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

【開発実証事業】

ゴルフ場におけるローカル5Gを活用した
コース運営の効率化及び新たなゴルフ体験の実現

成果報告書

令和５年３月

株式会社地域ワイヤレスジャパン

目次

1.　実証概要

1.1　　背景・目的

国内のゴルフの市場規模は、2018 年時点で、ゴルフ場 8,540 億円、ゴルフ用品 3,430 億円、ゴルフ練習場 1,240 億円で、合計 1 兆 3,210 億円と、1 兆円を超えるほどの大きな市場である。また、「日本再興戦略　2016」において、国内のスポーツ市場の規模を 5.5 兆円（2015　年）から 15 兆円（2025　年）へと拡大を目指す中で、ゴルフ市場の活性化、成長が果たす影響は大きいと言える。

しかしながら、ゴルフ市場規模は 1990 年から 2000 年代、2010 年代にかけて減少傾向となっている。更には、ゴルフ参加人口は団塊世代を中心とした年代の割合が多く、団塊世代の高齢化に伴うゴルフリタイアは今後本格化すると予想され、2020 年代中の市場縮小の加速が懸念されている。

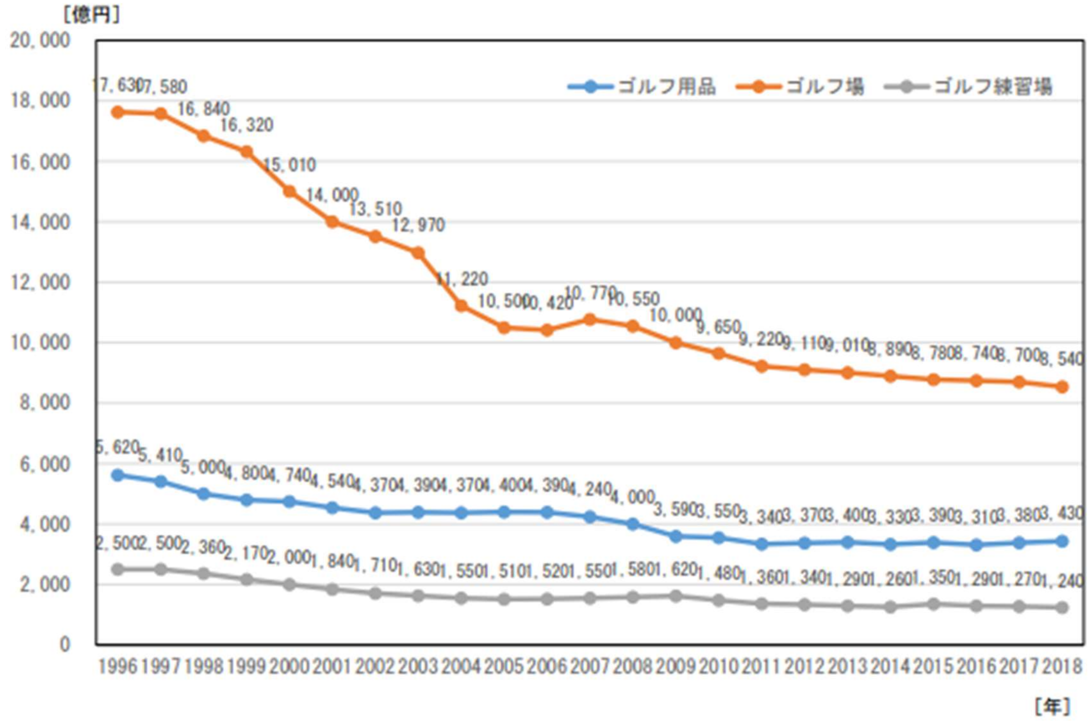


図 1.1-1 ゴルフ市場規模の推移

出典）「レジャー白書 2019」（(公財) 日本生産性本部）

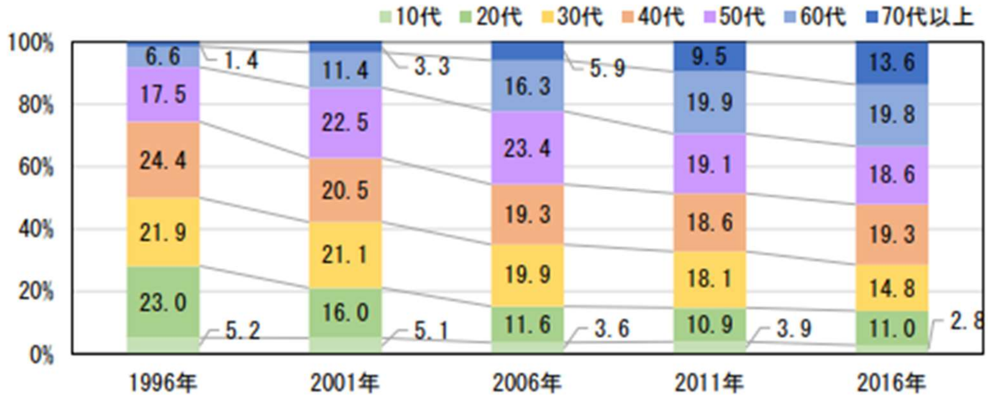


図 1.1-2 ゴルフ参加人口（性・年代別）の推移
出典）「社会生活基本調査」（総務省）

また、従業員の高齢化や労働人口の縮小等により、ゴルフ場には人手不足の傾向が顕著に見られる。

表 1.1-1 ゴルフ場の従業員の充足状況
出典）「雇用状況実態調査（平成 29 年）」（一般社団法人日本ゴルフ場経営者協会）

	【正社員】			【パート・アルバイト】		
	十 分	不足気味	欠員状態	十 分	不足気味	欠員状態
事務部門（総務・経理等）	63.3%	29.8%	6.9%	59.7%	32.7%	7.6%
接客部門（ﾌﾛﾝﾄ・ｼｮｯﾌﾟ・ﾏｽﾀｰ室等）	50.5%	39.9%	9.6%	35.6%	51.8%	12.6%
コース管理	45.9%	44.1%	10.0%	29.5%	55.6%	14.9%
厨 房	58.7%	33.8%	7.5%	36.5%	54.3%	9.2%
レストラン・フロアー	54.6%	34.8%	10.6%	25.6%	60.9%	13.5%
キャディ	15.6%	53.6%	30.8%	9.5%	60.8%	29.7%
施設管理・クラブハウス清掃	62.9%	25.3%	11.8%	55.1%	39.3%	5.6%

一方、「レジャー白書」（日本生産性本部）の推計によると、国内のゴルフ参加人口は、2018 年時点でゴルフコース 670 万人で、長期には減少傾向にあるが、2016 年以降は横ばい～上昇の傾向がある。また、2020 年以降では、コロナ禍における 3 密回避や日本人プロゴルファーの活躍等により、若者の間でゴルフ人気が向上している分析も出ている。

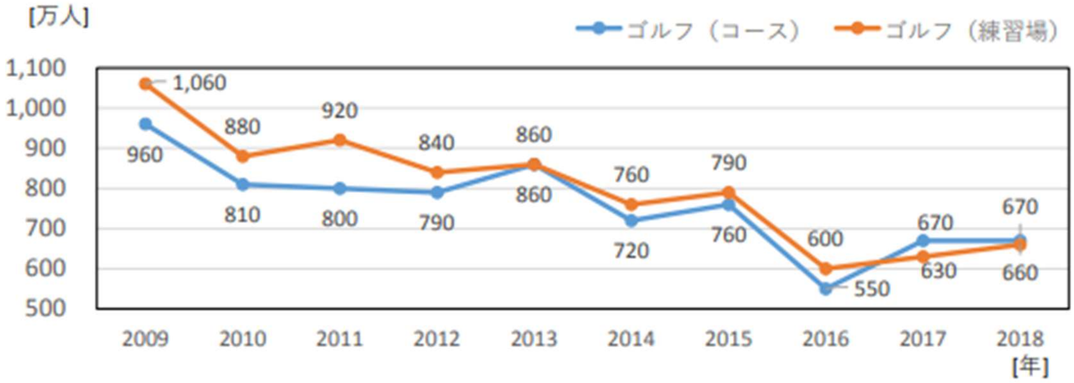


図 1.1-3 ゴルフ参加人口の推移

出典）「レジャー白書 2019」（(公財) 日本生産性本部）

Economic Trends

発表日:2021年5月6日(木)

テーマ:統計でも明らかな若者のゴルフブーム

～「3密」回避の貴重な娯楽。社会保障財政へのプラス効果の可能性も～

第一生命経済研究所 調査研究本部 経済調査部
首席エコノミスト 永濱 利廣(TEL:03-5221-4531)

（要旨）

- 若者の「ゴルフブーム」が続いている。スポーツの中でも比較的「３密」を避けやすいことに加え、リモートワークの浸透などで現役世代も時間の融通が利きやすくなったこと等により、土日祝日より割安な平日を利用しやすくなっている。
- 総務省「家計調査」によれば、2020年は20−40代の間でゴルフが人気を集めた。ゴルフが旅行等に代わる安全で魅力的な娯楽の選択肢になっている可能性がある。ゴルフは食事やカラオケ等に代わる選択肢として、デートや合コンに選ばれていることも大きな要因の一つ。
- 若者のゴルフブームは、今年さらに勢いを増す可能性がある。特に期待されているのが、松山英樹プロのマスターズ・トーナメント優勝効果。ゴルフ業界（ゴルフ用品、ゴルフ場、ゴルフ練習場）の市場規模は1992年の約2.9兆円をピークに1993年から縮小トレンドにあったが、当時15歳だった石川遼選手がツアー最年少優勝を飾った2007年と、渋野日向子選手が日本勢42年ぶりのメジャー制覇となる全英オープンを優勝した2019年には市場規模がそれぞれ+230億円、+300億円拡大している。
- 近年では国内160のゴルフ場や練習場で19・20歳の利用料金を無料とする取り組み等もあり、若者市場の拡大に貢献した可能性がある。コロナの感染防止のために、間に休憩を挟まない「スループレー」や単独のプレー希望者が何人か集まって回る「一人予約」などのプレースタイルが最近目立っている。依然として女性プレーヤーの取り組みなどが課題。
- 今後もゴルフにはまる現役世代が増加し、団塊ジュニアも含めて健康な中高年が増えれば、医療費や社会保障費の抑制にもつながる。ゴルフ自体が認知症の予防につながる側面も踏まえれば、若者のゴルフブームは日本の経済や社会保障財政にプラスの効果をもたらす可能性がある。

図 1.1-4 若者のゴルフブームに関する記事

出典）「統計でも明らかな若者のゴルフブーム」（第一生命経済研究所）より抜粋

以上の背景から、本実証においては、団塊世代のゴルフリタイア本格化によるゴルフプレー

ヤー減少への危機感に対し、新規参入プレーヤーの獲得や近年増えつつあるゴルフプレーヤーの定着、及び従業員不足に対する業務効率化を目的とし、ローカル 5G を活用して、ユーザ企業の課題解決及び実装普及展開に資するソリューションを用いて実証実験を行った。

1.2　　実証の概要

実証計画の立案においては、ゴルフ場一般についての各種情報収集及びゴルフ場へのヒアリングにより課題抽出を行い、ローカル 5G の活用により課題解決可能なソリューションを選定し、実証実験の企画を行った。

また、ゴルフ場へ直接のサービス提供企業として地域のケーブルテレビ会社（ケーブルテレビ株式会社）と連携し、ソリューション提供企業や L5G 機器提供企業、技術実証実施企業を交えてコンソーシアムを形成して議論を重ね、実装普及展開に資するローカル 5G 活用モデルを検討し、実証実験を実施して成果報告として本書を作成した。以下に実証の概要を記載する。

栃木県栃木市の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部にて実証実験を行った。本ゴルフ場は、本実証の課題実証責任者であるケーブルテレビ株式会社のケーブルサービス提供エリアであり、有線サービスの提供を現在行っている。

図 1.2-1 実証場所の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部全景（栃木県栃木市）

課題実証では、ドローン及び高精細カメラを用いたコースメンテナンス補助等の提供、及びウェアラブル高精細カメラを用いたプレー動画撮影/提供と遠隔レッスンサービスの提供の実証を行った。

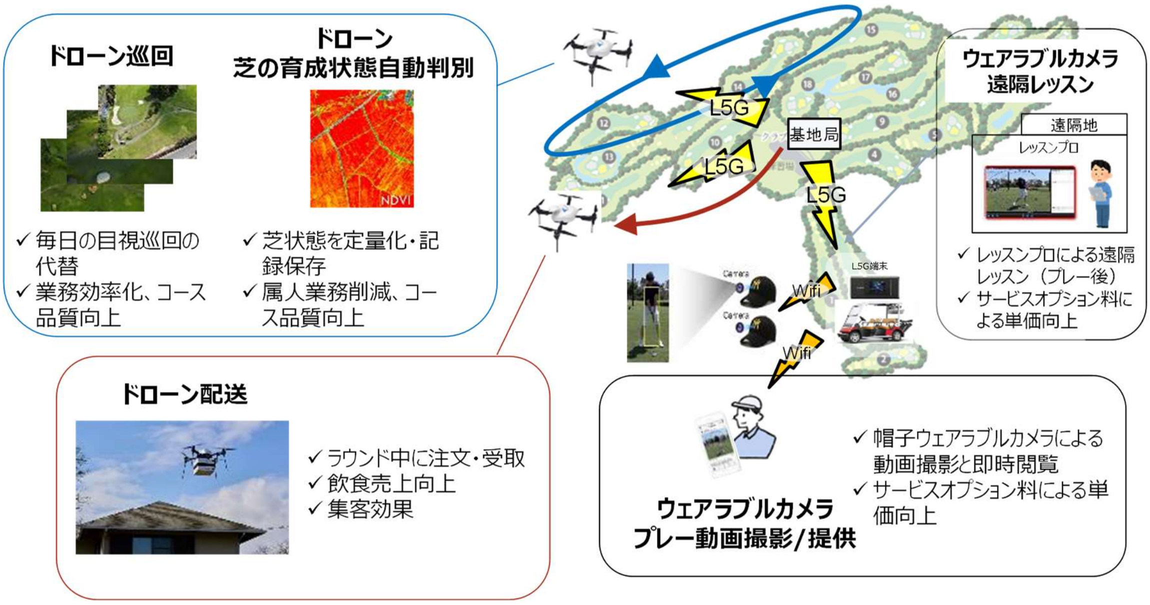


図 1.2-2 課題実証のイメージ図

技術実証では、エリア構築の柔軟性向上を技術実証のテーマとし、4.7GHz 帯中継器によるエリア拡張の有効性を明らかにすることを目標とした実証を行った。

図 1.2-3 技術実証ソリューションのイメージ図

実証終了後は、地元のケーブルテレビ事業者であるケーブルテレビ株式会社が実装主体となり、ソリューション提供や L5G システム提供を集約し、ゴルフ場の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に対して一括してサービス提供を行う。次年度以降の実装普及展開の段階では、設備共用によるコスト低減の取組として、ケーブルテレビ業界で共用する L5G コア設備の利用、及び同一地域の他ゴルフ場への横展開による設備共用（L5G の DU 等）を行うモデルとする。

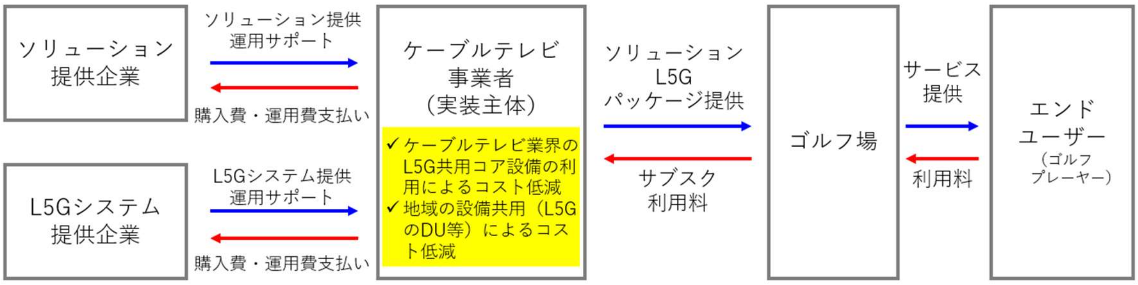


図 1.2-4 L5G 活用ソリューション提供スキーム

以下に、本実証書で使用する略語の一覧表に示す。

表 1.2-1 略語一覧

略語	原語
MRI	株式会社三菱総合研究所
RWJ	株式会社地域ワイヤレスジャパン （Regional Wireless Japan）
KCCS	京セラコミュニケーションシステム株式会社
L5G	ローカル 5G
CMS	Contents Management System
GDO	株式会社ゴルフダイジェスト・オンライン

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本実証においては、4.7GHz 帯の 4.8～4.9GHz、100MHz 幅を対象とした。

2.2 実施環境

実証は栃木県栃木市の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部のゴルフ場で実施する。実施場所は屋外であり、地形はゴルフコースに沿って起伏に富む斜面を含む。以下に、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の全景写真を示す。

本ゴルフ場は中央にクラブハウスがあり、クラブハウスから放射状に各ホール（計 18 ホール）が展開されている。また、各ホール間の多くは、林により区切られている。以上の形態のゴルフ場は国内において一般的であるため、実証後の普及展開を目指す本案件において、実証場所として適切であると言える。

図 2.2-1 実証場所の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部全景（栃木県栃木市）

以下には、エリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域の図と、奥村秦式を用いた受信電力（SS-RSRP）のシミュレーション結果を示す。

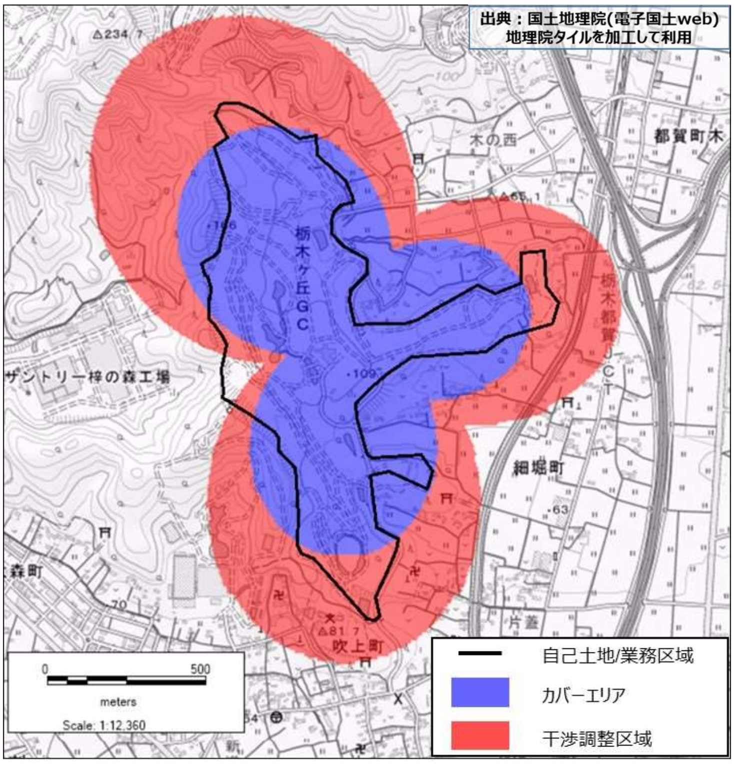


図 2.2-2 エリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域の図

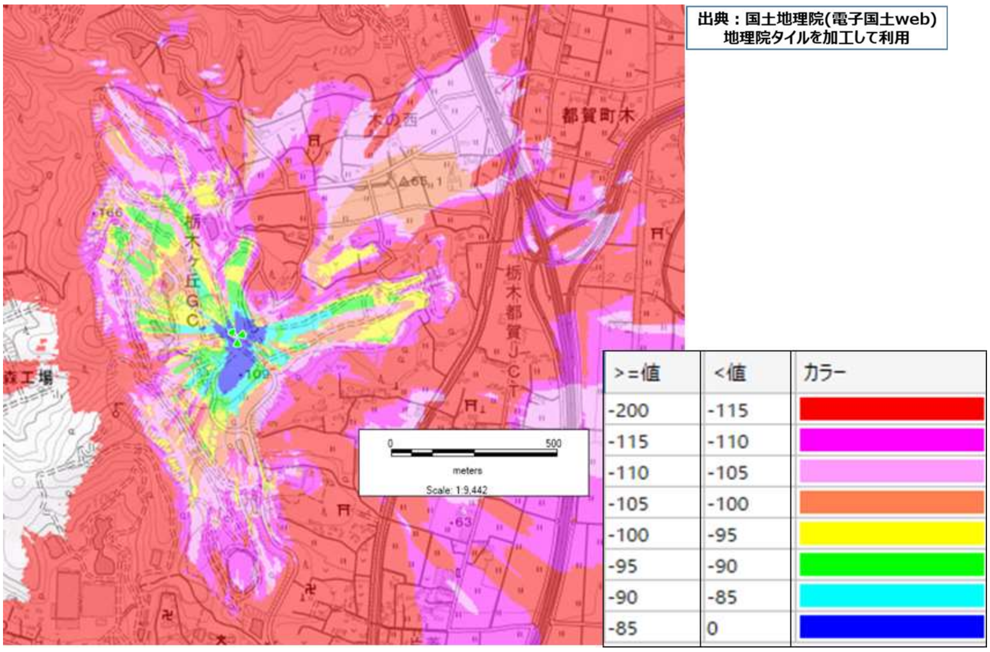


図 2.2-3 奥村秦方式によるエリアシミュレーション結果(SS-RSRP)

2.3　　ネットワーク・システム構成

本実証においては、4.8-4.9GHz 帯域（Sub6）を利用した Stand　Alone 方式のローカル 5G システムを使用した。

コア装置（5GC）と UPF（User Plane Function）・CU（Central Unit）をケーブルテレビ株式会社の樋ノ口ヘッドエンドに配置し、DU（Distributed Unit）をケーブルテレビ株式会社の千塚サブセンターに配置し、ゴルフ場（栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部）にローカル 5G 置局用のコンクリート柱を新規に建設し RU（Radio Unit）とアンテナを 3 局置局した。ローカル 5G の電界範囲は自己土地が主となる。

インターネットへの接続については、UPF で U-Plane（ユーザデータ信号）が分岐され、ケーブルテレビ株式会社の既存ネットワークを通して行う。また CU では C-Plane（制御信号）を 5GC へ接続させた。

本環境の構築スケジュールは下記の通りである。

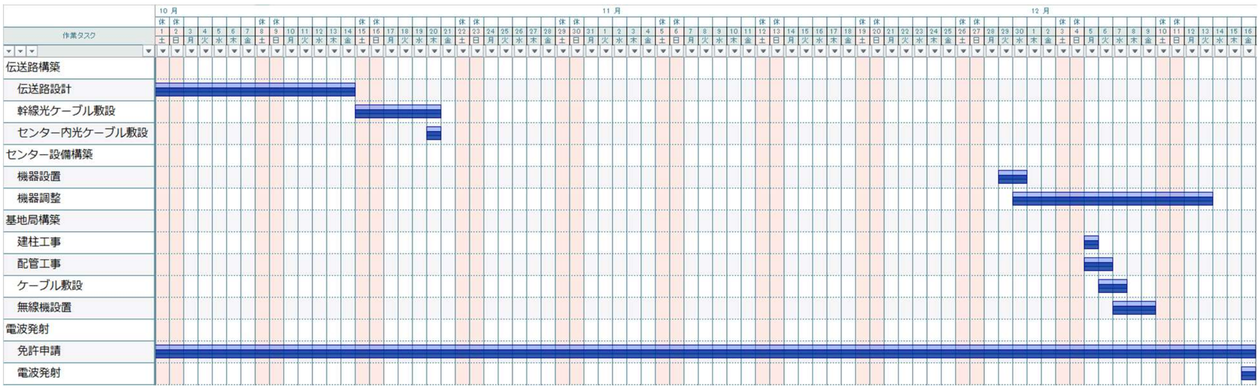


図 2.3-1 構築スケジュール

ゴルフ場では以下のような装置が 5G 端末（UE）と通信を行う（一部は Wi-Fi に変換）。

・ドローン（芝目等の撮影、飲食の配送）

・ウェアラブル 4K カメラ（プレーヤーの帽子等へ設置）

・タブレット（プレー状況や遠隔レッスン等を投影）

ドローンで取得された画像はゴルフ場内のパソコンを経由して、クラウドにあるサーバで処理され、芝目の記録データとして可視化される。

ウェアラブル 4K カメラで撮影した映像は、ケーブルテレビ株式会社の樋ノ口ヘッドエンドに設置された CMS サーバに記録され、プレー記録の閲覧や遠隔レッスン等に利用される。

・ネットワーク全体概要図

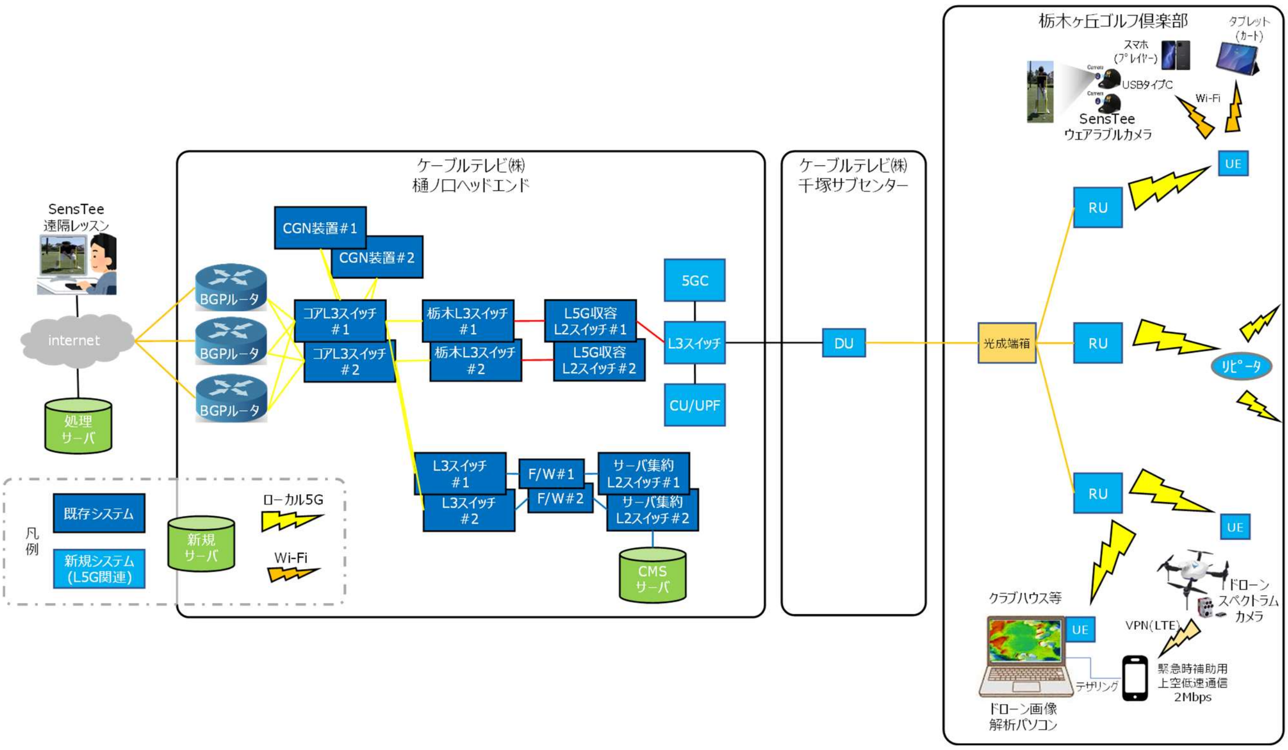


図 2.3-2 ネットワーク全体概要図

・光ファイバー接続経路と各機器設置場所の位置図

図 2.3-3 光ファイバー接続経路と各機器設置場所の位置図

・ゴルフ場ホール全景と基地局位置図

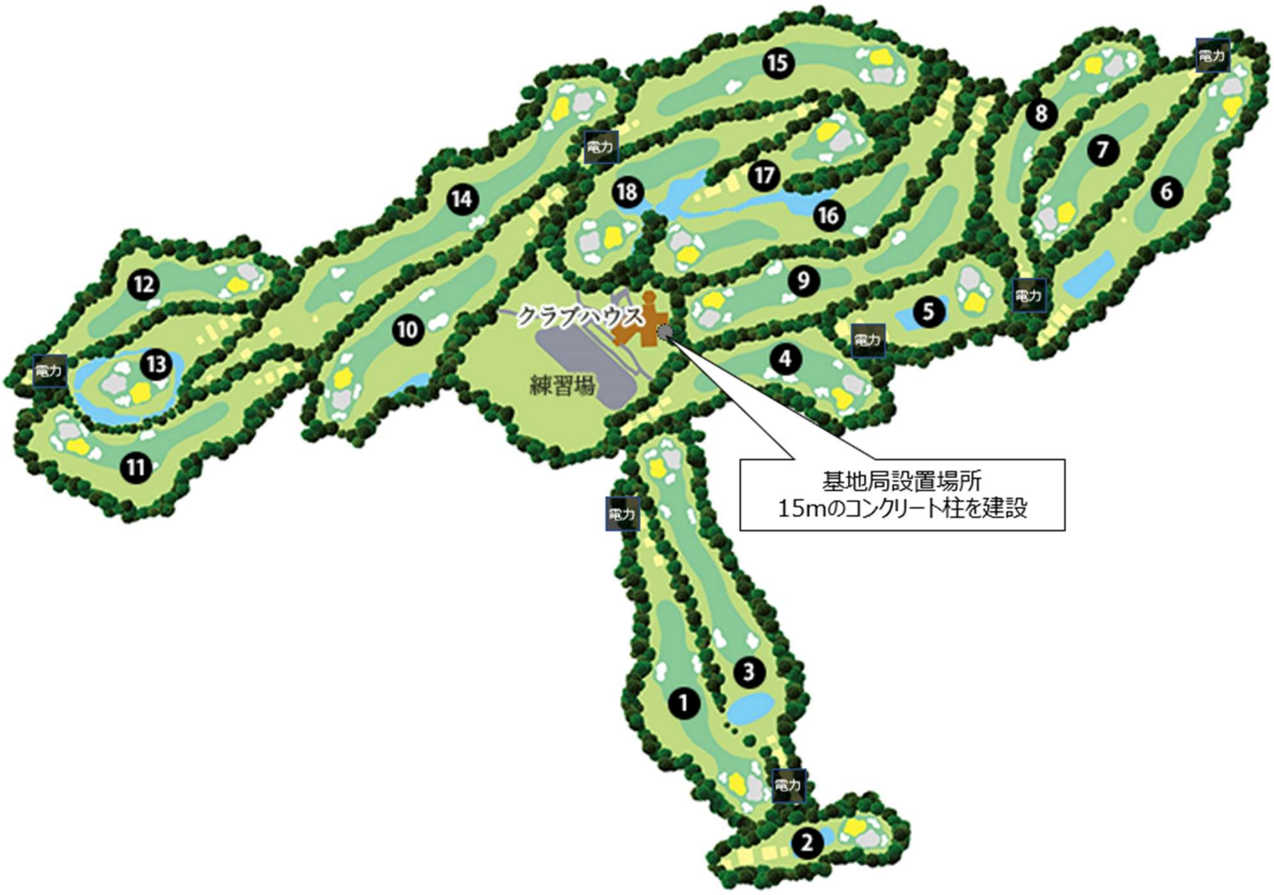


図 2.3-4 ゴルフ場ホール全景と基地局位置図

・基地局設置場所

本実証では、実証フィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の中心に位置するクラブハウス付近にコンクリート柱を新設し、柱に設置した 3 台の RU（RadioUnit）により、クラブハウスから 3 方向に延びるコースに向けて 3 つのセルを構築した。

