

2020年度 卒業論文

密集を避ける行動をするための
群衆行動シミュレーションに関する研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト
学籍番号 M0117303
我彦 拓磨

2021年2月

2020年度 卒業論文概要

論文題目

密集を避ける行動をするための
群衆行動シミュレーションに関する研究

メディア学部

学籍番号：M0117303

氏名

我彦 拓磨

指導
教員

渡辺 大地 教授

キーワード

SPH, 群衆シミュレーション, 密集回避,
line of sight, Boids

群衆行動シミュレーションは、非常に多くの物やキャラクターの動きをシミュレーションするものである。大人数での避難誘導シミュレーションや歩行者の集団の動きのシミュレーション、障害物や人との衝突回避行動シミュレーション、駅構内の行動シミュレーションなどに用いられている。手法には Boids アルゴリズム、粒子法の SPH 法や MPS 法などが用いられている。

今日、COVID-19 の影響により飲食店の営業自粛や学校の休校、様々なイベントが自粛になっている。最近では、飲食店の対策として営業時間の短縮、座席の間隔を空ける、待機列を作らない、減らすような工夫を実施している。様々な音楽ライブや舞台ではスタッフや来場者を大幅に削減して実施をしている。密を考慮した群衆行動シミュレーションを作成することでイベントでの密集を解消する移動経路・待機場所等の提案ができるのではと考えた。本研究ではイベント会場や商業施設での通路上の群衆行動において密集を解消する理想的な動きの実現を目的とした。理想的な動きとはソーシャルディスタンスの維持と通路での密集状態の解消を指す。

提案手法では粒子法である SPH 法を用いて、1 個の粒子を 1 人と見立て、壁や人との衝突時の計算を行う。目的地までのソーシャルディスタンスを保つ移動にはノードと LOS 法を用いている。また密集を回避する行動をするために、Boids アルゴリズムの Separation ルールを用いた。提案手法の実験を行った結果、密集状態の解消ができていたことが分かった。また狭い道がある場所では狭い道の前で広い間隔を保ちつつ、人が待機を行うようになった。

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第 2 章	提案手法	4
2.1	各粒子の役割について	4
2.2	SPH 法による人粒子移動の手法	5
2.2.1	群衆の流れの支配方程式	5
2.2.2	SPH 法での重み関数を用いた支配方程式の離散化	6
2.2.3	密度の計算	6
2.2.4	圧力の計算	7
2.2.5	粘性の計算	7
2.2.6	加速度の計算	8
2.3	LOS アルゴリズムとグラフを用いた移動経路の設定	8
2.4	密集回避	9
2.5	人粒子の位置の算出	11
第 3 章	実行結果と考察	13
3.1	使用するマップとノードの配置について	13
3.2	実行結果	16
3.2.1	密集回避のアルゴリズムを適用した状態としてない状態の比較	16
3.2.2	合流して行動を行った時の様子	19
3.3	考察	21
第 4 章	まとめ	22
	謝辞	23

目次

2.1	ソーシャルディスタンスを含めた人エージェントの大きさ	5
2.2	ノードとエッジの接続の一例	9
2.3	密集回避の計算を入れなかった場合	10
2.4	Separation	11
3.1	十字路を再現したマップ (ノード可視化)	14
3.2	Unity 上で実装し, 人粒子を配置したマップ	14
3.3	狭い道を再現したマップ (ノード可視化)	15
3.4	Unity 上で実装し, 人粒子を配置したマップ	15
3.5	密集回避アルゴリズムを適用していない場合の交差前の様子	16
3.6	密集回避アルゴリズムを適用した場合の交差前の様子	17
3.7	密集回避アルゴリズムを適用していない場合の交差後の様子	18
3.8	密集回避アルゴリズムを適用した場合の交差後の様子	18
3.9	壁やグループが交差する場所付近での密集の様子	19
3.10	合流して行動を行った時の初期配置の様子	20
3.11	合流して行動を行った時の実行時の様子	20
3.12	合流して行動を行った時の密集の様子	21

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

今日、COVID-19 が世界的に流行している。全世界では 2021 年 1 月時点で、約 9380 万人の感染者数、201 万人の死亡者数である。日本でも、31.8 万人の感染者数と 4204 人の死亡者数を出している [1]。COVID-19 の対策として世界的には、人の往来を止めるために商業活動の禁止措置や飲食店の営業時間の短縮、公共交通機関の閉鎖、ロックダウン (都市封鎖) 等の対策を行っている。日本でも様々な対策を講じている。飲食店の営業自粛や学校の休校、様々なイベントが自粛になっている [2]。東京都などからは感染症対策のガイドライン [3] も発表されている。最近では、飲食店の対策として営業時間の短縮、座席の間隔を空ける。待機列を作らない、減らすような工夫を実施している [4]。様々な音楽ライブや舞台などのイベントではスタッフや来場者を大幅に削減、オンライン開催などの工夫をして実施をしている [5]。学校においても、分散登校や部活動の中止なども起きている [6]。さらに最近は密集することにならないように待機をするとき、移動するときも人同士の距離を十分にとる傾向にある。上記で例に挙げた対策を群衆シミュレーションを用いて再現することで、より効果的な席の配置や移動経路、待機場所の提案ができるのではないかと考えた。

回避行動や目的地への移動などの群衆シミュレーションの研究は多く存在する。例えば、遠藤ら [7] は、SPH 法で算出される粒子間の圧力を利用して、粒子間の距離の確保させることで狭い出口でもスムーズな脱出を可能とした。松崎ら [8] は、群衆事故防止と移動の効率化のために、学生の移動をマルチエージェントシミュレーションにおけるポテンシャルモデルを用いてモデル化し、混雑しやすい場所の特定を行った。後藤ら [9] は個別要素法型群衆行動モデルにより津波時の避難シミュレーションを構築し、避難効率向上の検討や人の年齢差や性差による特性の相違が存在する場合の検討を実施した。高橋ら [10] は電車の乗降口付近での降客優先行動や再乗車行動と行った駅ホーム特有の行動を再現し、他の旅客との衝突回避やネットワークモデルを用いた目的地への移動を再現した。宮川ら [11] は避難者に横歩きと回転という新しい行動を加え、それによって生じる影響を調べ回転行動が避難速度を早めることを示した。

