

# iBeacon を用いた 自律分散型避難誘導システムに関する研究

知能システム制御研究室 清水 健

## 1. はじめに

現代における火災時の避難誘導は、壁面に避難経路をあらかじめ表示する静的な手法が一般的である。しかし、火災時の避難経路はその時々の火災状況によって異なるため、適切な避難誘導には刻一刻と変化する火災状況に合わせた動的な避難誘導が必要である。こうした背景から、避難誘導を行うための研究は多くなされている。松野、瀧本らは、床や壁面に設置した光源により人々を避難口へ誘導する避難誘導システム [1,2] を提案している。しかし、これらの避難誘導は避難者個々に対応したものではない。一方、飯塚らは、携帯端末と GPS および Wi-Fi を利用した避難誘導システム [3] を提案しているが、GPS は衛星電波を受信して位置推定を行うため衛星電波の届きにくい室内では位置検出が困難である。

以上の背景を鑑み、本研究ではホテルでの運用を前提とし、各部屋に避難誘導のためのスマートフォン型のモバイル端末を備え、モバイル端末に表示される避難指示にしたがって避難することで円滑・確実な避難を行う避難誘導の実現を目的とする。本システムの特徴は、施設の廊下天井に設置されたビーコン信号を受信することで、自己位置推定ができること、各端末は避難誘導中にもリアルタイムで火災状況を受信可能であること、ユーザーの意思で避難経路の変更が行えることである。これにより、刻一刻と変化する火災状況に適時対応した動的な避難誘導が可能である。

## 2. 自律分散型避難誘導システム

### 2.1 システム概要

各部屋にはモバイル端末とビーコンを伴った火災報知器が 1 台ずつ設置されており、廊下天井にはビーコン (以下、案内ビーコン) が等間隔で設置されているものとする。これを初期状態として、本システムは火災通知、火災情報伝達、避難誘導の 3 つのフェーズに分けて動作する。

### 2.2 火災通知フェーズ

初期状態では、各部屋に設置されているビーコンは信号停止しており、モバイル端末は火災報知器のビーコン (以下、火災ビーコン) を受信する端末となっている。火災報知器が火災を検知すると、火災ビーコンがその部屋固有のビーコン識別子を伴って信号発信し、付近のモバイル端末へ火災発生を通知する。これを“火災通知フェーズ”とする (Fig. 1 にイメージを示す)。

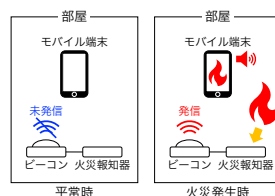


Fig. 1 火災通知フェーズ

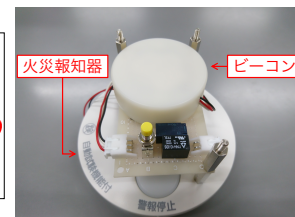


Fig. 2 火災報知ビーコン

本研究では、上記の機能を実現するため、市販の火災報知器 (パナソニック (株):SHK38455) とビーコン ((株) 芳和システムデザイン: BLEAD®-B Ver.2) を結合した火災報知ビーコンを試作した (Fig. 2)。火災報知ビーコンは、火災報知器への通電を起点としたリレー保持回路により、火災報知器が火災を検知すると同時にビーコン電源が入り、信号が発信される仕組みである。

### 2.3 火災情報伝達フェーズ

提案システムでは、ビーコン信号を用いて火災発生を通知するが、Bluetooth 信号は周囲の影響を受けやすく、建物の材質や周囲の電波状況によっては全端末にビーコン信号が到達しない可能性が考えられる。そのため、モバイル端末を用いてビーコン信号の伝達延長を行う。ビーコン信号を受信したモバイル端末は即座に動作をビーコン発信端末に切り替え、他の部屋で受信状態となっているモバイル端末に火災発生を通知する。この際、モバイル端末は、受信したビーコン識別子を自身にクローンし、同一のビーコン識別子を伴ってビーコン信号を発信する。この動作を繰り返すことで、全モバイル端末は火災を検知した火災報知ビーコンの識別子を知ることができ、結果として火災元の部屋を特定することができる。これを“火災情報伝達フェーズ”とする (Fig. 3 にイメージを示す)。

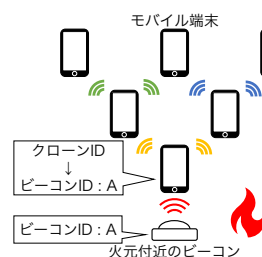


Fig. 3 火災情報伝達フェーズ

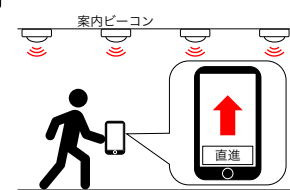


Fig. 4 避難誘導フェーズ

## 2.4 避難誘導フェーズ

モバイル端末は、火災元の部屋から通知を受けた後、現在位置から避難口までの経路探索を行う。モバイル端末にはあらかじめ建物マップと案内ビーコンの設置位置を紐付けして格納しておくものとする。このような前提条件の下、ダイクストラ法を用いて避難経路探索を以下の手順で行う。

