

令和2年度IoT 利用環境の適正な運用及び整備等に資する  
ガイドライン等の策定及び業務執行管理等に関する請負  
(IoTの安心・安全かつ適正な利用環境の構築事業)

# IoT利用環境構築事例集

令和3年4月

総務省 情報流通行政局

<b>1. 事例集の目的及び概要</b>	
• (1) 事例集の狙い	2
• (2) 事例集の活用方法	3
<b>2. IoT利用環境構築事業（実証事業）の概要</b>	
• (1) 実証事業の目的	4
• (2) 実証事業の概要	4
<b>3. 実証事業一覧</b>	
• 1. Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業（令和元年度事業）	5
• 2. 微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業（令和元年度事業）	7
• 3. 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業（令和元年度事業）	9
• 4. 熟練技術の継承に資する指導用システムの構築と評価（令和元年度事業）	11
• 5. 中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証（令和元年度事業）	13
• 6. シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業（令和元年度事業）	15
• 7. 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業（令和2年度事業）	17
• 8. 洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業（令和2年度事業）	19
• 9. 多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業（令和2年度事業）	21
• 10. 海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業（令和2年度事業）	23
<b>4. 実証事業から得られた知見</b>	
• (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見	25
• a. 移動するセンサーを屋内で活用する際のポイント	26
• b. 固定されたセンサーを屋内で活用する際のポイント	28
• c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント	29
• d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント	39
• (2) その他知見等	54

# 1. 事例集の目的及び概要

## (1) 事例集の狙い

- 防災、医療、介護、健康、農林水産業等様々な産業において、IoTの利活用が進む中、携帯電話通信、LPWA（Low Power Wide Area）、Wi-Fi等のIoTで使用する電波の利用手法は多様化してきました。
- そうした中で、IoTを活用する際には、利用目的や利用環境等の諸条件を踏まえ、適切な電波を選択し効果的に運用する必要性が高まっています。
- 本事例集は、多様なIoT利用環境に応じた電波の特性に対する理解・リテラシーを向上させ、IoTを活用する際の効果的な電波利用を促進することを目的としています。
- IoTの導入に当たっては、IoTを導入する実環境における様々な要因から、通信機器間のデータ通信に障害が生じるケースがある一方、電波やIoTを導入する環境の特性を考慮した工夫により、通信障害が懸念されるエリアにおいても安心かつ安全にIoTを導入しているケースも存在します。
- そこで、実際に様々な産業分野・環境においてIoTを利用した事業の実証を行い、効果的な電波の利用方法やIoTを利用する環境に応じた適切な通信機器の設置方法等のノウハウを具体的な事例として本事例集に取りまとめました。

※本事例集は令和元年度および令和2年度IoTの安心・安全かつ適正な利用環境の構築（IoT利用環境の適正な運用及び整備等に資するガイドライン等策定）における合計10の実証実験の成果を整理したものです。これら実証実験は、各実施団体が各地域において実証システムを一定期間検証したのですが、総務省が、これらの再現性や一般性を客観的に評価したものではありません。そのため、読者の皆さまが同様の取り組みをなさる場合には、本事例集を参考としつつ、電波に関する知見を有する専門家等とともに利用環境の構築を行っていただくようお願いします。

# 1. 事例集の目的及び概要

## (2) 事例集の活用方法

- 本事例集は、様々な用途・環境で用いられるIoTを活用した事業の実証において明らかになった、電波利用上の課題、課題に対して実際に行った工夫とその効果、そこから得られた知見が取りまとめられています。また、各事業における、サービス展開上の知見についても記載しています。
- なお、本事例集は以下のような読者・ユースケースを想定して作成されています。

### 想定読者の例



IoTを活用した事業の立ち上げを検討している企業の担当者



地方公共団体と共同で地域課題解決に取り組む大学・高等専門学校・研究機関・地域団体等

### 活用方法

- 本事例集を参照することで、IoTを活用する際の電波利用方法の概要を知ることができる
- 本事例集を参照することで、効果的な電波の利用方法やIoTを利用する環境に応じた適切な通信機器の設置方法等の、具体的なノウハウを知ることができる

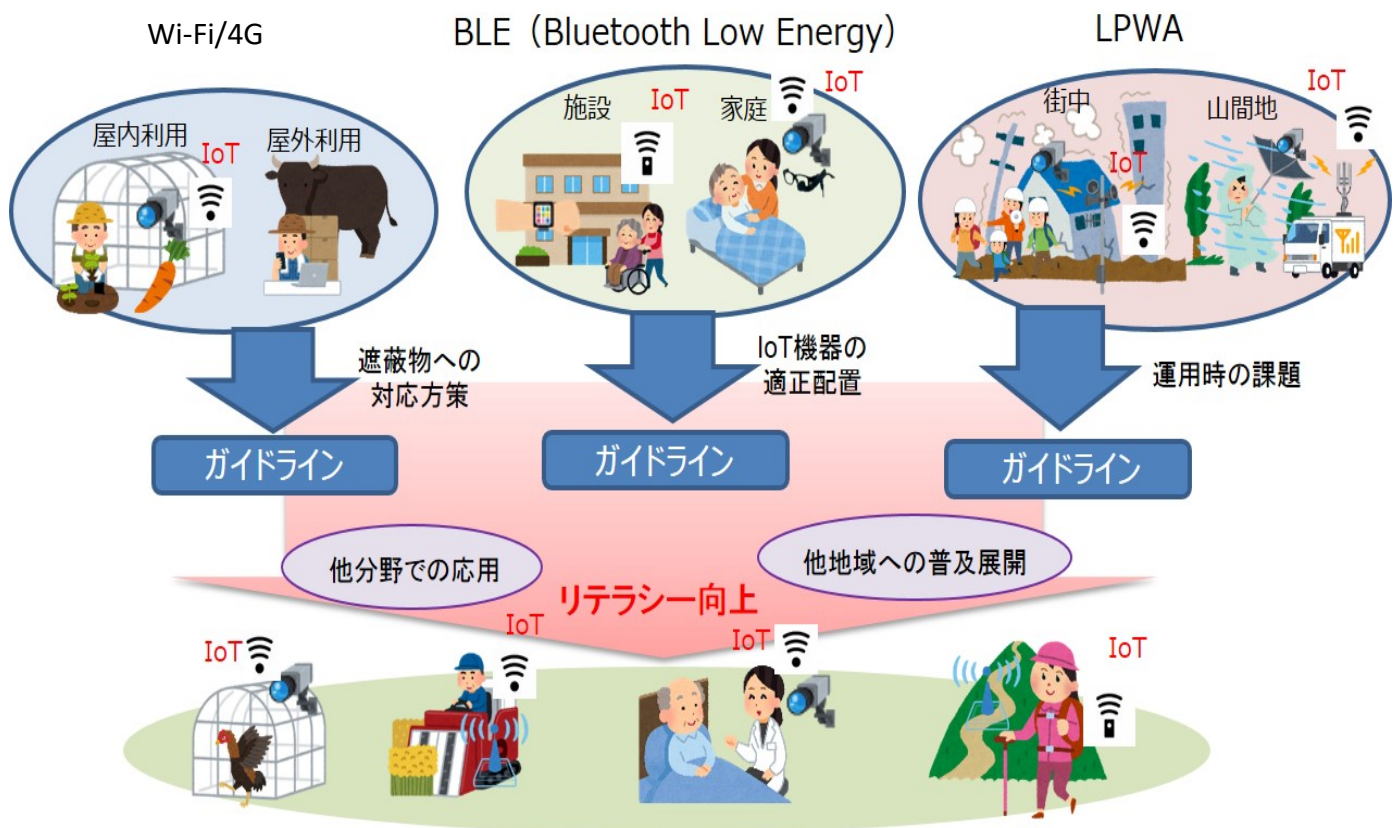
## 2. IoT利用環境構築事業（実証事業）の概要

### （1）実証事業の目的

- 本事業は、様々な用途・環境で用いられるIoTシステムを用いた地域での実証を通じて、それぞれの場面に応じたIoTシステムで用いられる電波の特性を明らかにし、IoT利用環境の適正な運用及び整備等に資する電波の効果的な使用方法等の知見をとりまとめることで、電波の能率的な利用等に関する利用者のリテラシー向上を図り、「Society5.0」の実現に寄与することを目的としています。

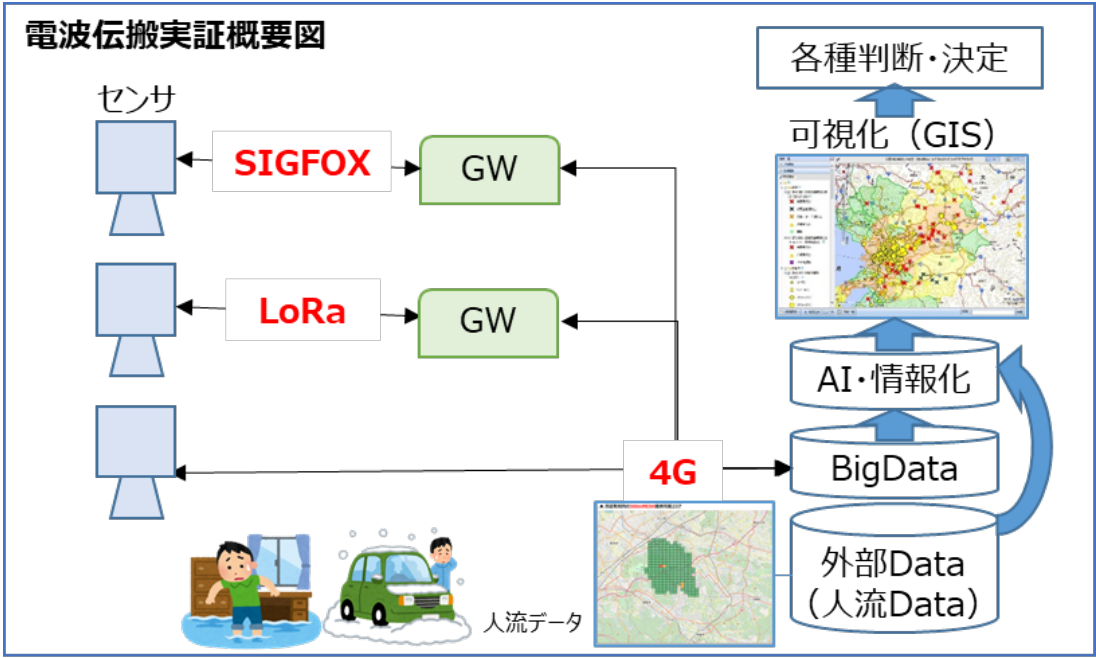
### （2）実証事業の概要

- 様々な環境におけるIoTシステムに関し、電波の能率的な利用を確保するため、適切な電波強度、システムの整備方法、コスト及び電波利用環境構築のデータ等を収集してガイドライン等としてとりまとめることに資する、地方公共団体、民間企業、大学、NPO法人等から成る地域の主体が行う地域課題の解決に資するIoTシステムの実証事業です。



### 3. 実証事業一覧

## 1. Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業（令和元年度事業）

<b>実施団体</b>	国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立大学法人東京大学、株式会社NTTドコモ、株式会社ドコモCS茨城支店
<b>実施地域</b>	北海道標津町、新潟県小千谷市、滋賀県竜王町
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● IoTは屋内外での利活用が進んでいる。こと屋外では、山谷などの地形、草木などの自然、常態化する極端気象の影響は、防災分野のみならず、農林水産業、物流・交通、流通・小売、観光等、地域の持続可能性を左右する。</li><li>● 係る状況を鑑み、地形、自然、気象の影響下におけるIoTの安全・安心かつ適正な利用環境の構築に向けて、災害時のみならず、他分野で利活用が求められる。降雨災害対応、降雪災害対応において、LPWAと携帯電話通信により各センサーからデータを収集し、分析して可視化することで、当該システムの適正化とともに、その効果のKPIを設定し、EBPM（エビデンスに基づく政策立案）や成果報酬型の事業モデルを検討・構築することで、普及展開に向けたガイドライン等を策定する。</li></ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 山谷等の地形条件、草木の成長等の自然条件、及び、降雨・降雪等の気象条件により、文献やカタログに示された通りの電波伝搬特性が、得られない。</li><li>● 様々な条件下での検証を通じて、地形×自然×気象の多様な条件下における適切な利用環境の知見を得る。</li></ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	<p>水位監視システム（滋賀県竜王町）、降雪監視システム（新潟県小千谷市）、積雪深監視システム（北海道標津町）等でデータを収集</p>  <p>The diagram, titled '電波伝搬実証概要図' (Radio Propagation Verification Overview Diagram), illustrates the data flow and processing pipeline. On the left, three 'センサ' (Sensors) are shown. The top two are connected to 'SIGFOX' and 'LoRa' gateways (GW), which then connect to a central '4G' gateway. The bottom sensor is connected directly to the '4G' gateway. Below the sensors, an illustration shows a person and a car, with '人流データ' (Human Flow Data) being collected. The '4G' gateway sends data to a '外部Data (人流Data)' (External Data (Human Flow Data)) database. This data is processed through 'BigData' and 'AI・情報化' (AI/Informationization) stages, leading to '可視化 (GIS)' (Visualization (GIS)) which displays a map with data points. Finally, the system supports '各種判断・決定' (Various Judgments/Decisions).</p>

### 3. 実証事業一覧

## 1. Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業（令和元年度事業）（つづき）

### <吹雪対策のために提供する表示システム>

※使用している吹雪予測モデルは、防災科研開発（特許番号：5950422）のモデルであり、吹雪による視程障害を面的に予測するモデル。

※本事業では、それに加えて、IoTカメラ画像を取得し、AIによる画像判定を行い、積雪の有無の情報もモデルに加えた。

### 基本的な閲覧方法

- ▶ 地図上に吹雪に関わる気象要素の分布を重ねて表示します。気象要素は1時間ステップで39時間先までの予測情報を表示できます（3時間更新）。
- ▶ 地図上の観測地点をクリックすると、最新観測データ、観測地点画像、AI（機械学習）による積雪有無の判定結果を表示します。
- ▶ データを詳細に確認したい場合は、画面右上の「観測データ」リンクをクリックして観測データ画面を開きます。
- ▶ 地図は、一般的な地図閲覧WEBサイトと同じように表示域の移動・地図の拡大縮小ができます。

移動： 地図をクリックしたままドラッグ（掴んで引っ張る）、または「移動ボタン」をクリックする  
拡大縮小： マウスのホイールをスクロールする、または「拡大縮小スライダー」を上下に動かす



地域課題  
解決にお  
ける成果

今後の展  
望

- ・展開主体及び体制：防災科研が主となり、IoT関連企業との機器類の共同開発や標準化、情報プロダクツ化への研究とモデル化、ならびに、将来的にはIoTサービス提供も視野に入れており、NTTドコモによるクラウド運営、スマートフォン等へのアプリケーション実装などとの連携を中心に東京大学との共同研究などが中心となって展開する。
- ・展開方法：防災科研が主催するコンソーシアムや、総務省「地域IoT官民ネット」における「IoTデザインハブ」の機会を利用して展開する。
- ・展開先：主に地方自治体であるが、1718市町村の内、本事業の課題解決が望まれる自治体に展開する。今後3年間で少なくとも3地域のモデルをそれぞれ毎年度2地域に展開することで、3年後には、3地域モデル×2地域/年度×3年度＝18地域の実装を目指す。

### 3. 実証事業一覧

## 2. 微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業（令和元年度事業）

<b>実施団体</b>	NTTデータ経営研究所、千葉県農林総合研究センタ、千葉県果樹園芸組合連合会、船橋市、イーエスケイ、NTT東日本
<b>実施地域</b>	千葉県千葉市、鎌ヶ谷市、市川市、船橋市
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 千葉県の名産品である二ホンナシの黒星病を防除するための農作業ナビゲーションを提供するため、農林総合研究センタが開発した防除予測のアルゴリズムを用いたアプリを開発し、圃場に設置した気象センサーのデータから、圃場毎・圃場内の微気象情報を踏まえた、病害虫発生予測と防除要否のナビゲーションを生産者に提供。生産者は、適期・的確な防除が可能となり、稼働削減、収穫ロスの抑制、減農薬栽培の実現が可能。</li> <li>● パイロットユーザで効果検証をしながら、アプリの改善や、微気象ネットワークの最適な構築方法を検証。</li> <li>● 圃場内の微気象情報を収集するセンサーの通信における電波の比較、検証を行う。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ナシ黒星病を適切に防除するため、安定性、コスト性などに優れる無線通信規格の検証が必要。</li> <li>● ナシ園内は既設による葉の空間被覆の変化、降雨による葉濡れ、多目的防災網の被覆等がある。これらの環境による電波遮蔽等の影響を調べることが必要。</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	<p>                 風向風速計、日照計、温度計、雨量計                  アメダス 気象情報                  出典) 気象庁             </p> <p>                 微気象：気温、雨量、葉面濡れ時間                  気象：気温、雨量、風速、日照時間                  栽培履歴：防除履歴 等             </p> <p>                 梨ナビクラウド (蓄積・解析等)             </p> <p>                 微気象情報を踏まえた、                  病害虫発生予測と                  防除要否のナビゲーション                  を生産者に提供             </p> <p>                 フィールドサーバ 葉面濡れセンサ                  ミハラス eセンシング for アグリ             </p> <p>                 3G/LTE、特定小電力無線、LPWAの比較             </p>



# 3. 実証事業一覧

## 2. 微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業（令和元年度事業）（つづき）

### <微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム>

農家は梨ナビアプリを活用し危険日が出ないように計画的に散布を行うことができる。

地域課題  
解決にお  
ける成果

**カレンダー(メイン画面)**

5/25に見た画面(当日の日付が青く表示される)  
●赤色の日付は防除実施日  
●緑色の日付は残効期間 or 治療期間

**日別詳細**

**梨ナビ**

・梨ナビロジックで計算した感染危険度が0を超える(濡れ時間が規定値を超える)場合「危険あり」表示  
・「危険あり」が出て潜伏期間15日後が「発病予測日」

今後の展  
望

実証項目	令和2年度		令和3年度		令和4年度	
	4-9月	10-3月	4-9月	10-3月	4-9月	10-3月
ア) 梨ナビアプリ(黒星病)の現地実証	→					
イ) 梨ナビアプリの機能追加と実証(栽培総合支援全体)	→	→				
ウ) 現地における実用規模での微気象測定ネットワークの構築と検証	→	→				
エ) ナシ生産農家における経営データの取得と経営分析	→	→				
オ) ビジネスモデルの検討	→	→				
カ) 推進会議の開催	→	→	→	→		
キ) 県内(県外)主要産地への普及と実証、他果樹への波及			→	→		

機関名	主な役割
千葉県(ローディネット)主体: 千葉農林総合研究センター	システム開発のために黒星病発生予測、ナシ開花期予測、みつ症(豊水)発生予測、チャノキイロアザミワマ発生予測のアルゴリズムを提供し、総合支援システムの開発に関わり共に経営的な評価も行う。
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所	千葉農林総研とともに、黒星病発生予測システムのアプリ開発を行った。事業の効果的な普及に係り、新サービスのモデル実証等を行う。
株式会社イーエスケイ	千葉農林総研とともに、黒星病発生予測システムのアプリ開発を行った。農林総研が開発した各種アルゴリズムを追加したアプリ開発を行う。
東日本電信電話株式会社	ナシ園における微気象ネットワーク構築の検証を行ってきた。現地における微気象ネットワークの構築と改良を行う。
千葉県果樹園芸連合会ナシ部会	千葉県のナシ生産者の大半が加入している生産組織。開発した技術の実証試験の場を提供し、関係機関とともに成果の検証を行う。
全国農業協同組合連合会千葉県本部	ナシ生産に係る農業防除講習会を全県の生産者対象に毎年実施しており、農業防除の指針を作成している。今回開発するシステムへの助言支援を行うとともに全県的な普及を検討する。
市川市農業協同組合	市川市、船橋市を管内とし農業生産に係る資材を販売し、生産されたナシをとりまとめて市場等へ出荷している。生産者との連絡調整及び本システム開発への助言を行う。
市川市経済部農業振興課	市川市のナシ生産に係るスマート農業推進、補助事業の検討を行う。
船橋市経済部農水産課	船橋市のナシ生産に係るスマート農業推進、補助事業の検討を行う。
千葉県東葛飾農業事務所	千葉県のナシの主産地である東葛飾地域のナシ生産に係るスマート農業推進の役割を担う。生産者の実証試験について助言や支援を行う。
千葉県農林水産部担い手支援課専門普及指導室	千葉県全域のナシ生産に係るスマート農業推進の役割を担う。また、生産者の実証試験について助言を行う。
有限会社ヤマニ果樹農園	ナシ生産に係る高い栽培技術を有する。減農薬栽培に積極的に取り組み、地域と共存した都市農業を展開。後継者も就農し、ナシ生産のスマート農業化に強い関心がある。ナシ生産園場での実証試験を行う。

### 3. 実証事業一覧

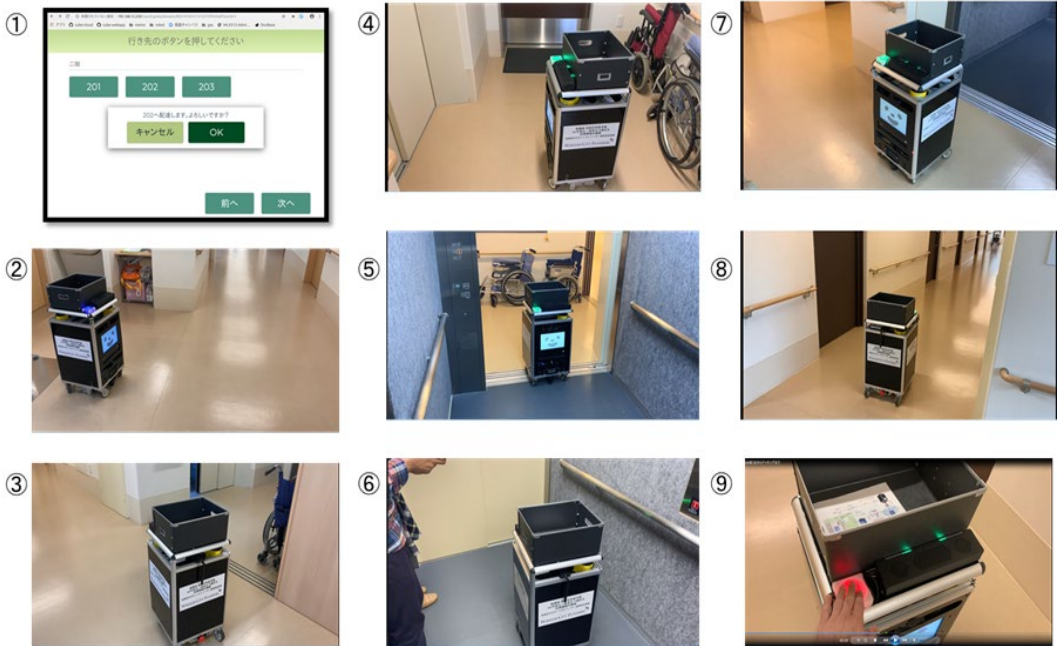
#### 3. 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業（令和元年度事業）

