

令和7年度 地域社会DX推進パッケージ事業
(実証事業 先進無線システム活用タイプ)

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用 成果報告書

2026年3月31日

株式会社秋田ケーブルテレビ

成果報告書 目次

I. 地域の課題と目指す姿

1. 地域の課題と目指す姿
2. これまでの取り組み状況と今後の実現ステップ
3. 実証の必要性
4. 成果 (アウトカム) 指標
ロジックツリー
5. 実証内容
成果 (アウトカム) 指標の設定:
本実証
成果 (アウトカム) 指標の設定:
実装・横展開

II. ソリューション

1. ソリューションの概要
2. ネットワーク・システム構成
 - a. ネットワーク・システム構成図
 - b. 設置場所・基地局等
 - c. 設備・機器等の概要
3. ソリューション等の採用理由
 - a. ソリューションの先進性・新規性、
実装横展開のしやすさ
 - b. 無線通信技術の優位性
4. 費用対効果
 - a. ソリューションの費用対効果
 - b. 導入・運用コスト引き下げの工夫

III. 実証

1. 計画概要
2. 検証項目・方法
 - a. 効果検証
 - b. 技術検証
 - c. 運用検証
 - d. 展開先
3. スケジュール
4. リスクと対応策
5. PDCAの実施方法
6. 実施体制

実証

実証・実装・
横展開

IV. 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

1. スケジュール (実績)
2. 検証項目ごとの結果
3. 実装・横展開に向けた準備状況
4. 実装・横展開に向けた課題および
対応策
5. (参考) 実証視察会
 - a. 概要
 - b. 質問事項と対応方針

V. 実装・横展開の計画

1. 実装の計画
 - a. 実装において今後目指す状態
 - b. 今後3年間で実施するアクション
 - c. 実装の体制
 - d. ソリューション (変更点)
2. 横展開の計画
 - a. 横展開の体制
 - b. ビジネスモデル
3. 期待効果/資金計画
 - a. 販売主体
 - b. 導入先
4. 資金計画

VI. 指摘事項に対する反映状況

1. 実証過程での指摘事項に対する反映
状況
2. 成果報告会での指摘事項に対する
反映状況

I 地域の課題と目指す姿

1 地域の課題と目指す姿

本事業の対象とする地域課題

対象者	内容
a 地域企業	秋田県では、柱となる新たな産業として地域資源を生かした新エネルギー関連産業の振興、中でも雇用創出に繋がる部品製造、建設、オペレーション&メンテナンス(運転、保守・点検、以下O&M)など関連産業への地域企業の参入に力を入れている。しかし、現状、特定企業による特殊業務が多く、参入機会の創出に伸び悩みがある。今後、地域産業育成のためには、O&Mを始めとした関連業務のDX化を図り、地元の企業や人材を最大限に活用できる仕組みへの変換が求められる。
b 地域風力事業者	売電単価×発電量にて収益を得る風力発電事業において、資材高騰、労働力不足による賃金上昇が加速するものの売電単価は入札価格に固定される中、安定的に事業を維持継続するには、発電停止時間(ダウンタイム)の最短化と、総事業コストの3割以上を占めるO&Mコスト低減への取り組みが急務である。 <ul style="list-style-type: none">DX推進にて、メンテナンスの対応時間短縮と作業効率化を行い、ダウンタイム最短化・電力回復による運転効率・発電量の最大化とメンテナンスコスト低減によって収益の最大化に繋がる。今後一般海域・EEZへと洋上風力発電が展開されるが、発電所サイトへのアクセスは備船に限られ海象・気象に左右される不安定で非効率なO&Mの安定的かつ確実な対策が求められている。
c 風力発電業界	県下では、1地点(秋田港・能代港)運転開始し、2028年以降5地点(能代市・三種町・男鹿市沖、由利本荘市沖、男鹿市・潟上市・秋田市沖、八峰町・能代市沖、由利本荘市・にかほ市沖)を有する日本一の規模であり順次運転開始するが、各事業者は運転開始後のO&Mには地域人材採用を望んでいる。各地点には20名以上の技術員が必要だが、風車には数万点の部品の使用されており、O&Mに必要な技術は専門性が高く、習得に時間等を要するため技術者不足を補う必要があり、効率的な人材育成及び遠隔からの技術支援体制確立等が課題となる。

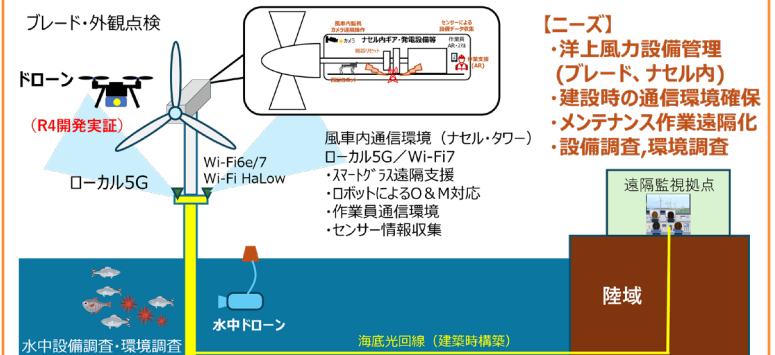
目指す姿

『DX推進により、発電量最大化と総事業コストの3割以上を占めるO&Mにおける効率化を図り、資材高騰・労働力不足による賃金上昇など外部変動要因に影響されない電力安定供給が実現されている。』

- 作業効率を向上させる風車内通信環境の構築
- 風車内通信環境を利用したソリューションの実現
 - スマートグラス活用による熟練工・専門工による現地作業支援
 - 四足歩行ロボットによるナセル内のO&Mへの対応
 - 風車内の点検・監視(定点カメラ、サーモカメラ)
 - センサによる設備データの収集(温度、湿度など)

今後主流となる一般海域・EEZにおける洋上風力発電所で必要不可欠なソリューションを、本実証において実用性・有効性(投資対効果)を早期に検証し、社会実装のための展開を推進する必要がある。

【課題が解決された将来像】



用途に適した無線通信を活用し、風力発電を支えるO&Mが効率化され、国内電力の安定供給、産業振興による地域活性化が実現されている。

② これまでの取り組み状況と今後の実現ステップ

これまでの取り組み

2022

概念実証



地方公共団体と連携したローカル5Gの活用による火力発電所のスマート保安の実現

- 各ソリューションの効果検証は一定の費用・業務量の削減を検証
- ドローンでの巡視点検は防爆エリアや雨天時などに対応した体制・手法のマニュアル整備が必要
- 高精細カメラによる自動追従機能等の追加が必要

2023,2024

具体的実証



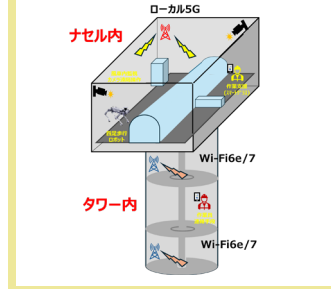
水力発電所及び飲料系プラントにて四足歩行ロボットによる点検実証

- メーター・故障表示ランプの撮影・読取り等、省力化に資するロボット適用範囲の把握
- ロボットへの代替えによる効果の定量化
- 遠隔操作時は僅かなタイムラグでもロボット操作に狂いが生じ既存設備が損傷するため、超低遅延通信環境が必要

目指す姿に向けた実現ステップ

2025

実証



秋田県北部海岸線に位置する峰浜風力発電所にて、ローカル5G、Wi-Fi6e/7環境を構築し、ソリューション（ロボット点検、スマートグラス遠隔作業支援他）の実証・評価を実施

- 実証にて得られた導入効果等を用いた横展開及び実装提案資料を作成し、経済産業省、JWPAへの説明・折衝と、国内及び東アジア・欧州各国の風力関連事業者への提案・説明にて横展開及び実装に繋げる

2026-2027

実装



峰浜風力発電所への実装

- 実証結果から得られた費用対効果を評価し、効果的な通信・ソリューションを実装する
- ウェンティ・ジャパンが幹事をつとめる「秋田風作戦」(秋田風力発電コンソーシアム)や、運転中、建設中・予定のJERAなどの洋上風力発電事業者に対し、実装した峰浜風力発電所の見学会を開催し理解を深め、同通信・ソリューションの導入に向けた交渉・協議を具体化し、早期の実装を図る

2028~

横展開
(最終的なゴール)



洋上風力発電事業への本格的横展開

- 運転中の洋上風力発電所に対し、費用対効果を評価し、効果的な通信・ソリューションを実装する
- 発電所地点公募に今後応募予定の事業者に対し、同通信・ソリューションの導入に加え、令和4年に取り組んだローカル5Gを活用したドローンによるブレードメンテナンスも併せた提案を実施し、確実かつ早期の横展開を図る

3 実証の必要性

実装する上での課題(今のままでは実装できない理由)

・風力発電が陸上から洋上にシフトする中で、洋上における通信不感課題と、備船（CTV/Crew Transfer Vessel）によるサイトへの移動課題は顕在化してきている。従来、国内では陸上風力発電が主流であったため、ウインドファームにおける通信、メンテナンスのためのサイトへの移動の課題は限定的であり、改善検討は進んでいない。しかしながら、今後、一般海域でのウインドファーム開発が加速する2028年度の前には、通信を用いたメンテナンス作業の効率化（遠隔制御可能範囲の拡大）を実証検証させておく必要がある。

・風力発電のメンテナンスは、現状熟練工による現地作業が主流である。現在の風車基数においては、現行の手法で問題なくかつ効率的に実施できているため、メンテナンス分野でのDXは行われていない。しかしながら、今後、洋上風力の開発に伴い、風車基数が爆発的に増加する中、また、国内の労働人口が減少する状況において、現地作業の専門性を排し、遠隔指導によるメンテナンス要員の裾野拡大は急務となっている。

・ローカル5Gのような広帯域かつ低遅延を特徴とする通信は、ここ数年内に実用化された通信技術であり、風力業界での活用は進んでいない状況である。また、ローカル5Gの洋上における無線利用は、昨年制度化されたものであり、今後、利用が進む領域であると考えられる。

・無線通信の電波の影響を受けて制御系機器が誤動作し、異常な状態に陥らないことが必要である。また、発電設備の影響を受けずに、業務に支障のない無線通信が問題なく実施できることが必要である。

左記課題をクリアするために、実証事業を通じて検証すること

風力発電における無線通信環境の導入とそれらを活用するソリューションの導入によるメンテナンスの効率化効果面及び、技術面での実現性を見立て、実装可否検証を実施する。

技術面

- ・狭隘かつ強電界な風車内部環境における通信（電波）のナセル内運転制御用機器へ影響
- ・狭隘なナセル内において、四足歩行ロボットを遠隔操作し、任意の場所への移動及び簡単な操作が可能か
- ・撮影したメーター等の計器類に対し、AI画像解析によるデータ化が可能か(目標:AIでの数値化精度95%以上)

効果面

- ・風力発電におけるローカル5G、Wi-Fi 6e/7の活用事例創出
- ・通信利用及びソリューション（四足歩行ロボット、カメラ、スマートグラス、センサー）による発電停止時間（ダウンタイム）短縮に資する点検・メンテナンス省力化効果の可視化（目標：ナセル内から取得できる必要情報の遠隔取得率95%以上）

運営面

- ・ソリューション導入投資額に対する効果検証（売電最大化、メンテナンスコスト削減）、従来手法との比較を含む
- ・峰浜風力発電所への通信・ソリューション実装による検証とPR活動（目標経費：200万円程度）

展開先

- ・発電事業者の観点から、メンテナンス対応時間の短縮と作業効率化によって、ダウンタイムの最短化、電力回復による運転効率の向上、売電量の最大化に貢献し、かつメンテナンス費用の削減が期待できるソリューションであるかどうかを検証（目標：5事業者以上）

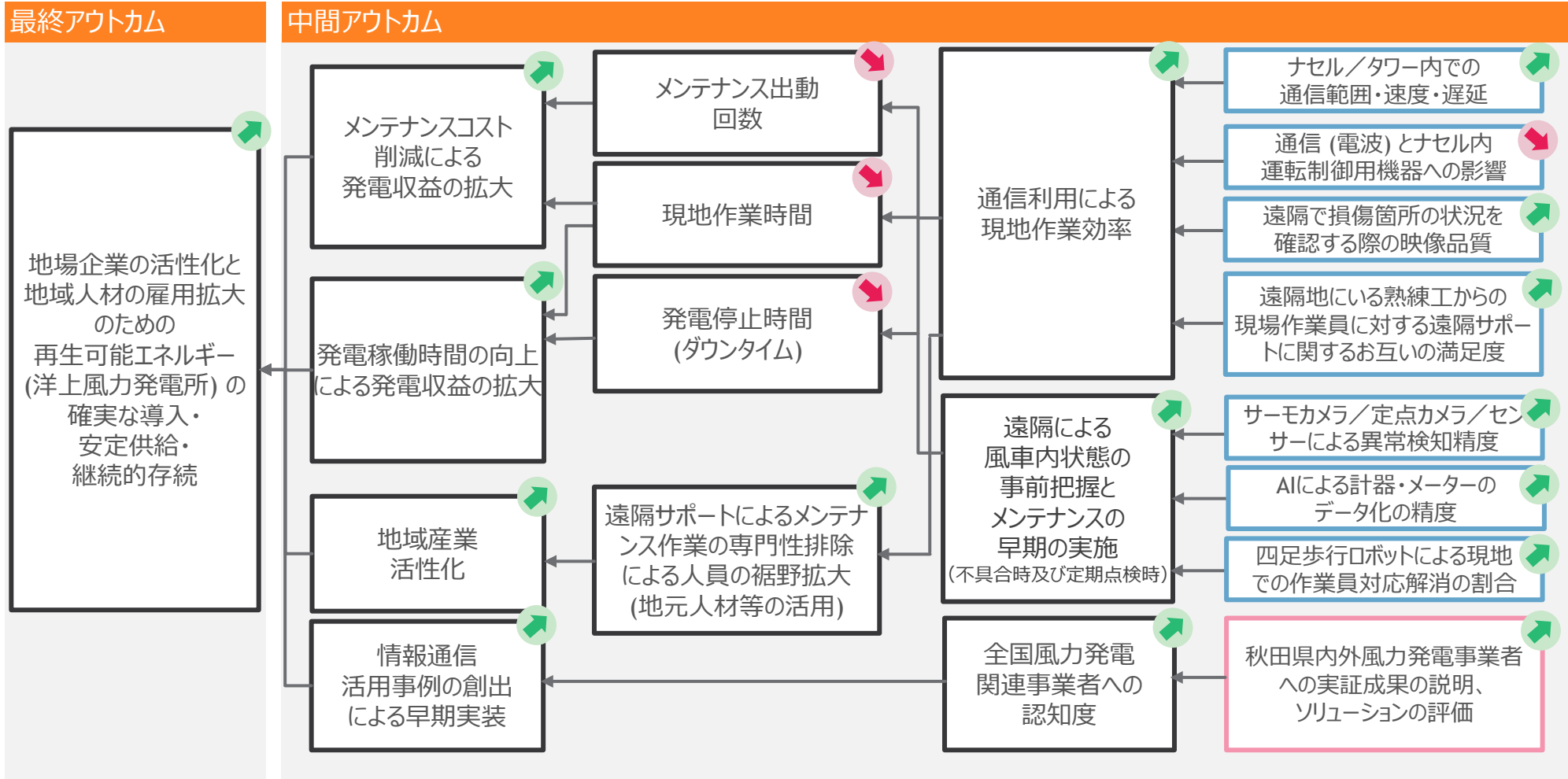
4 成果 (アウトカム) 指標

ロジックツリー

□:実装・横展開の成果指標

□:実証の成果指標

目標の方向性 (増減):



5 実証内容

成果 (アウトカム) 指標の設定: 本実証 (1 / 2)

成果 (アウトカム) 指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
<p>ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延</p>	<p>風車での通信環境はなく、現地作業員は、風車外に出て外部と連絡をとる将来の一般海域・EEZ洋上風力では、通信不感地帯である可能性が高い</p>	<p>ナセル及びタワー内の各所において、外部とのIP通信が可能となるローカル5G：RSRP（基準信号受信電力）-120dBm以上、Wi-Fi:RSSI（受信信号の強さ）-75dBm以上、遅延1秒以内の確保</p>	<p>風車内での作業範囲であるナセル及びタワー内での通信環境を確保する。通信品質としては、スマートグラスによる遠隔支援や四足歩行ロボットの遠隔操作に対応する映像スループット及び遅延に対応できるスペックを確保する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・風車内の任意の複数地点において、エリアテスター等でRSRPを、Wi-Fiアナライザ等でRSSIを測定(端末or端末にテザリング接続したPCなど) また、参考値として端末 - インターネット区間のスループット、Ping遅延(往復遅延)、Pingジッタ値等を測定
<p>通信 (電波) とナセル内運転制御用機器への影響</p>	<p>陸上風車が主流である現状においては、風車内部に決まった通信手段がなく、発電所サイトの通信可能状況に応じて、通信キャリアの電話・モバイル通信や無線通信を使用</p>	<p>制御系設備が、ローカル5G、Wi-Fi6e/7の通信・電波の影響を受けずに正常稼働することを確認。発電設備が稼働していても無線通信が可能であることの確認</p>	<p>無線通信の電波の影響を受けて制御系機器が誤動作し、異常な状態に陥らないことが必要 また、発電設備の影響を受けずに、業務に支障のない無線通信ができることが必要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・様々なデータ等の通信を行っても、制御系機器が指示・指令通りに稼働可能か確認 ・データ通信の途切れ・体感スピード、音声の聞き取り感度の確認 ・発電稼働中でも無線による監視通信により、映像等を確認
<p>遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質</p>	<p>異常発生時にその状況確認は機器からのアラーム情報等のみで、損傷個所有無等、詳細情報は現地を確認しないとわからない</p>	<p>ナセル内で発煙している、機器が破損している、部品が落ちている、といった通常とは異なる状況が、赤外線対応PTZカメラで遠隔操作して確認できること</p>	<p>現状は、設備からのアラームや既存の監視データをもとに現地へ向かい確認するしかないが、アラーム等の気付きをトリガーに、ナセル内部の状況や設備の可視カメラによる目視確認が暗視でもできることにより、現地への作業員派遣前に状況把握できることで、ある程度の原因特定が可能であり、準備工程が効率化が期待できる（発電機、増速機、コンバータといった大型装置から、配電盤や通路、配管の状態を確認できる）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラの遠隔操作により、設定した箇所、部品等、また床面等に脱落品は無いのか、機器や盤の損傷はないか、配管が外れていないか、盤が開いていないかなど遠隔監視室等での映像目視により判定できるか確認
<p>遠隔地にいる熟練工からの現場作業員に対する遠隔サポートに関するお互いの満足度</p>	<p>現地で突発的に発生する障害等に対し、作業員がスキル未習得の事象には対応不可であり、別途対応可能な作業員が現地に出向く必要がある</p>	<p>対応スキル未習得の作業員がスマートグラスを活用し遠隔監視拠点等にいるベテラン作業員とのやり取りで対応できるカンケートを実施、利用満足度70%以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・経験の浅い作業員がスマートグラスを活用し、指示通り作業ができる ・スマートグラスへのデータ等の表示により指示が分かりやすく、誤作業を防止し、作業をより簡単かつ安全に進めることが可能 ・音声コマンドにて、状況確認や遠隔の指示をハンズフリーにて確実に認識しながら工具を手に持ち作業ができる ・実際の現場を用いて知識や経験をスマートグラスを介して付与することで、早期に組織全体のスキル向上に貢献する 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場作業員が装着するスマートグラスと監視室とのやり取りについて、お互いが映像を確認し、音声通話ができることを確認 ・遠隔指示を行う熟練工、指示を受ける現地作業員の使用感を確認し、改善点や不足機能等の洗い出しを実施 ・一連のやり取りを見てもらい利用満足度が70%以上を確認により実装を判断可能（リッカート評価のCSATスコア）

5 実証内容

成果 (アウトカム) 指標の設定: 本実証 (2 / 2)

成果 (アウトカム) 指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
サーモカメラ／定点カメラ／センサーによる異常検知精度	異常発生時の状況確認は主要機器に設置されるSCADAデータ(※)やアラーム情報のみであるため、詳細情報の取得は作業員を現地へ派遣し実施	<ul style="list-style-type: none"> ・ナセル内 (2か所カメラ設置を想定) の通路及び設備外観を確認、照消防灯時も同様に確認 ・補助機器などSCADA対象外の機器に対し、状況把握ができることを確認 ・ナセル空間の80%以上を映像確認でき、センサー情報をもとに不具合発生前後の比較が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備からのアラームをトリガーにナセル内部の状況や設備の可視カメラによる目視あるいはサーモカメラによる温度状況が確認できることにより、現地への作業員派遣前における程度の原因特定が可能であり、準備工程の効率化が期待できる 現状は事前調査として、現地に行き状況確認の上、メンテナンス準備等を実施後、再度現地に出向き対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視を実施し、遠隔での状態監視に必要な解像度を確認 ・実際の現地の状態との比較により、サーモによる温度検知精度を確認 ・センサーが運転中の発電機振動や室温などのナセル内の環境に適応できるか確認 ・センサー取得データを遠隔監視拠点にて正常に受信できるか確認
AIによる計器・メーターのデータ化の精度	遠隔確認可能な主要機器メーター以外は、現地で作業員が目視で数値を読み取り、用紙に記録し、事務所に戻りPC等に手入力してデータ化	撮影したメーターのAI画像解析によるデータ化できるかの確認 目標：AIによるメーターの数値化精度95%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・1地点当り30～60基程度設置される風車の全てに多数設置される機器の効率的な管理には、作業員が目視で読み取りデータ化しているメーター類の指示値を、撮影画像のAI解析による数値化を高い精度で実施することが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・デジタルメーター デジタルセグで表示される数字に対し作成した機械学習モデルにて、メーター読み取りを実施し正解率で評価 ・アナログメーター アナログメーターでの針位置に対し作成した機械学習モデルにて、メーター針位置を読み取りし、位置に対応するテーブルにて数値化を実施し正解率で評価
四足歩行ロボットによる現地での作業員対応解消の割合	遠隔確認可能な主要機器メーターや定点カメラ撮影範囲以外の機器メーターは、現地で作業員が目視で数値確認を実施 機器故障時状態を解除等するリセットボタン等は、現地で作業員が押下(操作)を実施	<ul style="list-style-type: none"> ・四足歩行ロボットの遠隔操作で以下を確認 数値確認が必要と設定するメーターの対応 目標:カバー率100% ・押下(操作)が必要と設定するリセットボタン等への正確な対応 目標:誤操作ゼロ 	四足歩行ロボットの遠隔操作で以下を実施 <ul style="list-style-type: none"> ・数値確認を必要とするメーターに対応するには、狭いナセル内の点検用通路と階段の安全な歩行・移動が必要 ・任意の位置で停止した上でアーム等を用いたカメラ撮影が必要 ・落雷等に伴い停止した風車の再稼働には、不定期点検項目に対する確認を必要品質を満たした上で実施することが必要 ・故障機器の早期復帰には、機器毎に異なるレイアウトとなるリセットボタン等の正確な押下(操作)が必要 	四足歩行ロボットの遠隔操作で以下を実施 <ul style="list-style-type: none"> ・確認が必要と設定するメーターまで既存設備に損傷がなく歩行可能か確認 ・その上で対象となる全てのメーターをカメラ撮影できるか確認 ・押下(操作)対象のリセットボタンのみに対し、設備を損傷させることのない適切な押下が可能か確認

(※) SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) : 監視制御とデータ収集を行うシステム

5 実証内容

成果 (アウトカム) 指標の設定: 実装・横展開

成果 (アウトカム) 指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価	円安、資機材費・人件費の高騰等から事業環境が悪化(事業性低下)している一般海域洋上風力発電事業では、ライフサイクルコストの35%程度を占めるオペレーター＆メンテナンス費用の削減が求められている	一般海域洋上風力発電事業5社以上に対し幹事会社として公募占用計画書が提出(応募)可能な企業への実証成果等の説明と評価聞き取り 導入意向発電事業者5社以上	<ul style="list-style-type: none">・オペレーター＆メンテナンス費用(人件費等)削減には、作業員が現地風車に出向き行っている対応を、ロボットや固定カメラ等で遠隔にて監視、状態確認、簡易な操作を実施することが有効・事業の収益性向上には、落雷等にて発電停止(ダウンタイム)する風車に対し、作業員が現地風車に出向き行っている対応を迅速化(ダウンタイム短縮)できる、ロボットや固定カメラ等での遠隔による監視、状態確認、簡易な操作を実施することが有効・選定済み地点の事業者の幹事会社6社(第1ラウンド:1社、第2ラウンド:4社、第3ラウンド:2社で重複を除く)の半数の3社及び、第4ラウンド以降に幹事会社として応募することが見込まれる2社の計5社	<ul style="list-style-type: none">・選定済み地点の事業者の幹事会社への決定している企業への実証成果等の説明と評価聞き取りを実施・今後の公募地点に幹事会社として応募することが見込まれる企業への実証成果等の説明と評価聞き取りを実施・本ソリューションの導入意向の聞き取りを実施

II ソリューション

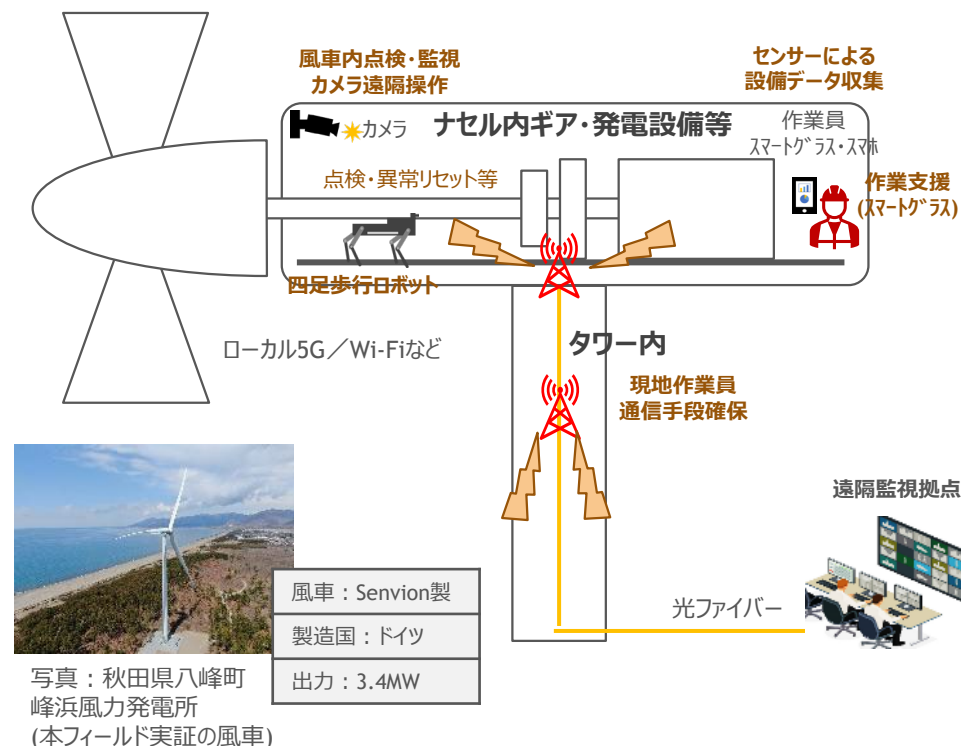
1 活用ソリューション

ソリューションの概要

ソリューションの概要

今までの風力発電ナセル内部には、専用の通信環境はなく、発電所サイトを通信可能エリアとするモバイル通信などを活用し、メンテナンスなどの現地作業を実施していた。しかし今後、発電所サイトの開発が、陸上発電から一般海域・EEZの洋上発電にシフトしていくにあたり、通信不感による作業効率の低下が顕在化する。

本ソリューションは、通信環境がなかった風力発電風車内に通信環境を構築し現地作業の効率化を図ると共に、遠隔監視制御によるメンテナンスコストの削減に資するソリューションを実装する。



中間アウトカム (実証)

定量アウトカム

- ナセル/タワー内での通信範囲・速度・遅延
- 通信(電波)とナセル内運転制御用機器への影響
- 遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質
- 遠隔地にいる熟練工の遠隔サポートに関する満足度
- 現場作業員の遠隔サポートに関する満足度
- サーモカメラ/定点カメラ/センサーによる異常検知精度
- AIによる計器・メーターのデータ化の精度
- 四足歩行ロボットによるエラー解消の割合等

定性アウトカム

- 秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価

中間アウトカムの実現に繋がるソリューションの価値

- ナセル/タワー内の安定的な無線通信環境の確保は、メンテナンスDXにつながる**様々なソリューションの活用を実現**する。特に今後風力発電の主流となる一般海域の洋上風力は、通信不感地帯であり必須の環境となる。
- 定点カメラ(可視カメラ、サーモカメラ)、センサー及び四足歩行ロボットの活用により、ナセル内各機器の状態を現地に出向くことなく把握することが可能となる。また、ロボットの遠隔操作によって、定点カメラでは確認することができない局所的な状態の把握やロボットアームによる装置リセットなどが可能となり、**メンテナンス出勤回数の減少**につながる。特に悪天候時などアクセスが困難な洋上風力においては、遠隔操作可能範囲を拡大するこれらのソリューション導入により**発電停止時間(ダウンタイム)の短縮**に貢献できる。
- スマートグラスの活用により、熟練工・専門工が現地に出向くことなく遠隔から視覚的に注釈や指示を行うことが可能となり、**現地作業時間短縮**、一人の作業員が対応できる業務範囲の拡大が可能となり、今後労働力不足が懸念される**作業員の裾野拡大(地元人材等の活用)**の実現につながる。
- これらソリューションの活用により、メンテナンス作業が短縮することにより、**発電停止時間(ダウンタイム)の短縮**、ひいては再生可能エネルギーの安定供給に貢献できる。

※下線はソリューション、赤文字は、ソリューションの価値

II ソリューション

① 活用ソリューション

活用している先進技術

概要

AI	四足歩行ロボット等にて撮影したメーター類で、撮影画像の、角度・背景色・大きさを変えたセグメント表示数字に学習した機械学習モデル (CNNベースの物体検出アルゴリズム (YOLO)) を構築する。データは本件のみで使用し、学習環境はオンプレミスで実施する。
ロボティクス	四足歩行ロボットにて、ナセル内の補助機器、SCADA対象外の機器及びIoTセンサー等の対象外の機器のデータ取得や、固定カメラの死角エリアの画像等を撮影する。 また、簡易な機器操作 (リセットボタン押下) を実施する。
IoT	ナセル内の補助機器など、SCADA対象外の機器に対し、データを取得する。振動等センサーにより、装置の遠隔監視をする。一部機器については、既存でアラーム機構は搭載しているが、後付けに必要な個所に設置する。

(参考) 風力発電における一般的なSCADA対応確認可能情報
風向、風量、発電量、ピッチ角、ナセル角度、主軸回転速度
オイル温度、ベアリング温度、発電機温度、ナセル内温度、外気温 等

AI技術に関する詳細情報

活用の目的

1地点に数十基設置 (ex.秋田県由利本荘市沖地点は65基) する風車の全てに多数配置される機器の効率的管理には、点検員が一つ一つ目視で読取りデータ (数値) 化するメーター類の表示値を、四足歩行ロボット等が撮影した画像のAI解析にて数値化することで、効率化と数値読取り誤り防止を図る

何をインプットとして、どのような学習／推論を行い、どのようなアウトプットを得ているか

インプット：四足歩行ロボット等にて撮影したメーター類 (デジタルメータ、アナログメータ)

学習：撮影画像において、角度・背景色・大きさを変えたセグメント表示数字を学習した機械学習モデルを作成

使用している技術の概要 (例：LLM、画像生成、自然言語処理など)

・デジタルメーター

デジタルセグメントで表示される数字の機械学習モデルを作成し、実メーターを学習モデルが判別し、また汎用的なデジタルメーター読取り器とする技術

・アナログメーター

1つのアナログメーターの機械学習モデルを作成し、別の値を指している状態の模擬画像と区別し、また同手法を活用して汎用的なアナログメーター読取り器とする技術

使用しているモデル・フレームワーク名 (例：ChatGPT、Stable Diffusion、BERTなど)

CNNベースの物体検出アルゴリズム (YOLOを予定)

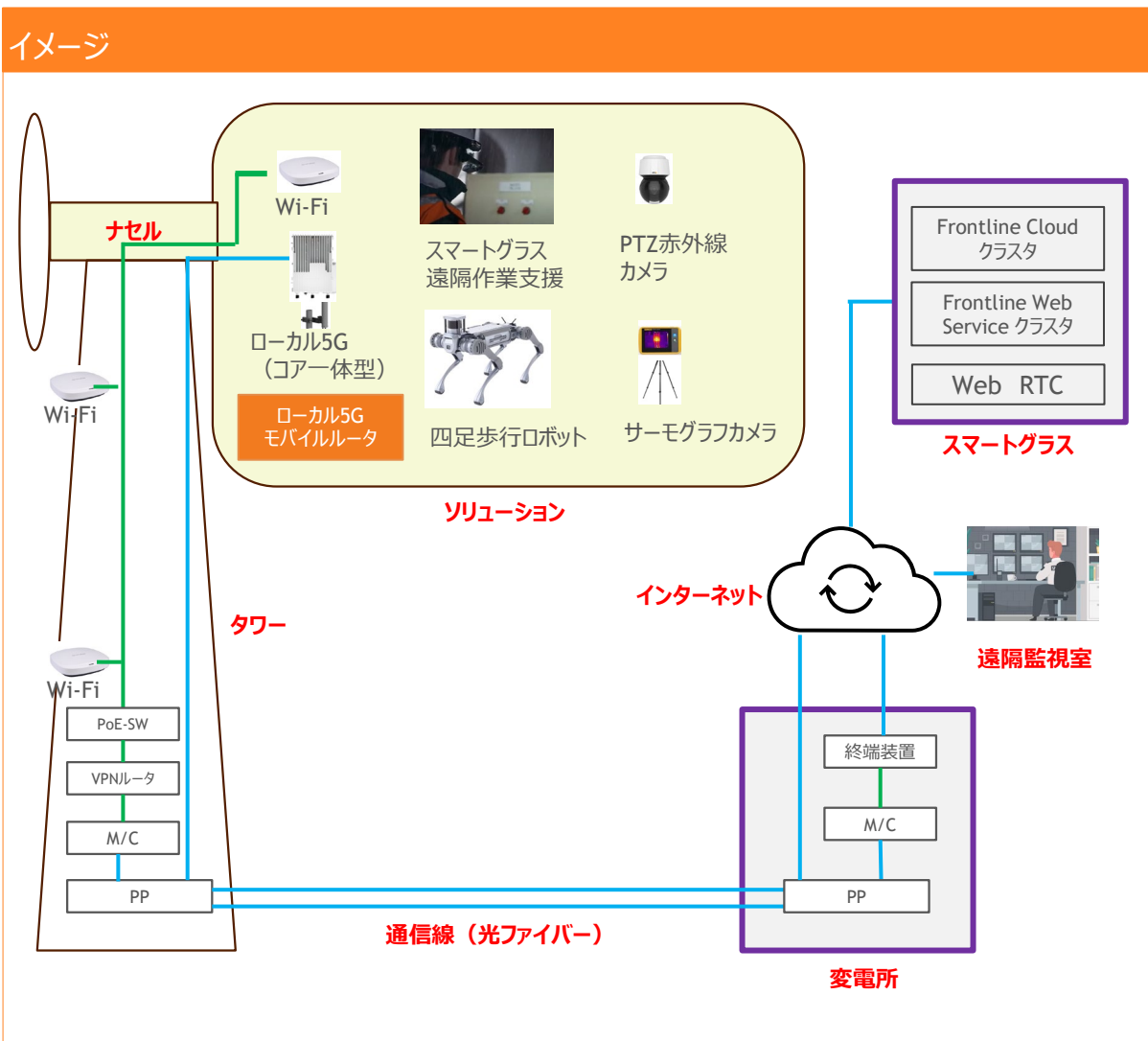
データの取り扱いや学習環境 (オンプレ／クラウド、ファインチューニングの有無など)

データは本件のみで使用し、学習環境はオンプレミス

II ソリューション

② ネットワーク・システム構成

a. ネットワーク・システム構成図



説明

今後、風力発電の主流は一般海域・EEZとなる中で、モバイルキャリア等による通信サービスは、エリア外となるのが殆どで、現地でのメンテナンス（異常発生監視確認と点検作業等）は陸上風車のようにはいかない。また、波高が1.5m以上となる場合は、備船 (CTV/Crew Transfer Vessel)は、出船及び風車への接岸が不可能となるため、直ちに現地に赴いてのメンテナンス対応ができない。本ソリューションは、制御監視室等と風車を接続する光ケーブルを利用し、ナセル内にWi-Fiやローカル5Gを設置することにより風車内通信環境を確立し、遠隔監視、遠隔操作、作業支援に資するソリューションを実現することにより、O&M事業の効率化を目指す。
(構成機器はP13参照)

Wi-Fi、ローカル5Gといった通信方式の違いにより、作業性など差異を比較確認し、遠隔洋上地におけるコミュニケーション手段としての対応について評価する。

- ・4足歩行ロボットの有用性（対応可能作業範囲）
- ・スマートグラスの有用性（点検業務のDX）
- ・暗視でのカメラと、サーモグラフィの赤外線監視

※O&M事業

Operation(運用管理)とMaintenance(保守点検)の略。発電設備や施設の安全な運用と長期的な安定稼働を確保するために異常・故障の早期発見による迅速な保守対応により、発電事業の長期的な収益安定化に大きく貢献する。

II ソリューション

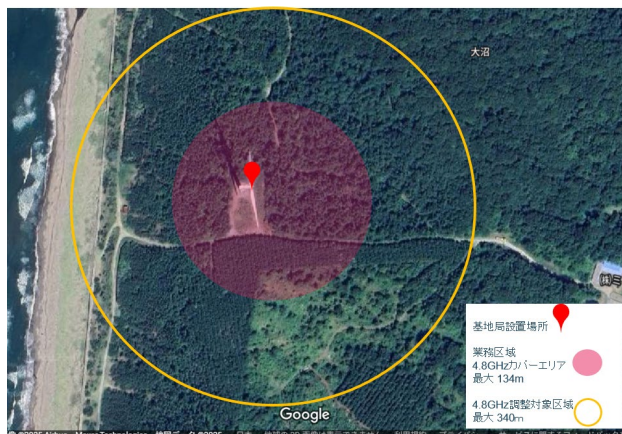
② ネットワーク・システム構成

b. 設置場所・基地局等

イメージ



全体図



1号機カバ-エリア図

説明

「カバ-エリア」と「調整対象区域」は、「ローカル5G免許申請支援マニュアル 3.02版」p100のカバ-エリア及び調整対象区域の算出方法をもとに記載。

下記カッコ内は受信電力標記。

カバ-エリア(-84.6dBm) : 半径134m

調整対象区域(-91.0dBm) : 半径340m

業務エリア ≡ カバ-エリア

構造物内置局だが、電波は推定図より遠くに届く想定

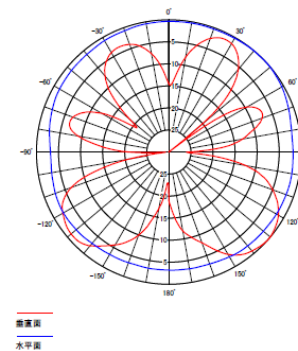
基地局名		基地局EIRP	33dBm
設置場所 (北緯, 東経)	1号機 40°19'02.3"N 140°01'35.5"E	基地局指向方向	無指向
地域区分	Rural	基地局機械フィルタ 電気フィルタ (固定)	45°
中心周波数	4.85GHz	移動局アンテナ高	1.5m
基地局 アンテナ高	75.0m	移動局空中線利得	0dBi
基地局 アンテナ型式	無指向性コリニア アンテナ 利得 3dBi	移動局給電線損失	0 dB

無指向性アンテナ

(VHアンテナですが、H偏波は、Ruralでは VH偏波ダイバシティ効果が見込めない為、V偏波のみ使用。)

型名 : VH360-3450FTD-DT45

周波数範囲[MHz]	3400-3600MHz	3600-4200MHz	4400-5000MHz
偏波面	垂直偏波, 水平偏波		
利得	約3dBi		
水平面内指向性	無指向性(偏差±3dB)		
垂直面内指向性 ビーム方向	固定チルト: 下向き約45°		
定在波比	2.0以下		
入出カインピーダンス	50Ω		
耐電力	1端子当たり15W		
入出力端子	N-J × 2		
耐風速	60m/s		
質量	約600g(アンテナ本体)		
寸法	Φ45mm × 225mm(コネクタ, 突起部含まず)		
取付金具	取付径: φ25mm ~ φ60mm		



II ソリューション

② ネットワーク・システム構成

c. 設備・機器等の概要

a 名称	b 区分	c 型番	d	e 数量	f 開発供給計画認定実績の有無 ¹	g eが○でない場合サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策の内容	h 機能	i 設置形態(固定・可搬)	j 製造企業名称	本店(又は主たる事務所の所在地)
基地局	ローカル5G	HYPERNOVA		1	無	これまでも総務省R3年、R4年度ローカル5G開発実証にて活用の実績がある。	Sub6通信	固定	NEC	日本
EMSサーバ	ローカル5G	RNUC13ANKI500000I		1	—	—	コア一体型ローカル5G基地局制御用サーバ	固定	ASUS	台湾
スイッチングハブ	周辺機器	GS108E-300JPS		1	—	—	NW周辺機器	固定	NETGEAR	米国
Wi-Fi アクセスポイント	Wi-Fi	AP-735		3	—	—	Wi-Fi通信	固定	Aruba	米国
Wi-Fi用 通信設備	ルータ	RTX830		1	—	—	NW周辺機器	固定	YAMAHA	日本
Wi-Fi用 通信設備	スイッチ	GA-ML12THPoE+		1	—	—	NW周辺機器	固定	パナソニック	日本
Wi-Fi用 通信設備	伝送装置	DN5810WS3E / DN5810WS5E		1	—	—	NW周辺機器	固定	大電	日本
5Gルーター	端末	K5G-C-100A		1	—	—	IoT機器通信	可搬	京セラ	日本
5Gルーター	端末	MD100-Q63		2	—	—	IoT機器通信	可搬	PEGATORON	台湾
5Gルーター	端末	Dongle Tributo		1	—	—	IoT機器通信	可搬	APAL	台湾
5Gルーター	端末	FG900CS		1	—	—	IoT機器通信	可搬	NECマグナスコミュニケーションズ	日本
スマートグラス	端末	M400		1	—	—	遠隔作業支援	可搬	VUZIX	米国
スマートグラス	端末	520スマートグラス		1	—	—	遠隔作業支援	可搬	RealWear Navigator	米国
2MP カメラ	カメラ	WV-S66300-Z4LN		2	—	—	IR、PTZでの監視	固定	i-PRO	日本

1. e 開発供給計画認定実績の有無については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であるか否かにより判断すること。

II ソリューション

② ネットワーク・システム構成

c. 設備・機器等の概要

a 名称	b 区分	c 型番	d 数量	e 開発供給計画認定実績の有無 ¹	f eが○でない場合サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策の内容	g 機能	h 設置形態 (固定・可搬)	i 製造企業名称	j 本店(又は主たる事務所の所在地)
四足歩行ロボット	ロボット	Go2	1	-	-	自走可能な歩行型四足ロボット	可搬	Unitree	中国
四足歩行ロボット	ロボット	B2	1	-	-	自走可能な歩行型四足ロボット	可搬	Unitree	中国
3Dフィールドナビユニット	ナビユニット	Patrobot	2	-	-	自走用ナビゲーションシステム	可搬	京セラ	日本
ロボットアーム	ロボット	PiPER	2	-	-	多関節型ロボットアーム	可搬	PEGATORON	中国
ロボットアーム	ロボット	Z1	1	-	-	多関節型ロボットアーム	可搬	Unitree	中国
ロボットコントローラ	コントローラ	R1	1	-	-	手動操作用コントローラ	可搬	Unitree	中国

1. e 開発供給計画認定実績の有無については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であるか否かにより判断すること。

II ソリューション

3 ソリューション等の採用理由

a. 他ソリューションに対する優位性・新規性

ソリューション

- ・ナセル内の四足歩行ロボットによるO&Mへの対応
- ・定点カメラによるナセル内の点検・監視

名称	他ソリューションに対する優位性の比較	他ソリューションに対する新規性の比較
<p>作業員が現地へ出向いてのメンテナンスあるいはセンサーのみによる遠隔監視</p>  <p>ナセル内部のイメージ例 出典： https://www.linkedin.com/posts/i%C3%B1igo-l%C3%B3pez-zubiri-874068291_nacelle-aw3000-activity-7108173303919353856-E2Ek</p>	<p>定点カメラ（可視カメラ、サーモカメラ）及びセンサーによる点検・監視は、ナセル内各機器の状態を、カメラにて俯瞰的に、センサー情報にて特定設備の状態を詳細に把握できるため、現地に出向き対応するメンテナンスに比べ、より効率的で迅速なメンテナンスを実現できる。</p> <p>加えて、洋上風力発電の着実な安定供給に向け風車メンテナンスの更なる業務効率化を目指すにあたり、発電設備等が隙間なく配置されるナセル内に対し、例えば想定外での発生が多い故障の状況詳細把握や原因箇所特定のためには、多数のカメラを設置し死角をなくすことや、主機のみならず全ての補機等にセンサーを取付け、ありとあらゆるデータを取得する必要があり高額となるが、狭隘な通路や階段の歩行が可能な四足歩行ロボット・アームの遠隔操作にて任意の場所に移動し、搭載する、可視/暗視/サーモカメラにて様々な画像データや、集音マイク等にて異音音声データ等の取得ができ、想定外で発生する故障の状況詳細把握や原因箇所特定を可能にする。</p> <p>更に、ロボットに搭載するアームの遠隔操作にて、現地に出向く作業員が出向き操作していたリセットボタン等の押下など、簡易なメンテナンス作業が実施できる優位性がある。</p> <p>加えてナセル内は狭隘かつ急なステップが多く配置されているが、ドローンでは入り込めない点検箇所や、タイヤやキャタピラで移動するロボットでは昇降できないステップがあり、これらに対応可能な四足歩行ロボットに優位性がある。</p>  <p>アナログメーター、リセットボタン等のイメージ例 出典： https://bohmyf.ogpnet.sa.com/index.php?main_page=popup_image&plD=27710&zenid=8985jvdtl1ibo0d5chl2bspnm0</p>	<p>今後、風力発電の主流は一般海域・EEZでの洋上となり、備船 (CTV/Crew Transfer Vessel) によるサイトへの移動及び現地作業は海象・気象に左右される。CTVは有義波高1.5m以上で出航不可なため、最悪のケースでは、冬季などの天候不順により連続1か月程度、出航できないか、出航できても洋上風車に接岸できずに作業員が風車に乗移れないためメンテナンスが実施できないので、落雷や故障等にて停止した風車が長期間運転が再開できないケースも発生し、再生可能エネルギーの甚大な損失が生じる。</p> <p>2028年以降の一般海域・EEZにおける商用運転開始時期には、以上のケースへの対策が必須であり、遠隔操作によるO&M技法の確立は急務であり、定点カメラ、センサー、四足歩行(遠隔操作によるカメラ撮影・アームを用いたボタン押下など)によるO&Mは、現時点で最も現実的で有力・有効な方法と言える。</p> <p>また、新たな技法の実装には、多くの技術検証、有効性の確認等の実証試験、試験運用が必須だが、本実証における検証は社会実装に向けた第一歩であり、運転開始まで時間のあるこのタイミングにて実施し、確実性や安定性を確認した上で、一般海域・EEZでの洋上風力に適用することが必要である。</p>

