

初心者と上級者の技能差を縮めるための あえて手間がかかるテトリス TUI

妹背 結大^{1,a)} 高田 峻介¹

概要：競技性の高い対戦型ゲームにおいて初心者と上級者の技能差が大きくなると、初心者は勝利体験を得られずモチベーションが低下する。特にパズルゲームであるテトリスは、初心者と上級者の技能差が生じやすいゲームであると考えられる。そこで、あえて AR マーカを張り付けたテトリミノ (以降、物理ミノ) を用いて操作するテトリスのタンジブルインタフェースを設計する。提案手法は、既存のキーボードやコントローラよりも操作に大きな身体動作を要求するため、ゲームの操作速度を制限し、技能差による優位性を緩和することを目指す。また、タンジブルなテトリミノを用いることで初心者でもすぐに操作方法を理解でき、習熟度の差が出にくい設計を目指す。

1. はじめに

競技性の高い対戦型ゲームにおいて初心者と上級者の技能差が大きくなると、初心者はなかなか勝利体験を得られず、モチベーションが低下する。オンライン対戦ゲームのマッチングを扱った研究では、連敗がプレイヤーの継続率に大きく影響することが報告されている [1]。

パズルゲームであるテトリスは、リアルタイム性を持つゲームの中でも特に操作速度の差が生じやすい。テトリスは、テトリミノ (ブロック) を設置していくゲームであるが、理論上のテトリミノの設置速度は人間では到達が不可能なほど速く、操作に慣れるほどにテトリミノを素早く設置できるようになる。

本研究は、操作速度の差が初心者と上級者の差を拡大しているという点に着目し、インタフェース側から技能差を縮めることを目的とする。具体的には、図 1 に示すような、物理ミノをカメラで認識することで操作するテトリスのタンジブルユーザインタフェース (TUI) を設計した。テトリスに TUI を用いることで、操作方法が理解しやすく、指先の動きのみで操作可能なキーボードやゲームコントローラ (以降、コントローラ) より操作速度を遅くする設計にした。結果としてキーボードやコントローラと比べて、初心者と上級者のスコア差が相対的に小さくなるかどうかを検証した。

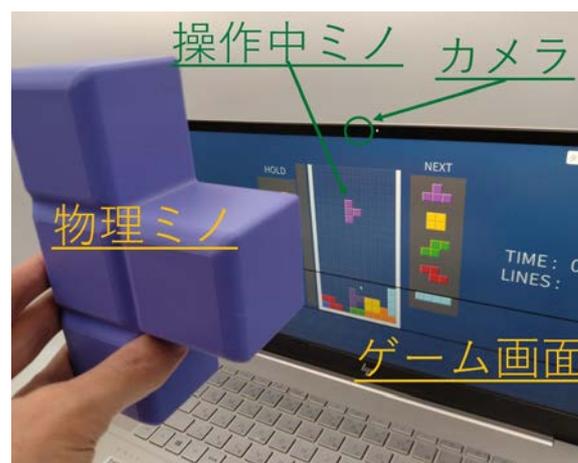


図 1 物理ミノを用いてゲームをプレイする様子

2. 関連研究

本研究では、身体性を活用したインタフェースを用いることでゲームにおける技能差を縮めることを目的としている。ゲームにおける技能差や学習支援を扱ったもの、身体性を活用したインタフェースに関する研究を調査した。

2.1 対戦型ゲームにおける技能差と学習支援

酒見ら [2] は、格闘ゲームにおいて初心者が定着しにくい要因の 1 つとして、読み合い (駆け引き) が難しいことを指摘し、読み合いだけを体験できる自作ゲームとカリキュラムによる理解支援システムを提案した。

