

# 全方位台車を用いたロボットと人のインタラクションシステム Interaction system of human and robot using omni-directional trolley

中谷 慶太<sup>\*1</sup>  
Keita NAKATANI

今井 倫太<sup>\*1</sup>  
Michita IMAI

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学理工学研究科開放環境科学専攻 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1  
School of Science for Open and Environmental System, Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan

In this research, we propose an avatar robot system named ROiS that moves an omni-directional robot based on the O-space. O-space is the space that instinctively appears between people and an object when they talk about the object. We have conducted an experiment to evaluate the benefit of employing O-space for controlling an avatar robot by comparing ROiS to a system which is not based on O-space. In the interaction between people and telepresence robot, the result of the present study indicates that ROiS reduces the burden on the operator's operation.

## 1. はじめに

自宅や出張先にいながら、遠隔地で行われる会議や作業現場に参加するためにテレプレゼンスロボットが導入されつつある。自宅にいるユーザはロボットを操作し、あたかもその場に自分がいるかのようにロボットを振舞わせる。遠隔地の人はロボットを交えながら、会議や作業を行うことができる。ロボットを介して遠隔の現場に存在感を提示できるので、テレビやコンピュータによる会議システムに比べ、より密に議論や会話に参加できると考えられる。

ユーザが遠隔地の人とより円滑にインタラクションを取るために、ロボットは自由自在に移動出来る必要がある。自由自在な移動を実現するロボットとして、全方位台車と呼ばれるものが開発されている。全方位台車は小さなローラを外周に持つ特殊なホイールを等角度間隔で3個以上配置した移動機構を持っており、ホイールの回転方向の組み合わせで任意の方向へ移動することが可能である。既に一部のテレプレゼンスロボットにはこの全方位移動機構が搭載されている。

テレプレゼンスロボットは、ユーザの存在感を提示できる利点がある一方で、ユーザは遠隔地の人とインタラクションを取る際、逐一手動でロボットを操作する必要がある。また、手動で操作をするので、ロボットの挙動は滑らかでない場合が多い。さらに、画面で表示される遠隔地の映像を頼りにロボットを操作するので、距離感を掴みづらいという問題点がある。この為、テレプレゼンスロボットをユ

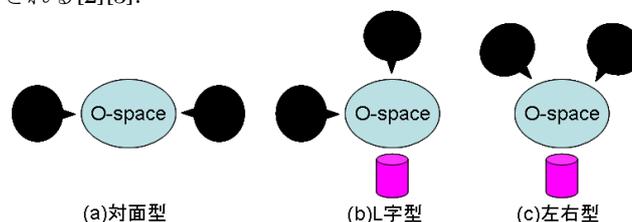
ーザが適切な位置に移動させるために逐一操作するのは、ユーザにとって非常に大きな負担であり、ロボットアバタシステムがユーザの操作を支援する必要がある。

本稿ではテレプレゼンスロボットの移動方法に着目をして適切な位置に簡単にロボットを移動させることが出来るロボットアバタシステム ROiS を提案する。ROiS を用いることによって、物体との距離を考慮してユーザがロボットを移動させる事が出来、ユーザの操作負担を軽減させる事が可能である。

本論文の構成を述べる。2章では本研究の背景として、ROiS の制御方法の設計に用いられている O-space[1]について述べる。3章では O-space を考慮した移動方法及びその動作例について述べる。4章では全体のシステム構成について述べる。5章では ROiS の効果を検証するための実験環境及び実験の前提条件を述べ、6章で O-space を考慮しない場合とする場合の比較実験を示す。7章では比較実験の結果を示し、8章で考察を述べる。最後に9章に本論文の結論を述べる。

## 2. O-space

O-space とは人と他人と対象物の間で無意識に構築される空間のことである。O-space には様々な形があり、図 1. に示すように、(a)対面型、(b)L字型、(c)左右型といったように構築される。また、複数人の間でも O-space は構築される[2][3]。



