

## 〈Te-to-Te〉

### ロボット同士の〈並ぶ関係〉でのコミュニケーションの研究

Te-to-Te: Side-to-side communication between two autonomous moving robots

武本一馬<sup>1\*</sup> 上村綜次郎<sup>1</sup> 中園健児<sup>1</sup> 長谷川孔明<sup>1</sup> 大島直樹<sup>2</sup> 岡田美智男<sup>1</sup>

Kazuma Takemoto<sup>1</sup>, Sojiro Uemura<sup>1</sup>, Kenji Nakazono<sup>1</sup>, Komei Hasegawa<sup>1</sup>, Naoki Oshima<sup>2</sup>

and Michio Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

<sup>1</sup>Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

<sup>2</sup>豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所

<sup>2</sup>Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute, Toyohashi University of Technology

**Abstract:** 私たちは手をつないで歩いている時に、お互いに右へ行くなどの指示を出さずともつないだ手の押し引きや相手の移動方向の推定から行先を決めていることが多い。このような関係は〈並ぶ関係〉と呼ばれている。本研究では、この〈並ぶ関係〉についての議論をシンプルに行うために〈Te-to-Te〉というロボットを開発した。〈Te-to-Te〉は自律した2組のロボットから構成されており、ロボット間は通信を行わずつないだロープと2DLidarから取得した情報から行動を決定する。本稿では〈Te-to-Te〉のコンセプトと実装について述べる。

## 1 はじめに

「おかーさん、まってー」、小さな子供が母親に駆け寄り、手をつないで歩いて行った。手をつなぐという行為には、同じ目的地に向かって移動する、はぐれないようにする、同じ時間を共有するなど、様々な目的がある。いずれの場合であっても、お互いが相手のことを慮り、歩調を合わせてまるで1つの個体のようにまとまった行動を生み出している。

このような関係は〈並ぶ関係〉[1]と呼ばれ、筆者らの〈マコのて〉[2]を用いて人とロボットとの〈並ぶ関係〉でのコミュニケーションについて調べてきた。では、この関係をロボット同士の関係に落とし込むことは可能だろうか。ロボットでの協調動作のことを考えると真っ先に通信して動きを合わせる手法が思いつくだらう。しかし、これでは作りこまれた動きであるように感じられてしまう。人が手をつないで歩くように、通信に依存しない方法でロボッ

ト同士が協調して歩くことができれば、ロボット同士が自然なコミュニケーションをとっているといえるだろう。

本研究ではロボット同士の〈並ぶ関係〉について着目して作成されたロボット〈Te-to-Te〉について述べる。



図1 Te-to-Teの外観

\*連絡先：豊橋技術科学大学情報・知能工学系  
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1  
E-mail: takemoto.kazuma.ec@tut.jp

## 2 研究背景

### 2.1 〈並ぶ関係〉

携帯電話や車の運転など、私たちは日常生活で対峙するような関わり方が多くなっている。ロボットに対しても同じことがいえるのではないだろうか。一般的にはロボットは人と対峙して何かをするようなものが多い。たとえば、飲食店で活用されているようなロボット店員は人と向き合ってコミュニケーションをとっている。

しかし、人同士の関係においてはその限りではない。もちろん、人同士であっても対峙する形での関わりは多くある。1対1の会話や、レジでの会計のやり取りなどが挙げられるだろう。一方で、手をつないで歩くことや家族でテレビを見ることなどは対峙する形というよりも〈並ぶ関係〉といえるだろう。

〈並ぶ関係〉は二者の間で共通な物・事象がある関係〈三項関係〉において、身体を基盤とした〈なり込み〉により両者の共感的な状態が形成されることが多い。先ほど挙げた例で考えると、手をつないで歩く場合は手をつなぎ合っている2者の間で「歩く」という第三項が存在していて、お互いのことを思いやることで〈なり込み〉が成立する。

ここから、本研究ではロボット2台による2者の間で、お互いのことを考慮して自身の動作を決定することで〈並ぶ関係〉の成立を目指した。

### 2.2 ブラインドマラソンの伴走

本研究で着目したのは、視覚障害者の方がマラソンを走る、ブラインドマラソンである[3]。これは、視覚障害者のランナーと健常者の伴走者が2人1組となりマラソンを走るというものだ。この時、各人はロープを輪にしたものの片側ずつを握り、それを通してお互いの動きを知覚する。