実施団体	Wireless City Planning株式会社、三菱電機株式会社、一般社団法人 竹芝エリアマネジメント
実施地域	東京都千代田区、神奈川県鎌倉市
事業概要	<ul style="list-style-type: none"><li>サービス付き高齢者向け住宅やオフィスビルにおいて、複数の通信規格に対応し、人感センサー等各種センサーを搭載した屋内型自律走行ロボットがエレベータと連携して複数階を移動し、荷物の宅配、人の見守り等を代行することで、地域の労働生産性や生産力を向上させ、地域の活性化を図る。</li></ul>
IoT利用環境及び電波利用上の課題	<ul style="list-style-type: none"><li>ビル等の限られた範囲において、自律走行ロボットが複数階をまたがって移動する場合には、カバレッジや電波干渉の影響を大きく受けることが懸念される。</li><li>例えば、オフィスや商業施設等において、自律移動による荷物運搬システムやIoTシステムを活用する際、カバレッジや電波干渉の影響による電波障害が発生すると正常なサービスの運用に支障が出る可能性がある。</li><li>このようなケースを踏まえ、特にカバレッジや実効速度などの電波環境の測定・分析を行い利用状況に適した通信方式を検討する必要がある。よって、いくつかの通信方式において自律走行ロボットが複数階でまたがり、宅配や人の検知を行う際、十分なカバレッジと実効速度が担保できるか検証を行う。具体的には、自律走行ロボット自身に複数の通信規格（LTE,Wi-Fi,LPWA）のインターフェースを備え検証する。</li></ul>
実証内容のイメージ	<p>サービス付き高齢者向け住宅とオフィスビルで実施</p> <p>LTE/Wi-Fi/LPWA</p> <p>モバイルルーター or Wi-Fi子機 or LPWA子機</p> <p>基地局 or Wi-Fi親機 or LPWA親機</p> <p>アプリケーションサーバ</p> <p>人感センサ</p> <p>人の検知</p> <p>自律走行ロボット（センサ付き）</p> <p>エレベータ</p> <p>The diagram illustrates the system architecture. A mobile robot equipped with sensors is connected via LTE/Wi-Fi/LPWA to a mobile router or child device. This device is linked to a base station or parent device, which in turn connects to an application server. The robot also features a person detection sensor. The system is implemented in service-oriented elderly care housing and office buildings, where the robot interacts with an elevator.</p>

## 3. 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業（令和元年度事業）（つづき）

### <ロボットの屋内自立走行技術の確立>

- 夜間の人がないオフィスビル及びサービス付き高齢者向け住宅で人があまりいない状態においては、100%指定地点にたどり着いた。
- ロボットの待機地点に設置したタブレットから操作し部屋番号を指定すると（①）、エレベータ前まで移動し（②～④）、エレベータに乗降して（⑤～⑦）、お部屋の前まで運ぶ（⑧）。配達を終了したら利用者に配達完了ボタンを押してもらい、待機地点に戻る、との一連の動作を開発、実証した。



地域課題  
解決にお  
ける成果

今後の展  
望

- 展開主体及び体制：Wireless City Planning及びグループ企業であるソフトバンクがロボット・管理システムを提供、エレベータ事業者・不動産事業者等と連携して展開する。
- 展開方法：ロボットとの連携に対応したエレベータを導入する、ビル・施設等の主に新規開発案件に向けて展開する。
- 展開先：不動産、商業、住宅等の新規開発施設及びその運営・管理事業者
- スケジュール：2020年度内に試験的な導入を開始、エレベータ事業者の技術開発と歩調を合わせて検証を重ね、随時展開していく。
- 展開における留意点：既存のエレベータを改修して連携機能を追加する場合には、エレベータへの機器追加作業を始め、建物内の通信配線の敷設、ロボットとの連携用のサーバ設置や外部との通信回線との接続等 様々な準備が必要となる。またエレベータの改修は行えたとしても、防火扉やセキュリティゲート、段差など現状ロボットでは通過が困難な構造上の問題は解決が難しい。従って、施設の計画段階から、ロボットの導入を前提としてエレベータの設計、導線の確保、フロアの電波環境確保、コストの回収方法等の検討が必要と思われる。

### 3. 実証事業一覧

#### 4. 熟練技術の継承に資する指導用システムの構築と評価（令和元年度事業）

<b>実施団体</b>	三条市 株式会社ものづくり学校
<b>実施地域</b>	新潟県三条市
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>当市は伝統的な刃物産地として有名であるが、安価な輸入品の増加や市場縮小により職人が減少し技術継承が危ぶまれている。本事業では、IoTによって、和包丁の製造における研ぎ技術のデータ化と解析を行い、若手包丁職人の研ぎ技術習熟に資する指導用システムの開発を実施する。本実証期間においては、指導用システム内で活用される教師データの蓄積のため、鍛冶職人の協力の基、包丁研ぎの際の圧力、角度、速度、視点等のデータを各種センサーによって収集する(取得データは解析用の外部サーバーへ送信される)。当該データ収集時には、LPWAと4Gの二種の電波を活用し、工場内の機械設備等による通信環境への影響を評価することで、工場集積地における適切な電波利用の方法について検証する。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>研ぎが進む過程や研ぎあがりの感覚を判断するため、「包丁と砥石の間の圧力/角度、砥ぎの速度、研ぎ動作、視点」などの動態データを取得するが、これらデータの収集には無線通信を利用する。ランニングコスト的にはサブGHz帯を用いるLPWA通信の活用/普及を図りたいものの、市内が工場の密集環境であることや容量の多いデータを高い安定性で送信する必要もあることから4G通信によるデータ収集も併せて実証する。</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	

### 3. 実証事業一覧

#### 4. 熟練技術の継承に資する指導用システムの構築と評価（令和元年度事業） （つづき）

##### <熟練技術の継承に資する指導用システム>

地域課題  
解決にお  
ける成果



今後の展  
望

#### 1) 鍛冶職人の技術の維持/継承

- ア. 展開主体及び体制 主体：三条市、連携先：熟練鍛冶職人
- イ. 展開先/展開方法 熟練鍛冶職人に対して市の包丁砥ぎ指導用ツールを貸与、通信費は鍛冶職人が負担、① 包丁砥ぎデータベース化に活用② 市の若手職人の後継者育成事業の指導に活用
- ウ. 展開スケジュール  
(1年目)鍛冶職人による機器の活用/機器の改良、(2年目)全国的な砥ぎ技術データベース作成/解析、(3年目)全国への砥ぎ指導用ツールの普及展開
- エ. 展開における留意点 職人データが外部流出しないセキュリティー確保

#### 2) 包丁砥ぎ技術の普及

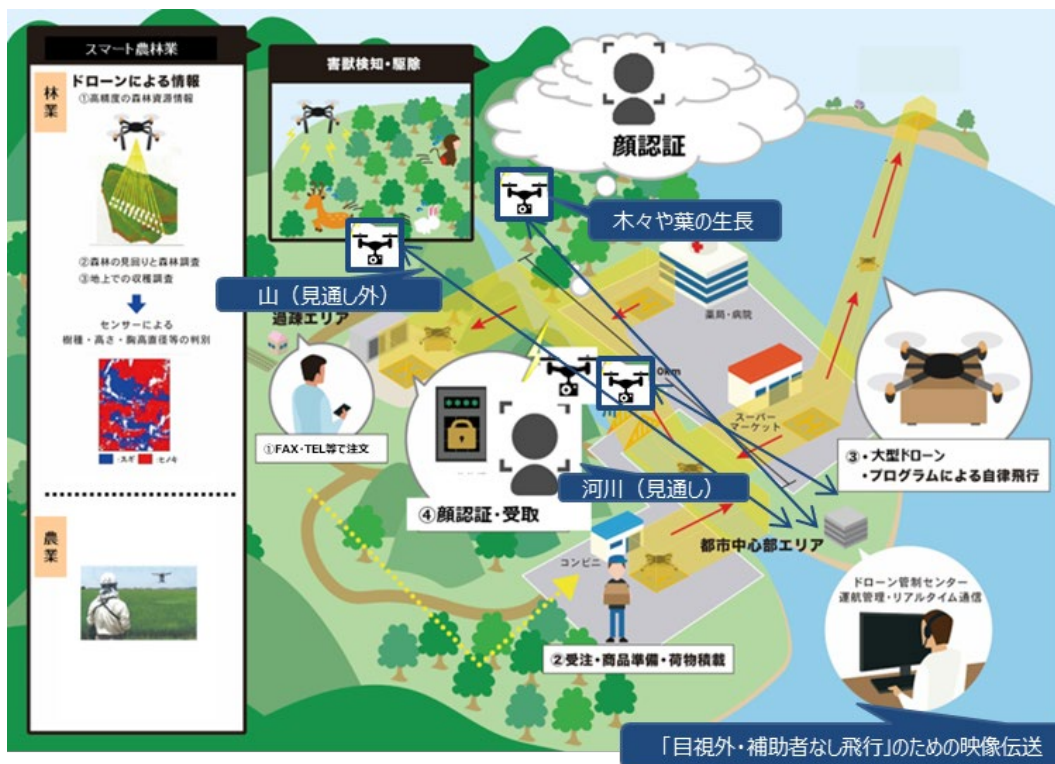
- ア. 展開主体及び体制 主体：三条市  
連携先：三条ものづくり学校 & 株式会社 kadogen、三条鍛冶道場
- イ. 展開方法/展開先 三条ものづくり学校や鍛冶道場に対して市の包丁砥ぎツールを貸与
  - ① 三条ものづくり学校とkadogenは連携してワークショップを開催
  - ② 三条鍛冶道場では包丁砥ぎ体験や砥ぎ指導を実施
- ウ. スケジュール  
(1年目)一般人を対象にした機器の活用、試験的運用、(2年目)機器の改良/小型化、試験的運用に併せた改良、(3年目)機器販売の検討/事業スキーム構築
- エ. 展開における留意点 機器の取り扱いのわかる指導員育成

### 3. 実証事業一覧

#### 5. 中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証（令和元年度事業）

<b>実施団体</b>	株式会社Future Dimension Drone Institute、岡山県和気町、和気商工会、買い物サポートさえき運営協議会、株式会社NTTドコモ、株式会社エアロジラボ
<b>実施地域</b>	岡山県和気町
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 慢性的な労働力不足に陥ることが確実な少子高齢化社会において、特にその影響が大きい中山間地域の次世代ユニバーサルサービスや一次産業を支える省人化インフラとして、長時間・長距離飛行、大容量運搬を可能とする大型ドローンが有望である。大型ドローンに最新のIoTシステムを活用したり、複数無線システムを組み合わせ、「常時映像伝送」や「顔認証」機能を実現する。</li> <li>● これにより、目視外・補助者なし運用の大型ドローンに特殊カメラを搭載し、点群データやNDVI(葉色)データ等を収集・解析し、「過疎地買い物支援」、「水稻生育診断」及び「害獣パトロール」等、多用途・多事業者でシェアリングして活用するサービスの成立性を実証する。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 山など静的な遮蔽による電波伝搬見通し困難な箇所、木々や葉の生長・落葉など准動的・准静的な遮蔽による電波伝搬見通し困難箇所、河川など</li> <li>● オープン環境による外来波など</li> </ul>

#### 実証内容のイメージ



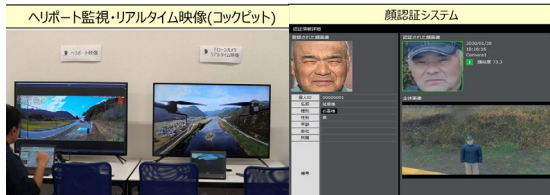
### 3. 実証事業一覧

## 5. 中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証（令和元年度事業）（つづき）

地域課題  
解決にお  
ける成果

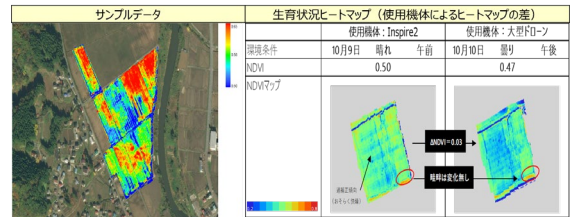
#### <物流分野>

毎週火、木、金の週3回配送をサービスを実施しており、2019年10月8日から10月22日の期間で6回、12月3日から12月20日の期間で7回配送を実施した。



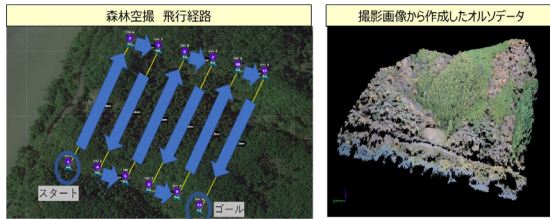
#### <農業分野>

大型ドローンにマルチスペクトルカメラを搭載し、10月7日から10月10日までコメの生育状況の撮影を行い、撮影映像を基にヒートマップを作成した。



#### <林業分野>

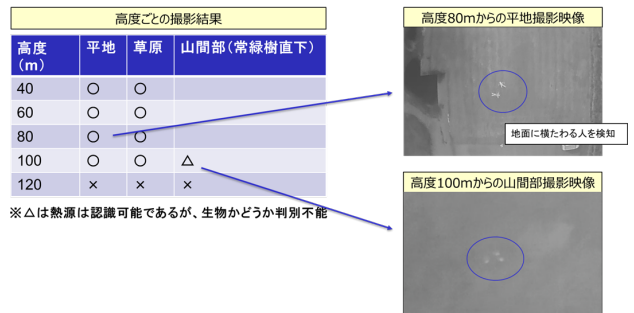
本実験では24分の時間をかけて、2 haの面積を撮影し、ドローンに搭載したカメラで撮影した画像を用いて森林の点群データを作成可能なことを確認した。



#### <害獣駆除分野>

2019年12月18日から20日の期間において、大型ドローンに赤外線カメラ（FLIR VUE PRO）を搭載し、森林上空から撮影することで害獣センシングを実施したが、本実証中、害獣を発見はできなかった。そこで、草むらに人員を配置し害獣と想定し、撮影することによって、実証を行った。

平地においては、高度100mから人を検知できたことから、赤外線カメラ（FLIR VUE PRO）は害獣のセンシングにおいて有効なものであることが分かった。



今後の展  
望

今後3年間は、実用化に向けてドローン利活用モデルの構築を行い、実証ベースでのノウハウの積み上げが必要である。予定では、引き続き岡山県和気町にて内閣府の地方創生推進交付金を利用し実証を継続実施する。また、他地域展開として、岡山県笠岡市にて離島関連補助金を活用し笠岡市の地域課題である離島への配送問題をドローンによる配送で解決する事業を展開する予定である。

### 3. 実証事業一覧

## 6. シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業（令和元年度事業）

<b>実施団体</b>	アイオーネイチャーラボ株式会社、宮崎県美郷町、耳川広域森林組合、宮崎大学、東京海洋大学、株式会社セレス、株式会社自然資源計画
<b>実施地域</b>	宮崎県東臼杵郡美郷町神門字向山4315-3 149林班21号 再造林地（美郷町所有林：頻度の高い防護柵点検困難、破損あり）
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 再造林地へのシカ等の侵入による苗木食害、樹皮剥皮害が急増し、対策の一つとして周囲に支柱とネット（網）による防護柵が設置されるケースが多い。しかし、落石や倒木、土砂崩れによって防護柵が破損する場合も多く、放置すると食害が拡大する。</li> <li>● 防護柵の効果を最大限維持するには、頻度の高い点検が不可欠であるが、人手不足で難しい。そこで、無線センサーネットワーク技術を活用した防護柵IoTシステムを新たに開発し、人の目視による防護柵点検を、IoTシステムによる点検自動化で代替する。</li> <li>● しかし、再造林地は風雨等の自然環境が非常に厳しい上に、尾根や谷といった複雑地形、周辺樹木の成長に伴う電波の遮へい等の影響が想定される。さらに、再造林地は面積が大きいことから、効率的、低コストで実現する方法が求められる。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 再造林地の防護柵IoTでは、子機で検知したセンサー情報を、インターネットゲートウェイの親機に電波伝搬する必要があるが、実証地では、電波の減衰や乱れの要因として、降雨、地形、植物の影響が想定される。</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	



### 3. 実証事業一覧

## 6. シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業（令和元年度事業）（つづき）

### <シカによる食害を抑制する防護柵IoTシステム>

地域課題  
解決にお  
ける成果



### 通知メッセージ（管理組合のPC画面）

Date: 2020/02/06 Time: 23:59 Mode: diagnosis Duration: 10  
id: mc000 hex: 抽出  
更新

指定時間内に、明確な天候の影響とみられる揺れはありません  
●LEVEL3●強い揺れ・熱反応が検出されています。現場での作業等が行われていない場合は、シカ・イノシシ等強い反応が検出されています。食害が懸念されます。熱反応が無い場合は外側での活動である可能性があります。-短時間  
反応密度指数:0.82 ●LEVEL3●

子機(14台)、中継機(16台)が稼働しています。  
日暮り:02/06 18:25 夜明け:02/06 06:25

☆: 局に受信が連続して反応 → 連続性が無い反応  
#00: 実証地での、日時が登録されているときの熱反応、緯度  
#1: 即時反応の密度指数を上回る反応

©2020/02/06 22:44:13(受信ID:06) (熱反応+1) 詳細

設定したレベル以上の  
反応があった場合に  
管理者にメール送信  
機能あり

シカのアタック等による揺  
れを検知



防護柵の確認及び早期での補修

### 実証事業への期待の声

- ・防護柵は破損してもわからず、あとからシカによる食害がわかる。防護柵IoTで瞬時にわかれば、時間のロスもなく効率的に動ける。
- ・防護柵の点検は足場も悪く非常に大変な作業なので、IoTの実用化に期待したい。
- ・導入しやすい低価格で提供を期待。

今後の展  
望

3軸加速度センサーのみでIoTを構築できれば、小型化、省電力化、低コスト化が可能と予想されることから、加速度センサーによる防護柵損壊検知精度を高めるとともに、加速度センサー内蔵の小型・低コストな防護柵IoTを開発・製作し、普及展開を図る。

- ①展開主体及び体制：アイオーネイチャーラボ株式会社、株式会社自然資源計画、株式会社セレスが中心となり、森林IoT推進協会防護柵部会を設立し、展開を進めていく。
- ②展開方法：都道府県の森林整備部署、民有林等の森林管理を請け負っている森林組合、苗木植栽を専門とする造林業者のヒアリングを実施し、防護柵の損壊が激しく、なおかつシカ等の食害被害が甚大な地域を抽出し、防護柵IoTの説明会を実施して、IoT導入効果を訴え、展開していきたい。
- ③展開先：美郷町檜葉地区のシカ被害が甚大で、点検が不十分とヒアリングしたことから、美郷町への展開を進める。
- ④展開における留意点：低コスト再造林研究開発とも連携し、コスト増とならないように留意しながら進める。

### 3. 実証事業一覧

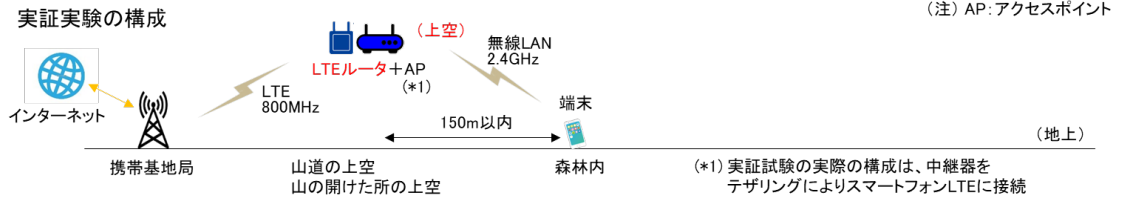
## 7. 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業（令和2年度事業）

<b>実施団体</b>	鹿児島大学、(国研) 森林総合研究所、アジア航測(株)、(株)NTTドコモ、(一財) テレコム先端技術研究支援センター、(株)ICTサポート、(株)MM総研 (協力機関) 鹿児島県森林組合連合会、日本ユニシス(株)、(国研) 情報通信研究機構
<b>実施地域</b>	「鹿児島県垂水市」鹿児島大学農学部附属高隈演習林108林班スギ人工林
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 森林境界明確化のためのリモート現地立ち会いをIoTにより実現する。</li> <li>● 急峻な地形と樹木により森林内は電波伝搬が困難であるが、上空は林冠に隙間があり電波伝搬の可能性が高い。上空のUAVで森林外部へ2種類の方法（①LTE+高速通信に適したWi-Fi 6（2.4GHz帯）と障害物に強いIEEE802.11ah 920MHz準拠通信（Wi-Fi HaLoW（920 MHz帯）相当）による伝送と②5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム）で森林内の高画質映像を中継する。</li> <li>● 樹木立木密度を変化させ、森林条件と各周波数帯伝搬特性のモデル化を行う。</li> <li>● UAVによる中継で森林内の電波不感エリアを解消し、ネット上でのリモート現地立ち会いにより地域林業活性化に寄与する。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 森林内での通信は、樹木や地形による遮蔽・減衰の影響を受けやすいこと</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	<p>①LTE+Wi-Fi6/IEEE802.11ah 920MHz準拠通信伝送システム ②5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム</p> <p>UAV+モバイルルーター+WiFi無線ルーター(無線中継)</p> <p>Wi-Fi 6(2.4G&amp;5.2GHz)/IEEE802.11ah(920MHz) 準拠通信</p> <p>① LTE(800MHz)</p> <p>② 5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム(U57) 基地局</p> <p>携帯電話無線基地局</p> <p>高画質中継によりリモート現地立ち会いと合意形成</p> <p>計測データ： 経路①と②でのスループットと受信信号強度 データ分析： 樹木立木密度を変化させ、森林条件と各周波数帯伝搬特性をモデル化</p> <p>境界明確化作業・GNSS測量</p> <p>5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム(U57) 端末+カメラ</p> <p>Wi-Fi端末+4Kカメラ(Wi-Fi 6/IEEE802.11ah(920MHz)準拠通信)</p> <p>QZSS</p>

### 3. 実証事業一覧

## 7. 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業（令和2年度事業）（つづき）

### <森林境界明確化のためのリモート現地立ち合いシステム>



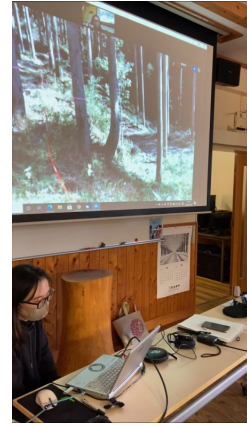
森林内の状況をWeb会議システムで遠隔地において視聴でき、リモート現地立ち合いが可能であることを実証



森林内の状況をライブで映像撮影し、UAVへ伝送



上空のUAVでWiFi6を受信しLTEへ中継



1.2km離れた遠隔地でWeb会議システムで森林内の状況を見て、リモート現地立ち合いを実施

地域課題  
解決にお  
ける成果

今後の展  
望

- 事業終了後の展開主体及び体制は、測量会社（ドローン運行と空間情報技術を持つ企業等）と通信事業企業の共同事業を想定している。
- さらに、展開方法としては、林野庁、国土交通省への技術紹介、（一社）日本国土調査測量協会での紹介、測量会社は市町村等の地籍担当部署への営業活動として展開することが現実的。

### 3. 実証事業一覧

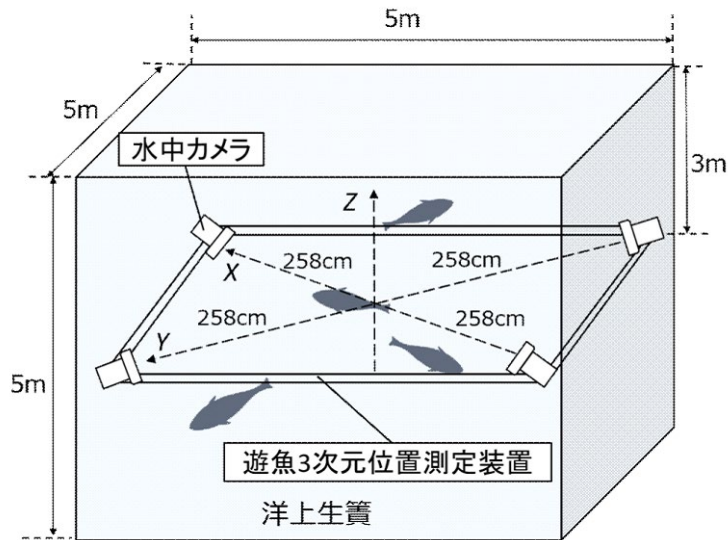
## 8. 洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業（令和2年度事業）

