

実証実験に向けたIoTバスロケーションシステムの動作検証

保下 拓也^{1,a)} 鈴木 秀和^{1,b)} 松本 幸正^{1,c)}

概要：バスのサービス品質向上や運行管理の効率化を実現するために、バスの位置情報や遅延情報を活用してバスの接近通過情報を配信するバスロケーションシステムが導入されている。筆者らはLPWA（Low Power Wide Area）を利用した低コストで実現可能なIoTバスロケーションシステムを提案している。IoTバスロケーションシステムでは、バスの位置情報の収集や電子ペーパーを利用したスマートバス停への情報配信にLPWAを利用する。本稿では、コミュニティバスにおける実証実験に向けて必要な機能を車載器、クラウドを用いたバス管理サーバ、スマートバス停にそれぞれ実装し、IoTバスロケーションシステムとして一連の動作が可能であることを検証する。

Experimental Verification of IoT-based Bus Location System for Demonstration Experiment

TAKUYA BOSHITA^{1,a)} HIDEKAZU SUZUKI^{1,b)} YUKIMASA MATSUMOTO^{1,c)}

1. はじめに

日本では人口減少や少子高齢化が進行しており、特に地方部においては公共交通機関の輸送人員が減少している。これに伴い、不採算路線の縮小や廃止などが発生しており、サービス水準が一層低下してしまう懸念がある。バス事業者が撤退した路線沿線の高齢者や学生などの交通手段を維持するために、地方自治体がコミュニティバスを運行している [1]。コミュニティバスは一日当たりの運行本数が少ないため、利用者が乗り遅れると長時間の待ち時間が発生したり、移動をあきらめてしまうこともある。そこで、コミュニティバス利便性を向上させる一方策として、バスの運行情報を提供するバスロケーションシステムの導入が進められている [2-6]。現在は携帯電話網を利用するバスロケーションシステムが多く導入されているが、高い運用コストが障壁となり、システムの維持が困難になる例も少なくない。また、バスの運行情報を提供する手段として一

般的な紙媒体を利用したバス停だけでなく、電光掲示板や液晶ディスプレイを備えたバス停が導入されている。しかし、バス停において提供することができる情報の種類や表示コンテンツの視認性・検索性、導入コストなどの面で課題が残されている。

そこで筆者らはIoT技術を活用した新しいバスロケーションシステムを提案している。IoTバスロケーションシステムでは、低コスト、低消費電力かつ長距離通信が可能な無線通信技術として注目を集めているLPWA（Low Power Wide Area）を採用し、バスの位置情報の収集やバス停への情報配信を行う。位置情報はクラウドに蓄積され、位置情報と時刻情報から遅延情報が算出される。また、バスの位置情報や遅延情報のほか、地域情報などをバス停で表示・提供するために、電子ペーパーを搭載し、表示コンテンツを動的に更新可能なスマートバス停を導入する。本稿では、提案システムのコミュニティバスにおける実証実験に向けて必要な機能を整理し、動作検証について述べる。

以下、2章で筆者らが提案しているIoTバスロケーションシステムの概要について述べる。3章では実証実験に向けて必要な機能を整理し、4章で各機能の実装について述べ、5章で動作検証結果を示した後、6章でまとめる。

