

## コンシューマ・システム論文

## BLE ビーコンを利用した混雑度可視化サービス

佐藤 大祐<sup>1,a)</sup> 美原 義行<sup>2</sup> 佐藤 吉秀<sup>3</sup> 田中 悠介<sup>1</sup> 宮本 勝<sup>1</sup> 佐久間 聡<sup>1</sup>

受付日 2017年6月30日, 採録日 2017年8月9日

**概要:** 本研究では, イベント会場における混雑度を即時的に把握・可視化することで, イベント運営者に混雑リスクの注意喚起をすることを旨とする。イベント会場内の混雑度の取得のため, 会場内に BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを多数設置し, 来場ユーザのスマートフォンアプリ (以下, アプリ) で取得した BLE ビーコン電波情報をサーバで収集することで会場内の群集密度を計測する。1つの BLE ビーコンがカバーする範囲内の人数として, その BLE ビーコンの電波を最も強く受信したユーザの数を数えることで求め, この人数をカバー範囲の面積で割ることで群集密度を求める。BLE ビーコンを設置できない箇所も存在するため, 空間内挿により BLE ビーコン地点間の混雑度を求める。本システムを, 2日間で約5万人が来場する大規模なイベントに対して適用した。表示デザインの視認性の観点から判断し, 10m 程度の間隔でビーコンを設置し, ビーコンの出力電波強度を最大の +4 dBm に設定した。イベント期間中の混雑時間帯において, 会場で電波受信環境を調査したところ, 圏外となった地点が存在しなかったことを確認した。そして, イベント期間中, 本システムはアプリからの全 120 万件のビーコン電波受信ログのアップロードに対して, エラー率 0 で処理を完了させた。最終的な群集密度表示については, イベント運営者に実態と混雑度マップを比較いただき, 実態と差異がなかったという評価をいただくことができた。

**キーワード:** 情報可視化, 無線 PAN, 位置情報サービス, リスク管理と情報システム

## Visualization Service for Congestion Degree Using BLE Beacons

DAISUKE SATO<sup>1,a)</sup> YOSHIYUKI MIHARA<sup>2</sup> YOSHIHIDE SATO<sup>3</sup> YUSUKE TANAKA<sup>1</sup>  
MASARU MIYAMOTO<sup>1</sup> SATOSHI SAKUMA<sup>1</sup>

Received: June 30, 2017, Accepted: August 9, 2017

**Abstract:** In this research, we aim to alert the congestion risk to event operators by instantly grasping and visualizing the congestion degree at the event site. In order to acquire the congestion degree in the event site, we installed a lot of BLE (Bluetooth Low Energy) beacons and collected the BLE beacon information acquired by the visitor's smartphone application by the server. The server measures the congestion degree in the hall. Place the BLE beacon in the venue so that radio waves from at least one BLE beacon can be received at any point. There are no omissions in the number of installed users. In this research, the crowd density to be used as an indicator of congestion degree is obtained for correspondence of congestion risk. The number of people within the range covered by the BLE beacon is obtained by counting the number of users who received the radio waves of the BLE beacon most strongly and the crowd density is obtained by dividing this number by the area of a coverage area. Since there are places where BLE beacons can not be installed, the degree of congestion between BLE beacon points is obtained by spatial interpolation. In order to improve scalability, processing for finding the BLE beacon that received the strongest radio waves was cut out to the application side. In 2 days visitors offered this service with a large scale event of about 50,000 people. Regarding crowd density indication, we asked event operators to compare actual conditions and congestion degree maps, and received an evaluation that there was no difference with the actual situation. For the architecture that shared functions on the application side and the server side, processing was completed with an error rate of 0 with respect to the upload of all 1,200,000 beacon radio reception logs from the application. Furthermore, the effectiveness of being able to grasp the congestion degree in a bird's eye view from the operator was evaluated.

**Keywords:** Information visualization, Wireless Personal Area Networks (Wireless PAN), Location based services, Risk management of information systems

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

<sup>2</sup> 日本電信電話株式会社新ビジネス推進室  
NTT Strategic Business Development Division, Chiyoda,

Tokyo 100-8116, Japan

<sup>3</sup> 日本電信電話株式会社研究企画部門  
NTT Research and Development Planning Department,  
Chiyoda, Tokyo 100-8116, Japan

<sup>a)</sup> sato.d@lab.ntt.co.jp

## 1. はじめに

### 1.1 背景

2020年に東京で開催されるオリンピック・パラリンピックでは、東京都以外の会場を含めて約40会場での各種目の実施が予定されている(平成29年3月時点)[1]. 東京オリンピック・パラリンピックに向け、多くの訪日外国人が来場することも予想され、各会場での混雑することが予想される。

混雑により来場者の死亡事故が発生する場合もある。2001年に兵庫県で発生した、混雑が原因による死亡事故は記憶に新しい[2]. オリンピック・パラリンピックを無事故で終わらせるためには、混雑リスク対策が必要となる。Fruinが定義した歩行空間でのサービス水準が、都市計画分野で利用されている[3]. Fruinは、AからFの6段階でサービス水準を定義している。混雑度が高いレベルである、D, E, Fの3段階を以下に示す。

- サービス水準 D (群集密度 0.7~1.0 人/m<sup>2</sup>): 群集の流れ(以下、人流)に対して逆流して進むことが不可能になる水準。
- サービス水準 E (群集密度 1.0~2.0 人/m<sup>2</sup>): (人流がある場合) 逆流が不可能になることに加え、人流の歩行速度が通常より遅くなる水準。
- サービス水準 F (群集密度 2.0 人/m<sup>2</sup>~): (人流がある場合) ずり足でしか進めず、歩行者相互の接触が頻繁に発生する水準。この密度以降、事故が発生する可能性が高まっていく。

