

歩行特性の違いを考慮した群集挙動のモデル化と解析

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース B4 太田 一希 (児島研究室)

キーワード: モデル予測制御 (Model Predictive Control), ハイブリッドシステム (Hybrid System), 群集挙動 (Pedestrian Flow)

1.はじめに

群集挙動は様々な事故の要因となり、実測することが難しいためにその予測シミュレーションは以下の点で有効な一手法となりえる。

- (1) 都市計画や建築設計の安全性を評価
- (2) 災害時などの避難行動を円滑に誘導するための手段として有効

目的

本研究では、[1]で提案されたモデルを基に高齢者・車椅子の歩行者を考慮したシミュレーションを行い、群集挙動に与える影響を分析する。

アプローチ

Mixed Logical Dynamical (MLD) システム表現

⇒ 離散時間領域でのモード遷移を扱うことができる。歩行者の動特性と追従・回避等のモードを記述するため導入。

モデル予測制御 (Model Predictive Control)

⇒ 歩行者の多様な制約を考慮した最適な入力求められる。そのため、群集内における歩行者間の相互作用の考慮が可能。

2.基本モデル

歩行者を平面上の質点モデルとして捉え、障害物や他者との衝突回避行動をMLDシステムを用いて表現する。速度制約、入力制約、障害物回避における制約などを考慮し、モデル予測制御を用いて目標点への歩行を記述する[2]。

運動方程式

$$\begin{cases} m\ddot{x} + \mu\dot{x} = f_x \\ m\ddot{y} + \mu\dot{y} = f_y \end{cases}$$

質量
 $m = 60$ [kg]

抵抗係数
 $\mu = 20$ [Ns/m]

状態方程式

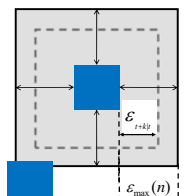
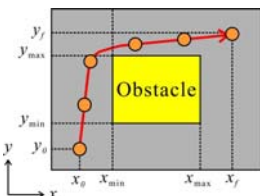
$$\dot{s} = As + Bu \quad s = [x, y, v_x, v_y]^T, u = [f_x, f_y]$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{\mu}{m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{\mu}{m} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix}$$

アルゴリズム

$$\begin{cases} m\ddot{x} + \mu\dot{x} = f_x \\ m\ddot{y} + \mu\dot{y} = f_y \end{cases}$$

質点モデル



評価関数

$$\min_U J, U := \{u_{t|t}, u_{t+1|t}, \dots, u_{t+N-1|t}\}$$

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

Subj.to

- ・状態方程式
- ・位置, 速度, 入力制約
- ・衝突回避条件
- ・群集相互作用

3-1. シミュレーション (高齢者配置)

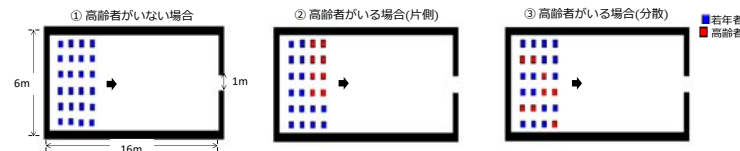
シミュレーション条件

歩行者人数を24人とし、そのうち高齢者を8人とする[3]。下図の3つの条件①~③で出口において流動係数を測定する。

パラメータ設定

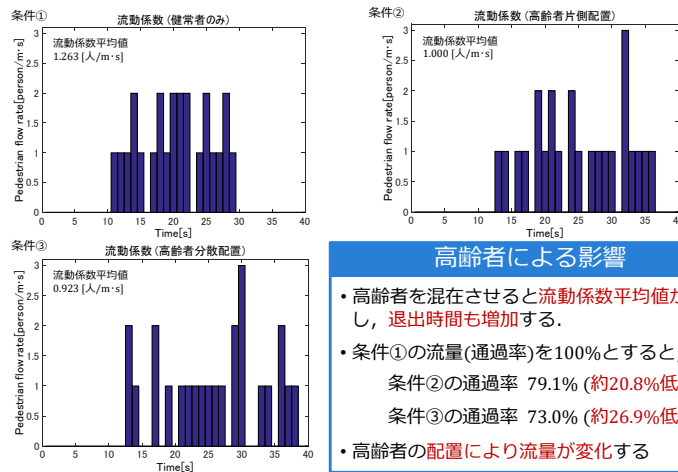
歩行者モデルの基本的なパラメータは右表のように設定し、歩行者の大きさを 0.4×0.4 [m²] の正方形とする。

