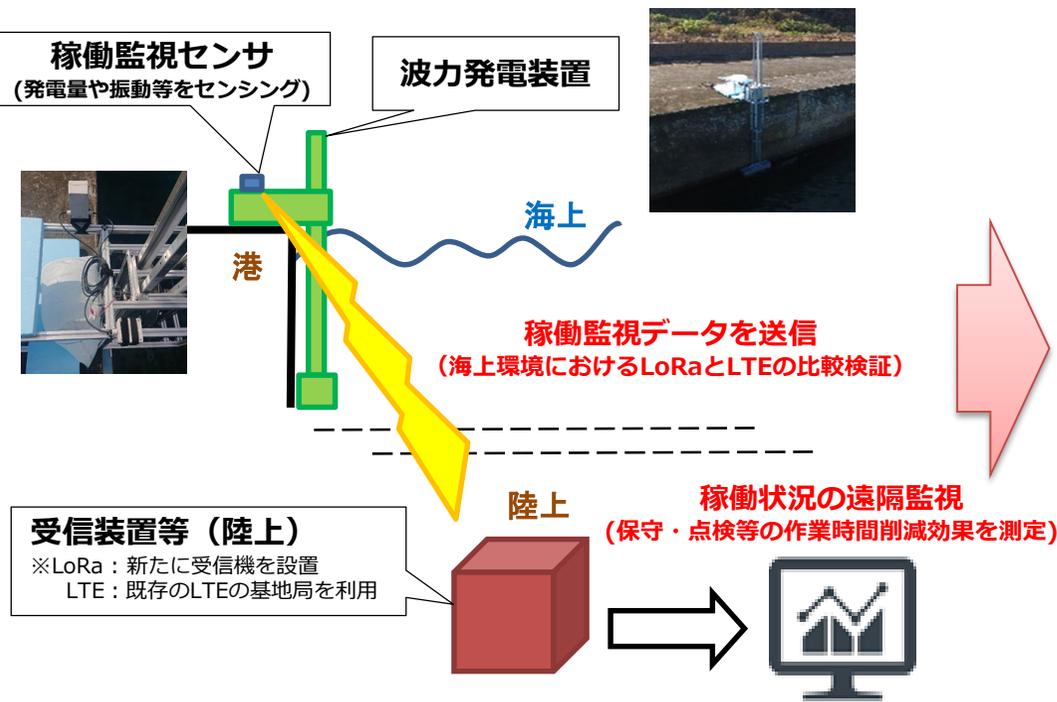


代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

実施団体	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))
実施地域	沖縄県久米島町
事業概要	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。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。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。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。

実証内容



実証成果

電波伝搬に係る知見等

- IoT利用環境における電波伝搬状況等にかかる課題:
 - 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**を受けるため、カタログに示された通りの電波伝搬特性が得られない。
- 検証で得られる電波の効果的な使用方法等の知見:
 - 海上の様々な条件下での検証を通じて、**将来的な波力発電等の海洋エネルギー有効利用を促進するための、海上からの電波伝搬の安定供給を裏付ける知見**を得た。

IoTサービスの効果(KPI)

地域電力を担う自治体職員やメンテナンス会社等が、波力発電設備の保守・点検等を実施する際の作業時間を軽減する。

(Before) 5時間(※) ⇒ (After) 2時間35分

(※) 波力発電設備の故障等の検知から現場での修繕作業の完了までの想定時間

代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 実証地域の基本情報

久米島の人口:7,680人(2021年1月)

総面積:63.21km²

世帯数:3,991世帯



久米島の発電量:約6MW

電力源の内訳

ディーゼル発電:約80%

再生可能エネルギー:約20%

(太陽光発電:約10%、その他:約10%)

■ 地域課題

- ・離島は、「ディーゼル発電機」の依存度が高く、燃料費、維持費等により発電コストが割高である。
- ・上記課題に対しては、自然エネルギーによる発電が期待されている。
- ・自然エネルギーとして一般的なものは、太陽光発電であるが、発電量が日照量に左右され、不安定であるという課題がある。
- ・他方、波力発電は時間帯や天候に左右されることのない、安定した電力供給が期待できる。

＜「次世代型波力発電」に期待する効果＞

本波力発電にかかる発電コスト：20円/kWh以下

ディーゼル発電機による発電コスト：30～45円/kWh

上記の通り、波力発電は発電コストが安価であることから、社会実装へ大きな期待が寄せられている。

＜波力発電の社会実装に向け解消すべき課題＞

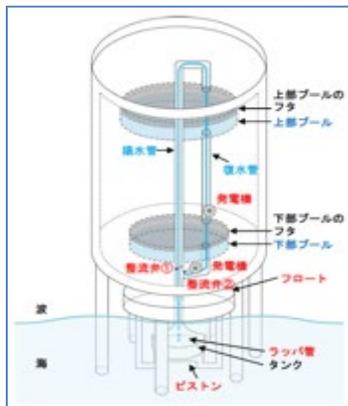
波力発電の導入を自治体が主となって行なう場合、海上に設置する波力発電設備の稼働監視や保守点検等を新たな業務として事業者へ委託しなければならない。本IoTサービスにより1年あたりの定期点検の数を減らせるため、委託費の削減に繋がる。波力発電の社会実装に向けては、上記の保守点検にかかるコストを軽減する必要がある。

※ 現時点において本IoTサービスを導入しない場合
「往復時間+作業時間：約5時間/回」と予想している。



■ 実証事業の期待される成果 (発電装置遠隔監視IoTシステム概要)

① 発電装置の稼働状況の監視



② 稼働状況を送信



国土地理院より

管理者等はPCやスマホで稼働状況を確認

発電機No.001
設置個所:久米島〇〇港
地図:マップアプリにリンク予定

状態: 発電量 OKwh 閾値を設定し異常検知
振動 閾値を設定し異常検知
温度* 閾値を設定し異常検知
湿度* 閾値を設定し異常検知
傾斜* 閾値を設定し異常検知

