

遠隔操作ロボットのリズムカルな動作による 身体的・空間的一体感の強化

小原 宗一郎^{1,a)} 高橋 ともみ¹ 田中 一晶¹ 小川 浩平² 吉川 雄一郎³ 石黒 浩³ 岡 夏樹¹

受付日 2019年7月3日, 採録日 2020年1月16日

概要: 移動するための機能を有する遠隔操作ロボットは身体性が大きく異なる場合や操作に遅延が生じる場合、操作者がロボットの移動を自身の動きであると感じる身体的一体感やロボットと同じ空間にいるように感じる空間的一体感が得られにくい。そのような操作状況において、身体的・空間的一体感を強化するため、本研究ではロボットの遠隔操作に直接関係しない音楽に同期した自律動作（音楽同期動作）を操作者に提示する手法を提案した。コースに沿ってロボットを遠隔操作する実験を行った結果、音楽同期動作は音楽に同期した操作を促進し、操作者とロボットとが同調することによって身体的・空間的一体感を強化できる可能性が示された。

キーワード: テレプレゼンス, 遠隔操作ロボット, 運動主体感, 身体所有感

Rhythmical Movement of a Teleoperated Robot Enhances Physical and Spatial Senses of Unity

SOICHIRO OBARA^{1,a)} TOMOMI TAKAHASHI¹ KAZUAKI TANAKA¹ KOHEI OGAWA²
YUICHIRO YOSHIKAWA³ HIROSHI ISHIGURO³ NATSUKI OKA¹

Received: July 3, 2019, Accepted: January 16, 2020

Abstract: When controlling a teleoperated robot which has different physical features from a person and when there is a delay in remote operation of the robot, it will be difficult that an operator feels a physical sense of unity (i.e. the sense that the movement of the robot is the operator's own movement) and a spatial sense of unity (i.e. the sense that the operator is in the same space as the robot). To generate these sensations regardless of the difference of physical features and the delay in remote operation, we focused on a music. The proposed method presents the operator with the robot's behavior which is synchronizing with a music tempo that the operator is listening to (we call this behavior a "music-sync behavior"). To find the effect of the music-sync behavior, we conducted the experiment in which the subjects controlled the robot along a traveling course. In the experiment, presenting the music-sync behavior facilitated the subject's remote operation synchronizing with the music tempo. As a result, our proposed method could enhance the physical and spatial senses of unity.

Keywords: telepresence, teleoperated robot, sense of agency, body ownership, social telepresence

¹ 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute
of Technology, Kyoto 606–8585, Japan

² 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464–8601, Japan

³ 大阪大学大学院基礎工学研究科 Graduate School of Engineer-
ing Science, Osaka University, Toyonaka, Osaka 565–0871,
Japan

a) ii.lab.obara@gmail.com

1. はじめに

近年、テレプレゼンスロボット等遠く離れた場所でインタラクションを行うための移動ロボットが普及しつつある。将来、外出することが困難な人が、移動ロボットを利用して自宅にいながら学校で授業を受けることや職場でミーティングに参加できるかもしれない。また、観光地に設置されたロボットを遠隔操作することで普段は気軽に行くこ

とができない場所を自宅にいながら観光する等の用途も期待できる。したがって、テレプレゼンスロボットには、離れた場所を観察するためのカメラや移動を行うための機能を備えたものが多い [14], [19], [20], [26], [31], [35]。しかしながら、そのようなロボットの遠隔操作には、タブレット端末やコントローラ等のデバイスを用いることが一般的であり、操作者自身の移動や身体動作をとまなわないため、操作者がそのロボットの遠隔操作を介して遠隔地を移動している感覚は十分とはいえない。

この感覚を創出するうえで、本研究では、次の2つの感覚を強化することが有効であると考えた。1) 身体的・空間的一体感：操作者がロボットの身体やその動きを自身のものであると感じる一体感、2) 空間的一体感：操作者が遠隔地にいるロボットと同じ空間にいると感じる一体感。

身体的・空間的一体感は、ロボットや仮想空間のCGキャラクター等のアバタの操作に関する研究において、操作者の動きとアバタとの動きが同期していることを視覚的に提示する方法（視覚運動刺激の提示）や、操作者の身体への触覚刺激に合わせてアバタの身体と同じ位置にも同じ刺激が与えられている映像を提示する方法（視触覚刺激の提示）が有効であることが分かっている [36]。また、空間的一体感 Head Mounted Display (HMD) でロボットに搭載されたカメラの映像を操作者に提示する等の臨場感のある遠隔操作環境が有効であると考えられる [37]。

視覚運動刺激や視触覚刺激はアバタの身体が人型であり、刺激の提示に遅延がほとんどない場合に有効である。しかしながら、多くの移動ロボットの身体は人とは異なっており、その遠隔操作には、操作を行ってから遠隔側の映像にその操作の結果が表れるまでに遅延があるため、先行研究の手法は移動ロボットとの身体的・空間的一体感の創出には有効とはいえない [29]。また、遅延による操作の不自由さが空間的一体感を低下させることも知られている [34]。本研究の目的は、遠隔操作に遅延のある環境で身体性が操作者とは大きく異なる移動ロボットを操作する場合において、操作者と移動ロボットとの身体的・空間的一体感を強化することである。

その方法として、音楽を用いることが本研究のアイデアである (図 1)。人は音楽等、外部から与えられたリズムに身体動作を同期させる性質を持っている [17], [42]。たとえば、音楽を聴きながら歩くと、つい音楽の拍に腕振りや足のはこびを合わせてしまう等、身体動作が音楽と同期することがある。この現象から、遠隔操作中に音楽を流し、ロボットがその音楽と同期した動き（以下、音楽同期動作と呼ぶ）をしていることを操作者に提示すると、自らの身体動作であるかのように感じ、ロボットとの身体的・空間的一体感が強化されると考えた。また、遠隔側のロボットの音楽同期動作が、操作者側の空間で再生されている音楽に同期していると、遅延への気づきが軽減され、空間的一体感も強化

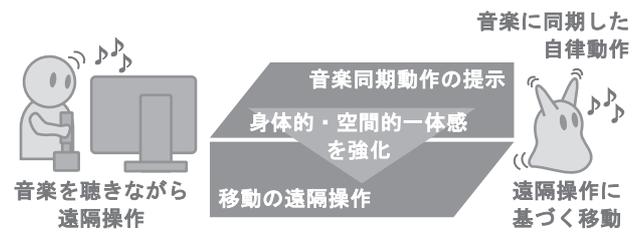


図 1 音楽でロボットとの身体的・空間的一体感を強化するアイデア
Fig. 1 Idea to enhance physical and spatial senses of unity by music.

されることを期待した。本研究の課題は次のとおりである。

音楽同期動作の提示による身体的・空間的一体感への効果：ロボットの遠隔操作や仮想空間のCGキャラクターの操作に関する先行研究では、ロボットの動きを操作者自身の運動であると感じる度合いである運動主体感 (sense of agency) やロボットの身体を操作者自身の身体であると感じる度合いである身体所有感 (body ownership) が評価されている。本研究においても、これら2つの感覚で身体的・空間的一体感を評価する。運動主体感やロボットを自分で操作している感覚 (操作感) は、遠隔操作の対象となるロボットの動作に意図しない動作が含まれていると低下することが知られている [40]。本研究では、移動とは直接関係しない、ロボットの耳の動きで音楽同期動作を提示することで、遠隔操作の対象であるロボットの移動の運動主体感が強化されるか調査した。また、身体性が操作者とは大きく異なるロボットであっても運動主体感の強化にもなって身体所有感も強化されることを期待した。

