

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した風力発電の設備利用率 向上によるカーボンニュートラル社会の実現

成果報告書概要版

令和5年3月

株式会社秋田ケーブルテレビ

実証概要

開06 工場・発電所等 ローカル5Gを活用した風力発電の設備利用率向上によるカーボンニュートラル社会の実現

事業区分：開発実証

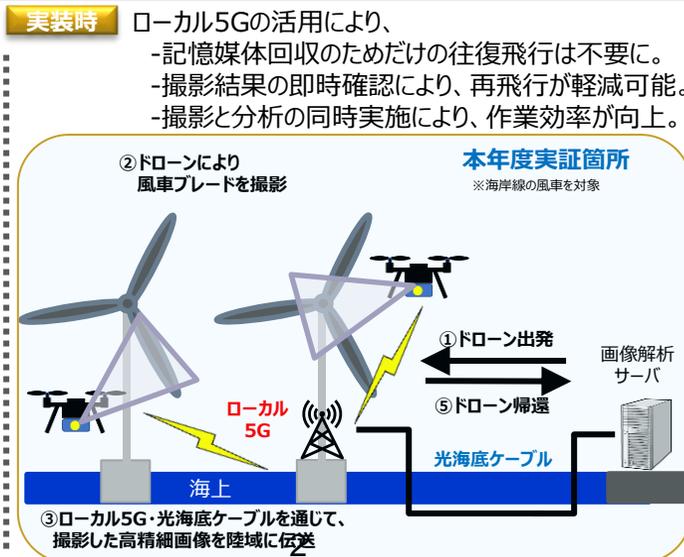
実施体制 <small>(下線：代表機関)</small>	(株)秋田ケーブルテレビ、NECネットエスアイ(株)、(株)Dshift、関西電力(株)、秋田県、ZEIN(株)、東京大学、(一社)日本ケーブルテレビ連盟	実施地域	秋田県秋田市 (ユース秋田港ウインドファーム)
実証概要	将来、我が国の主要な再生可能エネルギーの一つとして期待されている風力発電においては、その運転保守に莫大なコストを要する（ライフサイクルコストの35%以上）という課題が存在。 ▶ 海岸線上の風力発電所周辺にローカル5G環境を構築し、将来的な洋上風力発電での活用を見据えて、損傷等異常のリアルタイム分析を目指し、ドローンで撮影した風車ブレードの高精細画像を陸域に伝送する実証を実施。 ▶ 風車メンテナンス作業の効率化による風力発電の設備利用率向上を通じ、カーボンニュートラル社会を実現。		
主な成果	▶ 伝送速度は 最大値60Mbps を達成し、伝送遅延は 30ms未満 であることを確認。これにより、機能面においてローカル5G導入への支障がないことを確認。 ▶ ローカル5G活用モデルの導入はドローン点検における通信手段の改善と効率化に寄与できること確認。これにより、風車のダウンタイム削減に伴った増電効果として、例えば総出力50万kWのウインドファームにおける20年間の 導入コストは11.4億円、総効果額は209.6億円 とSPC※への高い費用対効果を確認。		
技術実証	▶ 洋上風力発電を想定した疑似環境において、海面反射及び潮位変動、波高等の気象海象状況による影響を考慮した、アップチルト方向への伝搬に係る電波伝搬モデルの精緻化を実施。 ▶ 周波数：4.8-4.9GHz帯（100MHz） 構成：SA方式 利用環境：屋外		
主な成果	▶ 基地局アンテナのチルト角は水平より上向き、かつ電波伝搬路の陸海混合比は100%海面であることが好ましく、この場合、波高および潮位による顕著な影響は認められず、 本用途においては波高および潮位の大きな影響はない 可能性を確認。		
今後の展開	本実証成果の実装に向けては、令和5年度は有償デモパッケージを通じて、ユーザーとなるSPC※等の要望を元に実証環境を個別に構築するとともに、本実証で明らかになった課題の解決に向け知見を蓄積し、令和6年度以降の今後展開される洋上風力発電設備への実装に向けて 各ステークホルダーへ提案活動 を行う。		