清水ら [3] は、一人称視点シューティングゲームにおいて敵に照準を合わせる AIM スキルに着目した。視線固定

¹ 神戸市立工業高等専門学校

^{a)} r121301@g.kobe-kosen.ac.jp

時間とターゲット破壊時間の2指標からスキルを評価するシステムを開発し、プレイヤーの視線制御能力に差があることを示した。

テトリスを対象とした研究では、上級者と初心者の違いを明らかにしたもの [4,5] や、特定の技能の習得を支援するものが報告されている [6,7]。

これらの研究は、いずれも入力インターフェースの工夫により初心者と上級者の技能差を縮めることは扱っていない。

2.2 身体性を活用したインターフェース

身体性を活用したインターフェースでは、プレイヤーの身体動作や手元の物理オブジェクトの操作を入力として利用し、ボタン操作と異なる体験を設計できる。

TUIを用いた研究として、Hornら [8] はプログラミング学習体験の展示において木製ブロックによるタンジブル言語 Tern とグラフィカル言語を比較し、理解しやすさは同程度である一方、TUIの方が展示への積極的な参加を促進することを示した。Yanら [9] は、ARタワーディフェンスゲームにおいて、手ジェスチャのみの操作と物理キューブを用いたインタラクションを比較し、後者が操作の理解しやすさや没入感、楽しさを高めることを報告している。これらの研究から、似たようなTUIを用いる提案手法において積極的な利用や没入感、楽しさを高めることが期待される。

テトリスをベースとした身体性の高いゲームとしては、全身のポーズでブロック形状を生成し、運動と認知課題を同時に行わせる健康促進ゲーム「ヒトリス」が提案されている [10]。また、セガのアーケードゲーム「テトリス DEKARIS」では、巨大なレバーやボタンの操作により大きな身体動作を用いた操作体験が提供されている [11]。

これらはいずれも、身体性を活用したテトリス用インターフェースであるが、ゲームの初心者と上級者の技能差を縮めることを主目的として扱っていない。

3. 実装

テトリミノの形状を模して3Dプリントした物理ミノを図2に示す。物理ミノの1マスの大きさは一辺5cmの立方体とした。物理ミノの背面にはArUco マーカ [12,13] を貼った。ゲームの開発にはUnityを用いた。ゲームの操作にはキーボード、コントローラ、物理ミノの3つを利用できるように設計した。キーボードかコントローラで操作する場合は、図3のようなプレイ画面となる。物理ミノで操作する場合は図4(ミノ背面のArUco マーカ認識待ち時)、図5(操作中)の画面が表示される。

マーカ認識待ち時は、そのときに操作できるテトリミノが表示される。PCのwebカメラがそのテトリミノと同じ物理ミノのマーカを認識するとマーカ認識中の画面に移行



(a) 前面図



(b) 背面図

図2 物理ミノ

する。ホールド*1が発動できる状態かつホールドを行ったときに交換するテトリミノが同じでない場合は、マーカ認識待ち時の画面にそのテトリミノが表示される上、そのテトリミノをカメラが認識した場合にホールドが発動してマーカ認識中の画面に移行する。

マーカ認識中には、認識したマーカの位置に応じて画面に図5のように白いポインタを表示する。テトリミノとポインタの画面上の位置がずれている場合は、テトリミノが移動する。テトリミノの向きと物理ミノの向きが異なる場合は、テトリミノが回転する。図5では、横に黒い線が2本描かれている。ポインタの位置が図5の線Aより下にあると、ソフトドロップ*2が発動する。ポインタの位置が更に下の線Bより下にあると、ハードドロップ*3が発動する。テトリミノを設置した時や、マーカの認識が一定以上の時間途切れた場合はマーカ認識待ち時の画面に移行する。

マーカを認識した瞬間にポインタが線Aや線Bの下部に配置され、ソフトドロップやハードドロップが発動するのを防ぐため、ポインタがソフトドロップを行う際の位置より上部にある場合のみマーカを認識できるようにした。キーボードやコントローラを用いて行える操作は物理ミノ