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

a) takuya.boshita@ucl.meijo-u.ac.jp

b) hsuzuki@meijo-u.ac.jp

c) matumoto@civil.meijo-u.ac.jp

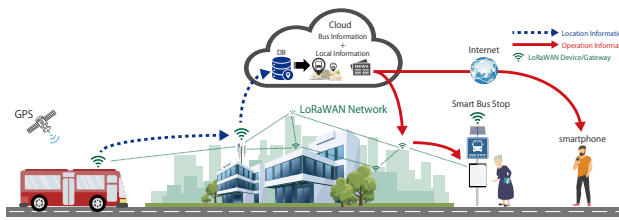


図1 IoT バスロケーションシステムの概要

2. IoT バスロケーションシステム

2.1 提案システムの概要

従来のバスロケーションシステムは携帯電話網を利用し、車載器、サーバシステム、電光掲示板など、ハードウェアおよびネットワークを1つのパッケージとして構成されている。そのため、それらのハードウェアやネットワークを他のサービスで利用することが困難で、サービスの導入コストや維持管理コストが結果的に高額になるケースが多い。そこで筆者らは、バスロケーションシステムを1つのIoT サービスとして、また車載器やスマートバス停をIoT デバイスとして位置付け、ネットワークやバス停をバスロケーションシステムだけでなく、他のIoT サービスと共用できるアーキテクチャを提案している [7]。これにより、スマートシティを実現するために様々なIoT サービスを導入する際、ネットワークやハードウェアの導入コストや維持管理コストを分散化し、サービスごとのコストを低下させることができる。

図1に提案システムの概要を示す。提案システムでは従来のバスロケで標準的に採用されていた携帯電話網を利用せず、IoT 向け長距離無線通信として注目を集めている LPWA 規格を採用する。本開発プロジェクトでは、LoRaWAN や LTE-M など複数種類の LPWA の利用を検討しているが、本稿では LoRaWAN ネットワークの場合について取り上げる。自治体が管理する建屋の屋上などに LoRa ゲートウェイを複数設置し、コミュニティバス運行エリアをカバーするように LoRaWAN ネットワークを構築する。車載器を搭載したバスは GPS から時刻情報と位置情報を取得すると、文献 [8] で提案している圧縮技術を用いて約 17.5%程度に圧縮して^{*1}、LoRa ゲートウェイ経由でクラウドに送信する。

クラウドに蓄積されたバスの位置情報と時刻情報から、遅延などの運行情報を生成し、LoRaWAN ネットワークを通じてバス停へ配信する。これにより、スマートフォンを利用していない高齢者や子供に対して、バスのリアルタイムな情報を提供することが可能になる。また、スマートフォンを利用できるユーザは、Web サイトにアクセスすることにより、バスの走行位置や遅延情報を入手すること

^{*1} バス識別情報、時刻情報、位置情報などを LoRaWAN の 1 メッセージで送信するため。

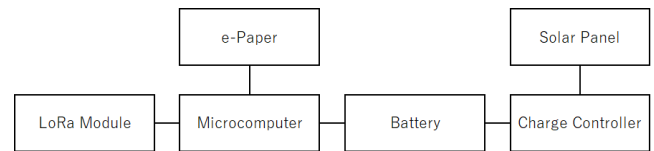


図2 スマートバス停のモジュール構成

を可能になる。提案システムにおけるバス停は、電子ペーパーと LoRaWAN 通信モジュールを搭載しており [9]、以後、本稿ではスマートバス停と標記する。

2.2 電子ペーパーを利用したスマートバス停

2.2.1 モジュール構成

図2にスマートバス停のモジュール構成を示す。スマートバス停はクラウドから各種情報を受信するために LoRa モジュールを搭載する。LoRa モジュールを制御するマイコンが中核となり、受信したデータを電子ペーパーに出力する。LoRa モジュールとマイコンは USB もしくは UART で接続し、電子ペーパーは SPI インタフェースなどでマイコンと接続する。マイコンの電源はバッテリーを利用する。また、太陽光パネルとチャージコントローラーを接続し、バッテリーに給電する。

2.2.2 コンテンツ設計

電子ペーパーに表示するコンテンツのレイアウトは HTML5 および CSS3 を利用したレスポンシブウェブデザイン [10] を採用する。CSS で画面のサイズに応じて適用するコードを変更するために、メディアクエリを利用する。これにより、スマートバス停に採用する電子ペーパーのサイズが異なる場合においても静的なコンテンツを電子ペーパーのサイズに応じて動的に配置および表示することができる。

