

## 新国際無線通信規格IEEE 802.15.10最終仕様に対応した メッシュ型多段中継無線機の開発に成功

### ポイント

- 電源の供給が制限された環境にあるセンサーからの情報を、低消費電力で収集できる、メッシュ型の多段中継無線機を開発。
- 新国際無線通信規格IEEE 802.15.10に対応したデータリンク層ルーティング方式(L2R)を、世界で初めて搭載。
- 送信機会均等アルゴリズムを導入し、特定の端末に中継が集中しないように制御が可能。

内閣府 総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）が主導する革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の原田 博司 プログラム・マネージャー（PM）の研究開発プログラムの一環として、京都大学 大学院情報学研究科 原田 博司 教授の研究グループは、数km四方内にある数百のセンサーからの情報を、IP（インターネットプロトコル）を利用しないメッシュ型の多段中継を利用することで、低消費電力で収集できる無線機を開発しました。この無線機は、IoT（Internet of Things: “モノ”のインターネット）向け新国際無線通信規格IEEE 802.15.10<sup>注1</sup>最終仕様に世界で初めて対応しています。

既存の多段中継可能な無線センサーネットワークのうち、国際標準化されたものの多くは、IPなどのネットワーク層でのルーティング（経路選択）をベースにしています。そのため、データパケット長が長く、工場や防災現場、農地などの電源供給が制限された環境にあるセンサーやモニターでは、電池寿命が短いことが課題でした。

今回、平成29年1月に制定されたデータリンク層ルーティング方式(L2R)の新国際無線規格IEEE 802.15.10を採用した無線機を、世界で初めて実現することにより、低消費電力でメッシュ型多段中継無線ネットワークを実現しました。さらに、特定の端末に中継が集中することを防ぐ目的で、IEEE 802.15.10標準を変更せず、すむ新しい送信機会均等アルゴリズムを開発し、この無線機に導入しました。このアルゴリズムを導入することにより、導入前と比べ消費電力はそのまま送信回数の偏りを最大50%程度低減することが可能になります。

この無線機の開発により、電源供給が制限された環境におけるIoTの開発が加速されると期待されます。なお、本研究のIEEE 802.15.10に対応した通信プロトコルを実現する通信ソフトウェアは、京都大学より技術移転が行われる予定です。

本成果は、以下のプログラム・研究開発課題によって得られました。

内閣府革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)

プログラム・マネージャー：原田 博司

研究開発プログラム：「社会リスクを低減する超ビッグデータプラットフォーム」

研究開発課題：「超ビッグデータ創出ドライバ用システム統合技術の研究開発」  
「超ビッグデータ創出ドライバ狭域系無線機の研究開発」

研究開発責任者：原田 博司（京都大学 大学院情報学研究科 教授）

研究期間：平成28年度～平成30年度

本研究開発課題では、数km四方内に存在する数万のメーターやセンサーからデータ収集や機器制御を行う、超ビッグデータを創出可能な低消費電力無線機の研究開発に取り組んでいます。

## ■原田 博司 プログラム・マネージャーのコメント■



社会リスクを低減する超ビッグデータプラットフォームを構築するためには各種センサー、メーター、モニターから創出されたビッグデータを効率的に処理エンジンに伝送する必要があります。しかし、電源供給が制限された環境におけるセンサーなどでは、比較的短いデータ長で各端末からの送信回数を一定化することができる多段中継通信国際標準規格が必要になります。今回開発した無線機はこのすべてを満たす国際無線通信規格IEEE 802.15.10を搭載し、さらに特定の端末だけ電力消費が大きくなならない送信機会均等アルゴリズムが追加搭載されています。この無線機開発の成功により、電源供給が制限された環境におけるIoT（“モノ”のインターネット）の開発が加速されると期待されます。

### <研究の背景と経緯>

ImPACT 原田 博司 プログラム・マネージャーの研究開発プログラムでは、現状のビッグデータ規模をはるかに凌ぐ「超ビッグデータ」の創出・活用を可能とする超ビッグデータプラットフォームを構築し、この技術による新たな社会応用として、製造工場へのサイバー攻撃、故障の撲滅を目指すファクトリセキュリティと予見先取ヘルスケア・医療サービスを目指すヘルスセキュリティに関する研究開発を行っています。