音楽同期動作の提示による空間的一体感への効果：移動ロボットの遠隔操作は、ロボットに搭載されているカメラの映像を見ながら行われる。この映像を表示するディスプレイは、通常のビデオ会議におけるディスプレイと同様に遠隔地をのぞく窓として機能する。この窓が境界面として遠隔側の空間と操作者側の空間を分断しており、テレプレゼンスに関する研究では、この境界をユーザに意識させないように空間のつながりを提示する様々な方法が提案されてきた [27], [28]。本研究では、操作者側で流れている音楽に同期した音楽同期動作を提示することで、遠隔側の空間との空間的一体感が強化されるか調査した。

移動ロボットとのリズムインタラクションの効果：音楽に同期した人とロボットとのリズムインタラクションは、様々な効果を生むことが予想される。音楽の拍に同期したロボットのダンスは子どものダンス行動を誘発し、ロボットのダンスが拍に同期していると、していない場合よりも子どものダンスの従事時間が長くなることが報告されている [23]。また、リズムインタラクションではないがCGキャラクターの同調的な顔の動きは親近感を与えることが知られている [2]。移動ロボットの遠隔操作においても、移動ロボットの音楽同期動作によって操作者の同調的な操作を

誘発できれば、もっと操作したいという意欲（操作意欲）や操作の楽しさ、移動ロボットに対する親近感が向上する可能性がある。身体的・空間的一体感だけでなく、操作意欲、操作の楽しさ、ロボットへの親近感を向上させることは移動ロボットの有用性を高めるものであるため、音楽同期動作の付随的な効果として調査した。

2. 関連研究

2.1 操作者とロボットとの身体的一体感

先行研究では、操作者とアバタ（ロボットや仮想空間のCGキャラクター）との身体的一体感を創出する方法がいくつか提案されている。その手法として、操作者とアバタとの身体動作が同期していることを提示する視覚運動刺激（visuomotor synchrony）が主に用いられている [1], [5], [16], [29], [36]。また、操作者の身体に触覚刺激を与えるのと同時に、アバタの身体にも同じ刺激が与えられている映像を提示する視触覚刺激（visuotactile synchrony）も有効であることが知られている [16], [36]。しかしながら、これらの手法では身体性が大きく異なる場合や [41]、操作の遅延が大きい場合には [29]、身体的一体感が低下することが分かっており、遅延のある環境で人型でない移動ロボットを遠隔操作する場合においてこれらの手法は有効ではないことが予想される。これに対し、本研究の手法は操作者側で再生されている音楽と自律的なロボットの動きを映像上で同期させるものであり、遠隔操作の結果が映像に反映されるまでの遅延や身体性の違いによる影響を受けることなく、身体的一体感を強化できる可能性があると考えた。

2.2 遠隔操作手法と身体的・空間的一体感

先行研究では、移動ロボットの遠隔操作手法が数多く提案されている。ロボットを遠隔操作するデバイスとしては、基本的にタブレット端末やジョイスティック等の手で使用するものが多い [1], [7], [9], [10], [14], [20], [31]。また、タスク効率を向上させるためのインタフェースも提案されており [1], [7], [20]、ロボットに搭載されているカメラの映像だけでなく、マップ情報やロボットの状態をフィードバックする図が一緒に提示されている等の工夫が行われている [7], [9], [31]。しかしながら、移動ロボットとの身体的一体感を創出する工夫はほとんど行われていない。

一方、遠隔操作ロボットとの空間的一体感を創出することに着目した研究では、HMDでロボットに搭載されたカメラの映像を操作者に提示している [4], [21], [22], [30], [37]。また、HMDによる遠隔地映像の提示に加えて、ロボットの手のセンサ情報を操作者に伝達するため、操作デバイスを介して触覚フィードバックを行う方法も提案されている [37]。触覚フィードバックは人型の遠隔操作ロボットの遠隔操作において、空間的一体感だけでなく身体的一体感の創出にも寄与すると考えられるが、身体性が人とは異なる

移動ロボットにおいて有効であるかは不明である。本研究の提案手法である音楽同期動作の提示は、上述のいずれの操作手法においても適用することが可能であり、併用することでロボットの身体性にかかわらずロボットとの身体的・空間的一体感をより強化できると考えている。

2.3 リズムインタラクション

音楽に合わせて踊る等のリズムインタラクションを子どもが他者と一緒に行くと、他者への扶助行動や協働が促進されることが知られている [18]。また、他者と一緒に太鼓を叩くインタラクションにおいて、太鼓を叩く機械や音のみ（スピーカ）と比較して社会的存在（人）に対して、子どもはより拍を合わせることも分かっている [17]。このような知見は人とロボットとのリズムインタラクションにおいても報告されている。そのような研究として、音楽の拍に同期したロボットの動きが子どものダンス行動を誘発することや [23]、ロボットと一緒に太鼓を叩き合うインタラクションを行うと子どもはロボットを生物のようにとらえる傾向があることが知られている [43]。このように、リズムインタラクションに関する研究は子どもを対象にしたものが多く、大人を対象にしたものはほとんど行われていない。したがって、先行研究で得られたようなリズムインタラクションの効果が大人を対象とした場合においても得られるかは不明である。また、遠隔操作するロボットとリズムインタラクションを行う効果も明らかになっていない。

3. 音楽による身体的・空間的一体感の強化

3.1 移動ロボットの遠隔操作環境

本研究では、移動ロボットとして図 2(b) のロボットを作成した。移動機能を有するロボット（Roomba）の上にノート PC を設置し、シリアル通信でコントロールした。本研究のアイデアはロボットの音楽同期動作を操作者に提示することであり、そのための機能として、1 自由度で左右に回転する 2 つの耳を移動ロボットに取り付けた。この耳のサーボモータはマイコンボードを介してノート PC とつながっており、ロボットと同じようにシリアル通信でコントロールした。ロボットの移動と耳の動きを操作者に提示するための Web カメラはロボットの後方に設置し、ノート PC に接続した。解像度は 1,920 × 1,080 であり、操作者側の部屋（図 2(a)）にある 30 インチのディスプレイにおいてロボットの進行方向の様子や耳の動きが十分に見えるように画角を調整した（図 2(c)）。

操作者側の部屋には Web カメラの映像を表示するディスプレイのほかにロボットを操作するためのコントローラ、音楽を再生するためのスピーカがあり、デスクトップ PC に接続した。操作者側のデスクトップ PC は LAN ケーブルで、ロボット側のノート PC は無線 LAN で同一ネットワークに接続されており、コントローラの入力はネット

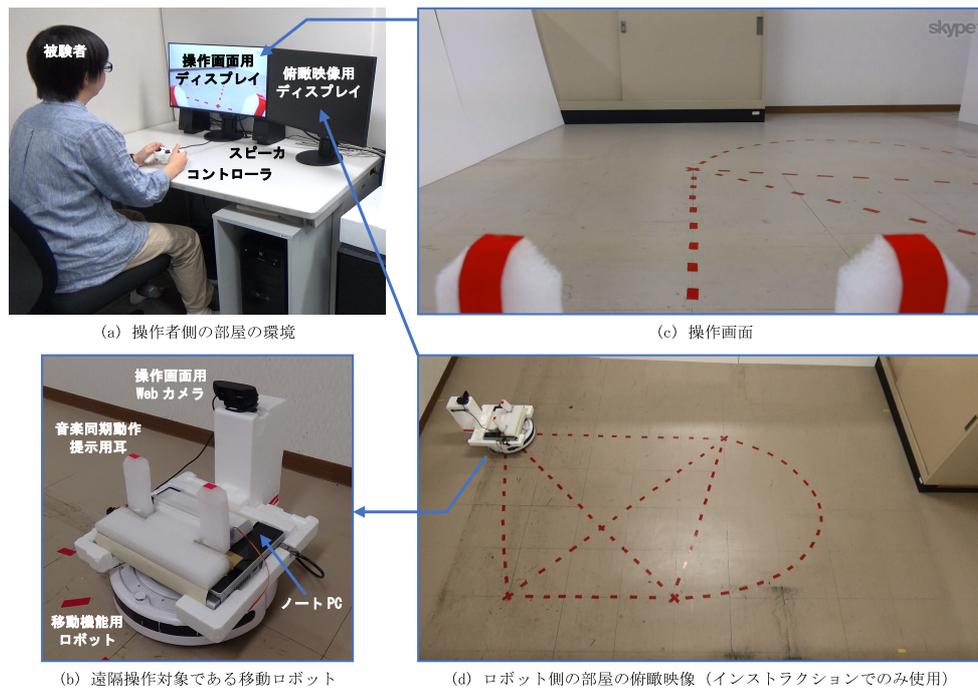


図 2 実験環境と装置

Fig. 2 Experimental environment and equipment.

