

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04878

研究課題名（和文）歩行群集の小集団化と層状交差現象に着目したダイナミック・クラウドマネジメント手法

研究課題名（英文）Dynamic Pedestrian Flow Management Method Focusing on Small Grouping of Walking Crowds and Layered Crossing Phenomena

研究代表者

高柳 英明（Takayanagi, Hideaki）

東京都市大学・都市生活学部・教授

研究者番号：70344968

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、不特定多数の利用する高密度集客空間における非正常現象である歩行群集に対し、a)人間行動・移動軌跡を大域かつ同時に把握し、b)小集団化・層状・櫛状・くさび形成・いのしし口効果等の、流れの非正常特性を動的に特定でき、c)群集流の制御解を即時算出するための、動的な群集流の制御方法（ダイナミック・クラウドマネジメント手法）を群集流動シミュレーション上にて明示することを目的としている。これまでの群集流動シミュレーション技術では不可能であった、流れの制御解を動的明示し、混雑空間の施設計画マネジメントに最適解を得る点が本研究の特筆点である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高密度・混雑空間の安全性や快適性を担保すべく、従前の建築計画学では、群集流の『流量・流率・群集密度』といった定常指標を用いて空間計画の評価を行ってきたが、上記研究背景から示唆されるように、今後さらなる質向上を見込むには、建築計画学的な定常評価だけでは解決不可能である。本研究は従前は不可能であった『群集流の非正常現象と特性を同定し、そのトラッキングデータを元に流れの予測シミュレーションを行い、問題を事前に是正しうる流れの制御解を動的明示できる』ことが、最も重要な学術的独自性である。

研究成果の概要（英文）：This research aims to: a) grasp human behavior and movement trajectories globally and simultaneously; b) small group formation, layered, comb-like, and wedge formation and the effect of the mouth effect, and c) immediately calculate a crowd flow control solution. The purpose is to clarify on the crowd flow simulation. The special point of this research is that the flow control solution is dynamically clarified and the optimum solution is obtained for facility planning management in congested spaces, which has not been possible with conventional crowd flow simulation technology.

研究分野：建築計画

キーワード：歩行者 群集流動 空間計画 行動モデル化 回避予兆行動 歩車融合

### 1. 研究開始当初の背景

高齢少子・人口減少の一途とは裏腹に、現代都市生活の多様化や国際都市化・高密度化に伴い、首都圏の駅環境や集客・商業施設などでは、混雑群集による歩行負荷の増大や、歩行者相互の接触事故が多発している。この他移動弱者・高齢者へのノーマライゼーションにも取り組んでいかねばならないが、我が国が世界に先んじて『スマート都市化』をうたうべくには、MaaS等の自動車交通のみならず、『歩行者環境のITS化』を推進する必要があると今急務と言える。個々の技術研鑽は成されているものの、基盤技術としてブレークスルーとなるのは、混雑群集流をマクロに捉え、改善のアイデアに結びつける『群集流動シミュレーション』であるが、人間特有の非定常特性を考慮に入れておらず、理想的な流れの状態を予測し示唆できる得るものではなかった。

また従前の群集流動シミュレーションの学術的価値は『人間行動をどこまで詳しく数理モデル化し、いかに効率よく数値積分できるか』であったが、解析のしやすさを考慮して、歩行速度や回避距離などの行動要因を平均的な値を採択するなど理想化していたが、これでは本来の非定常な様相を捉え、予測する技術革新にはならない。本研究では申請者が20余年継続して調査してきた『小集団化・楕状・層状・くさび形成・いのしし口』などの群集流の非定常特性を汲みつつ、『現況の流れ様相との同定と予測からの流れ方の正しさ』を数理モデル化する。

### 2. 研究の目的

本研究は、不特定多数の利用する高密度集客空間における非定常現象である歩行群集に対し、人間行動・移動軌跡を大域かつ同時に把握し、小集団化・層状・楕状・くさび形成・いのしし口効果等の、流れの非定常特性を動的に特定でき、群集流の制御解を即時算出するための、動的な群集流の制御方法(ダイナミック・クラウドマネジメント手法)を群集流動シミュレーション上にて明示することを目的としている。これまでの群集流動シミュレーション技術では不可能であった、流れの制御解を動的明示し、混雑空間の施設計画マネジメントに最適解を得る点が本研究の特筆点である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 人流データの収集

