

LoRaWAN を用いた IoT バスロケーションシステムの提案

保下 拓也¹ 鈴木 秀和¹ 松本 幸正¹

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。本稿では、低運用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する。提案システムでは LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) を利用してバスの位置情報を収集し、電子ペーパーを搭載したスマートバス停へ算出された遅延情報を配信する。プロトタイプシステムを実装して基礎的な評価実験およびコストに関する試算を行った結果、3G/LTE を利用したバスロケーションシステムより安価に実現できることを確認した。

A Proposal of IoT-based Bus Location System Using LoRaWAN

TAKUYA BOSHITA¹ HIDEKAZU SUZUKI¹ YUKIMASA MATSUMOTO¹

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 [1]。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、行政が費用を負担して委託運行するコミュニティバスがある。コミュニティバスのサービス水準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期待されている [2-4]。

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 [5]。また、バスの運行情報を提供する手段として電光掲示板を備えたバス停が導入されているが、設置には電気工事や高額なコストが必要なため、設置場所が主要な駅や多数のバスが乗り入れるバスセンターなどに限定される [6]。西尾らは低運用コストでバスロケーションシステムを実現するために、家庭のガスや電力の自動検針情報の取得を無線通信で実現する Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) を用いて

バスの位置情報を収集する方式を提案している [7]。しかし、Wi-SUN は通信距離が短いため、ネットワークの構築に多数のスマートメーターが必要で、システムの導入コストが高くなるという課題がある。

そこで本稿では、近年 IoT (Internet of Things) 分野で低コスト、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されている LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) を用いた IoT バスロケーションシステムを提案する。提案システムでは、LoRaWAN ネットワークを利用してバスの位置情報収集や配信を行う。また、情報提供の手段として屋外での視認性と低消費電力性に優れた電子ペーパーを利用したスマートバス停を利用する。これにより、従来のバスロケーションシステムより導入コストおよび運用コストともに安価に実現することができる。以下、2章では IoT バスロケーションシステムの概要と技術的課題およびその解決方法について述べる。3章では IoT バスロケーションシステムのプロトタイプ実装について示し、4章において走行実験の結果、スマートバス停のアクセシビリティおよびコストに関する比較評価について述べる。

2. IoT バスロケーションシステム

2.1 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、

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

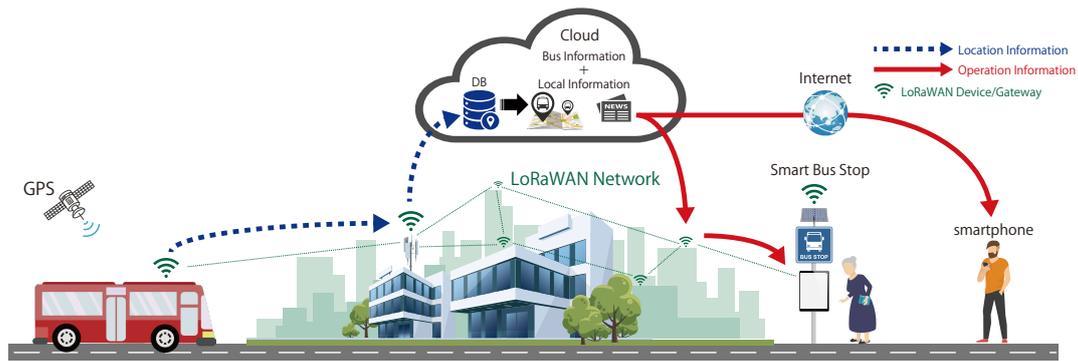


図 1 LoRaWAN を用いた IoT バスロケーションシステムの概要

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と考えられる。そこで提案システムでは、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る。さらに、ネットワークやスマート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として構成する点が大きく異なる。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 にシステム構成の概要を示す。提案アーキテクチャでは、数 km の無線通信が可能な LoRaWAN ゲートウェイ（以後、ゲートウェイと表記）を街中に複数設置し、公共の LoRaWAN ネットワークを構築する。提案システムはバスノード、ゲートウェイ、クラウド上に構築するバス管理サーバおよびスマートバス停で構成される。バスノードはバスに搭載される車載器であり、GPS から定期的に位置情報を取得し、ゲートウェイを中継してバス管理サーバへ送信する。バス管理サーバは受信した位置情報をデータベースへ格納し、バスの運行情報を生成する。生成された情報はインターネットや LoRaWAN ネットワークを通じてバスの利用者やスマートバス停に配信される。スマートバス停は配信されたバスの運行情報を反映したダイナミック時刻表を表示する。