図 2.3-5 基地局設置場所（近影）

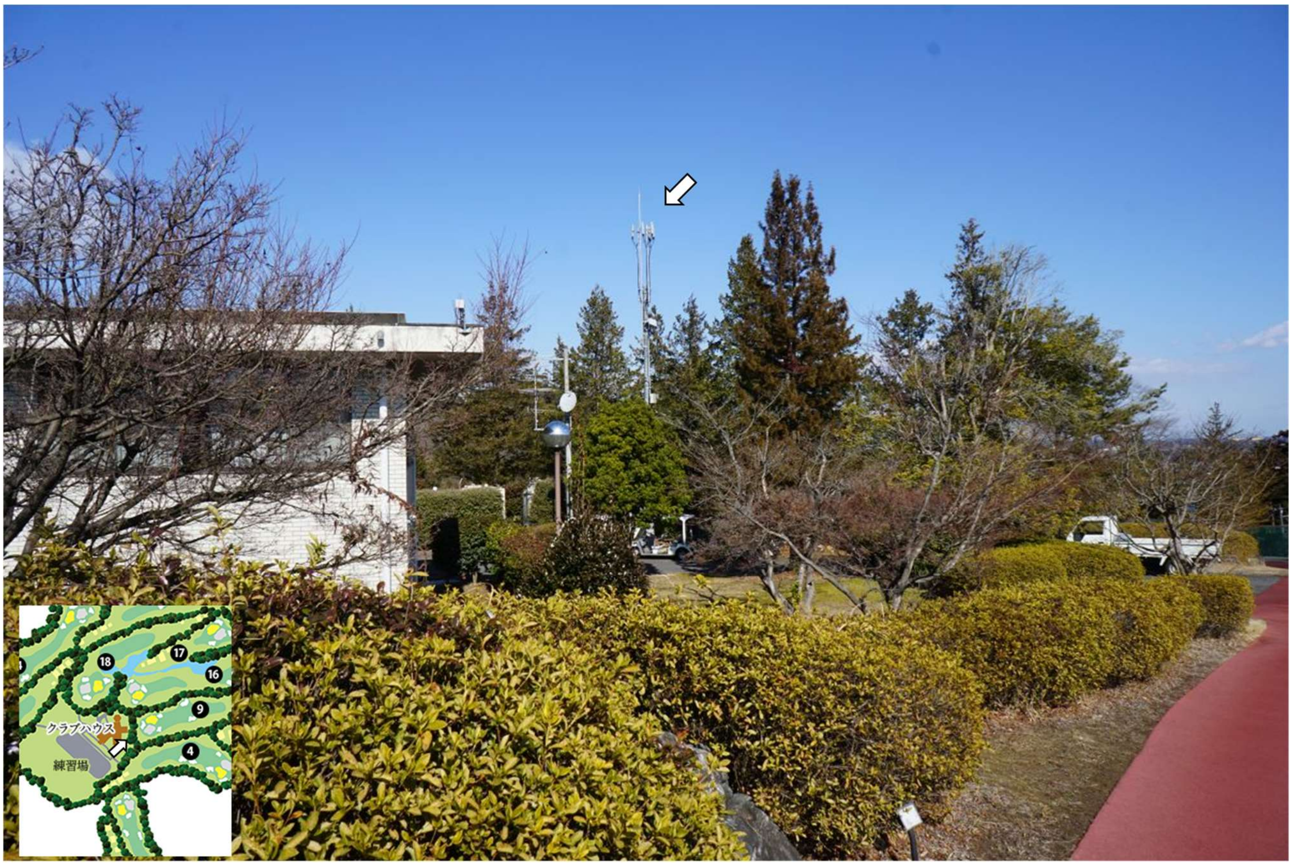


図 2.3-6 基地局設置場所（中近影）

図 2.3-7 基地局設置場所（遠影）

なお、季節や樹木の生育状況にもよるが、ほとんどのホールから基地局とアンテナは目視できない状況である。

図 2.3-8 基地局設置場所（観測地点：3 番ホール）

図 2.3-9 基地局設置場所（観測地点：18 番ホール）

・基地局エリアカバレッジ電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号） が規定するエリア算出法 （以下、「エリア算出法」と言う。） に基づくカバーエリア及び調整対象区域を以下に示す。

本実証の実証フィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部は、基地局設置場所からの見通し上が多数の樹木により遮蔽される環境であるため、令和 3 年度「No04:ローカル 5G を活用した山間部林業現場での生産性向上及び安全性向上のための実用化モデル検証」の結果を参考にし、S 値は郊外地相当の 12.3、K 値については 0 として算出した。

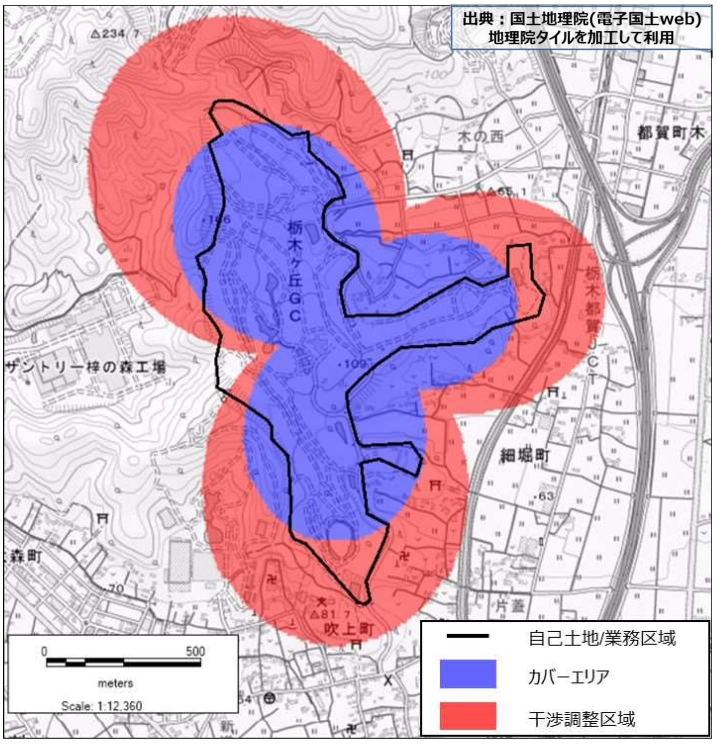


図 2.3-10 エリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域

本実証では、コース状況・植生状況の可視化を目的としてドローンを活用した映像伝送を実施するため、最大で地上高 60m 地点をドローンが飛行することを想定して設計を行った。

そのため、本実証で構築するローカル 5G システムは、3 つのセルの全てのアンテナチルト角は 0 度（電気チルト 5 度+機械チルト-5 度）を基準とし、上空利用と地上利用に柔軟に対応できるエリアを構築した。

以下に、奥村秦方式による地上高 60m 地点の受信電力（SS-RSRP）のシミュレーション結果を示す。

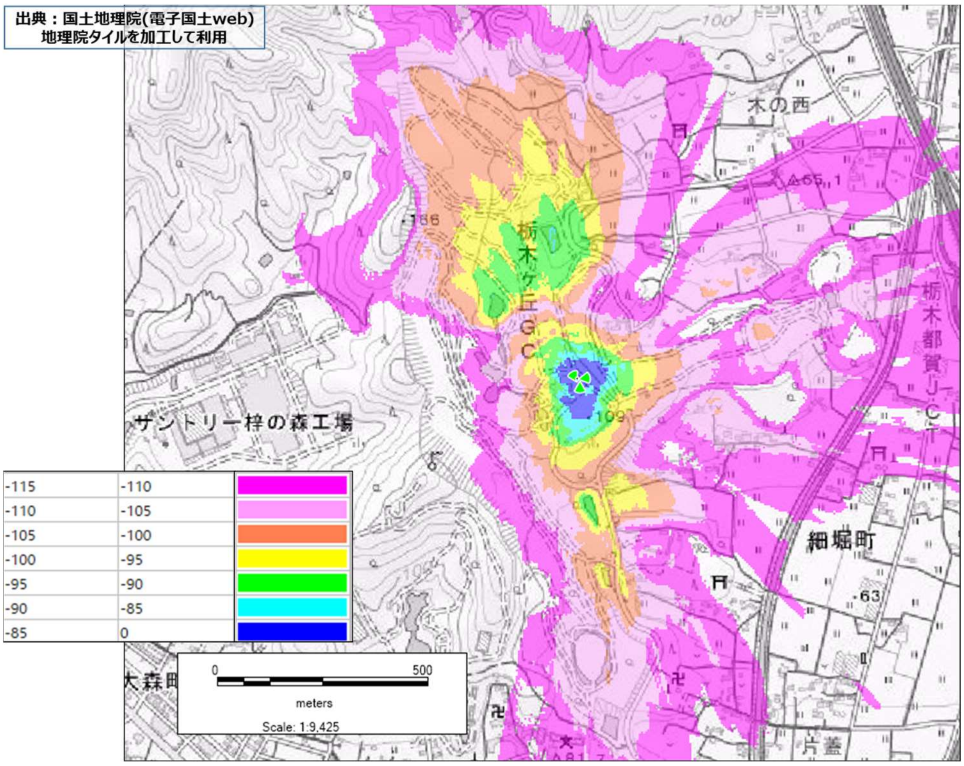


図 2.3-11 奥村秦方式によるシミュレーション結果（地上高 60m 地点）

以下に、奥村秦方式による地上高 1.5m 地点の受信電力（SS-RSRP）のシミュレーション結果を示す。

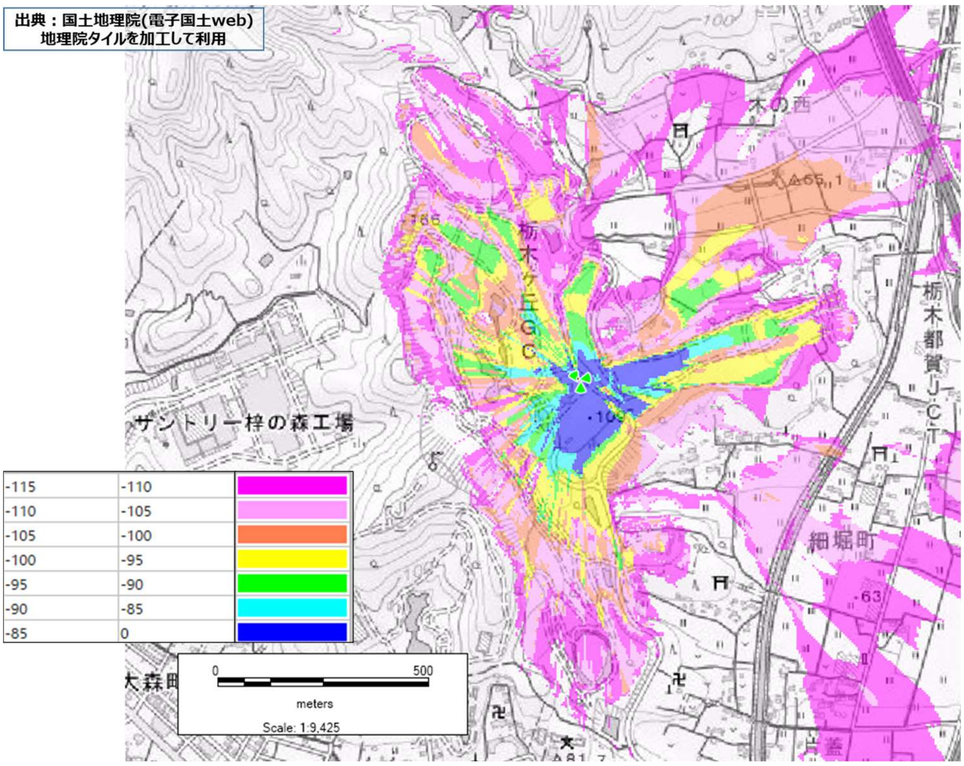


図 2.3-12 奥村秦方式によるシミュレーション結果（地上高 1.5m 地点）

・ネットワーク・システム構成図

本実証では、ケーブルテレビ事業者が主体となってゴルフ場へのローカル 5G の活用を普及するモデルを想定し、5GC 及び CU/UPF を HE に、DU をサブセンターに設置し、RU 及びアンテナはゴルフ場内に設置する形でネットワークを構成した。

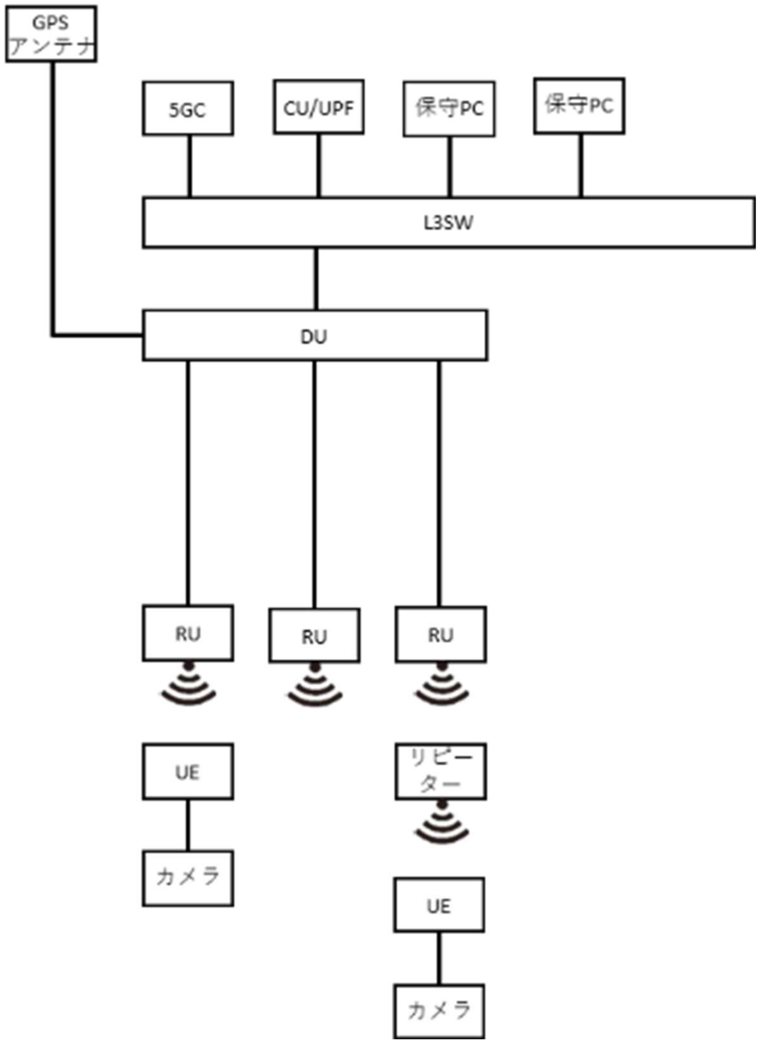


図 2.3-13 ネットワーク構成図（簡易版）

・ローカル 5G 使用機器

本実証で使用するローカル 5G の機器一覧を表に示す。

表 2.3-1　ローカル 5G 使用機器一覧

No	名称	調達先	数量	設置形態	設置場所
1	5GC	Samsung	1	固定	樋ノ口ヘッドエンド
2	CU/UPF	Samsung	1	固定	樋ノ口ヘッドエンド
3	L3SW	Samsung	1	固定	樋ノ口ヘッドエンド
4	DU	Samsung	1	固定	千塚サブセンター

No	名称	調達先	数量	設置形態	設置場所
5	n79 OutdoorRU	Samsung	3	固定	栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部
6	中継器	DX アンテナ	1	可搬	栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部
7	整流器	菊水電子工業	1	固定	千塚サブセンター
8	セクターアンテナ	電気興業	6	固定	栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部
9	GPS アンテナ	パナソニック	1	固定	千塚サブセンター
10	端末	京セラ	5	可搬	栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部

・基地局無線部特性

本実証で使用するローカル 5G システムの無線部の特性を表に示す。

表 2.3-2　基地局無線部特性

項目	基地局
製造ベンダー	Samsung
基地局数	3
設置場所	屋外
同期/準同期	同期、準同期
UL：DL 比率	同期 1:4、準同期 4:6
周波数帯	4.8GHz
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8GHz－4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4849.98MHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	256QAM
DL 変調方式	256QAM
MIMO	4×4MIMO
UL セルスループット（同期 ／ 準同期）	229Mbps / 465Mbps
DL セルスループット（同期 ／ 準同期）	1490Mbps / 989Mbps

・5GC の概要ハードウェア外観を図 2.3-14 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-3 に示す。

図 2.3-14　5GC の外観

表 2.3-3　5GC の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	DELL
機種	DELL PowerEdge R740
機能	AMF,SMF,PCRF,PCF,NRFAUSF,UDM,UDR
収容回線数	15,000 / Core
RU 接続数	18 台 / DU
サイズ	86.8(H) × 434(W) × 715.5(D) mm
重量	33.1kg
電源	AC100～240V
最大消費電力	599W

・CU/UPF の概要

ハードウェア外観を図 2.3-15 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-4 に示す。

図 2.3-15　CU/UPF の外観

表 2.3-4　CU/UPF の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	DELL
機種	DELL PowerEdge R640
機能	UPF,CU
サイズ	42.8(H) × 482(W) × 808.5(D) mm
重量	21.9kg

項目	諸元
電源	AC100～240V
最大消費電力	607W

・レイヤ 3 スイッチの概要

ハードウェア外観を図 2.3-16 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-5 に示す。

図 2.3-16　レイヤ 3 スイッチの外観

表 2.3-5　レイヤ 3 スイッチの諸元

項目	諸元
製造ベンダー	Ubiquoss
機種	E7124
機能	PTP L3SW
サイズ	44(H) × 440(W) × 400(D) mm
重量	9.2kg
電源	AC100～240V
最大消費電力	180W

・DU の概要

ハードウェア外観を図 2.3-17 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-6 に示す。

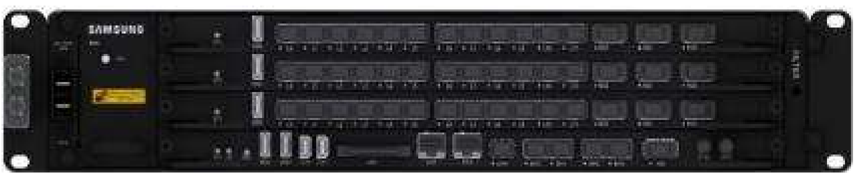


図 2.3-17　DU の外観

表 2.3-6　DU の外観

項目	諸元
製造ベンダー	Samsung
機種	SFG-ARM090
機能	DU
サイズ	88(H) × 434(W) × 385(D) mm
重量	18kg
電源	DC -48V
最大消費電力	1210W

・Outdoor RU の概要

ハードウェア外観を図 2.3-18 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-7 に示す。

図 2.3-18　Outdoor RU の外観

表 2.3-7　Outdoor RU の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	Samsung
機種	SM-PN5G / RT4419-79A
機能	RU
サイズ	264(H) × 221(W) × 82.9(D) mm
重量	4.9kg
電源	AC100V
最大消費電力	101W

・整流器の概要
ハードウェア外観を図 2.3-19 に示す。
ハードウェア諸元を表 2.3-8 に示す。

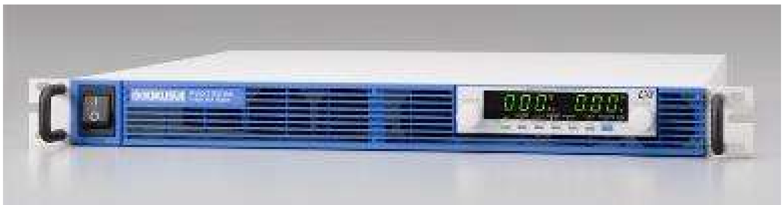


図 2.3-19 整流器の外観

表 2.3-8 整流器の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	菊水電子工業
機種	PWX1500ML
機能	直流電源供給
サイズ	44(H) × 485(W) × 580(D) mm
重量	9.5kg
電源	AC100～240V
最大消費電力	2200VA

・セクターアンテナの概要
ハードウェア外観を図 2.3-20 に示す。
ハードウェア諸元を表 2.3-9 に示す。

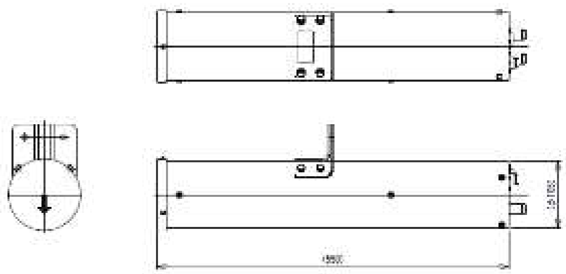


図 2.3-20 セクターアンテナの外観

表 2.3-9 セクターアンテナの諸元

項目	諸元
製造ベンダー	電気興業
機種	VH65A-3545RTD
機能	アンテナ
偏波面	垂直偏波、水平偏波
利得	初期チルト 17.5dBi 以上

項目	諸元
	可動時 17.0dBi 以上
垂直面内指向性 ビーム幅	6.5° ± 1°
水平面内指向性 ビーム幅	55° ± 10°
サイズ	φ105 × 550mm
重量	約 3.8kg

・GPS アンテナの概要

ハードウェア外観を図 2.3-21 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-10 に示す。

図 2.3-21　GPS アンテナの外観

表 2.3-10　GPS アンテナの諸元

項目	諸元
製造ベンダー	パナソニック
機種	CCAH32ST04
機能	GPS アンテナ
利得	38dB 標準
サイズ	φ90 × 98.4mm
重量	約 200g

・中継器の概要

ハードウェア外観を図 2.3-22 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-11 に示す。

図 2.3-22 中継器の外観

表 2.3-11　中継器の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	DX アンテナ
機種	Sub6 Repeater R1
機能	中継器
空中線電力	17dBm/100MHz
空中線利得	13dBi
EIRP	27dBm/100MHz
周波数	4.8GHz – 4.9GHz
周波数帯域幅	100MHz
最大利得 DL	75dB
最大利得 UL	75dB
サイズ	155(H) × 200(W) × 50(D) mm
重量	1.8kg
電源	AC100～240V
最大消費電力	33W

・端末の概要

ハードウェア外観を図 2.3-23 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-12 に示す。

図 2.3-23　端末の外観

表 2.3-12　端末の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	京セラ
機種	K5G-C-100A
機能	UE
通信方式	5GNR（Sub6/mmW）、Local5G(Sub6/mmW)、4G LTE (マルチバンド)
サイズ	78(H) × 165(W) × 27(D) mm
重量	326g

項目	諸元
電池	リチウムイオン電池（6,000mAh）
充電端子	USB Type-C (PD3.0)

・エリアテスタの概要

ハードウェア外観を図 2.3-24 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-13 に示す。

図 2.3-24 エリアテスタの外観

表 2.3-13　エリアテスタの諸元

項目	諸元
製造ベンダー	PCTEL
機種	HBflex
測定周波数	4.8-4.9GHz
測定項目	SS-RSRP、SINR
アンテナパターン	オムニアンテナ
サイズ	111.5(H) × 165.1(W) × 255.3(D) mm
重量	3.3kg
電源	DC 17V

・測定用 PC の概要

ハードウェア外観を図 2.3-25 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-14 に示す。

図 2.3-25　測定用 PC の外観

表 2.3-14　測定用 PC の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	HP
機種	HP ProBook 650 G8
機能	iPerf、Ping
サイズ	19.9(H) × 359.4(W) × 233.9(D) mm
重量	1.74kg
電池	リチウムイオン電池（45Wh）
電源	AC100～240V

・XCAL の概要

ハードウェア外観を図 2.3-26 に示す。

ソフトウェア諸元を表 2.3-15 に示す。

図 2.3-26　XCAL の外観

表 2.3-15 XCAL の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	Accuver
機種	XCAL
機能	無線区間の情報取得 ※測定用 PC にインストールした XCAL のライセンス認証 USB キー
測定項目	SS-RSRP UL MAC Throughput DL MAC Throughput UL MCS DL MCS UL RB DL RB
サイズ	0.9(H) × 4.2(W) × 1.6(D) mm
重量	約 10g

・GPS 測定器

ハードウェア外観を図 2.3-27 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-16 に示す。

図 2.3-27　GPS 測定器の外観

表 2.3-16　GPS 測定器の諸元

項目	諸元
製造ベンダー	GARMIN
機種	eTrex 32xJ
機能	GPS 座標取得
サイズ	33(H) × 54(W) × 103(D) mm

項目	諸元
重量	148g
電池	単三電池 × 2 本

・ドローン

ハードウェア外観を図 2.3-28 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-17 に示す。

図 2.3-28 ドローン（エアロセンス社　AS-MC03-LTE）外観

表 2.3-17 ドローン（エアロセンス社　AS-MC03-LTE）諸元

項目	仕様
最大離陸重量	6.8kg
最高速度（km/h）	36 km/h
最高飛行高度：標高(m)	4000m
電波到達距離（m）	600m
飛行可能風速（m/s 以下）	10m/s 以下
耐風性能（m/s）	12
最大搭載可能重量（kg）	2.0kg
最大使用可能時間（分）ギリギリまで使った場合。	20 分 @Payload 1kg
外形寸法 プロペラなし（mm）	517.2 x 517.2 x 445
外形寸法ガード装着時（mm）	943.3 x 943.3 x 450

項目	仕様
ガード重量	220g
本体重量ガード装着時（kg）	2.9kg
本体重量（バッテリ込み）	4kg
動作保証 環境温度範囲（バッテリを含まず）	-10～40 度
動作保証 湿度	～90%
カメラ	前向き 640x480、下向き 640x480
モーター	BLDC モーター x 4
機体制御無線	2.4GHz, LTE
映像伝送無線	LTE
バッテリ	6S 10000 /16000mAh 10000mAh :1332g / 16000mAh: 1950g
飛行制御	飛行計画による自動航行 地上局からのマニュアル操作 自動航行、マニュアル操作の飛行時切替え
自動離着陸	可能
耐水性	防水性能：IPX3
防塵性	防塵性能：IP4X
プロポレス運用	対応
ガード	DID 地区対応
フライトコントローラー	自社製フライトコントローラー ＋ 高性能アプリケーションプロセッサ(Linux)

・ドローン搭載カメラ

ハードウェア外観を図 2.3-29 に示す。

ハードウェア諸元を表 2.3-18 に示す。

図 2.3-29 ドローン搭載カメラ（micasense 社 ALTUM-PT）外観

表 2.3-18 ドローン搭載カメラ（micasense 社 ALTUM-PT）仕様

重量	460g (ALTUM-PT + DLS2)
寸法	11.0 × 8.0 × 6.9 cm
電源電圧	7.0V ～ 25.2V
消費電力	5.5/7.0/10W (Standby, average peak)
センサ解像度	2064×1544 (3.2MP per MS band) 4112×3008 (12MP panchromatic band) 320×256 thermal infrared
取得バンド	blue, green, red, red edge, near-IR (global shutter, narrowband)
波長(nm)	Blue　(中央値475 nm：バンド幅 32 nm) Green　(中央値560 nm：バンド幅 27 nm) Red　(中央値668 nm：バンド幅 14 nm) Red edge (中央値717 nm：バンド幅 12 nm) Near-IR　(中央値842 nm：バンド幅 57 nm)
RGBカラー出力	12.4 MP (global shutter, aligned with all bands)
熱赤外画像	FLIR LWIR infrared 7.5-13.5um radiometrically calibrated
地上サンプル距離（GSD）	5.28 cm per pixel (per MS band) at 120m AGL 33.5 cm per pixel (Thermal) at 120m AGL 2.49 cm per pixel (panchromatic band) at 120m AGL
キャプチャーレート	2 captures per second raw DNG
インターフェース	3 configurable GPIO: select from trigger input, PPS input, PPS output, and top of frame signals. Host virtual button. USB 2.0 port for WiFi. Serial. 10/100/1000 Ethernet. CFexpress for storage
視野角	50°　HFOV x 38°　VFOV (MS) 44°　HFOV x 38°　VFOV (PAN) 48°　× 39°　(thermal)
ストレージ	CFexpress Card

出典）https://www.jepico.co.jp/media/maker/micasense/a640

s
・ウェアラブルカメラ
ハードウェア諸元を表 2.3-19 に示す。

表 2.3-19 ウェアラブルカメラ（SJCAM 社 SenseTee C-1）仕様

項目	仕様
映像解像度	4K（3840 * 2160) / 30FPS , 2K（2560 * 1440) / 30FPS , 1080P (1920 * 1080) / 30FPS , 720P (1280 * 720) / 60 FPS
静止画解像度	15M (5200 * 2928) , 12M (4640* 2608)
視野角	110 度
映像フォーマット	MP4
動画圧縮	H.265
重量	42g
サイズ［mm］	60 x 20 x 26
WiFi	2.4GHz
バッテリ	730m Ah 3.7V 内蔵

・プレー状況投影のため使用するタブレット（ Lenovo Tab M10 HD ）
ハードウェア外観を図 2.3-30 に示す。
ハードウェア諸元を表 2.3-20 に示す。

図 2.3-30 タブレット外観

表 2.3-20 タブレット仕様

製品番号			ZA6W0003JP
初期導入済OS			Android™ 10
プロセッサー	名称		MediaTek P22T プロセッサー
	動作周波数		2.3 GHzクアッドコア+1.8 GHzクアッドコア
	コア数		8
メインメモリー	容量（標準）		4GB
	仕様		LPDDR4X
フラッシュメモリー			64GB
表示機能	ディスプレイサイズ(ドッ		10.1型ワイドIPSパネル (1280x800ドット)
	タッチパネル		マルチタッチ対応(10点)
	外部接続時(ドット)		-
	ワイヤレスディスプレイ		Wi-Fi Display対応
インターフェース(ポート)	USBポート		USB 2.0 Type-Cポート（OTG機能付き）
	ディスプレイ関連ポート		なし
	オーディオ関連ポート		マイクロホン/ヘッドホン・コンボ・ジャック
	その他		スマートコネクタ（専用アクセサリ接続用）
通信機能	Wi-Fi		802.11a/b/g/n/ac
	Bluetooth		Bluetooth v5.0
	NFC		なし
	WWAN		なし
オーディオ	オーディオ機能		ドルビーアトモス
	スピーカー		スピーカー×2
スロット	microSDスロット		microSDメディアカードリーダー（最大256GBまで対応可能）
	SIMカードスロット		なし
内蔵カメラ（インカメラ/アウトカメラ）	画素数		500万画素/800万画素
	フラッシュ		なし / なし
	フォーカス方式		FF / AF
ボタン類			パワーボタン、ボリュームボタン
センサー類			加速度センサー、光センサー、近接センサー、GPS、GLONASS
本体カラー			アイアングレー
寸法・質量	本体寸法 (W×D×H)mm		約 241.54x149.38x8.25mm
	本体質量		約 420g
	梱包箱寸法（W×D×H）cm		約 25.85x16.3x4.1cm
	梱包箱重量		約 680g
電源	バッテリー	種類	リチウムイオンポリマーバッテリー
		容量	5000mAh
		使用時間	約 10時間
		充電時間	約 4.5時間 (ACアダプター使用時)
	ACアダプター	定格電圧	AC 100-240V(50/60Hz)