*将来的な実装を検討

・将来的にはSNS・メールなどによる自動通知機能の実装を検討
・将来的なAIによる自動判定・作業指示の実現に向けたデータ収集・検討

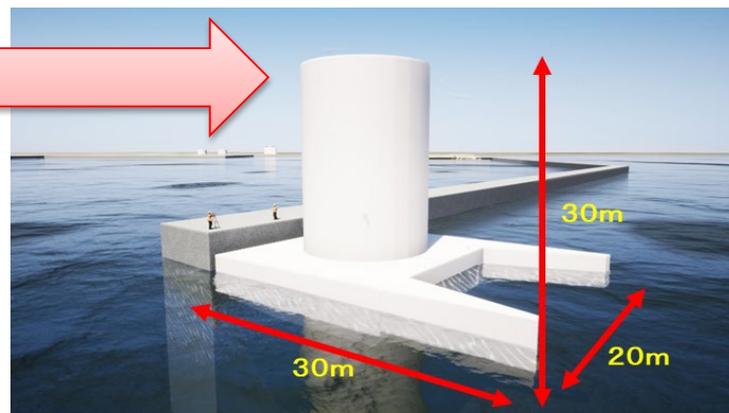
③ 稼働状況を確認のうえ段取り

実証事業への期待の声

- ・状態確認はもとより、異常を検知した際に「遠隔監視IoTシステム」で遠隔でリアルタイムに状態が判れば、故障個所の判断や工具、部品等の準備時間のロスもなく効率的に動ける。
- ・例えば管理主任が出張中等でも遠隔で状態が把握できるので、作業担当者への的確な指示を迅速に出せる。



④ 現場対応



代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 活用するデータと状況

センシング対象	データの種類	データの収集手法	データの量	データの活用方法と効果
・発電装置	・発電電圧 ・振動	電圧センサ 振動センサ	・得られたデータを5分に1回送信	<p>【発電電圧】 <活用方法> 波力発電装置の発電量の把握に活用する <効果> 波力発電の遠隔モニタリングシステムの実現</p> <p>【振動】 <活用方法> 波力発電装置が故障しているか否かの判断に活用する <効果> 保守等の委託コストの削減が得られる</p>
・空気	・気温	温度センサ		<p><活用方法> 波力発電装置が故障しているか否かの判断や設置環境把握に活用する</p> <p><効果> 保守等の委託コストの削減が得られる</p>

代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 成果目標(KPI)及び実証事業終了後の計画等

IoTサービスの効果(KPI)

地域課題に関する現状(Before)

①波力発電設備の保守点検にかかる時間/1回

5時間 ※当初想定は3時間

②波力発電設備の保守点検の回数/1年

before: 12回

解決による効果(After)

①波力発電設備の保守点検にかかる時間/1回

after: 2時間35分(約50%削減) ※当初想定は1時間30分

<効果内訳>

	before	after
a 遠隔地での故障原因の特定	0分	5分
b 作業器具等の準備	20分	10分
c 作業現場への移動往復	30分	30分
d 現場での故障原因の確認	120分	15分
e 故障箇所の修理や応急処置	60分	60分
f 作業器具等の片付け	10分	5分
G 作業内容の報告または入力	60分	30分

②波力発電設備の保守点検の回数/1年

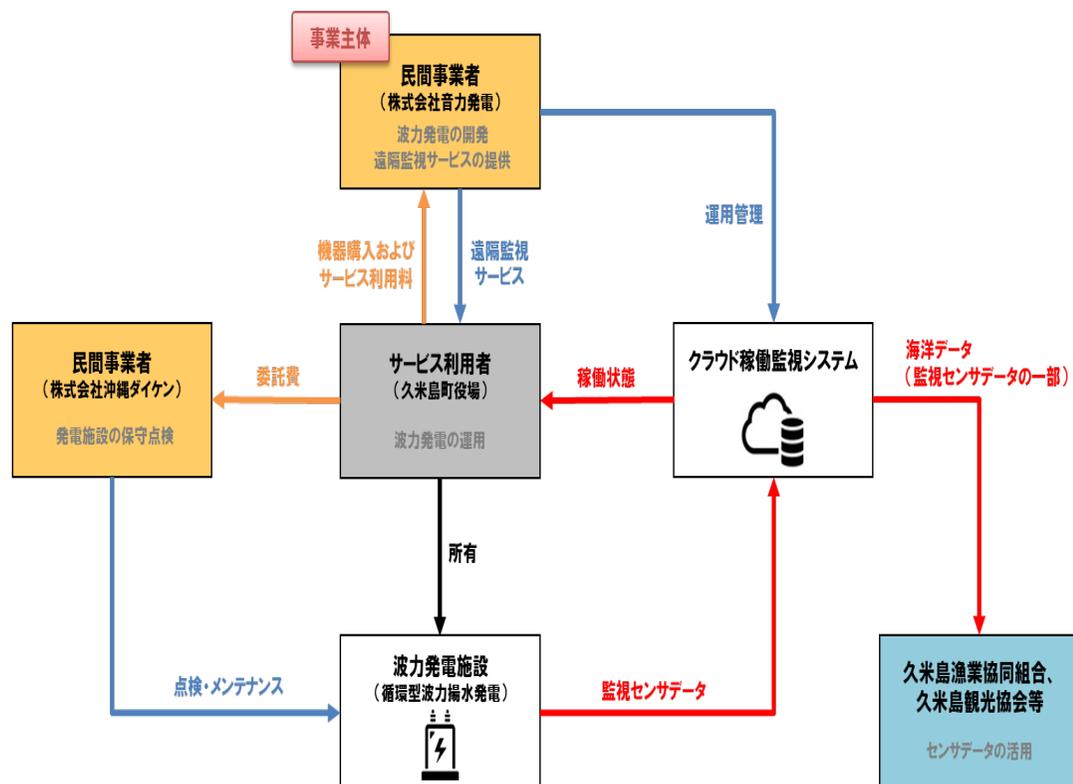
after: 2回(80%削減)

主な展開先

日本国の離島について、有人離島:418島

「離島振興法、沖縄振興特別措置法、等の対象となる有人離島の総数:312島」、その内、「本土等の大規模な電力系統を持つもの:69%」、「関係を持たない独立系統であるもの:31%」、独立系統を有する有人離島の電力供給は、「9割以上、ディーゼル発電」となる。

