

1. 序

(1) 背景

ラッシュ時の駅やイベント会場など多くの人が移動をする建物施設では高密度の歩行群集流が発生する。過密な群集環境は利用者の快適性を下げる¹だけでなく、周辺の酸素濃度の低下による体調の悪化、最悪の場合には多数の死亡者が発生する群集事故にも発展しうる。歩行群集の超過密状態は施設の許容量を超えた利用者の流入により徐々に形成され、発生段階では渦中の歩行者一人一人にはもはや制御ができない²。さらに形成されてからはスタッフの介入も難しいため、未然の抑制が求められる。また今日の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行により、人と人の間を1m以上離隔するフィジカルディスタンス³の確保が急務となっている。

COVID-19の流行により、入場やレジなどの整列の場面で、床面に人の待機位置を印刷することでフィジカルディスタンス確保を示すことは広く行われるようになった。しかし、利用者が絶えず流動しているような場面では床面への印刷では距離の目安とはなりづらく、施設管理者にとっても離隔の要請がしづらい。また利用者にとっても無意識のうちに距離が詰まり密度が上がってしまう問題があった。

従来の歩行群集制御では、空間安全を保ちつつも速やかに多くの人を移動させるような効率的な空間利用が志向されていた。密度高くなることについては群集事故が発生するレベルでの超高密度を避けるための制御にとどまり、ボトルネックとならないような空間的に開放された場面では、あまり積極的な密度制御が行われていない。また制御の方法についても、係員による声かけや整列用の柵の整備などにとどまっていた⁴。イベント会場への入場のような整列の場面では、群集を数十から数百人のブロック毎に区切り、その間に張ったロープを持ったスタッフが速度を保って歩行することで殺到による群集事故を抑止する制御方法もあるが、この手法ではロープの数に比例しスタッフが必要となるため1人ずつの間隔を保つ用途には向かない。

群集事故防止、また今日のCOVID-19によるフィジカルディスタンス確保のため、移動している歩行群集を低密度に保つ必要があるが、自律的に移動する利用者に対して必要間隔を伝え確保させる有効な手法がない。

(2) 提案する密度制御技術

上記課題を解決するために、歩行速度と同程度の速度で移動する「踏んではいけない場所」を床面にアニメーション表示することで、歩行者に保つべき間隔や速度を示し、歩行群集の密度を制御する(図1)方法を提案したい。

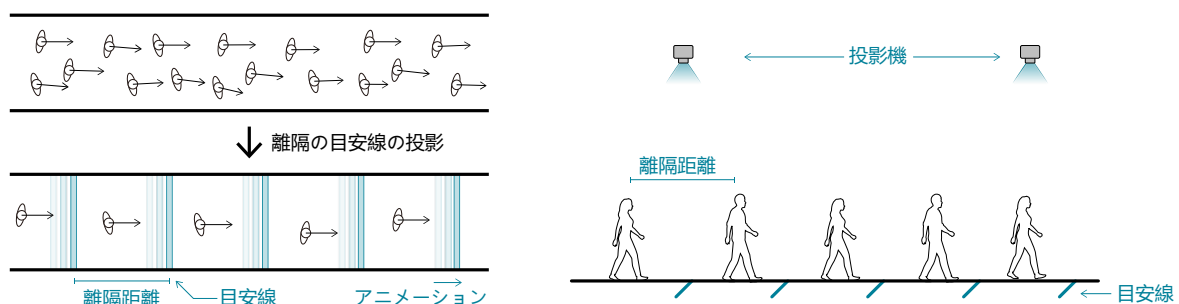


図1 床面への離隔目安の投影による歩行者流密度の制御（左:平面 / 右:立面）

本技術は各歩行者が確保すべき離隔距離や歩行速度が超えてはいけない境界として視覚的に示されることで、無意識のうちに間隔が詰まっていくことを抑止することを狙っている。施設利用者にその線を越えずに歩行することを要請することで、適切な歩行者間距離が確保され、群集流の低密度制御が可能となる。また同時に、投影エリアの歩行速度と進行方向が目安として示されることで歩行の安全確保と動線誘導も期待でき、本技術により「群集密度」「歩行速度」「動線」の3つが制御可能となる。

(3) 研究目的

床面への動画投影は比較的新しい技術であるが、演出的な用途を超えて危険区域の境界を示すものや、サインが動くことで誘目性をあげる「動く案内サイン」の事例などが近年見られる。しかし歩行の目安をアニメーションで示すもの、とくに人と人との間隔を示すものはまだ見られない。提案する技術の実現可能性検証のためには、第一段階として、歩行者がどの程度動く目安映像に合わせて歩行することが可能かを検証する必要がある。