ワークを介してノート PC に伝達される。これにより、操作者側の部屋から別の部屋にあるロボットを操作することができる。ロボットのカメラの映像はビデオチャットソフト (Skype) で操作者側のディスプレイに表示した。実験環境において、コントローラの操作時から映像上でロボットがその操作に基づいた動作を行うまでの遅延時間は約 0.5 秒であった。ロボットの操作にはコントローラの左のアナログスティックのみを使用した。アナログスティックを前後に倒す度合いに応じて前進/後退し、左右に倒す度合いに応じて左/右旋回する (図 3 (a))。前進/後退の最大速度は約 0.14m/秒であり、旋回の最大速度は約 42 度/秒とした。

3.2 音楽同期動作

音楽同期動作を提示する装置としてロボットの耳を用いたのは次の理由からである。タッピング課題に関する先行研究では、非同期のリズムを視覚刺激と聴覚刺激で提示した場合、聴覚刺激が優先され、視覚刺激によるタッピングへの影響は小さいことが分かっている [33]。この結果は点滅による視覚刺激でテンポを提示した場合であるが、メトロノームやボールが弾む映像のように動きが予想しやすい視覚刺激でテンポを提示すると聴覚刺激と同等の効果が分かっている [11], [13]。これらの知見から、音楽同期動作においても予想しやすい動きで提示することが有効に働くと予想した。しかしながら、音楽同期動作を提示する装置としてメトロノームのような左右に揺れる物体を画面の中央に表示すると、操作の邪魔になることが予想される。また、画面の左右どちらか一方に表示すると、その

方向に操作者の意識を向けさせてしまううえ、ロボットの身体部位としてバランスが悪いため、左右の両方に配置しロボットの耳であるという設定にした。

音楽同期動作は操作の邪魔にならない小さな動きで提示することが望ましいと考え、耳を 5 度内側に傾ける動作とした。耳を動かすためのサーボモータの最大速度で 5 度動かすのにかった時間は 0.05 秒であった。そのため、音楽同期動作として、操作者側の部屋のスピーカーから再生される音楽の拍の 0.05 秒前から耳が動きだし、その拍の時点で内側に 5 度傾け、その 0.05 秒後に元の位置に戻る動作を実装した (図 3 (b))。

操作者に音楽同期動作を提示するためには、音楽の拍と耳の動きが映像上で同期して見えるように耳の動きのタイミングを調整する必要がある。実験環境において、耳のサーボモータに指令値を送信してから画面上で動くまでの遅延時間は 0.5 秒で一定であり、拍が 0.5 秒間隔である 120 Beats Per Minute (BPM) の曲であれば、音楽の 1 回目の拍と同時に耳の周期的な動きを開始すると、2 回目の拍から耳の動きは同期する。これにより、次節の実験では音楽の拍とロボットの耳の動きを映像上で同期させた。

ロボットの耳には音楽同期動作を提示する役割だけでなく、図 3 (a) に示すようにコントローラの入力に対応するロボットの移動状態を視覚的に操作者にフィードバックする役割も持たせた。先行研究における移動ロボットの操作インタフェースには、ロボットの状態を操作者にフィードバックするものがあり [7]、ロボットの耳の動きはこれに相当する。また、次章の実験では音楽同期動作の提示の有無

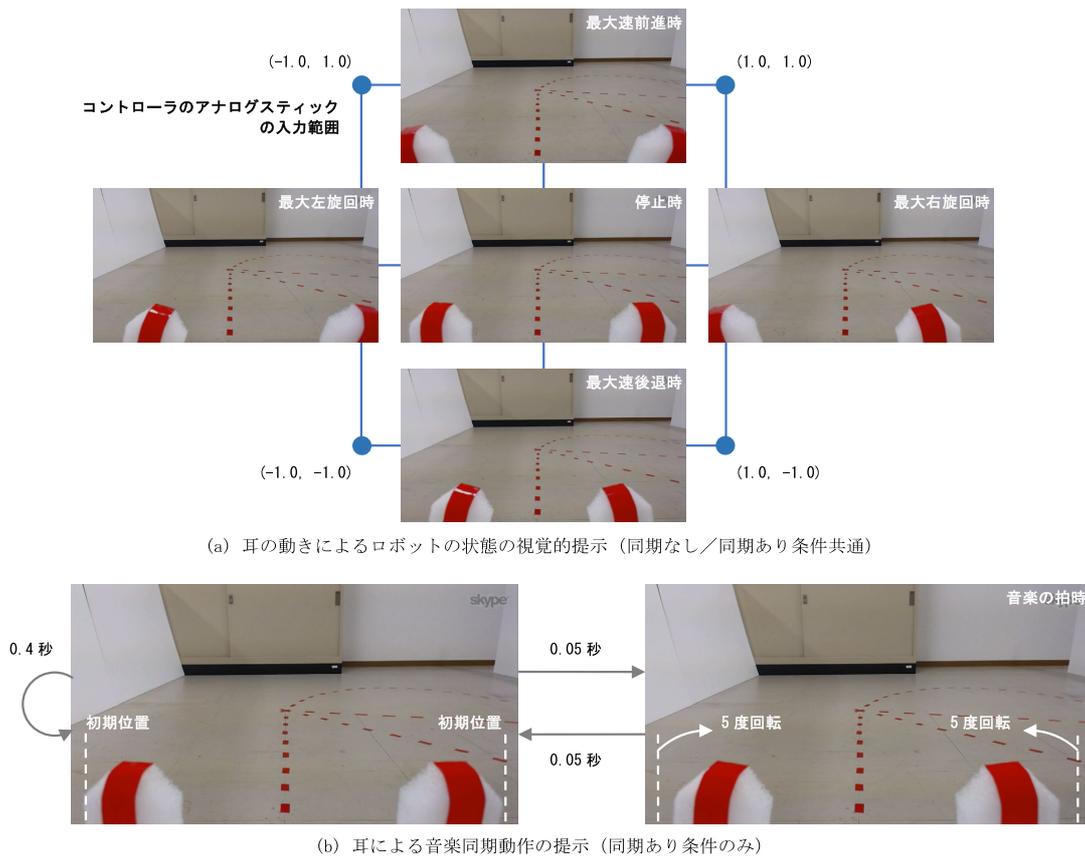


図 3 ロボットの耳による状態の視覚的提示と音楽同期動作の提示

Fig. 3 Visual presentation of state of robot and synchronized behavior with music by robot's ears.