※ その他にも、過疎地域等は、離島と同様の需要を見込んでいる。



■ 実証事業の様子

海上からの無線通信検証

- ✓ ICTブイを活用し、LoRaとLTEの無線通信状況を比較
- ✓ LoRaについては、ICTブイに組み込んだ送信器と漁港に設置した受信アンテナの通信状況をモニタリング(受信アンテナからサーバーまではwi-fiで通信)
- ✓ LTEについてはICTブイに設置したセンサからのデータをサーバーまで送信し、その際の通信状況をモニタリング

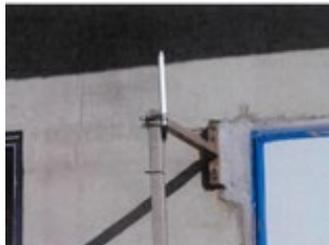
＜LoRa受信アンテナ
を設置した漁港＞



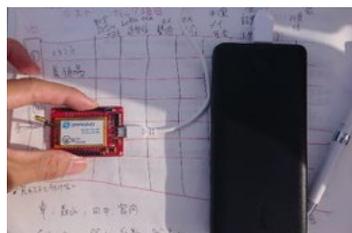
＜ICTブイ＞



＜LoRa受信アンテナ＞



＜LoRa送信器＞



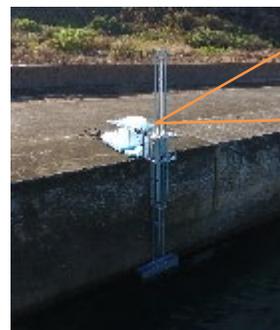
波力発電装置検証

- ✓ 実際の発電装置を活用し、無線通信状況(LoRa)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



IoTサービス実証における成果

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

代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 実証事業の全体構造(ロジックツリー)

※波力発電装置の実稼働を想定した考察(現時点では未稼働)

解決策の評価

事業の目指す姿	「目指す姿」を実現するための課題	課題ごとの解決策	評価方法	モニタリングする指標(KPI)	実証前の値(測定年(月日))	実証終了後の値(測定年(月日))
波力発電が普及し、特に離島部の電気料金低減、安定供給が実現している状態	異常発生の迅速な把握	遠隔監視システムの導入	保守要員が異常発生を把握するまでにかかる時間を計測	保守要員が異常発生を把握するまでにかかる時間	最大1ヵ月 (現場に到着するまで異常把握はできない) (2020年10月1日)	5分 (2021年2月4日)
	異常発生状況の正確な把握(現地作業)	遠隔監視システムの導入	現場での故障原因の特定に用いる情報項目及び判断に要する時間	現場での故障原因の特定に用いる情報項目数	71個 (2020年10月1日) ※注1を参照	2~4個 (2021年2月4日) ※注1の内、予測した故障原因に関連する2~4項目
				現場での故障原因の特定に要する時間	120分 (2020年10月1日)	15分 (2021年2月4日)
	点検回数の削減	遠隔監視システムの導入			12回/年 (2020年10月1日)	2回/年 (2021年2月4日)
	波力発電の保守に係るコストの低減	保守作業時間の短縮 点検回数の削減			240万円 (2020年10月1日)	100万円 (2021年2月4日)
波力発電技術の開発・普及展開(本事業では対象外)						

注1: 部队的な内容の一例
 発電部 シリンダーピストン部: 動作範囲の測定、異物付着の付着、変形、損傷等
 内部 点検ハッチ: 漏水がないか
 PCS 換気設備: ファンの動作、風量の確認 等、合計: 71項目

■ 今後の取組

■ 収益モデル

発電事業者負担(想定)

- ①導入コスト・・・1,000千円
(自己発電IoTセンサの購入)
- ②運用コスト・・・60千円/年
(クラウド稼働監視システムの利用料)

遠隔監視システム

自己発電型IoTセンサ



設置

発電装置
(循環型波力揚水発電)

データ

クラウド稼働監視システム



確認

①購入

②利用料

点検依頼

点検作業

導入効果(想定)

削減額 ▶ 1,400千円/年

before : 点検費用 200千円 × 12回 = 2,400千円/年
 after : 遠隔監視料 5千円 × 12ヶ月 = 600千円/年
 点検費用 200千円 × 2回 = 400千円/年

発電事業者
(施設所有者)

