

## 野外の作業員の暑さストレスレベルの把握を可能にする BLE/920 MHz 無線中継システム

Wireless Repeater System Using BLE and 920 MHz-Band Multihop Wireless Communication for Grasping Heat Stress Levels of Outdoor Workers

大喜多 秀紀 OHKITA Hideki 井手 賢一 IDE Kenichi

山間部の建設現場など野外の作業では、夏場の暑さ対策が重要である。数km離れた場所で働く作業員の状態を把握するため、ウェアラブルデバイスに作業員に装着させ、測定した暑さストレスレベルを管理事務所の責任者までデータ中継する方法が考えられるが、現場が携帯電話の圏外であることも多く、別の通信手段が必要となる。

東芝デジタルソリューションズ(株)は、作業員からの暑さストレスレベルを管理事務所までデータ中継するため、Bluetooth® Low Energy (BLE) 及び920 MHz帯通信を用いた無線中継システムを開発した。BLEで受信した信号を到達距離の長い920 MHz無線に変換し、複数の中継器を経由するマルチホップ通信を用いる。山間部など起伏や障害物の多い環境で実地検証した結果、安定した長距離通信が可能であることを確認した。

In the summer season, it is essential for workers at construction sites to take countermeasures against heat. In order to grasp accurate information on the health status of each worker at a distance of several km from the site office, the monitoring of heat stress level data through measurements made by wearable devices is a potential solution. However, as the mobile phones of workers are often located outside the communication range, particularly in mountainous areas, a method of relaying these data to the site office other than by mobile phone is required.

To meet this need, Toshiba Digital Solutions Corporation has developed a wireless repeater system to deliver data on workers' heat stress levels to a remote site office. In this system, the data signals are received from wearable devices by means of Bluetooth® Low Energy (BLE) communication, converted to 920 MHz-band signals, which can travel over long distances, and transferred to a terminal at the site office via multihop wireless communication using multiple repeaters. From the results of on-site verification tests in environments with a large number of obstacles, we have confirmed that this system achieves stable long-distance communication.

### 1. まえがき

太陽光発電所の建設現場など日当たりの良い屋外の建設現場では、特に夏場の暑さ対策が重要となる。東芝グループは、暑さストレスレベルの推定アルゴリズムと暑さストレスレベルを受信する管理端末ソフトウェアを試作し、マルチセンシングバンドを使った暑さ対策ソリューションの研究開発を進めている。マルチセンシングバンドは、現場の作業員の腕に装着して使用するウェアラブルデバイスになっており、作業員の暑さストレスレベルを測定し、暑さストレスレベルが高くなると作業員に通知する。

一方、現場の管理責任者は、通常作業現場から離れた管理事務所まで業務を行っており、作業員の暑さストレスレベルを直接把握することができない。これを解決するため、暑さストレスレベルを管理事務所まで通知する方法が考えられるが、山間部などの建設現場は、携帯電話の圏外であることも多く、携帯電話回線を用いない、別の通信手段が必要となる。

その課題を解決するため、東芝デジタルソリューションズ(株)は、作業員の装着したマルチセンシングバンドがBLE

信号で発信する暑さストレスレベルを、920 MHz帯無線を経由して、管理事務所まで中継する、BLE/920 MHz無線中継システムを開発し、太陽光発電所の建設現場で実地検証を行った。

ここでは、開発した無線中継システムの概要、及び太陽光発電所の建設現場における実地検証の内容について述べる。

### 2. 無線中継システムの概要

図1にBLE/920 MHz無線中継システムの全体構成を示す。中継器は、管理事務所や、作業現場内に複数ある現場詰め所、その間の中継ポイントなどに、必要に応じて配置する。太陽光発電所の建設現場は、1 km四方から数km四方にわたる場合もあり、中継器の設置数は、建設現場の広さや見通しなどにより適切に調整される。

建設現場では、作業現場の近辺に作業員が休憩するための現場詰め所が複数箇所に配置されている。作業員が、休憩などで現場詰め所に戻った際に、各現場詰め所に配置された中継器が、マルチセンシングバンドの暑さストレスレベルをBLEの無線経由で取得し、920 MHz帯の無線信号に

