

令和6年度 修士論文

**デジタルツインを用いた
自己効力感向上システム**

指導教員 宮田 章裕 教授

日本大学 大学院総合基礎科学研究科 地球情報数理科学専攻

6123M15 丸山 葉

論文提出日 2025年2月19日

概要

教育, 心理, 医療の分野では, 自分が肯定的な行動をしている映像を見て社会的スキルや運動スキルの向上を目指すビデオセルフモデリングが用いられている. しかし, 従来のビデオセルフモデリングでは, 自身が理想に近い振舞いをしている様子の映像記録を準備する必要があり, この準備が手間であるという問題や, そもそも理想に近い振舞いができないという問題がある. この問題の解決を狙い, AIなどの情報技術を駆使して, 自身が理想的な振舞いを行う映像を生成する取り組みが行われてきた. ただし, 従来のビデオセルフモデリングの欠点を克服できる可能性が示唆されたものの, 生成された映像を用いるビデオセルフモデリングが, 心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感に与える影響は明らかにされていない. この状況に鑑みて, 本研究では, 生成された映像を用いるビデオセルフモデリングが, 心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感の向上に寄与するか明らかにすることを目指す. 本稿では, 12名を対象として, 自身のデジタルツイン(分身)が理想的な振舞いを行う映像を見てからダーツの投擲を行う実験を行い, パフォーマンスや自己効力感の観点から効果測定を行った. その結果, 自身と同じ動きをするデジタルツインがダーツ盤の中央(ブル)にダーツを当てる様子を見ることで, 自身がブルにダーツを当てるイメージを掴みやすくなり自己効力感が向上する可能性が示唆された.

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	2
1.2 研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 ビデオセルフモデリングに関する研究事例	4
2.1 対象者の映像を記録するアプローチに関する研究事例	5
2.2 生成した映像を用いるアプローチに関する研究事例	9
2.3 ダーツにおけるメンタルトレーニングに関する研究事例	10
第3章 研究デザイン	13
3.1 問題の定義	14
3.2 研究課題の設定	15
3.3 想定シーン	15
3.4 実験設計の全体像	15
第4章 自己効力感向上システムの実装	17
4.1 システムの全体像	18
4.2 自己効力感向上システムの実装	18
4.2.1 モーショントラッキング	18
4.2.2 映像生成	18
第5章 予備実験	21
5.1 予備実験の目的	22
5.2 予備実験の概要	22
5.3 予備実験の手順	23
5.4 予備実験の結果	24
5.5 予備実験で判明した改善点	25
第6章 評価実験	27
6.1 評価実験の目的	28
6.2 評価実験の概要	28
6.3 評価実験の手順	28

6.4 評価実験の結果	30
6.4.1 事前アンケートの結果について	30
6.4.2 事後アンケートの結果について	31
6.4.3 パフォーマンスについて	31
6.5 考察	32
6.5.1 自己効力感への影響	32
6.5.2 精神的負荷への影響	34
6.5.3 パフォーマンスへの影響	34
第7章 結論	38
謝辞	40
参考文献	42
研究業績	45

図 目 次

3.1 研究のデザインの概要	14
4.1 システムが生成した映像	19
4.2 システム構成図	20
5.1 予備実験の様子	22
5.2 実験手順	23
5.3 Q1 の回答分布 (N=10)	24
5.4 Q2 の回答分布 (N=10)	25
5.5 Q3 の回答分布 (N=10)	25
5.6 Q4 の回答分布 (N=10)	26
6.1 実験の様子	29
6.2 実験手順	30
6.3 事前アンケートの回答分布 (N=12)	32
6.4 事後アンケート・Q1 の回答分布 (N=12)	32
6.5 事後アンケート・Q2 の回答分布 (N=12)	33
6.6 事後アンケート・Q3 の回答分布 (N=12)	33
6.7 事後アンケート・Q4 の回答分布 (N=12)	34
6.8 事後アンケート・Q5 の回答分布 (N=12)	34
6.9 目標達成率 (N=12, 単位: パーセント)	37

表 目 次

4.1	mocopi の仕様	19
5.1	事後アンケートの内容	24
5.2	条件 1 のダーツのスコア	26
5.3	条件 2 のダーツのスコア	26
6.1	事前アンケートの内容	30
6.2	条件 1, 条件 2 における事後アンケートの内容	30
6.3	事後アンケート・Q6 の回答結果	32
6.4	ブルに当たった回数 (条件 1)	35
6.5	ブルに当たった回数 (条件 2)	36
6.6	ブルに当たった回数 (条件 3)	36

第1章 序論

1.1 研究の背景

ビデオセルフモデリングとは、個人が自身の望ましい行動やスキルを映像として視聴し、その行動を学習・改善するための心理学的および教育的介入手法である。この手法は、Bandura [1] の社会的学習理論に基づいており、観察学習を通じて行動の獲得や変容が促進されると言われている。特に、自分自身の望ましい行動を観察することは、自己同一視を高め、モチベーションを強化する要因となる。加えて、ビデオセルフモデリングにおいて、自己効力感が行動の遂行や動機づけに対して重要な役割を果たすことが報告されている [1, 2]。自己効力感とは、自分には目標を達成することができるという認知状態のことである [3]。自己効力感が向上するという状態は、この認知状態が高まることを指す。ビデオセルフモデリングを用いて被験者が成功した自身の姿を見ることは、自分にはできるという認識が高まり、行動の実行確率を上げる可能性がある。ビデオセルフモデリングは、運動スキルの習得、社会的行動の強化など、多様な領域で応用されており、特にスポーツやリハビリテーション、教育現場において有効性が示されている [4]。しかし、伝統的なビデオセルフモデリングは、自身が理想に近い振舞いをしている様子の映像記録を準備する必要があり、この準備が手間であるという問題や、そもそも理想に近い振舞いができないという問題があった。この問題の解決を狙い、ディープフェイクなどの情報技術を駆使して、自分が理想的な振舞いを行う映像を生成する取り組みが行われてきた [5-7]。ただし、これらの事例は伝統的なビデオセルフモデリングの欠点を克服できる可能性を示唆したものの、心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感に与える影響は明らかにできていない。加えて、映像中の自分の見た目・振舞いへの違和感から、ビデオセルフモデリングの効果が十分に発揮できない現象も報告されている [5]。

1.2 研究の目的

前節で述べた状況を鑑みて、私は、生成された映像を用いるビデオセルフモデリングが、(1)心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感の向上に寄与するか、(2)映像中の自分をどのように表現すればビデオセルフモデリングの効果が発揮できるか、というリサーチクエスチョンに注目してきた。リサーチクエスチョンの(1)に答えるために、本研究では、実験時に心理的なプレッシャーを与える実験条件を設計し、検証を行った。リサーチクエスチョンの(2)に答えるにあたり、デジタル空間上で再現された自身の分身となる、ヒトのデジタルツインに着目する。ヒトのデジタルツインとは、ヒトの思考や性格などをデジタル空間上で表現することで、ヒトの行動をデジタル空間上で再現することが可能になるという技術のことである。ヒトのデジタルツインが実現された場合、単にヒトをデジタル空間上で再現するだけではなく、ヒトのデジタルツインを用いることで、ビデオセルフモデリングに必要な映像の撮影や編集を省くことが可能となり、さらには自身の能力を超えた映像も出力することができると考えられる。

本論文では、上述のリサーチクエスチョンに答えるため、本研究で実施する実験のシーン設定として、メンタルスポーツであるダーツをプレイするシーンを採択し、自身と同じ

動きをするデジタルツインが理想的な振舞いをしている様子を見ることで、実験参加者にどのような影響を与えるのかを明らかにする取り組みを行う。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。2章では、ビデオセルフモデリングに関する研究事例とダーツにおけるメンタルトレーニングに関する研究事例について述べる。3章では、本論文における研究課題と研究デザインを述べる。4章では、自己効力感向上システムに関する実装について述べる。5章では、予備実験によって得られた知見や問題点について述べる。6章では、ダーツ投擲シーンにおいて、生成ベースのビデオセルフモデリングに関する評価実験・考察について述べる。最後に7章にて、本論文の結論を述べる。

第2章 ビデオセルフモデリングに関する 研究事例

本章では、ビデオセルフモデリングに関する研究事例とビデオセルフモデリングとは異なるメンタルトレーニングを用いた研究事例について述べる。2.1節では、対象者の映像を記録するアプローチに関する研究事例について紹介する。2.2節では、生成した映像を用いるアプローチに関する研究事例について紹介する。2.3節では、ダーツ投擲シーンにおいて、メンタル面に焦点を当てた研究事例について紹介する。

2.1 対象者の映像を記録するアプローチに関する研究事例

対象者の映像を記録するアプローチとは、実際に対象者が望ましい行動をしている様子を映像に記録することで、ビデオセルフモデリングを行うアプローチである。本アプローチでは、映像内の失敗している行動等の対象者の望ましくない行動を削除して、その時点できの人ができる最善の行動のみを描いた映像を作成し、視聴させる positive self review 型のビデオセルフモデリングと、映像を編集することで、本人がまだ実行できないスキルを実行する様子を映した映像を作成し、視聴させる feed forward 型のビデオセルフモデリングに大別される。

Bellini ら [8] は、ビデオモデリング（他者の映像を利用した学習）とビデオセルフモデリング（自身の映像を利用した学習）の2つの介入手法が自閉症の症状・行動に与える影響を調査した。分析の結果、どちらの手法も自閉症の子供や思春期の若者のコミュニケーション能力・社会的スキル・行動制御など、さまざまな領域で有益な効果をもたらすことが示された。さらに、年齢・発達レベル・介入期間などの要因が効果に影響を与える可能性があることも示された。しかし本研究では、ビデオモデリングとビデオセルフモデリングのどちらがより効果的かについては、十分な比較が行われていない。

Dowrick ら [9] は、文字を読むことに苦労している小学生10名に対して、ビデオセルフモデリングによる介入を行い、読解の流暢さを向上させる支援の検討を行った。そこで彼らは、ビデオセルフモデリングを個別指導と組み合わせた場合に、個別指導単独で行った場合と比較して、技能の習得率を向上させることができるかどうかを研究課題とした。実験で各生徒は、個別指導のみ、個別指導とビデオセルフモデリング、個別指導のみの順に指導を受けた。実験期間は3月から6月までで、週2回行われた。映像は難しい文章を流暢に読み、フラッシュカードに書かれた単語を正確に認識するように編集された2分未満の映像である。結果はすべての生徒で読解の流暢さは有意に改善した。この研究でビデオセルフモデリングが読解スキルの習得を促進する可能性があることが示された。

同じ研究チーム [10] は、水泳のコンテキストにおいてもビデオセルフモデリングの効果を検証した。ビデオセルフモデリングを用いて、5歳から10歳の二分脊椎の子供の水泳技能を向上させることの検討を行った。実験参加者は水に対する恐怖心や能力の不足によって、上達が明らかに停滞している重度の二分脊椎である少年2人と少女1人である。10歳の少年を子供1、5歳の少年を子供2、5歳の少女を子供3とする。子供らは浮き輪をつけて水に入ることにためらいは見せなかつたが、浮き輪を外すように指示されると子供2と子供3は顔が濡れることを恐れ、かなりの嫌悪を示した。本実験の学習段階は、入水、腕輪で自信をつける、頭と顔を水に沈める、腕輪なしで自信をつけるの4段階に分けられ

