

# 最適速度旋回アルゴリズムによるヘテロ群ロボットが 創発する行動

世良田 竜平<sup>1</sup>, 北原 颯一郎<sup>2</sup>, 本田 泰<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 室蘭工業大学大学院 工学研究科 情報電子工学系

<sup>2</sup> 室蘭工業大学 理工学部 システム理化学科

<sup>3</sup> 室蘭工業大学大学院 しくみ解明系領域

## 概要

我々は以前、2次元最適速度旋回アルゴリズムを用いた複数台走行ロボットでのひも状走行に成功した。本研究では2次元最適速度旋回アルゴリズムのパラメータを変化させることで、ロボットに4つの性格を持たせて、それらの様々な組み合わせを用いて走行実験を試みる。結果として、異なる性格を混ぜた走行の中には、全てのロボットを同じ性格で統一した走行よりも、よりひも状走行になりやすい組み合わせが存在した。また特定の組み合わせ方をすると、先頭と末尾が繋がったひも状走行(ウロボロス走行)が創発された。

## Behavior generated by heterogeneous group robots using the optimal speed turning algorithm

Ryuuhei Serata<sup>1</sup>, Soichiro Kitahara<sup>2</sup>, Yasushi Honda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Division of Information and Electronic Engineering, Graduate school of Engineering, Muroran Institute of Technology, Japan

<sup>2</sup> Department of Sciences and Informatics, Faculty of Science and Engineering, Muroran Institute of Technology, Japan

<sup>3</sup> College of Information and System, Muroran Institute of Technology, Japan

## Abstract

We have previously succeeded in string running with multiple robots using a 2D optimal velocity turning algorithm. In this study, we have given the robots four personalities by changing the parameters of the 2D optimal velocity turning algorithm and attempted running experiments using various combinations of these personalities. As a result, some combinations of different personalities were more prone to string running than the same personality for all the robots. In addition, certain combinations resulted in a string-running condition in which the first and last robots were connected.

## 1 はじめに

行動のための知能に対する最小限のモデル化を現実世界の中でロボットを用いて実験的に評価することが、我々の研究動機である。行動体を自己駆動粒

子とみなした場合、行動のための知能はその数理モデルに対応する。自己駆動粒子に関する数理モデルを直接現実世界のなかで試すことのできる方法として、ロボット実験の方法が有効であると考えられる。人間の対面歩行や交通渋滞といった集団行動のメ

カニズムは完全に解明されているとは言えない．そこで我々は集団行動の中でも，ひも状走行について着目した．

先行研究 [1] では，2次元最適速度旋回アルゴリズムを用いた複数台ロボットでのひも状走行に成功していた．その研究では全てのロボットを統一したパラメータで動かしていた．つまり全てのロボットが全く同じ性格で走行していたと言える．しかし，現実世界では千差万別の性格を持った人間が集団行動を行っている．そのため，本研究では最適速度関数のパラメータを変化させ，ロボットに異なる性格をもたせて走行実験を行う．より現実世界に近い環境で，ロボットが創発する行動が，どのように変化するかを観測することを本研究の目的とする．

## 2 2次元最適速度旋回アルゴリズム

2次元最適速度モデルは以下の運動方程式 (1) で表される．最適速度  $\vec{V}$  と速度  $\vec{v}$  の差によって，速度の変化率 (加速度)  $\dot{\vec{v}}$  を求めるモデルである．

$$\dot{\vec{v}} = a(\vec{V} - \vec{v}) \quad (1)$$

ここでの  $a$  は感応度を表しており， $a$  は最適速度への反応の強さを決めるパラメータになっている．

ロボット自身の進行方向と，自分以外のロボットとの相対角度を  $\theta$  とすると，最適速度ベクトル  $\vec{V}$  は，以下のように表される．

$$\vec{V} = V \begin{pmatrix} \sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

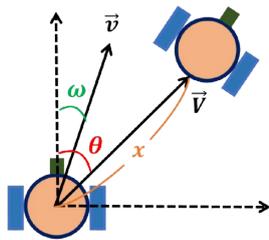


図 1: 進行方向と相対角度のイメージ図

そして，最適速度ベクトルの大きさ  $V$  は，ロボット間の距離  $x$  を用いて，以下のように表される．

$$V = \alpha(\tanh \beta(x - b) + c) \cos \theta \quad (3)$$

ここで，パラメータ  $\alpha, \beta, b, c$  について説明する． $\alpha$  は，最適速度関数の変化範囲を決めるパラメータ． $\beta$  は，最適速度関数の滑らかさを決めるパラメータ．