<b>実施団体</b>	国立大学法人 愛媛大学，愛媛県，株式会社NTTドコモ，電気興業株式会社
<b>実施地域</b>	愛媛県宇和島市，愛媛県南宇和郡愛南町
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 水産業向けの洋上IoT利用における無線通信の可能性や可否を，スループット，遅延，可用性，消費電力，通信障害発生等の観点から判断する上で必要な知見を，現行のIoTサービス環境，さらには，今後要望されるサービス環境・条件の下で得ることに取り組む。</li> <li>● 魚の活性や遊泳ベクトル測定，魚数計測が行える遊魚三次元位置測定装置の洋上利用において，これまでに実用化を行った常時多深度海水温観測装置で利用する4Gでは，通信速度の点から不十分である。</li> <li>● そこで，遊魚三次元位置測定装置に求められる広帯域を提供する5G（公衆，ローカル）の無線通信に対し，海面反射，波浪による乱反射や遮蔽，濃霧の影響等，電波伝搬特性等を計測し，洋上IoTサービス展開時の効果的な電波利用を目指した，周波数帯や通信方式の選択・判断に資する知見を得る。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 養殖魚の活性や遊泳（移動）ベクトルの測定，魚数の計測が行える遊魚三次元位置測定装置に求められる，精細画像の伝送の実現</li> <li>● 海面での反射，波浪による乱反射や遮蔽，濃霧による影響など，洋上での常用的利用の観点から，有効性や利用条件，制約などを明らかにすること</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	

### 3. 実証事業一覧

#### 8. 洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業（令和2年度事業）（つづき）

##### <遊魚三次元位置測定システム>



地域課題  
解決にお  
ける成果

遊魚観測（左：観測の様子、右：カメラ映像）



今後の展  
望

- サービスの提供方法の一つは、漁業に関する団体で構成された宇和海水温情報システム運営協議会の会員向けサービスとして進めていくことである。イメージとしては、宇和海域における魚病の早期発見が可能となる。
- もう一つの方法として、大学発ベンチャービジネスとして、個々の漁業者向けに魚数計測と魚病早期発見のサービスを提供する形である。

### 3. 実証事業一覧

#### 9. 多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業（令和2年度事業）

<b>実施団体</b>	十勝農業協同組合連合会、株式会社NTTドコモ北海道支社、株式会社構研エンジニアリング、北海道（アドバイザー）
<b>実施地域</b>	北海道広尾郡大樹町字生花
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 公共育成牧場（十勝農協連湧洞牧場）では酪農、畜産農家の経営安定を図るため、全国から預託牛を募集して放牧を中心に事業を展開しているが、敷地が広大（422ha：東京ドーム90個分）であるため個体の管理が大変であり、過重労働と慢性的な人員不足により存続の危機にある。</li> <li>● 昨年、労働環境の改善を図るため市販のLPWAを用いて放牧牛の個体管理を実施したものの、起伏の多い丘陵地帯における電波伝搬環境が不安定となる問題や位置情報を頻繁に測位するために短い周期で電池交換が必要となる課題があった。</li> <li>● 本事業では、多頭数放牧牛の位置情報を中心にシステム化し、加速度センサ付省電力LPWA送信機（以下、LPWA送信機と呼ぶ機器）の省電力化を図り、それに加え放牧牛の健康・繁殖管理に結び付ける行動履歴をデータ化し、実用化に向けたIoTシステムの地域実証を行う。</li> </ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本実証地のような複雑な地形の丘陵地帯において、複数の通信機器を用いたプライベート通信網を構築するにあたっての、起伏や樹木による電波遮断、キャリアLTE圏外、多数の送信機の同時接続による電波輻輳など</li> </ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	<div style="text-align: center;"> <p><b>本事業で実証を行うIoTサービスのイメージ図</b></p> <p>【LPWA通信インフラ網構築】 ← LPWA/LTE 接続GW → 【放牧牛管理サーバー構築】</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>【LPWA受信中継機】</b>                  ※LTE圏外におけるエリア対策                  ※LTE接続GWへデータを転送                  ※電力はソーラー発電を利用</p> <p><b>【LPWA/LTE接続GW】</b>                  ※クラウド上へデータをLTEで送信                  ※電力はソーラー発電を利用</p> <p><b>【加速度センサ付省電力LPWA送信機】</b>                  ※加速度センサの動作時のみデータ送信する事で省電力化が図れる                  ※データは位置情報履歴</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>事務所：WebGIS看視</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・牛の現在位置情報</li> <li>・牛の行動軌跡</li> <li>・任意の個別検索</li> <li>・デバイスのRSSI及び電圧通知</li> </ul> <p>CLOUD</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 放牧牛に取付け位置情報を放牧牛管理サーバへ送信</li> <li>■ LPWA機器はLoRaおよびWi-SUNで検証</li> <li>■ 加速度センサが動作するまでは<b>ホットスタンバイ</b></li> </ul> <p>LPWA送信機 GPSモジュール、加速度センサ、CPU、LPWAモジュール</p> <p>LPWA/LTE接続GW LPWA受信、GW、LTE送受信</p> <p>独立電源SYS</p> </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 位置情報をクラウド上の放牧牛管理サーバに集約し、<b>牛の個体番号を時間と場所で仕分ける</b>事で親機からの重複データを整理する</li> <li>■ データはWebGIS上に表示する</li> <li>■ 過去、現在の移動軌跡を表示させる（将来的に個体ごとの疾病や発情等の特徴を発見できるようにする）</li> <li>■ 端末の受信レベル、電池残量表示</li> </ul> </div> </div>

### 3. 実証事業一覧

## 9. 多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業（令和2年度事業）（つづき）

### <多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム>

■ LPWA送信機（GPSモジュール）から定期的に送信される放牧牛の現在位置情報は、LPWA受信中継機・LPWA/LTE網接続GW（親機）を経由して放牧牛管理サーバーで受信

（※LTE圏外に設置した中継機で受信した現在位置情報は、親機を経由）

■ 放牧牛管理サーバーでは、LPWA送信機からの情報を順次取得・整理し、データベースに登録



地域課題解決における成果

### 観測データ取得状況

管理サーバーへの登録時間

行	子機番号	無線ID	年月日	時分秒	緯度	経度	電池電圧	加速度	親機:電波強度	牛	牧区	登録日時
1	1	70	2020-10-23	09:39:28	N42.591080	E143.528506	3.35	14	[2: -118]	白846	2区	2020-10-23 09:44:41
2	2	71	2020-10-23	09:39:16	N42.591517	E143.528322	3.34	12	[2: -118]	白846	2区	2020-10-23 09:44:41
36	36	105	2020-10-23	09:00:26	N42.591080	E143.528506	3.35	0	[2: -118]	白537	4区	2020-10-23 09:00:26
37	37	106	2020-10-23	09:00:48	N42.597097	E143.523324	3.35	0	[2: -96] [3: -111]	青143	3区	2020-10-23 09:04:42
38	38	107	2020-10-15	17:45:28	N42.597297	E143.523116	3.34	0	[3: -117] [2: -93] [1: -112]	白818	3区	2020-10-15 17:49:41
39	39	108	2020-10-23	09:00:28	N42.597142	E143.523136	3.31	0	[3: -112] [2: -106]	青008	5区	2020-10-23 09:04:42
40	40	109	2020-10-23	09:00:42	N42.597460	E143.522577	3.35	0	[2: -97] [1: -118] [3: -115]	白663	5区	2020-10-23 09:04:42
41	41	110	2020-10-16	08:35:32	N42.600375	E143.523938	3.32	11	[3: -112] [1: -88] [2: -125]	青032	6区	2020-10-16 08:39:41
42	42	111	2020-10-23	09:00:36	N42.601957	E143.529774	3.31	0	[2: -97] [1: -118] [3: -115]	白810	6区	2020-10-23 09:04:42
43	43	112	2020-10-23	09:01:20	N0.000000	E0.000000	3.34	0	[2: -97] [1: -118] [3: -115]	白800	7区	2020-10-23 09:04:42
44	44	113	2020-10-23	09:00:42	N42.604397	E143.527146	3.31	0	[2: -97] [1: -118] [3: -115]	白409	7区	2020-10-23 09:04:42

位置情報(緯度経度)

電池電圧

子機情報の受信局と電波強度(RSSI)

位置情報発信日時

加速度検出回数

### <実証事業により構築したIoTサービスのリファレンスモデルを他地域に展開するための今後3年のシナリオ>

今後の展望

	2021年4月～12月	2022年1月～12月	2023年1月～12月
内容	[4月]本実証に基づく商流確立 [5月以降]展開先への営業 ※育成牧場への個別巡回や参集による意見交換を行い、放牧牛管理システム導入による監視作業時間の削減効果等を説明し、本IoTサービスの導入が放牧牛監視作業の利便性向上に役立つことを理解いただく [6月]本年度事業追加項目検証（滝洞牧場） ※頭数確認だけでなく、年間でシステムを利活用できる仕様にするため、発情等に関するデータを収集する ※仕様を確定してから2023年のサブスクリプションにて400頭の本格導入に向けて開発する		[1月]サブスクリプション販売に関する検討 [4月]サブスクリプション販売開始

### 3. 実証事業一覧

## 10. 海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業（令和2年度事業）

<b>実施団体</b>	株式会社音力発電、沖縄県久米島町 (協力機関：株式会社NTTドコモ、株式会社紵の森、国立大学法人琉球大学（藤井智史教授）)
<b>実施地域</b>	沖縄県久米島町
<b>事業概要</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 離島の多くは、主要電力を燃料代の高い「ディーゼル発電機」に依存している。そのため、「発電コストの割高な状態」が続いている。</li><li>● また、SDGsの観点でも再生可能エネルギーの導入が求められている。</li><li>● このような背景にあり、沿岸部を有する自治体は積極的に波力を活かした「波力発電」装置の導入を検討しているが、発電が自然環境である「波力」によるので、安定供給を裏付ける稼働監視が必要である。</li><li>● 本事業は、このような背景から「波力発電」の稼働監視をIoT技術によって実現するための利用環境検証である。</li></ul>
<b>IoT利用環境及び電波利用上の課題</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 海上の通信機器と通信を行う際には、波高や潮位の変化による影響を受けること</li></ul>
<b>実証内容のイメージ</b>	<p>The diagram illustrates the monitoring system. On the left, a '稼働監視センサ (発電量や振動等をセンシング)' is mounted on a '港' (port) structure. A '波力発電装置' (wave power generation device) is also shown. A yellow arrow labeled '稼働監視データを送信 (海上環境におけるLoRaとLTEの比較検証)' points from the sensor to a '受信装置等 (陸上)' (land-based receiving device). Below this, a red box labeled '陸上' (land) contains the receiving device, with a note: '※LoRa：新たに受信機を設置 / LTE：既存のLTEの基地局を利用'. An arrow points from the land-based device to a computer monitor displaying a graph, labeled '稼働状況の遠隔監視 (保守・点検等の作業時間削減効果を測定)' (remote monitoring of operation status).</p>



### 3. 実証事業一覧

#### 10. 海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業（令和2年度事業）（つづき）

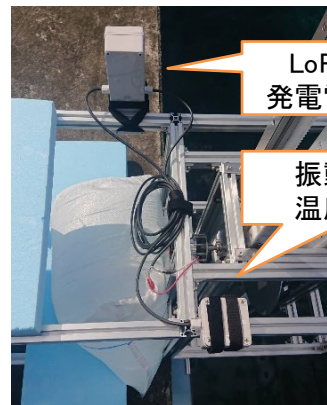
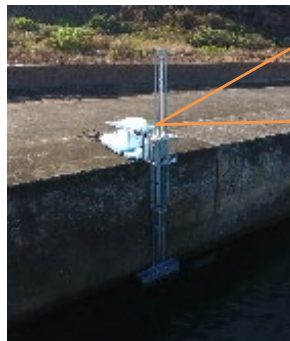
地域課題  
解決にお  
ける成果

- ✓ 実際の発電装置を活用し、無線通信状況（RoLa）を分析
- ✓ 波力発電装置には、稼働状況を把握するための振動センサおよび温度センサを設置

＜波力発電装置を設置した岸壁の様子＞



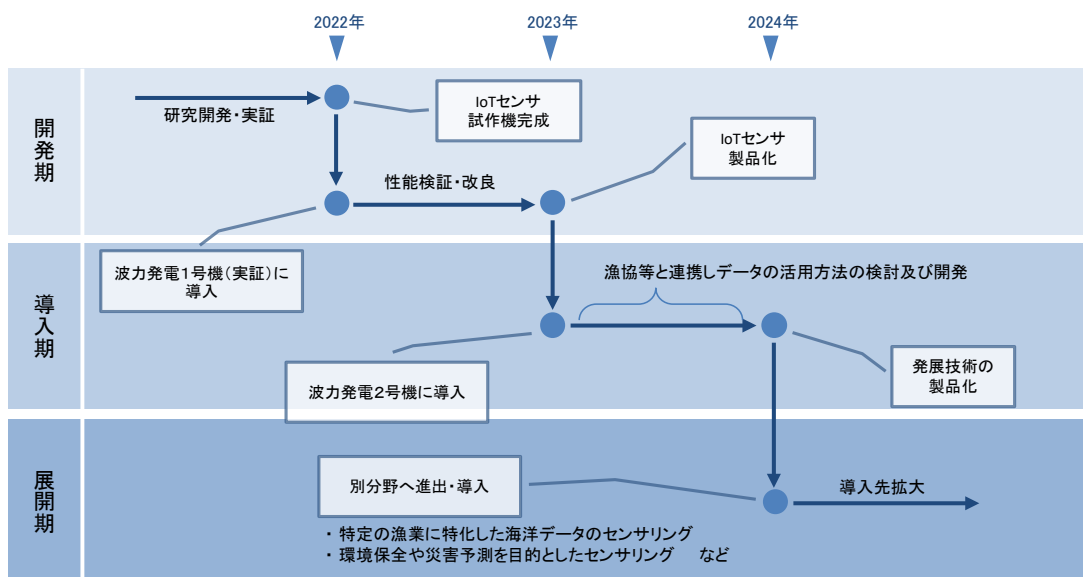
＜波力発電装置＞



LoRa送信器  
発電電圧センサ

振動センサ  
温度センサ

今後の展  
望



## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

- 本事例集では、実証を通して得られた、IoT利用環境及び電波利用に関する知見を二つの観点（「IoT利用環境の観点」「利活用するセンサーの観点」）から以下の通り整理しています。

IoT利用環境の観点	屋内	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 施設や建造物の内部でIoTを利活用するケース</li> <li>✓ 設備の移動や人の移動、電波を発する機器による干渉といった影響を受ける可能性がある点が特徴</li> </ul>
	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 屋外でIoTを利活用するケース</li> <li>✓ 気象による影響を受ける可能性があるほか、地形を考慮してIoT利用環境を構築する必要がある点が特徴</li> </ul>
センサー利活用するの観点	移動するセンサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドローンやロボットなど移動するセンサーを活用するケース</li> </ul>
	固定されたセンサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 固定センサー（温度センサー、加速度センサー、画像センサー、圧力センサーなど）を複数地点に多数設置することで継続的にデータ取得・分析を行うケース</li> </ul>

- 以降では、上記の観点を踏まえ、以下のような分類で知見を整理しています。

		利活用するセンサーの観点	
		移動するセンサー	固定されたセンサー
IoT利用環境の観点	屋内	<b>a.で整理</b> 「自律走行ロボットエレベータ連携実証事業（LTE/Wi-Fi/LPWA）」が主に該当	<b>b.で整理</b> 「三条市 株式会社ものづくり学校（LPWA/LTE）」が主に該当
	屋外	<b>c.で整理</b> 「中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証（LTE、Wi-Fi）」「森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業（LTE、Wi-Fi6（2.4G&5.2GHz）/IEEE802.11ah（920MHz）、5.7Ghz帯無人移動体画像伝送システム（U57）」「多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業（LPWA/LTE）」「海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業（LoRa、LTE）」が主に該当	<b>d.で整理</b> 「Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業（SIGFOX、LoRa、4G）」「シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業（LTE/3G、Sigfox、2.4GHz帯、315MHz帯、433MHz帯、920MHz帯）」「微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業（3G/LTE、特定小電力無線、LPWA）」「洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業（公衆5G（3.7GHz）、ローカル5G（4.8~4.9GHz）」が主に該当

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### a. 移動するセンサーを屋内で活用する際のポイント

(実証内容：自律走行ロボットが建物内をエレベータを利用して複数階移動するケース)

LPWA (CAT-M1) を用いたエレベータ制御に成功。屋内の電波不感・電波干渉等電波障害への対応は、ソフトウェア側に再送処理の機能を追加することが有効。また、ロボットの自律走行の場合、電波障害時に、安全な停止・待避など電波を使用しない方法による対応も講じる必要。

#### 【課題設定】

- 人感センサーを搭載した屋内型自律走行ロボットが、建物内をエレベータを利用して複数階移動する場合、カバレッジや電波干渉の影響による電波障害により、正常なサービス運用に大きな支障を受ける事が懸念される。
- そのため、本実証では、LTEの屋内対策の施されていない建物やエレベータ内において、LPWAやWi-Fi の利用も併せて検討し屋内での自律走行ロボットの動作に適する電波の種類・通信技術の組み合わせを明らかにした。

#### 【LPWA (CAT-M1) に対する評価】

- 今回の実証地において、LTE について十分に屋内対策された建物（オフィスビル）の電波環境は、想定されていた無線状況よりも良好だった。具体的には屋内対策が実施されており、無線状況が芳しくない想定されるような地下及びエレベータかご内であっても十分なRSRP（Reference Signals Received Power；基準信号受信電力）とSINR（Signal to Interference plus Noise Ratio；信号対干渉電力と雑音比）を備えていた。
- 一方、LTE について屋内対策がなされていない建物（サ高住）においては、エレベータのかご内や奥まった場所ではRSRP とSINR が20dB 程低下し、通信環境の劣化が見られた。事実、エレベータの乗降時に何度かエレベータとの通信が失敗することがあった。施設における電波環境の計測を行ったところ、RSRP-110dBm, SINR-5dBの状況で通信途絶を起こすことが判明した。そのため、再送処理の機能を追加することにより、実証終了時には通信成功率が100%となった。なお、通信が途絶する場所においてはSINR が著しく劣化しており、SINR を1つの評価指数として見る事が出来た。
- エレベータとの連携では約10kBのデータ送受信を行ったが、今回エレベータ制御に使用した情報通信量（HTTP プロトコルにて10kB）では、最もスループットが低速のLPWA（Cat.M1（上り:375kbps,下り:300kbps））でも十分な速度だった。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### a. 移動するセンサーを屋内で活用する際のポイント

(実証内容：自律走行ロボットが建物内をエレベータを利用して複数階移動するケース)

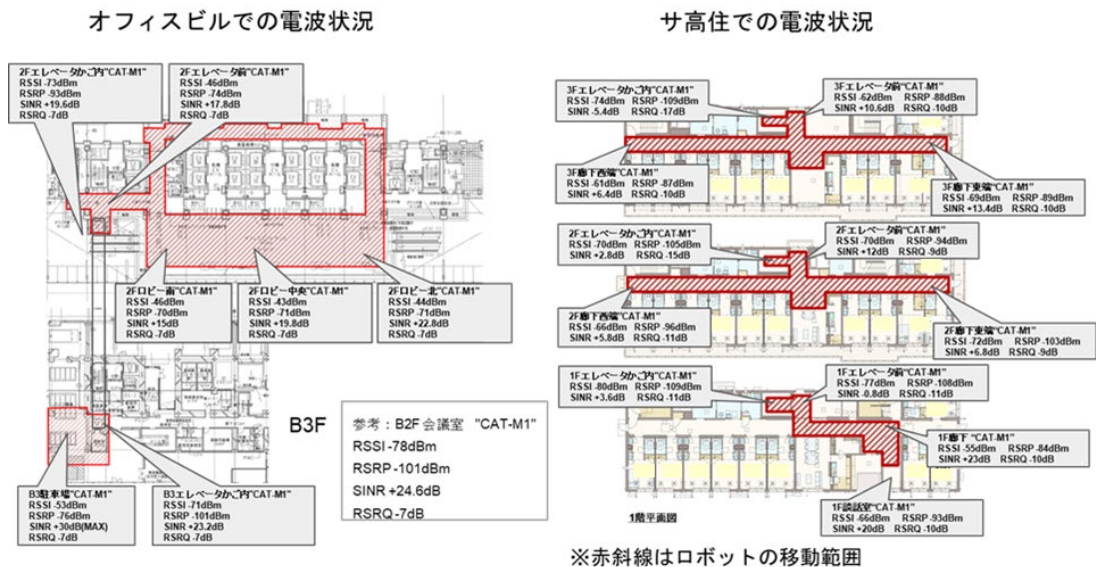
LPWA (CAT-M1) を用いたエレベータ制御に成功。屋内の電波不感・電波干渉等電波障害への対応は、ソフトウェア側に再送処理の機能を追加することが有効。また、ロボットの自律走行の場合、電波障害時に、安全な停止・待避など電波を使用しない方法による対応も講じる必要。  
(つづき)

#### 【Wi-Fiに対する評価】

- エレベータ内を含む建物複数階を移動する自律走行ロボットの利用について、通常のWi-Fiの利用は、電波出力の制限によって到達距離が限られていること、また無線局免許を必要としない「アンライセンスバンド」での通信であることから干渉を排することが困難という技術的な制約があり、ある階ではオフィス向けWi-Fiによる干渉によってロボット用の通信が行えなくなるため動作できないという、移動範囲等の制約が生じる性質がある。
- 実際、実証においても、想定通り、単一フロアの通信には利用ができたが、複数フロアをまたいだ通信では安定しなかった。複数フロアによる利用には、各階にアクセスポイントが必要と考えられる。

#### 【電波を使用しないロボットの安全な停止・待避対策の必要性】

- 上記のとおり、セルラー系のLTE、LPWA (Cat.M1) の利用が適すると考えられるが、電波測定器を使用した計測で電界強度には余裕があっても、エレベータ内では扉の開閉・階の移動など環境の変化が大きく、干渉が発生することも考えられる。また、災害時は、基地局の障害の発生も想定し得るため、ロボットが自動的にドアの開いた階で降りる、待機階・位置に戻るなどロボットのソフトウェア側による安全な停止・待避など電波を使用しない方法による課題解決の検討も必要と思われる。



実証地における電波状況

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### b. 固定されたセンサーを屋内で活用する際のポイント

(実証内容：加工機械や金属材料が多い工場に設置したセンサーから取得した匠データを遠隔設置のサーバーに送信するケース)

LPWAの利用を候補とする場合、低消費電力、広域カバー、製造コストの安価な通信モジュールという特徴の一方で、実効伝送速度が低いことから、アプリケーションで送受信（アップリンク／ダウンリンク）されるデータサイズや頻度から適した方式かを良く検討する必要がある。