← 点検対象風車を撮影するドローンに向けて、ローカル5G電波を発射し、風車設備を撮影、画像伝送の様子

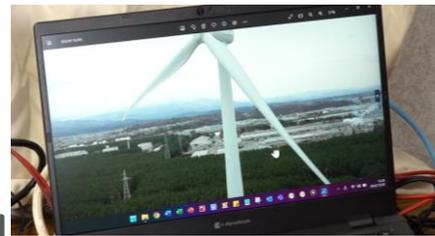


← 風車ブレードを撮影するドローンの様子

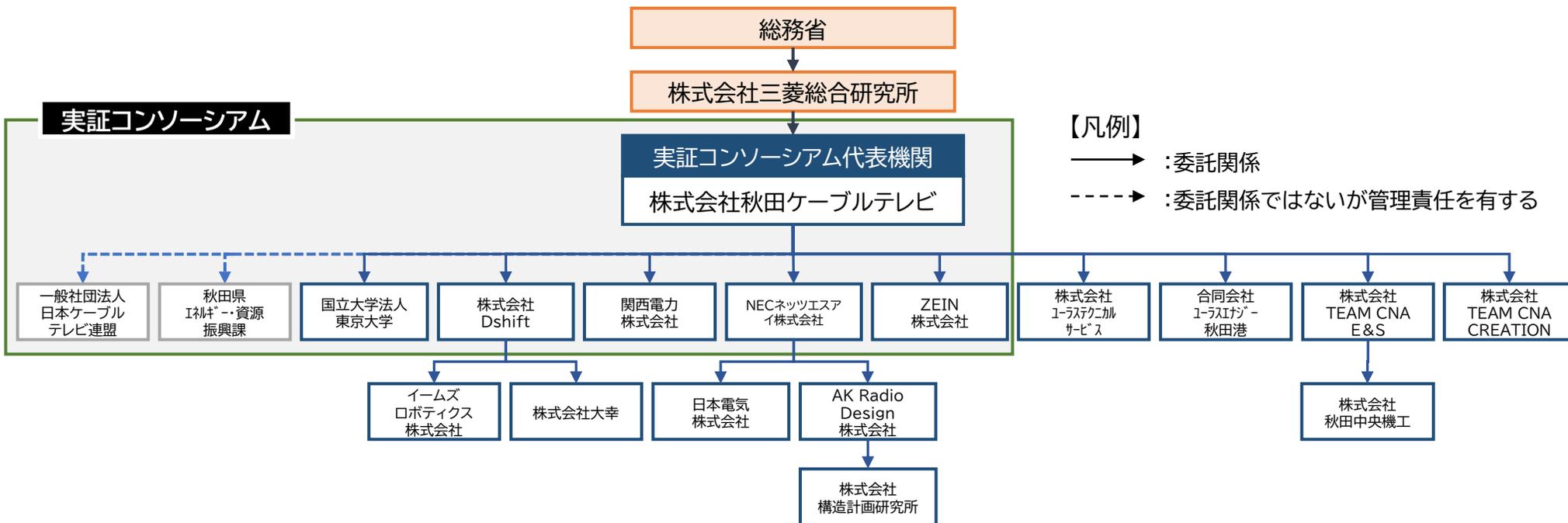


※SPC：Special Purpose Company。出資者が出資して立ち上げる会社で、洋上風力発電事業を行う。

ドローンからリアルタイムに伝送された高精細画像を仮設ハウス内で分析する様子↓



実施体制



【凡例】

——→ :委託関係

-----→ :委託関係ではないが管理責任を有する

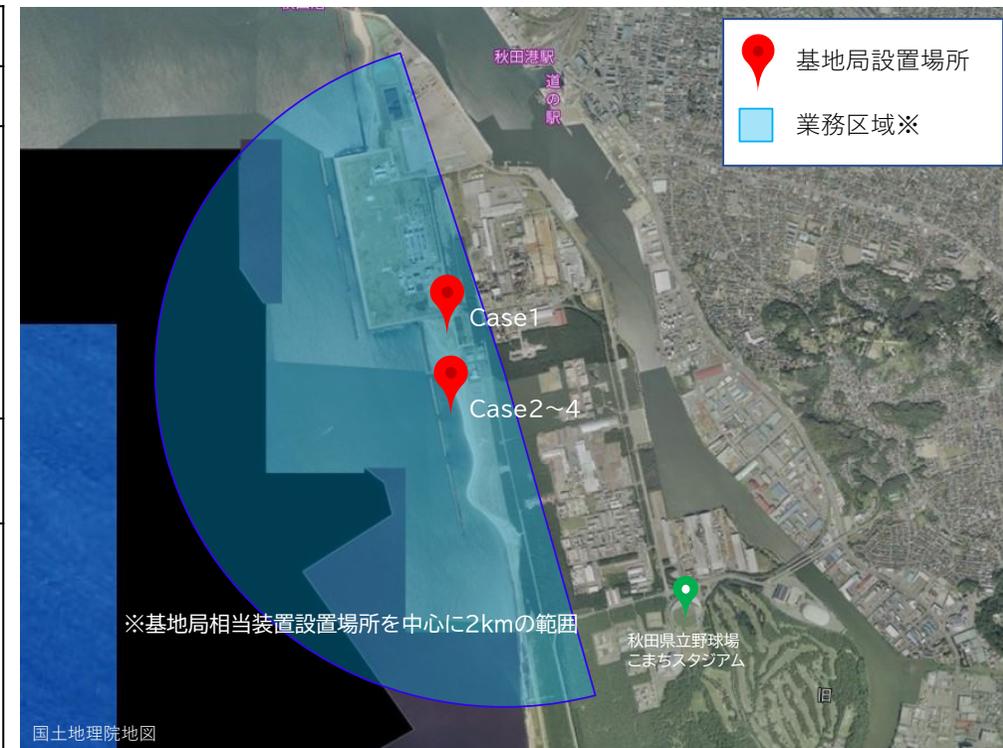
株式会社秋田ケーブルテレビ	プロジェクト全体統括、実証フィールド構築、実証で構築したローカル5G等の通信環境について実証終了後も継続的に利用する主体
NECネットワークスアイ株式会社	技術実証統括、ローカル5Gネットワーク環境構築
株式会社Dshift	課題実証統括、点検事業者の視点での評価、ドローン技術提供（ローカル5G対応ドローン構築）、本実証におけるソリューションのユーザ企業
関西電力株式会社	課題実証支援、事業者の視点で社会実装性や横展開の可能性を評価、本実証におけるソリューションのユーザ企業
秋田県エネルギー・資源振興課	地域視点（地域産業振興、雇用拡大）での評価
ZEIN株式会社	PMO、プロジェクト推進補助
国立大学法人東京大学	技術・課題実証指導、学識経験者視点での評価、実用および社会実装のための評価
一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟	地域通信事業者視点での評価、全国水平展開に向けた評価協力

実証環境

実施環境

秋田県秋田市向浜ユーラス秋田港ウィンドファームの海岸線に設置されている既存の発電風車を将来の洋上風力発電の疑似フィールドに見立て実証を行った。

対象周波数帯	Sub6帯 4.8GHz-4.9GHz
システム構成	SA
利用環境	<ul style="list-style-type: none"> 今回選定の発電風車は、海岸線上に位置し海面に迫り出す形状であり、洋上風力発電での社会実装を想定した本実証の検証要件を満たす最適な実施場所となる。 全ての実証パターンにおいて基地局は屋外設置を行い、実証パターンにより水面の地形(洋上)、あるいは平面(砂浜)にて実証を行う。
基地局設置位置	<ul style="list-style-type: none"> 屋外平面(Case1) 屋外水面(Case2~4)
基地局エリアカバレッジ	<ul style="list-style-type: none"> 本実証では、隣接する洋上風車間でローカル5G電波を照射し、無線通信エリアを構成するパターンと、自風車に対してローカル5G電波を照射し、無線通信エリアを構成するパターンを将来モデル(社会実装モデル)と想定して検証を行う。 実証パターンに応じて、最適な現地屋外設備の設置場所を設定する。