$b$  は，ロボット間の安全距離を決めるパラメータ． $c$  は，ロボット間の相互作用タイプを決めるパラメータ．

また，走行ロボットがこの関数を使用するためには，正規化が必要である．そのため実際は (式 3) の  $\alpha(\tanh \beta(x - b) + c)$  を  $\alpha(1 + c)$  で割った  $V$  を使用している．

速度ベクトル  $\vec{v}$  は

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v \sin \omega \\ v \cos \omega \end{pmatrix} \quad (4)$$

と表される．また， $v \neq 0$  のとき，

$$\begin{pmatrix} \dot{v} \\ \dot{\omega} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} V \cos(\theta - \omega) - v \\ (V/v) \sin(\theta - \omega) \end{pmatrix} \quad (5)$$

のようになり，これは  $v$  と  $\omega$  を用いた OV モデルである．

$\sim$  ,  $V \sim v$  のとき，左右のモーター出力  $v_L, v_R$  を求めるアルゴリズムをまとめると，最適速度関数 (式 3) と，式 (6 - 9) より  $v_L, v_R$  を更新する．

$$v' = v + a(V - v)\Delta t \quad (6)$$

$$\omega' = \omega + a(\theta - \omega)\Delta t \quad (7)$$

$$v_L = (v' + rg\omega') * \text{MaxSpeed} \quad (8)$$

$$v_R = (v' - rg\omega') * \text{MaxSpeed} \quad (9)$$

$r$  はロボットの有効半径，また  $g$  はホイールのスリップを考慮したゲイン，MaxSpeed は走行ロボットの最大速度で 0 から 100% の値をとる．

## 3 性格分類

本研究では，最適速度関数のパラメータを性格に基づいて分類する (表 1) ．

表 1: 各種パラメータの分類

	MaxSpeed	a	$\alpha$	$\beta$	b	c
同調性性格	80	5	1	16	0.3	0.9
顕示性性格	100	5	1	16	0.2	5
過敏性性格	60	0.3	1	16	0.4	0.9
粘着性性格	80	1	1	16	0.3	0.3

性格は同調性性格 (tun)，顕示性性格 (dis)，過敏性性格 (sen)，粘着性性格 (adh) の 4 種類である．同調性性格は常識的で素直な性格である．これは先行研究 [1] を参照したパラメータで，他の性格の基準としている．顕示性性格は派手好きでわがままな性

格である．これは基準と比較して  $c$  が大きく，速度を落としにくい走行になる．過敏性性格は弱気で悲観的な性格である．これは基準と比較して  $a$  が小さく，周囲より一歩遅れる走行になる．粘着性性格は生真面目で几帳面な性格である．これは基準と比較して  $c$  が小さく，決められた車間距離を厳正に守ろうとする．

これらの性格は，運転者行動と性格についての論文 [2] で用いられた分類より引用している．そして，これらの性格に基づいて分類されたロボット群を「ヘテロ群ロボット」と呼称する．また，正規化後の最適速度関数は以下のグラフのようになる．

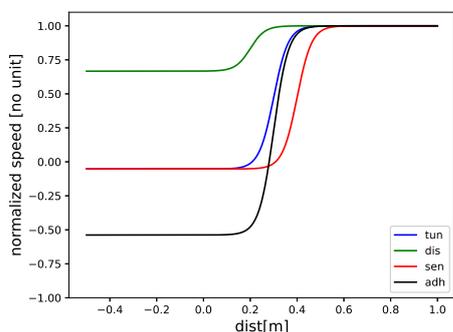


図 2: 最適速度関数の比較 (正規化後)

## 4 走行実験

床に半径 2[m] の円状壁を設置し，その壁の中で走行実験を行う．走行ロボットにはカメラ 1 つ，距離センサ 3 つ，モータを 2 つ搭載している．コースの中に 4 台の走行ロボットを連なるように並べ，同時に走行を開始する．ロボットは 2 次元最適速度巡回アルゴリズムに基づいて走行する．約 2m 以内に他機体を発見した場合は近づき，発見していない場合は進行方向正面に進む．そして，壁に近づいた場合は，感覚運動写像によって弾性散乱を行う．