上記混雑の段階を、リアルタイムに把握することで事故を未然に防ぐことが期待される。オリンピック・パラリンピックイベント終了時は、会場から周辺交通機関に対して群集がいっせいに移動し、混雑が発生する。周辺交通機関の処理能力によっては、混雑の段階が上がり続ける状況も発生する。“危険”と判定される水準に達するまでに、段階的に増えていく混雑リスクをリアルタイムに把握することができれば、事故を未然に防ぐことができるようになると思われる。

### 1.2 本研究の目的

本研究では、混雑状況を可視化することでイベント運営者や施設運用者に対して、混雑リスクについて気づきを与えるサービスを提供することを目的とする。本サービスにより、運用者は混雑リスクが高まりつつある箇所を把握でき、危険な水準の混雑が発生しそうな場合に、警備スタッフを重点的に割り当てることが可能となる。混雑リスクを解消できるため、お客様満足度の向上に効果があるだけでなく、スタッフを固定的に配置する必要がなくなるため、運用コストの削減にも貢献できると考えられる。

### 1.3 本研究の成果

本研究では、混雑度を可視化して、イベント運営者や施設運用者に対して混雑リスクについて気づきを与えることを目指した。混雑度の取得には、BLE<sup>\*1</sup>ビーコンを利用した。混雑度を把握したいエリアにBLEビーコン(以下、ビーコン)を配備し、かつ、イベント来場者に対してスマートフォン用のアプリ(以下、アプリ)を提供し、アプリで取得したビーコン情報をサーバ側に送信し、サーバ側では各アプリから収集したデータを集計することで会場内各地点の混雑度を計算した。

本研究では、混雑度を色の濃淡で表現し、その色を地図上に重畳することで、混雑状況を表現した。混雑度を把握可能な地図を混雑度マップと呼ぶ。この混雑度マップを、ドワンゴ社<sup>\*2</sup>主催の大規模イベントで運用者に対して提供した。人数の数え漏れがないよう、少なくとも1つのビーコンからの電波を受信できるようにビーコンを配置する。本研究では、混雑リスクの対応に向けて、混雑度の指標として用いられる群集密度を求める。ビーコンがカバーする範囲内の人数は、そのビーコンの電波を最も強く受信したユーザの数を数えることで求め、この人数をカバー範囲の面積で割ることで群集密度を求める。ビーコンを設置できない箇所も存在するため、空間内挿によりビーコン地点間の混雑度を求める。さらに、スケーラビリティ向上に向け、最も近いビーコンを検出するための受信電波強度の判定処理をアプリ側に切り出し、サーバ側ではその情報をもとに、各ビーコンに近接している人数を算出する機能分担を設計した。表示デザインの視認性の観点から判断し、10m程度の間隔でビーコンを設置し、ビーコンの出力電波強度を最大の+4dBmに設定した。ビーコンの電池耐用性の事前実験を行ったうえで設定した。ビーコン電波受信状況の測定実験において、混雑時においても1つのビーコンからも電波を受信しない測定点は存在しなかった。したがって、アプリ利用者から情報を漏れがない状態で取得できたことを確認できた。そして、混雑度に応じて濃淡を変化させ、イベント会場の地図上に重畳した混雑度マップを生成した。本システムを2日間で約5万人が来場する大規模なイベントに対して適用した。群集密度表示については、イベント運営者に実態と混雑度マップを比較いただき、実態と差異がなかったという評価をいただくことができた。機能分担したアーキテクチャについては、各アプリからのビーコン電波受信ログのアップロードに対して処理が積堆することなく、かつ、リアルタイムに処理を完了させることができた。

今までのイベント運営では、運営スタッフ間の無線トランシーバによる声の伝達と、数台の監視カメラによる混雑状況の把握を行っていた。混雑度マップを表示するディス

<sup>\*1</sup> Bluetooth Low Energy

<sup>\*2</sup> <http://dwango.co.jp/>

プレイを運営本部で常時表示する運用にしたところ、会場全体の混雑度を俯瞰できるようになったことの有効性が評価された。本システムは、地図を変更し、混雑度マップを提供したいエリアにビーコンを設置するだけで、様々な場所に対して同様のサービスを提供することが可能となっており、汎用性の高いシステムとなっている。

## 2. 混雑把握の関連手法

混雑把握手法として監視カメラを利用し、カメラで撮影された画角内の人数を把握する手法がある [4], [5], [6]. しかしながら、この手法ではフレームに映っていない群集の人数を把握できないため、エリア全体の任意の場所の混雑度を把握する場合は、カメラを複数台設置しなければならず、新たな設備の設置が必要となってしまう。レーザセンサを利用する手法もあるが、設置に関する課題は同様である [7], [8].

より広域なエリアに対して混雑度を把握する手法としては、各ユーザのスマートフォンの GPS や、Wi-Fi の利用があげられる [9], [10]. 各ユーザから GPS 情報を取得する手法は、センサを設置することなく広域をカバーすることができるが、屋内での利用はできない。一方、Wi-Fi は屋内で利用可能であり、各アクセスポイント (以下、AP) に帰属したユーザのスマートフォンの位置を把握可能である [11]. AP ごとに帰属した人数を混雑度として計測することも可能である。イベント施設において、Wi-Fi の AP は設置済みの場合が多い。しかしながら、混雑監視したいエリア周辺に AP が設置されていない場合もあり、かつ、場所に依存して新たな AP の設置ができない場合や AP へ給電するための電源確保が困難な場合もあり、追加設置が困難な場合がある。

## 3. ビーコンを利用した混雑度可視化サービス

### 3.1 サービス設計に向けた要件

サービス設計に向けた要件を列挙していく。本サービスの適用先として、2 日間で 5 万人以上が来場する大規模イベントを想定する。要件として、はじめに大規模イベントを運営する運営者の制約条件を満たす必要がある。大規模イベントは屋内開催であることが多く、施設を所有・管理している事業者とイベントを企画・運営する事業者は異なるため、個別イベントのためだけに、施設に対して新たに工事を行うことは現実的ではない。