- 今回実証に用いたLoRaWANは、920MHz帯を用いて、数kmの伝送距離、低消費電力（10年程度のバッテリー持続）、数百～数千円という安価な製造コストの通信モジュール、多量のデバイス接続という特徴を持つ。また、常にデバイス主導の通信（アップリンクから通信開始）で、一回あたりのデータサイズが小さなものが適している。
- これらの特長を活かし、建物・道路等のインフラ管理、気象観測センサーや水道メーターなどアップリンクのデータ収集に適しており、遅延も再送を含めて数十分単位まで許容できるようなアプリケーションに向く技術である。
- 今回、三条市コンソーシアムでは、二つのフェーズに分けてIoTデータの通信を行っている。第Ⅰステップでは、工場内に設置した「匠技術データ化装置」から、匠技術に関する動的データ（実証実験では包丁研ぎの押し付け圧力）をLoRaWANの基地局経由でサーバーに蓄積した。また、第Ⅱステップでは、指導を受ける若手職人が使用する「研ぎ指導用ツール」から送られて来る若手職人データとサーバー蓄積された匠の研ぎデータとを比較し、その差分から指導データを「研ぎ指導用ツール」に返信する仕組みであった。
- このようなアプリケーションに対し、第Ⅰステップの匠技術に関する動的データのアップリンクには設計次第では適しうると考えられた。一方、第Ⅱステップでは下り通信の即応性が必要となり、本実証では若手職人への指導場面では十分な実用性が確認できなかった。ダウンリンクの通信トリガーがクライアントからのアップリンクに限られるとともに、ダウンリンクの失敗に対する再送等が無いため指導への使用は困難であった。なお、実証実験では、LTEを用いた場合の検証も行っており、この場合は、問題なく利用することが出来たことから、下り通信の即応性が必要な場合は、LTEが適していると考えられた。
- 日本におけるLoRaWANの利用は、ARIB STD-T108（920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備）規格に準拠する。今回実証に用いたソラコム社のLoRaWANは、「連続して電波を送出できる最大時間400ms、送出後送出時間の10倍のインターバルをあげなければならない」チャンネルであり、最大で4,400ms（4.4秒）毎に一回の頻度でしか通信できない特性があった。なお、このほかに、STD-T108規格には休止時間50msのチャンネル帯域もあり、より短時間で繰り返し利用することは技術的に可能である。
- LoRaWANのダウンリンクの通信が上手く行かない原因として、工場内の遮蔽物や機械からの電磁気的なノイズによる電波伝播障害も考えられる。この他の要因として、今回検証していないが、LoRaWANのダウンリンクの仕様上の特性や、基地局（ゲートウェイ）を介して接続する3G回線の通信環境等も考えられる。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：中山間部において目視外・補助者なしで映像伝送システムを搭載したドローン航行を行うケース)

中山間部上空ではLTEを使用することが有効。  
ただし、弱電箇所やサービスエリア外の場所では、Wi-Fi等の代替通信手段を確保する必要がある。

- 中山間部において目視外・補助者なしのドローン航行を行う上での通信手段としては、LTE（携帯電話）が有効であった。ただし、山奥等においてはLTE電波の弱電箇所、サービスエリア端、サービスエリア外の箇所もありうるため、事前に航行ルート上の通信を確認し、状況に応じて航行ルートの見直しや一部区間の補助者配置、代替通信手段の確保などの検討を行う必要が出てくる。
- Wi-Fiについて上空60mまでに遮蔽物のない状況であれば有効な通信環境を用意することができた。ただし、60mよりさらに高い高度や、木々や葉の生長・落葉など准動的・准静的な遮蔽が発生する状況においては、映像伝送に必要な十分な通信速度を確保することは困難であった。

地名	想定される課題
南山方	住宅地等における外来波による電波混信
長楽の滝	山などの静的な遮蔽による電波伝搬見通し困難箇所
父井原	木々や葉の生長・落葉など准動的・准静的な遮蔽による電波伝搬見通し困難箇所
和意谷	山間部におけるLTEのサービスエリア外（森林測量用途想定）

電波測定・検証実施箇所と想定される課題



和気町における電波測定・検証実施箇所の位置

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：中山間部において目視外・補助者なしで映像伝送システムを搭載したドローン航行を行うケース)

中山間部上空ではLTEを使用することが有効。  
ただし、弱電箇所やサービスエリア外の場所では、Wi-Fi等の代替通信手段を確保する必要がある。(つづき)

#### 【弱電が想定される箇所における電波測定結果】

- LTEについて全ての測定箇所にて地上に比べると、上空の方が電波環境の改善が確認された。
- ただし、山の遮蔽などにより地上に比べ、上空での電波環境が悪化する場合も想定される。
- 今回の地上における電波測定では秋季(10月)と冬季(1月)の木々や葉の生長・落葉など准動的・准静的な遮蔽による電波環境の大きな差異は確認されなかった。

測定ヶ所	地上	上空30m	上空60m
南山方	○良	◎優	◎優
長楽の滝	△可	◎優	◎優
父井原	△可	△可	△可
和意谷	×エリア外	△可	○良

中山間部における地上・上空の弱電箇所のLTE電波状況

- Wi-Fiについて上空60mまでに遮蔽物のない状況であれば有効な通信環境を用意することができた。ただし、60mよりさらに高い高度や、木々や葉の生長・落葉など准動的・准静的な遮蔽が発生する状況においては、映像伝送に必要な十分な通信速度を確保することは困難であった。

測定ヶ所	地上	上空30m	上空60m
南山方	◎優	◎優	○良
長楽の滝	◎優	◎優	○良
父井原	◎優	◎優	○良
父井原 (草木による電波遮蔽)	◎優	○良	×不可
和意谷	◎優	◎優	○良

中山間部における地上・上空の弱電箇所のWi-Fi電波状況

※本実証における映像伝送システムの利用を前提とした電波環境の評価。

◎優：映像伝送システムを利用できる。(安定して映像を視聴できる電波環境。)

○良：映像伝送システムを利用できる。(映像を視聴する上で問題の無い電波環境。)

△可：映像伝送システムの利用に支障が出る場合がある。(映像の停止、映像の乱れが発生する恐れがある電波環境。)

×不可：映像伝送システムの利用に適さない。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：中山間部において目視外・補助者なしで映像伝送システムを搭載したドローン航行を行うケース)

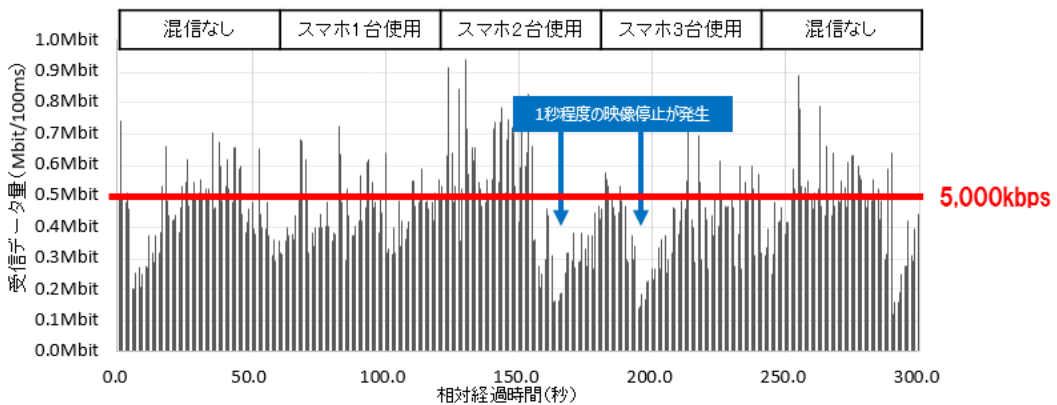
ドローン等に映像伝送システムを搭載する場合、LTE通信を利用すれば周辺環境の影響は小さい。ただし、他通信との混信を避けるため、2,000kbps以下の通信を利用する必要がある。

- LTE通信を利用した場合、おおむね問題なく映像伝送システムを利用できたが、前頁に記載した電波測定結果において「◎優」であった長楽の滝の上空30m、上空60mでは、映像が不安定になることがあった。上空60m（1,000kbps）では問題なかったため、地上の不安定な状況の継続及び、他の場所でのデータ利用等による混信などの複合要因にて不安定になっていたと考えられる。このような状況が頻発するような箇所が確認された場合には、飛行時間帯や航行ルートの変更等の検討が必要となる。
- LTEによる映像伝送時に、スマートフォン等で映像ストリーミングサービスを用いて動画を視聴することでデータ混信状況を再現し、システムが利用可能か検証した。
- 映像伝送は、上り回線、下り回線でも2,000kbps以下の通信であれば、データ混信時も問題なく利用できている。ただし、5,000kbpsの場合は映像の停止が発生しており、5,000kbps程度の高精細な映像を必要とするような場合はデータ混信が少ないと思われる時間帯等を検討する必要があると思われる。

#### 参考データ：LTEデータ通信との混信の影響

データ混信の状況	通信速度500kbps	通信速度2,000kbps	通信速度5,000kbps
上り混信 (上空からの映像伝送)	・問題なし	・問題なし	・不安定 1～2秒程度の停止が 1～2回程度発生
下り混信 (地上での映像受信)	・問題なし	・問題なし	・不安定 1秒程度の停止が 1～5回程度発生

LTEデータ混信試験結果



映像停止発生時の例 (5,000kbps)



## 4. 実証事業から得られた知見

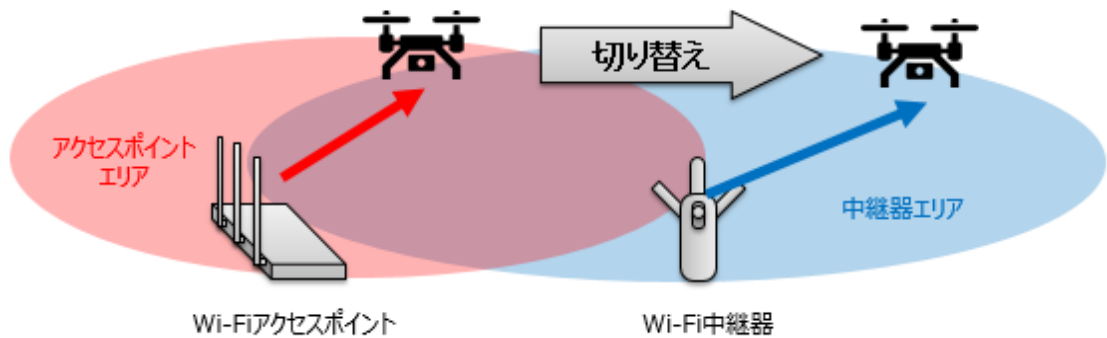
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：中山間部において目視外・補助者なしで映像伝送システムを搭載したドローン航行を行うケース)

Wi-Fi中継器を用いた映像伝送に係る広域な通信環境の構築は困難。

- 市販品であるWi-Fi中継器を用いて、通信範囲を60m以上へエリア拡大を実施できるかを本実証構成で実施。
- Wi-Fiアクセスポイントと中継器の切り替えに時間を要するため、エリア拡大は困難であった。
- 測定時は、無線アクセスポイントから距離が離れることにより、徐々に通信速度が低下し映像伝送が停止したが、Wi-Fi接続が中継器に切り替わるまで、78秒の時間を要した。本実証の映像伝送システムは、通信が途絶えてから30秒までであれば、復帰は可能であるが、通信できない時間が78秒となったため復帰できなかった。
- 実証では安価な市販品を用いたが、他の電波環境のよいWi-Fiアクセスポイントへ強制的に切り替える機能を持ったような業務用のWi-Fi機器を活用すれば、時間を短縮することが期待できる。
- また、連続性のある通信（リアルタイム通信）を必要としない用途(4K空撮写真の地上への送付など)であれば、Wi-Fi切り替え後に通信が可能となるため実証に用いた市販品でも有用であると想定される。



Wi-Fi中継によるエリア拡大のイメージ図

※Wi-Fiアクセスポイントを複数台使ったエリア拡大も考えられるが、Wi-Fiアクセスポイント間の通信環境（バックホール）の用意など、中継器より手間とコストがかかるため、検証対象外としている。

## 4. 実証事業から得られた知見

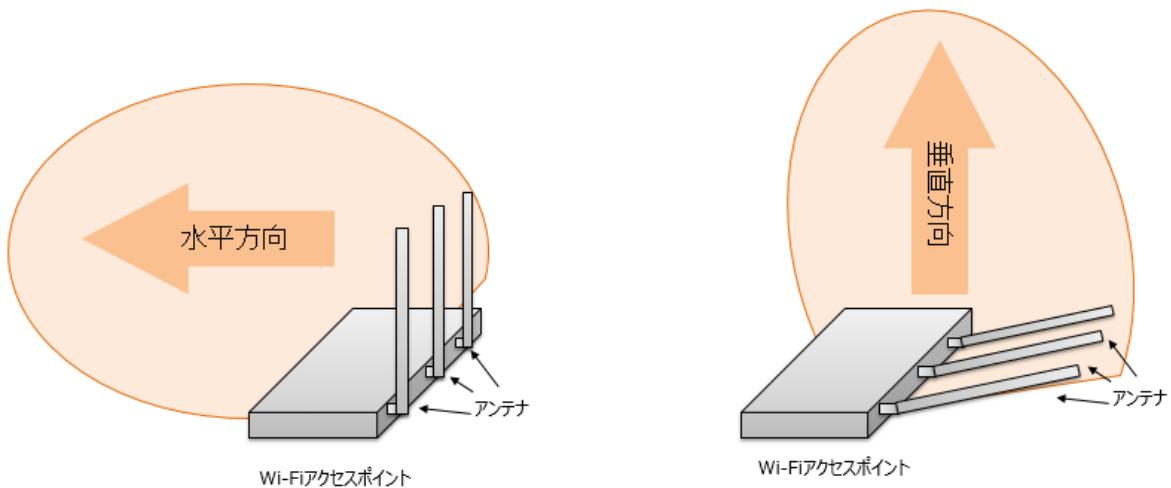
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：中山間部において目視外・補助者なしで映像伝送システムを搭載したドローン航行を行うケース)

上空のセンサー等にはWi-Fiアンテナを水平方向設置する。

- 市販Wi-Fiルータのアンテナ電波放射パターンによっては、電波到達距離が異なることがあるため、利用したいエリアにあわせて電波放射パターンを加味した設置が望ましい。
- 本実証においては、上空にエリアを作るためにアンテナ向きを変更（水平から垂直へ）し、上空にて約8 dBの改善が見られた。



【改善前】地上（水平）方向への電波放射

【改善後】上空（垂直）方向への電波放射

※図はイメージであり、実際の電波放射パターンとは異なります。

アンテナ電波放射パターンを加味した設置イメージ

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

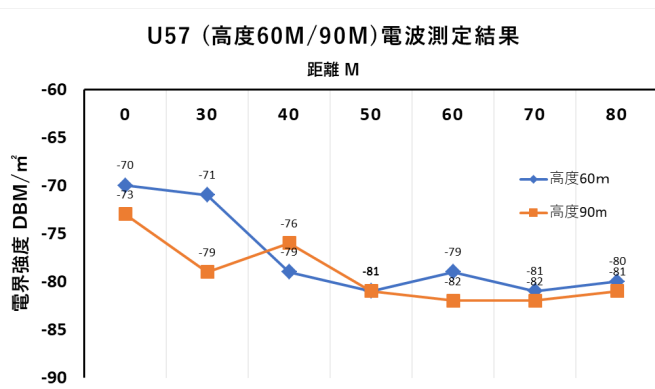
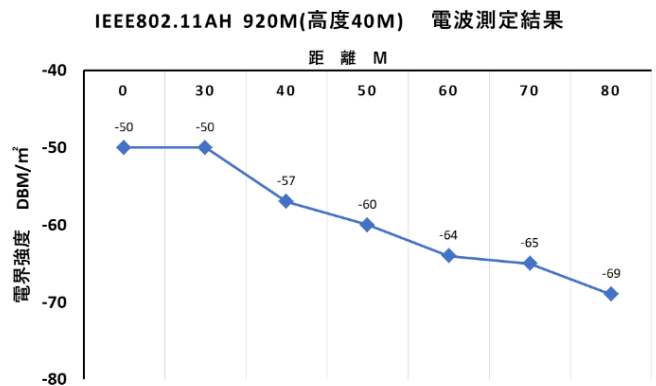
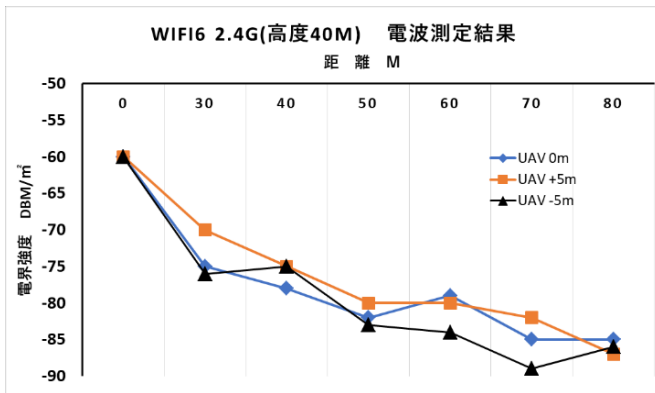
(実証内容：LTE電波環境のない森林内においてドローンを中継することで画像伝送を行うケース)

森林内では、80mの水平距離であれば十分に画像提供を行うことが可能。

- LTE電波環境のない森林内部に対し、Wi-Fi6及びLTE無線システム、IEEE802.11ah 920MHz及びLTE無線システムにてドローンを高度40mにて無線中継を行うことでインターネット環境を提供し、ドローンからの森林内部までの距離と電波強度を測定した。また、U57無線システムにてUAVを高度60m/90mにて無線中継を行うことでインターネット環境を提供し、ドローンからの森林内部までの距離と電波強度を測定した。
- その結果、Wi-Fi6及びLTE無線システムにてドローンを高度40mにて無線中継を行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで画像をZoomにて画像提供できることを確認できた。また、IEEE802.11ah 920MHz及びLTE無線システムにてUAVを高度40mにて無線中継を行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで静止画像を画像提供できることを確認できた。加えて、U57無線システムにてUAVを高度60m/90mにて無線中継を行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで画像提供できることを確認できた。



使用したUAV（有線給電ドローン）と実験設備(Wi-Fi6 中継装置及びLTEスマホ)収納形態



## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

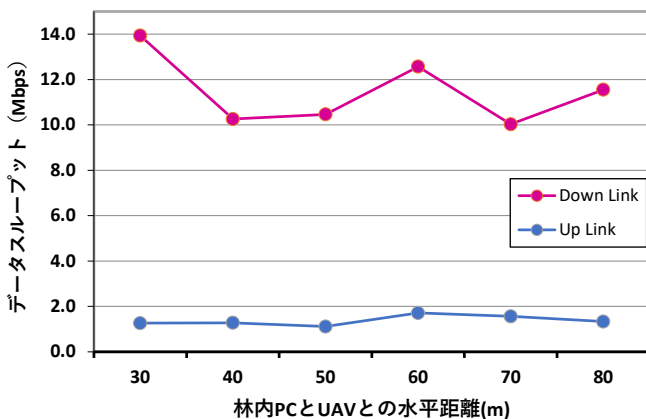
#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：LTE電波環境のない森林内においてドローンを中継することで画像伝送を行うケース)

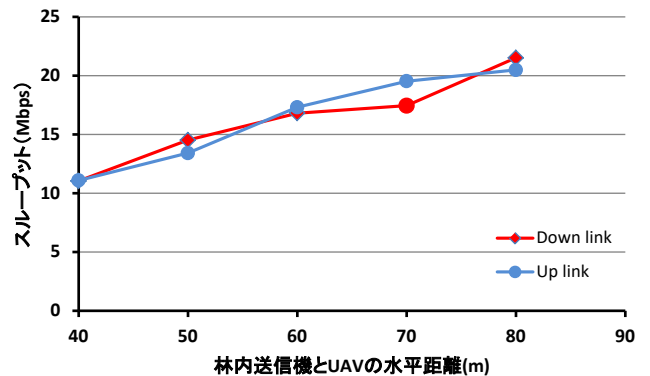
森林内では、80mの水平距離であれば十分に画像提供を行うことが可能。  
(つづき)

- 前頁と合わせて、スループットについても計測を行った。
- Wi-Fi6及びLTE無線システムにてUAVを高度40mにて無線中継を行い、インターネットでのテレビ会議システムによる映像サービス検証時のデータスループット測定を実施した。森林内30mから80mまでUp LinkとDown Linkにて測定したデータを記載する。Up Linkでは約1.1Mbpsから1.4Mbps,Down Linkでは約10Mbpsから14Mbpsにてテレビ会議システム使用での技術推奨値1.5Mbps(Up Link, Down Link)をほぼ満足でき実用上問題ない映像サービスを提供できた。) (グラフ1)
- U57無線システムにてUAVを高度60m/90mにて無線中継を行い、インターネットでの映像サービス検証時のデータスループット測定を実施した。森林内30mから80mまでUp LinkとDown Linkにて測定したデータを記載する。Down Linkでは11.0Mbpsから21.5Mbps、Up Linkでは11.1Mbpsから20.5Mbpsのスループットが得られ、HDレベルから4Kレベルの映像品質が確認できた。出力に余裕があり、距離による影響はなかった。(グラフ2)

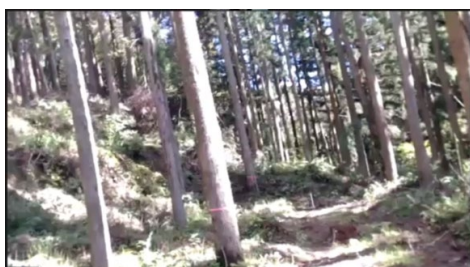
※IEEE802.11ah 920MHz無線システム及びLTE無線システムにおいては、IEEE802.11ah 920MHzシステムが実証試験装置にてLTE無線システムとWi-Fiテザリング接続できず光学的カメラ中継方式を採用したためデータスループット測定はできなかった。



グラフ1：Wi-Fi6及びLTE無線システムのデータスループット



グラフ2：U57無線システムのデータスループット



画像1：WiFi6により伝送したZoom映像



画像2：U57による伝送映像

## 4. 実証事業から得られた知見

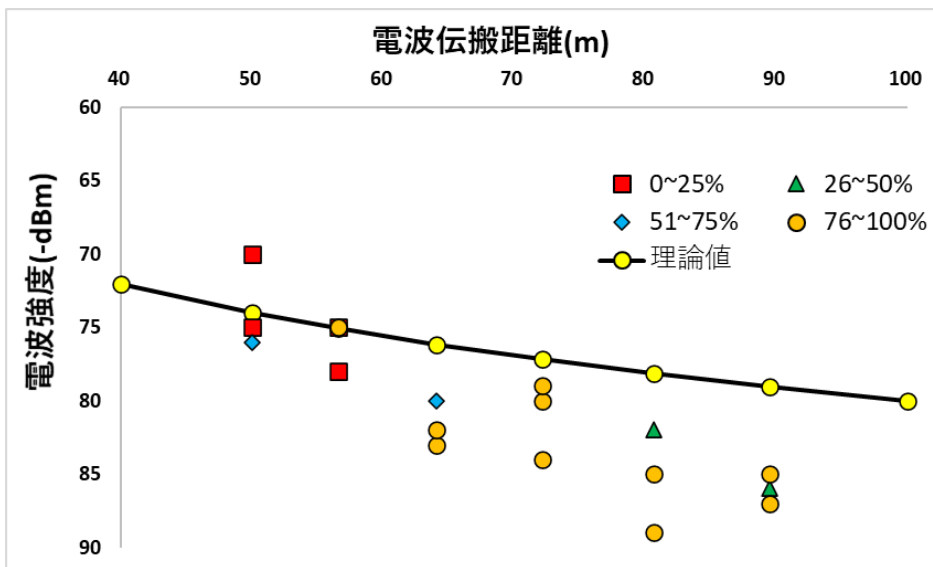
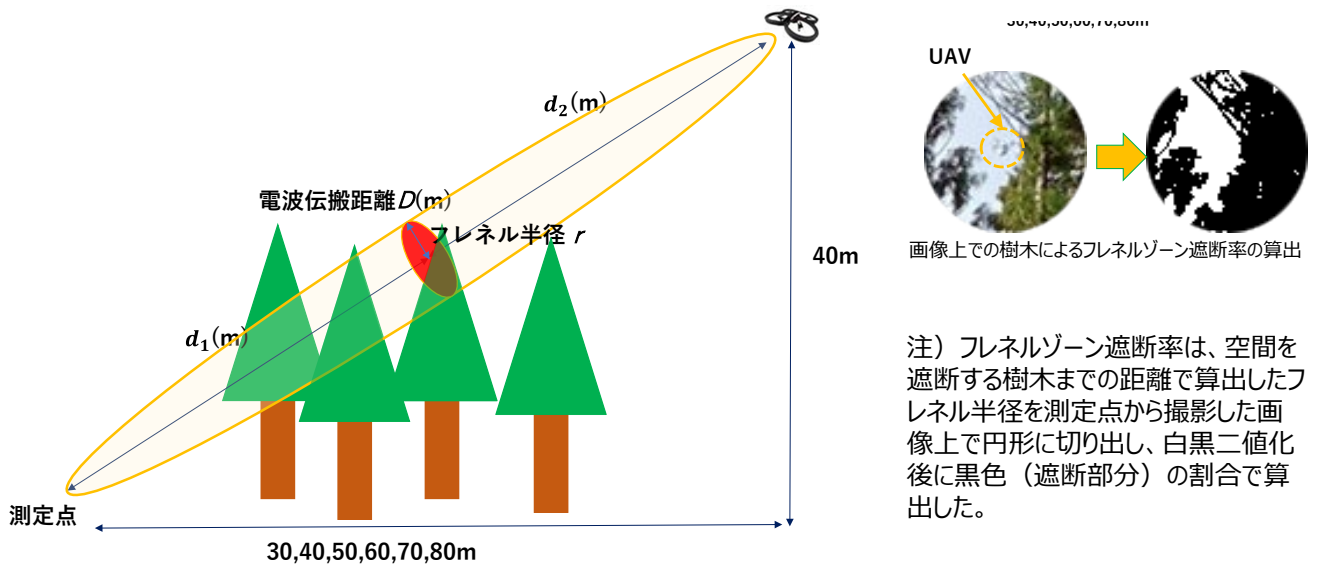
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：LTE電波環境のない森林内においてドローンを中継することで画像伝送を行うケース)