本研究では走行ロボットのパラメータを先述の 4 種類に分類し，様々な組み合わせで走行実験を行う．そして各走行で，ひも状走行へのなりやすさ及び，走行中のロボットが 1 箇所に集まって進まなくなる状態（以下，クラスターと呼称する）へのなりやすさを評価する．評価には各ロボットが収集した，前方の車両との相対角度 [ ] と車間距離 [dist] の値を用いる．(図 3)

また，6 台の走行ロボットを使用した実験も行った．この実験では，ロボットの走行開始位置と向きがランダムで，全ての性格の MaxSpeed を一律 80% に設定している．他機体を認識する距離も約 4m に

伸びている．

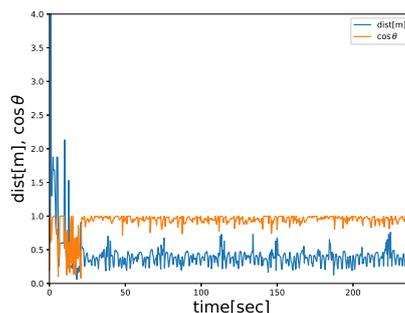


図 3: 走行ロボットが収集したデータの一例

## 5 実験結果

それぞれの走行で，ひも状走行へのなりやすさとクラスターへのなりやすさを比較すると，以下の図 4 のような傾向が見られた．

まず，異なる性格を混ぜた走行の中には，全てのロボットを同じ性格で統一した走行よりも，よりひも状走行になりやすい組み合わせが存在した．

そして，同じ性格のロボットによる走行でも，一緒に走る他の機体の性格が変わることで，ひも状走行及びクラスター状態へのなりやすさが大きく変わることが分かった．

また，6 台の走行実験では，顕示性性格 6 台で走行した際に，ひも状走行の先頭ロボットが最後尾のロボットに追従し，円状の走行が創発されることがあった（以下，ウロボロス走行と呼称する）．ウロボロス走行は，先行研究 [1] では創発されなかった新たな行動である．同調性性格 6 台ではウロボロス走行が創発されなかったため，顕示性と同調性の割合を変えて実験してみたところ，以下の表 2 の結果が得られた．