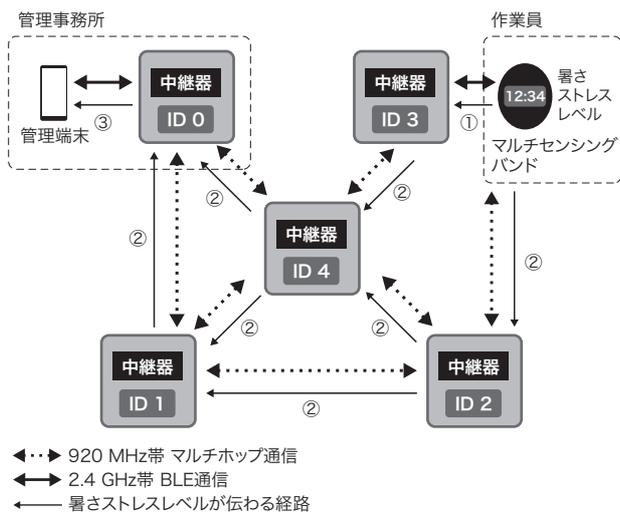


図1. 無線中継システムの全体構成

暑さストレスレベルの長距離（数百mから数km）伝送に、920 MHz帯特定小電力無線上のマルチホップ通信を用いている。

Overview of wireless repeater system

載せて、管理事務所まで通知する。中継器は、マルチホップ方式（中継器から別の中継器へとバケツリレーの要領で情報を伝送する方式）を構成することで、管理事務所までの距離が長い場合や、見通しが悪く直線距離での通信が困難な場合でも、適切な通信経路を構築できる。

920 MHz帯無線で管理事務所まで送信された暑さストレスレベルは、管理事務所に設置した中継器で、BLEの信号に変換され、管理事務所の管理端末に通知される。管理責任者は、管理端末を参照することで、作業現場の暑さストレスレベルを、管理事務所から確認できる。

### 3. 無線中継システムの構成

#### 3.1 システム構成

開発した無線中継システムは、マルチセンシングバンドで計測された暑さストレスレベルを、管理事務所内にある表示デバイスである管理端末まで伝送する（図1）。

構成機器は、マルチセンシングバンド、中継器、及び管理端末、の三つである。

マルチセンシングバンドは、作業員が装着する機器であり、複数台存在する。中継器には2種類があり、管理端末と通信するための1台（図1中のID（識別番号）0）と、マルチセンシングバンドと通信し、かつマルチホップ通信における中継動作も行う中継器群（ID 1, 2, 3, 4, …）である。ID 0は、中継動作は行わず、ID 0に発着するメッセージの送受信だけを行う。管理端末は、ID 0と通信する1台である。

ここで、図1を用いて、マルチセンシングバンドから管理

端末まで暑さストレスレベルが伝送される様子を説明する。

初めに、作業員がID 3の近傍に入ると、マルチセンシングバンドからBLE通信によって、暑さストレスレベルがID 3へ伝送される（図1の①）。

次に、この情報は、ID 3から管理事務所に設置されたID 0まで、920 MHz帯特定小電力無線を用いたマルチホップ通信によって、順次中継される（図1の②）。

ID 3からID 0まで、1ホップ（1回の無線伝送）で届かない場合であっても、中継器群（ID 1, 2, 3, 4, …）を経由して複数のホップ数で宛先のID 0まで伝送する。

最後に、暑さストレスレベルは、ID 0から管理端末へBLE通信で伝送される（図1の③）。

#### 3.2 中継器の設置

中継器は、図2に示すように、中継器コアユニットと電源部で構成される。

中継器コアユニットには、2.4 GHz帯BLE及び920 MHz帯マルチホップ通信用のアンテナに加え、それぞれの無線通信部が内蔵されている。

建設現場に設置する中継器は、アンテナ地上高を確保するため、中継器コアユニットを長さ4 mのポールの先端部分に取り付けた。電源部は、内蔵する充電式バッテリーの交換が容易な高さに取り付けた。

また、管理事務所に設置する中継器は、中継器コアユニットを事務所2階の窓内中央に設置して高さを確保し、電源はAC（交流）アダプターから取るようにした。

#### 3.3 中継器のハードウェア構成

中継器コアユニットは、BLE ICと、920 MHz帯特定小電力無線通信のリモートコントロール用RF（高周波）送受信ICを用いる構成とした（図3）。



図2. 中継器

中継器は、コアユニットと電源部から成る。コアユニットは、2.4 GHz帯BLE及び920 MHz帯マルチホップ通信用のアンテナと無線通信部を、電源ユニットは、充電式バッテリーを格納している。