さらに、群衆シミュレーションの研究は都市交通や建物内での移動または避難シミュレーションの研究にも用いられている。春名ら [12] は大規模集客施設利用者の行動実態を基にした地区内行動シミュレーションを開発した。森本ら [13] は混雑状況下で建物空間内の歩行者が混雑状況に応じて、移動時間の短い出口を選択するモデルを構築した。清野ら [14] は地下街などの閉鎖的な空間を対象に個別要素法を用いたシミュレーションを提案し、基本的な人間行動を再現し、実際の事故が起きたことがある地下街に適用し、避難行動解析を行った。

本研究の目的はイベント会場や商業施設での通路上の群衆行動において密集を解消する理想的な動きの実現である。理想的な動きとはソーシャルディスタンスの維持と密集状態の解消を指す。遠藤ら [7] や後藤ら [9]、森本ら [13] は移動時間の短縮やスムーズな移動を目的としているが、本研究ではソーシャルディスタンスの維持と通路上での密集状態の解消する動きの実現を目的とした。本手法では、ソーシャルディスタンスを保ち、流体的な流れを実現するために粒子法である SPH 法、目的地の移動には LOS アルゴリズムを用いる。また、密集状況を解消するために Boids アルゴリズムの Separation ルールを適用した。

提案手法の実験を行った結果、密集状態の解消ができていたことが分かった。また狭い道がある場所では狭い道の前で広い間隔を保ちつつ、人が待機を行うようになった。しかし、壁沿いや狭い道の途中での密集が残る結果となった。

1.2 論文構成

本論文は全 4 章にて構成する。2 章では本手法について述べ、3 章では実験について述べる。そして 4 章にてまとめを述べる。

第 2 章

提案手法

本章では，提案する密集回避行動の手法について説明する．2.1 節では人エージェントと壁それぞれの説明を述べ，2.2 節では SPH 法を用いた移動の計算方法について述べる．2.3 節では LOS 法とノードを用いた移動経路の設定と実装について述べる．2.4 節では密集時に回避行動を行う際の計算について述べる．最後に 2.5 節でこれまでの節で算出した結果を合計し，人粒子の位置を算出する方法について述べる．

2.1 各粒子の役割について

本節では人や壁をそれぞれ粒子として扱った際のサイズや役割について述べる．本研究では粒子法を用いてエージェントの動きを再現しているため，人と壁をそれぞれ人粒子，壁粒子と呼ぶ．

まずは人粒子について述べる．人粒子は 1 個の粒子を 1 人と見立てる．人粒子は人の移動の様子を表すために用いる．図 2.1 は人粒子の大きさを示している．人粒子は大きく 2 つの部分で構成する．内側の円を人体円 R ，外側を覆う円をソーシャルディスタンス S と呼称する．人体円 R の半径は 1m と本研究では定義している．ソーシャルディスタンス S は東京都の感染拡大防止ガイドブックより 2m と定めた．人粒子をソーシャルディスタンスまで含めた大きさにすることにより人粒子同士が必ずソーシャルディスタンスを保つことが保証できる．

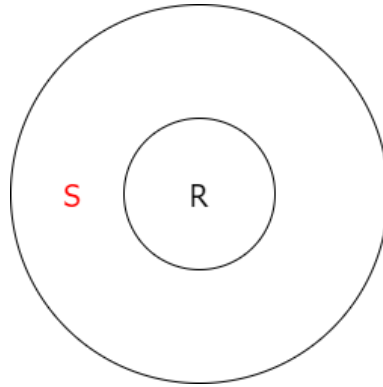


図 2.1 ソーシャルディスタンスを含めた人エージェントの大きさ

次に壁粒子について述べる。壁粒子の大きさは限りなく小さい。壁粒子はマップ上で壁となる部分に一定の間隔で配置する。壁粒子は密集回避を行う際の計算に用いる。

2.2 SPH 法による人粒子移動の手法

本節では人粒子の移動のための計算手法について述べる。人粒子の流れの制御には SPH 法を用いる。SPH 法は人粒子の移動の中で壁粒子や自分以外の人粒子の衝突判定に利用している。

2.2.1 群衆の流れの支配方程式

本研究では 2 次元の流れを扱う。支配方程式であるラグランジュ表記のナビエ・ストークス方程式を以下の式 (2.1) に示す。

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla\mathbf{p} + \nu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (2.1)$$

この式 (2.1) での \mathbf{u} は粒子の速度、 ρ は粒子の密度、 \mathbf{p} は圧力、 ν は動粘性係数、 \mathbf{f} は外力を示す。外力は本研究では利用しないため \mathbf{f} はゼロベクトルとなる。

本研究で扱う流体は分類上、非圧縮性流体として扱う。式 (2.2) は質量保存則を表す連続の式であり、本手法においてはシミュレーション中の粒子の質量は、一定であり、粒子の数はシミュ

レーション中は変化しないものとして定義する.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2.2)$$

2.2.2 SPH 法での重み関数を用いた支配方程式の離散化

次に方程式の離散化を行う. SPH 法は連続体を粒子の集合とみなし, 各時間の粒子における速度や圧力などの物理量を算出する. 位置ベクトル \mathbf{x} をもつ空間内の任意の位置での物理量 $\phi(\mathbf{x})$ は式 (2.3) と示す.

$$\phi(\mathbf{x}) = \sum_{j \in N} m_j \frac{\phi_j}{\rho_j} W(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}, h) \quad (2.3)$$

この式 (2.3) での N は近傍粒子の集合, m は粒子の質量, ρ は粒子の密度, W はカーネル関数, h はカーネル関数の影響範囲をそれぞれ示す. 本研究では Müller ら [15] が提案した 3 種類のカーネル関数を用いる. カーネル関数は物理量の補完に用いるため, 安定でかつ計算量が少ないことを条件とする. 以下の 2.2.3 項, 2.2.4 項, 2.2.5 項で挙げるカーネル関数は全て有効範囲内と外との境界上でのカーネルの値と傾きが 0 となっており, 有効範囲外での計算を行う必要がないため効率的に計算が可能である.