h [s]	0.25	サンプリング周期
N	4	予測ホライズン
μ [N/m·s]	20	加減速の緩慢さを表す抵抗係数
l [m]	2	歩行者認識距離
K_L	0.7	回避比例定数
K_R	0.2	停止比例定数
V_{max} [m/s]	1.26	健常者最大歩行速度 ^[4]
V_{max} [m/s]	0.85	高齢者最大歩行速度 ^[4]
$\epsilon_{t+k t}$ [m]	0.4	健常者パーソナルスペース最大幅
$\epsilon_{t+k t}$ [m]	0.7	高齢者パーソナルスペース最大幅



シミュレーション結果

条件①~③での流動係数を測定したグラフを示す。流動係数とは、単位時間あたりに単位幅の出口を通過する人数のことである。



高齢者による影響

- ・高齢者を混在させると流動係数平均値が減少し、退出時間も増加する。
- ・条件①の流量(通過率)を100%とすると、条件②の通過率 79.1% (約20.8%低下)
- ・条件③の通過率 73.0% (約26.9%低下)
- ・高齢者の配置により流量が変化する

3-2. シミュレーション (車椅子配置)

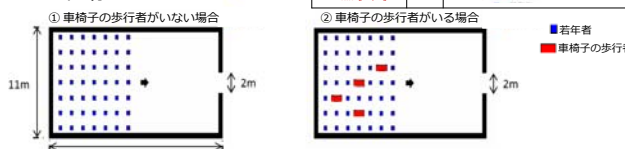
シミュレーション条件

歩行者を49人とし、そのうち車椅子の歩行者を4人とする。下図の2つの条件①~②で出口において流動係数を測定する。

パラメータ設定

車椅子の歩行者のパラメータを右表のように設定する。その他の条件は、高齢者配置のときと同様である。

μ [N/m·s]	40	加減速の緩慢さを表す抵抗係数
D_x [m]	1.4	車椅子の歩行者 縦幅
D_y [m]	0.6	車椅子の歩行者 横幅
V_{max} [m/s]	0.85	車椅子最大歩行速度 ^[4]



シミュレーション結果

ここで車椅子の歩行者がいる場合でも、車椅子の歩行者がいなくても同等の流量を維持できる出口幅を調べるため、2つの条件を追加する。

- ③ 出口幅 2.5m 車椅子の歩行者4人
- ④ 出口幅 3.0m 車椅子の歩行者4人



	条件① (出口幅 2m)	条件② (出口幅 2m)	条件③ (出口幅 2.5m)	条件④ (出口幅 3m)
退出時間 [s]	47	53	50	41
流動係数 [人/m·s]	0.64	0.52	0.63	0.76
通過率 [%]	100	81.3	96	116

車椅子の歩行者による影響

- ・車椅子の歩行者が群集内にある場合、退出時間は増加し、流動係数は減少する。
- ・車椅子の歩行者がいる場合でも出口幅を0.5m以上広げることで流量を維持できることをシミュレーションにより確認した。

4. まとめ・今後の展望

- ハイブリッドシステム表現のひとつであるMLDシステム表現を用いて、高齢者・車椅子の歩行者を考慮した群集挙動モデルを提案した。
- 今後は傾斜地やスロープにおける高齢者・車椅子の歩行者の影響、また歩行者の向き(回転)を考慮したシミュレーションを検討する。

参考文献

- [1] 猪鹿倉, 清水, 石橋, 児島: パーソナルスペースを考慮した群集挙動モデリング/ハイブリッドシステム表現に基づくアプローチ, システム制御情報学会論文誌, Vol.26, No.10, pp.345-354 (2013)
- [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)
- [3] 萩 聡, 長谷見: 群集避難行動における高齢者・身体障害者の影響(その13)~高齢者混在群集の居室避難における行動特性に関する研究~, 日本建築学会学術講演便覧, pp47-48 (2008)
- [4] 渡邊, 長谷見: 群集避難行動における高齢者・身体障害者の影響(その9)~介助歩行の車椅子が混在する群集の歩行特性~, 日本建築学会学術講演便覧, pp211-212 (2005)