この超ビッグデータプラットフォームの実現のためには各種センサー、メーター、モニターなどの計測器に無線デバイスを備え、創出されたビッグデータをインターネットなどを介して効率的に処理エンジンに伝送する必要があります。これは、IoTとも呼ばれています。

この無線デバイスによるネットワーク実現のためには、高品質で長距離かつ安全で低消費電力なネットワーク技術が必要となります。こうした中、京都大学 原田 博司 教授は低消費電力でIoTを実現する無線伝送方式を開発し、米国の無線標準規格IEEE 802.15.4g<sup>注2)</sup>として国際標準化をしました。そして、IEEE 802.15.4g規格の低消費電力無線伝送技術とIPv6による多段中継技術を利用した相互運用可能な新国際無線通信規格Wi-SUN FAN<sup>注3)</sup>に準拠した無線機の開発に成功し、平成27年11月14日に報道発表しました。

このWi-SUN FANは、米国IEEE 802.15.4/4g/4eを無線伝送部に採用し、米国IETF 6LowPAN<sup>注4)</sup>を介してIPv6パケットの伝送を可能とし、米国IEEE RPL(IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy network)による多段中継技術、米国IEEE 802.1xの認証方式を利用した、通常の無線LANと同様の手軽さでIoTを実現できるシステムです(図1)。しかし、IPなどのネットワーク層でのルーティングをベースにしたものであるため、データパケット長が長くなり、工場や防災現場、農地など、電源供給が制限された環境におけるセンサーやモニターでは電池寿命が短いことが課題となっていました。そこで、Wi-SUN FANほどの手軽さはないものの、データパケット長が比較的短いデータリンク層での低消費電力なルーティング、いわゆるL2Rの国際無線通信規格策定が急務とされていました。

米国IEEE 802委員会においても、このL2Rの標準化を行うIEEE 802.15.10委員会が立ち上がり、京都大学は情報通信研究機構と共同で技術提案を行い、その平成29年1月に標準化が終了しました。しかし、その最終承認された仕様に対応した無線機は開発されていませんでした。

### <研究の内容>

今回の研究内容は大きく2つに分けることができます。まず、IEEE 802.15.10最終標準仕様に対応した基礎無線機(図2)を世界で初めて開発し、同無線機を複数台用いて、多段中継を利用したIP通信を行う基礎実験に成功しました(図3)。

この無線機は、以下の機能を持ちます。Wi-SUN FANとの比較を図1に示します。

- 日本で運用上必要となるIEEE 802.15.4/4g/4eに対応した物理層、データリンク(MAC)層
- IEEE 802.15.10を用いたデータリンク層でのルーティングを用いたメッシュ型多段中継の実現

IEEE 802.15.10は低消費電力なメッシュ型多段中継の実現はできませんが、広域に数百のセンサー端末がある場合(図4)、特定の通信品質の良い端末が中継点となってしまう、各端末の送信回数に偏りが出てくること明らかにになりました(図5上)。そこで、IEEE 802.15.10標準のインターフェースを保ちつつ、累積送信回数を加味したルーティング法を京都大学で新たに開発しました。このルーティング法を用いることにより、用いない場合と比べ送信回数の偏りを最大50%程度低減することが計算機シミュレーションで確認できました(図5下)。この通信プロトコルも今回開発した無線機に搭載しました。

### <今後の展開>

この無線機の開発により、工場や防災現場、農地など、電源供給が制限された環境におけるIoTの開発が加速されると期待されます。今後は、このような環境での屋外伝送の特性評価を行います。また、Wi-SUN アライアンス<sup>注5)</sup>内の電源供給が制限された環境におけるIoT用通信仕様の策定を行うRLMM(Resource Limited Monitoring and Management)ワーキンググループにおいて、製造企業間の相互接続性認証のための仕様を策定していく予定です。