を比較するが、音楽同期動作を操作者に提示しない条件でもロボットの耳の動き（移動状態の視覚的提示）があることによって、その動きに対する操作者の運動主体感を評価できるようにする意図もあった。

4. 実験

4.1 実験協力者

実験には京都工芸繊維大学の学部生である 19 歳～22 歳の 10 名（男性 5 名，女性 5 名）が参加した。

4.2 条件

下記の 2 つの実験条件において、実験協力者に別の部屋にある移動ロボットを遠隔操作してもらった。操作方法は 3 章で説明したとおりである。音楽同期動作を提示しない同期なし条件と、提示する同期あり条件を比較することで、音楽同期動作が身体的・空間的一体感を強化するか、移動ロボットとのリズムインタラクションによって操作意欲、親近感が向上するか検証した。

同期なし条件：ロボットの耳は、コントローラの入力状態をフィードバックする動き（図 3(a)）のみ行う。

同期あり条件：ロボットの耳は、同期なし条件の動き（図 3(a)）に加えて音楽同期動作（図 3(b)）を行う。

実験は被験者内計画であり、すべての実験協力者は 2 つ

の実験条件を経験した。実験条件を経験する順番はカウンターバランスをとった。

4.3 手順

実験協力者にはロボットの操作画面（図 2(c)）とロボット側の部屋の俯瞰映像（図 2(d)）を提示し、まず、ロボットの操作方法を説明した。その内容は下記のとおりである。この説明は実際に実験協力者にロボットを操作してもらいながら行った。

- コントローラの左側のアナログスティックのみ使用する。
- スティックを前後に倒すと前進後退，左右に倒すと左右に旋回する。
- スティックを前に倒すと耳が開き，後ろに倒すと閉じる。
- スティックを左右に倒すとその方向に応じて耳が傾く。
- スティックを倒す度合いに応じて移動の速さ，耳が動く度合いが変わる。

ロボット側の部屋の床には図 2(d) の図形が描かれており，図形を構成する点線上をたどるようにロボットを遠隔操作するタスクを設定した。実験協力者へのタスクの説明は次のとおりである。

- 点線上をたどるようにロボットを自由に操作する。

- 点線をはみ出してもかまわない。

次に、ロボットを操作する練習を行った。この練習の際には音楽は再生せず、同期なし条件と同じ条件で約1分間ロボットを操作してもらった。その後、同期なし、同期あり条件を実験協力者ごとに順番を入れ替えて実施した。これらの条件で再生した楽曲はバストラムによって拍が分かりやすい Call Me Maybe (作詞・作曲：Carly Rae Jepsen)を採用した。この曲のテンポは120BPMであり曲の長さは3分13秒であった。練習と2つの実験条件でロボットを操作する際、実験協力者に操作画面に注目させるため、俯瞰映像は表示しなかった。ロボットの遠隔操作は毎回図2(d)の位置から開始した。各条件の前に行った説明は下記のとおりである。

- 音楽を聴きながらロボットを操作する。
- 同期なし条件：ロボットの操作方法やロボットの耳の動きは練習と同様。
- 同期あり条件：ロボットの操作方は練習のときと同様だが、ロボットの耳は練習のときに加えて他の動作もする。
- 音楽が鳴り始めたら操作を開始し、鳴り終わったら操作を終了する。

2つの実験条件で遠隔操作を行った後、実験協力者は次節のアンケートに回答した。

4.4 アンケート

実験協力者は各項目に9段階のリッカート尺度で回答し、その回答理由を自由記述欄に記述した。9段階の1, 5, 9はそれぞれ、まったくあてはまらない、どちらともいえない、非常によくあてはまるに対応させた。

ロボットやCGアバタ等の人工物との身体的一体感は、身体所有感 [8], [15], [16], [29], [36], [41] や運動主体感 [8], [15], [41] で評価されることが多いため、本研究でも、身体所有感、移動の運動主体感、耳の運動主体感にそれぞれ対応する下記の3つの評価項目を設定した。

- あたかもロボットを自分の身体であるかのように感じた。
- あたかもロボットの移動を自分の動きであるかのように感じた。
- あたかもロボットの耳の動きを自分の動きであるかのように感じた。

先行研究では、遠隔地にいる相手と同じ空間で対話している感覚を創出する遠隔コミュニケーションシステムを評価する項目として、「相手と同じ部屋で」という表現が有効であることが分かっている [27], [28], [38], [39]。本研究でもこの表現を用いてロボットとの空間的一体感を評価する下記の項目を設定した。

- ロボットと同じ部屋にいるように感じた。

遠隔操作ロボットが、操作者の意図しない自律動作を行

うと操作感が低下することが知られている [40]。本研究においても、音楽同期動作を加えることで操作感が低下する恐れがあると考え、下記の3つの項目を設定した。

- ロボットを自分で操作していると感じた。
- ロボットをうまく操作できたと感じた。
- ロボットは自分の意図どおりに動いていた。

移動ロボットとリズムインタラクションを行う効果を検証するため、遠隔操作の楽しさ、操作意欲、ロボットへの親近感を評価する下記の3つの項目を設定した。

- ロボットの操作を楽しみと感じた。
- ロボットをもっと操作したいと感じた。
- ロボットを親しみやすいと感じた。

4.5 音楽同期操作

人は音楽のリズムに身体動作を同期させる性質を持っていることから [17], [42]、ロボットの操作を音楽の拍に同期させることが考えられる。そのような操作を本研究では音楽同期操作と呼ぶ。音楽同期操作を実験協力者が行った度合いを計測するため、拍のタイミングとコントローラの入力を変化させたタイミングの関係を分析した。

分析方法を図4に示す。実験中のコントローラの入力状態 (1.0/-1.0を最大値/最小値とする x, y 座標) は0.01秒間隔で記録した。ある時点の入力状態と、その0.1秒前の入力状態のユークリッド距離を算出しその距離が閾値 (0.1または0.5) を超えていれば入力を変化させたと判定した。この判定は音楽の最初の拍の0.1秒後から0.01秒間隔で終端まで実施した。閾値を0.1と0.5の2つ設定したのは、音楽同期操作が移動操作にほとんど影響しない小さな変化として表れるのか、大きな変化として表れるのか区別して調査するためである。これらの閾値でカウントした変化の回数を拍の半周期前 (0.25秒前) から半周期後 (0.25秒後) までをヒストグラムに位相表示し、音楽同期操作が行われたか、またそのタイミングを確認した。

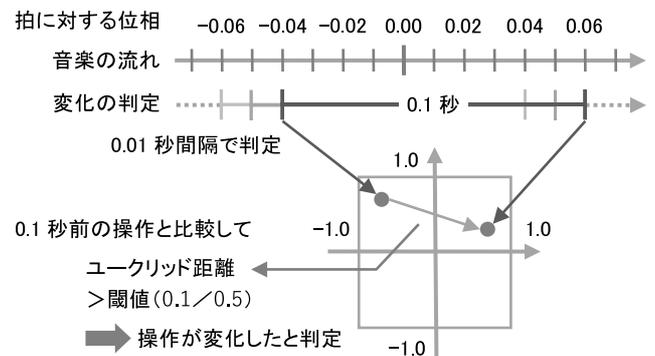


図4 操作の変化の判定方法

Fig. 4 Method to judge whether operations changed.

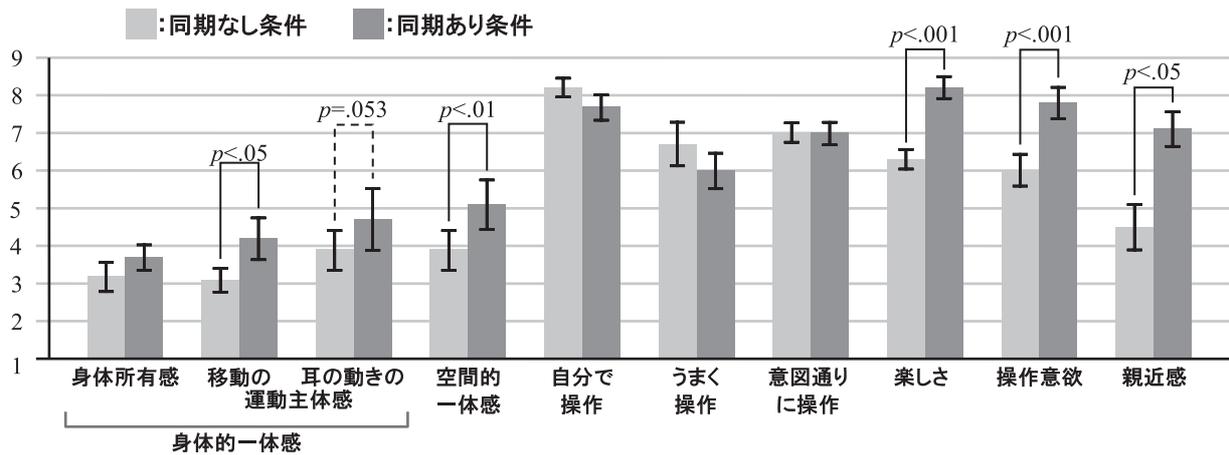


図 5 アンケート評価の結果

Fig. 5 Result of the questionnaire evaluation.