出典）https://p2-ofp.static.pub/ShareResource/JPCatalog/210629-tabm10-rt.pdf

・プレー状況投影のため使用するスマートフォン（ AQUOS sense5G SH-M17）
ハードウェア外観を図 2.3-31 に示す。
ハードウェア諸元を表 2.3-21 に示す。

図 2.3-31 スマートフォン外観

表 2.3-21 スマートフォン仕様

項目	仕様
サイズと重量	約 148mm×約 71mm×約 8.9mm（突起部を除く） 約 178g
OS	Android™ 11
CPU	Qualcomm® Snapdragon™ 690 5G Mobile Platform 2.0GHz+1.7GHz オクタコア
内蔵メモリ	ROM 64GB UFS 2.1／RAM 4GB LPDDR4X
外部メモリ	microSDXC カード（最大 1TB）
バッテリ容量	4,570mAh（内蔵電池）
ディスプレー	約 5.8 インチ IGZO ディスプレー フル HD＋（1,080 × 2,280）
通信・通話機能	対応バンド 5G ： n3＊6 / n28＊6 /n77 / n78 / n79 LTE ： B1 / B2 / B3 / B5 / B7 / B8 / B18 / B19 / B20 / B28 / B38 / B39 / B41 / B42 3G ： B1 / B2 / B5 / B6 / B8 / B19 GSM ： 850 / 900 / 1,800 / 1,900MHz Wi-Fi IEEE802.11a/b/g/n(Wi-Fi 4)/ac(Wi-Fi 5) テザリング 15 台（Wi-Fi 10 台、USB 1 台、Bluetooth(PAN)：4 台を併用）

2.4　システム機能・性能・要件

本ソリューションで使用する 4K 相当の解像度を持つカメラの上り伝送容量の要件として、20Mbps を所要性能として設定した。撮影環境によって必要な伝送容量は異なるため、実地での測定も必要である。また、4K 相当のカメラは同時に最大 4 台（ウェアラブルカメラ 4 台）を想定し、最大で 80Mbps の性能が得られることが望ましい。上り伝送容量を多く使用するソリューションであるため、準同期を用いることで対応した。

遅延については、ドローン制御通信の要件である 100ms を所要性能とする。なお、本実証で行う映像・画像の伝送については、ソリューションの性質上、数 ms、数十 ms 単位の厳密な低遅延は求められず、同様の 100ms を一定の性能要件とした。

2.5　その他

2.5.1　実証システムの拡張性等

本実証において導入したサムスン電子製ローカル 5G システムの基地局は 3GPP Rel.16 標準及び O-RAN 標準に準拠した機器を使用し、将来的な拡張を考慮したシステム設計となっている。システムの収容数・接続数などの拡張性については各機器の項目に記載の通りである。また、InteroperabilityTesting 関連標準団体である NVIOT Forum の標準化試験に従っており、他社の RAN 及びコア製品に連動可能である。

2.5.2　実証システムの安全性確保のための対策

（1）　特定高度情報通信技術活用システム

本実証において導入を予定しているサムスン電子製ローカル 5G システムの基地局、コア設備等については、「開発供給計画認定（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））」を受けた実績はないが、現在開発供給計画の認定に向け準備を進めている。

また、本実証における機器調達にあたっては、「IT 調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（2018 年 12 月 10 日関係省庁申合せ）等に留意し、ローカル 5G 導入ガイドラインに記載の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を講じた。

サムスン電子社による具体的な対策状況を以下に示す。

・RAN 及び Core 設備は 3GPP Rel.16 33.501 を準拠。
・米国国家情報保証パートナーシップ（NIAP）製品準拠リスト（PCL）及びカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定済み。
・セキュリティ評価基準である ISO15408 の認証取得を行い、サイバーセキュリティ対策を講じている。
・サプライチェーンリスク管理のため、購買統合システム（G−SRM）を構築し、供給網（SCM）、情報共有、協力会社評価及び登録、リスク管理、遵法経営と勤労環境の統合管理、協力会社行動規範、自己評価チェックリスト共有し、リスク対応を講じている。
・RAN 及び Core 設備のソフトウェアパッケージはサイバーセキュリティに対応し、開発段階で Vulnerability Test を実施し、全ての脆弱性を補完後出荷。

（2） その他の実証システム

各ソリューションで使用したシステムでは以下のような安全性確保のための対策を実施している。

表 2.5-1 安全性確保のための対策

ソリューション	安全性確保のための対策
ドローン	・VPN(Virtual Private Network)による通信の暗号化 ※バックアップの LTE 接続でも VPN による通信の暗号化がなされます。
ウェアラブルカメラ（CMS サーバ）	・E2EE(End-to-end encryption)による通信の暗号化 ・ファイヤーウォールによる接続制御 ・ID とパスワードによる認証

3.　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）

3.1　実証概要

本実証では、2 章で構築したローカル 5G の実証環境において、4.7GHz 帯中継器を活用したエリア構築の柔軟性向上に取組む。

3.2　実証環境

本実証のフィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部では、RU 設置場所であるクラブハウス周辺からの電波発射により、北・東・南の各方角に最大 800m 程度伸びるコースをエリア化することが求められる。

クラブハウス周辺はゴルフ場内で最も標高が高く、場内の最も標高が低い地点と比較すると、30m 程度高い場所に位置している。これは広範囲をエリア化するためには良好な条件であるが、本実証で構築するネットワークは上空利用を想定し一部チルト角を 0°としていることに加え、クラブハウスからコースまでの間は最大で 20m を超える樹木により度々遮蔽されているため、樹木の陰等に不感地帯、弱電界エリアが生じることが懸念される。

本実証では、ゴルフ場への横展開を考えた場合に避けられない樹木遮蔽による弱電界エリアへの対策として、中継器を利活用したエリア構築を行う。

3.3　実施事項

3.3.1　電波伝搬モデルの精緻化

（1）　実証の目的・目標

1）　背景となる技術的課題と実証目的

このテーマには取組まない。

2）　実証目標

このテーマには取組まない。

3）　過年度技術実証からの発展性・新規性

このテーマには取組まない。

（2）　実証仮説

このテーマには取組まない。

（3） 評価・検証項目

このテーマには取組まない。

（4） 評価・検証方法

このテーマには取組まない。

（5） 実証結果及び考察

このテーマには取組まない。

3.3.2 エリア構築の柔軟性向上

（1） 実証の目的・目標

1） 背景となる技術的課題と実証目的

ゴルフ場においてローカル 5G を利活用して期待されるユースケースとして、本実証の課題実証で実施するコース状況・植生状況の可視化のためのドローンを用いた映像伝送や、ウェアラブルカメラを用いたプレー動画の撮影及び遠隔レッスン等が想定される。それらのユースケースを実用化する際には、ゴルフ場内の全ホール（一般的には 18 ホール）をローカル 5G のエリアとすることが望まれる。

他方、ゴルフ場へのローカル 5G の普及においては、基地局を設置する場所の確保が課題となる。ゴルフ場にローカル 5G システムを構築しようとする場合、クラブハウス付近にコア装置を設置する、もしくは他所に設置されたコア装置からのバックホール回線を引き込むことが想定される。そのため、クラブハウス付近に基地局を設置し、そこから各ホールをカバーすることが理想的である。また、その際に利用する周波数としては、28GHz 帯と比較して広いエリアカバーを実現可能な 4.7GHz 帯の利用が望ましいと考えられる。

しかしながら、クラブハウスと各ホールの間は樹木により遮蔽されているケースが多く、エリア算出法におけるカバーエリア範囲においても、電波の到達が不十分なエリアが生じる可能性がある。その解決方法として、各ホールのコース付近への基地局設置を考えた場合、クラブハウス付近から各ホールに対して、電源線に加えフロントホール回線の敷設が必要となるが、景観上それらの回線は埋設による整備が必要となる可能性が高く、構築に係るコストの増大化が懸念される。これらの課題は多くのゴルフ場において共通する課題であるとともに、本実証のフィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部においても同様であり、図 3.3-1 に示すように各ホールの間に存在

する樹木等の影響により、電波の到達が不十分なエリアが生じると考えられる。

図 3.3-1　実証フィールド（栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部）全景

上記の課題の解決を目的としてエリア構築の柔軟性向上を目指す方策としては、DAS（分散アンテナシステム）、LCX（漏洩同軸ケーブル）、電波反射板、中継器等が候補に挙げられる。

ゴルフ場における課題解決を考えた場合、DAS による整備はコース付近への基地局設置と同様に通信線の敷設が必要になることから既存課題の解決に向かず、LCX による整備は LCX の近傍領域のエリアカバーを目的としているため、ゴルフ場のような広大な屋外環境の整備には不向きである。

電波反射板による整備は電源供給が不要であるという利点があり、屋外におけるエリア柔軟化手法として有効であるが、カバー可能な範囲が狭いことに加え、4.7GHz 帯においては反射板が大型化するため景観を損ねるという課題がある。他方、中継器による整備は電源供給が必要になるという課題はあるが、フロントホール回線等の通信線の敷設が不要であり、中継器自体が比較的小型であることから、ゴルフ場の景観に与える影響を抑えられる。また、電波反射板と比較して広範囲をカバー可能であり、柔軟なエリアカバーを実現できることから、ゴルフ場において電波の到達が不十分なエリアへの方策として最適であると考えられる。

上記の理由より、本実証では中継器を用いたエリアカバーにおける受信電力及び伝送スループットの向上を実現することを目的とする。

2） 実証目標

本実証では、課題実証におけるユースケースで要求される最低限の伝送性能として、アップリンクにおける伝送スループット：20Mbps 以上（4K カメラ 1 台相当）とし、その要件を満たすため、受信電力（SS-RSRP）が-100dBm を下回るエリアを弱電界エリアと定義する。

ゴルフ場内のエリア算出法によるカバーエリア内外に生じた弱電界エリアに対して、4.7GHz 帯中継器を用いたエリアカバーを行い、中継器の指向方向を中心に 45m までの範囲で受信電力（SS-RSRP）：10dB 以上の改善と、2.4 章で記載したユースケースで要求される伝送性能である伝送スループット（UL：20Mbps）、伝送遅延時間（往復遅延時間：100ms）を満たすことを数値目標とし、汎用的な普及を目的とした中継器の利活用による弱電界エリアの改善を実現することを実証目標とする。

3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

過年度に実施された技術実証では、4.7GHz 帯の金属反射板によるエリア改善についての実証が複数行われたが、反射板の改善効果は 2～12°程度の狭いビームの範囲に限定されるという結果が多数であった。本実証において用いる中継器は、外付けアンテナの利用により半値角 120°を超えるカバーエリアを確保できるため、過年度と比較して広範囲における改善効果を期待できる。

また、過年度の技術実証では、実証仮説に基づいて反射板の設置位置及び改善対象となるエリアが選定されているが、改善対象となるエリアが実測結果では想定よりも強電界であったため、実際の弱電界エリア・不感地帯に対する改善効果が確認できていないケースが散見された。そこで、本実証においては、ローカル 5G システムの構築後にゴルフ場内において受信電力（SS-RSRP）と伝送スループットの測定を実施し、実際の弱電界エリアを明らかにした上で、中継器の設置場所及び対象となるカバーエリアを選定する。

なお、中継器の導入には中継器設置場所への電源の確保が懸念点になるが、本実証においては可搬型電源箱を利用することにより、フレキシブルな中継器によるエリアカバーを実現する。

（2） 実証仮説

本実証で利用する中継器の所要入力レベルは SS-RSRP≧-95dBm を予定している。そのため、実測によって選定した弱電界エリア（SS-RSRP≦-100dBm）の周辺において、SS-RSRP≧-95dBm となる地点を中継器の設置地点として選定する。

図 3.3-2 にエリア算出法によるシミュレーション結果を、図 3.3-3 に奥村秦式を用いた受信電力（SS-RSRP）のシミュレーション結果を示す。

なお、当該シミュレーションは Infovista 社製シミュレーションツール Planet を用いて、表 3.3-1 に示すパラメータによるシミュレーションを実施した。

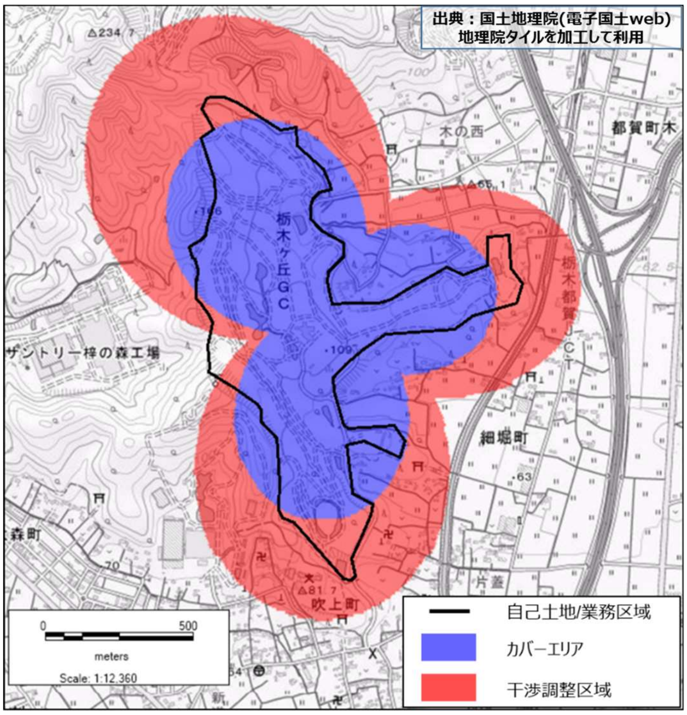


図 3.3-2　エリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域の図

表 3.3-1　エリア算出法におけるパラメータ

パラメータ名	単位	値	説明	備考
f	[MHz]	4850	中心周波数	
H_b	[m]	14.9	基地局の空中線地上高	
H_m	[m]	1.5	移動局の空中線地上高	
d_{xy}	[km]	-	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離	
α		1	遠距離に対して考慮する係数	dxy≦20km
a（H_m）	[dB]	0.057	移動局高に対して考慮する補正項	中小都市として算出
b（H_b）	[dB]	-6.0787	基地局高に対して考慮する補正項	$20\log_{10}(H_b/30)$
K	[dB]	0	地形の影響などの補正値	
S	[dB]	12.3	市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値	郊外地として算出
R	[dB]	0	基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損	

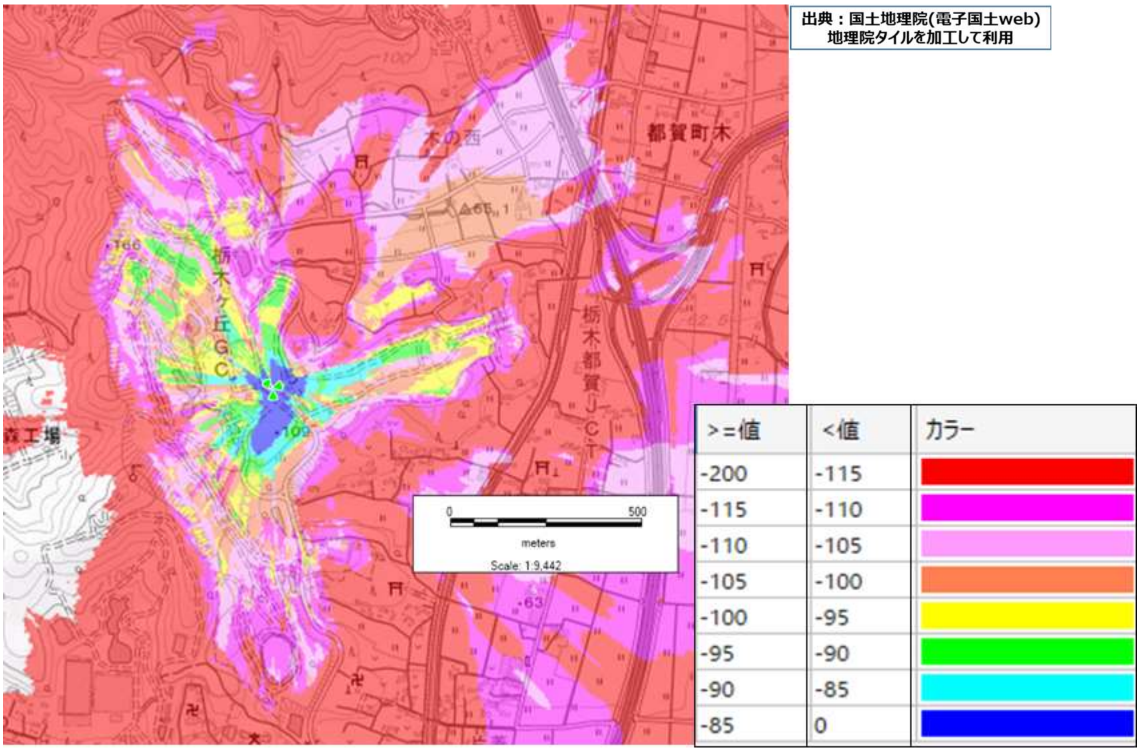


図 3.3-3　奥村秦方式によるエリアシミュレーション結果(SS-RSRP)

図 3.3-3 から、エリア算出法によるエリアカバー範囲内であっても、RSRP≦-100dBm となる弱電界エリアが発生するものと想定される。また、実際に構築した環境においては、基地局から NLOS 環境となる樹木の陰等でより低い受信電力になる可能性が考えられる。

本実証では、これらの弱電界エリアに対して中継器によるカバーを行う。

本実証で使用する中継器の仕様を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2　中継器の電気的特性

項目	諸元
空中線電力	17dBm/100MHz
空中線利得	13dBi
EIRP	27dBm/100MHz
周波数	4.8GHz－4.9GHz
周波数帯域幅	100MHz
最大利得 DL	75dB
最大利得 UL	75dB
MIMO	1×1(SISO)

中継器を利用した場合のリンクバジェットについて、表 3.3-3 に示す。

表 3.3-3　中継器を利用した場合のリンクバジェット

項番	項目	記号	単位	値	備考
1	中心周波数	f	MHz	4850	
2	占有周波数帯幅	BW	MHz	100.0	
3	伝送路の距離	dxy	m	45.0	
4	伝送路の距離	dxy	km	0.05	
5	中継局の空中線地上高	Hb	m	4.0	
6	移動局の空中線地上高	Hm	m	1.5	
7	中継局への入力電力 (SS-RSRP)	Pin	dBm	-95.0	
8	中継局への入力電力 (RSSI)	Pin	dBm	-59.8	RB 数=273 として算出
9	中継局　受信アンテナ利得	Grr	dBi	13.0	
10	中継局　給電線損失（受信）	Lfr	dB	3.0	
11	中継器　内部 ATT	Lr	dB	8.2	AGC
12	中継局　内部利得	G	dB	75.0	
13	中継局　空中線電力	Pt	dBm	17.0	Prt = Prin + Grr - Lfr -Lr + G
14	中継局　給電線損失(送信)	Lft	dB	-3.0	
15	中継局　送信アンテナ利得	Gtr	dBi	13.0	
16	伝搬損失	L	dB	82.5	エリア算出法による ※S=12.3（郊外地）
17	移動局　受信アンテナ利得	Gr	dBi	0.0	
18	移動局　受信電力 (RSSI)	Pr	dBm	-63.5	Pr = Prt + Gtr -Lft + Gr - L - 8
19	移動局　受信電力 (SS-RSRP)	Pr	dBm	-98.7	RB 数=273 として算出

表 3.3-3 に示す通り、中継器の設置により、120° ×45m の範囲において、 SS-RSRP≧-100dBm を達成できる見込みであり、それにより対象エリアにおけるユースケースの要件を満たす伝送スループットを確保できると考える。

図 3.3-4　中継器を用いた場合のカバーエリア及び干渉調整区域のイメージ

本実証では上記仮説を踏まえ、実測により明らかにした弱電界エリアに対して中継器によるエリアカバーを行い、改善効果を確認する。

なお、弱電界エリアの候補としては、ゴルフ場における普及の観点に加え、汎用的に中継器の利活用が見込まれる以下のロケーションを想定している。

・樹木遮蔽の影響により、弱電界となっているエリア
・純粋なエリア端のため、弱電界となっているエリア
・その他の特殊な要因（トンネル等）のため、弱電界となっているエリア

（3） 評価・検証項目

本実証において評価・検証する項目を表 3.3-4 に記載する。

表 3.3-4　評価・検証項目

評価・検証項目	概要	測定項目
弱電界エリアの選定	ゴルフ場内において、歩行測定により受信電力を確認し、中継器によるカバーを行う弱電界エリア（RSRP≦-100dBm）を選定する。	・受信電力(SS-RSRP) ・伝送スループット(MAC層)
中継器による改善効果の確認試験	選定した弱電界エリアに対して可搬した中継器によるエリアカバーを行い、エリア内の 30 以上の測定ポイントにおける受信電力、信号品質、伝送スループット、伝送遅延時間について、中継器の設置前後の値を測定し、評価する。	・受信電力（SS-RSRP） ・信号対干渉雑音電力比（SINR） ・BlockErrorRate(BLER) ・伝送スループット(MAC層) ・伝送遅延時間

（4）　評価・検証方法

・弱電界エリアの選定

中継器によるカバーを行う対象とする弱電界エリアを選定するため、ゴルフ場各ホールのコース内に対して歩行測定を行い、受信電力（SS-RSRP）及び伝送スループットの値を確認する。歩行測定のルート選定にあたっては、実際の利用状況を考慮したティーイング・エリア、フェアウェイ、グリーン周辺の他、中継器の設置場所になると考えられるコース外周を含めることを考慮した。

歩行測定のルートを図 3.3-5 及び図 3.3-6 に示す。

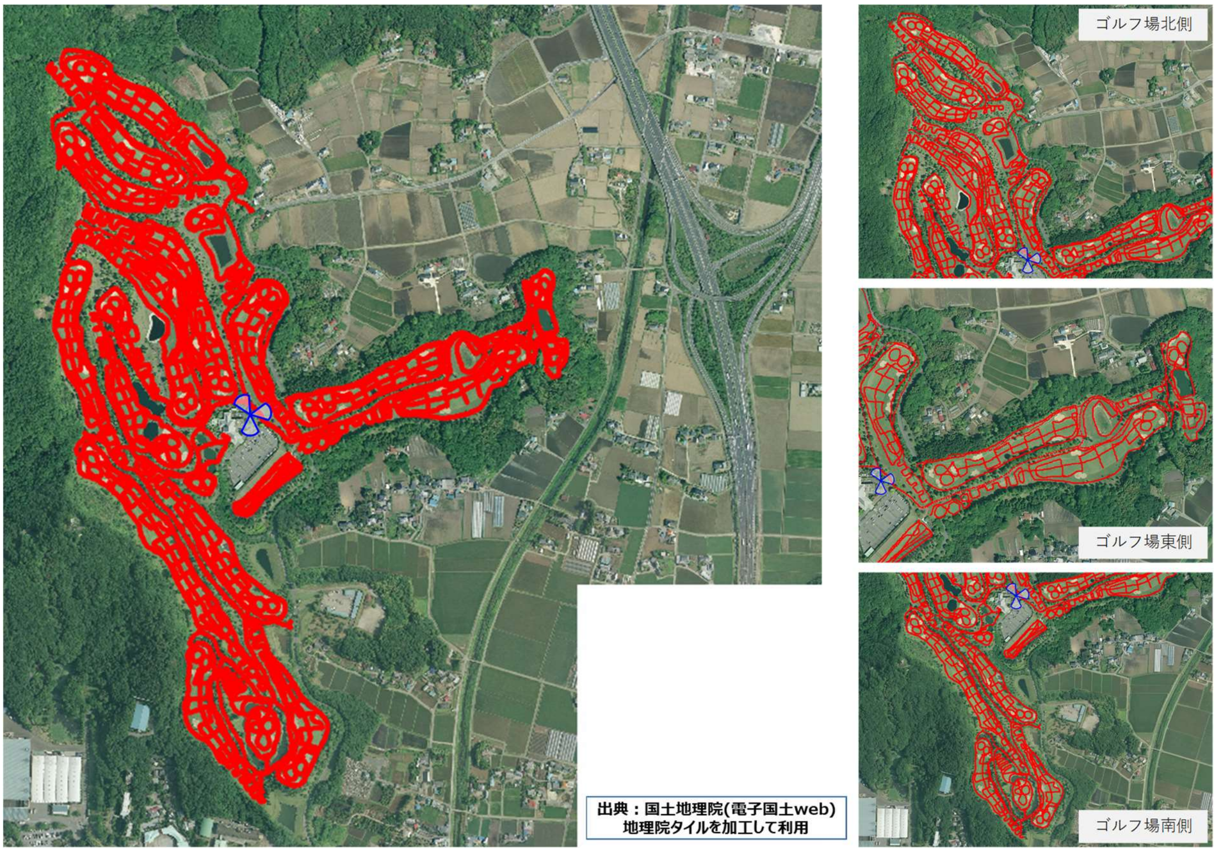


図 3.3-5　歩行測定ルート

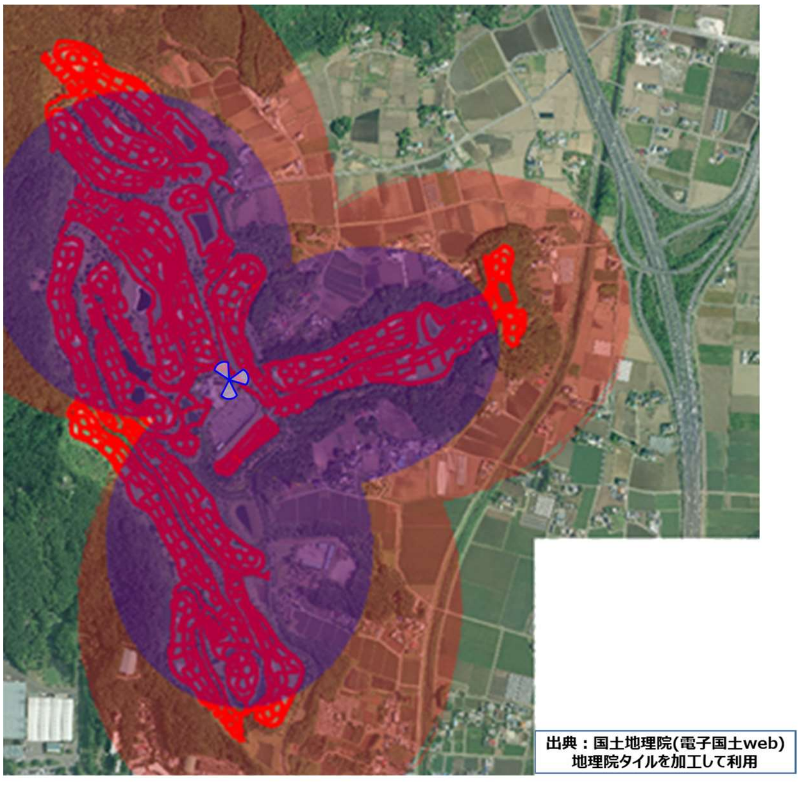


図 3.3-6　カバーエリアと測定ルート

測定に用いる試験機器一覧を表 3.3-5 に示す。

表 3.3-5　弱電界エリアの選定における試験機器一覧

機器名	製造ベンダー	機種	指向性	測定項目	備考
エリアテスタ	PCTEL	HBflex	無指向性	受信電力(SS-RSRP)	
端末	京セラ	K5G-C-100A	無指向性	伝送スループット	
GPS 測定器	GARMIN	eTrex 32xJ	無指向性	緯度経度	測位精度=3m(水平・垂直)

受信電力の測定では、エリアテスタを用いて、地上高 1.5m 地点の SS-RSRP を測定する。

また、伝送スループットの測定では、地上高 1.5m 地点に端末を設置し、測定ツール iPerf により負荷をかけた状態で、端末配下の測定用 PC と 5G コア側に設置した L3SW 配下の測定用 PC 間における伝送スループット（MAC 層）を測定する。

伝送スループット測定を実施する測定区間について、図 3.3-7 に示す。

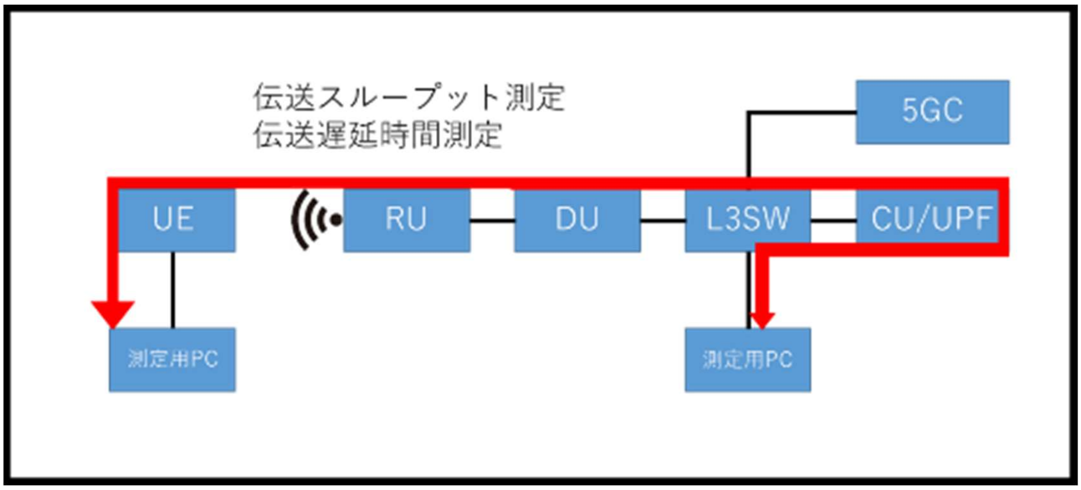


図 3.3-7　伝送スループット測定区間

測定した RSRP と伝送スループットを可視化し、中継器によるカバーを行う弱電界エリア（RSRP≦-100dBm）と中継器の入力レベル（SS-RSRP）が-95dBm 以上となる設置地点を選定する。

中継器の設置場所の選定においては、選定した弱電界エリアが弱電界となっている原因を考察し、その影響を受けづらい場所を中心に中継器の設置場所を検討する。

例えば、樹木による遮蔽によって弱電界となっているエリアの改善を行う場合、基地局からLOS 環境となる地点、もしくは、LOS 環境ではないが遮蔽の影響が小さく、一定の RSRP を得られる地点を中継器の設置場所とする。