次に、遅延などのバス運行情報などの動的コンテンツの表示について述べる。時刻表ベースの情報や表示コンテンツのレイアウト (HTML 形式) などの静的な情報はあらかじめマイコンに組み込んでおく。管理サーバから配信された情報を LoRa モジュールで受信し、JSON (JavaScript Object Notation) ファイルとして保存する。電子ペーパーに表示するコンテンツの内、動的に変化する情報は JavaScript を用いて HTML ファイルに読み込む。例えば図3のように、時刻表ベースの情報はバス情報の標準フォーマットである GTFS-JP [11] から読み込み、バスの運行に応じてリアルタイムに変化する遅延情報は JSON ファイルから読み込んで表示する。

電子ペーパーはマイコンに保存された HTML 形式の情報を表示するため、表示する HTML ファイルを変更することにより、スマートバス停の表示コンテンツを容易に変更することができる。上記の仕様を応用することにより、平時はバスの運行情報等の配信、非常時には避難情報の配信などをコンテンツの形式や操作性を統一したシステムで

① 運行情報

出発時刻	遅延状況	路線	案内
08:15	10分遅延	米野木線	到着
08:27	6分遅延	循環線	おりど病院、市民会館、市役所行き

受信データ (JSONファイル) より

時刻表データ (GTFS-JPファイル) より

図 3 JavaScript を用いた動的情報の反映

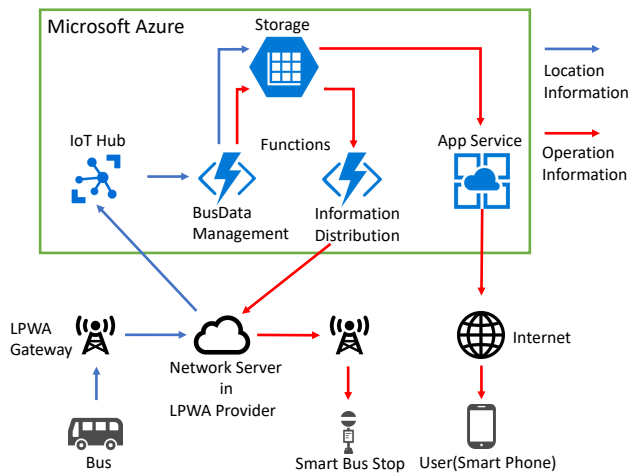


図 4 Microsoft Azure を用いたクラウド型バス管理サーバの概要

実現できる。このような活用方法は従来のバスロケーションシステムでは困難であり、提案アーキテクチャの利点であるといえる。

2.3 クラウド型バス管理サーバ

提案システムでは低コストで導入、運用することができ、かつ仕様変更に対して柔軟に対応できるクラウドを用いたバス管理サーバを導入する [12]。図 4 に Microsoft Azure を用いたクラウド型バス管理サーバの構成を示す。バス管理サーバは、Microsoft Azure の IoT Hub、Functions、Table Storage、App Service で構成し、バス車載器から位置情報を取得する機能、受信した情報から遅延時間を算出する機能、位置情報や遅延時間を蓄積する機能、遅延時間を定期的に配信する機能を有する。IoT Hub では、バスから定期的に送信されるメッセージを受信する。BusDataManagementFunction では、受信した情報から遅延時間を算出し、Table Storage に蓄積する。InformationDistributionFunction では、タイマー動作する関数を定義し、Storage に保存されたバスの遅延時間を取得しスマートバス停に配信する。また、ユーザがスマートフォンなどでバスの位置情報や遅延時間を確認できるように、App Service を用いて Web アプリを提供する。

