

BLE タグを活用した置忘れ防止装置開発に向けた研究

○下條 博利 佐藤 弘太 鈴木 雅彦 中達 太郎 (東日本旅客鉄道株式会社)

Study for development of mislaying prevention equipment using BLE tag.

○Hirotoshi Shimojo, Kota Sato, Masahiko Suzuki, Taro Nakadachi (East Japan Railway company)

The mislaying confirmation after maintenance work is totally depends on human attention in our railway field.

So we cannot eliminate train operation suspension due to the mislaying some tools or parts around railroad.

Until now, a lot of studies to prevent mislaying had been carried out, but none of them were in practical use.

In this study, at first, we considered the specification of the equipment which will prevent the mislaying by using BLE communication technology. After consideration, we developed a trial equipment and carried out several field test.

As a result, no technical problem were found and we obtained some good evaluation for practical use.

To realize this development into practical use, we may have to improve some function in the application.

キーワード：置忘れ，ヒューマンエラー，BLE タグ，鉄道 GIS

Key Words : mislaying, human error, BLE tag, GIS for railway

1. はじめに

東日本旅客鉄道株式会社（以下：JR 東日本）では、2003 年 10 月 6 日に発生した京浜東北線 大井町～大森間「列車とバックホウバケット衝突」を受けて、同種事故の再発防止対策として保守作業後の作業エリアの確認（以下：跡確認）のルールが制定された。しかし跡確認、員数確認は工事管理者や線閉責任者などの目視確認を基本に実施されており、人に依存している面があるため同種事故撲滅には至っていない。

過去、置忘れを防止する研究開発は実施されてきたが、さまざまな課題があり現場への実用化には至っていない。

そこで本研究では、現場に容易に導入可能な置忘れ防止装置を開発したので紹介する。

2. 過去開発品における課題

JR 東日本社内における過去開発品は、作業前、作業後に RFID リーダーにより工具に取り付けた RFID タグの確認を実施し、持出工具の不足の有無を確認するものであったが、作業環境課では以下の課題があった。

- ・RFID リーダーによる読み取り距離を長くするためには RFID タグ（アクティブタグ）が大きくなる、リーダーを高出力にするために無線局の申請が必要
 - ・RFID リーダーによるデータの読み込みは、RFID タグが工具のどの位置に貼り付けてあるのかを探さねばならず、かつ、読み取ったか否かを都度確認せねばならない
 - ・データの読み込みに時間を要するため、線路閉鎖等終了間際まで工事が長引くと、装置を用いる時間がない
- これらの課題があり実用化には至らなかった。

3. 研究目的

現行の人間の注意力に依存した跡確認、員数確認方法に加えて、過去開発品の課題を解決した置忘れ防止装置による各種確認を補助する方法について検証した結果、Bluetooth Low Energy ビーコン（以下 BLE タグ）の適用が最適であることが判明した。本研究では、汎用の BLE タグと端末（スマートフォン）を用い、BLE タグの特性を活用した置忘れ防止装置を開発し、その実用可能性について検証することを目的とした。

4. BLE タグの特徴

BLE タグの主な特徴として、汎用的な技術で広く普及している、他の同様の技術に比べて大幅な省電力、理論的に同時接続数に制約がない、比較的タグが小型といった特徴がある。

BLE タグを用いて工具などの位置を常に把握できる仕組みを開発することにより、RFID では必要であった能動的な読み取り動作が不要となり、作業性が良く、系統的に簡便にすることで容易に置忘れ防止を図れると考えた。（図 1,図 2）