混雑リスクに対応するための混雑度表示としては混雑度の指標を利用することが必要である。1.1 節で記載したような指標を利用することで、“危険”という状態の判定に利用することができる。

そして、混雑リスクの兆候をいち早く察知するため、大規模イベントに来場する大人数のユーザからアップロードされる大量のビーコンログデータをリアルタイムに処理す

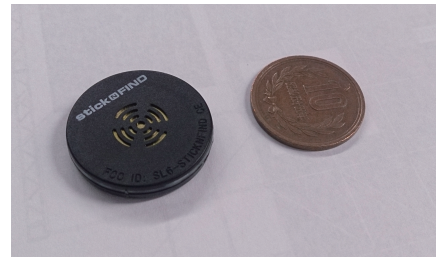


図 1 利用したビーコン (大きさの比較のため 10 円玉と撮影)

Fig. 1 A BLE beacon which is used in the event (Shot with a 10-yen coin for size comparison).

ることが必要である。

### 3.2 サービス設計

3.1 節に記載した、各要件に対して設計していく。

大規模イベントは大規模な屋内施設で実施されることが多い。たとえば、東京近郊であれば、幕張メッセ<sup>\*3</sup>や東京ビッグサイト<sup>\*4</sup>、東京国際フォーラム<sup>\*5</sup>などがある。これら設備を利用した個別のイベントにおいて新たな設備を設営することは難しい。

BLE は、ビーコンという安価、かつ、小型の設備で位置情報サービスを提供できる。ビーコンは電池内蔵タイプであっても軽量で小型 (図 1) のため、柱などに貼付するだけでサービスを提供できる。各ユーザのアプリから、ビーコンの電波受信情報を収集することで、ビーコン周辺にいるユーザの数を把握することが可能となる。

本研究では、ビーコンを会場内に配置し、かつ、ビーコンからの電波を受信しそのデータをアップロードするアプリを来場ユーザに提供し、各アプリからビーコンの受信電波情報をサーバ側で集計することで、ビーコン周辺の人数を把握することとする。

#### 3.2.1 混雑指標の利用

アプリインストールユーザの数え漏れがないよう、任意の点で少なくとも 1 つのビーコンからの電波を受信できるようにビーコンを配置する。アプリでは、ビーコンから出力される電波を複数受信する。受信した複数のビーコン地点に対して、各電波の受信強度で重みを与え、そのうえで、各地点の重心を求めることで、そのユーザがいる地点を簡易的に推測する手法も存在する。そのほかにも、電波強度の変化に対応可能な手法 [12], [13] など、受信電波情報から位置を測位する手法は様々提案されている。これらは、各アプリインストールユーザの位置を把握できるため、各ユーザの移動軌跡も把握できる。したがって、各ユーザの移動傾向を見るマーケティングなどに活用できる。本研究では、各来場ユーザの移動軌跡を求めるのではなく、混雑リスク対応に向けた混雑度を求めることが目的である。混

\*3 <https://www.m-messe.co.jp/>

\*4 <http://www.bigsight.jp>

\*5 <https://www.t-i-forum.co.jp>

雑度は、1.1 節で示したように群集密度 (人 / $m^2$ ) が利用されている。したがって、本研究では、各ビーコンにおいて、混雑度を計測する範囲を求め、その範囲内にあるアプリインストールユーザの数を求める。そして、各ビーコンがカバーする領域の面積で割ることで、群集密度を求めることができる。会場全域に対して各ビーコンがカバーする領域はボロノイ分割により求める。

ビーコンを多くの地点に設置することで、各ビーコンがカバーする領域も小さくなり、混雑度も粒度細かく表示することができる。しかしながら、イベント運営の中でビーコンを設置できないエリアも存在する。したがって、ビーコンを設置できないエリアの混雑度を推測する必要があるため、空間内挿を実施する。ビーコンカバー範囲の混雑度から、ビーコン間の混雑度を推定する空間内挿法として、本研究ではガウス過程回帰 [14] を利用した。

### 3.2.2 大規模データのリアルタイム処理

表示する混雑度のリアルタイム性を高めるため、来場ユーザのアプリから頻度高くビーコンイベントログデータを収集する必要がある。一方で、大規模なイベントを想定した際、来場ユーザからの BLE データのアップロードの頻度が高くなればサーバ側の処理負荷が高くなる。そして、来場ユーザが所有するスマートフォンの電池消費にも影響が出る。

本研究では、来場ユーザの電池消費とリアルタイム性を考慮し、1分間隔でアプリから BLE データをアップロードすることとした。複数種類のスマートフォン端末を利用した事前検証により電池消費にも大きな影響がないことを確認した。そして、1分間隔のアップロードについて、大規模なイベント運営に携わる企業の社員にヒアリングし、突発的に混雑が発生したとしても1分以内の遅延であれば対処可能であり、運用上問題ないことを確認していただいた。

サーバの設計に向けて、大規模イベントの来場者を想定した。1日の同時最大来場者数を4万人と仮定して、その来場ユーザ中、アプリをインストールする来場ユーザの割合を50%と想定した。アプリインストールユーザ2万人がいっせいにアップロードすることを想定し、サーバ構成は図2のような構成とした。来場ユーザからのアップロードに対応するため、メモリ8GB/CPU4コアのサーバ(データ受付サーバ、図2)を4台用意した。受信したログはDBサーバ(図2)に書き込まれる。そして可視化サーバ(図2)による定期的なバッチ処理で、各ビーコンごとの人数を判定する。そして空間内挿を実施し、色の濃淡に変換して濃淡の画像を作成する。作成された画像は表示用Webサーバ(図2)に書き込まれる。そして、来場ユーザや運営者からの混雑度マップ取得に応じて、最新の色の濃淡画像が取得され、クライアント側で地図と重畳し混雑度マップが表示される。

