

# 移動ロボットのためのエネルギーシミュレータの開発

## —軌道追従性の切り替えによる消費エネルギー低減の有効性—

○澤田 雄人 (名城大学), 芦澤 怜史 (名城大学)

### Development of energy simulator for mobile robot

- Effectiveness of energy consumption reduction by switching trajectory tracking -

○Yuto SAWADA (Meijo University), and Satoshi Ashizawa (Meijo University)

Abstract: Mobile robot activity time depends on battery performance. We thought that the autonomous mobile robot can save energy by the control method. In this paper, we developed an energy simulator that can calculate the energy consumption of mobile robots. We have reported that there is a trade-off between trajectory tracking performance and energy consumption using a simulator.

## 1. 緒言

移動ロボットの研究は盛んに行われている[1]-[4]. また, 鉄道や自動車の省エネルギー化は様々な視点から研究が行われている[5][6]. 移動ロボットを省エネルギー化するために, メカトロニクス技術を用いて行う手法はこれまであまり取り組まれていない. 著者らは, グリーンメカトロニクスの研究としてロボット技術やメカトロニクス技術を応用することで, これまでにない省エネルギー化を実現する概念を提案し, 研究開発を行ってきた[7][8].

自律移動ロボットであれば, その動作計画・運動計画によって効率が変化すると考えられる. 搭乗者の快適性を考慮する必要がないため, さまざまな運用方法を比較検討することができる. 経路追従するロボットの運動制御を検討する場合, 制御性能の向上と消費電力はトレードオフの関係にあり, 仕様の範囲で適切な制御をすることで消費電力を適正化することができる. 例えば, 狭隘部では高精度に走行することが求められるが周囲に物のない環境においては求められる精度は決して高くはないと考えられるため, 目標値を細かく設定する必要はなく, エネルギーを抑えることが可能である.

本稿では, PID コントローラのゲインを変化させて同経路を走行したときの消費電力の変化をシミュレーションによって確認したので報告する.

## 2. システム構成

シミュレータのモデルを図 1 に示す. 移動ロボットと回生システムを含む Dynamics system と移動ロボットを制御する Vehicle control system, 環境定義と操作指令を行う Operation control system から構成される. Dynamics system は移動ロボットのモデル Vehicle dynamics と電源供給と回生システムを含んだ Regeneration circuit から構成されており, Vehicle control system は移動ロボットの軌道生成, 行動計画を行う Navigation system と運動制御とサーボ制御を行う Control system から構成される.

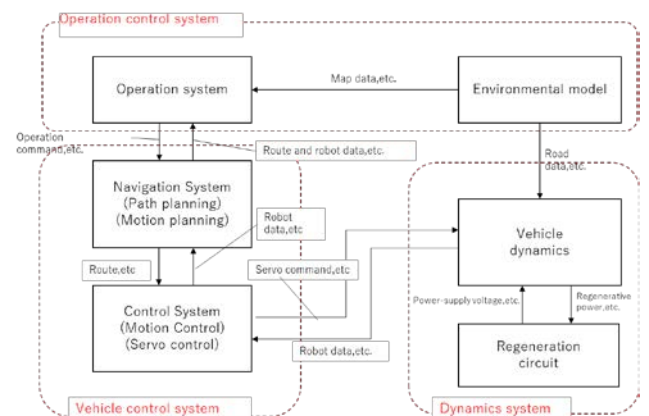


Fig.1. System configuration

EV-J のシミュレーションモデル, モータモデルをそれぞれ図 2~3 に示す. EV-J のシミュレーションモデルは二次元平面の XY 方向の速度ベクトルと角速度を指令とし, 走行抵抗と傾斜抵抗を外乱として入力し, 速度

と角速度を制御する. モータモデルは一般的な DC モータのモデルを使用し, PID 制御を用いたコントローラと接続することで速度制御を行う構成となっている.

