

# 誘導行動を考慮した群集挙動モデルの構築

首都大学東京大学院 機械システム工学域 M2 村松 勇輝 (児島研究室)

## 1.はじめに

### 背景

人が過剰に集まると押し合いや転倒といった群集事故が起こりやすい。  
 <未然に防ぐためには>

- ・群集の分散
- ・シミュレーションでの事前評価が大切である。



過剰な群集のイメージ(2015年8月1日撮影)

群集を統制する“誘導人”を考慮したシミュレーションモデルを構築することで、円滑な誘導方法を検証できる。

### 研究目的

誘導人と案内板、群集が混在するモデルの有効性を検討するために誘導人と案内板を付加したモデルの構築を行うとともに、シミュレーションによる検証を行うことを目的とする。

## 2.歩行者基本モデル

- 複雑な制約を記述できるMLD(Mixed Logical Dynamical)システム表現を用いることにより、歩行者の動特性を細部にわたって表現でき、歩行者の周囲の状況に応じて停止、回避、追従の行動モードを切り替えながら移動する様子を再現できるようにする。

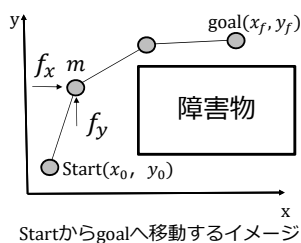
- 停止：他者の進路を妨害をしそうなときは停止する
- 回避：他者と衝突しそうなときは回避する
- 追従：付近の歩行者と進路などが同じときは追従する

制約条件を考慮した歩行者モデルの挙動を実現するために、技術的な動きをモデル予測制御で計算する。

### <モデル予測制御とは>

制御対象の有する制約を陽に扱える制御法の一つであり、オンライン計算により制御入力を逐次決定していく方法。

- 運動方程式と評価関数<sup>[2]</sup>



歩行者を平面上に存在する質点として捉え、次の条件付きの状態方程式を用いることで表現する。

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t),$$

$$x(0) = x_0 \quad u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}$$

$$x(t) = [x \quad y \quad v_x \quad v_y]^T$$

$$u(t) = [f_x \quad f_y]^T$$

- 有限時間区間の最適制御問題を次の評価関数  $J$  で定める。

$$\min J = \sum_{k=0}^{N-1} ((s_{t+k|t} - s_f)^T Q (s_{t+k|t} - s_f) + u_{t+k|t}^T R u_{t+k|t})$$

$s_{t+k|t}$ : 位置,  $s_f$ : 目標位置,  $Q, R \geq 0$ : 重み行列,  $N$ : 予測ホライズン

## 3.誘導行動モデル

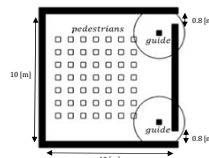
- これまでのモデルに次の特性をもつ挙動を新たに導入する。
  - 誘導人：各時間ごとの最も群集密度の高い場所へ向かい、歩行者に誘導を行う。
  - 案内板：近づいてきた歩行者に対して静的に誘導を行う。
  - 歩行者：①誘導され次第、誘導に従う行動を開始する。②静止している場合、移動中の歩行者が一定の距離にいるとき、追従行動を開始する。
 これらを歩行者の動特性と並行して計算を行う。

## 4.シミュレーション

- 2種類のレイアウトでシミュレーションすることで、群集を誘導することによる群集密度への影響を評価する。

### シミュレーション条件

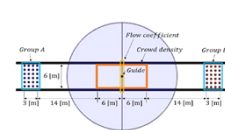
#### ・退出シミュレーション



歩行者：49人  
 誘導人：2人

- “追従率の違い”が群集密度へ与える影響を評価する。

#### ・左側歩行シミュレーション



歩行者：48人  
 案内板：1箇所

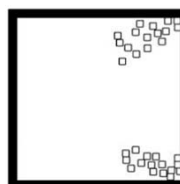
- “応諾率の違い”が群集密度へ与える影響を評価する。

### パラメータ設定

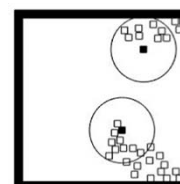
重量	60 [kg]
抵抗係数	20 [Ns/m]
歩行者の最大速度	1.3[m/s]
予測ステップ数	4
サンプリング周期	0.25 [s]
誘導人の影響範囲	2.0 [m]
案内板の影響範囲	13 [m]
歩行者の追従検討距離	3.0 [m]
1[s]経過時の追従率	20, 80 [%]
1[s]経過時の応諾率	10, 40, 60 [%]

### シミュレーション結果

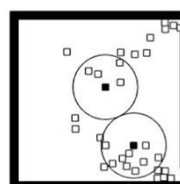
- 退出シミュレーション



誘導人がいない場合



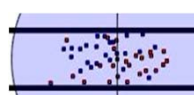
追従率 80 [%]の場合



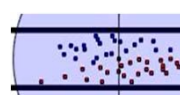
追従率 20 [%]の場合

- 誘導人がいない場合と比較すると、追従率が下がることにより最大群集密度が低下することが確認できる。

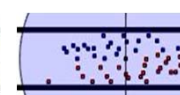
- 左側歩行シミュレーション



応諾率 10 [%]の場合



応諾率 40 [%]の場合



応諾率 60 [%]の場合

- 応諾率が低下することにより、最大群集密度の上昇と流動性の低下が生じることが確認できる。

### まとめ

- 部屋からの退出において、群集密度と流動性の観点からは追従する歩行者を減らすことが重要だと示された。
- 誘導に対する従いやすさの面では、一定の群集密度と流動性を保ちつつ、誘導が行えることが示された。

## 5.成果と今後の展望

### 成果

- 誘導人や案内板により誘導を行う場合、歩行者の追従率と応諾率には適した数値が存在することを示した。

### 今後の展望

- 追従率や応諾率に影響を与える因子を特定するために、実際の歩行実験を行う。

### 参考文献

- [1] 児島,大塚,“モデル予測制御の考え方”,計測と制御,第42号,第4号, pp.310,2003
- [2] 幸加木,児島: MLDシステム表現に基づく群集挙動のモデリング,システム制御情報学会論文誌, vol. 23, No. 7, pp. 139-146, 2010