2.2.3 密度の計算

まず密度の計算を行う. 密度を離散化したものは式 (2.4) と示す.

$$\rho(\mathbf{x}) = \sum_{j \in N} m_j W_{poly6}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}, h) \quad (2.4)$$

密度計算で利用する重み関数は Poly6 関数と呼ばれるものを利用する。Poly6 関数は以下の式 (2.5) のように示す。ここで $r = |\mathbf{r}|$ と示す。

$$W_{poly6} = (\mathbf{r}, h) = \frac{4}{\pi h^8} \begin{cases} (h^2 - r^2)^3 & (0 \leq r \leq h) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (2.5)$$

h は式 (2.3) でも示した通り影響範囲を示すので、その半径の円内に存在する粒子からのみ影響を受けるとことを示している。

2.2.4 圧力の計算

次に圧力の計算を行う。圧力も密度と同様に離散化を行った式 (2.6) を用いて計算を行う。

$$f_i^{press} = -\frac{1}{p_i} \sum_{j \in N} m_j \frac{p_j - p_i}{2\rho_j} \nabla W_{spiky}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}, h) \quad (2.6)$$

圧力の計算でも専用の重み関数 $\nabla Spiky$ と呼ばれる、重み関数の勾配をとったものを用いる。重み関数の式は以下の式 (2.7) に示す。

$$\nabla W_{spiky}(\mathbf{r}, h) = -\frac{30}{\pi h^5} \begin{cases} (h - r)^2 & (0 \leq r \leq h) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (2.7)$$

次に各粒子単位の圧力を事前に計算しておく。圧力を事前に算出するために Becker ら [16] の Tait 方程式を用いる。Tait 方程式は以下の式 (2.8) に示す。

$$\begin{cases} p = B\left(\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^7 - 1\right) \\ B = \frac{\rho_0 c^2}{7} \end{cases} \quad (2.8)$$

式 (2.8) の B は圧力定数と呼ぶ。 c は音速を表す。

2.2.5 粘性の計算

次に粘性を計算する。粘性は流体の速度により構成される。速度 \mathbf{u} のラプラシアンをそのまま離散化すると、早い粒子は遅い粒子に影響を与えることが可能だが、その逆の影響力が小さくな

り，粒子速度が発散してしまう．そのため離散化式は以下の式 (2.9) のように示す．

$$f_i^{visc} = \mu \sum_{j \in N} m_j \frac{\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i}{\rho_j} \nabla^2 W_{visc}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}, h) \quad (2.9)$$

重み関数 W は *Viscosity* という重み関数にラプラシアンを作用させた以下の式 (2.10) のように示す．

$$\nabla^2 W_{viscosity}(\mathbf{r}, h) = \frac{20}{3\pi h^5} \begin{cases} h - r & (0 \leq r \leq h) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (2.10)$$

2.2.6 加速度の計算

これまでに求めた圧力，粘性，密度を用いて，ナビエ・ストークス方程式 (2.1) を解くことで加速度を求めることができる．

2.3 LOS アルゴリズムとグラフを用いた移動経路の設定

本研究ではグラフ理論におけるグラフ [17] と LOS アルゴリズムを用いて移動経路の設定と実装を行った．図 2.2 は一般的なグラフを示す．このグラフは，ノードとエッジというもので構成されており，ノードは接点または頂点，エッジは枝，辺とも呼ぶ．以下の図 2.2 において， A ， B ， C ， \dots と書かれた円がノード，線分がエッジとなる．2つのノードがエッジでつながれている状態のことを接続関係を持つといい，接続関係を持つノード間は移動可能である．反対に，2つのノードがエッジでつながれていない状態を接続関係を持たないと呼び，接続関係を持たないノード間は移動不可とする．

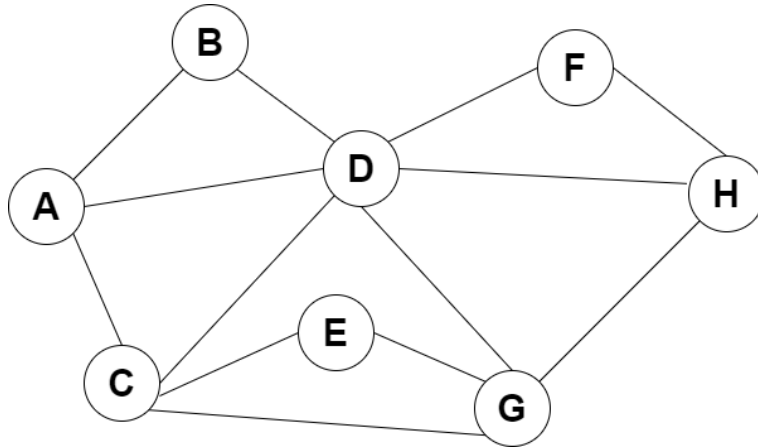


図 2.2 ノードとエッジの接続の一例

人粒子の移動には Line Of Sight アルゴリズム (以下 LOS アルゴリズムと呼ぶ) を用いた。LOS アルゴリズムは追跡や逃亡に用いる経路探索アルゴリズムで、目標地点に向けて直線的な動きをするものを指す。LOS アルゴリズムは Bresenham[18] が提案する線分描画アルゴリズムをもとにしている。本研究では 2 つのノードを接続したエッジを方向を示す単位ベクトルに変換して速度ベクトルを算出する。図 2.2 を用いて移動の例を示す。人粒子がノード A の位置ベクトル \mathbf{A} からノード B の位置ベクトル \mathbf{B} へ移動すると仮定する。式 (2.11) は人粒子が \mathbf{A} から \mathbf{B} に向かう際の速度ベクトル \mathbf{V}_l を算出する方法を示す。

$$\mathbf{V}_l = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{A}}{|\mathbf{B} - \mathbf{A}|} \quad (2.11)$$

2.4 密集回避

2.3 節までの手法のみでシミュレーションを実行すると、人粒子は密集して移動を行い、ソーシャルディスタンスを保っているが、人粒子の密度が高いことがわかる。図 2.3 に 2.3 節までの実装のみで実行したシミュレーションの様子を示す。