4.6 結果

4.6.1 アンケート

アンケート項目の平均値を図 5 に示す. 図中のエラーバーは標準誤差を示している. また, 対応あり t 検定で同期なし/同期あり条件を比較した結果を図中に示す. t 検定の結果, 移動の運動主体感 ($t(9) = 2.400, p < .05$), 空間的一体感 ($t(9) = 3.674, p < .01$), 楽しさ ($t(9) = 5.460, p < .001$), 操作意欲 ($t(9) = 5.014, p < .001$), 親近感 ($t(9) = 3.228, p < .05$) の項目で同期なし条件よりも同期あり条件の方が有意に高いことが分かった. また, 耳の運動主体感の項目で, 同期なし条件よりも同期あり条件の方が高い傾向が見られた ($t(9) = 2.228, p = .053$). また, 身体所有感と操作感についてはいずれの項目でも有意な差は見られなかった.

これらの結果をまとめると, 身体的一体感については, 音楽同期動作の提示は操作感を低下させることなく移動の運動主体感を強化したが, 身体所有感を強化する効果はなかった. また, 音楽同期動作の提示は空間的一体感を強化した. さらに, 音楽同期動作の提示によって, ロボットの遠隔操作の楽しさ, 操作意欲, ロボットへの親近感が向上した.

4.6.2 音楽同期操作

図 6 に, 操作の変化の回数を位相表示したヒストグラムを実験条件 (同期なし/同期あり) および閾値 (0.1/0.5) 別に示す. 拍のタイミングと変化の回数との関係が分かりやすいように中央の 0 秒を拍のタイミングとし, 拍の 1 周期 (-0.25 秒から 0.25 秒の範囲) を 0.02 秒の階級幅で 25 の階級を設定した.

閾値が 0.1 の場合, 同期なし条件はほぼ平坦であるのに対し, 同期あり条件では拍の周辺で度数が高くなっていることが見受けられる. 一方, 閾値が 0.5 の場合には, 同期なし条件にわずかな起伏が見られる. カイ二乗検定によって実験条件の度数分布を比較した結果, 閾値が 0.1 の場合

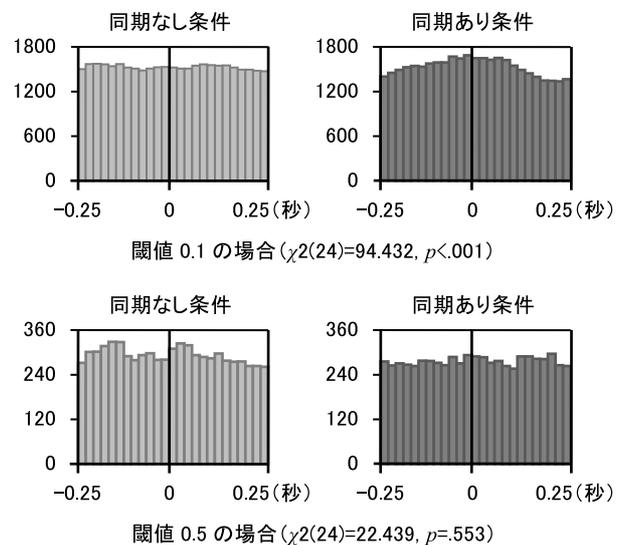


図 6 操作の変化回数のヒストグラム

Fig. 6 Histograms of the number of operation change.

には実験条件間に有意な差があったが ($\chi^2(24) = 94.432, p < .001$), 閾値が 0.5 の場合には有意な差は認められなかった ($\chi^2(24) = 22.439, p = .553$).

いずれの条件においても音楽を再生していたため, 音楽同期操作が行われた可能性がある. しかしながら, 閾値 0.1 の同期なし条件や, 閾値 0.5 の両条件では, 遠隔操作の上手さや音楽への乗り方等の実験協力者の個人差によって音楽同期操作の位相にばらつきが生じた結果, 起伏の少ないヒストグラムになった可能性が考えられる. これを確認するため, 図 7 に実験協力者ごとの度数分布の最頻値を箱ひげ図に表した. この図を見て分かるように, 閾値が 0.1 の場合には, 同期なし条件では大きくばらついているのに対し, 同期あり条件ではばらつきが小さく, 拍の周辺にかたまっていることが見受けられる. 等分散検定を行った結果, 同期あり条件 (標準誤差: 0.021) の方が同期なし条件 (標準誤差: 0.054) よりも有意に分散が小さいこ

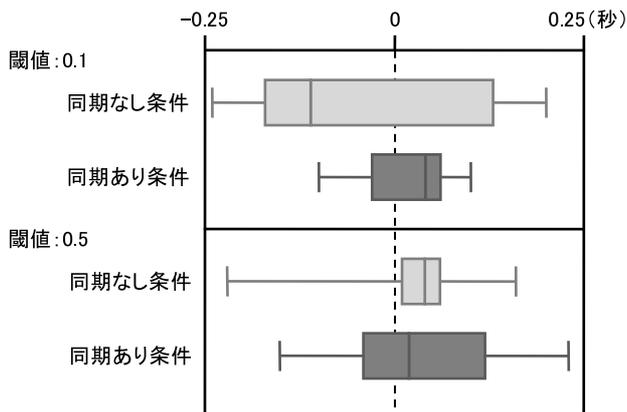


図 7 操作の変化回数の最頻値の箱ひげ図

Fig. 7 Box plot of the mode of the number of operation change.

とが分かった ($F(1,9) = 6.785, p < .01$). さらに、最頻値と拍の近さ(最頻値の絶対値)を対応あり t 検定で比較した結果、同期あり条件(平均:0.060, 標準誤差:0.009)の方が同期なし条件(平均:0.162, 標準誤差:0.015)よりも有意に最頻値が拍のタイミングに近いことが示された ($t(9) = -5.447, p < .001$). この結果から、同期あり条件では、音楽同期動作の提示によって、小さな操作の変化として音楽同期動作が行われていたといえる。

一方、閾値が 0.5 の場合には、同期なし条件の方が同期あり条件よりもばらつきが小さいように見える。同様に等分散検定を行った結果、同期なし条件(標準誤差:0.034)と同期あり条件(標準誤差:0.043)に有意な差はなかった ($F(1,9) = 0.632, p = .505$). また、最頻値と拍の近さについても、同期なし条件(平均:0.082, 標準誤差:0.022)と同期あり条件(平均:0.116, 標準誤差:0.025)に有意な差はなかった ($t(9) = 0.910, p = .387$). この結果から、大きな操作の変化としての音楽同期動作はいずれの条件においてもある程度行われていたといえる。

5. 考察

5.1 身体的一体感

移動ロボットとの身体的一体感を示す心理指標として遠隔操作中に感じる身体所有感と運動主体感を評価した。実験の結果、ロボットの音楽同期動作を操作者に提示すると、移動の運動主体感が強化される可能性が示唆されたが、身体所有感が強化される効果は見られなかった。先行研究では、身体性が大きく異なる人工物に対しては身体所有感が得られにくいことが分かっており [41]、本研究で利用した移動ロボットが人型と大きく乖離していたことが原因で身体所有感が得られにくかったと考えられる。