連絡先: {nakatani,michita}@ayu.ics.keio.ac.jp

図 1.O-space の配置

人とロボットのインタラクションにおいて、O-space を取り入れた研究は既に行われている。葛岡らは、人型ロボットに対象物を説明させる研究を行った[4]。この研究では、ロボットの体の向きが変わると、説明を受けている人がそれに応じて自分の立ち位置を変更してロボットとインタラクションを取ることが明らかになっている。また、ロボットが場所を移動すると同様に立ち位置を変更することも示されている。葛岡らの研究は、人はロボットとインタラクションを取る際にも、O-space を構築することを示していると言える。

しかし、葛岡らの研究では、あくまで人がロボットに対して、O-space を取るものである。一方で、テレプレゼンスロボットの移動制御について考える場合、O-space を考慮してロボット側が移動する必要がある。

### 3. ROiS の提案

本稿では、ロボット側に O-space を考慮させて移動させるロボットアバタシステム ROiS を提案する。ROiS を提案するにあたり、ハードウェアとして全方位台車及び Kinect を使用する。図 2 は今回使用した全方位台車である。O-space を考慮して移動をさせる場合、全方向に自由に移動できる必要があるため、全方位台車を用いた。



図 2.全方位台車

インタラクションの全体像を述べる。普段は、ユーザの自由に移動する。説明対象の物体に近づくと、O-Space を用いた行動制御に切り替わり、ユーザが物体について会話するのを支援する。

ROiS は Kinect による距離検出とモーター制御から実現される。通常は自由自在に操作が出来る。また、Kinect によって全方位台車と説明対象の物体との距離が常に計測されており、二つの距離が 1m になると、O-space を考慮した移動制御に切り替わる。切り替わった後は、O-space

を考慮して全方位台車は O-space の円周上を移動することが出来る。同時に全方位台車の正面は円の中心を向くように旋回する。

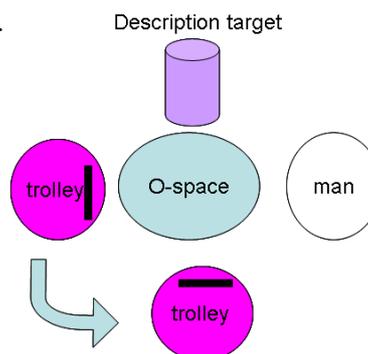


図 3.ROiS による移動例

### 4. システム構成

この章では ROiS のシステム構成を示す。図 4 がシステム構成図である。

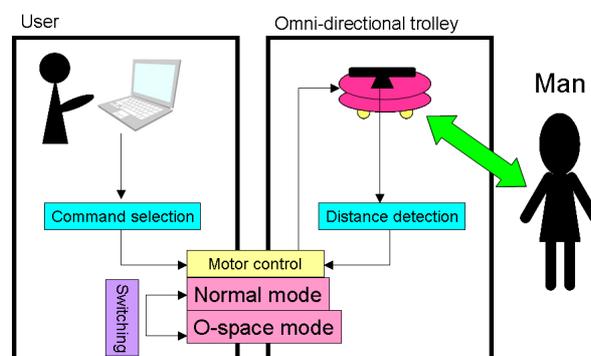


図 4.システム構成

ユーザからのコマンドと全方位台車からの距離データによって、最終的なモーター値を決定して全方位台車にモーター値を送信する。通常モードでは自由自在に全方位台車が動き、O-space モードでは O-space を考慮した移動を行わせる。モードの切り替えは Kinect からの距離データで行われる。

モーターへの指令値は 3つの値から決定する。

- vx:前後方向のモーター制御値
- vy:左右方向のモーター制御値
- vrt:全方位台車を回転させるためのモーター制御値

例えば、前に進む時は vx の値が正になり、vy と vrt は 0 の値を取る。一方、O-space モードでは、以下の式で 3つの値を決定する。

$$vx = (30 * \text{naname}) - \text{count}$$

$$vy = (30 * \text{naname}) + \text{count}$$

$$\text{vrt} = -40 * \text{float.Parse}(\text{textBoxRot.Text}) * (\text{float})0.5$$

count はユーザが命令を与える間、1 から順に 30 まで値が増えていく。count が増加することによって、全方位台車は横移動から縦移動に滑らかに変化して、O-space の円周上を移動する。