・中継器による改善効果の確認試験

歩行測定の結果を踏まえて選定した弱電界エリアに対して、図 3.3-8 に示す可搬型電源箱を利用して中継器を設置し、中継器の設置前後における受信電力 (SS-RSRP)、信号品質、伝送スループット、伝送遅延時間を測定する。

受信電力の測定では、エリアテスタを用いて、地上高 1.5m 地点の SS-RSRP を測定する。

また、号品質、伝送スループット、伝送遅延時間の測定では、地上高 1.5m 地点に端末を設置し、測定ツール iPerf により負荷をかけた状態で、端末配下の測定用 PC と 5G コア側に設置した L3SW 配下の測定用 PC 間における伝送スループット（MAC 層）を測定する。

図 3.3-8　可搬型電源箱及び付属ポールの外観

本実証で利用する中継器の諸元及びアンテナパターンを図 3.3-9、表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6　中継器の電気的特性

項目	諸元
空中線電力	17dBm/100MHz
空中線利得	13dBi/10dBi
EIRP	27dBm/100MHz
周波数	4.8GHz－4.9GHz
周波数帯域幅	100MHz

項目	諸元
最大利得(DL)	75dB
最大利得(UL)	75dB
MIMO	1×1(SISO)

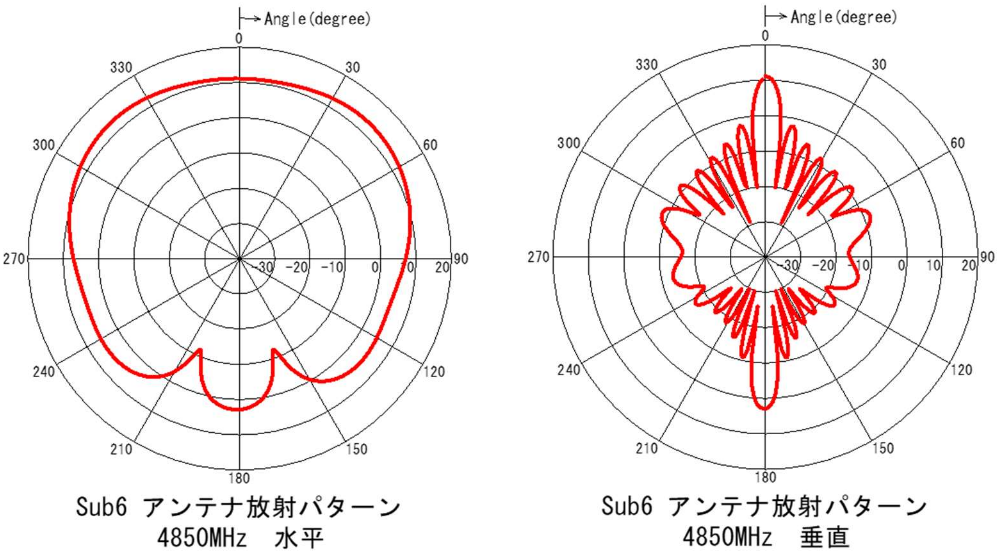


図 3.3-9　中継器のアンテナパターン（13dBi）

試験においては、本実証で用いる中継器のアンテナ半値角が 120°を超えることを考慮し、中継器のメインビーム方向を中心に、30°単位で±60°までを改善が期待できるエリアと想定する。中継器から 10m,20m,30m,40m,50m に測定地点を設け、定点測定を実施する。また、当該エリア以外への影響を確認するため、中継器のメインビーム方向を中心に±45°単位で、10m 地点、50m 地点に測定地点を設け、定点測定を実施する。

ただし、樹木による遮蔽の影響で弱電界となっているような地点では、上記の測定地点での測定が困難な場合が生じることも考えられるため、測定地点は実際に選定した弱電界エリアの状況に応じて、30 以上の測定地点を最小数として、柔軟に検討する。

また、中継器周辺及びカバー対象となる弱電界エリアに対して、弱電界エリアの選定時と同様の歩行測定を実施し、受信電力（SS-RSRP)、伝送スループットの変動を可視化する。

測定に用いる試験機器一覧を表 3.3-7 に示す。

表 3.3-7　中継器による改善効果の確認試験における試験機器一覧

機器名	製造ベンダー	機種	アンテナ指向性	測定項目
エリアテスタ	PCTEL	HBflex	無指向性	SS-RSRP、SINR
端末	京セラ	K5G-C-100A	無指向性	伝送スループット、伝

機器名	製造ベンダー	機種	アンテナ指向性	測定項目
				送遅延時間、BLER
GPS 測定器	GARMIN	eTrex 32xJ	無指向性	緯度経度

測定項目のうち、SS-RSRP、SINR については、エリアテスタを用いて各測定地点において 180 秒間の測定を実施する。

伝送スループットについては、測定ツール iPerf により負荷をかけた状態で、端末配下の測定用 PC と 5G コア側に設置した L3SW 配下の測定用 PC 間における伝送スループット（MAC 層）をダウンリンク、アップリンク各 60 秒間の測定を実施する。また、伝送スループットの測定時には並行してダウンリンク、アップリンクの BLER についても測定を実施する。

伝送遅延時間については、伝送スループットと同様の区間において、iPerf を用いてユースケースで求められるアップリンク：20Mbps（UDP）の負荷をかけた状態で、60 秒間の測定を実施する。

伝送スループット、伝送遅延時間の測定を実施するローカル 5G 測定区間について、図 3.3-10 に示す。

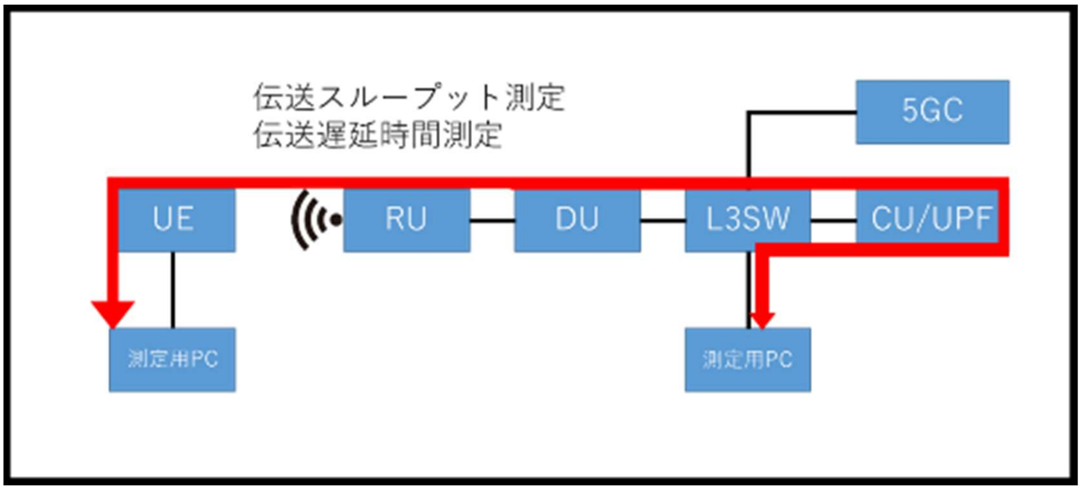


図 3.3-10　伝送スループット・遅延時間測定区間図

（5） 実証結果及び考察

・弱電界エリアの選定

弱電界エリアの選定における受信電力(SS-RSRP)の測定結果を図 3.3-11 に、伝送スループット(MAC 層)の測定結果を図 3.3-12 に示す。

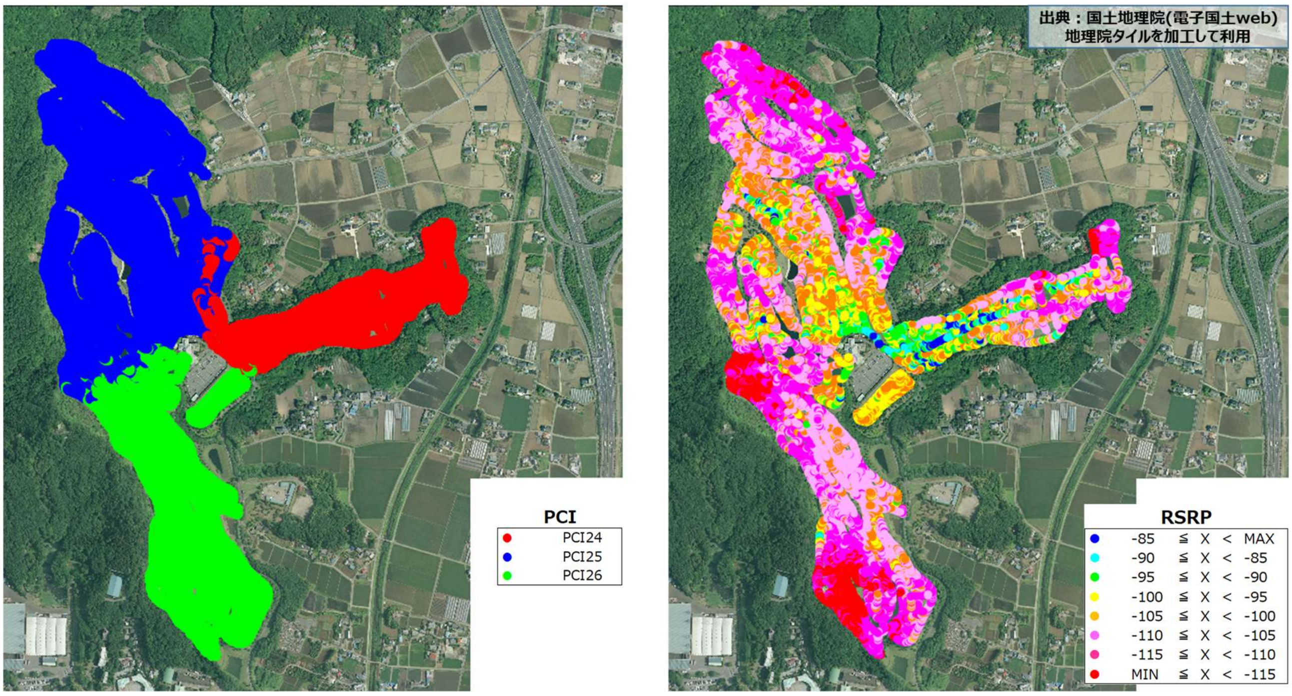


図 3.3-11　SS-RSRP 測定結果

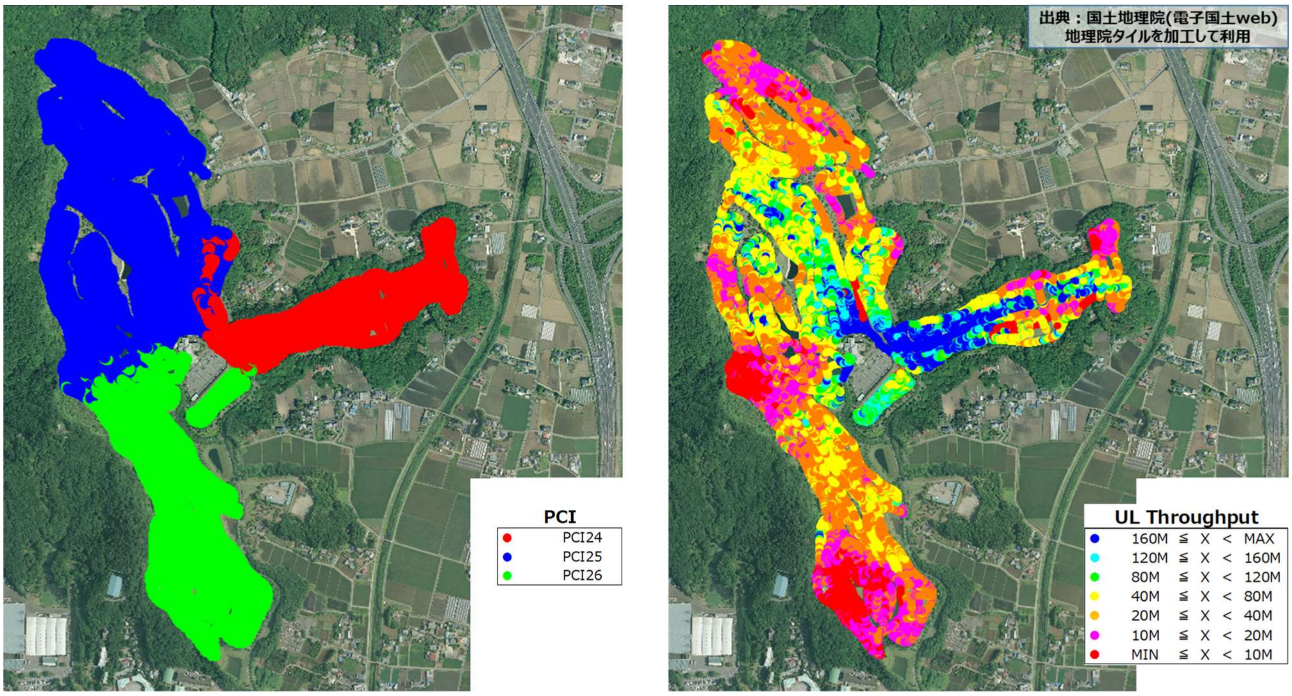
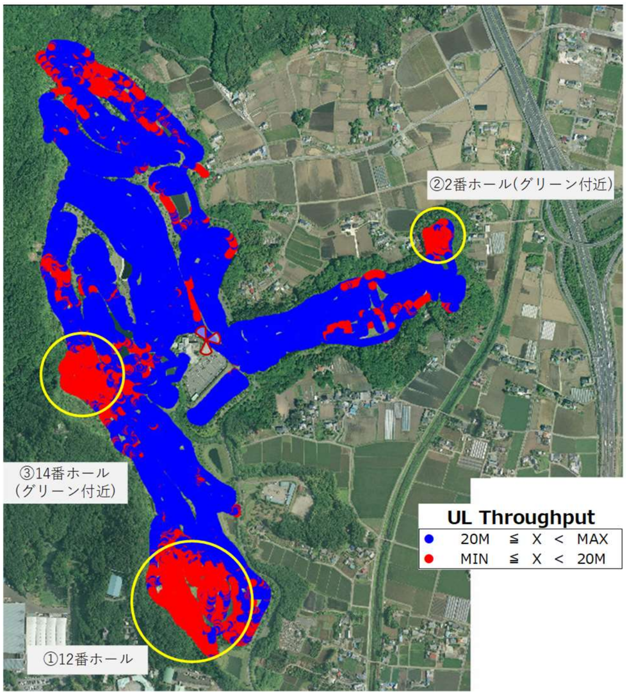


図 3.3-12　伝送スループット（MAC 層）測定結果

SS-RSRP が-100dBm 以下となっているエリアは、ゴルフ場内のほぼ大半を占める結果となっているが、一方で、アップリンクの伝送スループット(MAC 層)が 20Mbps 以下となっているエリアは広くない結果となった。

SS-RSRP が-100dBm 以下であっても、伝送スループットが本実証の目標値である 20Mbps を超える結果となっていることから、第一ステップとして伝送スループット(MAC 層)の結果に

着目し、20Mbps 以下となっているエリアを抽出した。図 3.3-13 に、アップリンクの伝送スループット(MAC 層)が 20Mbps 以下となっているエリアを示す。



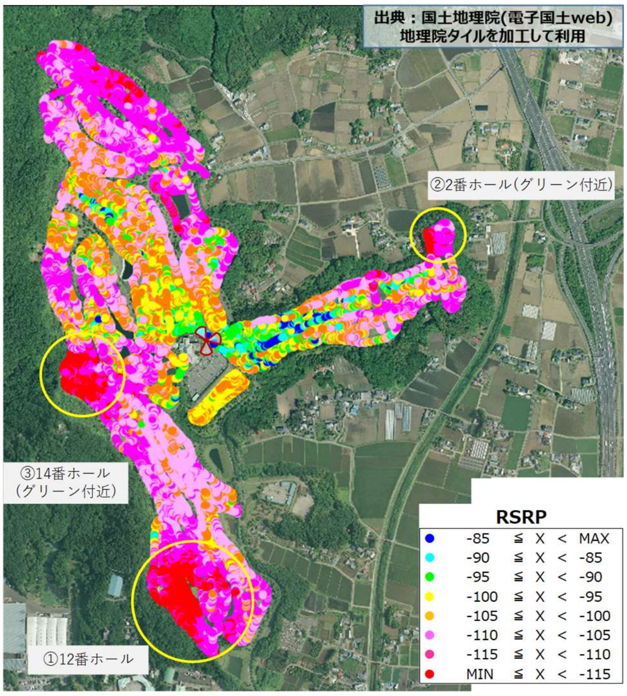


図 3.3-13　伝送スループット（MAC 層）20Mbps 以下のエリアと SS-RSRP

アップリンクの伝送スループット(MAC 層)が 20Mbps 以下となったのは、ゴルフ場東端の 2 番ホール・グリーン付近、西端の 14 番ホール・グリーン付近、及び南側の 12 番ホールなどが代表的なエリア（図中の黄色の円のエリア）となり、SS-RSRP も-115dBm 以下となる弱電エリアであることが分かる。

ゴルフ場内のほとんどのポイントで、高い樹木等により見通し外となってはいるが、樹木の低いところでは枝払いなどしっかりと手入れされていることから、完全遮蔽とはなっていない状態である。一方、20Mbps 以下となっているエリアについては、樹木遮蔽に加えて地形的にも見通し外となっていることから、安定した高い通信品質が得られにくい状況となっている。

図 3.3-13 に示す①12 番ホールは、ゴルフ場の南側に位置し、コース西側が小高い斜面となっている。基地局があるクラブハウスからグリーンまではなだらかに下っているが、グリーン付近からティーイング・エリア（南端）にかけては高低差が 21m もあることから、地形的に見通し外となっており、樹木遮蔽の影響と合わせて弱電界エリアとなっている。

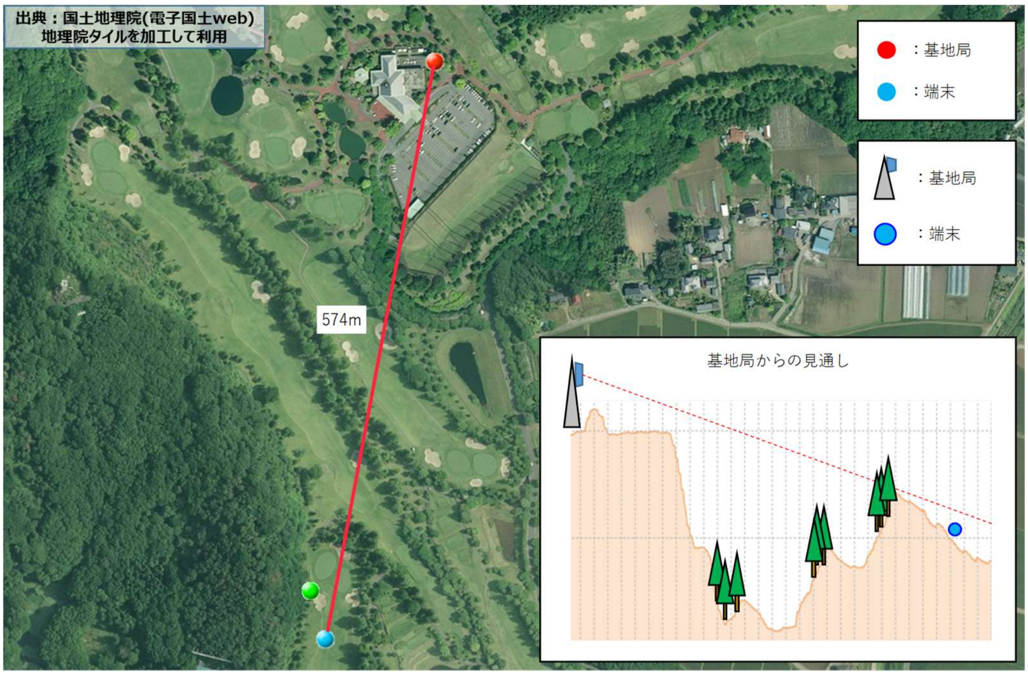


図 3.3-14 基地局と 12 番ホールとの関係図

図 3.3-13 に示す②2 番ホールは、ゴルフ場の東端に位置し、基地局があるクラブハウスからなだらかに下った場所にある。基地局からアップリンクの伝送スループット(MAC 層)が 20Mbps 以下となるグリーン付近までの伝搬経路上にはゴルフ場外周を囲む樹木が連なっており、また 2 番ホールを囲む高い樹木もあり完全な見通し外エリアとなっている。

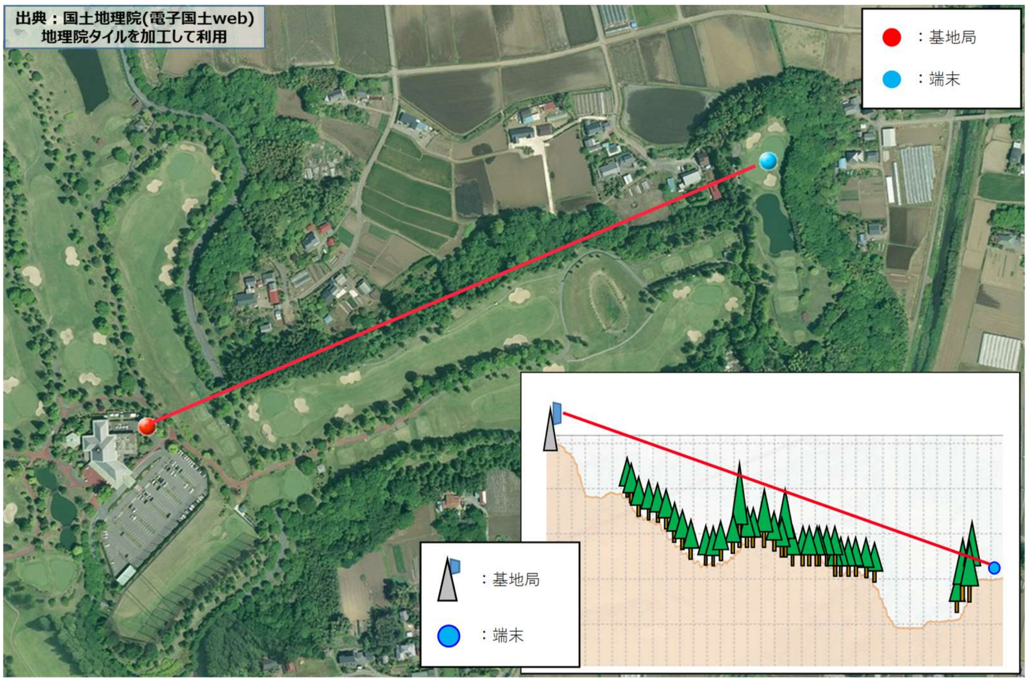


図 3.3-15 基地局と 2 番ホールとの関係図

図 3.3-13 に示す③14 番ホールは、ゴルフ場の西端に位置し、コースの南側にあるティーイング・エリアから北側のグリーンまでは約 26m の高低差がある。コース中央は基地局の標高とほぼ同じ標高になっており、グリーン付近は基地局よりも 7m ほど高くなっている。また、グリーン付近は、PCI : 25（指向方向 180°）と PCI : 26（指向方向 330°）のセクター間に位置しており、エリア算出法によるカバーエリア外となっている。エリア内であるグリーンの南側についても、セクター端であることに加えて樹木遮蔽による見通し外となっている。

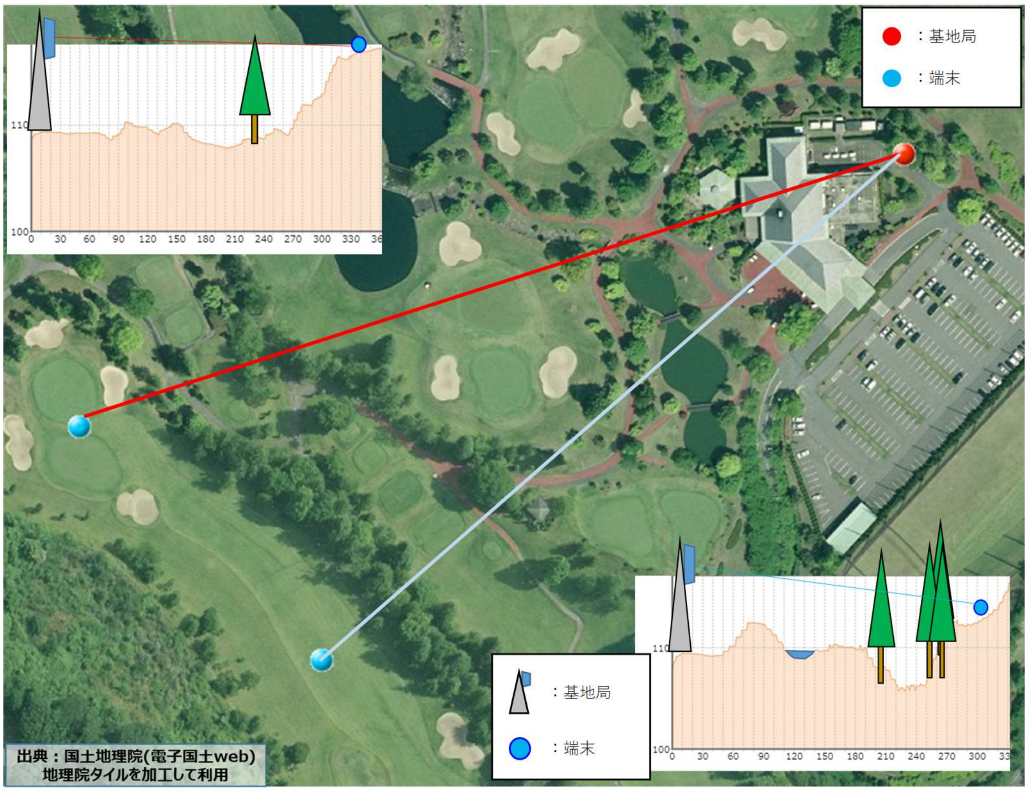


図 3.3-16 基地局と 14 番ホールとの関係図

図 3.3-13 で示すアップリンク伝送スループット(MAC 層)が 20Mbps 以下のエリアのうち、中継器への入力レベル（SS-RSRP）が-95dBm 以上となり、かつドナー・アンテナとサービス・アンテナが設置可能な場所が存在するエリアは、ゴルフ場南側の 12 番ホールのグリーン付近が条件を満たすエリアであることが分かった。

ゴルフ場 12 番ホールにおける SS-RSRP が-95dBm 以上となるポイント（図左の黄色円のエリア）、及び本実証で中継器を用いて品質改善を目指すエリア（図右の白色円のエリア）を図 3.3-17 に示す。

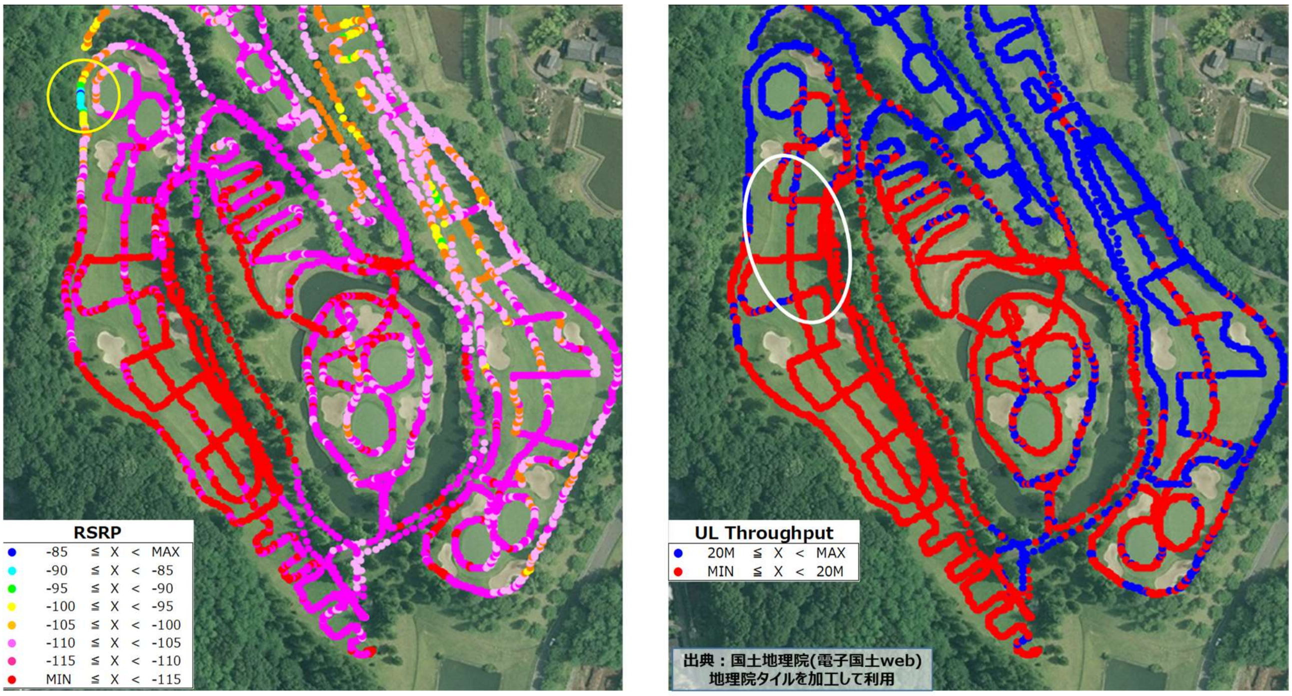


図 3.3-17　SS-RSRP -95dBm 以上のポイントと改善エリア（12 番ホール）

SS-RSRP が-95dBm 以上となっている場所は、12 番ホール・グリーン西側のコース端付近で、斜面に面したコース内で高いところにあり、基地局のアンテナは樹木の間より見えるポイントとなっている。また、コースの端に位置していることから、プレーヤーへの影響を最小限にすることができ、コース境界付近まで行くと更に標高が高くなるため、安定した通信品質が確保できると考えられる。同ポイントは、地上高 1.5m で SS-RSRP が-85dBm、アップリンク伝送スループット(MAC 層)が 160Mbps 以上となっている。

品質改善を目指すエリアについては、図 3.3-18 に示すように、地形的に見通し外になっていることに加え、コースを隔てる高い樹木により遮蔽されている環境となっている。