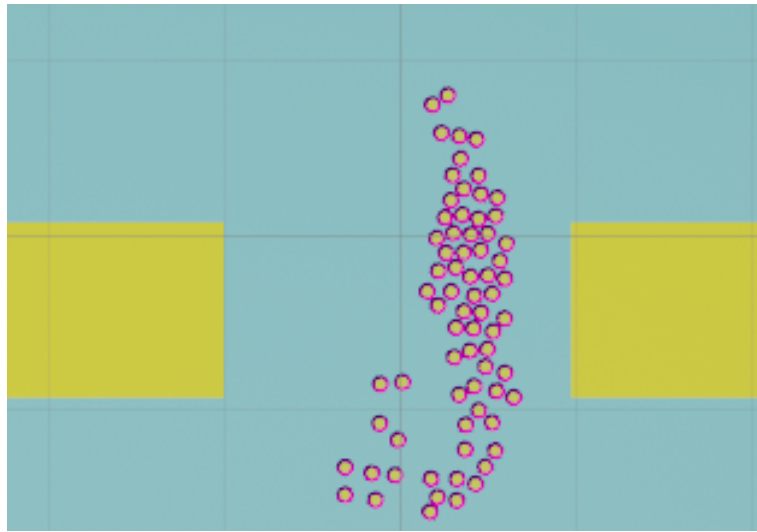


図 2.3 密集回避の計算を入れなかった場合

これを解決するために密集回避の計算を導入した。人粒子同士の密集を分散させるために Boids アルゴリズムの Separation ルールを採用した。Boids アルゴリズムは Reynolds[19] が提案した群れの動きを制御するアルゴリズムである。Separation ルールは Boids アルゴリズムのルールの一つであり、群れに接近しすぎて衝突しないようにするためのルールである。図 2.4 は Separation ルールについて説明した図である。緑色の三角形は人粒子であり、その周囲状態について考える。青色の三角形が周囲の人粒子、赤い点は壁粒子、水色の円が影響範囲、黄色の線分が影響範囲内の粒子の方向で、この場合、赤い矢印の方向に緑色の三角形は移動する。

具体的な計算方法について述べる。影響範囲内に入った、全ての他の人粒子や壁粒子と自分との相対的な位置ベクトル \mathbf{P}_n を算出する。算出方法は自分以外の各粒子 n の位置 \mathbf{A}_n 、自分の位置を \mathbf{P}_i として式 (2.12) と表す。

$$\mathbf{P}_n = \mathbf{A}_n - \mathbf{P}_i \quad (2.12)$$

次に式 (2.12) で算出したベクトル \mathbf{P}_n を正規化し、そのベクトルを合計したベクトル \mathbf{V}_{sum} を

算出する．式 (2.13) に \mathbf{V}_{sum} の算出方法を示す． m は自分以外の粒子の数である．

$$\mathbf{V}_{sum} = \sum_{n=0}^m \frac{\mathbf{P}_n}{|\mathbf{P}_n|} \quad (2.13)$$

最後に，上記の式 (2.13) で求めたベクトル \mathbf{V}_{sum} を壁粒子を含めた人粒子の数 m で割ることで平均値を算出し，速度ベクトル \mathbf{V}_s が求まる．式 (2.14) に \mathbf{V}_s の算出方法を示す．

$$\mathbf{V}_s = \frac{\mathbf{V}_{sum}}{m} \quad (2.14)$$

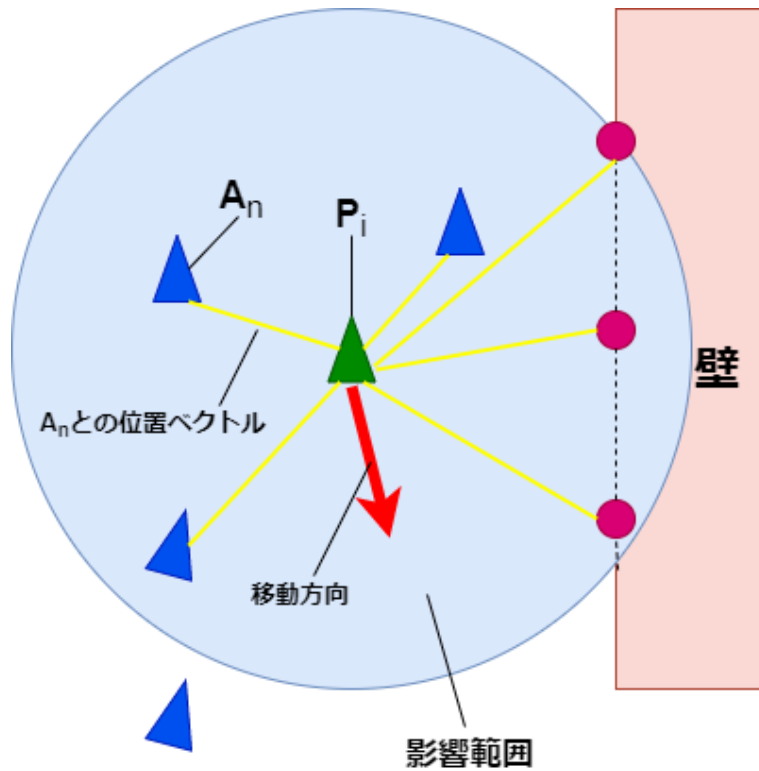


図 2.4 Separation

2.5 人粒子の位置の算出

これまでの節で求めてきたベクトルを合計して時刻 t での位置を算出する．2.2 節で求めた加速度を \mathbf{A}_{sph} ，単位時間を Δt ， $t - \Delta t$ 秒時の SPH 法での速度を $\mathbf{V}_{t-\Delta t}$ ，2.3 節で求めた速度 \mathbf{V}_i ，

2.4 節で求めた速度 \mathbf{V}_s とする. 時刻 t の時の各人粒子の位置 \mathbf{P}_t は式 (2.15) となる.

$$\mathbf{P}_t = \frac{\mathbf{V}_{t-\Delta t} + \mathbf{A}_{sph}\Delta t + \mathbf{V}_l + \mathbf{V}_s}{|\mathbf{V}_{t-\Delta t} + \mathbf{A}_{sph}\Delta t + \mathbf{V}_l + \mathbf{V}_s|} \Delta t \quad (2.15)$$

第 3 章

実行結果と考察

本章では，提案手法の実行結果と考察を述べる．3.1 節では実験に使用するマップの説明を行う．3.2 節では，各想定した状況での動きの様子について述べる．3.3 節では 3.2 節での結果をもとに考察を述べる．

3.1 使用するマップとノードの配置について

本研究で扱うマップを説明する．本研究では 2 種類のマップを使用する．マップには図 3.1 のようにノードを設定しており， A, B, C, \dots と記号が与えている．このノードに従い，人粒子は移動を行う．人粒子の初期の生成位置もノードで設定する．シミュレーションの実装には Unity[20] を用いた．