同時に, vrt によって円の中心に全方位台車の正面を向けるように動く。

## 5. 実験環境

今回は全方位台車の移動に O-space を考慮する場合と, 考慮しない場合の二つの場合において比較実験を行った。今回の想定環境は, ロボットと同じ空間にいる人が遠隔地のユーザとインタラクションを取る場面を想定する。ユーザは遠隔地にいて全方位台車に搭載されたカメラから現地の状況を見ながら, 全方位台車を操作する。現地の人は一人を想定し, 初期位置からの移動は無しとする。これは O-space の大きさを 1m と決めたからである。全方位台車と人との間には 3 つ物体を等間隔に配置した。図 5 が実験環境の模式図である。

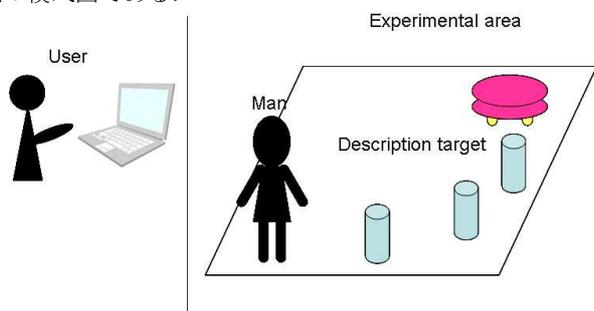


図 5. 実験環境

今回の実験は 20 代の男性 8 人に行ってもらった。実験終了後操作者側と人側の両方についてアンケートを取った。アンケートは 7 段階評価で記述してもらった。アンケートは通常モードと O-space モードそれぞれについて聞き, 操作者側にはどちらが適切な位置に移動させやすかったかを, 人側にはどちらがコミュニケーションを取っている感覚があったかについて答えてもらった。

## 6. 比較実験

図 5 の状況から 4 つのタスクをそれぞれ一分で行ってもらった。以下がそのタスクである。

1. 人が物体の説明をし, ユーザは通常モードの全方位台車を動かして適切な位置に移動させながら説明をユーザに聞いてもらう
2. 人が物体の説明をし, ユーザは O-space モードの全方位台車を動かして適切な位置に移動させながら説明をユーザに聞いてもらう
3. ユーザは通常モードの全方位台車を動かし, 現地にいる人に物体の説明を行う
4. ユーザは O-space モードの全方位台車を動かし, 現地にいる人に物体の説明を行う。

物体は 3 つあるので, 一分の中で説明物体を切り替えてもらった。図 6 は 4 番の実験風景である。



図 6. 実験風景

## 7. 実験結果

図 7 と図 8 にアンケート結果を載せる。

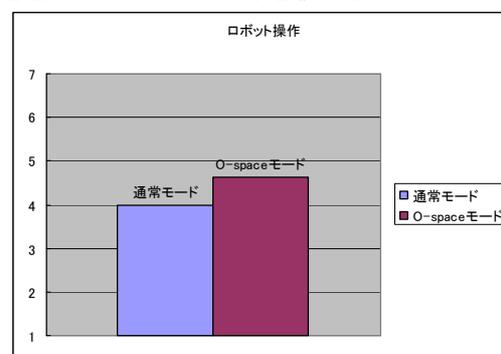


図 7. 操作者へのアンケート

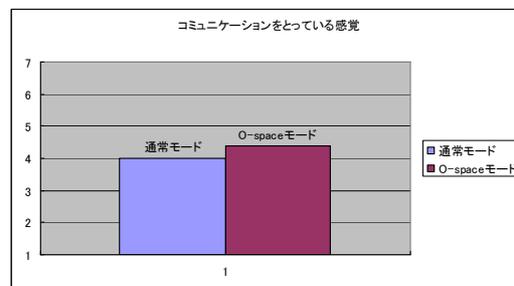


図 8. 説明を聞いている人に対するアンケート

アンケートの結果, 通常モードより O-space モードのほうが高い評価を得ることが出来た。

アンケートとは別に, モーションキャプチャーによる全方位台車の移動軌跡の分析も行った。分析の結果, 通常モードは多くの人が全方位台車を細かく動かして物体の正面から 50cm のところに移動させていた。そのため, 操作数が多い。一方, O-space モードのほうは全方位台車の移動が少ないことが分かった。また, 説明開始時間も通常モードに比べて, O-space モードのほうが 5 秒ほど早いことが分かった。

