

VR空間でのアバター実験による共同注意が 誘起する全身身体転移錯覚

田中陸¹ 蔡東生¹

概要：本研究では、VR空間におけるアバターへの全身身体転移錯覚（Full Body Illusion:FBI）を共同注意が誘起することを検証する。VRにおいて没入感の強化にはFBIが有効であるが、誘起するためには物理的感覚刺激が必要となる。また、対話者同士が同じ対象に注意を向けている共同注意がコミュニケーションにおいて重要な役割を果たすとされており、ロボットに共同注意を行わせることによって、人とロボットのコミュニケーションが可能になるとされている。そこで、視線追従によりVR空間のアバターの視線の動きを同期させ、VR空間の視線から共同注意の頻度を計測するシステムを構築し実験を行なった。操作アバター同士で対面共同作業を行なう実験により、共同注意の発生頻度がFBIを誘起する要因となっていることを統計的に確認した。

キーワード：Virtual Reality, 身体転移錯覚, 共同注意

1. はじめに

人間は自身の身体所有感(Sense of Ownership)を複数の物理感覚刺激によって乱すことができ、この所有感を外界の物体へと拡張させることが可能であるとされている[1]。代表的な例として、ゴム製の偽物の手(ラバーハンド)に自身の手の感覚を拡張させるラバーハンド錯覚(Rubber Hand Illusion:RHI)[2]、マネキン等の人型の模型に全身の感覚を転移させるフルボディー錯覚(Full Body Illusion:FBI)[3]が挙げられ、これらを総称して身体転移錯覚と呼ぶ。

身体転移錯覚を誘起する要因の1つは触覚刺激によるものである。例えばRHIの例では、図1に示すように被験者の手とラバーハンドを並べて置き、被験者の手は仕切りを立て自身からは見えないようにする。被験者にラバーハンドを観察させ、それぞれの手に時間的、空間的に同期した触覚刺激を与え続けることで身体転移錯覚が誘起される。これより、ラバーハンドが自身の手であると錯覚する。要因として、もう1つ極めて高い運動主体感(Sense of Agency)によって誘起が可能であるとされている。運動主体感とは、自身が行為の主体であると感じる感覚のことであり[4]、自身の身体の動きと、アバターの身体の動きが同期することでFBIが誘起される[5][6]。以上の触覚刺激によるFBIを受動的FBI、運動主体感によるFBIを能動的FBIと呼ぶ。

この現象は現実の物体に限らず、Virtual Reality技術を用いてVR空間内のアバターに対してFBIを誘起させることも可能である。VRを用いた実験では、実験環境、条件の制御が容易であるため、FBIに関する実験はVRを用いたものが主流となっている。

また、FBIは視点の位置に寄らず発生することが知られており、アバターの身体から直接見ているかのような錯覚を与える視点である一人称視点のもの[3]、背後からアバターの身体を見ているかのように錯覚する三人称視点のもの[7]が先行研究により確認されている。しかしアバターと対面した状態における三人称視点のFBIに関しては錯覚



図1:RHI実験の様子

強度が著しく低下してしまうため[8]、未だ確認されていない。

人間は他者の視線から意図を推測する独自の能力があり、これを社会的視線としている。中でも対話者同士が同じ対象に注意を向けている共同注意(Joint Attention)はコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす[9]。

VR空間において利用者の没入感の強化には、身体転移錯覚によりアバターを自身の身体であると感じることが有効であるが、誘起するためには物理感覚刺激が必要となる。そこで視線の誘導を用いることによって身体転移錯覚を誘起することを検討した。アイトラッキング機能を持つアバターとVRヘッドマウントディスプレイ(VRHMD)を利用し、VR空間において共同作業中の共同注意を喚起することで、FBIとの関わりを推測した。

