

革新的 IoT 無線が建設現場やインフラ保全を変える UNISONet の仕組みと活用事例

大谷直也

日本は業界を問わず人口減少に伴う労働力不足に直面している。現場作業やインフラ保全においては作業の効率化や属人的な手法からの脱却が急務であり、その手段として IoT システムの活用が注目されている。IoT 無線の一種である UNISONet は高い省電力性による電池駆動や、マルチホップ技術による広範囲通信といった特徴により、建設現場やインフラ保全において効率的なデータ収集や監視への活用が期待される。本稿では、本 IoT 無線の仕組みや活用事例を詳述する。

キーワード：加速度計、傾斜計、無線式、構造ヘルスマモニタリング、インフラ保全、地盤調査、遠隔監視、IoT

1. はじめに

日本国内では人口減少が進行し、あらゆる業界で人手不足が深刻化している。さらに、作業者の高齢化も問題をより深刻化させている。また、インフラの保全においては、例えば、国内の多くの橋が同時に耐用年数を迎えるという状況にある。これらのことから、建設現場やインフラ保全において、従来行われてきた人手のかかる作業や属人的な手法から脱却しなければ、これらの活動を継続することは困難と考えられる。

一方で、建設業の労働生産性は、製造業と比較して、約半分に留まっている¹⁾。効率的で効果的な管理を実現する技術を活用して、属人的な手法から脱却することで生産性を向上させることが喫緊の課題となっている。限られた人材と資源の中で、建設業界の将来を支え、持続可能なインフラ管理を実現していく必要がある。

2. UNISONet (ユニゾネット) とは

(1) UNISONet (以下、本 IoT 無線) の仕組み

IoT 無線の一種である本 IoT 無線は実現場での使用に耐えうる様々な特徴により、建設現場やインフラ保全において効率的なデータ収集や監視への活用が期待される。

本 IoT 無線は、革新的なデータ転送技術である「同時送信フラッディング」を世界で始めて産業実装した省電力マルチホップ無線である。マルチホップ無線とは、パケットリレー方式によりデータを広範囲に伝達する通信技術であり、従来主流であったスター型ネット