実施環境

本実証環境のエリアカバレッジは以下の通りである。

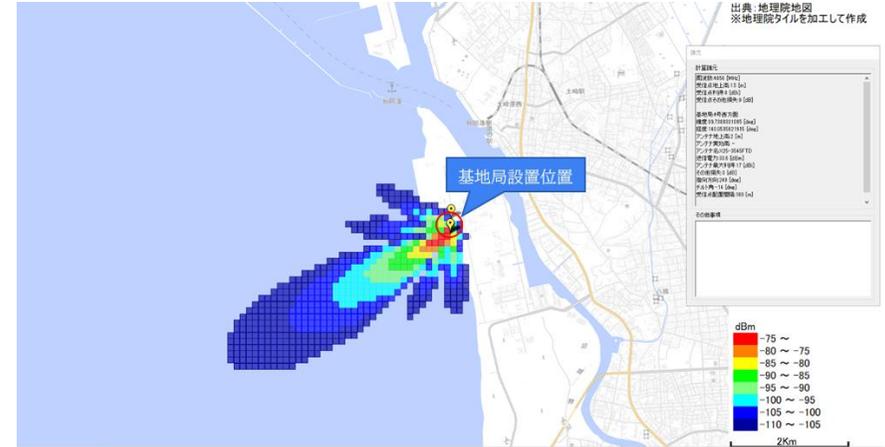
Case1 基地局設置位置①

受信点高1.5m



Case2 基地局設置位置②

受信点高1.5m



受信点高100m



受信点高100m



実施環境

Case3 基地局設置位置①

受信点高1.5m



Case4 基地局設置位置②

受信点高1.5m



受信点高100m

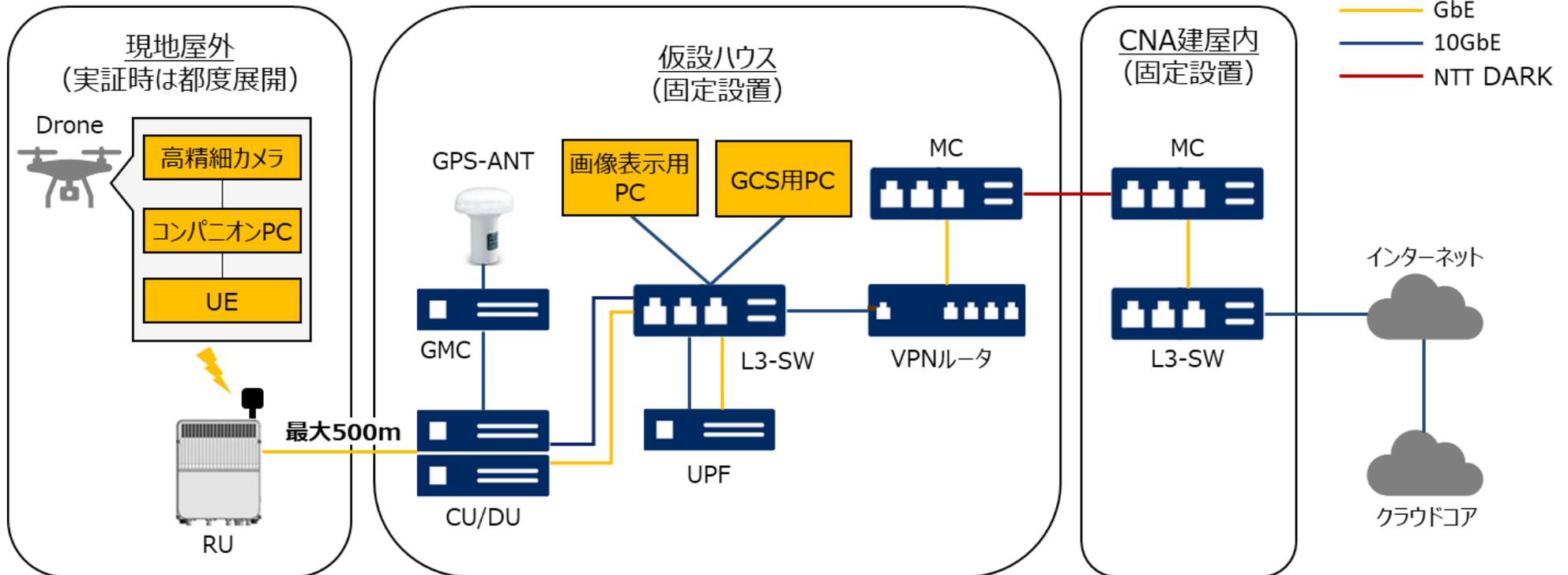


受信点高100m



ネットワーク・システム構成

本実証におけるネットワーク・システム構成は以下の通りである。



CU/DU、UPFのサーバ群はデータセンタ等に整備するケースが多いが、本実証では、データセンタから実証場所までの距離が離れていることから、サーバ群を実証場所の仮設ハウス内に設置した。

システム機能・性能・要件

ローカル5Gシステム全体の性能とコアネットワーク性能は以下の通りである。

システム性能

NEC MB5400	
対応周波数帯	4.8GHz-4.9GHz
最大出力	33.6dBm(2300mW)x2
空中線利得	8.5dBi、17dBi
占有帯域幅	100MHz
MIMOレイヤ数	ダウンリンク 2x2 MIMO
変調方式	最大256QAM
最大スループット	理論値 ダウンリンク700Mbps(同期TDD) アップリンク65Mbps(同期TDD)
ネットワーク接続方式	10Gbps LAN
時刻同期方式	PTP同期方式
電源	AC100V

コアネットワーク性能(クラウドコア)

- 規格:3GPPで規定される5Gコアとして動作し、クラウドサービスとして提供される。
- 認証:ローカル5G基地局制御部(CU/DU)と接続し、SIMを用いて端末を認証し、データ通信を処理できる。
- 接続方法:VPNルータとそれに対向するVPNルータ機能をクラウド側で提供することによりインターネットを経由して本クラウドコアサービスへアクセスすることが可能である。
- 管理機能:加入者管理・認証機能(UDM)を有する。
- 最大収容端末数:10,000以上
- 最大同時接続数:10,000以上
- AMF(Access and Mobility Management Function)機能を有する。
- SMF(Session Management Function)機能を有し、ローカル5G U-plane装置(UPF)と接続できる。
- 冗長化:UDM、AMF、SMFの各機能が複数サーバで構成され冗長化されている。

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

本実証における技術実証の実施内容は以下の通りである。

実証目標	本実証においては基地局設置が屋外であること、基地局と測定点との距離が100m以上確保可能であること、水面の影響が存在する環境であることから、電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルの伝搬損失Lの中の、パラメータKの精緻化を目標とする。
技術的課題	海上または沿岸地域においては、海面反射、潮位変動、波高の影響により長期、短期の変動が発生し、電波伝搬特性として一般的なモデルに当てはまらない可能性が高い。また天頂方向への伝搬は一般的には自由空間伝搬モデルとなるが、同様に海上固有の特性を有する可能性や風力発電施設近傍への基地局設置が想定される中、施設が遮蔽物として伝搬特性に影響を与える可能性がある。
実証前の仮説	伝搬路の多くが水面であるため、直接波と海面反射波の合成で評価されるが、潮位が変化した場合に、基地局アンテナ高と受信点との相対高さが潮位変化に応じた値となるため、K値に影響を与える可能性がある。波高が変化した場合にも、海面における反射波が影響を受けて、干渉電力の変動の大きさが変化する可能性が考えられる。
所要性能	<ul style="list-style-type: none"> • 操縦遅延 & 操作用画像伝送遅延: 0.1秒/2 = 50ms • 高精細画像伝送速度: 最大値50Mbps
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> • Case2及びCase3の配置において、エリア設計で作図したシミュレーション図におけるカバーエリア、調整対象区域内の30地点以上でRSRP、SIR、通信品質(スループット、遅延速度)を測定した。 • 各測定ケースにおいて、一定ピッチで高さを変えて測定することで、各測定値の高さ方向への変異も把握した。
評価・検証方法	<ul style="list-style-type: none"> • 受信電力(RSRP)の測定結果を、電波法関係審査に記載の伝搬モデルと比較し、パラメータのチューニングを行い、モデルの精緻化を実施した。 • 精緻化の結果をフィードバックし再度机上計算を行い、比較することで精緻化の妥当性を検証した。 • 精緻化においては主ビームに沿った面において、X方向(基地局から離れていく方向)に10ポイント程度、Z方向(上方)に数十m程度のピッチで測定点を設定した。 • 実証環境の無線特性測定においては、上記に加えビーム幅を加味した測定点を設定した。

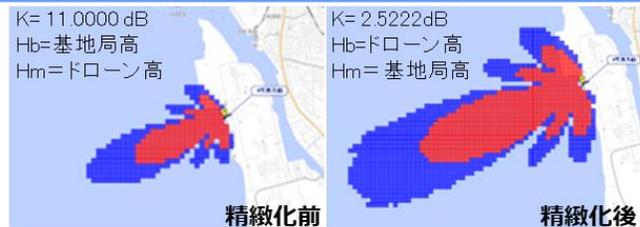
ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

本実証における技術実証の実施結果・考察は以下の通りである。

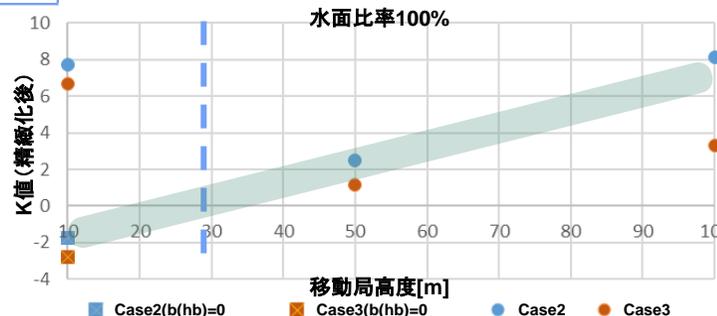
Case2、Case3において、陸海比率および受信点高度でセグメント分けし、以下の結果となった。

Case	水面比率	受信点高度	K値		RMSE	
			仮説	精緻化	精緻化前	精緻化後
Case2	100%	10m	11	7.7494	4.8754	3.6336
Case2	100%	50m	11	2.5222	11.0295	4.1674
Case2	100%	100m	11	8.1458	6.4756	5.8127
Case3	100%	10m	2	6.6815	6.2476	4.1371
Case3	100%	50m	2	1.1631	3.9797	3.8907
Case3	100%	100m	2	3.3234	4.5956	4.4252
Case3	30%	50m	2	-5.1437	7.5471	2.4344
Case3	30%	100m	2	-1.2706	9.3242	6.9832

