

音楽による操作者と移動ロボットとの一体感の創出

小原 宗一郎^{†1} 田中 一晶^{†1} 小川 浩平^{†2,3}
吉川 雄一郎^{†2,3} 石黒 浩^{†2,3} 岡 夏樹^{†1}

概要: 操作者が遠隔地でインタラクションを行うためのテレプレゼンスロボット等の移動ロボットは人と身体性が大きく異なるものが多い。そのような移動ロボットの遠隔操作において、ロボットの移動を操作者自身の移動であると感じる運動主体感や操作者がロボットと同じ部屋にいるような感覚である同室感を強化するため、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を操作者に提示する手法を提案する。実験の結果、提案手法は、操作者もロボットも同じように音楽に乗っているという感覚によって、身体性が異なるロボットの操作であっても運動主体感や同室感を強化できることが分かった。また、音楽を聴きながらの通常の遠隔操作では、コースとは無関係に蛇行する等の不必要と思われる操作が多数観察されたが、提案手法には、そのような操作を抑制する効果があることも分かった。

1. はじめに

近年、テレプレゼンスロボットなど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。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など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[12][17][18][22][27][29]。

しかしながら、そのようなロボットを介した遠隔地の移動は、タブレット端末やコントローラ等の手で操作する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伴わないため、操作者がそのロボットと一体となって遠隔地を移動しているという感覚（以下、一体感と呼ぶ）は十分とは言えない。また、ロボットの遠隔操作に遅延があるなど操作の不自由さがある場合や[25][28]、ロボットの形状が操作者と大きく異なる場合には、ロボットとの一体感が低下する可能性がある。

本研究の目的は、操作に遅延のある環境で身体性が異なる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一体感を強化することである。一般的に、人とロボットとの一体感については、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) と定義されることが多く、本研究においてもこれらの感覚を強化することを試みた。

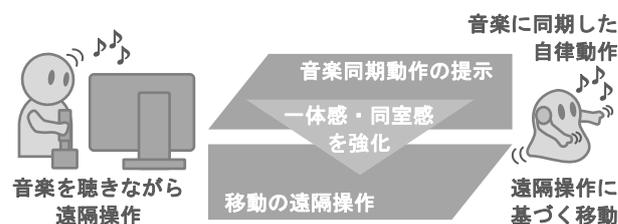


図1 音楽でロボットとの一体感・同室感を強化するアイデア

その方法として、音楽で操作者とロボットの一体感を高めることが本研究のアイデアである (図1)。人は音楽など外部から与えられたリズムに身体動作を同期させる能力を持っている[15]。例えば、音楽を聴きながら歩くと、つい音楽の拍子に腕振りや足のはこびを合わせてしまうなど、身体動作が音楽と同期することがある。この現象を利用し、遠隔操作のときに音楽を流し、ロボットも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錯覚し、ロボットとの一体感が得られるのではないかと考えた。しかしながら、操作の主目的であるロボットの移動に操作者が意図しない動きが含まれていると、逆に一体感を損ねることが懸念される。そこで、図1に示すように、ロボットの移動動作は変更せずに、歩行の際の腕振りのような移動とは直接関係しないロボットの音楽同期動作を提示することで、操作の主目的である移動の運動主体感が強化されることを期待した。

2. 音楽同期動作による一体感創出手法

2.1 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

†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
†2 大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science Osaka University
†3 科学技術振興機構, ERATO
ERATO, Japan Science Research Institute International

