

公共施設における動的案内サインを用いた 人流誘導システムの評価

市川 裕介^{1,a)} 林 阿希子¹ 美原 義行¹ 清水 健太郎¹ 手塚 博久¹

概要：訪日外国人の増加に伴い、空港、駅、など公共施設の混雑機会も増えている。混雑状態は施設の安全性、快適性を損なうことから、施設利用者を誘導し、動きを制御することで、混雑を緩和するシステムの導入が重要となる。我々は、刻々と変化する施設内の混雑状況を計測し、空いているルートを実動的に案内する動的案内サインシステムを構築し、実際に羽田空港国際線旅客ターミナルにおいて評価した。本稿では、混雑度の表示による誘導効果計測の結果について報告する。

Evaluation of Dynamic Guide Signs Control Pedestrians in Public Facilities.

1. はじめに

2020 年に向けて日本を訪れる外国人観光客が増加しており、2018 年の訪日外国人旅行者数は 3,000 万人を超え、2008 年の実績 861 万人の約 3.5 倍に達している [1], [2]。日本政府観光局は 2020 年 4,000 万人の目標を掲げ、関係各所に多数の訪日外国人を受け入れられる体制の準備を呼びかけている。

我々は、訪日外国人の増加に向けて、空港、駅、商業施設、スタジアムなどにおける「多言語化・文化の違いへの対応」「円滑な移動を実現する案内方法の最適化」といった課題に対して、従来の人的対応では限界があると考え、画像解析技術や統計解析技術など ICT 技術を活用した支援システムの実現を目指し、交通ターミナル施設運用者との共同実験を進めている [4]。

特に重要な問題として、旅行者数の増加に伴い、混雑発生機会の増加が予想されることが挙げられる。混雑状況は満足度低下、集団ヒステリー状態、事故発生、緊急時の避難時間増大等のリスクがある。実際、明石花火大会歩道橋事故といった死亡者 11 名を含む重大事故の事例もあり、その解消は重要な課題である [3]。

混雑解消に向けては、利用者の増加に合わせて施設を増

築する対応方法も考えられるが、物理的な限界があるうえ、利用者減少時に柔軟に対応できない。また、人的な案内誘導により対応する方法も考えられるが、公共施設では、外国人利用者のみでなく、高齢者、障がい者、ベビーカーや大きなスーツケースを伴う移動制約者など様々な利用者層が混在することを想定し、人的支援はそのような多様な利用者へのより高度なサポートに割り当てるべきである。

従来から利用者に施設案内や誘導を行う情報案内メディアとして、案内サインが設置されている。しかし、従来の案内サインは案内内容や文面、表現が固定されており、施設状況に応じて案内サインの変更ができなかった。

そこで、我々はプロジェクトを用いて状況に応じて動的に案内を切り替える、動的案内サイン「プロジェクションサイン」を提案する。プロジェクションサインは、刻々と変化する施設の状況に応じて、柔軟に提示する案内サインを変更することで、施設利用者を誘導案内し、混雑の解消を実現する情報案内メディアとして有用と考え、提示する情報内容、表現様式の検討を行なっている。

本稿では、羽田空港国際線旅客ターミナル 3F 出発ロビーでの混雑解消をユースケースとして、混雑計測システムとプロジェクションサインを組み合わせ、自動化を実現した人流誘導システムの運用評価について述べる。

¹ NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories, Yokosuka-shi, Kanagawa 239-0847, Japan

^{a)} yusuke.ichiakwa.rt@hco.ntt.co.jp

2. 関連研究

2.1 状況に応じた誘導システム

人の流れを解析し、状況に応じて誘導するシステムが研究されている。山下ら [5] は、大規模群集流動の制御に向けた統合支援サービスとして、花火大会における入場規制時に、混雑中であることを案内する「ガイドプロジェクション」を提案している。しかしながら、群衆流動シミュレーションのための人流データ蓄積が目的であり、ガイドプロジェクションの案内の有効性、その効果については言及されていない。