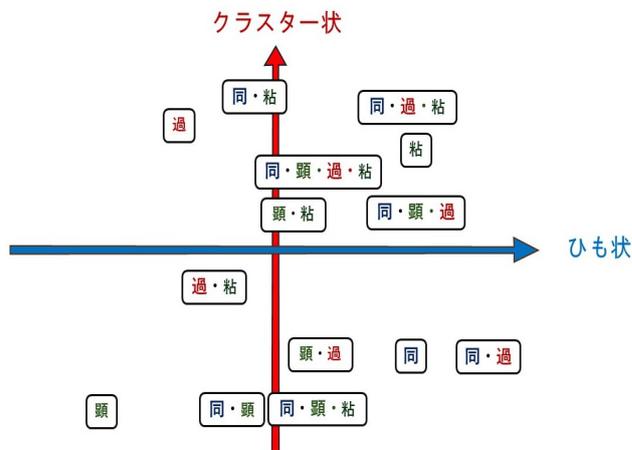


図 4: 全ての組み合わせパターンの傾向比較

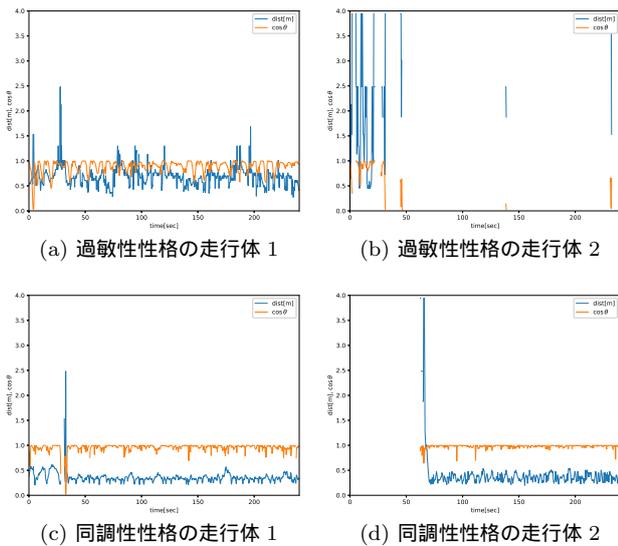


図 5: tun2 台, sen2 台の組み合わせの実験結果

表 2: ウロボロス走行になった回数

	dis3:tun3	dis4:tun2	dis5:tun1	dis6:tun0
回数	0/7	1/7	5/7	5/7

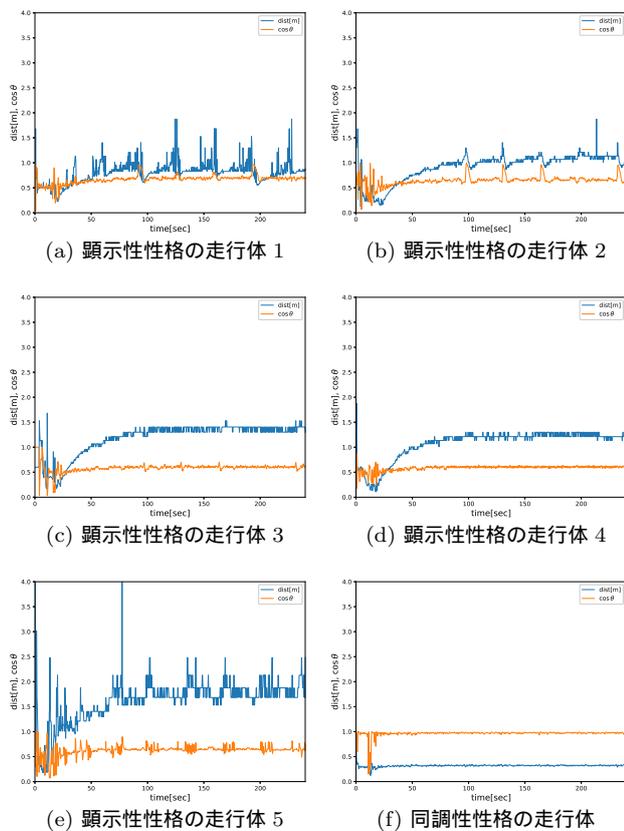


図 6: dis5 台, tun1 台の組み合わせの実験結果

## 6 考察

まず、異なる性格を混ぜた方がよりひも状走行になりやすい理由について、走行ロボットは車間距離が狭いと安定したひも状走行になるが、同じ性格のロボットだけだと車間距離は広くなりがちなので、そこに原因があると考える。次に、ウロボロス走行が創発される理由について、単純に車間距離が広いとウロボロス走行が創発される可能性がある。つまり、例え全て同調性性格でも車間距離を意図的に広げれば創発されると思う。

次に、ウロボロス走行が創発されるか否かの違いをもたらす要因について考察する。ウロボロス走行創発には2種類のパターンが存在した。1つ目はクラスター状態からウロボロス走行になるパターン。これは車間距離が狭くなった際に、顕示性はある程度速度を出すが、同調性は速度を大きく落とすため、そこで差が生じるのだと考える。2つ目はひも状走行からウロボロス走行になるパターン。顕示性はひも状になって速度をほぼ落とさないで車間距離が広がっていく。それに対して、同調性はひも状になって目の前に走行体が来ると速度を落とし車間距離が狭くなるため、差が生じるのだと考える。

## 7 まとめと今後の課題

本研究では、2次元最適速度旋回アルゴリズムを用いたロボットのパラメータが変化することで、走行ロボットが創発する行動がどのように変化するかを調べた。結果として、異なる性格を混ぜた走行の中には、全てのロボットを同じ性格で統一した走行よりも、よりひも状走行になりやすい組み合わせが存在した。また、特定の組み合わせ方をすると、ウロボロス走行が創発された。今後は更に走行ロボットの台数を増やし、創発される行動にどのような変化が起こるかを観測していきたい。またウロボロス走行に関しても、性格の組み合わせを更に増やして実験することで、創発されるための具体的な条件を絞り込んでいきたい。

## 参考文献

- [1] 山田将司, 李方正, 本田泰, 最適速度アルゴリズムによるスキッドステアリング 2D ロボットのひも状走行, 第 27 回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム論文集, p47-p50, (2021)
- [2] 詫摩武俊, 運転者行動と性格, IATSS Review, Vol.2, No.3, (1976)