はじめに図 3.1 と図 3.2 の説明をする．このマップは現実の十字路を想定したマップである．人同士の交錯や合流が起きたりする場合，密集することが考えられる．本手法を適用した場合としていない場合でどのくらい密集が解消されるかを確認する．

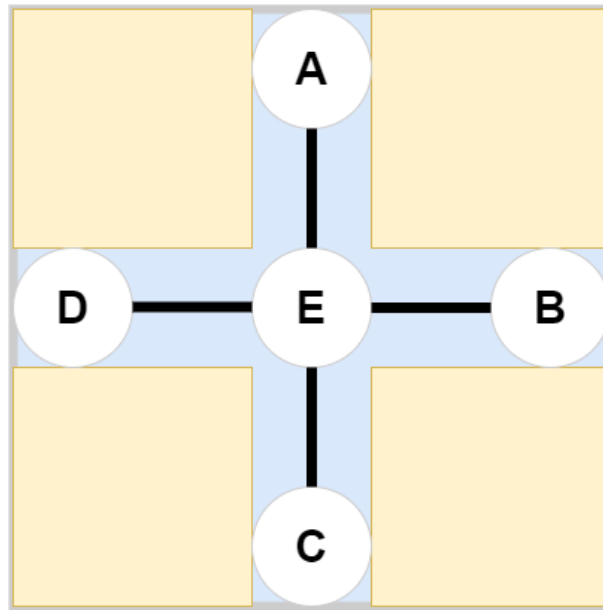


図 3.1 十字路を再現したマップ (ノード可視化)

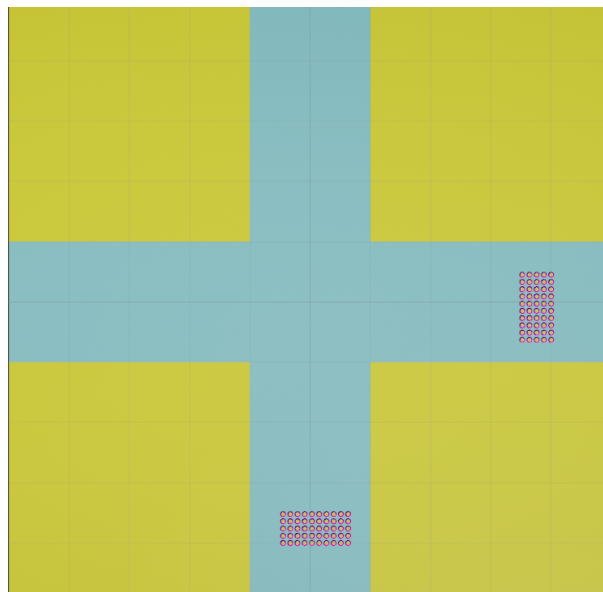


図 3.2 Unity 上で実装し、人粒子を配置したマップ

続いて、図 3.3 と図 3.4 についての説明をする。こちらは通路が狭くなっている場所を想定したマップである。広い通路から狭い通路に移動する際、密集状態になると考えられる。さらに図 3.3 上のノード E からノード B、かつ、ノード B からノード E の移動が同時に起きた際、密集状態になると考えられる。

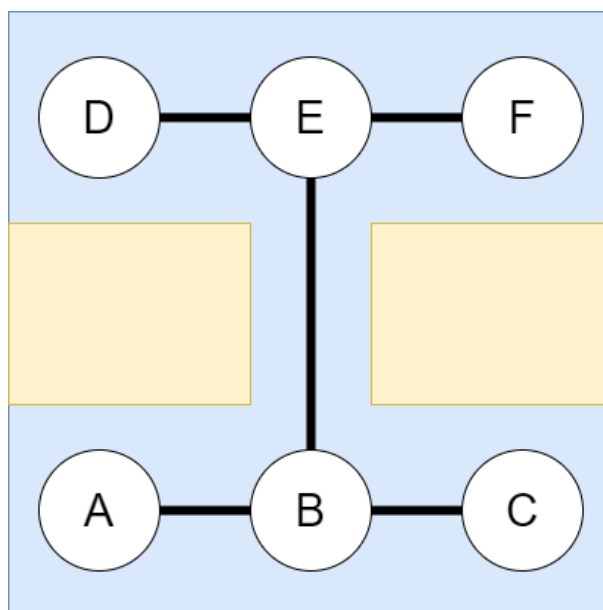


図 3.3 狭い道を再現したマップ (ノード可視化)

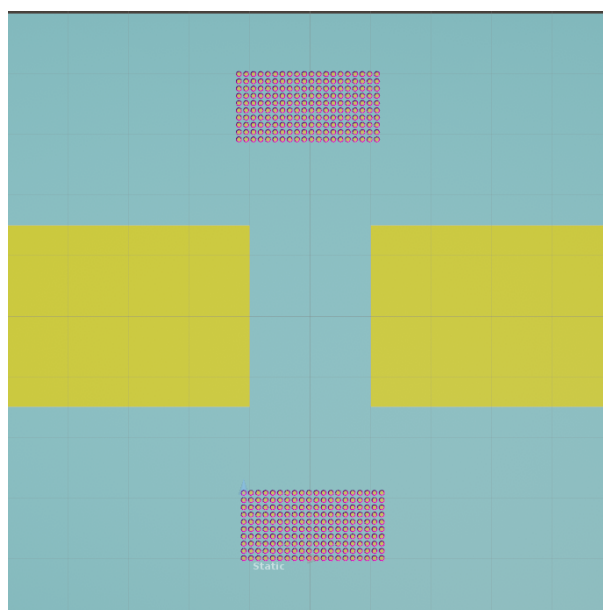


図 3.4 Unity 上で実装し、人粒子を配置したマップ

3.2 実行結果

3.2.1 密集回避のアルゴリズムを適用した状態としてない状態の比較

最初に、密集回避のアルゴリズムを適用した状態と適応していない状態での人粒子の密集状況の比較を行った。比較には図 3.2 のステージを用いた。2つの人粒子のグループを交差させ、その際に密集状況の変化を比較した。図 3.1 を参照して、2つの人粒子のグループの通過するノードはそれぞれ、 $C \rightarrow E \rightarrow A$, $B \rightarrow E \rightarrow D$ の順序で移動した。適用した状態と適用していない状態、それぞれの実行を行い交差する前の様子を図 3.5 と図 3.6 として示す。図 3.5 では人粒子のグループはそれぞれ列を保っており、密集した行動を行っていた。一方、図 3.6 では、交差前から分散した移動を行っていることがわかる。