状態モニタリング



アラート受信



点検事業者

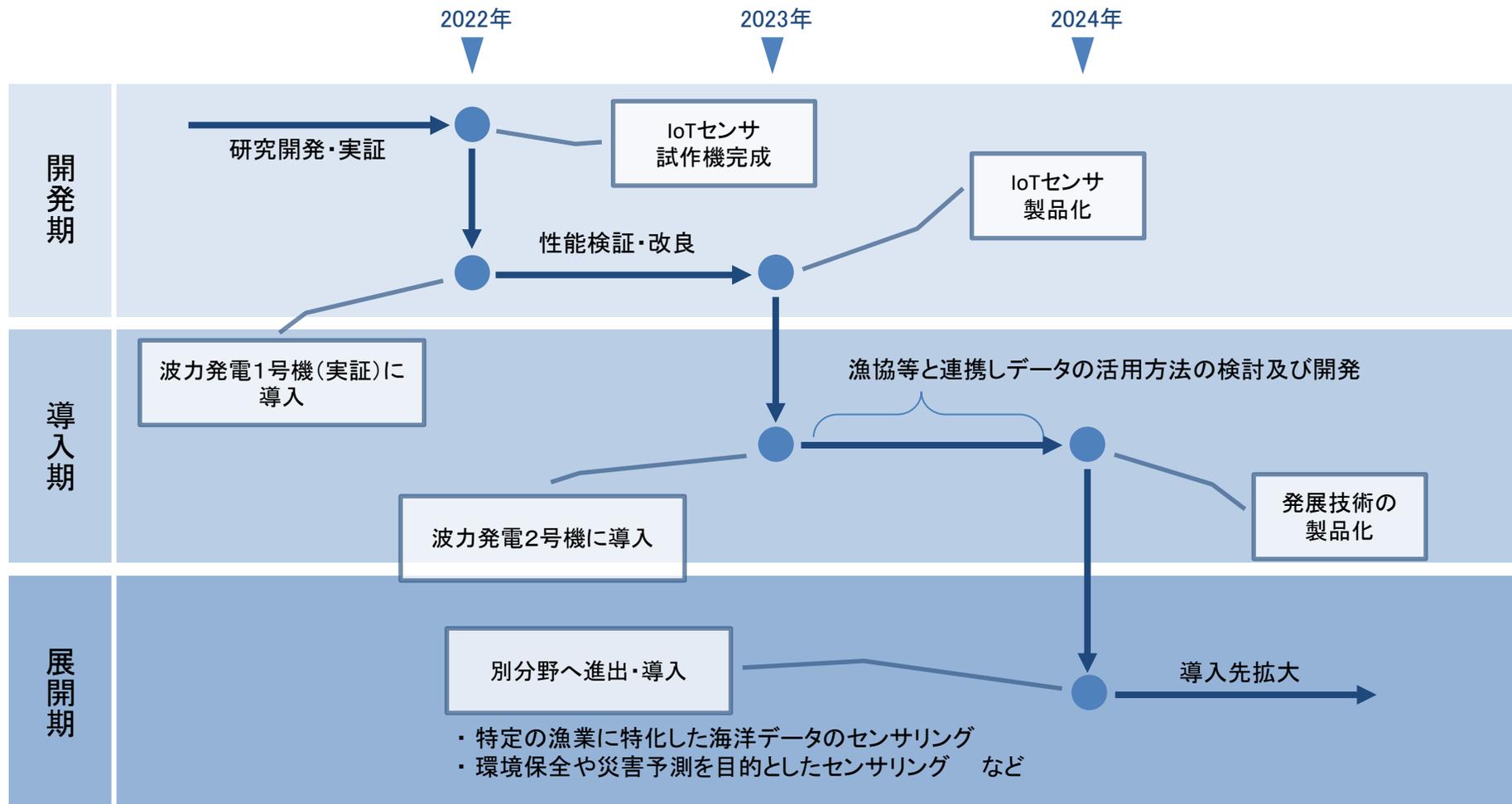
代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 今後の取組