本研究は、動く目安映像を用いた歩行制御の制御可能性を実験的に検証し、また歩行者が対応可能な移動速度や投影映像を検討することを目的としている。本報では実施した実験で得られた定性的な性状について報告する。

2. 実験方法

映像投影による歩行制御の可能性を確認するため、2021年7月に被験者実験を実施した。被験者は人材派遣会社を通してリクルートし、20歳から74歳までの男女24名(表1)の協力を経た。

表1 被験者の属性分布

性別\年齢	20-34歳	35-49歳	50-64歳	65-74歳
男	3名	3名	3名	3名
女	3名	3名	3名	3名

実験での歩行空間は図2に示すとおり、幅員2.4m・延距離10.0mであり、映像の投影はその中腹の5.0mの区間となる。被験者は1人、ないしは8人1組の群集グループでこの歩行空間を端から端まで歩行する。

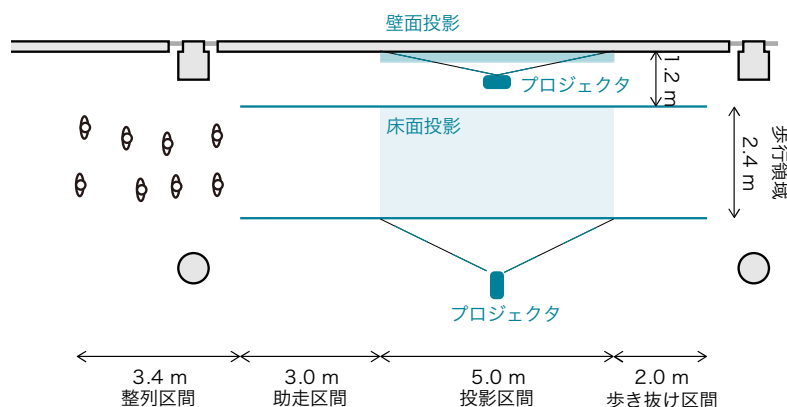


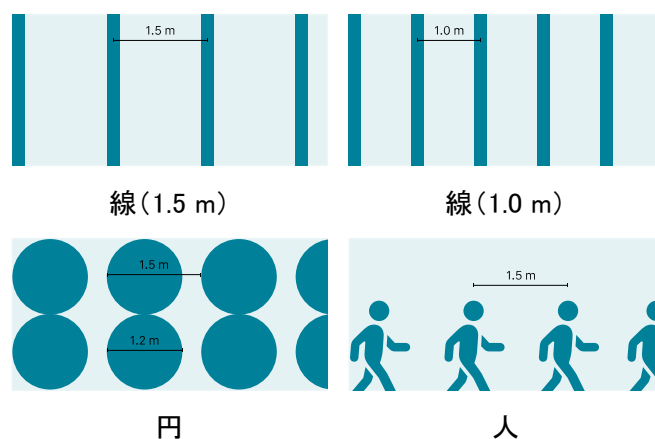
図2 実験空間レイアウト(平面)

実験変数は投影する映像の投影面、映像パターン、および映像の進行速度とした。また比較対象として映像を投影しない自由歩行条件も実施している。投影は歩行する床面への投影と隣接する壁への

投影の 2 種を試行した。映像パターンを図 3 に示す。床面への投影では越えてはいけない線を示す「線」と、1人ずつの領域を示す「円」、また、壁面への投影では床と同様の「線」と、並行して歩く目安となる人型のピクトグラム「人」を用意した。「線」は離隔距離が 1.5 m と 1.0 m の 2 パターンを用意した。いずれの映像パターンも固定のループ図柄が進行方向に等速で移動する。映像の投影には短焦点プロジェクタを用い、床面への投影では治具に固定し斜め方向から、壁面への投影は投影する壁の側面の床に設置し、歩行者で投影が遮られることを極力避けた。映像の速度は 1.00 m/s を基調に、主要な条件においては 0.50, 0.75, 1.25, 1.50 m/s のバリエーションを試行した。

グループ歩行時にはグループによる偏りが出ないように表 1 の各属性から1人ないし2人が含まれるようにし、さらに施行ごとにグループ編成と初期整列位置を変更した。また速度を変えての試行の際は速度に対する慣れが出ないように、実施する速度の順序をランダムにした。

駅構内を歩く時のように急がず自然に歩き、映像が表示された場合はできるだけその映像に従うことを教示した。さらにその映像が「線」のときは線を跨がないように歩くこと、「円」のときは円の中で歩くこと、「人」のときは人のピクトグラムと同じペースで歩くことをそれぞれ教示した。