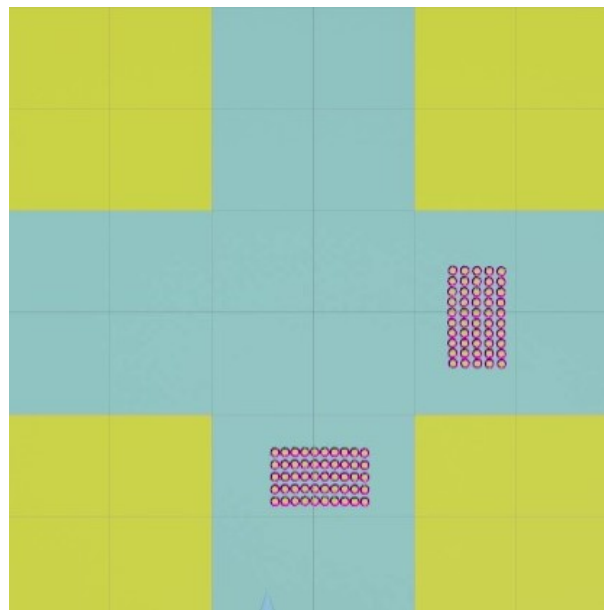


図 3.5 密集回避アルゴリズムを適用していない場合の交差前の様子

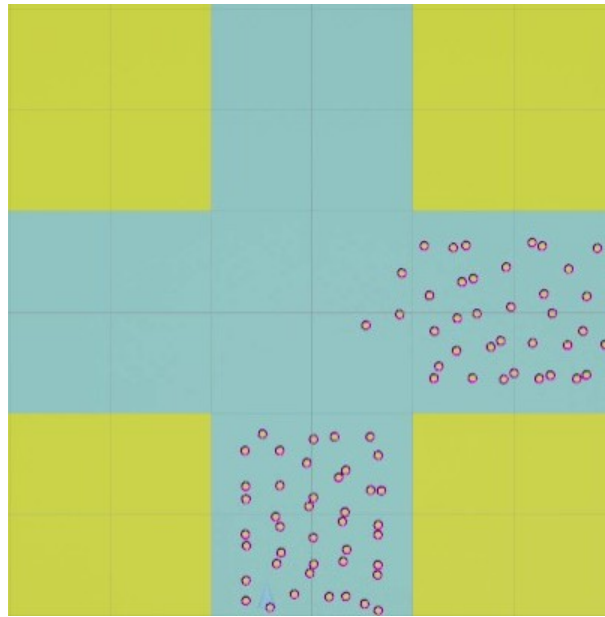


図 3.6 密集回避アルゴリズムを適用した場合の交差前の様子

次に交差中のそれぞれの状態を以下の図 3.7 と図 3.8 に示す。図 3.7 では、それぞれのグループが目的地方向に向かう際に人粒子同士が衝突し、押し合いになり、人粒子は全体的に左上付近に移動してしまうことがわかる。図 3.8 では、人粒子同士は距離をとり、中央付近で広く分散していることがわかる。この結果はもう 1 つのステージである図 3.4 のようなステージでも同じような結果となった。

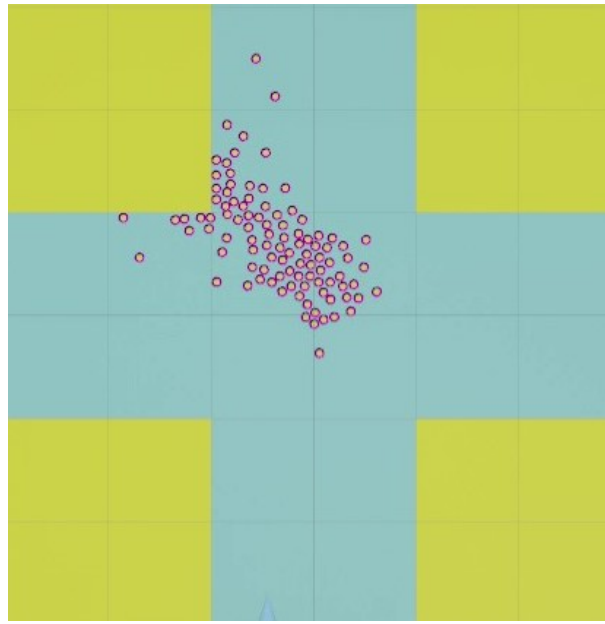


図 3.7 密集回避アルゴリズムを適用していない場合の交差後の様子

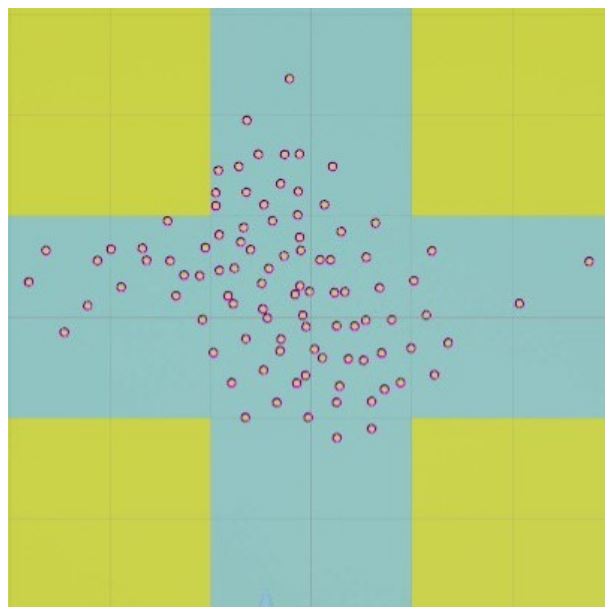


図 3.8 密集回避アルゴリズムを適用した場合の交差後の様子

図 3.9 は図 3.8 での特に人粒子同士の密集があった部分を赤い四角で示したものである。壁沿いや交差点部分での密集が多くある。また適応していない状態でも見られた左上側に密集部分が見られる。