寺西ら [6] は、映像解析による大規模避難誘導システムとして、災害発生時、大規模施設内の歩行者の流れを映像解析によって取得することで避難状況を把握し、適切な経路を歩行者に案内することを提案している。システム評価はマルチエージェントシミュレータを使用し、得られた避難状況に基づいて施設内の分かれ道で誘導者が最も効率的な経路を誘導案内することで、避難時間が短縮されたことを確認している。

このように、周辺環境や施設内の状況として人の流れを推定し、動的に案内情報を変化させ誘導する技術は広く検討されている。しかしながら、案内の有効性について、シミュレーションによる評価はあるが、実フィールドにおける動的な案内誘導の定量的な効果の計測は行われていない。シミュレーションに基づく誘導計画の策定などの際には、実際の誘導効果について定量的な指標が求められる。そこで、本取り組みでは実際に人流誘導システムを構築して、その誘導効果を評価するものである。

2.2 状況を考慮したサイネージシステム

デジタルサイネージの分野では、画面周辺にいる人や画面を見ている人の数、その性別年代を推定することで、広告効果を高めるために状況に応じて広告コンテンツを切り替える仕組みが広く利用されている [7]。

新井ら [8] は、サイネージに設置したカメラで取得した画像解析による「混雑度計測」と「顔検出・向き推定・属性識別」を組み合わせることで、広告効果を計測するシステムを提案し、実用化している。

これらは、混雑状況を含む、サイネージ周辺の状況を画像解析等を用いて計測し、提示コンテンツを変化させるものであるが、目的は広告効果の計測と向上であり、混雑解消を目的としたものではない。我々の取り組みは、新井ら [8] のシステムを人流誘導に応用し、その有効性を評価するものである。



図 1 羽田空港国際線旅客ターミナル 3F 出発ロビー

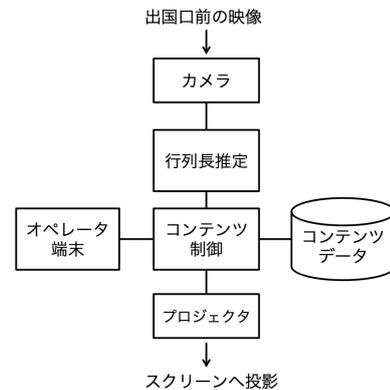


図 2 人流誘導システム構成

3. 混雑状況に応じた案内誘導システムの構築

3.1 実験場所の概要とシステム要件

まず、本実験を実施した、羽田空港国際線旅客ターミナル 3F 出発ロビーの概要を説明する。本出発ロビーには、手荷物検査、および出国審査を行うゲートとなる出国口が「中央出国口」と「北側出国口」の2箇所に存在する(図 1)。空港に到着して正面からターミナルに入ると、まず目に入る位置に設置されている中央出国口に対し、ターミナル増設工事時に後から設置された北側出国口が目立たないため、利用者が中央出国口に偏る傾向がある。中央出国口に行列が発生している混雑時でも、北側出国口が空いている時が多々あり、この際に北側出国口に利用者を誘導し、混雑平準化することで混雑解消を行う事が本ターミナルの課題となっている。

したがって、本システムは2箇所ある出国口に混雑が発生(行列が発生)した際に、まだ空いている側の出国口へ利用者を案内し、混雑が平準化されるよう案内誘導する事が要件となる。

3.2 人流誘導システムの構成

今回の実験で構築した人流誘導システムの構成を図 2 に示す。本システムは、行列の発生状況を計測するためのカメラと行列長推定システム、計測した結果に基づき表示するコンテンツを選択するコンテンツ制御システムとコンテンツデータ、および案内コンテンツを投影するプロジェクタで構成される。