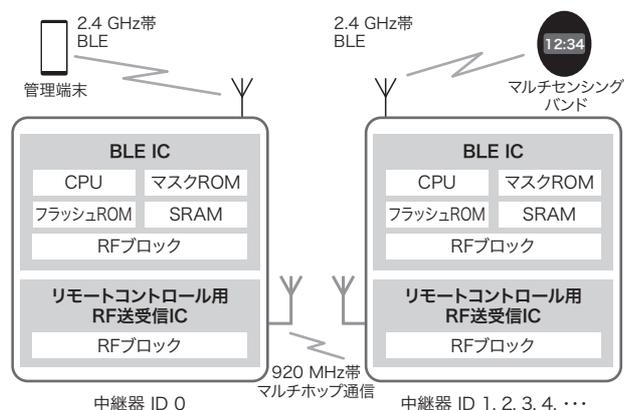
Repeater consisting of core unit and power unit

BLE ICに内蔵されているCPUによって、BLEの通信制御に加え、リモートコントロール用RF送受信ICの制御や中継器アプリケーション機能を実行する。

### 3.4 中継器のソフトウェア構成

図4は、中継器コアユニットのソフトウェア構成で、以下の機能を備える。

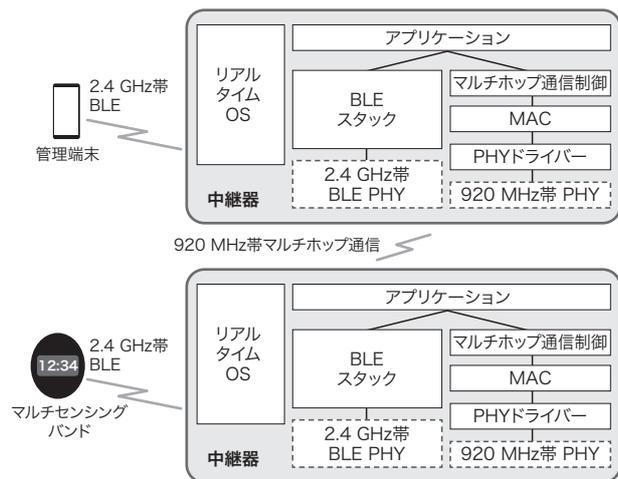
- (1) 2.4 GHz帯 BLE通信機能
  - (a) 暑さストレスレベル受信機能 マルチセンシングバンドからの受信 (ID 0以外の中継器)



SRAM : Static RAM

図3. 中継器コアユニットのハードウェア構成

BLE ICと、920 MHz帯通信のリモートコントロール用RF送受信ICから成る。  
Hardware configuration of core unit



OS : 基本ソフトウェア  
MAC : Media Access Control (メディアアクセス制御)  
PHY : Physical Layer (物理層)

図4. 中継器コアユニットのソフトウェア構成

BLEスタックは、LSIの内蔵ライブラリーを利用し、920 MHz帯マルチホップ通信部は、独自方式を実装した。

Software configuration of core unit

- (b) 暑さストレスレベル送信機能 管理端末への送信 (ID 0)
  - (c) メンテナンス用通信機能 中継器の設置時にメンテナンス用端末と通信
- (2) 920 MHz帯無線通信機能
- (a) マルチホップ通信機能
  - (b) 受信信号強度 (RSSI : Received Signal Strength Indicator) 収集機能

暑さストレスレベルの送信/受信、中継器のメンテナンス用通信は、GATT (Generic Attribute Profile)<sup>(注1)</sup> 通信上に実装した。

マルチホップ通信機能は、920 MHz帯特定小電力無線上に独自の方式を実装した。

RSSI収集機能は、指定した中継器がほかの中継器からメッセージを受信したときのRSSIを、メンテナンス用通信機能を用いて収集する仕組みである。中継器を設置する際、ほかの中継器と良好に通信できるように、920 MHz帯アンテナの場所や、高さ、方向などを調整する指標として、RSSIを用いた。

## 4. 実地検証

2018年夏の約2か月間、太陽光発電所の建設現場に中継器を設置し、作業員にマルチセンシングバンドを装着してもらい、実地検証を行った(図5)。

実地検証を行った太陽光発電所は、約1.5 km四方の広さで、比較的起伏の多い場所に立地している。山間部のため、携帯電話の電波は届かない。実地検証時は、管理事



図5. 中継器の実地検証

現場詰め所の中継器は、詰め所の角にポールを固定して設置した。アンテナ部分は、見通しを確保できるように屋根より高い位置に配置し、電源部は地上1 m付近に配置してある。