事前性能検証により、想定来場者からいっせいにアップ

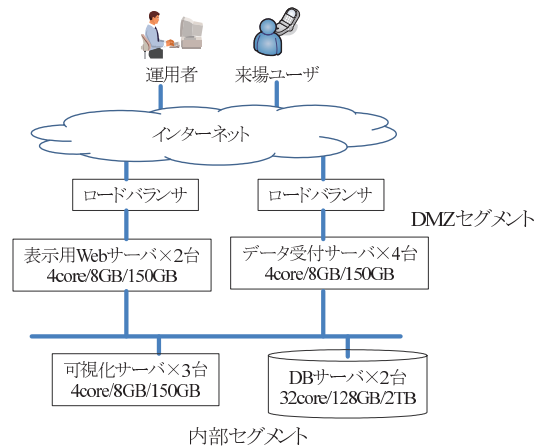


図2 サーバ簡易構成図

Fig. 2 Server simple configuration.

ロードするタイミングが重なったと仮定した負荷試験を実施し、エラーが発生せずすべてのログを処理し混雑度マップに反映できていることを確認した。本処理は、混雑度を表示する会場地図とビーコンの位置の情報を変更することで様々なイベントに対応可能であり、汎用性が高いシステムとなっている。

### 3.3 混雑度計測における機能分担

来場ユーザのアプリで、ビーコンの電波を受信する。ビーコンはO2O<sup>\*6</sup>サービスで利用されることが多い。O2Oサービスでは、あるビーコンに近づいたことを検知したタイミングで、その検知イベントに応じて何らかの情報提示を行うことが一般的である [15], [16]。本研究でのビーコンの利用用途は、群集密度の取得である。O2Oサービスのよう、ある地点に近づいたことだけを検知するためには、各ビーコンの出力電波を抑えて、複数のビーコンの電波を受信しないような工夫がされる。しかしながら、人数の取得では、会場内でカバー範囲に漏れがないように、電波が重複するように設置位置と出力電波を調整する必要がある。その結果、来場ユーザのアプリでは、任意の地点で複数のビーコンの電波を受信する。近接しているビーコンを求めるとは、受信した複数の電波のうち、最大の電波強度を受信したビーコンを計算する必要がある。

最大同時来場者数として想定している、4万人の来場ユーザが受信した電波のログに対して、各ユーザにおける最大受信電波を算出し、近接ビーコンをを求める処理は計算量が多く、収集したサーバ側で処理するにはリアルタイム性を損ねる。したがって、スケーラビリティ向上に向け、各ビーコンから受信した電波のうち、近接しているビーコンを求めるとは最も強い電波を受信したビーコンを算出する処理を、アプリ側に切り出す設計とした。

\*6 Online to Offline

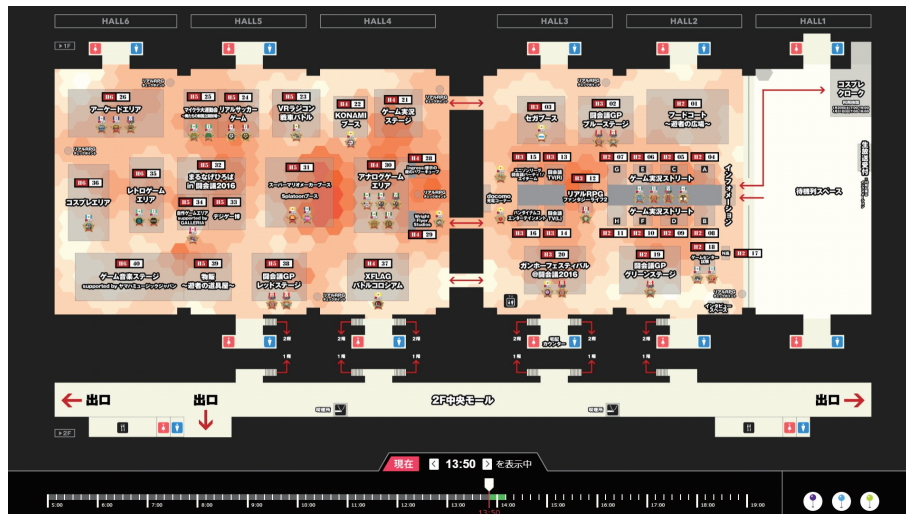


図 3 2016 年幕張メッセで開催された開会議 2016 における 2016 年 1 月 31 日 13:50 のイベント運営者向け混雑度マップ

Fig. 3 The congestion degree map for the managers at 13:50 in the “TO-KAIGI 2016” held at Makuhari Messe on January 31, 2016.

### 3.3.1 アプリ側の処理

アプリ側で受信した電波のうち、最大強度の電波を求める計算は、新たなビーコンの電波を閾値以上の強度で受信したとき、受信していたビーコンの電波強度が閾値以下になったときのタイミングで計算する。前述のように、アプリは 1 分に 1 回ビーコンのイベントログを定期的にサーバにアップロードする。ビーコンのログは、電波を受信したビーコンの ID とその電波強度である。また、アプリ側で計算した、アップロード間隔中の近接ビーコン情報も送信する。あるビーコンの電波を受信していたが、あるタイミングでそのビーコンに関するログがなくなっていた場合は、そのビーコンから遠ざかったことをサーバ側で把握可能となる。

### 3.3.2 サーバ側の処理

サーバ側では、各アプリからのアップロードを受信した際、データ受付サーバ (図 2) は、即時的に DB サーバ (図 2) にログを書き込む。可視化サーバ (図 2) であらかじめ設定された時間ユニット分のデータを DB サーバから抽出する。アプリごとにその時間ユニットの間で最新の近接ビーコンを抽出する。その結果、各ビーコンに近接した人数を算出可能となる。ビーコンに近接した人数を、各ビーコンがカバーする領域の面積をボロノイ分割により求め、混雑度 (人 /  $m^2$ ) を求める。

