge-Kutta 法を刻み幅 0.001[sec]として採用し、シミュレーションを行ったところ以下のグラフが得られた。

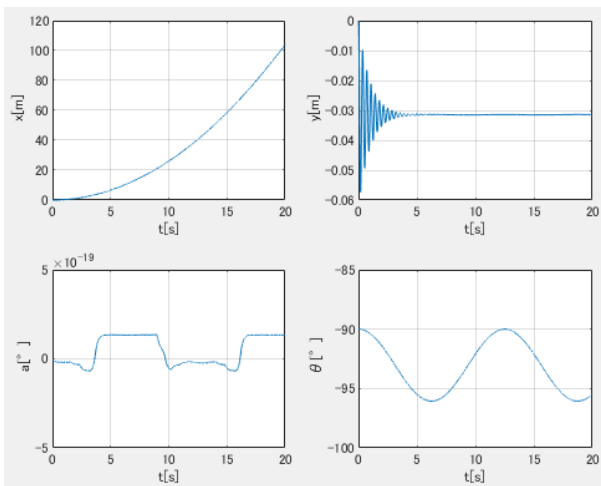


Fig. 2 Result of Simulation($F_x = 5[N]$)

まず x のグラフは時間と共に移動速度が上がり、ある一定の時間を超えると速度が一定になる応答を示した。 y のグラフは(5)式より浮力を PD 制御により制御しているため始め激しい振動が起こったが 3 秒後には $-0.03[m]$ 近辺で収束したと思われる。 a と θ のグラフは共につられるように増幅も収束もせず振動し続ける波形が観測できた。これは水の抵抗は考えていないものとしているため適切な挙動を示していると思われる。更に θ のグラフは $-90[^\circ] \sim -96[^\circ]$ の範囲で振動して

いるので進行方向とは逆向きに釣り荷が揺れていることがわかる。

次に $F_x = 10[N]$, $F_x = 20[N]$ として他のパラメータは変えずに二種類のシミュレーションを行うと以下の様なグラフが得られた。

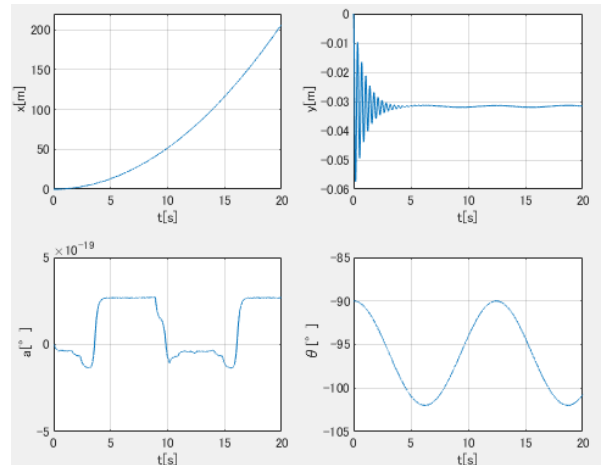


Fig. 3 Result of Simulation($F_x = 10[N]$)

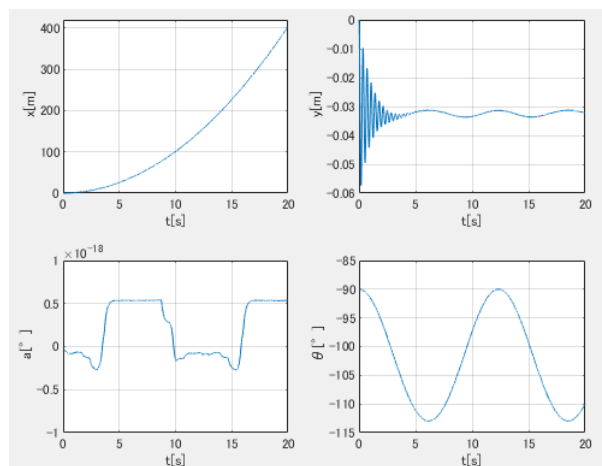


Fig. 4 Result of Simulation($F_x = 20[N]$)

結果から x, a, θ のグラフは $F_x = 5[N]$ の時よりも Fig. 3 は二倍の距離や振幅、Fig. 4 は四倍の距離や振幅になることが分かった。 y のグラフは $F_x = 5[N]$ の時と比べて変化が特に見受けられなかった。これらは水の抵抗が考慮されないことからモデルの運動は F_x の大きさに比例してモデルの変位が変化することが分かった。

4. 結論

天井クレーンをベースに資材運搬水上ロボットの運動方程式を導出し、シミュレーションによりモデルの妥当性を検証出来た。今後はボディを剛体系のモデルとして考え、シミュレーションを行う。