本研究の群集流動シミュレーション検証の元となる現況人流のデータ収集として、首都圏の主要鉄道路線である東急東横線・東急目黒線・横浜市営地下鉄グリーンライン等の結節駅である渋谷駅・日吉駅・長津田駅・多摩川駅を対象(一部を表1に明示)とし、不特定多数からなる駅利用人流を、表2に示す観測手法により定点動画像録取した。またその録取動画像に対し、画像パターン学習・自動認識により、各歩行者のユークリッド座標系での逐次位置を算出し、現況駅の平面図に流れの様態をODデータにまとめ、のちの解析シミュレーション時の与件とした(図1)。

表1：人流調査対象駅(一部例示)

駅名	渋谷駅宮益坂中央改札	日吉駅	長津田駅
構内風景			
選択理由	渋谷駅は、国内における有数な乗降客数を誇り、近年、駅周辺エリアの再開発が進み注目されている駅である。	日吉駅は、横浜市営地下鉄との乗り換え駅であり、近々、相鉄線との直通運転が開始されることから注目される駅である。	JR線との乗り換えを始め、ベッタタウンである為、田園都市線における重要な駅である。

表2：人流定点観測の概要

項目	内容
日時	2021年10月8日(金) 午前8:30~午前9:00
対象空間	日吉駅 東急線改札内コンコース
調査手法	ウェアラブルカメラを用いた俯瞰定点撮影
撮影時間	10分間(午前8:40~午前8:50)
撮影機材	ウェアラブルカメラ (GoPro HERO5 Black)
	一脚 (上部にカメラを設置)



		destination			
		a	b	c	d
origin	a		33	195	9
	b	19		41	65
	c	34	43		32
	d	17	112	11	

図1：人流様態の正確なOD把握(一部例示)

(2) 人流の非定常数理の算出

次に各歩行者のユークリッド系での最接近・回避距離等を幾何解析し、局所的な群集密度[人/m<sup>2</sup>]、最接近個体間距離[mm]、最接近時の相対位置ベクトル[mm, mm]を算出し、人流の非定常現象である小集団化・局所層状流れをきたす際の数理基準を求めた(図2)。

また歩行者相互だけでなく、スマートシティ環境での歩車融合下を想定した、歩行者と軽車両の交差数理については、東京都市大学総合研究所インテリジェントロボティクスセンター内のモーションセンシングルームを用い、実験室実験により回避・回避予兆をきたす速度ポテンシャル場の影響領域、すなわち移動パーソナルスペースの算出を行った(図3)。

(3) 現況データを正しく反映した人流シミュレーション場の構築と検証

離散系速度ポテンシャル場数値積分の可能なシミュレーション・プラットフォームにおいて、本研究で入手した4駅7箇所 ODデータを展開し、朝・午後それぞれ1時間分のシミュレーションを各100試行する(図4)。またこの時各移動個体に対し、局所混雑度合いに応じた可視化を図るべく、群集密度[人/m<sup>2</sup>]または逆数すなわち歩行空間のサービス水準[m<sup>2</sup>/人]をAからFの6段階の色調によりグレーディングする。このことにより、前者は人流の非定常現象である小集団化に着眼し、それが現示する箇所の特長ができ、後者で見るときは、その空間が当該事象を来す局所領域になっているのかが判断できる。