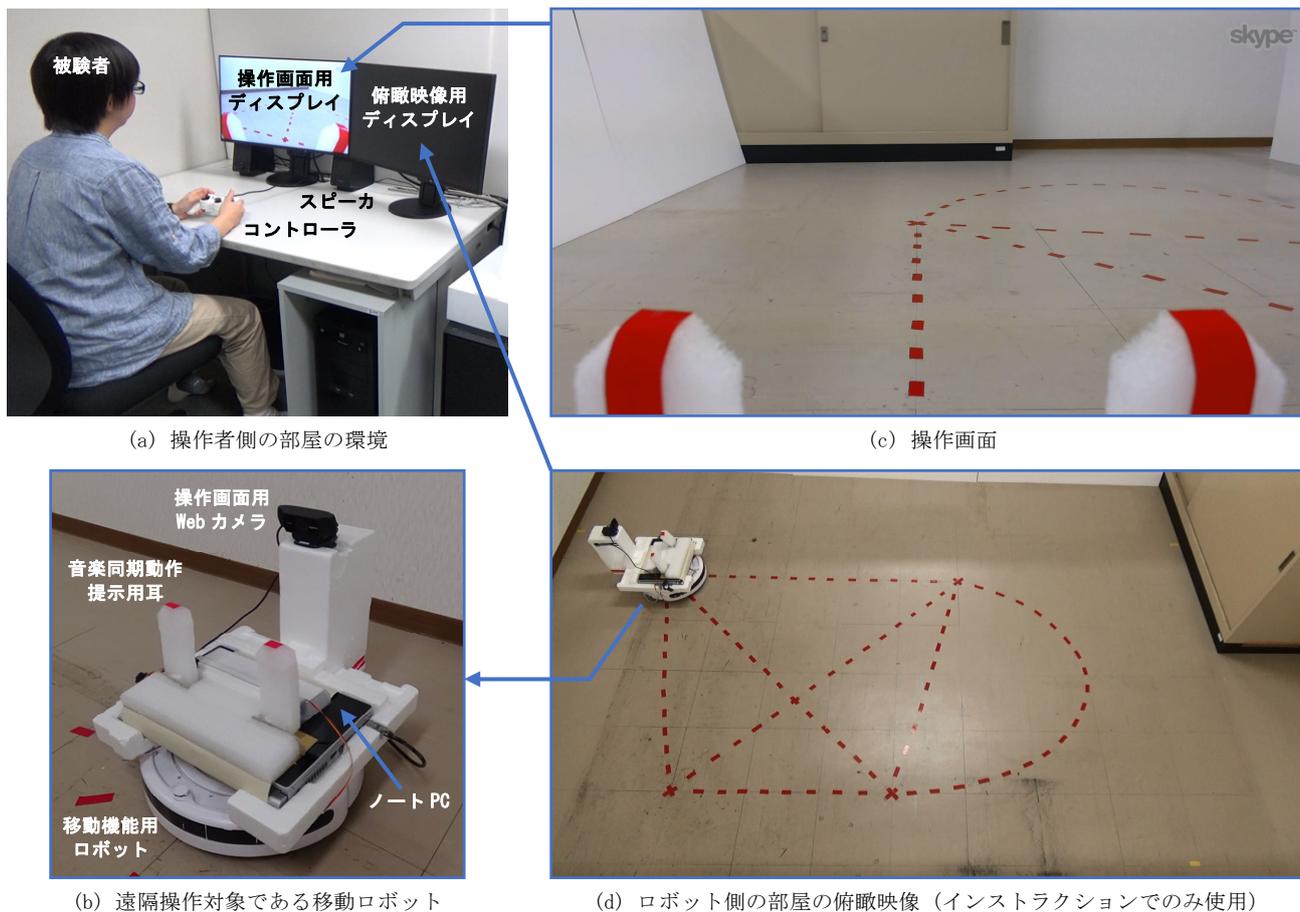


図2 実験環境と装置

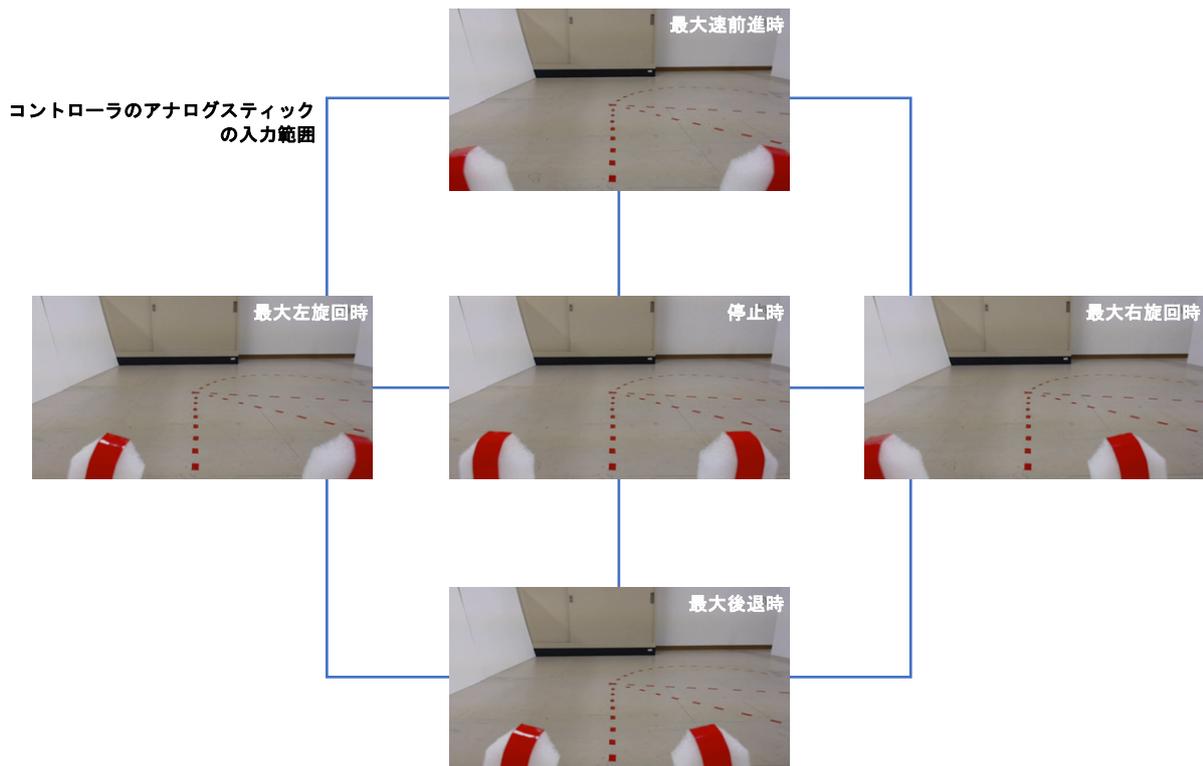
サーボモータはマイコンボードを介してノート PC と繋がっており、ロボットと同じようにシリアル通信でコントロールした。ロボットの移動と耳の動きを操作者に提示するための Web カメラはロボットの後方に設置し、ノート PC に接続した。解像度は 1920x1080 であり、操作者側の部屋にある 30 インチのディスプレイにおいてロボットの進行方向の様子や耳の動きが十分に見えるように画角を調整した (図 2(c))。

操作者側の部屋 (図 2(a)) には Web カメラの映像を表示するディスプレイの他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。この環境において、映像の遅延時間は約 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