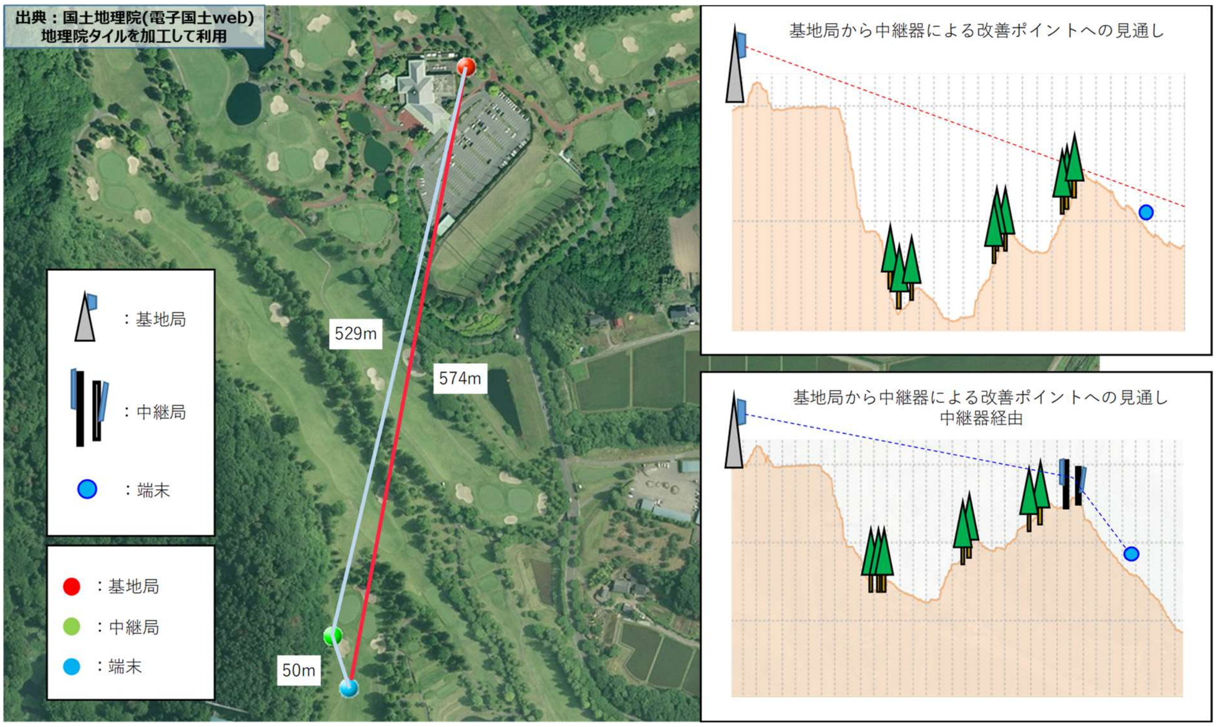
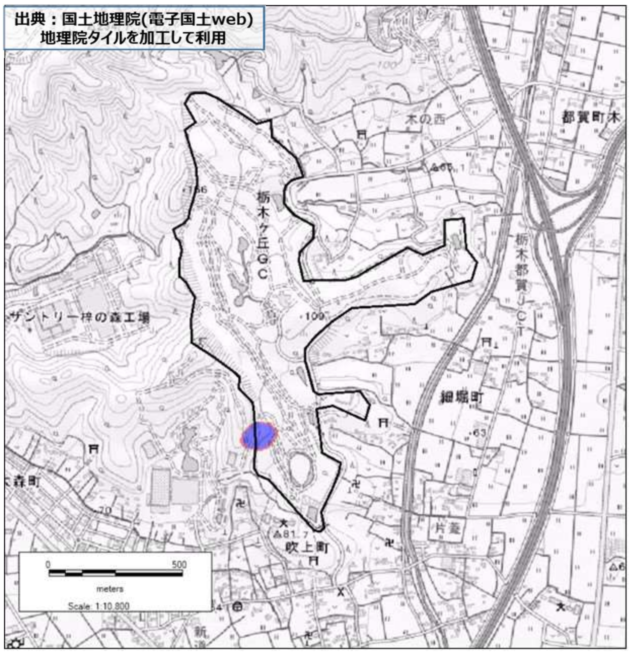


図 3.3-18　SS-RSRP -95dBm 以上のポイントと改善エリア（12 番ホール）

なお、前述のゴルフ場東端の 2 番ホール・グリーン付近、及び西端の 14 番ホール・グリーン付近については、定点測定の実施が厳しい環境であったことから、歩行測定のみで改善状況を確認することとした。

実証場所として選定したゴルフ場 12 番ホールにおける、エリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域の図を図 3.3-19 に、奥村秦方式によるエリアシミュレーション結果を図 3.3-20 に示す。



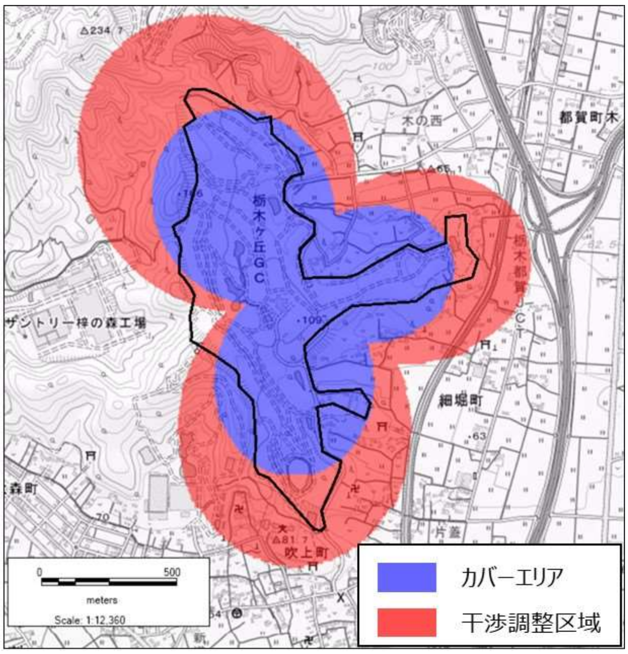


図 3.3-19　エリア算出法による中継器と基地局のカバーエリア及び干渉調整区域の図

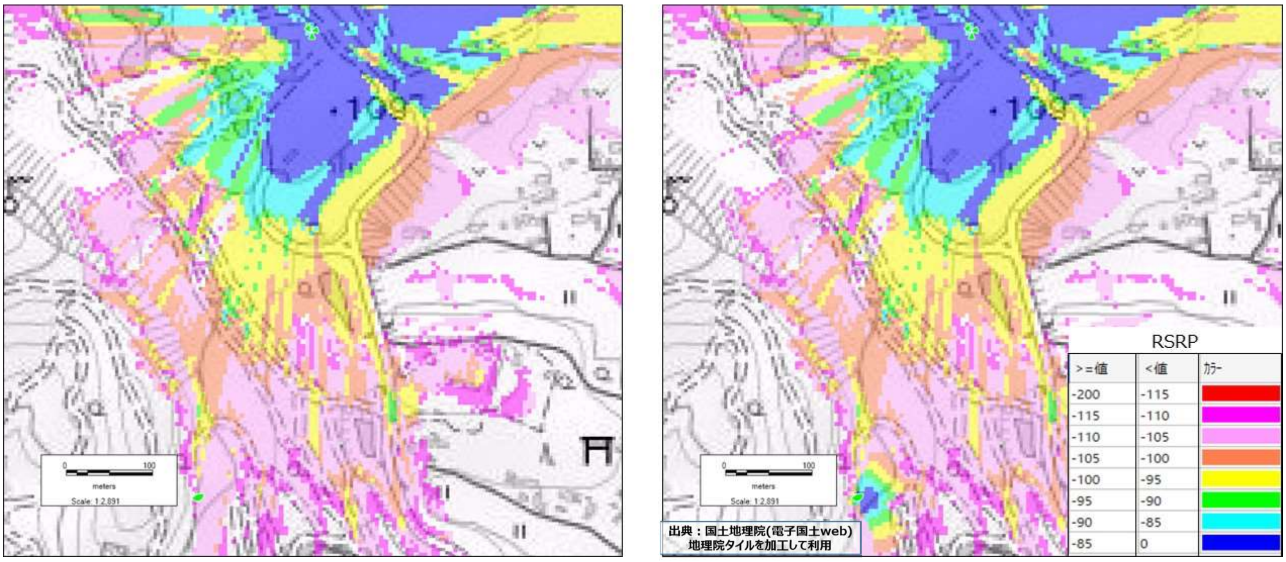


図 3.3-20　中継器設置前後における奥村秦方式によるエリアシミュレーション結果（12 番ホール）

12 番ホールは、エリア算出法によるカバーエリア内に発生した弱電界エリアであることから、図 3.3-19 に示すように、中継器のカバーエリアは基地局のカバーエリアの範囲に包含されている。一方、図 3.3-20 に示すように、奥村秦方式によるシミュレーションでは、中継器の設置により SS-RSRP の改善が見込めることが分かる。

・中継器による改善効果の確認試験

本実証では、弱電界エリアの選定で抽出したゴルフ場南側にある 12 番ホールに中継器を設置し、定点測定と歩行測定を実施してエリア改善効果について調べた。図 3.3-21 に中継器の設置状況を、表 3.3-8～表 3.3-10 に位置関係、入力レベル、伝送品質について示す。

図 3.3-21　中継器の設置状況（12 番ホール）

表 3.3-8　基地局と中継器（ドナー／サービス・アンテナ）の位置関係

No.	測定ポイント	標高 [m]	地上高 [m]	基地局との関係		中継器(ｱﾝﾃﾅ)の関		見通し (LOS/NLOS)	
				距離 [m]	角度 [°]	距離 [m]	角度 [°]	基地局	中継器
1	基地局	114.9	14.9	-	-	-	-	-	-
2	ドナーアンテナ	113.3	2.8	529.1	13.8	6.3	119.1	LOS	NLOS
3	サービスアンテナ	111.3	1.5	530.7	13.2	6.3	299.1	NLOS	NLOS

表 3.3-9　ドナー・アンテナへの入力ベル（測定値）

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]			
					基地局	中継器	算出式	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-Donner	529.2	5.7	126.5	LOS	NLOS	-102.3	-92.1	-89.3	-95.8

表 3.3-10　ドナー・アンテナ設置場所における伝送性能（測定値）

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	見通し (LOS/NLOS)		UL/DL	SS-RSRP [dBm] 中央値	SINR [dB] 中央値	スループット [Mbps] 中央値	BLER [%] 中央値
				基地局	中継器					
1	H12-Donner	529.1	5.7	LOS	NLOS	UL	-89.6	25.9	199.2	8.5
						DL	-95.2	25.3	425.7	8.4

試験においては、中継器のメインビーム方向を中心（0° ）に、30°単位で±60°の方向に中継器から 10m 単位で 10m〜50m を目安に、更に、当該エリア以外への影響を確認するため、中継器のメインビーム方向を中心に±45°単位で、10m 地点、50m 地点に測定地点を設け、定点測定を実施することとしているが、12 番ホールの地形状況を鑑み、図 3.3-22 に示すように全 37 か所の測定地点を設定した。想定されるカバーエリア（SS-RSRP が-100dB 以上）は、サービス・アンテナより 45m 地点となるが、どの程度の範囲までカバーすることができるのかを確認するためにサービス・アンテナの指向方向については、測定ポイントを置く設定している。

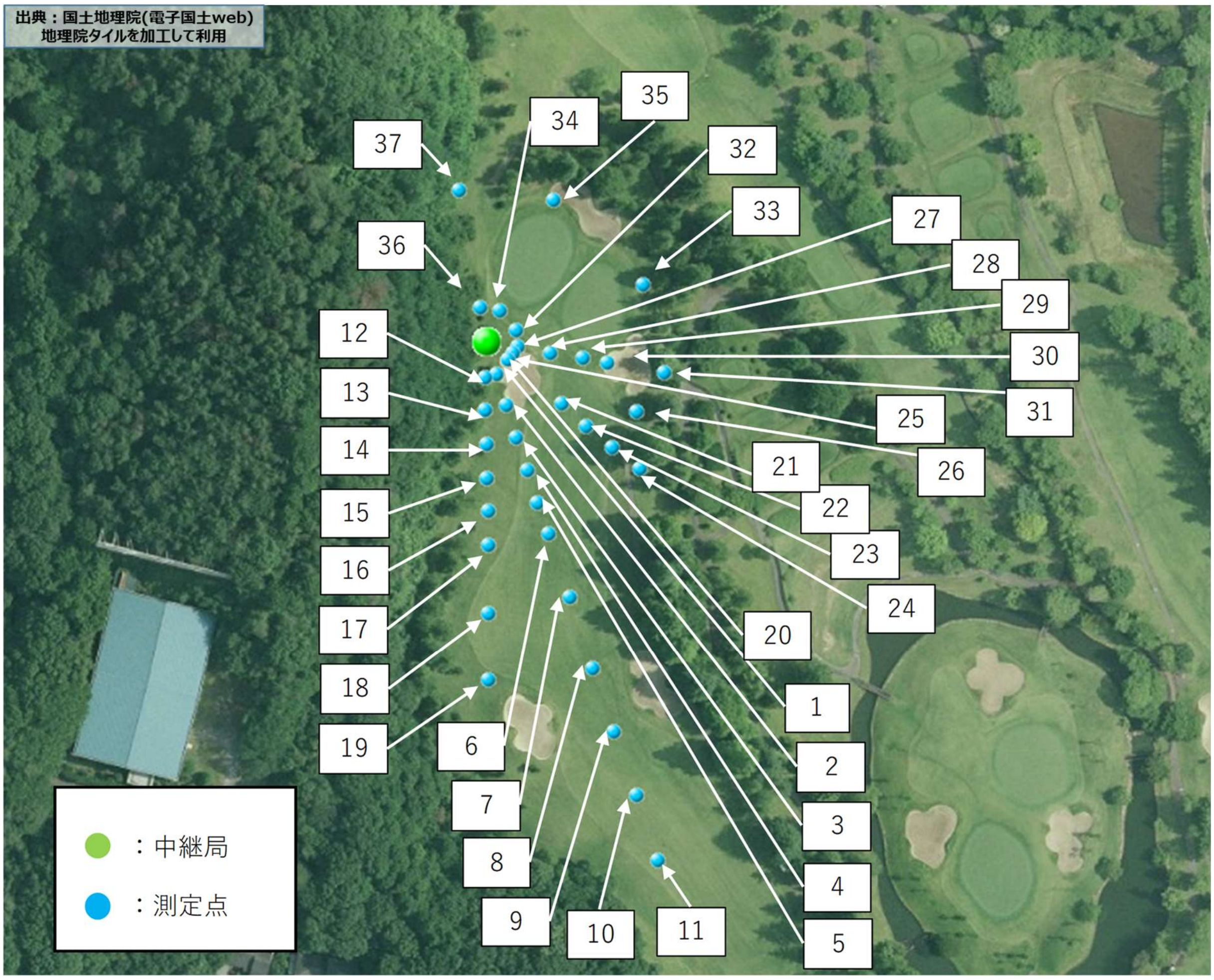


図 3.3-22　中継器による改善効果確認試験：定点測定地点

表 3.3-11 と図 3.3-23〜図 3.3-25 に設定した定点測定地点の詳細を示す。

表 3.3-11　中継器による改善効果確認試験：定点測定地点詳細

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]		中継器からの距離 [m]		中継器からの角度 [°]	標高 [m]	地上高 [m]	見通し (LOS/NLOS)	
		水平	空間	水平	空間				基地局	中継器
1	H12-R1-01	539.2	539.6	10.1	10.4	0.0	108.8	1.5	NLOS	LOS
2	H12-R1-02	547.7	548.1	19.8	20.1	0.0	107.8	1.5	NLOS	LOS
3	H12-R1-03	556.4	556.8	29.8	30.2	0.0	106.6	1.5	NLOS	LOS
4	H12-R1-04	565.0	565.5	39.8	40.2	0.0	105.5	1.5	NLOS	LOS
5	H12-R1-05	573.8	574.3	49.8	50.3	0.0	104.2	1.5	NLOS	LOS
6	H12-R1-06	582.4	582.9	59.6	60.1	0.0	103.5	1.5	NLOS	LOS
7	H12-R1-07	599.9	600.5	79.5	80.1	0.0	101.6	1.5	NLOS	LOS
8	H12-R1-08	619.3	620.0	101.4	102.0	0.0	100.4	1.5	NLOS	LOS
9	H12-R1-09	637.1	637.9	121.3	122.0	0.0	98.3	1.5	NLOS	LOS
10	H12-R1-10	655.2	656.0	141.3	142.1	0.0	96.5	1.5	NLOS	LOS
11	H12-R1-11	673.3	674.2	161.3	162.1	0.0	95.1	1.5	NLOS	LOS
12	H12-R2-01	540.7	541.0	10.5	10.6	+20.0	110.0	1.5	NLOS	LOS
13	H12-R2-02	550.4	550.7	20.4	20.6	+20.0	108.9	1.5	NLOS	LOS
14	H12-R2-03	560.0	560.4	30.4	30.5	+20.0	108.0	1.5	NLOS	LOS
15	H12-R2-04	569.6	570.0	40.2	40.5	+20.0	106.7	1.5	NLOS	LOS
16	H12-R2-05	579.3	579.7	50.2	50.4	+20.0	106.2	1.5	NLOS	NLOS
17	H12-R2-06	589.1	589.6	60.2	60.5	+20.0	105.9	1.5	NLOS	NLOS
18	H12-R2-07	608.7	609.1	80.2	80.5	+20.0	103.9	1.5	NLOS	NLOS
19	H12-R2-08	628.0	628.5	99.9	100.2	+20.0	103.4	1.5	NLOS	NLOS
20	H12-R3-01	534.2	534.5	8.1	8.6	-30.0	108.3	1.5	NLOS	LOS
21	H12-R3-02	543.9	544.4	28.7	29.2	-30.0	106.2	1.5	NLOS	LOS
22	H12-R3-03	548.9	549.4	38.5	39.0	-30.0	105.4	1.5	NLOS	LOS
23	H12-R3-04	554.1	554.6	48.5	49.0	-30.0	104.8	1.5	NLOS	LOS
24	H12-R3-05	559.3	559.8	58.6	59.1	-30.0	103.9	1.5	NLOS	LOS
25	H12-R4-01	532.3	532.6	8.2	8.7	-45.0	108.4	1.5	NLOS	LOS
26	H12-R4-02	542.4	542.9	48.8	49.3	-45.0	104.5	1.5	NLOS	LOS
27	H12-R5-01	530.1	530.5	9.0	9.4	-60.0	108.6	1.5	NLOS	LOS
28	H12-R5-02	529.9	530.3	18.8	19.2	-60.0	107.3	1.5	NLOS	LOS
29	H12-R5-03	529.6	530.0	28.9	29.2	-60.0	107.1	1.5	NLOS	LOS
30	H12-R5-04	529.6	530.0	35.8	36.0	-60.0	106.9	1.5	NLOS	LOS
31	H12-R5-05	530.2	530.6	53.3	53.6	-60.0	105.5	1.5	NLOS	LOS
32	H12-R6-01	525.2	525.5	9.3	9.6	-90.0	108.8	1.5	NLOS	LOS
33	H12-R6-02	505.2	505.6	49.2	49.3	-90.0	108.3	1.5	NLOS	LOS
34	H12-R7-01	520.4	520.8	10.1	10.2	-135.0	109.7	1.5	NLOS	LOS
35	H12-R7-02	485.1	485.5	46.3	46.3	-135.0	110.2	1.5	NLOS	LOS
36	H12-R8-01	521.0	521.3	10.4	10.4	-170.0	111.1	1.5	NLOS	NLOS
37	H12-R8-02	489.3	489.5	45.3	45.3	-170.0	112.9	1.5	NLOS	NLOS

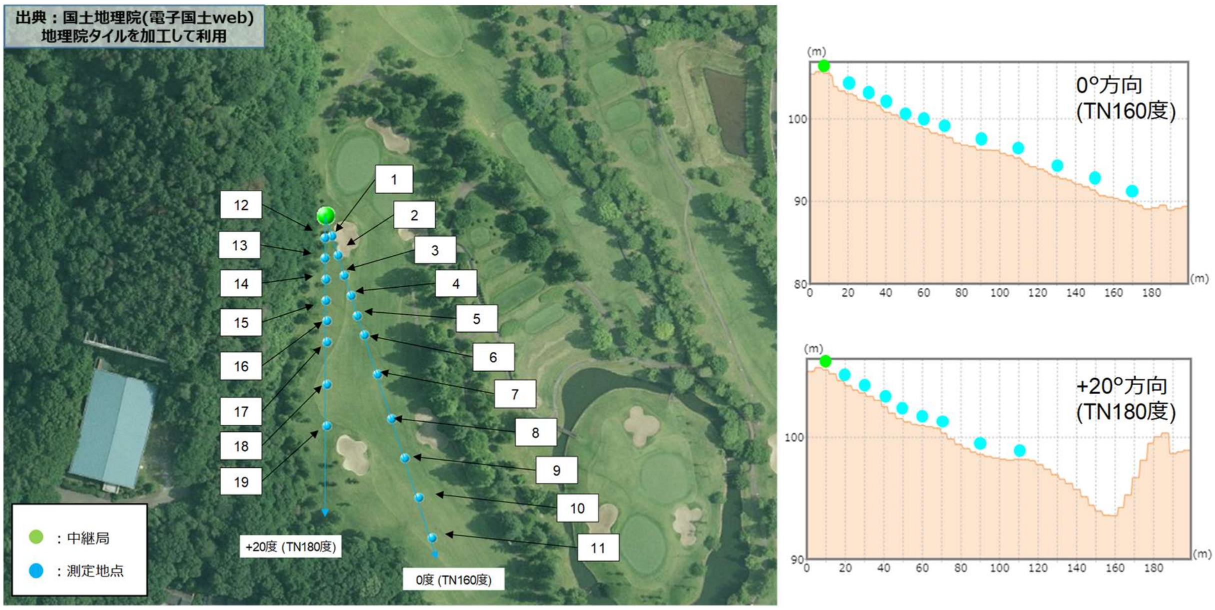


図 3.3-23 中継器による改善効果確認試験：定点測定地点詳細①

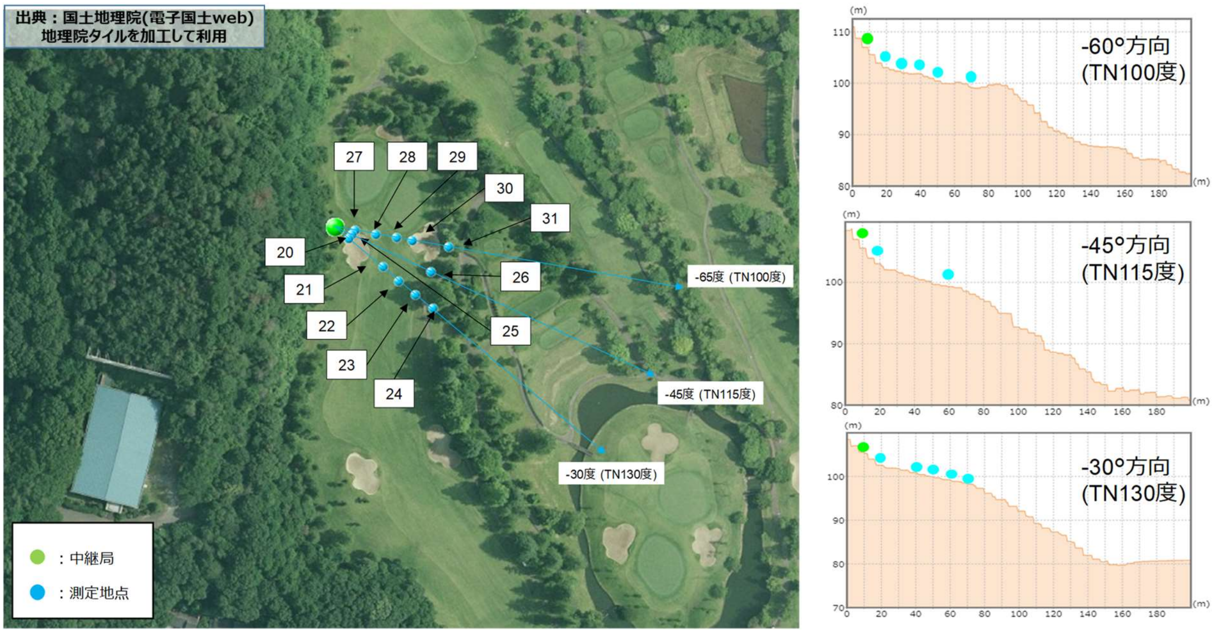


図 3.3-24 中継器による改善効果確認試験：定点測定地点詳細②

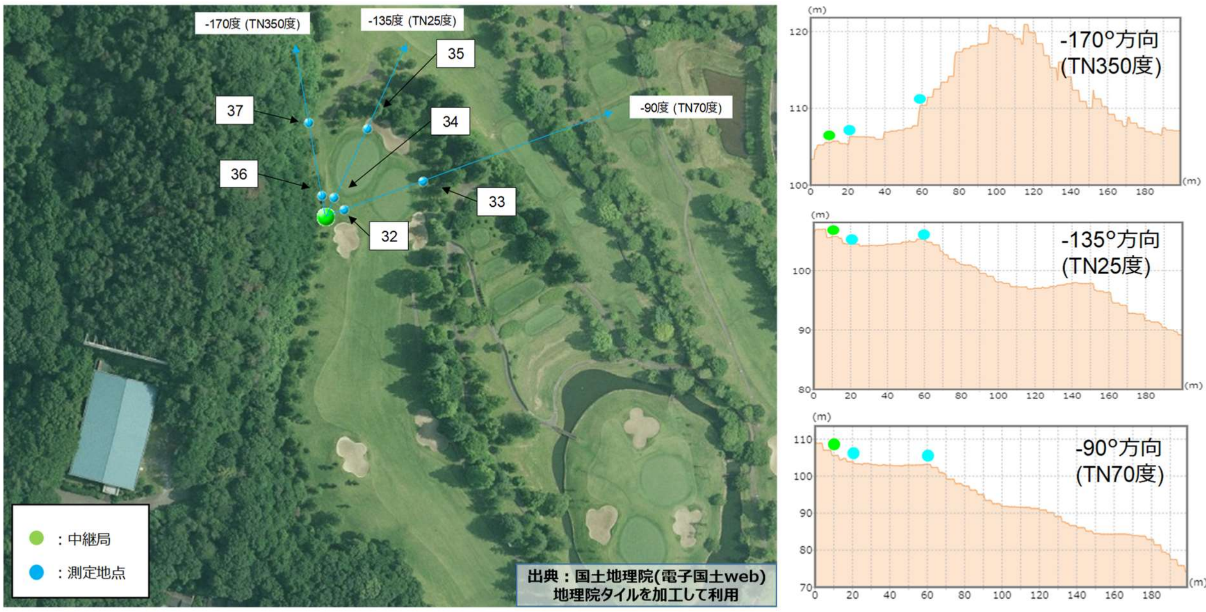


図 3.3-25 中継器による改善効果確認試験：定点測定地点詳細③

中継器の設置前と設置後の測定結果について、表 3.3-12 と表 3.3-13 に受信電力（SS-RSRP)、表 3.3-14 と表 3.3-15 に SINR、表 3.3-16 と表 3.3-17 にアップリンク伝送スループット(MAC 層)、表 3.3-18 と表 3.3-19 にダウンリンク伝送スループット(MAC 層)、表 3.3-20 と表 3.3-21 に伝送遅延時間をそれぞれ示す。

また、表 3.3-22～表 3.3-26 に、受信電力（SS-RSRP)、SINR、アップリンク伝送スループット(MAC 層)、ダウンリンク伝送スループット(MAC 層)、並びに伝送遅延時間の中継器設置前後の比較結果を示す。

表 3.3-12　中継器設置前の受信電力（SS-RSRP）測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]			
					基地局	中継器	算出式	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-115.3	-106.3	-103.0	-109.2
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-115.5	-112.1	-107.4	-115.7
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-115.7	-108.0	-106.1	-110.9
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-116.0	-108.1	-106.6	-111.1
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-116.2	-116.0	-108.6	-119.0
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-116.4	-101.8	-100.7	-103.0
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-116.9	-106.7	-105.2	-108.0
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-117.4	-109.6	-108.2	-112.2
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-117.8	-114.1	-112.6	-118.3
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-118.2	-116.3	-114.3	-119.3
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-118.6	-113.4	-111.1	-116.5
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-115.3	-107.8	-105.0	-111.5
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-115.6	-106.3	-103.4	-110.1
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-115.8	-109.8	-104.2	-111.1
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-116.1	-116.0	-114.0	-117.8
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-116.3	-110.5	-108.8	-116.4
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-116.6	-117.0	-115.6	-119.0
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.1	-117.4	-115.0	-119.7
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-117.6	-117.3	-114.9	-119.3
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-115.1	-110.8	-106.9	-115.8
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-115.4	-106.3	-103.6	-111.7
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-115.5	-112.4	-109.4	-116.1
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-115.7	-109.9	-107.7	-113.2
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-115.8	-110.7	-108.6	-112.7
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-115.1	-110.5	-105.9	-115.4
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-115.3	-115.9	-112.6	-118.5
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-115.0	-109.8	-107.2	-112.5
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-115.0	-115.8	-111.0	-119.4
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-115.0	-113.2	-110.0	-116.6
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-115.0	-113.5	-109.3	-117.1
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-115.0	-112.9	-110.1	-117.8
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-114.8	-108.0	-105.6	-114.9
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-114.3	-105.6	-104.6	-109.6
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-114.7	-100.6	-97.6	-103.5
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-113.6	-109.0	-108.1	-109.6
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-114.7	-99.5	-97.2	-106.4
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-113.8	-104.2	-100.0	-111.2

表 3.3-13　中継器設置後の受信電力（SS-RSRP）測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し（LOS/NLOS）		SS-RSRP [dBm]			
					基地局	中継器	算出式	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-88.3	-97.9	-94.6	-103.2
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-90.2	-88.2	-85.9	-91.1
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-94.6	-92.5	-90.2	-94.8
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-98.8	-99.0	-94.9	-103.4
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-109.0	-100.3	-96.3	-103.7
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-118.8	-101.5	-97.3	-105.2
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-131.9	-95.2	-93.0	-96.9
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-144.6	-108.2	-104.0	-110.9
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-147.4	-110.0	-105.0	-114.1
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-149.7	-107.9	-103.3	-112.2
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-151.7	-112.4	-110.3	-116.1
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	NLOS	-87.7	-90.9	-86.7	-92.6
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	NLOS	-93.4	-93.7	-92.4	-95.0
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	NLOS	-99.4	-95.7	-92.6	-99.9
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	NLOS	-100.1	-100.0	-96.7	-102.3
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-112.5	-102.5	-98.8	-106.3
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-124.3	-101.7	-99.0	-105.5
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-137.4	-105.5	-102.3	-109.5
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-147.2	-101.6	-98.9	-104.5
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-97.3	-78.0	-77.0	-79.2
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-91.8	-96.3	-93.5	-98.6
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-95.2	-93.7	-90.9	-96.3
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-106.2	-99.6	-95.5	-104.7
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-116.4	-95.6	-93.3	-98.2
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-102.5	-75.9	-75.1	-76.8
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-106.0	-96.9	-91.7	-103.6
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-98.2	-81.6	-80.1	-83.1
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-89.7	-102.2	-98.5	-104.4
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-94.3	-95.2	-92.3	-99.8
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-97.8	-80.9	-79.5	-83.1
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-114.9	-99.3	-96.8	-102.9
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-94.0	-102.0	-83.1	-103.7
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-140.8	-104.3	-100.4	-106.9
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-91.8	-101.9	-100.7	-104.5
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-125.2	-105.7	-102.7	-110.1
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-109.9	-102.5	-99.3	-107.1
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-133.1	-106.0	-102.1	-109.3