2.2 LoRaWAN をバスロケーションシステムに使用する場合の課題

2.2.1 高速移動時の通信

LoRaWAN ネットワークは、ゴミ箱に貯まったゴミの量の観測 [8]、スマートメーター [9]、駐車場の空き状況の把握 [10] など定点でのセンシングや、登山者の位置情報管理

サービス、牧場の牛の活動量の取得など低速で移動する物体のセンシングに利用されている [11]。

しかし、高速で移動する物体のセンシングに利用されている事例は存在していない。また、現在検討を進めている LoRaWAN は高速移動時の通信に関して「比較的低速であれば安定した通信を行うことができるが、高速移動時になると通信に失敗する頻度が高くなる。」とされている。そのため、バスの位置情報収集を LoRaWAN で行うためには、高速移動時に安定した通信が可能であることを確認する必要がある。

2.2.2 一度に送信可能な情報量の制約

一般的なバスロケーションシステムではバス識別情報、時刻情報、位置情報等をテキスト形式のメッセージで収集しており、文献 [7] における位置情報メッセージ長は 35 byte である。それに対し、日本における 920 MHz 帯を利用する LoRaWAN では、通信距離を最大にする場合、1 回に送信できるデータ量が 11 byte に制限され、最短で 4.4 秒に 1 回しか送信できないという制約がある。そのため、パケットロスなどの影響も考慮した場合、バスの位置情報および遅延情報の精度を高めるには、1 回の送信で全てのデータを含めなければならない。

2.3 位置情報圧縮手法

提案システムでは、上記の課題を解決するために、GPS から取得した時刻情報と位置情報を、図 2 に示す 4 つの処理を行うことで送信データを圧縮する。

(1) バスロケーションシステムで不要な情報を削除：

GPS モジュールからは NMEA-0183 フォーマットのテキストデータを取得できる。時刻情報は“hh-mmss.sss”のフォーマットで UTC 時刻を取得できる。ここで、バスの運行情報としては分単位の情報を提供できれば十分であるため、小数点以下の情報を削除する。従って、“hhmmss”フォーマットの情報を伝送する。また、各情報の区切り文字はバスの位置情報としては不要であるため削除する。

(2) 位置情報の変換：

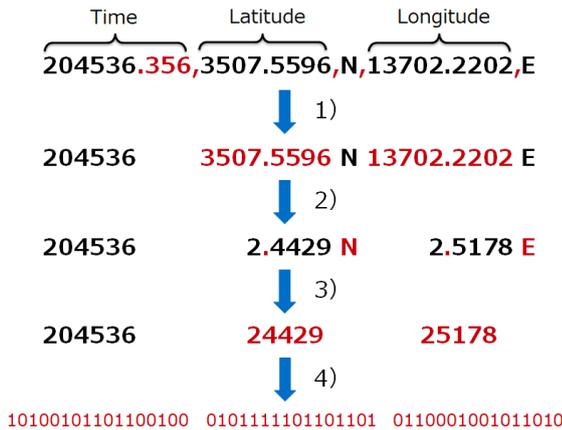


図 2 位置情報圧縮手法

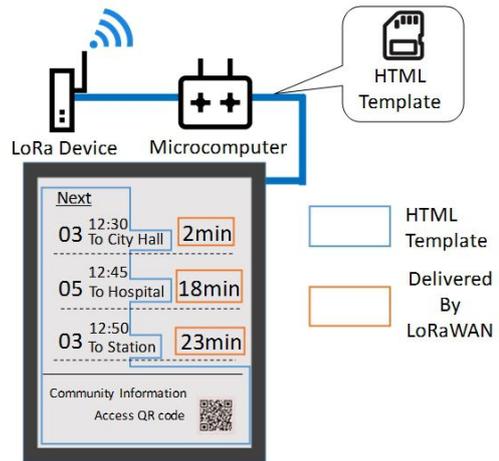


図 4 スマートバス停のシステム構成



図 3 絶対座標から相対座標への変換例

位置情報は“dddmm.mmmmm”フォーマットで取得できるため、テキストデータで伝送する場合、9～10 byte 必要となる。そこで、図 3 に示すように GPS モジュールから取得した絶対位置情報を独自に設定する基準点を原点とした際の相対位置情報“μ.μμμμ”に変換することにより圧縮する。相対位置情報の算出に用いる基準点はバスの運行エリアの端点に設定する。ここで、愛知県日進市のコミュニティバスである「くるりんバス」を例として取り上げると、バス運行エリアの南西端（北緯 3505.1167，西経 13699.7024）を基準とすると、バスの相対座標は GPS から取得した緯度経度から基準点の値を減算することにより算出する。