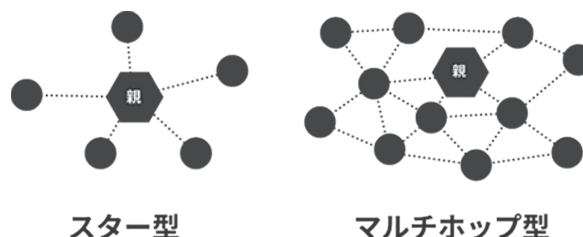


図-1 ネットワーク構造

ワークにおいて存在した「通信速度」と「通信範囲」のトレードオフを解決することが可能である(図-1)。

(2) 本 IoT 無線の強み

本 IoT 無線は同時送信フラッディングにより、従来 IoT 無線では同時に実現することが難しかった7つの特長を同時に実現している。

(a) 環境変化に対するロバスト性

本 IoT 無線はその時々利用可能なすべてのリンクを活用し通信を行うことで、電波環境の変動や機器の移動にも即座に対応する。

(b) バッテリー駆動を実現する優れた省電力性能

時刻同期に基づいた精緻な電力制御により、バッテリーでの長期間の動作を実現する。

(c) センサデータを転送可能なスピード

転送効率が高く、最大 24 kbps のスループットを達成しており、大容量データの送信にも対応可能である。

(d) 子機への指示を可能とする双方向通信

本 IoT 無線は双方向通信において低遅延を実現し、特に省電力 IoT 無線が苦手とする下り通信も 1 秒以下の遅延で処理できるため、親機からのパラメータ設

定やインタラクティブなアプリケーションの利用が可能となる。

(e) 再送制御によるデータロスの防止

下り通信における再送制御をプロトコルに標準搭載しているため、データロスを許容しないアプリケーションにも適している。

(f) ネットワーク機器間での時刻同期

各機器は親機の時刻にマイクロ秒レベルで同期して動作し、センサ機器間の同期計測を可能にする。

(g) 大規模なシステムを実現する多数収容性能

本IoT無線は1ネットワークに200台以上の機器を接続可能であり、広範囲で大規模なシステム構築を実現することができる。

これらの特徴により、従来のIoT無線通信技術が抱えていた課題を解決し、より効率的で安定した通信環境を提供する。本IoT無線の周波数帯ごとの仕様を表—1に示す。

(3) 建設現場やインフラ保全における本IoT無線の活用

建設現場やインフラ保全における本IoT無線の活用は、その特徴的な通信技術により、現場の効率化と安全性向上に大きく貢献すると期待される。まず、建設現場においては、本IoT無線が持つ電波環境の変動に対する強い耐性が重要である。建設現場は、建機、建材、仮設構造物などの障害物が多く、工事の進捗により周囲の状況は日々変化するが、本IoT無線はその変動に柔軟に対応し、安定した通信を維持する。この特徴により、ネットワーク接続が途絶えることなく、現場での安定したデータ収集や監視が可能となる。また、本IoT無線は複雑な無線設定を必要とせず、設置が非常に簡単であるため、現場スタッフは高度な専門知識を持たなくてもネットワーク構築が可能となり、作業負担を軽減する。さらに、本IoT無線の省電力性により子機は電池駆動であるため、現場での設置が容易である。特に、土木現場など電源の確保が難しい場所でも簡単に使用できる。

表—1 本IoT無線のスペック

項目	Classic	Leap
周波数帯	2.4 GHz	920 MHz
通信距離 (見通し)	500 m@1hop 5 km@10hop	2 km@1hop 20 km@10hop
実行スループット	24 kbps@4hop 12 kbps@10hop	8 kbps@4hop 4 kbps@hop
時刻同期精度	10 μs	30 μs

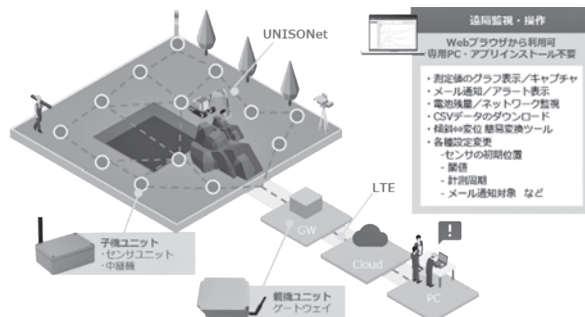
インフラや構造物の監視が求められる保全業務においても、本IoT無線の省電力性は特に重要であり、長期間の運用が求められる監視業務において、電源の準備やバッテリー交換などの負担を大幅に削減する。また、マルチホップ型ネットワークにより広域にわたる監視を効果的に運用でき、施設全体の安全性を保ちながら、メンテナンスコストの削減に貢献することが期待される。

本IoT無線は災害時にも迅速に対応できると考えられる。災害発生時には、通信インフラが破壊されることが多いため、即座に設置できる通信手段が必要となる。本IoT無線はその柔軟な設置性により、災害現場においても短時間で通信網を構築し、迅速なデータ取得や状況把握が可能となり、災害対応を支援する。加えて、本IoT無線は高精度な時刻同期機能を備えており、複数の機器間での同期計測を実現する。これにより、構造ヘルスマモニタリングや地盤調査において、時刻同期の取れたデータ収集を正確に行い、インフラの安全性や健全性を高精度で把握することに貢献する。

これらの特長により、本IoT無線は建設現場からインフラ保全まで、多岐にわたる分野での効率化、省力化、安全性向上に寄与する通信技術として、今後重要な役割を果たすと考えられる。

3. システムの概要

本IoT無線を搭載した計測システム(図—2)は、複数の通信技術を組み合わせ、広範囲での計測と遠隔監視を実現する。本システムでは、センサユニット(例として表—2, 3に仕様を示す)や中継機といった子機が本IoT無線を通じて親機(ゲートウェイ)と接続され、親機はLTEを介してクラウドと繋がる。子機はほとんどのものが電池式であり、外部電源の供給を必要とせず、設置が容易である。センサユニットは中継機能も有しており、データ通信の中継も行うた