2. 関連研究

2.1 身体転移錯覚

人間は自身の身体所有感を外界の物体へ転移させること

¹ 筑波大学

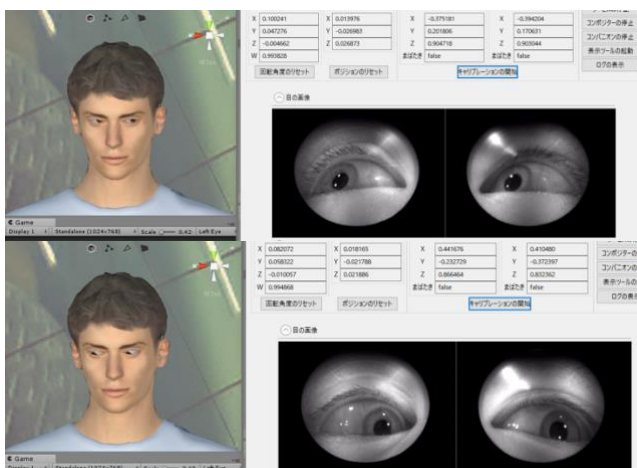


図2：アイトラッキングの様子

が可能でありこれを身体転移錯覚という。手の感覚をゴム製の偽物の手に拡張させる錯覚をラバーハンド錯覚 (Rubber Hand Illusion:RHI) と呼ぶ。身体転移錯覚は手のような一部分だけでなく全身についても可能であるとされており、マネキン等の人型の模型に全身の感覚を転移させる錯覚をフルボディ錯覚 (Full Body Illusion:FBI) という。Petkova らが行った実験では一人称視点での FBI を検証した [3]。被験者は HMD を装着しマネキンからの視点の映像を見る。この状態で被験者とマネキンの身体を同期的に撫で続けることで、マネキンを自身の身体であると錯覚することを確認した。上記の実験が一人称視点での FBI であるのに対し、Heydrich らは転移する身体を背後から三人称で観察する FBI 実験を行った [7]。自分の背中を刺激された状態で、アバターの背中が刺激されている映像を見ると、刺激が同期している場合は同様に FBI が誘起されることが確認された。以上のように一人称、三人称視点で時間的、空間的に同期した刺激を一定時間与えることで FBI が誘起されることが確認されているが、アバターと対面状態における三人称視点での FBI の誘起は確認がされていない。Preston は複数の視点条件による FBI の錯覚強度の違いについて研究を行った [8]。この実験によると対面した三人称視点での FBI は錯覚強度が著しく低下してしまう。

2.2 身体転移錯覚の評価指標

身体転移錯覚がどの程度の錯覚強度で発生しているかを示す指標としてはアンケート評価、皮膚温度、皮膚コンダクタンス反応 (SCR)、筋電位、自己推定位置等が挙げられる。本節で一部指標について関連研究と共に示す。

2.2.1 皮膚温度

Salmon らの実験によって、身体転移錯覚が発生している間、皮膚温度は微小ながら徐々に減少していくことが確認されている [10]。刺激が非同期の条件では体温は有意に低下しないこと、錯覚時間が長いほど低下することが確認されている。また錯覚強度と温度の低下量には相関関係があることが確認されており、錯覚強度が高いほど温度の低下量は大きいとされている [11]。特に、RHI では転移している手、FBI では全身の皮膚の温度が低下する。

2.2.2 皮膚コンダクタンス反応 (Skin Conductance Response: SCR)

皮膚コンダクタンス反応 (SCR) とは、発汗による電気抵抗を示す数値で、恐怖や不安、痛みによって自律神経系が喚起

された際に上昇するとされている。Petkova らの実験 [3] によって FBI が発生しているマネキンに対しナイフで刺激を与えると被験者の SCR が上昇することが確認された。また、錯覚強度が高いほど SCR の上昇値も大きくなるとされている。

2.3 共同注意 (Joint Attention)

人間は他者の視線から意図を推測する独自の能力があり、これを社会的視線としている。中でも対話者同士が同じ対象に注意を向けているという共同注意 (Joint Attention) はコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす [9]。共同注意は乳幼児期の発達過程において獲得されることが確認されている。初めは、「子どもと他者の関係」、「子どもと物の関係」という二項関係であり、精神発達に伴い生後 8 ヶ月頃から「子どもと物と他者の関係」という三項関係のやりとりを行うようになる。このような三項関係が成立した状態を共同注意という [12]。