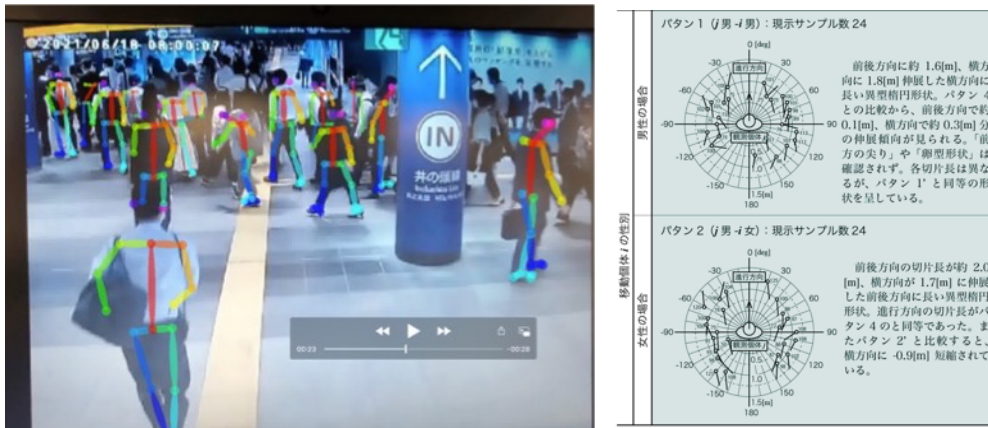


図2：人流中の各移動個体の幾何分析(図は回避距離プロットを例示)

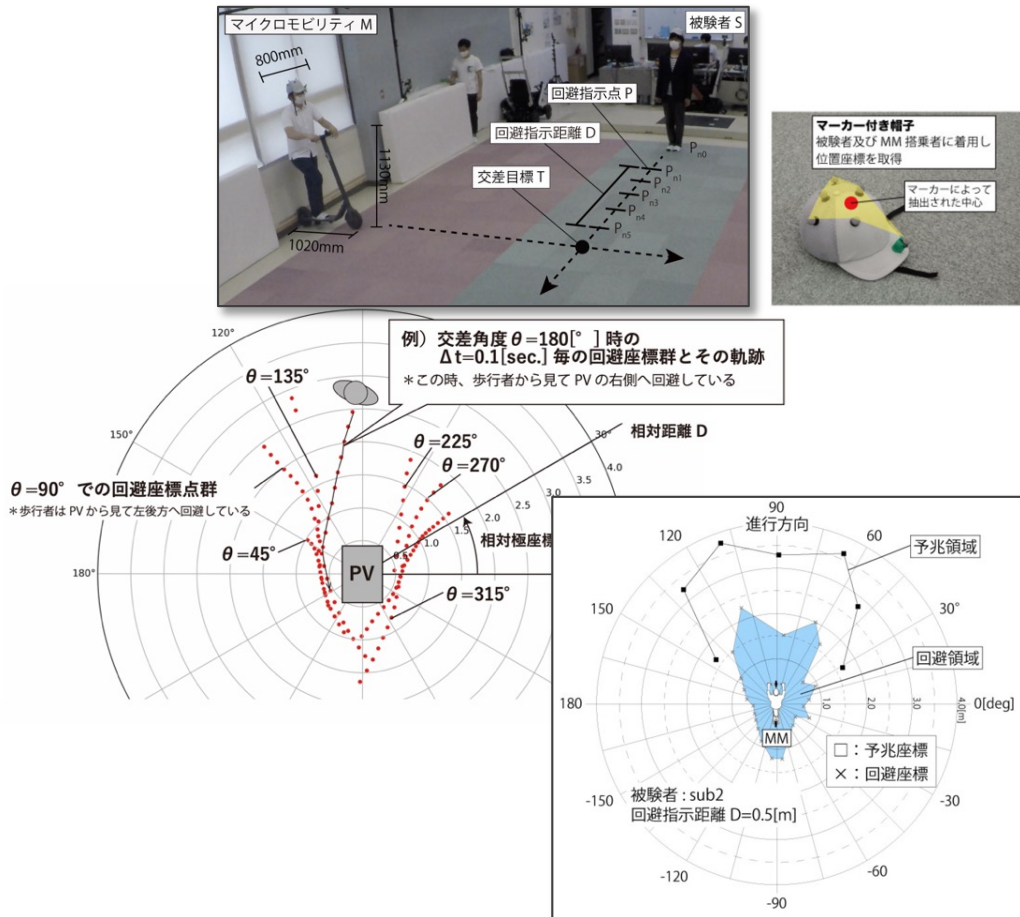


図3：歩車回避実験および回避数理算出(PV：パーソナルビークルと歩行者)