このロープによる「ゆとり」が大きな役割を果たしている。これが棒など硬いものや手を直接つないでいた場合、お互いの動きがダイレクトに伝わってしまうことで片方の動きに引っ張られてしまう恐れがある。ロープによるゆとりはお互いの動きの自由度を下げすぎず、相手の動きを知覚しながら相手に自分を合わせる余裕が生まれる。

ブラインドマラソンの競技者によると、ロープを介して動きが共鳴していくという。これも〈並ぶ関係〉の1つであり、共鳴という部分がロボットに応用できると考えられる。

### 2.3 ポテンシャル法

本研究で使用する自立移動ロボットの制御はポテンシャル法[4][5]に基づいている。ポテンシャル法は、障害物と目標位置の座標にポテンシャル関数と呼ばれる関数を定義し、その関数の勾配（座標成分ごとの偏微分）から進むべき方向を導出する手法である。障害物に対しては正の無限大、目標位置に対しては負の無限大に発散するような滑らかな関数を定義する。障害物に定義した関数の勾配は障害物から離れる方向であり、目標位置に定義した関数の勾配は目標位置に接近する方向となる。この関数群の重ね合わせがポテンシャル場となり、ポテンシャル場の勾配は、障害物からは離れ目標位置に接近する方向となる。障害物を回避しながら目標位置へと向かう場合は、この勾配をロボットの目標方向とする。

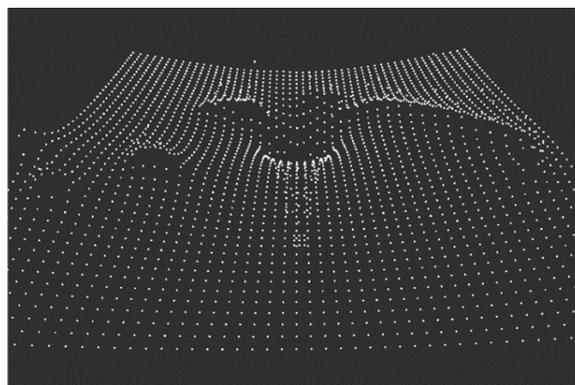


図2 ポテンシャル場

ポテンシャル法の特徴として以下3点が挙げられる。

- その時点での情報に従って目標位置を導出するため、地形マップ等の事前準備が不要
- 障害物を発見した時点でポテンシャル場が変化するため、リアルタイムに目標経路を変更可能
- $x, y, \dots$ 等の座標成分別に勾配を導出するため、三次元空間への適用が容易

式(1)、(2)にポテンシャル関数を、(3)にポテンシャル場の計算を、(4)に勾配の計算をそれぞれ示す。ただし、 $(x, y, z)$ : ロボット位置、 $(x_0, y_0, z_0)$ : 障害物位置、 $(x_d, y_d, z_d)$ : 目標位置、 $w_0, w_d$ : 重みとする。

$$P_o(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 + (z - z_o)^2}} \quad (1)$$

$$P_d(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{(x - x_d)^2 + (y - y_d)^2 + (z - z_d)^2}} \quad (2)$$

$$P_o(x, y, z) = \sum w_o P_o + w_d P_d \quad (3)$$

$$-\text{grad}P(x, y, z) = -\left[\frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial P}{\partial z}\right] \quad (4)$$

### 3 <Te-to-Te>

<Te-to-Te> は 2 台 1 組からなるロボットである。この 2 台の間では直接通信を行わず、ポテンシャル法による周囲の状況を考慮した経路決定とつないだ手から得た相手の情報をもとに自身の進行方向を決定する。ロボット同士の手のつなぎ方はブラインドマラソンの伴走を参考にロープを採用した。これにより、ロボット同士が動きを合わせる余裕につながると考えた。

#### 3.1 ハードウェア構成

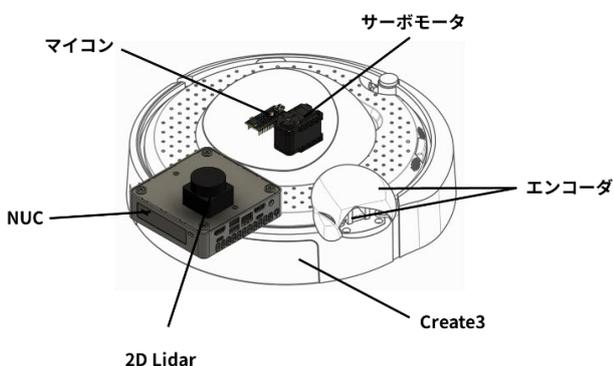


図3 <Te-to-Te> のハードウェア構成 (1 台分)