葛岡ら [13] は、人間の三項関係における相手と自分の注意は

以下のような関係にあるとしている。

- (1) 自分と相手がお互いに気づいている
- (2) お互いが同じ対象に注目している
- (3) 同じ対象に相手が注目していることをお互いが気づいている

本来、三項関係の成立にはこのような複雑な相互認識が必要であるとしている [13]。

人とロボットの間で共同注意を形成することによって、自然で円滑なコミュニケーションを行えると言われている。葛岡らはアイコンタクトと指差しによって、共同注意を促す注意誘導に対して効果を与えることを確認した。これによって言葉を発さないロボットであっても、アイコンタクトや注意の誘導によって意図を感じさせ、展示へ誘導を行なうことができた [13]。また、陳らは頭部の三次元ワイヤーフレームモデルを利用し、顔姿勢に基づき注意対象を推測した確信度を表す誘目度マップによるユーザーとロボットの共同注意の形成メカニズムを提案した。ユーザーの注意を特定することでロボットとのインタラクションを柔軟にすることができるとした [14]。

2.4 本研究の目的

インタラクティブな VR ゲーム等において没入感を強化するためには、身体転移錯覚が有効であるが、誘起するためには感覚刺激が必要となる。

そこで、身体転移錯覚を視線によって誘起することを検討した。人間のコミュニケーションにおいて重要な役割を持つ共同注意という要素を VR 空間で喚起することで、FBI との関わりを推測した。

3. 提案手法

3.1 VR 空間における共同注意

本研究では、まず人間のコミュニケーションにおいて重要とされている共同注意が VR 空間における FBI に与える影響を調査する。そこで、アバターの視線の動きに被験者の視線の動きを同期させ、その視線の位置の計測を行った。

視線追従機能を持つ VRHMD である Foveo¹ を使用し、被験者のまばたき、視線の動きを取得する。その情報を利用し、まばたきと視線の動きをアバターの目の動きと同期させた。図 2 にアバターの視線と利用者の視線の同期している様子を示す。

*1 <https://www.getfove.com/>

このアバターを被験者用, 実験者用で2つ用意する. このアバター同士が共同で作業を行うことで共同注意を喚起し, VR 空間における共同注意の発生頻度の計測を可能にした. ここで, 共同作業としては提示された見本通りに積み木の組み立てをもう一方のアバターと協力しながら行ってもらう. 積み木の組み立て作業は乳幼児期からの文化として代表的なものであり, 「自分と物と他者」による三項関係が成り立っており, 対象をめぐる共同注意, 指差しによる共同注意が発生するとされている [15]. そのため現実での積み木作業と同様に, VR 空間においても作業中の対象に対する共同注意, 視線および指差しの利用による共同注意が発生すると考えられる.

3.2 運動主体感による FBI

FBI は極めて高い運動主体感によっても誘起されることが知られている. 運動主体感とは身体所有感とともに自己に対する認識を構成する要素であり, ある運動が自身の行動によって引き起こされていると認知する感覚である. そしてこの運動主体感を獲得する要因は, その行為による結果の予測と実際のフィードバックの比較によるものである [4]. つまりこれらがより等しいほど高い運動主体感の獲得が可能となる.

先に述べた運動主体感を VR 空間においてアバターに対して強く獲得することができれば, 能動的に FBI を誘起することが可能である. そして実際に, これを示す研究結果も報告されている. 湯本らは運動主体感による能動的な FBI について一人称視点, 三人称視点の場合について錯覚強度に関する比較を行なった. 被験者の足踏みと VR 空間におけるアバターの足の動きが一致している同期条件と一致しない非同期条件に分けて実験を行い, 同期条件であれば視点によらず能動的に FBI が誘起されることを示した [6]. また近藤らは, 三人称視点において VR 空間におけるアバターの手と足の動きを同期させることにより FBI を誘起させた [5].

これらの先行研究を参考とし本研究では, 被験者が VR 空間において一人称視点にて, VR アバターを手, 指, 頭視線の同期によって操作し, 積み木作業を行うことで運動主体感による FBI を誘起させた. ここでの頭, 視線のトラッキングは前節で述べた Fove0 を使用し, 手, 指のトラッキングには手を認識するセンサーである Leap Motion² を使用した. これらをアバターと同期し, Unity³にて作成した VR 空間に配置し, 積み木の組み立てを行なった.