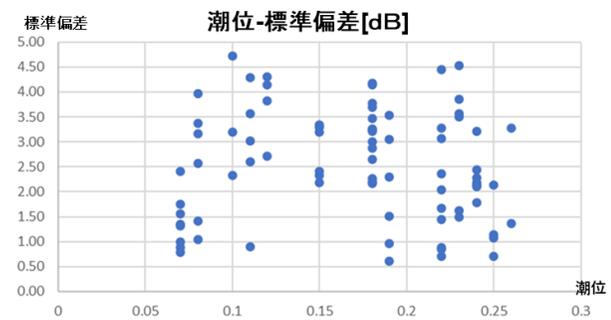
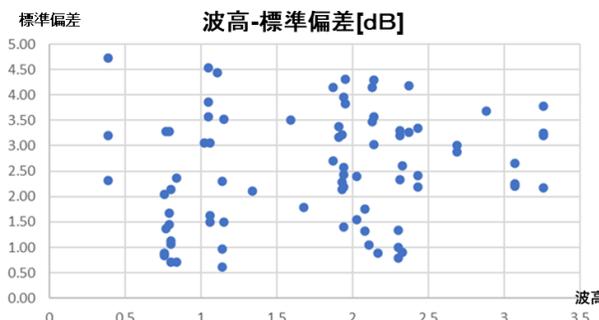
- ドローン搭載の陸上移動局のほうが基地局空中線より高いケースであるため、ITU-R報告(SM.2028-2)での拡張秦式の制約「基地局、移動局にかかわらず、高いほうのアンテナ高をHb、低いほうのアンテナ高をHmとする。」に従うことが妥当であることがわかった。(=ドローン高が高くなるほど伝搬損失は小さくなる)
- 水面比率100%のセグメントではK値は正、水面比率30%のセグメントではドローン高に応じた損失の減算を補償する形でK値は負の値となった。



【凡例】青：調整対象区域 赤：カバーエリア
出典：地理院地図(地理院タイルを加工して作成)



- ITU-R報告のb(Hb)パラメータ考慮により、本実証環境は開放地であるため仮に高度10mでb(Hb)=0で算出を行った場合、精緻化後のK値は高度に対して増大する(正の相関)傾向が確認できた。



- 基地局アンテナのチルト角は水平より上向き、かつ電波伝搬路の陸海混合比は100%海面であることが好ましく、この場合、波高および潮位による顕著な影響は認められず、本用途においては波高および潮位の大きな影響がない可能性が確認できた。

ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

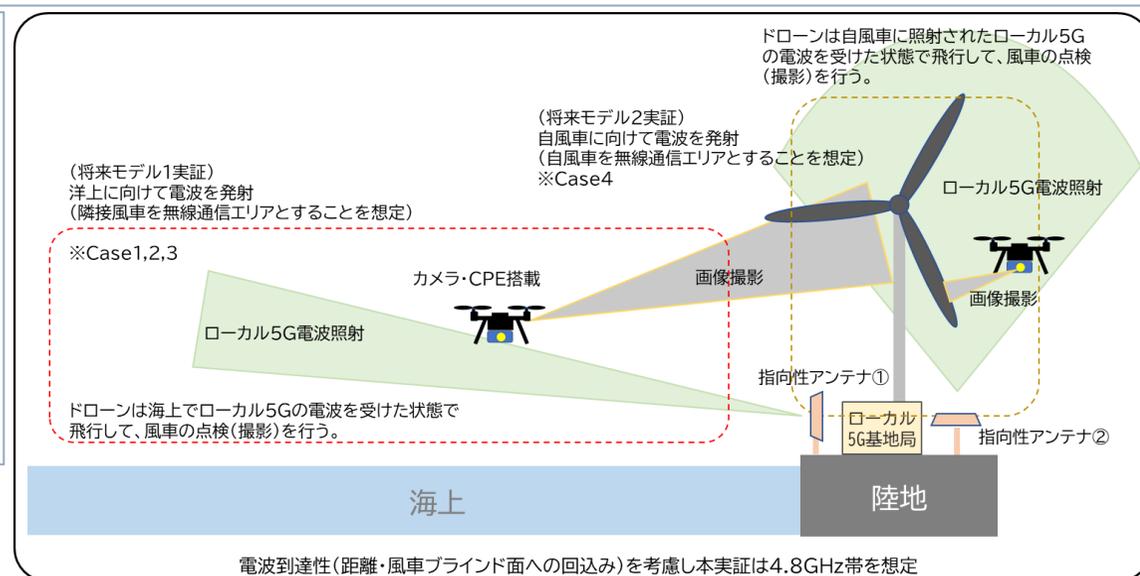
実証概要

実証の方向性

本実証は、実装に向けたステークホルダー観点での課題の洗い出し、並びに解決のための具体策策定に向けた評価という位置付けであり、経済性に関する検証、市場性に関する検証の結果、実装性を高める手法とローカル5G活用モデル確立を目標とした。機能としてのモデル確立だけでなく、市場への展開、投入計画を立案することで、実装計画のスタートを目指す。

将来モデル1 (港湾区域等での ウィンドファーム の展開モデル)	Case1	ローカル5G電波がブレードもしくは風車本体の影となり、電波のブラインドエリアとなる部分をドローンが飛行した場合における飛行安全性確認および点検可能な画像一式の取得確認を行った。実証対象風車(4号機)に対して、250m程度離れた地点から、地上80m程度にあるナセル(風車の中心点)に向けてローカル5G電波を発射した。ドローンは実証対象風車(4号機)を挟んだ防波堤側の海上を飛行し、ブレードを撮影した。
	Case2	ローカル5G電波が気象海象の影響(海面や波の影響)を受ける防波堤の外側でドローンを飛行した場合の飛行安全性確認および点検可能な画像一式の取得確認を行った。実証対象風車(4号機)から洋上方向に、地上100m付近を飛行するドローンとの通信を想定しローカル5G電波を発射した。ドローンは防波堤の外側の海上を飛行し、ブレードを撮影した。
	Case3	ローカル5G基地局から約500m程度離れた位置において、ドローンが飛行した場合の飛行安全性確認および点検可能な画像一式の取得確認を行った。実証対象風車(4号機)から約570m離れた風車(5号機)の地上80m程度にあるナセル(風車の中心点)に向けてローカル5G電波を発射した。ドローンは実証対象風車(5号機)周辺を飛行し、ブレードを撮影した。

将来モデル2 (一般海域での ウィンドファーム の展開モデル)	Case4	ローカル5G電波がブレードもしくは風車本体の影となり、電波のブラインドエリアとなる部分をドローンが飛行した場合における飛行安全性確認および点検可能な画像一式の取得確認を行った。実証対象風車(4号機)のデッキ付近から自風車に対して電波をほぼ垂直に発射した。ドローンは、ほぼ真下から発射される電波を受けながら飛行し、ブレードを撮影した。
---	--------------	--



ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

本実証における課題実証(有効性の検証)の検証方法は以下の通りである。

検証項目		検証方法
機能検証	点検用画像 伝送機能	<ul style="list-style-type: none"> ドローン撮影画像の地上局へのデータ伝送結果から、高精細画像データの伝送速度実績を検証し、システムの性能要件が満たされるかを評価する。
	緊急回避性能	<ul style="list-style-type: none"> ドローン手動操作情報伝送および飛行監視用画像伝送ともに、各伝送遅延を測定し目標遅延時間以内となることを確認する。
運用検証	実現性確認	<ul style="list-style-type: none"> 洋上風力発電所立地地域の個別事情、実証時と実装時の差異、その他不確実性要素について洋上風力発電所SPC、O&M事業者等の関連事業者・団体にヒアリングを実施し、実装に向けた課題抽出・評価を行う。
	運用マニュアルおよび業務フロー評価	<ul style="list-style-type: none"> 本実証を通じて運用マニュアルを策定し、そのマニュアルに沿って適切にドローン飛行・画像取得できることを検証する。 ドローン飛行監視と点検画像取得・評価を並行して適切に実施できるような業務フローを構築できていることを実証により検証する。
効果検証	点検時間短縮効果	<ul style="list-style-type: none"> 再撮影可否を判定するため、ドローンを基地局に戻し、SDカードを回収、画像品質の確認をするSDカード受け渡し方式と比べ、ローカル5Gを活用したリアルタイムの画像伝送方式の方が、点検時間が短くなることを確認する。 ローカル5Gを活用して取得した画像データと、SDカード受け渡し方式で取得した画像データが同品質であることを確認する。
	緊急回避性能 向上効果	<ul style="list-style-type: none"> ドローンを手動操作した場合にドローンが応答するまでの時間を計測し、その遅延(応答)時間の間に制動距離目標値を超過しないことを確認する。また、同操作について、従来通信方法である、920MHz帯やキャリアLTE各バンドなどと比較する。 ドローン搭載カメラから伝送されるFPV画像の画像品質および伝送時間について、ドローン手動操作時のドローン反応(応答)時間および制動距離と合わせて評価する。また、同操作について、従来通信手法である、5.7GHz帯やキャリアLTE各バンドなどと比較する。

ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

検証結果サマリ

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成状況	考察および対応策	
ソリューション1:ドローンによる洋上風車ブレード点検	機能	1. 点検用画像伝送機能 2. 緊急回避性能	1. 最大50Mbps 2. 50ms	1. 62.6Mbps～73.9Mbps 2. 17.9ms～23.2ms	1. ○ 2. ○	1. 最大値が60Mbps以上であり、性能要件である最大50Mbpsを満たしたため、ローカル5G導入への特段の支障がないことがわかった。 2. 計測結果平均値がいずれも30ms未満であり、性能要件である50msを下回ったため、ローカル5G導入への特段の支障がないことがわかった。
	運用	1. 実現性確認 2. 運用マニュアルおよび業務フロー評価	1. 目標理解獲得率20% 2. 目標理解獲得率60%	1. 100% 2. 運用マニュアル100%・業務フロー96%	1. ○ 2. ○	1. 発電事業者、SPC、O&M事業者へのヒアリングを実施し、ローカル5Gを用いたドローン点検に対し、高い理解が得られた。またローカル5Gを用いたドローン点検の点検フローに対しても、有用性が高いとの理解が得られた。 2. ヒアリングから、ローカル5Gシステムの導入はドローンによる点検方法に対し通信手段を改善し効率化を図れるため、ドローンによる点検の長所を伸ばす方法として有用との理解が得られた。
	効果	1. 点検時間短縮効果 2. 緊急回避性能向上効果	1. SDカード方式より点検時間が短縮し、同品質の点検画像を取得できる 2. 制動距離10m	1. 風車1基を点検する場合、点検時間を35分短縮し、かつ同品質の画像を取得できる 2. 約22m～約34m	1. ○ 2. ×	1. ローカル5Gを活用したドローン点検は、SDカードなど物理的にデータ取得することによる画像確認時間より短時間なことを確認できた。 2. 制動距離が目標値を満たさなかった原因としては、通信手段によるものではなく、ドローンの制御機構によるものと推測される。本結果を受けて、ドローンが飛行可能な気象条件下での、ドローンの飛行運用方法や制御機構について対応していきたい。

ローカル5G活用モデルの有効性等に関する総評

機能、運用、効果検証の結果から当初仮説どおりローカル5G活用モデルは有益であり、機能検証の面では技術的には顕在化している課題もなく即実装が可能であると考えます。緊急回避性能に関しても、飛行監視用画像品質は緊急操作するうえで問題となるような画像乱れは無く、情報伝送時間においても人による操作完了後問題なく機体が反応していることを確認できたが、目標としていた10m未満という制動距離を満たすことができなかった。この結果は、通信手段によるものではなく、ドローンの制御機構によるものと推測されるため、ドローン飛行制御に係るシステムの検討または運用時の飛行条件に関する検討の領域で引き続きの対応を検討していきたい。

ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

本実証における課題実証(実装性の検証)の検証方法とその結果は以下の通りである。

検証項目		検証内容	結果・考察
経済性・市場性検証	経済性	本実証を踏まえた最適なシステム構成を検討し、その初期費用・機器運用費用を概算した。また、システム導入による発電停止時間短縮効果と合わせて、SPCとしての費用対効果の分析を実施した。	<ul style="list-style-type: none"> 将来モデル1(港湾区域等でのウインドファームの展開モデル、総出力20万kWの場合)と将来モデル2(一般海域でのウインドファームの展開モデル、総出力50万kWの場合)における20年間の費用対効果について、前者は導入コスト6.1億円に対する総効果額は83.6億円となり、後者は導入コスト11.4億円に対する総効果額は209.6億円となり、WF総出力が増えるほど経済性が高まった。 将来モデル1、2のケースで投資B/Cが9を超える高い費用対効果を示し、どちらのケースでも投資可能であると判断できる。
	市場性	国内外における本実証のモデルのニーズについてヒアリングを実施し、改善点や実導入における課題等を抽出・評価した。	<ul style="list-style-type: none"> 全てのヒアリング対象者から、ローカル5G活用モデルに対する市場性を確認できたため、提案活動の推進等により、発電所立地地点の公募申請書への記載などの具体的な導入検討に繋がれると考える。
運用スキーム・ビジネスモデルの検証		洋上風力発電所SPC、通信機器メーカー、O&M事業者の事業性評価として、ローカル5G活用モデルの概要と、費用対効果の試算を示し、実現性に関するヒアリングを行った。いずれかに事業性が認められない場合、その原因を検討した。	<ul style="list-style-type: none"> O&M事業者は実務的な視点で「通信知識不要で使用可能であること」、「トラブル発生時の対応」、発電事業者・SPCは、「導入コストが高い」、「点検以外の利活用」、「トラブル時の代替え手段」などが挙げたが、導入コストに見合う価値のある投資であることを引き続き説明、コミュニケーションを深めることで理解が得られると考えられる。
実装性を高める手法の検討	高度300m飛行	将来の一般海域での実装を想定して、300mの高度におけるローカル5G電波の状態検証を実施評価した。	<ul style="list-style-type: none"> 伝送速度結果として、最大50.6Mbpsを得られたため、真上向きに自風車に対して電波を吹くアンテナ設置方法で、メンテナンス方法を変更することもなく問題なく実装可能であることを確認できた。
	関係各所への働きかけ	ローカル5G活用モデルの普及展開に向けた情報展開の在り方について、総務省や経済産業省、風力発電の業界団体、学術的組織、自治体等に対して、コンソーシアム各メンバーが主体的に情報発信や働きかけを行った。	<ul style="list-style-type: none"> 秋田県内の他、各地域におけるステークホルダーへのアプローチとして操作説明会を開催した他、本ソリューションについて展示会等への出展、実績を踏まえた事例紹介を行った。 JWPAから、ローカル5G適用の有効性の理解を得た上で、JWPAのガイドラインにおいて、問題、調整、検討等が必要な点は見受けられないことが確認でき、経済産業省からは浮体式など離岸距離が伸びた場合により効果を発揮するとの理解が得られた。

ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

本実証を通じて構築したローカル5G活用モデルの全体像は以下の通りである。

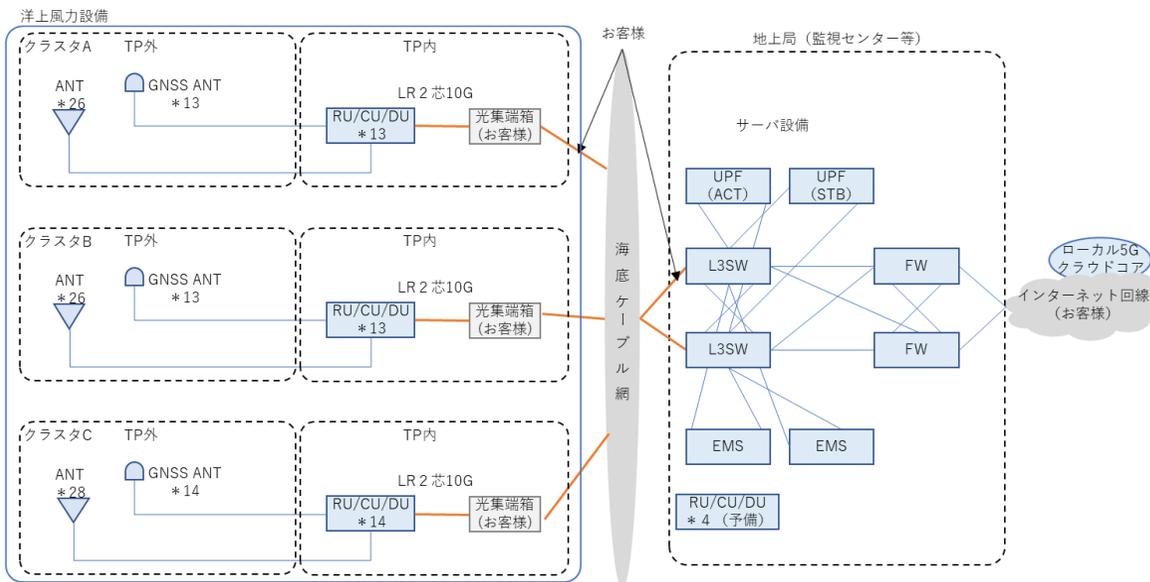
ターゲット

ターゲットとしては以下が想定される。

- ① 既設の洋上風力発電施設 ⇒ 秋田市、能代市(2022年商用運転開始)
- ② 今後商用運転開始予定の洋上風力発電施設 ⇒ 長崎県五島市沖(2023年商用運転開始予定)、福島県響灘沖(2025年商用運転開始予定)
- ③ 今後入札予定の洋上風力発電施設 ⇒ 秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖(2023年度入札予定)、新潟県村上市・胎内市沖(2023年度入札予定)、長崎県西海市江島沖(2023年度入札予定)

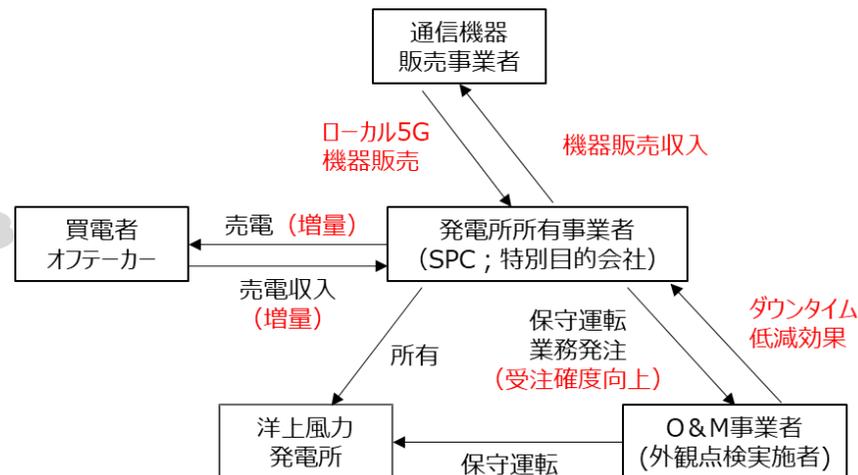
システム構成

将来実装を想定したローカル5Gシステム構成を示す。



ビジネスモデル

ローカル5Gを活用したソリューションを洋上風力発電事業者へ提供する場合のビジネスモデルを示す。



システムの機能要件

- ・ 高精細画像データ伝送速度 (Iperf計測結果) : 50Mbps以上
- ・ 高精細画像データ伝送速度 (画像取得速度) : 14枚/分
- ・ ドローン手動操作情報伝送時間の遅延 : 50ms以下
- ・ 飛行監視用画像伝送時間の遅延 : 50ms以下

ローカル5G活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討

ローカル5G活用モデルの実装にあたり、以下の課題が明らかになった。

	課題事項	内容	現状考えられる解決策の検討
技術的課題	洋上風力発電所におけるローカル5Gエリア設計の高度化	洋上風力発電所におけるローカル5Gのエリア設計は、各洋上風力発電施設の洋上風車の配置、地形によって個別に検討が必要となる。具体的には、効率的なメンテナンスのために必要なエリアカバー範囲の検討や、基地局を配置する風車、アンテナの設置台数、アンテナの方向、チルト角などを検討することになる。また、今後大型化が想定される洋上風車に対し、どのようにエリア設計するのか、その方法の確立は現時点では困難である。	設計の高度化にあたっては、今後展開が予測される洋上風力発電における実装に向けて、より多くのユースケースによる知見の蓄積が重要となる。そこで、知見の蓄積に向けた具体的なアクションとして、有償デモパッケージ等を含む実装計画を検討した。
	洋上風車へのアンテナ・機器の設置	洋上風車へのアンテナ設置は防水、重塩害対策、耐風設計が重要な他、洋上風車建設業者や風車メーカーとの設計等に関する討議が必要となる。しかし、風車メーカーとのやりとりは公募・入札が完了し、洋上風車の建設検討段階に入ってからの調整となる。また、洋上風車へのネットワーク機器の設置について、一般に高温、低温、高湿度に弱く、このような極地での運用は想定されていないことから、設置方法の検討が必要である。	アンテナへの防水、重塩害対策、耐風設計自体は現在の技術で対処可能である。導入初期段階の実装検討を通じて設置手法を確立する。ネットワーク機器はサーバより機器使用時の発熱量が小さいため、排熱よりも湿度管理が重要になる。調達が容易な空調付き収納ケースでの対処が考えられる。
制度経済社会的課題	電波の上空利用、他者土地における端末の移動利用に係る制限	本実証で行った水平よりも上向きの電波照射や、海上における端末の移動利用については、現在、実験局免許の取得は可能であるが、商用免許の取得ができない。その背景として、現在のところローカル5Gは海上での利用が想定されていないことがある。具体的には、海上は自己土地か他者土地であるかが定まっておらず、ローカル5Gは干渉の懸念がない場合でも、他者土地における端末の移動利用が認められていない点が課題となる。	電波の上空利用、および他者土地における端末の移動利用については、新世代モバイル通信システム委員会等が実施する法整備の検討に、本実証結果の報告を含め、利用方法等に関する情報提供を行うなどして貢献していく。
	普及展開までのリードタイム	本ローカル5G活用モデルの普及展開にあたっては、より多くのユースケースへの提案、実績の蓄積が重要となる一方で、洋上風力発電所が全国的に本格運用開始されるまでには5年程度かかることから、実装可能なウィンドファームが少なく実績が蓄積しにくい状況にある。	本ローカル5G活用モデルの普及展開にあたり、より多くのユースケース提案、実績の蓄積が重要となる。全国的に洋上風力が本格運用されるまでの間、具体的な知見の蓄積と関連事業者への認知拡大に向け、有償デモパッケージ等を含む実装計画を検討した。
	洋上風力におけるローカル5G活用の付加価値向上	本実証の効果を最大限に発揮するためには、風車1基に基地局1台を設置し、ウィンドファームの全エリアを通信エリアとすることが理想の構成であるが、現状では、費用対効果の観点で困難がある。しかし、洋上風力発電所において、ローカル5Gを風車のブレードメンテナンスだけでなく、他の用途へも幅広く活用可能としていくことで、本ローカル5G活用モデルの付加価値が高まり、風車1基に基地局1台を設置することも可能になると考える。	洋上風力発電所におけるローカル5Gの活用用途とその実装方法について、継続的に検討を重ねるとともに、実証を行っていくために、有償デモパッケージ等を含む実装計画を検討した。