そして、このビーコンカバー範囲の混雑度から、ガウス過程回帰を利用して、ビーコンを設置できなかった地点の混雑度を計算していく。最終的に、事前に想定した会場内のインストールユーザの割合から割り戻すことで、最終的な混雑度を出力する。混雑度に応じて色のグラデーションをあらかじめ定義しておくことで、図 3 のようなグラデーションの図を表示することが可能となる。

## 4. 評価

### 4.1 実験環境

ドワンゴ社主催の大規模イベントである“開会議 2016”<sup>\*7</sup> (2016 年 1 月 30 日, 31 日) に本サービスを適用した。本イベントの総来場者数は 4.76 万人であった。イベントは、千葉県幕張市にある“幕張メッセ”のホール 1 からホール 6 を利用して行われた。1 ホールの大きさは  $6,750 m^2$  (=  $112.5 m \times 60 m$ ) となっている [17]。

混雑度を 10 段階に分け、色のグラデーションにより混雑度を表現した。最も濃い色は混雑度  $1.25 \text{ 人} / m^2$  以上であり、危険な状態ではないが危険な状態になりうるということを示している (図 3)。

混雑情報の収集に向け、ビーコン電波を受信するアプリをインストールさせる必要がある。本イベントでは、来場ユーザに対しても混雑度マップを提示した。来場ユーザ向け混雑度マップは、自分がいる現在地も表示され (図 4 中の二重丸記号)、かつ、右下のトグルボタンで混雑度表示をオフにすることも可能とした。

本アプリでは、そのほかにもビーコンを利用した機能が用意されていた。近辺にいる人同士がチャットすることができるようになる“近距離チャット”機能と、ビーコンによって把握できた位置を利用したゲームである“謎解きゲーム機能”である。

### 4.2 事前実験によるパラメータ検討

表示デザイン上、地図における適切な混雑度表示の粒度を被験者を用いた実験により判断した。実験から、図 3 の

<sup>\*7</sup> <http://tokaigi.jp/2016/sp/> (2017 年 4 月 12 日確認)

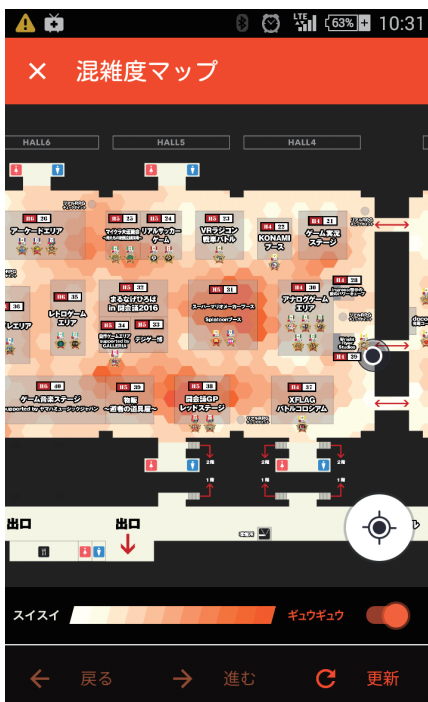


図 4 来場ユーザ向けアプリにおける混雑度マップ

Fig. 4 The congestion degree map in applications for visitors.

ように混雑度を表示する1ユニット（六角形）を10m四方程度にすると、視認性と混雑度の精確さのバランスがとれると判断した。したがって、ブースの建造物などのビーコンを設置可能な場所にビーコンを10m間隔で設置していったところ、会場内に設置したビーコン（図1, StickNFind社製）の数は160となった。

ユーザ端末での受信漏れをなくすよう、出力電波強度を最大化(+4dBm)し、頻度も1秒間に5回出力した。この強度において、幕張メッセのような天井が高い(30m)場合でも10m先に電波が届くことを事前に確認した。

この設定で懸念されることは電池の耐用日数である。イベント当日に、ビーコンの電池残量がゼロになった場合、圏外エリアが発生し、正しく混雑状況を把握することが不可能となる。そこで本研究では、利用する設定における電池耐用日数を調査した。イベント前に電波強度を+4dBmに設定し、1秒間に5回出力する設定で実験した。実験の結果、約2週間は電波を出力し続けた。イベントは2日間であるため、この設定を反映しイベントに適用した。

4.3 実験結果

本サービスでは、混雑リスクの対応に向けて、ビーコンで計測したアプリユーザ人数をインストール割合で割り戻し、ビーコンのカバー範囲の群集密度を求めた。また、ビーコン地点間の混雑度を空間内挿により補間した。求めた混雑度を地図に重畳して表示する混雑度マップを作成した。この混雑度マップにおける混雑度の表示の正確性を評価する。

表 1 電波受信状況の調査手法

Table 1 Investigation method of radio wave reception situation.

	説明
利用端末	iPhone と Android を 1 台ずつ
測定位置	事前に地面にマーキングされた位置にて北向きで測定
期間	イベント前日 (1/29), イベント 1 日目 (1/30), 2 日目 (1/31)

表 2 電波受信状況の測定値点数と調査結果

Table 2 Investigation result of radio wave reception situation.