(3) バス管理サーバ側で補完可能な情報の削除：

位置情報は“μ.μμμμ”フォーマットとなり、小数点は一定の位置となるため削除し、“μμμμμ”フォーマットの情報を伝送する。加えて、N/S と E/W の情報もバスの一運行区間内で変化することは考えにくいいため削除する。なお、日付情報はバス管理サーバ側で補完可能なため、送信データには含まない。

(4) データフォーマットの変換：

テキストデータをバイナリデータへ変換し情報の圧縮が完了する。時刻情報は“hhmmss”フォーマットの情報をバイナリデータへ変換する。また、位置情報は“μμμμμ”フォーマットの情報をバイナリデータへ変換する。

2.4 バス管理サーバにおける情報の補完

バス管理サーバでは受信した位置情報メッセージを 2.3 節に示した手順と逆の手順で 3 つの処理を行い情報の補完を行う。

(1) データフォーマットの変換：

位置情報メッセージに含まれる各種バイナリデータをテキストデータへ変換する。

(2) バス車載器で削除した情報の復元：

まず、現在の日付を追加することで時刻情報の補完が完了する。また、N/S と E/W に加え小数点の情報を補完し、相対座標を復元する。

(3) 位置情報の変換：

得られた相対座標に基準点の値を加算することで GPS モジュールで受信した絶対座標を復元する。以上の処理により車載器側で圧縮され送信された位置情報を復元することが可能である。

2.5 電子ペーパーを利用したスマートバス停

本稿で提案するスマートバス停は通信モジュールである LoRa デバイス、受信した情報から表示コンテンツを作成するマイコンとコンテンツを表示する電子ペーパーから構成される（図 4）。バスの接近および遅延情報を提供するために、バス停名やレイアウト等の静的情報は HTML 形式で作成しておき、あらかじめマイコンに組み込んでおく。バス管理サーバから配信された運行情報等の動的情報は LoRa デバイスで受信し、JSON 形式として外部ファイルに保存し、JavaScript により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 形式の時刻表を表示する。そのため、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。また、電子ペーパーやマイコンは低消費電力で稼働することが可能であるため、太陽光発電で電力を賄うことが可能である。

上記の仕様を応用することにより、災害時に避難情報を

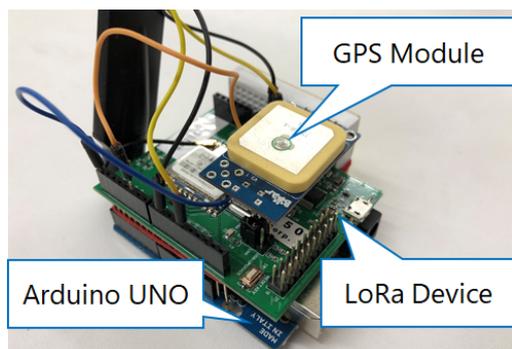


図 5 車載器のプロトタイプ

配信することも可能である。避難情報の HTML ファイルもあらかじめマイコンに組み込んでおき、災害発生時、市役所からの表示切替処理により電子ペーパーの表示コンテンツをバスの時刻表から避難情報に変更する。市役所は災害時に開設された地域避難情報の案内情報をバス管理サーバへアップロードし、LoRaWAN ネットワークを利用して随時避難情報の差分のみをバス停に配信する。

以上のように LoRaWAN ネットワークを利用して、平時はバスの運行情報等の配信、非常時は避難情報の配信を行うことによりコンテンツの形式や操作性を統一したシステムを実現する。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、提案アーキテクチャの利点であるといえる。