タグが常に電波を発信

図 1 置き忘れ防止装置機器構成

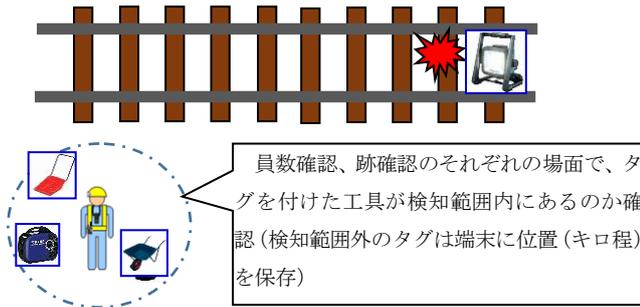


図2 BLE タグを用いた忘れ防止装置イメージ

5 置き忘れ防止装置の仕様検討

5.1 検証用 BLE タグの仕様

現場で使用する BLE タグの適切な発信強度、発信間隔について検証するため、本研究で使用する BLE タグは表 1 に示すタグを選定した。

上記 BLE タグを選定した理由として、発信強度、発信間隔が可変でき、防水防塵性能を有しているためである。

表 1 BLE タグの選定

製品名	マルチアドバタイズBLEビーコン MM-BLEBC3
製造元	サンワサプライ株式会社
写真	
防水防塵性能	IP65
発信強度	-40dBm~4dBmで8段階設定可能
発信間隔	100~5000msから選択可能
寸法	直径50mm×高さ15mm
重量	約26g
バッテリー寿命	数ヶ月~3年程度※設定による

5.2 アプリケーションの仕様検討

(1) タグとの連携

5.1 項にて選定した BLE タグを使用可能なアプリケーションの仕様として表 2 の機能を有することとした。またアプリケーション製作にあたり、用語の定義 (表 3)、動作仕様の決定を行った。(図 3)

尚、端末のキロ程位置は端末の GPS 情報 (経度、緯度) を用いて、鉄道 GIS データを使ってキロ程に変換することとした。

表 2 有する機能

No	有する機能
1	装置端末に使用するBLEタグ名称を編集する機能
2	任意のタグを装置端末と接続する機能
3	接続したタグの監視を行う機能
4	接続したBLEタグが未検知となった際に、未検知となった際の端末キロ程を保存する機能

表 3 用語の定義

No	用語定義	区分	対象			意味
			端末	タグ	機器	
1	忘れ防止装置					「忘れ防止」全体の総称
2	機器	対象			✓	保守作業で使用する各々の機器・機材・工具等
3	使用機器	対象			✓	保守作業において作業単位 (特定の日時・場所) で使用される各々の機器・機材・工具等
4	監視対象機器	対象			✓	保守作業において忘れ防止装置により監視対象する各々の機器・機材・工具等
5	忘れ防止端末	機器	✓			作業員 (責任者) が携帯する忘れ防止のためのスマートフォン
6	タグ	機器		✓		忘れ防止のために使用機器に張り付けるBLEタグ
7	タグ応答	機能		✓		タグに対する信号要求に対し、タグが応答すること
8	タグ反応	機能		✓		タグに対する信号等に対し何らかの感応的反応 (音・光・バイブ等) があること
9	タグバッテリー確認	機能	✓	✓		タグに対し、バッテリー残容量応答要求を行い得られたバッテリー残容量情報
10	検知	状態	✓	✓		忘れ防止端末でタグの信号 (電波) が受信できること
11	未検知	状態	✓	✓		忘れ防止端末でタグの信号 (電波) が受信できないこと
12	登録リスト作成	機能				使用機器を別端末 (パソコン等) でリスト化すること
13	インポート	機能	✓			作成された登録リストを忘れ防止端末の登録リストに展開すること
14	登録リスト	機能	✓			使用機器として登録された機器のリスト
15	監視リスト	機能	✓			監視対象機器として接続される機器のリスト
16	監視モード	機能	✓			監視リストに監視対象機器が接続されており忘れ防止装置として機材の監視を行っている状態 (別タスクとのバックグラウンド処理必要時に)
17	登録	機能	✓			登録リストへ任意の個別タグを登録すること
18	登録解除	機能	✓			登録リストから任意の個別タグを削除すること
19	接続中	状態	✓	✓		監視モードにおいてタグが検知の状態、各々個別タグの状態を指す
20	ロスト	状態	✓	✓		監視モードにおいてタグが未検知の状態、各々個別タグの状態を指す
21	再接続	状態	✓	✓		ロスト状態から接続中状態になること
22	ロスト判定パラメータ	機能	✓			ロスト判定を行う閾値等のパラメータ
23	運用画面	表示	✓			監視モードであり、監視リストが表示される画面
24	マーカー	表示	✓			各画面においてタグの状態を示すマーク
25	ロストキロ程	表示	✓			ロストした時の忘れ防止端末のキロ程
26	マップ画面	表示	✓			監視モードであり、線路、忘れ防止端末の位置、タグの位置 (ロストした位置、接続中のタグ位置) が表示される画面
27	自位置キロ程	表示	✓			マップ画面において表示される忘れ防止端末の位置
28	タグアイコン	表示	✓			タグの位置を示すアイコン
29	検知数	表示	✓			検知されるタグの総数
30	登録数	表示	✓			登録リストに登録されたタグ総数
31	登録済検知数	表示	✓			登録リストに登録済みであり、かつ検知状態であるタグの総数
32	登録済未検知数	表示	✓			登録リストに登録済みであり、かつ未検知状態であるタグの総数
33	監視数	表示	✓			監視リストに登録されたタグ総数
34	接続数	表示	✓			接続中のタグ総数
35	ロスト数	表示	✓			ロストしたタグ総数