森林内で通信を行う場合には、樹木による電波伝搬への影響を考慮する必要がある。

- LTE電波環境のない森林内において飛行中のドローンと地上間におけるWi-Fi6の電波強度の測定を行った。
- その結果、電波強度は理論値よりも減衰した値を示した。樹木によるフレネルゾーンの遮断率が0-50%の場合は、電波強度と理論値とのずれの平均は-1.9dBmであったが、遮断率51-100%の場合は-4.7dBmであった。遮断率が大いほうが電波強度に与える減衰が大きい傾向を示した。



電波伝搬距離と遮断率による電波強度

※グラフでは、UAVと測定点間の直線距離を横軸に、電波強度の測定値を縦軸にとり、遮断率を4段階に区分して表している。また、電波強度の距離に応じた理論値も同じ図上に表して比較した。

## 4. 実証事業から得られた知見

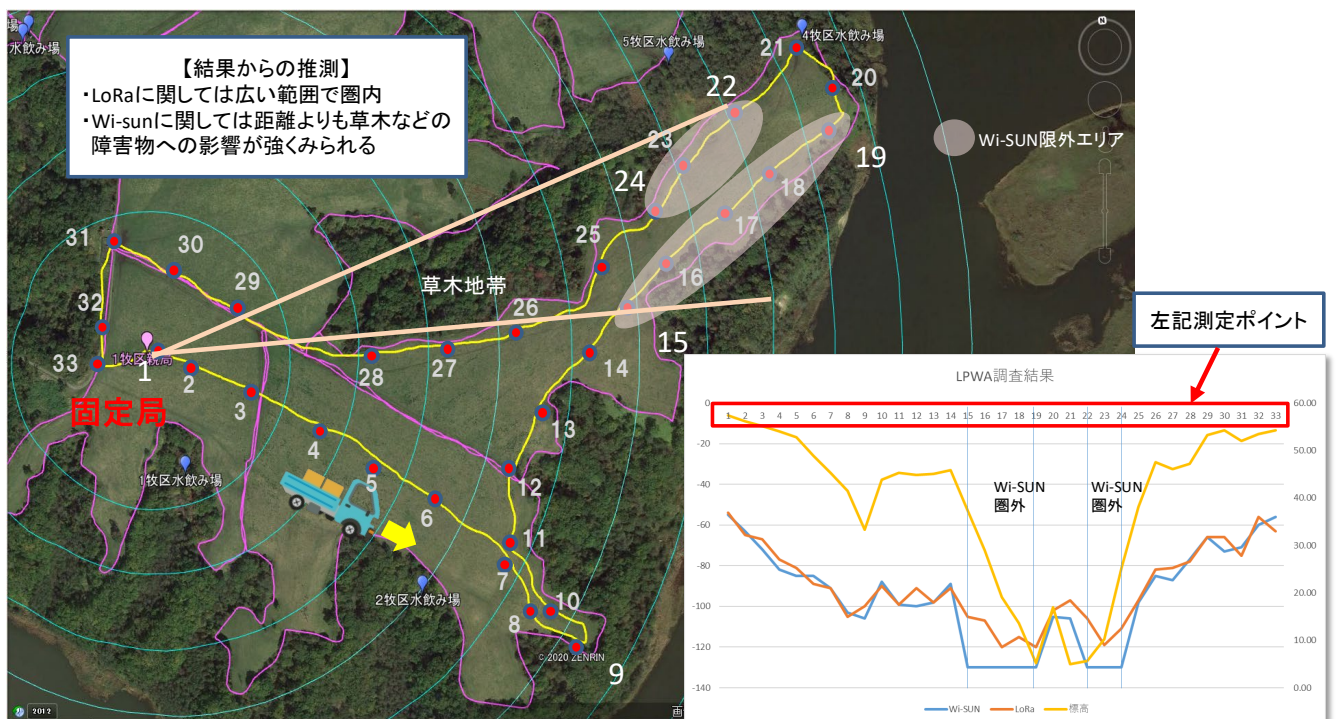
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：広大で複雑な地形の放牧地において牛の位置情報等を取得するケース)

「プライベートLoRa」と「Wi-SUN」を比較すると、起伏が激しく草木が生い茂っている環境下では「プライベートLoRa」の方が環境の影響が小さい。

- 実証フィールドの牧場における広大な土地と複雑な地形に合致した通信方式を選定するため、広範囲通信を特徴とする「プライベートLoRa」と伝送速度が比較的優位な「Wi-SUN」を検証した。
- 測定にあたり、ライトバンに乗せた4メートルのポールの先にLoRaとWi-SUNの子機（送信機）を各々並行に並べ、ここを固定局とした。また、LoRaとWi-SUNの親機（受信機）をトラックに乗せて、牧区内を約100mずつ移動しながら電界強度を計測した。
- 固定局からトラックが出発して1周33か所のポイントで計測実施した。スタートしてから徐々に標高が下がり電界強度も下がってきたが、暫くは両方式ともに受信できていた。その後、14ポイント目からWi-SUNの電界強度が下がり、15ポイントから19ポイントまで圏外となった。その後、20ポイントからは復活するものの、22～24ポイントでは再び圏外になった。その間、LoRaのデータは計測する事ができた。
- 地図とWi-SUNの不感地帯を重ね合わせると、受信機の高度が低く送信機との間に草木地帯が重なっている部分が対象となることがわかる。したがって、LoRaの方が障害物等の影響がなく利用できる事がわかった。実際の放牧地をエリア化するにあたり、LoRa方式を選択することを勧める。今回のような起伏が激しい場所では地形によって電波が届かない所が想定されるため、机上におけるLPWAのエリア設計は想定以上に困難であり、草や木の生え具合を踏まえて事前（できれば草木が生い茂っている時期）に現地で測定することを推奨する。



## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### c. 移動するセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：広大で複雑な地形の放牧地において牛の位置情報等を取得するケース)

LoRaについては、適切に中継器を設置することで効率的に通信可能エリアを広域化することが可能である。

- 広大で複雑な地形の放牧地をエリア化するために、LoRa親機とLoRa中継機の最適な設置場所を決めるためLPWA (LoRa) の電界強度の測定を行った。LoRa親機はデータをクラウドサーバーへアップロードする必要があるため、LTE圏内であることが前提であることからLTEの電波調査も実施した。
- LoRa親機の設置場所は、土地の高低差などから机上において予め目星をつけたLTE圏内となる高台（1牧区と8牧区）にした。バケット車を用意し、8 mの高さに受信機アンテナを設置し、各牧区における任意の点で電界強度を測定しPCに記録した。このとき、作業効率を上げるために2台のトラックを用意（LoRa送信機を設置）し、A班B班と2つのグループで実証対象牧区の周囲を移動しながら測定し、更に車で行けない場所を測定するため、バイクによる測定も実施した。
- 測定の結果、親機からかなり低いLTE圏外の場所（5牧区）にLoRa中継機を1か所設置することで全牧区のエリア化が可能となり、2機のLoRa親機と1機のLoRa中継機でLoRaのエリア化を図ることができるとわかった。
- アンテナの位置は高い方が見通しがきくため、エリア化を広域にするためにはできるだけ高い方が有効である（今回の実証では8 mとしてLPWAのエリア化を実施し、有効性を確認できた）。



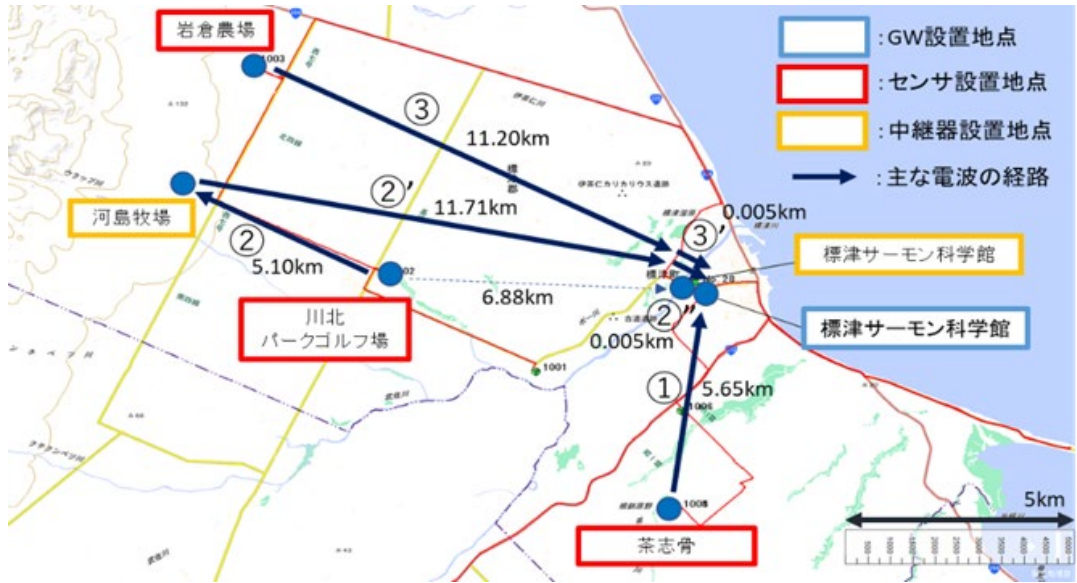
## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：地形、自然、気象の影響下でカメラ画像や気象データの収集・分析を行うケース)

見通しが悪い箇所では通信状況が安定しない可能性がある。  
その場合は、中継器を設置して電波を迂回させることで  
電波環境を安定させることができる。



電波伝搬試験用装置の設置位置（LoRa 用のみ中継器設置）と主な電波の経路（地理院地図を加工して作成・カシミール使用）

- IoTサービスを実装するにあたり、LPWAでは地形（標高差）や自然環境（防風林）を考慮したネットワーク構築に留意する必要がある。
- Sigfoxを用いた実験では、当初GWと送信機間の見通しが悪いため通信が不安定であったが、GWにおけるアンテナを移設することにより通信を安定化させることができた。
- LoRaを用いた実験でも同様に、送信機とGW間の地形や防風林等の障害物により、GWにおいて送信機の電波が届かない問題が生じたが、2つの中継器を追加で設置することにより、この問題を解決した。（当初計画では、「川北パークゴルフ場」に設置したセンサーと「標津サーモン科学館」に設置したGW間で通信を行う予定であったが、「河島牧場」と「標津サーモン科学館」のGWとは別の場所に設置した中継器を経由して通信環境を構築）



標津サーモン科学館屋上へのLoRa中継器設置

(A) 移設前ゲートウェイ位置、(B) 移設後ゲートウェイ位置、(C) 中継器位置





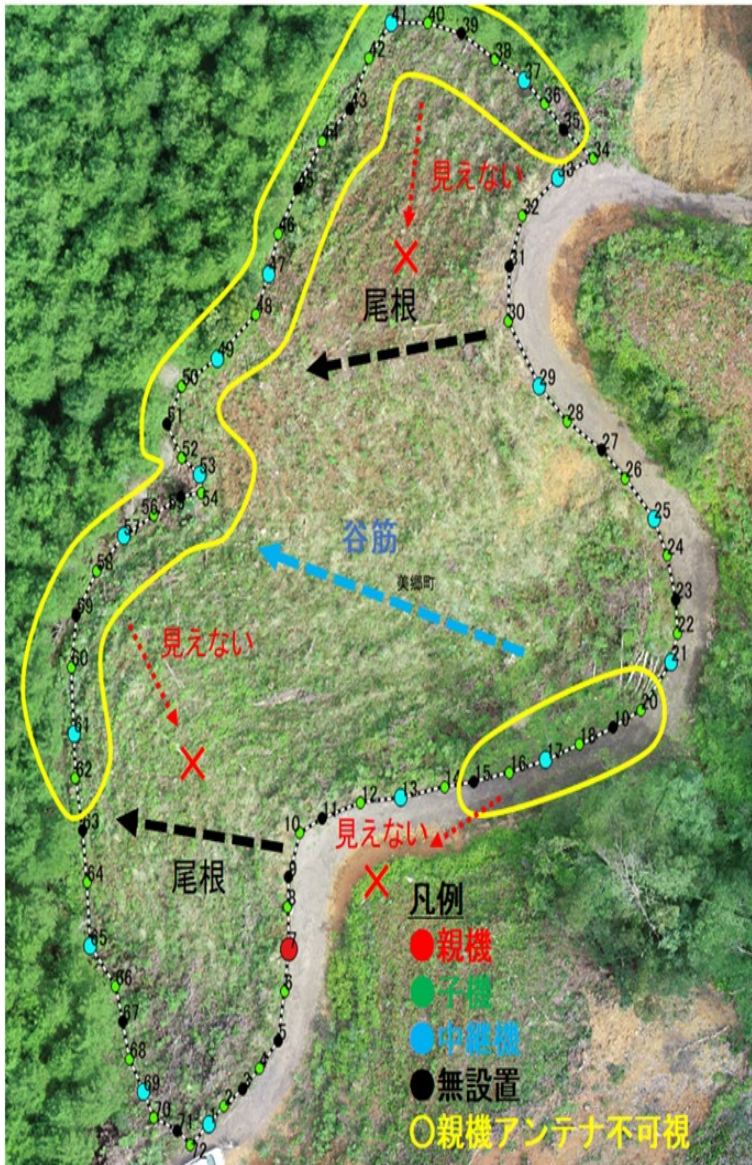
## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

地形の影響を考慮してセンサーを設置する必要がある。



- 本実証地では、支柱番号1から尾根、谷筋、尾根とM字型の地形となっており、黄色枠内の支柱トップから支柱番号7に設置した親機のアンテナ（受信）が地形により見えない（見通せない）状態となり、これが中継機から親機への電波伝搬上の最も大きな課題である。そのため、子機については、通信距離の短い通信モジュール（中継機モジュールより低価格）を採用し、見えない子機については、中継機経由で親機に電波を送信する方法を採用した。
- なお、見通せる子機についても、その他の電波伝搬影響（夏季の草本、親機周辺の防護柵自体等）を考慮して、支柱番号4,6,8,10以外の子機は、中継機経由にて親機へ送信する方法を採用している。

## 4. 実証事業から得られた知見

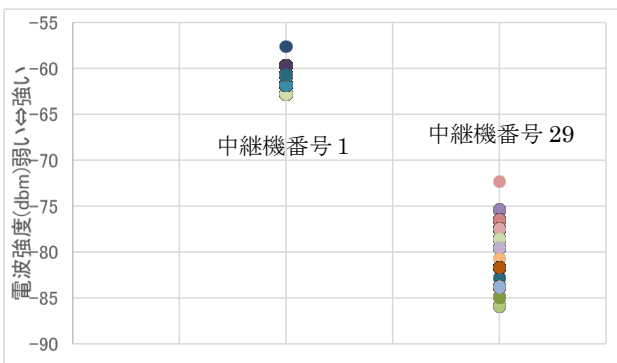
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

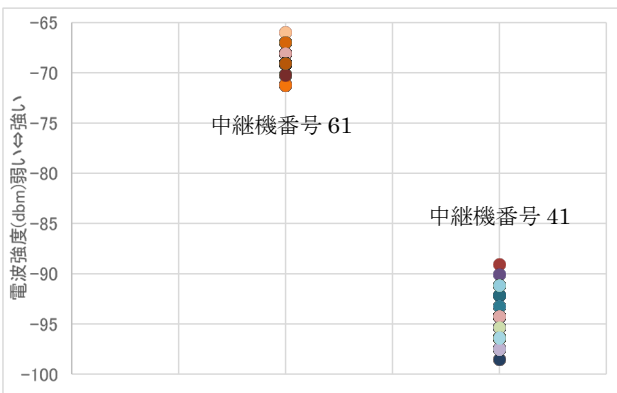
(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

地形の影響を考慮してセンサーを設置する必要がある。(つづき)

#### 参考データ：距離が電波強度に与える影響



- 親機のアンテナが見通せる中継機（可視）の中で、距離の異なる中継機2機（1番と29番）の快晴時（12/27）の電波強度を比較した。
- 親機と1番との距離は約15m、29番は約58mである。距離が長くなると電波強度が低下することが確認できた。



- 地形によって親機が見通せない中継機（不可視）の中で、距離の異なる中継機2機（61番と41番）の快晴時（12/27）の電波強度を比較した。
- 親機と61番との距離は約31m、41番は約84mである。可視と同様に不可視でも距離が長くなると電波強度が低下することが確認できた。

#### 参考データ：センサー間の見通しが電波強度に与える影響



- 親機からの距離がほぼ等しい中継機25番と46番の電波強度を比較して、地形の影響（見通し有無）を比較した。天候影響を排除するために晴天時（12/27）とした。
- 中継機25番は親機のアンテナまでの距離が約56mでアンテナが見通せる（可視）、一方中継機47番の距離は約61mで見通しは不可となっている。ほぼ同じ距離の場合、電波強度に地形影響があることが確認できた。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

地形の影響を考慮してセンサーを設置する必要がある。(つづき)

#### 参考データ：植生が電波強度に与える影響

- 実証期間中に下刈り（スギ苗木の成長を妨げる草本を刈り取る作業）が実施された為、防護柵IoTのデータ取得はできなかったが、事前に実施したプレ試験結果を示す。子機と親機間との草本が電波強度に影響を与えた可能性が示唆される。

#### プレ試験機3号機と親機間との草本刈り取り前後の電波強度比較

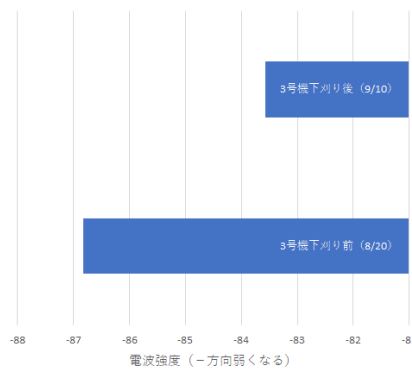
- 3号機と親機間に草本あり。



- しかし、8/29の下刈りで多少刈り取られる。



非降雨時での比較



※子機と親機間の草本が電波伝搬に影響を与えている可能性が考えられる

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

TWELITE(Blue)は20mでも通信可能。  
一方、弱電波通信モジュールは12mまでの近距離通信で利用可能だが、民家の近くやトランシーバ通信が行われる場所での利用には注意が必要。

##### 【短距離通信モジュール電波試験結果】

- 本実証において子機-中継機間4~16m程度の通信に適用しているTWELITE(Blue)について、比較対象として弱電波通信モジュール(315MHz、433MHz)を選択した。
- 弱電波通信モジュールの試験は2020年2月4日12時から14時に実施し、各通信モジュールで5秒間隔5分間支柱番号10~13番で発信し、9番で受信する形で実施した。(支柱位置については29ページ参照)
- TWELITE(Blue)については、同日7時から18時までの支柱番号8、6、4番から9番に送信する実証通信を対象とした。
- 下表に各通信の標本数、PER(パケットエラー率)を整理し、TWELITE(Blue)については電波強度(dbm)を付記した。
- PER15%を基準とすると弱電波通信モジュール(315MHz)で8mまで、弱電波通信モジュール(433MHz)では12mまでは基準を満たしており、それ以上の距離では通信不能となったのに対し、TWELITE(Blue)では20mでも通信可能であった。
- この結果からは弱電波通信モジュールは近距離通信で利用可能とも考えられるものの、帯域が近い付近の機器に通信障害を起こすこともあるので、民家の近くやトランシーバ通信が行われる場所での利用には注意が必要である。

距離(m)	PER[%](標本数)		
	lp315※	lp433※	twBlue※
4	11.9(59)	5.2(58)	0.0(55, dbm:-61.8)
8	12.3(57)	6.9(58)	
12	40.4(57)	7.0(57)	0.0(55, dbm:-73.3)
16	100.0(57)	100.0(57)	
20			10.9(55, dbm:-91.2)

※lp315:aitendo TX(RF315-TX5-R)-RX(RX315-R03A, 1/4λ), payload:20bytes, 315MHz

lp433:aitendo TX(RF433-TX5-R)-RX(M480R433P4A, 1/4λ), payload:20bytes, 433MHz

twBlue: Monowire Inc. TWELITE TX(Blue)-RX(Red), payload:155bytes, 2.4GHz

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

TWELITE(Red)と920MHz通信モジュールは通信するデータによって使い分けることが考えられる。

#### 【中距離通信モジュール電波試験結果】

- 本実証で親機-中継機間、中継機-中継機間の16～80m程度の通信に適用しているTWELITE(Red)について、比較対象として920MHz通信モジュール (interplan IM920c) を選択した。
- 920MHz通信モジュールの試験は2020年2月4日10時から12時に実施し、5秒間隔1分間の通信を支柱番号17、33番から9番に向けて実施した。(支柱位置については29ページ参照)
- TWELITE(Red)については、同じ支柱間の実証通信 (写真データ通信) を同日7時から2月7日18時までから抽出し分析した。
- 下表に各通信の電波強度とPERを示した。PERが15%を基準とするとすべての通信で基準を下回っていた。
- TWELITE(Red)ではペイロードが大きいこともありPERの低下がみられた一方で、920MHz通信モジュールについてはエラーがなくすべてのパケットで通信が可能であった。
- ただし、920MHz通信モジュール・長距離通信モードの通信速度は1.25kbpsであり、実証で適用したTWELITE(Red)の76.8kbpsより低く、センサーノードでの分析結果が明確な場合に適用するなどの使い分けが考えられる。
- なお、920MHz通信モジュールでは通信距離を短距離に制限し、高速通信モードを利用することも選択可能である。