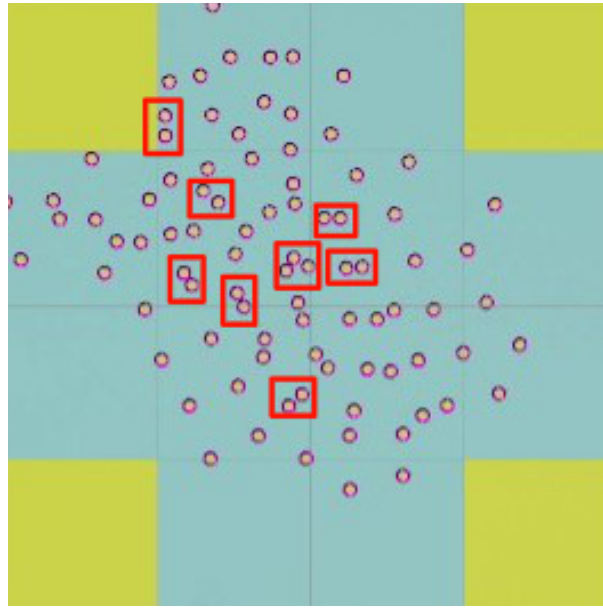


図 3.9 壁やグループが交差する場所付近での密集の様子

3.2.2 合流して行動を行った時の様子

次に図 3.4 のステージを用いて、2 つの人粒子のグループが合流して移動を行う時の様子を検証した。図 3.3 を参照して 2 つの人粒子のグループはそれぞれ $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow D$, $C \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow F$ という順序でノードを経由して移動を行う。実行前の初期配置の様子を図 3.10 に示す。

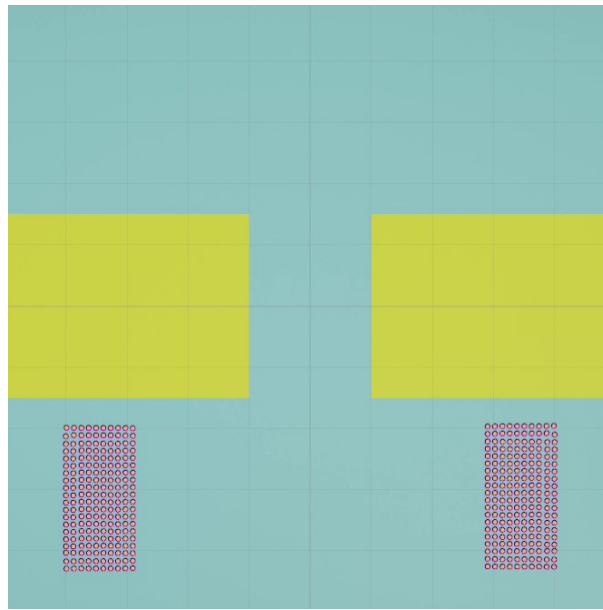
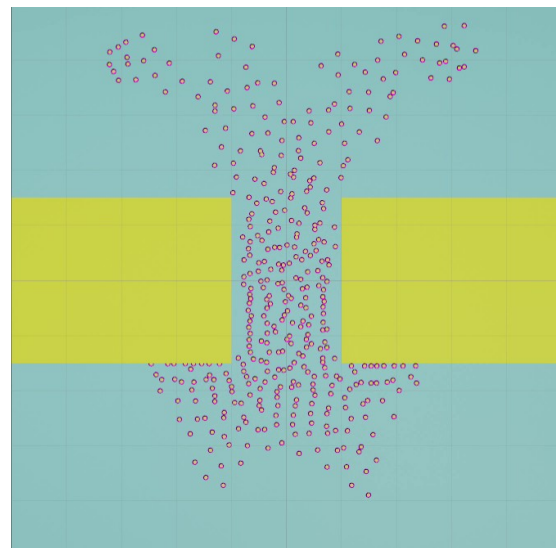
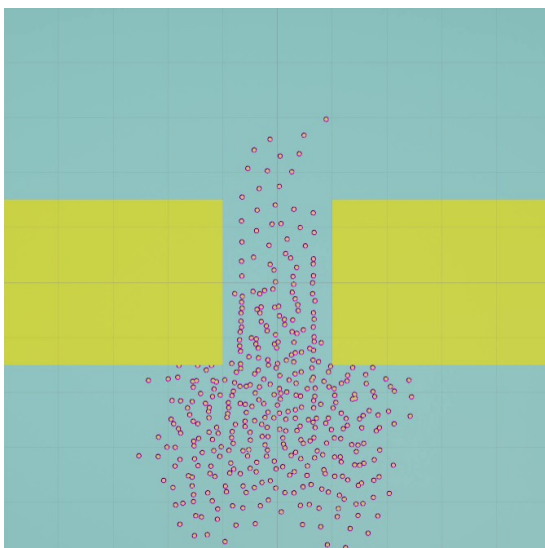


図 3.10 合流して行動を行った時の初期配置の様子

実行した様子を図 3.11 に示す. (1) では 2 つのグループが合流して移動をしている様子を表している. 狭い道の前で人粒子は広く感覚を保ち, 待機をしている状態である. (2) では狭い道を通り過ぎた後の人粒子の様子を示した図である. 狭い道を通り過ぎた後はより人粒子は分散して移動している.



(1) 狭い道を合流して移動している様子

(2) 狭い道を通り過ぎた後の移動をする様子

図 3.11 合流して行動を行った時の実行時の様子

図 3.12 は図 3.11 の (2) 上での特に密集していた部分を青い四角で示したものである。狭い道上や狭い道にはいる前の壁沿い付近の密集が目立っている。また、狭い道上では直線的な長い密集が目立っていた。