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

実装・普及展開シナリオ

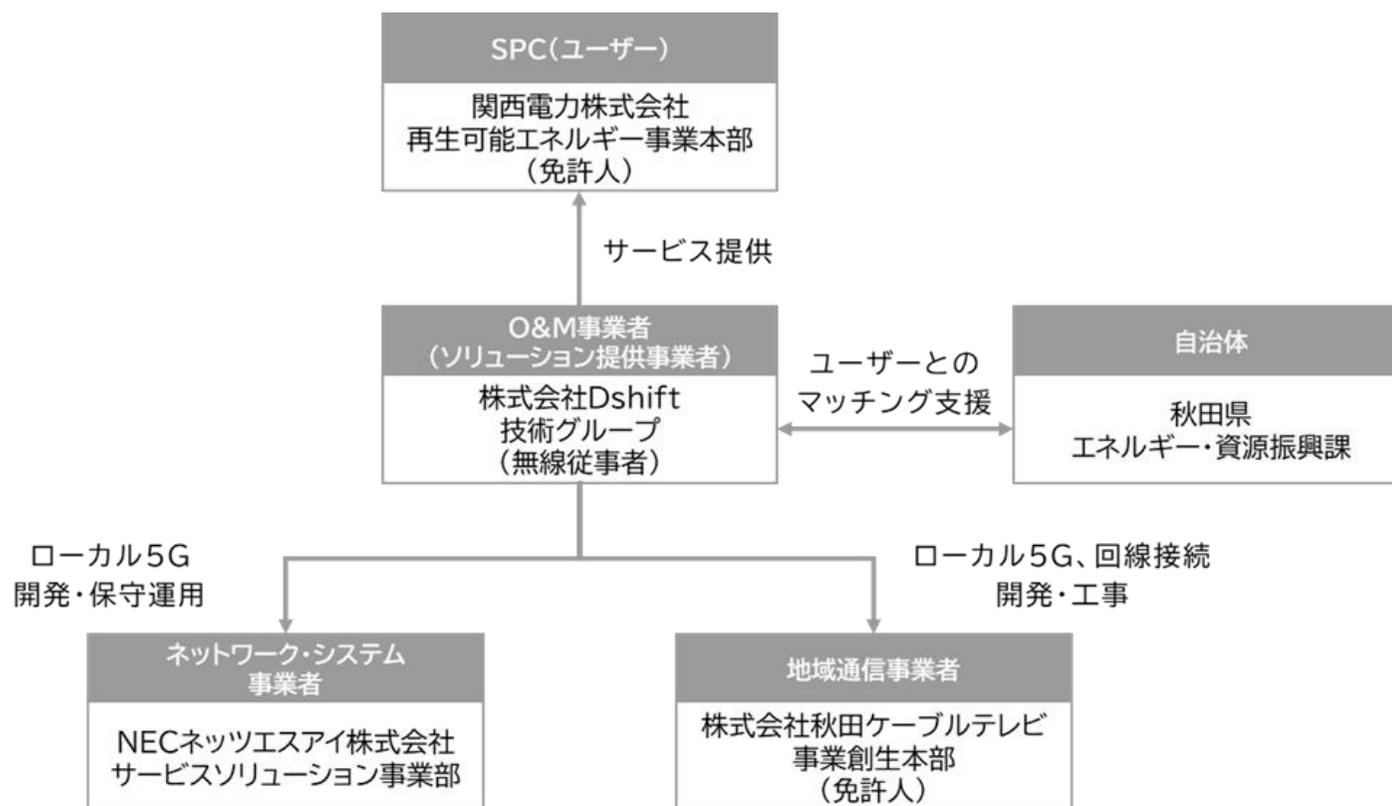
令和5年度は有償デモパッケージを通じて、ユーザとなるSPC等の要望を元の実証環境を個別に構築するとともに残課題の解決や実績の蓄積のための活動を行い、令和6年度以降、既設の洋上風力発電、今後商用運転開始予定の洋上風力発電、今後入札予定の洋上風力発電洋上風力発電施設への実装に向け、幅広く実証に取り組んでいただける洋上風力関連事業者を模索する。

有償デモパッケージ	<ul style="list-style-type: none"> 本ローカル5G活用モデルは、今後展開される洋上風力への幅広い実装を目指す。現状では、各事業者ソリューションの仕組みと価値を認知、理解していただく必要がある段階にあるため、理解促進、認知拡大はもとより、本実証を通して得られた洋上風力におけるローカル5Gシステムの利活用に関する知見を幅広く秋田県下の洋上風力発電関連事業者に普及啓蒙するとともに、新たなソリューション開発に向けた実証を推進するため、各関連事業者に向けた有償デモパッケージを準備する。 洋上風力発電所におけるローカル5Gエリア設計の高度化や、ローカル5G活用の付加価値向上など、本実証で明らかになった課題の解決に向けて実証を積み重ねていく。
既設の洋上風力発電施設	<ul style="list-style-type: none"> 既設の洋上風力発電施設への実装については、洋上風力発電所が商用運転を開始後に、本モデルの提案アプローチを実施する。 提案にあたっては、本モデルの導入を想定していない既存設備へのアドオンが前提となるため、ステークホルダーと協議などが必要になるため、想定効果、サービス価格、点検方法の新旧比較等、検討の土台となる資料を整えた上でのアプローチを実施する。 SPC、風車メーカー、融資者との合意を経て、風車メーカー等から受注を請け、保安規程等ルールへの明記について、SPC、風車メーカーとの調整および監督官庁との協議と、基地局整備に際し、電波法等に対し監督官庁との協議を実施し、各種許認可を得る必要があり、その際、洋上ウインドファームでの実装を想定し耐久性やローカル5G設備自体の保守性なども検討する。 点検システム、基地局の設計、整備を商用運転開始までに余裕をもって着手し、商用運転開始の約半年前からは、ローカル5G活用モデルを活用したシステムの試験運用を開始し、風車メーカー、SPC等のチェックを経て実運用を開始する。
今後商用運転開始予定の洋上風力発電施設	<ul style="list-style-type: none"> 今後商用運転開始予定の洋上風力発電施設への実装については、現在建設工事中の洋上風力発電所が商用運転を開始後に、本モデルの提案アプローチを実施する。アプローチ先としては、五島市沖洋上風力発電、響灘沖洋上風力発電を想定する。 既設の洋上風力発電施設へのアプローチと同様となるが、本モデルの導入を想定していない既存設備へのアドオンが前提となるため、ステークホルダーと協議などが必要になるが、まずは、想定効果、サービス価格、点検方法の新旧比較等、検討の土台となる資料を整えた上でのアプローチを実施する。 また、SPCへの提案と並行して、導入関係者である風車メーカーへ、レンダー、業界団体等への提案を実施する。新技術であり、採用には慎重な姿勢が予想されるが、優位性、実用性、効果などを説明し、システム採用に向け調整を実施する。
今後入札予定の洋上風力発電施設	<ul style="list-style-type: none"> 今後入札予定の洋上風力発電設備への実装については、2023年度入札予定案件である秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖、新潟県村上市・胎内市沖、長崎県西海市江島沖へ応札予定のSPC等へのアプローチを実施する。技術説明、コスト効果検討の提案を実施し、落札後には、システム設計、仕様検討など詳細調整および運用保守方法の検討を行う。