表 3.3-14　中継器設置前の SINR 測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離[m]	中継器からの距離[m]	中継器からの角度[°　]	見通し(LOS/NLOS)		SS-RSRP[dBm]	SINR[dB]		
					基地局	中継器	中央値	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-106.3	12.8	16.1	10.5
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-112.1	6.8	9.4	4.0
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-108.0	9.4	11.6	6.9
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-108.1	9.4	11.1	6.3
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-116.0	5.6	9.2	1.9
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.8	16.9	18.4	12.7
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-106.7	11.4	12.6	10.0
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-109.6	7.6	10.0	5.1
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-114.1	4.6	6.5	2.0
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-116.3	2.0	3.6	-0.5
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-113.4	4.5	7.2	1.8
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-107.8	9.4	12.1	6.6
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-106.3	10.4	13.1	6.7
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-109.8	8.2	12.8	6.6
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-116.0	2.5	5.2	0.6
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-110.5	6.8	8.9	2.0
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.0	2.5	4.1	0.8
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.4	0.2	2.6	-2.8
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-117.3	3.0	4.3	1.4
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-110.8	8.0	10.4	3.7
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-106.3	11.2	13.6	6.2
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-112.4	6.6	9.2	3.2
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-109.9	7.8	9.7	6.0
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-110.7	7.8	10.3	5.5
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-110.5	8.9	11.4	7.3
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-115.9	5.1	6.9	3.0
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-109.8	8.9	11.2	6.4
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-115.8	4.3	7.1	1.2
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-113.2	5.6	7.9	3.4
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-113.5	9.6	10.8	7.8
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-112.9	6.3	8.0	3.7
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-108.0	10.1	12.4	7.6
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-105.6	11.5	12.9	7.2
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-100.6	14.4	17.0	12.6
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-109.0	9.1	11.9	7.8
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-99.5	18.0	20.1	14.2
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-104.2	12.7	19.2	7.9

表 3.3-15　中継器設置後のSINR測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]	SINR [dB]		
					基地局	中継器	中央値	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-97.9	12.6	15.5	7.9
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-88.2	22.6	24.6	18.6
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-92.5	23.9	25.4	18.8
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-99.0	20.9	23.1	15.9
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-100.3	18.4	22.5	14.2
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.5	16.5	18.8	13.4
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-95.2	17.7	19.6	14.3
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-108.2	8.2	10.4	6.4
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-110.0	8.0	10.2	5.8
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-107.9	7.2	11.1	4.1
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-112.4	8.9	11.0	7.0
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-90.9	23.2	24.5	21.3
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-93.7	22.6	23.6	19.8
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-95.7	21.5	22.5	20.1
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-100.0	21.1	22.7	15.8
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-102.5	15.6	18.2	12.5
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-101.7	22.1	23.7	16.5
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-105.5	12.0	15.4	9.4
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-101.6	15.9	19.4	13.1
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-78.0	21.6	22.8	20.3
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-96.3	20.7	22.3	17.3
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-93.7	22.0	23.2	20.5
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-99.6	19.8	21.9	17.6
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-95.6	22.3	23.5	20.6
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-75.9	23.8	25.2	22.5
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-96.9	21.1	23.0	18.4
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-81.6	23.0	24.1	21.9
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-102.2	14.8	17.9	11.7
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-95.2	22.0	23.2	20.6
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-80.9	24.3	25.4	23.2
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-99.3	20.1	22.0	16.0
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-102.0	17.6	22.6	13.2
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-104.3	14.7	19.4	12.2
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-101.9	5.5	7.9	3.1
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-105.7	8.0	11.9	1.9
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-102.5	8.6	10.8	6.4
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-106.0	11.2	13.6	7.7

表 3.3-16　中継器設置前のアップリンク伝送スループット(MAC 層)測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS) 基地局	見通し (LOS/NLOS) 中継器	SS-RSRP [dBm] 中央値	SINR [dB] 中央値	スループット [Mbps] 中央値	BLER [%] 中央値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-104.7	13.6	75.4	8.9
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-114.0	5.6	54.3	9.1
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-107.2	10.1	41.7	9.3
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-109.0	8.5	27.5	9.2
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-117.6	4.3	24.4	8.1
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.4	17.6	51.0	9.1
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-107.4	11.0	26.8	8.9
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-109.2	8.5	19.6	9.1
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-113.5	5.3	10.0	9.1
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-115.5	2.2	7.1	9.2
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-112.0	6.1	11.7	9.0
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-107.3	10.0	62.8	9.1
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-105.5	11.1	70.8	9.1
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-110.5	7.5	37.2	9.0
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-116.7	1.9	22.0	8.9
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-109.8	7.7	50.4	9.2
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.8	2.5	7.7	8.3
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-116.6	0.7	6.0	9.6
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-118.5	2.7	6.5	6.2
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-112.4	5.0	52.3	9.1
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-109.5	8.5	33.3	9.1
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-111.3	6.7	27.1	9.3
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-111.8	7.5	23.8	9.1
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-110.8	6.4	27.8	8.8
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-109.9	8.8	52.7	9.1
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-115.8	5.2	26.2	9.0
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-111.5	7.9	85.0	9.3
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-114.0	5.0	39.0	8.6
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-114.4	5.1	31.3	9.1
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-115.4	9.7	34.5	9.1
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-115.6	5.0	23.3	9.0
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-110.7	8.6	68.5	8.7
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-105.0	12.3	36.6	9.1
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-98.8	15.5	140.4	9.1
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-109.1	8.5	34.3	9.1
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-102.4	15.1	92.2	9.2
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-104.9	11.9	52.4	9.0

表 3.3-17　中継器設置後のアップリンク伝送スループット(MAC 層)測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離[m]	中継器からの距離[m]	中継器からの角度[°]	見通し(LOS/NLOS) 基地局	見通し(LOS/NLOS) 中継器	SS-RSRP[dBm]中央値	SINR[dB]中央値	スループット[Mbps]中央値	BLER[%]中央値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-96.5	13.2	94.9	9.2
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-88.8	22.5	155.8	8.9
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-92.8	24.7	148.3	8.6
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-99.2	20.5	113.4	8.9
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-100.9	17.3	102.9	8.8
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-100.7	17.2	97.8	8.7
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-94.9	18.5	150.1	9.2
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-108.5	8.0	49.1	9.0
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-110.8	7.7	47.2	8.9
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-108.5	6.6	43.0	9.2
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-112.1	9.7	39.1	8.9
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-91.4	23.2	93.7	9.1
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-93.7	22.8	76.4	9.0
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-97.0	21.7	62.0	9.1
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-100.1	20.7	92.8	9.0
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-101.7	15.2	69.0	8.8
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-100.5	22.4	80.6	9.2
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-105.7	13.0	60.2	8.9
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-101.1	17.1	61.6	8.9
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-77.9	22.0	154.9	9.1
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-97.4	20.3	92.9	9.1
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-94.9	22.2	98.8	9.2
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-99.9	19.1	79.9	9.2
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-95.4	21.9	122.8	9.2
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-76.1	23.8	162.2	8.9
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-93.3	20.3	94.4	9.1
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-80.5	23.0	150.4	8.7
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-103.2	14.1	53.8	8.9
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-93.4	22.3	106.8	9.2
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-82.4	24.3	164.2	8.6
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-100.1	20.6	84.4	9.0
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-102.2	16.4	61.1	9.1
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-102.8	14.0	41.6	8.8
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-101.5	5.7	138.1	8.9
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-110.2	6.3	17.1	8.7
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-101.7	8.6	64.1	8.7
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-106.7	10.2	36.3	9.4

表 3.3-18　中継器設置前のダウンリンク伝送スループット(MAC 層)測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°　]	見通し (LOS/NLOS) 基地局	見通し (LOS/NLOS) 中継器	SS-RSRP [dBm] 中央値	SINR [dB] 中央値	スループット [Mbps] 中央値	BLER [%] 中央値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-104.7	14.7	166.1	8.5
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-114.2	6.2	129.0	8.6
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-107.4	10.2	111.3	8.6
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-108.8	8.7	87.6	8.6
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-117.5	4.0	94.5	8.4
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.0	17.7	121.0	8.4
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-107.3	11.0	89.2	8.4
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-108.8	9.0	76.3	8.5
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-113.1	5.8	58.4	8.5
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-115.3	2.4	55.0	8.4
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-111.8	6.2	61.8	8.4
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-105.4	11.2	153.0	8.6
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-104.3	11.8	143.8	8.8
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-110.3	7.5	129.0	8.6
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-116.6	2.2	76.6	8.5
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-109.5	7.7	131.5	8.4
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.9	2.3	70.1	8.4
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-116.8	0.9	49.6	8.4
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-118.2	3.1	36.4	8.1
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-114.6	3.9	151.1	8.5
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-108.7	9.1	121.7	8.4
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-112.8	5.6	90.7	8.4
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-110.7	7.7	80.9	8.4
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-111.8	6.5	87.5	8.4
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-110.9	9.1	143.5	8.6
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-114.9	5.8	83.7	8.5
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-111.0	8.3	244.0	8.6
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-113.6	4.7	122.0	8.5
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-114.7	3.8	104.2	8.4
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-115.3	9.7	125.7	8.5
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-115.8	6.3	92.1	8.4
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-111.6	7.6	161.1	8.7
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-105.1	12.2	108.4	8.5
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-100.2	13.5	311.7	8.5
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-108.9	8.7	140.0	8.4
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-99.9	17.0	218.7	8.7
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-103.9	13.2	140.5	8.7

表 3.3-19　中継器設置後のダウンリンク(MAC)伝送スループット(MAC 層)測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°　]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]	SINR [dB]	スループット [Mbps]	BLER [%]
					基地局	中継器	中央値	中央値	中央値	中央値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-102.8	6.5	69.5	8.5
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-93.7	14.8	155.2	8.4
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-99.2	15.9	165.9	8.4
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-104.3	11.8	140.5	8.4
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-107.9	9.6	111.1	8.4
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.6	9.7	102.2	8.4
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-101.6	10.6	117.5	8.5
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-107.4	2.9	69.8	8.5
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-112.8	2.8	46.1	8.4
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-115.0	1.0	32.0	7.8
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-111.9	4.3	47.5	8.4
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-98.0	16.0	175.0	8.4
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-99.7	15.5	163.6	8.4
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-102.0	15.0	107.8	8.5
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-107.6	14.1	124.0	8.4
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-108.1	9.6	99.6	8.4
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-106.8	14.5	144.8	8.5
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-112.2	7.5	82.4	8.4
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-107.7	10.5	97.1	8.6
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-84.3	20.6	154.8	8.4
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-103.1	12.3	145.4	8.4
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-101.7	15.5	155.5	8.4
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-108.1	11.1	138.1	8.5
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-101.9	14.1	154.0	8.4
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-82.6	20.4	152.1	8.3
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-101.8	12.6	146.9	8.3
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-87.8	15.6	138.9	8.5
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-106.2	8.2	67.7	8.7
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-100.1	15.2	155.0	8.5
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-88.2	21.1	156.7	8.5
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-105.2	13.7	137.5	8.6
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-108.1	13.3	120.5	8.4
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-109.6	6.4	77.5	8.5
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-101.4	6.6	139.6	8.4
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-108.2	4.8	76.7	6.3
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-103.0	8.7	141.8	8.5
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-105.5	12.6	129.8	8.8

表 3.3-20　中継器設置前の伝送遅延時間測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°　]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]	伝送遅延時間 [ms]		
					基地局	中継器	中央値	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-108.3	24.0	32.0	16.0
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-107.9	24.0	44.2	17.9
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-110.3	28.0	60.1	21.0
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-107.2	27.0	59.0	19.0
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-108.8	67.0	101.5	33.0
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-102.7	25.0	43.2	17.0
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-105.3	59.5	88.2	15.7
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-111.6	NG	NG	NG
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-117.6	NG	NG	NG
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-118.1	NG	NG	NG
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-115.4	NG	NG	NG
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-109.5	28.5	69.6	17.9
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-109.6	26.5	43.1	16.0
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-104.8	27.0	54.2	18.8
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-114.7	128.5	434.9	36.4
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-115.8	31.5	69.5	22.7
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-116.6	NG	NG	NG
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-118.2	NG	NG	NG
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-115.5	NG	NG	NG
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-111.1	35.0	60.4	23.2
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-104.2	35.5	65.2	21.9
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-111.8	129.0	608.0	58.0
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-108.8	878.0	975.8	401.7
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-110.4	60.0	349.6	40.8
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-108.1	26.0	43.1	18.8
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-115.6	75.0	542.0	24.4
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-107.9	22.0	33.2	14.9
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-118.5	58.5	545.2	18.2
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-112.8	44.0	78.3	22.0
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-110.4	25.0	56.1	13.9
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-112.2	58.0	185.4	24.8
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-106.7	24.0	45.1	18.0
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-108.9	28.5	62.0	19.0
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-103.0	14.0	22.1	11.0
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-108.6	43.5	75.1	18.0
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-98.1	19.0	34.2	16.0
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-103.3	23.0	42.2	14.0

表 3.3-21 中継器設置後の伝送遅延時間測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]	伝送遅延時間 [ms]		
					基地局	中継器	中央値	中央値	上位10%値	下位10%値
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-99.4	25.0	41.0	17.0
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-87.9	21.0	32.1	17.0
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-91.3	20.5	32.7	17.0
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-99.6	27.0	51.1	21.0
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-98.6	25.0	38.0	18.0
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-102.4	27.0	47.6	15.7
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-95.7	22.0	31.0	18.0
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-107.8	24.5	41.0	16.9
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-108.7	29.0	61.4	18.9
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-108.3	31.0	64.0	21.0
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-115.2	66.0	238.4	20.0
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-86.8	29.0	37.3	15.8
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-94.2	32.0	50.1	18.0
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-93.7	30.0	49.1	21.0
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-98.8	24.0	32.1	17.9
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-105.4	27.0	53.2	21.0
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-104.3	31.0	54.5	18.0
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-104.3	27.5	46.1	17.9
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-102.8	26.0	54.4	17.0
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-78.0	30.0	40.0	18.0
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-93.7	25.0	38.4	17.9
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-91.5	23.0	39.2	17.0
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-96.1	26.0	48.0	18.0
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-96.4	24.0	36.5	16.7
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-75.5	25.0	36.0	18.0
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-99.2	24.0	42.1	15.9
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-82.5	25.0	36.1	17.9
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-98.7	31.5	64.4	18.0
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-99.3	31.0	55.8	19.0
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-80.0	24.0	32.1	13.0
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-98.4	27.5	42.2	17.0
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-102.3	22.0	42.1	14.9
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-104.9	22.0	44.1	13.9
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-102.2	18.0	31.2	11.9
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-104.1	23.0	37.0	17.0
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-102.8	22.0	43.1	16.0
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-105.7	24.0	54.0	17.0

表 3.3-22　中継器設置前後における受信電力（SS-RSRP）比較

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	基地局／中継器からの見通し（LOS/NLOS）		SS-RSRP 中央値 [dBm]		差分 [dB]
					基地局	中継器	設置前	設置後	
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	-106.3	-97.9	8.4
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	-112.1	-88.2	23.9
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	-108.0	-92.5	15.5
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	-108.1	-99.0	9.1
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	-116.0	-100.3	15.7
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	-101.8	-101.5	0.3
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	-106.7	-95.2	11.4
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	-109.6	-108.2	1.4
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	-114.1	-110.0	4.0
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	-116.3	-107.9	8.4
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	-113.4	-112.4	1.0
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	-107.8	-90.9	16.9
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	-106.3	-93.7	12.6
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	-109.8	-95.7	14.1
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	-116.0	-100.0	16.0
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	-110.5	-102.5	8.0
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.0	-101.7	15.3
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	-117.4	-105.5	11.9
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	-117.3	-101.6	15.7
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	-110.8	-78.0	32.8
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	-106.3	-96.3	9.9
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	-112.4	-93.7	18.7
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	-109.9	-99.6	10.3
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	-110.7	-95.6	15.1
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	-110.5	-75.9	34.6
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	-115.9	-96.9	19.0
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	-109.8	-81.6	28.1
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	-115.8	-102.2	13.6
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	-113.2	-95.2	18.0
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	-113.5	-80.9	32.6
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	-112.9	-99.3	13.7
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	-108.0	-102.0	6.1
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	-105.6	-104.3	1.3
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	-100.6	-101.9	-1.2
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	-109.0	-105.7	3.3
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	-99.5	-102.5	-3.0
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	-104.2	-106.0	-1.8

表 3.3-23　中継器設置前後における SINR 比較

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	基地局／中継器からの見通し (LOS/NLOS)		SINR 中央値 [dB]		差分 [dB]
					基地局	中継器	設置前	設置後	
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	12.8	12.6	-0.2
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	6.8	22.6	15.8
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	9.4	23.9	14.6
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	9.4	20.9	11.5
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	5.6	18.4	12.8
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	16.9	16.5	-0.4
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	11.4	17.7	6.2
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	7.6	8.2	0.6
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	4.6	8.0	3.4
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	2.0	7.2	5.2
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	4.5	8.9	4.4
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	9.4	23.2	13.7
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	10.4	22.6	12.2
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	8.2	21.5	13.2
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	2.5	21.1	18.6
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	6.8	15.6	8.8
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	2.5	22.1	19.5
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	0.2	12.0	11.8
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	3.0	15.9	12.9
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	8.0	21.6	13.6
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	11.2	20.7	9.6
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	6.6	22.0	15.4
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	7.8	19.8	12.0
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	7.8	22.3	14.5
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	8.9	23.8	15.0
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	5.1	21.1	16.0
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	8.9	23.0	14.1
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	4.3	14.8	10.5
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	5.6	22.0	16.5
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	9.6	24.3	14.7
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	6.3	20.1	13.9
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	10.1	17.6	7.4
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	11.5	14.7	3.2
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	14.4	5.5	-8.9
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	9.1	8.0	-1.1
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	18.0	8.6	-9.4
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	12.7	11.2	-1.4

表 3.3-24　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット(MAC 層)比較

ID	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	基地局／中継器からの見通し(LOS/NLOS)		UL伝送スループット中央値 [Mbps]		差分 [Mbps]
					基地局	中継器	設置前	設置後	
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	75.4	94.9	19.6
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	54.3	155.8	101.4
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	41.7	148.3	106.6
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	27.5	113.4	85.9
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	24.4	102.9	78.5
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	51.0	97.8	46.8
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	26.8	150.1	123.3
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	19.6	49.1	29.5
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	10.0	47.2	37.2
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	7.1	43.0	35.9
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	11.7	39.1	27.4
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	62.8	93.7	31.0
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	70.8	76.4	5.6
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	37.2	62.0	24.8
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	22.0	92.8	70.9
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	50.4	69.0	18.5
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	7.7	80.6	72.9
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	6.0	60.2	54.3
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	6.5	61.6	55.1
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	52.3	154.9	102.6
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	33.3	92.9	59.6
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	27.1	98.8	71.7
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	23.8	79.9	56.1
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	27.8	122.8	94.9
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	52.7	162.2	109.5
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	26.2	94.4	68.2
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	85.0	150.4	65.4
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	39.0	53.8	14.8
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	31.3	106.8	75.5
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	34.5	164.2	129.8
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	23.3	84.4	61.2
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	68.5	61.1	-7.4
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	36.6	41.6	5.1
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	140.4	138.1	-2.2
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	34.3	17.1	-17.2
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	92.2	64.1	-28.1
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	52.4	36.3	-16.1

表 3.3-25　中継器設置前後におけるダウンリンク(MAC)伝送スループット比較

ID	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	基地局／中継器からの見通し (LOS/NLOS)		DL伝送スループット中央値 [Mbps]		差分 [Mbps]
					基地局	中継器	設置前	設置後	
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	166.1	69.5	-96.6
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	129.0	155.2	26.2
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	111.3	165.9	54.5
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	87.6	140.5	52.9
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	94.5	111.1	16.6
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	121.0	102.2	-18.9
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	89.2	117.5	28.3
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	76.3	69.8	-6.5
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	58.4	46.1	-12.3
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	55.0	32.0	-23.0
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	61.8	47.5	-14.3
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	153.0	175.0	21.9
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	143.8	163.6	19.7
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	129.0	107.8	-21.2
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	76.6	124.0	47.3
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	131.5	99.6	-31.9
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	70.1	144.8	74.6
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	49.6	82.4	32.8
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	36.4	97.1	60.7
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	151.1	154.8	3.7
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	121.7	145.4	23.8
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	90.7	155.5	64.9
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	80.9	138.1	57.1
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	87.5	154.0	66.5
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	143.5	152.1	8.7
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	83.7	146.9	63.2
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	244.0	138.9	-105.1
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	122.0	67.7	-54.3
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	104.2	155.0	50.8
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	125.7	156.7	31.1
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	92.1	137.5	45.4
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	161.1	120.5	-40.6
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	108.4	77.5	-30.8
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	311.7	139.6	-172.0
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	140.0	76.7	-63.4
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	218.7	141.8	-77.0
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	140.5	129.8	-10.7

表 3.3-26　中継器設置前後における伝送遅延時間比較

ID	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	中継器からの角度 [°]	基地局／中継器からの見通し (LOS/NLOS)		伝送遅延時間中央値 [ms]		差分 [ms]
					基地局	中継器	設置前	設置後	
1	H12-R1-01	539.6	10.4	0.0	NLOS	LOS	24.0	25.0	1.0
2	H12-R1-02	548.1	20.1	0.0	NLOS	LOS	24.0	21.0	-3.0
3	H12-R1-03	556.8	30.2	0.0	NLOS	LOS	28.0	20.5	-7.5
4	H12-R1-04	565.5	40.2	0.0	NLOS	LOS	27.0	27.0	0.0
5	H12-R1-05	574.3	50.3	0.0	NLOS	LOS	67.0	25.0	-42.0
6	H12-R1-06	582.9	60.1	0.0	NLOS	LOS	25.0	27.0	2.0
7	H12-R1-07	600.5	80.1	0.0	NLOS	LOS	59.5	22.0	-37.5
8	H12-R1-08	620.0	102.0	0.0	NLOS	LOS	NG	24.5	-
9	H12-R1-09	637.9	122.0	0.0	NLOS	LOS	NG	29.0	-
10	H12-R1-10	656.0	142.1	0.0	NLOS	LOS	NG	31.0	-
11	H12-R1-11	674.2	162.1	0.0	NLOS	LOS	NG	66.0	-
12	H12-R2-01	541.0	10.6	+20.0	NLOS	LOS	28.5	29.0	0.5
13	H12-R2-02	550.7	20.6	+20.0	NLOS	LOS	26.5	32.0	5.5
14	H12-R2-03	560.4	30.5	+20.0	NLOS	LOS	27.0	30.0	3.0
15	H12-R2-04	570.0	40.5	+20.0	NLOS	LOS	128.5	24.0	-104.5
16	H12-R2-05	579.7	50.4	+20.0	NLOS	NLOS	31.5	27.0	-4.5
17	H12-R2-06	589.6	60.5	+20.0	NLOS	NLOS	NG	31.0	-
18	H12-R2-07	609.1	80.5	+20.0	NLOS	NLOS	NG	27.5	-
19	H12-R2-08	628.5	100.2	+20.0	NLOS	NLOS	NG	26.0	-
20	H12-R3-01	534.5	8.6	-30.0	NLOS	LOS	35.0	30.0	-5.0
21	H12-R3-02	544.4	29.2	-30.0	NLOS	LOS	35.5	25.0	-10.5
22	H12-R3-03	549.4	39.0	-30.0	NLOS	LOS	129.0	23.0	-106.0
23	H12-R3-04	554.6	49.0	-30.0	NLOS	LOS	878.0	26.0	-852.0
24	H12-R3-05	559.8	59.1	-30.0	NLOS	LOS	60.0	24.0	-36.0
25	H12-R4-01	532.6	8.7	-45.0	NLOS	LOS	26.0	25.0	-1.0
26	H12-R4-02	542.9	49.3	-45.0	NLOS	LOS	75.0	24.0	-51.0
27	H12-R5-01	530.5	9.4	-60.0	NLOS	LOS	22.0	25.0	3.0
28	H12-R5-02	530.3	19.2	-60.0	NLOS	LOS	58.5	31.5	-27.0
29	H12-R5-03	530.0	29.2	-60.0	NLOS	LOS	44.0	31.0	-13.0
30	H12-R5-04	530.0	36.0	-60.0	NLOS	LOS	25.0	24.0	-1.0
31	H12-R5-05	530.6	53.6	-60.0	NLOS	LOS	58.0	27.5	-30.5
32	H12-R6-01	525.5	9.6	-90.0	NLOS	LOS	24.0	22.0	-2.0
33	H12-R6-02	505.6	49.3	-90.0	NLOS	LOS	28.5	22.0	-6.5
34	H12-R7-01	520.8	10.2	-135.0	NLOS	LOS	14.0	18.0	4.0
35	H12-R7-02	485.5	46.3	-135.0	NLOS	LOS	43.5	23.0	-20.5
36	H12-R8-01	521.3	10.4	-170.0	NLOS	NLOS	19.0	22.0	3.0
37	H12-R8-02	489.5	45.3	-170.0	NLOS	NLOS	23.0	24.0	1.0

表 3.3-20、表 3.3-24、及び表 3.3-26 に示す中継器設置前後の比較より、設置した中継器のカバーエリア（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°、距離 50m までの範囲）内で、受信電力（SS-RSRP）は概ね 10dB 以上の改善、アップリンク伝送スループットが 20Mbps 以上、並びに、伝送遅延時間（往復遅延時）が 100ms 以下（30ms 前後）を満たす結果となった。

測定 ID：1 番（測定ポイント H12-R1-01）は、サービス・アンテナから指向方向へ約 10m 離れたポイントになっているが、計測した受信電力は、-97.9dBm と約 20m 離れた測定 ID：2 番（測定ポイント H12-R1-01）の-88.2dBm よりも低く、算出法による値-85.5dBm よりも 12.4dB 低い値となり、中継器設置後の改善量も 8.4dB と 10dB に満たない結果となっている。当該ポイントはサービス・アンテナから急激に下る坂の上（傾斜角：約 14 度）にあり、測定時に測定用端末（測定アンテナ）を斜面に対して水平に設置したことから、サービス・アンテナ¥利得が小さいポイントでの受信となったことが理由となる。測定 ID：16（測定ポイント H12-R2-05）は、サービス・アンテナの指向方向+20 度の方向へ約 50m 離れたポイントになっている。中継器がない状態での受信電力は-110.5dBm で、前後の測定ポイントと比較すると約 6dB ほど高く、その影響で改善量が 10dB に満たなかったと考える。

改善効果を可視化するため、表 3.3-27 のように中継器のカバーエリアとなる 50m 地点で値の測定ポイント（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲）と、カバーエリア外（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲外）となる測定ポイント、並びにカバーエリア外ではあるがサービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲にある点の 3 つに分類し、中継器設置前後の改善状況をグラフ化した。

表 3.3-27　中継器設置前後における点測定地点の分類

	分類	定義	測定ポイント
1	中継器カバーエリア内	サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲、かつ 50m 以内	測定 ID：1，2，3，4，5，12，13，14，15，16，20，21，22，23，24，25，26，27，28，29，30，31
2	中継器カバーエリア外	サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲外、かつ 50m 以内	測定 ID：32，33，34，35，36，37
3	中継器カバーエリア外（アンテナ指向方向）	サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲、かつ 50m より先	測定 ID：6，7，8，9，10，11，17，18，19

図 3.3-26～図 3.3-29 に中継器カバーエリア内（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲、かつ 50m 以内）における受信電力（SS-RSRP）、SINR、アップリンク伝送スループット（MAC 層）、及びダウンリンク伝送スループット（MAC 層）の相対度数と累積相対度数を示す。