た。その中で35項目からなる水に対する自信のある行動チェックリストを作成し、採点を行った。採点についてはチェックリストに記載された行動が確認されたら印をつけるといった方法である。実験開始前の子供達の得点は子供1は20点、子供2は16点、子供3は13点であった。視聴する映像は、4つの異なる映像である。1つ目の映像(X)は全て子供が撮影されている3分間の映像である。水に入っているが子どもたちの能力の範囲内の行動しか示していないものであり、水に対する自信のある行動チェックリストで、子供1は4点、他の2人の子供は3点であった。この映像の目的はビデオセルフモデリングの特性を含まない視聴体験を提供することであった。他の映像(A, B, C)では個別に撮影された2分間の映像で、浮き輪を削除する等の編集をすることで子どもの能力をわずかに超える行動が示されている。実験期間は9週間であり、週3回ビデオセルフモデリングを行った。このビデオセルフモデリングによる介入には水泳の練習も含まれる。その結果、実験終了時には実験開始前と比較して、子供1では12点の向上、子供2では6点の向上、子供3では2点の向上が見られた。この結果はビデオセルフモデリングが脊髄損傷児の水泳技術を促進させる可能性があることを示している。

Lawら[11]は、身体的練習とビデオセルフモデリングを併用することで、中級レベルのフィギュアスケーターのジャンプパフォーマンスの改善を促すという仮説をたて、検討を行った。実験では、技能の実行をより完全に把握するために、技能の結果と演技形式の両方に関する測定が用いて、自己効力感、状態不安、モチベーション、身体的パフォーマンスを分析することによって、関連する心理学的変数との関係を明らかにすることを試みた。実験参加者の中級レベルのフィギュアスケーターは、全員1回転のジャンプを行うことができ、2回転のジャンプを学んでいる最中である。ビデオセルフモデリングによる介入は3週間、週2回行われ、各介入の最初にビデオを1回視聴した。映像は各スケーターが個別に希望する要素のパフォーマンスを4回含む約30秒の映像を編集し、作成する。また映像はスケーターの演技の改善を反映させるために、介入が終わるごとに更新された。ビデオセルフモデリング介入を行った後、スケーターにはジャンプを練習する時間が約3~5分与えられ、各ジャンプを2回ずつビデオで撮影された。3回目の介入および6回目の介入において、スケーターは自己効力感、状態不安、モチベーションに関する心理学的アンケートにも回答する。実験終了時にスケーターは事後アンケートとして、ビデオセルフモデリングが自身のパフォーマンスの改善に役立ったかどうか、トレーニングの妨げになったかどうか、普段のトレーニングで使いたいかどうか、ビデオセルフモデリング介入を楽しめたかどうかのアンケートに回答する。ビデオセルフモデリングの効果測定の為の比較対象として、ビデオセルフモデリングを行わないグループを用意した。ビデオセルフモデリングを行わないグループでも上述の手順が踏まれ、このグループではビデオセルフモデリングの代わりに映画シュレックの30秒間の動画を見た。アンケートとパフォーマンスの分析は、2条件(ビデオセルフモデリング実施グループ、ビデオセルフモデリング非実施グループ) × 3タイミング(実験開始時、実験中間時、実験終了時)で行われた。結果は仮説に反し、全てのタイミングのパフォーマンスと心理学的アンケートで有意差は示されなかった。しかし、スケーターの事後アンケートへの回答は肯定的であり、ビデオセルフモデリングによる介入は成功したと感じていることが示された。全ての

スケーターがジャンプの技術レベル向上に役立ったと感じており、介入が楽しかったと回答した。Law らの研究の目的は、ビデオセルフモデリングによる介入がビデオセルフモデリングによる介入なしの対照条件と比較して、フィギュアスケーターのジャンプパフォーマンス、自己効力感、状態不安、モチベーションを改善するかどうかを明らかにすることであった。しかし、2つの条件間で有意差は認められなかった。よって、これらの結果は、ビデオセルフモデリングによる介入を行っても、スケーターの通常のトレーニングから得られるジャンプパフォーマンスや心理的変数に有意な変化は生じない可能性があることを示している。

Clark ら [12] は、適切な行動のみを行うように編集された自身の映像と、適切な行動と不適切な行動を行う編集されていない自身の映像によるビデオセルフモデリングが、水泳のスキル向上に与える影響を調査した。実験は、練習前に、自分が適切な行動をしている映像を視聴するグループ、練習前に、現在のスキルレベルでの自分の映像を視聴するグループ、映像視聴なしで練習のみを実施するグループの3グループに分けて実施した。練習前に、自分が適切な行動をしている映像を視聴するグループは、他の2つのグループよりも、自己効力感、モチベーション、自己満足度、パフォーマンスのすべての測定項目で有意に高い結果であった。

Hosford ら [13] は、カウンセラー研修生がカウンセリングにおいて、不適切と監督者に判断された面接行動に対するフィードバックにビデオセルフモデリングを用いた際の効果を評価した。フィードバックは改善すべき具体的な対象行動を文書で通知することに加え、次の3つの方法で行われた。適切な行動のみを行うように編集された自身の映像、適切な行動と不適切な行動を行う編集されていない自身の映像、映像のフィードバックを行わない。その結果、3つのフィードバックはいずれも不適切な面接行動の減少を促した。しかし、適切な行動のみを行うように編集された自身の映像によるフィードバックのみが、不適切な行動を完全に消滅させた。

Ram ら [14] は、ビデオセルフモデリングが、スポーツスキルのパフォーマンスと自己効力感に与える影響明らかにすることを目的に、中級レベルのバレーボール選手5名を対象にして、ビデオセルフモデリングを実施した。実験では、自身の成功したプレーのみを編集したビデオを視聴するビデオセルフモデリングを行い、ビデオセルフモデリングを行う前後での、パフォーマンスと自己効力感の増減を検証した。その結果、ビデオセルフモデリング前と比較して、ビデオセルフモデリング後では、選手たちはパフォーマンスの向上と自己効力感の増加を示した。

Goh ら [15] らは、パーキンソン病患者における歩行の固縮を軽減するために、個別に作られた、在宅ベースのビデオセルフモデリングの実現可能性と受容性を明らかにすることを目的にしている。また、この介入が歩行中の固縮、移動能力、不安に及ぼす潜在的効果を調査している。本研究では、パーキンソン病と固縮歩行を有する10名の参加者に対して実験を行った。理学療法士が参加者を自宅で評価し、固縮の誘因を特定し、固縮を克服するための個別の動作を作成した。参加者がその動作を成功させているビデオを作成した。参加者は、HMD を使用してビデオを視聴し、その後、6週間の期間にわたって自宅でその動作を実際に練習した。評価項目は、ビデオセルフモデリングの実現性と受容

性であり、歩行身体検査の固縮と、Timed Up and Go Test（椅子に座った状態から立ち上がり、3m歩き、折り返してから再び着座するまでの時間を図るテスト）、10m歩行試験、目標達成尺度、パーキンソン不安尺度を含むアンケートを行った。その結果、この介入は、パーキンソン病患者の固縮の管理において実現可能であり、ほとんどの参加者に受け入れられるものであることが示唆された。

Amandaら[16]は、ビデオセルフモデリングが、ダイビング競技者の自己調整プロセスに与える影響を調査している。自己調整プロセスとは、自分の行動・思考・感情を目標達成のためにコントロールし、適応させる心理的メカニズムのことである。Zimmerman[17]の定めた自己調整プロセスは、予見段階、遂行段階、自己反省段階の3つの段階に分けられる。予見段階では次のことを行う。何を達成したいのかを決める、目標達成のための計画を立てる、「自分はできる」と信じる、なぜ頑張るのかを意識する。遂行段階では次のことを行う。気を散らさず集中する、自分の行動や進捗を観察する、状況に応じた適切な方法を使う。自己反省段階では次のことを行う。目標に対してどの程度達成できたかを振り返る、成功や失敗の原因を分析する、次回に向けて戦略を修正し、改善を図る。自己調整プロセスは、目標達成のための計画、実行、振り返り、修正のサイクルを回す重要なスキルであり、学習やスポーツ、仕事など幅広い分野で活用されている。Amandaらは、ダイビング選手が競技前にビデオセルフモデリングを実施することで、自己調整プロセスの使用がどのように変化するかを検討した。本研究では、ダイビングクラブに所属する10歳から17歳の10名（男性1名、女性9名）を対象に実験を行った。実験では、参加者の成功した様子を撮影し、その映像を編集することで、理想的なフォームや動きが強調されたビデオを作成した。参加者はこのビデオを、競技を行う直前に視聴した。競技の後、ビデオの使用についての参加者の考え方や感情、またビデオがどのように使用されたかに関連した次の4つの質問からなる短いインタビューを実施した。

Q1 ビデオで自分のダイビングをしているのを見ている間、何を考えていたか

Q2 ビデオで自分がダイビングをしているのを見ているとき、どのように感じたか

Q3 ビデオを見た後、競技をする直前にどのように感じていたか

Q4 ビデオで自分がダイブをするのを見て得た情報を、競技に出る前にどう使ったか

その結果、ほとんどの選手は、競技の前に望ましいイメージを作り上げることや、自分のパフォーマンスを自己評価することで、競技の実行に集中するためのツールとして使用したと答えた。また、ビデオセルフモデリングは自己調整プロセスの、予見段階と自己反省段階の両方に関与する可能性が示唆された。しかし Amandaらは、サンプル数が少ないと、質問がビデオの使用を中心に行われたことから、結果を一般化すべきではないと述べている。

このように、健常者・障害者など多様な人々に対し、勉学やスポーツといった幅広いコンテキストにおいて、ビデオセルフモデリングの適用が検討され、効果が測定されてきた。上述のとおり、万能とはいえないものの、対象者の映像記録（部分的な編集がされた

ものを含む)を用いたビデオセルフモデリングは、特定の人々・コンテキストにおいて有効である、または、有効である可能性があることが分かっている。

2.2 生成した映像を用いるアプローチに関する研究事例

生成した映像を用いるアプローチとは、対象者が実際に望ましい行動をせずとも、対象者が望ましい行動をしている映像を生成することで、ビデオセルフモデリングを行うアプローチである。対象者が実行不可能な身体動作を、実際の対象者を記録した映像に基づくビデオセルフモデリングで提示することは困難である。この問題の克服を狙い、生成映像を用いたビデオセルフモデリングが模索されている。本アプローチでは、feed forward型のビデオセルフモデリングが用いられる。

Tsuchida ら [5] は、ディープフェイク技術を用いて、学習者がプロダンサーと同じ動きをする映像を自動生成するシステムを提案した。ただし、生成された映像はダンス学習の効果を有意に上げることはなく、むしろ、現実の自分よりもはるかに上手に踊る映像中の自分を見ることで、実験参加者は自信を喪失する傾向が確認された。

Fitton ら [6] も同様に、ダンスの習得を狙い、生成映像ベースのビデオセルフモデリングに取り組んでいる。この研究では、対象者に似せたアバタと一般的な見た目のアバタ(ただし性別は対象者のものと一致)を用いた比較実験が行われ、自身に似たアバタの方が対象者の学習体験を向上させる効果が高いことが示された。

Clarke ら [7] は、ディープフェイク技術を活用して、学習者自身の顔を熟練者の体に重ね合わせた映像を生成し、その映像を用いて学習効果を高める手法を提案している。この研究では、ディープフェイク技術を活用したビデオセルフモデリングが学習者のパフォーマンスや自信に与える影響を検証するため、2つの実験が実施された。まず1つ目に、ディープフェイクを用いたビデオセルフモデリングが、参加者の運動パフォーマンスに与える影響を評価することを目的に、6つのエクササイズ(プランク、スクワット、ウォールスクワット、シットアップ、スクワットジャンプ、プッシュアップ)を対象とした実験を実施した。本実験の参加者は大学生および大学職員からなる22名である。その結果、参加者のエクササイズパフォーマンスが向上し、特にプッシュアップやスクワットジャンプで顕著な改善が見られた。また参加者は、ビデオを視聴した際のエクササイズをより楽しんだと報告した。2つ目に、ディープフェイクを用いたビデオセルフモデリングが、参加者のパブリックスピーキングにおける自信と不安に与える影響を評価することを目的に、パブリックスピーキングを対象とした実験を実施した。本実験の参加者は大学生および大学職員からなる20名である。ビデオを視聴した後、参加者の自信が増加し、不安が減少する傾向が見られた。また多くの参加者は、ビデオを視聴することで、パブリックスピーキングに対する恐怖感が軽減されたと報告した。これらの実験結果から、ディープフェイク技術を用いた映像は、エクササイズやパブリックスピーキングにおいて、学習者のパフォーマンス向上や自信の増加に効果的であることが示唆された。しかし、本研究の結果は、特定のタスクや状況において有効性が示されたものの、他の分野やスキルに適用する際には追加の検証が必要だと述べている。