■ 展開シナリオ

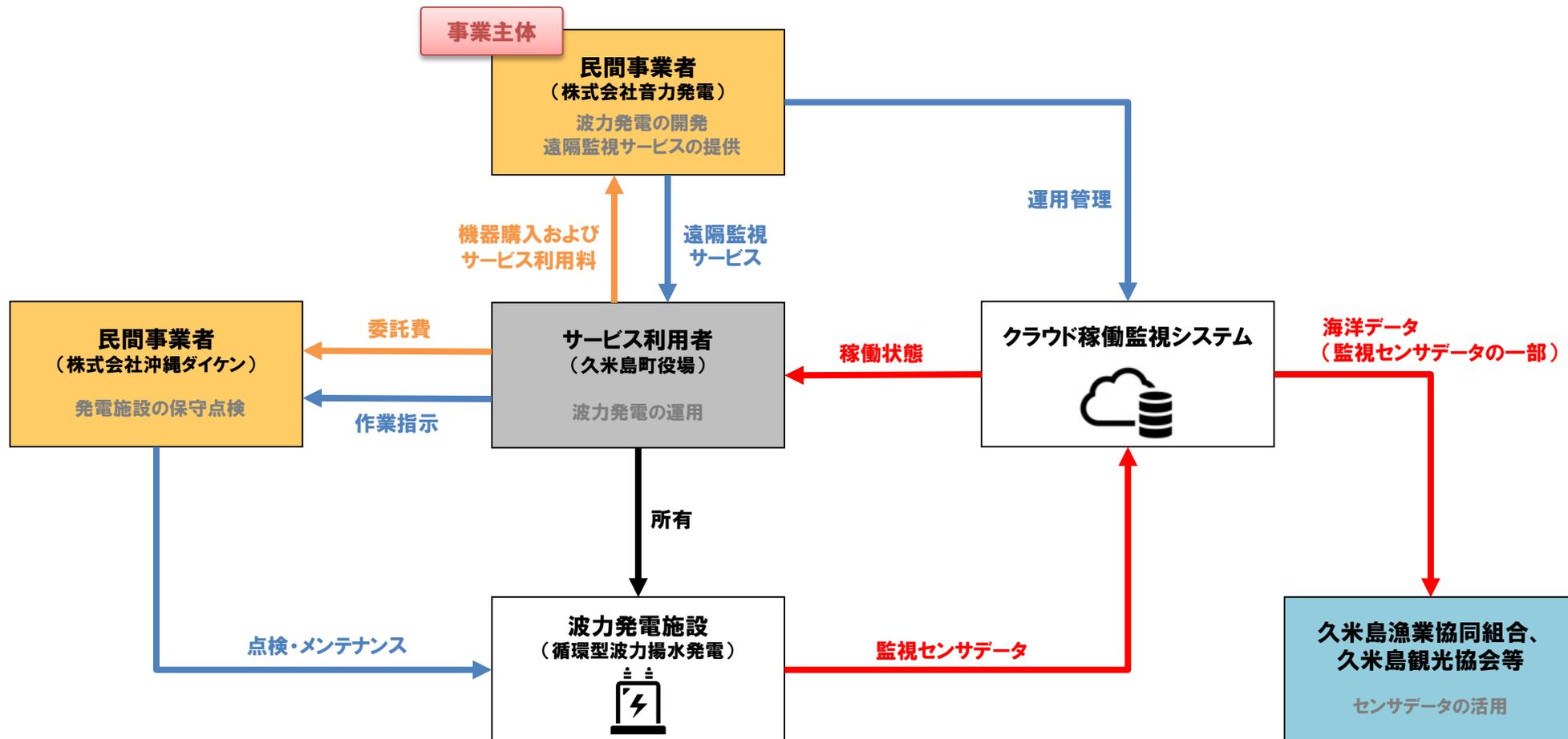
代表提案者による「本IoTサービス」の展開シナリオ



代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

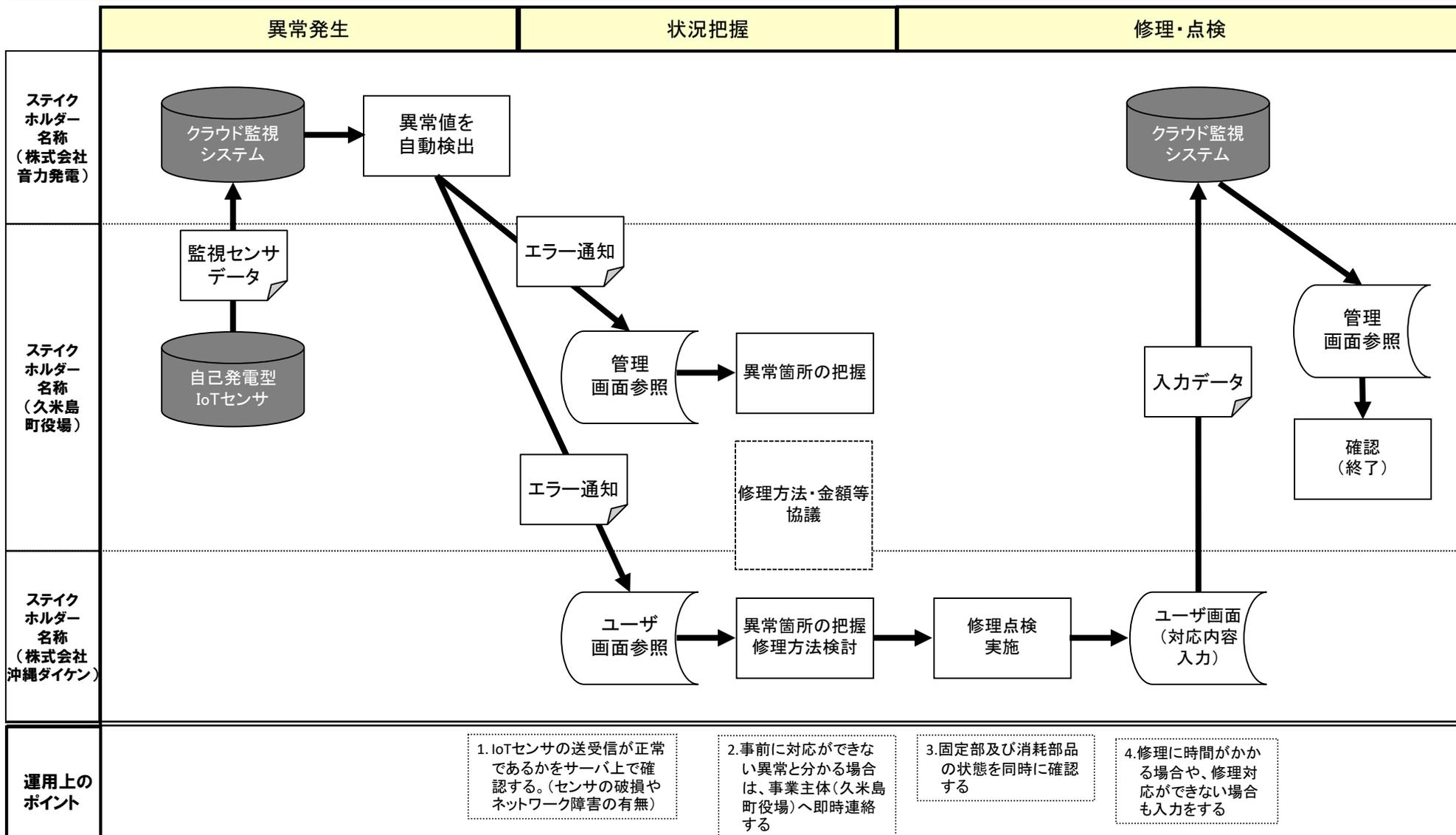
実装モデル



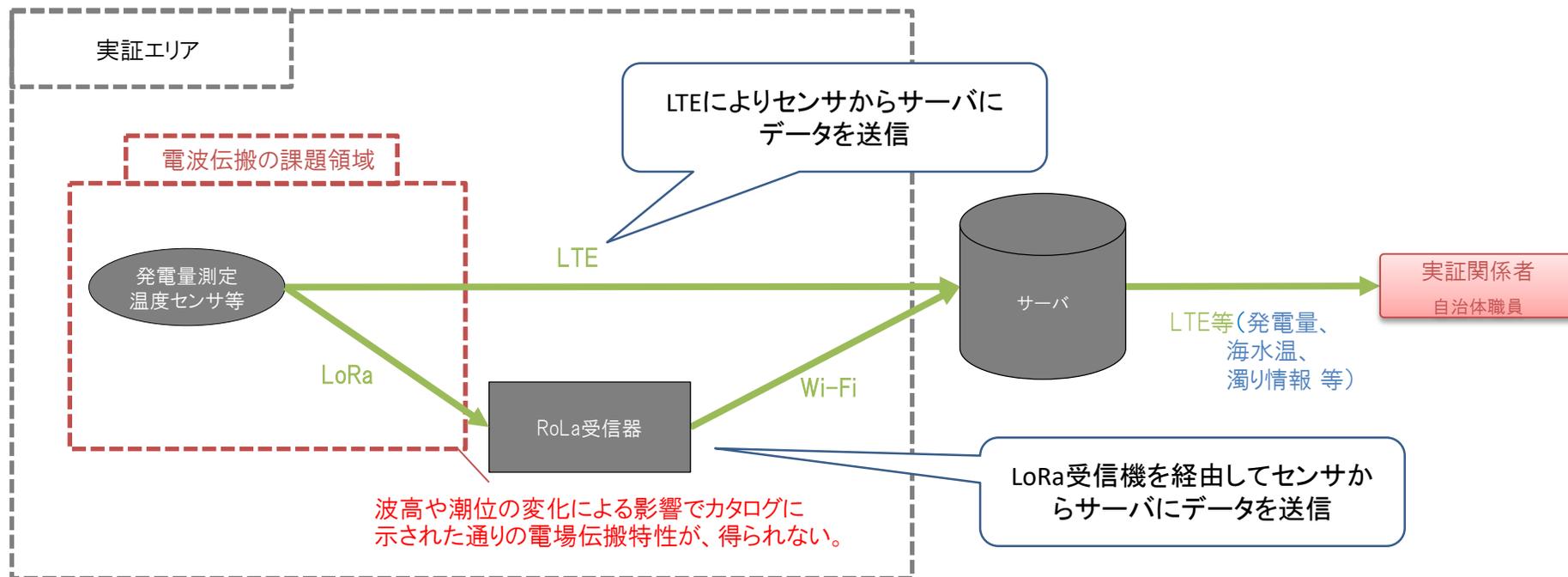
代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