積み木の組み立ての操作は, アバターの手でブロックを掴み, 任意の位置で離して落とすことで組み立てを行う. 現実で積み木を組み立てると同じ要領で行うことができる. 自分の手が届かない位置にあるブロックが必要な場合は, 指差しによって示すこと, 相手にブロックを投げることも可能である.

3.3 共同注意の計測

アバターの視線がオブジェクトと衝突した座標に, 図 3 に示すピンク色の印, 緑色の印が表示され, 衝突しているオブジェクト名や座標が把握できる. ピンク色が被験者の視線, 緑色が実験者の視線を表している. これによって被験者, 実験者が何を見ているかを Unity 上で管理を行う.

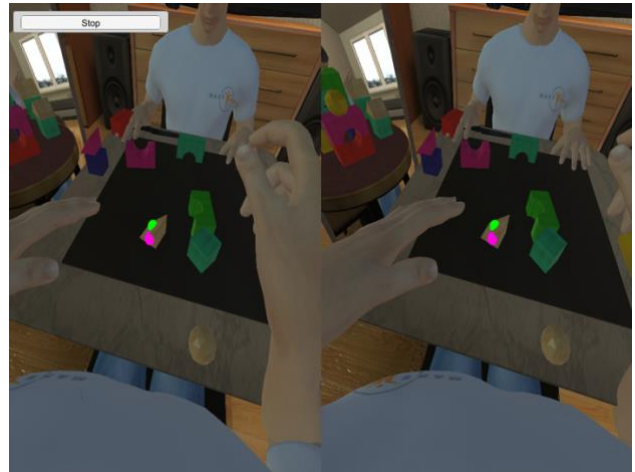


図 3: 表示される視線と共同注意の様子

作業中に被験者アバター, 実験者アバターから印は見えないように設定してある.

共同作業中, 図 3 のように被験者, 実験者の視線が同一のブロックにある時間を計算することで共同注意の発生時間の計測を行なった.

3.4 FBI の錯覚強度

FBI の錯覚強度の評価指標として皮膚温度の変化と SCR の変動値を計測した. SCR は恐怖や不安, 痛みによって自律神経系が喚起された際に上昇するとされており, FBI が発生しているマネキンに対しナイフで刺激を与えると SCR が上昇することが確認されている. また, 錯覚強度が高いほど SCR の上昇値も大きくなるとされている.

SCR の上昇にはナイフ等による自律神経系の喚起が必要となる. そこで共同作業終了時に被験者アバターに対しナイフによる刺激を行うこととした. 本研究では, 作業終了時に実験者アバターの同期を一時的に無くし, 図 4 のように手元にあるナイフで被験者アバターの胸部への刺激を自動で行なわせるモーションを設定した.

4. 実験

4.1 実験概要

VR 空間において共同注意を喚起し, FBI を誘起していることを検証するため, 共同作業中の共同注意の発生頻度と FBI の錯覚強度との関係について実験による検証を行なう. そこでアイトラッキングにより VRHMD を装着した被験者の視線と頭の動きと VR アバターの視線と頭の動きを同期させた. これらのアバターを対面配置し, 被験者と実験者でそれぞれのアバターを操作し, 共同作業を行ってもらい共同注意の発生頻度を調べた. 作業内容は対面したアバターと共同で, 提示された見本通りに積み木を積み上げていくというものである. 能動的な FBI を誘起させるため, VRHMD により頭と視線の動き, Leap Motion により手, 指の動きを同期させている. 見本の組み立てに必要なブロックは作業開始時, それぞれのアバターの前にランダムに配布される.