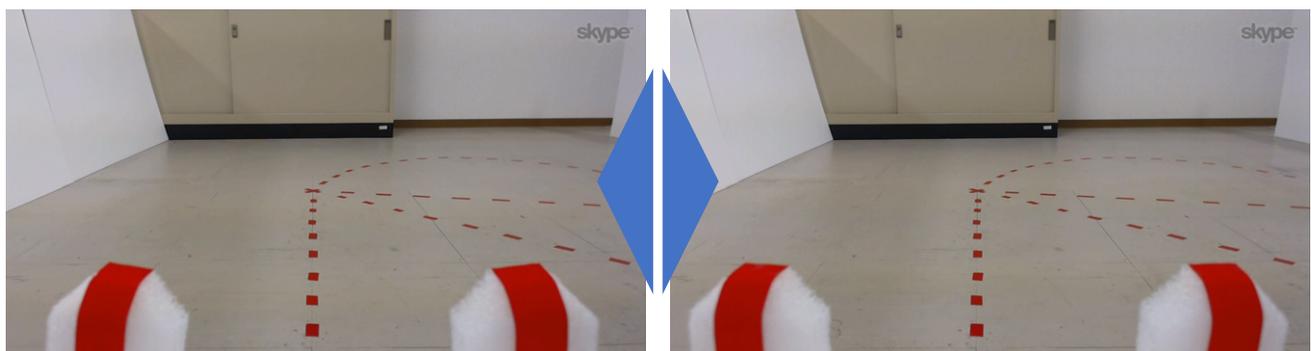
じて前進/後退し、左右に倒す度合いに応じて左右に旋回する。前進/後退の最大速度は約 0.14m/秒であり、旋回の最大速度は約 42 度/秒とした。

2.2 ロボットの耳の動き

操作者側の部屋のスピーカから音楽を再生し、拍の 0.05 秒前から動きだし、その拍の時点で耳を内側に 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))。拍とこの耳の動きが映像上で同期して見えるように、映像の遅延時間を考慮して動きのタイミングを調整した。また、ロボットの耳には、音楽の拍子との同期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ーフェースには、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。また後述の実験では、音楽の拍子に同期して耳が動く音楽同期動作の有無を比較するが、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 (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る。



(a) 耳の動きによるロボットの状態の視覚的提示（同期なし／同期あり条件共通）



(b) 耳による音楽同期動作の提示（同期あり条件のみ）

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

3. 関連研究

3.1 操作者とロボットとの一体感

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）との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][14][25][30]。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[14][30]。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[34]、操作の遅延が大きい場合には[25]、身体所有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一体感の創出に有効ではないかもしれない。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遠隔操作とは直接関係しない部分的なロボットの動きを映像上で同期させれば良いため、遅延や身体性の影響を受けにくい可能性があると考えた。

3.2 移動ロボットの操作手法

先行研究では、移動ロボットの操作手法が数多く提案されている。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デバイスを用いるものが多く[1][7][9][10][12][18][27]、タスク効率を向上させるためのインタフェースが提案されている[1][7][18]。そのようなインタフェースでは、ロボット搭載のカメラ映像だけでなく、マップ情報や操作入力状態をフィードバックする図と一緒に提示されているなどの工夫が行われているが[7][9][27]、ロボットとの一体感を創出する工夫はほとんど行われていない。ロボ

ットとの一体感を創出することに着目した操作手法としては、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ことや[4][19][20][26][31]、ロボットを介して触覚フィードバックを行うこと[31]等が挙げられる。これらの工夫によって操作者自身が遠隔地を移動しているような臨場感を得ることができる。本研究の提案手法は、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との一体感をより強化できると考えている。

3.3 移動ロボットの操作手法

音楽に合わせて踊るなど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[16]。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、子どもはより拍子を合わせることも分かっている[15]。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、音楽の拍子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[21]、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捉える傾向があることが知られている[35]。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、大人を対象にロボットの遠隔操作時のリズムインタラクションの効果を検証した研究は行われていない。

4. 研究課題・仮説

本研究のアイデアとして、移動ロボットの遠隔操作において、音楽同期動作を操作者に提示することで、ロボットとの一体感や同室感が強化されることを期待している。しかしながら、遠隔操作とは無関係な動きであると操作者に認識された場合には、同室感や一体感、また、ロボットを自分で操作していると感じる操作感にマイナスの影響を与えることも考えられる。後述の実験で検証する研究課題は下記の通りである。