図—2 本IoT無線を用いた計測システム概要図

表一 2 傾斜センサユニットの仕様

項目	仕様
計測軸	2 軸
分解能	0.001°
計測範囲	±30°
計測周期	10 秒～1 時間

表一 3 加速度センサユニットの仕様

項目	高精度振動計測 ユニット	省電力振動計測 ユニット
搭載センサ	M-A352	ADXL355
分解能	0.06 μG	3.9 μG
計測周波数	1,000 Hz max.	1,000 Hz max.
ノイズレベル	0.2 μg/√H	25 μg/√H
計測レンジ	±15 G	±8 G

め、センサユニットの数が多いほどより堅牢かつ柔軟なネットワークとなる。さらに、子機は、本 IoT 無線のマルチホップ通信により、最大 20 km の計測範囲をカバーでき、従来無線では難しかった広大なフィールド、トンネル内、地下、山岳地帯といった特殊な環境下でも高い通信性能を発揮し、安定したデータ伝送と遠隔監視を可能にする。

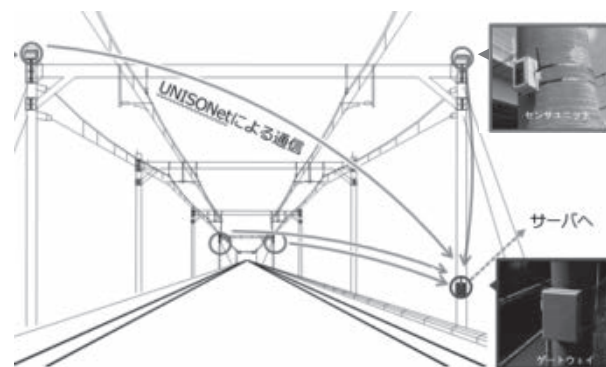
4. 適用事例

本 IoT 無線を用いた計測システムの適用事例を以下に示す。鉄道の建設現場の事例に加え、今後、鉄道の建設現場へ応用が可能と思われる事例も記載する。

(1) 鉄道架線張替工事における鉄道電化柱の傾き監視²⁾

本事例の鉄道事業者様では、鉄道架線の張替工事において、工事の信頼性を確保するため、電化柱の傾斜を監視するシステムを導入していた。しかしながら、従来のシステムは機器、とりわけ電源装置が大型かつ重量があったため、終電から始発までの限られた作業時間内における運搬や設置に多大な時間と労力を要していた。このような状況において、現場作業員の負担を軽減し、人員および労力の削減を実現することが喫緊の課題となっていた。

本 IoT 無線を搭載したシステムを選定した理由は、従来の課題であった機器の重量削減および作業員の労力軽減が可能となることが評価された。本 IoT 無線は省電力で高信頼性の無線通信規格を備えており、無線ネットワークの接続を維持しつつ、各デバイスの無



図一 3 電化柱の傾き監視システム

線部以外を間欠的に動作させることが可能である。この特性により、従来の傾斜監視システムで課題となっていた電源装置の大幅な小型化が実現可能であることを実証した結果、実用化に至った。

新システム（図一 3）の導入により、機器構成は従来の 5 構成部品から 2 構成部品へと簡素化され、総重量は約 90% の軽量化を達成した。これに伴い、作業員の労力（作業人数×時間）も約 90% 削減され、作業効率の向上とコスト削減の実現に寄与した。また、本システムには高精度センサが搭載されており、計測精度の向上が図られたほか、省電力設計により乾電池による長期間駆動が可能となった。これにより、工事の前後数か月にわたって常時監視を継続できるようになり、鉄道の DX 推進に大きく貢献した。