* 2 <https://www.leapmotion.com/ja/>

* 3 <https://unity3d.com/jp>

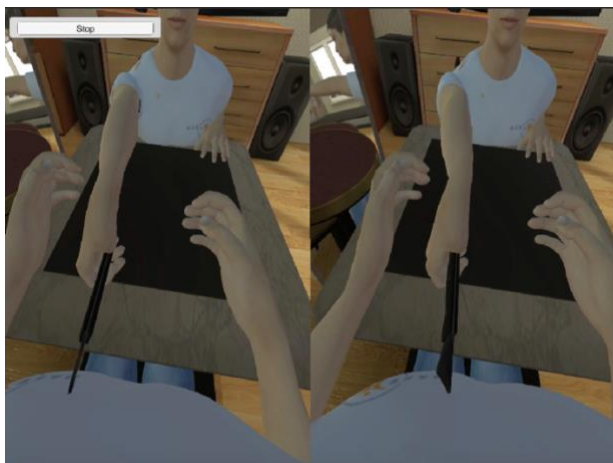


図 4: 刺突を行う様子

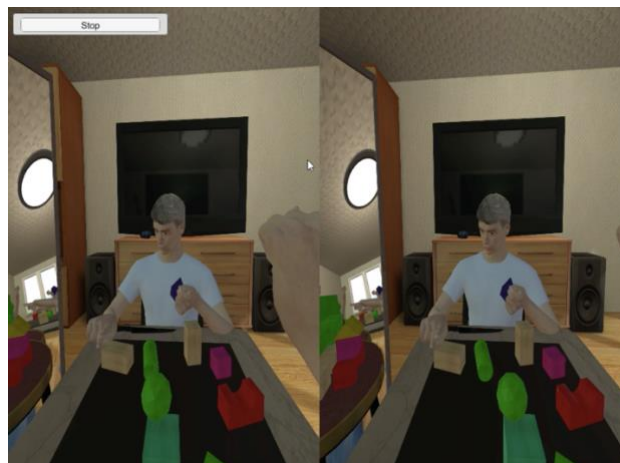


図 5: 被験者が見る作業中の様子

作業時間は 5 分間であった。SCR の変動値を計測するため作業開始後 4 分 30 秒の時点で刺突として、実験者アバターに被験者アバターをナイフで刺突するモーションを行わせた。また皮膚温度の変化を計測するため、30 秒ごとに実験協力者が被験者の皮膚温度を非接触体温計により計測した。

実際の作業中に被験者が見る VR 空間の様子を図 5 に示す。

4.2 実験システム

VRHMD には視線追跡機能を持つ Fove0 を使用し、アバターと被験者の視線、頭の動きを同期させた。手を認識させるセンサーである Leap Motion は HMD の前部分に取り付け、ハンドトラッキングを行い、アバターと被験者の手、指の動きを同期させた。これらを被験者、実験者用にそれぞれ用意した。VR 環境は Unity を用いて構築し、被験者と実験者の VR 環境の通信は Unity のネットワーク機能である Unity Multiplayer^{*4} を用いて実装した。

4.3 実験環境

実験は室温を保った静かな部屋で行われ、被験者の周囲には数名の実験協力者が同室した。被験者は成人男性 8 名で行われた。

4.4 実験手順

まず被験者に HMD を装着してもらい、自身の操作するアバターの身体と対面に位置する実験者が操作するアバターの頭を確認してもらう。ここで、被験者は HMD を通してアバターの頭を操作することができ、まばたき、視線の動きの情報を取得しアバターの目に反映させている。更に、Leap Motion を通して手、指の動きを反映している実験環境、操作性に慣れってもらうために、1 分程度アバターを操作して提示された見本通りに積み木を組み立てる練習をしてもらう。休憩と作業の説明をした後に、SCR 測定機器を取り付け、本番として 5 分間の共同作業を行ってもらった。作業時間中に積み木が完成した場合は、新しい見本と部品を配布し、再度作業を行ってもらう。ここでの積み木の完成判断は被験者自身が行い、ジェスチャーによって実験者に伝えるように指示を出した。

上記の手順はあらかじめ被験者に伝えてあり、測定データを論文に使用すること、VR 空間内のアバターが刺突さ

れることに対し、了承を得ている。

4.5 評価指標

実験中の被験者の錯覚強度は皮膚温度の変化と SCR の変動値を計測した。皮膚温度は実験協力者が非接触の体温計によって 30 秒ごとに計測を行なった。SCR は GSR logger sensor NUL-217^{*5} を被験者の指に装着し、5 分間の SCR を計測した。

SCR の変動値は以下の式によって導き出す。

$$\Delta g(t_{shock}) = \max_{t_{shock} < t \leq t_{shock} + 10} g(t) - \int_{t_{shock} - \alpha}^{t_{shock}} \frac{g(t)}{\alpha}$$