#### 4. 研究成果

##### (1) 群集流動シミュレーションによる人流様態の解析

本研究で入手した東急線渋谷駅・日吉駅・長津田駅・多摩川駅の4駅・7箇所のODデータを群集流動シミュレーション上に展開し、まずは現況の人流様態を解析した。図5はそのうち渋谷駅A8出口付近の、人流が十字交差する、慢性的な混雑が見られる様態を示している。図5右上が午前の通勤ラッシュ時間帯であり、左上が午後13時から14時の間に見られる現況である。青から紫のカラーバー凡例は、0~3.0[人/m<sup>2</sup>]の群集密度として現示している。ここで群集の小集団化現象を来すしきい値である対人距離0.9[m]は、色域でいうとオレンジであるから、縦の流れに慢性的な小集団化が起きている事がわかる。小集団化とは、研究代表者らの従前研究により明示した、人流が交差する際に、合理的な交差を可能にする無意識下の社会行動現象であり、この慢性的な交差箇所について、午前ではその合理交差がうまく機能しておらず、午後のケースでは状況に応じて人流を構成する各歩行者が適宜小集団を形成している。すなわちこの事象に対しては、複数の小集団の空隙をぬって、他の歩行者による割り込み通行あるいはPV（パーソナルビークル）の通行が可能である事が示唆された。

##### (2) 現況に対する歩車融合検証

上記4駅7箇所の現況検証に加え、歩車融合下すなわち歩行者とMM（キックスクータ等のマイクロモビリティ）の混在した様態検証について、同様に群集流動シミュレーション上に回避数理モデルを展開し、検証を続けた。図6は日吉駅ラチ外コンコースでの歩車融合解析結果を示している。MMの挙動は、東急線ホーム方面と横浜市営地下鉄連絡改札口を結ぶコースを基本とし、図7中の破線矢印として示す4ケースのトラジェクトリにて試行した。これはそもそも本研究の歩車回避実験から得られた通り、前方2.25[m]、側方1.82[m]の広がりをもった回避領域を反映しているためであり、人流側の密度に応じMM通行可否が変化するためである。この4ケースの密度与件としては、これらの根拠となっている現況ODのうちOrigin側、つまり各箇所の断面交通量[人/時間]に対し補正率0.50・0.75・0.85乗じて得た。この結果、補正率0.75以下すなわちケース#3および4において、適切な歩車融合通行が可能である検証を得た。これは群集密度平均0.41[人/m<sup>2</sup>]に相当する。

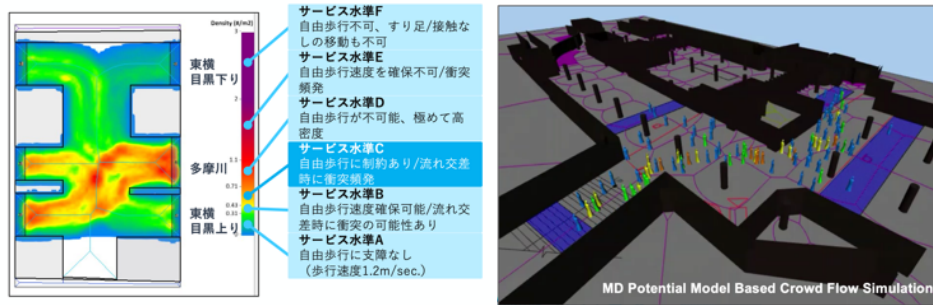
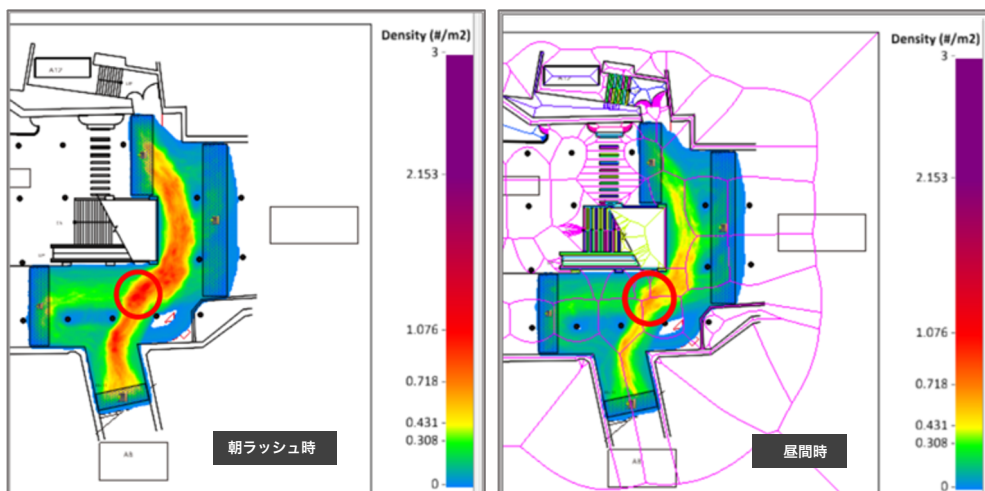