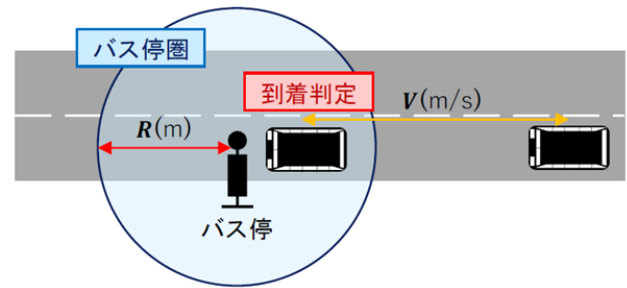


図 5 バス停圏を使用した到着判定の概要

3. 実証実験に向けて必要な機能

以下で提案システムの実証実験に向けて必要な機能を車載器、クラウド型バス管理サーバ、スマートバス停それぞれに分けて整理する。

3.1 車載器

走行状態判別機能：

提案システムでは、実際にバスがバス停に到着した時刻と時刻表で設定されている到着時刻の差分をバスの遅延時間とする。そのため、バスの遅延時間を算出するためには車載器が GPS で取得するバスの位置情報を用いてバス停への到着判定を行う必要がある。到着判定にはジオフェンシングの考え方を採用し、システムで設定したバス停圏内にバスが侵入した際にバス停への到着判定を行う。図 5 にバス到着判定の模式図を示す。バス停圏は以下の式で設定することができる。

$$R = v_{max} \times \Delta t \quad (1)$$

R はバス停圏の距離を v_{max} はバス停到着時のバスの最高速度を Δt はバスの位置情報の取得間隔を表している。ロータリーのあるバス停においてバス停圏を広く設定しすぎると、バスがバス停に複数回の接近と離反を繰り返す、正しい到着判定ができなくなってしまう。そのため、ロータリーを含むバス停においても正確な到着判定が可能となる適切なバス停圏を設定する必要がある。ここで、バス停接近時のバス最高速度は愛知県日進市のコミュニティバス「くるりんばす」の走行データ*2から 13.9 m/s であることがわかった。この結果を用いて実証実験の対象路線である「くるりんばす」循環線においてロータリーを含むバス停を検証したところ、誤判定を防ぐためには情報取得間隔は 2.5 秒以内に設定する必要があることがわかった。しかし、LoRaWAN では最短で 4.4 秒に一回しか情報を送信できないという制約がある [13]。そこで、提案システム

*2 循環線の平成 30 年 6 月 4 日から平成 30 年 8 月 3 日までの 2 か月間と梅森線の平成 30 年 6 月 4 日から 7 月 3 日までの走行履歴を利用した。

ではバス管理サーバではなく、車載器にバス到着判定機能を実装する。また、3.3節で述べるバスの接近通過案内を提供するために、バスの走行状態として以下の3状態を定義し、取得したバスの位置情報から到着判定を含むバス走行状態の判定を行うようにする。

- バス停に向かって走行中（500m以上離れている）
- バスがバス停に接近中（500m以内に接近）
- バスがバス停に到着（バス停圏内に侵入）

3.2 バス管理サーバ

情報配信機能：

文献 [12] では、指定したスマートバス停に対して、LoRaWAN を利用してバスの遅延時間を配信できることを確認していた。しかし、配信バス停の決定方法については十分に検討されていなかったため、検討を行った。まず、未通過のスマートバス停にのみバスの運行情報を配信することとする。また、バス通過後のスマートバス停には次発のバスが始発停留所を出発するまでは情報を配信しないこととする。さらに、バスサービスが提供されていない終バスから始発バスまでの夜間は、スマートバス停への情報配信は行わないこととする。これにより、スマートバス停への情報配信を必要最低限に抑え、スマートバス停のバッテリー消費量や情報配信コストを削減することができる。また、スマートバス停で提供する情報の利便性向上のため、現状配信しているバスの遅延時間に加えて、バス停の通過情報やバスの接近通過情報を配信する機能を実装する。