ここで t_{shock} は刺突を行う時刻 [s]、 $g(t)$ は時刻 t における SCR 値 [μS]、 $\Delta g(t_{shock})$ は刺突前後での SCR 変動値 [μS] を表している。この式は、SCR の変動値を刺突モーションの直後 α 秒間における最大値と、直前 α 秒間での平均値の差によって求めることを示している。ここでは $\alpha = 10$ とした。

さらに、正規性を満たすため、SCR 変動値に対し、自然数を底とした対数変換を行った後、統計処理を行った。さらに対数変換後の値が負になってしまうデータが存在するため、解析を容易にするために値が正になるよう、全てのデータに 1.5 を足した。

作業中の共同注意時間の割合は、被験者と実験者の視線が同一オブジェクトに重なっている時間を Unity 上で計測し、作業時間で割ることで求め、テキスト形式で出力した。

4.6 実験結果

4.6.1 皮膚温度と共同注意の関係

被験者の皮膚温度の低下量と共同注意時間の割合の関係を表す散布図を図 6 に示す。これらの間に相関係数が 0.718 の強い相関を確認した。共同注意時間の割合を説明変数、皮膚温度の低下量を目的変数として回帰分析を行った結果、 p 値が有意水準を下回り、決定係数が 0.515 の回帰関係にあることが確認された。

$$(p = 0.045 < 0.05, R^2 = 0.515, y = 0.2102x - 0.2239)$$

4.6.2 SCR と共同注意の関係

対数変換した被験者の SCR 変動値と共同注意時間の割合の関係を表す散布図を図 7 に示す。相関係数が 0.047 であり、非常に弱い相関であることが確認された。また回帰分析を行なったところ、 p 値有意水準を下回らず、回帰関係にないことが確認された。($p = 0.913 > 0.05$)

*4 <https://unity3d.com/jp/unity/features/multiplayer>

*5 <https://neulog.com/gsr/>

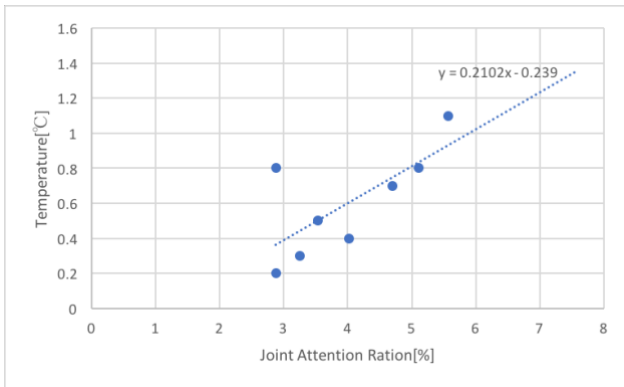


図 6:皮膚温度の低下量と共同注意時間の割合

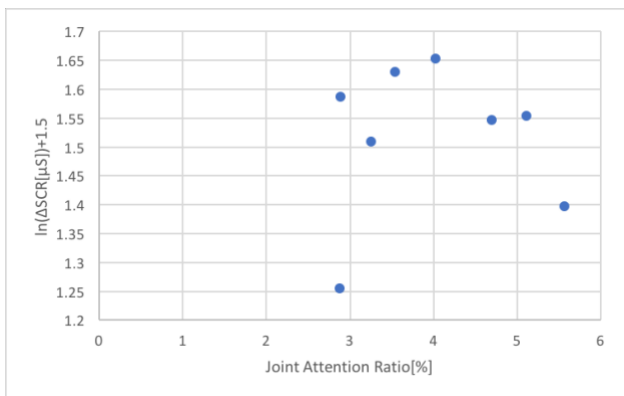


図 7:SCR 変動値と共同注意時間の割合

4.7 考察

実験によって被験者の皮膚温度の低下量と共同注意時間の割合の間に強い相関関係と回帰関係が確認された。このことから、共同注意の発生頻度が FBI を誘起する要因となっていることが推測された。