尚、コンテンツ制御システムには、インフォメーションセンタに設置したオペレータ端末が接続されており、手動でのコンテンツ選択が可能となっている。

3.3 行列長推定システムの構築

混雑の計測は、今回適用した画像解析による手法以外にも、Bluetooth等のビーコンやWi-Fiを用いたもの[11]や、ATRacker*1に代表されるLaser Range Finder(LRF)を用いたものなどの手法がある。

ビーコンやWi-Fiを用いた手法は、プローブクエストに含まれるMACアドレスを収集し、複数の地点に設置された基地局で収集された時刻差から、地点間の移動時間を計測する事で混雑度を推定するものである。本手法は、MACアドレスの収集を許可した端末のみのサンプリング計測とならざるを得ないため、人数が少ない空いている状況下では計測誤差が大きくなってしまふ。常に混雑しているイベント会場等への適用が適しているが、今回の実験環境の条件には合わない。

また、LRFを用いた手法は逆に混雑時の人同士が重なった状況での計測には適しておらず、本ターミナルのように横方向に幅広に行列が出来る場所には適さない。また、本ターミナルでは障害物となる設置物を床上に置く事が規制されているため、LRFの設置に適した場所を確保することが困難となっており、設置場所の点でも本手法での計測は適していない。

以上の理由から、設置場所が確保しやすい、防犯カメラと同じ斜め画像から行列長を推定する方法を選択した。

行列長の推定は、新井ら[12]の手法を応用して行なっている。本方式では、以下の2ステップで行列長の判定を行う。

ステップ1 まず、カメラ画像を小ブロックに分け、小ブロック毎に、微分画像の長・短時間平均画像間で相関を取ることで得る滞留度と、画像の二次微分値の統計量(テクスチャの複雑度)から得る密集度を組み合わせることで行列らしさを評価(図3)。

ステップ2 次に行列の想定位置に複数の判定用領域を設定し、含まれる小ブロックの行列らしさを合算評価することで、それぞれが行列状態にあるかどうかを判定(図4: 判定用領域1と2が行列状態、3が非行列状態の場合⇒行列長はLv.2と判定)。

本方式の利点は、行列から離れた場所に、行列とは関係ない滞留が発生した場合でも、それらを行列長と誤検知しない事である。空港の出発ロビーでは、ツアーの待ち合わせ、見送りの集団、有名人の囲み取材等、しばしば出国口の混雑計測とは切り分けたい混雑が発生するため、本方式をとった。また、本方式は顔が判別できない位の荒い解像度



図3 混雑長推定ステップ1



図4 混雑長推定ステップ2



図5 空港での混雑長推定解析結果例

の画像でも行列長の推定が可能のため、プライバシーの観点でも、交通ターミナルのような利用者を限定できない場所での適用に向いている。実際に適用したイメージを図5に示す。

3.4 誘導コンテンツの投影位置とデザイン

情報内容を提示するのに適した空間上の位置を検討した。検討に際して出発ロビーで行動観察を行い、出発ロビーに到着してから各航空会社のチェックインカウンターまでは滞りなく向かうことができること、チェックインカウンターは特にエコノミークラスの窓口において待ち行列が発生することが観察されたことから、投影面はチェックインカウンターの前方、待ち行列から見える高さ約4mの施設壁面、縦1.8m、横6mサイズを選定し、それぞれに対して18,000ルーメンの大型 프로젝タを2台ずつ設置するこ