ハードウェアは図3のように構成されている。移動機構として iRobot 社の Create3 を用いており、水平な床を移動することが可能である。

障害物を検知するために本体に 2D Lidar が備え付けられている。ここから取得された情報から先述のポテンシャル場を算出する。

隣のロボットと手をつなぎ機構からはロープを用いて手をつないでいる (図1参照)。この機構にはエンコーダが 2 つ付いており、垂直方向のエンコーダでロープのたるみ加減を、水平方向のエンコーダでロープの水平方向の角度を取得している。このデータはマイコンを通して制御に用いられる。

サーボモータはロボットの顔に接続され、進行方向を見るようになっている。

すべての機構は intel 社の NUC を用いて制御している。

#### 3.2 ソフトウェア構成

OS は ubuntu 20.04 上で ROS Noetic と ROS2 Galactic で動作している。

ソフトウェアは図4のように構成されている。特に重要なノードはポテンシャル法ノードである。ポテンシャル法ノードでは最初に 2D Lidar のスキャンデータからポテンシャル場を生成する。次に位置推定ノードから得た手をつないだ相手の推定位置をもとにポテンシャル法を用いて相手の推定移動ベクトルを算出する。その後、相手の推定移動ベクトルの隣に自分が到達できるように目的地を設定しポテンシャル法を用いて自身の移動ベクトルを算出する。

2 台がそれぞれお互いの動きを推定しながら移動することで、手をつないで歩く (並ぶ関係) の成立を目指す。

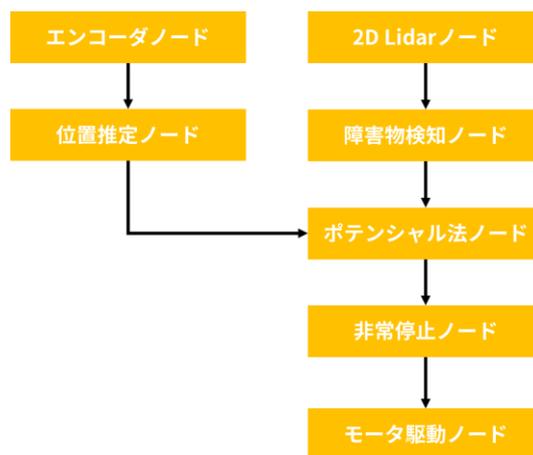


図4 ソフトウェア構成図 (1 台分)

### 4 まとめと今後の展望

本稿ではロボット同士の (並ぶ関係) の議論を行うためのプラットフォームとして <Te-to-Te> を構築した。しかしながら、今回構築した <Te-to-Te> はセンサ条件や動作方式が同じ 2 台から構成されている。今後は <Te-to-Te> の条件や動作方式を変えるなどして関係の変化を観察し、(並ぶ関係) の要素について議論を深めたい。

## 参考文献

- [1] 山田洋子：「母と子の関係」イメージ：上下関係,並ぶ関係；日本教育心理学会第 26 回総会発表論文集 (1984), p.78-79.
- [2] 山本直輝, 深町建太, 竹田泰隆, P. Ravindra De Silva, 岡田美智男：マコにて：「並ぶ関係」に基づく人とロボットのコミュニケーションの可能性を探る；Human-AgentInteraction シンポジウム 2012 (HAI-2012) 論文集, 2C-1(2012).
- [3] 伊藤亜紗：『手の倫理』,講談社(2020).
- [4] Jen-Hui Chuang et al, An analytically tractable potential field model of free space and its application in obstacle avoidance, IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS-PART B:CYBERNETICS, VOL. 28, NO. 5 (1998) p.729-736.
- [5] 彌城祐亮, 江口和樹,岩崎聡,山内由章,中田昌宏：ポテンシャル法によるロボット製品の障害物回避技術の開発；三菱重工技報 Vol.51 No.1 (2014).