距離(m)	種類※	電波強度(dbm)			PER (%)	payload (bytes)	標本数
		最小値	中間値	最大値			
33	twRed	-77.5	-74.4	-72.3	3.3	265	30
33	im920	-82.0	-79.0	-77.0	0.0	2	53
66	twRed	-79.6	-75.4	-73.3	10.8	265	74
66	im920	-99.0	-92.5	-87.0	0.0	2	52

※twRed:Mono Wireless Inc. TWELITE Red(TX-RX)、im920: interplan IM920c(TX-RX)長距離通信モード

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：再造林地へのシカ等の侵入を防ぐための防護柵にセンサーを設置することで点検を自動化するケース)

Sigfox を実証（4Gを活用）と同じ状況で利用するには、センサーノード内で誤検知などを十分に排除する必要がある。

##### 【長距離通信モジュール電波試験結果】

- 本実証で親機から通信基地局に利用している4G通信に対しては、Sigfox通信モジュールを比較対象とした。
- Sigfox通信試験は実証地内にSigfox通信モジュールを設置し、実証地が視認できる場所に仮設基地局（通信基地局へはセルラー通信）を設置して行った。
- 結果2020年2月6日16:16～17:01の間に、通信距離約2.5kmの地点で5パケット（12バイト）の通信が確認でき、通信エラーは発生しなかった。
- なお、実証での4G通信（機器管理情報114バイト）では同日0:00から24時間に120パケット通信が確認でき、通信エラーはなかった。
- 実証では12分毎に70キロバイトの通信を行っておりサーバで状況を分析する方式となっている。
- Sigfox は12バイト・140パケットに制限されており、実証と同じ状況で利用するには、十分センサーノード内で誤検知などを排除し、シカ等の侵入を判別できるようにする必要がある。

## 4. 実証事業から得られた知見

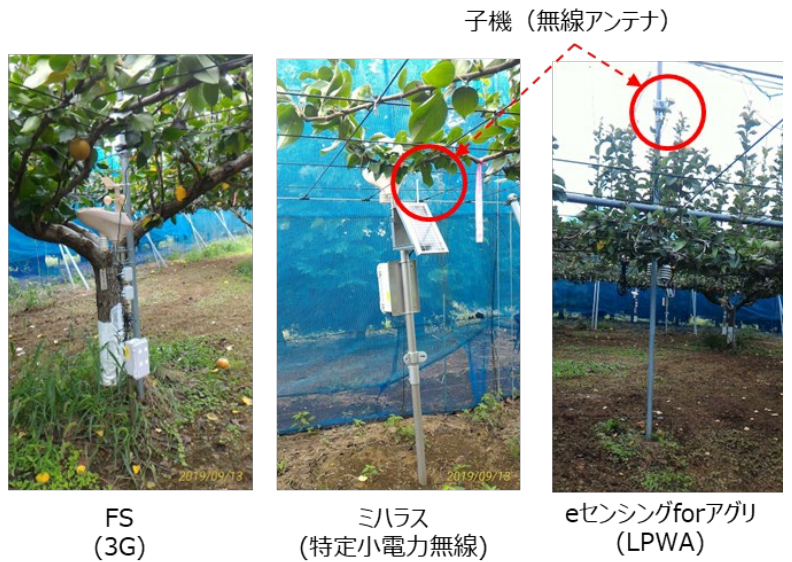
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：都市近郊の圃場に設置したセンサーから微気象データを取得するケース)

葉の被覆による影響に注意してセンサーを設置する必要がある。

- センサー子機は圃場C内の防除・防風ネット内に、黒星病が発生しやすい場所に3種類の無線電波規格の子機を狭い範囲で設置し（電波伝搬検証も兼ねるため）、各種センサー値を収集する
- このうち、FSの1台は防除・防風ネットの外側に設置（防除・防風ネットの“内外”での各種センサー値の“差異”の把握と、施工性の知見の収集のため）
- あわせて、電波強度値も収集し、周辺環境等の変化による電波伝搬特性を把握する





## 4. 実証事業から得られた知見

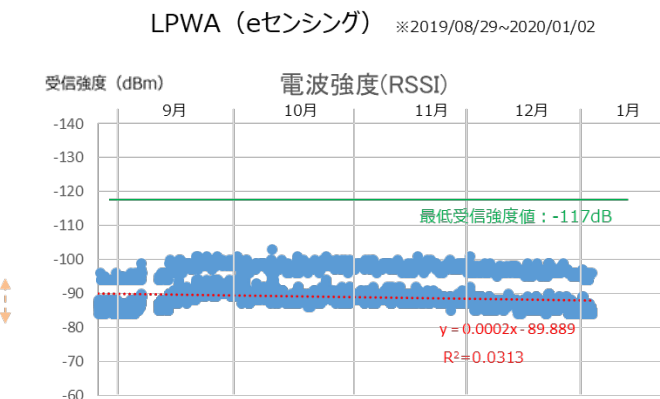
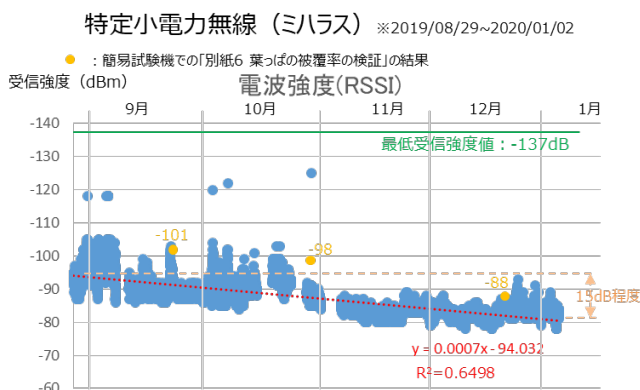
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：都市近郊の圃場に設置したセンサーから微気象データを取得するケース)

葉の被覆による影響に注意してセンサーを設置する必要がある。(つづき)

#### 参考データ：葉の被覆が電波強度に与える影響



#### 【葉の被覆による電波強度への影響の検証結果】

- 測定開始当初と最後を比較すると、近似直線上でRSSI値が「15dBm」程度の改善が確認されており、これは主に梨の葉っぱの落葉による“障害物（葉っぱ）減”が原因と考えられる。
- また、電波強度の“振れ幅”が時間の経過とともに少なくなっていく傾向が確認されるが、これは葉っぱによるマルチパスフェージング事象が（落葉により）少なくなったことが原因と考えられる。
- 本番環境機器以外の簡易試験機でも検証した結果、同事象が確認できた（上図の「●」部分）
- 測定開始当初と最後を比較すると、近似直線上でRSSI値は数dBm程度の改善だけであり、葉っぱの影響は確認されなかった。
- これはセンサー子機の設置高さが梨葉っぱよりも高く、葉っぱの影響を受けなかったことが原因として考えられる。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

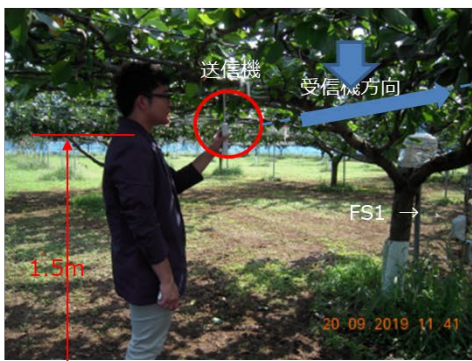
#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：都市近郊の圃場に設置したセンサーから微気象データを取得するケース)

都市近郊で想定される周辺環境に注意してセンサーを設置する必要がある。

【周辺環境による電波強度への影響の検証の概要】

- 簡易試験機（920MHz帯/特定小電力無線）での電波強度値の収集方法と利用方法
  - ①簡易試験機により、3分間の電波試験を実施
  - ②電波強度値が取得できなかった時を確認
  - ③最低受信強度値を下回ったのか否か、特異的事象（強度値が急激に下がる、等）を確認
  - ④検証環境（周辺環境も含む）から、当該事象となった原因を分析し、当該環境での920MHz帯の電波伝搬特性を把握
  - ⑤実フィールドでの機器設置時の注意点として知見をまとめる
- 測定方法
  - 送信機は人が手で持って（地上高約1.5m）立ち止まり、送信機はアンテナを垂直に立てた状態で測定
  - 測定時間：3分間
  - 受信側でカメラ動画で受信強度を測定する



【送信機側】



【受信機側】

※鉄鋼団地組合ビル・屋上

※受信機および数値記録用ビデオカメラ



受信機のディスプレイ  
(受信時)

記録された映像から電波強度値をExcel化

データ欠損回数、電波強度値等の集計

分析・考察

※上図は「葉っぱの影響」調査時のものだが、追加検証も同じ格好で電波強度を測定

簡易試験機（920MHz帯/特定小電力無線）による検証の様子

## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント

(実証内容：都市近郊の圃場に設置したセンサーから微気象データを取得するケース)

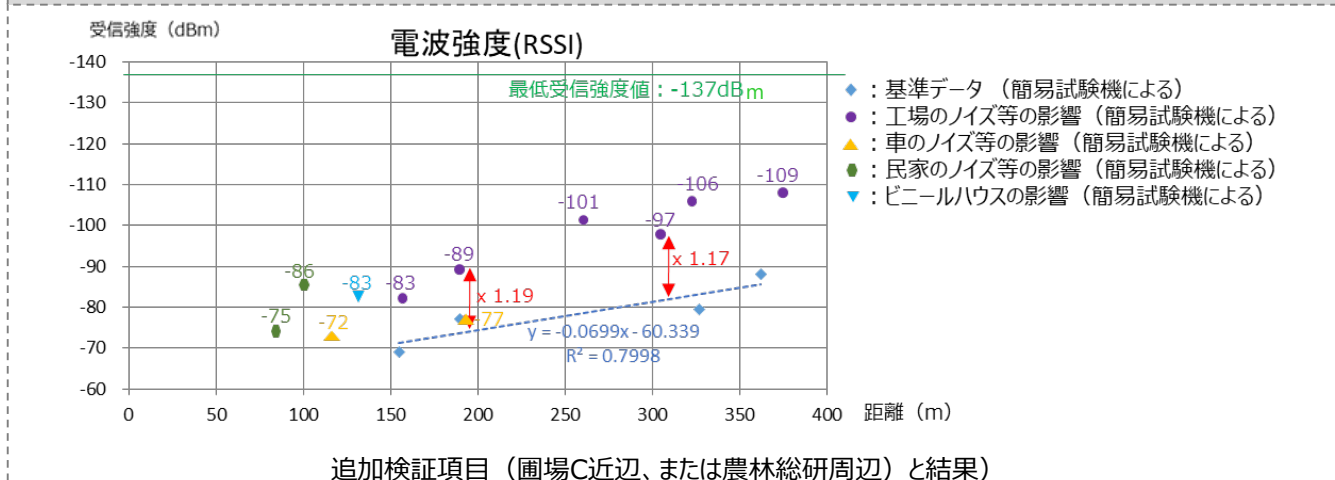
都市近郊で想定される周辺環境に注意してセンサーを設置する必要がある。  
(つづき)

【周辺環境による電波強度への影響の検証結果】

- 送受信機アンテナ間の直線上にビニールハウスが存在する場合、存在しない場合に比べ同距離で「10dBm」程度の減となったことから（ビニールハウス内の鉄骨等による電波の減衰が原因と想定）、同様の環境はよくあるが故にしっかりと事前確認が必要。
- 送受信アンテナ間の見通しが全く利かない工場団地において、基準データの結果とそれを比較したところ、同距離で20%弱の減（一定）となっていることが確認できたことから、特定小電力無線は回折性の高い特性を持つことが確認できた。

	検証項目 (パラメータ)	検証のポイント (確認事項)	実施/収集/確認 方法	結果
				特定小電力無線
1	車のノイズ等 [2019年11月29日 11:30~12:00/晴れ]	果樹園に隣接する道路を通行する車のノイズ等の影響を確認する	・RSSI値 (簡易試験機)	・影響無し 最低受信強度値を下回ることなく、基準データと比較しほぼ同じ強度値であった)
2	民家内外から発する電波 [2019年12月2日 9:20~9:50/曇り]	Wi-Fiやスマートメータ等、主に民家から発する電波による影響を確認する	・RSSI値 (簡易試験機)	・利用に支障は無い 民家内外から発せられる電波の種類等は確認できていないが、最低受信強度値を下回りはなかったこと、本番環境機器が実装している再送制御機能によりデータ欠損は起こりにくく、利用に支障は無いと判断
3	工場からのノイズ [2019年10月28日 10:30~11:30/晴れ]	果樹園に隣接する工場内外から発するノイズ等の影響を確認する	・RSSI値 (簡易試験機)	・利用に支障は無い 工場内外から発せられる電波の種類等は確認できていないが、最低受信強度値を下回りはなかったこと、本番環境機器が実装している再送制御機能によりデータ欠損は起こりにくく、利用に支障は無いと判断。また、基準データとの比較で当該電波が回折しやすいことが確認できた
4	ビニールハウスの影響 [2019年12月17日 13:30~14:00/曇り時々雨]	果樹園に隣接するビニールハウスの影響を確認する	・RSSI値 (簡易試験機)	・利用に支障は無い 最低受信強度値を下回りはなかったことに加え、鉄パイプ等が原因で発生する電波の散乱によるマルチパスフェージングが発生しているも、本番環境機器が実装している再送制御機能によりデータ欠損は起こりにくいことから、利用に支障は無いと判断
5	基準データ [2019年11月29日 10:30~11:30/晴れ]	自由空間に近い環境下での電波伝搬特性を確認する	・RSSI値 (簡易試験機)	追加検証項目(1~4項)の結果を分析・解析するための、基準データとして活用

### 参考データ：都市近郊で想定される周辺環境が電波強度に与える影響



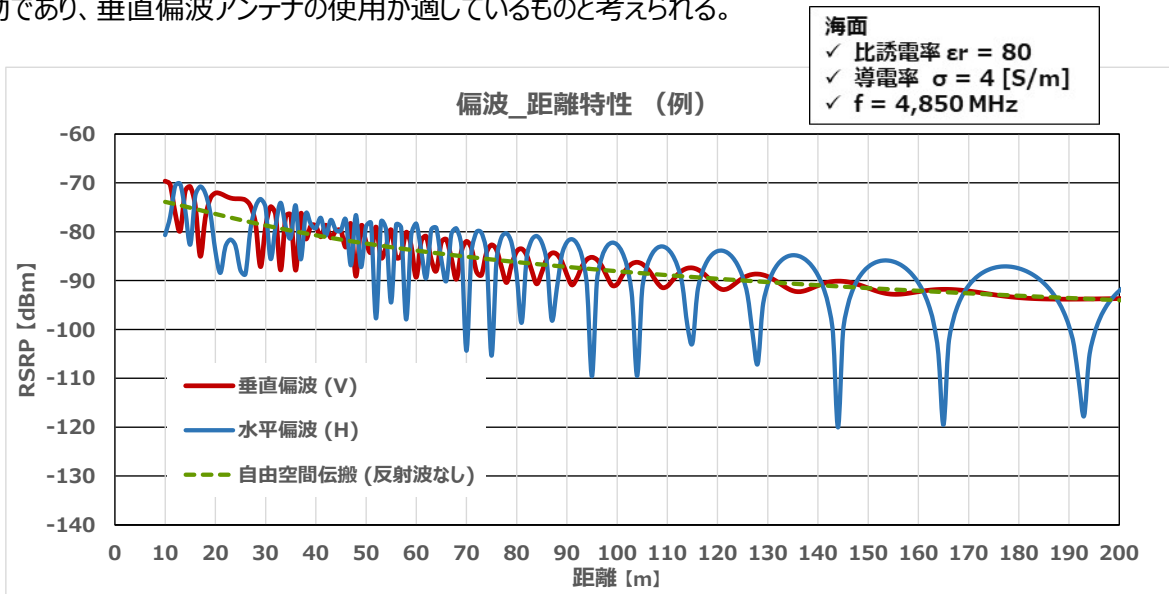
## 4. 実証事業から得られた知見

### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

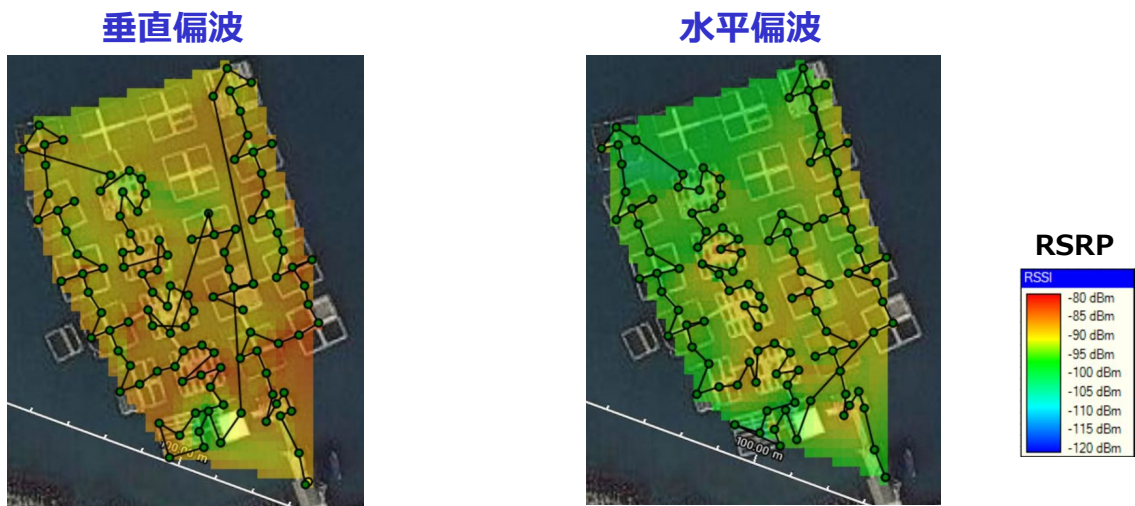
#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント (実証内容：洋上において精細画像の伝送を行うケース)

アンテナ偏波面の反射特性が顕著に現れる海上伝搬においては、垂直偏波が望ましい。

- 実証を行った生簀領域は、直接波と反射波が合成する典型的な2波モデルの電波伝搬環境である。
- 本実証では、基地局の水平偏波アンテナと垂直偏波アンテナの違いを受信電界マップ、受信電界（SS-RSRP）の計算結果で示した。
- その結果、垂直偏波の方が反射係数が小さく、水平偏波に比べて反射波の電界の影響が小さいことが確認できた。したがって、受信電界(SS-RSRP)の変動・低下を抑えるためには、反射波の電界を抑える方策が有効であり、垂直偏波アンテナの使用が適しているものと考えられる。



基地局水平偏波アンテナ/垂直アンテナの違い 計算結果



基地局水平偏波アンテナ/垂直アンテナの違いによる受信電界マップ

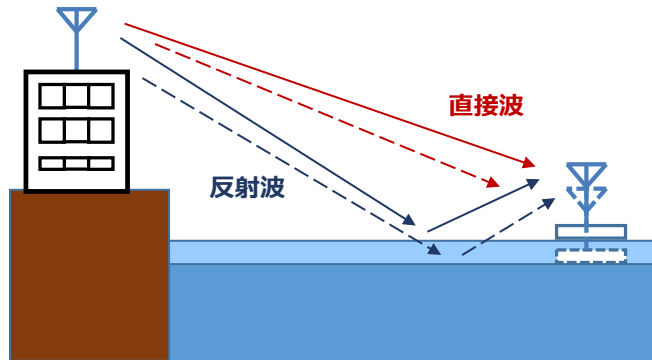
# 4. 実証事業から得られた知見

## (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

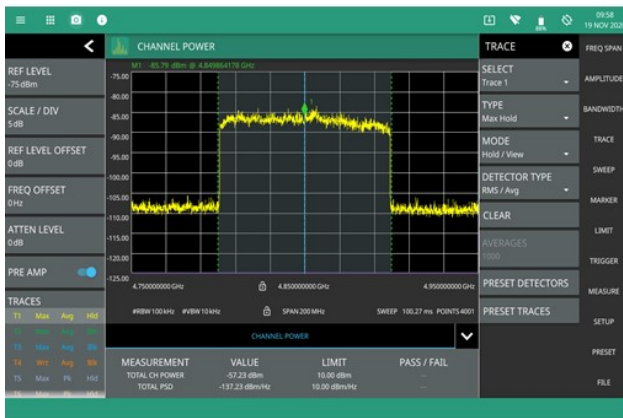
### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント (実証内容：洋上において精細画像の伝送を行うケース)

海上伝搬においては、潮位変動によるレベル変動分をRF回線設計へ反映することが必要。

- 潮位変動により海面が上下に変動した場合、反射波の反射点が変わるため、強め合うポイント(地点)と弱め合うポイントも変動する。さらに、周波数の観点からは波長の違いにより直接波と反射波の合成位相が異なり、都合強め合うポイント(地点)と弱め合うポイントが変動する。そのため、5Gシステムは周波数の違うサブキャリアの集合体であるOFDM通信方式では、サブキャリア毎に受信電界が異なることになる。
- 観測した潮位変動による受信電界の変化を下図に示したが、満潮時と干潮時で受信電界に約3dBの差があり、周波数帯域内であっても最大約5dBの変動があることが分かる。受信電界の変動はSINR(干渉+雑音比)の変動につながり、スループットも変動する。このため、安定したスループットを得るためには、場所や時間に依らず出来る限り変動を抑えることが望ましいことになる。



潮位(海面)変動に従い、生簀・端末高が変動する。



11/19 09:58 (満潮時)  
RSSI: -57.23dBm/100MHz



11/19 15:17 (干潮時)  
RSSI: -54.57dBm/100MHz

3dBの差

RSSI : 受信総電力

### 潮位変動の影響

## 4. 実証事業から得られた知見

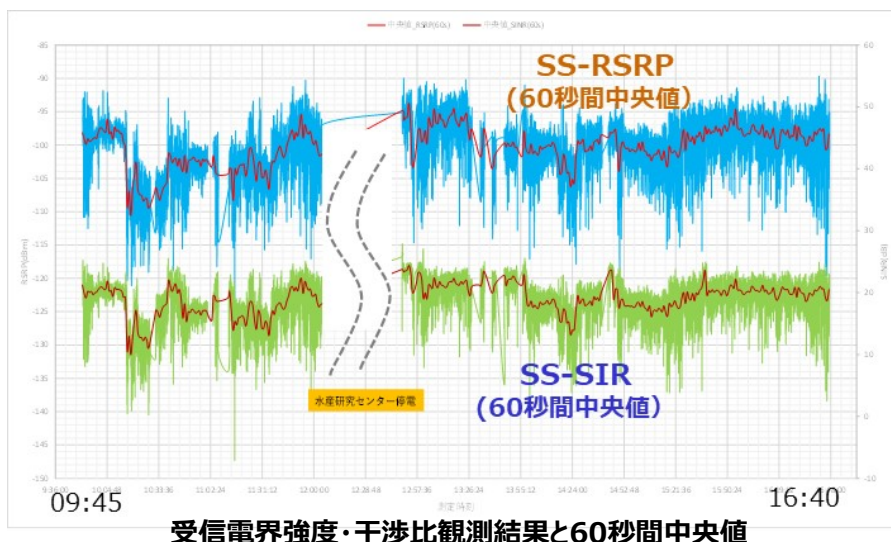
### (1) IoT利用環境及び電波利用に関する知見

#### d. 固定されたセンサーを屋外で活用する際のポイント (実証内容：洋上において精細画像の伝送を行うケース)

海上伝搬においては、波浪等の状況によってスループットが変化するため、レイリー/ライスフェージングが発生するとの前提でマージン値を加えるなどしてRF回線設計を行う必要がある。