(2) 湖内にある鉄道橋脚修繕工事において隣接した運行に使用されている橋脚の変位計測・安全監視³⁾

本事例の鉄道事業者様では、橋脚の変位計測において、従来型の傾斜計を使用していた。しかし、計測対象である橋脚は湖内に位置していたため、現場での設置や電源の準備が大きな負担となっていた。具体的には、傾斜計を設置する各橋脚ごとに電源を供給する必要があり、橋脚上での電源確保が求められていた。また、その他の傾斜計では、傾斜計本体と無線送信機を橋脚上に設置し、さらに電源を確保できる受信器を設置する必要があった。このように、湖内という地理的条件により、これらの機器の配線作業は非常に困難であり、工事および維持にかかるコストが大きな負担となっていた。

本事例で使用された傾斜監視システムに搭載された本 IoT 無線はメッシュ型の無線であり、長距離かつ広範囲での通信を実現し、従来の課題であった電源確保や配線作業を解消する点が評価された。本 IoT 無線は、子機の中継機能を利用することで最大 20 km

の通信範囲を実現する。また、省電力設計により、子機の傾斜計は電池駆動で長期間動作可能である。この特徴により、電源が必要な親機を現場から離れた事務所に設置できる一方、子機の傾斜計は現場での電源準備が不要であるため、設置作業が大幅に簡略化された。これにより、電源工事の不要化と配線作業の削減を通じて、導入コストの大幅な削減が可能となった。

また、本IoT無線はユニット間の全リンクを活用しシームレスな通信ネットワークを自動的に構築・維持する。このため、機器を設置しスイッチを入れるだけで、24時間体制の自動遠隔管理が開始される。本現場では、無線に特別な知識を有さない作業者が設置作業を実施したが、容易かつ確実にネットワークの構築と監視の運用を行うことが可能となり、低コストで橋脚の遠隔監視や安全管理を実現した(図-4)。

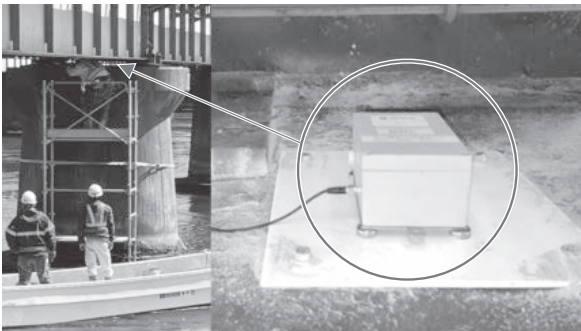


図-4 傾斜センサユニットの設置状況

(3) 加速度データとトリガ収集を用いた鋼橋のたわみモニタリング⁴⁾

本事例では本IoT無線を搭載した振動計測システムを用いた鋼橋を対象とし、橋梁維持管理における重要な指標の一つとされているたわみのモニタリング事例を報告する。

対象橋梁は全長88m、支間長28.7mの単純鋼板桁橋で、支間に均等間隔で5点、橋脚に1点のセンサユニットを設置した(図-5、写真-1)。センサユニットは内蔵電池で駆動し、無線メッシュネットワークを通じてゲートウェイユニットと接続する。このネットワークは、見通しの悪い端末間でも通信を成立させ、広範囲の効率的なデータ通信を実現している。

センサユニットは、時刻同期を維持しつつ常時データを記録し、大型車両通過時などたわみが顕著になる期間をトリガ検知で識別する仕組みを採用している。加速度のRMS値を監視し、設定した閾値を超えた場合にゲートウェイユニットに通知する。ゲートウェイユニットは、トリガ期間の前後を含むデータ収集を全センサユニットに指示し、必要なデータのみを収集する

ことで通信時間を最小化し、省電力化を達成している。

収集データの解析では、鉛直方向の加速度データと橋梁各点での傾斜角を用い、カルマンフィルタを利用し加速度からたわみを算出した(図-6)。これは、加速度の二階積分から求める場合に補正が必要な積分誤差を考慮せずにたわみを求めることが可能であり、大型車両通過時のデータを1日に数回効率的に収集し、コストを抑えたモニタリング手法としての有用性が示された。