このように、伝統的なビデオセルフモデリングの問題点を克服すべく、AIなどの情報技術を駆使した生成ベースのアプローチが提案され始めている。しかし、効果を十分に發揮するために、映像中の自身はどのような外見・振舞いにするのが適切であるかは、現在議論が続いている状況にあるといえる。

2.3 ダーツにおけるメンタルトレーニングに関する研究事例

ダーツのパフォーマンスとメンタルは密接な関係があるとされており、メンタルトレーニングを行うことで、ダーツのパフォーマンスを高めようとする研究がされている。

Futami ら [18] は、スポーツパフォーマンスにおける重要な場面で、精神状態を制御することの難しさに着目している。この研究では、ユーザーが情報を提示されるだけで精神状態を強化できる新しいメンタルコントロールシステムを提案しており、本システムの評価は、ダーツ投擲シーンにて行われた。Futami らの提案システムは、学習ステージと適用ステージの2つのステージで構成されている。学習ステージでは、ユーザーが成功したパフォーマンスを行った際に、特定の音声による知覚刺激を提示する。これを繰り返すことで、その刺激と成功体験を結びつける。適用ステージでは、本番のパフォーマンス時に、学習ステージで使用したのと同じ刺激を提示することで、ユーザーの精神状態を強化し、パフォーマンスの向上を図る。評価の結果、提案システムはユーザーの精神状態とダーツ競技の結果に一貫した効果を持つことが確認された。ただし、その効果は使用者ごとに異なることも報告されている。個々の使用者の特性に基づいて効果を特定する方法についても議論されている。

Judi ら [19] は、セルフトークがダーツ投擲のパフォーマンスに与える影響を調査している。この研究では、参加者をポジティブなセルフトーク群とネガティブなセルフトーク群に分け、それぞれのセルフトークが投擲パフォーマンスにどのように影響するかを比較した。その結果、ポジティブなセルフトークを使用した参加者は、ネガティブなセルフトークを使用した参加者よりもダーツ投擲のパフォーマンスが有意に向上した。この結果は、セルフトークの内容が運動パフォーマンスに影響を及ぼす可能性を示唆している。しかし、セルフトークの効果は個人差や状況によって異なるため、さらなる研究が必要だと Judi らは述べている。

Van ら [20] は、観察学習の種類と内省が初心者のダーツ投擲スキルの習得に与える影響を調査している。Van らは次の2つの仮説を検証した。初心者モデルを観察した参加者は、専門家モデルを観察した参加者よりも優れたパフォーマンスを示し、さらに、モデルを観察しなかった参加者よりも優れる。内省活動は、参加者のスキル習得、自己効力感、および自己反応スコアを向上させる。本研究では156人の高校生と大学生が参加し、次の手順で実験を行った。まず、参加者の初期のダーツ投擲スキル、自己効力感、および自己反応スコアを評価する。次に参加者は、初心者モデル、専門家モデル、モデルなしのいずれかの条件に割り当てられる。最後に参加者は、内省活動を行うグループと行わないグループに分けられ、ダーツ投擲の練習を行った。その結果、仮説に反して、モデリングの種類や内省の有無による効果は見られなかった。そして全ての参加者は時間の経過とともに

に、ダーツ投擲スキル、自己効力感、および自己反応スコアが向上した。この結果は、モデリングの種類や内省がスキル習得に与える影響である可能性を示唆している。

Jennifer ら [21] は、イメージトレーニングとセルフトークがダーツ投擲のパフォーマンスと自己効力感に与える影響を調査している。この研究では、ポジティブおよびネガティブなイメージトレーニングとセルフトークの組み合わせが、ダーツ投擲のパフォーマンスと自己効力感にどのように影響するかを検証している。95人の参加者を次のグループに分ける。

- (1) ポジティブなイメージトレーニングとポジティブなセルフトーク
- (2) ポジティブなイメージトレーニングとネガティブなセルフトーク
- (3) ネガティブなイメージトレーニングとポジティブなセルフトーク
- (4) ネガティブなイメージトレーニングとネガティブなセルフトーク
- (5) 何も行わない

各グループは、指定されたイメージトレーニングとセルフトークの組み合わせを用いてトレーニングを行い、その後ダーツ投擲タスクを実施する。その結果、パフォーマンスは時間の経過とともに割り当てられた実験条件の影響を受けて変化したが、自己効力感には有意な変化は見られなかった。特に、ネガティブなイメージトレーニングとネガティブなセルフトークの組み合わせを使用した参加者はパフォーマンスが低下し、ポジティブなイメージトレーニングとポジティブなセルフトークの組み合わせを使用した参加者はパフォーマンスが向上した。

Epstein ら [22] は、内的（第一人称視点）および外的（第三人称視点）のイメージリハーサルが、ダーツ投擲のパフォーマンスに与える影響を調査している。この研究では、参加者は次の3つのグループに割り当てられた。

- (1) 内的メンタルリハーサル
- (2) 外的メンタルリハーサル
- (3) メンタルリハーサルなし

ベースラインのパフォーマンス評価後、各被験者は3本のダーツを投げる前に指定されたメンタルリハーサルを行う。その結果、内的イメージリハーサルは、パフォーマンスの向上に強い影響を与えることが確認された。特に自己の感覚を意識して動作をシミュレートすることで、運動技能が向上したとされ、内的リハーサルが運動パフォーマンスに効果的であることが示唆された。外的リハーサルはパフォーマンス向上に寄与するものの、内的リハーサルほどの効果は確認されなかった。この結果から、メンタルリハーサル（特に内的リハーサル）は、運動パフォーマンスの向上において有用であり、アスリートや運動を行う個人にとって有益なトレーニングとなることが示唆された。

このように、ダーツにおけるメンタルトレーニングに関する研究は様々なトレーニング方法が適用が検討され、効果が測定されてきた。しかし、メンタルトレーニングによる効果には、個人差や状況によって異なるため、さらなる研究が必要であるとされている。

第3章 研究デザイン

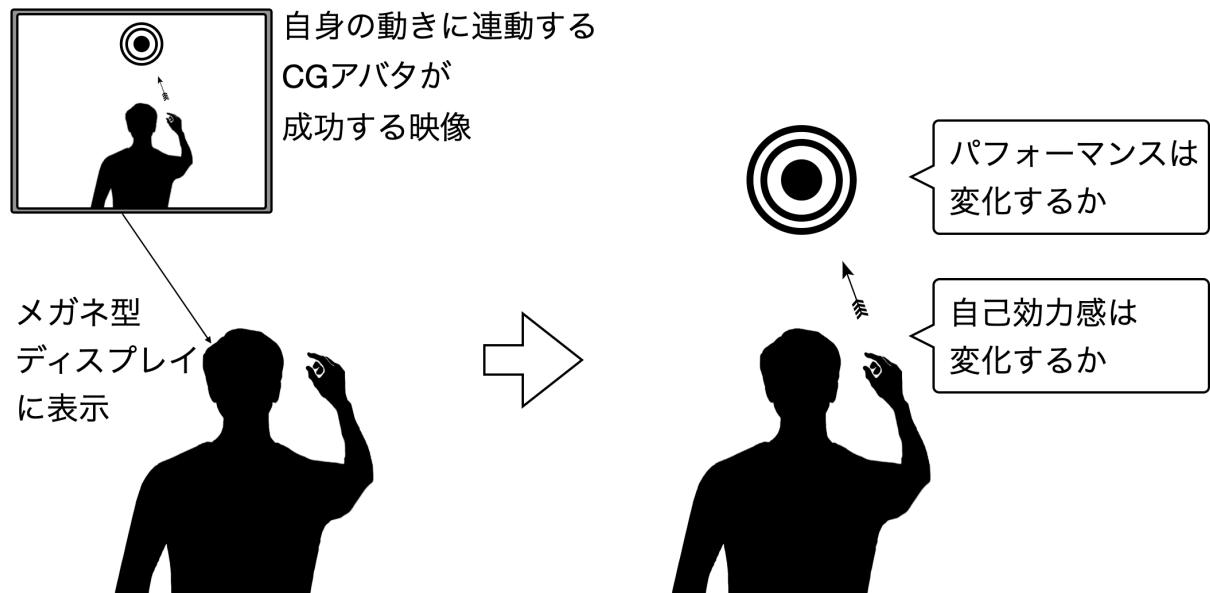


図 3.1: 研究のデザインの概要

本章では、本論文における研究課題と研究のデザインを述べる。本研究のデザインの概要を図 3.1 に示す。本研究では、心理的なプレッシャーがかかる状況において、自身のアバタが成功している様子を見ることで、パフォーマンスや自己効力感に変化があるのかを明らかにする評価実験を行う。3.1 節にて、本研究における問題を定義する。3.2 節にて、本研究の研究課題について説明を行う。3.3 節にて、ダーツ投擲シーンに着目した理由を述べる。3.4 節にて、本研究の実験計画の全体像について説明を行う。

3.1 問題の定義

教育、心理、医療の分野では、自分が肯定的な行動をしている映像を見て社会的スキルや運動スキルの向上を目指すビデオセルフモデリングが用いられている。しかし、2.1 節で紹介した、従来のビデオセルフモデリングでは、自分が理想に近い振舞いをしている様子の映像記録を準備する必要があり、この準備が手間であるという問題や、そもそも理想に近い振舞いができないという問題がある。この問題の解決を狙い、2.2 節で紹介した研究では、ディープフェイクなどの情報技術を駆使して、自分が理想的な振舞いを行う映像を生成する取り組みが行われてきた。ただし、従来のビデオセルフモデリングの欠点を克服できる可能性が示唆されたものの、心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感に与える影響は明らかにされていない。また、生成された映像中の自分の見た目・振舞いから違和感を覚えることで、パフォーマンス・自己効力感に本来のビデオセルフモデリングの効果を与えることができないという問題もある。

上記をふまえ、本研究における問題は、心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンスや自己効力感に与える影響が明らかでないこと、映像中の自分をどのように

表現すればビデオセルフモデリングの効果が発揮できるか明らかでないことであると定義する。

3.2 研究課題の設定

3.1節で述べたように、教育・心理・医療の分野を中心に、ビデオセルフモデリングは一定の役割を果たしてきた。映像の自由度向上・作成コスト低減を狙い、コンピュータが生成した映像を用いるアプローチも脚光を浴びている。ただし、生成ベースの事例は、ダンス習得のように中長期的な能力向上を扱ったものに限定されており、近い将来に起きる心理的プレッシャーが高い状況への対策を題材としたものは、我々が調査した範囲では見つかっていない。加えて、ビデオセルフモデリングの効果を発揮するための映像中の自身の外見・振舞いについては、まだ十分な知見が得られているとはいえない。

上記を踏まえ、本研究では、生成ベースのビデオセルフモデリングが、(1)心理的なプレッシャーがかかる状況におけるパフォーマンス・自己効力感の向上に寄与するか否かを明らかにし、(2)映像中の自分をどのように表現すればビデオセルフモデリングの効果が発揮できるか究明することを研究課題として設定する。