*1 操作するテトリミノを変更する機能である。

*2 テトリミノの落下速度を上げる操作である。

*3 テトリミノを即設置させる操作である。

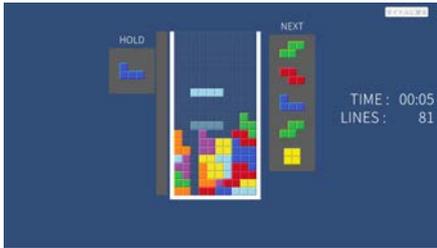


図3 テトリスプレイ画面

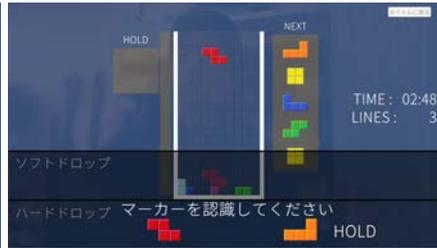


図4 マーカ認識待ち時の画面

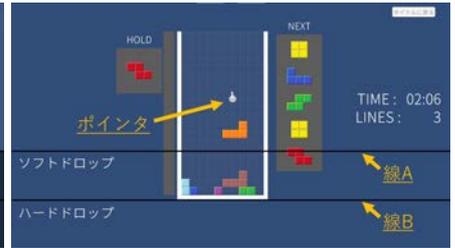


図5 マーカ認識中の画面

を用いる場合も行えるよう設計し、いずれの操作方法でも理論上のテトリミノの設置速度に差は生じないようにした。

4. 実験

実験方法および実験結果を以下に述べる。

4.1 実験方法

実験協力者は19～23歳の男性6名である。テトリスをキーボード、コントローラ、物理ミノを使用してプレイする実験を行った。実験は約1時間で行った。実験の手順は以下の通りである。

- (1) テトリスの基本ルールについての説明を受ける。
- (2) 操作方法を覚えるために、3分間自由にゲームをプレイする。
- (3) 3分間で多くのラインを消すことを目指す3分チャレンジを4回行う。
- (4) SUS アンケートに答える。
- (5) 3分間休憩する。
- (6) (2)～(4)を異なる操作方法で再行う。
- (7) 3分間休憩する。
- (8) (2)～(4)を残った最後の操作方法で再行う。

各条件(キーボード、コントローラ、物理ミノ)の試行順序はカウンターバランスされた全6通りの組み合わせを協力者ごとに割り当てた。3分チャレンジでは、協力者がテトリスを3分間プレイする間の消去ライン数に加え、テトリミノの設置回数、左回転回数、右回転回数、ホールド回数、3分間の内のマーカ認識待ちの時間を記録した。アンケートにはシステムユーザビリティスケール(SUS)[14]を用いた。SUSのアンケート項目を表1に記す。

SUSアンケートは、キーボード、コントローラ、物理ミノの3つの操作方法に対してそれぞれ行った。「全くそう思わない」が1、「非常にそう思う」が5として、1～5の5段階で回答する形式とした。

4.2 実験結果

各協力者の各操作方法における4回行った3分チャレンジのデータを、図6～図11に示す。図6～図11ではコントローラでのライン消去数が多い順に協力者を並べた。各操作方法における全体の平均のライン消去数を表2、ミノ

表1 SUS アンケート項目

項目	質問
Q1	このシステムを頻繁に使用したいと思う。
Q2	このシステムは必要以上に複雑だと思う。
Q3	このシステムはシンプルで使いやすい。
Q4	このシステムを使うには専門家のサポートが必要だと思う。
Q5	このシステムはスムーズに機能し、連携がとれていると思う。
Q6	システムには不規則な点が多いと思う。
Q7	ほとんどの人がこのシステムをすぐに習得できると思う。
Q8	このシステムは使うのに非常に手間がかかると思う。
Q9	このシステムを使っていると、自信が持てる。
Q10	このシステムを使い始める前に学ぶべきことはたくさんあると思う。

表2 協力者全体のライン消去数

条件	平均値	標準偏差	変動係数
キーボード	27.33	12.47	0.46
コントローラ	32.46	18.43	0.57
物理ミノ	4.96	2.45	0.49

表3 協力者全体のミノ設置数

条件	平均値	標準偏差	変動係数
キーボード	81.54	30.48	0.37
コントローラ	96.79	44.82	0.46
物理ミノ	24.17	4.67	0.19