調査日	ホール 1	ホール 2	ホール 3	ホール 4	ホール 5	ホール 6	合計	圏外地点
1/29	180	175	179	176	143	167	1020	0
1/30	-	154	154	151	108	125	692	0
1/31	-	154	154	152	115	116	691	0

4.3.1 アプリにおける電波受信状況の評価

会場内の任意のエリアで人数の数え漏れの発生有無を検証するため、イベント期間中にエリア内の電波強度を測定する実験を行った。一般的に2.4GHz帯の電波は人体の影響を受けるため、混雑時は受信電波強度も弱くなる。実験は、最も混雑している時間帯に5mおきに、受信する電波強度を測定した。端末としては、androidとiOSを1台ずつ用意した。混雑していて測定のために立ち止まることが危険と判断した場合は測定を行わなかった。測定が不可能な箇所を除いた全地点の測定において、目標とする閾値以上の電波を受信しなかった“圏外”地点は存在しなかった。最も混雑していた時間帯での計測で問題なかったため、イベント期間中の全時間帯において、任意の地点で、閾値以上で電波が受信できる環境だったと考えられる。

4.3.2 混雑度表示の正確性評価

表示された混雑度マップと実際の混雑度を比較することで、表示の正確性を評価した。大きなブース造形物が設置されなかった、イベント開始前の待機列発生場所（幕張メッセのホール1）と混雑度の可視化結果を比較した。比較結果は図5, 図6, 図7である。

空間内挿においては、基準点が極大点と判断される場合が多い。したがって、ビーコンを設置した地点が極大となる。待機列用に準備された幕張メッセのホール1は、ビーコンを貼付できる造形物がないため、壁面に設置した。その結果、図5, 6, 7のように、壁際が極大となり、同様にプロジェクト設置用の構造物（ホール1中心あたりに設置）周辺も極大となっていた。

イベント運営者であるドワンゴ社の社員の方々に確認してもらったところ、イベント運営上十分という判断をいただき、期間通しても実態と差異がなかったという評価をいただいた。今回、追加機能の提供により、より多くのユー

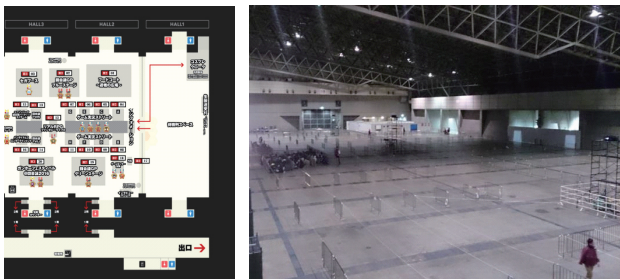


図 5 5:30 時点 (開場 4.5 時間前)

Fig. 5 At 5:30 (4.5 hours before opening).

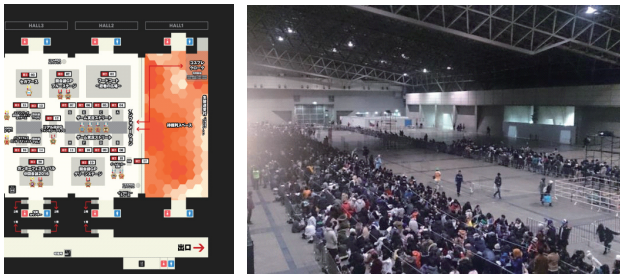


図 6 8:30 時点 (開場 1.5 時間前)

Fig. 6 At 8:30 (1.5 hours before opening).

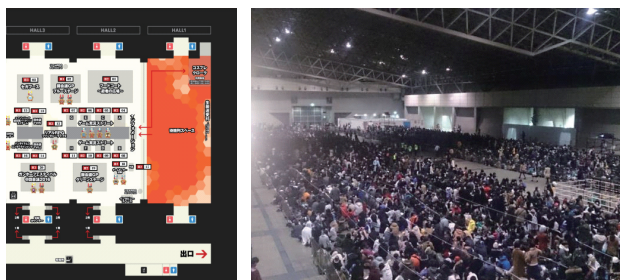


図 7 9:30 時点 (開場 30 分前)

Fig. 7 At 9:30 (30 minutes before opening).

ザに関心を持っていただけたと考えており、最終的に約 10%の来場ユーザにインストールをしていただくことができた。これにより、多くの人数の位置情報を収集することができ、混雑発生エリアを把握するために十分な可視化をすることができた。

そして、2日間のイベント中に、約 120 万回のビーコンログイベントがアップロードされた。その 1 回のアップロードでは、1 分間のログがアップロードされるため、全ビーコンログは 2 日間で約 1,900 万件であった。受信した全ログデータの処理をエラー率 0 で処理を完了することができた。設計したサーバとアプリの機能配備において、2 日間処理が滞ることなく、アプリの電池消費に関するクレームもなかった。

#### 4.3.3 イベント運営者向け混雑度マップの利用結果

運営者向けに、運営本部に図 8 のようなディスプレイを用意し、いつでも見える位置に設置していただいた。混雑度マップの内容を事前に説明した。イベント終了後、ダウンゴ運営本部で運営に携わっていたダウンゴ社員 4 名に

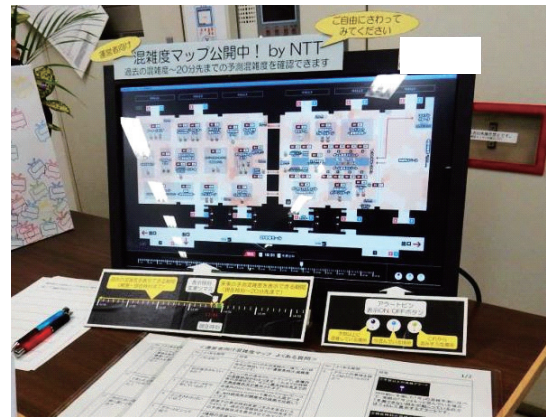


図 8 イベント運営者向け混雑度マップを表示したディスプレイ

Fig. 8 The display displaying congestion degree map for event operators.