表示コンテンツ切替指示機能：

スマートバス停では、平時はバスの運行情報や地域情報を配信しているが、災害発生時には避難情報を配信する。そこで、災害発生時などに市役所などの遠隔地からスマートバス停の表示コンテンツを避難情報に切り替える指示メッセージを送信する機能を実装する。また、平時においても臨時ダイヤ案内や、メンテナンス情報、運休情報などを提供できるように、災害情報に加えて上記の情報への表示切替も一元的に対応可能な機能を実装する。

3.3 スマートバス停

バス停通過情報・バス接近通過案内の表示機能：

現状のスマートバス停では、バスの運行情報（遅延情報や当該便の主な行先）や時刻表を提供していた。しかし、バスの主な行先や時刻表は静的な情報であり、特に利用者の多数を地元住民が占めるコミュニティバスにおいてはバスの利用者にとって有用な情報であるとはいえない。そこで、スマートバス停で提供する表示コンテンツの利便性を向上させるために、動的なバ

ス情報として帯状のバス停通過情報とバスの接近通過案内を表示する機能を実装する。

表示コンテンツの切替機能：

スマートバス停においてバス運行情報だけでなく地域情報や災害情報などの様々な情報の提供を実現するために、バス管理サーバから送信される表示切替メッセージに基づきスマートバス停の表示コンテンツを切り替える機能を実装する。

4. 実装

4.1 車載器

図 6 に実装した車載器のプロトタイプを示す。車載器のプロトタイプは以下のノードにより構成される。

- LoRa デバイス AL-050（エイビット社製）
- Raspberry Pi 3
- GPS モジュール U-blox NEO-7N

以下の手順でバス管理サーバへバス情報メッセージを送信するプログラムを python 言語を用いて実装した。

- (1) 次に到着するバス停の情報を取得する*3。
- (2) GPS モジュールからバスの位置情報を取得する。
- (3) バスとバス停の距離を算出する
- (4) バスの走行状態を判別する
- (5) バス情報メッセージをバス管理サーバへ送信する

ここで、バス情報メッセージには「パケット識別情報、バスの位置情報、時刻情報、当該便情報、バスの走行状態、次バス停のシーケンス番号」が含まれる。しかし、LoRaWAN を使用した通信では通信距離を最大にする場合、一度に 11byte しか送信できない [13]。そのため、バスの位置情報と時刻情報は文献 [8] の手法で圧縮し、バスの走行状態は各状態に対応した ID を送信するように実装した。