II ソリューション

3 ソリューション等の採用理由

a. 他ソリューションに対する優位性・新規性

ソリューション スマートグラスによる現地作業サポート

名称	他ソリューションに対する優位性の比較	他ソリューションに対する新規性の比較
通信キャリアによる電話・モバイル通信	<p>陸上風車が主流である現状においては、風車内部の現地作業で使用する決まった通信手段はなく、発電所サイトの通信可能状況に応じて、無線通信、キャリアの電話・モバイル通信を使用し対応している。</p> <p>また現在は、熟練工、専門工などベテラン作業員にて自律し現地作業を行っているため、現地から遠隔監視拠点等への連絡は、過去事例のない故障発生時など最小限となっている。</p> <p>今後、風力事業の拡大と全国的な労働人口の減少により発生するメンテナンス技術者不足を解消し、作業経験の浅い人材の登用を推進するためには、遠隔からの技術サポート手段及び支援体制の確立が必要となる。</p> <p>スマートグラスによる現地作業サポートは、熟練工などが現地に外向くことなく遠方で現場映像を見ながら、視覚的に注釈や指示をリアルタイムに行うなど、現場作業員とのインタラクティブでスムーズなコミュニケーションにて、迅速かつ正確に作業を進めることができるため、風車内メンテナンスにおいても、時間短縮、一人の作業員が対応できる業務範囲の拡大に貢献できる。</p> <p>【スマートグラス遠隔支援による導入効果】</p> <ul style="list-style-type: none">・熟練工、専門工の人材不足解消・効率的OJT、育成速度の加速 (教育コストの削減)・作業効率・品質・安全の向上とコスト削減 (メンテナンス時間の短縮、正確性の向上)・両手を使った作業を遠隔サポート状態で実施	<p>スマートグラスによる作業支援は、グラス内の画面でのドキュメント (作業手順書、図面等) や遠隔サポート者からのコメント等の参照にて、未経験事象への対応を可能にするするなど、活用領域が拡大している。</p> <p>機能としては、指によるピンチ操作、スワイプ操作等で対応するものや、音声認識で操作が実施するものなどもあり、現場の環境にあった形でのアプリケーション操作を選択することができる。</p> <p>例えば音声認識機能を活用すれば、熟練工などからの遠隔サポートを、両手で工具を持ち作業を継続しながら、指示、カメラ撮影、ドキュメントのページ送り等が可能となり、作業の安全性の向上と、効率化による作業時間短縮の同時達成を実現できる。</p> <p>更に、定期点検、不定期点検、現地作業など、点検や作業の実施内容を、システムによるワークフローの仕組みを構築することで、報告書等の自動作成による省人化・効率化への発展性に結び付けることができるなど、将来の更なる効率化に向けて拡張性が高い。</p> <p>※ 洋上ではキャリアのサービスがなく、陸上も人口カバー率が低い所ではキャリアの通信環境は良くない。重装備の安全対策下作業では、キャリアによる音声通話に頼る以外ない。ナセルやタワーに通信環境を整備することでスマートグラスによる両手を自由にし、映像のやり取りがリアルタイムで可能とすることで作業効率の向上と業務拡大に寄与することを確認する。</p>

II ソリューション

3 ソリューション等の採用理由

b. 無線通信技術の優位性

通信技術	ソリューション実現の要件を満たす通信技術の特徴	許認可の状況	他無線通信技術との比較				
ローカル5G	<p>風車ナセル内での無線通信環境に使用する。主に、映像伝送や低遅延を必要とする四足歩行ロボットの遠隔制御、スマートグラスによる作業支援に適用する。</p>	<p>ローカル5G免許取得を想定(東北総合通信局へは、本施策にてローカル5Gを使用することについては情報共有済。今後、具体的に調整の上申請予定)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1127 396 1334 448">名称</th> <th data-bbox="1348 396 2026 448">比較結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1127 452 1334 962">LTE</td> <td data-bbox="1348 452 2026 962"> <ul style="list-style-type: none"> 本ソリューションは、将来一般海域・EEZでの洋上風力発電での利用を想定しているため、モバイルキャリアによるLTEサービスの利用は、通信不感地帯となることが想定されるため、スポット通信の活用が必須となる。 利用用途として、四足歩行ロボット等に搭載した高解像度カメラで撮影した画像伝送、ロボット搭載アームの遠隔操作、スマートグラスによる作業支援にて、16～60Mbps相当のアップリンクの映像伝送が発生する。(画像は機器細部の確認のために高精細なことが必要) なお、アーム遠隔操作時には、例えば操作遅延に伴う押下対象ボタン周辺ボタンの誤押下防止や、歩行停止遅れに伴う既存設備への衝突防止等のために、遅延はEnd-to-Endで約0.5秒以内に抑える必要がある。 本使用用途を考慮した場合、ローカル5Gあるいは、Wi-Fi6e/7の適用が必須である。 </td> </tr> </tbody> </table>	名称	比較結果	LTE	<ul style="list-style-type: none"> 本ソリューションは、将来一般海域・EEZでの洋上風力発電での利用を想定しているため、モバイルキャリアによるLTEサービスの利用は、通信不感地帯となることが想定されるため、スポット通信の活用が必須となる。 利用用途として、四足歩行ロボット等に搭載した高解像度カメラで撮影した画像伝送、ロボット搭載アームの遠隔操作、スマートグラスによる作業支援にて、16～60Mbps相当のアップリンクの映像伝送が発生する。(画像は機器細部の確認のために高精細なことが必要) なお、アーム遠隔操作時には、例えば操作遅延に伴う押下対象ボタン周辺ボタンの誤押下防止や、歩行停止遅れに伴う既存設備への衝突防止等のために、遅延はEnd-to-Endで約0.5秒以内に抑える必要がある。 本使用用途を考慮した場合、ローカル5Gあるいは、Wi-Fi6e/7の適用が必須である。
名称	比較結果						
LTE	<ul style="list-style-type: none"> 本ソリューションは、将来一般海域・EEZでの洋上風力発電での利用を想定しているため、モバイルキャリアによるLTEサービスの利用は、通信不感地帯となることが想定されるため、スポット通信の活用が必須となる。 利用用途として、四足歩行ロボット等に搭載した高解像度カメラで撮影した画像伝送、ロボット搭載アームの遠隔操作、スマートグラスによる作業支援にて、16～60Mbps相当のアップリンクの映像伝送が発生する。(画像は機器細部の確認のために高精細なことが必要) なお、アーム遠隔操作時には、例えば操作遅延に伴う押下対象ボタン周辺ボタンの誤押下防止や、歩行停止遅れに伴う既存設備への衝突防止等のために、遅延はEnd-to-Endで約0.5秒以内に抑える必要がある。 本使用用途を考慮した場合、ローカル5Gあるいは、Wi-Fi6e/7の適用が必須である。 						
Wi-Fi6e/7	<p>風車ナセル内及びタワー内の通信環境に使用する。タワー内はデッキで区切られた3層構造となっているため、作業員が立入る可能性のあるデッキが電波可能エリアになるように効率的にアクセスポイントを配置する。</p> <p>現地作業員の通信環境、センサーによる設備データ収集に適用する。</p>	<p>許認可不要(場合により「登録局手続き」が必要なケースあり)</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="1127 966 1334 1333">ローカル5G Wi-Fi6e/7</td> <td data-bbox="1348 966 2026 1333"> <ul style="list-style-type: none"> ローカル5GとWi-Fi6e/7においては、導入費用がWi-Fi6e/7の方がローカル5Gより安価であり、導入横展開の障壁は低いと考えられるが、将来構想として風車外部でのメンテナンスとの併用を考慮した場合には、電波照射範囲広さや屋外利用が求められるため、ローカル5Gの適用が適当である。 風車内(屋内相当)においては、狭域での電波利用となり、電波照射範囲は両システムで差異ないことが想定されるが、発電機等による遮蔽も想定されるため、両方式での検証が必要となる。例えば、移動しながらの通信において、ローカル5Gは移動干渉が少なく向いていると言われるが、四足歩行ロボットでの検証が必要。 </td> </tr> </tbody> </table>	ローカル5G Wi-Fi6e/7	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5GとWi-Fi6e/7においては、導入費用がWi-Fi6e/7の方がローカル5Gより安価であり、導入横展開の障壁は低いと考えられるが、将来構想として風車外部でのメンテナンスとの併用を考慮した場合には、電波照射範囲広さや屋外利用が求められるため、ローカル5Gの適用が適当である。 風車内(屋内相当)においては、狭域での電波利用となり、電波照射範囲は両システムで差異ないことが想定されるが、発電機等による遮蔽も想定されるため、両方式での検証が必要となる。例えば、移動しながらの通信において、ローカル5Gは移動干渉が少なく向いていると言われるが、四足歩行ロボットでの検証が必要。 		
ローカル5G Wi-Fi6e/7	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5GとWi-Fi6e/7においては、導入費用がWi-Fi6e/7の方がローカル5Gより安価であり、導入横展開の障壁は低いと考えられるが、将来構想として風車外部でのメンテナンスとの併用を考慮した場合には、電波照射範囲広さや屋外利用が求められるため、ローカル5Gの適用が適当である。 風車内(屋内相当)においては、狭域での電波利用となり、電波照射範囲は両システムで差異ないことが想定されるが、発電機等による遮蔽も想定されるため、両方式での検証が必要となる。例えば、移動しながらの通信において、ローカル5Gは移動干渉が少なく向いていると言われるが、四足歩行ロボットでの検証が必要。 						

II ソリューション

④ 期待効果/資金計画_導入先

(税込)

		2026年度	2027年度	2028年度
収益		10万円/年	2億1,660万円/年	2億5,860万円/年
	費用			
	イニシャル	200万円	5億8,800万円	13億8,600万円
	ランニング/件	10万円/1件	850万円/2件	2,830万円/3件
合計		210万円	5億9,650万円	14億1,430万円
資金調達方法	コンソメンバー負担	200万円		
	発電事業者の自己資金またはレンダーから調達あるいはその両方		5億8,800万円	13億8,600万円
	発電事業者の自己資金	10万円	850万円	2,830万円

投資の妥当性
(現時点見立て)

導入先
(支払元)

洋上発電事業者
本件導入に対する各地点のIRRは不定期点検のみでも5.4%~41.0%と高く、電気事業の投資判断で一般的に用いるハードルレート5.0%を超えており、各地点とも事業者は複数企業で構成され合意形成に手間を要するが、説明力が高く前向きなアクションを得られている

妥当性を高めるための目標

目標

今回のIRR算出に用いた効果額は、不定期点検の早期実施に伴う回復発電量のみを対象にしており、現在未考慮の点検コスト削減分や、月次点検、定期点検に展開した場合の効果を上すれば収益率は更に高まるため、実証試験の評価結果を踏まえ適用範囲の拡大によるIRR上昇と、地域の作業員の早期育成への効果を具体的に示し投資意欲を更に高める

アクション

- ・四足歩行ロボット
正確で繊細な作業等が可能なアーム・ハンドの採用と、AI画像解析を活用した撮影画像の数値化技術の精度向上
制御アルゴリズムの開発による対応作業範囲等の拡大
- ・スマートグラスによる遠隔サポート
作業項目の拡大・充実、高難易度、低頻度故障への対応

4 期待効果の根拠_導入先

導入先 石狩新港洋上風力発電所 (112MW/14風車基) での例

(税込)

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	発電電力量回復分	1,470万円/月	発電電力量回復分 = a×b×c×d×e a. 発電再開短縮時間2,505h、b. 地点総出力112MW、c. 設備利用率35%、d. 風車停止率5%、e. 売電単価36円/kWh 次頁にて算出根拠を記載します。	14基、12か月	2億1,660万円/年
		不定期点検コスト削減分	330万円/月	従来法4,200万円/年-本提案240万円/年		1億7,700万円/年
	定性	定期点検への適用	-	実施内容が精緻な定期点検適用範囲は実証結果で設定	-	-
		地域の作業員の早期育成	-	スマートグラスによる遠隔支援等活用の有効性を実証結果を踏まえ設定	-	-
		労働環境改善	-	荒れる海の中の航行・風車乗移り、海上施設作業の改善	-	-
費用	イニシャル	14基			14基	58,800万円
		ローカル5G機器	1,000万円/基	端末、基地局 (HFR)、アンテナ、5G vCUDU (HFR)他		14,000万円
		四足歩行ロボット	1,600万円/基	ロボット、アーム、通信デバイス、カメラ、遠隔操作用デバイス他		22,400万円
		各種アプリケーション	400万円/基	四足歩行ロボット制御プログラム、AI画像解析ソフト他		5,600万円
		現地工事他	500万円/基	通信回線・電源敷設		7,000万円
		その他通信設備調整・試験	100万円/基 600万円/基	Wi-Fi7通信環境整備 四足歩行ロボットの現地調整、通信環境調整他		1,400万円 8,400万円
	ランニング	14基			14基	840万円
	ローカル5Gシステム保守	54万円/基	クニカルサポート/システムSW保守(12か月)		756万円	
	四足歩行ロボット保守	5万円/基	消耗品交換他(12か月)		70万円	
	SIM他	1万円/基	SIM運用管理費(12か月)		14万円	

II ソリューション

4 期待効果の根拠_導入先

・発電電力量回復分

a. 発電再開短縮時間：下表

項目	① CTV+点検員	② 四足歩行ロボット
落雷等に伴う不定期点検必要停止年間発生回数 (回) i	30	30
点検時間 (時間) ii	0.5	1.0
不定期点検に伴う年間点検時間 (時間) $i \times ii = iii$	15.0	30.0
不定期点検必要停止1回当りの点検遅延想定日数 (日)	7.0	0.0
不定期点検必要停止1回当りの点検遅延想定時間 (時間) iv	168.0	0.5
年間点検遅延時間 (h) $iii \times iv = v$	2,520	15
四足歩行ロボットによる改善時間 (h) $v① - v② = a$		2,505

b. 地点総出力：単機出力8MW×14基=112MW、c. 設備利用率35%：一般的数値、d. 風車停止率5%：学識経験者ひやリング結果
e. 売電単価36円/kWh：実績

・不定期点検コスト削減分

項目	項目	① CTV+点検員	② 四足歩行ロボット	備考
落雷等に伴う不定期点検1回当り	CVT (万円/隻)	80	0	
	点検費用 (万円)	60	8	
	点検員人数 (名)	3	1	
	点検員単価 (万円)	20	8	
計	計	140	8 万円/回 a	
WFでの年間当り	点検年間実施回数 (回)	30	30 b	
	年当り費用	4,200	240 万円/WF $a \times b = c$	
	月当り費用	350	20 万円/WF・月 $c \div 12 = d$	
四足歩行ロボットによる年間コスト削減総額			3,960 万円/WF ①c - ②c	
四足歩行ロボットによる月間コスト削減総額			330 万円/WF・月 ①d - ②d	

II ソリューション

④ 期待効果の根拠_導入先

・発電電力量回復分の根拠

a / i

引用 日本海・太平洋沿岸部にある風車への落雷特性、山本和男・天野龍二・伊達知大、第43回風力エネルギーシンポジウム、での表4より、秋田県周辺地域での落雷実績回数を用いて算出

また著者である山本先生にも確認

a / ii

風車メンテナンス会社へのヒアリング結果

a / 不定期点検必要停止1回当りの点検遅延想定日数 ①

NOWPHASデータを用いてCTV出航不可となる有義波高1.5mが連続する日数（下表）を算出

この内、落雷が多い11-2月間の平均値の50%を①と設定

秋田県沖 <'16,'17,'18,'19の4ヶ年データ>

波高 (m)	区分	月											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	最長	11	9	7	5	2	2	2	2	3	5	14	8
	平均	10	8	4	3	2	2	1	1	2	4	7	7
	最短	8	6	2	2	1	1	0	1	1	2	2	6
1.5	最長	29	19	9	6	6	5	2	4	4	11	14	19
	平均	16	15	8	5	4	3	1	3	3	6	11	15
	最短	11	12	4	3	2	2	1	2	1	3	8	8

表4 各地域の風車への1年当たりの最大落雷数

地域区分	最大落雷数
宗谷	5
道央・道南	6
下北	13
津軽	30
山本	33
秋田	38
由利	43
酒田	34
北陸北部	31
坂井	40
中国	54
北九州・豊関	5
太平洋側	8

平均約32回 → 30回を採用

・不定期点検コスト削減分の根拠（全て）

風車メンテナンス会社へのヒアリング結果を参考に算出

II ソリューション

④ 期待効果/資金計画_販売主体

(税込)

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	収益/件	10万円/1	5億9,650万円/2	14億1,430万円/3
	件数(導入先数)	1件	2件	3件
	合計	10万円	5億9,650万円	14億1,430万円
	費用	イニシャル	200万円	5億1,900万円
	ランニング/件	10万円/1件	790万円/2件	2,590万円/3件
	件数(導入先数)	1件	2件	3件
	合計	210万円	5億2,690万円	12億4,990万円
資金調達方法	Dshift 支出と入金の時期ズレが発生する場合は自己資金または親会社あるいはレンダー等からの短期融資にて調達	100万円	5億2,680万円	12億4,980万円
	秋田ケーブルテレビ 自己資金	100万円		
	ウェンティ 自己資金	10万円	10万円	10万円

投資の妥当性
(現時点見立て)

販売主体

発電事業者(導入先)は当通信・ソリューションの導入に対し高い収益性が見込めるため、これに見合った強気のプライシングと利益確保が可能であり、実施体制図での全ての企業において、2027年度より黒字化可能な見込み

妥当性を高めるための目標

目標

ローカル5G・四足歩行ロボット
 ・原価の大半を占めておりコスト削減が必要
 ・2027年度以降の大量導入に安定的に対応するために、供給体制整備・構築が必要
 ・現地導入時の設置・調整等のマニュアル化が必要
 ・ケーブル配線・配管等の設計の手戻り等をなくすため、発電事業者・風車メーカー等と風車設計段階から調整・協議を開始することが必要

アクション

ローカル5G・四足歩行ロボット
 ・メーカーと早期発注や大量購入によるボリュームディスカウントを折衝
 ・メーカーと2027年度以降の導入計画を共有し供給体制整備を図ってもらう
 ・最初の洋上風力地点への導入時に汎用化する導入マニュアルを整備する
 ・導入に対し発電事業者の理解が得られればすぐに、調整・協議を開始する

II ソリューション

4 期待効果の根拠_販売主体

販売主体 石狩新港洋上風力発電所 (112MW/14風車基) での例

(税込)

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	14基 イニシャル ランニング	4,200万円/基 70万円/月	14基分 ローカル5G機器1億4,000万円、四足歩行ロボット2億2,400万円他 ローカル5Gシステム保守765万円/年、四足歩行ロボット保守70万円/年他	14基 12か月	5億9,640万円 5億8,800万円 840万円/年
	定性	発電事業者へ他の ソリューションを含め ローカル5Gを提案	—	ローカル5Gを活用する、R4に取組んだドローンによるブレードメンテナンス やNEDOグリーンイノベーション基金フェーズ2開発技術も取込んだ提案 活動を実施し、ローカル5G等の社会実装・横展開を推進	—	—
		酸欠危険個所への 当通信・ソリューション の展開を提案	—	風車基礎部の一部に酸欠危険個所があり、当該個所での点検時は 酸欠防止対策を実施しているが、四足歩行ロボット・カメラの活用で作業 員対応を不要とし、安全性確保、効率化が可能のため、当効果も取 り込んだ提案にてローカル5G等の社会実装・横展開を推進	—	—
費用	イニシャル	14基 ローカル5G機器 四足歩行ロボット 各種アプリケーション 現地工事他 その他通信設備 調整・試験	900万円/基 1,400万円/基 400万円/基 400万円/基 100万円/基 500万円/基	端末、基地局、アンテナ、5G vCUDU、L3スイッチ他 ロボット、アーム、通信デバイス、カメラ、遠隔操作デバイス他 四足歩行ロボット制御プログラム、AI画像解析ソフト他 通信回線・電源敷設 Wi-Fi7通信環境整備 四足歩行ロボットの現地調整、通信環境調整他	14基	5億1,900万円 1億2,600万円 1億9,600万円 5,600万円 5,600万円 1,400万円 7,100万円
	ランニング	14基 ローカル5Gシステム保守 四足歩行ロボット保守 SIM他	50万円/基 5万円/基 1万円/基	テクニカルサポート/システムSW保守 (12か月分) 消耗品交換他 (12か月分) SIM運用管理費 (12か月分)	14基	784万円 700万円 70万円 14万円

1

2

3

II ソリューション

4 費用対効果

b. 導入・運用コスト引き下げの工夫

	項目	引下げの工夫内容	コスト削減効果 (見込み額)	実行タイミング	実行主体/担当者	
費用	イニシャル	ローカル5G	<ul style="list-style-type: none"> 導入規模に合わせ、一体型(コア・CU・DU・RU等)あるいは分離型システムを選択し、導入コストの削減を実施する 風車O&Mソリューションの屋外(ブレード点検等)・屋内(ナセル内等)のシステムの統一化によるコスト削減を実施 	500万円/台・基	28年1月以降	秋田ケーブルテレビ、テクニカルクリエイティブ本部 石井
		四足歩行ロボット	<ul style="list-style-type: none"> 開発競争の激しい四足歩行ロボットにおいて、同レベルの性能を有するロボットを有している複数社から見積もりを取得することでコスト削減 発電所サイト当りの購入数量が多いことから、交渉によるボリュームディスカウントにてコスト削減 	<ul style="list-style-type: none"> 入札 200万円/台・基 ボリュームディスカウント 100万円/台・基 	26年12月 ~ 27年5月	Dshift、営業グループマネージャー 松本
		四足歩行ロボット制御プログラム、AI画像解析ソフト	<ul style="list-style-type: none"> 同一メーカー・出力の風車への展開時は、それまでに開発したプログラム・ソフトの修正・調整程度で対応できるためコスト削減 	<ul style="list-style-type: none"> プログラム・ソフトの汎用化 500万円/台・基 	28年1月以降	Dshift、技術グループチーフマネージャー 高橋
ランニング	四足歩行ロボット	<ul style="list-style-type: none"> 発電所サイト当りの導入数量が多いことから、予備品確保や定期点検に係る共通費用を多くの数量で案分できるため、1台当りの費用をコスト削減 	2万円/台・基	27年12月以降	Dshift、技術グループチーフマネージャー 高橋	
		<ul style="list-style-type: none"> 発電所サイト当りの導入数量が多いことから、プログラムアップデートに係る事前テストなどの共通費用を多くの数量で案分できるため、1台当りの費用をコスト削減 	2万円/台・基	27年12月以降	Dshift、技術グループチーフマネージャー 高橋	

1 計画概要

実証実施計画の概要

対象とする課題

資材高騰、労働力不足が加速する中、固定された売電単価にて収益を得る風力発電事業では、メンテナンスコスト低減への取り組みが課題。
新たな産業として風力発電を推進する地域では、地域企業参入、地元雇用推進が課題。

現地作業のDX化により風車停止時間の最短化・発生電力量回復による増収を図り、資材高騰など外部変動要因に影響されない電力安定供給を実現。

実証の概要

今まで、通信環境がなかった風力発電風車内に通信環境を構築し、現地作業の効率化や遠隔監視制御によるメンテナンスコストの削減に資するソリューションを実装する(将来主流となる一般海域・EEZでの洋上風力発電では、通信不感地帯という課題が存在)

- 四足歩行ロボットの遠隔操作にて風車ナセル内の臨時点検、任意の場所の確認・簡単な操作によるメンテナンスが実施できることを確認
- スマートグラスを活用した熟練工、専門工による現地作業支援により、人材不足の解消、作業効率向上によるコスト削減効果を確認

検証ポイント

効果面

・通信利用及びソリューション（四足歩行ロボット、カメラ、スマートグラス、センサー）による発電停止時間（ダウンタイム）短縮に資する点検・メンテナンス省力化効果の可視化（目標：ナセル内の必要情報の遠隔取得率95%以上）

技術面

・狭隘かつ強電界な風車内部環境における通信状態の検証
・ナセル内運転制御用機器へ影響がないことを確認。
・四足歩行ロボットを遠隔操作し、任意の場所への移動及び簡単な操作が可能であるかを検証
・撮影したメーター等の計器類に対し、AI画像解析によるデータ化が可能かを検証

運営面

・遠隔支援ツールであるスマートグラスの操作感、遠隔地からの指導側、現地で指導される側の体感を検証
・ロボットの遠隔制御の操作感、メーター等の遠隔確認の確実性や確認可能範囲を検証
・AIによるデータ収集の確実性を検証

展開先

・秋田県内外風力発電事業者5社以上に対して、実証成果の説明、ソリューションの評価を依頼
・発電事業者の観点から、売電量の最大化に貢献し、かつメンテナンス費用の削減が期待できるソリューションであるかどうかを検証

Ⅲ実証

② 検証項目・方法

a. 効果面

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
<p>通信利用による現地作業効率</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスによる遠隔作業支援 	<p>I 監視室等の遠隔地にいる熟練工から現地作業員への遠隔サポートに関する満足度(遠隔支援側、現地作業側)</p>	<p>映像や音声が確実に伝送され、現地と遠隔監視地の間で意思疎通が図られ、現地作業員が滞りなく業務を遂行できるかアンケートを実施、利用満足度70%以上</p>	<p>スマートグラスを介した現地と遠隔支援者の情報伝達を既存実務者に体験してもらい、システム使用感・装着感の確認及び、作業指導による現地作業員の作業効率の向上、単独作業の範囲の拡大を検証</p>	<p>ナセル内の騒音の中、業務に支障なくコミュニケーションが可能。操作性が容易で現地作業員が作業に支障なく操作可能</p>	<p>現地からの状況連絡、支援者からの情報伝達等途切れやノイズ、遅延がなく、業務上影響のない範囲である必要がある。作業の妨げにならない装着感であり、システム使用時も問題なく作業継続ができる。利用満足度が70%以上を確認により実装を判断可能 (リッカート評価のCSATスコア)</p>
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視 	<p>I SCADAデータだけでは、現地把握は不十分な現状に対して、定点カメラ、サーモカメラ、センサーの導入による遠隔監視範囲の拡大</p>	<p>ナセル内へ設置するカメラ、サーモグラフカメラやセンサーによって風車の稼働状態、ナセル内の環境を俯瞰的に確認でき、ロボットで細部を補完することでナセル内機器・空間を100%カバー</p>	<p>SCADAデータと導入ソリューションのデータを複合的に取得・分析し、従前のメンテナンス手法との比較によるソリューションの有効性を検証</p>	<p>遠隔監視可能なデータ種別の向上や正確性確保。風車を制御する既存のコントローラーやサーバー類の改修なくソリューションの導入が可能</p>	<p>通信利用により監視箇所を増やし、複合分析できることは、より詳細に現地状況を把握することにつながる。既存制御系システムに手を加えることなくソリューションを導入可能であることは、今後の導入率向上のための重要要因となる。</p>
<p>・AIによる計器・メーターのデータ化</p>	<p>II AIを活用することにより、現状作業員が目視で読取りしているデータ取得作業の削減</p>	<p>精度95%以上にて作業時間を50%短縮</p>	<p>AIによる計器・メーターのデータ化で、従来作業員が1メーター毎に数値を読取り、記録用紙に記載し、PCにデータ入力していた業務を、目標とする時間の短縮が可能か検証</p>	<p>高い精度を確保することで作業時間を50%短縮</p>	<p>必要となる、計器・メーター、設備・行為等に対し、AIにて現地データ取得作業ゼロあるいはロボットカバー率100%・押下対象ボタンの誤操作ゼロが実現できれば、海象が荒れる冬季落雷時期などは有義波高1.5mを連日超過しCTVは出航不可なため、作業員が現地に出向き、データ取得・点検・メンテナンスが実施できないので、運転停止が連続1か月程度発生することから生じる再生可能エネルギーの甚大な損失の抑止が可能となり効果は大きく実装化を判断可能</p>
<p>・四足歩行ロボットによる現地での作業員対応の代替</p>	<p>III ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に出向き行っている対応時間の短縮</p>	<p>必要となる設備・行為等に対し ロボットカバー率100% 押下対象ボタンの誤操作ゼロ</p>	<p>狭隘なナセル内の点検用通路と階段の安全な歩行・移動が可能か検証 任意の位置で停止した上でアーム等を用いたカメラ撮影が可能か検証 落雷時に実施する不定期点検項目に対する確認を必要品質を満たした上で可能か検証 故障機器の早期復帰には、機器毎に異なるレイアウトとなるリセットボタン等の正確な押下 (操作) が可能か検証</p>	<p>必要となる設備・行為等に対し ロボットカバー率100% 押下対象ボタンの誤操作ゼロ</p>	<p>必要となる設備・行為等に対し、AIにて現地データ取得作業ゼロあるいはロボットカバー率100%・押下対象ボタンの誤操作ゼロが実現できれば、海象が荒れる冬季落雷時期などは有義波高1.5mを連日超過しCTVは出航不可なため、作業員が現地に出向き、データ取得・点検・メンテナンスが実施できないので、運転停止が連続1か月程度発生することから生じる再生可能エネルギーの甚大な損失の抑止が可能となり効果は大きく実装化を判断可能</p>

Ⅲ実証

② 検証項目・方法

b. 技術面 (1 / 2)

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
<p>通信利用による 現地作業効率</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、狭隘かつ強電界な風車内部環境における通信状態の検証 	<p>I ナセル内等狭隘で様々な機器が設置されている空間で通信デバイスがきちんと動作し、外部・内部とのやり取り、データの取得が可能であることを確認</p>	<p>ローカル5GでのRSRPやWi-FiでのRSSIが確保されていること。端末アプリケーションが問題なく動作し、情報取得とコミュニケーションに必要な上りスループット35Mbps以上を確保</p>	<p>スマートグラス、カメラ、サーモカメラ、後付けセンサー等のソリューションについて、データ取得・制御動作（ロボット、カメラの操作等）が問題なく動作することを遠隔監視室から確認 通信品質や速度について、エリアテスターや端末or端末にテザリング接続したPCなど、Wi-Fiアナライザ、iperf試験などで測定</p>	<p>カメラ台数等機器数に対応する実効上りスループットが35Mbps以上を確保 途切れや遅延といった影響が作業に影響しない</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル5GについてRSRP-120dBm以上、Wi-FiはRSSI-75dBm以上を確保 ・タワー内に設置する通信アクセスポイントで、安定した通信が確保されることで速やかな情報伝達と共有が可能となり実装化を判断可能
<ul style="list-style-type: none"> ・ナセル内運転制御用機器へ影響 	<p>II ローカル5GやWi-Fiによる無線通信が、発電の監視・制御に影響がないことで、点検保守業務効率化に無線通信が寄与できることを確認</p>	<p>本実証で使用する制御用機器最大7台に対してナセル内事業用機器に対する干渉0件</p>	<p>風車運転稼働中におけるカメラの遠隔操作と監視動作や、サーモグラフやセンサーデータの取得が正常に行えることを確認。 風車停止時に実施される点検等の環境下でコミュニケーションツールが正常に動作することを確認</p>	<p>複数のソリューションが同時利用下においても無線通信環境が安全確保上問題なく利用できること</p>	<p>カメラの赤外線とサーモグラフカメラの赤外線、ローカル5GとWi-Fiの併用、スマートグラスやロボットといった移動端末の利用といった様々な複合条件下での無線通信利用が可能であれば実装化を判断可能。</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質 	<p>III PTZカメラの遠隔操作より昼夜問わずナセル内の機器等の外観、室内の状況が把握できることを確認</p>	<p>IR、PTZ機能が遠隔操作にて的確に動作し、カメラの解像度に対応したデータ通信が行われ目視映像確認が可能であることを確認 (データレート1～5Mbps／1台あたり)</p>	<p>カメラの画角やPTZ動作範囲が機器仕様の通り要件を満たすことで、ナセル内の状況が可視化され、映像目視ができることを確認</p>	<p>IR、PTZ機能が遠隔操作にて的確に動作し、カメラの解像度に応じたデータ通信が行われ目視映像確認ができること</p>	<p>ナセル内の状況が可視化され、映像目視ができることで、保守初動体制が取りやすくなり、現地へ移動してからの状況確認までの時間ロスを低減可能。</p>

Ⅲ実証

② 検証項目・方法

b. 技術面 (2 / 2)

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サーモカメラ／定点カメラ／センサーによる異常検知 	I センサーを取り付けた場所から通信により確実にデータが取得されること	センサーによる通信データ取得率90%以上	異常値を確認した場合、稼働状況とSCADAデータ等と照らし合わせ、読取りデータが正しいかを確認。	センサーによる通信データ取得率90%以上	絶対値の判定だけでなく、継続測定による傾向管理を継続するためにデータ取得が90%以上あることで、実装化を判断可能
<p>・撮影したメーター等の計器類に対し、AI画像解析によるデータ化が可能</p>	I AIにより作業員が目視で読取りデータ化している作業時間の削減	AIによるデータ化精度95%以上	AIにてデータ化した数値と実際のデータと比較し読取り精度を検証	AIによるデータ化精度95%以上	データ化した数値をトレンド分析することでデータ化誤り判定を容易とし短時間で修正対応できるため、精度95%以上あれば効果は大きく実装化を判断可能
	II ロボットにて落雷等での発電停止時に作業員が現地風車に出向き行っている点検時間の短縮	必要となる不定期点検項目に対しロボットカバー率100%	狭隘なナセル内の点検用通路と階段の安全な歩行・移動が可能か検証 任意の位置で停止した上でアーム等を用いたカメラ撮影が可能か検証 落雷時に実施する不定期点検項目に対する確認を必要品質を満たした上で対応可能か検証	必要となる不定期点検項目に対しロボットカバー率100%	必要な不定期点検項目に対し、ロボットカバー率100%が実現できれば、作業員が現地に出向いた点検が不要となり実装化を判断可能
<p>・四足歩行ロボットを遠隔操作し、任意の場所への移動及び操作を正確に可能</p>	I ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に出向き行っている操作時間の短縮	押下が必要な2種類の押しボタンの操作及び誤操作ゼロ	機器毎に異なるレイアウトとなるリセットボタン等の正確な押下 (操作) が可能か検証 実証対象風車のボタンを優先とするが、押下が必要なボタンが実証対象風車に備わっていない場合は、模擬ボタン等を準備し持ち込み、正確な押下 (操作) が可能か検証	押下が必要な2種類の押しボタンの操作及び誤操作ゼロ	押下が必要な2種類のボタンの操作及び誤操作ゼロが実現できれば、作業員が現地に出向いた操作が不要となり実装化を判断可能

Ⅲ実証

② 検証項目・方法

c. 運営面

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
<p>通信利用による 現地作業効率</p> <p>・遠隔支援ツールであるスマートグラスによる、遠隔地にいる熟練工からの現場作業員に対するサポートに関する操作感・作業に対する有効性を検証</p>	<p>I 遠隔地における現地把握の容易であること。システム操作が容易であり現地作業に支障がないこと</p>	<p>遠隔支援ツールとしてスマートグラスを使用し、現地での一人称作業が滞りなく実現できるかアンケートを実施、利用満足度70%以上</p>	<p>スマートグラスによる遠隔作業指示デモンストレーションを体験してもらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・映出される映像や音声による遠隔地の状況把握できるかを確認 ・現地作業者が煩わしいシステム操作なく意思疎通の上、作業を実施できるかを確認 ・周囲騒音などの影響を受けず、情報伝達できるかを確認 	<p>スマートグラスに映し出される映像や音声により、現地状況を容易に把握可能。スマートグラスに関する煩わしい操作不要。スマートグラスの装着が現地作業の邪魔にならない</p>	<p>遠隔作業指示デモンストレーションの体験者から、操作性、情報伝達性、作業への影響等を確認し、かつ、一人称作業の効率化（一人作業の範囲の拡大）を確認することができる。一連のやり取りを見てもらい利用満足度が70%以上を確認により実装を判断可能（リッカート評価のCSATスコア）。また、導入・ランニングコスト面も加味し総合的に評価する。</p>
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <p>・四足歩行ロボットの歩行やアームの遠隔操作を検証</p>	<p>I ロボット本体の遠隔操作が的確に実施できること</p>	<p>現地作業員による遠隔操作の実装展開可能 精度95%以上にて作業時間を50%短縮</p>	<p>遠隔操作によるナセル内の点検用通路、階段の歩行・移動・停止を複数の作業員が実施し検証(アンケート)</p>	<p>操作時のストレスは低く許容できるレスポンス、違和感</p>	<p>遠隔操作に対するレスポンスが良いこと、違和感がないことを80%以上の確認により実装を判断可能(5段階のリッカート方法での評価によるCSATスコア)</p>
	<p>II アームの遠隔操作的に実施できること</p>	<p>現地作業員による遠隔操作の実装展開可能 精度95%以上にて作業時間を50%短縮</p>	<p>アームを任意の位置での停止したカメラ撮影やボタン押下を複数の作業員が実施し検証(アンケート)</p>	<p>操作時のストレスは低く許容できるレスポンス、違和感</p>	<p>遠隔操作にに対するレスポンスが良いこと、違和感がないことを80%以上の確認により実装を判断可能(5段階のリッカート方法での評価によるCSATスコア)</p>
<p>・AIによるデータ化の利便性・実用性を検証</p>	<p>I AIによるデータ化の効果と信頼性が確認できる</p>	<p>AIでの誤検知によるデータ修正5%以下</p>	<p>データのメーター読取りからPC入力までの一連の作業を、作業員による従来法とAIによる方法の各々の時間を計測・比較し検証</p>	<p>データ化作業時間を作業員が実施するより50%短縮</p>	<p>AIによる一連のデータ化作業時間が作業員による時間を50%以上短縮できれば実装を判断可能</p>

Ⅲ実証

② 検証項目・方法

d. 展開先

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価	Ⅰ 発電事業者の本件導入効果の理解	実証成果等の説明と評価聞き取り5社以上	本件の目的・意義、狙い、実施内容、実証成果(定性成果と定量成果)等を説明する資料を作成・説明し、発電事業者の立場での評価を受ける(プレゼンテーションとアンケート)	選定済み地点の幹事会社及び今後の公募地点に応募予定の幹事会社に実証成果等の説明と評価聞き取り5社以上実施	本件の目的・意義、狙い、実施内容、実証成果(定性成果と定量成果)等の理解度が70%以上を確認により実装を判断可能(5段階のリカート方法での評価によるCSATスコア)
	Ⅱ 経済産業省、JWPA(一般社団法人日本風力発電協会)及び海外の風力発電事業者の本件導入効果の理解	実証成果等の説明と評価聞き取りを、経済産業省、JWPA及び海外の風力発電事業者に対し各1機関以上			
発電事業者の観点から、売電量の最大化に貢献あるいはメンテナンス費用の削減等から、本ソリューションの導入意	Ⅰ 発電事業者にて本ソリューション導入意向を評価	導入意向発電事業者5社以上	本ソリューション導入による定量的効果等を説明する資料を作成・説明し、発電事業者の立場から本ソリューションの導入意向に対し評価を受ける(プレゼンテーションとアンケート)	発電事業者にて本ソリューション導入意向を評価	本ソリューションの導入に向けた具体的なコミュニケーションが継続できるとの意向確認により実装を判断可能

Ⅲ実証

③スケジュール



④ リスクと対応策

リスク		対応策
項目	概要	
事前準備	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G機器及びその他構成機器の調達 ローカル5G無線免許取得 	<ul style="list-style-type: none"> 本実証では、ローカル5Gの特殊利用を想定していないため、調達リスクが生じた場合、他メーカー等の機器でも代替可能（但しナセル内で使用するため、機器のサイズや機器構成の制限はある）。 無線免許取得に対しては、速やかに東北総合通信局と実証実験時期に間に合うように調整する。
実証	<ul style="list-style-type: none"> 気象変化による実証の遅延 実証風車設備のトラブル 	<ul style="list-style-type: none"> 実証計画で予備日は多めに確保し、遅延回復が可能な計画を立てる。 比較的気象影響を受けない時期（夏場～11月までの時期）に実証を完結できるスケジュールとする。 実証実験を行う峰浜風力発電所は、2基の風車で構成されており、どちらでも実証対応できるように、事前の現場確認を行う。 実証ウインドファームへの立ち入り制限や装備の再点検等の対策をすることにより安全性を確保する（秋田市の事故の影響は、5/12現在なし）
実装計画の具体化	<ul style="list-style-type: none"> 実装の遅延または中止 	<ul style="list-style-type: none"> 本技術は発電量増加及びO&Mコスト削減が可能であり説明力は高いため、長い目で継続的な提案及び交渉を続けていく。
他地域への展開に向けた準備	<ul style="list-style-type: none"> 他地域の洋上風力発電の導入時期とのミスマッチによる横展開計画の遅延 	<ul style="list-style-type: none"> 本実証等の評価結果を元に、他地域の洋上風力発電所事業者に対して横展開に取り組む予定であるが、他地域の導入計画のタイミングを見誤った場合、ソリューション導入への興味喪失が懸念される。 現状明らかになっている全国の導入計画に沿って、提案時期を見極め、他地域の展開を実施していく。 洋上風力発電所事業者ステークホルダーを巻き込んだ提案に注力する。
成果のとりまとめ	<ul style="list-style-type: none"> 実証遅延、検証不足・漏れ等の成果報告書への影響 	<ul style="list-style-type: none"> 気象等の影響による実証遅延や、計画不十分による検証不足が発生した場合、成果報告書の質へ影響が懸念される。 実証の対応策に記載の通り、実証計画で予備日は多めに確保して遅延回復が可能な実施計画を立てる。 コンソーシアム内での討議を定期的に行い、実施計画に対して漏れのないスケジュールリング及びToDo計画を取りまとめる。

5 PDCAの実施方法

課題把握を実施する体制

通常時

コンソーシアム定例会議

- 週次進捗報告
 - 開催時期: 毎週1回 (1~2時間程度) (時期により隔週で実施)
 - 方法: Web会議
 - 体制: 秋田ケーブルテレビ、Dshift、ウエンティ・ジャパン、明電舎、NECネットエスアイ、TEAM CNA E&S
 - アジェンダ
 - 実証準備期間: 設計・構築進捗確認
 - 実証実施期間: 実証段取整理・実施状況及び結果確認
 - 取りまとめ期間: 成果報告書方針・執筆状況確認
実装・横展開に向けた方策・課題の検討
 - 全期間共通: WBS確認
リスク管理(課題管理表レビューと対応検討)

● 月次進捗報告

- 開催時期: 毎月1回 (1~2時間程度)
- 方法: 対面orWeb会議
- 体制: 秋田ケーブルテレビ、Dshift、ウエンティ・ジャパン、JERA、明電舎、NECネットエスアイ、秋田大学、秋田県、TCE & S
- アジェンダ
 - 月次進捗共有、今後のタスク共有
 - プロジェクト方針確認・修正・変更
 - リスク管理 (課題管理表のレビューと進捗確認)
 - テーマを設定したコンソ内討議

緊急時

緊急対策会議

- 実施条件
 - 事故発生時: 交通事故のほか、震度5強クラスの地震や警報発令
 - 課題発生時: 全体進捗に影響を及ぼす問題が発生した場合
- 頻度
 - 事故発生時: 別途制定する緊急連絡網に従い至急
 - 課題発生時: 問題発生当日中
- 方法: 別途制定する緊急連絡網に従い電話>メール>webオンラインの順
- 体制: 秋田ケーブルテレビ、Dshift、ウエンティ・ジャパン、JERA、明電舎、NECネットエスアイ、秋田大学、秋田県、TCE & Sから、事前に指名した者

対策を立案・実行する体制

コンソーシアム定例会議

対策方針の議論・決定

- 実施条件:
 - ・リスクが顕在化した場合 (リスク管理表を基本とする)
 - ・プロジェクト進捗が予定よりも遅れた場合
 - ・スコープ変更(予算変更含む)が必要となった場合
- 頻度: 緊急性が高い場合、随時もしくは発生から1週間以内
- 方法: 週次進捗会議もしくは月次進捗会議内
(場合によっては臨時コンソーシアム会議を設定)
- メンバー: 代表機関である秋田ケーブルテレビを必須とし、Dshift、ウエンティ・ジャパン、JERA、明電舎、NECネットエスアイ、秋田大学、秋田県、TCE & Sの中から、討議内容に応じて参加メンバー構成する

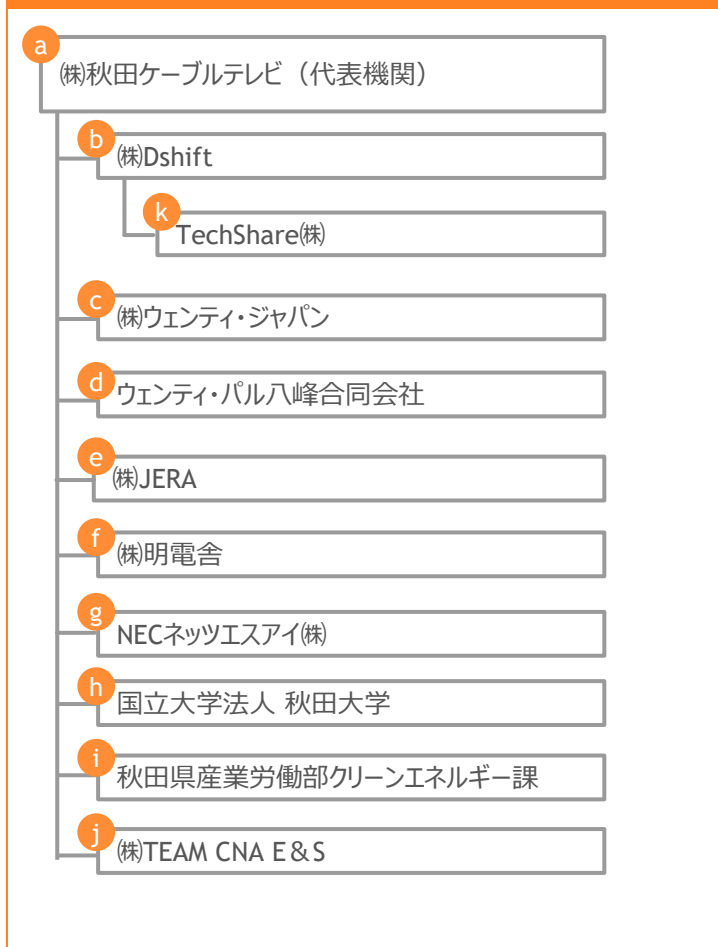
緊急対策会議

対策方針の議論・決定

- 実施条件:
 - ・サプライチェーンリスクもしくはサイバーセキュリティ等が発生した場合
 - ・人命にかかる事故等が発生した場合
- 頻度: 緊急性が高い場合、即時
- 方法: 別途制定する緊急連絡網に従い電話>メール>webオンラインの順
(必要に応じ臨時コンソーシアム会議を設定)
- メンバー: 代表機関である秋田ケーブルテレビを必須とし、現地即応が可能なウエンティジャパン>TCE & S>明電舎>Dshift>の順に参加メンバーを招集する

6 実施体制

実施体制図

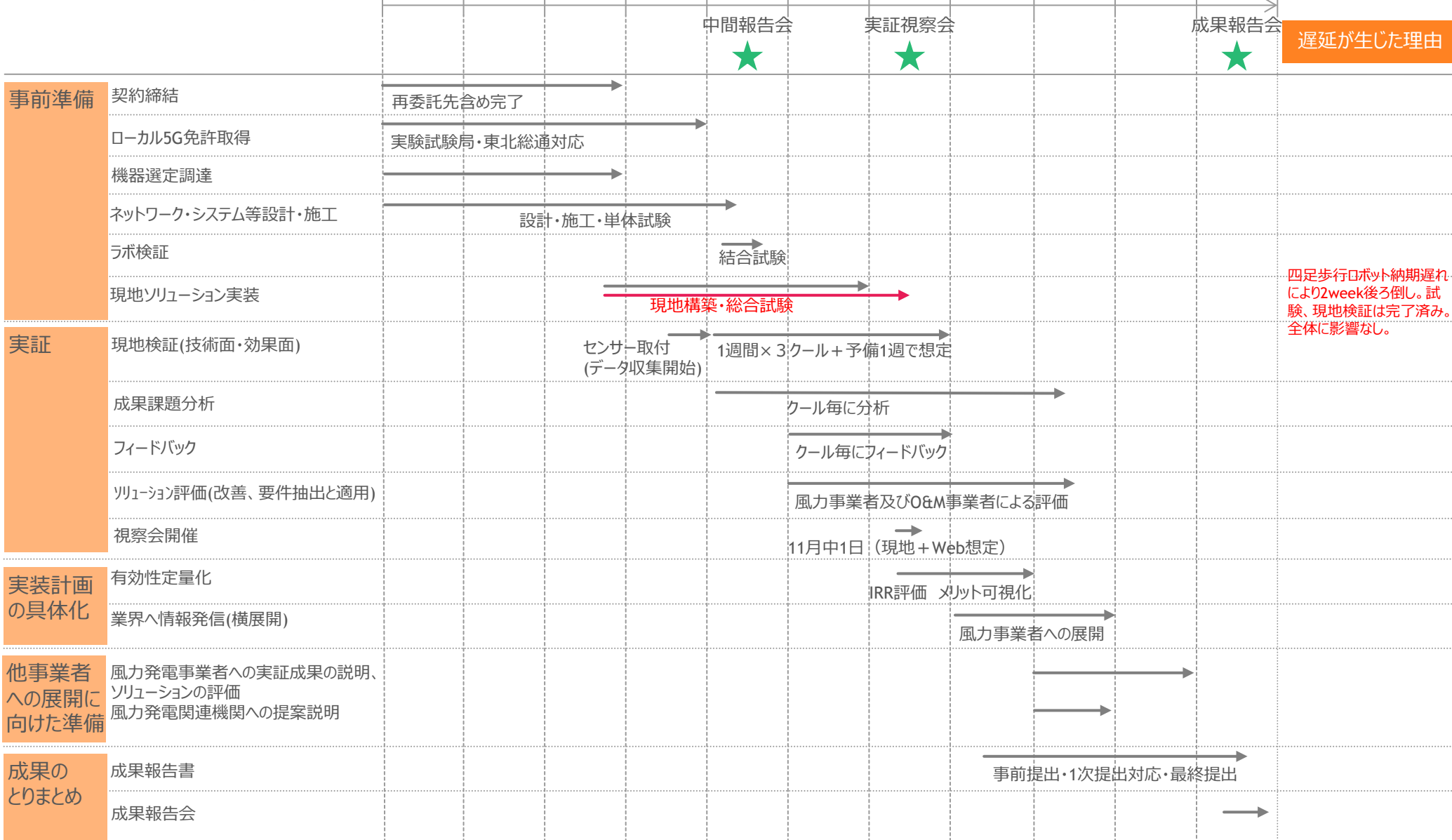


団体名	役割	リソース	担当部局/担当者
a 株式会社 秋田ケーブルテレビ	プロジェクト全体管理・通信システム構築・導入効果検証・実装横展開	9名×200時間	テクニカルクリエイト本部/遠藤
b 株式会社Dshift	ソリューション開発・導入効果検証・実装横展開	12名×120時間	技術グループ/八方
c 株式会社 ウエンティ・ジャパン	フィールド実証・導入効果検証・実装横展開	3名×60時間	開発部/小野寺
d ウエンティ・パル 八峰合同会社	風力発電施設提供	1名×40時間	代表社員/佐藤
e 株式会社JERA	導入効果検証	2名×60時間	O&M・エンジニアリング戦略統括部/鈴木
f 株式会社 明電舎	導入効果検証	5名×48時間	電力インフラ営業本部/紺谷
g NECネットエスアイ 株式会社	ローカル5G機器提供・構築	6名×100時間	システムズエンジニアリングサービス事業本部/伊藤
h 国立大学法人 秋田大学	学識経験者視点での評価・社会実装評価	3名×20時間	大学院理工学研究科/三島
i 秋田県産業労働部 クリーンエネルギー振興課	導入効果検証・横展開補助・アドバイス	2名×24時間	産業労働部クリーンエネルギー振興課/工藤
j 株式会社 TEAM CNA E & S	通信システム工事	5名×36時間	エンジニアリング部/高島
k TechShare株式会社	四足歩行ロボット提供	5名×60時間	代表取締役/重光