研究課題 1: ロボットの音楽同期動作を操作者に提示すると、ロボットとの一体感が強化されるか。

研究課題 2: ロボットの音楽同期動作を操作者に提示すると、ロボットとの同室感が強化されるか。

研究課題 3: 遠隔操作とは無関係である自律的な音楽同期動作の追加は、操作感にどのような影響を与えるか。

先行研究では、音楽の拍子に同期したロボットの動きによって、子どものリズムインタラクションの従事時間が長くなることが報告されている[21]。この知見から、ロボットの遠隔操作においても、音楽同期動作は遠隔操作を楽しいと感じさせもっと操作したいという意欲(操作意欲)を向上させると考え、下記の仮説を立てた。

仮説 1: ロボットの音楽同期動作は、遠隔操作の楽しさを向上させる。

仮説 2: ロボットの音楽同期動作は、操作意欲を向上させる。

ロボットとリズムインタラクションを行うと、ロボットが機械らしい外見であっても生物であると感じる度合いが向上する可能性が示唆されている[35]。また、人型のCGキャラクターの同調的な顔の動きは肯定的な印象を与えることが知られている[2]。遠隔操作中に操作者も音楽の拍子に身体動作を同期させるならば、音楽の拍子に同期したロボットの動きは同調的であるため、人型でない移動ロボットに対しても親近感を与えられると考え、下記の仮説を立てた。

仮説 3: ロボットの音楽同期動作は、ロボットへの親近感を向上させる。

5. 実験

5.1 被験者

実験には本学の学部生である19歳～22歳の10名(男性5名、女性5名)が参加した。実験は被験者内計画であり全ての被験者は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。2つの実験条件は次節で説明する。

5.2 条件

下記の2つの実験条件において、被験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2章で説明した通りである。同期なし条件と比較して同期あり条件では一体感、同室感、操作感がどのように変化するか(研究課題1～3)、同期なし条件よりも同期あり条件で楽しさ、操作意欲、親近感が向上するか(仮説1～3)を検証した。

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に加えて音楽同期動作を行う(図3(a), (b))。

5.3 手順

被験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。その内容は下記の通りである。この説明は実際に被験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辿るようにロボットを遠隔操作するタスクを設定した。被験者へのタスクの説明は次の通りである。

- 点線上を辿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構わない。

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、同期あり条件を被験者ごとに順番を入れ替えて実施した。これらの実験で再生した音楽は、バズドラムによって拍子が分かりやすい「Call Me Maybe」を採用した。この曲の BPM (Beats Per Minute) は 120 であり曲の長さは 3 分 19 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、被験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通りである。

- 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時と同様だが、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、被験者は次節のアンケートに回答した。

5.4 アンケート

研究課題 1~3 を検証するため、ロボットとの一体感、同室感、ロボットの操作感を評価するアンケート項目を作成した。被験者は各項目に 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、全くあてはまらない、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 アバタなどの人工物との一体感は、身体所有感[8][13][14][25][30][34]や運動主体感[8][13][34]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、遠隔コミュニケーションシステムにおける同室感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[23][24][32][33]。本研究でもこの表現を用いてロボットとの同室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。
- 操作感については、下記の 3 つを設定した。
- 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通りに動いていた。

仮説 1~3 を検証するため、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を評価するアンケートも作成した。それらの項目は下記の通りである。

- ロボットの操作を楽しいと感じた。
- 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。

5.5 観察データ

遠隔操作中に操作者が音楽に合わせて頭を動かすなど、音楽の拍子に同期した身体動作を行うか、実験中の被験者の様子を録画して確認した。また、身体動作だけでなくロボットの操作を音楽の拍子に同期させる可能性も考えられるため、拍子の前後でコントローラの入力を変化させたかどうかを確認した。具体的には、音楽同期動作が開始する 0.05 秒前から、音楽同期動作が終了する 0.05 秒後の 0.1 秒間におけるコントローラの入力状態 (座標) からユークリッド距離を算出し、その値が 0.5 以上の回数を各実験条件においてカウントした。以下、この数を音楽同期操作回数と呼ぶ。