対して、混雑度マップに関する感想をヒアリングした。その結果、以下の回答を得ることができた。

“従来は数台の監視カメラに映っている範囲の混雑状況を把握し、監視カメラに映らないエリアの混雑においては、トランシーバで混雑度の情報をやりとりしていた。本サービスによって、会場全体の混雑度が可視化されることで混雑状況を俯瞰的に把握できるようになったことは、非常に有効だった。”

このヒアリング結果から、混雑度の可視化がイベント運営に有効であることを確認することができた。

## 5. 将来課題

### 混雑予測

混雑度として、現在のタイミングでの混雑度を表示しているだけでは、突発的な混雑に対して適用することが難しい。現在の混雑度を表示するだけでなく、未来の混雑を予測し、予測した混雑度をイベント運営者に提供することで、より先見的に混雑リスクに対応することができると考えられる [18]。今後、予測結果も提供することでリスクへの対応を高めていきたい。

### 人流誘導

混雑予測が可能となった際、混雑する場所に群集を行かせないことができれば、混雑を未然に防ぐことが可能となる。今回、アプリの機能の 1 つとして来場ユーザ向けに混雑度マップを提供した。アプリインストールユーザ中、60.8%のユーザが混雑度マップを少なくとも 1 回利用しており、複数回利用していたユーザは 45.6%であった (図 9)。

SNS 上で好意的なコメントをいただいております。イベント運用者だけでなく、来場者に対しても混雑度マップは有益な情報であったことが確認できた。来場者に対しては混雑度マップの提示だけでなく、それぞれに適した誘導情報を提供することで個人の誘導を行うことも可能と考えられ、これを実現することでアプリユーザに新たな価値を提

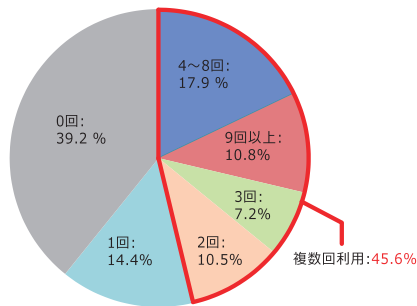


図 9 混雑度マップ利用回数の内訳

Fig. 9 Breakdown of congestion degree map usage frequency.

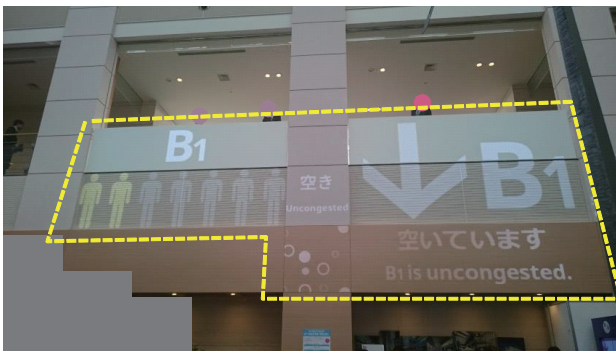


図 10 人流誘導に向けた壁面への混雑情報をプロジェクションしたイメージ

Fig. 10 Image projecting congestion information on wall surface for people flow guidance.

供し、インストール率の向上も見込める。

さらに、サイネージデバイスやロボットなどを活用して、人流自体を制御することで混雑リスクを下げる事が可能と考えられる(図 10)。個人と群集のそれぞれの誘導について検討していきたい。

## 6. おわりに

本研究では、イベント会場における混雑度を即時的に把握・可視化することで、イベント運営者に混雑リスクの注意喚起をさせることを目指した。イベント会場内の混雑度の取得のため、会場内にビーコンを設置し、来場ユーザのスマートフォンアプリで取得したビーコン電波情報をサーバで収集することで会場内の群集密度を計測した。ユーザ数の数え漏れがないよう、会場の任意の点でいずれかのビーコンからの電波を受信できるようにビーコンを配置した。ビーコンがカバーする範囲内の人数は、そのビーコンの電波を最も強く受信したユーザの数を数えることで求め、この人数をカバー範囲の面積で割ることで密度を求める。ビーコンを設置できない箇所も存在するため、空間内挿によりビーコン地点間の混雑度を求める。スケラビリティ向上に向け、受信電波強度の判定処理をアプリ側に切り出した。表示デザインの視認性の観点から判断し、10m程度の間隔でビーコンを設置し、ビーコンの出力電波強度

を最大の+4dBmに設定した。ビーコンの電池耐用性の事前実験を行ったうえで、設定を反映した。ビーコン電波受信状況の測定実験において、混雑時においても1つのビーコンからも電波を受信しない測定点は存在しなかった。したがって、アプリ利用者から情報を漏れがない状態で取得できたことを確認できた。2日間で来場者が約5万人の大規模なイベントで本サービスを提供したところ、群集密度表示については、イベント運営者に実態と混雑度マップを比較いただき、実態と差異がなかったという評価をいただいた。機能分担したアーキテクチャについては、アプリからの全120万件のビーコン電波受信ログのアップロードに対して、エラー率0で処理を完了させた。さらに、運営者から、混雑度を俯瞰的に把握できるようになったことの有効性が評価された。

本実験では、イベント運営者が事前に想定しなかった混雑が発生するという事象は発生しなかった。すべてイベント運営者が事前に想定したとおりの混雑であった。しかしながら、運営者にとっては現状の混雑度を正確にメンバ間で共有でき、想定しなかった混雑が発生した場合も即座に検知できるため、イベント運営者にとって有効であると考えられる。本システムは、同じサーバ構成でダウンゴ社主催の“超会議 2016”でも運用を行った。2日間で約15万人の来場ユーザからのアップロードにもエラー率ゼロで処理を完了させることができた。この運用においては地図とビーコン(約600個設置)の位置情報を変更しただけの対応であり、汎用性の高いシステムであることも確認した。

謝辞 大規模イベントを利用した実験は、株式会社ダウンゴ様の山崎淳様、指田みなと様、保科美樹様、大橋健太郎様にご協力いただき実現することができました。ここに深謝します。