表4 ライン消去数・ミノ設置数の相関係数

組み合わせ	ライン消去数	ミノ設置数
キーボードとコントローラ	0.94	0.92
キーボードと物理ミノ	0.00	0.67
コントローラと物理ミノ	0.02	0.70

設置数を表3に示す。異なる2つの操作方法でのライン消去数の関係を図12、ミノ設置数の関係を図13、それらの相関係数を表4に示す。

表3より、キーボードとコントローラに比べて、物理ミノの場合は操作速度に大きな違いが確認された。図12と図13より、キーボードとコントローラの2つの操作方法の場合はライン消去数とミノ設置数に相関が見られた。表2と表3より物理ミノは他の操作方法と比較すると、各協

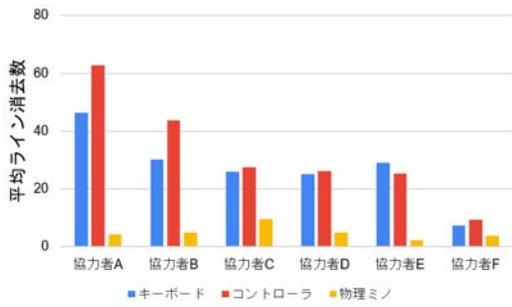


図 6 平均ライン消去数

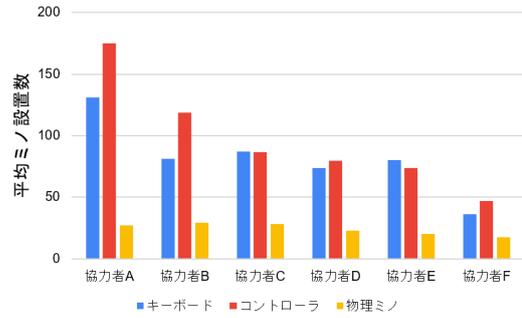


図 7 平均ミノ設置数

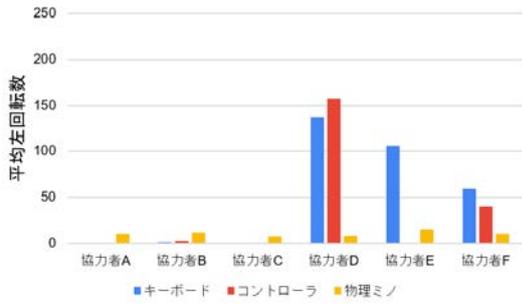


図 8 平均左回転数

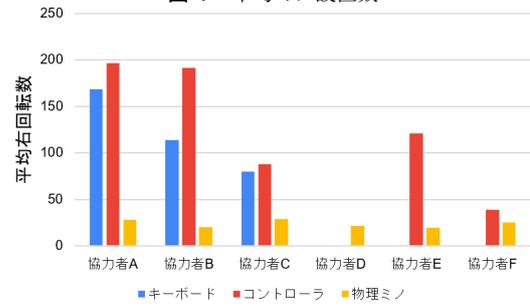


図 9 平均右回転数

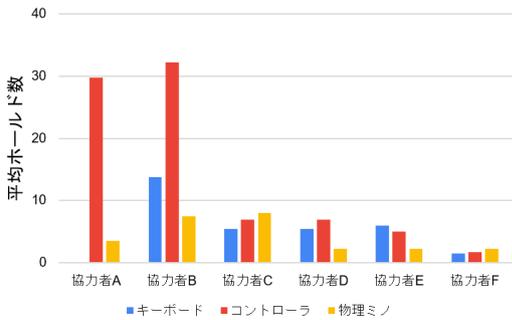


図 10 平均ホールド数

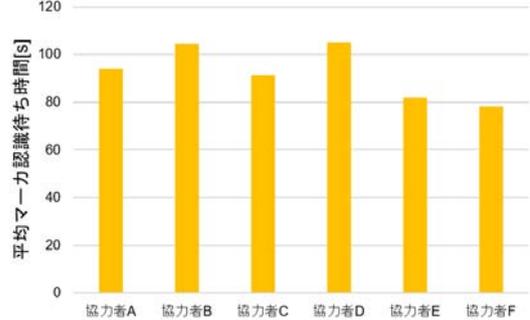
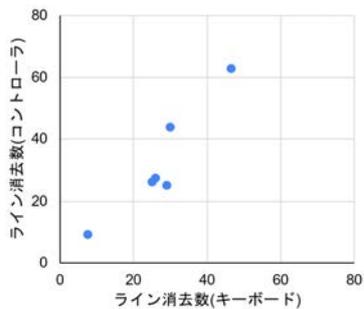
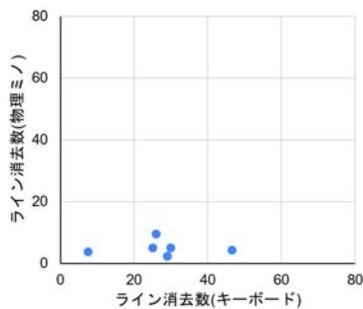


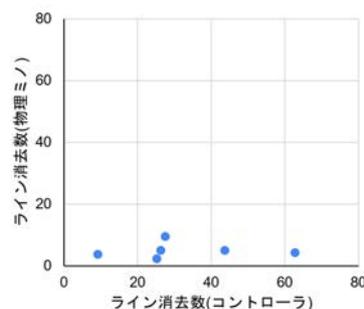
図 11 平均マーカ認識待ち時間



(a) キーボードとコントローラ

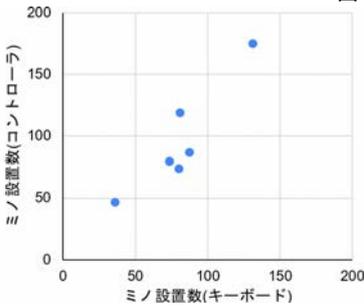