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

① スケジュール(実績)

2025年 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 2026年 1月 2月 3月
 赤字: 当初の計画から変更になった箇所



遅延が生じた理由

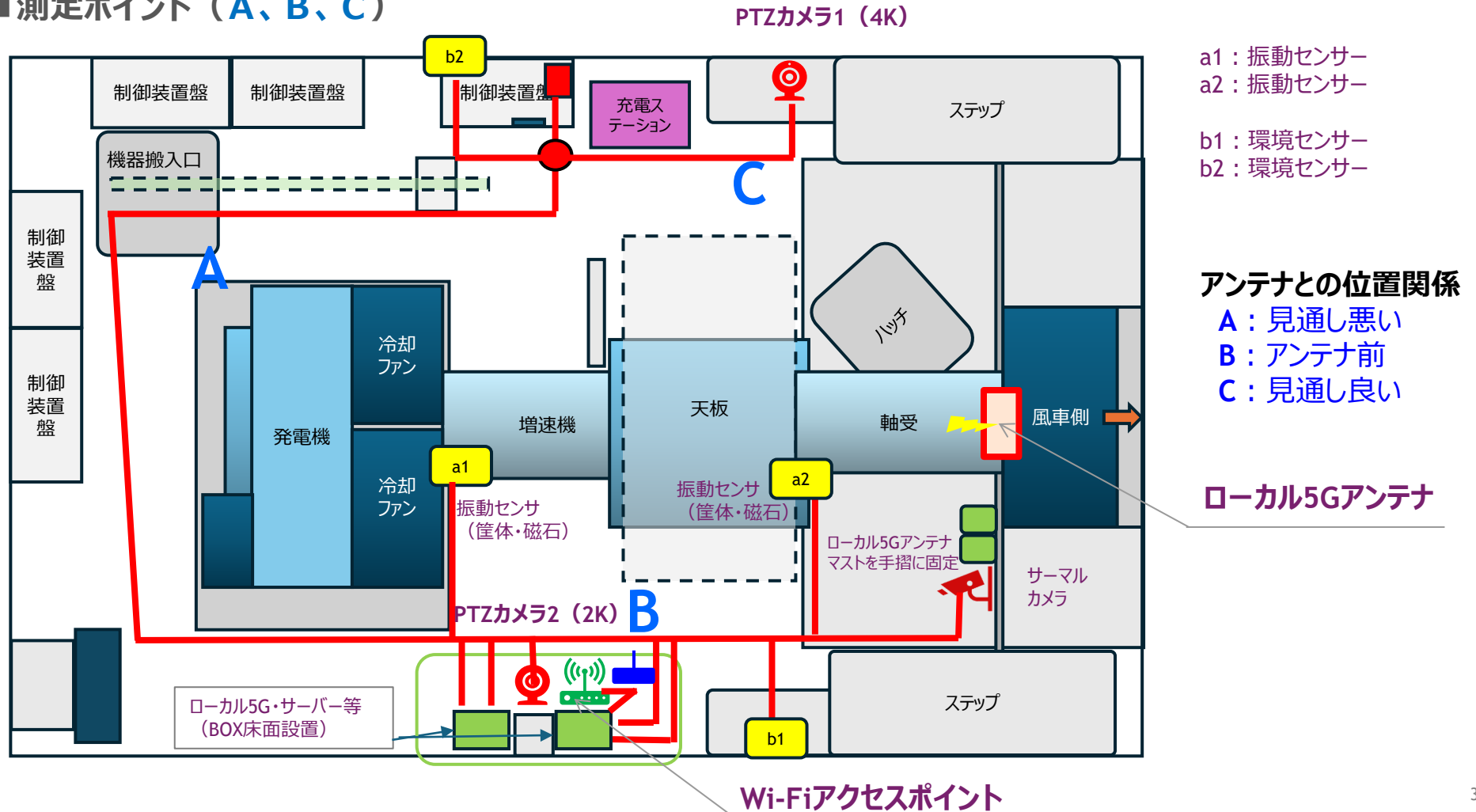
四足歩行ロボット納期遅れにより2week後ろ倒し。試験、現地検証は完了済み。全体に影響なし。

② 検証項目ごとの結果

全体資料 1 (本実証の検証環境：風車ナセル内平面図 各装置の配置)

強風でナセルまで上がれない、ウィンチで荷上げできない等、作業待機やリスクが発生しました。
また、ナセル内部は狭く複数作業を同時に行うことができないため、作業当日のスケジュールは各担当毎に綿密に計画し、効率的に実施しました。

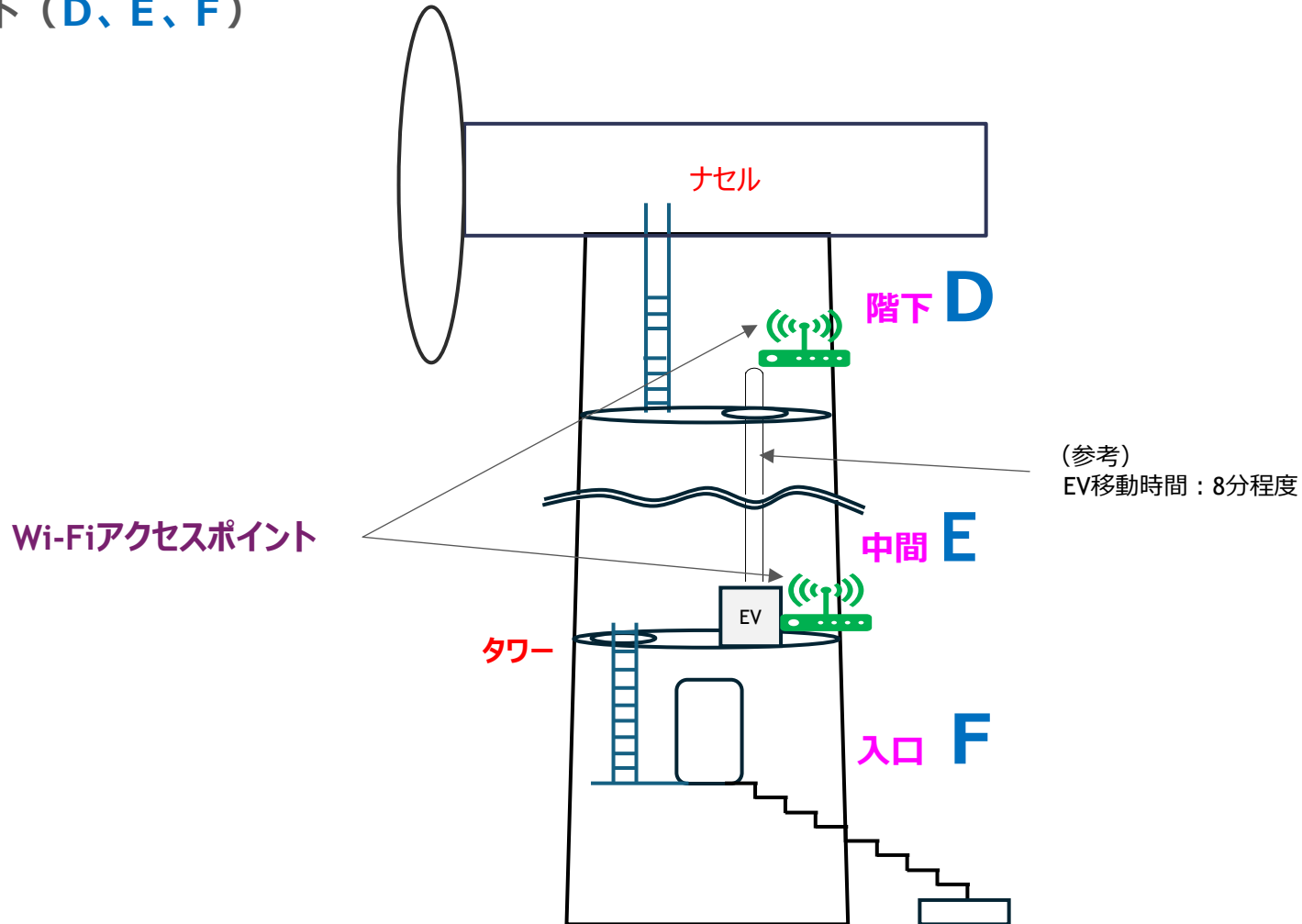
■ 測定ポイント (A、B、C)



② 検証項目ごとの結果

全体資料 2 (本実証の検証環境：タワー平面図 各装置の配置)

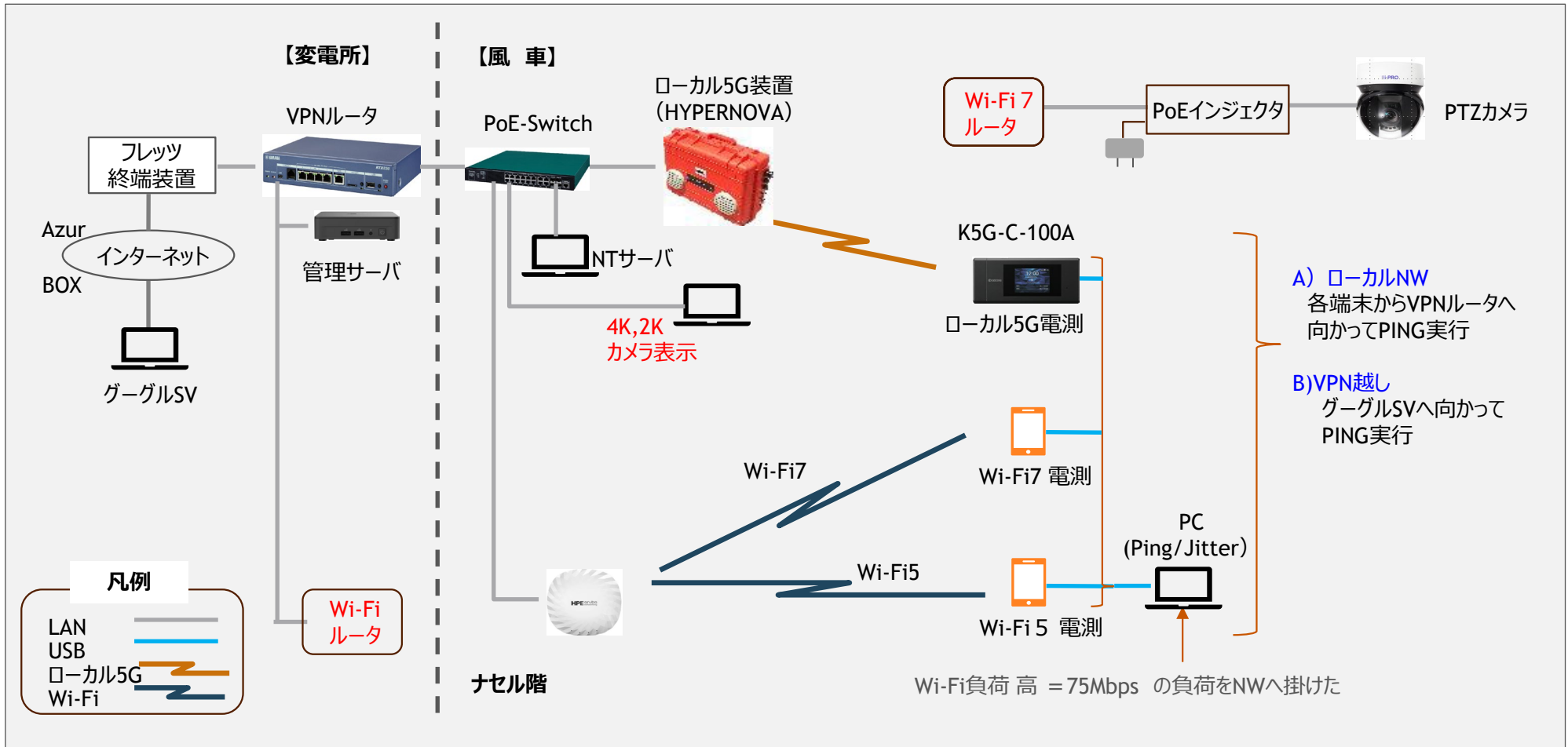
■ 測定ポイント (D、E、F)



② 検証項目ごとの結果

全体資料 3 (実証システム構成図)

測定内容：ローカル5GとWi-FiのスループットやPing、Jitter他通信状態の検証



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

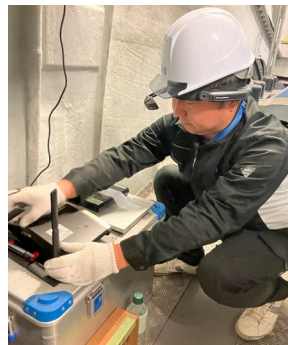
② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (1 / 19)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
通信利用による現地作業効率 ・スマートグラスによる遠隔作業支援	項目	目標	・グラス装着者側アンケート利用満足度は97.3%。 ・遠隔指示者側アンケート利用満足度は95.5%。 (共に設問毎のCSATスコア平均値) 事業に関係する方、目標想定による効果が期待できそうな方に実際にグラスを装着して作業通話体験してもらい、遠隔支援者側はグラス装着者と指示確認を想定したコミュニケーションを図ってもらった。 グラス装着者は、音声コマンドによりボタン操作なく、ハンドフリーで現地作業に支障なくビデオ通話コミュニケーションが容易にできることを確認できた。グラス側、監視側双方の映像がはっきりとしていて、体験者からは想像していたよりスムーズで実用性を感じられたとの声が多かった。 遠隔地からの支援者体験については、熟練者がリモートで確認、指示できることは大きな価値があるという事業者からの意見を頂いた。現場での効率化や安全性向上において活用が期待されるとの意見があった。	ユーザビリティの良いインタフェースにより、グラス装着者誰もが簡単かつ円滑にビデオ & 音声による双方向通話が利用可能であった。伝達情報の途切れやノイズ、遅延がなく (P47参照)、電波環境として、ナセル内での利用は問題なく対応できた。これらにより満足度が高かったと考える。装着感について特別意見はなかったが、装着するヘルメットによっては個人差が出る可能性があり得る。固定クリップを用意することで対処可能である。システムを使用しないときは、LCD画面部を上方向けることで作業視界を妨げないようにできる (左写真参照)。通信が確保されれば場所を問わないことや、アプリの開発をすれば、定型業務の効率化が図れるなど効率化に向けた発展の可能性が高く感じられる。支援者側では音声だけでなく、図示することも可能で、ビデオ通話支援は想定以上の効果があったと言えます、実装への期待は高い。
	監視室等の遠隔地にいる熟練工から現地作業員への遠隔サポートに関する満足度(遠隔支援側、現地作業側)	映像や音声が確実に伝送され、現地と遠隔監視地の間で意思疎通が図られ、現地作業員が滞りなく業務を遂行できるかアンケートを実施、利用満足度70%以上		



スマートグラス



装着作業例



【スマートグラス諸元】

- ◆重量 270g
- ◆動作温度 -15° C ~ 50° C、相対湿度 95% (結露なし)
- ◆バッテリー容量 2600 mAh / 10.0 Wh リチウムポリマー
- ◆画面 視野角 20°、24ビットカラー LCD、対角 0.32 インチ、屋外でも視認可能
- ◆カメラ 48 MP センサー、LED フラッシュライト付き PDAF
- ◆スピーカー 94dbA スピーカー内蔵
- ◆最大100 dBAの騒音下でも正確な音声認識
- ◆耐久性 IP66、MIL-STD-810H、6.5 フィート (2メートル) の落下

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (2 / 19)

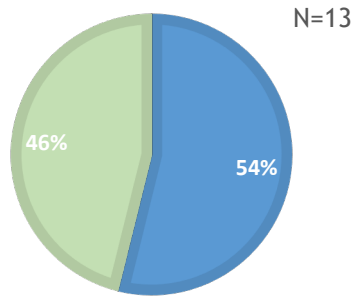
【検証結果詳細】

スマートグラス装着者（現場作業側）の評価利用アンケート調査結果

アンケート回答：13

相手の対話 よく聞こえ、話は伝わると感じるか

■非常に満足 ■満足

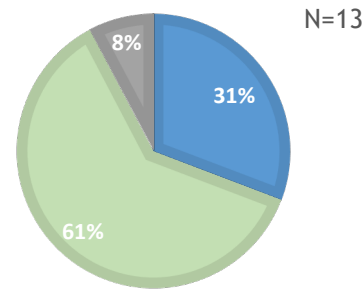


CSAT : 100%

グラス側はナセル内での利用となるが、人が入室する際に、発電機と風車は原則稼働しないため、大きな騒音は発生しないものの、装置音や換気モーター等、限られた閉塞空間で騒音がある中では、それらの影響を受けることなく、明確に通話・対話が可能である。

動作は安定しているか（途切れ、遅れ）

■非常に満足 ■満足 ■普通

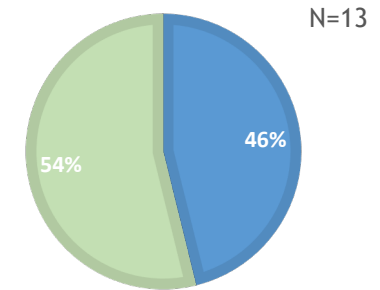


CSAT : 92%

音声ははっきりと聞き取り、画像と音声の遅延や途切れもなく通話品質は良いとの意見が多くを占めた。検証中において途切れ等は発生せず良好で、ビデオ通話という視点で見ても、カクツキや画像の遅れはなく、作業支援にストレスを感じたり不具合を生じることはなかった。

作業効率化、技術継承、安全管理に寄与するか

■非常に満足 ■満足



CSAT : 100%

・使い方を理解することで有効となる。
・視覚的に指示を受けることで現場作業がやりやすそうに感じられる。
・熟練者がリモートで指示を出せるスマートグラスは大きな価値があり現場での効率化と安全性向上において活用を検討する。
といった意見があり、人手不足と若手による作業が増える中では十分寄与すると言える。

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (3 / 19)

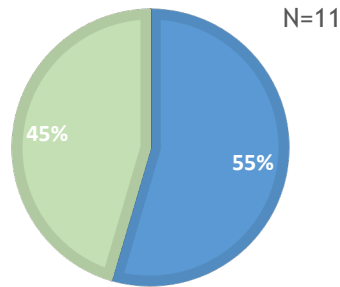
【検証結果詳細】

遠隔監視室側 (熟練指導者側) の評価利用アンケート調査結果

アンケート回答 : 11

相手の対話 よく聞こえ、話は伝わると感じるか

■非常に満足 ■満足

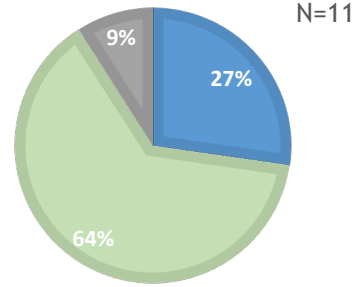


CSAT : 100%

作業側側にスムーズな作業指示ができ、支援のしやすさを感じられるとともに、相手の声や映像もクリアに見え聞こえているので安全に作業できる。その結果、音声と視覚双方のコミュニケーションにより、作業側への遠隔指示が円滑にできた。という意見があり、半数以上が非常に満足している。想像していたより、音も映像もクリアで驚いたという意見が多かった。

動作は安定しているか (途切れ、遅れ)

■非常に満足 ■満足 ■普通



CSAT : 91%

回線が安定した状況で、PCによる画面と音声のやり取りにおいて問題は全くなかった。画面をキャプチャーして、指示事項を記載して画面共有をする場面においても、そのやり取りでは途切れも遅延も発生しなかった。

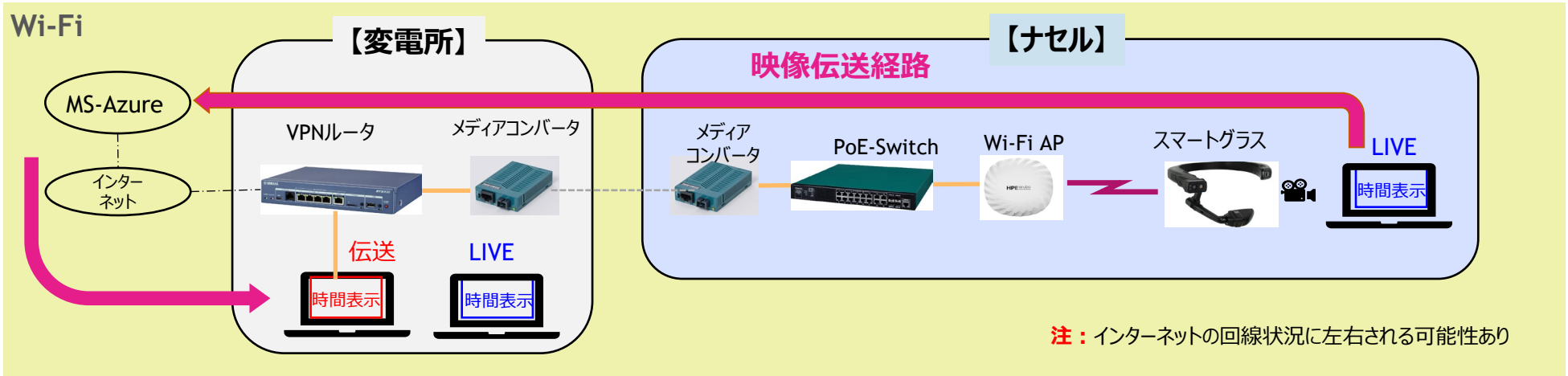
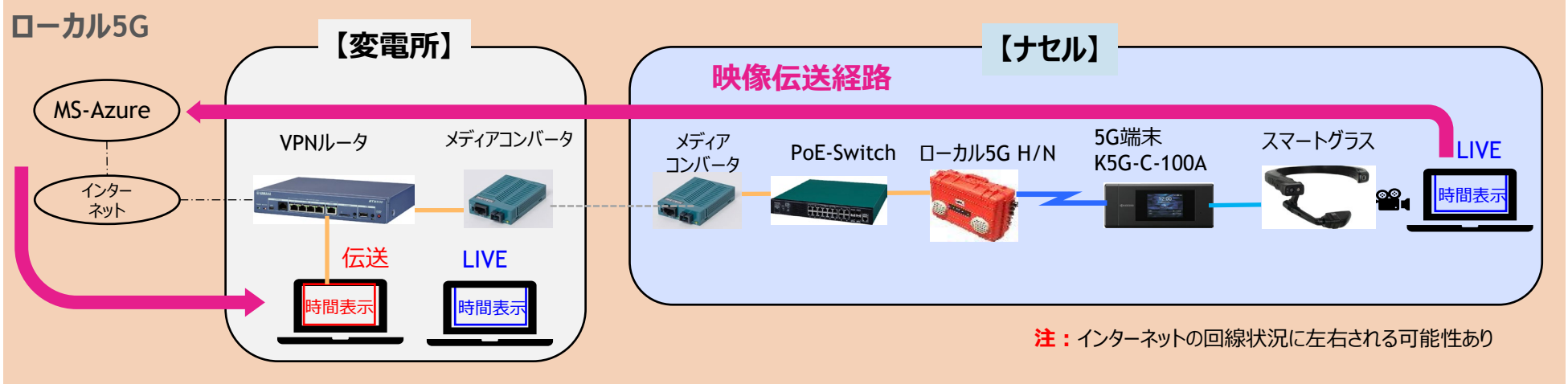
② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (4 / 19)

参考【検証結果詳細】

■ スマートグラスの遅延測定について

以下要領で、ローカル5G、Wi-Fiそれぞれの映像遅延時間を計測した。



② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (5 / 19)

【検証結果詳細】

■スマートグラスの遅延測定結果について

映像遅延時間				Wi-Fi5			
ローカル5G				Wi-Fi5			
回数	LIVE	伝送映像	遅延 (S)	回数	LIVE	伝送映像	遅延 (S)
1	19.387	19.081	0.306	1	53.743	53.539	0.204
2	20.001	19.694	0.307	2	54.662	54.407	0.255
3	20.614	20.305	0.309	3	55.377	55.123	0.254
4	21.074	20.767	0.307	4	56.144	55.889	0.255
5	21.686	21.38	0.306	5	57.06	56.706	0.354
6	22.145	21.788	0.357	6	57.932	57.676	0.256
7	22.807	22.502	0.305	7	59.004	58.749	0.255
8	23.267	22.91	0.357	8	59.972	59.667	0.305
9	23.83	23.471	0.359	9	0.892	0.638	0.254
10	24.29	23.983	0.307	10	1.761	1.506	0.255
		平均	0.322			平均	0.265

差分 : 0.322-0.265=0.077s(77ms)

■測定結果について

- Wi-Fi、ローカル5G共に、作業に影響する遅延はないと判断する（アンケート結果を踏まえて）。
- 無線接続は、Wi-Fi5はグラスに標準搭載されている機能で、ローカル5G端末はグラスへのUSB接続となる。
- 今回の検証では、両者の差異を示すものはなかった。スマートグラス側で要求される帯域を確保できている結果といえる（上下合計約5Mbps）。

電波測定

ローカル5G	測定ポイント	スループット (libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSRP [dBm]
		UL [Mbps]	DL [Mbps]					
A③		207	574	69.38	7.75	26.15	7.40	-75
B⑧		217	627	60.17	14.70	26.80	4.30	-69
C⑨		209	598	51.50	9.40	26.23	4.23	-65

差分 : 26.80-13.42=13.38ms(0.013s)

Wi-Fi5	測定ポイント	スループット (libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSSI [dBm]
		UL [Mbps]	DL [Mbps]					
A③		355	262	740.19	3.95	27.48	24.60	-68
B⑧		502	460	97.79	4.28	13.42	10.40	-41
C⑨		464	356	194.14	3.92	12.68	10.70	-59

Ping : 0-30msあれば、web会議等はストレスなし
 Jitter : 20ms以下であれば安定した通信環境である

■考察

映像遅延時間は、Wi-Fiの方が小さい結果となった。この差分は、機器構成上の違いが大きいと推察する。Wi-Fiの場合、グラス内蔵のWi-Fi機能を使うが、ローカル5Gの場合、グラスにUSB接続したローカル5G端末を介した通信となるため、ハード的な構成が一つ増えることになる。さらに、電波測定のPingの差分は、約13ms (0.013s) であり、今後ローカル5G通信を装備したグラスが出てくればこの差は小さくなると予想される。また、通信の安定性(Jitter)はローカル5Gが優位となった。但し、結論としてスマートグラスが推奨している帯域を確保していれば、運用に影響はない。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (6 / 19)

【検証結果詳細】

■ (参考) 測定結果の目安について

① Ping値の目安

(実測値 ローカルNW 10~30ms)

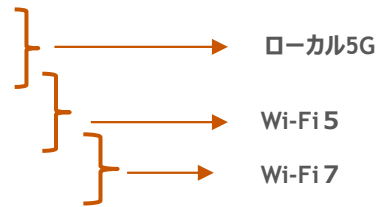
目的	Ping値の目安	Ping値の許容範囲
Web閲覧	0~50ms	100ms前後
メールやチャット利用	0~50ms	100ms前後
動画視聴	0~30ms	31~50ms
オンライン会議	0~30ms	16~50ms
オンラインゲーム	対戦ゲーム：0~10ms その他のゲーム：0~15ms	対戦ゲーム：11~20ms その他のゲーム：16~30ms

【公式】目的別のPing値目安はどれくらい？ | 計測方法や通信速度との違いも解説 | NURO 光 - インターネット・光回線

② Jitter値の目安

Jitter値	安定性
0~5ms	おおむね安定
6~10ms	やや安定
11~20ms	基準よりやや高め
21~50ms	やや不安定
51ms~	不安定

(実測値 ローカルNW)



光回線速度に影響するJitter (ジッタ) 値とは？ 平均値やPing値との違い、改善方法を解説 | ネット回線スピードテスト by NIFTY

③ RSRPの目安

(実測値 ローカルNW -65~-75dBm)

RSRP	
-80dBm以上	良好な信号強度。安定した通信が期待できる
-90dBm	通常の通信が可能だが、若干の不安定さがあるかもしれない
-100dBm	通信が困難になる可能性があり、接続が切れることもある

[LTEの電波について考える - shimiminの日記](#)

④ RSSIの目安

(実測値 ローカルNW -33~-69dBm)

-50 dBm	最高	これは現実の条件下で達成できる最高の信号強度レベルです。RSSI値として-50を達成できれば、インターネット接続を完全に楽しむのに全く問題ありません。
-60 dBm	非常に良い	完璧ではないものの、RSSI値が-60であれば非常に良好です。RSSIが何かを知らないほとんどの人は、自分の信号強度がこれ以上良くなるとは思わないでしょう。
-70 dBm	良い	RSSIが-70であれば、ほとんどのオンライン活動を大きな遅延や接続切れなしに楽しむことができるはずですが。時々、ビデオが通常よりも長くバッファリングすることや、ファイルのダウンロードが遅いことに気付くかもしれませんが、それが問題の全てです。
-80 dBm	低い	ここから状況が悪化し始めます。RSSIが-80まで下がると、ダウンロードとアップロードの速度が大幅に低下し、それに伴い待ち時間も増える可能性が高くなります。メールの送信やWebの閲覧には問題はありませんが、オンラインゲームや高画質のビデオストリーミングを楽しむことは期待できません。

[RSSI: NetSpotでRSSI値を調べる方法](#)

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (7 / 19)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視 	項目	目標	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定点カメラ：調整角度から監視可能となる場所はカバーされることを確認した。空間として概ね80%程度。残りの空間は、ロボットの移動により細部補完が可能であった (P51～53参照)。 ■ サーモカメラ：発電事業者から指定の箇所について動画リアルタイムで表面温度分布が確認できた (P54参照)。 ■ 環境センサー：設置した場所の温度、湿度、Co2濃度が所定の間隔 (5分) で測定、ダッシュボードで確認できた (P55参照)。 ■ 振動センサー：30分間隔でデータが採れており、データをもとに解析、異常の有無や予兆検知をすることが可能となった (P55参照)。 <p>結果として、現状SCADAデータだけでは把握しきれない現地状況について、遠隔監視の範囲が拡大してより詳しく現地稼働状況を知ることができた。</p>	<p>通信環境が提供されることで、監視デバイスによる監視項目や監視箇所の追加が容易にできることが確認できた。今後、様々なメンテナンス向け技術の進化が進むことにより、外部通信は必須となるので、そうした技術の導入が可能な状態にすることは、保守効率と稼働率向上にとって重要な要因となる。また、ナセルの中だけでなく、タワー内にWi-Fiを整備できたことは、今後の保守運用についても役に立つと考えられる (携帯電話の電波が通らない場所であるタワー内部について、コミュニケーション手段が提供されることになる)。各センサー情報は個別に見ていくので画面を複数用意するか、大画面で分割表示するなど、俯瞰して見れる工夫も必要になる。</p>

●PTZカメラ (4K)
WV-S66700-Z3L

●PTZカメラ (2K)
WV-S66300-Z3LN



有効画素数	840万 (4K) / 210万 (2K)
光学ズーム	30倍 (電動ズーム/電動フォーカス)
IR LED Light	High/Middle/Low/Off 最長照射距離：200 m
解像度	センサー:384×288、画像：768×576までスケールアップ
調整角度	水平 (P) 角：360°旋回、垂直 (T) 角：-20°～+120°、傾き (Y) 角：±0°
画角	[16 : 9] 水平：2.5° (TELE) ~ 62° (WIDE)、垂直：1.4° (TELE) ~ 37° (WIDE)
動作温度、湿度	-40°C ~ 60°C、10~100%RH (結露可)
重量、寸法	3kg、[最大径] φ167 mm [高さ] 205 mm [ドーム半径] SR77.5 mm

② 検証項目ごとの結果

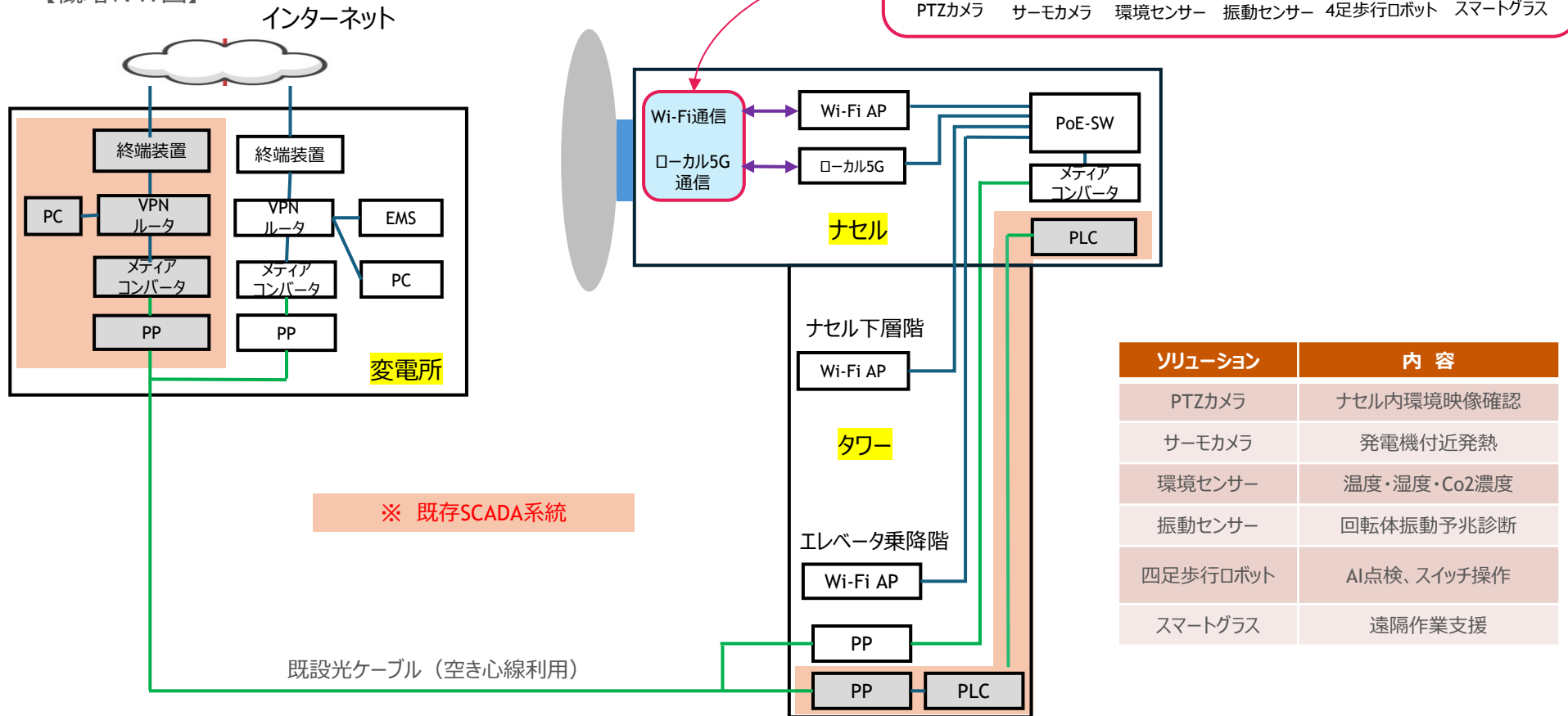
a. 効果面 (8 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ 通信環境構築による導入ソリューション

【概略NW図】



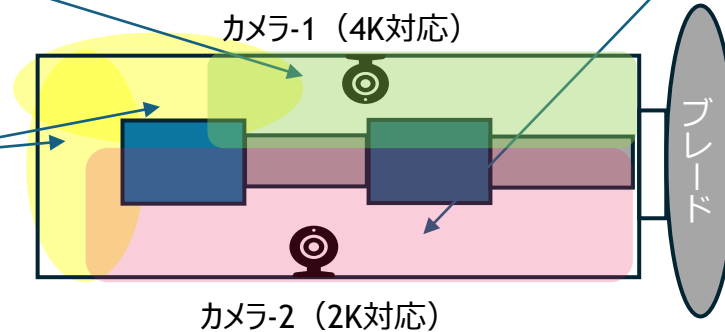
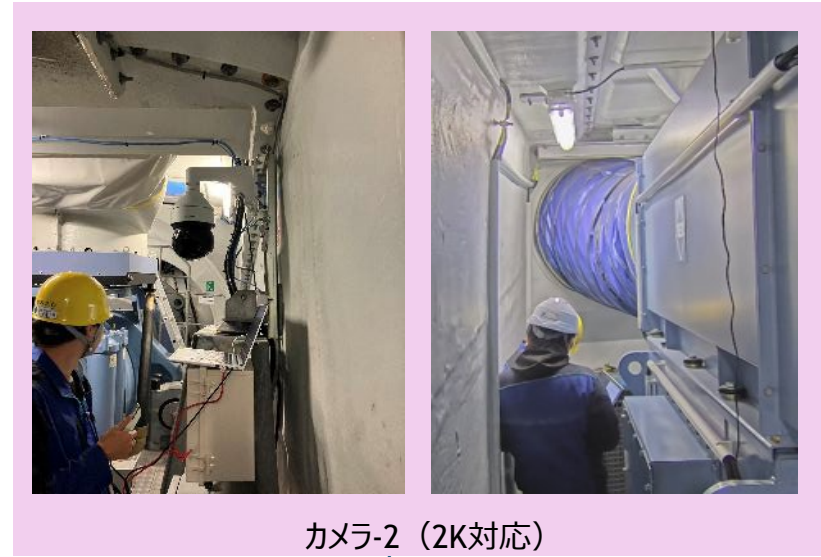
② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (9 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ PTZカメラ取付状態とカバー範囲



ナセル上面視図 カバー範囲

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (10 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ PTZカメラ視覚範囲確認 (カメラ1_4K動画)



	確認場所
①	ブレード側
②	軸受け・増速機付近
③	通路
④	冷却ファン、カメラ2
⑤	天井から後方
⑥	制御配電盤前通路
⑦	制御配電盤
⑧	軸受、増速機
⑨	⑧銘板拡大

※シリアル番号等の認識が可能

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (11 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ PTZカメラ視覚範囲確認 (カメラ2_2K動画)



	確認場所
①	ブレード側
②	屋外ハッチ側
③	壁面
④	発電機付近
⑤	通路
⑥	通路後方
⑦	冷却ファン
⑧	カメラ1側、配電盤
⑨	配電盤操作パネル

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (12 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

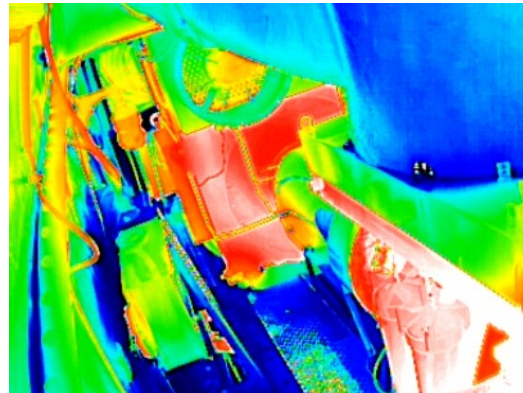
■ サーモグラフィカメラ (動画での確認)



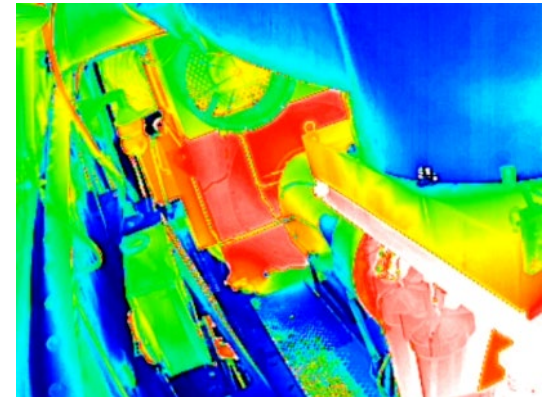
サーモグラフィカメラ取付状態



2025/12/9 10:33 (発電中)



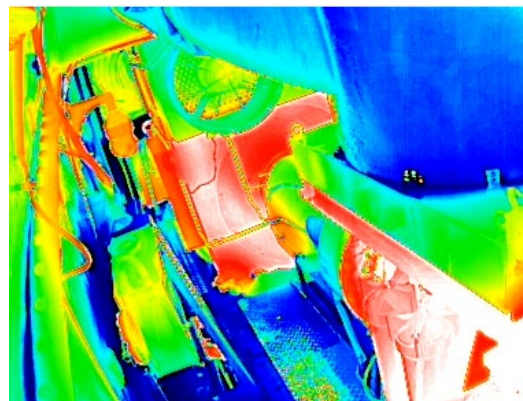
2025/12/10 7:55 (発電中)



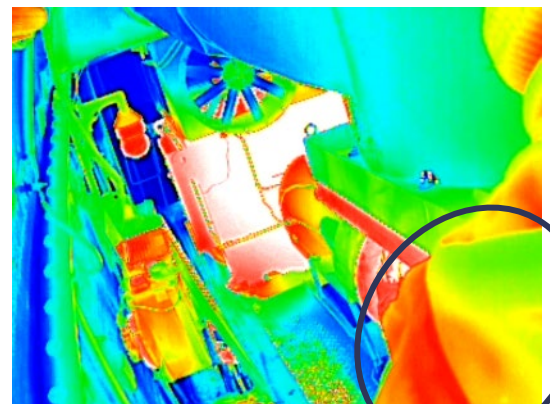
サーモグラフィカメラ諸元

視野角	水平55°、垂直40.7°
感度	NETD 40 mk @25C、F1.0
解像度	センサー:384×288 画像:768×576までスケールアップ
被写体温度範囲	-40°C ~ 350°C
温度精度	120°C未満 ±5°C、120°C以上±15%
動作温度、湿度	-40°C ~ 60°C、10~100%RH (結露可)
重量、寸法	1400g、直径135mm、長さ272mm

2025/12/9 14:47 (発電中)



2025/11/11 10:46 (停止中)



作業員

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

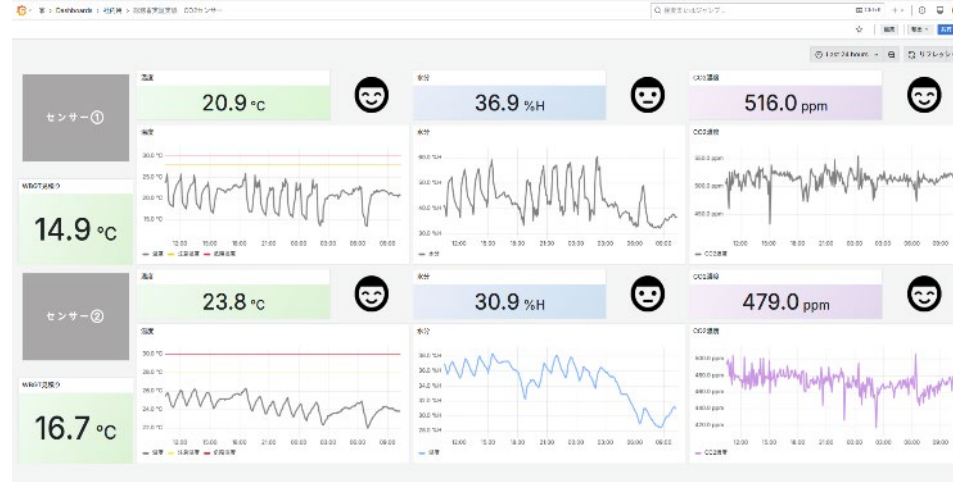
② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (13 / 19)

【検証結果詳細】

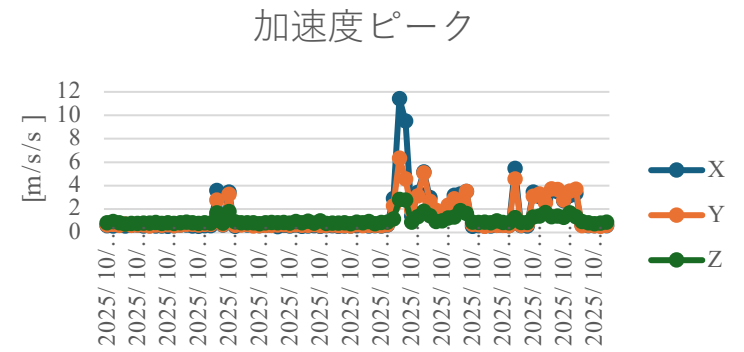
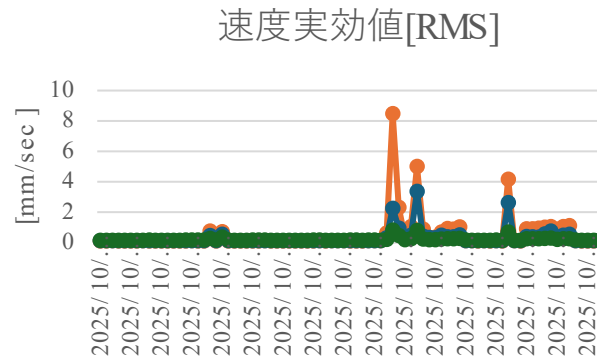
定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ 環境センサー



24時間データ (5分間隔通信)

■ 振動センサー



30分間隔測定 & 通信 (本表示は2日間分)

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

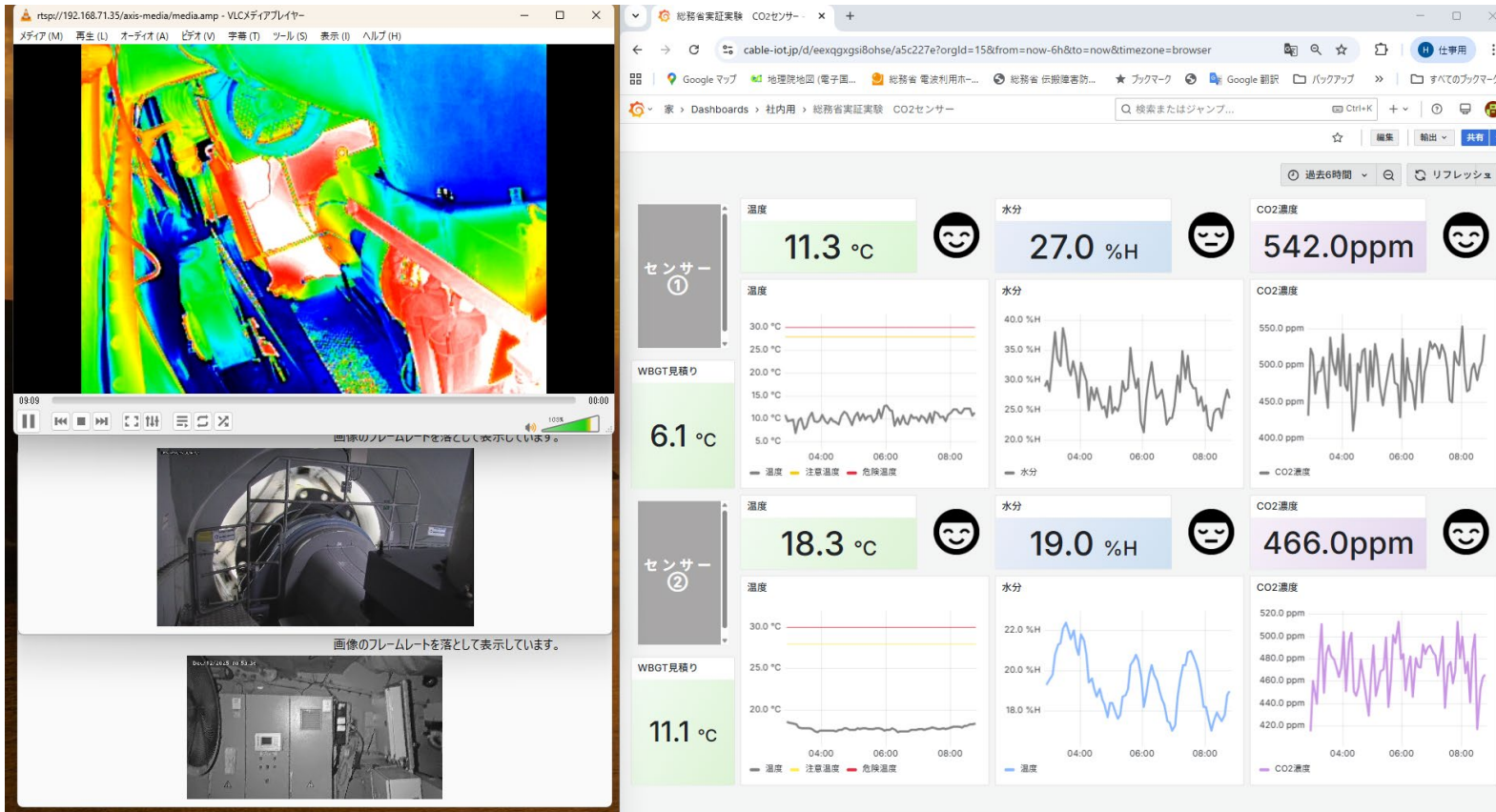
② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (14 / 19)