*1 <https://www.atr-p.com/products/HumanTracker.html>

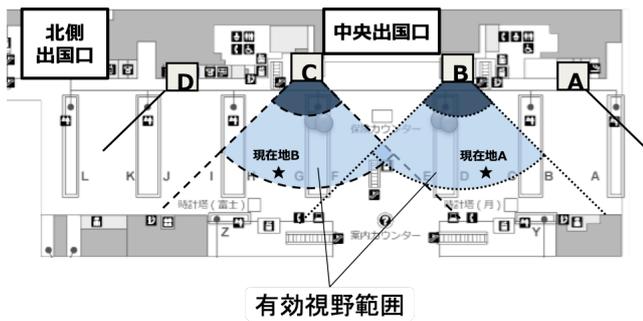


図 6 投影位置と有効視野範囲



図 7 出発ロビーでの案内サイン投影の様子

とで、投影環境を構築した。図 6 に投影位置を示す。図 6 中の A~D の 4 箇所がそれぞれ投影面であり、投影面から広がる扇形の範囲が設備に遮られない場合に理論上投影面を見ることができる範囲となる [9], [10]。投影面 B が見える範囲を点線、投影面 C が見える範囲を破線で表す。A, D も同様の範囲で投影面を見ることができ、北側出国口に最も近い K, L カウンタ以外の全てのチェックインカウンターの待ち行列から投影された案内情報を視認する事が可能となっている。実際に誘導サインを投影している状態を図 7 に示す。

投影するコンテンツのデザイン検討にあたって、予備実験としてサインを手動で投影し、定性評価としてサイン投影時にアンケート調査を実施し、定量評価として投影時と非投影時での各出国口を通過した人数および出国口前にて列に並ぶ待ち人数のカウント調査を実施した [13], [14], [15]。

予備実験で評価したデザインを図 8 に示す。情報内容としては、事前アンケートから北側出国口の存在を示すこと、および混雑情報の提示に情報ニーズがあることから、「存在情報」と「混雑情報」の 2 パターンを用意した。また、表現様式としては、通常の案内サインの様式を踏襲し、ピクトグラムと矢印で構成される「静止画」、フロアの俯瞰図から各出国口を拡大表示し、ピクトの数と動きで混雑表現を行う「アニメ」、利用者目線の実写映像の動画に情報を重畳表示する「実写」の 3 パターンを用意し、合計 6 パターン



図 8 アンケートで比較評価した案内コンテンツのデザイン

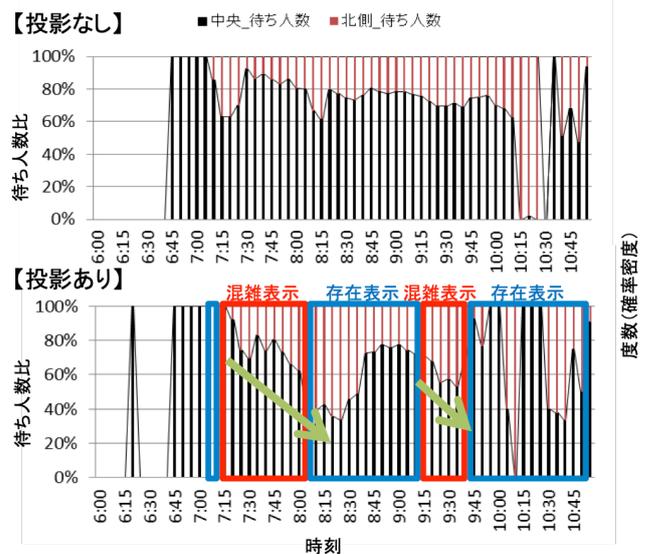


図 9 提示する情報内容の違いによる中央・北出国口の待ち人数比の推移 (混雑情報表示時は中央に偏っていた待ち人数比が右肩下がりになり準準化されている傾向が見られる)

に対して評価を実施した。

定性評価の結果、言語や年代によって差異があったが、多くの利用者層から、アニメや実写は広告表示と勘違いして見落とされるという意見が多く、また定量評価の結果、混雑情報の表示時に有意に誘導効果が見られた事から、検証には静止画による混雑情報表示を基本とし、さらにインタビューで得られた意見を踏まえ、黒地に白文字を基調とした案内デザインとすることとした (情報内容の違いによる誘導効果の測定結果を図 9 に示す)。尚、予備実験時は目視での混雑観察に基づき手動で提示内容を切り替え、図 6 中の B, C のみの投影で評価を行なっている。評価の詳細については、参考文献 [13], [14], [15] で述べている。