業務フローモデル

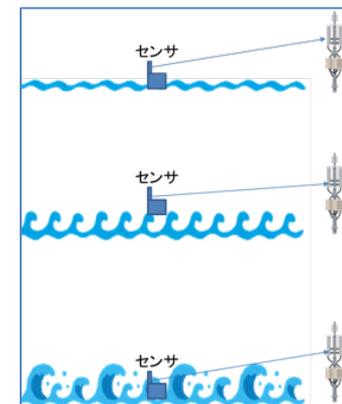


■ 本実証における電波伝搬上の課題 (イメージ図)



■ 本実証から得られる知見等

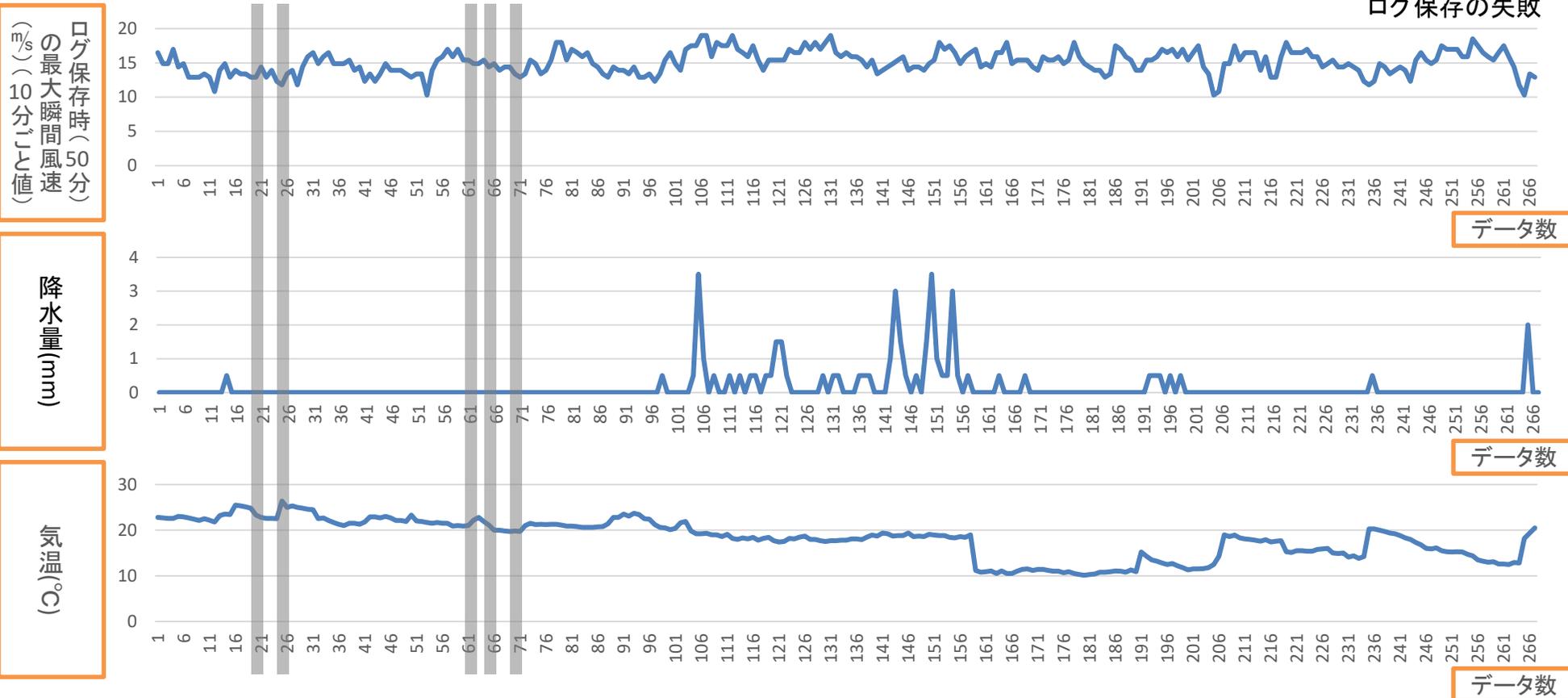
- ①実証環境における電波使用の課題:海上では、波高や潮位の変化により、電波伝搬環境が頻繁に変化する。
- ②使用する電波の種類:携帯無線通信(LTE)とLPWA(LoRa)
- ③実証によって得られる知見やノウハウ:波高や潮位の変化を考慮したアンテナ設置位置やGW設置環境整備の知見やノウハウが得られる



代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 電波伝搬に係る検証結果



- ✓ 上記の各グラフは、LoRaについて、2020年10月23日から2021年2月2日にかけて1時間ごとに計測した降水量・気温・最大瞬間風速のデータから、風速が10(m/s)以上かつPC起因などによるログ保存失敗が発生しなかった時点のデータを抜き出して順番に並べたものである(合計267時点)。なお、LTEについても9月29日から2月4日に計測を行ったが、ログ保存の失敗は発生しなかった。
- ✓ 各グラフからは、実証開始時点の「波高(本実証では風速を代替指標として使用)や降水量などの気象条件が電波伝搬に影響を与える」という仮説は最大瞬間風速が20(m/s)以下の場合には当てはまらないと考えられる。

■ 電波伝搬に係る検証結果

- ✓ 前項で示した分析に加え、特に電波伝搬への影響が強いと考えた波高（本実証では風速を代替指標として使用）については、定量的な分析も実施した（分析には前項と同一のデータを使用）。
- ✓ 分析にあたっては、①風速が5（m/s）未満、②5（m/s）以上10（m/s）未満、③10（m/s）以上15（m/s）未満、④15（m/s）以上、の各区分における通信の失敗率（＝通信機起因でログ保存が失敗した回数／ログ取得回数）を算出・比較した。
- ✓ 結果としては、①から③にかけては、波高と通信の失敗率にはわずかながら正の相関が見られる一方、④にかけては再び失敗率が低下していることが確認できる（③と④については、ほぼ同数のログ取得回数でありながら、③の方が失敗率が高い。）。
- ✓ よって、本検証においては、**波高が電波伝搬に大きな影響を与えるとの結果は見受けられなかった。**