全ての項目で中継器設置後に品質改善を実現した結果となっており、想定カバーエリア内での

改善効果が認められた。

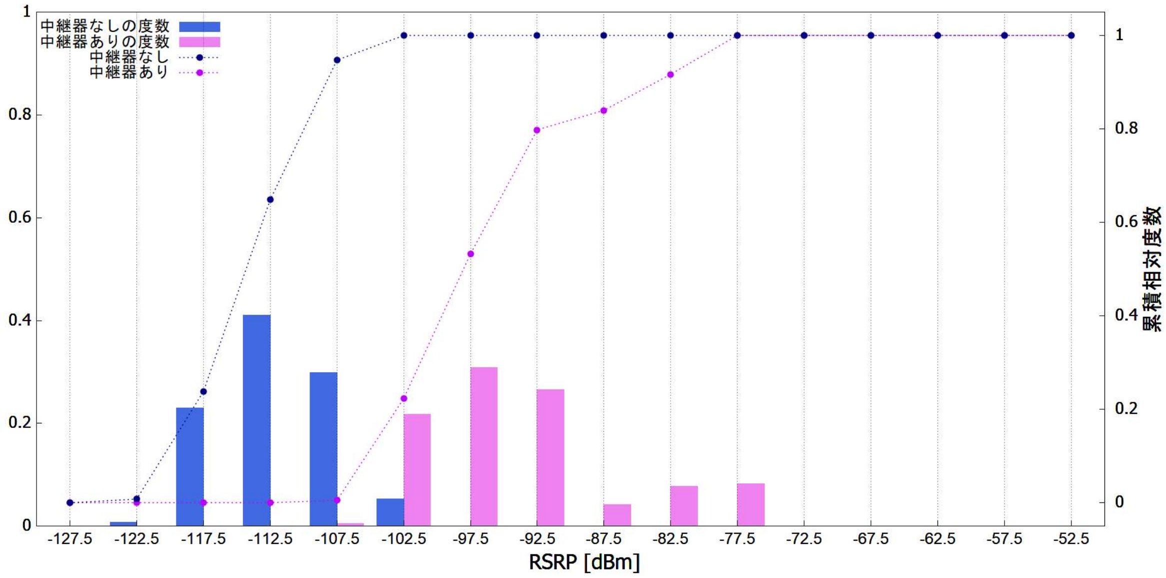


図 3.3-26　中継器カバーエリア内における受信電力(SS-RSRP)の変化

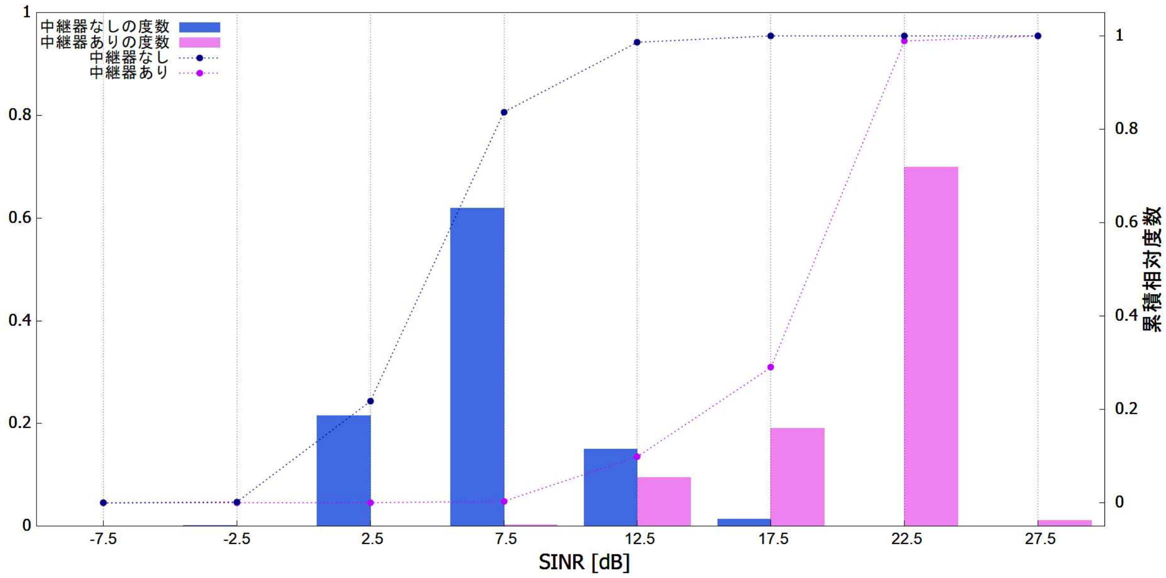


図 3.3-27　中継器カバーエリア内における SINR の変化

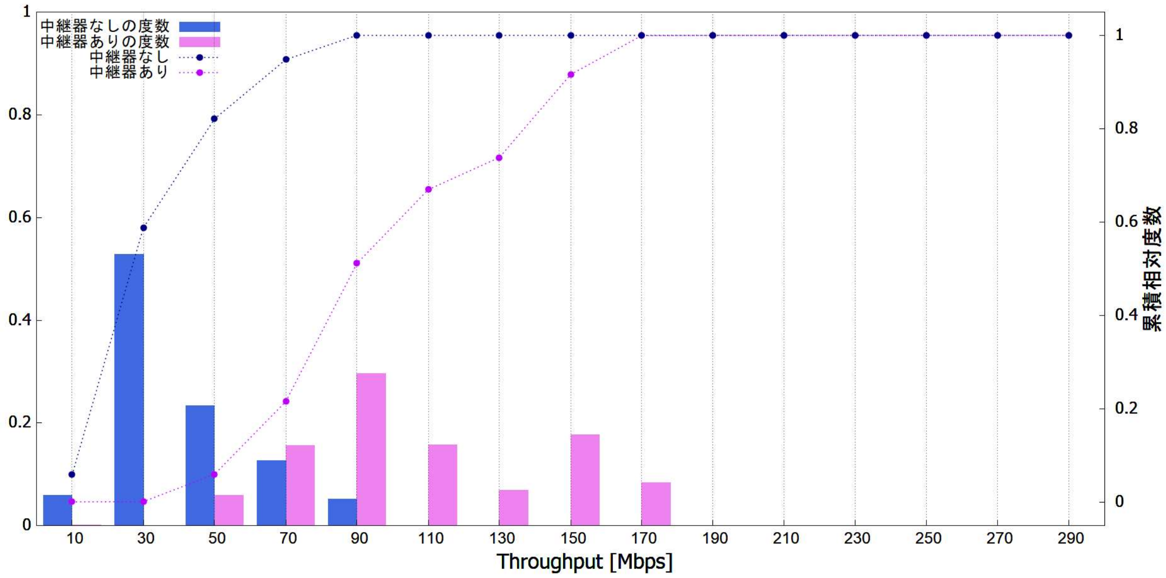


図 3.3-28　中継器カバーエリア内におけるアップリンク伝送スループットの変化

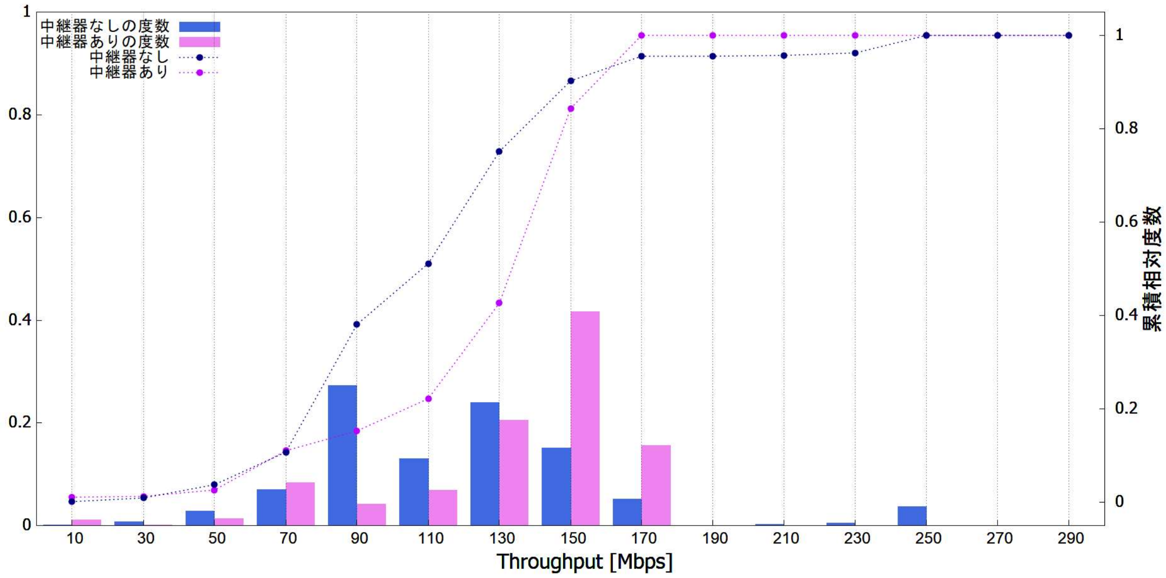


図 3.3-29　中継器カバーエリア内におけるダウンリンク伝送スループットの変化

図 3.3-30～図 3.3-33 に中継器カバーエリア外（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60˚の範囲外、かつ 50m 以内）における受信電力（SS-RSRP）、SINR、アップリンク伝送スループット（MAC 層）、及びダウンリンク伝送スループット（MAC 層）の相対度数と累積相対度数を示す。

受信電力（SS-RSRP）で若干の改善傾向が見られるものの、それ以外の項目で劣化傾向となり、特にダウンリンク伝送スループット（MAC 層）の低下が顕著に表れる結果となった。サービス・アンテナの指向方向から-135°と-170°方向では、中継器がある場合でも基地局と直接通信をしており、中継器からの電波との干渉により SINR が劣化して伝送スループットが低下していると考えられる。サービス・アンテナの指向方向から-90°方向では、中継器を経由した通信となっ

ており、アップリンク伝送スループットは改善するも、受信電力（SS-RSRP）の改善量よりもSINR の劣化が大きくなったことからダウンリンク伝送スループットが低下している。

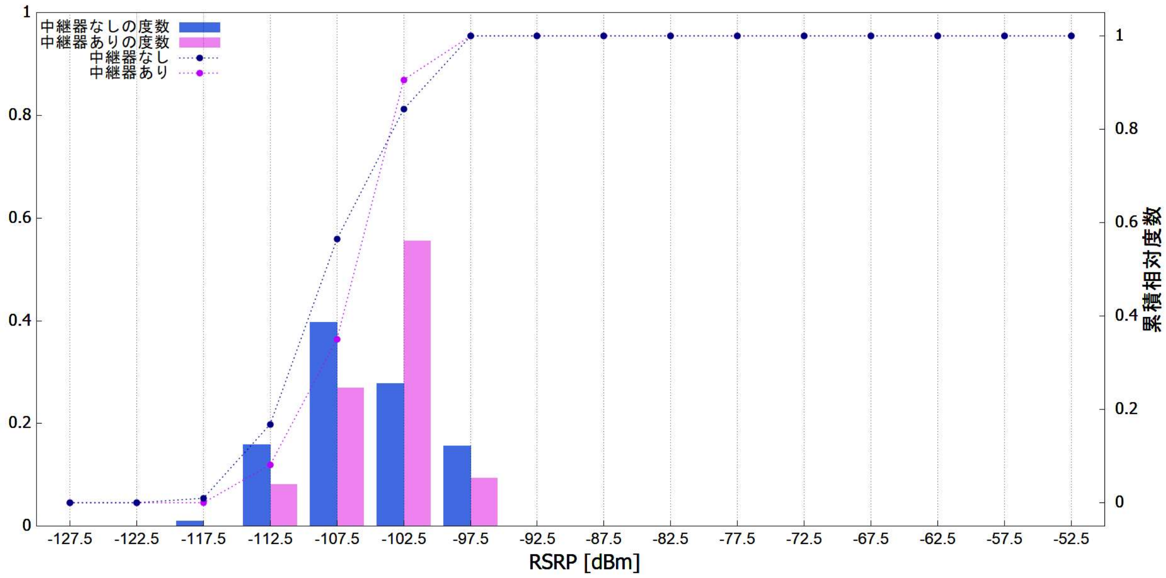


図 3.3-30　中継器カバーエリア外（半値角外）における RSRP の変化

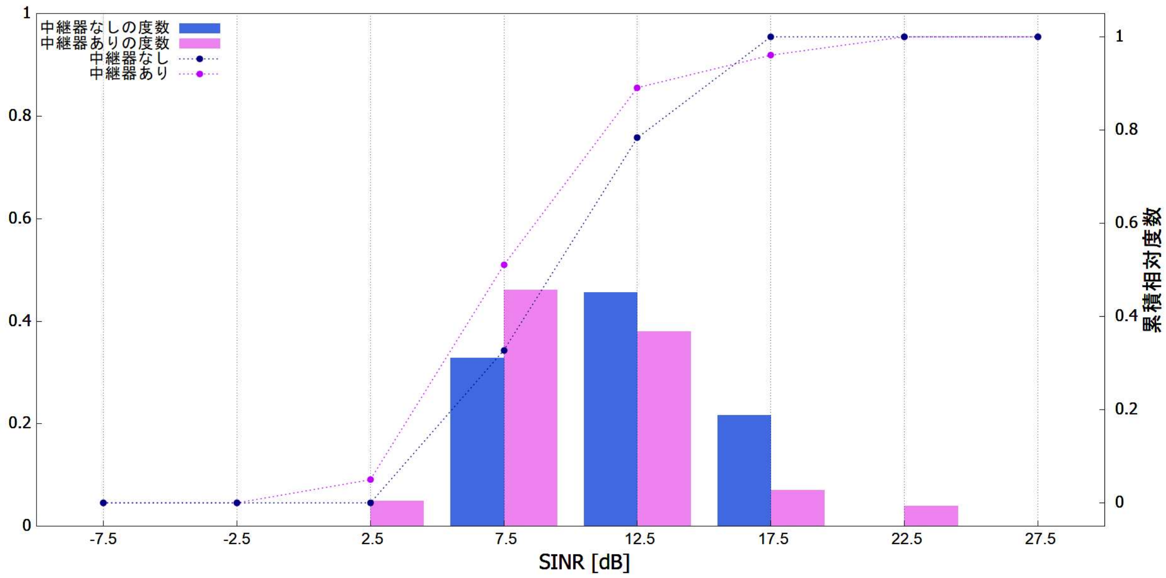


図 3.3-31　中継器カバーエリア外（半値角外）における SINR の変化

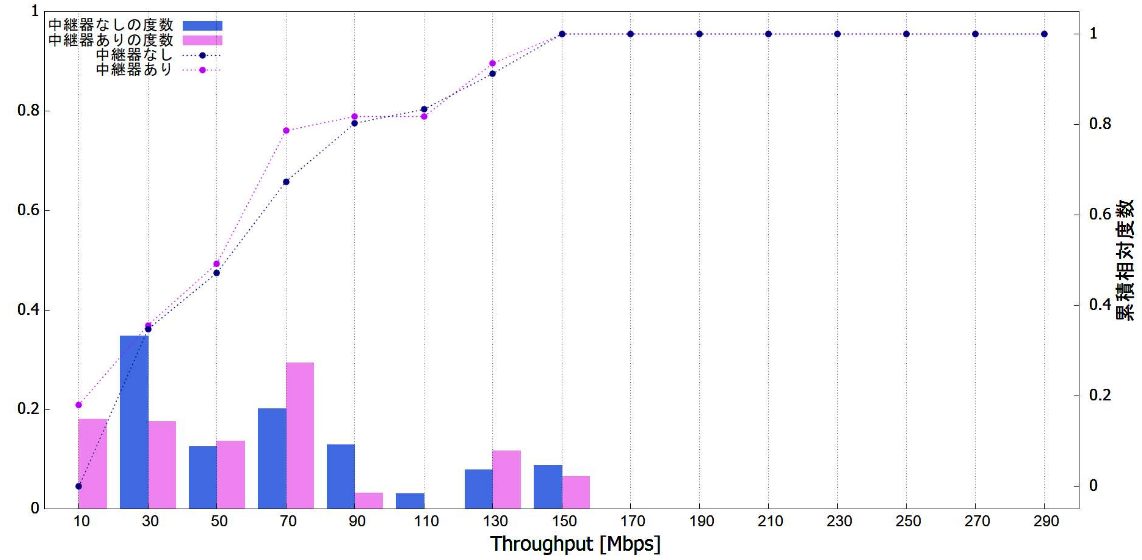


図 3.3-32　中継器カバーエリア外（半値角外）におけるアップリンク伝送スループットの変化

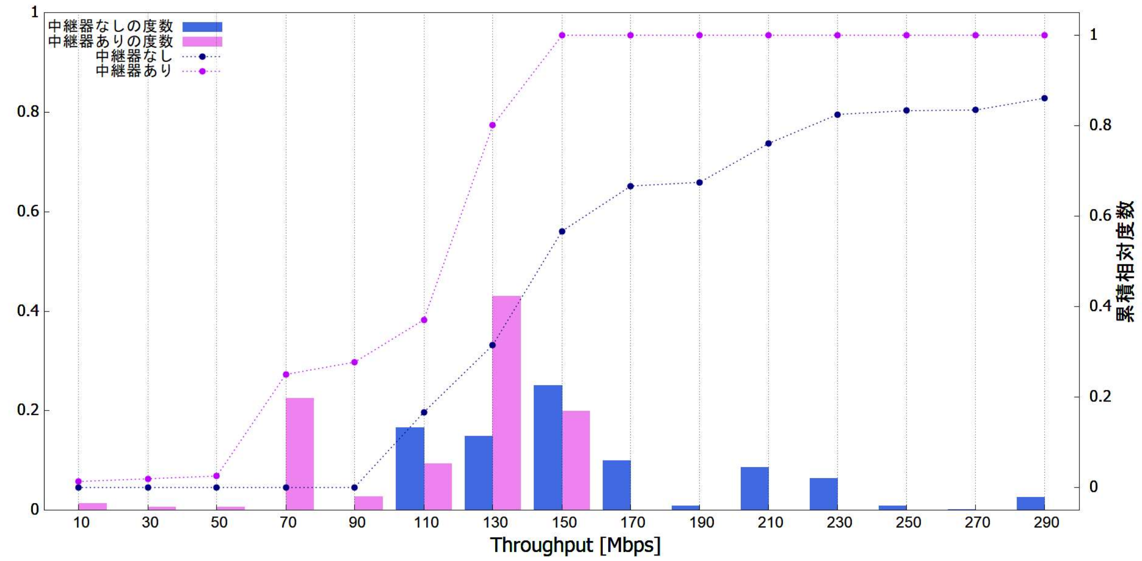


図 3.3-33　中継器カバーエリア外（半値角外）におけるダウンリンク伝送スループットの変化

図 3.3-34～図 3.3-37 に中継器カバーエリア外（サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲、かつ 50m より先）における受信電力（SS-RSRP）、SINR、アップリンク伝送スループット（MAC 層）、及びダウンリンク伝送スループット（MAC 層）の相対度数と累積相対度数を示す。

受信電力（SS-RSRP）、SINR、及びアップリンク伝送スループット（MAC 層）で改善しており、特にアップリンク伝送スループットでは、全ての測定点で 20Mbps 以上となった。サービス・アンテナの指向方向に最大で 160m、指向方向から+20° 方向に 100m のポイントまでを範囲としており、受信電力（SS-RSRP）が-115dBm 以下のポイントが解消し、想定よりも広い範囲で改善効果が見られた。ダウンリンク伝送スループットについても改善は見られるが、アップ

リンク伝送スループットほどの改善は見られなかった。この理由としては、基地局との直接通信では 2×2MIMO 以上となるものの、中継器を経由する場合は SISO となることが大きな要因となっている。

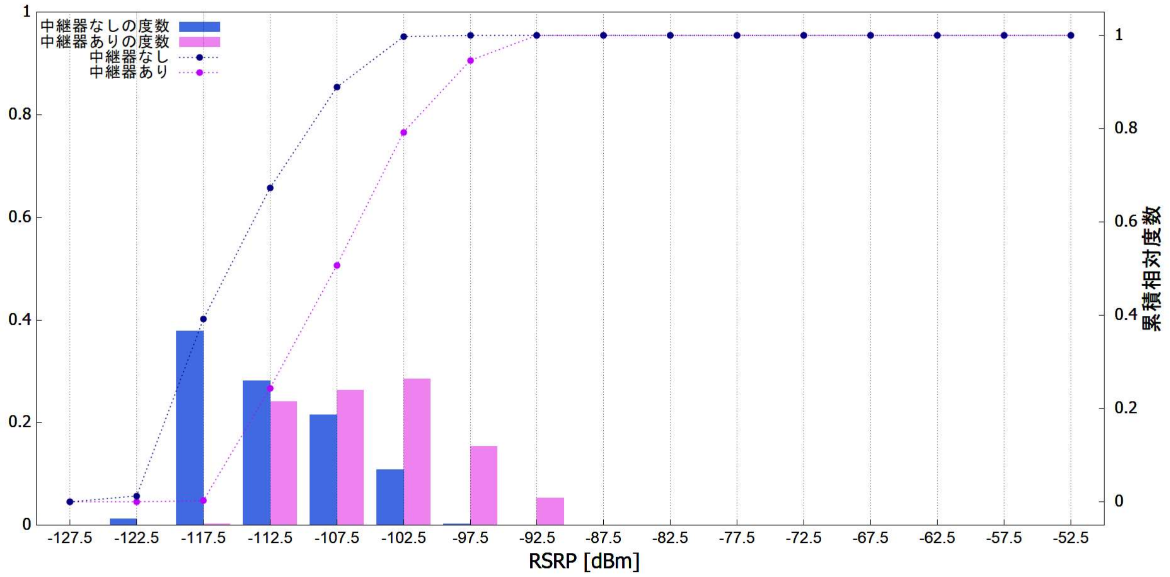


図 3.3-34　中継器カバーエリア外（半値角内）における受信電力(SS-RSRP)の変化

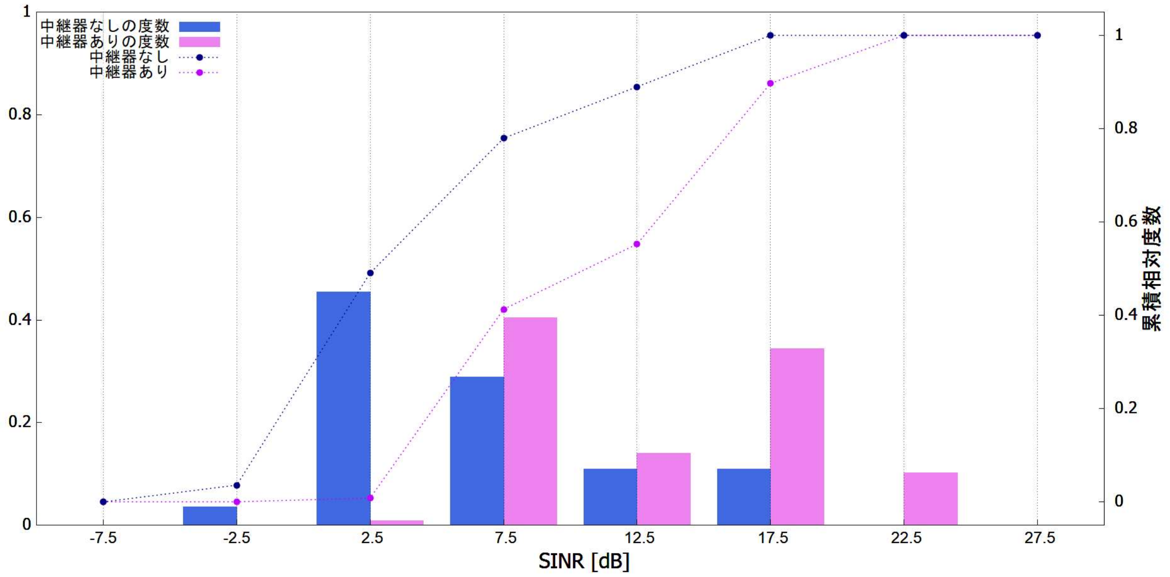


図 3.3-35　中継器カバーエリア外（半値角内）における SINR の変化

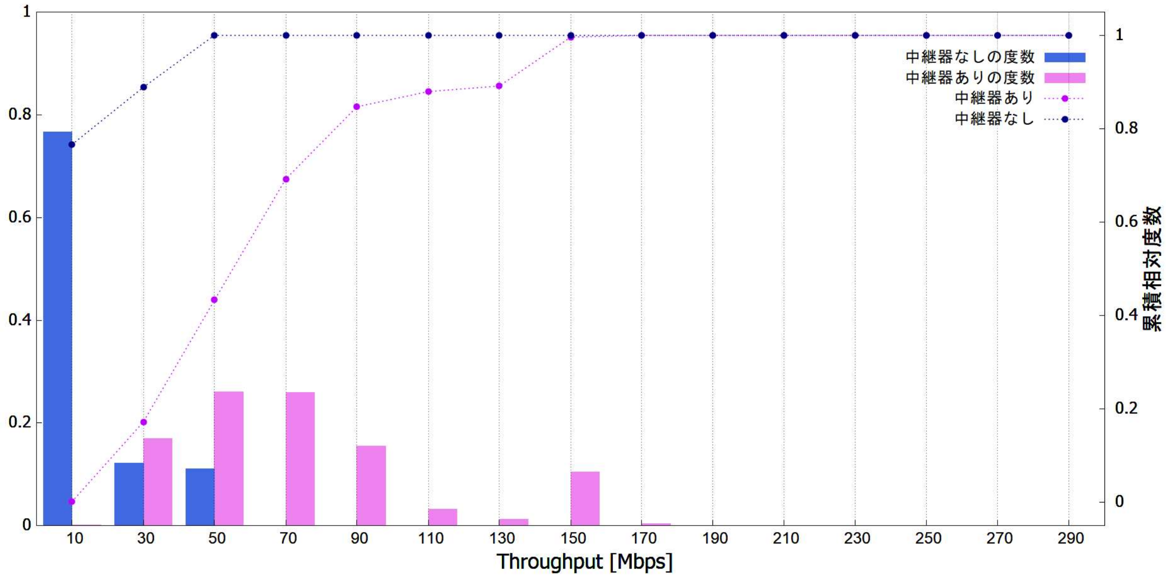


図 3.3-36　中継器カバーエリア外（半値角内）におけるアップリンク伝送スループットの変化

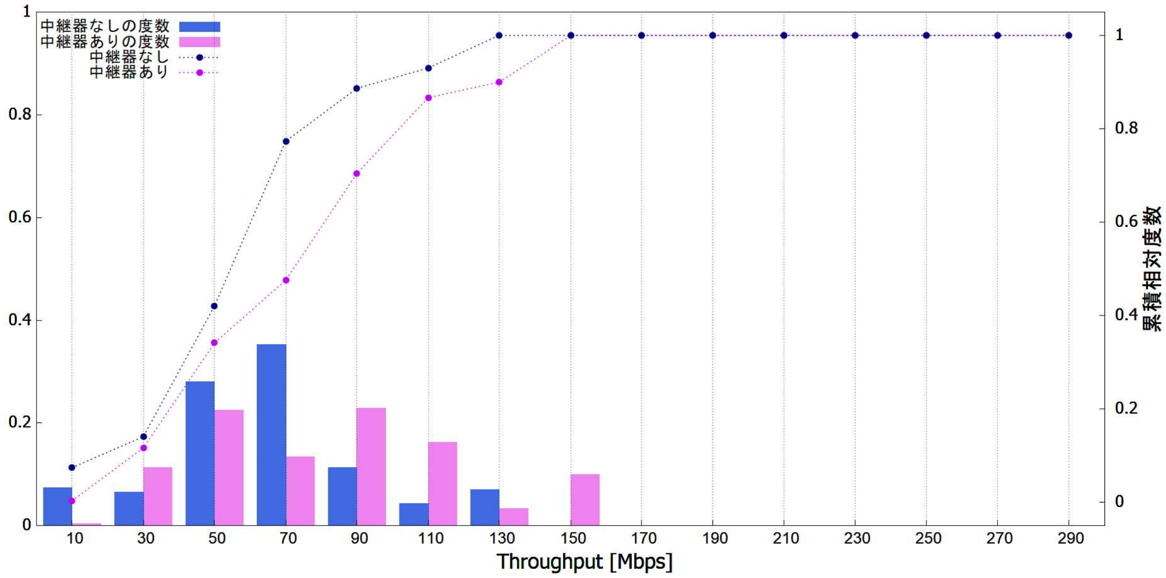


図 3.3-37　中継器カバーエリア外（半値角内）におけるダウンリンク伝送スループットの変化

中継器周辺及びカバー対象となる弱電界エリアに対して、弱電界エリアの選定時と同様の歩行測定を実施し、受信電力 (SS-RSRP) と SINR、アップリンク、及びダウンリンク伝送スループットの変動を可視化した。当該エリアにおける歩行測定結果を図 3.3-38～図 3.3-44 に、中継器設置前後の改善状況をグラフ化したものを図 3.3-45～3.3-48 に示す。