4. 評価

3.4 章で述べた予備検証に基づき、図 10 に示すデザインの混雑案内サインを用意し、実際に行列長推定システムの出力に基づく動的誘導案内の効果を計測した。図 10 の上段は、混雑情報と館内俯瞰図を併せて表示するパターン

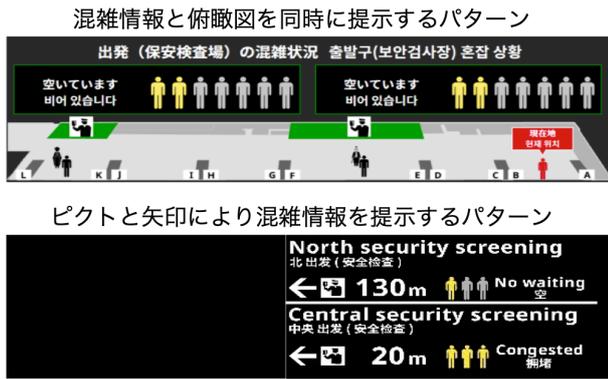


図 10 実験で使用した案内コンテンツのデザイン

で、混雑情報と出国口の位置関係を視覚的に提示するものである(以降、「標準デザイン」と呼ぶ)。図 10 下段は、混雑情報と出国口の位置をピクトと矢印のみで提示するシンプルなパターンで、標準のデザインが情報過剰であるとの意見に基づき、提示する情報を絞る事で瞬時に情報を読み取りやすくする目的で用意した(以降、「ハーフデザイン」と呼ぶ)。

検証は、利用者層、混雑状況が同等となるよう、全て金曜日の実施とし、11月10日(ハーフデザイン)、11月17日(提示なし)、11月27日(標準デザイン)に終日、計測を実施した。

4.1 誘導効果

それぞれの条件毎の行列人数の推移を図 11、図 12、図 13 に示す。それぞれ、縦軸は行列人数を示し、北側出国口(赤)と中央出国口(青)の積み上げグラフとなっている。横軸は時刻である。図 11 に比べて、混雑案内を行なっている図 12、図 13 は混雑が発生してからの収束が早い傾向があることが確認できる。

図 14 に該当終日の行列人数の合計に基づく中央と北の行列人数比を示す。図 14 から、サイン投影の有無で行列の5%程度の平準化効果があることが確認できる。標準デザインとハーフデザインの比較では、有意な差は認められなかった。

以上の結果から、混雑情報案内を行う事で、5%程度の誘導効果が得られることが確認でき、また行列の発生抑制に効果があることを確認できた。

4.2 運用上の課題

本実験を行うことでいくつか運用上の課題が明らかになった。

行列位置の変化への対応 本システムの混雑計測方式では、行列の位置を想定して行列長の推定を行なっている関係で、行列位置が想定外の方に伸びると、誤認識をしてしまう。施設の運用上、状況に応じて行列位置をあえて変更することが想定されるため、行列位置の

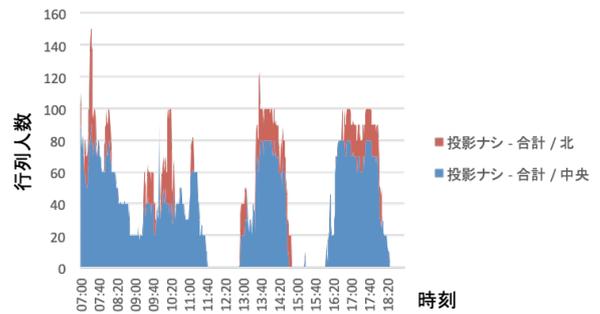


図 11 中央・北出口の行列人数推移(投影ナシ)