3.3 想定シーン

本研究では心理的なプレッシャーがかかり、かつ、精神状態がパフォーマンスに影響を与えることが予想されるダーツを検証対象のシーンとして選定する。ダーツは、一定のルールのもとで成績が数値化されるため、運動パフォーマンスを適切に評価でき、プレッシャーの強度を容易に操作・評価できる。特に、得点の記録などを導入し、目標点数を設定することで、実験参加者に対して精神的ストレスを与えることが可能である。さらにダーツ投擲は、比較的単純な運動スキルであり、個人間による不可能、可能の差が生じにくい。一方、ダンスなどの課題は、評価基準が主観的になりやすく、心理的なプレッシャーの影響を定量的に測定することが難しい。さらに、ダンスなどの全身を用いた動作は、個人間によって実施することが不可能な行動、可能な行動が生じると考えられる。上記の点から、本研究では心理的なプレッシャーがかかる状況としてダーツ投擲を選定した。ダーツは、心理的なプレッシャーの影響を操作しやすく、運動パフォーマンスの変化を客観的に分析可能であるため、本研究の目的に適していると判断した。

3.4 実験設計の全体像

本研究では、実験システムの実装、予備実験、実験システムの改良、評価実験の4つのステップに基づいて実験を進める。最初に、研究目的に基づき、ビデオセルフモデリングを行うため映像を生成する実験システムを実装する。本システムにより生成される映像は、CGを用いて自動生成することとし、映像中では、対象者の分身を意図したデジタル

ツイン（CG アバタ）が、ダーツを投げてダーツ盤の中央（ブル）に当てるシーンがアニメーション表示される。このとき、対象者が映像中のデジタルツインを自分の分身であると感じやすくすることを狙い、実空間中の対象者の動きと映像中のデジタルツインの動きが連動するようにシステムを設計・実装する（4章）。このシステムを用いて、対象者に映像を見てもらった上でダーツ投擲を行う予備実験を行い（5章），パフォーマンスや自己効力感の観点から効果測定を行うとともに、実験設計の妥当性を評価する。予備実験で得られた知見に基づいて、実験システムの改良を行う。具体的には、実験システムの生成する映像の精度向上、実験条件の最適化を行う。その後、改良された実験システムを用いて、ダーツ投擲を行う比較実験を行い（6章），パフォーマンスや自己効力感の観点から効果測定を行う。

第4章　自己効力感向上システムの実装

本章では、デジタルツインを用いた自己効力感向上システムに関する実装について述べる。

4.1 システムの全体像

自身のデジタルツインが成功している様子を見ることができるシステムの実装を行った。ヒトのデジタルツインとは、ヒトの思考や性格などをデジタル空間上で表現することで、ヒトの行動をデジタル空間上で再現することが可能になるという技術のことである。ヒトのデジタルツインが実現された場合、単にヒトをデジタル空間上で再現するだけではなく、デジタルツインを用いた未来のシミュレーションが可能になるという構想がある。

本システムは、3D空間上に、ユーザのデジタルツインであるアバタと、ダーツの矢、ダーツ盤が存在している（図4.1）。デジタルツインは、ユーザがダーツを投げる動作と連動してダーツを投げる動作を行う。この際、デジタルツインが投げたダーツは必ずダーツ盤の中央であるブルに当たる。本システムにおけるデジタルツインはユーザの容姿や性格を反映していない。デジタルツインの身体動作は、ユーザの身体動作にリアルタイムに連動する。デジタルツインとユーザの身体動作の連動にはモーショントラッカーから取得した、モーショントラッキングデータを用いる。システムの構成図を図4.2に示す。ユーザのダーツを投げる動作の判定は、モーショントラッカーから取得したユーザの腕の位置データが、著者の設定した閾値を超えたかどうかで判定する。ディスプレイには、デジタルツインを後ろ斜め上からの視点で写した映像を表示する。

4.2 自己効力感向上システムの実装

4.2.1 モーショントラッキング

対象者とデジタルツインの動きを連動させるために、実空間中の対象者の動きを検出する必要がある。本研究では、mocopi*を用いて、対象者の姿勢をリアルタイム検出した。mocopiの詳細な仕様は表4.1に示す。この製品は、ユーザの頭、両手首、腰、両足首にそれぞれ8gの6DoF慣性センサを装着することで、ユーザの大まかな位置・姿勢検出ができる。今回の実装では、対象者が緩やかに腕や体を揺らす動作や、ダーツを投擲する動作をリアルタイム検出できた。

4.2.2 映像生成

本システムは、Unityを用いて、アニメーション映像を自動生成する。このデジタルツインは、モーショントラッキングされた対象者の動きを反映し、腕を振ったり、体を傾け

*<https://www.sony.jp/mocopi/>

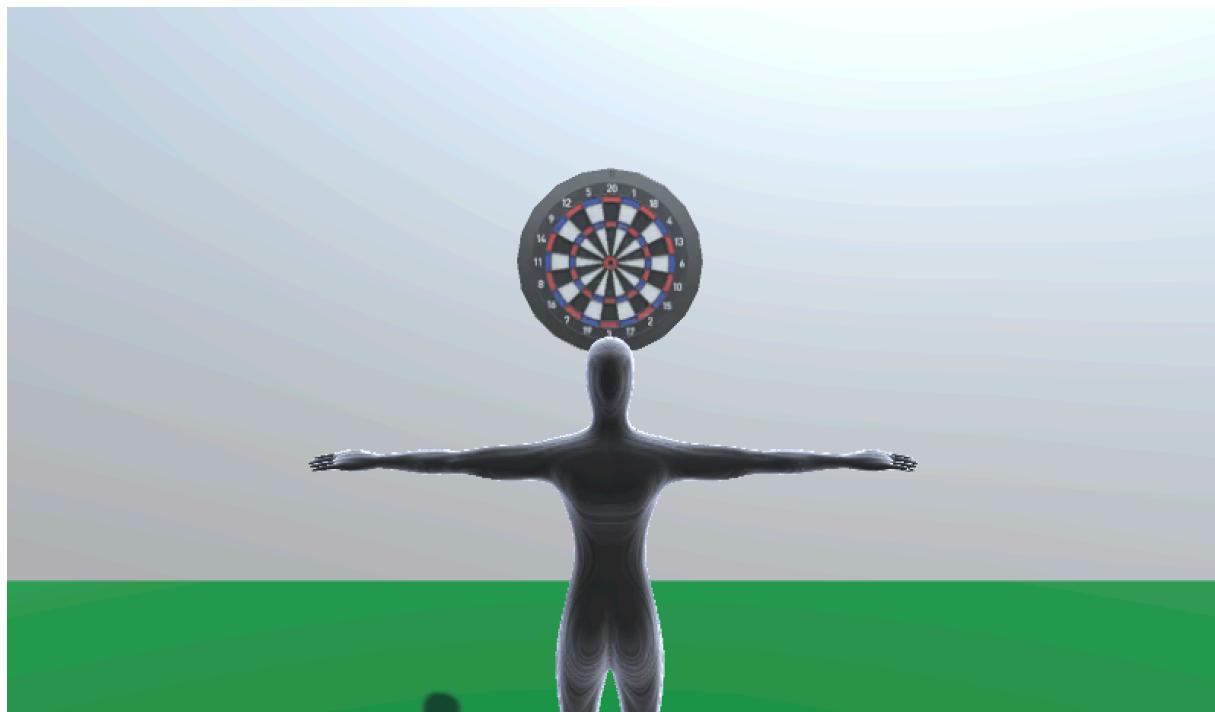


図 4.1: システムが生成した映像

たりする。対象者がダーツを投擲するジェスチャをすると、デジタルツインがダーツを投げ、そのダーツが奥にあるダーツ盤の中央に当たるシーンが表示される。

表 4.1: mocopi の仕様

項目	内容
サイズ (直径×厚み)	32mm × 11.6mm
質量	8g
測定方式	6DoF (加速度センサ 3DoF + 角速度センサ 3DoF)
通信方法	Bluetooth LE Ver.5.2
最大通信距離	10m
使用周波数帯域	2.4GHz 帯

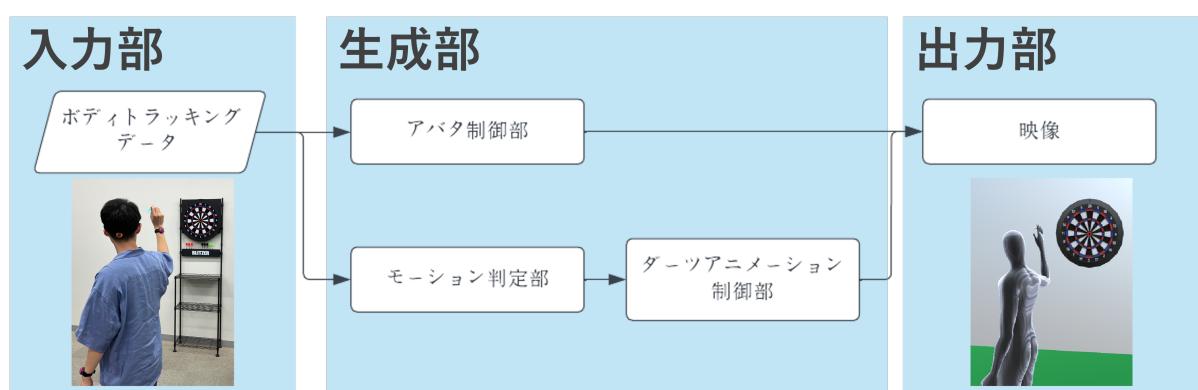


図 4.2: システム構成図

第5章 予備実験

本章では、予備実験の内容を説明し、得られた知見や問題点について述べる。

5.1 予備実験の目的

予備実験では、ダーツ投擲シーンにおいて、生成ベースのビデオセルフモデリングが及ぼす効果を究明することを目的とする評価実験に向け、実験設計の妥当性を評価することを目的とする。

5.2 予備実験の概要

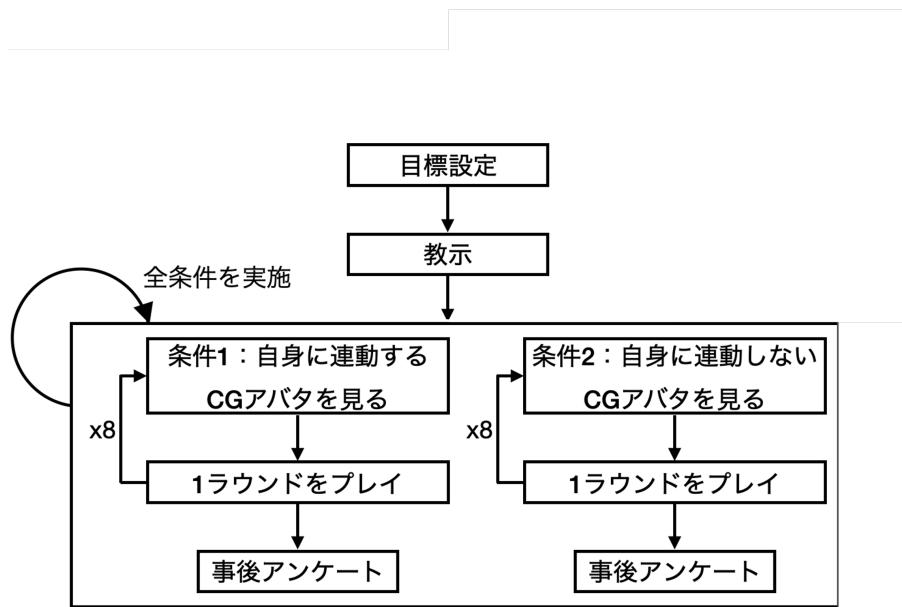
予備実験は、図 5.1 に示すように、窓がなく、周囲を人が通行しない部屋の中で行った。実験時には、実験参加者 1 名と実験者 1 名のみが在室するようにし、説明時以外は実験者は実験参加者の視界に入らない離れた位置で待機した。実験参加者がシステムが生成した映像を見られるように、映像は平面ディスプレイに出力した。



図 5.1: 予備実験の様子

実験参加者は、大学内からダーツの実力を問わずに公募された 20 代の学生 10 名（男性 9 名、女性 1 名）であった。彼らには、実験参加者謝礼として 1,000 円が支払われた*。