音楽同期動作の提示によって移動の運動主体感は有意に強化されたのに対し、耳の運動主体感においては有意傾向であった。耳の動きは、ロボットの移動状態をフィードバックするだけでなく、音楽同期動作を自律的に行うため、

移動の操作と異なり、操作者が完全に制御できるわけではない。このことが、耳の運動主体感が強化されにくかった原因であると考えられる。また、人の動きとは大きく乖離した耳の動きが、操作者にとって自らの動きとして想像しにくかったことが原因であった可能性も考えられる。耳によって音楽のリズムをとる表現は、アニメやゲーム等のキャラクターにおいてしばしば見られる表現であり、それらに馴染みのある操作者にとってはロボットの耳の動きであっても運動主体感を感じやすい可能性が考えられる。そうではない操作者にとっては、耳ではなく、手足や頭の動きによって音楽同期動作を提示した方が、その部位の運動主体感を感じやすいかもしれない。音楽同期動作の提示によって、操作者の制御下でないロボットの自律的な運動に対しても運動主体感が強化されるか調査することや、操作者の特性(音楽同期動作の提示の仕方に馴染みがあるかどうか)によって音楽同期動作の効果が変化するかどうか調査することは今後の課題である。

本研究の提案手法である音楽同期動作の提示は、移動ロボットの既存の操作手法においても容易に適用することが可能である。本研究で得られた移動の運動主体感のスコアは決して高いとはいえないが、ロボットに搭載されているカメラの映像を HMD で提示する等、高い臨場感が得られるインターフェースを用いることで、提案手法の効果はより高いものになる可能性がある。また、人型のロボットの遠隔操作においては、提案手法によって身体所有感が強化できるかもしれない。これらの仮説を検証することも今後の課題である。

5.2 音楽同期操作

移動や耳の運動主体感の評価において、同期なし条件よりも同期あり条件により高いスコアをつけた実験協力者は、音楽に乗っている自分と同じようにロボットも音楽に乗っているように感じたことを理由として述べていた。実験協力者が音楽に乗ることで、音楽の拍に応じて操作を変化させる音楽同期操作が行われると考え、操作の変化の大小に分けてその回数を分析した。その結果、大きな操作の変化での音楽同期操作はいずれの条件でも行われていたが、音楽同期動作を提示した同期あり条件では、小さな操作の変化としての音楽同期操作も行われていたことが分かった。このことから、音楽同期動作を提示した同期あり条件では、実験協力者の音楽同期操作が促進され、実験協力者とロボットとの同期が高まったことによって運動主体感が強化された可能性が考えられる。

いずれの条件においても見られた大きな操作の変化としての音楽同期動作は、実験協力者が意識的に行ったものかもしれない。これに対し、小さな操作の変化としての音楽同期操作は、視覚的なテンポの提示である音楽同期動作と聴覚的なテンポの提示である音楽とを組み合わせる効果に

よって潜在的に実験協力者の操作に影響を与えたものである可能性が考えられる。タッピング課題に関する先行研究では、視覚刺激よりも聴覚刺激でリズムを提示した方が、正確にタッピングが行われることが分かっている [32]。また、非同期のリズムを視覚刺激と聴覚刺激で提示した場合、タッピングへの影響は聴覚刺激の方が大きいことも分かっている [33]。しかしながら、視覚刺激であっても、点滅によるリズムの提示ではなくメトロノームやボールが弾む映像のように予測しやすい視覚的なリズムの提示においては、聴覚刺激と同等の効果があることも明らかになっている [11], [13]。本研究ではリズムに合わせて移動ロボットを遠隔操作することは課題にはしていないためタッピング課題とは異なるが、耳を傾けるという音楽同期動作はメトロノームの動きに近く、ある程度動きが予測しやすかったことが音楽同期操作を促進した可能性がある。

本研究で用いた音楽同期動作は、耳を 0.05 秒で 5 度傾けるという小さいものであったが、どこまで小さい動作で音楽同期操作を誘発できるか調査することは今後の課題である。また、動きを大きくする等、より予測しやすい音楽同期動作を提示することで音楽同期操作が促進されるか調査することも今後の課題である。

図 7 の箱ひげ図を見ると、音楽同期操作が行われたと思われる閾値 0.1 の同期あり条件と閾値 0.5 の両条件の中央値から、音楽同期操作は拍から 20~40 ミリ秒程度から遅れて行われていた可能性がある。これは拍のタイミングより数十ミリ秒前にタッピングが行われるというタッピング課題で見られる傾向 [13] とは異なっており、遠隔操作環境の遅延や、映像でロボットが動いていることを知覚するまでの遅延等の人間の認知的な性質が起因している可能性がある。そのような遅延が音楽同期操作にどのように作用するのか明らかにすることは今後の課題である。

5.3 空間的一体感

ロボットの音楽同期動作を提示することで、空間的一体感が強化される効果も見られた。同期あり条件においてロボットとの空間的一体感に高いスコアを付けた 7 名は、自由記述において音楽に合わせてロボットが動いていたことや、ロボットが自分と同じ曲を聴いているように感じたことに言及していた。インタビューではこれについて、同期なし条件では操作の遅延が気になったが、同期あり条件では、自分が聴いている音楽に合った耳の動きを見ていると操作の遅延が気にならなくなったという意見が得られた。つまり、操作の遅延は空間的一体感に悪影響だが、遅延があるにもかかわらず、操作者がいる部屋で再生されている音楽に同期して別の部屋にいるロボットが動いているという現象が遅延のマイナス効果を打ち消し、空間的一体感が強化されたと考えられる。

実験では、聴覚情報として音楽に集中させるため、ロボッ

ト側の部屋の音声は実験協力者に提示しなかった。それを理由にロボットとの空間的一体感のスコアを低くつけた実験協力者がいたことから、ロボットが発する音を操作者にフィードバックすることも空間的一体感を向上させるかもしれない。また、遠隔対話システムに関する先行研究では、離れた場所にいる対話相手と同じ長椅子に座っている状況を再現し、相手の起立/着席動作に同期して長椅子を振動させると空間的一体感が増すことが報告されている [27]。この知見から、ロボットの音楽同期動作に合わせてコントローラや操作者の椅子を振動させる等、触覚フィードバックを与えることもロボットとの空間的一体感を強化するかもしれない。聴覚や触覚等、視覚以外のモダリティでロボットの動きが音楽と同期していることを操作者に提示する効果を調査することは今後の課題である。

5.4 操作感

遠隔操作とは無関係な自律的な動きである音楽同期動作を提示することは、操作感を低下させる可能性が考えられたが、そのような影響は見られなかった。しかしながら、自分で操作した感覚、うまく操作できた感覚の項目の平均値はわずかに同期あり条件が同期なし条件よりも低いことがうかがえる。自由記述では、ロボットの音楽同期動作を操作画面で提示したことにより気が散ったことが主な理由として述べられていた。操作の邪魔にならないようにロボットの音楽同期動作を提示するためには、前節で述べたように聴覚や触覚等の視覚以外のモダリティを用いる方法が考えられる。音楽同期動作をより適切な方法で操作者に提示するインタフェースを検討することは今後の課題である。

5.5 音楽同期動作の付随的效果

ロボットの音楽同期動作の提示には、運動主体感や空間的一体感を強化する効果だけでなく操作の楽しさ、操作意欲、ロボットへの親近感を向上させる効果もある可能性が示唆された。自由記述欄によると、これらの項目において同期なし条件よりも同期あり条件に高いスコアをつけた理由は類似しており、ロボットが自分と同じように音楽に乗っていることや、それによって可愛さ、生物らしさを感じたことが主にあげられていた。つまり、ペットと一緒に散歩している感覚のように、操作者自身とは異なる生物と一緒に移動している感覚がロボットの音楽同期動作によって創出されたと考えられる。この感覚は、ロボットを自分の身体であると感じる身体所有感には悪影響であり、身体性の差異と同様に身体所有感が強化されなかった原因の 1 つであると思われる。アトラクションの用途で人工物を操作するアプリケーションでは、本研究で使用したロボットの耳のように人とは身体性が異なる部位で音楽同期動作を提示することが楽しさを向上させるうえで有効かもしれない。また、身体所有感を重視し、ロボットの生物らしさを