## 参考文献

- [1] 東京都オリンピック・パラリンピック準備局：競技会場マップ(ヘリテッジゾーン&東京ベイゾーン), (online), 入手先<<https://www.2020games.metro.tokyo.jp/taikaijyunbi/taikai/map/index.html>> (参照 2017-11-07).
- [2] 明石市：明石市民夏まつり事故調査報告書, (online), 入手先<<https://www.city.akashi.lg.jp/anzen/anshin/bosai/kikikanri/jikochosa/index.html>> (参照 2017-11-07).
- [3] Fruin, J (著), 長島正充 (訳)：歩行者の空間—理論とデザイン, 鹿島出版会 (1974).
- [4] NEC プレスリリース：数万人規模の混雑度と人の流れをリアルタイムかつ高精度に予測する技術を開発, (online), 入手先<[http://jpn.nec.com/press/201610/20161024\\_05.html](http://jpn.nec.com/press/201610/20161024_05.html)> (参照 2017-11-07).
- [5] 三菱電機株式会社ニュースリリース：「リアルタイム混雑予測技術」を開発, (online) 入手先<<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/0818-b.html>> (参照 2017-11-07).
- [6] Huadong, M., Chengbin, Z. and Charles, L.X.: A Reliable People Counting System via Multiple Cameras, *ACM Trans. Intelligent Systems and Technology*, Vol.3, Issue 2, No.3 (2012).



- [7] 日立製作所：空間づくりの最適化を導き出す、日立的「人流解析」プロジェクト, (online) 入手先 ([http://social-innovation.hitachi.jp/case\\_studies/peopleflow/index.html](http://social-innovation.hitachi.jp/case_studies/peopleflow/index.html)) (参照 2017-11-07).
- [8] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅：マルチレーザスキャナを用いた通行人数の自動計測, 第3回情報科学技術フォーラム (FIT2004) 一般講演論文集, Vol.3, No.3, pp.195-196 (2004).
- [9] 株式会社ゼンリンデータコム：混雑統計®, (online), 入手先 (<https://www.zenrin-datacom.net/business/congestion/>) (参照 2017-11-07).
- [10] 森本哲郎, 白浜勝太, 上善恒雄：Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法, 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015) 一般講演論文集, Vol.14, No.4, pp.505-511 (2015).
- [11] 美原義行, 市川裕介, 内田典佳, 井前吾郎, 舘 裕之：要約回遊履歴を利用した回遊場所推薦の実フィールドでの誘導効果検証, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2016-CDS-17(9) (2016).
- [12] 足立樹哉, 大野宇宙, Joseph Korpela, 前川卓也：電波強度変化に頑健な WiFi 屋内位置推定のための他環境長期電波強度モデルの適応手法, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2015-HCI-165(1) (2015).
- [13] 谷内大祐, 前川卓也：位置フィンガープリントの自動更新を用いた電波環境変化に頑健な屋内位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.280-288 (2014).
- [14] Cressie, N. and Wikle, C.K.: *Statistics for spatio-temporal data*, Wiley (2011).
- [15] 飯田一朗, 武理一郎, 森田俊彦, 富田達夫：モバイル業務向けプッシュ型サービス基盤の開発, デジタルプラクティス, Vol.5, No.4, pp.284-290 (2014).
- [16] 株式会社ヴァル研究所：Bluetooth/Beacon プッシュ通知トライアル報告書, (online), 入手先 ([https://ekiworld.net/wp-content/uploads/2015/07/20150714\\_Bluetooth-Beaconプッシュ通知トライアル報告書\\_Final.pdf](https://ekiworld.net/wp-content/uploads/2015/07/20150714_Bluetooth-Beaconプッシュ通知トライアル報告書_Final.pdf)) (参照 2017-11-07).
- [17] 株式会社幕張メッセ：国際展示場 1-8 ホール, (online), 入手先 (<https://www.m-messe.co.jp/docs/pamphlet/ExhibitionHall1-8.pdf>) (参照 2017-11-07).
- [18] NTT 持株会社ニュースリリース：2017 年 NTT, 見えてきた 2020 に向けて, 実用性の高い AI, IoT 最先端技術を R&D フォーラムにてショーケース化, (online), 入手先 (<http://www.ntt.co.jp/news2017/1702/170213a.html>) (参照 2017-11-07).



佐藤 大祐 (正会員)

1984 年生。2007 年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。2009 年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。情報検索, 地理情報サービスの研究開発に従事。



美原 義行 (正会員)

2004 年東京工業大学理学部情報科学科卒業。2006 年同大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻修了。2006 年 NTT 入社。以来, IoT ネットワーク管理サービスの技術設計等の研究開発, IoT ネットワーク管理プロトコルの標準化に従事。現在, 日本電信電話株式会社新ビジネス推進室担当課長。2012 年一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) 功労賞, 2013 年情報処理学会山下記念賞受賞。2017 年京都大学大学院情報理工学研究科知能情報学専攻修了。博士 (情報学)。



佐藤 吉秀 (正会員)

2000 年京都大学工学部電気電子工学科卒業。2002 年同大学大学院情報学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。現在, 交通分野のプロデュース業務に従事。



田中 悠介

1983 年生。2006 年京都大学工学部電気電子システム科卒業。2008 年同大学大学院修士課程修了。同年西日本電信電話株式会社入社。2015 年より日本電信電話株式会社に転籍, 現在に至る。以来, 人流計測・予測技術の研究に従事。



宮本 勝

1972 年生。1995 年早稲田大学理工学部経営システム工学科卒業。1997 年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。ヒューマンインタフェース, 情報検索, ビッグデータ分析の研究に従事。電子情報通信学会。



佐久間 聡

1993年慶應義塾大学工学部計測工学科卒業，1995年同大学大学院計測工学専攻修了．同年日本電信電話株式会社入社．以来，画像処理・認識，ホームICT，サービス可視化に関する研究開発に従事．電子情報通信学会会員．