*後述のとおり、実験設計の都合上、実験開始時点においては、謝礼金はダーツのスコアに連動すると実



5.3 予備実験の手順

予備実験は、被験者内計画にて、自身に連動するデジタルツインの成功を見ることが、実験参加者に与える影響を検証した。この検証を行うために、次の2条件の比較を行った。

条件1 自身に連動するデジタルツイン（CGアバタ）のダーツ投擲を見た後で、ダーツを投げる。

条件2 自身に連動しないデジタルツイン（CGアバタ）のダーツ投擲を見た後で、ダーツを投げる。

1日あたり1つの実験条件を検証することとし、計2日間の検証を行う。順序効果の影響を低減するために、各実験参加者が経験する条件の順番はランダムに決定した。

予備実験では、ダーツを3回連續で投げることを1ラウンド、これを8ラウンド行うことを1セットと定義した。実験参加者に心理的プレッシャーを与えるため、一定の目標点数を示し、目標を達成すると謝礼金が増えることを教示した。より詳しい実験手順を図5.2、および、次に示す。

Step.1 実験参加者は自由に動き、アバタが追従することを確認する。

Step.2 実験者は実験参加者に目標点数を示し、目標を達成することで謝礼金が増えると教示する。

実験参加者は教示された。

表 5.1: 事後アンケートの内容

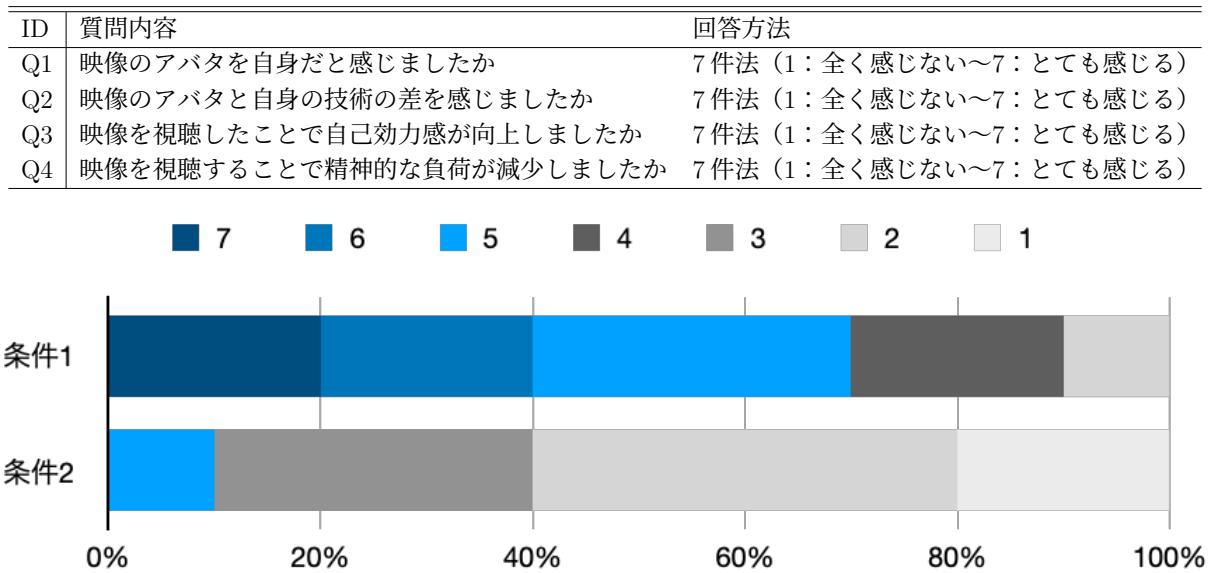


図 5.3: Q1 の回答分布 (N=10)

Step.3 実験参加者はアバタが成功している映像を視聴した後に、ダーツを3回連続で投げることを1ラウンドとし、これを8ラウンド行う。

Step.4 実験参加者は8ラウンド行った後にアンケートに回答する（表5.1）。

5.4 予備実験の結果

はじめに、予備実験で実施したアンケートの結果を図5.3～図5.6に示す。次に、予備実験で行ったダーツのスコアを表5.2、表5.3に示す。

アンケートQ1の回答結果（図5.3）について、条件1では、5以上の回答を行った実験参加者が過半数を占めている。また、条件2では3以下の回答を行った実験参加者が過半数を占めているため、ユーザとアバタの動きの連動の有無はアバタを自身だと感じるかどうかに大きな影響を与える可能性が示された。この結果から、ユーザの動きとアバタの動きをリアルタイムに連動させることで、システム内のアバタをユーザのデジタルツインであると認識させられる可能性が示された。

アンケートQ3の回答結果（図5.5）について、条件1では5以上の回答を行った実験参加者が過半数を占めている。この結果から、自身と同じ動きをするデジタルツインを用いることで、自己効力感を向上させられる可能性が示された。

アンケートQ1、Q3の結果から、我々の提案するシステムはユーザの自己効力感を向上させられる可能性が示された。しかし、ダーツのスコアに着目すると、条件1と条件2で特筆すべき相関や、傾向は見られていない。

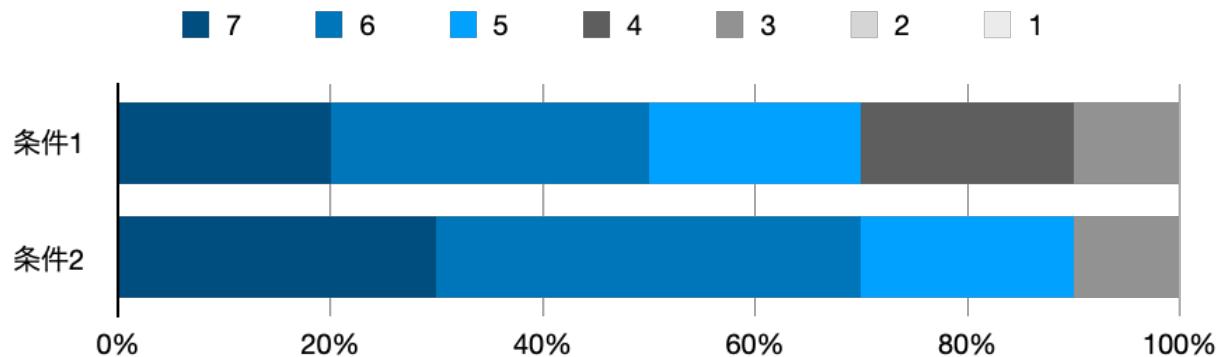


図 5.4: Q2 の回答分布 (N=10)

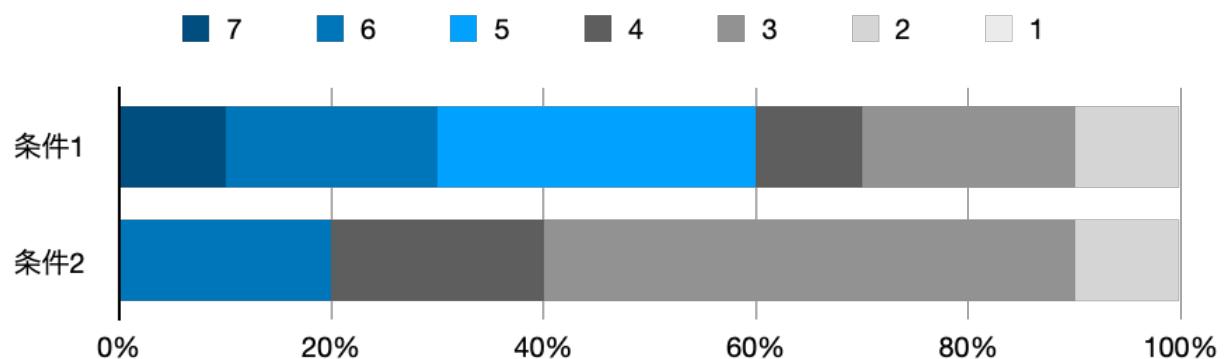


図 5.5: Q3 の回答分布 (N=10)

5.5 予備実験で判明した改善点

予備実験からは、実験設計の問題点が明らかになった。実験システムについては、映像の提示場所の問題が判明した。具体的には、映像の出力先として平面ディスプレイを採用していたため、実験参加者はシステム利用時と実際のダーツ投擲時で、体の向きを変える必要があった。このことが実験結果に影響を及ぼした可能性がある。続く評価実験では、実際にダーツ投擲を行う姿勢でシステムが生成した映像を見られるようにする必要がある。アンケート項目については、自己効力感を評価するタイミングに問題があった。具体的には、システム利用後の自己効力感を評価するためにQ3を設けたが、実験後にしかアンケートを行っていないため、自己効力感の遷移が正しく評価できていない可能性がある。続く評価実験では、実験前にもアンケートを実施することで、システム利用前とシステム利用後の自己効力感を評価する必要がある。実験条件については、目標の設定に改善の余地があった。予備実験では、実験参加者には一律の目標点数を教示していた。しかし、実験参加者のダーツ技術は統一されていないため、目標を教示された時点で目標達成を諦めていた実験参加者がいた可能性がある。評価実験では、実験参加者ごとに個別の目標を設定する必要がある。

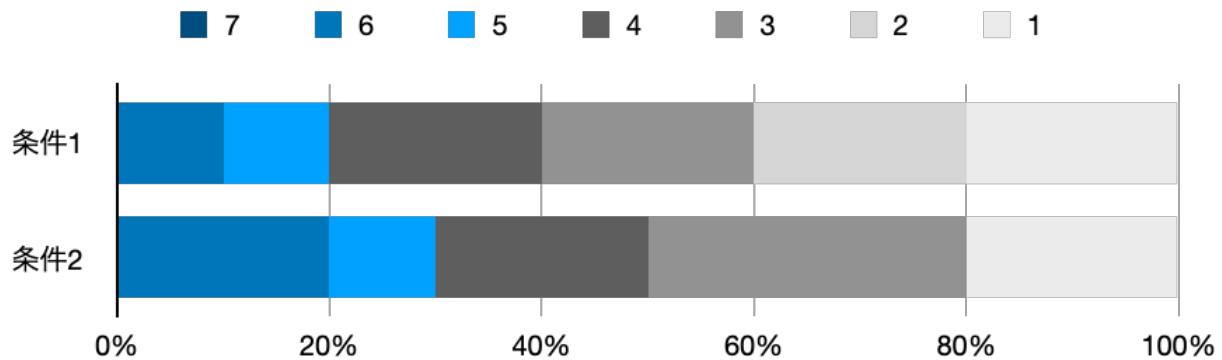


図 5.6: Q4 の回答分布 (N=10)

表 5.2: 条件 1 のダーツのスコア

ID	Round 1	Round 2	Round 3	Round 4	Round 5	Round 6	Round 7	Round 8	Total
1	35	14	9	36	72	11	35	23	235
2	21	35	47	25	31	32	53	8	252
3	115	25	37	69	23	26	33	83	411
4	14	43	33	78	49	59	72	35	383
5	73	35	12	42	39	48	43	24	316
6	29	28	69	6	8	40	28	23	231
7	23	28	55	10	53	6	41	18	234
8	9	57	1	75	3	25	8	23	201
9	49	17	92	41	15	75	65	53	407
10	40	25	58	11	28	13	20	30	225

表 5.3: 条件 2 のダーツのスコア

ID	Round 1	Round 2	Round 3	Round 4	Round 5	Round 6	Round 7	Round 8	Total
1	65	32	78	66	28	103	9	22	403
2	27	8	45	62	34	44	71	26	317
3	22	89	84	53	40	69	26	78	461
4	37	36	28	24	54	38	13	69	299
5	31	16	83	27	23	64	37	30	311
6	43	61	64	34	67	47	27	42	385
7	27	19	35	19	13	31	70	29	243
8	65	9	17	38	33	44	40	17	263
9	50	29	29	34	73	65	34	52	366
10	20	25	23	33	28	33	62	41	265