3. 実装

3.1 LoRa ネットワークを利用したバスの位置情報収集

提案システムの基本動作を検証するために、名城大学タワー 75 の 15 階にエイビット社製の LoRa ゲートウェイ AL-020 を 1 台設置し、大学周辺に最小規模の LoRaWAN ネットワークを構築した。また、位置情報の収集機能を実装した車載器のプロトタイプを試作した。図 5 に試作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
- Arduino Uno
- GPS モジュール U-blox NEO-7N

位置情報の収集には、Arduino 言語を用いて開発した GPS モジュールから取得した位置情報を 2.3 節に示した手法により圧縮し、5 秒間隔で送信するプログラムを使用した。バス管理サーバ側における位置情報の受信確認には、SORACOM が提供している SORACOM Harvest を使用した [12]。バイナリデータの解析には同社が提供しているバイナリパーサーを使用した。

3.2 電子ペーパーを利用したバス接近・遅延情報

Raspberry Pi 3 および Visionect 社製の 13.3 インチ電子ペーパーを用いてスマートバス停の表示機能を試作し

くるりんばす発車案内 図書館			
現在時刻 16:34 (木)			
路線	発車時刻	次駅	運行状況
赤池線 9便	16:39 定刻	浅間下	あと5分
梅森線 9便	16:52 定刻	白山	あと18分
三本木線 9便	16:52 遅延	藤枝	あと21分

地域情報 新着・イベント情報
日進スポーツセンター休館日
台風接近中 観望

図 6 試作したバス接近・遅延情報

た。Raspberry Pi 3 に Web サーバを稼働させ、LoRaWAN ネットワークを通じて受信することを想定したバスの遅延情報を JSON 形式の外部ファイルに保存し、時刻表に反映した。動作検証の結果、図 6 のようなバス接近・遅延情報を表示し、運行情報が記載された JSON 形式の外部ファイルを書き換えると、時刻表が動的に書き換わることを確認した。また、受信したバスの運行情報とダイヤ情報を比較して、当該バスが定時運行をしているのか、または遅延しているのかを直感的に把握できるように発車時刻の下にバスの運行状況を表示した。

4. 評価

4.1 位置情報の圧縮率

本稿では愛知県日進市のコミュニティバスである「くるりんばす」を例として用いる。くるりんばす運行エリアの最南端の緯度（北緯 3505.1167）と最西端の経度（西経 13699.7024）を基準とし、バスが日進市役所のバス停（北緯 3507.5024，西経 13702.1525）に停車しているとする、相対位置情報は緯度が 2.3857，経度が 2.4501 となる。ここで、相対位置情報は $\max \mu\mu\mu\mu\mu = 63999$ となるため、位置情報はそれぞれ 16 bit に圧縮可能である。表 1 に、時刻情報と位置情報の表現に使用する情報量および圧縮率を示す。表 1 より、提案手法では時刻情報と位置情報を合わせて 49 bit まで圧縮できる（圧縮率 17.5 %）。そのため、バスロケーションシステムにおけるデータメッセージを識別する Information Type フィールド（5 bit）とバス識別情報（16 bit）をパケットに含めても合計パケット長は 70 bit となり、LoRaWAN における制約環境下においても 1

表 1 時刻情報, 位置情報の圧縮率

	圧縮前 [bit]	圧縮後 [bit]	圧縮率 [%]
時刻情報	80	17	21.3
緯度	72	16	22.2
北緯 / 南緯 を表す記号	8	0	—
経度	80	16	20.0
西経 / 東経 を表す記号	8	0	—
区切り文字	32	0	—
合計	280	49	17.5

表 2 走行速度と情報受信率の関係

走行速度 [km/h]	情報受信率 [%]
0~10	87.5
11~20	100.0
21~30	100.0
31~40	100.0
41~50	100.0
51~55	100.0

表 3 各システムの通信コスト

	通信コスト [円]
携帯電話網を利用するシステム	170,520
提案システム	29,940



図 7 位置情報の収集結果

回でバスの位置情報を送信することができた。

4.2 位置情報の収集結果

構築したネットワークにおいて, 図 5 の車載器のプロトタイプを車両に設置し走行車両の位置情報収集実験を行った。実験において, 車両は LoRa ゲートウェイから約 300 m 離れた国道 153 号線の約 750 m の区間を走行した。図 7 に位置情報の収集結果を示す。実験の結果, 位置情報を 27 回送信し, 26 回受信することができた (情報収集率 96.3%)。また, 表 2 に走行速度と情報収集率の関係を示す。表 2 より, 50 km/h 程度までであれば走行車両の位置情報収集が可能であることを確認した。コミュニティバスをはじめとする基幹バスの平均走行速度は 14~15 km/h であり, 最高でも 40 km/h 程度であるといわれている [13] [14]。従って, LoRaWAN を用いて走行するバスの位置情報を収集できることを確認した。