注: 実際には背景が黒、パターンが白で投影された

図 3 投影映像パターン

実験の様子は床面および側面からビデオカメラで撮影した。また、全実験終了後には体験した試行間の優劣などを問うアンケートに回答させている。

なお、本研究は研究計画名「床面投影による歩行制御の実験的研究」として早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認(承認番号 2021-054)を得ている。

3. 実験結果

(1) 観察された定性的な歩行性状

実験での被験者の行動観察から以下の傾向が明らかとなった。

投影区間に入るフェーズにおいては、ちょうどエスカレータの乗り込みと同じように、歩調が合わない場合手前で速度を落としたり歩みを止めて、表示される目安のペースに対して自分の位置を調整する行為がしばしば見られた。またその調整により、グループ歩行においては前方の歩行者との間隔が 1 ブロック空く例も時おり見られた。本実験においては助走区間を 3.0 m しか設けなかったこともあり、遠方からの緩やかな歩行速度・ステップ調整がしづらかったことも影響していると考えられるが、実際の場面においても、乗り込みエリアではもたつきや一時的な前後の詰まりが発生する可能性がある。

投影区間に入ってから、被験者は教示に従い線の間もしくは円の中を歩こうとし、一度決めた目安

に従い出してからはそれを越えることはなかった。群においても線に挟まれたエリアや円の中に前後方向で2人以上が入ることはなく、前後の離隔は保たれていた。

被験者は前方の線や境界を超えないように意識して歩いていたが、一方で残した足が後方の線にかかることがしばしば見られた。後方側の目安線については視界に入らないことが窺え、目安区間の中央よりも後ろ寄りに位置取ることになった。ただし全体的にその傾向は見られるため、前後の離隔距離はおおよそ提示した映像の間隔が保たれており、全体の密度としては意図した値(またはそれ以下)が得られる。

例として図4は「床(線)」前後距離1.5mの足元画像である。最も右側の2名①②が最初の線A、被験者③は線B、被験者④は線Cを目安線として捉えて歩いている。上記で挙げた、後方の線に足がかかっている様子と乗り込みの際に前方歩行者から1ブロック空いてしまった様子が見てとれる。



図4 床(線)パターン・離隔距離1.5mの条件における足元画像

(2) 映像パターンの比較評価

床面への投影においては前方の目安パターンを視認するため視線は足元に落とす傾向があり、時折前方を確認するため視線を上げる行為が見られた。一方壁面への投影においては、壁の目安パターンと垂直方向に自分がちゃんと位置しているか確認するため、首を90度壁側に向けてぎこちなく歩く被験者がたびたび見られた。前後位置は無視し映像と速度のみを合わせることが条件の試行においてはより周辺視で捉え前方を見て歩く被験者が増えた。

図5は全実験終了後のアンケートにおいて、分かりやすかった映像パターンの順位付けの解答結果である。図の円の面積が回答数の多さを示している。床面への投影では円、壁面では人のパターンの評価が高い。しかし回答者によって高く評価するパターンにはばらつきがあり、どれかが圧倒的に優れていたわけではないことが窺える。なお、上記の通り壁面への映像パターンでは床面と異なり一部の条件は前後位置は無視し映像と速度のみを合わせることが条件で合ったため、図5を読む際は留意されたい。

映像パターン	1位	2位	3位	4位
床(線)	●	●	●	●
床(円)	●	●	●	●
壁(線)	●	●	●	●
壁(人)	●	●	●	●

図5 映像パターンの分かりやすさ順位

(3) 速度の比較評価

図6は全実験終了後のアンケートにおいて、「床(線)」のパターンでの歩きやすかった速度についての解答結果である。なお、被験者には具体的な速度は提示していなかったため、解答は各被験者の体

験からの主観的な速度区分に困っている。図 6 から、「ゆっくり」な速度(0.25-0.50 m/s 程度)は却って歩きづらく、自由歩行速度に近い「中くらい」(0.75-1.00 m/s 程度)から「早い」(1.25-1.50 m/s 程度)方が歩きやすいことがわかる。実験の観察で低速の場合は躓きや歩調を合わせるための辿々しい足運びが見られたことと一致している。