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

実施体制

- 本ローカル5G活用モデルの利活用に関する知見を幅広く秋田県下の洋上風力発電関連事業者に普及啓蒙するとともに、新たなソリューション開発に向けた実証を推進するため、各関連事業者に向けた有償デモパッケージを提供する際の、実施体制を示す。
- ソリューションのサービス提供者は、(株)Dshiftとなり、(株)秋田ケーブルテレビが地域通信事業者としてローカル5Gの免許人となる。NECネットエスアイ(株)はローカル5Gシステムの設置、構築、運用、撤去を行う。ユーザとしては、関西電力(株)を含むSPCが想定される。
- 秋田県は、民間だけでなく、他の自治体等におけるユーザとのマッチングを支援する。
- 秋田県外で実証を実施する場合、SPCからの要望によっては、ユーザであるSPCが免許人となるケースも想定される。



ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

実装計画・収支計画

		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)	令和10年度 (2028)
実装計画	ソリューション1:ドローンによる洋上風車ブレード点検 (①既設の洋上風力発電施設への実装)	開発実証	課題への対応 提案活動(SPC・メカ・O&M等) ▲商用運転開始	ローカル5G機器選定設置				実装
	ソリューション1:ドローンによる洋上風車ブレード点検 (②今後商用運転開始予定の洋上風力発電施設への実装)	開発実証	課題への対応 提案活動(SPC・メカ・O&M等) ▲商用運転開始	ローカル5G機器選定設置				実装
	ソリューション1:ドローンによる洋上風車ブレード点検 (③既設の洋上風力発電施設への実装)	開発実証	課題への対応 提案活動(SPC・メカ・O&M等) 入札開始▲	▲応札	▲落札	SPC・メカ・O&M詳細協議		ローカル5G機器選定設置 実装
	ローカル5Gシステム(実証機器)	開発実証						実装
収支計画 (千円)	(1)ユーザから得る対価	-	14,100	183,300	447,296	425,688	1,320,888	1,254,776
	(2)補助金・交付金	-	0	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	-	14,100	183,300	447,296	425,688	1,320,888	1,254,776
	(4)ネットワーク設置費	-	5,000	146,000	184,600	5,000	751,000	5,000
	(5)ネットワーク運用費	-	1,000	1,000	14,667	31,010	31,010	86,635
	(6)ソリューション購入費	-	0	0	167,730	312,980	312,980	948,262
	(7)ソリューション開発費	-	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	-	11,400	152,400	372,397	354,390	1,100,390	1,045,297
	(9)収支((3)-(8))	-	0	28,200	72,199	68,598	217,798	206,779

■ 収入、支出の算定根拠
 収支計画各項目の内訳
 1. ソリューション1(①~③)に係る収支計画
 (1)ユーザから得る対価：ローカル5Gシステム構築費(インシヤル)+ローカル5Gシステム運用保守費(ランニング)+ドローン点検請負費(ランニング)
 (2)補助金・交付金：なし
 (4)ネットワーク設置費：ローカル5Gシステム構築費原価(インシヤル)
 (5)ネットワーク運用費：ローカル5Gシステム運用保守費原価(ランニング)
 (6)ソリューション購入費：ドローン点検請負費原価(ランニング)
 (7)ソリューション開発費：なし
 2. ローカル5Gシステム(実証機器(有償デモパッケージ))に係る収支計画
 (1)ユーザから得る対価：デモを行うことにより発生する原価相当分(普及展開のための活動であるため利益は考慮しない)
 (2)補助金・交付金：なし
 (4)ネットワーク設置費：デモ用回線調達、機器設置調整などインテグレーション費用
 (5)ネットワーク運用費：保守・保守運用費、クラウドコア使用に係る費用
 (6)ソリューション購入費：なし
 (7)ソリューション開発費：ドローン調達、飛行試験に係る費用

■ 諸条件
 実装計画①：将来モデル1(港湾区域等でのウィンドファーム展開モデル)
 実装計画②、③：将来モデル2(一般海域でのウィンドファーム展開モデル)
 ドローンによる年間点検回数：月次法定点検12回+年次法定点検2回+不定期点検4回(風車1基あたりの平均)
 1日あたりのドローンによる点検可能基数：10基(ただし不定期点検は1日あたり3基とする)

まとめ

まとめ

実証観点	実証・検証項目	検証成果・今後の課題
技術実証	電波伝搬モデルの精緻化	<ul style="list-style-type: none"> 水面比率100%のセグメントでは精緻化後のK値は正の値、水面比率30%のセグメントではドローン高に応じた損失の減算を補償する形で精緻化後のK値は負の値となった。 精緻化後のK値は高度に対して増大する(正の相関)傾向が確認できた。 基地局アンテナのチルト角は水平より上向き、かつ電波伝搬路の陸海混合比は100%海面であることが好ましく、この場合、波高および潮位による顕著な影響は認められず、本用途においては波高および潮位の大きな影響がない可能性が確認できた。
課題実証	ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証	<ul style="list-style-type: none"> 機能、運用、効果検証の結果から当初仮説どおりローカル5G活用モデルは有益であり、技術的には顕在化している課題もなく即実装が可能であると考えられる。 緊急回避性能に関しても、飛行監視用画像品質は緊急操作するうえで問題となるような画像乱れは無く、情報伝送時間においても人による操作完了後問題なく機体が反応していることを確認できた。制動距離に関しては、ドローン飛行制御に係るシステムの検討または運用時の飛行条件に関する検討の領域で引き続きの対応を検討していきたい。
	ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証	<ul style="list-style-type: none"> O&M事業者は実務的な視点で「通信知識不要で使用可能であること」、「トラブル発生時の対応が必要」、発電事業者・SPCは、「導入コストが高い」、「点検以外の利活用をしたい」、「トラブル時の代替え手段が必要」などが挙げたが、導入コストに見合う価値のある投資であることを引き続き説明、コミュニケーションを深めることで理解が得られると考えられる。
	ローカル5G活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討	<ul style="list-style-type: none"> 電波の上空利用、他者土地における端末の移動利用に係る制限については、新世代モバイル通信システム委員会等が実施する法整備の検討に対し、本実証結果の報告を含め、情報提供を継続し貢献していく。 洋上風力発電所におけるローカル5Gエリア設計の高度化やローカル5G活用の付加価値向上、普及展開までのリードタイムに対しては、知見・実績の蓄積に向けた具体的なアクションとして、ローカル5G活用モデルの実装・普及展開に記載の実装計画を検討する。
	ローカル5G活用モデルの実装・普及展開	<ul style="list-style-type: none"> 本ローカル5G活用モデルは、今後展開される洋上風力への幅広い実装を目指す。現状では、各事業者にソリューションの仕組みと価値を認知、理解していただく必要がある段階にある。また、本実証を通して明らかになった課題の解決に向けては、洋上風力関連発電事業者および自治体等と連携しながら、さらに実証を積み重ねていく必要がある。 本ローカル5G活用モデルへの理解促進、認知拡大はもとより、本実証を通して得られた洋上風力におけるローカル5Gシステムの利活用に関する知見を幅広く秋田県下の洋上風力発電関連事業者に普及啓蒙するとともに、新たなソリューション開発に向けた実証を推進するため、各関連事業者に向けた有償デモパッケージを準備する。 有償デモパッケージでは、各ユーザのニーズに応じた実証を行えるようにするとともに、洋上風力発電所におけるローカル5Gの活用の幅をさらに拡大していくための取り組みを継続していくことを想定する。 特に、現状は本ローカル5G活用モデルは実験局免許でしか電波発射が不可であるため、本実証にて行った取り組みを、有償デモパッケージを通じて、ユーザとなるSPC等の要望を元に実証環境を個別に構築するとともに実績を積むことで、具体的な提案に結び付けていく。