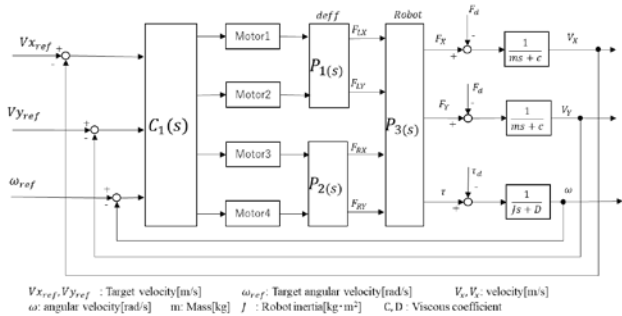


Fig.2. Simulation model

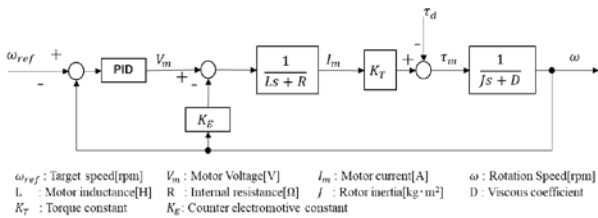


Fig.3. Motor model

### 3 シミュレーション

#### 3.1 軌道追従法

軌道追従方法を図 4 に示す. 軌道上の最近傍点に向かうベクトルと, 最近傍点における接線方向のベクトルの合成ベクトルをロボットの進行方向ベクトルと定義する. 移動ロボットの自己位置を\$P(p, q)\$, 軌道上の最近傍点の座標を\$Q(t, f(t))\$とする. 自己位置と最近傍点の距離を\$L[m]\$とすると, 最近傍点に向かう速度ベクトル\$V\_N\$の大きさと向きは式(1)(2)で表される.

$$|v_N| = Kl \quad \dots (1)$$

$$\theta_{VN} = \tan^{-1} \left( \frac{f(t) - q}{t - p} \right) \quad \dots (2)$$

\$K\$ : ゲイン

となる. また最近傍点における接線方向ベクトル\$V\_T\$は式(3)(4)で表される.

$$|v_T| = \sqrt{|v_{max}|^2 - |v_N|^2} \quad \dots (3)$$

$$\theta_{VT} = \theta_{VN} - \frac{\pi}{2} \quad \dots (4)$$

\$v\_{max}\$ : ロボットの最大速度

となる. これをロボット座標上の各軸に分解したベクトルを速度指令とする.

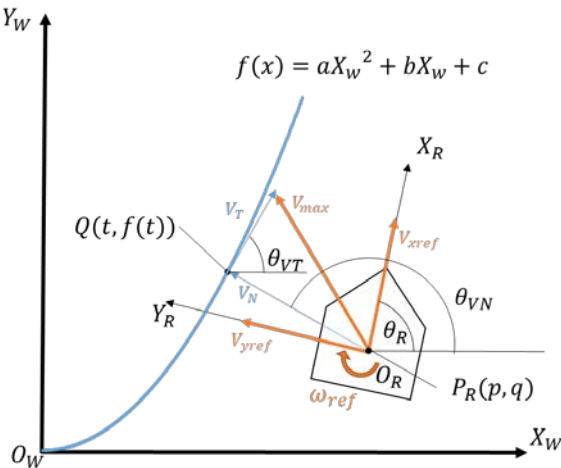


Fig.4. Trajectory tracking method

#### 3.2 シミュレーション条件

シミュレーションはロボットの初期位置を\$(X\_W, Y\_W)=(1, 0)\$として \$Y=X\_W^2\$ で与えられる軌道に追従する場合を考える. 自己位置の算出はロボット移動速度の積分値にホワイトノイズを上乗せして算出している. \$y=30[m]\$を終了条件として, 軌道追従のゲインを変化させて, モータの消費電力の変化を計算する. シミュレーション条件を表 1 に示す.

Table1. Simulation conditions

Item	Value[Unit]
Max velocity	1.0[m/s]
Mass	50[kg]
Inertia	1.25[kgm <sup>2</sup> ]
Gain	0.01,0.05,0.1,0.3, 0.5,1.0,1.5,2.0

#### 3.3 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 5~8 に示す. 縦軸に \$Y\_W\$ 方向, 横軸に \$X\_W\$ 方向の移動距離を示している. ゲインが 0.01 の時は軌道に追従しなかった. ゲインが 0.1 の時は緩やかに軌道に追従し, ゲインが 0.5 以上では, 即座に軌道に追従する結果となった. 図 9 にゲイン毎のモータの消費エネルギーを示す. 縦軸に消費エネルギー, 横軸に軌道追従のゲインをとっている. 軌道追従のゲインが低いとき, 軌道に戻ろうとするベクトルが小さいため, 消費エネルギーが抑えられているのがわかる. 一方ゲインが大きくなると, 軌道に戻ろうとするベクトルが大きくなり, その分消費エネルギーが増加している.

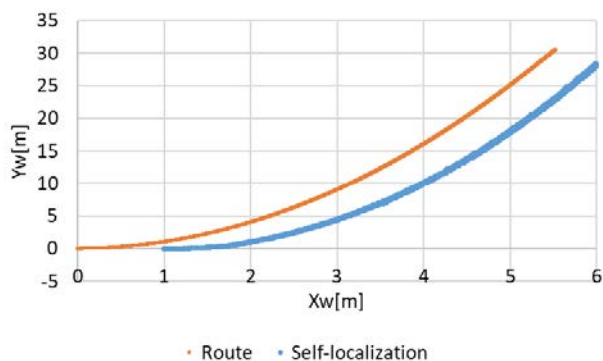


Fig.5 simulation result ( $k=0.01$ )