4.2 バス管理サーバ

バスの位置情報の蓄積、遅延情報の生成および 3.2 節で

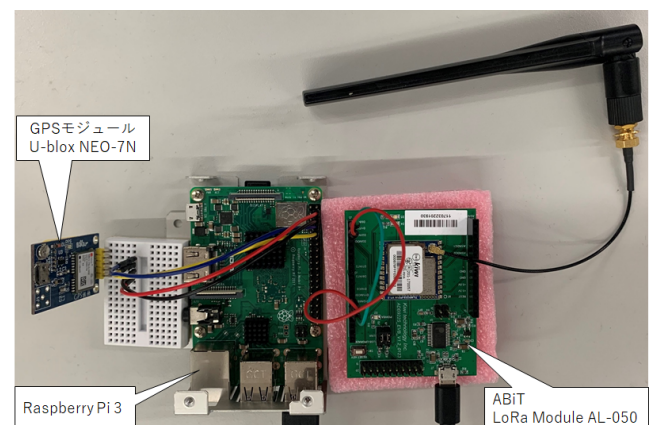


図 6 車載器のプロトタイプ

*3 バス停の情報は JSON ファイルに記述しあらかじめ Raspberry Pi 3 に組み込んでおく。

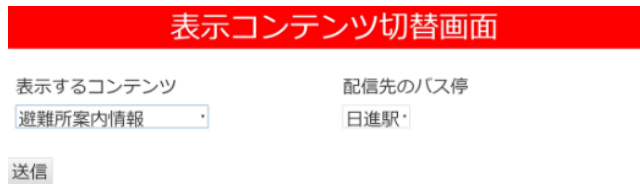


図 7 表示切替指示を送信するためのユーザインタフェース

検討した配信先バス停の決定方法に基づいてスマートバス停に情報を配信する機能を C# 言語を用いて実装した。車載器から受信したバスの位置情報、時刻情報、バスの走行状態、次バス停のシーケンス番号を Storage に保存する。ここで、受信した走行状態が「到着」の場合には、受信した時刻情報と時刻表の到着時刻からバスの遅延情報を算出した後 Storage に格納する。上記で算出したバスの遅延情報、バス停の通過情報、バス接近状態を LoRaWAN ネットワークを介して 1 分間隔でスマートバス停に配信する。スマートバス停に配信するメッセージには「パケット識別情報、当該便情報、バスの遅延情報、バス停通過状態、バス接近状態」が含まれる。ここで、4.1 節で述べた理由と同様の理由によりバス停の通過情報とバス接近状態については、各状態に対応する ID を送信するように実装した。

また、遠隔地からの表示コンテンツの切替指示を送信するためのユーザインタフェースを実装した。実装したユーザインタフェースを図 7 に示す。ユーザインタフェースのレイアウトは HTML 言語で、送信ボタン押下時の処理は JavaScript を用いて実装した。切替後の表示コンテンツと切替指示送信先のスマートバス停をドロップボックスで選択し、送信ボタンをクリックする。送信ボタンをクリックされると、指定されたコンテンツへの切替指示メッセージを指定されたスマートバス停に対して送信する。この際、スマートバス停に表示するコンテンツにあらかじめ ID を設定しておき、指定されたコンテンツに対応した ID を送信するように実装した。

4.3 スマートバス停

図 8 に実装したスマートバス停のプロトタイプを示す。スマートバス停のプロトタイプは以下のノードにより構成される。

- 9.7 インチ 電子ペーパー (Waveshare 社製)
- LoRa デバイス AL-050 (エイビット社製)
- Raspberry Pi Zero WH
- ソーラーチャージャー対応モバイルバッテリー

AL-050 はシールドの D12 と D0 を、また D11 と D1 をそれぞれ接続し、Raspberry Pi Zero WH と USB 接続することにより、PL2303 の UART デバイスとして認識する。これにより、Raspberry Pi Zero WH で動作するプログラムでコマンドを実装することにより、LoRaWAN ネット

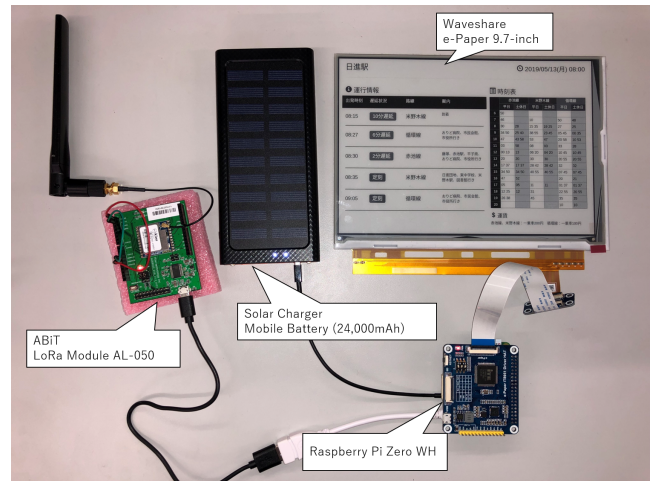


図 8 スマートバス停のプロトタイプ

ワークを利用したデータの送受信が可能となる。また、電子ペーパーは Raspberry Pi Zero WH の GPIO ピンにアダプタを装着して取り付けした。なお、Waveshare 社をはじめ、多くの電子ペーパーは HTML ファイルを直接することができない。そこで、下記の手順により HTML ページを画像化した後、電子ペーパーに出力するようにした。