【検証結果詳細】

定点カメラ・サーモカメラ・センサー取付けによる遠隔監視

■ (例) 各映像、センサー1画面表示



1台のPCにて、複数モニター表示させるか、大型モニターに複数ウィンドウ表示させるなど、監視事情に応じて対応する。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (15 / 19)

ソリューション		検証ポイント		検証結果	考察
		項目	目標		
不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施 ・AIによる計器・メーターのデータ化		AIを活用することにより、現状作業員が目視で読取りしているデータ取得作業の削減	精度95%以上にて作業時間を50%短縮	AIを活用した計器・デジタルパネルの判読検証として、ロボットに搭載したカメラで取得した画像を用い、合計80回の判読試行を実施した。 その結果、反射がなく、かつカメラの撮影距離を適切に確保できた条件下において、80回中79回で正しい数値を取得し、判読精度は95%以上であることを確認した。 また、AIによる判読処理に要する時間は、ログに基づき1回あたり平均約6秒であった。 従来、同等の状況確認・数値読取り・記録を人が現地で行った場合、移動・準備・確認・記録を含めて約5時間を要すると仮定すると、本実証で確認したAIによる判読処理は、当該工程を極めて短時間で代替できる水準であることが確認された。 本実証では、アラーム発報から初期対応完了までの一連の対応全体を対象として「作業時間を50%短縮する」ことを運用目標として設定しており、本実証で確認した結果は、当該初動対応工程においてこの運用目標と整合する水準の効率化が得られる可能性を示すものである。	本実証では、計器・デジタルパネルの判読を対象に、AIによるデータ取得の精度及び処理時間を定量的に確認した。 その結果、一定の撮像条件が満たされる場合において、判読精度95%以上、かつ1回あたり平均約6秒で判読が可能であることが示された。 これは、従来現地において作業員が実施していた状況確認・数値読取り・記録といった工程について、AIを用いた代替が成立する水準にあることを示す結果である。 本実証では、アラーム発報から初期対応完了までの一連の対応全体を対象として「作業時間を50%短縮する」ことを運用目標として設定している。 本実証で確認した判読精度及び処理時間は、当該初動対応工程の効率化に寄与し得る要素であり、この運用目標の設定と整合する結果であると考えられる。 一方で、本実証は初動対応工程のうち、計器確認及びデータ取得に関する工程を対象としたものであり、現地対応全体の所要時間や運用フロー全体の評価を目的としたものではない。 そのため、本実証の結果は、初動対応工程における有効性を確認したのものとして位置づけられる。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (16 / 19)

【検証結果詳細】

従来作業と実証作業における作業内容・対応工程の比較

観点	従来運用	実証時運用	確認方法
計器確認	現地目視	遠隔画像確認	画像+AI判読
作業場所	ナセル内	遠隔拠点	無線通信
確認手段	人手判断	AI+人確認	実証結果
作業時間	現地滞在が必要	平均 約6秒 (判読)	ログ
作業人数	複数名	最小化	実証構成

ロボット搭載カメラによる遠隔取得画像



AI判読結果



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (17 / 19)

【検証結果詳細】

処理時間ログ

画像	解析時間	画像	解析時間
WIN_20251113_13_50_16_Pro.jpg	5.943	WIN_20251113_14_03_17_Pro.jpg	8.659
WIN_20251113_13_51_44_Pro.jpg	4.716	WIN_20251113_14_03_18_Pro.jpg	9.482
WIN_20251113_13_52_06_Pro.jpg	5.452	WIN_20251113_14_03_19_Pro.jpg	4.372
WIN_20251113_13_53_50_Pro.jpg	5.963	WIN_20251113_14_03_23_Pro.jpg	3.972
WIN_20251113_13_53_51_Pro.jpg	4.896	WIN_20251113_14_03_24_Pro.jpg	4.323
WIN_20251113_13_53_52_Pro.jpg	5.436	WIN_20251113_14_03_25_Pro.jpg	4.965
WIN_20251113_13_53_53_Pro.jpg	6.964	WIN_20251113_14_03_26_Pro.jpg	12.594
WIN_20251113_13_54_32_Pro (2).jpg	7.014	WIN_20251113_14_03_31_Pro.jpg	8.092
WIN_20251113_13_54_32_Pro.jpg	8.145	WIN_20251113_14_03_32_Pro.jpg	8.968
WIN_20251113_13_54_53_Pro.jpg	8.354	WIN_20251113_14_03_33_Pro (2).jpg	9.405
WIN_20251113_13_54_59_Pro.jpg	7.106	WIN_20251113_14_03_33_Pro.jpg	7.26
WIN_20251113_13_55_11_Pro (2).jpg	9.66	WIN_20251113_14_03_34_Pro.jpg	8.315
WIN_20251113_13_55_11_Pro.jpg	6.582	WIN_20251113_14_03_35_Pro (2).jpg	8.045
WIN_20251113_13_55_12_Pro.jpg	9.967	WIN_20251113_14_03_35_Pro.jpg	10.518
WIN_20251113_13_55_20_Pro (2).jpg	8.724	WIN_20251113_14_03_57_Pro (2).jpg	8.17
WIN_20251113_13_55_20_Pro.jpg	6.97	WIN_20251113_14_03_57_Pro.jpg	4.471
WIN_20251113_13_55_22_Pro.jpg	8.792	WIN_20251113_14_03_58_Pro (2).jpg	4.722
WIN_20251113_13_55_35_Pro.jpg	5.149	WIN_20251113_14_03_58_Pro.jpg	4.509
WIN_20251113_13_55_41_Pro.jpg	5.818	WIN_20251113_14_03_59_Pro (2).jpg	4.593
WIN_20251113_13_55_47_Pro.jpg	4.059	WIN_20251113_14_03_59_Pro.jpg	4.052
平均	6.785	平均	6.794

本実証により、無線通信とロボット・AIを組み合わせることで、従来現地で実施していた計器確認等の一部作業について、遠隔で代替可能であることを確認した。

また、AIによる判読処理は平均約6秒で実行可能であり、作業時間短縮に寄与する処理性能が確認された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果面 (18 / 19)

ソリューション	検証ポイント	検証結果	考察				
不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施 ・四足歩行ロボットによる現地での作業員対応の代替え	<table border="1"><thead><tr><th>項目</th><th>目標</th></tr></thead><tbody><tr><td>ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に向き行っている対応時間の短縮</td><td>必要となる設備・行為等に対し、 ロボットカバー率100% 押下対象ボタンの誤操作ゼロ</td></tr></tbody></table>	項目	目標	ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に向き行っている対応時間の短縮	必要となる設備・行為等に対し、 ロボットカバー率100% 押下対象ボタンの誤操作ゼロ	本実証では、ナセル内において想定される設備確認及び操作行為を整理し、それぞれについてロボットによる遠隔対応可否を検証した。 検証の結果、実証対象としたすべての設備及び行為について、ロボットを遠隔操作することで対応可能であることを確認した。 これにより、本実証で対象とした設備・行為に対するロボットカバー率は100%であった。 また、押下操作が必要な対象ボタンについては、ロボットによる遠隔操作を5回実施し、5回中5回すべてで正確な押下を確認した。 本実証において、押下操作における誤操作は発生していない。	本実証では、ナセル内における設備確認及び操作行為について、ロボットによる遠隔対応が成立するかを確認することを目的として評価を行った。 その結果、実証対象とした設備・行為すべてにおいてロボットによる対応が可能であり、ロボットカバー率100%という設定目標に対して、評価可能な検証結果が得られた。 また、誤操作が許容されない押下操作について、すべての検証において正確な操作が確認されたことは、ナセル内対応における安全性及び操作精度の観点から、ロボットを用いた遠隔対応の成立性を示す結果である。 本実証は、特定の設備構成及び配置条件を前提とした検証であるが、ナセル内対応においてロボットが担い得る範囲を把握するうえで、有効な知見が得られたものと位置づけられる。
項目	目標						
ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に向き行っている対応時間の短縮	必要となる設備・行為等に対し、 ロボットカバー率100% 押下対象ボタンの誤操作ゼロ						

② 検証項目ごとの結果

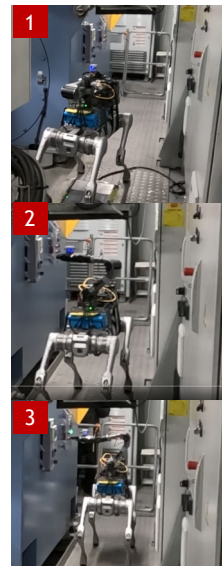
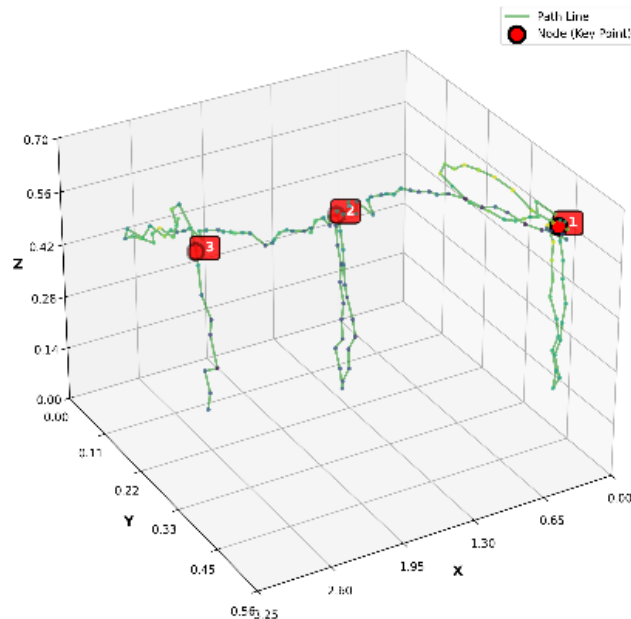
a. 効果面 (19 / 19)

【検証結果詳細】

従来作業と実証作業の比較表

観点	従来運用	実証時運用
点検方法	作業員が現地出向	ロボットを遠隔操作
確認対象	計器・周辺機器	カメラ映像
作業場所	ナセル内	遠隔拠点
作業時間	出勤・滞在が必要	遠隔操作で即時
作業人数	複数名	最小限

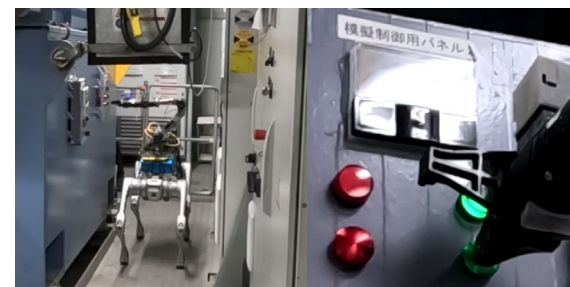
ロボットによる歩行経路



ロボットによるカメラ撮影



ロボットによるボタン押下



本実証により、四足歩行ロボットを遠隔操作することで、従来作業員が現地風車に出向いて実施していた初期点検や状態確認、簡易的な操作の一部について、遠隔で代替可能であることを確認した。これにより、現地出勤前の事前把握や対応判断を迅速に行える可能性が示された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (1 / 3 2)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
通信利用による 現地作業効率 ・ナセル／タワー内での 通信範囲・速度・遅延 について、狭隘かつ強 電界な風車内部環境 における通信状態の検 証	項目	目標	品質、測定データについては次項以降掲載の通り、 ・ローカル5GでのRSRP-120dBm以上を確保した。 ・Wi-FiでのRSSI-75dBm以上を確保した。 ・スループットは35Mbpsが十分確保された。 上り下り共に最低でも100Mbps以上、ネットワークが 低負荷の場合は200Mbps以上（次ページ以降の資 料参照） 前掲、効果面のソリューション:定点カメラ・サーモカメ ラ・センサー取付けによる遠隔監視の通り、ナセル内で の通信デバイスがきちんと動作し、やり取り、データ取 得ができていることを確認した。 ナセル以外のタワー内設置のWi-Fiアクセスポイントに ついては通信に必要な品質が確保され、インターネット アクセスが問題なくできることを確認した（モバイル端 末によるインターネットアクセスやスマートグラスの動作 等で確認した）（P41:測定ポイントD,E,F）。	RSRP、RSSI、途切れ、遅延といった 品質上の問題はなく、動作も支障が なかった。但し、Jitterについては通 信方式を問わず多少大きいケースが あった。機器のファームを定期的に アップデートし、場合によりアクセスポ イントの調整などを考慮する。発電 出力が大きい洋上風車はナセル自 体が大きくなるため、空間内における 電波の強弱や品質の差があらわれる ものと想定する。適正なエリア設計が 必要だが、今回の実証から想定通り のエリア確保により、安定した通信の 確保により速やかな情報伝達と共有 が可能で実装が図れる。 ローカル5GとWi-Fiの比較をした場合、 今回の狭隘環境については大きな 優劣差はなかったと言える。但しロー カル5GはPing – RTTの値が常に小さ く、リアルタイムな操作が重要なロボ ット制御では有効であるとする。また、 風車の大型化が進んだ場合、無線 カバーエリアの広いローカル5Gの特 徴は安全なロボット制御に有効である とともに、セキュリティレベルが高く、情報 の保安も必要な発電事業にマッチし ている。しかし高額なため、ローカル 5GをベースにしつつもWi-Fiも選択肢 として提案できるよう低コスト化を検 討する必要がある。
	ナセル内等狭隘で 様々な機器が設置さ れている空間で通信デ バイスがきちんと動作し、 外部・内部とのやり取り、 データの取得が可能で あることを確認	ローカル5GでのRSRPや Wi-FiでのRSSIが確保 されていること。端末ア プリケーションが問題な く動作し、情報取得と コミュニケーションに必 要な上りスループット 35Mbps以上を確保		

② 検証項目ごとの結果

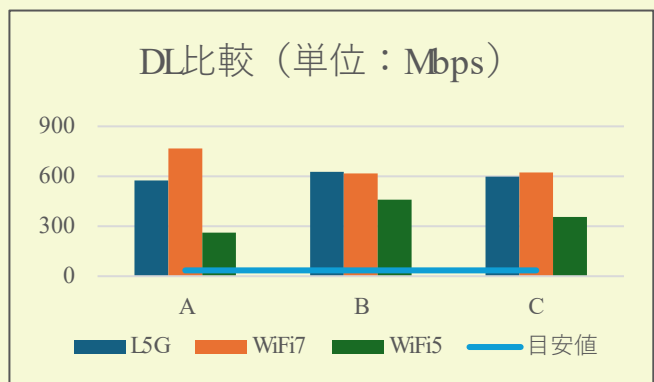
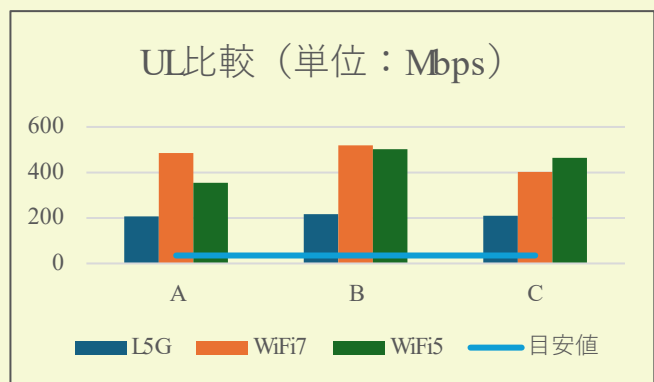
b. 技術面 (2 / 3 2)

【検証結果詳細】

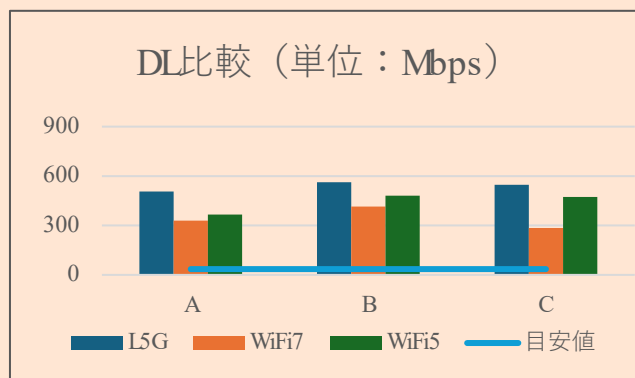
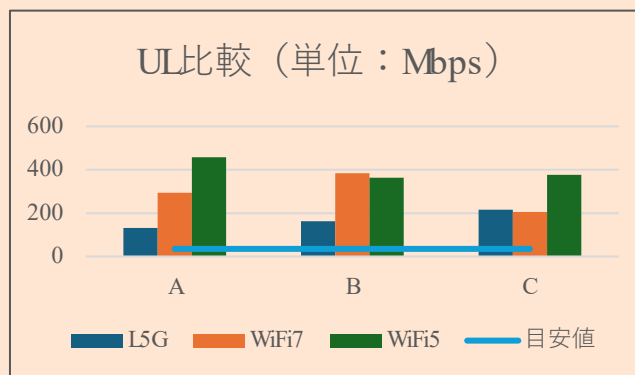
ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■ ナセル内：ローカルネットワーク測定 (スループット)

ネットワーク利用率 低い状態



ネットワーク利用率 高い状態



【結果コメント】

スループットにおいてはWi-Fi5/7共に負荷が少ない状態ではローカル5Gに劣らない性能を発揮するが、負荷をかけた場合には速度が若干低下している。但し、このスループット値ではソリューションには影響を与えないものと考えられる。

【考察】

ネットワーク利用率によってローカル5Gは約20-70[Mbps], Wi-Fi5及び7は約100-300[Mbps]低下している。本要因として、75[Mbps]の負荷量を伝送しているPCにてスループット測定を実施しているため、PC側の処理低下が影響していると考えられる。それを加味してもWi-Fiの速度低下が顕著に出ているため、ネットワーク負荷による影響はあると考えられる。

Wi-Fiよりローカル5Gの方がネットワーク負荷による安定性は得られた。また、今後事業者により採用するソリューション次第で、同期比率をかえることでULの伝送量を増やすことも検討可能。

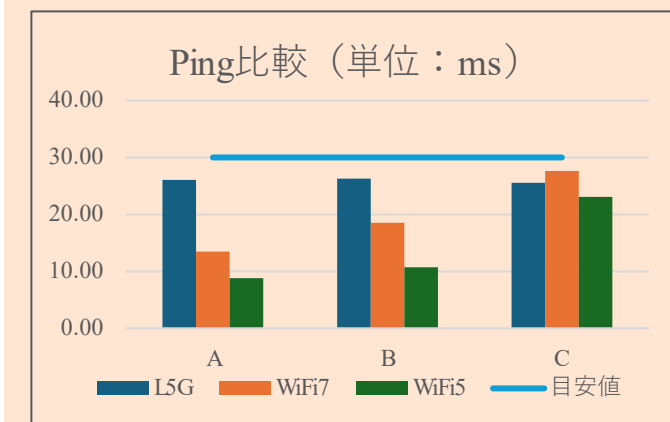
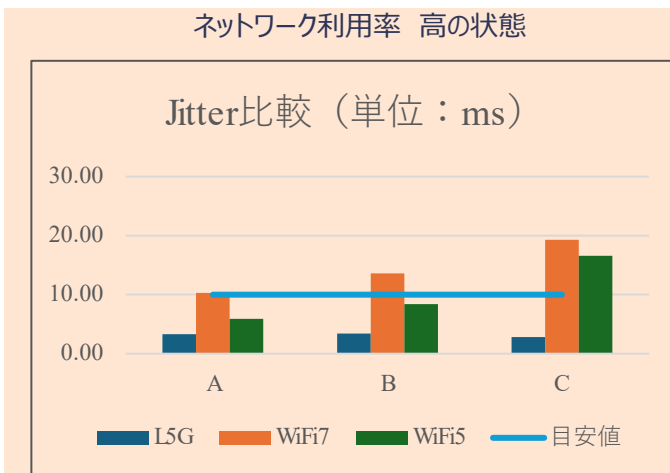
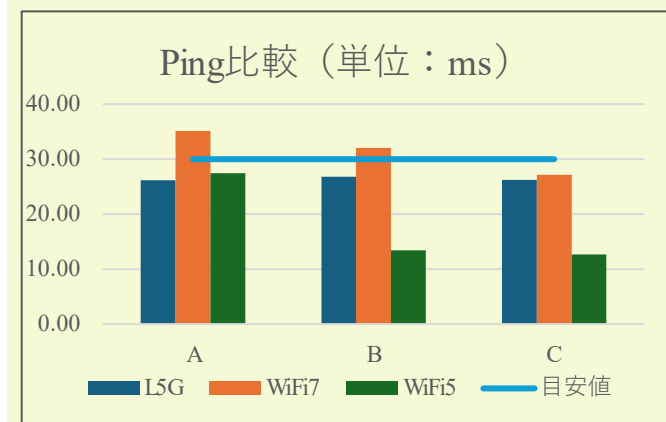
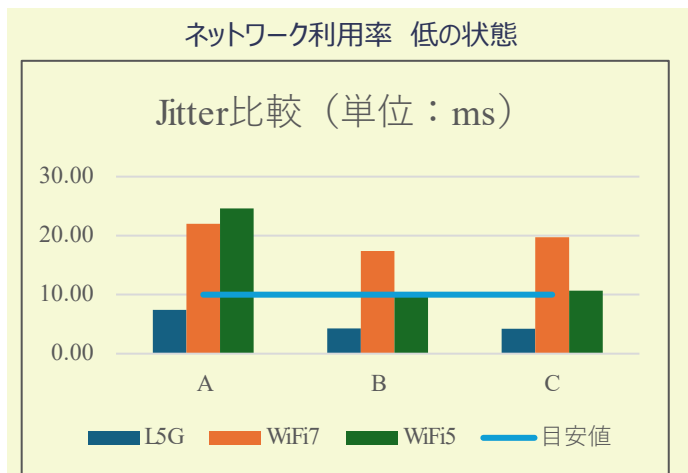
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (3 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■ ナセル内：ローカルネットワーク測定 (Jitter、Ping)



【結果コメント】

遅延速度(PING)についてはローカル5G, Wi-Fiともに1秒以下の遅延であり、目標値を達成した。また、比較という観点では左図の通り、ローカル5Gが優位である。低遅延、特に遠隔操作には遅延の揺らぎによって操作性は大きく影響するため、10[ms]程度の安定性が要求されると考えられる。

【考察】

Pingについて、結果として大差はないと判断するが、Wi-Fiに負荷をある程度かけるとPingの値は良く見える結果となった。考えられる要因として、ネットワーク利用率が低い場合は省電力機能が働いている、もしくは高負荷時の処理速度が上がっている可能性がある。しかし、次項以降に記載のPing-RTTについてローカル5Gは小さく、Wi-Fiの振れ幅は大きい点からもローカル5Gが優れていることがわかる。

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (4 / 3 2)

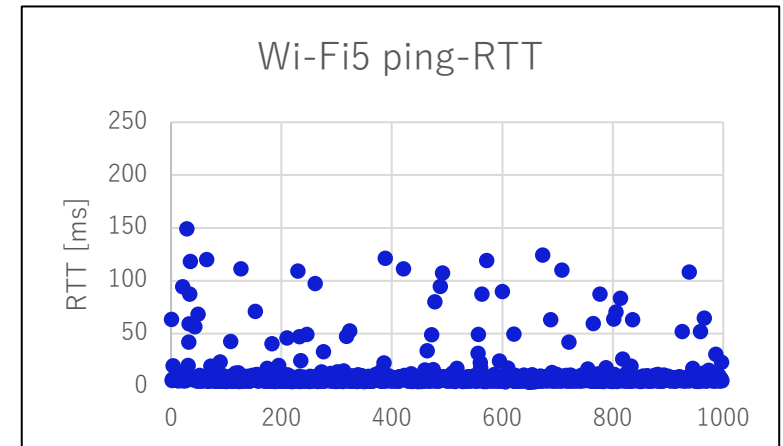
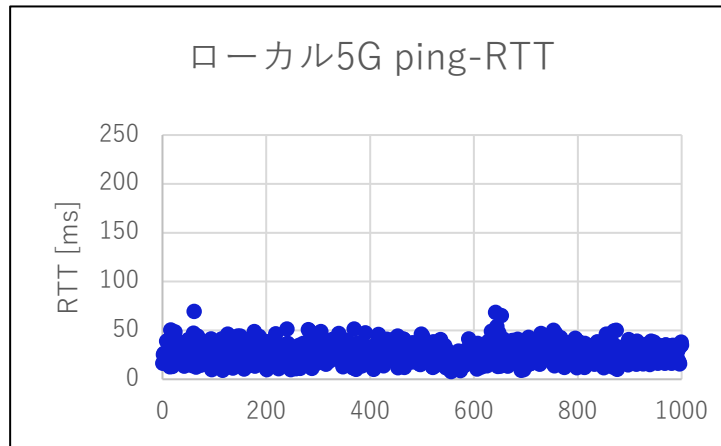
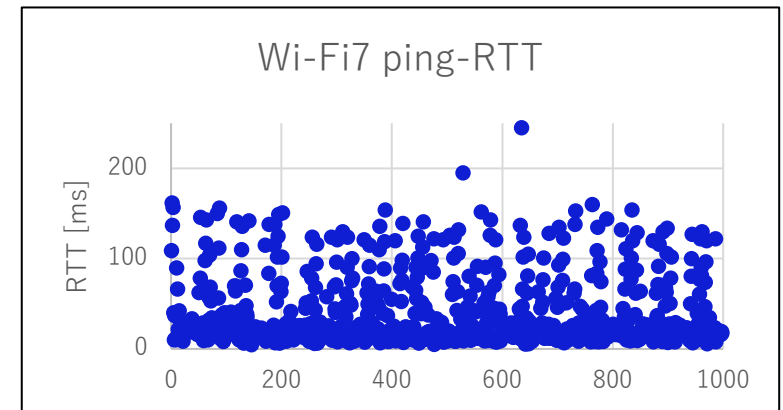
【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

(参考) 測定ポイントA ネットワーク利用率_低 ローカルNWのping-RTT

測定ポイントで1000回のPingを実行した際のRTTをグラフ化した。
 ローカル5GはRTTが常に小さく、安定した通信が維持されている。
 Wi-FiはRTTの振れ幅が大きく、通信の安定性は低い。

	Ping-RTT 平均 [ms]	Ping-RTT 最大 [ms]	Ping-RTT 最小 [ms]	Ping Jitter [ms]	UL スループット [Mbps]	DL スループット [Mbps]
ローカル5G	26.10	69.30	7.57	7.44	207	574
Wi-Fi7	35.05	245.00	4.67	22.05	485	768
Wi-Fi5	10.33	149.00	3.73	8.41	355	262



② 検証項目ごとの結果

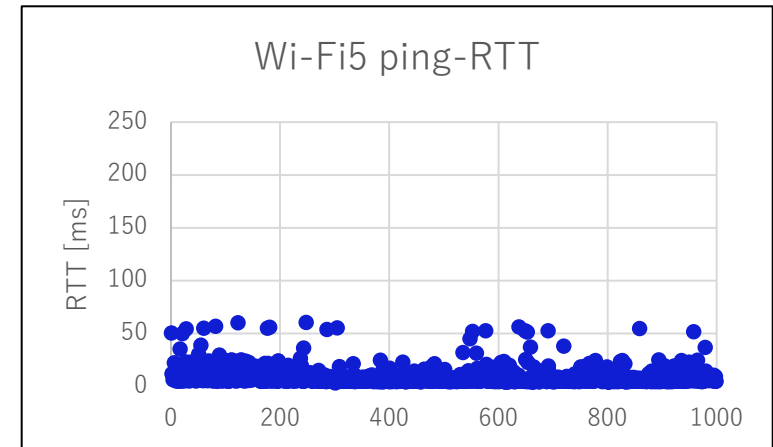
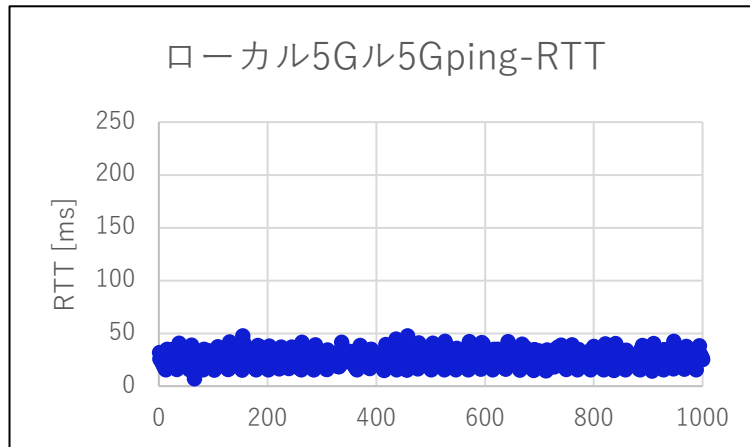
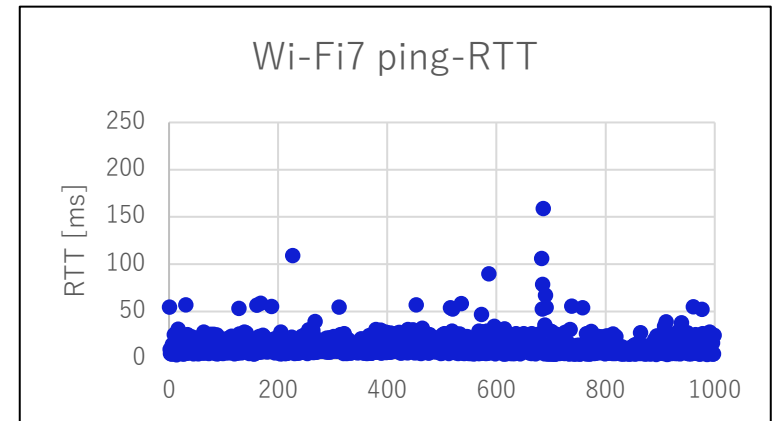
b. 技術面 (5 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

(参考) 測定ポイントA ネットワーク利用率_高 ローカルNWのping-RTT

	Ping-RTT 平均 [ms]	Ping-RTT 最大 [ms]	Ping-RTT 最小 [ms]	Ping Jitter [ms]	UL スループット [Mbps]	DL スループット [Mbps]
ローカル 5G	26.02	47.50	6.97	3.35	132	506
Wi-Fi7	13.45	159.00	4.28	10.33	294	330
Wi-Fi5	8.74	60.20	2.99	5.91	458	367



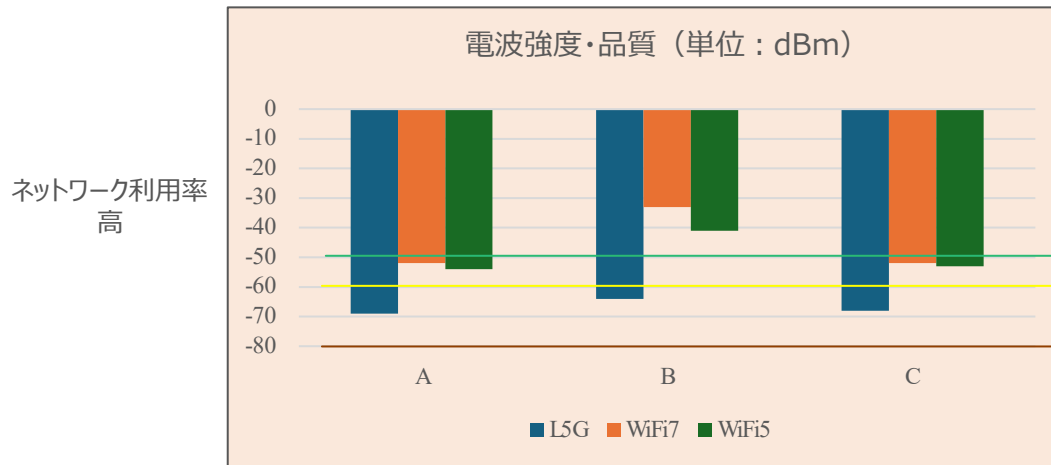
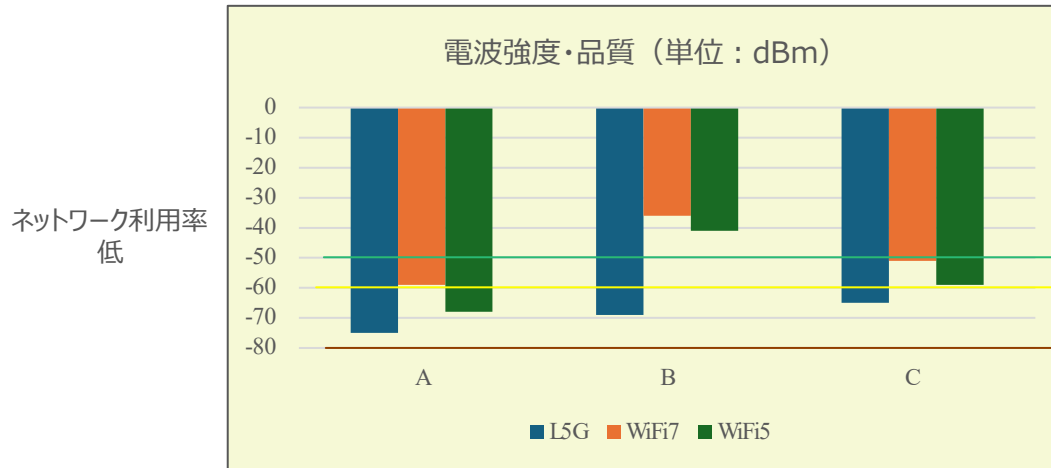
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (6 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■ ナセル内：ローカルネットワーク測定（電波強度・品質）



【結果コメント】

5G : RSRP (基準信号受信電力) -120dBm以上、Wi-Fi:RSSI (受信信号の強さ) -75dBm以上を達成した。よってナセル内は狭隘かつ強電界であり、安定した通信が期待できることを確認した。場所により、見たり目遮蔽となっても、反射や回り込みやWi-Fi利用負荷などで電波強度による差はない。発電出力が大きい洋上風力発電のナセル空間においては、ソリューションの内容、用途と併せたエリア設計をすることに留意する。

RSRPの目安 (ローカル5G)

RSRP	
-80dBm以上	良好な信号強度。安定した通信が期待できる
-90dBm	通常の通信が可能だが、若干の不安定さがあるかもしれない
-100dBm	通信が困難になる可能性があり、接続が切れることもある

RSSIの目安 (Wi-Fi) ※目安値はP48参考資料より

-50 dBm	最高	これは現実の条件下で達成できる最高の信号強度レベルです。RSSI値として-50を達成できれば、インターネット接続を完全に楽しむのに全く問題ありません。
-60 dBm	非常に良い	完璧ではないものの、RSSI値が-60であれば非常に良好です。RSSIが何かを知らないほとんどの人は、自分の信号強度がこれ以上良くなるとは思わないでしょう。
-70 dBm	良い	RSSIが-70であれば、ほとんどのオンライン活動を大きな遅延や接続切れなしに楽しむことができるはずです。時々、ビデオが通常よりも長くバッファリングすることや、ファイルのダウンロードが遅いことに気付くかもしれませんが、それが問題の全てです。
-80 dBm	低い	ここから状況が悪化し始めます。ダウンロードとアップロードの速度が大幅に低下し、それに伴い待ち時間も増える可能性が高くなります。メールの送信やWebの閲覧には問題はありませんが、オンラインゲームや高画質のビデオストリーミングを楽しむことは期待できません。

注) 左グラフ中、ローカル5GはRSRPデータ。Wi-Fi5と7はRSSIデータ

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (7 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■ (参考データ) ナセル内：VPNインターネット先での測定

ネットワーク利用率 低

測定(ローカル5G)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSRP [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式 UL	MIMO DL	変調方式 DL
	UL [Mbps]	DL [Mbps]											
A	58	487	58.294	27.60	41.644	4.30	-70	33	-11	2*2	64	4*4	64
B	74	492	57.725	28.58	41.35	4.00	-65	33	-11	2*2	64	4*4	64

測定(Wi-Fi 7)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSSI [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式	MIMO DL	変調方式
	UL [Mbps]	DL [Mbps]											
A	206	114	315.94	19.48	46.23	21.40	-69						
B	143	130	229.29	19.51	46.07	21.40	-55						

測定(Wi-Fi5)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSSI [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式	MIMO DL	変調方式
	UL [Mbps]	DL [Mbps]											
A	266	318	150.11	18.34	36.27	3.40	-61						
B	243	488	115.87	19.10	33.82	2.60	-45						

- 【結果コメント】
- ・VPNインターネット先との接続ということでスループットは低下するものの、目標とする35Mbpsは確保している。
 - ・ローカル5Gは、準同期パターンの選択等でアップリンクを変えることが可能であり、現状では問題ない。
 - ・ここではWi-Fi5のjitter値がかなり良い結果となったが、pingMaxを比較するとWi-Fi 5では150msのため、ブレ幅は大きく、ローカル5Gが安定して優れていることには変わりなかった。

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (8 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■ (参考データ) ナセル内：VPNインターネット先での測定

ネットワーク利用率 高

測定(ローカル5G)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSRP [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式 UL	MIMO DL	変調方式 DL
	UL[Mbps]	DL[Mbps]											
A	45.6	346	64.685	25.77	41.753	4.20	-68	33	-11	2*2	64	4*4	64
B	56	342	64.547	27.83	41.223	4.10	-70	32	-11	2*2	256	4*4	256

測定(Wi-Fi7)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSSI [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式	MIMO DL	変調方式
	UL[Mbps]	DL[Mbps]											
A	189	463	172.587	19.15	40.409	17.50	-67						
B	104	489	217.847	19.63	45.677	21.60	-41						

測定(Wi-Fi5)

測定ポイント	スループット(libre)		pingMax [ms]	pingMin [ms]	ping [ms]	jitter [ms]	RSSI [dBm]	SINR [dB]	RSRQ [dB]	MIMO UL	変調方式	MIMO DL	変調方式
	UL[Mbps]	DL[Mbps]											
A	107	374	153.274	18.38	35.607	11.70	-57						
B	189	390	170.538	18.78	36.243	11.60	-33						

- 【結果コメント】
- ・Wi-Fi通信に負荷をかけたことで変化はあるものの、目標とする条件はクリアしている。
 - ・Wi-Fi5と7の差が大きくなることについては接続する端末数が多いこと、環境、条件差が出にくいケースと考える。
 - ・ここでもローカル5Gのjitterは変わらず優位性を保っている。

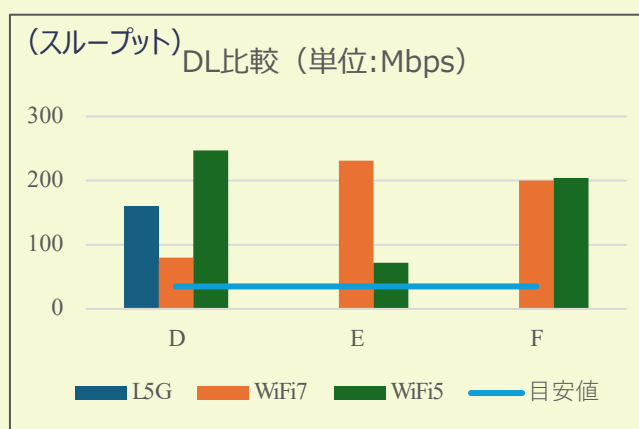
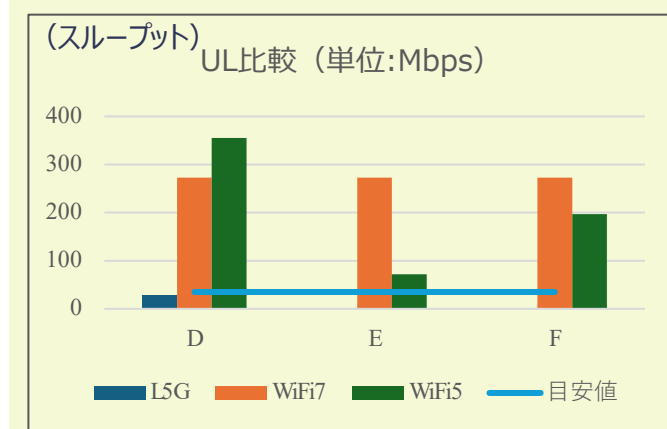
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (9 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

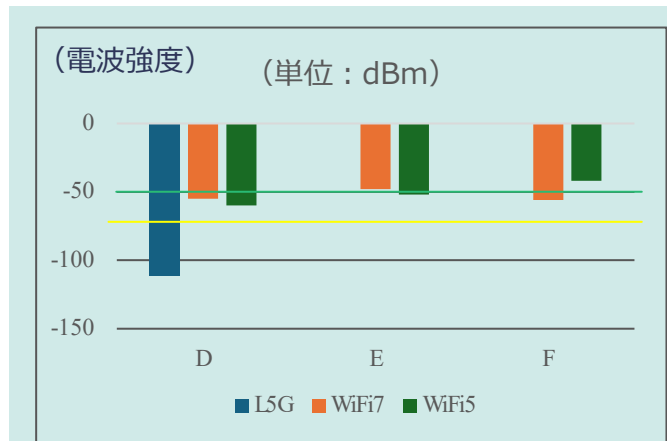
■ タワー内：ローカルネットワーク測定 (スループット、電波強度)



【結果コメント】

タワー内はローカル5Gエリアではなく、電波が漏れ及ぶ程度のため、ナセル近接箇所のみ通信ができる程度である。

Wi-Fiについて、タワー中間部 E ではWi-Fiに7に軍配が上がったが、DとFはほぼ同等で良い通信速度が得られている。



【結果コメント】

ローカル5Gはエリアではないものの、インターネットに繋がる限度値ぎりぎりの電波強度を示した。

Wi-Fiはある程度スループットが出ている結果の通り非常に良いRSSI値を示している。陸上風車タワー内でも携帯電話は繋がらないがWi-FiでのIP通信で通話することが可能である。

注) グラフ:ローカル5GはRSRP値、Wi-FiはRSSI値

RSSIの目安 (Wi-Fiの電波強度について)

※目安値はP48参考資料より

-50 dBm	最高	現実の条件下で達成できる最高の信号強度レベルです。RSSI値として-50を達成できれば、インターネット接続を完全に楽しむのに全く問題ありません。
-60 dBm	非常に良い	完璧ではないものの、RSSI値が-60であれば非常に良好です。RSSIが何かを知らないほとんどの人は、自分の信号強度がこれ以上良くなるとは思わないでしょう。

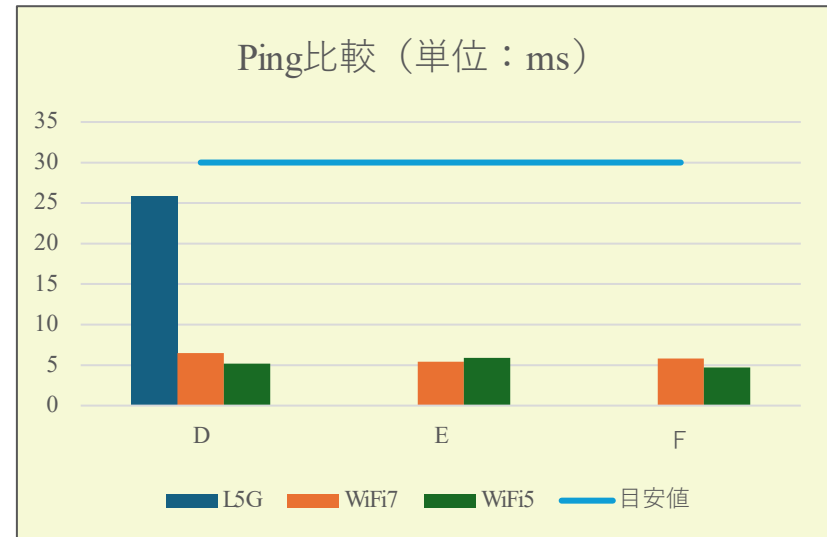
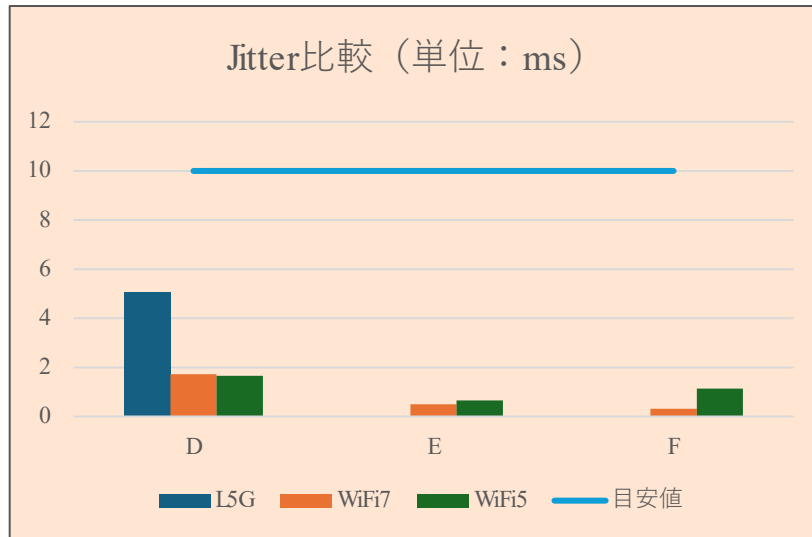
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (10 / 32)

【検証結果詳細】

ナセル／タワー内での通信範囲・速度・遅延について、通信状態を検証

■タワー内：ローカルネットワーク測定 (Jitter、Ping)



【結果コメント】

- ・タワー内はローカル5Gのエリアではないが、通信可能箇所においては、ナセル内ローカル5Gエリアと同等の結果を示した。
- ・Wi-Fiは共に大変良好な結果を示した。狭隘かつ強電界エリアであることが理由となるが前述の通り携帯電話が繋がらない空間でのIP通信が提供されるメリットは大きいと考える。

Jitterの目安

※目安値はP48参考資料より

Jitter値	安定性
0～5ms	おおむね安定
6～10ms	やや安定
11～20ms	基準よりやや高め
21～50ms	やや不安定
51ms～	不安定

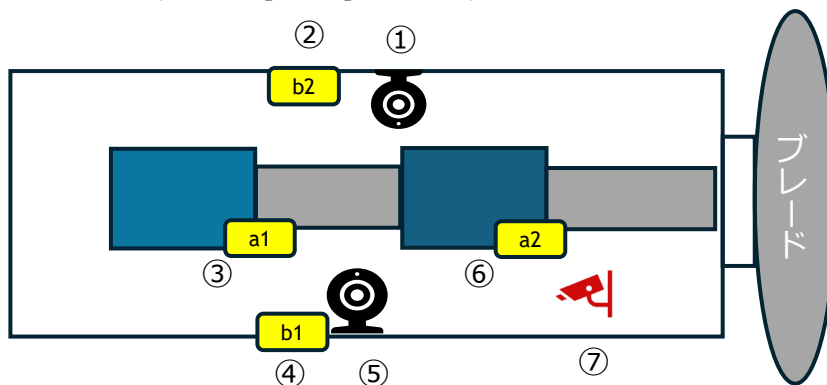
IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (11 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
通信利用による 現地作業効率 ・ナセル内運転制御用 機器へ影響	ローカル5GやWi-Fiによる無線通信が、発電の監視・制御に影響がないことで、点検保守業務効率化に無線通信が寄与できることを確認	本実証で使用する制御用機器最大7台に対してナセル内事業用機器に対する干渉0件	事業用機器に対する干渉は0件であった。通信機器の電波等が発電設備へ影響を与えていないかについて、一定間隔で取得される、風速対発電量のログなどを発電事業者にて確認し、問題はなかった。併せて、通常のアラームと異なる事象等もなく、問題はなかった。よって風車が稼働中でもカメラの遠隔操作は支障なく行え、サーモカメラ、センサーデータについても正常にデータ取得でき、欠落なく保管されていることを確認した。風車停止時の点検作業環境下におけるコミュニケーションツールについては、ナセル以外にエレベータ乗降階（P41中間Eポイント付近）設置のWi-Fiアクセスポイントを利用したスマートグラスのテストも行い、正常に動作することを確認した。	通信とソリューションの複合条件下での利用について問題はなかったため実装可能と判断する。 実証期間中、落雷による風車の停止が発生したが、その際に通信機器の一部故障が発見された（Wi-Fiアクセスポイント1台、ローカル5G基地局）。AC100Vの電源系統に対するサージキラー対策と、通信系LANポート等に対するサージキラー対策が有効であると考えられる。将来の洋上風力発電において、上記の対策はもちろん、電源供給部分での対策実施も反映したいと考える。関係者にヒアリングしながら継続して検討する。