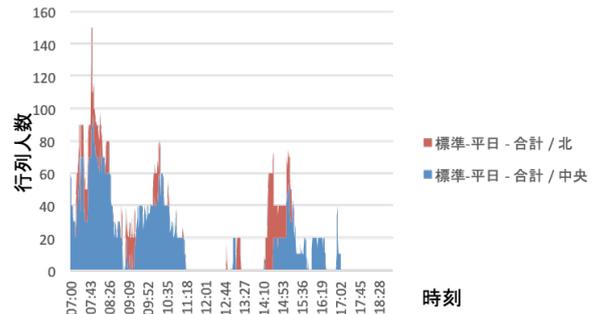


図 12 中央・北出口の行列人数推移(標準デザイン表示)

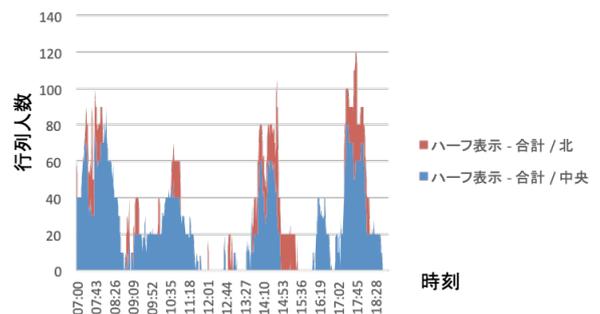


図 13 中央・北出口の行列人数推移(ハーフデザイン表示)

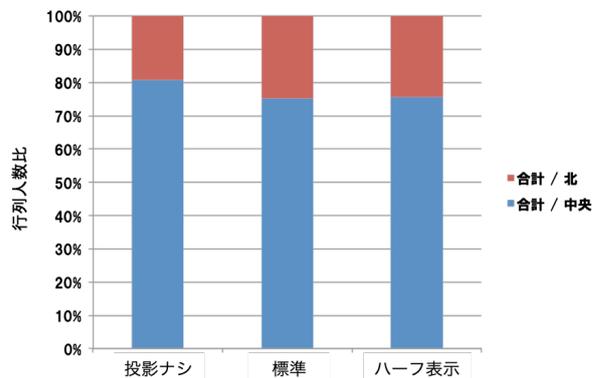


図 14 サイン投影有無による誘導効果の違い

変更の際に、簡易に設定を変更できる仕組みが必要となる。

ゲート数の変化への対応 手荷物検査のゲート数に応じて、同じ行列長でも待ち時間は大きく異なる。中央出国口

が北側出国口に対して多くゲートを開いている場合、必ずしも行列長が長いからといって空いている方へ案内するのが最適とは限らない。利用可能なゲート数を外部知識として入力し、案内コンテンツを調整する仕組みが必要となる。また、混雑度ではなく推定待ち時間を表示することで対応する方法も考えられるため、本実験の後、その実装と評価を行なった。

5. まとめと今後の課題

本稿では、実際の公共施設において、混雑計測システムとデジタルサイネージを組み合わせた誘導システムを実装し、その効果について定量的な検証結果を示した。

理想的には、混雑発生の予兆を掴み、先行的な誘導案内により、混雑の発生自体を抑止する事が目標となる。先行的な誘導案内のためには、現状の混雑把握だけでなく将来の突発的な混雑発生を精度高く予測できる事、および、施設利用者に対して未然の混雑をどのように案内すれば行動変容を誘引できるかを明らかにする事が求められる。

今後は、本実験で得られた定量データに基づき、下記について順次評価を多ない、先行的な誘導案内による混雑解消システムの実現を目指す。

- 過去の混雑傾向、外部知識（フライト情報等）、リアルタイム計測データの畳み込みによる予測モデルの構築、およびその評価
- 先行案内の効果を最大化する案内方法（まだ混雑が発生していない状況下においてどのような情報を提示することが行動変容につながるか）の検討・評価
- 誘導効果を考慮したシミュレータの構築に基づき、先行誘導のための誘導計画の策定