感じさせずに音楽同期動作を提示するためには、ロボットのどのような身体部位を使用することが適切か検討することは今後の課題である。

先行研究におけるリズムインタラクションの効果はほとんど子どもを対象に行われていたため、そのような先行研究で報告されたリズムインタラクションのプラス効果が大人にも適用できるかは明らかになっていなかった。本研究では、大学生を対象に実験を行い、音楽同期動作の提示によって、操作の楽しさ、操作意欲、ロボットへの親近感を向上させるプラス効果が確認されたことから、リズムインタラクションの効果は大人にも適用できる可能性が示された。

5.6 音楽のテンポ

本研究では、120BPMの音楽を聴きながらロボットの移動を遠隔操作する場合において音楽同期動作を提示する効果を検証した。どの程度のテンポの楽曲であればその効果が得られるか、音楽のテンポの違いによる人の行動への影響を調査した先行研究の知見から考察する。

レストランにおける客の行動に与える影響を調査した研究では、客がテーブルにとどまった時間は、流れている音楽のテンポが速い場合(92BPM以上)の方が遅い場合(72BPM以下)よりも短いことが示されている[25]。また、スーパーマーケットにおける客行動に与える影響を調査した研究では、客の流れの速さは、流れている曲のテンポが速い場合(94BPM以上)の方が遅い場合(72BPM以下)や音楽が流れていない場合よりも速いこと、曲のテンポが遅い場合には音楽が流れていない場合と変わらないことが示されている[24]。さらに、移動ロボットの遠隔操作と類似したタスクで音楽のテンポの影響を調査した例としては、車の運転に与える影響を調査した研究があげられる[6]。この研究では、音楽がない場合と3段階のテンポを比較しており(slow:70BPM以下, medium:85~110BPM, fast:120BPM以上)、運転の速さは音楽のテンポが速いほど速くなることが示されている。これらの研究で報告された現象は音楽のテンポに人の振舞いが同期することが起因していると考えられる[42]。

これらの知見から、92BPM以上の速いテンポの音楽が人の行動に顕著な影響を与えると考えられる。また、100~120BPMのテンポは人の知覚や運動において快適であることが知られており[42]、ロボットの音楽同期動作においても、この範囲の速いテンポの音楽とともに提示することが効果的に働く可能性がある。この仮説を検証するため、様々なテンポの音楽で音楽同期動作の効果を調査することは今後の課題である。

6. まとめ

本研究では、遅延のある遠隔操作環境において、人とは身体性が大きく異なる移動ロボットと操作者との身体的・

空間的一体感を強化するため、音楽を用いる方法を提案した。その提案手法は、操作者が聴いている音楽のテンポに同期したロボットの自律的な動き(音楽同期動作)を操作者に提示するものである。実験の結果、音楽同期動作の提示によって、身体的一体感の1つである移動の運動主体感が強化されることが示された。音楽同期動作を提示すると音楽の拍に同期した操作が促進される傾向が見られたことから、操作者と移動ロボットが同調することで身体的一体感が強化された可能性がある。

また、操作者の部屋で再生されている音楽に同期してロボットが動いていることにより、空間的一体感(ロボットと同じ空間にいる感覚)が強化されることも示された。この手法は、既存の遠隔操作ロボットのインタフェースに容易に適用することが可能であり、臨場感を重視したHMDを用いたインタフェースと組み合わせることでより効果的に働くことが期待できる。

先行研究では、人とロボットの身体性や運動を可能な限り一致させ、その同期を視覚的、触覚的にフィードバックすることで高い身体的一体感生み出すアプローチがとられてきた。これに対し、本研究の手法は、音楽のテンポに合わせて左右に動く等、非常に単純な機能をロボットに持たせるだけで実現できるという利点がある。今後、音楽に限らず、貧乏ゆすり、動揺、瞬き、心拍等の操作者の周期的動作に同期した自律動作を提示する効果や、そのようなロボットの同期動作を視覚以外のモダリティで操作者に提示する効果を検証しながら、様々なアプリケーションへの応用可能性を探っていきたい。

参考文献

- [1] Adams, J.A. and Kaymaz-Keskinpala, H.: Analysis of Perceived Workload when using a PDA for Mobile Robot Teleoperation, *Proc. ICRA2004* (2004).
- [2] Bailenson, J.N. and Yee, N.: Digital Chameleons, *Psychological Science*, Vol.16, No.10, pp.814-819 (2005).
- [3] Banakou, D., Groten, R. and Slater, M.: Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes, *Proc. National Academy of Sciences*, Vol.110, No.31, pp.12846-12851 (2013).
- [4] Becker-Asano, C., Gustorff, S., Arras, K.O. and Nebel, B.: On the Effect of Operator Modality on Social and Spatial Presence during Teleoperation of a Human-Like Robot, *3rd International Symposium on New Frontiers in Human-Robot Interaction at AISB50* (2014).
- [5] Bergström, L., Kiltner, K. and Slater, M.: First-Person Perspective Virtual Body Posture Influences Stress: A Virtual Reality Body Ownership Study, *PLoS ONE*, Vol.11, No.2, e0148060 (2016).
- [6] Brodsky, W.: The effects of music tempo on simulated driving performance and vehicular control, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.4, No.4, pp.219-241 (2001).
- [7] Bruemmer, D.J., Marble, J.L., Few, D.A., Boring, R.L., Walton, M.C. and Nielsen, C.W.: Shared understand-