■ (一部再掲) センサー機器 (7台) の場所



番号	機器名
①	PTZカメラ1
②	環境センサー
③	振動センサー
④	環境センサー
⑤	PTZカメラ2
⑥	振動センサー
⑦	サーモカメラ

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (12 / 32)

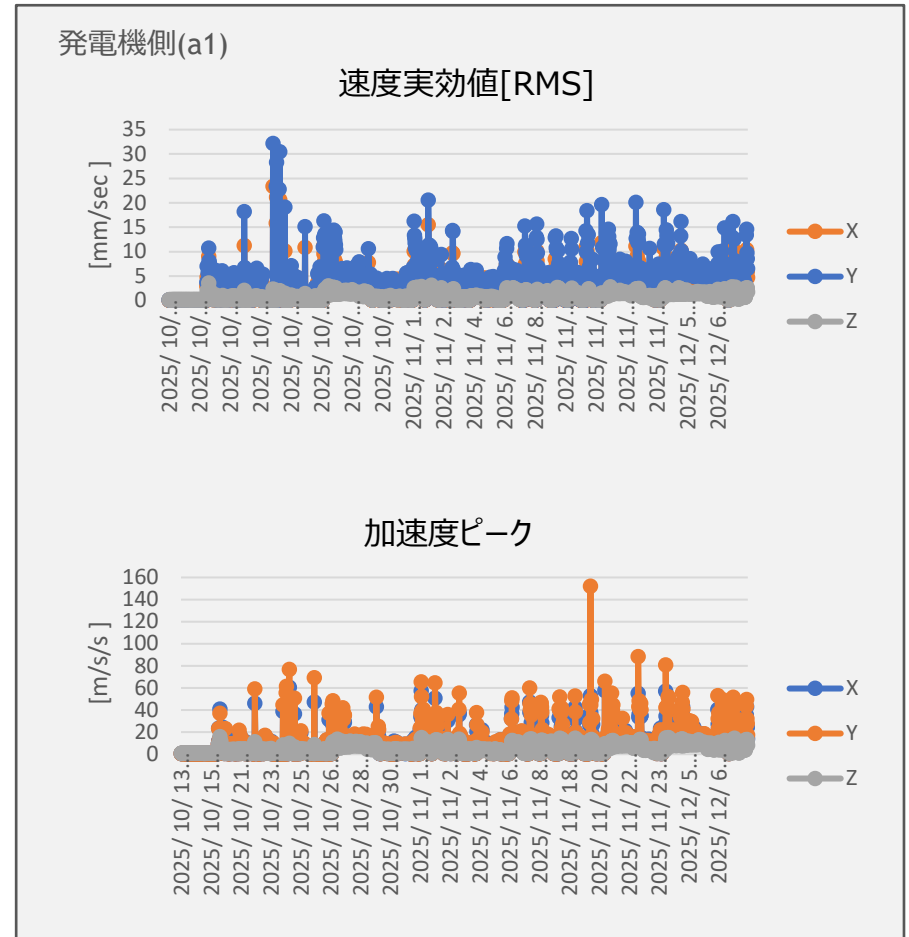
[検証結果詳細]

ナセル内運転制御用機器へ影響

(参考) 風車稼働状況 (10分平均の発電量・風速データ)



(参考) 振動センサー：データ連続取得状況 (約2カ月分)



(参考) 環境センサー：データ連続取得状況 (約2カ月分)



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (13 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
通信利用による 現地作業効率 ・遠隔で損傷箇所の 状況を確認する際の 映像品質	項目	目標	a. 効果面でも記載の通り、カメラの画角とPTZ動作範囲内においてその動作と機器仕様通りの要件を満たしていることを確認できた。ナセル内状況を、リアルタイム映像が途切れたりフリーズしないで確認できている。 解像度に応じたデータ通信は問題なく、目視映像確認ができた。現状PTZカメラは2台分（約10Mbps）のデータが流れても、前掲の通りスループットが十分確保されているため、支障はなかった。 操作と映像確認は、PCとカメラをVPN接続してWebアクセスにて行う。メーカー提供のUIで操作は問題なく、設定も自由に変更ができた。カメラ可動範囲を操作し、ナセル後部以外は網羅していることを確認した（ナセル後部は四足歩行ロボットで対応する前提で問題ない、P51参照）。夜間はIR機能を動作させることになるが、その操作方法もカメラ側UIによりわかりやすく容易に操作ができて目視確認できることを確認した。	PTZカメラによる現状の通信トラヒックでは問題ないが、インターネット回線の利用にて通信状況が変化しても、ブラウザ表示側で画像レートを調整することができるため目視確認には支障はない。つまりどこからでもナセル内の状況が確認できることで、保守の初動体制が取りやすくなる。 今後、AI検知機能などカメラの機能を活かすこともを野に入れ、事象認知が速やかになり、正確な状況確認ができることで実装効果がさらに高まると考える（他センサー情報との突合せ、俯瞰、冗長による効果も期待できる）。 カメラ映像について、明暗の差が大きいとき、IR操作が必要であるが、遠隔でON/OFFできるナセル内照明を追加することなども今後の対応として視野に入れる。 また、風車の稼働状態について、風速が大きいときに発電されている場合、ナセル自体の振動が大きく、躯体に直接取り付けられたカメラでも若干の振動が見られた。状況監視として実証期間内では問題なかったが、実装導入時には固定方法は留意点となる。
	PTZカメラの遠隔操作により昼夜問わずナセル内の機器等の外観、室内の状況が把握できることを確認	IR、PTZ機能が遠隔操作にて的確に動作し、カメラの解像度に対応したデータ通信が行われ目視映像確認が可能であることを確認（データレート1～5Mbps／1台あたり）		

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (14 / 32)

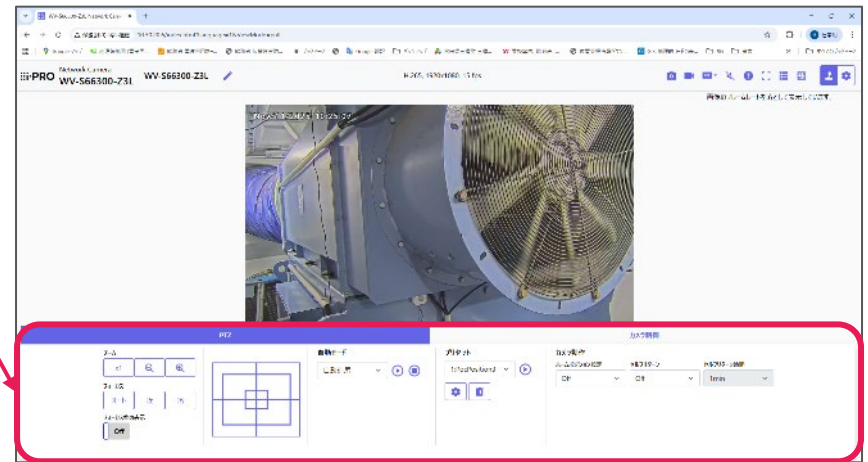
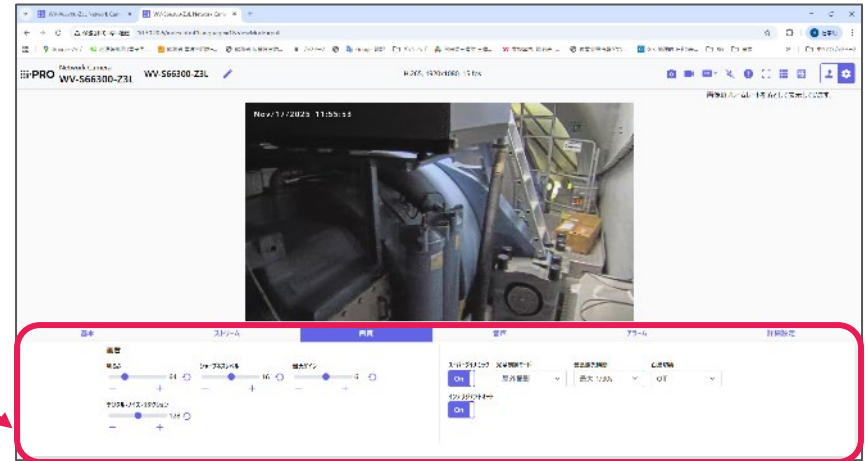
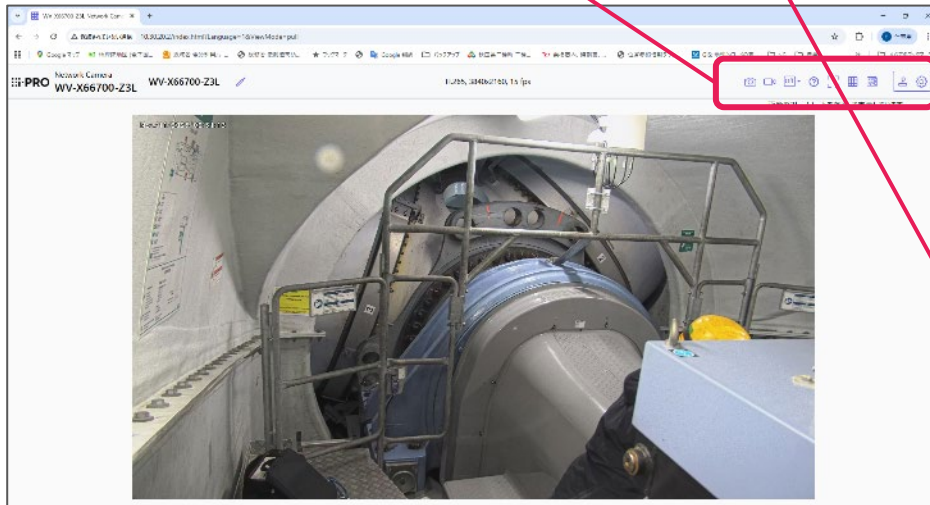
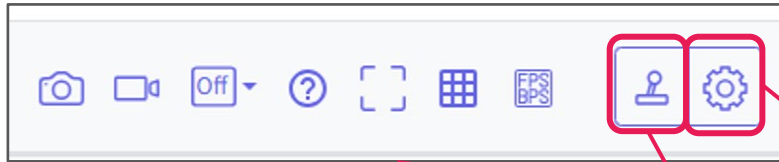
【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ PTZカメラ操作制御画面について

- ・カメラ側ブラウザUIにより簡単に、直感的に操作
- ・見たい場所をメモリーして、選択してカメラ向きを変えられる
- ・IRについては日没時間帯を考慮したタイマー動作とした（消費電力抑制）

PTZ操作 画質操作



② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (15 / 32)

【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ ナセル内の状況について (明るさ、その他)

- ・通常、ナセル内は消灯していて、保守点検等で風車停止にて人が入る際に照明が点灯される。
- ・本実証の風車では、照明のON/OFFを遠隔制御できないため、PTZカメラにはIRが必要となる。
- ・本実証の風車では、屋外へ出るためのハッチが透過型で、明かり取りが可能となっているが、日照状況と風向きにより、ナセル内の明るさは変化する。
- ・プレート側が明るいが、後方排気口側は日中でも暗いため、IR機能もしくは白黒への切り替えが必要である。
- ・発電稼働中でブレードが回転している場合や、風速が8m/s以上あるとナセル内はかなり揺れる (体感差はあるが、意識して立っていないといけない)。



同日
同時
間



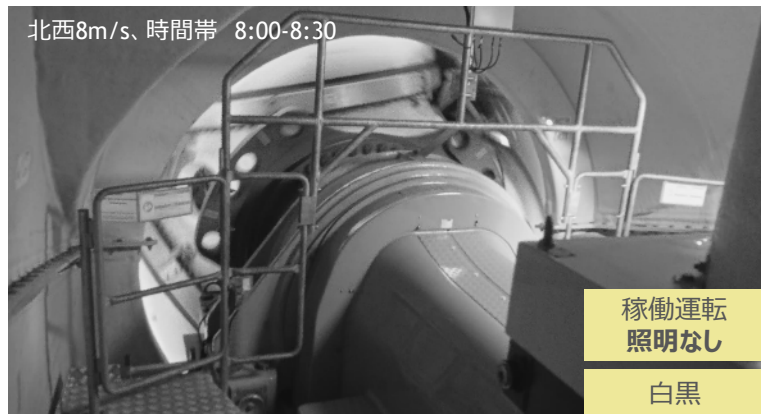
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (16 / 32)

【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ PTZカメラ1 明暗画像確認



② 検証項目ごとの結果

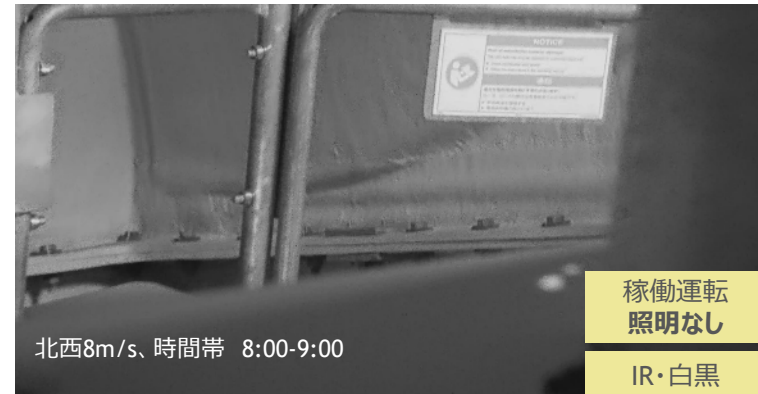
b. 技術面 (17 / 32)

【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ PTZカメラ 1 ズームを最大化した際の画像確認 (銘板等の認識が可能)

細かい文字の読取りには限度があるものの、ねじ等の部品について、カラーとIR・白黒は判別できる。



② 検証項目ごとの結果

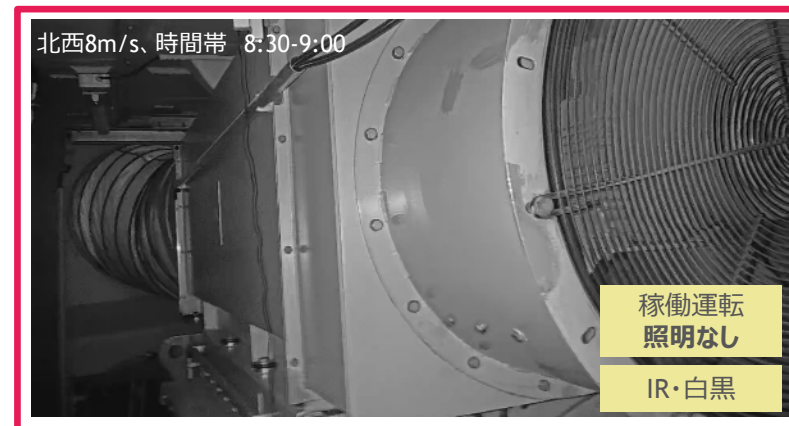
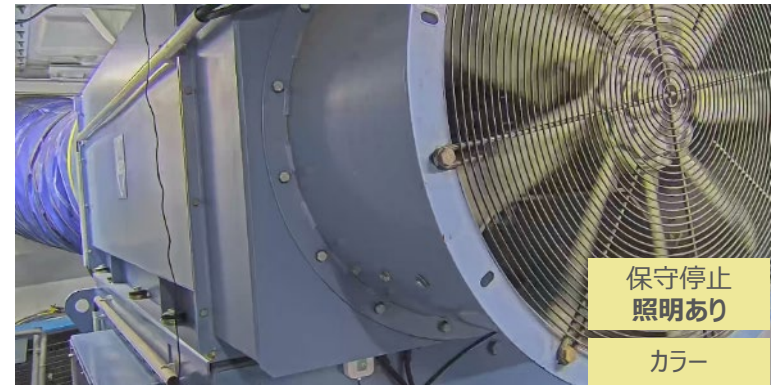
b. 技術面 (18 / 32)

【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ PTZカメラ2 明暗画像確認

光透過天窓より奥方向について、明かりがないところでは、白黒、白黒+IRの視認性が良いことがわかる (※1)



(※1)

② 検証項目ごとの結果

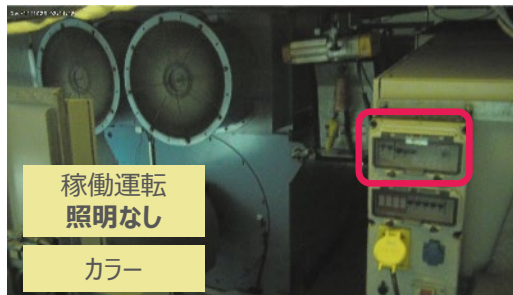
b. 技術面 (19 / 32)

【検証結果詳細】

遠隔で損傷箇所の状況を確認する際の映像品質

■ PTZカメラ 1 ズームを最大化した場合の画像確認 (ブレーカーがONかOFFかの状態確認が可能)

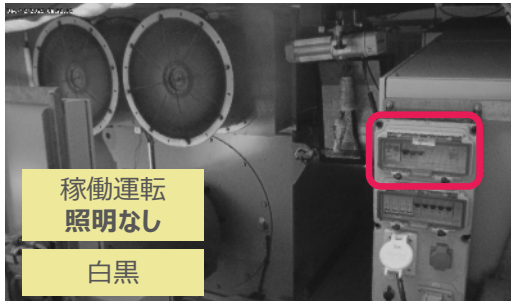
カメラの揺れでピントが合わせにくい
が概ね確認できる。



拡大



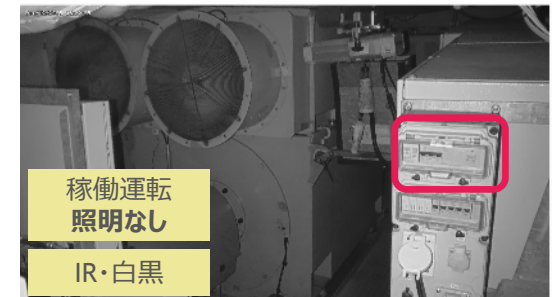
カラーよりはピントが合わせやすいが
判別についてはカラーと大差がない



拡大



カメラは揺れているもののブレーカーの
状況と文字も良く確認できる。



拡大



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (20 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <p>・サーモカメラ／定点カメラ／センサーによる異常検知</p>	<p>センサーを取り付けた場所から通信により確実にデータが取得されること</p>	<p>センサーによる通信データ取得率90%以上</p>	<p>センサーによる通信データ取得率は100%であった。 (確認期間は10月上旬から12月上旬の約2カ月間)</p> <p>・カメラ関係は都度アクセスで確認して問題なし。 ・環境センサー5分間隔でダッシュボード上から確認可能。 P82参照</p> <p>・振動センサー30分間隔でリモートPC上保管確認可能。 P84参照</p> <p>SCADAデータと照らし合わせるため、測定データを事業者へ提示して確認。異常な値はなかったため、平常時の値として評価頂き問題はなかった。</p>	<p>データの取得について、デバイスで設定できる最短間隔で取得サイクルを回した結果、試験期間中で保守停止と落雷故障時以外にデータ取得が停止することはなかった。安定してデータ取得をすることができ、傾向管理を継続することが可能である。落雷について故障した機器の原因解明を行いつつ、サージプロテクタ等の対策を実施する。</p> <p>振動センサーについて、現状データ処理は手動だが、今後はどのような頻度と内容で自動グラフ化処理するのが良いかなど、点検事業者等と検討する必要がある。</p>

環境センサー設置状況



搭載センサー	CO2 (PASens®方式) 温度、湿度
CO2 計測可能範囲	0~40,000ppm
計測間隔	1分 (クラウドへの送信は5分ごと)
通知間隔	閾値と通知までの継続時間 (分) を設定可能
電源	5V 1A (USB Micro Bポートより供給)
動作環境	温度: 0~40°C、湿度: 10~90%

- ・制御盤内と室内の2カ所に設置
- ・ダッシュボード確認と通知が可能

振動センサー設置状況



検出加速度	±160m/sec ²
検出軸	3軸 (X,Y,Z)、合成値
応答周波数	0~1000Hz
サンプリングレート	3,200Hz
A/D分解能	13bit
消費電流	100mA
使用可能温度	-10~60 (設計値)

- ・回転軸付近へ2個設置 (強力磁石)
- ・Wi-Fiにて、30分間隔でナセル内PCへ保管
- ・リモートデスクトップ接続によりデータ取得して解析ツールにて処理する

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (21 / 32)

【検証結果詳細】

(参考) 測定内容について (環境センサー、振動センサー)

※ 環境センサーダッシュボード表示例 (1) 約2カ月間継続取得

再掲

2025/10/5 9:25 ~ 2025/12/8/ 9:25



2025/11/17 のみ、落雷による周辺機器故障でデータ欠落

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

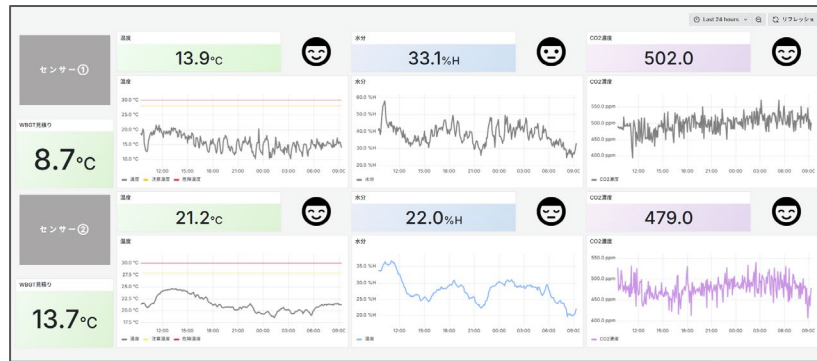
b. 技術面 (22 / 32)

【検証結果詳細】

(参考) 測定内容について (環境センサー、振動センサー)

※ 環境センサーダッシュボード表示例 (2) 1日、2日、7日、30日間

過去24時間



過去2日



過去7日



過去30日



② 検証項目ごとの結果

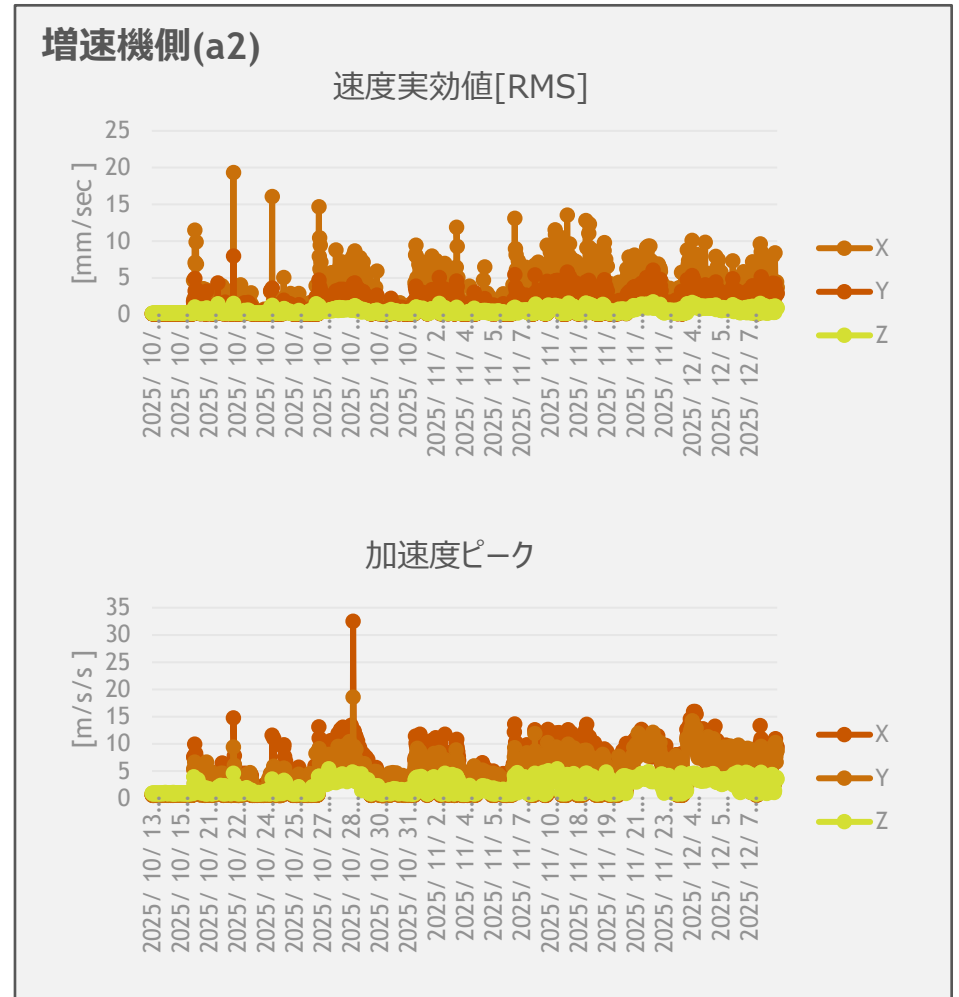
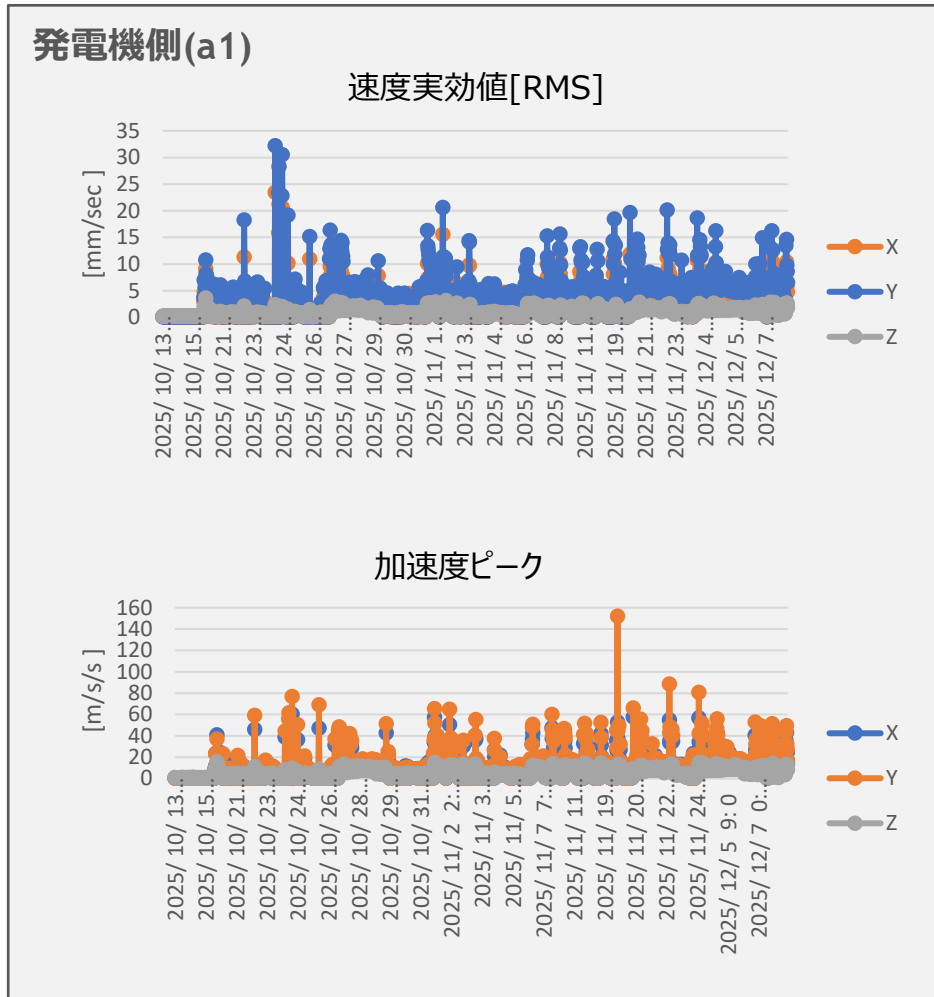
b. 技術面 (23 / 32)

【検証結果詳細】

(参考) 測定内容について (環境センサー、振動センサー)

※ 振動センサー表示 (例: 加速度) 2025/10/13 ~ 2025/12/8 30分間隔継続取得

一部再掲



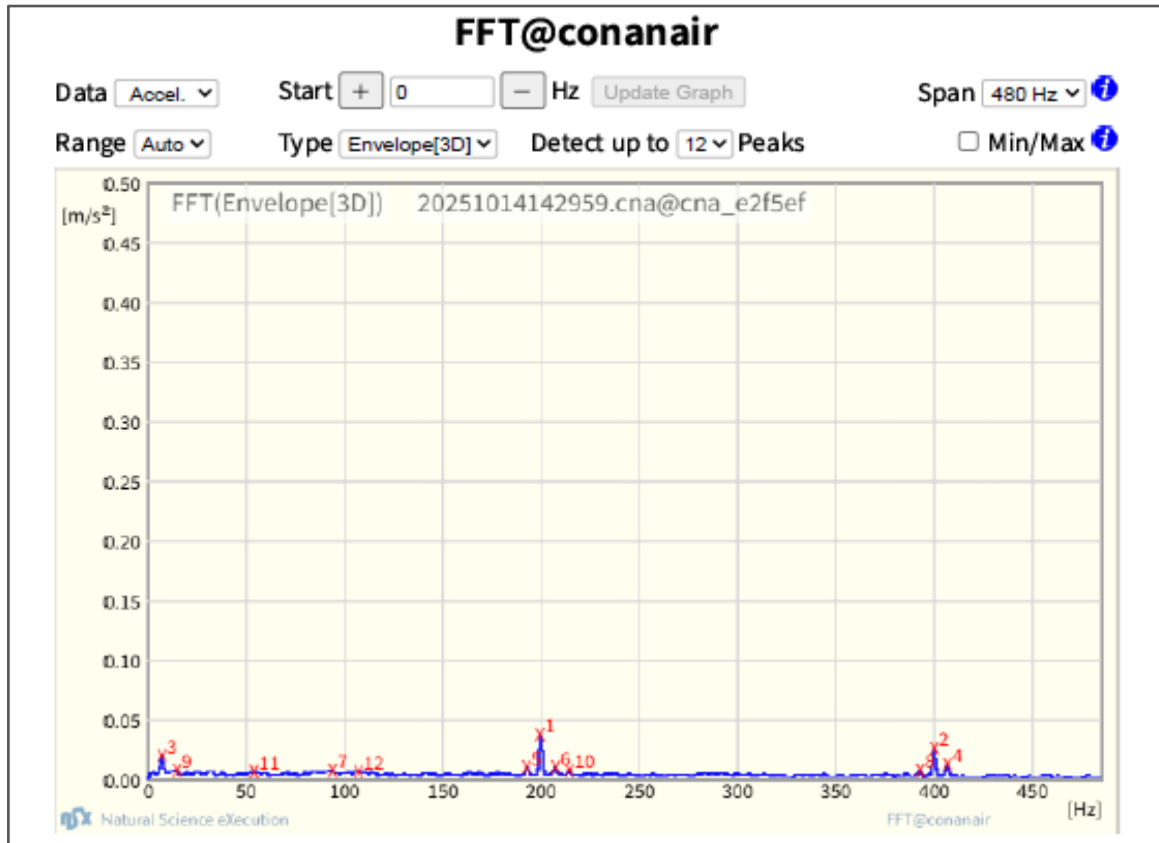
② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (24 / 32)

【検証結果詳細】

(参考) 測定内容について (環境センサー、振動センサー)

※ 振動センサー表示 (例: 任意抽出ポイントのFFT解析)



File info: 20251014142959.cna
[cna_e2f5ef, $F_{error} = -0.20\%$ (corrected)]

Top 12 Peaks between
1.566 Hz and 485.346 Hz

#	Frequency [Hz]	Intensity [m/s ²]		
		Min.	Ave.	Max.
1	199.618	0.035	0.040	0.045
2	400.019	0.025	0.029	0.036
3	7.045	0.012	0.021	0.030
4	407.064	0.010	0.015	0.023
5	192.573	0.001	0.012	0.021
6	207.446	0.004	0.011	0.019
7	93.938	0.003	0.010	0.015
8	392.974	0.005	0.010	0.016
9	14.874	0.003	0.009	0.015
10	214.492	0.002	0.009	0.015
11	54.014	0.005	0.009	0.012
12	107.246	0.003	0.009	0.016

show Summary

	Accel. [m/s ²]		Velocity [mm/s]	
	Peak	RMS	Peak	RMS
X	0.512	0.070	0.419	0.090
Y	0.646	0.115	0.559	0.143
Z	0.804	0.136	0.762	0.180
3D	0.927	0.191	0.791	0.247

グラフで、異常な周波数ピークがないか確認できる。

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (25 / 32)

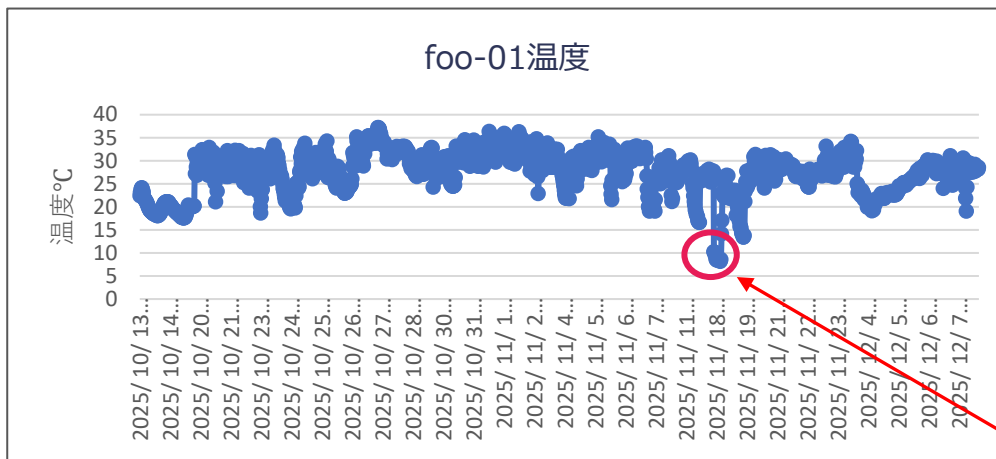
【検証結果詳細】

(参考) 測定内容について (環境センサー、振動センサー)

※ 振動センサー表示 (例: 取付け面温度) 2025/10/13 ~ 2025/12/8

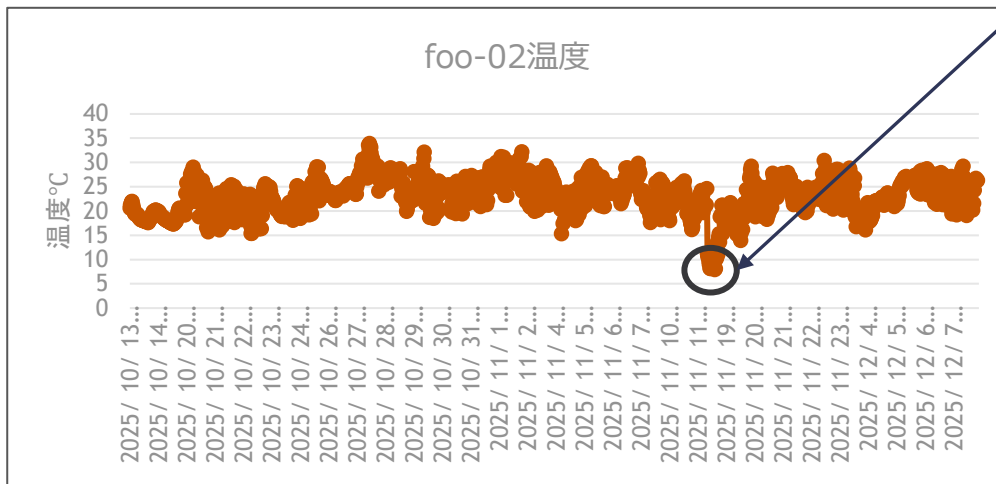
発電機側

(a1)



増速機側

(a2)



2025/11/17 のみ、落雷による周辺機器故障でデータ欠落
※ 温度センサーと同じ傾向を示している。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (26 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施 ・撮影したメーター等の計器類に対し、AI画像解析によるデータ化が可能	項目	目標	AIによる計器・デジタルパネルのデータ化精度に関する技術検証として、ロボットに搭載したカメラで取得した画像を用い、AIによる数値判読及びデータ化の正確性を検証した。 検証は合計80回実施し、その結果、80回中79回で正しい数値を取得できた。 この結果、AIによるデータ化精度は95%以上であることを確認し、設定した定量目標を達成した。 なお、誤判読が発生したケースについては、撮影距離や撮影角度、表示面の反射など、撮像条件が適切に確保できていない状況に限られており、AI処理ロジック自体に起因する誤動作は確認されなかった。	本実証では、AIによるデータ化精度95%以上という定量目標に対し、回数ベースでの検証結果を取得した。試行回数及び成功回数が明確であることから、本実証結果は、目標値を評価するために十分な水準であったと判断できる。 また、95%以上という目標値は、実運用においてAI判読結果を業務データとして利用することを想定した場合に、再確認や補完作業を最小限に抑えられる水準として妥当な設定であったと考えられる。 本実証結果は、その目標値を満たしており、技術的な成立性を確認できた。一方、誤判読が発生したケースは、撮像条件に起因するものであり、想定外の挙動ではない。 撮影距離や角度、反射対策といった撮像条件を運用上のルールとして整理することで、実運用においても安定して目標精度を維持できる見通しである。
	AIにより作業員が目で読取り、データ化している作業時間の削減	AIによるデータ化精度95%以上		

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (27 / 32)

【検証結果詳細】

AI判読が成立した技術条件整理表

観点	技術条件	備考
撮影距離	適正距離を確保	近すぎ・遠すぎ不可
反射	表示面に反射なし	照明条件に依存
表示状態	文字輪郭が明瞭	ノイズなし
判読対象	デジタル／アナログ計器	実証対象
処理方式	画像解析 + AI判読	実証構成

ロボット搭載カメラによる遠隔取得画像



AI判読結果



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (28 / 32)

【検証結果詳細】

処理性能ログ

画像	温度 (正解)	湿度 (正解)	温度 (AI解析)	湿度 (AI解析)	解析時間	画像	カウンター (正解)	カウンター (AI解析)	解析時間
WIN_20251113_13_50_16_Pro.jpg	19.2	50	19.2	50	5.943	WIN_20251113_14_03_17_Pro.jpg	16	16	8.659
WIN_20251113_13_51_44_Pro.jpg	19.3	50	19	50	4.716	WIN_20251113_14_03_18_Pro.jpg	16	16	9.482
WIN_20251113_13_52_06_Pro.jpg	19.3	50	19.3	50	5.452	WIN_20251113_14_03_19_Pro.jpg	16	16	4.372
WIN_20251113_13_53_50_Pro.jpg	19.4	49	19.4	49	5.963	WIN_20251113_14_03_23_Pro.jpg	16	16	3.972
WIN_20251113_13_53_51_Pro.jpg	19.4	49	19.4	49	4.896	WIN_20251113_14_03_24_Pro.jpg	16	16	4.323
WIN_20251113_13_53_52_Pro.jpg	19.4	49	19.4	49	5.436	WIN_20251113_14_03_25_Pro.jpg	16	16	4.965
WIN_20251113_13_53_53_Pro.jpg	19.4	49	19.4	49	6.964	WIN_20251113_14_03_26_Pro.jpg	16	16	12.594
WIN_20251113_13_54_32_Pro (2).jpg	19.5	49	19.5	49	7.014	WIN_20251113_14_03_31_Pro.jpg	16	16	8.092
WIN_20251113_13_54_32_Pro.jpg	19.5	49	19.5	49	8.145	WIN_20251113_14_03_32_Pro.jpg	16	16	8.968
WIN_20251113_13_54_53_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	8.354	WIN_20251113_14_03_33_Pro (2).jpg	16	16	9.405
WIN_20251113_13_54_59_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	7.106	WIN_20251113_14_03_33_Pro.jpg	16	16	7.26
WIN_20251113_13_55_11_Pro (2).jpg	19.6	49	19.6	49	9.66	WIN_20251113_14_03_34_Pro.jpg	16	16	8.315
WIN_20251113_13_55_11_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	6.582	WIN_20251113_14_03_35_Pro (2).jpg	16	16	8.045
WIN_20251113_13_55_12_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	9.967	WIN_20251113_14_03_35_Pro.jpg	16	16	10.518
WIN_20251113_13_55_20_Pro (2).jpg	19.6	49	19.6	49	8.724	WIN_20251113_14_03_57_Pro (2).jpg	16	16	8.17
WIN_20251113_13_55_20_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	6.97	WIN_20251113_14_03_57_Pro.jpg	16	16	4.471
WIN_20251113_13_55_22_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	8.792	WIN_20251113_14_03_58_Pro (2).jpg	16	16	4.722
WIN_20251113_13_55_35_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	5.149	WIN_20251113_14_03_58_Pro.jpg	16	16	4.509
WIN_20251113_13_55_41_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	5.818	WIN_20251113_14_03_59_Pro (2).jpg	16	16	4.593
WIN_20251113_13_55_47_Pro.jpg	19.6	49	19.6	49	4.059	WIN_20251113_14_03_59_Pro.jpg	16	16	4.052

AI解析ログ (LCDパネル)

画像	赤LED (正解)	緑LED (正解)	赤LED (AI解析)	緑LED (AI解析)	解析時間
WIN_20251113_14_18_41_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	2.734
WIN_20251113_14_19_11_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	5.06
WIN_20251113_14_19_12_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	5.629
WIN_20251113_14_19_13_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	4.908
WIN_20251113_14_19_14_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	5.195
WIN_20251113_14_19_14_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	4.179
WIN_20251113_14_19_15_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	4.638
WIN_20251113_14_19_16_Pro (2).jpg	-19	754683	-19	754683	3.649
WIN_20251113_14_19_16_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	3.403
WIN_20251113_14_19_17_Pro (2).jpg	-19	754683	-19	754683	3.551
WIN_20251113_14_19_17_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	3.515
WIN_20251113_14_19_18_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	3.668
WIN_20251113_14_19_19_Pro (2).jpg	-19	754683	-19	754683	4.156
WIN_20251113_14_19_19_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	3.15
WIN_20251113_14_19_20_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	2.403
WIN_20251113_14_19_37_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	2.365
WIN_20251113_14_20_27_Pro (2).jpg	-19	754683	-19	754683	3.955
WIN_20251113_14_20_27_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	3.598
WIN_20251113_14_20_29_Pro (2).jpg	-19	754683	-19	754683	2.013
WIN_20251113_14_20_29_Pro.jpg	-19	754683	-19	754683	2.069

AI解析ログ (LEDパネル)

AI解析ログ (ミニLCD)

本実証により、撮影距離や反射の有無など、一定の撮像条件を満たした場合において、AIによる計器・メーターの判読が安定して実行可能であることを確認した。また、処理時間についても複数回の実行において大きなばらつきはなく、実運用を見据えた再現性を有する可能性が示された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (29 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <p>・撮影したメーター等の計器類に対し、AI画像解析によるデータ化が可能</p>	<p>項目</p> <p>ロボットにて落雷等での発電停止時に作業員が現地風車に出向き行っている点検時間の短縮</p>	<p>目標</p> <p>必要となる不定期点検項目に対しロボットカバー率100%</p>	<p>不定期点検項目に対するロボット対応の技術検証として、発電停止時や異常発生時に想定される点検項目を整理し、それぞれについてロボットによる対応可否を検証した。</p> <p>その結果、対象としたすべての不定期点検項目について、ロボットに搭載したカメラ映像及び遠隔操作により点検・確認が可能であることを確認した。</p> <p>本実証で想定した不定期点検項目に対するロボットカバー率は100%であった。</p> <p>なお、各点検項目については、点検対象の視認性、カメラ位置の調整可否、遠隔操作時の動作安定性を確認しており、技術的な制約により対応不可となる項目は確認されなかった。</p>	<p>本実証では、不定期点検項目に対しロボットが技術的にどこまで対応可能かを評価した。対象としたすべての点検項目においてロボットによる点検・確認が可能であったことから、本実証は、ロボットカバー率100%という定量目標を評価するために十分な水準であったと判断できる。</p> <p>また、不定期点検項目は、発生頻度や対象箇所が一定でないことから、事前にすべてを定型化することが難しい。そのような条件下においても、カメラ映像による視認性確保や遠隔操作による位置調整が可能であったことは、実運用を見据えた場合にも技術的な成立性が高い結果であったと考えられる。</p> <p>本実証結果は、達成できれば実運用への適用可否を判断できる水準として妥当な目標設定であり、想定どおりの成果が得られたと評価できる。</p>

② 検証項目ごとの結果

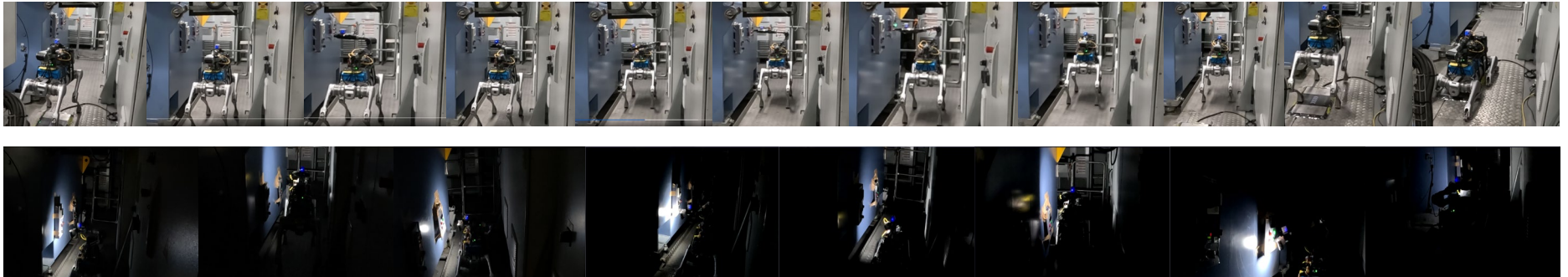
b. 技術面 (30 / 32)

【検証結果詳細】

操作結果サマリ表

操作項目	実施内容	実施結果
通路歩行	ナセル内通路を遠隔歩行	安定して実施可能
停止	任意位置で停止	指示位置付近で停止可能
位置調整	微調整 (前後左右・向き)	点検に必要な位置合わせが可能
カメラ撮影	停止状態で撮影	視認性を確保して取得可能
状態確認	点検対象を画面内に収めて確認	遠隔で状態確認が可能

四足歩行ロボット



※上記操作は、実証期間中に複数回実施し、いずれも同様の結果が得られた。

本実証により、四足歩行ロボットを遠隔操作することで、ナセル内の通路環境において安定した移動が可能であり、任意位置で停止した上で、点検に必要な視認及び位置調整を行えることを確認した。また、停止後のカメラ映像取得や点検対象の画角調整といった一連の操作についても、実証期間中に複数回実施した結果、初期点検及び現地対応を遠隔で実施するための技術的成立性が示された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (31 / 32)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <p>・四足歩行ロボットを遠隔操作し、任意の場所への移動及び操作を正確に可能</p>	<p>項目</p> <p>ロボットの遠隔操作による落雷等にて発電停止時に作業員が現地風車に出向き行っている操作時間の短縮</p>	<p>目標</p> <p>押下が必要な2種類の押しボタンの操作及び誤操作ゼロ</p>	<p>ロボットによる遠隔操作の技術検証として、押下操作が必要な2種類の押しボタンを対象に、正確な押下操作が可能かを検証した。</p> <p>検証は、落雷等による発電停止時の復旧操作を想定し、ロボットを用いた遠隔操作により実施した。</p> <p>その結果、対象とした2種類の押しボタンについて、複数回の操作検証を行ったが、いずれの検証においても誤操作は発生せず、正確な押下操作が可能であることを確認した。</p> <p>本実証においては、5回の押下操作を実施し、5回中5回すべてで正しい押下を確認したことから、押下操作及び誤操作ゼロという定量目標を達成した。</p>	<p>本実証では、ナセル内における遠隔操作のうち、特に誤操作が許容されない押下操作の成立性について技術的な評価を行った。</p> <p>2種類の押しボタンに対し、すべての検証で誤操作が発生しなかったことから、本実証結果は、操作精度及び安全性を評価するために十分な水準であったと判断できる。</p> <p>また、「誤操作ゼロ」という目標値は、実運用において求められる安全性を考慮した場合に妥当な設定であり、達成できれば実装可否を判断できる水準であったと考えられる。</p> <p>本実証結果は、ロボットによる遠隔操作が発電停止時の復旧操作といった重要な操作工程にも適用可能であることを示しており、技術的な成立性が確認されたと評価できる。</p> <p>今回は陸上風車で発電出力が小さくナセル内が狭隘であるが、ロボットは問題なく移動し作業が出来た。今後導入される大型風車は内部スペースが広く、階段等の構造も増える。そのため、将来的には4足歩行ロボットがより活動しやすい（優位性を発揮できる）環境になると考えられる。</p>