5.6 結果

アンケート項目の平均値を図 4 に、音楽同期操作回数の平均値を図 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。

5.6.1 アンケート

t 検定の結果、移動の運動主体感 ($t(9)=2.400, p<.05$)、同室感 ($t(9)=3.674, p<.01$)、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、音楽同期動作の提示は、移動の運動主体感を強化するが、身体所有感を強化する効果は見られなかった (研究課題 1)。また、音楽同期動作の提示は、同室感を強化する (研究課題 2)。そして、音楽同期動作の提示による操作感への影響は見られなかった (研究課題 3)。さらに、音楽同期動作の提示によって、ロボット

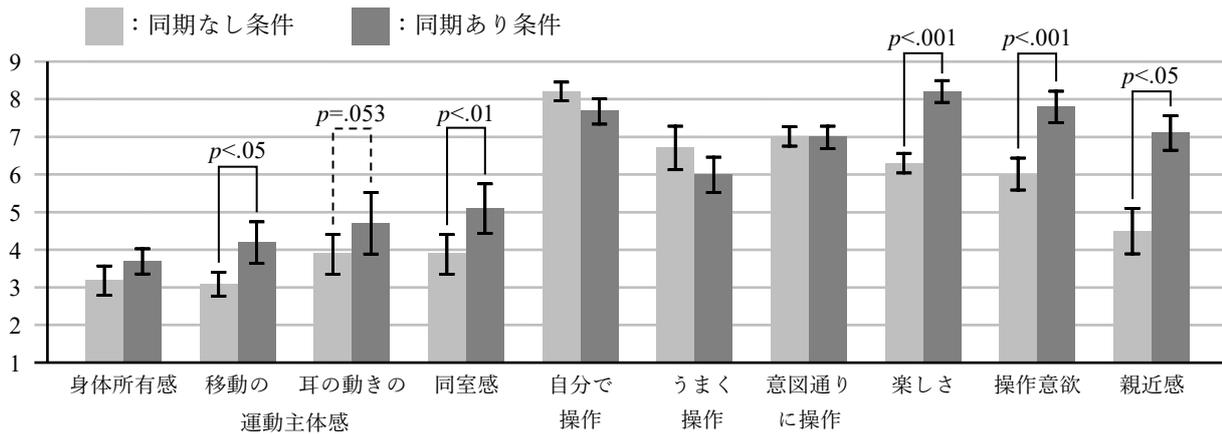


図4 アンケート評価の結果

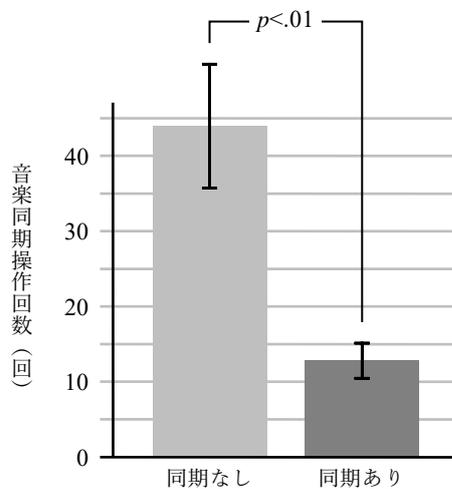


図5 音楽同期操作回数の結果

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（仮説1～3を支持）。

5.6.2 観察データ

実験中の被験者の様子を録画した映像を確認した結果、10人中2人の被験者が同期あり条件でのみ拍子に合わせて頭を上下に動かす振る舞いが見られた。また、1人の被験者は両方の条件で同様の振る舞いを行っていたが、同期あり条件でより長くより大きく頭を動かしており、その振る舞いが顕著に見られた。その他の7人についてはそのような振る舞いは見られなかった。振る舞いが観察された被験者数が少なく、その振る舞いは録画映像上で非常に小さなものであったため、回数や継続時間を正確に分析することは困難であった。この理由から統計的な分析は行えていないが、同期なし条件よりも同期あり条件において、音楽の拍子に合わせた振る舞いを行いやすい可能性が考えられる。