- ing for collaborative control, *IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics–Part A Systems and Humans*, Vol.35, No.4, pp.494–504 (2005).
- [8] Caspar, E.A., Beir, A.D., Magalhaes De Saldanha Da Gama, P.A., Yernaux, F., Cleeremans, A. and Vanderborght, B.: New frontiers in the rubber hand experiment: When a robotic hand becomes one’s own, *Behavior Research Methods*, Vol.47, No.3, pp.744–755 (2015).
- [9] Coltin, B., Biswas, J., Pomerleau, D.A. and Veloso, M.M.: Effective Semi-autonomous Telepresence, Computer Sciences Commons, *RoboCup 2011: Robot Soccer World Cup XV*, pp.365–376 (2011).
- [10] Farkhatdinov, I., Ryu, J.H. and Poduraev, J.: A user study of command strategies for mobile robot teleoperation, *Intelligent Service Robotics*, Vol.2, No.2, pp.95–104 (2009).
- [11] Hove, M.J., Iversen, J.R., Zhang, A. and Repp B.H.: Synchronization with competing visual and auditory rhythms: bouncing ball meets metronome, *Psychological Research*, Vol.77, No.4, pp.388–398 (2013).
- [12] Hwang, J.H., Arkin, R.C. and Kwon, D.S.: Mobile robots at your fingertip: Bezier curve on-line trajectory generation for supervisory control, *Proc. IROS2003* (2003).
- [13] Iversen, J.R., Patel, A.D., Nicodemus, B. and Emmorey, K.: Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals, *Cognition*, Vol.134, pp.232–244 (2015).
- [14] Jouppi, N.P.: First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence, *Proc. CSCW 2002*, pp.354–363 (2002).
- [15] Kilteni, K., Groten, R. and Slater, M.: The Sense of Embodiment in Virtual Reality, *Presence*, Vol.21, No.4, pp.373–387 (2012).
- [16] Kilteni, K., Bergstrom, I. and Slater, M.: Drumming in immersive virtual reality: The body shapes the way we play, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol.19, No.4, pp.597–605 (2013).
- [17] Kirschner, S. and Tomasello, M.: Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children, *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol.102, No.3, pp.299–314 (2008).
- [18] Kirschner, S. and Tomasello, M.: Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children, *Evolution and Human Behavior*, Vol.31, No.5, pp.354–364 (2010).
- [19] Kristoffersson, A., Coradeschi, S. and Loutfi, A.: A review of mobile robotic telepresence, *Advances in Human-Computer Interaction Archive*, Vol.2013, No.3 (2013).
- [20] Kuzuoka, H., Yamazaki, K., Yamazaki, A., Kosaka, J., Suga, Y. and Heath, C.: Dual Ecologies of Robot as Communication Media: Thoughts on Coordinating Orientations and Projectability, *Proc. CHI 2004*, pp.183–190 (2004).
- [21] Livatino, S. and Muscato, G.: Stereo Viewing and Virtual Reality Technologies in Mobile Robot Teleguide, *IEEE Trans. Robotics*, Vol.25, No.6, pp.1343–1354 (2009).
- [22] Martins, H. and Ventura, R.: Immersive 3-D Teleoperation of a Search and Rescue Robot Using a Head-Mounted Display, *Proc. ETFA2009*, pp.340–347 (2009).
- [23] Michalowski, M.P., Sabanovic, S. and Kozima, H.: A dancing robot for rhythmic social interaction, *Proc. HRI2007*, pp.89–96 (2007).
- [24] Milliman, R.E.: Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers, *Journal of Marketing*, Vol.46, No.3, pp.86–91 (1982).
- [25] Milliman, R.E.: The Influence of Background Music on the Behavior of Restaurant Patrons, *Journal of Consumer Research*, Vol.13, No.2, pp.286–289 (1986).
- [26] Morita, T., Mase, K., Hirano, Y. and Kajita, S.: Reciprocal Attentive Communication in Remote Meeting with a Humanoid Robot, *Proc. ICMI 2007*, pp.228–235 (2007).
- [27] Nakanishi, H., Tanaka, K., Kato, R., Geng, X. and Yamashita, N.: Robotic Table and Bench Enhance Mirror Type Social Telepresence, *Proc. DIS2017*, pp.779–790 (2017).
- [28] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI 2014*, pp.2143–2152 (2014).
- [29] Ogawa, K., Taura, K., Nishio, S. and Ishiguro, H.: Effect of perspective change in body ownership transfer to teleoperated android robot, *Proc. RO-MAN2012*, pp.1072–1077 (2012).
- [30] Okura, F., Ueda, Y., Sato, T. and Yokoya, N.: Teleoperation of Mobile Robots by Generating Augmented Free-viewpoint Images, *Proc. IROS2013* (2013).
- [31] Paulos, E. and Canny, J.: Social Tele-Embodiment: Understanding Presence, *Autonomous Robots*, Vol.11, No.1, pp.87–95 (2001).
- [32] Repp, B.H.: Rate limits in sensorimotor synchronization with auditory and visual sequences: The synchronization threshold and the benefits and costs of interval subdivision, *Journal of Motor Behavior*, Vol.35, No.4, pp.355–370 (2003).
- [33] Repp, B.H. and Penel, A.: Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms, *Psychological Research*, Vol.68, No.4, pp.252–270 (2004).
- [34] Riley, J.M., Kaber, D.B. and Draper, J.V.: Situation Awareness and Attention Allocation Measures for Quantifying Telepresence Experiences in Teleoperation, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol.14, No.1, pp.51–67 (2004).
- [35] Roussou, M., Trahanias, P., Giannoulis, G., Kamarinos, G., Argyros, A., Tsakiris, D., Georgiadis, P., Burgard, W., Haehnel, D., Cremers, A., Schulz, D., Moors, M., Spirtounias, E., Marianthi, M., Savvaides, V., Reitelman, A., Konstantios, D. and Katselaki, A.: Experiences from the Use of a Robotic Avatar in a Museum Setting, *Proc. VAST2001*, pp.153–160 (2001).
- [36] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M.V. and Blanke, O.: First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality, *PLoS ONE*, Vol.5, No.5, e10564 (2010).
- [37] Tachi, S., Komoriya, K., Sawada, K., Nishiyama, T., Itoko, T., Kobayashi, M. and Inoue, K.: Telexistence cockpit for humanoid robot control, *Advanced Robotics*, Vol.17, No.3, pp.199–217 (2003).
- [38] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Physical Embodiment Can Produce Robot Operator’s Pseudo Presence, *Frontiers in ICT*, Vol.2, No.8 (2015).
- [39] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Appearance, Motion, and Embodiment: Unpacking Avatars by Fine-grained Communication Analysis, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol.27, No.11, pp.2706–2724 (2015).
- [40] Tanaka, K., Takenouchi, K., Ogawa, K., Yoshikawa, Y.,

Nishio, S. and Ishiguro, H.: Maintaining the Sense of Agency in Semi-Autonomous Robot Conferencing, *Future Internet*, Vol.11, No.7, p.143 (2019).

- [41] Tsakiris, M., Carpenter, K., James, D. and Fotopoulou, A.: Hands only illusion: Multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects, *Experimental Brain Research*, Vol.204, No.3, pp.343-352 (2010).
- [42] 栗林龍馬, 入戸野宏: 背景音のテンポが行動ベースに与える効果, *人間科学研究*, Vol.9, pp.17-29 (2014).
- [43] 伴 碧, 高橋英之: ロボットとのリズム相互作用は子どもの描画に「目」を与える, *日本認知科学会第34回大会*, OS11-7, pp.418-420 (2017).



小原 宗一郎 (学生会員)

2018年京都工芸繊維大学工芸科学部情報工学課程卒業。現在、同大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程に在学中。



高橋 ともみ (学生会員)

2017年京都工芸繊維大学工芸科学部情報工学課程卒業。2019年同大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在、同研究科設計工学専攻博士後期課程に在学中。高い社会的存在感を有するエージェントの開発に興味を持つ。人工知能学会学生会員。



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。2008年同大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。2010年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任研究員。2011年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任助教等を経て、2017年より京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系助教。人とインタラクションを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。



小川 浩平

2010年公立ほこだて未来大学博士課程(後期)修了。システム情報科学博士。その後、ATR 知能ロボティクス研究所、大阪大学基礎工学研究科講師等を経て、2019年より名古屋大学工学研究科准教授。専門は、知能ロボット学、ヒューマンエージェントインタラクション等。2001年ヒューマンインタフェース学会論文賞受賞。2017年文化庁メディア芸術祭アート部門優秀賞受賞。



吉川 雄一郎

2005年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2005年ATR 知能ロボティクス研究所研究員、2006年JST ERATO 浅田共創知能システムプロジェクト研究員、2010年8月大阪大学大学院基礎工学研究科講師、2013年4月同准教授。博士(工学)。日本ロボット学会、日本認知科学会、日本ヴァーチャルリアリティ学会、日本児童青年精神医学会、日本小児精神神経学会の各会員。



石黒 浩 (正会員)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、京都大学情報学研究科助教授、大阪大学工学研究科教授等を経て、2009年より大阪大学基礎工学研究科教授。ATR 石黒浩特別研究所客員所長(ATRフェロー)。専門は、ロボット学、アンドロイドサイエンス、センサネットワーク等。2011年大阪文化賞受賞。2015年文部科学大臣表彰受賞。



岡 夏樹 (正会員)

1979年東京大学工学部計数工学科卒業。(財)新世代コンピュータ技術開発機構、松下電器産業(株)等を経て、2003年より京都工芸繊維大学教授、現在に至る。認知発達、特に日常的なインタラクションを通じた言葉の意味の獲得の計算モデルの構築とその工学的応用を目指している。博士(工学)。FIT2007論文賞他受賞。日本認知科学会、人工知能学会、Association for Computing Machinery各会員。