現在はゲートウェイユニットに商用電源を必要とし

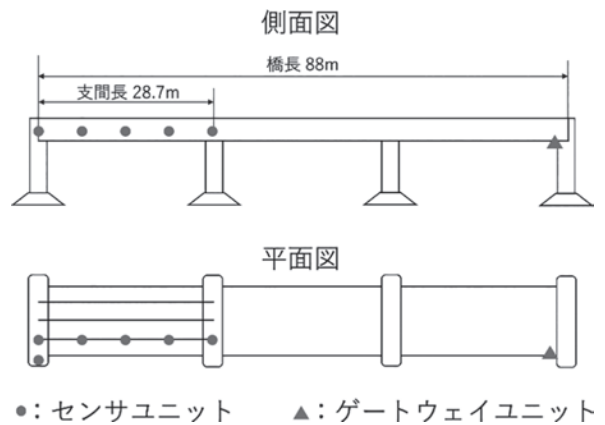


図-5 橋梁の概要と端末の設置位置



写真-1 センサユニットの橋桁への設置

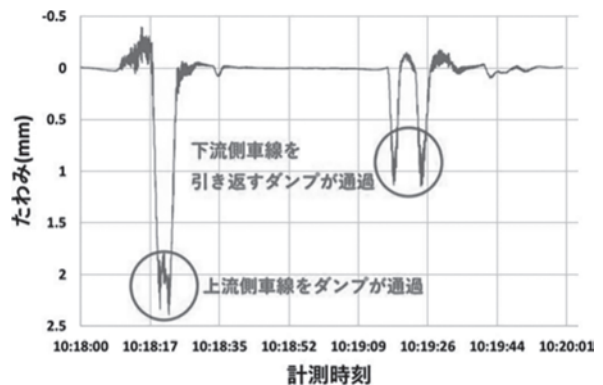


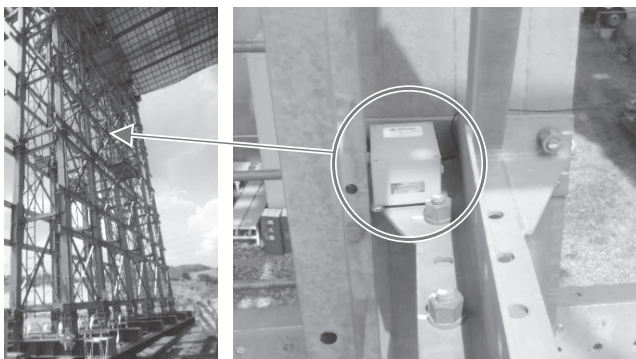
図-6 加速度から算出したたわみの波形

ているが、電池駆動化の技術を開発中であり、全端末をバッテリー駆動にすることで設置場所の柔軟性が向上する見込みである。これにより、より多くの橋梁での適用が期待される。本システムは省電力かつ高精度なモニタリングを実現し、国内の橋梁維持管理における重要な手法として期待される。

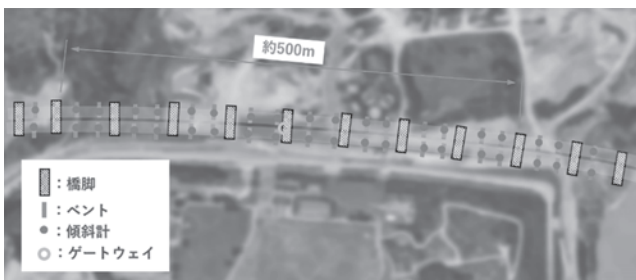
(4) 大規模な高架橋の架設現場におけるワイヤレスでのベントの安全管理⁵⁾

本事例の橋梁メーカー様では、ベントの安全管理において、従来は各傾斜計に電源や配線が必要なシステムを使用していた。このため、事前に電源を準備し、機器設置時に配線作業を行う必要があり、導入時の人的および金銭的コストが大きな負担となっていた。特に本事例の現場は非常に大規模であり、多くのベントを設置する計画があったため、この負担がさらに増大することが予想されていた。