また, 車載器で圧縮送信された車両の位置情報が正常に補充され, 蓄積されていることを SORACOM Harvest において確認した。以上より, 車載器で圧縮された位置情報が LoRaWAN ネットワークを通じて収集され, バス管理サーバ側で正常に復元および蓄積できることを確認した。

4.3 通信コストの算出

従来システムと提案システムの通信コストを算出する。バス路線の規模は, バスが 30 台, バス停が 144 箇所を設置されているとする。また, 携帯電話網は 980 円/月, LoRaWAN は 9,980 円/月であるとする。

まず, 携帯電話網を利用するバスロケーションシステムでは, バスとバス停に設置されている通信端末 174 台分の通信コストが発生する。一方, 提案システムでは, ゲートウェイとバス管理サーバ間のみ通信コストが発生する。また, LoRa ゲートウェイを 3 台設置することで「くるりんばす」運行エリアをカバーすることができるため, 合計 3 台分の通信コストが発生する。

以上より各システムの通信コストは表 3 に示すようになり, LoRaWAN を利用することで携帯電話網を利用するバスロケーションシステムと比較した際に通信コストを 82.44 %削減可能であることがわかった。

4.4 スマートバス停の詳細な評価

4.4.1 スマートバス停の消費電力

2.3 節で述べたように, バスの運行情報は分単位の情報を提供できれば十分である。電子ペーパーは 1 回コンテンツを表示した後は電圧を印加せずにコンテンツを 1 ヶ月でも保持することができ, 表示コンテンツを書き換えるときのみ電力を消費する [15]。そこで, 電子ペーパーの表示コンテンツを 1 分間隔で変更し, 1 時間の電力消費を測定した。図 8 に測定環境を示す。Raspberry Pi 3 と LoRa デバイスの電力消費を測定する際には, 両方を USB 接続し, 1 分間隔で LoRa デバイスからゲートウェイへ通信を行い, 1 時間の積算電流を測定した。

使用機材の消費電力量は電子ペーパーが 200.0 mAh, Raspberry Pi 3 と LoRa デバイスのセットが 265.2 mAh となりスマートバス停の 1 時間の積算電流は 465.2 mAh となる。さらに, 図 9 に 10,000 mAh のバッテリーを搭載した際のスマートバス停とバス停サイネージそれぞれの無充電での駆動可能時間を示す。スマートバス停はバス停サイネージと比較して駆動可能時間が約 1 日延長することがわかった。また, バス停サイネージの消費電力と比較を行った。バス停サイネージは実際に用意することができなかったため, 9.7 インチの iPad で代用した。バス接近・遅延情報を表示し, 1 時間の積算電流を測定した。その結果, バス停サイネージの積算電流は 2,016 mAh となり, スマート



図 8 測定環境 (左: Raspberry Pi 3 と LoRa デバイス, 右: iPad)

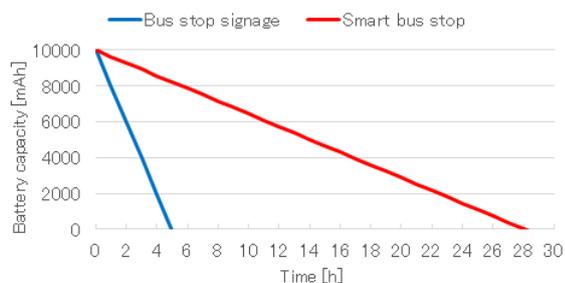


図 9 無充電での駆動可能時間

バス停はバス停サイネージと比較した際に消費電力を 76.9 %削減可能であることがわかった。

例えば、「くるりんばす」におけるバス停「日進市役所」の始発から最終便までの時間は 13 時間 55 分であり、スマートバス停がその期間稼働し続ける場合、1 日の使用機材の消費電力量は 6,474 mAh となる。スマートバス停に 50,000 mAh の大容量モバイルバッテリーを搭載すると、バッテリー充電なしで約 1 週間稼働可能である。そのため、スマートバス停にバッテリーを充電可能な太陽光発電機器を設置することにより、長時間の稼働が可能になる。