- 海況が悪い場合、波浪が発生するが、波浪が小さく穏やかな場合、反射波は鏡面反射が支配的な電波伝搬状態となるが、大きな波浪が発生した場合はその高低・速度などにより、波浪に不規則に反射する反射波が発生して鏡面反射に加わった電波伝搬状態となる。不規則に発生する反射波は凹凸のある粗面の反射であり、また波浪の動きにより反射点が常に変動するためその位相が瞬時に不規則に変動する反射波となる。
- 粗面反射波の振幅の確率分布はレイリー分布となることが知られており※、 $f=4850\text{MHz}$ において、有義波高(≒目視による波高)が約30cmを超えると粗面反射波が支配的となり、反射波の振幅の確率分布はレイリー分布となる。有義波高:約15cm近辺で鏡面反射波と粗面反射波の電力(振幅)の強弱関係が入れ替わる(反射波の分布が仲上-ライス分布からレイリー分布に変わる)。
- 本実証実験では、期間中に瞬時変動-レイリーフェージング(レイリー分布に従う反射波)が発生していることを観測した。レイリーフェージングが発生した場合、下図で示す様に、受信電界値の変動と共にSINR(=CINR)も激しく変動している。SINRは無線データ伝送のビットエラーレート(BER)を決めるファクタであり、SINRが小さくなるとBERが増加してスループットは低下する。逆にSIRが大きくなるとBERは減少し、スループットは上昇するが、SINR低下に伴うBERの低下は顕著であり、レイリーフェージングが発生するとスループットは低下する。
- このため、レイリーフェージングが顕著である場合と無い場合で同じBERを得るためには、レイリーフェージング時の平均CINRを大きくする、換言すれば所要受信電界を大きくする必要がある。
- 従って、レイリーフェージング発生時にも安定したスループット(実効速度)を得るためには、事前にレイリーフェージングの影響を考慮してマージン値を加えたRF回線設計(リンクバジェット設計)が必要となる。

※参考文献:YK-004 無線通信の電波伝搬:移動伝搬理解とシミュレーション技法の壺 (2017 唐沢好男、唐沢研究室HP)



## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### ドローン飛行に必要な申請箇所、書類、承認番号等

- 今回のドローン飛行に必要な申請箇所、書類、承認番号等は下記の通り。各所に申請し、承認を受けてから飛行をおこなった。
- 国交省：ドローン基盤情報システム(DIPS)から申請し、無人航空機の飛行に係る許可・承認書を受けた（目視外飛行の承認：東空運第15656号、東空検第8348号。高度150m以上の飛行：宮運情第491号、493号）。また、高度150m以上を飛行する際には、前日までに宮崎空港事務所情報官まで飛行することの電話連絡を入れ、終了時にも終了の電話連絡を入れた。
- 日向土木事務所：電話確認にて小丸川河川敷から離発着させたいことを連絡。その他利用者等に危険の及ばないように安全に配慮してもらえれば、届け出等は必要なしとの返答あり。
- 町役場：今回は美郷町の協力のもと町有林での飛行を実施しており、特に申請はしていない。
- また、現時点では任意ではあるが、飛行場所の共有化と他者の飛行情報確認のため、国交省ドローン情報基盤システム（飛行情報共有機能）のホームページにて飛行場所・時間等の飛行情報の登録をおこなった。なお、承認書の許可期間が3か月以上の長期申請の場合は、3か月ごとに飛行実績の報告をおこなうが、今回は短期のため、終了後直ちに飛行実績の報告を実施。
- 上記申請等は基本的には事前に申請・承認されることで問題は無いが、高度150m以上を飛行させる場合の条件として、前日に宮崎空港事務所情報官に電話連絡を入れる必要がある。防護柵の点検飛行であれば、日時を決め、前日に宮崎空港事務所情報官に電話連絡を入れることは可能だが、シカの出没に合わせて追い払い飛行をする場合は、事前に連絡することが難しいため、飛行の直前に連絡しても飛行させてもらえないように宮崎空港事務所情報官に交渉することが必要と思われる。または、高度150m以上にならないように綿密に飛行プランを作成し、尾根・樹林等に衝突しないように、より安全に飛行させることが必要となる。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 気象情報を扱う場合の要対応事項

- 提供する情報サービスの中に気象予測に係る内容が含まれる場合、実証から本運用になる時に、気象予報許可が必要になる。この場合、1)民間気象事業者に予測システム運用を委託しそこから情報サービスを受ける、2)新たに予報業務許可を取得してシステムを運用するなどの選択肢がある。新たに予報業務許可を得る場合は、気象予報士の設置や、当該予報業務の目的及び範囲に係る気象庁の警報事項を迅速に受け取ることができる施設及び要員を有するものであること、当該予報業務を適確に遂行するに足る観測その他の予報資料の収集及び予報資料の解析の施設及び要員を有するものであること等の条件がある。
- また、政府機関または地方公共団体が気象観測を行う場合（研究や教育のための観測を除く）、もしくはそれ以外の方が観測の成果を発表するため、または災害の防止に利用することを目的として気象観測を行う場合には、
  - ✓ 技術上の基準に従って行うこと
  - ✓ 気象観測施設の設置の届出を気象庁長官に行うこと
  - ✓ 検定に合格した気象測器を使用すること
- が気象業務法により義務付けられている（気象業務法第6条、気象業務法第9条）。気象庁検定対象要素は、例えば、積雪の深さ、気温、相対湿度、風向、風速等が該当し、水位は含まれない。したがって、標津のセンサーの値を実証実験ではなく、通常業務に使用する場合や、一般に公表する場合は、気象庁検定を取得する必要がある、検定費用がコストとして必要になる。例えば、登録検定機関である一般財団法人気象業務支援センターによれば、積雪深計は、16,550円（型式証明を受けていないもの）、風杯型風速計の感部（光電式又はデジタル型のもの）は、30m/sまでの範囲の検定で3,950円（型式証明を受けていないもの）、電気式温度計の感部は、7,900円（型式証明を受けていないもの）、電気式湿度計の感部（デジタル型のもの）は、9,000円などとなっている。



## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 建物に自律走行ロボットを導入する場合

- 既存のエレベータを改修して連携機能を追加する場合には、エレベータへの機器追加作業を始め、建物内の通信配線の敷設、ロボットとの連携用のサーバ設置や外部との通信回線との接続等様々な準備が必要となる。
- エレベータの改修は行えたとしても、防火扉やセキュリティゲート、段差など現状ロボットでは通過が困難な構造上の問題は解決が難しい。従って、施設の計画段階から、ロボットの導入を前提としてエレベータの設計、導線の確保、フロアの電波環境確保、コストの回収方法等の検討が必要と思われる。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業に必要なコスト

- IoT（センサー、ドローン等）及び電波（携帯電話通信、LPWA、Wi-Fi等）を使用して事業を行う場合、必要機器の購入費用等のインシャルコストに加え、通信費やクラウド利用料等のランニングコストがかかることが想定される。
- 次ページからは、各実証事業において必要なインシャルコスト、ランニングコストについて記載している。

※記載しているコストは、各実証事業で実際にかかったコスト、あるいは実証の結果から試算された実装時に想定されるコストである。

※実証では小規模で試験的な導入を行うため、実証事業でかかったコストは実装時に必要なコストとは異なる場合があることに留意する必要がある。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

##### 1. Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業

- 本実証実験において、SIGFOXを利用する実験機器は電波発信機能に加えて水位を計測するセンサー機能を有しており、電波伝搬特性の検証に加えて水位の計測を行った。またLoRaを利用する機器とGWは電波計測に特化して東京大学が製作した実験用の機器であり、携帯電話に関しては既存の発信機や公衆の網GWを利用し電波伝搬特性の検証のみを行った。ここでは、直接比較するため、電波伝搬の検証部分だけの費用を整理した。そのため、SIGFOXだけで実施した情報生成、可視化の費用は含まれていない。

##### 本実証実験に要した通信に掛かる費用

	SIGFOX	LoRa	携帯電話
イニシャルコスト			
・電波発信機	72千円/台	約1.4千円/台	既存発信機を使用
・センサー	(水位センサーを含む)	なし	なし
・GW	公衆網の為無料	約20千円/台	公衆網の為無料
ランニングコスト			
・通信費	約100円/月/台	約2千円/月/台	数百円～数千円/月/台
・GW利用費	公衆網の為無料	自作の為無料	公衆網の為無料
特記事項			
本実証における特記事項	・電波発信機は、発信機能に加えて水位センサーを搭載した製品を購入した ・GWは既設のSigfox基地局を利用した	・電波発信機は、発信機能のみを有したものを自作した ・GWは自作したものをいGWから先の通信は携帯電話回線を利用した	・電波発信機は、発信機能のみを有した既存品を用いた ・GWは既設の携帯基地局を利用した

##### 商用化ベースでのコスト事例

	SIGFOX	LoRa	携帯電話
製品・サービス提供社	積水樹脂(株)/超音波式	危機管理型/電波式	危機管理型/超音波式・水圧式
・計測範囲	0.6m～5m	0.5m～20m	0.5m～30m
・電源	化学電池式	太陽電池式	太陽電池式、化学電池式
イニシャルコスト			
・センサー	28万円/台	100万（カタログ）（GW機器込み）	50万円～100万円/台
・GW	公衆網の為無料	公衆網の為無料	公衆網の為無料
・設置費用	直接工事費 約10万円/台	60万円/台	100万円/台
ランニングコスト			
・センサーメンテナンス費	5.5万円/年/台※1	5年間不要とする設計	50万円/年/台
・通信費	約100円/月/台	約300円/月/台	1,800円/月/台
・GW	公衆網の為無料 (GWレンタル時約3千円/月※2)	公衆網の為無料	公衆網の為無料
・クラウド利用料	1,000円/月※3	950円/月～※6	950円/月～※6
・レンタルサーバ費	約2千円/月※4	国土交通省サーバ利用で無料	国土交通省サーバ利用で無料

※1: 水害リスク期間の6ヶ月使用で電池交換1回の場合

※2: 公衆網電波が弱い場合

※3: 可視化のみのWebアプリでの水位情報サービス(可視化)維持費

※4: 自治体サーバ以外に別途サーバ設定の場合

※5: 自治体利用者内で案分

※6: 国土交通省「川の防災情報」サイト(可視化)使用料

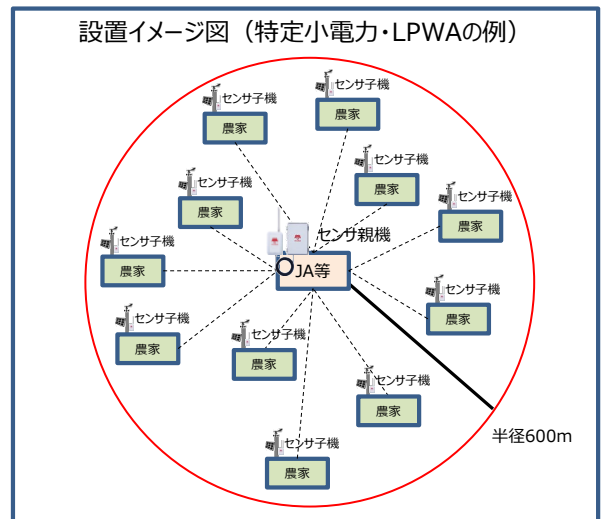
# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

#### 2. 微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業

- 事業実施に必要なIoT機器類のコストのモデルケースとして、産地のJAに親機を設置し、周辺の農家11箇所（※）に子機を設置した場合（FSは親機がないため農家みの設置）のイニシャルコスト、ランニングコスト、年間コスト、5年間コストは以下の通り算出した。なお、イニシャルコストは機器代金を指し、設置費用を含まない。
- ※「利用した生産者に対するアンケート調査」で、回答したパイロットユーザ（13人）のうち、来年度以降も継続して使用したいと回答したユーザ数（69.2%：11人）に子機を設置することを前提とした。また、通信をカバーできる範囲として、今回の検証エリアと同様の条件で、対象となる子機設置場所が、親機から概ね半径600m以内に位置する場合を想定した。



コスト比較表※1

（単位：円）

気象センサー	イニシャルコスト	ランニングコスト※2	年間コスト	5年間コスト
FS(3G)	2,568,500	32,780/月	2,961,860	4,535,300
ミハラス (特定小電力)	2,882,000	4,600/月	2,937,200	3,158,000
eセンシング (LPWA)	1,511,500	5,200/月	1,573,900	1,823,500

※1：親機1台、子機11台の合計コストを記載

※2：FS(3G)は通信料×(親機+子機台数)分のコストが発生するが、ミハラス(特定小電力)及びeセンシング(LPWA)では、通信料は親機のみ発生するため、子機の台数によらず一定の金額となる。

センサー別の単体コスト

（税抜）

機種	イニシャルコスト※1		ランニングコスト	
	親機	子機	通信費	クラウド利用料
フィールドサーバ (3G)	233,500円/台(一体型)		一台ごとに2,980円/月	
ミハラス (特定小電力)	187,000円/台	245,000円/台	親機ごとに2,100円/月※2	親機ごとに2,500円/月
eセンシング (LPWA)	109,000円/台	127,500円	親機ごとに5,200円/月※3	0円/月※4

※1 設置に要する費用を除く

※3 NTT東日本「フレッツ光」を想定

※2 NTTドコモ「IoTプラン」を想定

※4 NTT東日本「フレッツあずけ〜」を想定

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

#### 3. 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

- 導入施設の付加価値サービスとして、初期コストは施設運営・管理者が負担、施設運営・管理者は運用コストを人件費の削減と相殺しつつ、不足分は利用するテナント、入居者などが支払う管理費・利用料などから回収するモデルを想定。
- ①イニシャルコスト：総額数百万円
  - ロボット製作費：約200万円/台
  - エレベータ改修工事費：約数百万円/基（※機種等により変動あり）
  - Wi-Fi等通信環境構築費：数万円程度
- ②ランニングコスト：総額約10,500円/月・台～
  - 通信費（LTE及びLPWA利用料）＋クラウドサービス利用料 総額6,300円/月・台～、
  - ロボットの保守・点検費：5万円/年・台～（短寿命部品の交換を想定）

#### 4. 熟練技術の継承に資する指導用システムの構築と評価

- 鍛冶職人の技術を電波で伝達する場合、LPWAでは速度が遅い上にエラー頻度が高く実用的な実証試験を行うことができなかった。
- 一方でLTEであれば十分に指導が可能であることが明らかとなったうえ、運用コスト的にも優位であることが確認できた。

#### 実証事業のコスト

使用用途		イニシャルコスト	ランニングコスト
LPWA	①基地局	基地局購入費用6万円 ～ 基地局設置を伴う場合は工事費必要	月額4万円～
	②クライアント	1台につき1万円～	1通信につき0.0009円
LTE	①LTEドングル	1万円～	0円
	②契約費用	0.3万円程度	プランによるが0.5GB/月 プランであれば0.1万円程度
研ぎ指導ツール	①親機	50万円	0円
	②子機	30万円	0円
切れ味試験機		15万円	0円

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

#### 5. 中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証

- 今回使用した大型ドローンを引き続き利用することを前提として、想定されるコストを以下に記載する。

イニシャルコスト	費用
遠隔監視装置	100万円/1台（本実証は3台使用）
常時映像伝送システム	100万円/1台
ドローン	600万円/1台

ランニングコスト	費用
常時監視にかかる人件費	約1万円/日
LTE通信費	不明
ドローン整備費用	約100万円/年
ガソリン代など	1,000円/日

#### 6. シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

- 導入コスト
  - 再造林地面積1ヘクタール（防護柵総延長約400～500メートル）当たりの防護柵IoT導入コストとして、約50～100万円を想定。※IoTセンサーを3軸重力加速度センサーのみに限定し、支柱設置間隔を調整すること等で実現したい。
- ランニングコスト
  - インターネット接続通信としてセルラー系の通信用SIMを利用し、通常時のランニングコストは約5,000円/年を想定。
  - 通常時以外として、親機のバッテリー交換費用として、約2年間ごとに約1万円（交換費含む）を想定。※バッテリーの消耗から交換時期は判断し、通常時のランニングコストとは別途請求。

## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

#### 7. 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業

- システム運用コストとしてUAV等の機材代およびオペレータの人件費を想定する。

##### ■ 収益モデル

###### ①IoTサービスの提供元と提供先等のビジネスモデル

【提供元】測量会社、通信事業者、【提供先】市町村、現地作業は森林組合等

###### ②システムの導入及び利用コスト

システム運用コスト： UAV等機材代100万円÷100回使用（50回/年×2年）=10,000円/回

UAVオペレータ、画像配信技術者（@2000/h×18h）=36,000円/回、計46,000円/回

所有者負担交通費の削減効果：81,000円→0円

【利用コスト】46,000円-81,000円=▲35,000円（1箇所あたり3.5万円のコスト削減効果）

【担当者作業時間】市役所等担当者の現地立会作業時間が65時間→43時間へ22時間削減

（32%の時間削減、@2000×22h=44,000円/回の人件費削減）

###### ③収益化に向けた事業計画

（1）行政コスト削減分（4.4万円）+上乗せ交付金（1.3万円×面積）でUAVコスト（4.6万円）を相殺する

（2）所有者個人負担の交通費から一定額のコスト負担（例えば1000円以上/人）を要請する

###### ④資金の流れ

リモート立ち会い実施には、UAV運用と画像配信関係で46,000円の追加コスト←作業時間削減で44,000円の担当者人件費削減効果

森林整備地域活動支援事業で森林境界明確化の際に不在村者の立ち会いをする場合は13,000円/haの上乗せ交付金があり、0.16ha以上が対象であれば、収支は均衡し、それ以上の面積を取り扱えば収益性を確保できる。さらに、所有者個人負担の交通費（モデルでは81,000円）が必要なくなる。

#### 8. 洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業

- 事業化時に想定される利用者負担見込み金額をまとめた結果が下表である。なお、イニシャルコストには、現地調査費用や装置の運送費・設置費、電気設備整備費、インターネット回線開通工事費、清掃費は含んでいない。また、ランニングコストにはメンテナンス代を含む。なお、これらの金額は、本実証試験での経費を基に、使用した機器によっては、事業化時に必要な機能への限定や量産による単価低減の効果を見込んだ試算である。

項目	イニシャルコスト	ランニングコスト
<b>遊魚三次元位置測定装置</b>		
三次元位置測定装置本体 水中カメラFullHD30fps 4台、映像伝送装置、構造体等を含む	1,500,000円	0円
情報処理サーバー 魚影認識、座標計算用	100,000円 【オプション】学習が必要な場合の追加額200,000円※1	50,000円
<b>公衆5G</b>		
事務手数料	3,300円	0円
5G移動機Wi-Fi STATION SH-52A	68,904円	0円
通信費 5Gギガホプレミアム (データ量無制限の場合)	0円	7,315円
通信費 5Gギガライト(1GB~7GB)の場合	0円	3,465円~6,765円
<b>ローカル5G (Sub6:SA)</b>		
基地局（無線機、及びアンテナ） 基地局制御装置、コアネットワーク装置、端末	38,000,000円（市場予想価格）※2	電気代 保守費用 (メニューにより変動)
基地局設計・ネットワーク設計・工事費用	12,000,000円（市場予想価格）※2	0円
無線局免許取得関連費用 (免許申請手数料を含む)	3,000,000円（市場予想価格）※2	0円
電波利用料	0円	5,900円/1無線機・年間 370円/1端末・年間

※1 これまでに観察対象としたことがない魚種に対しては、魚影認識を行う為に対象とする魚を識別するための人工知能の学習が必要となります。

※2 本実証実験におけるローカル5G実験機器は電気興業開発中物品等を使用したため価格表記ができない。このため価格は今後の市場予想価格で表記する。

# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業に必要なコスト（つづき）

#### 9. 多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業

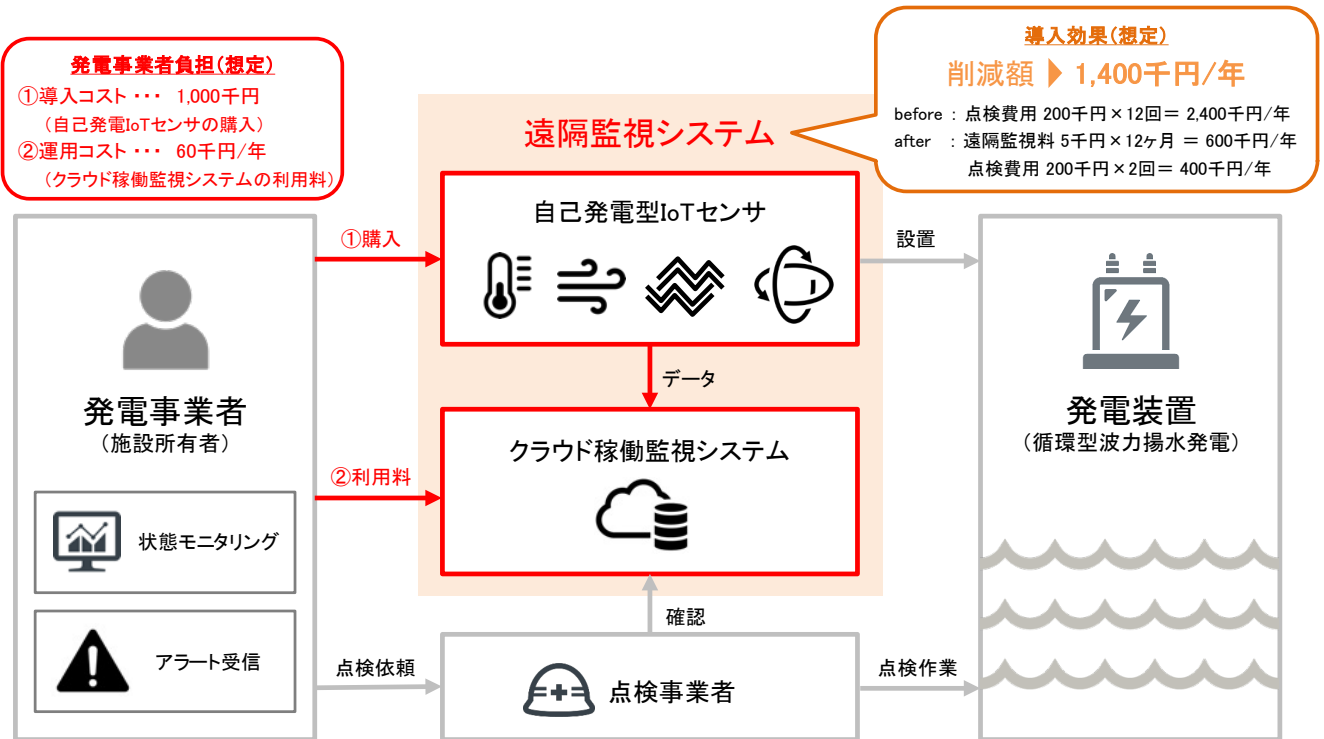
##### ■イニシャル費用参考価格

No	品名	単価（円）	備考
1	LPWA送信機	35,000	1頭分の費用（湧洞牧場の放牧規模（400台lot）を想定した単価
2	首輪一式（ホルダー、ベルト、ウェイト）	10,200	1頭分の費用（取付に係る費用は含まず個別対応）
3-1	LPWA/LTE接続GW（親機）一式	380,000	本体、LTEアンテナ、LoRaアンテナ、Y字型LoRaアンテナポール 本体、LoRaアンテナ、Y字型LoRaアンテナポール ※LPWA中継機が必要な場合はLPWA/LTE接続GWとセットとなる
3-2	LPWA中継機一式	375,000	
4	ソーラーパネル等電源	305,000	電源が確保できない場合
5	設置費用	375,000	建柱1本分の工事等含（エリア調査、事前測量等は含まず個別対応）

##### ■ランニング費用+メンテナンス（子機1端末あたり）参考価格

No	品名	単価（円）	備考
1	WebGIS利用料金	450	15円/日（～400頭の場合 ※登録頭数で変わる場合がある）
2	電池交換費用	1,500	250円/本×6本
3	点検費用	400	清掃および動作確認（1日の点検数50台、労務単価2万円と仮定）