本事例で使用した傾斜監視システムに搭載された本IoT無線は1つのネットワーク内に100台以上の傾斜計をペアリング可能である。さらに、高頻度での計測においても電池で長期間動作することができ、機器導入時の負担を大きく軽減することができる。また、当システムは、起動後、通信ルートを構築することなく自動的に各機器間の無線接続を実施し、遠隔からの計測・記録・監視を開始する。これにより、機器を設置してスイッチを入れるだけで運用が開始される。さら



図一七 傾斜センサユニット設置状況



図一八 機器の配置状況

に工事の進捗に応じて傾斜計の追加も容易で、無線に特化した知識を持たない作業員による設置や追加作業でも問題なく運用可能であり、容易かつ低コストでベントの安全管理および遠隔監視を実現した(図一7,8)。

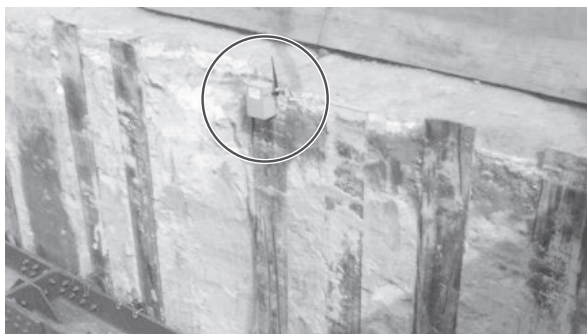
(5) 山留変位の自動計測⁶⁾

本事例は、建築現場での事例であるが、橋梁下部工の工事における山留工事にて、特に鉄道施設が隣接する掘削工事にて近接施工となる場面で本事例が応用可能であると考えられるため記載する。

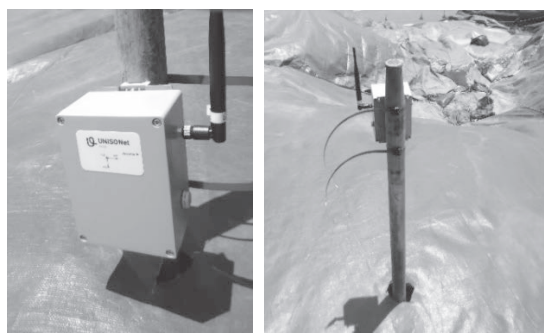
本事例のゼネコン様では、従来、山留芯材頂部にターゲット板を設置し、光波測量機(トータルステーション)を用いて当初位置との変位を求める方法や、トランシット(セオドライト)を用いた変位測定を実施していた。この手法はすべて人力に依存していたため、作業に多大な手間を要し、ヒューマンエラーが発生するリスクも伴っていた。さらに、測量機は不動点への設置が必要だが、現場では敷地状況や仮設物、資材置場の障害により、適切な設置箇所を確保することが困難であり、設置のやり直しが頻発していた。また、限られた職員での作業では、掘削進行中のタイムリーな計測が難しく、特に広範囲の工事現場では工区ごとに異なる計測頻度が必要となるため、作業効率が低下していた。加えて、現場と事務所の距離が離れている場合、計測データの収集や整理、報告に多くの時間を要していた。

本事例で使用した傾斜監視システムでは、電池式のワイヤレス傾斜計を山留芯材頂部に磁石で設置しスイッチを入れるだけで、計測が常時自動化されるため、ヒューマンエラーのリスクが排除される。また、計測データはリアルタイムでクラウドにアップロードされるため、インターネット接続が可能なパソコンやタブレットを使用すれば、現場に赴くことなく、過去および現在の計測値やその傾向をWebアプリで確認できる。さらに、Webアプリからデータをダウンロードして帳票作成が容易に行えるため、事務作業の負担も軽減される。

このシステムの導入により、山留の変位計測にかかる手間が大幅に削減され、効率的な作業が可能となった。また、管理値を超える異常が発生した場合には、本IoT無線とインターネットを利用したネットワークが構築されている現場事務所および各支店のパソコンにEメールで警報が送信され、迅速な対応が可能となる。この結果、現場の省力化および安全対策の効率化が実現した(図一9)。