4.4.2 電子ペーパーの視認性

電子ペーパーとバス停サイネージを想定したタブレット PC を用いて、日差しの影響による視認性の比較を行った。図 10 に午前中に日差しの下で電子ペーパーとタブレット PC を撮影した写真である。タブレット PC の画面照度を 100 %に設定しているが、日差しの影響で視認性が極めて低いことがわかる。一方、電子ペーパーは日差しの下でも紙媒体と同様な視認性があることを確認した。なお、電子ペーパーは自身で発光しないため、夜間は図 11 のように視認性が低下する。そのため、LED 照明器具などを設置するなどして視認性を確保する必要がある。

4.4.3 表示コンテンツのアクセシビリティ評価

スマートバス停を利用する全ての人に情報提供内容が確実に読み取れるのかを確認するために、アクセシビリティ評価ツールを用いて表示コンテンツの視認性の評価を行った。電子ペーパーで表示するコンテンツに高齢者や色覚異常者にとって区別しづらい色の組み合わせを使用していないかどうかを試作した時刻表を用いて、視認性評価を以下の手順で行った。

(1) PC 上で電子ペーパーで使用するコンテンツをグレー



図 10 屋外での視認性の比較 (左: 電子ペーパー, 右: タブレット PC)



図 11 夜間の視認性の比較 (左: 電子ペーパー, 右: タブレット PC)

スケール化

(2) 検証したい年齢や症状を設定

(3) アクセシビリティ評価ツールを用いて検証

検証ツールには総務省が開発し、無償提供している「みんなのアクセシビリティ評価ツール: miChecker」を使用した [16]。

評価結果の一例として、赤色覚異常者が見る時刻表を図 12 に示す。検証の結果、試作した時刻表には区別しづらい色の組み合わせを使用している箇所は無く、電子ペーパーでも高齢者や色覚異常者に対して問題なく情報を提供できることを確認した。

4.4.4 導入コストの試算

スマートバス停の導入コストを試算し、紙媒体を使用したバス停やバス停サイネージの導入コストと比較を行った。スマートバス停の導入コストは、ダイナミック時刻表の表示機能を実装するための機材である Raspberry Pi 3 と LoRa デバイス、電子ペーパーに加えスマートバス停の骨組み、また、太陽光パネルの価格の合計とする。今回は、防水防塵対策に必要な機材の価格は考慮しない。

また、図 13 に既存バス停とスマートバス停の導入コストの比較を示す。図 13 は、スマートバス停に使用される機材とその単価も含んでいる。スマートバス停の表示媒体の価格は骨組みと電子ペーパーの価格の合計である。紙媒体のバス停の価格はスマートバス停の骨組みのものを、バ

(年齢)	くらりんばす免車案内 図書館				くらりんばす免車案内 図書館				くらりんばす免車案内 図書館			
	路線	発車時刻	次駅	運行状況	路線	発車時刻	次駅	運行状況	路線	発車時刻	次駅	運行状況
60代	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分
	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分
	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分
40代	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分
	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分
	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分
20代	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分	赤池線 4便	15:26 定刻	浅間下	あと2分
	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分	三本木線 3便	15:37 定刻	森林	あと13分
	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分	鶴森線 3便	15:37 遅延	白山	あと14分

図 12 赤色覚異常者の見え方

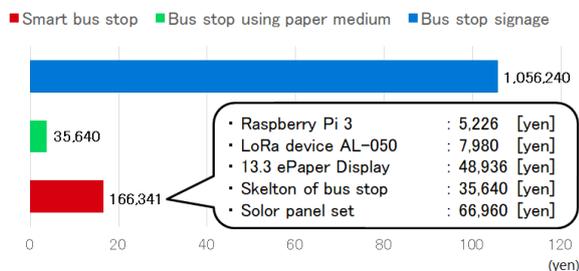


図 13 バス停導入コストの比較

ス停サイネージの価格は岡山県倉敷市に設置されているものを利用する。スマートバス停は、バス停サイネージと比較して 84.2 %削減可能であることがわかった。一方、紙媒体と比較した際にはスマートバス停の方が高額となるが、動的情報の表示が可能であったり、遠隔からのコンテンツの表示切替が可能であることを考慮するとスマートバス停は十分に有用であるといえる。