第6章 評価実験

本章では、ダーツ投擲シーンにおいて、生成ベースのビデオセルフモデリングに関する評価実験・考察について述べる。

6.1 評価実験の目的

評価実験では、ダーツ投擲シーンにおいて、生成ベースのビデオセルフモデリングが及ぼす効果を究明することを目的とする。より具体的には、自身と同じ動きをするデジタルツインが理想的な振舞いを行う様子を見ることで、ダーツプレイにおける対象者のパフォーマンスが向上するか、および、プレイ時の自己効力感や精神的負荷が変化するか、明らかにすることを目指す。

6.2 評価実験の概要

評価実験は、図6.1に示すように、窓がなく、周囲を人が通行しない部屋の中で行った。実験時には、実験参加者1名と実験者1名のみが在室するようにし、説明時以外は実験者は実験参加者の視界に入らない離れた位置で待機した。実験参加者が、実際にダーツ投擲を行う姿勢でシステムが生成した映像を見られるように、映像はメガネ型ディスプレイ*に出力した。

実験参加者は、大学内からダーツの実力を問わずに公募された20代の学生12名（男性10名、女性2名）であった。彼らには、実験参加者謝礼として1,000円が支払われた†。

6.3 評価実験の手順

評価実験は、被験者内計画にて、自身に連動するデジタルツインの成功を見ることが、実験参加者に与える影響を検証した。この検証を行うために、次の3条件の比較を行った。順序効果の影響を低減するために、各実験参加者が経験する条件の順番はラテン方格法に基づき決定した。

条件1 自身に連動するデジタルツイン（CGアバタ）のダーツ投擲を見た後で、ダーツを投げる。

条件2 自身に連動しないデジタルツイン（CGアバタ）のダーツ投擲を見た後で、ダーツを投げる。

条件3 映像を見ずに、ダーツを投げる。

*<https://www.xreal.com/jp/air/>

†後述のとおり、実験設計の都合上、実験開始時点においては、謝礼金はダーツのスコアに連動すると実験参加者は教示された。



図 6.1: 実験の様子

評価実験では、ダーツを3回連続で投げることを1ラウンド、これを8ラウンド行うことを1セットと定義した。実験参加者に心理的プレッシャーを与えるため、それぞれの実力に基づく目標点数を示し、目標を達成すると謝礼金が増えることを教示した。このとき、実験参加者が意図的に目標点数を低めに設定することがないよう、目標点数設定後に謝礼金に関する教示を行った。より詳しい実験手順を図6.2、および、次に示す。

Step 1 実験参加者にダーツを3セット行わせた。

Step 2 実験参加者に、Step 1で最高得点を記録したセットの得点の1.1倍を目標点数として提示し、以降のプレイでは目標を達成すると謝礼金が増えると教示した。

Step 3 実験参加者に事前アンケート（表6.1）に回答させた。

Step 4 実験参加者に、条件1の場合は自身に連動するデジタルツインの投擲を見せ、条件2の場合は自身に連動しないデジタルツインの投擲を見せ、条件3の場合は何も見せずに、1ラウンドを行わせた。これを8ラウンド（1セット）繰り返させた。

Step 5 実験参加者に事後アンケート（表6.2）に回答させた。

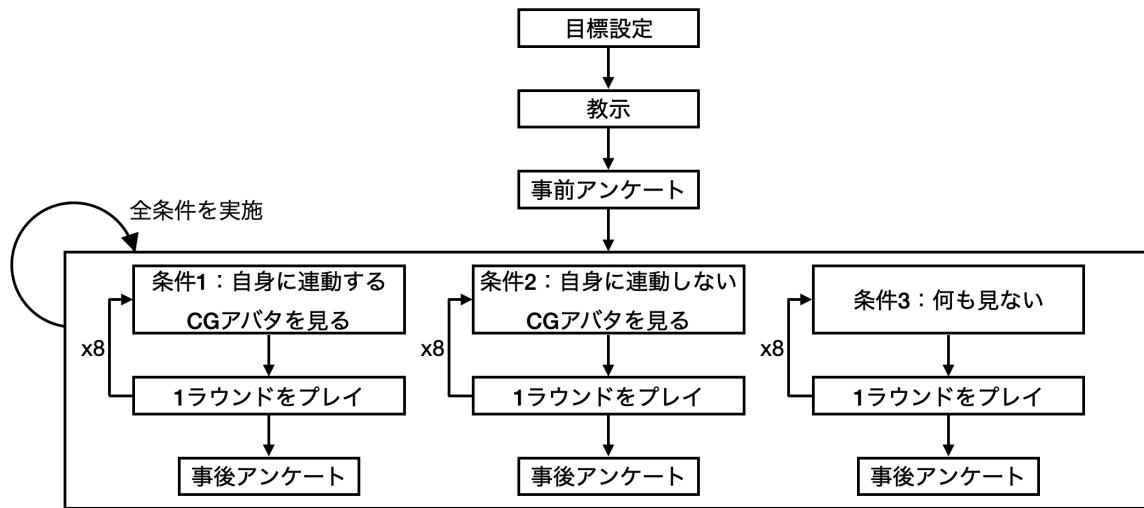


図 6.2: 実験手順

表 6.1: 事前アンケートの内容

ID	質問内容	回答方法
Q1	目標を達成できると感じましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q2	目標を示されたことで精神的な負荷を感じましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q3	ブルに入れるのは難しいと感じますか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)

Step 6 未実施の条件がなくなるまで、実験参加者にStep 4・5を繰り返させた。

6.4 評価実験の結果

6.4.1 事前アンケートの結果について

事前アンケート（表 6.1）の結果を図 6.3 に示す。この結果から、実験参加者の多くは、目標を達成できると感じていること、目標を示されたことで精神的な負荷を感じていないこと、ブルに入れるのは難しいと感じていることが確認できた。

表 6.2: 条件 1, 条件 2 における事後アンケートの内容

ID	質問内容	回答方法
Q1	映像のデジタルツインを自身のデジタル上の分身だと感じましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q2	映像のデジタルツインと自身でダーツ技術の差を感じましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q3	映像を視聴したことでブルに入れる自信はつきましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q4	映像を視聴したことで精神的な負荷が減少したと感じました	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q5	今後もダーツを続けければブルに入れられるようになると感じましたか	7件法 (1: 全く感じない～7: とても感じる)
Q6	特に映像のどこを注視していましたか	選択式 (ダーツの矢, ダーツ盤, アバタ, その他)

6.4.2 事後アンケートの結果について

事後アンケート（表6.2）の結果を図6.4～図6.8、表6.3に示す。

Q1の回答結果（図6.4）について、条件1と条件2の間でWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、5%水準での有意差が認められた。この結果より、ユーザの動きとデジタルツインの動きをリアルタイムに連動させることで、ユーザが自身のデジタルツインであると認識することが示唆される。

Q2の回答結果（図6.5）について、条件1と条件2の間でWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、有意差は認められなかった。回答結果より、条件1、条件2ともに8割以上の実験参加者がデジタルツインと自身でダーツ技術の差を感じていることが確認できた。このことから、デジタルツインが自身に連動することの有無に関わらず、デジタルツインと自身でダーツ技術の差を感じていることがわかった。

Q3の回答結果（図6.6）について、条件1と条件2の間でWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、5%水準での有意差が認められた。このことから、ユーザの動きとデジタルツインの動きをリアルタイムに連動させることで、自己効力感を向上させられることが示唆される。

Q4の回答結果（図6.7）について、条件1と条件2の間でWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、有意差は認められなかったものの、10%水準で有意傾向が認められた。回答結果より、条件1、条件2ともに8割以上の実験参加者が精神的負荷の減少を感じていないことが確認できた。

Q5の回答結果（図6.8）について、条件1と条件2の間でWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、有意差は認められなかった。回答結果より、条件1では6割以上の実験参加者が今後もダーツを続けることでブルに入れられるようになると感じていた。このことから、実験参加者が自身に連動するアバタの理想的な振舞いを見た上でダーツを続けることによりブルに入れられるようになる可能性がある。今後、評価実験よりも長い期間の実験を行うことで、自身に連動するアバタの理想的な振舞いを見た上でダーツを続けることでブルに入れられるようになるのか検証する必要がある。

6.4.3 パフォーマンスについて

ダーツの結果を表6.4～表6.6に示す。各条件における目標達成率を図6.9に示す。ダーツの結果に着目すると、条件1と条件2で特筆すべき相関や、傾向は見られていない。この結果から、我々の提案するシステムはユーザのダーツの結果に与える影響は微小である可能性が示された。条件1～3の各条件間で対応のあるt検定を行い、検定の多重性の問題を回避するためにHolm補正を行ったところ、いずれの条件の間にも有意な差は認められなかった。

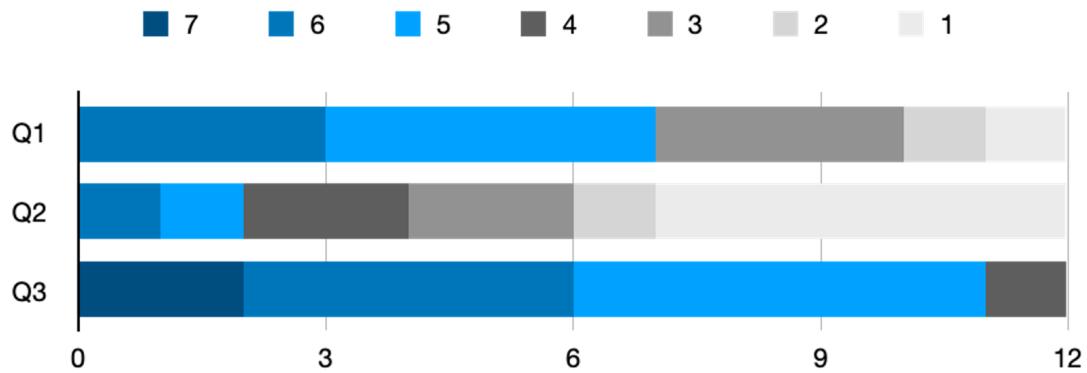


図 6.3: 事前アンケートの回答分布 (N=12)

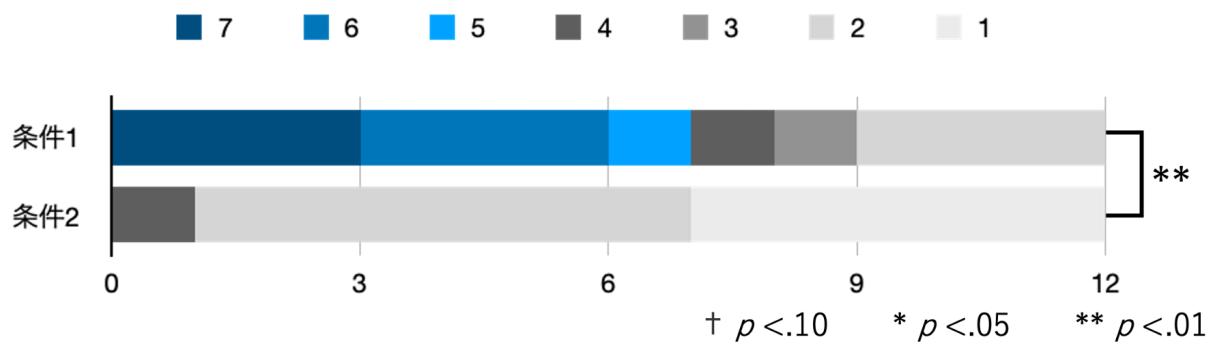


図 6.4: 事後アンケート・Q1 の回答分布 (N=12)