#### 10. 海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業





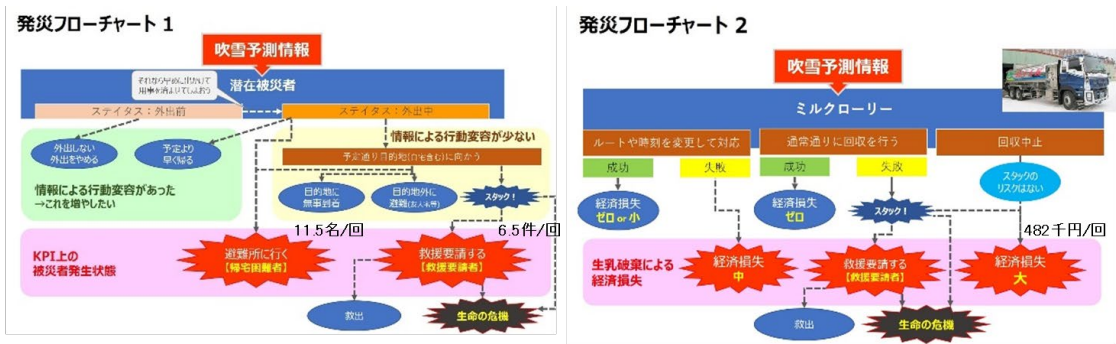
# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業のKPI達成度合い

- 各実証事業において、IoTサービスの有効性を検証するために、地域課題に対応する事業期間内の測定指標 (KPI)とその目標値 (実証期間終了までに当該指標をどの程度改善するか) を設定した。
- 各実証事業で設定された主なKPIとその達成状況について、以下に記載している。

### 1. Society5.0社会実現に向けた多様な自然環境下でのIoTの適切な利用環境の構築事業



#### 1) 帰宅困難者数の削減

平成25～27年度の帰宅困難者数は149名、同期間の標準町防災担当が気象庁の情報や現地確認により判断した吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの帰宅困難者発生は11.5名と算出した。削減目標値としては50%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数に乗じた数字に対して実際の帰宅困難者数が50%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×11.5×50%=11.5名以下の目標値に対し、結果0名 **【KPI達成】**

#### 2) 救援要請件数の削減

平成25～27年度の救援要請発生件数は84件(自治体に報告が無かった発生件数を加味した推測値含む)、同期間の標準町吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの救援要請発生は6.5件と仮定した。削減目標値としては20%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数に乗じた数字に対して実際の救援要請件数が80%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×6.5×80%=10.4件以下の目標値に対し、結果0件 **【KPI達成】**

#### 3) 生乳破棄金額の削減

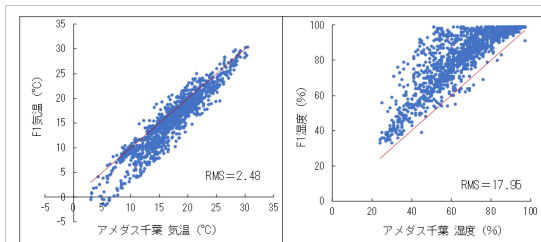
平成25～27年度の生乳破棄金額は6,261千円、同期間の標準町吹雪イベント発生件数は13回であったので、吹雪イベント発生1回あたりの生乳破棄損害額は482千円と算出した。削減目標値としては20%と設定、KPIとしては今季の吹雪発生回数に乗じた数字に対して実際の生乳破棄金額が80%以下となることを目指す、とした。

<令和元年12月～令和2年2月の成果検証> 吹雪発生回数2回×482×80%=771.2千円以下の目標値に対し、結果0円 **【KPI達成】**

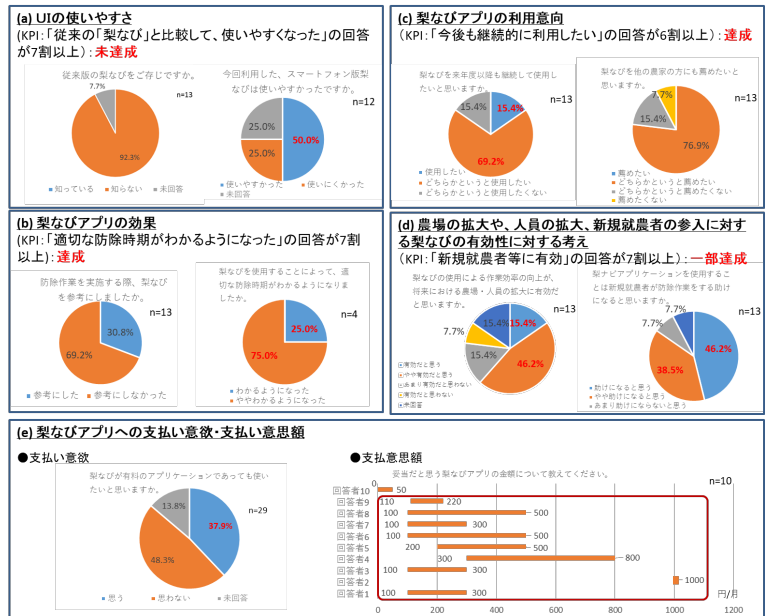
### 2. 微気象ネットワークを活用した梨ナビゲーションシステム構築・普及事業

#### パイロットユーザーへのアンケート結果

#### 農林総研園場の微気象データとアメダス千葉の気象データの違い (10/1～11/30)



- FS間及びセンサ機種間では温度及び湿度の差異が小さく、どのデータもおおよそ信頼できると考えられる
- 利用するセンサの選択はトータルコストやデータ取得の安定性、設置の考え方で検討
- 園場の微気象データとアメダスデータの温度及び湿度の差異は大きい
- 微気象データの活用により、黒星病発病危険度の予測がより正確に行える

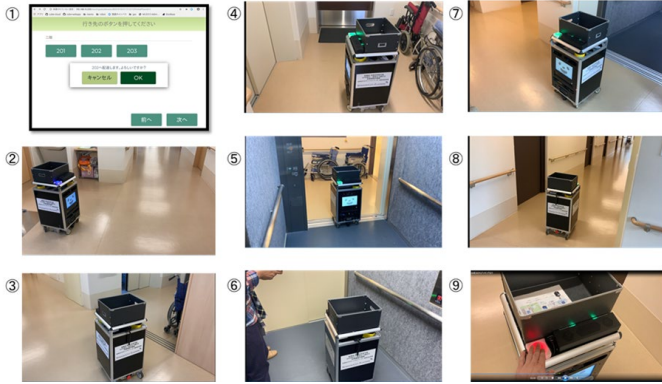


# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業のKPI達成度合い (つづき)

#### 3. 自律走行ロボットエレベータ連携実証事業

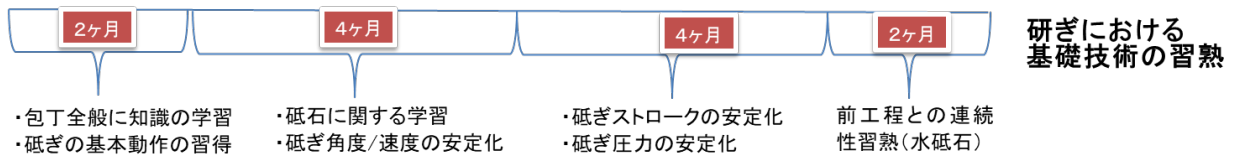


- ロボットの屋内自律走行技術の確立
  - 同一階内の移動の失敗回数及び失敗率：夜間の人がいないオフィスビル及びサービス付き高齢者向け住宅で人があまりいない状態においては、**100%**指定地点にたどり着いた。
  - エレベータ移動の失敗回数及び失敗率：エレベータの昇降を行い、待機地点からお届けして戻るまでの往復の成功率 **88%(15/17)**
- 自律走行ロボットの運用による業務の負担軽減効果の検証
  - 人の3～4倍の時間が掛かっており、ロボット1台で1人が行う配送業務の1/4程度の代替効果が見込めると判明した。

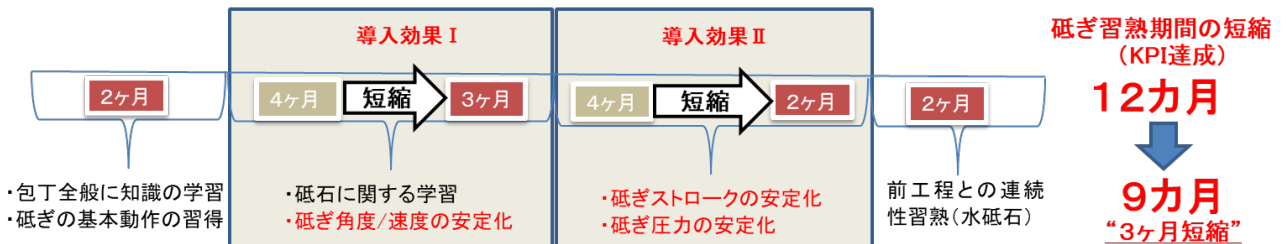
	オフィスビル	サ高住
人の配達平均時間	2分56秒	1分43秒
ロボットの平均配達時間	10分27秒	7分25秒

#### 4. 熟練技術の継承に資する指導用システムの構築と評価

ア. 現在の指導期間(親方職人A氏へのヒアリングをもとに、研ぎ指導の初期工程12か月を以下のとおり分解)



イ. 指導用ツール導入後の指導期間(本ツールによる若手職人の成長度から、親方職人A氏が本ツールの効果を以下のとおり評価※推定)



ウ. 本事業の実施効果

技術要素	親方職人A氏	若手職人B氏	
		指導前	指導後
圧力	25～35 N	10～20 N程	30～40N程
角度ブレ	0.5～1度	5度～	1～2度

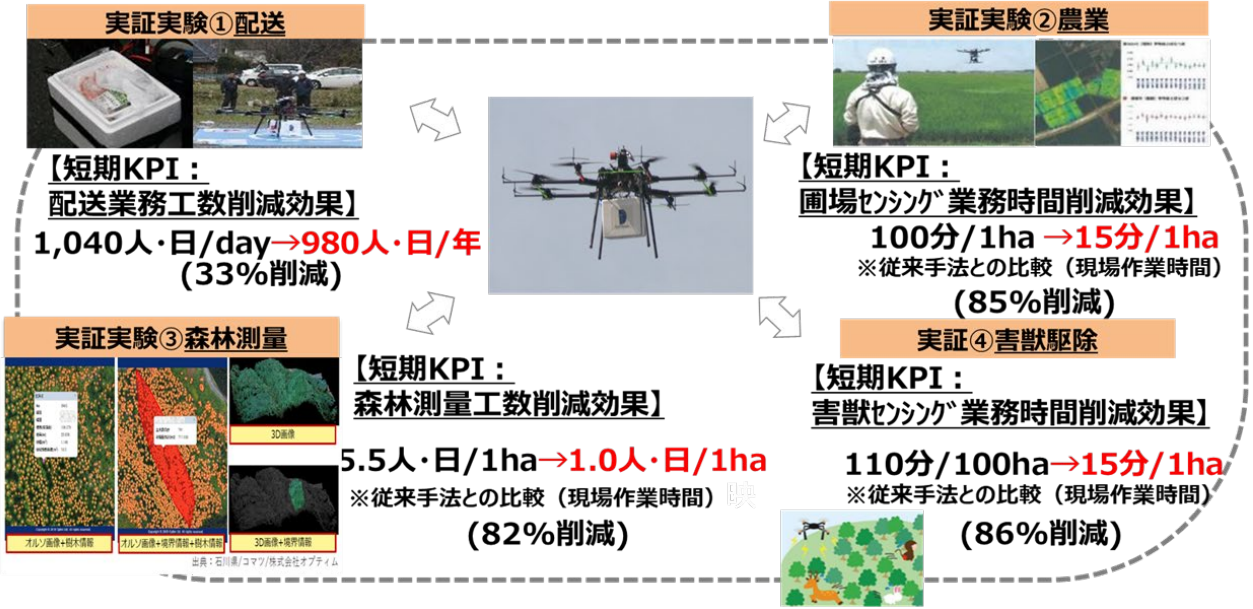
- 左図のとおり、本ツールの指導を受けた若手職人において、研ぎ技術の基礎である、「強い圧力で研ぎつつ角度を一定に保つ」という能力が向上した。
- 指導用ツールの使用により、品質を保ちつつ量産を実現するための、上記基礎技術の早期での習熟が見込まれる。

# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業のKPI達成度合い (つづき)

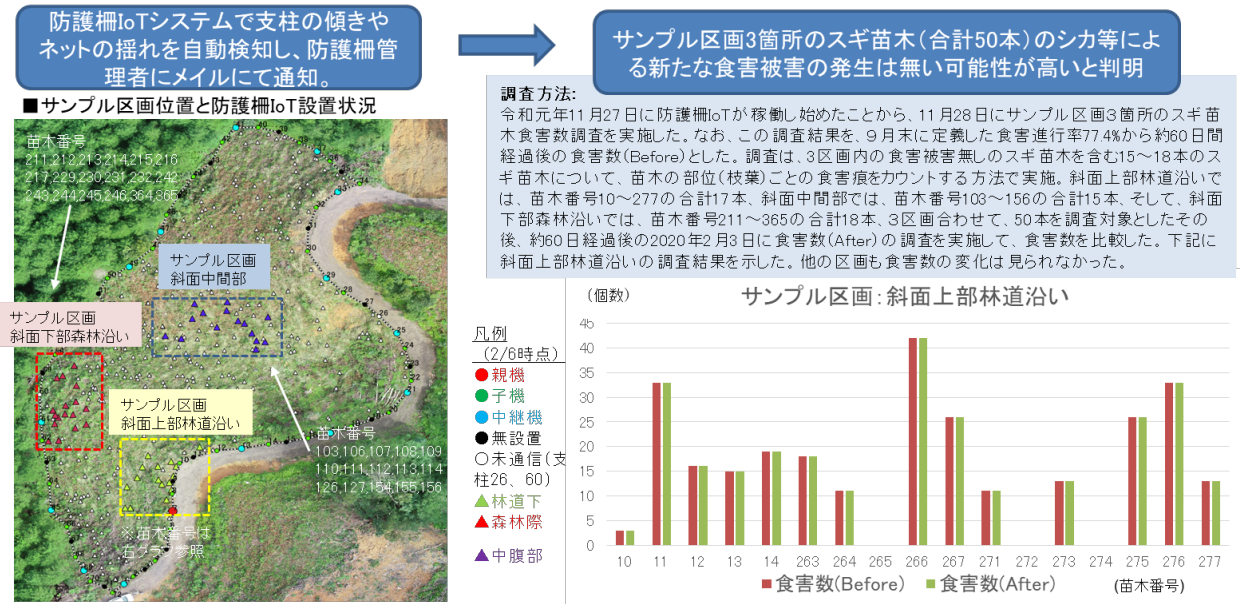
#### 5. 中山間地域における大型ドローンの目視外・補助者なしによる安心・安全かつ効率化されたIoTシステム構築実証



#### 6. シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

■ KPIの達成状況: 食害進行率2.7%(2017年4月から2019年9月までの1月当たり) ⇒ 0%(進行率を100%低減)

※食害進行率: 防護柵内の苗木に対して、食害被害が発生した苗木の割合[Before]では上記の計29ヶ月の間に363本の苗木のうち281本で被害が発生。  
 ※シカの侵入有無については把握できていないことに留意する必要がある。  
 ※beforeで食害があるとされた苗木(Cafter)の期間で食害があった場合、食害進行率にカウントされないことに留意する必要がある。



## 4. 実証事業から得られた知見

### (2) その他知見等

#### 各実証事業のKPI達成度合い（つづき）

##### 7. 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成事業

当該IoTサービスにより高齢者や遠隔地の相続人等の現地立ち会いをリモートで実現することで映像や写真を所有者が確認し合意形成する。  
合意した位置への境界杭を打ちに再度現地へ行く必要がなく、2日間の作業を1日で済ませられることから、**境界明確化に係わる担当者・作業員・所有者の従事時間の短縮(40%削減)**を実現した。  
境界明確化担当者・作業員の作業時間については、**65時間→61時間で6.2%の短縮**を想定しており、コスト削減につながるものと考える。

#### 令和2年度(実証開始前)

境界確定必要作業時間：2日：132人・時間

Before (現地作業)	工数(h)
自治体職員 (担当者)	30
境界明確 (カメラ)	14
境界明確 (測位)	14
境界明確 (杭打ち)	7
境界者A (東京在住)	27
境界者B (福岡在住)	23
境界者C (鹿児島在住)	17
総工数(h)	132

#### 実証終了時点

境界確定必要作業時間：1日：79人・時間(40%削減)

After (リモート作業)	工数(h)
自治体職員 (担当者)	22
境界明確 (カメラ)	7
境界明確 (測位)	7
境界明確 (杭打ち)	7
UAV運航者 (準備、運行、回収)	11
画像配信、境界者対応者	7
境界者A (東京在住)	6
境界者B (福岡在住)	6
境界者C (鹿児島在住)	6
総工数(h)	79

注) 緑色網掛け部分は、境界明確化担当者・UAV運行等作業員の工数。また、境界者とは当該地域の森林所有者で、東京、福岡、鹿児島といった居住地は仮の設定であり、実証は地元を離れて遠隔地に居住している森林所有者を対象に行った。

##### 8. 洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験事業

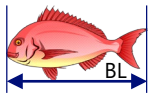
#### 1. 視線ベクトルの交点誤差 達成基準：0.3BL以下 (注：BL (Body Length) は対象魚の体長)

**Before**：陸上の稚魚育成水槽においては、視線ベクトルの交点誤差0.3BL以下を達成し、魚数計数4%誤差を実現

**After**：洋上の養殖生簀内において、視線ベクトルの交点誤差0.3BL以下を達成

**必要とされる理由や目標の根拠**：魚は0.3から0.5BLの距離で互いに回避行動を取る。

従って、魚の位置の確定には、視線ベクトルの交点誤差0.3BL以下を満たすと、正確な魚の位置の測定が行え、その結果、魚数の正確さ(誤差4%以下)に直結する。



#### 2. 連続位置測定における移動距離 達成基準：0.5BL以下

**Before**：非連続・離散的に撮影された映像を用いた、遊魚の三次元位置測定が行える。

**After**：魚の遊泳速度に応じたフレーム数となる動画像に対して連続的に三次元位置測定を行える。

**必要とされる理由や目標の根拠**：移動距離0.5BLを上回る連続位置観測では、時間前後における個体(魚)の追跡が困難となり、他の魚と誤認識する恐れがでる。

また、魚の遊泳速度は、1.5BL/秒から15BL/秒程度である。宇和海の主要養殖魚であるタイでは3.5BL/秒で、0.5BL以下の移動距離の観測には、毎秒10フレーム以上の動画像を用いた、三次元位置測定が必要である。

#### 3. 洋上生簀からの通信速度 達成基準：実効速度18Mbps以上

**Before**：三次元位置観測に必要なカメラ一台の通信速度(6~36Mbps)をLTEは満たしておらず、洋上利用ができない

**After**：遊魚三次元位置観測で必要とされる3台または6台の動画像カメラ映像の同時伝送を実現し、洋上利用を実現する

**必要とされる理由や目標の根拠**：2019年の陸上水槽での三次元位置観測より、洋上生簀では、Full HD(約6Mbps@10fps)または、4K(約12Mbps@10fps)の動画像が必要とされる。

従って、18Mbpsから36Mbps程度の実効速度が要求される。

これら3つのKPIの達成によって、洋上生簀における魚数計数の実現(誤差4%以下)、魚の活性観測の実現、魚病診断に必要な遊泳ベクトルの測定の実現が行える。その結果、給餌量の適正化、魚病による被害低減を養殖業にもたらす。

# 4. 実証事業から得られた知見

## (2) その他知見等

### 各実証事業のKPI達成度合い (つづき)

#### 9. 多頭数放牧牛管理に資する省電力IoTシステム実用化事業

湧洞牧場におけるKPIについて

	項目	頭数確認に関する 実稼働時間 (通常看視) 7牧区10日平均 (253頭)	システム利用した 場合の稼働時間 7牧区 (253頭相当)	KPI実測値
1	牧区毎の頭数確認	93分/日 1~2名で看視	5分/日で確認可能 1名で看視	5分/93分 <b>94.6%の削減</b>

#### 【実看視作業(牧区毎の頭数確認)の測定結果】

検証期間: 10月5日~10月25日(通常看視)

牧区No.	合計: 253頭	通常看視									
		10月5日	10月6日	10月7日	10月8日	10月10日	10月11日	10月17日	10月18日	10月24日	10月25日
経験値	-	ﾊﾞｲｸA	両方C	両方A	車A	ﾊﾞｲｸC	ﾊﾞｲｸA	ﾊﾞｲｸC	ﾊﾞｲｸB	ﾊﾞｲｸC	
1牧区 2頭	20	0:06	0:13	0:07	0:08	0:05	0:08	0:14	0:07	0:10	0:06
2牧区 36頭	36	0:19	0:11	0:23	0:07	0:08	0:18	0:08	0:07	0:18	
3牧区 2頭	28	0:05	0:08	0:05	0:07	0:07	0:10	0:10	0:12	0:27	
4牧区 2頭	0	検証時放牧なし									
5牧区 2頭	51	0:08	0:14	0:15	0:19	0:45	0:08	0:18	0:49		
6牧区 2頭	39	0:06	0:08	0:18	0:20	0:17	0:10	0:08	0:18	0:15	0:22
7牧区 2頭	49	0:12	0:12	0:09	0:14	0:12	0:49	0:07	0:08	0:21	
8牧区 2頭	30	0:07	0:06	0:08	0:07	0:05	0:07	0:05	0:07	0:04	0:19
②事務所⇄山牧区 見回り合計時間		1:45	1:43	1:51	2:04	2:11	2:12	2:10	2:45	2:49	3:17
①■作業除く合計時間		1:26	1:32	1:06	1:37	0:57	1:05	2:00	1:19	2:01	2:30

【備考】

■は作業時間含む(平均20分)

・経験値について

A:ベテラン経験者

B:中堅クラス経験者

C:1年未満の新人

※Cの従業員について看視時間が長い傾向があり、システム導入における影響は大きい

・牧区への移動についてはバイク、車、バイクと車両方を使うパターンがあった

・今回の測定期間では霧が発生したケースはありませんでした

通常看視平均 1時間33分(93分/日)

#### 10. 海上における完全自立式メンテナンスフリー「自己発電型IoTセンサ」の適正利用環境の構築事業

##### ①波力発電設備の保守点検にかかる時間/1回あたり

before: 5時間 → after: 2時間35分(約50%削減)

[効果内訳]

a 遠隔地での故障原因の特定



b 作業器具等の準備

→afterの場合は異常箇所を事前に把握するため、必要最低限の準備



c 作業現場への移動往復



d 現場での故障原因の確認

→ afterの場合は特定箇所の確認のみ



e 故障箇所の修理や応急処置 ※beforeとafterで差はでない(60分)

f 作業器具等の片付け

→ bの準備が必要最低限であるため



g 作業内容の報告または入力

→ beforeは異常箇所、状態、対応内容を報告。Afterは委託元が異常箇所、状態を既に把握しているため、対応内容の報告のみ



##### ②波力発電設備の保守点検の回数/1年

before: 12回 → after: 2回(約80%削減)

before ... 現場でしか装置の状態が把握できないため、安定的な稼働や安全面をふまえると年間12回の毎月点検が必要になる

after ... 遠隔で稼働状況や故障・破損等が把握できれば、機器メンテナンスや消耗部品(劣化や摩耗)の確認を目的とした点検(年間2回)のみで良い

出所) 各実証事業の成果報告書より作成