図—9 傾斜センサユニットによる山留変位の自動計測



写真—2 傾斜センサユニットによる山留変位の自動計測

(6) 法面工事における斜面の変位計測・安全監視⁷⁾
 本事例は鉄道に関する現場ではないが、法面工事や斜面の安全管理は、鉄道の建設現場や保全において広く応用可能であるため記載する。

本事例のゼネコン様では、一般道に隣接する法面工事現場における安全管理および動態観測のため、斜面監視用機器の導入を検討していたが、現場への機器導入に伴うコスト負担が課題となっていた。多くの機器が電源を必要とする仕様である一方、当該現場には電源供給設備が存在せず、機器設置には電源準備が不可欠であり、それに伴う配線作業や電源設備の工事が大きな負担となっていた。

本IoT無線を搭載した傾斜監視システムは、省電力技術により電源問題を解決する一方で、遠隔操作を可能にしている。また、本IoT無線は低遅延の双方向通信を特徴とし、現場状況や天候に応じて計測周期や異常検知の閾値をクラウド経由で遠隔から速やかに変更することを可能としている。これらの特徴により、当システムを使用することとなった。

本現場では、工事現場と事務所の間に密生する雑木林が通信の障害となっていたが、現場側および事務所側に電池式の中継機を設置することで通信を確保した(図—10)。子機である傾斜計は上述の通り電池式のため現場で容易に設置することができた(写真—2)。

このように本IoT無線を活用した当システムの導

入により、現場管理の効率化と安全性向上に寄与し、自然斜面の遠隔監視・安全管理を低コストで実現した。

5. おわりに

UNISONetは、これまでのIoT化や無線通信技術が抱えていた課題を克服し、革新的な省電力マルチホップ無線技術として、建設現場やインフラ保全の現場へのさらなる活用が考えられる。また、人口減少や技術者不足といった日本が直面する構造的課題において、災害対応や工場での点検業務など、多岐にわたる分野での応用が期待され、業界のIoTやDXを牽引し、新しい価値を創出する原動力となり、次世代の建設現場やインフラ保全を支える存在となることを目指していきたい。

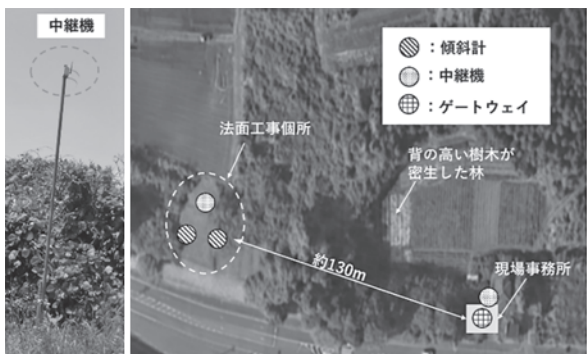
JICMA

《参考文献》

- 1) 内閣府, 2019年度国民経済計算書
https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/2019/2019_kaku_top.html
- 2) ソナス, 導入事例 東日本旅客鉄道株
<https://www.sonas.co.jp/example/jreast>
- 3) ソナス, 導入事例 東海旅客鉄道株
<https://www.sonas.co.jp/example/central-japan-railway-company>
- 4) ソナス, アプリケーションノート, 鋼橋のたわみモニタリングを省電力に実現する, 加速度データのトリガ収集システム
<https://www.sonas.co.jp/x04/app-note/apn-x-0002/>
- 5) ソナス, 導入事例 ㈱横河ブリッジ
<https://www.sonas.co.jp/example/yokogawa-bridge-corp>
- 6) ソナス, 導入事例 ㈱熊谷組
https://www.sonas.co.jp/example/kumagai_gumi
- 7) ソナス, 導入事例 大手地場ゼネコン
<https://www.sonas.co.jp/example>

[筆者紹介]

大谷 直也 (おおたに なおや)
 ソナス(株)
 事業本部 ビジネスマネージャー



図—10 機器の配置状況