また自由記述からは、自分の歩行速度と合った速度が歩きやすいという旨の記述が複数見られた。

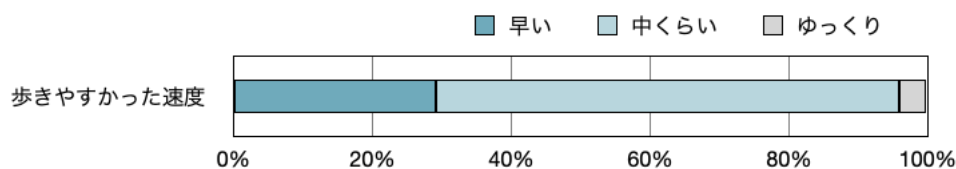


図 6 歩きやすい提示速度

(4) フェーズ別の難易度

図 7 は全実験終了後のアンケートにおいて、表示に合わせて歩くことにおいて各フェーズの難易度の回答を示している。「表示が始まる場所」を難しいと答えた被験者が多く約 8 割に届く。また、それ以外のフェーズについてもおおよそ 4 割は「難しい」「やや難しい」と解答しており、特にこのようなシステムに慣れるまでは、映像に合わせて歩くことに心理的な負荷を強いることになる可能性がある。

自由記述からも、慣れが必要だという回答が多かった。

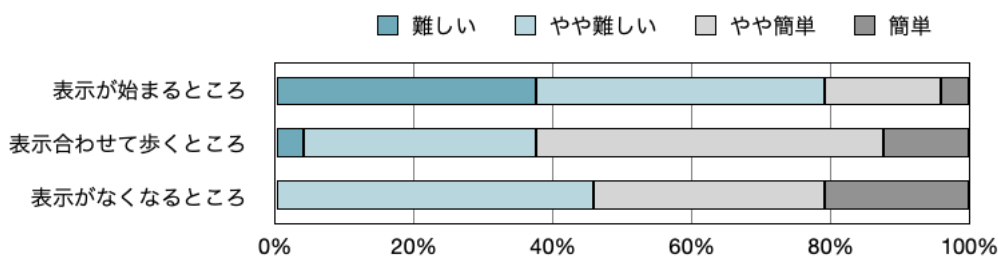


図 7 映像に合わせて歩くにあたっての各フェーズの難易度

(5) 映像による歩行制御の可能性

図 8 は全実験終了後のアンケートにおいて「実際の建物に映像による歩行の目安があったら自分は従うと思うか」という問いに対して、各評価項目についての回答結果割合を示したものである。ただし、映像が歩行の目安として提示されていることを知っていることと仮定した。いずれの項目についてもほぼ 8 割以上が「従う」または「たぶん従う」と回答しており、実装においても利用方法が周知されれば効果が得られることが期待できる。

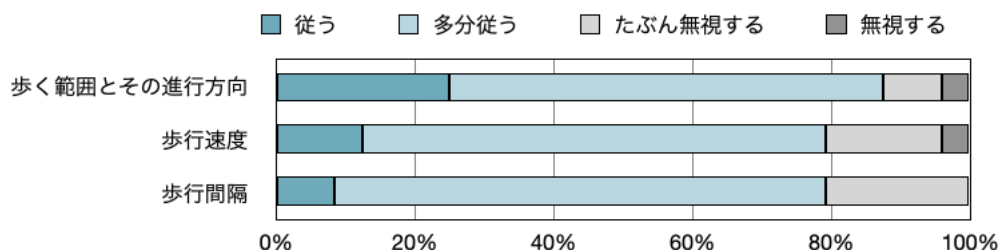


図 8 実際の場面で映像による目安を利用するか

4. 結

流動している歩行者群集において群集安全やフィジカルディスタンスを確保するという課題に対して、

歩行空間の床や壁に歩行の目安となるアニメーション映像を投影し、歩行群集の密度や速度を制御する手法を提案した。またその実現性の確認のために被験者実験を実施し、動く映像を目安に歩く際の定性的な性状を確認した。

結果から、本技術により群集流の前後距離や速度が制御できることが確認できた。実空間への導入においては、一方向流が発生するイベント会場やスタジアム・映画館などの大型収容施設からの一斉退場やラッシュ時の駅・大型オフィスビル通路部での活用が期待できる。

今後は実験データのより定量的な分析に加え、実際の建物空間で映像を投影した際の利用者の反応や実シナリオに近い形での制御可能性を確認する実証実験を構想している。

【参考文献】

- 1) John J. Fruin: Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.1
- 2) 岡田光正: 群集安全工学, 鹿島出版会, 2011.5
- 3) World Health Organization: “COVID-19: physical distancing”, 2021,
<https://www.who.int/westernpacific/emergencies/covid-19/information/physical-distancing> (accessed on 2021.9)
- 4) 全国警備業協会編集: 雑踏警備業務の手引 改訂, 全国警備業協会, 2006.9