図4：群集流動シミュレーション試行概要（2D・3D）



		destination			
		a	b	c	d
origin	a		633	3965	154
	b	255		454	1033
	c	1196	456		1374
	d	796	1127	0	

図5：東急線渋谷駅A8出口付近の朝昼人流比較（上）・その根拠ODデータ（下）

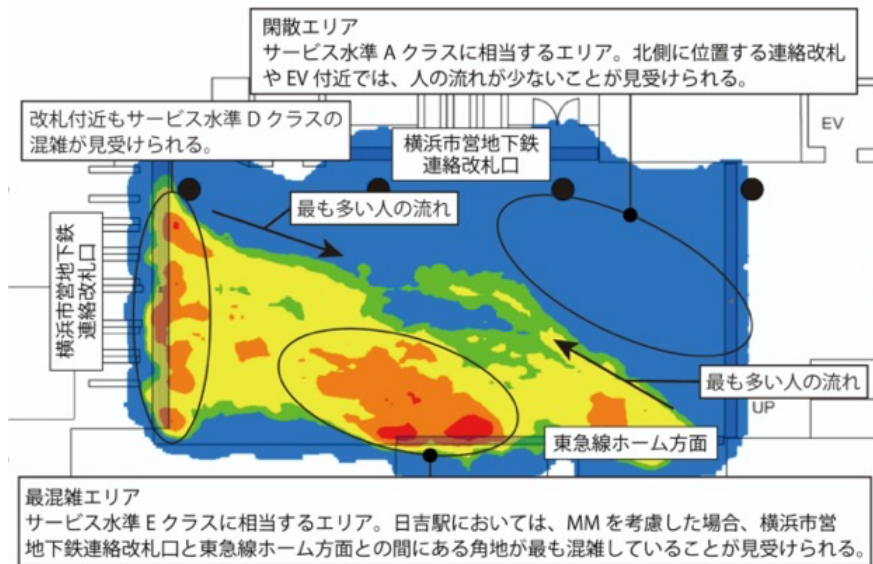


図 6：東急線日吉駅ラチ外コンコースの歩車融合(PV 通行時)解析

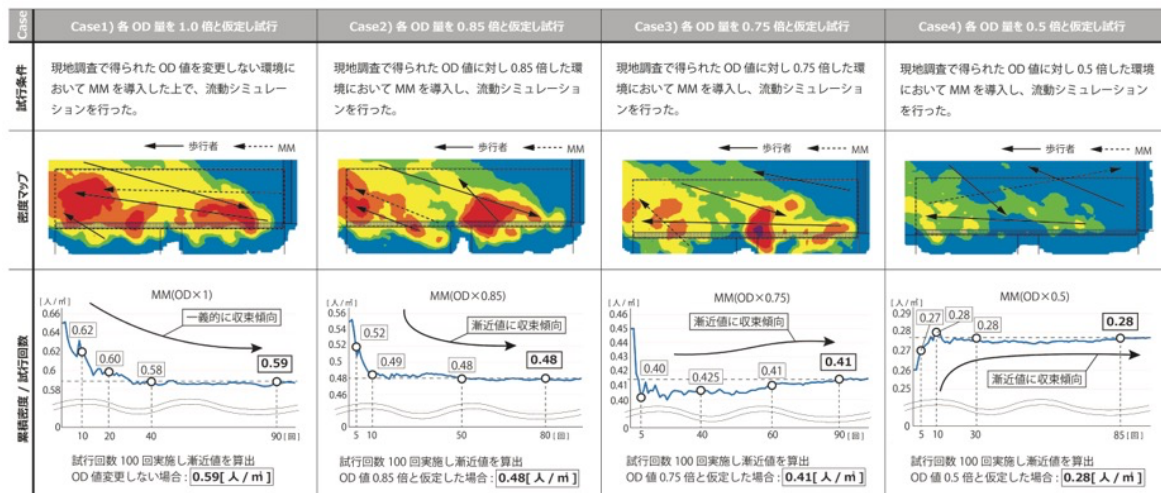


図 7 z：現況人流の通行量を変化させた際の歩車融合様態とその混雑評価

以上より本研究は、歩行者環境の ITS 化に臨む人流マネジメント数理と、歩車融合時の適正な密度制御手法の明示ができた。またこの成果は、続く科研費基盤研究(B)等におけるベース知見として利活用していくとする。

#### <引用文献>

- ① 山田昇吾・田中文翔・木原己人・高柳英明：歩行者の回避予兆行動に関する研究、日本インテリア学会論文報告集 第 31 号、pp. 1-4、2021. 3
- ② 吉田圭一・笹澤正善・石間計夫・木下芳郎：駅コンコースにおけるリアルタイムな旅客流動把握手法について-鉄道駅における旅客 OD 推計技術に関する研究その 1-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp689-690、2015. 9
- ③ 高柳英明・長山淳一・渡辺仁史：群衆の小集団形成に見られる追跡-追従相転移現象に基づく解析数理、日本建築学会計画系論文集 第 71 巻 606 号、pp63-70、2006
- ④ 日本建築学会建築計画委員会編：建築設計資料集成[人間編]、丸善出版、pp119 および 129、2002. 10

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田中文翔・木原己人・高柳英明・山田昇吾	4. 巻 第32号
2. 論文標題 歩行者のパーソナルビークルに対する回避予兆行動に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本インテリア学会論文報告集	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 木原己人・高柳英明・田中文翔・末繁雄一	4. 巻 第32号