On-site verification of repeater

(注1) BLEによる通信での通信規定。データ転送の主軸となる。

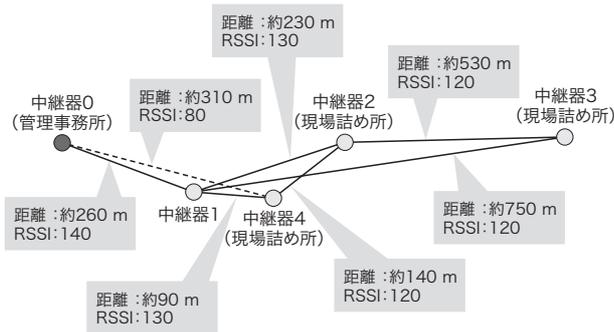


図6. 実地検証時の中継器の配置

各中継器は、管理事務所と各現場詰め所に配置し、中継器間の距離は、最大で750 m程度であった。どの通信経路もおおむねRSSIが120以上の安定した通信経路を確保できている。

Overall layout of repeaters installed at solar power plant for on-site verification including received signal strength indicator (RSSI) values

務所のほかに、作業員が休憩時などに立ち寄る現場詰め所が、建設現場内に3か所設置されていた。管理事務所から最も離れた現場詰め所までは、直線距離で約1 kmの距離があった。

図6に、実地検証時の中継器配置を示す。中継器は、管理事務所、3か所の現場詰め所、管理事務所と現場詰め所間の中継部分の計5か所に設置した。中継器間の距離は、近い所で約90 m、通信が確認できた最長区間で約750 mある。RSSIは、おおむね120～140の良好な値を示している。今回の実地検証では、100以上のRSSIを通信品質の目安としており、現場詰め所から管理事務所まで、安定した通信経路を確保できていると言える。

図7に、管理事務所から事務所が一番近い現場詰め所間に設置した中継器のRSSI測定結果を示す。管理事務所と太陽光発電所の建設現場には高低差があり、現場詰め所を直接見通すことができない。このため、管理事務所と一番近い現場詰め所間のRSSIは80程度となり、まれに通信できることがあるものの、安定した通信品質は得られなかった。そこで、中継器0と中継器4の間の高台に、中継器1を追加設置することで、RSSIが130～140と安定した通信品質が得られる通信経路を確保できた。

## 5. あとがき

夏の暑さ対策ソリューションのため、マルチセンシングバンドからの暑さストレスレベルを管理事務所まで中継する、BLE/920 MHz無線中継システムについて述べた。また、開発した無線中継システムを実際の太陽光発電所の建設現場に適用し、山間部の起伏のある土地のような、電波の到達しにくい場所でも、中継器の配置を工夫して経路を確保

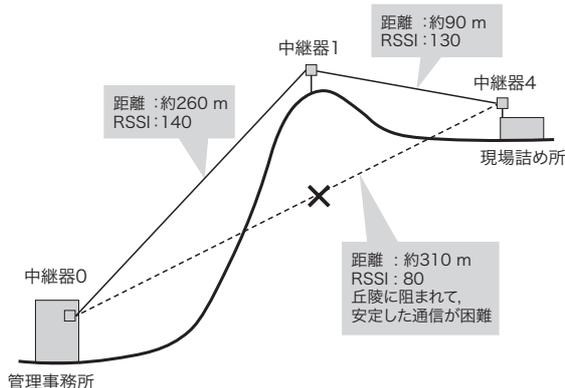


図7. 管理事務所と現場詰め所間のRSSI測定結果

管理事務所と現場詰め所間の高低差の影響を回避するため、高台に中継専用の中継器を追加設置することで、安定した通信経路を確保できた。

Results of RSSI measurements between site office and local stations

することで、安定した通信が行えることを確認した。

開発した無線中継システムは、2019年夏に、今回は異なる太陽光発電所の建設現場での実地検証が予定されており、異なる立地条件での検証を通じて、更に中継システムの改良を進めながら、有効性を確認していく。

・Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。



大喜多 秀紀 OHKITA Hideki  
東芝デジタルソリューションズ(株)  
ソフトウェア& AIテクノロジーセンター AIシステム技術開発部  
Toshiba Digital Solutions Corp.



井手 賢一 IDE Kenichi  
東芝デジタルソリューションズ(株)  
ソフトウェア& AIテクノロジーセンター AIシステム技術開発部  
電子情報通信学会会員  
Toshiba Digital Solutions Corp.