なお、本研究のIEEE 802.15.10に対応した通信プロトコルを実現する通信ソフトウェアは、京都大学より技術移転が行われる予定です。

### <参考図>

	IEEE 802.15.10による 多段中継(今回の開発)	Wi-SUN FANによる 多段中継
アプリケーション層	各種センサー、 メーター、モニター	各種センサー、 メーター、モニター
トランスポート層		UDP
ネットワーク層		ルーティング: RPL IPv6, ICMPv6
アダプテーション層		6LoWPAN
データリンク層 (MAC 層)	ルーティング: IEEE 802.15.10 IEEE 802.15.4e (暗号化)	IEEE 802.15.4e (暗号化)
物理層	IEEE 802.15.4g (920MHz, FSK, 50, 100 kbps)	

図1 開発した無線機の通信スタックおよび既開発のWi-SUN FAN通信スタックとの比較  
IP層が無いためにシンプルな構成に。



図2 開発した無線機の外観(アクセスポイントとしても使用可能)  
周波数は920MHz帯、変調方式はFSKを利用。伝送速度は50kbpsもしくは100kbps。

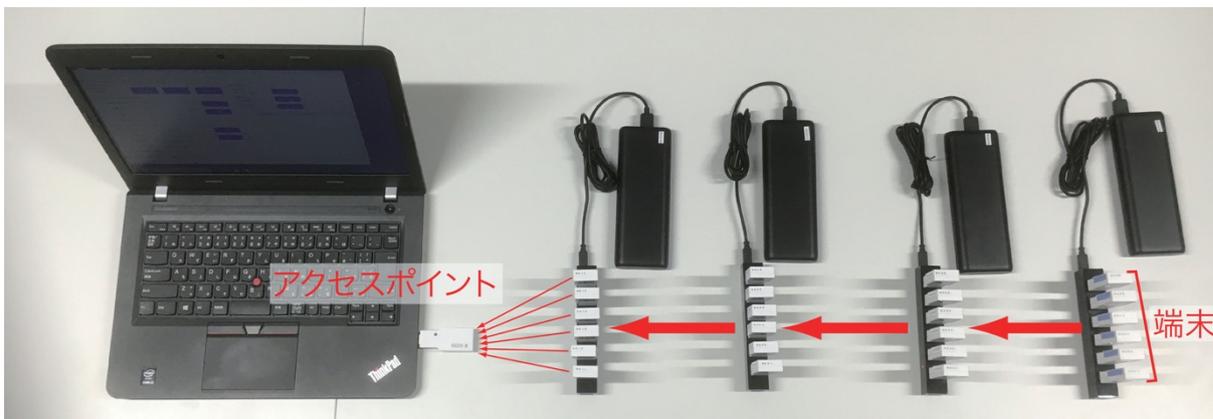


図3 開発した無線機を用いた多段中継実験  
各端末がアクセスポイントへ1段近い6台の端末の中から送信先を選択し、その送信先の端末からメッシュ型多段中継で伝送。

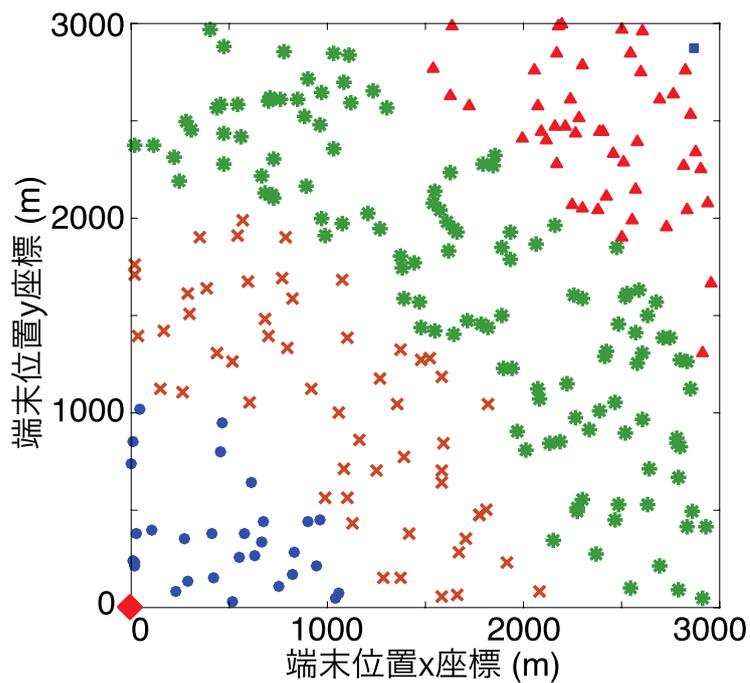


図4 IEEE 802.15.10 で想定する端末設置環境の例  
3km四方に256端末が存在し、左下のアクセスポイントに該当するルート(Root)にデータを送信。

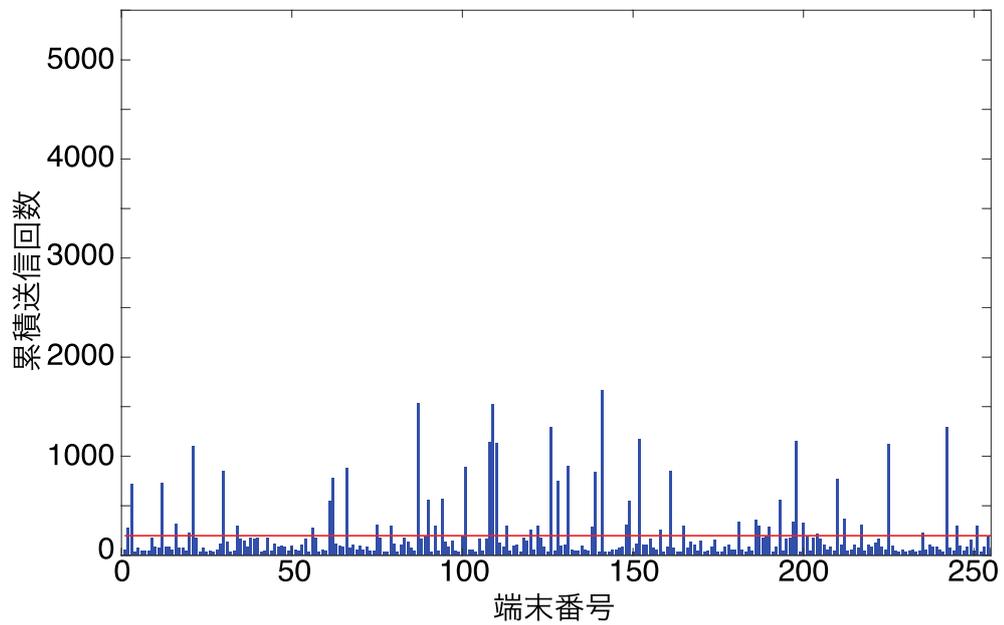
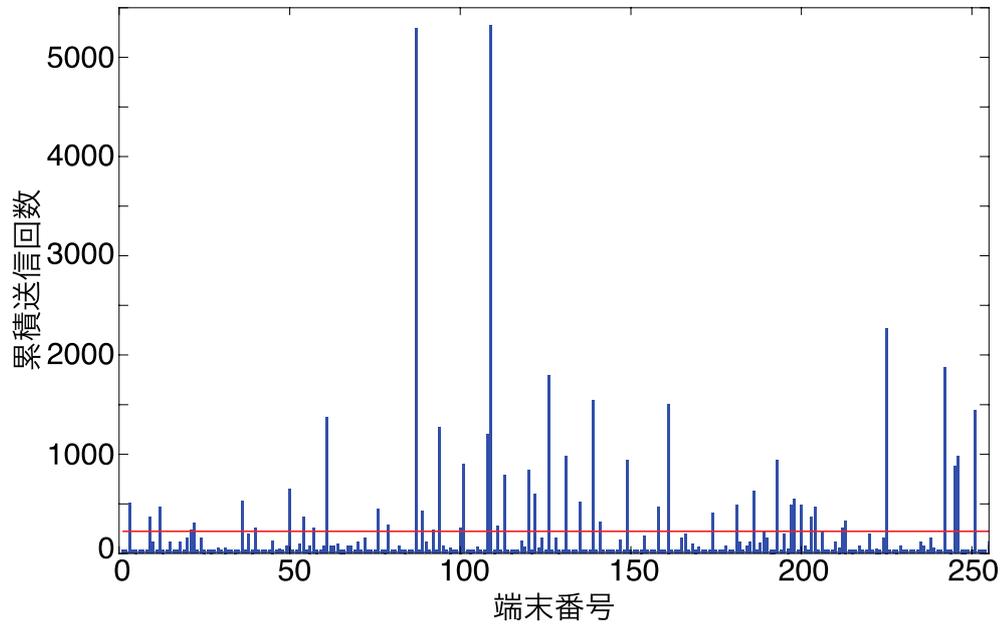