6.5 考察

本稿では、6.4 節の実験結果について、自己効力感、精神的負荷、パフォーマンスに着目し考察する。

6.5.1 自己効力感への影響

事後アンケートの Q3 の回答結果 6.6 にて、条件 1 と条件 2 の間に有意差が認められた。この理由について考察する。まず条件 1 における事後アンケートの Q3 の回答結果が有意に高い結果となった理由を分析する。条件 1 における事後アンケートの Q3 への回答理由

表 6.3: 事後アンケート・Q6 の回答結果

	ダーツの矢	ダーツ盤	アバタ
条件 1	5 名	3 名	4 名
条件 2	4 名	5 名	3 名

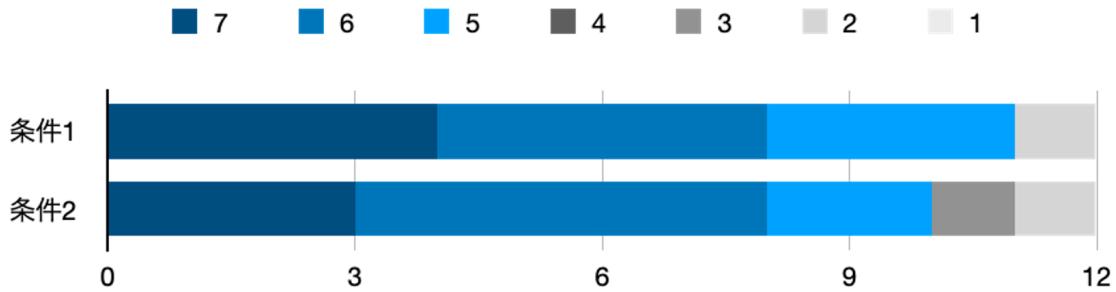


図 6.5: 事後アンケート・Q2 の回答分布 (N=12)

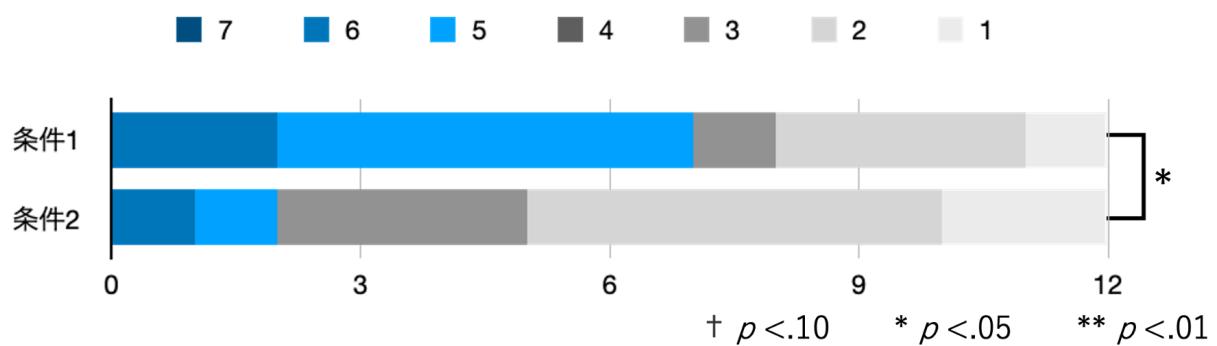


図 6.6: 事後アンケート・Q3 の回答分布 (N=12)

のうち 5 名の実験参加者から理想とする振舞いのイメージを掴めたといいう意見を得られた。具体的には，“ブルに入るイメージが掴めたため”や“良い動きのイメージができるのでその分自信を持って投げられた気がする”，“アバタでイメージを多少掴めたから”といった意見であった。このことから、自身に連動するデジタルツインの理想的な振舞いの様子を視聴することで、理想とする振舞いイメージを掴みやすい可能性がある。加えて、デジタルツインの動きと実験参加者の動きをリアルタイム連動させたことも成功するイメージが掴みやすくなる理由として考えられる。システム内のデジタルツインの動きと実験参加者の動きに乖離が少なかったことで、デジタルツインの動きを自身の動きと錯覚できた可能性がある。これらのことにより、理想とする振舞いのイメージを掴めたのではないかと考えられる。

次に、条件 2 における事後アンケートの Q3 の回答結果が有意に低い結果となった理由を分析する。条件 2 における事後アンケートの Q3 への回答理由より，“ダーツを投げる時のアバタの姿勢と自分の姿勢が違すぎる為”や“アバターと自分がリンクしていなかったから”，“ブルに入るアバタを見ているだけなので自信はつかない”といった意見を得た。これらのことより、システム内のデジタルツインの動きと自身の動きが連動しない場合、自己効力感の向上につながらない可能性がある。

これらのことから、自身の動きと連動したデジタルツインが理想的な動きをしている映像を視聴することで自己効力感が向上したと考えられる。

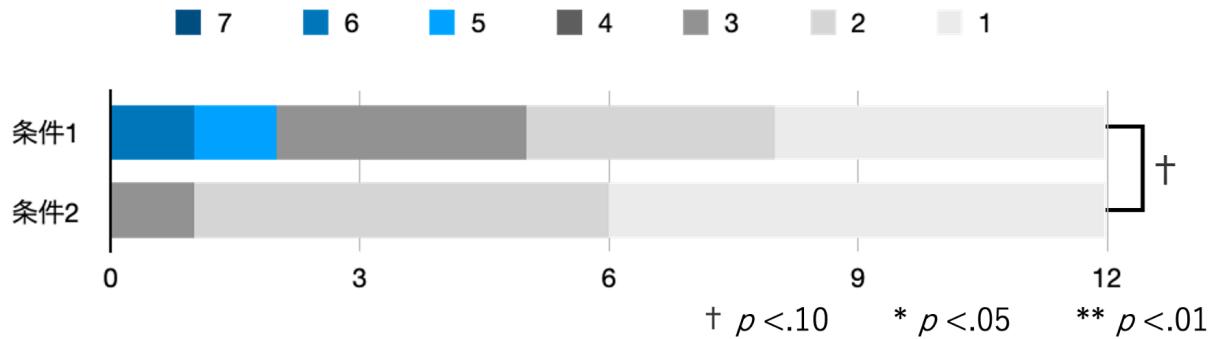


図 6.7: 事後アンケート・Q4 の回答分布 (N=12)

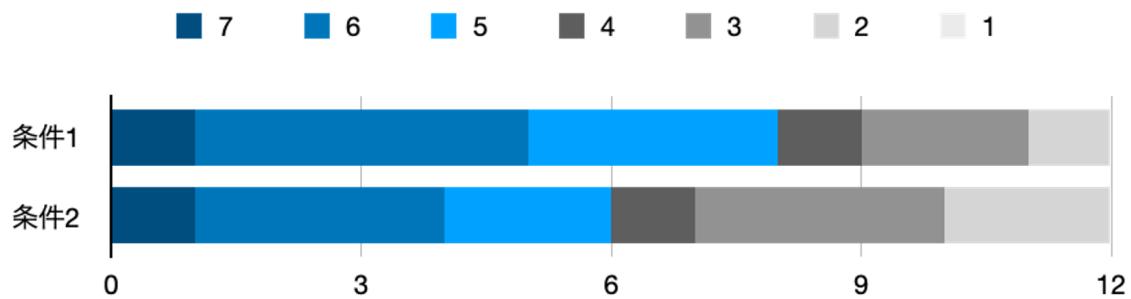


図 6.8: 事後アンケート・Q5 の回答分布 (N=12)

6.5.2 精神的負荷への影響

事後アンケートの Q4 の回答結果 6.7 にて、条件 1 と条件 2 の間に有意差は認められなかった。この理由について考察する。事前アンケートの Q2 にて、8 割以上の実験参加者が精神的負荷を感じていないと回答している。このことから、事後アンケートの時点で、減少するほどの精神的負荷を感じていなかったため、有意差が認められなかったと考えられる。

6.5.3 パフォーマンスへの影響

目標達成率に関して、全ての条件間に有意差は認められなかった。このような結果となった理由は複数考えられる。まず、提案手法がパフォーマンスへあまり影響を及ぼしていない可能性がある。6.5.1 項で述べたように、提案手法を用いることで実験参加者は理想とする振舞いのイメージを掴むことができたと考えられる。しかし、ブルに向けてダーツを投擲する動きにおいては、理想とするイメージを掴めても短期間でパフォーマンスに影響を与えることができない可能性がある。そのため、今後はパフォーマンスに影響を与えるような手法を検証していく必要がある。次に、実験期間が短すぎたことによる影響である。2.1 節で述べた、ビデオセルフモデリングに関する多くの研究では、数ヶ月単

表 6.4: ブルに当たった回数 (条件 1)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
1	0	0	0	1	1	0	0	0	2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	1	0	0	0	0	1	0	2
7	0	0	0	0	1	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	1	0	0	0	1	1	4
10	1	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	1	1	0	0	0	2
12	0	0	2	0	0	0	0	0	2

位での実験を行っている。評価実験では短期間での検証しかできておらず、提案手法を長期間使用した場合の影響は不明である。よって、今後は本研究で構築したシステムを長期間使用した実験を行い、パフォーマンスへの影響を調査する必要がある。

表 6.5: ブルに当たった回数 (条件 2)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
1	0	0	0	0	0	1	1	0	2
2	0	2	0	0	0	0	0	1	3
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	2
5	1	1	0	1	1	0	2	0	6
6	1	0	0	1	0	0	0	1	3
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	1	1	0	0	3
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	1
12	1	1	1	0	0	0	0	0	3

表 6.6: ブルに当たった回数 (条件 3)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
1	1	0	0	1	1	0	0	1	4
2	0	1	0	0	0	0	0	1	2
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1
6	1	0	1	0	0	0	0	0	2
7	0	1	0	0	1	0	0	0	2
8	0	1	0	0	0	1	0	0	2
9	0	1	0	1	0	0	0	1	3
10	0	0	0	0	0	0	2	0	2
11	0	0	0	0	1	0	0	0	1
12	0	0	0	1	2	1	0	1	5

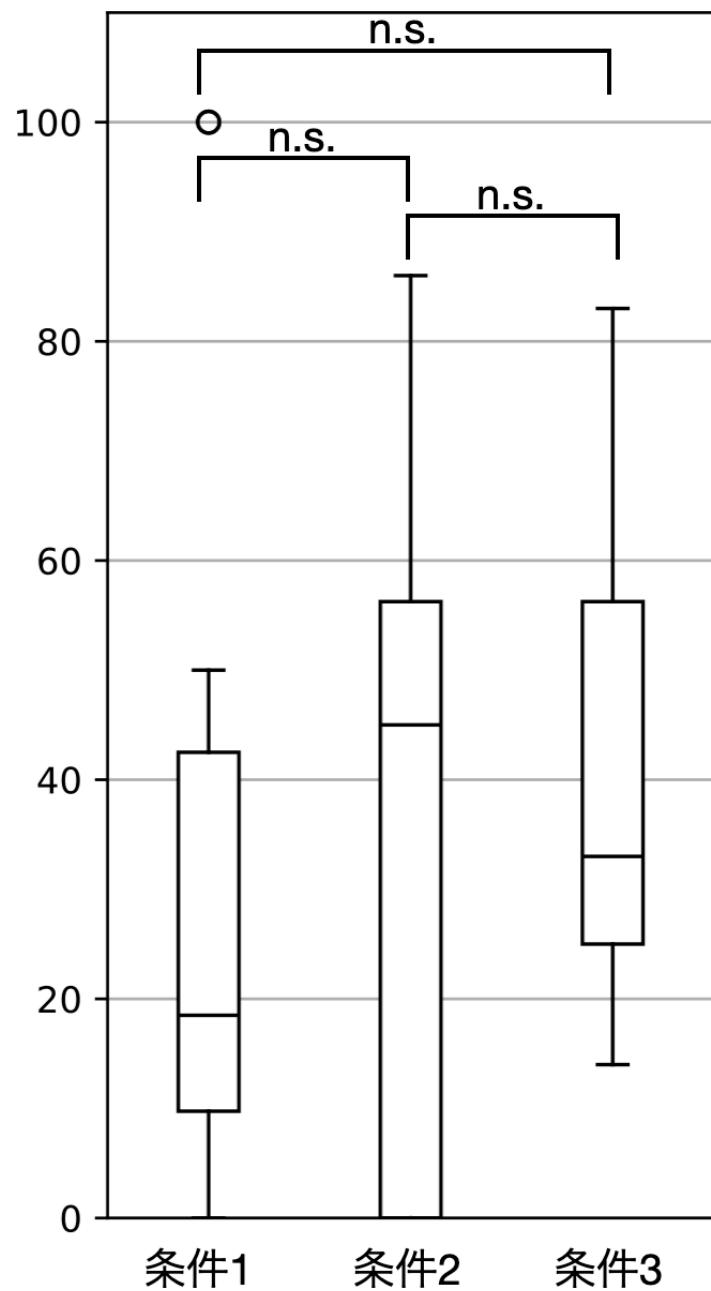


図 6.9: 目標達成率 (N=12, 単位: パーセント)