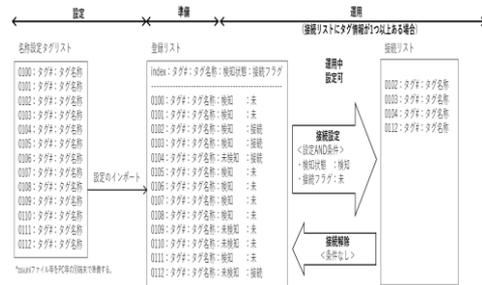


図 3 動作仕様

(2) 画面構成

アプリケーションの画面構成は、登録リスト画面、監視リスト画面、マップ画面の構成とした。(図 4)

登録リスト画面は、装置端末に登録した BLE タグのリスト表示機能である。尚、リスト内の BLE タグについては任意の名称に変更可能である。本研究では別端末 (パソコン) でリスト化し、装置端末にインポートすることとした。

監視リスト画面は、登録リストにある BLE タグのなかから、工事にて使用する BLE タグ (検知中) を接続すること

で、BLE タグを監視する機能である。尚、監視リスト画面は、BLE タグが未検知/ロスト判定となった際の、端末キロ程位置を表示する。

マップ画面は、BLE タグが未検知/ロスト判定となった際の、端末キロ程位置をマップで表示することとした。



図4 アプリケーション画面構成

6. 各種試験

6.1 BLE タグを工具等に取り付けた際の受信可能距離検証 (1) 検証内容

鉄道工事にて使用する工具(発電機、LED スタンド、足場付き脚立)に BLE タグを取り付け、タグの取付位置、高さ、遮蔽の有無による受信可能距離について検証を実施した。また受信距離に影響のある可変パラメータの一部(電波の RSSI 閾値)を変更した際の受信可能距離の変化について考察を実施した。(図5)



図5 BLE タグ取付工具

(2) 検証結果

発電機(図6のA)、LED スタンド(図6のB)、足場付き脚立を立てた状態(図6のC)、足場付き脚立を畳んだ状態(図6のD)にて、BLE タグからの電波受信可能距離について端末の RSSI 閾値を変更し検証を実施した。

RSSI 閾値-86dBm の状態で各工具に取り付けた BLE タグの電波受信可能距離について。発電機(図6のA)は GL からのタグ高さは 200mm、上空方向が遮蔽されておらず電波は 15m まで検知。LED スタンド(図6のB)は GL からのタグ高さは 100mm、上空方向が遮蔽されており 8m まで検知。足場付き脚立を立てた状態(図6のC)は GL からのタグ高さは 530mm、上空方向が遮蔽されており、6m まで検知。足場付き脚立を畳んだ状態(図6のD)は GL からのタグ高さは 100mm、金属で全体を遮蔽されており 2m まで検知となっている。各工具を比較すると、発電機が一番長い距離受信可能となっている。発電機と LED スタンド、発電機と足場付き脚立を立てた状態をそれぞれ比較すると、発電機と LED スタンドの GL からのタグ高さは同程度、また発電機と足場付き脚立では、足場付き脚立の方が高い。しかし発電機の方が受信可能距離が長いので、上空方向の遮蔽の有無が大きく影響を与えていることがわかった。

一部の工具については、受信可能距離が短かったので、RSSI 閾値を-92dBm に変更したところ図6の赤い点のようになり、各工具とも一様に受信可能距離は伸びることが確認できた。