2. 論文標題 斜め横断不可時の加速度遷移による回避特性と歩行負荷の分類に関する研究-群衆密度別・交差角度別における実験室実験-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本インテリア学会論文報告集	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高柳英明	4. 巻 Vol.26 No.3
2. 論文標題 人間行動モデルと群衆流動シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 計算工学	6. 最初と最後の頁 11-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田昇吾・田中文翔・木原己人・高柳英明	4. 巻 第31号
2. 論文標題 歩行者の回避予兆行動に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本インテリア学会論文報告集	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木原己人・高柳英明・山田昇吾・田中文翔
2. 発表標題 群集の斜め横断可否と加速度遷移の連関についての研究
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集E1(DVD-ROM)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田昇吾・高柳英明・木原己人・田中文翔
2. 発表標題 回避行動時加速度遷移形状の基礎的分類
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集E1(DVD-ROM)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三代川光胤・高柳英明・末繁雄一・宮地英生
2. 発表標題 OpenPoseを用いた群集流動の検出向上に関する研究
3. 学会等名 計算工学講演会論文集
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮地 英生  (Miyachi Hideo)  (00501727)	東京都市大学・メディア情報学部・教授    (32678)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	野中 謙一郎  (Kenichiro Nonaka)  (30298012)	東京都市大学・理工学部・教授    (32678)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関