(b) キーボードと物理ミノ

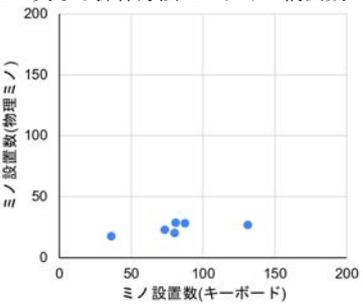


(c) コントローラと物理ミノ

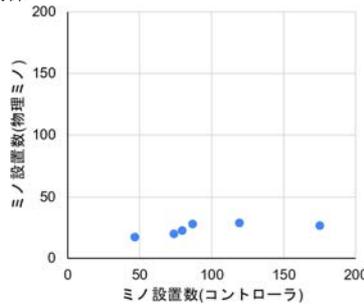
図 12 異なる操作方法でのライン消去数の関係



(a) キーボードとコントローラ



(b) キーボードと物理ミノ



(c) コントローラと物理ミノ

図 13 異なる操作方法でのミノ設置数の関係

表 5 SUS スコア (100 点満点)

条件	平均値	標準偏差
キーボード	49.6	21.9
コントローラ	66.7	15.1
物理ミノ	56.3	11.0

力者のミノ設置数当たりのライン消去数が少なく、ライン消去数に相関が見られなかった。この理由は、物理ミノの場合は設置する速度が遅いうえ操作も正確に行うことが難しく、盤面に消去されていないテトリミノを多く残したまま 3 分経過してしまいやすいためである。物理ミノはミノ設置数の変動係数が他の操作方法よりも小さく、このことは物理ミノが初心者と上級者の操作速度の差を縮めるということを示唆している。

図 8 と図 9 より、キーボードとコントローラでは左回転と右回転のどちらか片方しか使わない被験者がほとんどであった。協力者 F はコントローラの場合の 3 分チャレンジの前半 2 回は左回転を使用しており後半 2 回は右回転を使用していた。本システムでは、物理ミノの認識時に物理ミノとゲーム内のテトリミノの向きが同じになるよう瞬時に最適な方向に回転が行われるが、このとき向きが 180 度異なる場合は右回転を 2 回使用している。そのため物理ミノの右回転の回数の方が多く記録されている。著者が観察した中では、協力者は物理ミノを操作するときに左右両方向の回転を活用しているように感じられた。