図5 IEEE 802.15.10および京都大学が開発した端末機会均等ルーティング法を追加したときの特性(計算機シミュレーションによる結果)

上:IEEE 802.15.10のみを用いた場合の通信回数の偏り(特定の番号の端末だけ中継局になる頻度が上がり、送信回数が多い)。

下:京都大学が開発したルーティング法を追加した場合の特性。偏りの抑制が見えている。

## <用語解説>

### 注1)IEEE 802.15.10

IEEE 802.15.4gに代表される物理層およびIEEE 802.15.4eに代表されるデータリンク(MAC)層を持つIEEE 802.15.4標準の無線伝送部を用い、データリンク層のみでメッシュ型の多段中継無線通信を行うためのルーティング法に関する標準化を行う委員会。平成29年1月にその標準化が終了した。

### 注2)IEEE 802.15.4g

屋外で利用可能なセンサーやメーターに搭載し、エネルギー管理などを行うために必要となる無線通信伝送部(物理層)の国際標準規格。1ホップ最大1km程度の伝送が都市部でも実現でき、低消費電力にIPv6などの情報を伝送できる特長を持つ。米国IEEE 802.15委員会にて制定。京都大学 原田 博司 教授は、この標準化委員会の副議長であり、フレーム同期部コードが強制規格に採用されるなど技術的なメジャーコントリビューターである。

### 注3)Wi-SUN FAN(Field Area Network)

Wi-SUNアライアンスが制定するスマートメータリング、配電自動化を実現するスマートグリッドおよび、インフラ管理、高度道路交通システム、スマート照明に代表されるスマートシティを無線で実現するためのセンサーやメーターに搭載するIPv6で多段中継可能な通信仕様。2016年5月16日にバージョン1が制定。Wi-SUN FANワーキンググループにて制定。物理層部にIEEE 802.15.4g、データリンク層に IEEE 802.15.4/4e、アダプテーション層にIETF 6LoWPANとしてネットワーク層にIPv6、ICMPv6、トランスポート層にUDP、そして認証方式としてIEEE 802.1xを採用している。また製造ベンダー間の相互接続性を担保するための試験仕様なども提供されている。

### 注4) IETF 6LoWPAN

IEEE802.15.4で標準化された物理層、MAC層方式で効率的にIPv6のパケットを伝送するためのインターフェースをするための仕様。IETFで規格化されている。IPv6はアドレス等を記載するヘッダ部分の情報が大きく、センサー系の無線システムで伝送するために負荷がかかる。そのため、ヘッダ部分を圧縮することを行う。また、IPv6のデータ部分の情報部分が大きくなった場合は、分割して伝送することを行う。

### 注5)Wi-SUNアライアンス

IEEE 802.15.4g規格をベースにエネルギー管理、防災、工場などの各種アプリケーションを実現するために他のオープンな国際標準規格と融合させ、製造メーカー間で相互接続可能な国際無線通信規格「Wi-SUN Profile」を制定する任意団体。現在会員企業は全世界に100社以上。スマートメーターと宅内エネルギー管理システム(HEMS)との間の通信規格「Wi-SUN ECHONET」は全国の電力会社に採用。今後は東京電力管内で2000万台以上出荷される予定。詳細は <http://www.wi-sun.org> を参照。