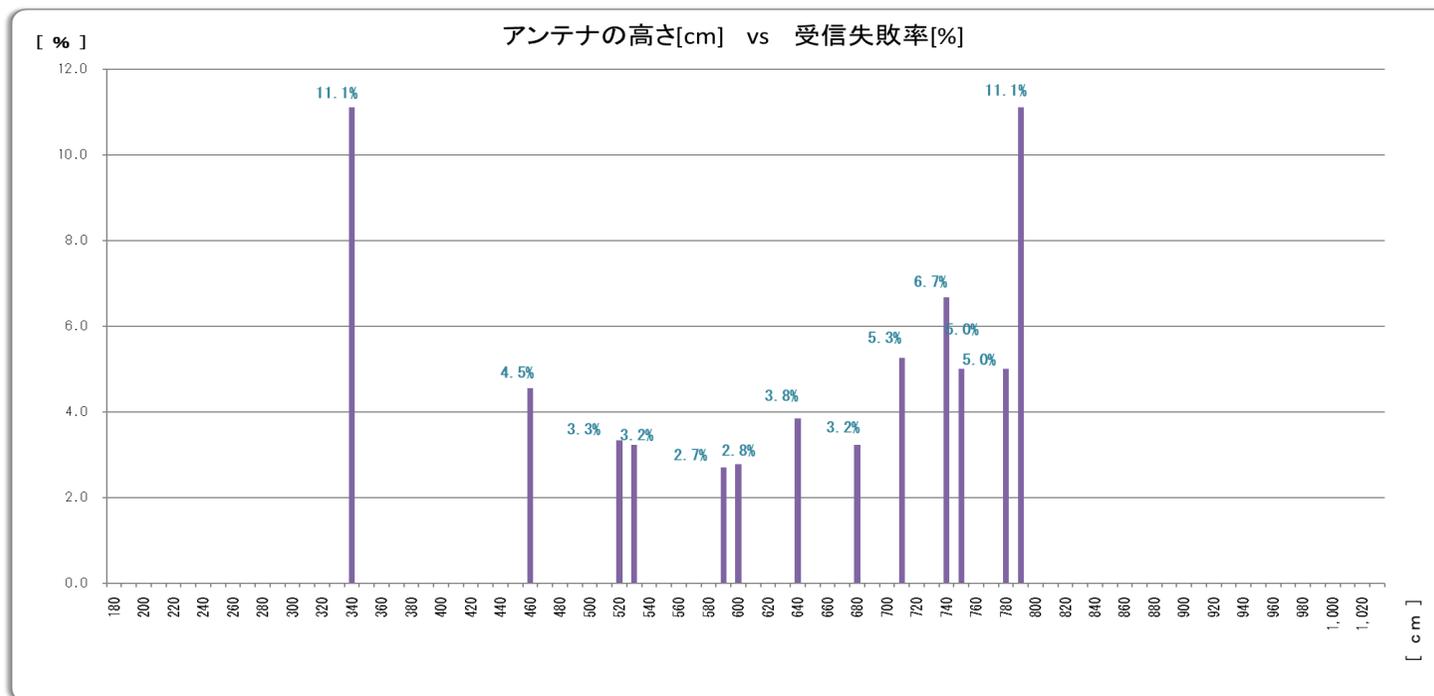
風速(※)の区分	通信の失敗率	ログ失敗回数	ログ取得回数
① 5(m/s)未満	約0.29%	2回	677回
② 5(m/s)以上10(m/s)未満	約1.07%	7回	654回
③ 10(m/s)以上15(m/s)未満	約2.96%	4回	135回
④ 15(m/s)以上	約0.76%	1回	132回

※ログ保存時(50分)の最大瞬間風速

代表提案者名:株式会社音力発電

事業名: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検証

■ 電波伝搬に係る検証結果



- ✓ 本グラフは、「風速と目視観測波高の関係について」（東海大学海洋学部 河内船長記）
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jinnavib/112/0/112_KJ00004998099/_pdf]より、目視合成波高（各風速に対する平均波高）より「計算式： $H(m) = 9 \times 10^{-3}V^2 + 0.133V + 0.968$ 」にて算出。「H：目視合成波高（各風速に対する平均波高）」と潮位(cm) および、「海面からのアンテナの高さ：180(cm)」の合計となる「アンテナの高さ」と「受信失敗率」の関係を表したものである。
- ✓ 縦線は、「送信機起因受信失敗データ数÷受信データ数」となる。
- ✓ 横線は、10cm毎にグルーピングされた値である。（グループ毎に対象データ数にばらつきがある。）
- ✓ なお、実際の無線送信時のアンテナの高さは、必ずしも目視合成波高の高さの時（最も波が高くなった時）に無線送信しているとは限らないため、「無線送信時のアンテナの高さ」を、「目視合成波高」と仮定した場合のグラフとして参考までに挙げる。
- ✓ 海上は、潮位や波高の変化があるため送信器の高さが常に変化するが、通信の成功可否と送信器の高さ相関は、見受けられない。