- (1) LoRaWAN モジュール経由で Raspberry Pi Zero WH が管理サーバから送信されるメッセージを受信し、バスの遅延情報、バス停通過情報およびバス接近情報を JSON ファイルに保存する。
- (2) Headless Chrome を実行し、ブラウザの画面を表示せずに、バス情報を出力する HTML ファイルをレンダリングして、画像ファイルとして出力する。
- (3) 画像ファイルを電子ペーパーに出力する。

また、バス管理サーバから表示切替メッセージを受信した際には、受信したメッセージからコンテンツ ID を取得し、取得したコンテンツ ID に対応した画像ファイルを出力するようにした。

5. 動作検証

本研究室に LoRa ゲートウェイ Kerlink Wirenet Station 923 を設置し、最小規模の LoRaWAN ネットワークを構築し、実装した車載器、バス管理サーバ、スマートバス停を用いて提案システムの動作検証を行った。なお、本検証では研究室内に構築した LoRaWAN ネットワークを利用して動作検証を行ったため、バスの位置情報は GPS から取得した情報ではなく、「くるりんばす」循環線の過去の走行データを利用した。

過去 5 便分の走行データにおいてバス停への到着判定が出た座標をプロットした結果を図 9 に示す。検証の結果、全便の全バス停においてバスがバス停圏に侵入したタイミングでバスの到着判定が行われていることを確認した。走行状態判別後に車載器がバス情報メッセージをクラウドへ

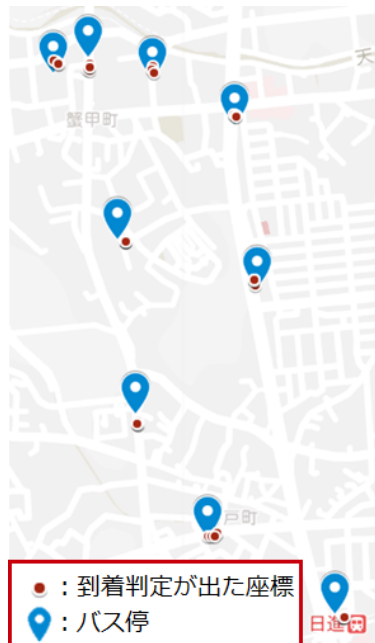


図 9 到着判定が出た座標

表 1 電子ペーパーへのコンテンツ表示処理時間

	9.7inch Model [sec]
Export to JSON file	0.79
Render HTML	10.74
Convert HTML to PNG	2.11
Convert PNG to BMP	0.88
Display Image	5.97
Total	20.49

送信し、送信されたバス情報メッセージがクラウドに蓄積できていることを確認した。

また、バス管理サーバが蓄積した情報から最新のバスの遅延情報、バス停の通過情報、バス接近状態を取得し、スマートバス停に配信すると図 10 のように配信された情報が反映されることを確認した。情報切替指示機能に関しては、実装したユーザインタフェースを用いて表示コンテンツを「避難情報」に切り替える指示メッセージをスマートバス停に送信したところスマートバス停の表示コンテンツが図 11 のような避難情報に切り替わることを確認した。

また、クラウドから配信された情報を受信してから電子ペーパーへ表示されるまでの時間を計測し、コンテンツ提供のリアルタイム性を検証した。表 1 に電子ペーパーにコンテンツが表示されるまでの処理時間を 10 回測定した結果の平均値を示す。バス情報は分単位の情報を提供するため、リアルタイム性を保持し、情報を提供できることが確認できた。