謝辞 本論文の作成にあたっては、共同実験パートナーである東京国際空港ターミナル株式会社に実験環境の提供、および実験期間中の運用サポートを、中央大学研究開発機構 秋山哲男教授には実験遂行にあたりユニバーサルデザイン、都市工学観点での多大なアドバイスをいただいた。ここに感謝申し上げる。

参考文献

- [1] 清野 智: 訪日外客数 (2018年11月推計値), 日本政府観光局 (オンライン), https://www.jnto.go.jp/jpn/news/press_releases/pdf/181219_monthly.pdf (参照 2018-12-23).
- [2] 清野 智: 訪日外国人旅行者数、初の3,000万人突破!, 日本政府観光局 (オンライン), https://www.jnto.go.jp/jpn/news/press_releases/pdf/181219.pdf (参照 2018-12-23).
- [3] 岡田光正: 群集安全工学, 鹿島出版会 (2011).
- [4] 市川裕介, 中村幸博, 中村泰治, 手塚博久, 瀬下仁志, 深田 聡, 三井英毅: 2020 Airport/Station: 訪日外国人向け空港~駅でのおもてなし (特集 2020 Showcase の取り組み), NTT 技術ジャーナル, Vol. 28, No. 10, pp. 13-17 (2016).

- [5] 山下倫央, 荒牧英治, 宮部真衣, 岩田敦之, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹: 大規模群集流動の制御に向けた統合支援サービスの提案, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2014 (JAWS2014) (2014).
- [6] 寺西裕一, 地引昌弘, 西永 望: 映像解析による大規模避難誘導システムの設計, 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2016-DPS-166, No. 12, pp. 1-8 (2016).
- [7] Krumm, J.: Ubiquitous advertising: the killer application for the 21st century, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 10, No. 1, pp. 66-73 (2011).
- [8] 新井啓之, 伊藤直己, 五十嵐勇, 芝田義也: デジタルサイネージ広告効果測定のための群衆画像解析技術, 画像電子学会誌, Vol. 44, No. 3, pp. 539-543 (2015).
- [9] 赤瀬達三: サインシステム計画学: 公共空間と記号の体系, 鹿島出版会 (2013).
- [10] 国土交通省総合政策局安心生活政策課監修: バリアフリー整備ガイドライン (旅客施設編), 交通エコロジモビリティ財団 (オンライン), http://www.ecomo.or.jp/barrierfree/guideline/guideline_top.html (参照 2018-12-23).
- [11] 木村卓哉, 佐藤 翼, 袴田和則: スマートフォンを用いた歩行者混雑予測システムの研究, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集 (2017).
- [12] 新井啓之, 伊藤直己, 谷口行信: 群衆をマクロにとらえる画像処理技術~人物・群衆の幾何モデルに基づいた人数推定とその応用~, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2014-CVIM-190, No. 13, pp. 1-8 (2014).
- [13] 片岡春乃, 橋口恭子, 和合加愛, 市川裕介, 手塚博久, 山下慎一郎, 久原勇作, 秋山哲男: 公共施設における人流誘導のための動的案内サインの検討, 情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2016-UBI-50, No. 13, pp. 1-6 (2016).
- [14] Kataoka, H., Hashiguchi, K., Wago, K., Ichikawa, Y., Tezuka, H., Yamashita, S., Kuhara, Y. and Akiyama, T.: Dynamic guide signs system to control pedestrian flow, *The 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2016)*, pp. 1572-1577 (2016).
- [15] 橋口恭子, 片岡春乃, 和合加愛, 市川裕介, 手塚博久, 山下慎一郎, 久原勇作, 秋山哲男: デザインのユニバーサル性に配慮した動的サインの表現様式の研究-羽田空港国際線旅客ターミナルでの評価実験, 日本デザイン学会第63回研究発表大会, pp. 200-201 (2016).