第7章 結論

本研究では、生成された自身が理想的な振舞いを行う映像を用いるビデオセルフモデリングが、(1) 心理的なプレッシャーがかかる状況においてパフォーマンスや自己効力感の向上に寄与するのか、(2) 映像中の自分をどのように表現するとビデオセルフモデリングの効果が発揮できるのか、明らかにする取り組みを行った。具体的には、精神的に負荷がかかるスポーツのひとつとされるダーツに着目し、自身と同じ動きをするデジタルツインが理想的な振舞いを行う様子を見ることで、ダーツプレイにおける対象者のパフォーマンスが向上するか、および、プレイ時の自己効力感や精神的負荷が変化するかを検証した。その結果、自身と同じ動きをするデジタルツインがブルにダーツを当てる様子を見ることで、自身がブルにダーツを当てるイメージを掴みやすくなり、自身の動きに連動するアバタ（デジタルツイン）が成功する様子を見ることで、成功するイメージを掴みやすくなり、自己効力感の向上に寄与することが示唆された。

本研究では上記の結果が得られたが、いくつかの制約がある。一つ目に、本研究では、精神的負荷のかかるスポーツとしてダーツを採用したが、ダーツを投擲するシーンにおける検証しか行えていない。ビデオセルフモデリングはスポーツの他に、教育や医療の分野で多く研究が行われている。スポーツのみならず、精神的負荷のかかるシーンは数多く存在する。今後、様々なシーンで自身に連動するデジタルツインが成功する様子を見ることで、自己効力感や精神的負荷の低減に寄与するのか検証する必要がある。

二つ目に、本研究では、映像中の自分を単純化した外見のデジタルツインで表現した場合の検証しか行えていない。多くの実験参加者は、デジタルツインが自身に連動することで、それを自身のデジタル上の分身であると感じていた。自身に似せたデジタルツインを用いることで、さらに実験参加者がデジタルツインを自身のデジタル上の分身であると感じられるようになると考えられる。Fitton [6] らによると、対象者に似せたアバタは対象者の学習体験を向上させる効果が高いことが示されている。ただし、Tsuchida [5] らが報告するように、自身に酷似するデジタルツインが自身の能力を大幅に上回る挙動を見せると自己効力感の低下を招く可能性があることから、アバタの外見については慎重な議論が求められる。

最後に、本研究はモーショントラッカーの影響を考慮できていない。河村ら [23] によると、投げる動作を行う際に実験参加者によってウェアラブルセンサを装着していることに影響を受けることが報告されている。今後、モーショントラッカーを装着していることが、ダーツの投擲に影響を与えているか検証する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご支援とご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

本論文の主査であり、指導教員である宮田章裕教授には、研究の構想段階から論文執筆に至るまで、多大なるご指導をいただきました。先生の的確なご助言とご支援がなければ、本研究を進めることはできませんでした。心より感謝申し上げます。

本研究における副査を務めてくださいました北原鉄朗教授、大澤正彦准教授に感謝申し上げます。ご多忙であるにも関わらず、研究の細部に至る所まで丁寧なご指導をいただき、ありがとうございます。また、大澤先生からは研究の構想段階からご指導していただいたことに感謝申し上げます。ご指導いただき、ありがとうございます。

日本電信電話株式会社 NTT 人間情報研究所の石井亮様に感謝申し上げます。石井様から研究テーマの提案や研究の方針の指導をしていただき、また、とても丁寧な研究指導をしていただいたおかげで、2年間研究を進めることができました。感謝申し上げます。

宮田研究室で同じ研究チームであった大西俊輝さん、大串旭さんに感謝申し上げます。研究の進め方などを相談させていただき、よく気にかけていただけたおかげで、研究を進めることができました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] A. Bandura. *Social Learning Theory*. Prentice-Hall, 1977.
- [2] S.S. Meharg and M.A. Woltersdorf. Therapeutic Use of Videotape Self-Modeling: A Review. *Advances in Behaviour Research and Therapy*, Vol. 12, No. 2, pp. 85–99, 1990.
- [3] A. Bandura. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, Vol. 84, No. 2, pp. 191–215, 1977.
- [4] C.H. Hitchcock, P.W. Dowrick, and M.A. Prater. Video Self-Modeling Intervention in School-Based Settings: A Review. *Remedial and Special Education*, Vol. 24, No. 1, pp. 36–45, 2003.
- [5] S. Tsuchida, H. Mao, H. Okamoto, Y. Suzuki, R. Kanada, T. Hori, T. Terada, and M. Tsukamoto. Dance Practice System that Shows What You Would Look Like if You Could Master the Dance. In *Proceedings of the 8th International Conference on Movement and Computing (MOCO '22)*, No. 15, pp. 1–8, 2022.
- [6] I.S. Fitton, J. Dalton, M.J. Proulx, and J. Lutteroth. Dancing with the Avatars: Feedforward Learning from Self-Avatars. *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '22)*, pp. 1–8, 2022.
- [7] C. Clarke, J. Xu, Y. Zhu, K. Dharamshi, H. McGill, S. Black, and C. Lutteroth. FakeForward: Using Deepfake Technology for Feedforward Learning. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23)*, No. 715, pp. 1–17, 2023.
- [8] S. Bellini and J. Akullian. Meta-Analysis of Video Modeling and Video Self-Modeling Interventions for Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorders. *Council for Exceptional Children*, Vol. 73, No. 3, pp. 264–287, 2007.
- [9] P.W. Dowrick. Video Feedforward for Reading. *The Journal of Special Education*, Vol. 39, No. 4, pp. 194–207, 2006.

- [10] P.W. Dowrick and C. Dove. The Use of Self-Modeling to Improve the Swimming Performance of Spina Bifida Children. *Journal of Applied Behavior Analysis*, Vol. 13, No. 1, pp. 51–56, 1980.
- [11] B. Law and D.M. Ste-Marie. Effects of Self-modeling on Figure Skating Jump Performance And psychological Variables. *European Journal of Sport Science*, Vol. 5, No. 3, pp. 143–152, 2005.
- [12] Clark. E. Shannon. and D.M. Ste-Marie. The Impact of Self-As-a-Model Interventions on Children' Sself-Regulation of Learning and Swimming Performance. *Journal of Sports Sciences*, Vol. 25, No. 5, pp. 577–586, 2007.
- [13] R. E. Hosford and M. E. Johnson. Comparison of Selfobservation, Self-Modeling and Practice Without Video Feedback for Improving Counselor Interviewing Behaviors. *Counselor Education and Supervision*, Vol. 23, No. 1, pp. 62–70, 1983.
- [14] N. Ram and P. McCullagh. Self-Modeling: Influence on Psychological Responses and Physical Performance. *Sport Psychologist*, Vol. 17, No. 2, pp. 220–241, 2003.
- [15] L. Goh, N.E. Allen, N. Ahmadpour, K.A.E. Martens, J. Song, L. Clemson, S.J.G. Lewis, H.G. MacDougall, and C.G. Canning. A Video Self-Modeling Intervention Using Virtual Reality Plus Physical Practice for Freezing of Gait in Parkinson Disease: Feasibility and Acceptability Study. *JMIR Formative Research*, Vol. 5, No. 11, 2021.
- [16] M. R. Amanda, M. Rose, and D.M. Ste-Marie. Self-Regulatory Processes Employed During Self-Modeling: A Qualitative Analysis. *The Sport Psychologist*, Vol. 24, pp. 1–15, 2010.
- [17] B.J. Zimmerman. Attaining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective. *Handbook of Self-Regulation*, pp. 13–39, 2000.
- [18] K. Futami, T. Terada, and M. Tsukamoto. Success Imprinter: A Method for Controlling Mental Preparedness Using Psychological Conditioned Information. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH '16)*, No. 11, pp. 1–8, 2016.
- [19] J.L.V. Raalte, B.W. Brewer, B.P. Lewis, D.E. Linder, and G. Wildman. Cork! The Effects of Positive and Negative Self-Talk on Dart Throwing Performance. *Journal of Sport Behavior*, Vol. 18, No. 1, pp. 50–57, 1995.
- [20] J. van der Loo, E. Krahmer, and M. van Amelsvoort. Learning How to Throw Darts. Effects of Modeling Type and Reflection on Novices' Dart-Throwing Skills. *Journal of motor behavior*, Vol. 53, No. 1, pp. 105–116, 2021.

- [21] C. Jennifer, M. Sanna, R.H. Nordin, and R. Scott. Examining the Direction of Imagery and Self-Talk on Dart-Throwing Performance and Self Efficacy. *The Sport Psychologist*, Vol. 20, No. 3, pp. 257–274, 2006.
- [22] M.L. Epstein. The Relationship of Mental Imagery and Mental Rehearsal to Performance of a Motor Task. *Journal of Sport Psychology*, Vol. 2, No. 3, pp. 211–220, 1980.
- [23] 河村知輝, 土田修平, 寺田努, 塚本昌彦. ウェアラブルセンサを用いた動作計測実験における機器装着バイアスの検証. 情報処理学会インタラクション 2021 論文集, pp. 64–73, 2021.

研究業績

研究会・シンポジウム

- (1) 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 石井亮, 宮田章裕: デジタルツインを用いた自己効力感向上システムの検証, 情報処理学会インタラクション 2025 論文集 (2025 年掲載予定)
- (2) 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 石井亮, 宮田章裕: デジタルツインを用いた自己効力感向上システムの実装, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2024), Vol.2024, pp.1579–1584 (2024 年 6 月).
- (3) 渡辺好汰, 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 呉健朗, 大澤正彦, 宮田章裕: 対話型エージェントが意見伝達を仲介する際に適した音声の高さに関する調査, 情報処理学会インタラクション 2024 論文集, pp.1429–1433 (2024 年 3 月).
- (4) 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 木下峻一, 石井亮, 深山篤, 大澤正彦, 宮田章裕: デジタルツインを用いた自己効力感向上システムの基礎検討, 情報処理学会コラボレーションとネットワークサービスワークショップ 2023 論文集, pp.88–89 (2023 年 11 月).
- (5) 大西俊輝, 新山はるな, 丸山葉, 大串旭, 呉健朗, 宮田章裕: 柔らかい物体の動きによる共感表現方法に及ぼす共感スキルの影響調査, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2023), pp.708–715 (2023 年 7 月).
- (6) 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 呉健朗, 大澤正彦, 宮田章裕: 意見伝達を仲介する対話型エージェントに対する利用意欲の調査, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2022), Vol.2022, pp.369–373 (2022 年 7 月).
- (7) 丸山葉, 大西俊輝, 大串旭, 呉健朗, 大澤正彦, 宮田章裕: 意見伝達を仲介する対話型エージェントの基礎検討, HAI シンポジウム予稿集, G-17 (2022 年 3 月).