テトリスはホールドを一切使用しなくてもプレイできるゲームであり、物理ミノ以外の場合は協力者によって実験の途中からホールドを使いだす場合もあった。物理ミノは他の操作方法と比べてミノ設置数が少なくなるが、図 10 より協力者 C や協力者 F は物理ミノの場合の方が他の操作方法よりもホールドを多く使用している。物理ミノでの操作時は、マーカ認識待ち画面にホールド使用時に交換されるテトリミノが大きく表示される違いがある。物理ミノの身体性を活用したからであるとは言えないが、ホールド機能をより積極的に使用させられたと考えられる。

図 11 の結果より、協力者によって異なったが、ゲームプレイ時間の約半分がゲームの操作不可能なマーカ認識待ち時間となっている。この時間には物理ミノをカメラの前に動かす時間や物理ミノを持ち替える時間だけでなく、ホールドを使用するかどうかを判断する時間が含まれている。

SUS スコアを表 5 に示す。操作方法、項目ごとの SUS アンケート結果の平均値を図 14 に示す。3 条件の SUS スコアについてフリードマン検定を行った結果、有意差は認められなかった。平均値を見ると、物理ミノはキーボードやコントローラより Q7(習得しやすさ)が高い傾向が見られた。一方で Q5(機能の統合感)が低く、Q6(不規則な点の多さ)が高い傾向が見られた。

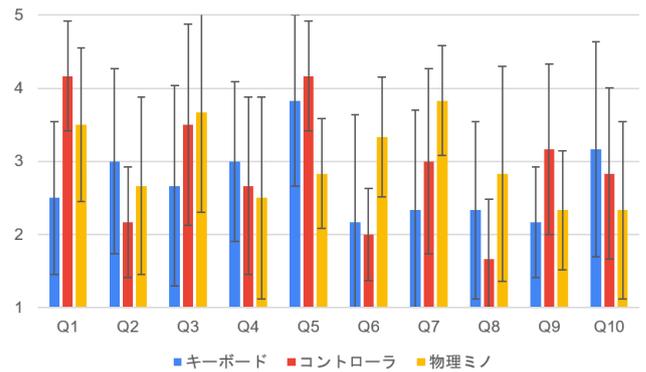


図 14 SUS アンケート結果

5. 今後の課題

今後の課題について述べる。

5.1 マーカの認識精度

マーカを認識しているときは、認識位置と向きのもちも正確に求めることができている。しかし、物理ミノを素早く動かすとマーカの認識が途切れてしまうことが多い。また、カメラの撮影範囲外にマーカが移動した場合は認識が途切れてしまう。また、物理ミノを PC の前で動かすため、ゲーム画面が見えづらいという問題もある。本実験では、PC 内蔵のカメラを利用していたが、カメラを PC 内蔵のものではなく、マーカが動いている間も精度よく認識できるような性能の良いカメラを使うという方法も考えられる。

5.2 物理ミノ操作の習熟しやすさ

実験を行ったのは 6 名と少なく、実験での各操作方法におけるゲームプレイ時間は 15 分のみである。物理ミノは他の操作方法よりも、操作速度の相対的なばらつきを小さくするという可能性が示唆されているが、物理ミノで長時間プレイしたときにどのくらい物理ミノでの操作速度が速くなるかは検証できていない。より幅広い熟練度層の協力者を集めたり、より長い時間の実験を行うことで物理ミノの習得しやすさに関する信頼性の高い情報が得られると考えられる。