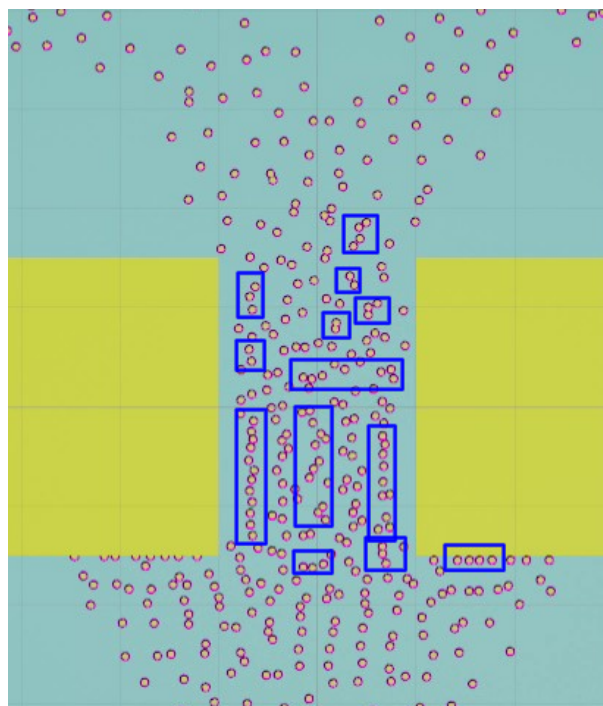


図 3.12 合流して行動を行った時の密集の様子

3.3 考察

提案手法は実験の結果を見ると密集を回避する行動が実現できていると分かった。しかし、壁沿いや交差点部分の一部の場所での密集がわずかに残ることが分かった。また、狭い道では全ての人粒子が一斉に狭い道に進むのではなく、距離をとり、待機を行うことが分かった。しかし、狭い道上ではまだ密集が多く残る結果となった。

第 4 章

まとめ

本論文では SPH 法と LOS アルゴリズムを用いたソーシャルディスタンスを保った移動と Boids アルゴリズムの Separation ルールを用いた密集回避行動を提案した。

本手法の密集回避アルゴリズムを適用した状態と適用していない状態での移動の様子を比較を行った。比較により密集回避アルゴリズムを適用していない状態に比べ、適用した状態だと密集が解消されていた。このことから、密集回避のアルゴリズムは実現できていると分かった。また、狭い道上での密集回避についての実験も行い、人粒子が一斉に狭い道を進まず、距離をとり、待機状態になり、密集回避をすることが分かった。

しかし、壁沿いや狭い道での密集が残る状況となった。そのため、壁沿いの密集については曲がり角をカーブにした状態での検討を行っていききたい。狭い通路での密集については、人数制限などの導入をすることで効果があるのではないかと考えた。

今回の実験では 1 つのグループが 1 つのゴールに向かって行動をするため、密集しやすい状況が生まれたとも考えられる、よって複数のゴールをランダムに選択して移動する状況を検討していききたい。また現実的なシミュレーションにしていくために実際の建物やドームなどのイベント会場での実験を検討していききたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くのアドバイスと指導をしてくださった渡辺先生，阿部先生に心より感謝いたします。そして，第一稿の論文を添削して頂いた院生の先輩方，中間発表や学会で意見を下さった方々にも深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering (JHU CSSE). Covid-19 data repository by the center for systems science and engineering (csse) at johns hopkins university. <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>. 閲覧: 2021.1.17.
- [2] 横須賀市. 新型コロナウイルスの影響に伴うイベント中止・延期について. <https://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/0520/covid19-event.html>. 閲覧: 2021.1.17.
- [3] 東京都. 東京都感染拡大防止ガイドブック. https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/459/0625-27.pdf. 閲覧: 2021.1.17.
- [4] 京都府. 飲食店に対する営業時間短縮の要請について. https://www.pref.kyoto.jp/kikikanri/news/corona_201217yousei.html. 閲覧: 2021.1.17.
- [5] Billboard JAPAN. 【2020年邦楽ライブレポまとめ】サザンオールスターズ/和楽器バンド/mrs. green apple/優里ら話題のライブを振り返る. <https://news.yahoo.co.jp/articles/cc1791a93eef175cf693e38ba38735900d5a233c>. 閲覧: 2021.1.17.
- [6] 東京新聞. 感染拡大の中、小学校再開 分散登校で密集回避、横浜市. <https://www.tokyo-np.co.jp/article/78291>. 閲覧: 2021.1.17.
- [7] 遠藤廣太, 中山司. Sph法による群衆の流れの数値シミュレーション. 日本応用数学会論文

- 誌, Vol. 24, No. 1, pp. 27–42, 2014.
- [8] 松崎頼人, 前田健司, 花田良子, 村中徳明. ポテンシャルモデルに基づく大学講義棟内における学生の移動シミュレーション. 情報処理学会研究報告, Vol. 102, No. 3, pp. 1–6, 2015.
- [9] 後藤仁志, 原田英治, 久保有希, 酒井哲郎. 個別要素法型群衆行動モデルによる津波時の避難シミュレーション. 海岸工学論文集, Vol. 51, pp. 1261–1265, 2004.
- [10] 高橋享平. 混雑した駅ホームでの群衆の動きを考慮したシミュレーション. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2010.
- [11] 宮川大樹, 一ノ瀬元喜. 体の回転行動を考慮した群衆避難のセルオートマトンモデル. 交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集, Vol. 25, , 2019.
- [12] 春名攻, 山田幸一郎, 山岸洋明, 立川賢二. 大規模集客施設利用者の施設利用行動特性を考慮した地区内行動シミュレーションモデル開発に関する研究. 土木計画学研究・論文集, 2000, No. 17, 9 2000.
- [13] 森本陽, 栗田治, 田中健一. 混雑状況下にある建築空間内の出口選択が避難効率に与える影響の評価モデル. 都市計画論文集, Vol. 50, No. 3, pp. 636–643, 2015.
- [14] 清野純史, 三浦房紀, 八木宏晃. 個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション. 土木学会論文集, Vol. 1998, No. 591, pp. 365–378, 1998.
- [15] M. MÜLLER. Particle-based fluid simulation for interactive applications. *Proc. SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2003*, 2003.
- [16] Markus Becker and Matthias Teschner. Weakly compressible sph for free surface flows. *ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2007*, pp. pp. 1–8, 2007.
- [17] 中宮正樹, 岸野泰恵, 寺田努, 西尾章治郎. コストマップを用いた移動型センサノードの経路探索手法. 情報処理学会論文誌, 2008, Vol. 49, No. 3, 2008.
- [18] J.E. Bresenham. Algorithm for computer control of digital plotter. *IBM Systems Journal*,

1965, January 1965.

[19] Craig W. Reynolds. Flocks,herds,and schools. *ACM SIGGRAPH'87 Conference Proceedings, 1987*, pp. 25–34, July 1987.

[20] Unity Techonologies. <https://unity.com/ja>. 閲覧 : 2021.1.17.