## 8. 考察

本研究の実験結果を踏まえて、O-space の有用性について検証する。

図 7 のアンケート結果を見ると、O-space を考慮した場合のほうが、評価が高くなった。その理由として、通常モードでは視点変更は回転をする必要があるのに対し、O-space モードでは移動と同時に視点の変更も行っているため、回転が必要ない事が挙げられる。移動と同時に視点の変更を行う事が、操作者にとって、適切な位置に動かし易い理由になったと考えられる。なぜなら、通常モードではまず物体と適切な距離のところに全方位台車を移動させて、その後に回転をして全方位台車のカメラを物体に向ける必要がある。しかし、O-space モードの場合は、移動と同時にカメラを物体に向けるので、距離とカメラ方向を移動命令だけで決定することができる。その結果、適切な位置に移動させることが通常モードに比べて、O-space モードのほうが高くなったと考えられる。

図 8 からは O-space モードのほうがコミュニケーションを取っている感覚があったとの回答が得られた。これは、人側が物体の説明をする際に、素早く適切な位置に全方位台車が動くことで、操作者が説明を聞いていると人側が認識出来たためであると考えられる。

また、軌跡分析の点から比較してみると、通常モードのほうが全方位台車の移動が多いことが判明した。これは自由自在に移動させられるため、説明しようとした物体に対して、画面から物体が見えなくなってしまう行き過ぎが発生するからである。行き過ぎた場合、操作者は適切な位置に再度移動させようとして、全方位台車を操作するが、再び行き過ぎることが発生していた。また、行き過ぎが発生することにより、説明開始自体が遅くなってしまっていた。一方、O-space モードの場合は行き過ぎがほとんど発生せず、説明開始も早かった。移動自体も少なく、操作が簡単であったと言える。

2つの分析結果より、O-space モードのほうが操作者にとって移動させやすく、適切な位置に移動させるのが簡単であったと考えられる。また、人側にとってもコミュニケーションを取っている感覚を持つことが出来た。このことより、O-space モードでは操作者の操作負担を減少することが出来、人とのインタラクションがより効果的に行えたと考えられる。操作数が少なく、適切な位置に移動させやすかったため、O-space を考慮した移動は有用であると言

える。

## 9. 結論

本稿では、遠隔の操作者が周囲の物体について容易に人と会話できるロボットアバタシステム ROiS を提案した。ROiS では、人同士が物体について会話する際にとる身体的な配置 O-space を考慮し移動する全方位台車を構築した。具体的には、ROiS では、直径 1 m と決めた O-space に対して、O-space を考慮した移動を全方位台車に行わせることが出来た。さらに本稿では、全方向に自由自在に動かすことが出来る通常モードと、O-space を考慮した O-space モードの比較実験を行った。アンケートと軌跡分析の実験結果より導き、ロボットの操作のし易さや、コミュニケーションのし易さが、O-space を考慮した場合に改善されることが明らかになった。特に、操作者の操作負担軽減に役立つことを示すことが出来た。

今後の課題としては、任意の大きさの O-space の構築を可能にすること及び、複数人の場合のインタラクションについて、検証することである。

## 文 献

- [1] A. Kendon, *Conducting Interaction. Patterns of behavior in focused encounters*, Cambridge University Press, United Kingdom, 1990.
- [2] P. Marshall, Y. Rogers, N. Pantidi, "Using F-formations to analyse spatial patterns of interaction in physical environments," conference on Computer Supported Cooperative Work(CSCW), CSCW '11, pp. 445-454, New York, USA, March 2011.
- [3] M.Cristani, L.Bazzani, G.Paggetti, A.Fossati, D. Tosato, A.D.Bue, G.Menegaz, V.Murino, *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, H.Jesse, M.Stephen, T.Emanuele, BMVA Press, London, 2011.
- [4] H.Kuzuoka, Y.Suzuki, J.Yamashita, K.Yamazaki, "Reconfiguring spatial formation arrangement by robot body orientation," *Human-Robot Interaction (HRI)*, 2010 5th ACM/IEEE International Conference on, pp 285 -292, NJ, USA, March 2010.