以上より、タグ取付の際は極力上空方向が遮蔽されないように取付を行うこと、また金属に遮蔽されていても、閾値変更により対応できることがわかった。

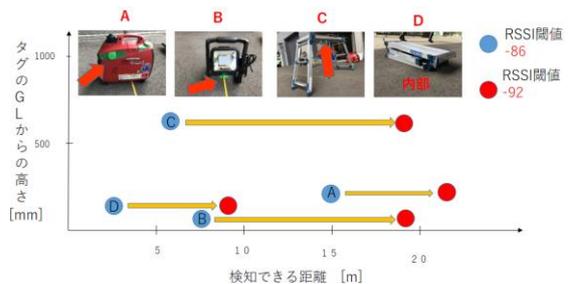


図6 工具にタグに取り付けた際の検証結果

6. 2 実際の作業を想定した模擬試験

(1) 試験内容

鉄道環境下での実用性を検証するため長野新幹線車両セーターにある訓練線にてフィールド試験を行った。さまざまな工具(表 4)に BLE タグを取り付け、工事における流れを模擬し、置忘れ防止装置の実用性について検証を実施した。

試験は、明かり区間、徒歩における作業範囲 50m 程度の修繕作業で置忘れが発生したと想定し、置き忘れた工具につけたタグによる検知の可否を確認する方法とした。なお、作業の流れは、工具積載車両にてタグを 50 個接続し、作業箇所まで移動し作業開始。故意に検電器、接地器、LED スタンド、発電機を線路内に置忘れ、跡確認、員数確認を実施したのち、積載車両に工具を積み込み終了とした。(図 7, 8)

表 4 使用工具

No	タグ取付工具
1	検電器
2	接地器
3	LEDスタンド
4	手持ちライト
5	カケック
6	カケック操作棒
7	梯子
8	LED回転灯
9	通い袋 (工具に付けきれないタグは通い袋に収容)
10	腰道具
11	保護具
12	発電機



図 7 模擬試験



図 8 模擬試験

(2) 試験結果

開発した端末は、跡確認時に置忘れた工具を検知し、アラームを発生し注意喚起を行えることがわかった。(表 5)

員数確認時には持ち物を一括で検知でき、置忘れた工具、また接続の切れた箇所を容易に把握することができた。確認に要する時間は 10 秒~20 秒程度で済み、置忘れ防止、作業の効率化を図れることを確認した。

表 5 アラーム検知位置

RSSI閾値[dBm]	置き忘れ想定機器	アラーム位置
-86	検電器	タグを通り過ぎて、12m位置にてアラーム
	接地器	タグを通り過ぎて、12m位置にてアラーム
	LEDスタンド	タグを通り過ぎて、8m位置にてアラーム
	発電機	タグを通り過ぎて、13m位置にてアラーム

7. まとめ

7. 1 実用可能性の分析・考察

BLE タグを用いた置忘れ防止装置について。検証結果より、技術的な課題はなく目的とした作業性良く員数確認、跡確認を補助することができ置忘れに対して有効に活用できると判断した。

7. 2 導入に向けての改良点

本検証結果より、置忘れ防止装置に使用する BLE タグは発信強度 0dBm、発信間隔 1000ms 程度であれば使用可能なことを確認した。

現場作業員との意見交換を経て置忘れ防止装置アプリケーションについてはより使い勝手を良くするための改良点があることがわかった。

8. おわりに

本研究で開発した BLE 無線技術を用いた置忘れ防止装置は、現場作業の跡確認、員数確認の作業改善に効果が見込めると判断することができた。

今後は実用化に向けて、使用するタグの選定、アプリケーションの改良、置忘れ防止装置を導入する端末について、さらなる検証を実施していきたい。

参考文献

- 1) 佐藤智美, 小宮山哲, 下田雅彦, 劉 渤江, 横田 一正 : Bluetooth の電波強度を用いた位置推定方法の検討, DEIM Forum 2011 B9-4
- 2) 増田悦夫 : 近距離無線通信技術 (Bluetooth LE) の流通・物流への応用, 紀要原稿 2016 年 1 月
- 3) サンワサプライ株式会社 HP (<https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=MM-BL-EBC3> 「2020 年 7 月 15 日アクセス」)