また、音楽同期操作回数を t 検定で比較した結果、同期あり条件よりも同期なし条件の方が有意に多いことが分かった ($t(9) = -3.497, p < .01$)。つまり、ロボットの音楽同期動作の提示が無い方が、被験者はロボットの操作を音楽の拍

子に同期させやすいことが示された。この原因については、次章で考察する。

6. 考察

6.1 一体感

本研究では、移動ロボットとの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ことが分かったが、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[34]、本研究で使った移動ロボットが人型と大きく乖離していたことが身体所有感が得られにくかった原因であると考えられる。同様に、耳の運動主体感を強化する効果が有意傾向であったのも、一般的に人の耳は動かしにくいものであり、被験者自身の動きであると感じにくかったと考えられる。

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被験者は、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。また、少数ではあるが、音楽の拍子に合わせて頭を動かす振る舞いが同期あり条件において顕著に見られた被験者がいた（10人中3人）。このことから、ロボットの音楽同期動作の提示は操作者が音楽に乗ることを促進し、音楽を介してロボットと操作者が同調することによって、身体性が大きく異なるロボットの移動や耳の動きにおいても、運動主体感が強化された可能性が考えられる。

音楽の拍子に同期した操作者の身体動作と同様に、音楽同期操作回数も同期あり条件において多くなると予想していたが、同期なし条件の方が平均で30回以上多い結果となった。インタビューでは、いずれの条件においても音楽に合わせてロボットを操作したという意見が半数の被験者から得られたが、同期なし条件では特にそのような意識が強

く音楽同期操作回数に表れたと思われる。実際、コースである点線とは無関係に蛇行する動きや、拍子に合わせてロボットを停止させる動きが同期なし条件において多数見られた。音楽が車の運転に与える影響を調査した研究は、120BPM以上のアップテンポな曲を聴きながら運転すると事故率が高くなることを示している[6]。本研究で使用したのは120BPMというアップテンポな曲であり、同期なし条件での操作の傾向はこの影響を受けたものと予想される。これに対し、同期あり条件では音楽同期動作によってロボットが音楽に乗っていることを提示したため、ロボットの移動を音楽に同期させたいという被験者の欲求が抑制された可能性が考えられる。つまり、ワイパの動きやウィンカの点滅が音楽の拍子に同期している等の音楽同期動作を車の運転中に提示すれば、アップテンポな曲をドライブが聴いていても事故を抑制できるかもしれない。しかしながら、同期あり条件において耳が音楽に遅延なく同期して動くのにもかかわらず、ロボットの移動においては0.5秒の遅延が存在するため、音楽同期操作を行いにくくなった可能性も考えられる。車の運転のような遅延の無い操作環境において音楽同期動作の提示の効果を検証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言えないが、ロボットに搭載されているカメラの映像をHMDで提示するなど高い臨場感が得られるインタ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は今後の課題である。

6.2 同室感

ロボットの音楽同期動作の提示することで、同室感が強化される効果も見られた。同期あり条件において同室感に高いスコアを付けた7人は、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、操作の遅延は同室感に悪影響だが、遅延があるにも関わらず、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、同室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被験者に提示しなかった。それを理由に同室感のスコアを低くつけた被験者がいたことから、

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同室感を向上させるかもしれない。その場合、音楽同期動作と同様に、音声に遅延を入れるなどの工夫によって音楽に同期させる必要があると考えられる。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同室感が増すことが報告されている[23]。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など、触覚フィードバックを与えることもロボットとの同室感を強化するかもしれない。聴覚や触覚など、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。

6.3 操作感

遠隔操作とは無関係な自発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。つまり、遠隔操作に音楽同期動作を追加することにより、操作感を低下させることなく、運動主体感や同室感を強化できたと言える。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伺える。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など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。