1. 案内ビーコン設置位置をダイクストラ法におけるノードとし、隣接しているビーコンを辺でつなぎ、ビーコン間の絶対距離 [m] をコストと定義してグラフを作成
2. 火災の影響で通行不可能な地点がある場合は、グラフをリアルタイムで更新する (ビーコン間の辺を切断する) ことで対応
3. 始点を現在位置、終点を避難口としてダイクストラ法を実行 (避難口の数だけ実行)
4. 算出された複数の累計コストを比較し、累計コストが最小の経路を最適な避難経路と決定

以上の経路探索を端末が各々行うことで、火災状況に応じた避難誘導を避難者個々に対して可能になる。

モバイル端末は、経路探索を行った後に廊下に設置された案内ビーコンと通信することで自己位置を推定しつつ避難誘導を行う。モバイル端末の自己位置推定には、iBeacon<sup>®</sup> に標準搭載されている電波強度 RSSI (Received Signal Strength Indication) [dBm] を用いる。モバイル端末は周囲の案内ビーコン信号を受信し、受信信号の中で RSSI が最大の案内ビーコンの位置を現在位置とする。なお、現在位置の推移を記録することで進行方向推定も可能である。モバイル端末は以上の手法で自己位置推定を行いながら、画面表示と音声で避難誘導を行う。これを“避難誘導フェーズ”とする (Fig. 4 にイメージを示す)。

## 3. 避難誘導実験

### 3.1 実験機材

提案システムとして、スマートフォン用の避難誘導アプリを作成し、避難誘導実験を実施する。実験には、iBeacon<sup>®</sup> として BLEAD<sup>®</sup>-B Ver.2 を用いる。BLEAD<sup>®</sup>-B Ver.2 は iOS 端末での利用を想定した iBeacon<sup>®</sup> であるため、モバイル端末には Apple Inc. の iPod touch<sup>®</sup> を用いる。なお、iPod touch<sup>®</sup> はビーコン信号の送受信機能を標準で備えていることから、モバイル端末としての機能を十分満たしている。

### 3.2 実験条件

実験は鳥取大学工学部棟の I 棟および H 棟の 1 階～2 階で行い、ある部屋で火災が発生した状況下において、あらかじめ設定した 3 つの避難口へ誘導案内を行う。今回は、2809 室で火災が発生することを想定し、避難対象者も同部屋にいるものとする。案内ビーコンは Fig. 5 に示す廊下の天井裏に設置し、2809 室には火災報知ビーコンを設置する。実験では避難誘導アプリの動作を端末画面で確認する。

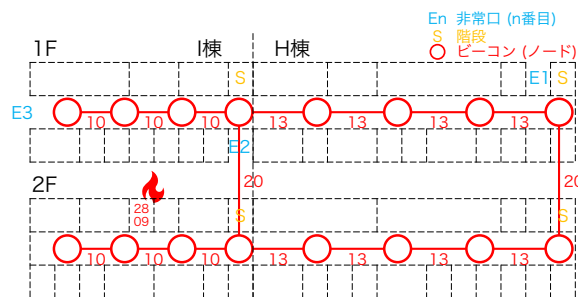


Fig. 5 避難誘導実験におけるビーコン配置図

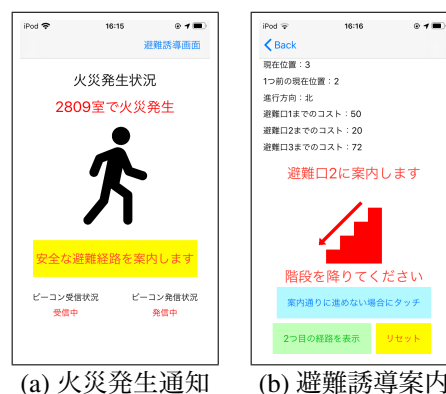


Fig. 6 避難誘導中の iPod touch<sup>®</sup> の端末画面

## 3.3 実験結果

実験時のモバイル端末画面を Fig. 6 に示す。(a) では、モバイル端末がビーコン信号の送受信を行い、火災発生を通知をしていることが確認できる。一方 (b) では、モバイル端末がダイクストラ法により最適な避難経路を算出し、案内ビーコンを用いて自己位置取得を行いながら避難誘導案内していることが確認できる。なお、ユーザのボタン選択で避難経路を変更できる機能も実装している。

## 4. おわりに

火災時の円滑かつ確実な避難誘導のために、管理サーバや外部電源を必要としない動的な自律分散型避難誘導システムの構築を目的とし、モバイル端末とビーコンを用いた避難誘導システムを実装した。提案システムでは、火災報知器とモバイル端末間の通信、モバイル端末間相互による火災発生情報の共有、モバイル端末のビーコンを用いた自己位置推定について各々実装し、最後にそれらを統合した避難誘導アプリを作成、避難誘導実験を通してその実現性を示した。

## 参考文献

- [1] 松野将：積極避難誘導システム、照明学会誌, Vol. 90, No. 4, pp. 222-225, 2006
- [2] 瀧本浩一, 三浦房紀, 松元隆博, 関原弦, 組田良則, 山本真吾：自律分散協調による避難誘導システムの開発, 社会技術研究論文集, Vol. 8, pp. 82-90, 2011
- [3] Y. Iizuka, K. Yoshida, and K. Iizuka: An Effective Disaster Evacuation Assist System Utilized by an Ad-Hoc Network, *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 174, pp. 31-35, 2011