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面 (32 / 32)

【検証結果詳細】

押下操作に関する技術要件整理表

観点	技術要件	備考
操作対象	押しボタン (2種類)	実証対象
配置差異	機器ごとにレイアウトが異なる	想定条件
操作方式	ロボットアームによる押下	遠隔操作
押下精度	誤操作なく押下可能	実証結果
検証環境	実機 / 模擬ボタン	条件対応

押下対象ボタンの構造



本実証により、機器ごとに異なるレイアウトを持つ押しボタンに対して、四足歩行ロボットを遠隔操作することで、正確な押下操作が可能であることを確認した。また、実証対象風車に備わっていない操作についても、模擬ボタンを用いることで想定される操作条件下における検証を行い、誤操作なく押下できることを確認した。これらの結果から、発電停止時の復旧操作等に求められる押下操作について、遠隔操作による技術的成立性が示された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

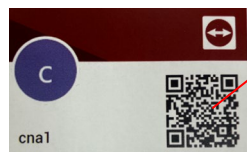
c. 運用面 (1 / 12)

ソリューション	検証ポイント	検証結果	考察				
<p>通信利用による 現地作業効率</p> <p>・遠隔支援ツールである スマートグラスによる、遠 隔地にいる熟練工から の現場作業員に対するサ ポートに関する操作感・ 作業に対する有効性を 検証</p>	<table border="1"><thead><tr><th data-bbox="385 332 625 375">項目</th><th data-bbox="625 332 878 375">目標</th></tr></thead><tbody><tr><td data-bbox="385 375 625 963">遠隔地における現地 把握の容易であること。 システム操作が容易で あり現地作業に支障が ないこと</td><td data-bbox="625 375 878 963">遠隔支援ツールとして スマートグラスを使用し、 現地での一人称作業 が滞りなく実現できるか アンケートを実施、利 用満足度70%以上</td></tr></tbody></table>	項目	目標	遠隔地における現地 把握の容易であること。 システム操作が容易で あり現地作業に支障が ないこと	遠隔支援ツールとして スマートグラスを使用し、 現地での一人称作業 が滞りなく実現できるか アンケートを実施、利 用満足度70%以上	<p>スマートグラスによる遠隔作業指示デモンストレーションを体験してもらった結果、グラス装着者視点のアンケートでは満足度92.3%となった。</p> <p>遠隔地からの支援者視点によるアンケート結果では、満足度は97%であった。</p> <p>遠隔支援者側はPCで操作を行うため、周囲にいる者もその様子を伺うことができ、アンケート以外にも多くの賛同意見が得られた。周囲に人がいる環境下であっても、その影響を受けずに円滑なコミュニケーションが可能であった。グラス装着側については、風車が停止した状態のナセル内において、装置の固有音（換気ファン等）が発生していたものの、影響なく相互の情報伝達およびコミュニケーションが行っていた。</p>	<p>現地情報を容易に把握・共有できることが確認され、満足度も高い結果となった。また、安全性の向上や作業効率化に寄与するという意見も得られている（メガネや保護グラスとの併用も可能）。</p> <p>本スマートグラスのバッテリーは、通常使用で6～8時間の運用が可能とされているが、今回の実証では、多様な機能を利用したことにより、一定時間ごとに残量を確認する必要が生じた。そのため、運用にあたっては予備バッテリーの準備が必要なケースもあると推察される。また、デバイスの設定にはQRコードを用いるため、グラス本体とあわせて用意しておく必要がある（下記写真参照）。導入費用およびランニングコストはライセンス数に依存するため一概には言えないが、グラスの台数は最低限に抑え、利用頻度を考慮した上で適切に配備すべきである。</p>
項目	目標						
遠隔地における現地 把握の容易であること。 システム操作が容易で あり現地作業に支障が ないこと	遠隔支援ツールとして スマートグラスを使用し、 現地での一人称作業 が滞りなく実現できるか アンケートを実施、利 用満足度70%以上						

再掲



起動設定時
スマートグラスの
カメラでQRコード読み取り



バッテリー残量表示 & 表示ボタン

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (2 / 12)

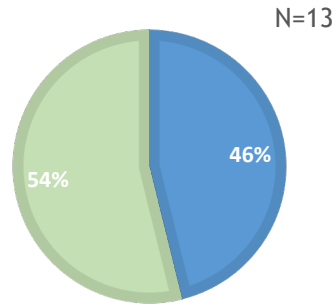
【検証結果詳細】

スマートグラス装着者（現場作業側）の評価利用アンケート調査結果

アンケート回答：13

作業指示や情報共有はスムーズか

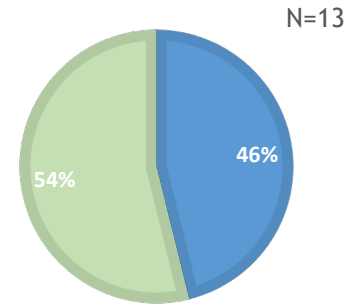
■非常に満足 ■満足



CSAT : 100%

ハンズフリー作業のメリットを感じられるか

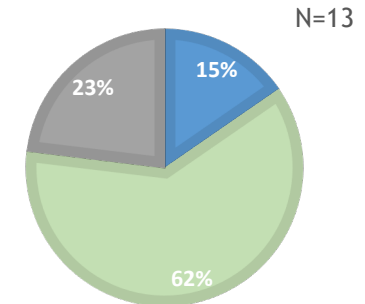
■非常に満足 ■満足



CSAT : 100%

グラスの装着感はどうか（フィット感、重さなど）

■非常に満足 ■満足 ■普通



CSAT : 77%

検証シナリオとして、指示者が現場のキャプチャ画面にしたりテキストを記入して共有する機能を活用した。この機能により、指示を確実に伝えることが可能となる。細部においては、図示の色、文字の大きさ、画面の注視方法、あるいは利き目（右目・左目）への対応など、ツールとしての習熟が求められる点もあるが、いずれも習得は容易であり、指示や情報共有における支障にはならなかった。但し、眼鏡使用者への対応については、事前に確認しておくことが望ましい。

音声コマンドの精度が高く、実用性を感じられるという意見に代表される通り、両手が自由になる（ハンズフリー）ことは、作業の確実性、安全性、及び作業効率を向上させる上で不可欠である。

デバイスの重量に関しては、全く支障がないとの評価を得た。ヘルメット装着時のフィット感を懸念する意見もあったが、ヘルメットの形状に適したクリップを用いて固定することで解消可能である。また、グラスのカメラを視界から外す際にアームを動かす動作についても、スムーズな作業継続を妨げないよう、運用上の配慮が必要であると考えられる。

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (3 / 12)

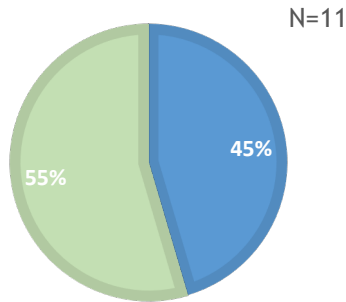
【検証結果詳細】

遠隔監視室側 (熟練指導者側) の評価利用アンケート調査結果

アンケート回答 : 11

カメラ映像から現地の状況が把握できましたか

■非常に満足 ■満足

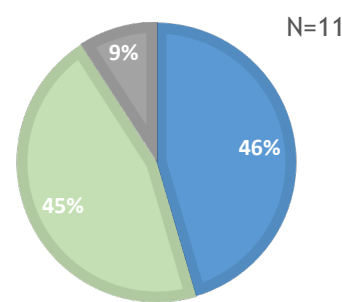


CSAT : 100%

カメラの解像度が高く、映像が非常に鮮明であるという意見が大半であった。現場側と遠隔監視者側の双方から、カメラのズーム操作、輝度調整、および照明操作が可能である。現場の作業状況に応じた柔軟な対応ができるため、総じて良好な結果であると判断される。

作業指示や情報の共有は円滑にできましたか

■非常に満足 ■満足 ■普通

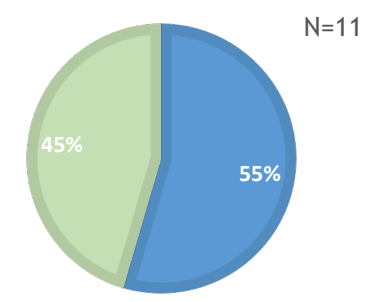


CSAT : 91%

機能は十分であり、Web-UIも直感的で扱いやすいため、作業指示が容易であるとの評価を得た。一方で、機能と操作方法を十分に習熟することで、さらなる期待効果の向上が見込めるという意見も寄せられた。

作業効率化、技術継承、安全管理に寄与するか

■非常に満足 ■満足



CSAT : 100%

技術継承の観点において、詳細な作業指示をリアルタイムに行えるため、現場でイレギュラーな事態が発生した際、作業員が対応できる範囲が広がるとの意見があった。また、人手不足の深刻化や若手作業員の増加という現状において、本システムは十分に寄与するとの声もあり、高い評価を得ることができた。但し、具体的に「何を解決するか」という点については、現場の課題とグラスの機能を合致させるソリューションの提供を検討する必要がある。

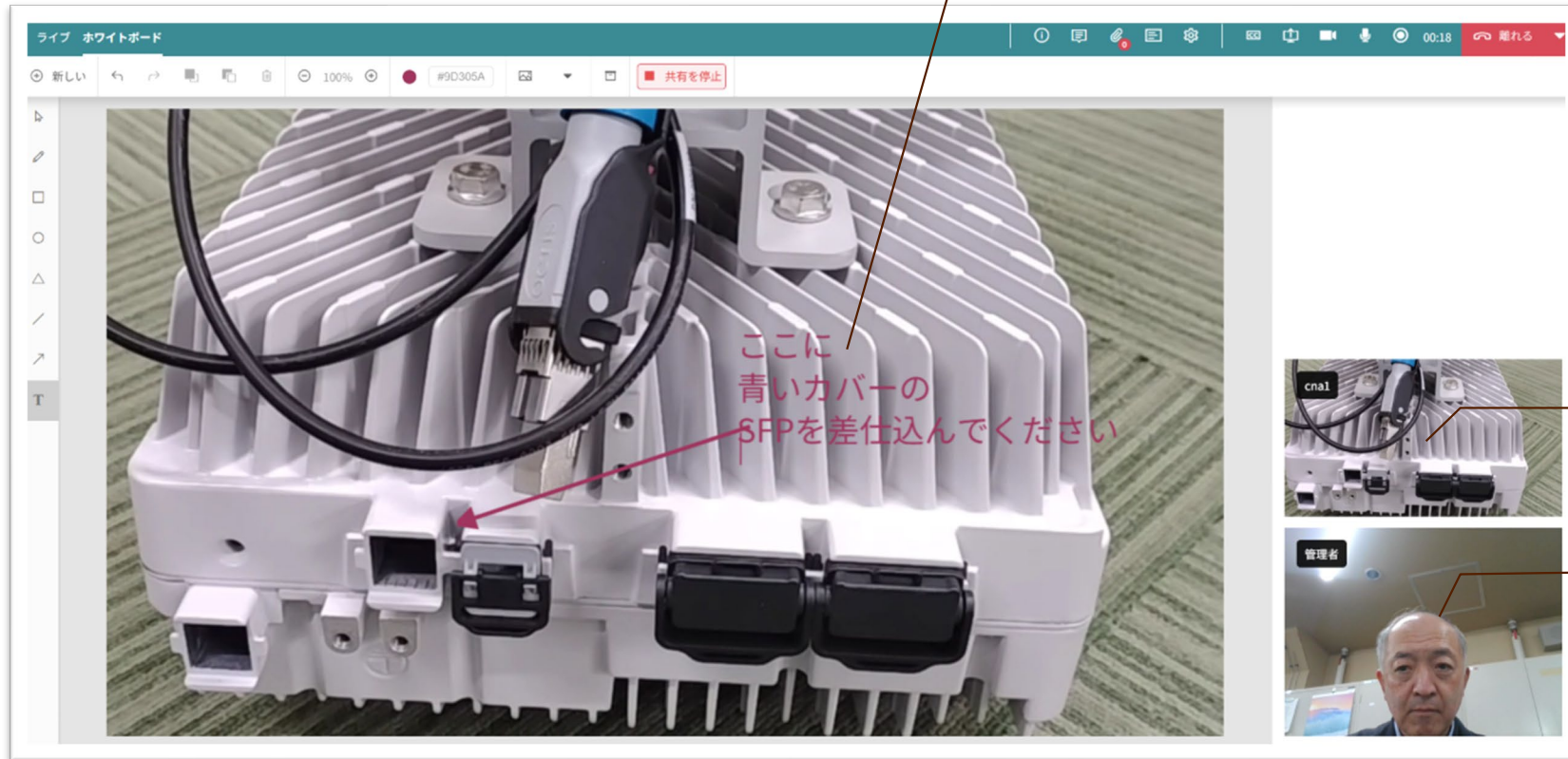
② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (4 / 12)

【検証結果詳細】

スマートグラス利用時の遠隔監視室側の画面の例

ハンズフリー・音声コマンドだけでなく現地映像をキャプチャして、指示等を記載して双方で共有ができる



現地作業員から送られてくるカメラ映像

遠隔監視室のカメラ映像

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (5 / 12)

【検証結果詳細】



■ 運用に関連する特徴について整理

- ・左写真のようにUSB端子へローカル5G端末を接続して実証を行った。このほかLTEドングルの接続も可能で、Wi-Fi環境がなくとも各種通信に対応することを確認した。
- ・IP66対応で屋外での利用も安心できる。
- ・バッテリーは標準品を用意すれば、ホットスワップ交換が可能で、左写真のようにローカル5G端末ではなく、モバイルバッテリーを接続すれば充電も可能である。
- ・カメラは動画の撮影、写真の撮影が可能（現地＆遠隔地からの操作ともに）。アプリを用意できれば点検報告書なども簡単に作成が可能になる。
- ・TeamsやZoomとの連携による1対多の遠隔支援も可能。

■ スマートグラスの評価と考察

多様な機能により幅広い利用シーンが想定されるなか、今回は「経験の浅い作業者が、遠隔地の熟練者から支援を受ける」というシナリオで実証評価を行った。その結果、選定したシステムおよびスマートグラスは、体験者から想像以上の好評を得ることができた。現在、あらゆる業界において人手不足や熟練者の引退、および技術継承が課題となっている。単にマニュアルを作成して残すだけでなく、作業を動画で記録したり、他の作業員が遠隔地からリアルタイムで視聴して学習したりすることが可能であり、その導入効果は極めて大きいと考える。

費用対効果については、数値化しにくい無形効果も多く含まれるが、事業者からは「熟練者がリモートで現場を確認し、直接指示を出せること自体に大きな価値がある」との声が寄せられた。現場の効率化や安全性向上も期待できることから、導入に対するハードルは決して高くはないと推察される。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (6 / 12)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
<p>不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施</p> <p>・四足歩行ロボットの歩行やアームの遠隔操作を検証</p>	項目	目標	<p>運用面における検証として、遠隔操作によるナセル内の点検・移動・停止の様子、及びアーム操作によるカメラ撮影やボタン押下のデモンストレーションを複数の現地作業員に確認してもらい、実運用を想定した観点から意見聴取を行った。</p> <p>その結果、ナセル内において遠隔から状況を把握し、必要な箇所を映像で確認できる点について、実務上有効であるとの意見が複数得られた。</p> <p>特に、現地に赴かずに状況を把握できることは、現場対応の効率化に寄与するとの評価が得られた。</p> <p>また、AIによる計器・デジタルパネルの判読精度が95%以上であることを前提とした場合、従来は現地で実施していた確認・記録工程の一部を遠隔で代替できる可能性があり、作業時間短縮に寄与する可能性について肯定的な意見が得られた。</p>	<p>本実証では、遠隔操作の様子を現地作業員に確認してもらい、実運用を想定した観点から意見聴取を行うことで、運用面での実装可能性を評価した。その結果、ナセル内の状況把握や確認したい箇所を映像で取得できる点について、現場業務において有効であるとの評価が得られ、現地作業員による遠隔操作の実装展開は検討可能な水準であると考えられる。</p> <p>また、AI判読精度95%以上という技術的前提が成立した場合、確認・記録工程の一部を遠隔で代替できることから、作業時間50%短縮という運用目標についても実現可能性を評価できる段階にあると考えられる。</p> <p>一方で、本実証は運用イメージの妥当性を確認することを目的としており、個別作業時間の実測や操作習熟度の評価までは対象としていない。今後、実運用を見据えた段階では、作業手順の具体化や操作訓練を通じて、より定量的な評価を行うことが望まれる。</p>

② 検証項目ごとの結果

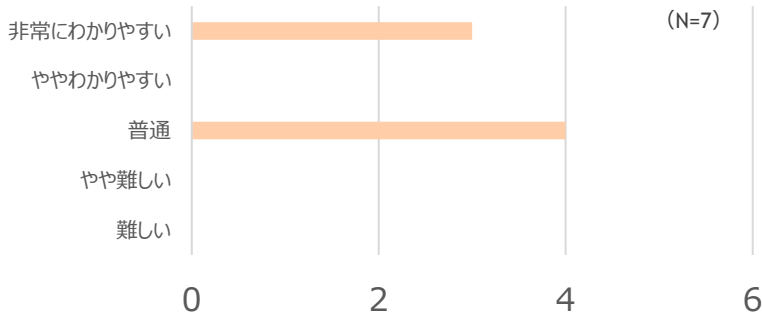
c. 運用面 (7 / 12)

【検証結果詳細】

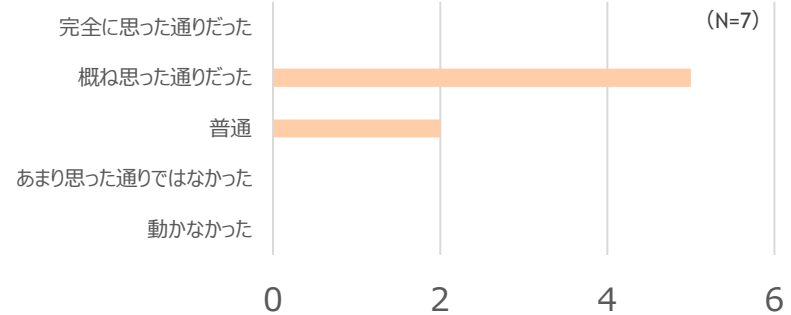
アンケート検証の実施概要

- 対象者：実証参加作業員 (N=7)
- 実施内容：
 - 遠隔操作によるナセル内通路・階段の歩行・移動・停止
 - 任意位置で停止した状態でのカメラ撮影
 - ロボットアームによるボタン押下操作
- 評価方法：操作後アンケートによる主観評価

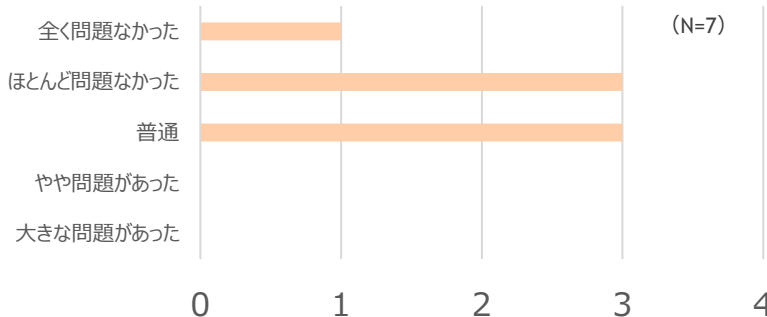
Q1. ロボット(本体)の操作は直感的で分かりやすかったですか？



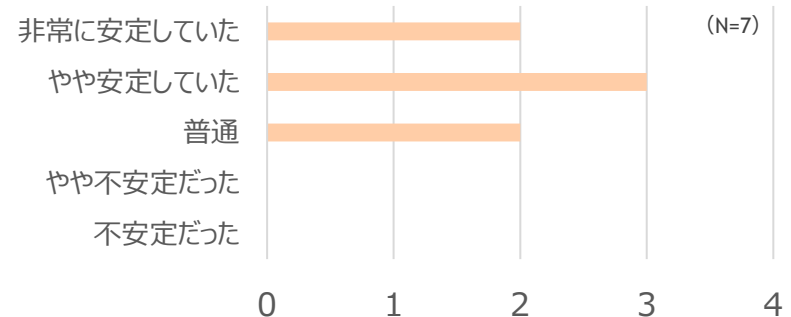
Q2. アームの操作は思った通りに動作しましたか？



Q3. 操作中の応答(遅延や途切れ)は問題ありませんでしたか？



Q4. 段差や旋回などの動作は安定していましたか？



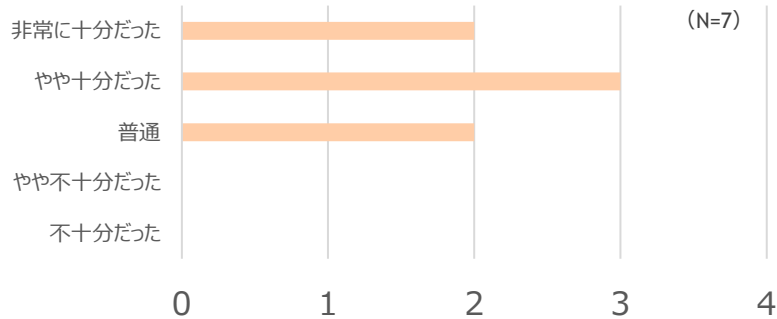
IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

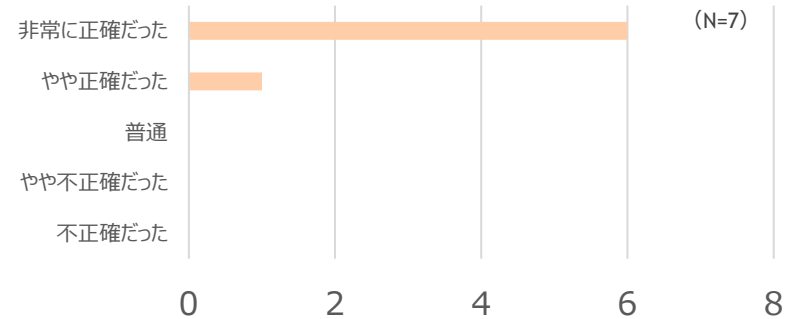
c. 運用面 (8 / 12)

【検証結果詳細】

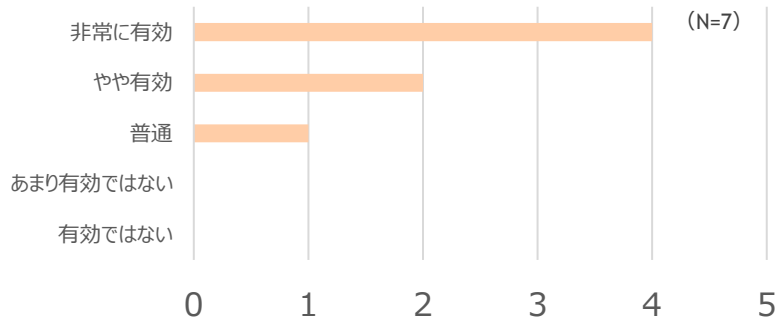
Q5. 作業の安全性(転倒・接触リスク)は十分に感じられましたか?



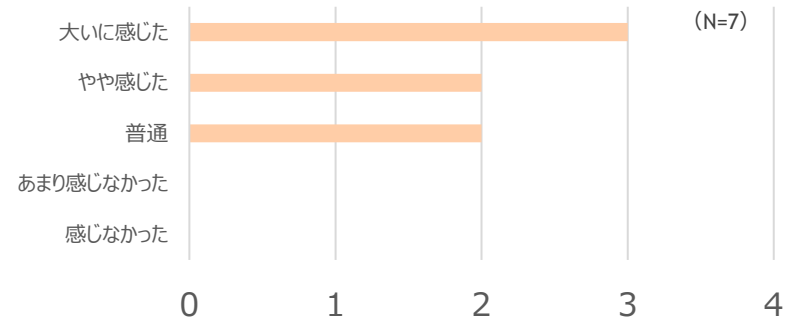
Q6. AIによるメーター読取りの結果は正確でしたか?



Q7. AIのデータ化作業は人の代替として有効と感じましたか?



Q8. 従来作業と比べて時間短縮の効果を感じましたか?

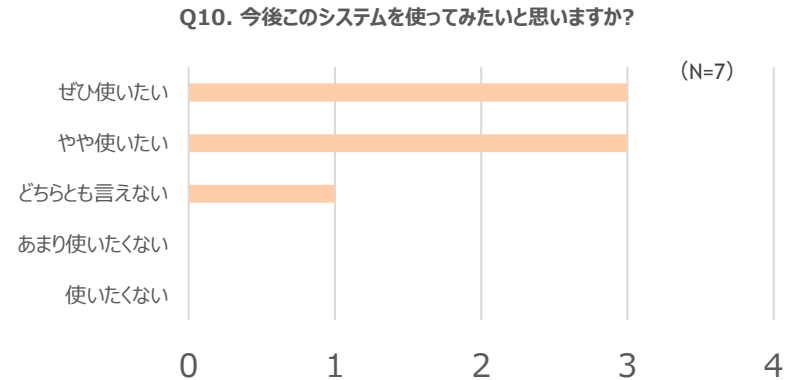
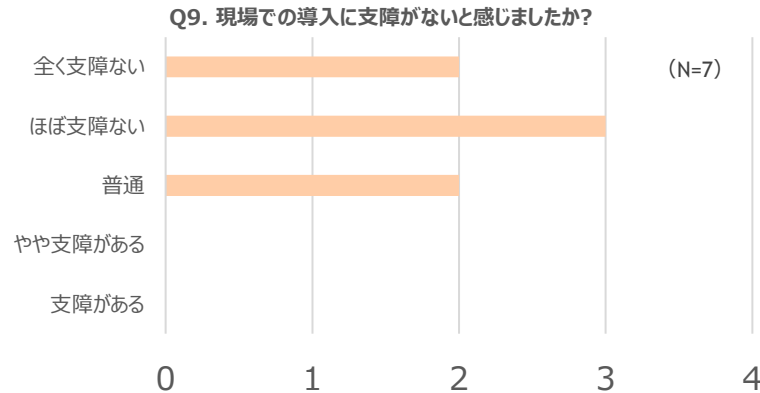


IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (9 / 12)

【検証結果詳細】



意見

- ナセル内で何をさせるのかをO&Mされている人の話を聞いて、詰めるのなら実装できるのではないか
- 秋田県で5月にブレードの落下事故の対応あった。遠隔でメンテナンス精度を高めるためのいい施策であると思う
- O&Mの費用負担が減る方向であれば、いいと思う (現在は10回/月以上になると費用負担)
- ナセル内で遠隔リセットができる手段となるのであれば有効的
- カメラで見たいところの動画が見れるのはありがたい

本実証では、複数の作業員が遠隔操作によるナセル内点検を実施し、

操作性、安定性、安全性及び有効性についてアンケートによる評価を行った。

その結果、遠隔操作は概ね直感的に操作可能であり、移動・停止・撮影・押下操作についても、

現場作業として許容できる水準であるとの評価が得られた。

また、自由記述意見からは、O&M業務の内容を踏まえた要件整理を行うことで、遠隔点検・遠隔操作の実運用に繋がる可能性が示唆された。

これらの結果から、本システムは技術的成立性に加え、現場での運用を見据えた受容性を有していることが示された。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (10 / 12)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
不具合等発生時の遠隔による風車内状態の事前把握とメンテナンスの早期の実施 ・AIによるデータ化の利便性・実用性を検証	項目	目標	運用面における検証として、計器及びデジタルパネルの表示をカメラで取得し、AIによる自動判読結果を用いてデータ化を行う一連の作業について、従来の人手による読取り・入力作業と比較する観点で検証を行った。その結果、表示面に反射がなく、かつカメラの撮影距離を適切に確保できた条件下においては、AIによる計器・デジタルパネルの判読精度が95%以上となることを確認した。 この条件下では、誤検知に起因するデータ修正は限定的であり、本実証の範囲では、AIでの誤検知によるデータ修正率が、運用目標として設定した「5%以下」という水準を下回る状況であることを確認した。 また、AIによる判読処理は平均約6秒で完了することを確認しており、計器読取りからデータ化までの工程において、従来人手で行っていた確認・転記作業の一部を省力化できる可能性が示された。	本実証では、AIでの誤検知によるデータ修正率を5%以下とする運用目標に対し、撮像条件が適切に確保された場合において、当該目標との関係性を評価可能な実証結果が得られた。このことから、本実証で設定した「誤検知によるデータ修正率5%以下」という目標値は、本実証の方法及び条件下において評価可能な水準として設定されていたと考えられる。 一方で、撮影角度や距離、表示面の反射など、撮像条件が適切に確保されない場合には、誤検知が発生する可能性があることも確認している。これは事前の想定どおりの結果であり、AI判読の性能そのものではなく、運用時の撮像条件に起因するものである。そのため、実運用においては、撮像条件の標準化を行うとともに、条件を満たさない場合には再撮影や目視確認を行うなど、補完的な運用を組み合わせることで、誤検知に起因するデータ修正を抑制しつつ、安定したデータ運用が可能になると考えられる。
	AIによるデータ化の効果と信頼性が確認できる	AIでの誤検知によるデータ修正5%以下		

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (11 / 12)

【検証結果詳細】

従来作業とAI作業の作業工程の整理・比較

工程	従来作業	AI活用作業
計器確認	現地目視	カメラ撮影
数値読取	人が判読	AI判読
記録	手入力	遠隔操作
入力	PC入力	連携処理

判読精度と撮像条件の関係

撮像条件	判読結果	備考
反射なし・適正距離	正確に判読	誤検知なし
軽微な反射あり	判読可能	一部注意
強い反射あり	判読不可	再撮影が必要
距離が近すぎる	判読不可	数値欠落あり
距離が遠すぎる	判読不可	解像度不足

② 検証項目ごとの結果

c. 運用面 (12 / 12)

【検証結果詳細】

良好条件での実際の判読結果例



条件不良時の参考例



本実証において、表示面に反射がなく、かつ撮影距離を適切に確保した条件下では、AIによる計器・デジタルパネルの判読において、95%以上の精度が得られ、条件が良好な場合には100%となるケースも確認された。

一方で、反射や距離条件が適切でない場合には判読が困難となることから、実運用においては撮像条件の標準化及び再撮影を組み合わせた運用が有効である。

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (1 / 8)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価	項目	目標	秋田県内外の風力発電事業者11社に対しコミュニケーションを実施し、事業者からコメントを得られた。 (アンケート結果についてはP124~127参照)	<ul style="list-style-type: none"> 各社とも高い評価を得られ、特にメンテナンス内製化後は、よりニーズが高まることが分かった 導入に前向きなこともあり、課題も多く抽出できた ビジネス面では、METIへの四足歩行ロボットの点検・メンテナンス適用に対する法的制限の確認が必要なこと、風車メーカーとの調整にて理解等を得るべきこと、陸上風力でのニーズがあること、洋上風力が先行する海外にて足元でニーズが高いことが分かった 技術面では、AI適用範囲拡張により有効性の高まることや、ドライバーなどの工具対応、ナセル天井部のハッチを開けナセルトップでの作業が実施できれば、よりニーズが高まることが分かった 労働衛生面では、事故発生後のナセル内の危険度不明時に、ロボットによる事前安全確認による作業員の安全確保にニーズがあることが分かった 環境対応面として、油漏れなど、公共安全、環境に影響をおよぼす恐れがある事象への対応へのニーズが高いことが分かった
	発電事業者の本件導入効果の理解	実証成果等の説明と評価聞き取り5社以上		
			<p>【コメント (1 / 2)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ボタン押しでリセットできることは非常に有効 メーカーによる確認が必須の場所があり、リモートリセットできない箇所への対応を検討する必要がある 対応可能なフェーラーモードの抽出がポイントであり検討が必要 相当なことが起きない限り転ばないのは運用として安心 落雷が多く、高波によりCTVが出航不能となる冬季のダウンタイム短縮に有効 点検 + 点検後にリセットボタンを押すケースは多いので、ロボットにより対応できることは非常に有効 数千あるアラームの中で、マニュアルリセットが必要なアラームの抽出が必要 (昔の機種は多かったが、今は少ないかもしれない) ドライバーなどの工具が使用できるとなるとよい 運転中に対応できることは画期的だ 第一歩として大きな成果であると感じた アームの操縦精度が高く、開発次第では人に代わる簡易メンテを実施できる可能性がある 現時点では (四足ロボットが安くはないと思うので) 不具合の可能性のある風車や継続監視が必要な風車にスポットで設置し、監視や操作 (リセット) を行える可能性があるのではと思った 将来的に、四足ロボットが安価になり各ナセルに配置できるか、自分でナセルまで行けるようになれば、日常監視や障害発生時の初期対応の可能性もあるのではと思った <p>(以降、次ページ記載)</p>	

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (2 / 8)

ソリューション

秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価

検証結果

【コメント (2 / 2)】

- ・高性能マイクや振動センサの追加など更なる高機能化、機能拡張ができると思った
- ・発生時の初期対応の可能性もあった
- ・(配電盤のドアノブの部分ロボットが届く下側に改造する等が必要かもしれないが) 配電盤の扉を開くことも可能ではと感じた
- ・今後の開発にあたり、運用方法や目的の検討が重要であると感じた
- ・油漏れ検知器、火災検知器動作といった、公共安全、環境に影響を及ぼす恐れがあるアラームに対する現場確認、リセットに有効
- ・不具合発生箇所(オイル漏れ等)の常時重点監視し、被害の拡大防止に有効
- ・カメラを狭隘な環境下で複数台のカメラ設置すれば、点検や作業に支障をきたす可能性があるため自由に移動できる四足歩行ロボットが有効なことを理解した
- ・洋上が先行する欧州・台湾でのニーズが足元で高いと思われる
- ・陸上でもダウンタイム改善の課題はあり、適用したい
- ・風車メーカーとの調整は必要(LTSA(長期保守契約(Long Term Service Agreement)) 期間中)
- ・内製化後はより可能性が高まる
- ・次期地点のO&M体制への取り込みを前向きに検討したい
- ・可能な範囲での詳細情報と見積りを提出して欲しい
- ・IRRは理解するが、より導入コストを抑えるため、Wi-Fi7にて対応可能な範囲での適用あり得るので、相談に乗って欲しい
- ・出力10M以上のナセルは複数階層が一般的だが、各階に四足歩行ロボットを配置する必要はなく、発電機室のみで十分効果が得られる
- ・ロボットによる点検・メンテナンスについて、METIの見解を知りたい
- ・ナセル内の平坦箇所であれば自由に行き来可能なため固定カメラの死角含めて、定期的なナセル内巡視に用いればアラートの出ない不具合の早期発見の可能性はある
- ・デジタル表示の計器のAI読み取りや、ナセル内の状況観測において有用である
- ・当ソリューションを風車メーカーのオプションにしてもらうと広がる
- ・落雷事象は少なからず発生していて、資料記載の回数は大きく外れていない
- ・制御盤がタワーボトムにある風車もあるので四足歩行ロボットの配置に配慮は必要になる場合がある
- ・事故発生後、ナセル内の状況は分からないので、ナセルに入る作業員の安全確保が課題であったら、事故後の初期調査には非常に有効
- ・脚の接地部をゴムとして耐雷対策が可能であり適用できそう
- ・今後検討が進めば、現場で実務対応する者へのヒヤリングも必要
- ・ボルトのアライメント確認に際し、複数のボルトを外したり締めたりしているが、例えば四足ロボからレーザーを出し、ボルトの出面を確認できれば、その手間が省ける
- ・最近の風車においては費用削減のため、状態表示パネルが付いておらず、PCを接続して状態確認をしているが、それを四足歩行ロボットにて実現できるとよい
- ・四足歩行ロボットにて天井部のハッチを開け、0時方向に向いたブレード撮影ができるとブレード外観点検の手間を削減できる

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (3 / 8)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
秋田県内外風力発電事業者への実証成果の説明、ソリューションの評価	項目 経済産業省、JWPA(一般社団法人 日本風力発電協会)及び海外の風力発電事業者の本件導入効果の理解	目標 実証成果等の説明と評価聞き取りを、経済産業省、JWPA及び海外の風力発電事業者に対し各1機関以上	<ul style="list-style-type: none">•METIエネ庁新エネ課、JWPA及び海外の風力発電事業者の、各1機関の計3機関とコミュニケーションを実施し、各機関から以下のコメントを得られた。(アンケート結果についてはP124~127参照) <p>【コメント】</p> <ul style="list-style-type: none">•ダウンタイム改善による事業性改善は現実的で、洋上風力の厳しい事業環境に適合する、期待できるソリューションである•メンテナンスをロボットが実施しても大丈夫かはMETI電力安全課への確認が必要であり、電安課に繋ぐことは可能(電安課コミュニケーション結果は報告して欲しい)•まずは洋上で先行する海外で実績を積み日本に逆輸入も有効である•遠隔でアラートリセットできないところが多いため、四足歩行ロボットで対応できるのは非常に有効である•一方で、アラートリセット箇所が狭く、細い箇所もあるので、そういった箇所への対応ができるとなおよい•ダウンタイムの短縮化に有効だと理解できた•日々多くの障害が発生し、現地まで出向き対応しているため、一部でもロボットでボタン押ししてリセットできれば有益である•冬季は波が高く現地に行けない日が続くので特に有効と考える•全風車への設置は慎重な検討が必要と考える•台湾は日本よりも発電単価は安く費用対効果は詳細検討が必要と考える	<ul style="list-style-type: none">•METIエネ庁新エネ課、JWPAからは高い評価を得られた•METI・JWPAとしては、洋上風力の確実な導入に資するソリューションであり歓迎とのスタンス•台湾電力からは、台湾は日本よりも発電単価は安いことと、人件費も安いいため、導入に向けた費用対効果等の検討は、より踏み込んだ内容にする必要がある•METI電力安全課への法令確認のためのコミュニケーションを急遽行った結果、法令に抵触することなく適用可能なことも確認できており、ソリューション導入に対し障壁はない

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (4 / 8)

ソリューション		検証ポイント		検証結果	考察
発電事業者の観点から、売電量の最大化に貢献あるいはメンテナンス費用の削減等から、本ソリューションの導入意向を検証	項目	目標			
	発電事業者にて本ソリューション導入意向を評価	導入意向発電事業者5社以上		<p>コミュニケーションをとった事業者のうち、6社から導入に向けた意向が示された。各社の導入に向けたコメント等は以下の通り。 (6社に絞り込んだアンケート結果についてはP110～113参照)</p> <p>【コメント】</p> <ul style="list-style-type: none">ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンス及び点検に対する期待は、発電停止時間の削減・設備稼働率の向上・発生電力量の増大化が最も高く、リモートによるスイッチ押下などの操作や作業員が実施する作業など適用範囲の拡張、リアルタイムによる画像撮影範囲(狭隘・高所など)の拡大、作業員不足・確保の解消が続く一方懸念事項は、導入コストが最も高く、風車メーカーの理解・調整・協力、安全・安定性確保(ロボット制御不能、既存設備損傷、通信・システムトラブルなど)が続くローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットのソリューション導入後に、四足歩行ロボット以外でローカル5G・Wi-Fiを活用したいことは、定点カメラ、サーモカメラ・センサーによる現状確認・情報収集が最も高く、スマートグラスによる現地作業員の遠隔支援、ナセル内作業員等との通話・通信が続く四足歩行ロボットを用いて解消したい事柄としては、一部上記と重複するが、ダウンタイムの改善、風車運転中の対応、公共安全・環境に影響を及ぼす可能性のあるアラームへの迅速な対処、事故発生後の作業員の安全確保、設備の簡易的な状態確認に要する(人による)手間を省力化となる	<ul style="list-style-type: none">導入意向は示されたが、調整・協議事項は多くあり、これからが勝負であり、丁寧かつ論理的に分かりやすく、抜け漏れ落ちのない対応を、継続することが重要特に、導入コストは事業者の最大の関心事項なため、四足歩行ロボットの販売価格が下がる可能性があることから、価格をウォッチすることや、ローカル5GからWi-Fiへの変更検討が必要となる更に、風車メーカーの理解・調整・協力を得ることも必要だが、風車メーカーは全て海外企業であり、英文資料の作成や、メーカー側のメリットを示さないとコミュニケーションも実施されない可能性あるため、説明資料を慎重に作成する必要がある風力発電メーカーは欧州の主要3メーカーが市場を独占しているが、JETRO等の協力を得て現在2社へアプローチしており興味を示してもらっている。今後海外プロジェクトの調査や協業を踏まえ、独自性を発揮できるようなソリューション展開のポジションを確保できるよう対応していく必要がある

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (5 / 8)

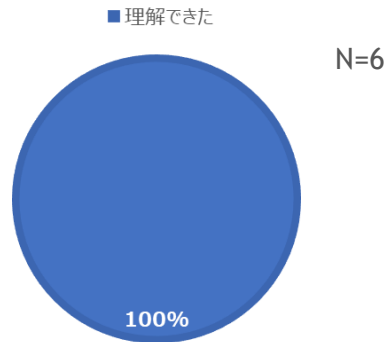
■ 理解できた ■ 概ね理解できた

【検証結果詳細】

導入に向けた意向が示された6社に絞り込んだ

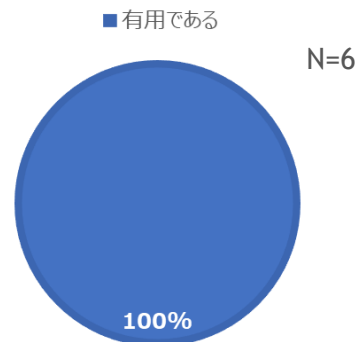
風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 1/4

ローカル5Gについて理解いただけましたか



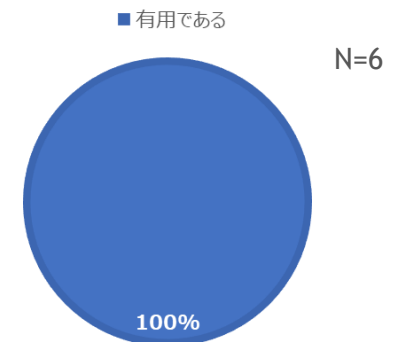
CSAT : 100%

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスは有用だと感じましたか



CSAT : 100%

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検は有用だと感じましたか



CSAT : 100%

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (6 / 8)

■ 理解できた ■ 概ね理解できた

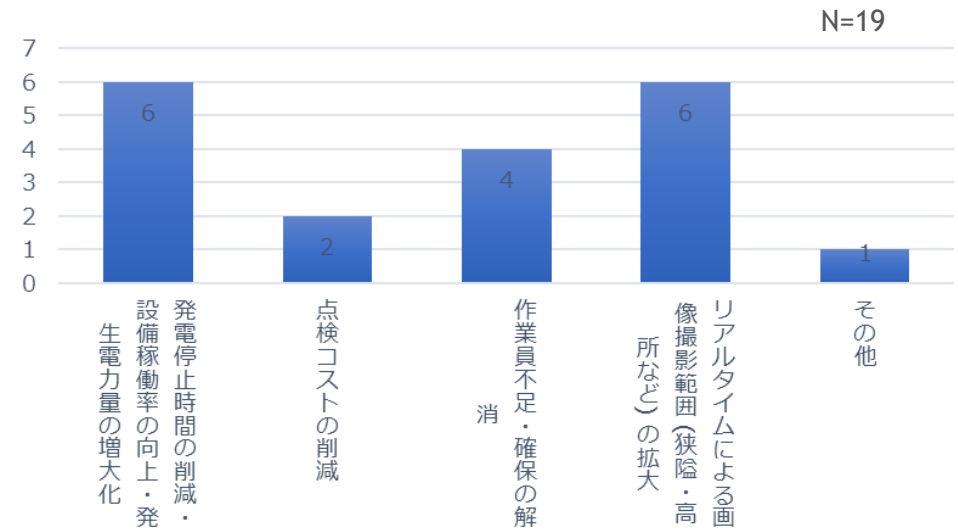
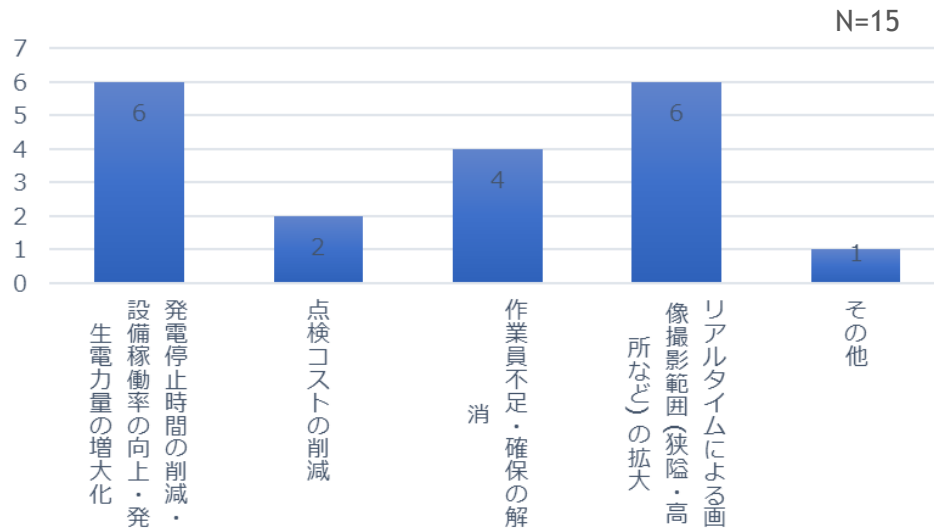
【検証結果詳細】

導入に向けた意向が示された6社に絞り込んだ

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 2/4

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスへの期待はありますか (複数回答)

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検への期待はありますか (複数回答)



② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (7 / 8)

■ 理解できた ■ 概ね理解できた

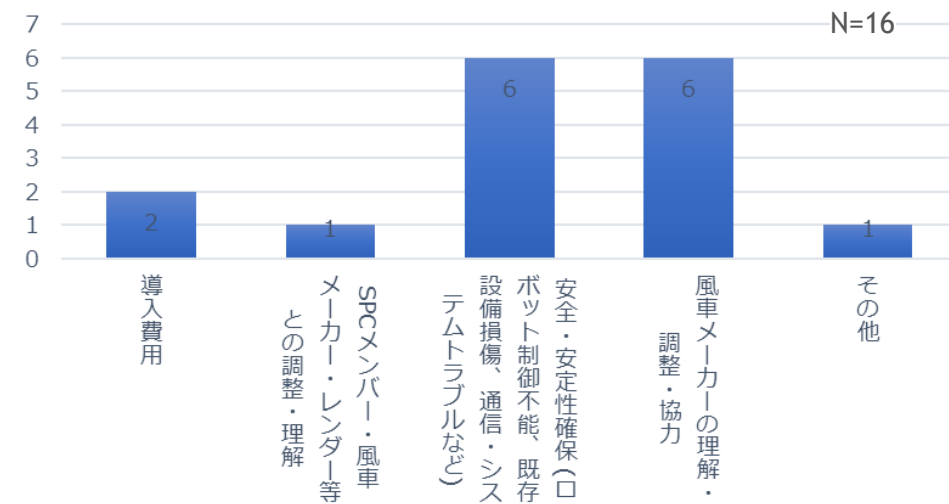
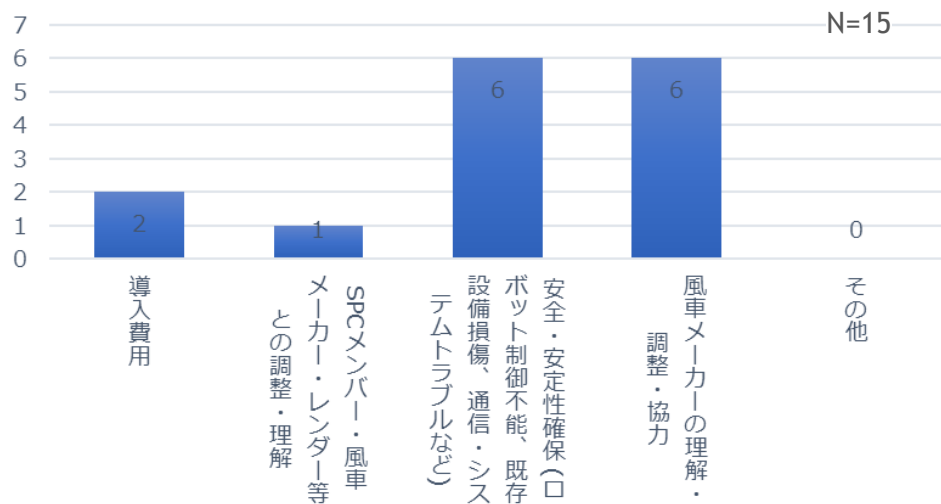
【検証結果詳細】

導入に向けた意向が示された6社に絞り込んだ

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 3/4

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスへの懸念がありますか (複数回答)

ローカル5G・WiFiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検への懸念がありますか (複数回答)



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

d. 展開先 (8 / 8)