6.4 音楽同期動作の付随的効果

ロボットの音楽同期動作の提示には、運動主体感や同室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ことがわかった。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挙げられていた。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ず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上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。

7. まとめ

本研究では、人とは大きく身体性が異なる移動ロボットと操作者との一体感を強化するため、遠隔操作とは直接関係しない自律的な音楽同期動作を操作者に提示する方法を提案した。実験の結果、操作者もロボットも同じ音楽に乗っているという感覚によって移動の運動主体感が強化されることが分かった。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、同じ部屋にいる感覚が強化されることも分かった。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て使用することでより効果的に働くことが期待できる。

また、音楽同期動作の提示によって、コースとは無関係に音楽の拍子に合わせて蛇行するなどの操作が音楽の影響を受けることを抑制する効果が観察された。移動ロボットの遠隔操作に限らず、音楽同期動作を自動車の運転に適用することにより、ハイテンポな音楽を聴きながらの車の運転の事故率を抑制できるかもしれない。

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所有感や運動主体感を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、音楽の拍子に合わせて左右に動くなど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、心拍など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。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP25220004, JP16K16140 の支援を受けた。

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, *Proceedings of the 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, *Third International Symposium on New Frontiers in Human-Robot Interaction at AISB50*, (2014).

[5] Bergström, I., Kilteni, 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] Bruegger, D.J., Marble, J.L., Few, D.A., Boring, R.L., Walton, M.C. and Nielsen, C.W., Shared understanding for collaborative control, *IEEE Transactions on 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., Vanderborcht, B., New frontiers in the rubber hand experiment: when a robotic hand becomes one's own, *Behavior Research Methods*, Vol.47, No.3, pp.744-55 (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] 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).

[12] Jouppi, N.P.: First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence, *Proc. CSCW 2002*, pp.354-363 (2002).

[13] Kilteni, K., Groten, R. and Slater, M., The Sense of Embodiment in Virtual Reality, *Presence*, Vol.21, No.4, pp.373-387 (2012).

[14] Kilteni, K., Bergstrom, I. and Slater, M., Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play, *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol.19, No.4, pp.597-605 (2013).

[15] 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).

[16] 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).

[17] Kristoffersson, A., Coradeschi, S. and Loutfi, A., A review of mobile robotic telepresence, *Advances in Human-Computer Interaction archive*, Vol.2013, No.3 (2013).

[18] 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).

[19] Livatino, S. and Muscato, G., Stereo Viewing and Virtual Reality Technologies in Mobile Robot Teleguide, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol.25, No.6, pp.1343-1354 (2009).

[20] 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).

[21] Michalowski, M.P., Sabanovic, S. and Kozima, H., A dancing robot for rhythmic social interaction, *Proc. HRI2007*, pp.89-96 (2007).

[22] 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).

- [23] Nakanishi, H., Tanaka, K., Kato, R., Geng, X. and Yamashita, N.: Robotic Table and Bench Enhance Mirror Type Social Telepresence, *Proc. DIS2017*, (2017), 779-790.
- [24] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y. Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence. *Proc. CHI 2014*, (2014), 2143-2152.
- [25] 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).
- [26] Okura, F., Ueda, Y., Sato, T. and Yokoya, N., Teleoperation of Mobile Robots by Generating Augmented Free-viewpoint Images, *Proc. IROS2013*, (2013).
- [27] Paulos, E. and Canny, J.: Social Tele-Embodiment: Understanding Presence, *Autonomous Robots*, Vol.11, No.1, pp.87-95 (2001).
- [28] Riley, J.M., Kaber, D.B., 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).
- [29] 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).
- [30] 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).
- [31] 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).
- [32] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Physical Embodiment Can Produce Robot Operator's Pseudo Presence, *Frontiers in ICT*, Vol.2, No.8, 2015.
- [33] 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).
- [34] 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).
- [35] 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).