6. まとめ

競技性の高い対戦型ゲームにおける初心者と上級者の技能差を縮めるため、AR マーカを貼り付けた物理ミノを用いて操作するテトリスのタンジブルインタフェースを設計した。提案手法が、既存のキーボードやコントローラよりも、ゲームの操作速度を制限し、操作方法を理解しやすくすることで上級者の操作面での優位性を緩和できているかを検証した。実験結果より、物理ミノの場合には他の操作方法よりもミノ設置数の協力者間の相対的なばらつきが小

さくなくなった。3条件でのSUSスコアに有意差は見られなかったが、物理ミノを用いたテトリスには初心者と上級者の技能差を縮める効果が示唆された。ただし、この効果はマーカ認識時間がゲームプレイ時間の半分程度を占めることの影響も大きく、今後はマーカ認識後のゲームプレイ自体への技能差の影響を調査する必要がある。

参考文献

- [1] Mingliu Chen, Adam N. Elmachtoub, Xiao Lei. Match-making Strategies for Maximizing Player Engagement in Video Games. Proceedings of the 23rd ACM Conference on Economics and Computation (EC '22), 2022.
- [2] 酒見 真, シュエ ジュウ シュエン, 池田 心. 格闘ゲーム初心者のための読み合い理解支援システムの改善. 研究報告ゲーム情報学 (GI), Vol.2023-GI-49, No.6, pp.1-8, 2023.
- [3] 清水遥希, ロペズ ギヨーム. 視線情報を用いたFPSゲームのAIMスキル分析. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2025) シンポジウム 2025 論文集, Vol.2025, pp.769-779, 2025
- [4] 梶並 知記, 松村 瞬, 辻 裕之. テトリス®の技能向上を目指したHOLD使用傾向の基礎的分析. 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.11, pp.1747-1755, 2017.
- [5] John K. Lindstedt, Wayne D. Gray. The “cognitive speed-bump”: How world champion Tetris players trade milliseconds for seconds. Proceedings of the 42nd Annual Conference of the Cognitive Science Society, pp.1-7, 2020.
- [6] 及川 大志, 池田 心. テトリスにおけるT-spin構成力向上のための問題作成. ゲームプログラミングワークショップ2018 論文集, pp.175-182, 2018.
- [7] 西川 耕平, 伊藤 毅志. 未来局面の提示によるテトリスの学習支援システムの提案. 研究報告ゲーム情報学 (GI), Vol.2024-GI-51, No.16, pp.1-7, 2024.
- [8] Michael S. Horn, Erin T. Solovey, R. Jordan Crouser, Robert J. K. Jacob. Comparing the Use of Tangible and Graphical Programming Languages for Informal Science Education. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2009), pp.975-984, 2009.
- [9] Qingxuan Yan, Michelle Adiwangsa, Anne Ozdowska. Beyond Augmented Reality, Towards Augmented Physicality: Gaming with Tangible Embodied Interactions. Proceedings of the 36th Australasian Conference on Human-Computer Interaction (OzCHI 2024), pp.31-45, 2024.
- [10] 大西 鮎美, 柳生 遥, 仙波 拓, 寺田 努, 塚本 昌彦. ヒトリス: 健康促進を目的として体と頭を複合的に使わせるインタラクティブゲーム. マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム2019 論文集, Vol.2019, pp.1863-1870, 2019.
- [11] セガ. テトリス®・デカリス. <https://www.sega.jp/history/arcade/product/7963/> (Accessed:2025/12/16).
- [12] Francisco J.Romero-Ramirez, Rafael Muñoz-Salinas, Rafael Medina-Carnicer. Speeded up detection of squared fiducial markers. Image and Vision Computing, Vol.76, pp.38-47, 2018
- [13] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, R. Medina-Carnicer. Generation of fiducial marker dictionaries using mixed integer linear programming. Pattern Recognition, Vol.51, pp.481-491, 2016
- [14] John Brooke. SUS: A 'Quick' and 'Dirty' Usability Scale. In Patrick W. Jordan, Bruce Thomas, Bernard A. Weerdmeester, and Ian Lyall McClelland, editors, Usability Evaluation in Industry, chapter 21, pp.189-194. Taylor and Francis, June 1996.”