5. まとめ

本稿では、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である LoRaWAN を用いた低運用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た。提案システムでは、公共の LoRaWAN ネットワークを用

いてバスの位置情報収集や配信を行う。LoRaWAN ネットワークを通じて配信された情報は屋外での視認性と低消費電力性に優れた電子ペーパーを使用するスマートバス停を利用する。小規模な LoRaWAN ネットワークを構築し、提案システムの一部機能を実装し動作検証を行った。その結果、提案システムの実現可能性を確認した。

提案システムは公共の LoRaWAN ネットワークを利用しており、バスロケーションシステムだけでなく、レンタサイクルの利用状況の可視化や、スマートバス停における防災情報の配信などにも応用が可能である。従来のバスロケーションシステムとは異なり、高い汎用性を有しており、スマートシティの実現にも寄与することが期待される。

今後は、実バス路線を用いた実証実験を行い既存システムと比較を行うことで、提案システムの有用性を検証する。

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。

参考文献

[1] 国土交通省:自動車輸送年報, Vol.54, No.13 (2018). <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei>

- /whitepaper/ja/h29/pdf/n3300000.pdf.
- [2] Akihiko, S., Yukimasa, M. and Hidekazu, S.: 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 (EASTS)*, Vol. 10, pp. 1311–1322 (2013). <https://ci.nii.ac.jp/naid/130003384743/>.
 - [3] Kanatani, N., Sasama, T., Kawamura, T. and Sugahara, K.: Development of bus location system using smart phones, *SICE Annual Conference 2010*, pp. 2432–2433 (2010).
 - [4] Shigihara, I., Arai, A., Saitou, O., Kuwahara, Y. and Kamada, M.: A Dynamic Bus Guide Based on Real-Time Bus Locations – A Demonstration Plan, *The 16th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, pp. 436–438 (2013).
 - [5] 大谷達彦: バスロケーションシステムの運用に関する検討, *JICE REPORT*, Vol.9, pp.33–38 (2009). http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/reports/09/jice_rpt09_06.pdf.
 - [6] Askey Computer Corp. launches a new Smart City System that brings the Urban Experience to a new level (2016). <http://www.city.okayama.jp/contents/000110367.pdf>.
 - [7] Nishio, W., Suzuki, H. and Matsumoto, Y.: IoT-based Bus Location System, *Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU)*, pp. 43–44 (2016).
 - [8] Lundin, A. C., Ozkil, A. G. and Schuldt-Jensen, J.: Smart Cities: A Case Study in Waste Monitoring and Management, *Proceedings of The 50th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Vol. 10, pp. 1392–1401 (2017).
 - [9] Varsier, N. and Schwoerer, J.: Capacity limits of LoRaWAN technology for smart metering applications, *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1–6 (2017).
 - [10] Jeon, Y., Ju, H. I. and Yoon, S.: Design of an LPWAN communication module based on secure element for smart parking application, *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1–2 (2018).
 - [11] Carvalho, D. F., Depari, A., Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S. and Sisinni, E.: On the feasibility of mobile sensing and tracking applications based on LPWAN, *Proceedings of 2018 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pp. 1–6 (2018).
 - [12] SORACOM: SORACOM Harvest. <https://soracom.io/en/services/harvest/>.
 - [13] Hamada, S., Imai, R. and Iboshi, Y.: Support for improvement of bus driving using flow line data and verification of road maintenance effect, Technical report, *Kawasaki Journal of Medical Welfare* (2011).
 - [14] Akahane, H., Zaito, Y., Nanbu, S. and Sakamoto, Y.: Estimation of Trajectories of Ordinary Vehicles Based on Data Acquired by a Bus Location System and a Digital Tachograph System, *Proceedings of Japan Society of Traffic Engineers (JSTE)*, Vol. 2, No. 5, pp. 1–10 (2016).
 - [15] Kitamura, T.: Power Saving Technology in the Electronic Paper, *Media Technology and Applications (MTA)*, Vol. 63, No. 4, pp. 415–418 (2009).
 - [16] 総務省: みんなのアクセシビリティ評価ツール:(エムアイチェッカー) Ver.2.0. <http://www.soumu.go.jp/main.sosiki/joho.tsusin/b.free/michecker.html>.