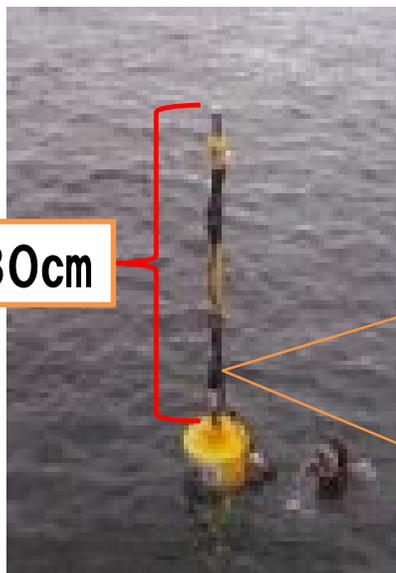
代表提案者名：株式会社音力発電

事業名：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検証

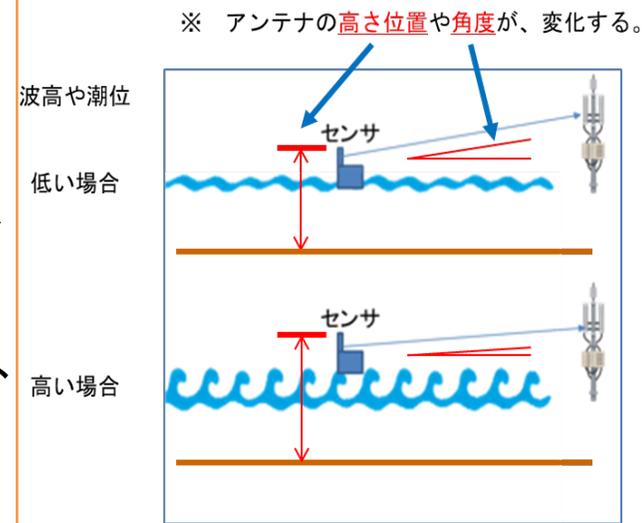
■ 電波伝搬に係る検証結果

- ✓ これまで示したように、波高などの気象条件による電波伝搬への影響は見受けられなかった。その理由として、ICTブイへの発信機の設置方法を工夫したことも影響していると考えられる。
 - ✓ 具体的には、ICTブイは、海面よりも約180cm高い位置にアンテナを設けている。
 - ✓ 地上と異なり、海上での実証では、受信側が固定されており、発信側が上下する、すなわちアンテナ高さが変化する。本実証では、ICTブイのアンテナ設置位置を参考に実証を行った。
- すなわち、今回の実証において、海面から約180cmの高さにアンテナを設置すると「波高や潮位の変化にそれ程関係なく、おおよそ問題なくデータ送信ができた」といえる。よって、海面から約180cmの高さの海上に送信器を設置する際は、通信の成功可否よりも、丈夫さや安全性を優先して検討すべきと考えられる。

<ICTブイ>



- 波高や潮位の変化によって、海面の高さも常に変化する。
- それに伴い、「アンテナの高さ位置」や「受信器との角度」も常に変化する。
- このような海上環境の変化の中で、常に安定した通信経路を確保するために、アンテナや送信機等はなるべく高い位置に設置することが望ましい。
- 本実証においては、なるべく高い、かつ、安定した浮力が確保できる位置として、(株)NTTドコモにおいて実績のあるICTブイを参考に「海面からの高さ：約180cm」の高さを採用した。



■ IoT利用環境構築事業の策定に向けた整理

①電波伝搬上の課題がIoTサービスに与えた影響

LTE：本実証において、「ICTブイは、毎回のデータ送信時に、1つ前のデータも送る仕様」のため、実際のデータの取りこぼしは、見受けられなかった。また、今回の実証においては、波高や潮位の変化を受けてもデータの取りこぼしは、見受けられなかった。

LoRa：波高や潮位の変化による影響と相関関係が見受けられなかった。LoRa自体の通信が途切れる場合が稀にあった。そのため、このことに対する対策として、「1つ・2つ前のデータも毎回送るようにする必要がある」と思われる。

②本実証で得られたIoT利用環境の適正な運用及び整備に資する知見

本実証において、アンテナを海面から約180cmの高さに設置して行なった本検証では、最大瞬間風速が20(m/s)以下の条件において、波高及び潮位の変化と、通信の成功可否の間で相関関係は見受けられなかった。

注)本実証期間中に”最大瞬間風速20(m/s)以上”のデータは取得されなかった。

LoRa：LoRa受信器のネットワーク環境を整備する必要がある。受信場所を選定する際、受信器に使用する電源とインターネット環境の整備された施設を探さなければならない。本実証地域(沖縄県久米島町具志川漁港周辺)には、これらの条件が揃っていないため、本実証と同様の仕様のLoRaを使用する際には、環境整備を必要とする。また、無線を受信できなかったことを想定して、前後のデータも必ず送信する仕様とすると良い。

③今後も検証等の必要があると思われる課題

今後も検証等を必要とする課題は、現時点において、特にないものと思われる。

④IoT利用環境の適正な運用及び整備のあり方、必要な政策面での支援

本実証地域(沖縄県久米島町具志川漁港周辺)のLTEの電波状況の改善。

■ 基本情報

波力エネルギーの活用状況

- ✓ 日本近海では36GW程度の波力エネルギーが存在するものと試算されている。現状では、波力発電は実用段階にはないが、波力エネルギーの有効活用は日本のエネルギー政策においても重要な課題と言える。



出所) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

離島における電気料金

- ✓ 日本の離島部では島内の発電所の規模が小さいこと、ディーゼル発電が多いことなどの理由により本土と比較し電気料金が安いことが多く、負担軽減が課題となっている。そのような状況下で周囲を海に囲まれた離島部で波力エネルギーの活用を検討するケースが出てきている。

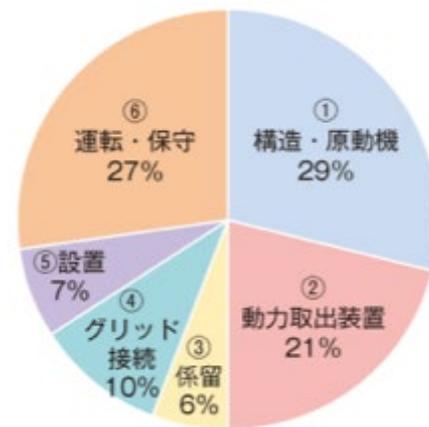
波力発電技術の開発状況(現状)

- ✓ 現在、波力発電技術の実証事業が複数実施されている。
- ✓ 一方で、波力発電の普及後を見据えた低コスト化に向けた取組については、現状では検討の中心となっていない。

現状の課題

- ✓ 波力発電を普及させるためには、発電コストを可能な限り低下させることが重要であり、そのためには、①構造・原動機コストを抑えるだけでなく、⑥運転・保守にかかるコストを低下させることが重要

波力発電のコスト内訳



出所) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構