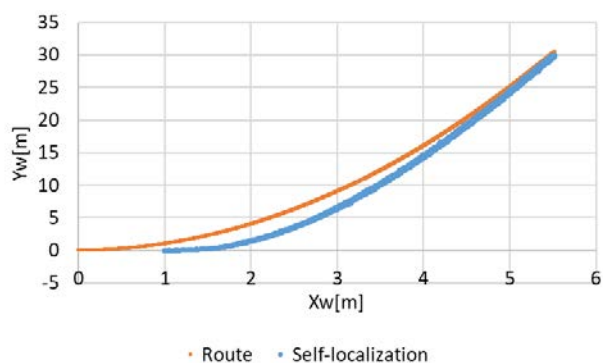


Fig.6 simulation result ( $k=0.1$ )

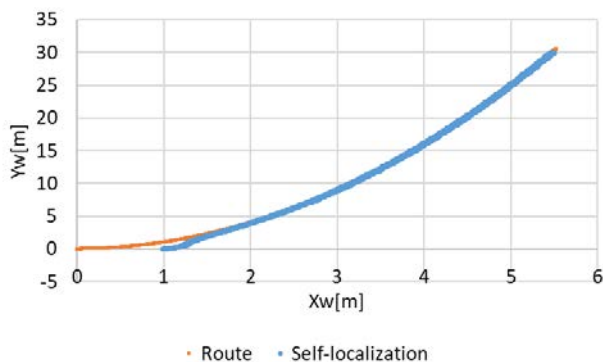


Fig.7 simulation result ( $k=0.5$ )

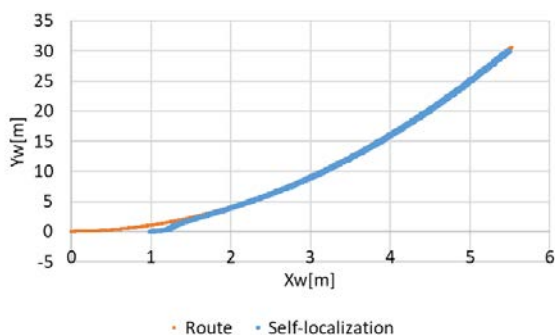


Fig.8 simulation result ( $k=1.0$ )

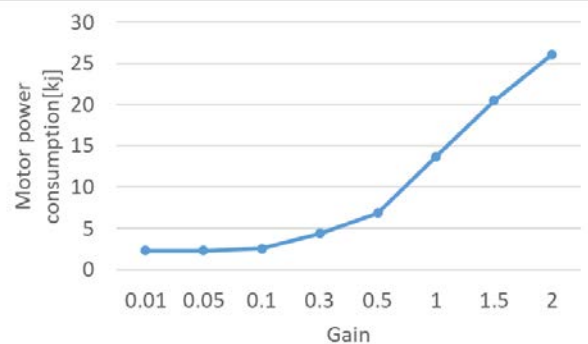


Fig.9 Motor energy consumption

## 4 結言

移動ロボットの簡易的なエネルギーシミュレータを開発した。また、今回の軌道追従方法では、軌道の追従性能と消費エネルギーは比例関係にあることがシミュレーションによって確認できた。今後は環境ごとにゲインを可変にできる軌道追従法を組み込むことで、必要時はゲインを上げて確実に軌道に追従し、必要ないときはゲインを下げて消費エネルギーを抑えることで省エネルギー化ができると考える。

## 参考文献

- [1] 浅間一:”原子力発電所事故対応のための遠隔操作技術”, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 6, pp558~591, 2011
- [2] 北川秀夫, 三好孝典, 寺島一彦:”全方向移動ロボットのための差動駆動操舵機構の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 3, pp. 343~349, 2009
- [3] Mudasse Wahab, Fernando Rios-Guierrez, Adel El Shatat “Energy Modeling of Differential Drive Robots”, Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2015, April 9 - 12, 2015 - Fort Lauderdale, Florida
- [4] S. Liu and D. Sun, “Minimizing Energy Consumption of Wheeled Mobile Robots via Optimal Motion Planning”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 2, pp. 401-411, April 2014.
- [5] 足利正:”電気自動車用モータの新技術”, 電気学会誌, Vol. 117, No. 1, pp. 18~21, 1997
- [6] 橋本俊哉, 山口勝彦, 松原卓司, 矢口英明, 高岡俊文:”小型乗用車用新型ハイブリッドシステムの開発”, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 1, pp43~47, 2010
- [7] 大道武生, 芦澤怜史:”新しい社会を目指すロボット技術”, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 10, pp977-980, 2012
- [8] 澤田雄人, 坂柳徹, 池山大知, 芦澤怜史:”省エネルギー考慮した移動ロボットの運転手法の研究”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2019