■ 理解できた ■ 概ね理解できた

【検証結果詳細】

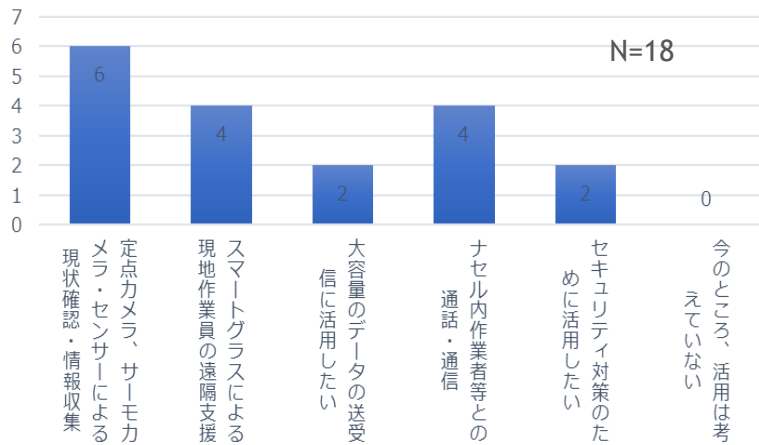
導入に向けた意向が示された6社に絞り込んだ

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 4/4

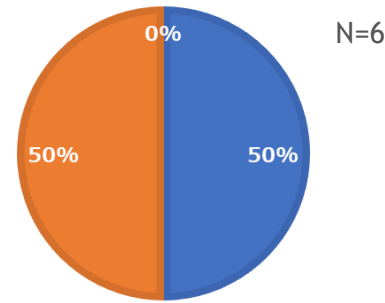
将来的に四足歩行ロボット以外でローカル5G・WiFiを活用したいと思いませんか (複数回答)

四足歩行ロボットを用いて、解消したい課題はありますか

四足歩行ロボットによる風車メンテナンス・点検の効果は妥当ですか

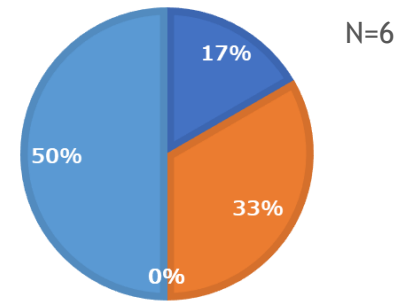


■ ある ■ あるが、困っているほどではない ■ 特にな



CSAT : 50%

■ 妥当 ■ ほぼ妥当 ■ 少し過大 ■ 過大 ■ 現時点では判断できない



CSAT : 50%

3 実装・横展開に向けた準備状況

	アクション	結果	得られた示唆・考察
事前準備	本ソリューションの期待効果の精緻化（提案ツールの作成）	実証より得られた数値データ及びアンケート等による意見、導入者視点の導入効果（事業性評価試算）を反映した提案資料を作成した。（P115-118参照）	P120 記載の洋上風力発電事業者に対して、提案及びディスカッションを行った。P124-127に記載のアンケート調査を実施した結果、ソリューションの有効性について有用との評価を頂いた。
	通信及びソリューションの安定的な稼働への製品の選択と検証	実証にあたっては、他分野で安定稼働の実績がある製品を選定し、風車内への実装および検証を行った。発電運用中および停止中の各環境下における動作確認を実施し、その実用性を検証した。	通信環境としてはローカル5G及びWi-Fi設備を、O&Mソリューションとしては定点カメラ、サーモカメラ、振動センサー、スマートグラス、及び四足歩行ロボットの検証を行った。これらが発電設備からの電磁波等による影響を受けずに稼働することを確認するとともに、発電設備側への影響についてもSCADAデータの変化を測定した。その結果、相互に影響はなく、導入・運用に支障がないことが判明した。
	導入検討中に効果を確認できるデモ環境の整備・運用	2026年度を目標として、同環境に実証同等のソリューション環境を構築し、将来的な導入を検討している事業者に対して、デモ可能な環境を構築する。今回はそのための先行実証として検証を行った。	O&Mの効率化とデモ環境の構築を並行して進める方針に異論はない。しかし、見学時の課題として、現地でのデモンストレーションには発電停止が不可欠となる点が挙げられ、それに伴う売電損失の補償を「誰が」「どのように」負担すべきか、具体的な費用分担の仕組みづくりが今後の重要な検討課題である。
実装に向けて	風車における通信環境及びソリューションの必要性に関するプレゼンテーションと投資への理解	ウエンティ・ジャパン社と打ち合わせを実施。事前準備で検証した動作安定性や風車内での稼働結果及び、導入費用を踏まえ、本ソリューションの実装計画を説明した。	陸上風車への導入の場合、洋上と比較してアクセスが容易である。そのため、現地の事前確認や通信を活用した作業効率化の重要性は高い一方で、現地への立ち入り困難な事態を想定した遠隔操作ツール（ロボット）の常備については、導入・維持コストが上回る（コストオーバー）可能性があること、運用の技術的ハードルについて実証を通じ、目視確認や微調整（チューニング）に想定以上の技術力が必要であることが判明し、常駐運用の難易度が高いと判断し、遠隔操作ロボット以外のソリューションを実装することとなった。
	風車の設置環境に合わせて、投資効果が期待できるソリューションの選択と構築	実証で検証したソリューションについて、風車の立地及び、O&Mでの利用シーンと導入コスト加味した導入範囲の検証を行った。	実証内で有効性等を検証し、2026年度より峰浜風力発電所でのソリューション実装を検討する方向となった。通信環境としては、Wi-Fi設備、PTZカメラ、サーモカメラ、振動センサー、スマートグラスとした。メンテナンス拠点からの2時間内の駆けつけが可能な陸上風車では、ロボットの常備は対象外とした。
横展開に向けて	発電所地点公募に今後応募予定の事業者への説明 ・説明資料作成 ・訪問日程調整	選定済み地点の幹事会社及び今後の公募地点に応募予定の幹事会社等に実証成果他の説明と評価の聞き取りを実施した。	<ul style="list-style-type: none"> ・アームの操縦精度が高く、人に代わる簡易メンテを実施できる可能性がある ・遠隔でアラートリセットできないところが多いため、四足歩行ロボットで対応できるのは非常に有効 ・アラートリセット箇所が狭く、細い箇所もあるので、そういった箇所への対応ができると尚よい ・風車メーカーとの調整・協議が必要 ・四足歩行ロボット適用に際し法令への適合性確認が必要
	石狩新港、響灘、能代港・秋田港の各地点の事業者への説明 ・説明資料作成 ・訪問日程調整	各地点のコンソーシアムメンバーに実証成果他の説明と評価の聞き取りを実施した。	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点ではまずは不具合の可能性のある風車や継続監視が必要な風車にスポットで設置し、監視や操作（リセット）を行える可能性がある ・今後の開発にあたり、効果精緻化、運用方法の精査・検討が重要 ・風車メーカーとの調整・協議が必要
	経済産業省、JWPAへの説明・折衝と、国内及び東アジア・欧州各国の風力関連事業者等への提案・説明 ・説明資料作成 ・訪問日程調整	経済産業省、JWPA他に実証成果他の説明と評価の聞き取りを実施した。	<ul style="list-style-type: none"> ・点検・メンテとも法的に人が行うことの縛りはなく、事業者にてロボット実施での安全等を確認できている前提で問題ない ・ナセル内等の内部は四足歩行ロボット、ブレード・タワー等の外部はドローンによる点検体制は安全面からも望ましい ・ダウンタイム改善による事業性改善で期待できるソリューション ・台湾は日本よりも発電単価は低く費用対効果は下がるが導入を検討できるソリューション

③ 実装・横展開に向けた準備状況

費用対効果の精緻化 1/4

- ・各地点の気象・海象状況・特性を調査した上で、CTV+点検員での点検とローカル5G×四足歩行ロボットでの点検の各々において、落雷等に伴い不定期点検が必要となる発電停止年間発生回数、不定期点検必要停止1回当たりの点検遅延想定時間等を算出
- ・ローカル5G×四足歩行ロボット適用による各地点での年間の発電再開改善時間を算定

I. 発電再開改善時間

項目	地点	[a] CTV+点検員						[b] 四足歩行ロボット					
		A,B	C	D-H	I	J	K	A,B	C	D-H	I	J	K
落雷等に伴う不定期点検必要 停止年間発生回数 (回) i ①		9	15	19	17	19	7	9	15	19	17	19	7
点検時間 (時間) ii		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
不定期点検に伴う年間点検時間 (時間) i×ii=iii		5	8	10	9	10	4	9	15	19	17	19	7
不定期点検必要停止1回当たりの 点検遅延想定日数 (日) ②		14	14	14	14	14	14	0	0	0	0	0	0
不定期点検必要停止1回当たりの 点検遅延想定時間 (時間) iv		336	336	336	336	336	336	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
年間点検遅延時間 (h) iii×iv=v		1,512	2,520	3,192	2,856	3,192	1,176	4.5	7.5	9.5	8.5	9.5	3.5
四足歩行ロボットによる改善時間 (h) 各v[b] - 各v[a] = 各a								1,508	2,513	3,183	2,848	3,183	1,173
設備利用率 35% 考慮時間 (h) 各a×35% = 各b								527	879	1,113	996	1,113	410

- ① 「日本海・太平洋沿岸部にある風車への落雷特性、山本和男・天野龍二・伊達知大、第43回風力エネルギーシンポジウム」での表4より、対象地域での落雷実績回数を用いて算出
- ② 日本海側において落雷が多発する11-2月間において、NOWPHASデータ（2016-19の4ヶ年データ）にて、CTV出航不可となる有義波高1.5mが連続で発生する日数の平均を算出し適用（CTVの連続不出航日数）

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

費用対効果の精緻化 2/4

- ・複数の学識経験者へのヒアリング等を踏まえ、洋上風力発電所に襲来する一つの雷雲での風車停止率を設定
- ・各地点毎の売電単価を事業者へのヒアリング、メディアでの情報等に基づき個別に設定

II. 発電再開改善時間集約

地点	四足歩行ロボット改善時間 (h)	
	総改善時間 a	設備利用率考慮 b
A	1,508	527
B	1,508	527
C	2,513	879
D	3,183	1,113
E	3,183	1,113
F	3,183	1,113
G	3,183	1,113
H	3,183	1,113
I	2,848	996
J	3,183	1,113
K	1,173	410

III. 四足歩行ロボットにて改善する電力と効果額

地点	風車基数 (基)	WFサイト総出力 (MW) c	1落雷雲での風車停止率 d ③	1落雷雲での風車停止数 (基) 基数×d	改善電力量 (MWh/年)		効果額	
					ロボットによる改善 a×c×d	利用率考慮 b×c×d=f	年間 (百万円/年) f×売電単価 =g ④	総額 (百万円) g×20=h ⑤
A	14	112	4%	0.6	6,754	2,361	85	1,700
B	68	1,020	4%	2.7	61,506	21,502	301	6,020
C	41	615	4%	1.6	61,808	21,623	303	6,055
D	33	139	4%	1.3	17,644	6,170	222	4,443
E	38	570	4%	1.5	72,561	25,376	355	7,105
F	65	975	4%	2.6	124,118	43,407	608	12,154
G	21	315	4%	0.8	40,100	14,024	196	3,927
H	25	375	4%	1.0	47,738	16,695	234	4,675
I	30	450	4%	1.2	51,255	17,928	251	5,020
J	29	435	4%	1.2	55,376	19,366	271	5,423
K	25	240	4%	1.0	11,256	3,936	142	2,834

- ③ 複数の学識経験者へのヒアリングを踏まえ設定
- ④ 売電単価は各サイトの情報に基づき個別に設定
- ⑤ 洋上風力発電所の一般的な運転期間である20年間で計算

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

費用対効果の精緻化 3/4

- ・IRR算定期間は一般的な洋上風力発電所の運転期間を事業者へのヒアリング等に基づき20年に設定
- ・ソリューション導入のインシヤル費用には、初期導入費用と、更新費用として、ローカル5Gは5年毎に、四足歩行ロボットは10年毎に更新する費用を計上
- ・本事業で得たノウハウ及びメーカーと大量購入によるボリュームディスカウント等を考慮したソリューション販売価格として、計画時に算定した4,200万円/基から、3,162万円/基に低減

IV. 内部収益率 (IRR) 【通信環境：ローカル5G】

地点	風車 基数 (基)	導入 (投資) 費用 (百万円)				効果額 (百万円)		運転期間中 総利益 (百万円) h-l=m	内部収益率 (IRR)
		イニシヤル (更新を含む) i ⑥	年間 ランニング j	ランニング 総額 j×20=k	導入 (投資) 総額 j+k=l	年間 g	総額 h		
A	14	1,203	7	140	1,343	85	1,700	357	8.9%
B	68	5,843	34	680	6,523	301	6,020	-503	-2.8%
C	41	3,523	21	410	3,933	303	6,055	2,121	17.8%
D	33	2,836	17	330	3,166	222	4,443	1,277	13.4%
E	38	3,265	19	380	3,645	355	7,105	3,460	31.4%
F	65	5,585	33	650	6,235	608	12,154	5,919	31.4%
G	21	1,805	11	210	2,015	196	3,927	1,912	31.4%
H	25	2,148	13	250	2,398	234	4,675	2,276	31.4%
I	30	2,578	15	300	2,878	251	5,020	2,142	24.5%
J	29	2,492	15	290	2,782	142	2,834	52	0.7%
K	25	2,148	13	250	2,398	142	2,834	436	6.2%

⑥ イニシヤルには初期導入費用と、更新費用として、ローカル5Gは5年毎に、四足歩行ロボットは10年で更新する費用を計上

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

費用対効果の精緻化 4/4

・ローカル5GとWi-Fi7での遠隔による四足歩行ロボットの操作性等を評価した結果、実務的には何れの通信方式でもストレスなく安全に対応可能であったことを踏まえ、通信環境にWi-Fi7を適用しIRRを算定

IV. 内部収益率 (IRR) 【通信環境 : Wi-Fi7】

地点	風車 基数 (基)	導入 (投資) 費用 (百万円)				効果額 (百万円)		運転期間中 総利益 (百万円) h-l=m	内部収益率 (IRR)
		イニシャル (更新を含む) i ⑥	年間 ランニング j	ランニング 総額 j×20=k	導入 (投資) 総額 j+k=l	年間 g	総額 h		
A	14	860	8	168	1,028	85	1,700	672	15.2%
B	68	4,179	41	816	4,995	301	6,020	1,026	5.1%
C	41	2,519	25	492	3,011	303	6,055	3,043	23.2%
D	33	2,028	20	396	2,424	222	4,443	2,019	19.2%
E	38	2,335	23	456	2,791	355	7,105	4,314	35.8%
F	65	3,994	39	780	4,774	608	12,154	7,380	35.8%
G	21	1,290	13	252	1,542	196	3,927	2,384	35.8%
H	25	1,536	15	300	1,836	234	4,675	2,838	35.8%
I	30	1,844	18	360	2,204	251	5,020	2,816	29.4%
J	29	1,782	17	348	2,130	142	2,834	704	8.0%
K	25	1,536	15	300	1,836	142	2,834	998	12.8%

⑥ イニシャルには初期導入費用と、更新費用として、Wi-Fi7は5年毎に、四足歩行ロボットは10年で更新する費用を計上

③ 実装・横展開に向けた準備状況

ソリューション導入に対する内部収益率(IRR)と事業者の評価

- ・本件導入に対する各地点のIRRを、効果は不定期点検分のみとし、通信環境として、ローカル5Gの場合と、Wi-Fi7の場合の各々を算出し、電気事業の投資判断で一般的に用いるハードルレートの5.0%超えの有無を確認

ローカル5G：-2.8～31.4%

C地点が-2.8%、J地点は0.7%となり、ハードルレートの5.0%を下回りC、J地点への導入は困難だが、他の地点はハードルレートの5.0%を超過しており、導入に向けた合意形成に対し、説明力が高く前向きなリアクションを得られた

Wi-Fi7：5.1%～35.8%

全ての地点で、ハードルレートの5.0%を超過過しており、導入に向けた合意形成に対し、説明力が高く前向きなリアクションを得られた

- ・上記IRR算定に用いた効果は、ダウンタイム時間の短縮に伴い改善する電力量にて改善する収益のみを用いており、点検・メンテナンスの四足歩行ロボットに置換えたことに伴うコスト削減等は未考慮である
- ・横展開対応に際しては、既存陸上風車への導入は、保守を担当する風車メーカー等との連携が難しくハードルが高い。したがって今後新規に建設される事業者をメインに、ニーズに応じた上記の反映や、IRR算定で用いた1落雷雲での風車停止率などの想定値について、最新の知見や実績等を整理し資料を更新するなど精度向上等を図るとともに、コスト面だけではなく労働人口減少への対応になることも記載し、事業者の評価・判断を容易とするデータを提供するように努める

事業者のコメント

- ・次期地点のO&M体制への取り込みを前向きに検討したい。
- ・可能な範囲での詳細情報と当社が検討する地点に対する見積りを提出して欲しい。
- ・冬季は落雷が多い一方で、高波によりCTVが出航不能な日が続く。そのため、ダウンタイム短縮に有効であると理解しており、導入を検討したい。
- ・陸上風力においてもダウンタイム短縮が課題であるため、適用を検討したい。

③ 実装・横展開に向けた準備状況

説明実施状況

No	対象	実施日	方法	備考
1	A	2026.1.14	対面	ラウンド3採択授業者
2	B	2026.1.14	対面	ラウンド2採択授業者
3	C	2026.1.7	対面	ラウンド2採択授業者
4	F	2026.1.7	対面	ラウンド1再入札あるいはラウンド4以降の入札に検討中の事業者
5	E	2026.1.7	対面	ラウンド1再入札あるいはラウンド4以降の入札に検討中の事業者
6	D	2025.12.16	対面	ラウンド3採択授業者
7	G	2026.1.7	対面	ラウンド1再入札あるいはラウンド4以降の入札に検討中の事業者
8	H	2026.1.8	対面	ラウンド1再入札あるいはラウンド4以降の入札に検討中の事業者
9	J	2026.1.14	対面	港湾内洋上風力発電所の事業者
10	K	2026.1.14	対面	港湾内洋上風力発電所の事業者
11	L	2026.1.26	対面	港湾内洋上風力発電所の事業者
12	METI エネ庁 新エネ課	2026.1.8	対面	
13	METI 電力安全課	2026.1.26	対面	
14	JWPA	2025.12.18	対面	
15	台湾電力	2025.11.25	対面	

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

説明用に作成した資料 2/3

【四足歩行ロボット】 歩行、スイッチ押下の状況

歩行 スwitch押下

動作リンクボタン

- 自律歩行 → アーム同期_スイッチ押下
- スイッチ押下 → アーム同期_回転スイッチ対応
- 消灯時操作

【四足歩行ロボット撮影画像のAI解析による数値化】 デジタルメーター

精度100%で解析

TEMPERATURE

CLOCK / HUMIDITY

HTC-1

【四足歩行ロボット撮影画像のAI解析による数値化】 アナログメーター

精度100%で解析

ZHFU 44C2

0 10 20 30

WTG点検項目とロボット対応可否 1/4

○「洋上風力発電設備の維持管理に関する統一解説」に示される洋上風力発電設備等の維持管理の方法での、風車(ロータセル)の定期点検の事例を対象に、点検に対し、ロボットで対応できる項目等を評価

結果 全80項目中 対応可能: 50項目 (約63%) / 対応不可: 30項目 (約37%)

○ ロボットで50項目・63%に対し対応可能

○ 工夫や機具開発等にて対応可能となる項目を含め再評価すると、ロボットで57項目・71%に対し対応可能と推定

表-2.3.1.2 定期事業者検査の点検周期 (出典: 風力発電設備の定期点検指針)

周期	区分	検査
半年	安全停止系 (巻戻防止)	・ピッチ制御装置 (ピッチ駆動系ブレーキ、ピッチ駆動装置、減速系非常用装置、ピッチ軸受、非常用電源) ・駆動ブレーキ装置 (ブレーキシールド)
	安全停止系 (巻戻防止)	・非常用電源装置 (停電時ロー降速制御) ・ブレード (表面、レセプター、ダウンスラッタクター、(H型)、脱着部)
1年	構造強度部材 (腐食、歪下、復旧防止)	・ハブ (ボルト・ナット、ハブハウジング、スピナカバー、避雷装置、ハブアクセスハッチ) ・ナセル内 (ボルト・ナット、動力伝達装置、ナセル架橋、ナセルカバー) ・ナセル外部部品 (巻戻レセプター、駆動装置等) ・タワー (ボルト・ナット、梯子、観・アンコーリング)
	電気系統 (火災警防)	・ナセル内電気設備 (主変圧器、発電機等)
2年又は3年*	安全停止系 (巻戻防止)	・駆動ブレーキ装置 (ブレーキシールド本体検査、カーボンシールド)
	構造強度部材 (腐食、歪下、復旧防止)	・ブレード (ダウンスラッタクター (等速試験等)、ブレード)

※ 点検対象点検点検周期は2年とすることが望ましい。

WTG点検項目とロボット対応可否 2/4

設備	項目	検/水	No	点検方法・周期				ロボット対応可否
				点検方法	定期検査	点検周期	点検項目	
ロータ	ハブ	中	8	目視及び打音又は軸音	点検者	1年	1年	→ 対応可能、打音検不可
				測定 (0.0を除く)	測定機器	1年	1年	→ 測定不可
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視又は軸音	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視又は測定	点検者	1年	1年	→ 測定不可
				測定	測定機器	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
ロータ	ピッチ制御装置	中	11	目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
				目視	点検者	半年	半年	→ 対応可能
ロータ	ハブアクセスハッチ	中	17	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能

可能: 16項目、不可: 9項目
※ 対応できる可能性あり

WTG点検項目とロボット対応可否 3/4

設備	項目	検/水	No	点検方法・周期				ロボット対応可否
				点検方法	定期検査	点検周期	点検項目	
ナセル	ボルト・ナット	中	18	目視及び打音又は軸音	点検者	1年	1年	→ 対応可能、打音検不可
				測定	測定機器	1年	1年	→ 測定不可
				目視及び打音又は軸音	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
ナセル	ナセル架橋	中	27	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
				目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能

※ 対応できる可能性あり 可能: 21項目、不可: 12項目

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

説明用に作成した資料 3/3

WTG点検項目とロボット対応可否 4/4

設備	項目	実装 ※	点検方法	点検方法・作業		ロボット 対応可否
				実装 ※	点検方法	
ナセル外部 付属品	継ぎレセプター (継ぎ針) (損傷等) * (ボルト緩み)	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
	目視及び触診	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視及び触診 又は測定	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能	
ナセル外部付属品	継ぎレセプター (継ぎ針) (損傷等) * (ボルト緩み)	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
	目視及び触診	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視及び触診 又は測定	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能	
ナセル内部電気装置 (電圧)	継ぎレセプター (継ぎ針) (損傷等) * (ボルト緩み)	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能
	目視及び触診	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視及び触診 又は測定	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	
	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能	
その他	目視	点検者	1年	1年	→ 対応可能	
	目視及び触診	点検者	1年	1年	→ 対応可能、触手不可	

可能：13項目、不可：9項目
※ 対応できる可能性あり

事業性の評価試算／改善時間

I. 発電再開改善時間

項目	[a] CTV+点検員							[b] 四足歩行ロボット						
	A	B	C	D-H	I	J	K	A	B	C	D-H	I	J	K
通常等々下定期点検必要 停止年間発生回数 (回) ①	9	15	19	17	19	7	7	9	15	19	17	19	7	7
点検時間 (時間) ②	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
不定期点検に伴う年間点検時 間 (時間) ③ × ① × ②	5	8	10	9	10	4	4	9	15	19	17	19	7	7
不定期点検必要停止1回当りの 点検員必要人数 (名) ④	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0
不定期点検必要停止1回当りの 点検員必要時間 (時間) ④ × ②	336	336	336	336	336	336	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
不定期点検必要時間 (h)	1,512	2,520	3,192	2,856	3,192	1,176	4.5	7.5	9.5	8.5	9.5	3.5	3.5	3.5
四足歩行ロボットによる改善時間 (h) ⑤ × ② × ④ × ⑥								1,508	2,513	3,183	2,848	3,183	1,173	1,173
改善率 35% 考慮時間 (h) ⑤ × 35% = ⑥ × b								527	879	1,113	996	1,113	410	410

① 「日本海・太平洋沿岸部にある風車への災害特性、山本和男・天野龍二・伊藤知夫、第43回風力エネルギーシンポジウム」での表4より、
対象地帯での年間発生回数を用いて算出
② 調査発生が多発する11~2月間において、NOWPHASデータ (2016-19049年データ) にて、CTV出航不可となる有風速1.5m/sが連続
発生する日数の平均 (CTVの出航不可日数)
③ ④ ⑤ ⑥

事業性の評価試算／効果額

I. 発電再開改善時間集約

地点	四足歩行ロボット改善時間 (h)		II. 四足歩行ロボットにて改善する電力と効果額							
	改善時間 a	改善率 b	風速 基準値 (m/s)	WPP出力 削減率 (MW) c	1回発生 での発生 停止率 d (%)	1回発生 での発生 停止率 e (%)	改善電力 (MWh/年)	改善電力 削減率 f	年間 効果額 (百万円/年) g	年間 効果額 (百万円/年) h
A	1,508	527	14	112	4%	0.6	6,754	2,361	85	1,700
B	1,508	527	68	1,020	4%	2.7	61,506	21,502	301	6,020
C	2,513	879	41	615	4%	1.6	61,808	21,623	303	6,055
D	3,183	1,113	33	139	4%	1.3	17,644	6,170	222	4,443
E	3,183	1,113	38	570	4%	1.5	72,561	25,376	355	7,105
F	3,183	1,113	65	975	4%	2.6	124,118	43,407	608	12,154
G	3,183	1,113	21	315	4%	0.8	40,100	14,024	196	3,927
H	3,183	1,113	25	375	4%	1.0	47,738	16,695	234	4,675
I	2,848	996	30	450	4%	1.2	51,255	17,928	251	5,020
J	3,183	1,113	29	435	4%	1.2	55,376	19,366	271	5,423
K	1,173	410	25	240	4%	1.0	11,256	3,936	142	2,834

① 複数の字種経験者へ点検方法を教示
② 発電量は各サイトの情報に基づき個別に設定
③ 海上風力発電所の一般的な運転期間である20年間を計算

事業性の評価試算／内部収益率(IRR) (通信環境：ローカル5G)

V. 内部収益率 (IRR)

地点	初期導入費用 (百万円)	導入 (投資) 費用 (百万円)			効果額 (百万円)			内部収益率 (IRR)	
		年数	ランニング	ランニング	年数	効果額	効果額		
A	14	1,203	7	140	1,343	85	1,700	357	8.9%
B	68	5,843	34	680	6,523	301	6,020	-503	-2.8%
C	41	3,523	21	410	3,933	303	6,055	2,121	17.8%
D	33	2,836	17	330	3,166	222	4,443	1,277	13.4%
E	38	3,265	19	380	3,645	355	7,105	3,460	31.4%
F	65	5,585	33	650	6,235	608	12,154	5,919	31.4%
G	21	1,805	11	210	2,015	196	3,927	1,912	31.4%
H	25	2,148	13	250	2,398	234	4,675	2,276	31.4%
I	30	2,578	15	300	2,878	251	5,020	2,142	24.5%
J	29	2,492	15	290	2,782	142	2,834	52	0.7%
K	25	2,148	13	250	2,398	142	2,834	436	6.2%

① インシタルは初期導入費用と、更新費用として、ローカル5Gは5年毎に、四足歩行ロボットは10年で更新する費用を計上

事業性の評価試算／内部収益率(IRR) (通信環境：WiFi 7)

V. 内部収益率 (IRR)

地点	初期導入費用 (百万円)	導入 (投資) 費用 (百万円)			効果額 (百万円)			内部収益率 (IRR)	
		年数	ランニング	ランニング	年数	効果額	効果額		
A	14	860	8	168	1,028	85	1,700	672	15.2%
B	68	4,179	41	816	4,995	301	6,020	1,026	5.1%
C	41	2,519	25	492	3,011	303	6,055	3,043	23.2%
D	33	2,028	20	396	2,424	222	4,443	2,019	19.2%
E	38	2,335	23	456	2,791	355	7,105	4,314	35.8%
F	65	3,994	39	780	4,774	608	12,154	7,380	35.8%
G	21	1,290	13	252	1,542	196	3,927	2,384	35.8%
H	25	1,536	15	300	1,836	234	4,675	2,838	35.8%
I	30	1,844	18	360	2,204	251	5,020	2,816	29.4%
J	29	1,782	17	348	2,130	142	2,834	704	8.0%
K	25	1,536	15	300	1,836	142	2,834	998	12.8%

① インシタルは初期導入費用と、更新費用として、WiFi7は5年毎に、四足歩行ロボットは10年で更新する費用を計上

評価

- ローカル5GとWiFi7での遠隔による四足歩行ロボットの操作性等を評価した結果、実務的には何れの通信方式でもストレスなく安全に対応可能
- 一方、WiFi7の投資額はローカル5Gに比べ低IRRが向上 (ex. B地点の場合、ローカル5Gの-2.8%がWiFi7で5.1%)

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

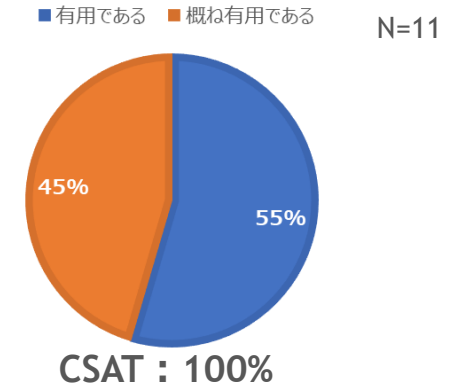
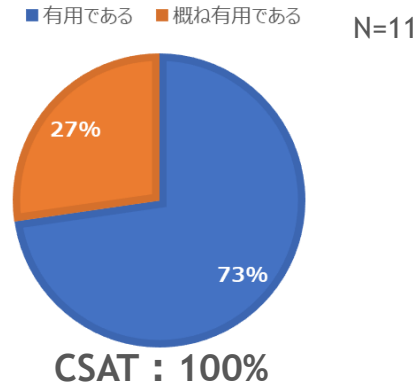
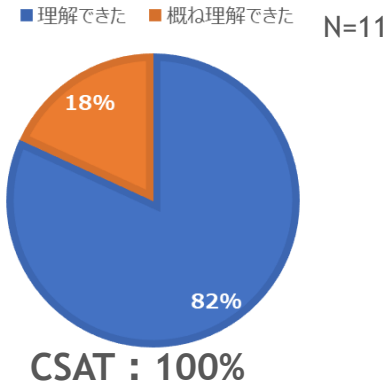
風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 1/4

ローカル5Gについて理解いただけましたか

ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスは有用だと感じましたか

ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検は有用だと感じましたか

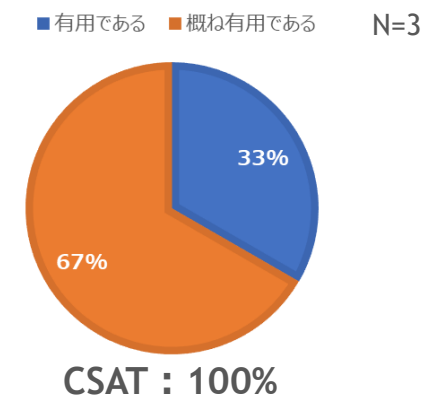
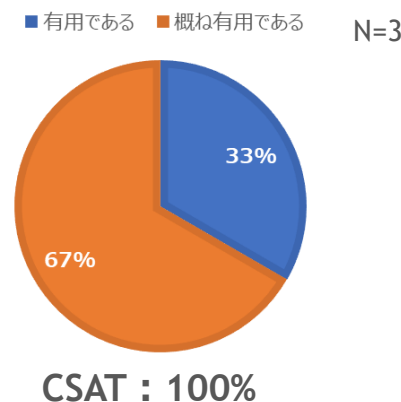
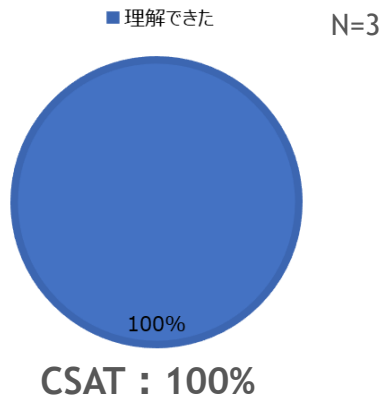
【風力発電事業者】



- 油漏れ検知器、火災検知器動作といった、公共安全、環境に影響を及ぼす恐れがあるアラームに対する現場確認、リセットに有効
- 落雷が多く、高波によりCTVが出航不能となる冬季のダウンタイム短縮に有効
- 洋上風力発電が先行する欧州・台湾でのニーズが足元で高いと思われる

- 点検及び点検後のリセット操作を要するケースが多いため、ロボットにより対応できることは非常に有効
- アームの操縦精度が高く、今後の開発次第で人に代わる簡易メンテナンスを実施できる可能性がある

【METI, JWPA, 海外事業者】



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

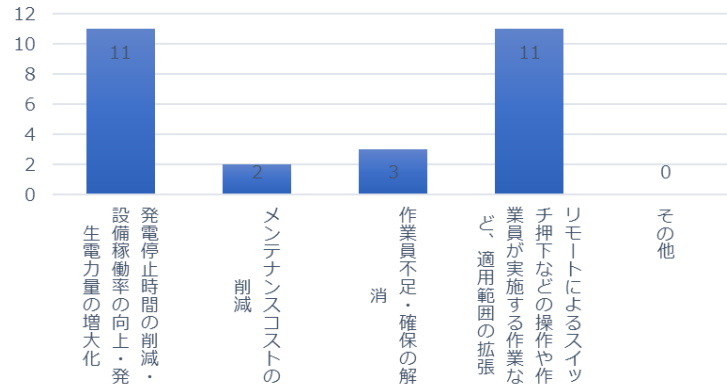
③ 実装・横展開に向けた準備状況

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 2/4

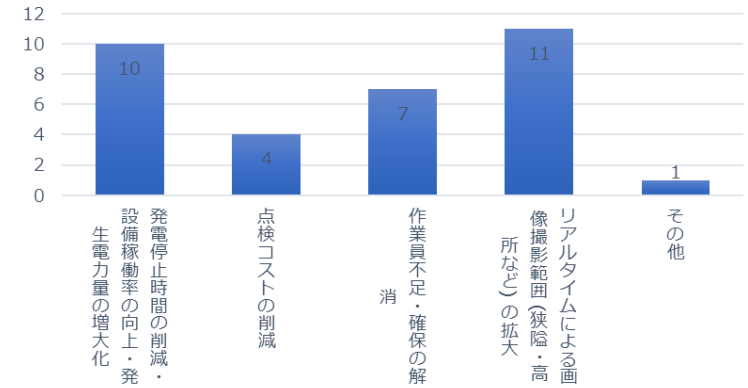
ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスへの期待はありますか(複数回答)

ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検への期待はありますか(複数回答)

【風力発電事業者】

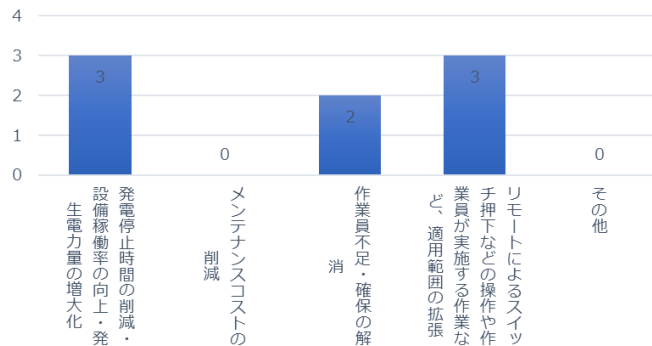


- ・ ダウンタイムの短縮化に有効と理解できた
- ・ 冬季は波が高く、現地にアクセスできない日が続くので特に有効
- ・ 日々多くの障害が発生し、現地まで出向き対応しているので、一部でのロボットでボタン押しリセットできれば有益



- ・ 運転中に対応できることは画期的だ
- ・ 将来的に、四足歩行ロボットが安価になり各ナセルに配置できるか、自分でナセルまで行けるようになれば、日常巡視や障害発生時の初期対応の可能性もあるのではと思った
- ・ ボルトのアライメント確認に際し、複数のボルトを外したり締めたりしているが、例えば四足歩行ロボットからレーザーを出し、ボルトの出面を確認できれば、その手間が省ける

【METI, JWPA, 海外事業者】



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

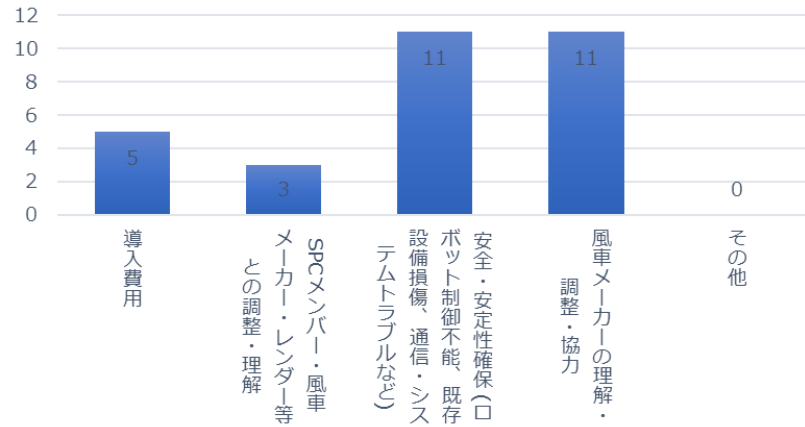
③ 実装・横展開に向けた準備状況

風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 3/4

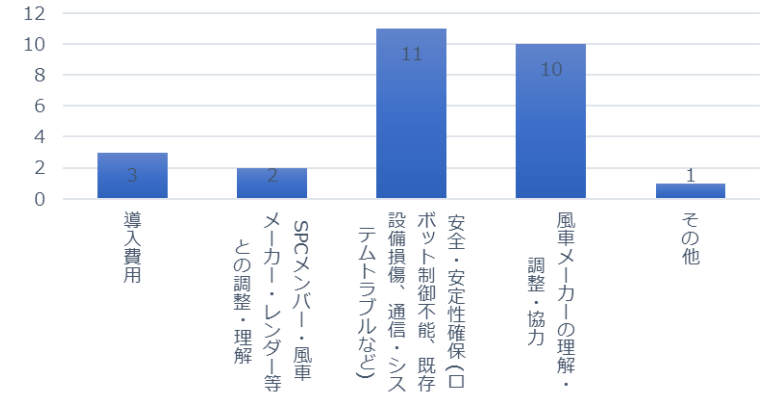
ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンスへの懸念がありますか(複数回答)

ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車点検への懸念がありますか(複数回答)

【風力発電事業者】

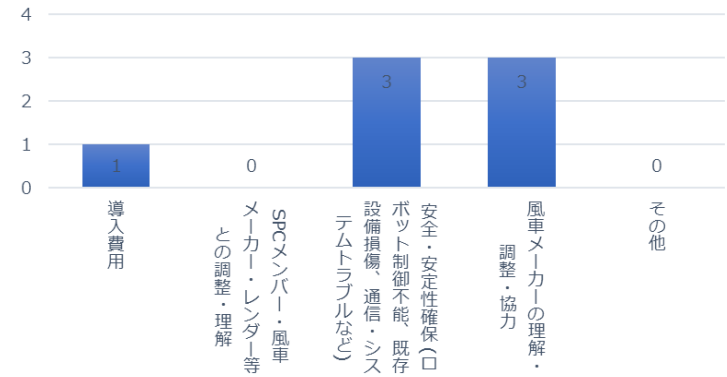
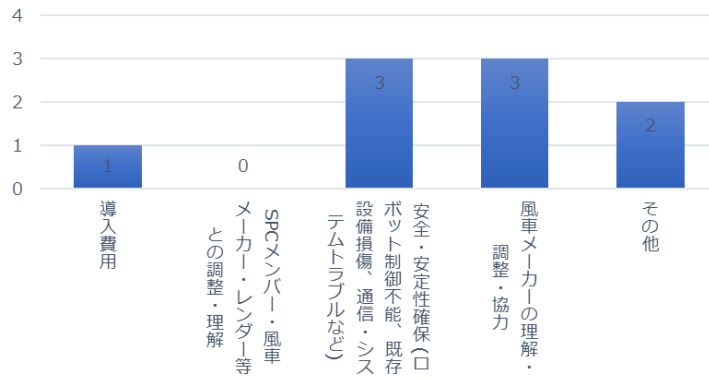


- 法令への適合性確認が必要



- 法令への適合性確認が必要

【METI,JWPA,海外事業者】



IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

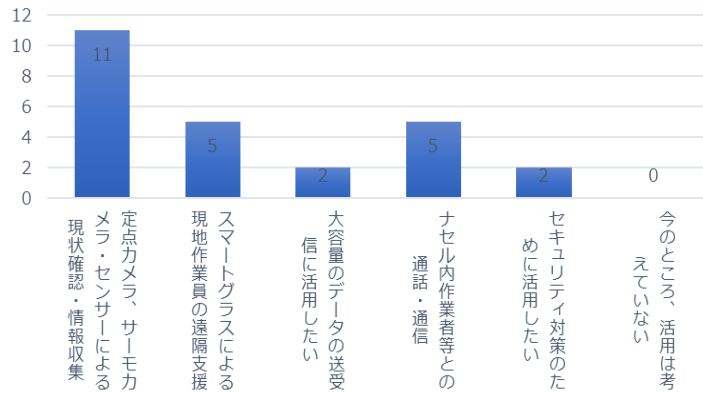
風力発電のオペレーション・メンテナンスにおける無線通信の活用アンケート調査結果 4/4

将来的に四足歩行ロボット以外でローカル5G・Wi-Fiを活用したいと思いますか(複数回答)

四足歩行ロボットを用いて、解消したい課題はありますか

四足歩行ロボットによる風車メンテナンス・点検の効果は妥当ですか

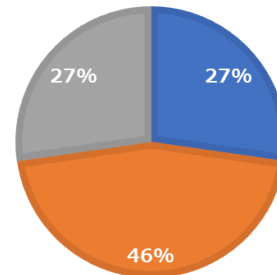
【風力発電事業者】



- カメラを狭隘な環境下で複数台のカメラ設置すれば、点検や作業に支障をきたす可能性があるため、自由に移動できる四足歩行ロボットが有効なことを理解した
- 今後の開発にあたり、運用方法や目的の検討が重要であると感じた

N=11

■ある ■あるが、困っているほどではない ■特にな

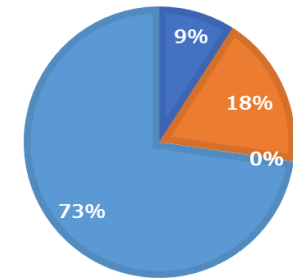


CSAT : 73%

- 陸上でもダウンタイム改善の課題はあり、適用したい
- 最近の風車においては費用削減のため、状態表示パネルが付いておらず、PCを接続して状態確認をしているが、それを四足歩行ロボットにて実現できるとよい
- 事故発生後、ナセル内の状況は分からないので、ナセルに入る作業員の安全確保が課題であったから、事故後の初期調査には非常に有効

N=11

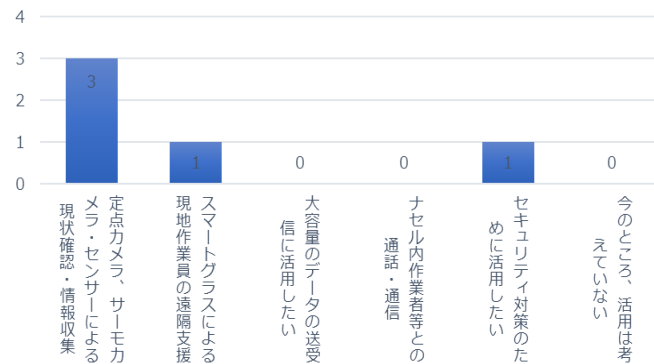
■妥当 ■ほぼ妥当 ■少し過大 ■過大 ■現時点では判断できない



CSAT : 27%

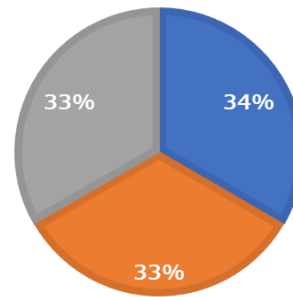
- ダウンタイム改善による事業性改善で期待できるソリューション
- 洋上で先行する海外で実績を積み日本に逆輸入も有効

【METI, JWPA, 海外事業者】



■ある ■あるが、困っているほどではない ■特にな

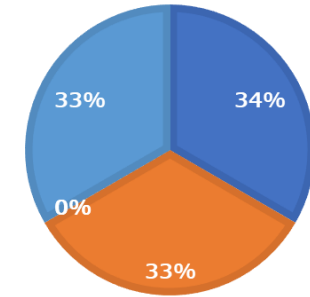
N=3



CSAT : 67%

■妥当 ■ほぼ妥当 ■少し過大 ■過大 ■現時点では判断できない

N=3



CSAT : 67%

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策 (1 / 5)

	課題	対応策	対応する団体名	対応時期
実装に 向けて	導入する風車のロケーションにより、O&Mにかかる効率化の課題が異なるため、状況に合わせたソリューションの絞り込みが必要	導入検討する風車毎にO&Mのための現地へのアクセス時間、故障頻度、主な故障箇所などの分析を行い、効果が期待できるソリューションへの絞り込みを行う また、コスト削減策を検討し、事業者と密なコミュニケーションを図り、事業者ニーズに合致する最適なソリューションの開発と導入検討を実施する	・株式会社秋田ケーブルテレビ ・NECネットエスアイ株式会社 ・株式会社ウエンティ・ジャパン	2026年4月～7月
	発電事業者あるいは風車メーカーとの調整・協議	風車により、メーカーがO&Mする場合と、事業者がO&Mする場合が存在する。ウインドファーム毎の状況を見極めて協議を行う (メーカーによる運用補償(稼働率保証)の有無に準じる)	・株式会社秋田ケーブルテレビ ・株式会社ウエンティ・ジャパン	2026年4月～7月
	横展開に向けたデモ環境も兼ねる方向であるが、見学に伴う売電損失等の補償負担の整理が必要	ビジネス主体あるいはその他パートナー(ソリューションの提供により収益が期待できるベンダー等)の負担による実施。顧客負担は最小限に実施	・株式会社秋田ケーブルテレビ ・株式会社ウエンティ・ジャパン ・株式会社Dshift	2027年4月以降
	コンソーシアム内のメンテナンスやタービンなど風力発電関連部品メーカーとの密な情報共有を継続する	風力発電関連部品メーカーとの直接的な連携に留まらず、経済産業省が定める電気設備の保安基準等に関する最新情報の共有を継続的に実施する	・株式会社秋田ケーブルテレビ ・株式会社ウエンティ・ジャパン ・株式会社Dshift	2027年4月以降
	設置機器類の落雷対策	サージ保護デバイス(SPD)を設置し、落雷による過電流・過電圧による故障を未然に防ぐ	・株式会社秋田ケーブルテレビ ・株式会社ウエンティ・ジャパン	2026年4月～7月

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策 (2 / 5)

横展開 に向けて	課題	対応策	対応する団体名	対応時期
	四足歩行ロボットでの点検・メンテに対し法令への適合性確認が必要	該当法令となる電気事業法を所管する経済産業省電力安全課に確認する	・株式会社Dshift	電力安全課に四足歩行ロボット適用が該当法令等に抵触しないことを確認
	不具合の可能性のある風車や継続監視が必要な風車へのスポット設置	システムのレンタルや、サブスクリプションで提供できるビジネスモデルを検討	・株式会社Dshift	2026年
	高性能マイクや振動センサの追加など、四足歩行ロボットの適用可能範囲の拡大	高性能マイク、振動センサなどを含め、拡大することが有効で効果が高い業務の抽出と、対応方法・機能の検討	・株式会社Dshift	2027年
	四足歩行ロボットの導入コスト削減	四足歩行ロボットの販売価格が下がる可能性があることから、価格をウォッチすることや、ローカル5GからWi-Fi7をオプションとする提案を検討する 共有可能機能プログラムの抽出と開発検討する	・株式会社Dshift	2027年
	洋上風車へのアクセスが容易ではないことへの対応	洋上風車での業務経験が豊富な事業者と風車メンテナンス事業者へのヒヤリングの実施と、ヒヤリング内容も取り込んだリスクアセスメントの実施	・株式会社Dshift	2027年
	風車メンテナンスにおける順守すべきセキュリティや安全運用/体制に関するルール作り	経済産業省の電力安全課や関係部署とも連携し、得られた知見を基に具体的なルール策定プロセスへ参画し、安全な運用ルールの確立に貢献する	・株式会社Dshift	2027年
	経済産業省の保安基準との整合性を確保するようメーカーに働きかけ、規制対応を徹底する	メーカーに対し最新の規制動向を共有すると共に、保安基準に完全に準拠した仕様策定を働きかける。特に遠隔監視における通信の信頼性と安全性の確保については、規制対応を徹底した製品開発・改良を促し、システム全体での整合性を担保する。	・株式会社Dshift	2027年

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策 (3 / 5)