一方、SCR の変動値と共同注意時間の割合の間には相関がほとんど確認されなかった。先行研究によると、SCR を用いた身体転移錯覚の評価では、SCR の変動値は、発汗量に個人差があるため、他手法と比較するとやばらつきの大きさ、錯覚強度との相関の低さが目立つ [16][17]。そのため今回の実験において SCR の変動値と共同注意時間の割合の間に相関を確認するためには被験者数が不足していた等の可能性が推測される。

5. まとめと今後の予定

実験により、共同注意の発生頻度が FBI を誘起する要因となっていることが検定によって統計的に確認された。また、SCR の変動値を評価指標とした場合、共同注意の発生頻度が FBI を誘起する仮説は棄却された。先行研究より、被験者の数を増やす必要性が推測された。

今後の取り組みとしては、共同注意の発生頻度が FBI を誘起する要因となっていることが推測されるため、作業中の共同注意の発生頻度を増加させることを検討する。そこで、共同注意を自動で発生させるアバターシステムの作成を行い、より錯覚強度の高い FBI を誘起することを目指す。また、今後は VR において視線をトラッキングすることの有用性を示し、ゲーム等で共同注意を促す応用を行い、没入感を向上させることで娯楽性の向上に繋げる。さらに、共同注意を促すことにより、実現していない対面した三人称視点

での FBI の誘起を目指す。

5.1 共同注意に伴う交互凝視

2.2 で述べたように、共同注意における相手の注意と自分の注意の関係として複雑な相互認識が必要になる。乳幼児の共同注意行動が二項関係から三項関係へ移行し、他者の意図を理解することに繋がる重要な役割を果たしている要素として、交互凝視という視線の動きがある。交互凝視とは共同注意の際に他者と物の間で視線が行き来する行動を指す[12]。

また共同注意関連行動の一種として、物を取ってほしい時にその物を指差す行動である要求の指差しがある。乳幼児の共同注意の発達から意図的な反応を期待することによって自発的な交互凝視が伴うことが確認されている[18]。

実際に、積み木を組み立てる作業を現実で行ったところ、ブロックを指差す時や共同注意の発生時に、ブロックと相手の顔を視線が行き来する交互凝視が発生していることが確認された。以上のことから、積み木作業中における共同注意に伴う交互凝視の重要性を確認した。

5.2 共同注意アバターの作成

実験により、共同注意の発生頻度が FBI を誘起する要因となっていることが検定によって統計的に確認された。そのため、被験者の視線の動きに合わせて共同注意とそれに伴う交互凝視を自動で発生させることによって、共同注意の発生頻度を高め、錯覚強度の高い FBI を誘起することを検討した。

実験者アバターのみ頭と視線の同期を無くし、被験者アバターの視線位置に合わせて動作するよう以下のように視線と顔を移動するモーションを設定した。

(1)被験者アバターの視線がブロックを見た際、視線と顔の向きを被験者アバターの顔に移動、被験者の注意ブロックを確認し、その後ブロックへ移動する

(2)実験者アバターがあるブロックに対し指差しを行なった際、被験者の注意がそのブロックに移動した場合、実験者アバターの視線と顔の向きを被験者の顔に移動し、その後ブロックへ視線を移動する。

(1)、(2)の動作によって交互凝視、共同注意を自動で行うことが可能になった。作成したアバターの共同注意を行なっている様子を図 8、交互凝視にて被験者の視線を確認している様子を図 9 に示す。