6. まとめ

本稿では、コミュニティにおける IoT バスロケーションシステムの実証実験に向けて必要な機能を実装し、バスロ



図 10 バス運行情報が表示された様子

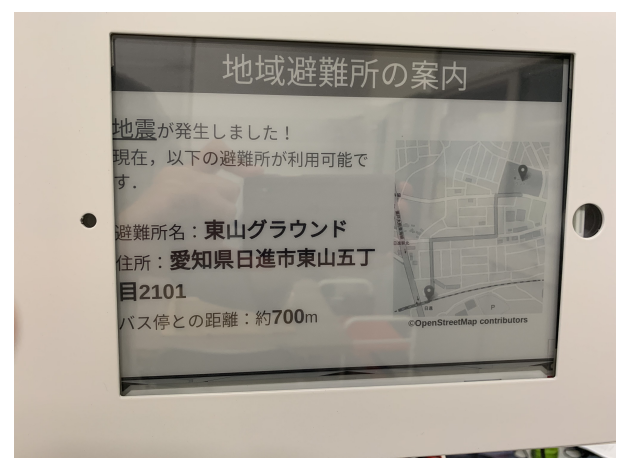


図 11 避難情報が表示された様子

ケーションシステムとして一連の動作が可能であることを確認した。今後は、愛知県日進市で運行している「くるりんばす」における実証実験を実施する予定である。

謝辞 本研究は愛知県 ITS 推進協議会の「安心・安全な愛知づくりのための ITS 研究テーマ」の助成を受けたものである。また、LoRaWAN ネットワークの導入は、マクニカネットワークス株式会社の支援を受けて実施したものである。ここに謝意を表する。

参考文献

- [1] 山口隆之, 浅野光行: 地域特性を考慮したコミュニティバスの導入促進に関する研究, 都市計画論文集, Vol. 34, pp. 985-990 (1999).
- [2] Sakata, A., Matsumoto, Y. and Suzuki, H.: Development of Bus Location System with Smartphone and Effect of Providing Regional Information added on Bus Information, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 10, pp. 1311-1322 (2013).
- [3] 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔: スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 96, No. 10, pp. 2327-2339 (2013).
- [4] 遠藤雅樹, 品川達郎, 山中光定, 人見功治郎, 高尾和志,

- 大野成義, 石川 博: 地域公共交通に適応したバスロケーションシステムの開発, 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol. 7, No. 2, pp. 117–134 (2014).
- [5] 中村嘉明, 溝上章志: バスロケーションシステムの導入・運用の実態と課題, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No. 5, pp. I.1197–I.1205 (2018).
- [6] 日下部貴彦, 秀樹, 浦丸 剛, 吉田幸男: ETC2.0 を活用した高速バスロケーションシステム, IATSS Review (国際交通安全学会誌), Vol. 43, No. 3, pp. 148–155 (2019).
- [7] Boshita, T., Suzuki, H. and Matsumoto, Y.: IoT-based Bus Location System Using LoRaWAN, *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 933–938 (2018).
- [8] Boshita, T., Suzuki, H. and Matsumoto, Y.: Compression Method of Position Information for IoT-based Bus Location System Using LoRaWAN, *2018 Eleventh International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU)*, pp. 1–2 (2018).
- [9] 鈴木秀和, 保下拓也, 松本幸正: IoT バスロケーションシステムにおける電子ペーパー型スマートバス停の試作, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウム論文集, Vol. 2019, pp. 1465–1471 (2019).
- [10] Marcotte, E.: Responsive Web Design, , available from <http://alistapart.com/article/responsive-web-design/> (accessed 2019-10-23).
- [11] 総合政策局公共交通政策部: 静的バス情報フォーマット (GTFS-JP) 仕様書 (第2版), 国土交通省 (オンライン), 入手先 <http://www.mlit.go.jp/common/001283244.pdf> (参照 2019-05-13).
- [12] 田畑俊貴, 保下拓也, 鷗田博一, 鈴木秀和, 松本幸正: IoT バスロケーションシステムにおけるクラウド型管理サーバの試作, 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集, Vol. 2019, No. 1, pp. 3–299–3–300 (2019).
- [13] Sornin, N. and Yegin, A.: LoRaWAN 1.1 Specification, LoRa Alliance (online), available from https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_v1.1.1.pdf (accessed 2019-10-23).