	課題	対応策	対応する団体名	対応時期
横展開 に向けて	今後の開発にあたり、運用方法や目的の検討が重要	事業者が実施する運用方法や目的の検討は、四足歩行ロボットの特性を加味する必要もあり、事業者と連携し実施する	・株式会社Dshift	2027年
	ドライバーなどの工具使用の検討	アームの性能向上状況の把握と、必要に応じメーカーへの必要な対応機能について情報提供を行う	・株式会社Dshift	2027年
	メーカーによる確認が必須の場所があり、リモートリセットできない箇所への対応を検討することが必要	風車メーカーへの確認・協議・検討を行う	・株式会社Dshift	2026年
	対応可能なフェーラーモードの抽出がポイントであり検討が必要	風車メーカーへの確認・協議・検討を行う	・株式会社Dshift	2027年
	数千あるアラームの中で、マニュアルリセットが必要なアラームの抽出が必要	トラブルシューティングマニュアルの入手と確認を行い、現地リセットが必要なアラームを抽出する	・株式会社Dshift	2027年
	LTSA(長期保守契約 (Long Term Service Agreement))期間中は風車メーカーとの調整が必要	風車メーカーへの確認・協議・検討を行う	・株式会社Dshift	2026年
	当ソリューションを風車メーカーのオプションにしてもらおうと広がる	風力発電メーカーは欧州の主要3メーカーが市場を独占しているが、JETRO等の協力を得て現在2社へアプローチしており興味を示してもらっており、メーカーへの提案、交渉を進める	・株式会社Dshift	2026年
	制御盤がタワーボトムにある風車もあるので四足歩行ロボットの配置に配慮が必要	タワーボトムにある制御盤のみでの対応であれば、狭隘な通路の歩行や階段はないため、より簡易なロボットでも対応可能であり検討する	・株式会社Dshift	2027年

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策 (4 / 5)

	課題	対応策	対応する団体名	対応時期
横展開 に向けて	ボルトのアライメント確認に際し、複数のボルトを外したり締めたりしているが、例えば四足ロボからレーザーを出し、ボルトの出面を確認できれば、その手間が省ける	対応可否と、対応可能な場合は開発費と効果を算出するなど、費用対効果 (ビジネスの可能性) を検討する	・株式会社Dshift	2027年
	最近の風車においては費用削減のため、状態表示パネルが付いておらず、PCを接続して状態確認をしているが、それを四足歩行ロボットにて実現できるとよい	アームの性能向上状況の把握と、必要に応じメーカーへの必要な対応機能について情報提供を行う	・株式会社Dshift	2027年
	四足歩行ロボットにて天井部のハッチを開け、0時方向に向けたブレード撮影ができるとブレード外観点検の手間を削減できる	四足歩行ロボットでは構造機能的に困難だが、人型ロボットであれば対応できる可能性があり、人型ロボットの開発状況を把握する	・株式会社Dshift	2027年
	洋上で先行する海外で実績を積み日本に逆輸入も有効である	まずは現時点で繋がりを持つ台湾と欧州の事業者と、欧風の風車メーカーへの提案と、実装する風車等への見学を打診する	・株式会社Dshift	2026年
	アラートリセット箇所が狭く、細い箇所もあるので、そういった箇所への対応ができるとなおよい	主たる横展開対応である単機出力10MW以上の風車のアラートリセット箇所等の配置を確認し、四足歩行ロボットでの対応可否整理を検討する	・株式会社Dshift	2027年
	全風車への設置は慎重な検討が必要と考える	IRRで示される効果や、IRR以外での効果も整理し事業者にアピールし、全風車導入を働きかける活動を続ける	・株式会社Dshift	2026年

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策 (5 / 5)

	課題	対応策	対応する団体名	対応時期
横展開 に向けて	台湾は日本よりも発電単価は安く費用対効果は詳細検討が必要と考える	台湾での売電単価等を確認し、IRRによる収益性評価を検討する	・株式会社Dshift	2026年
	ローカル5G・Wi-Fiを用いた四足歩行ロボットによる風車メンテナンス及び点検に対する期待は、a. 発電停止時間の削減・設備稼働率の向上・発生電力量の増大化、b. リモートによるスイッチ押下などの操作や作業員が実施する作業など適用範囲の拡張、c. リアルタイムによる画像撮影範囲 (狭隘・高所など) の拡大、d. 作業員不足への対応、e. 風車運転中の対応、f. 公共安全・環境に影響を及ぼす可能性のあるアラームへの迅速な対処、g. 事故発生後の作業員の安全確保、h. 設備の簡易的な状態確認に要する(人による)手間を省力化、となる	上記に記載し整理した内容や結果も用いて、導入までに必要な多くの調整協議事項に、丁寧かつ論理的に分かりやすく抜け漏れ落ちのない対応を継続する	・株式会社Dshift	2026年
	懸念事項は、導入コスト、風車メーカーの理解調整協力、安全安定性確保 (ロボット制御不能、既存設備損傷、通信システムトラブルなど) となる	上記に記載し整理した内容や結果も用いて、導入までに必要な多くの調整協議事項に、丁寧かつ論理的に分かりやすく抜け漏れ落ちのない対応を継続する	・株式会社Dshift	2026年

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

5 (参考) 実証視察会

a. 概要 (1 / 2)

開催場所: 秋田県山本郡八峰町内 峰浜風力発電所

開催日時: 令和7年11月19日 (水) 13:00~16:20

デモ項目	内容	備考
実証概要説明と質疑応答	<ul style="list-style-type: none">・実証フィールド視察に先立ち、実証の概要と進捗状況などを開設。視察前の質疑応答を実施。・視察終了後には、振り返りの質疑応答を行い、参加者より講評を頂いた。	次ページ 写真6-1
風車外観及び風車タワー内の1階までの見学	<ul style="list-style-type: none">・峰浜風力発電所1号機の外観を確認頂きながら、風車の概要について説明を行った。・風車タワー内の1階（入口部分）までご見学いただき、風車内部構造について説明を行った。	次ページ 写真6-2
ナセル内カメラ映像確認（サーモカメラ、定点カメラ）	<ul style="list-style-type: none">・ナセル（風車機械室）の内部に取り付けている定点カメラ（サーモカメラ、PTZカメラ）の映像をご確認いただき、遠隔監視としての有効性をご確認いただいた。・ナセル内の照明点灯時、消灯時の映像をご確認頂いた。	次ページ 写真6-3
四足歩行ロボット遠隔操作	<ul style="list-style-type: none">・ナセル内の四足歩行ロボットの遠隔操作及び、ロボットに搭載されたアームによるスイッチ等の操作をご確認いただいた。・AIによるナセル内の計器の読み取りをご確認頂いた。	次ページ 写真6-4、6-5
スマートグラスによる作業支援	<ul style="list-style-type: none">・ナセル内のスマートグラスを装着した作業員とコミュニケーションを行い、遠隔作業指示の有効性をご確認頂いた。	次ページ 写真6-6

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

⑤ (参考) 実証視察会

a. 概要 (視察会の様子) (2 / 2)



写真6-1 実証概要説明



写真6-2 風車概要説明 (風車タワー内見学)

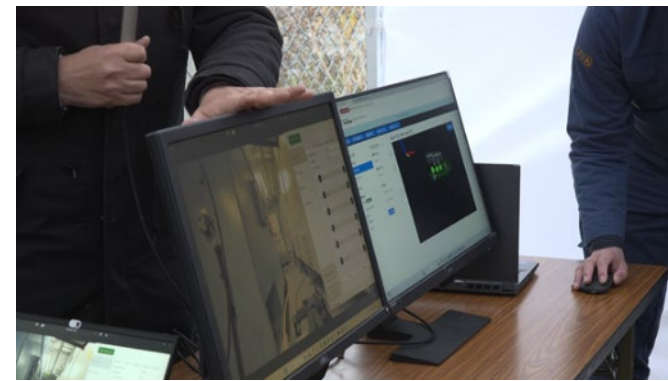


写真6-3 ナセル内定点カメラ画像確認

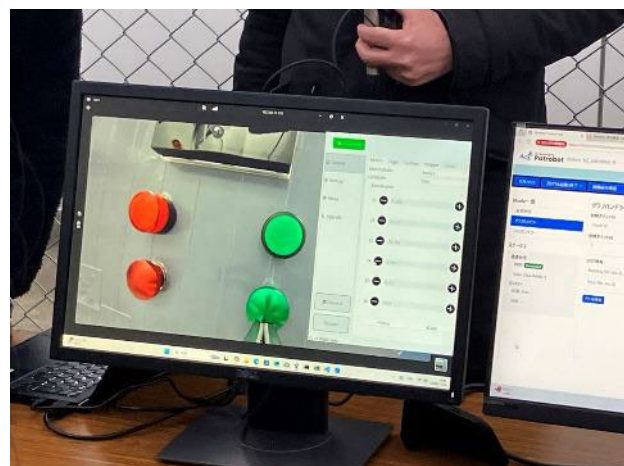


写真6-4 ロボットアームによる
スイッチ遠隔操作

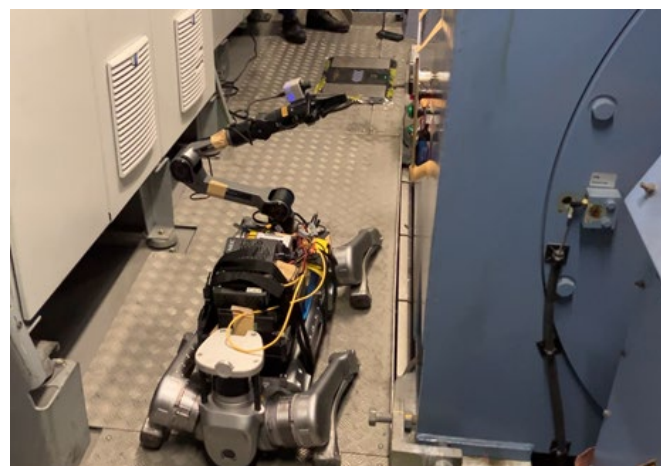


写真6-5 ロボットアームによる遠隔操作



写真6-6 スマートグラスによる遠隔コミュニケーション

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針 (1 / 4)

質問事項	回答内容	アクション	
		内容	期限
オペレーション・メンテナンスのコストが30%以上を占めるとのことだが、本実証のソリューションで具体的に何%削減を目標としているか？	全体コストの1%程度を目標としている。一般的に風力発電事業1サイトのトータルコストは3,000~5,000億円程度のため1%でも30~50億円の削減効果がある。	-	-
風車設備の遠隔操作技術は進んできていると考えるが、ロボットでの物理的な動作は必要か？	通常のメンテナンス時は現場で確認した上でリセットボタンを押すが、遠隔監視時にカメラでは映せない低い所、例えば油漏れなどをカバーするためロボットが必要となる。また、火災アラームの誤報などのケースは、作業員による現場確認とロボット操作を想定している。	-	-
今回八峰町を実証フィールドに選定した理由は？	本実証は洋上風力発電での利活用を想定しているが、一般海域での運転開始は2028年度予定のため、今回は当社が運用している陸上風車の中で最適と思われる八峰町の風力発電設備を選定した。	-	-
風力発電の故障の頻度は？	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな落雷等で陸上風車設備の数値が一定の閾値を超えた場合にアラートが発報し、電気主任技術者による現地対応が必要となるが、年間1~2回程度発生している。現状の陸上風車ではエラーは軽度のものがほとんどで、遠隔からのリセット対応で復旧する。 ・洋上風力発電においては1サイトあたり30~100基程度で運用されるため、基数が増えるほど故障率は上がっていく。一般的に運転開始から4~5年程度、運用が安定するまで故障頻度が高く、ほぼ毎日何らかの対応を行っている。 	風力発電（陸上風車）における故障原因を過去の調査資料から調査し、通常どのような項目で故障が発生しているか、それに対してどのソリューションが有効か付属資料として添付します（P133、134参照）。	2026年3月
本実証で使用したソリューション導入時のインシャル・ランニングの費用対効果は？	本実証はメンテナンスコスト削減と風車停止時のダウンタイム削減による発電量の最大化を目的としていて、発電量最大化の方が効果が大きい。費用対効果は実施計画書のシミュレーションの通りであるが、一般海域における洋上風力発電の場合、IRR（内部収益率）は9~40%程度を見込んでおり、投資判断の際に一般的に用いる5%を大きく超えている。	-	-

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針 (2 / 4)

質問事項	回答内容	アクション	
		内容	期限
オペレーション・メンテナンスのコストが30%以上を占めるとのことだが、本実証のソリューションで具体的に何%削減を目標としているか？	全体コストの1%程度を目標としている。一般的に風力発電事業1サイトの総コストは3,000~5,000億円程度のため1%でも30~50億円の削減効果がある。	-	-
ナセル内通信環境のローカル5GとWi-Fiを比較した現時点での評価は？	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点ではまだ評価・分析中であるが、Wi-Fiは物陰など場所によって通信が乱れるケースがあったがローカル5Gではそのようなことはなく、通信の安定性という観点ではローカル5Gの方が優れている。但しWi-Fiが不便であるということではなく、ロボットの遠隔操作やスマートグラスの遠隔指示等、リアルタイム性が必要となるユースケースではローカル5Gを使用する方が望ましいと考察する。 ・洋上風力ではナセルの面積がより大きくなるためWi-Fiの不安定さが増すことが想定される。コスト面の考慮も必要だが、ローカル5Gのみでも十分対応できると考えている。 	-	-
風力発電事業は地元住民の関心が高い事業であるが、本実証でのソリューションが採用されることによる地元住民へのメリットは？	本実証では風力発電のオペレーション・メンテナンス分野を地元企業でも担うことができることを目標としている。洋上風力発電において一部企業の撤退等で事業自体への不安を抱いている住民もいるかもしれないが、本実証は風力発電事業自体の事業性を高める取り組みである。	-	-

IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

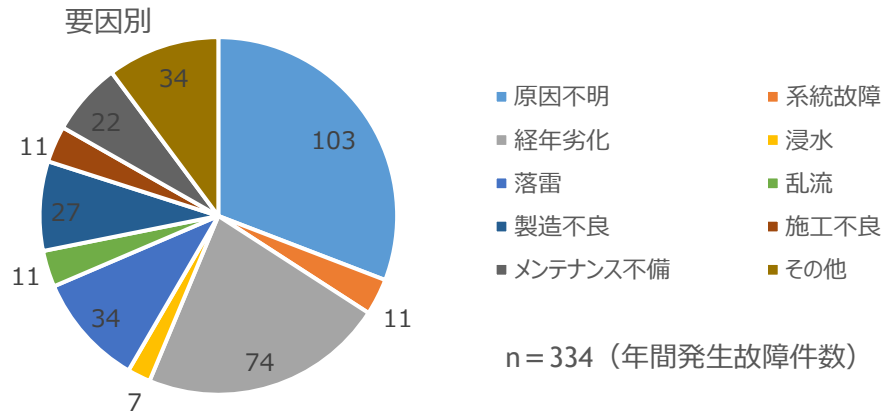
5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針 (3 / 4)

■ 国内風力発電所の故障・事事故事例の整理

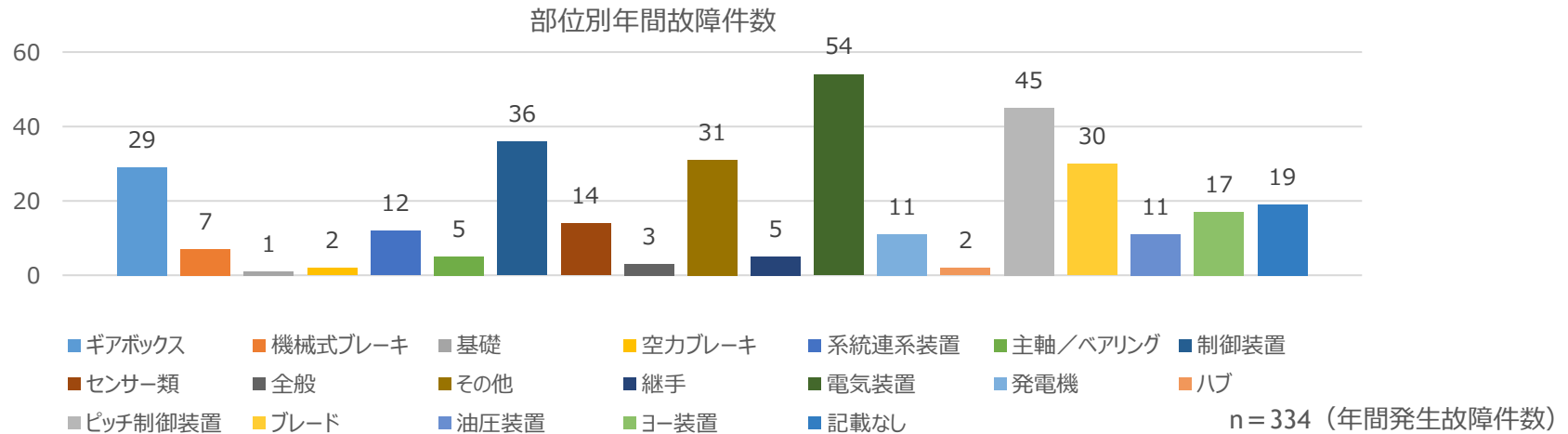
分析データ (出典) : NEDO「風力発電高度実用化研究開発／スマートメンテナンス技術研究開発／風力発電・故障事故調査結果」2016年度分データより

要因別の故障事故の比率



原因が特定できない故障及び経年劣化による故障が半数が52%を占める。また、落雷による故障が10%と続く。これらの故障状況を確認し、原因を特定、対策の決定にあたっては、カメラ等により現地の状況を把握し、状況に応じた対策を決定することが、メンテナンス効率の向上として有効と考える。

部位別の故障事故の比率



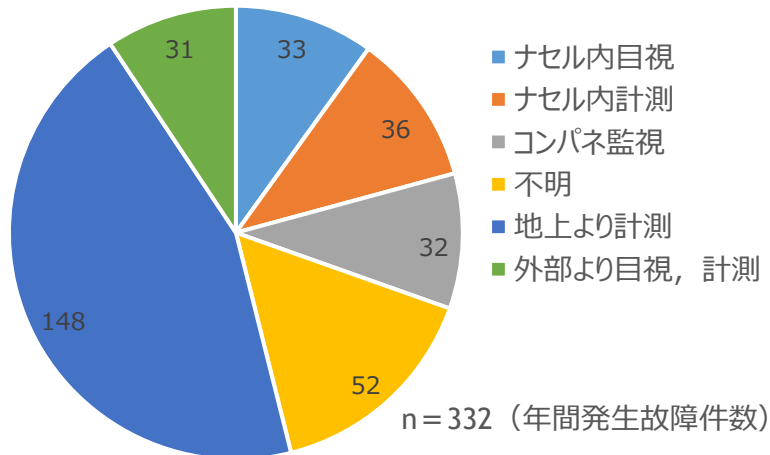
5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針 (4 / 4)

検出可能性別 故障・事件事例の分類

検出方法	対応可能ソリューション
ナセル内目視	ナセル内ロボット搭載カメラ、ナセル内定点カメラにより検出可能
ナセル内計測	ナセル内サーマルカメラ、振動センサーにより検出可能
コンパネ監視	ナセル内ロボット搭載カメラでナセル内のコントロールパネルを撮影することにより検出可能
不明	検出方法不明
地上より検出	監視所等のデータのモニタリングにより検出可能
外部より目視, 計測	外部からドローンによる目視導通テスト等を行う必要あり

年間発生故障件数のうち、ソリューションを活用することによる検出が可能と考えられる件数



ナセル内ロボット、ナセル内に設置したカメラ、センサー類により故障・事件事例の3割程度を検出できる可能性がある。
 今回のシステムで検出できない故障事例のうち7割程度は地上でのデータモニタリング等の従来方法で検出可能だと考えられる。

- ◆ ナセル内ロボットにより新たに検出になると考えられる故障は、漏油、冷却水漏れ、ナセル内での亀裂の発生など
- ◆ ナセル内設置センサー類（振動センサー、サーマルカメラ）により検出可能になると考えられる故障は、増速ギア等の損傷、発電機周りの過熱など
- ◆ 引き続き検出の難しい故障は、ブレードの表面損傷、レセプタ、ダウンコンダクタの損傷、断線など（これらの故障事例についてはドローンによる撮像、導通テストなどの検出方法が想定される）

V 実装・横展開の計画

① 実装の計画

a. 実装において今後目指す状態

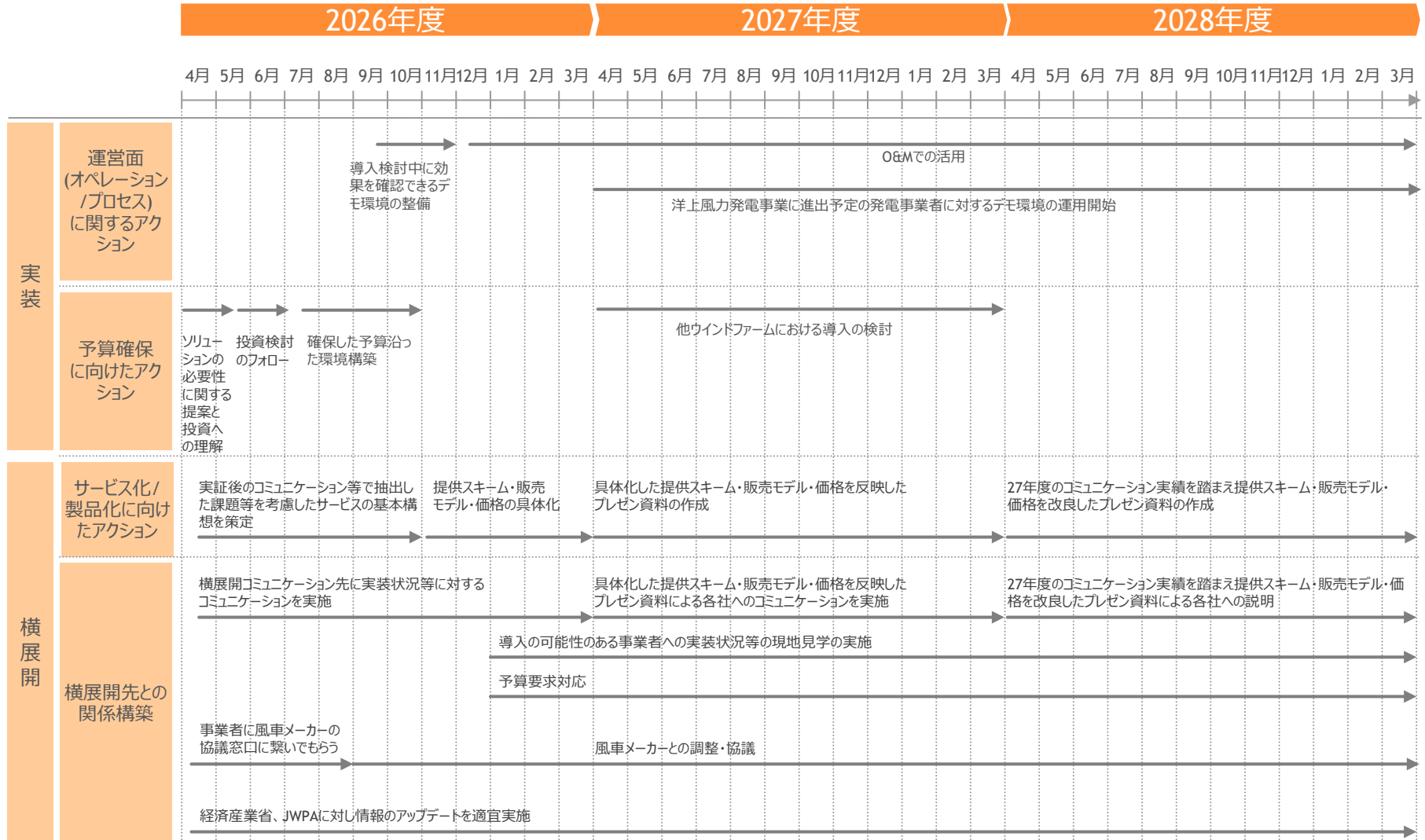
実装先	株式会社ウエンティ・ジャパン 峰浜風力発電所
-----	---------------------------

	2026年度		2027年度		2028年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
運用	<ul style="list-style-type: none"> 当該風車におけるソリューションの必要性精査完了（導入ソリューションの洗い出し） 	<ul style="list-style-type: none"> 確保した予算に沿った環境構築 運用方法確定 	<ul style="list-style-type: none"> 通常O&Mでの活用（運用を定着させ、新たな課題などを抽出） 洋上風力発電事業に進出予定の発電事業者へのデモ環境として活用 			
予算	<ul style="list-style-type: none"> 導入予定ソリューションに対する投資額の洗い出し完了 費用対効果の試算が完了し、承認プロセスに進んでいる 	<ul style="list-style-type: none"> 確保した予算に沿った環境構築 			<ul style="list-style-type: none"> 他ウインドファームにおける導入検討 予算確保 	
体制	<ul style="list-style-type: none"> 株式会社秋田ケーブルテレビ 株式会社ウエンティ・ジャパン 	<ul style="list-style-type: none"> 株式会社秋田ケーブルテレビ NECネットエスアイ株式会社 株式会社ウエンティ・ジャパン 	<ul style="list-style-type: none"> 株式会社秋田ケーブルテレビ 株式会社ウエンティ・ジャパン 株式会社明電舎（O&M） 株式会社Dshift（デモ） 		<ul style="list-style-type: none"> 株式会社秋田ケーブルテレビ 株式会社ウエンティ・ジャパン 	
ビジネスモデル	秋田ケーブルテレビが実装責任者、ウエンティ・ジャパン導入先となり、実証で有効性が確認されたソリューションを選定して構築		当該風車のO&Mに活用しつつ、Dshiftによる洋上風力事業者等へのデモとして実施		ソリューションのメリット・デメリットを整理し、他ウインドファームへの導入検討を実施	

V 実装・横展開の計画

① 実装の計画

b. 今後3年間で実施するアクション



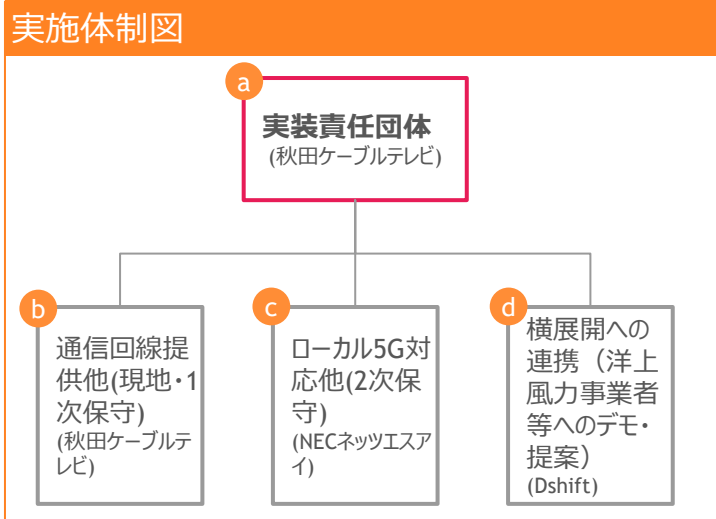
V 実装・横展開の計画

1 実装の計画

c. 実装の体制

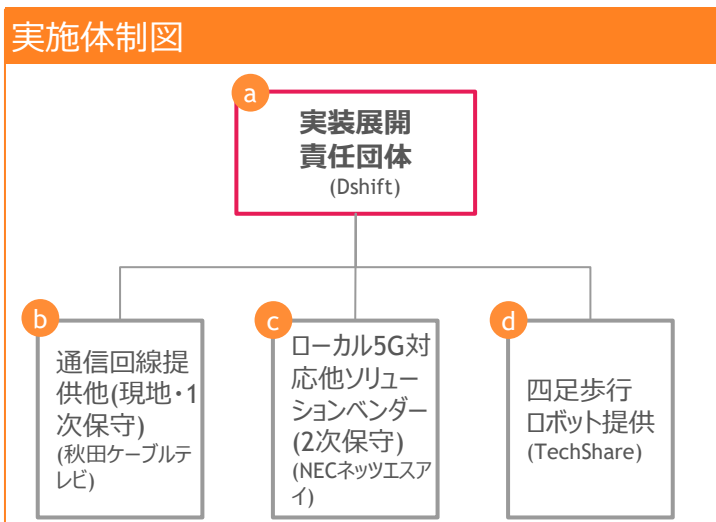
【2026年度】

□:実装の取組全体の責任団体



団体名	役割	リソース
a 株式会社秋田ケーブルテレビ	プロジェクトの全体管理 実装予定企業との折衝や確実な導入に向けた検討を実施	2名
b 株式会社秋田ケーブルテレビ	通信インフラ（無線インフラ、光回線）の提供及び現地保守を実施	3名
c NECネットエイ株式会社	ローカル5G製造元であるため、不具合発生時の2次保守を担当（1次保守は秋田ケーブルテレビが行い不具合箇所の特定を行う）	1名
d 株式会社Dshift	横展開先の候補である次期洋上風力発電事業者（入札により決定）との交渉担当 当該事業者への見学等の推奨	1名

【2027年度以降】 2028年度以降に予定されている一般海域の洋上風力での実装を目指して横展開をしつつ実装を目指す



団体名	役割	リソース
a 株式会社Dshift	プロジェクトの全体管理 今後一般海域での洋上風力事業に進出予定の発電事業者への提案・横展開を実施	2名
b 株式会社秋田ケーブルテレビ	通信インフラ（無線インフラ、光回線）の提供及び現地保守を実施	3名
c NECネットエイ株式会社	ローカル5G製造元であるため、不具合発生時の2次保守を担当（1次保守は秋田ケーブルテレビが行い不具合箇所の特定を行う）	1名
d TechShare株式会社	四足歩行ロボットの提供元であり、不具合発生時の保守を担当	1名

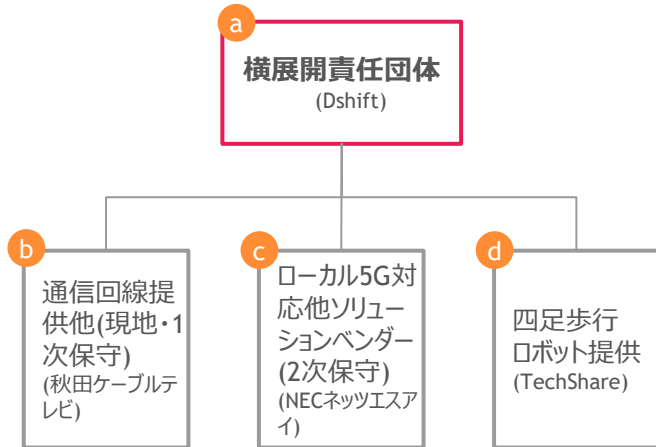
V 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

a. 横展開の体制

□ :横展開の取組全体の責任団体

実施体制図



団体名	役割	リソース
a 株式会社 Dshift	プロジェクトの全体管理 今後一般海域での洋上風力事業に進出予定の 発電事業者への提案・横展開を実施	2名
b 株式会社 秋田ケーブルテレビ	通信インフラ（無線インフラ、光回線）の提供及び 現地保守を実施	3名
c NECネットエスアイ株式会社	ローカル5G製造元であるため、不具合発生時の2 次保守を担当（1次保守は秋田ケーブルテレビが 行い不具合箇所の特定を行う）	1名
d TechShare 株式会社	四足歩行ロボットの提供元であり、不具合発生時 の保守を担当	1名

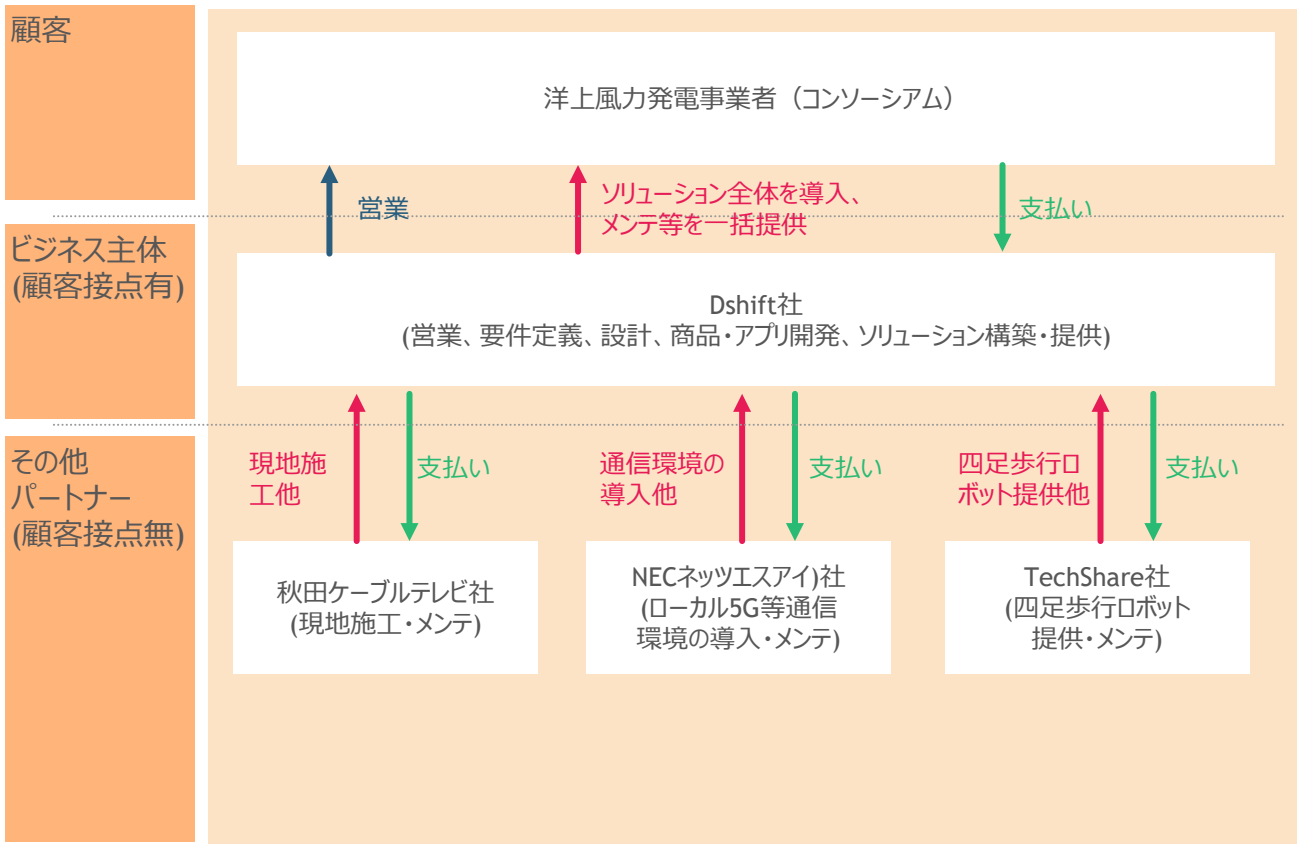
V 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

b. ビジネスモデル

- ← 商品・サービス
- ← 営業(顧客向け)
- ← お金
- ← その他(適宜記載)

ビジネスモデル図



ビジネスモデル図

概要	洋上風力発電事業者（コンソーシアム）と繋がりをもつDshiftが営業フロントとなり、各協力会社と連携し要件定義他の全体の統括を実施する
ポイント(工夫)	マネタイズモデル 【売り切り】 ・ お客さまニーズや要求品質等に応じて柔軟に提供・構築するソリューションを組合せた提案を実施
	ターゲット顧客 ・ 洋上風力発電事業者をメインに、洋上風力発電事業者で陸上風力発電所を所有している事業者には積極的にアプローチを実施
	その他 ・ メーカーと2027年度以降の導入計画を共有し供給体制整備を図る ・ 最初の洋上風力地点導入時に、リスクアセスメント、工事・設置手順等のマニュアルを整備し標準化を図る ・ 導入に対し発電事業者の理解が得られればすぐに、パートナーと手分けし調整・協議を進める ・ 発電所サイト当りの導入数量が多いため、プログラムアップデート等を効率的に実施する方法を導入時に検討

V 実装・横展開の計画

3 期待効果/資金計画

a. 販売主体

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	収益/件 ×	0百万円	446百万円	1,060百万円
	件数(導入先数)	1件 (1基)	販売1、継続1 (販売14基、計15基)	販売1、継続2 (販売33基、計48基)
	合計	0百万円	446百万円	1,060百万円
費用	イニシャル +	2百万円	363百万円	856百万円
	ランニング/件 ×	0.1百万円/年	7百万円/年	24百万円/年
	件数 (導入先数)	風車1基	風車14基増 (計15基)	風車33基増 (計48基)
	合計	2.1百万円	370百万円	880百万円
資金調達方法	Dshift 支出と入金の時 期ズレが発生する 場合は自己資金 または親会社ある いはレンダー等か らの短期融資にて 調達		370百万円	880百万円
	秋田ケーブルテレビ 自己資金	2.1百万円		



投資の 妥当性 (現時点 見立て)	販売主体	<p>発電事業者 (導入先) は当通信・ソリューションの導入に対し高い収益性が見込めるため、これに見合った強気のプライシングと利益確保が可能であり、実施体制図での全ての企業で黒字化可能な見込み</p> <p>一方で、本事業で得たノウハウ等を用いて販売コスト値下げし、事業者がより導入しやすした</p>
妥当性を 高めるため の目標	目標	<p>ローカル5G・四足歩行ロボット</p> <ul style="list-style-type: none"> 原価の大半を占めておりコスト削減が必要 2027年度以降の大量導入に安定的に対応するために、供給体制整備・構築が必要 現地導入時の設置・調整等のマニュアル化が必要 ケーブル配線・配管等の設計の手戻り等をなくすため、発電事業者・風車メーカー等と風車設計段階から調整・協議を開始することが必要 ローカル5G活用提案だけでなく、必要に応じ通信環境をWi-Fiに変更し事業者がより導入しやすくすることが必要
	アクション	<p>ローカル5G・四足歩行ロボット</p> <ul style="list-style-type: none"> メーカーと早期発注や大量購入によるボリュームディスカウント交渉を実施 メーカーと2027年度以降の導入計画を共有し供給体制整備を図ってもらう 最初の洋上風力地点導入時に、リスクアセスメント、工事・設置手順等のマニュアルを整備し標準化を図る 導入に対し発電事業者の理解が得られればすぐに、調整・協議を開始する Wi-Fi7導入に対する実施体制検討

II ソリューション

3 期待効果の根拠_販売主体

販売主体 石狩新港洋上風力発電所 (112MW/14風車基) での例

(税込)

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	14基 イニシャル ランニング	3,125万円/基 70万円/月	14基分 ローカル5G機器1億6,950万円、四足歩行ロボット1億3,300万円他 ローカル5Gシステム保守765万円/年、四足歩行ロボット保守70万円/年他	14基 12か月	4億4,590万円 4億3,750万円 840万円/年
	定性	発電事業者へ他の ソリューションを含め ローカル5Gを提案	—	ローカル5Gを活用する、R4に取組んだドローンによるブレードメンテナンス やNEDOグリーンイノベーション基金フェーズ2開発技術も取込んだ提案 活動を実施し、ローカル5G等の社会実装・横展開を推進	—	—
		酸欠危険個所への 当通信・ソリューション の展開を提案	—	風車基礎部の一部に酸欠危険個所があり、当該個所での点検時は 酸欠防止対策を実施しているが、四足歩行ロボット・カメラの活用で作業 員対応を不要とし、安全性確保、効率化が可能のため、当効果も取 り込んだ提案にてローカル5G等の社会実装・横展開を推進	—	—
費用	イニシャル	14基 ローカル5G機器	1,000万円/基	端末、基地局、アンテナ、5G vCUDU、L3スイッチ他	14基	3億6,330万円 1億4,000万円
		四足歩行ロボット 各種アプリケーション	700万円/基 300万円/基	ロボット、アーム、通信デバイス、カメラ、遠隔操作デバイス他 四足歩行ロボット制御プログラム、AI画像解析ソフト他		1億1,200万円 2,800万円
	現地工事他 その他通信設備 調整・試験	400万円/基 95万円/基 100万円/基	通信回線・電源敷設 Wi-Fi7通信環境整備 四足歩行ロボットの現地調整、通信環境調整他		5,600万円 1,330万円 1,400万円	
ランニング	14基 ローカル5Gシステム保守 四足歩行ロボット保守 SIM他	40万円/基 5万円/基 1万円/基	テクニカルサポート/システムSW保守 (12か月分) 消耗品交換他 (12か月分) SIM運用管理費 (12か月分)	14基	644万円 560万円 70万円 14万円	

V 実装・横展開の計画

3 期待効果/資金計画

b. 導入先

		2026年度	2027年度	2028年度
収益		10万円/年	125百万円/年 ¹	403百万円/年
費用	イニシャル	2百万円	438百万円 ²	1,031百万円
	ランニング/件	0.1百万円	8百万円 ³	29百万円
	合計	2.1百万円	446百万円	1,060百万円
資金調達方法	コンソメンバー負担	2百万円		
	発電事業者の自己資金またはレンダーから調達あるいはその両方		438百万円	1,031百万円
	発電事業者の自己資金	0.1百万円	8百万円	29百万円



投資の妥当性(現時点見立て)	導入先(支払元)	洋上発電事業者 本件導入に対する各地点のIRRは不定期点検分の場合、全11地点の内2点で、電気事業の投資判断で一般的に用いるハードルレートの5.0%を下回り導入は困難な見通したが、他の9地点はハードルレートの5.0%を超過しており、導入に向けた合意形成に対し説明力が高いことより、各事業者からは前向きなリアクションを得られた
妥当性を高めるための目標	目標	今回のIRR算出に用いた効果額は、不定期点検の早期実施に伴う回復発電量のみを対象にしており、現在未考慮の点検コスト削減分や、月次点検、定期点検に展開した場合の効果を上すれば収益率は更に高まるため、実証試験の評価結果を踏まえ適用範囲の拡大によるIRR上昇と、地域の作業員の早期育成への効果を具体的に示し投資意欲を更に高める ローカル5GをWi-Fi7に変更しコスト低減を図ることで全ての地点でIRRが向上され、前記のハードルレートの5.0%を下回る2地点も5.0%を超過できるなど、更に投資意欲を高める
	アクション	<ul style="list-style-type: none"> 四足歩行ロボット 正確で繊細な作業等が可能なアーム・ハンドの採用と、AI画像解析を活用した撮影画像の数値化技術の精度向上 制御アルゴリズムの開発による対応作業範囲等の拡大 スマートグラスによる遠隔サポート 作業項目の拡大・充実、高難易度、低頻度故障への対応

3 期待効果の根拠_導入先

導入先 石狩新港洋上風力発電所 (112MW/14風車基) での例

(税込)

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	発電電力量回復分	708万円/月	発電電力量回復分 = a×b×c×d×e a. 発電再開短縮時間1,508h、b. 地点総出力112MW、c. 設備利用率35%、d. 風車停止率4%、e. 売電単価36円/kWh 次頁にて算出根拠を記載します。	14基、12か月	1億2,460万円/年
		不定期点検コスト削減分	330万円/月	従来法4,200万円/年-本提案240万円/年		8,500万円/年 3,960万円/年
	定性	定期点検への適用	-	実施内容が精緻な定期点検適用範囲は実証結果で設定	-	-
		地域の作業員の早期育成	-	スマートグラスによる遠隔支援等活用の有効性を実証結果を踏まえ設定	-	-
		労働環境改善	-	荒れる海の中の航行・風車乗移り、海上施設作業の改善	-	-
費用	イニシャル	14基			14基	4億3,750万円
		ローカル5G機器	1,211万円/基	端末、基地局 (HFR)、アンテナ、5G vCUDU (HFR)他		16,954万円
		四足歩行ロボット	950万円/基	ロボット、アーム、通信デバイス、カメラ、遠隔操作用デバイス他		13,300万円
		各種アプリケーション	250万円/基	四足歩行ロボット制御プログラム、AI画像解析ソフト他		3,500万円
		現地工事他	500万円/基	通信回線・電源敷設		7,000万円
		その他通信設備調整・試験	100万円/基 114万円/基	Wi-Fi7通信環境整備 四足歩行ロボットの現地調整、通信環境調整他		1,400万円 1,596万円
	ランニング	14基			14基	840万円
	ローカル5Gシステム保守	54万円/基	クニカルサポート/システムSW保守(12か月)		756万円	
	四足歩行ロボット保守	5万円/基	消耗品交換他(12か月)		70万円	
	SIM他	1万円/基	SIM運用管理費(12か月)		14万円	

V 実装・横展開の計画

4 資金計画

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	価格/件	0百万円	446百万円	1,060百万円
	総額	0百万円	446百万円	1,060百万円
費用	イニシャル	2百万円	363百万円	856百万円
	ランニング	0.1百万円	7百万円	24百万円
	小計	2.1百万円	370百万円	880百万円
資金調達方法	Dshift 支出と入金の時 期ズレが発生する 場合は自己資金 または親会社ある いはレンダー等か らの短期融資にて 調達		370百万円	880百万円
	秋田ケーブルテレビ 自己資金	2.1百万円		

VI 指摘事項に対する反映状況

① 実証過程での指摘事項に対する反映状況

指摘事項

実装にあたってはソリューションが発電事業者のニーズと合致することが重要であるため、引き続き実装先・横展開先候補との連携を密にとる

電気設備技術基準や風力発電関連にサイバーセキュリティの条項が追加された直近の状況も踏まえると、本コンソで風力発電における遠隔監視・メンテナンス運用を普及させていくと共に、その際に遵守すべきセキュリティや安全運用／体制に関するルール・規格作りを主導する

経済産業省の保安基準との整合性を確保するようメーカーに働きかけ、規制対応を徹底する

反映状況

内容

資材及び人件費が高騰する中、O&Mの効率化やコスト削減につながるソリューションへのニーズは合致していると考えます。一方で本ソリューション適用に伴うイニシャルコストは、効果に見合うもの的高額となる。今後も実装に向けてコスト削減策を検討し、検討内容を用いて事業者と密なコミュニケーションを図り、最適なソリューションの開発と導入検討を実施していきます。

風力発電は重要インフラであり、サイバー攻撃や通信障害が及ぼす影響は甚大です。本コンソーシアムでは、物理的に外部接続を遮断する閉域網でのシステム構築を軸に据え、セキュアな遠隔監視モデルを事業者に提案してまいります。次世代のセキュリティ基準や体制のあり方をガイドライン化し、普及と信頼性確保を両立させることは業界の喫緊の課題です。本実証後の実装フェーズにおいては経済産業省の電力安全課や関係部署とも連携し、得られた知見を基に具体的なルール策定プロセスへ参画し、安全な運用ルールの確立に貢献する方針です。

経済産業省が定める電気設備の保安基準への適合は、本ソリューション普及の絶対条件であると認識しております。そのため本実証内では、経済産業省の電力安全課、エネ庁新エネ課やJWPA（日本風力発電協会）等への情報アップデートを実施し、今後も必要に応じコミュニケーションを実施することで合意しております。ソリューションの選定に際しては、参画メーカーに対し最新の規制動向を共有すると共に、保安基準に完全に準拠した仕様策定を本コンソーシアムが主導し強力に働きかけます。特に遠隔監視における通信の信頼性と安全性の確保については、規制対応を徹底した製品開発・改良を促し、システム全体での整合性を担保します。実装フェーズにおいても、メーカー各社と緊密に連携し、法令遵守と高度な運用効率を両立した標準モデルの提示を目指す方針です。

反映 ページ

P128

P129

P129

VI 指摘事項に対する反映状況

① 実証過程での指摘事項に対する反映状況

指摘事項

コンソーシアム内のメンテナンスやタービンなど風力発電関連部品メーカーとの密な情報共有を継続する

反映状況

内容

本コンソーシアムでは、本ソリューションの成果のメンテナンス事業者や風力発電関連部品メーカーとの直接的な連携に留まらず、経済産業省が定める電気設備の保安基準等に関する最新情報のアップデートの継続を徹底する方針です。

反映 ページ

P128

VI 指摘事項に対する反映状況

② 成果報告会での指摘事項に対する反映状況

指摘事項	反映状況	反映ページ
北欧など風力発電の先進諸国では、すでに同様の技術が実用化されているのではないかと、海外の状況を視野に入れないと、国内での技術投資が無駄になる懸念がある。	現在、欧州の主要3メーカーが市場を独占し、メンテナンスまで一貫提供しているのが実情である。現在、そのうち2社へアプローチしており、興味は示してもらっている。	P109
既存の4足歩行ロボットは、他社メーカーの風車（ナセル内のスペースやスイッチ形状など）にも適応可能なのか。	今回の実証は小型風車だが、今後導入される大型風車は内部スペースが広く、階段等の構造も増える。そのため、将来的には4足歩行ロボットがより活動しやすい優位性を発揮できる）環境になると考えている。スイッチ、計器類は人が作業する場所に取り付けられているものなので適応に問題は無い。	P92
実装横展開に向けた計画において、マーケットや技術面での具体的な課題・リスクの記載が不足している。現状の認識を伺いたい。	(技術面) 既存の風力発電設備への後付けは技術的に困難。そのため、今後建設される新規風車のみがメインのターゲットとなることが課題。	P62
	(マーケット面) 初期投資費用が高額であることが課題。コスト抑制のため、ローカル5GだけでなくWi-Fi 7やWi-Fi HaLowの活用による低コスト化を検討していく必要がある。	P92