今後、このアバターを共同作業相手として被験者実験を行い、FBI の錯覚強度の変化を確認することを検討している。

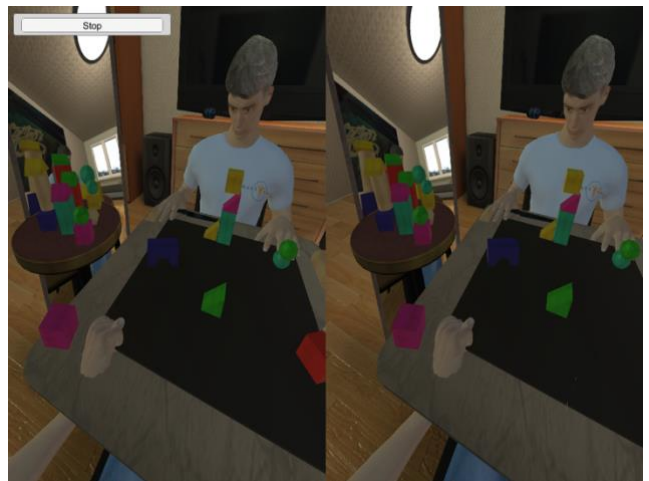


図 8:アバターが被験者の視線に合わせて自動で共同注意を行う様子



図9: 交互凝視の際に被験者を確認する様子

謝辞 本研究実験を行うに当たって、被験者となった、筑波大学情報科学類の学生、研究室の大学院生に感謝する。

参考文献

- [1] Bigna Lenggenhager, Tej Tadi, and Thomas Metzinger, Olaf Blanke. Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science* 24 Aug 2007: Vol. 317, Issue 5841, pp. 1096-1099. 2007.
- [2] 本間 元康. ラバーハンドイリュージョン: その現象と広がり. *Cognitive Studies*. 17-4, 761-770. 2010.
- [3] Valeria I. Petkova, and H. Henrik Ehrsson. If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PLoS ONE* 3, e3832. doi: 10.1371/journal.pone.0003832. 2008.
- [4] S. Gallagher. Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*. 4-1, 14-21. 2010.
- [5] Ryota Kondo, et al. Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity. *Scientific Reports* volume 8, Article number: 7541. 2018
- [6] 渡邊 翔太, 川合 伸幸. 前腕 CG モデルと実際の行為が質的に異なっても運動主体感は誘発されるが身体所有感の生成には完全な一致が必要. *Cognitive Studies*, 24(2), 185-195. 2017.
- [7] Lukas Heydrich, Trevor J. Dodds, et al. Visual capture and the experience of having two bodies - evidence from two different virtual reality techniques, *Front Psychol.* 2013; 4: 946, 2013.
- [8] Catherine Preston, Benjamin J. Kuper-Smith, and H. Henrik Ehrsson. Owning the body in the mirror: The effect of visual perspective and mirror view on the full-body illusion. *Scientific Reports*, 5, 18345. 2015.
- [9] Henny Admoni and Brian Scassellati. Social eye gaze in human-robot interaction: a review. *Journal of Human-Robot Interaction*, 6(1):2563. 2017.
- [10] Roy Salomon, Melanie Lim, Christian Pfeiffer, Roger Gassert, and Olaf Blanke. Full body illusion is associated with widespread skin temperature reduction, *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 65. 2013.
- [11] G. Lorimer Moseley, Nick Olthof, et al. Psychologically induced cooling of a specific body part caused by the illusory ownership of an artificial counterpart. *PNAS* September 2, 2008 105 (35) 13169-13173. 2008.
- [12] 児山 隆史, 樋口 和彦, 三島 修治. 乳児の共同注意関連行動の発達 — 二項関係から三項関係への移行プロセスに注目して —. *教育臨床総合研究* 14. 2015.
- [13] 葛岡英明, 鈴木祐也, 山下淳 ほか. 美術鑑賞支援のための注

- 意誘導ロボットの研究 — 無言のロボットの身振りによる来館者の注意誘導 —. 亞洲藝術科學學會 學術論文集. 2007.
- [14] 陳 彬, 目黒 光彦, 金子 正秀, 顔姿勢推定に基づくユーザーとロボットの共同注意の形成. *電気学会論文誌 C*, 123 巻 7 号. 2003.
 - [15] 菅井 洋子, 秋田 喜代美, 横山 真貴子, 野澤 祥子. 乳児期の絵本場面における母子の共同注意の指さしをめぐる発達的变化積木場面との比較による縦断研究. *発達心理学研究*. 2010, 第 21 巻, 第 1 号 46-57. 2010.
 - [16] Takuma Tsuji, Hiroshi Yamakawa, et al. Analysis of electromyography and skin conductance response during rubber hand illusion. 2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts. 2013.
 - [17] Martin Riemer, Florian Bublitzky, et al. Defensive activation during the rubber hand illusion: Ownership versus proprioceptive drift. *Biological Psychology* Volume 109, July 2015, Pages 86-92. 2015.
 - [18] 大神 英裕. 共同注意行動の発達の起源. *Kyushu University Psychological Research* 2002, Vol. 3, 29-39. 2002.