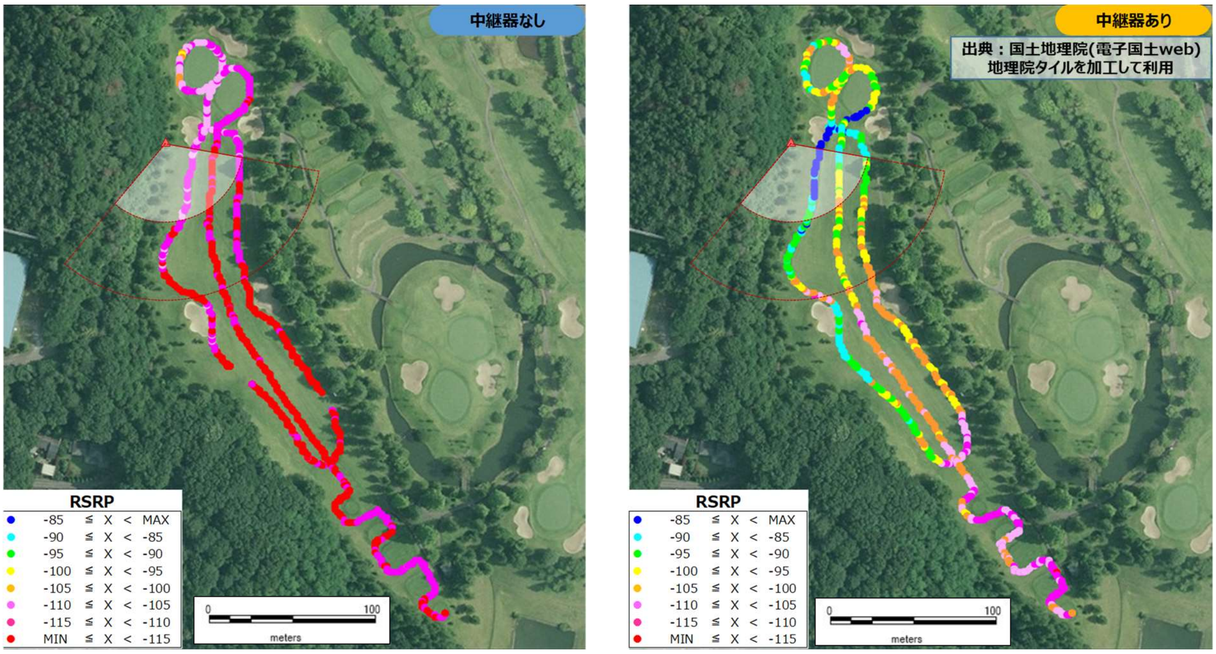


図 3.3-38　中継器設置前後における SS-RSRP 測定結果（UL スループット測定時）

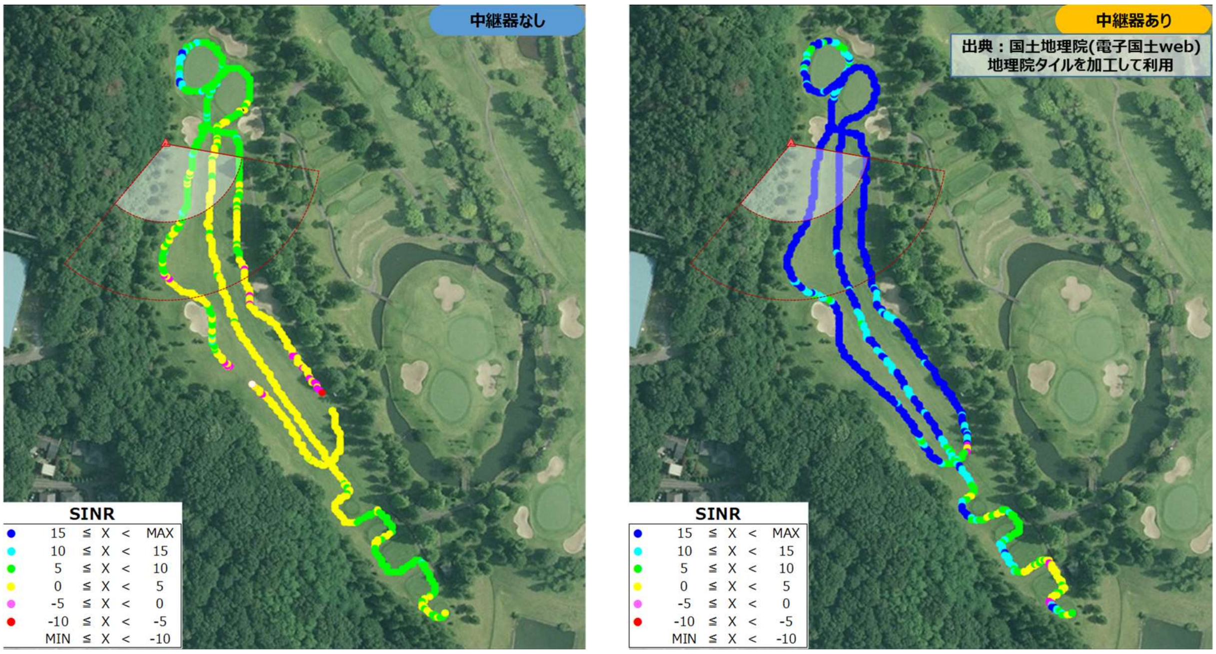


図 3.3-39　中継器設置前後における SINR 測定結果（UL スループット測定時）

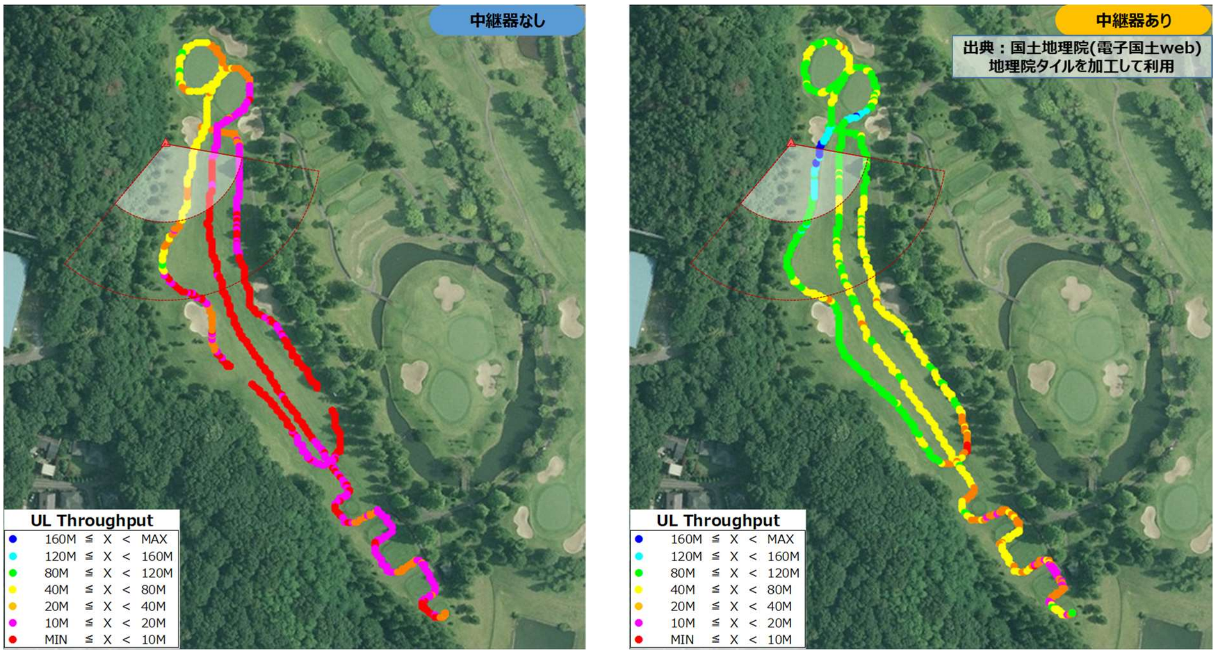


図 3.3-40　中継器設置前後における伝送スループット測定結果（UL スループット測定時）

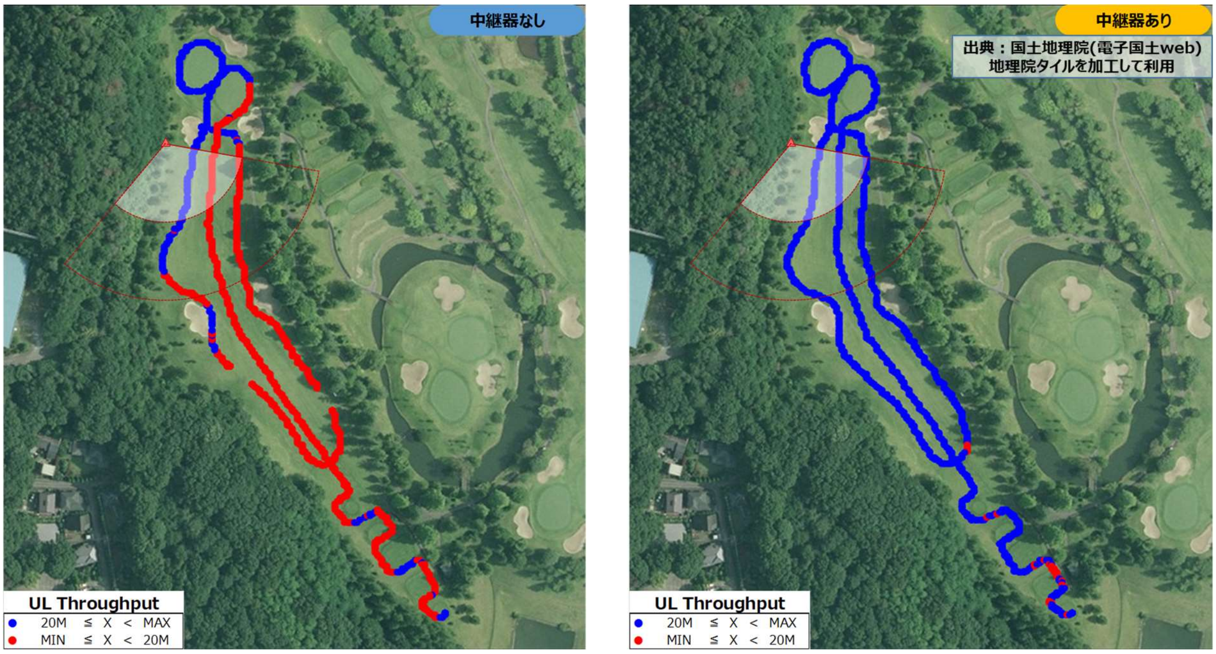


図 3.3-41　中継器設置前後における伝送スループット測定結果（UL スループット測定時）2

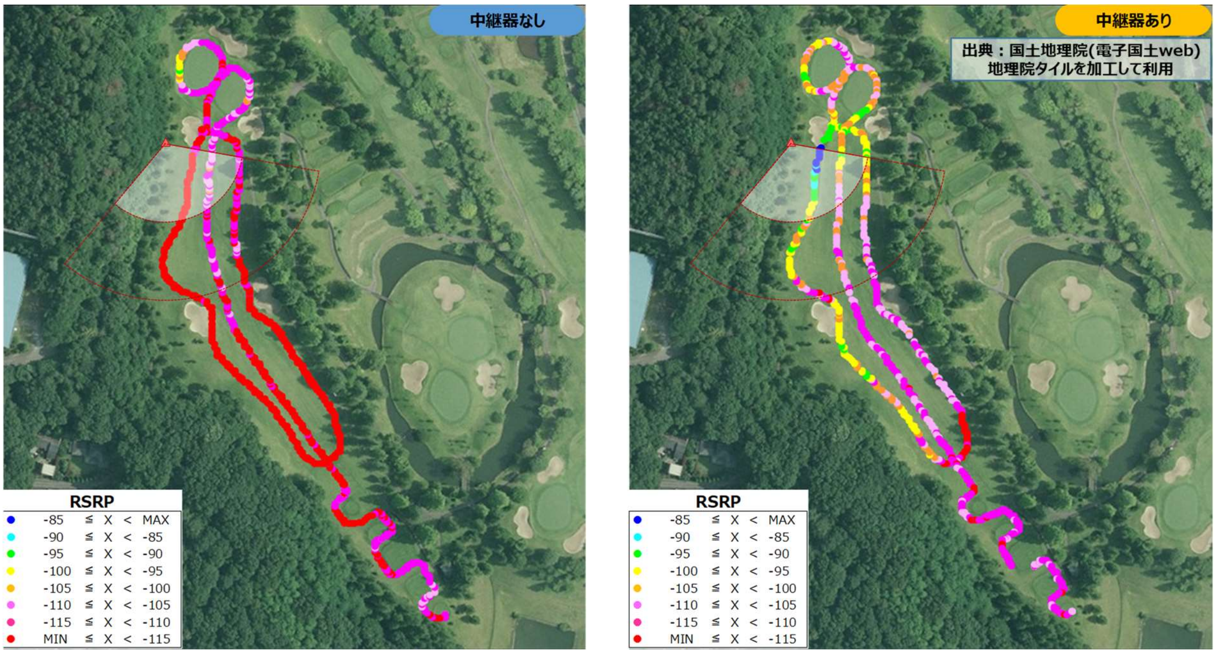


図 3.3-42　中継器設置前後における SS-RSRP 測定結果（DL スループット測定時）

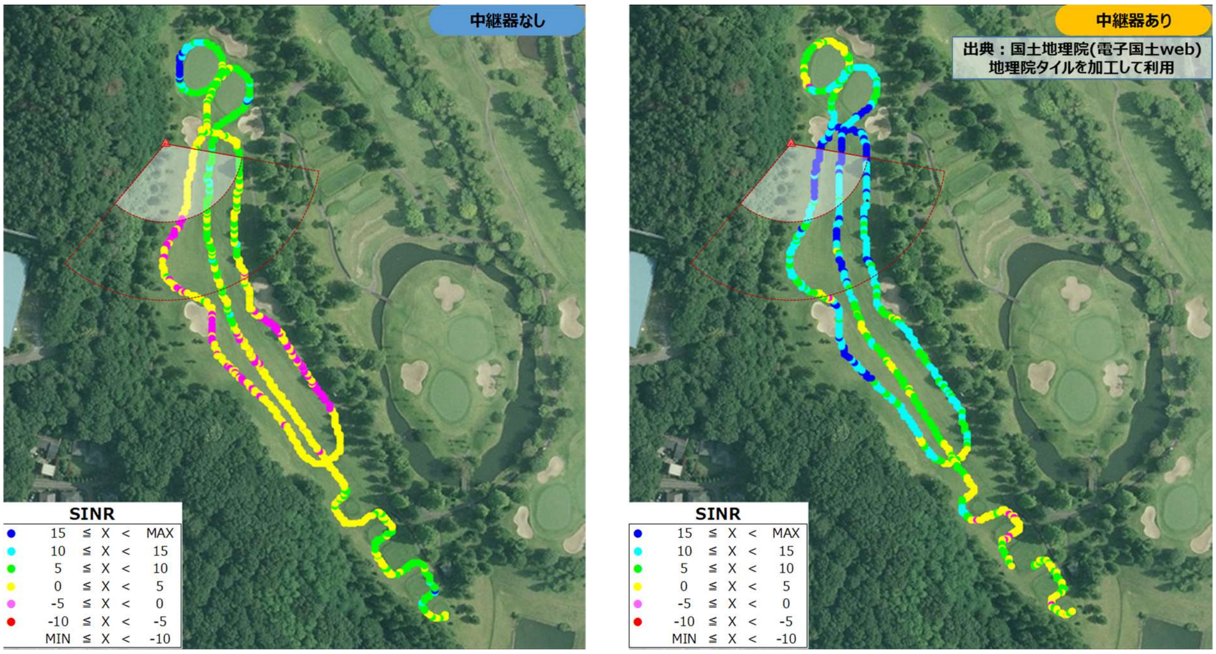
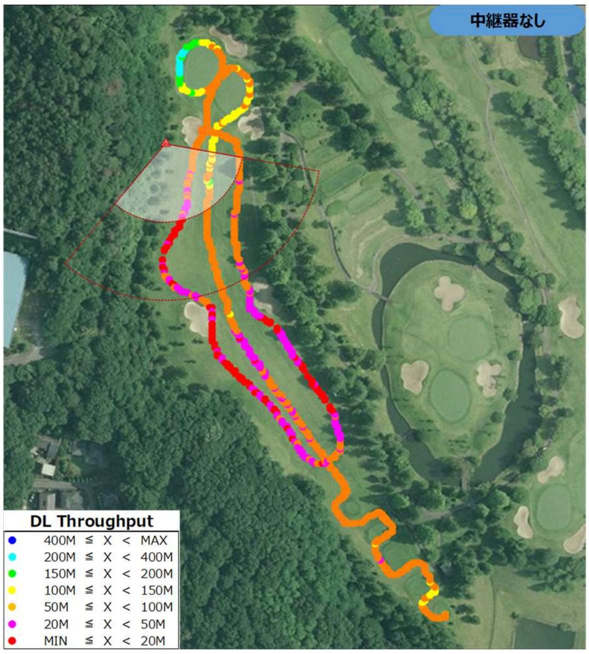


図 3.3-43　中継器設置前後における SINR 測定結果（DL スループット測定時）



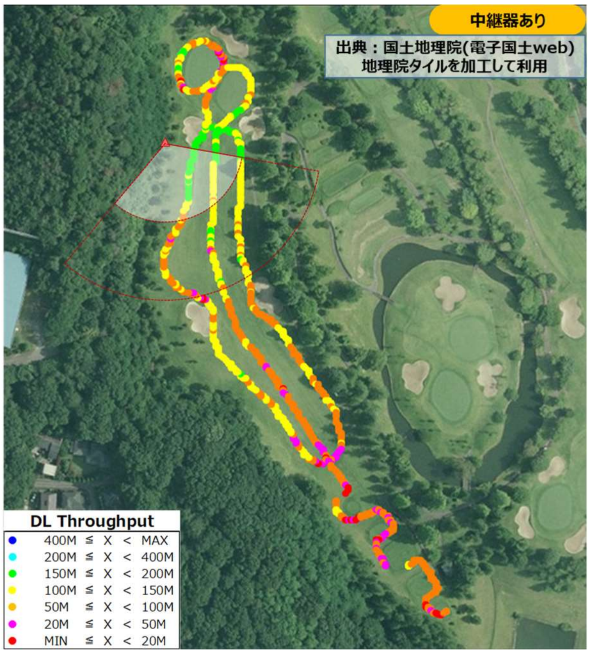


図 3.3-44　中継器設置前後における伝送スループット測定結果（DL スループット測定時）

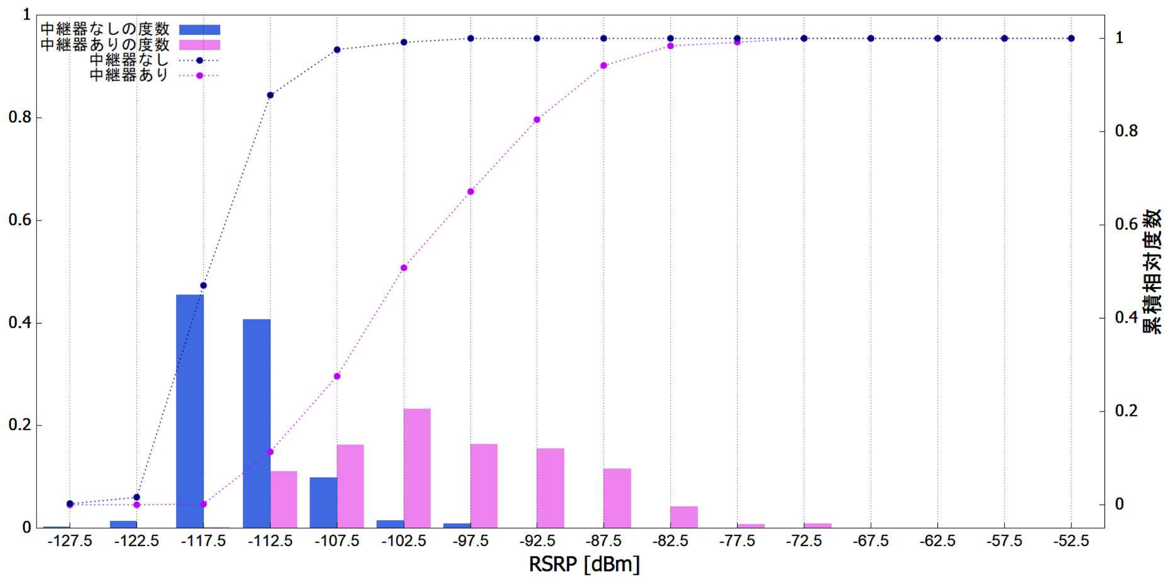


図 3.3-45　12 番ホール内における受信電力（SS-RSRP）の変化

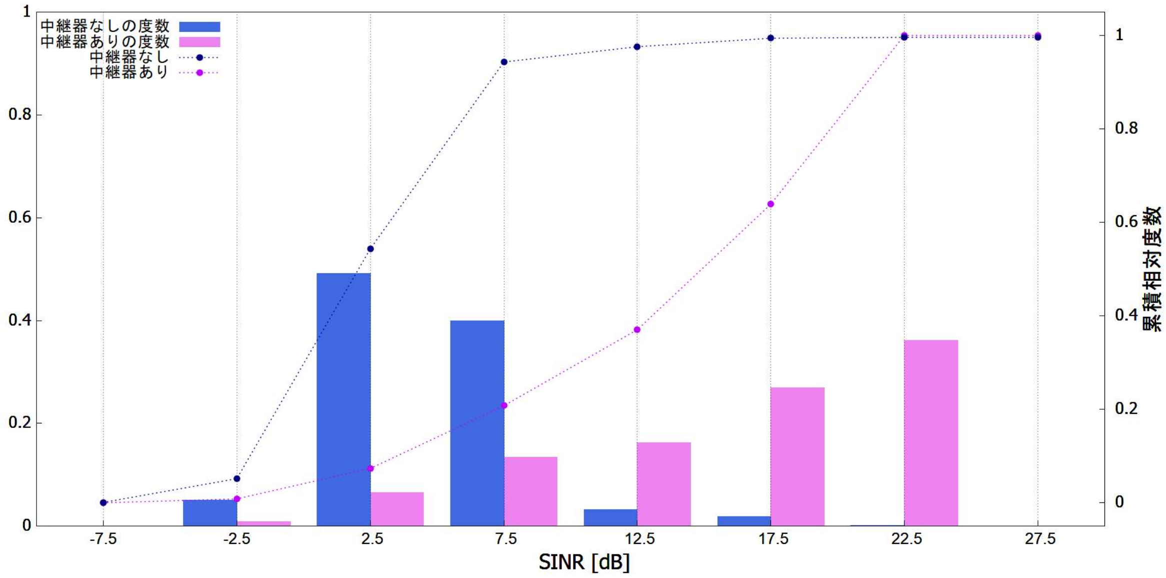


図 3.3-46　12 番ホール内における SINR の変化

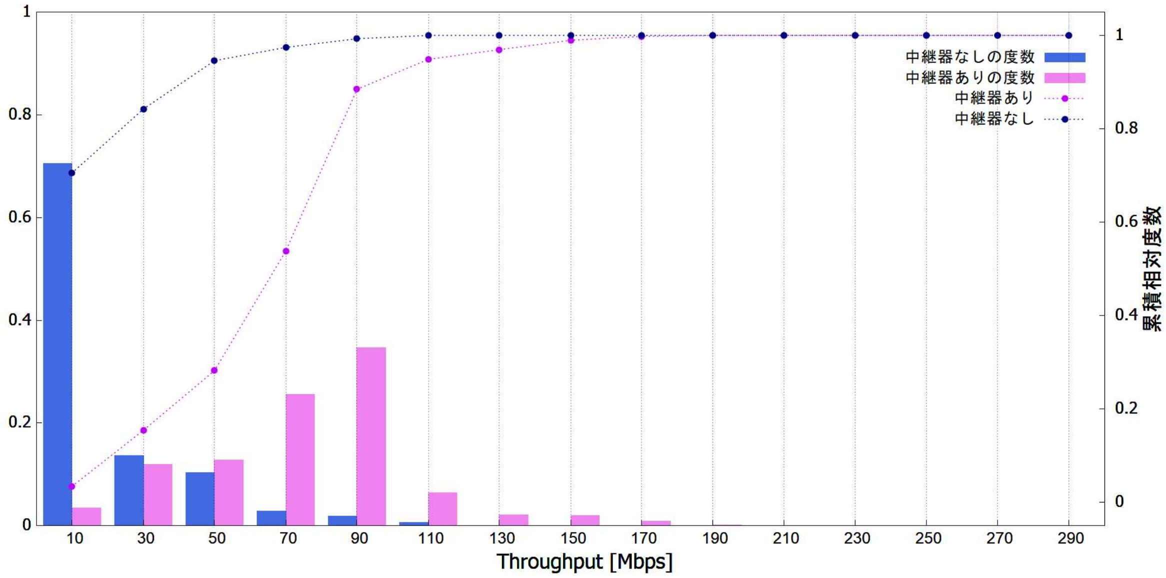


図 3.3-47　12 番ホール内におけるアップリンク伝送スループットの変化

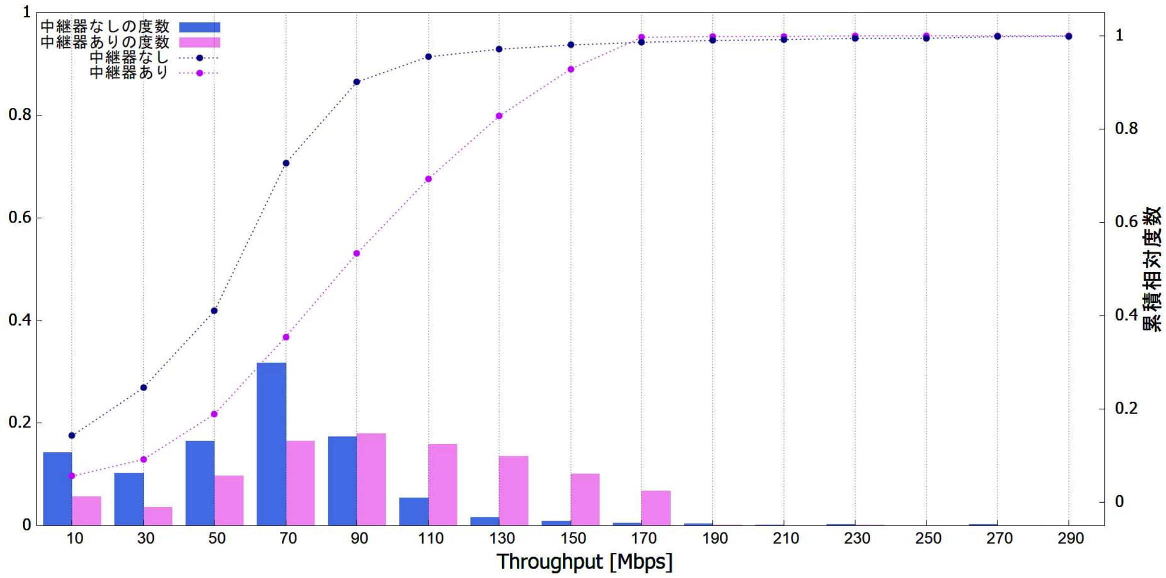


図 3.3-48　12 番ホール内におけるダウンリンク伝送スループットの変化

中継器のカバーエリア内だけでなく、12 番ホール全体の受信電力（SS-RSRP）、SINR、アップリンク／ダウンリンク伝送スループットが改善している。特にアップリンク伝送スループットでは、12 番ホール内のほとんどのエリアで 20Mbps 以上となり、想定よりも広い弱電エリアの解消に繋がる結果となった。

中継器の設置による周辺環境の変化を確認するために 12 番ホールの周辺エリアに対して、弱電界エリアの選定時と同様の歩行測定を実施し、受信電力（SS-RSRP）とアップリンク、及びダウンリンク伝送スループットの変動を可視化した。当該エリアにおける歩行測定結果を図 3.3-49～図 3.3-53 に、中継器設置前後の改善状況をグラフ化したもの（12 番ホール内の測定を除いたもの）を図 3.3-54～3.3-57 に示す。

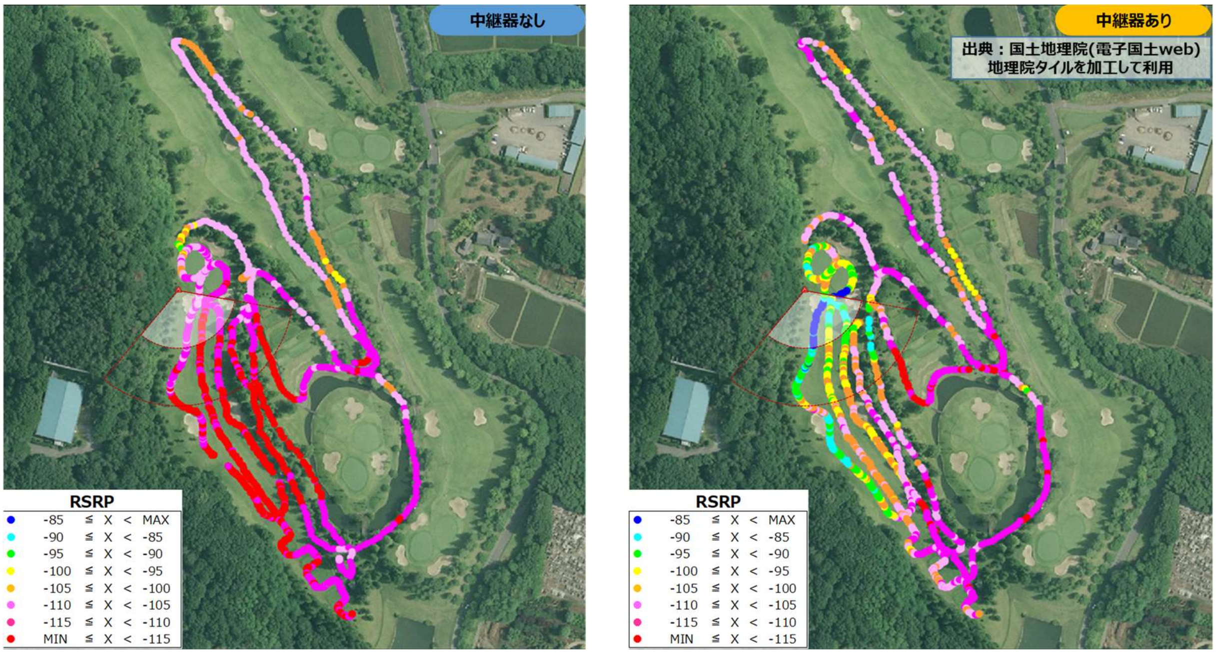


図 3.3-49　中継器設置前後における SS-RSRP 測定結果（周辺環境確認）

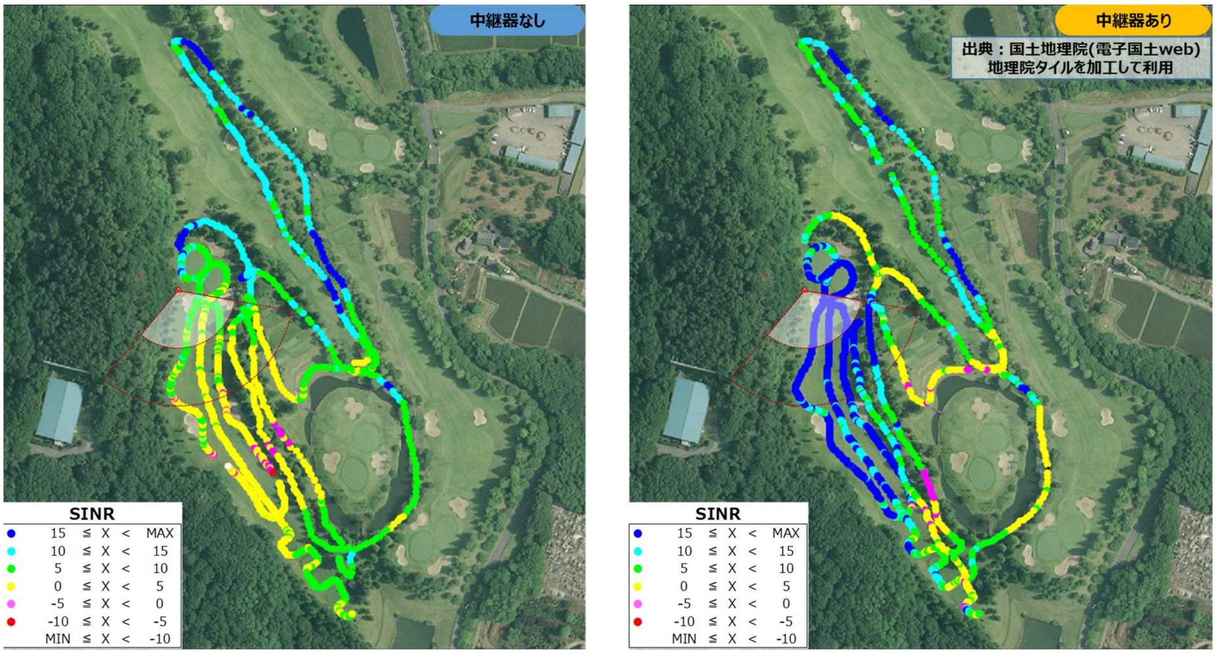


図 3.3-50　中継器設置前後における SINR 測定結果（周辺環境確認）

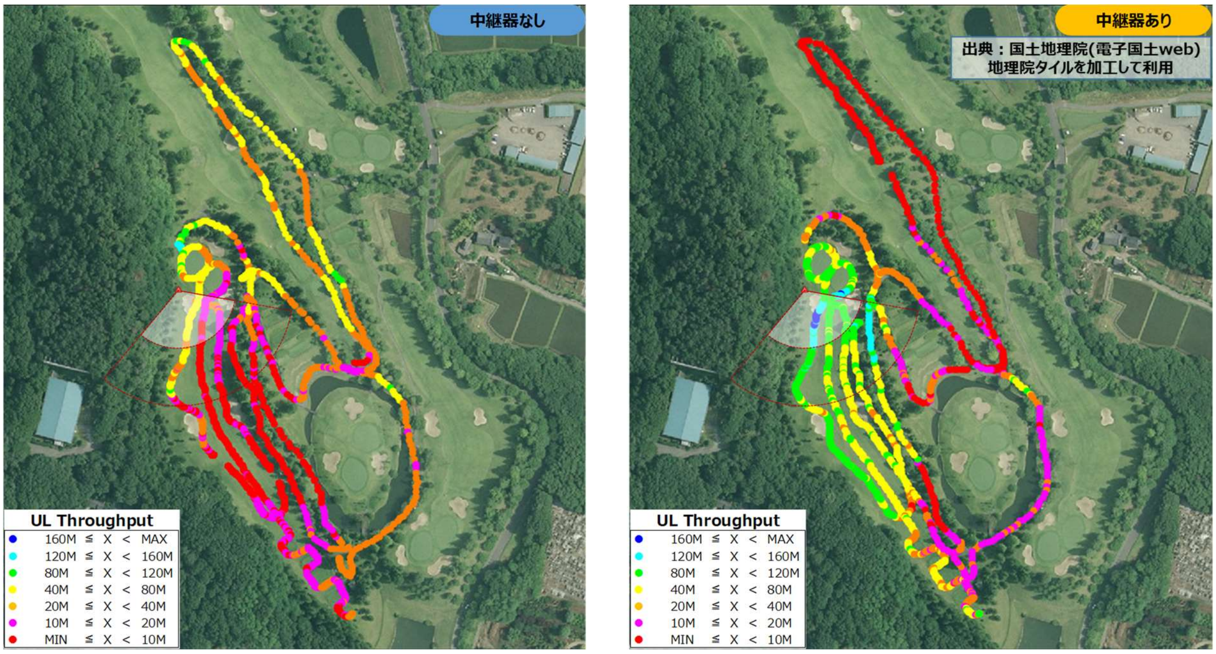


図 3.3-51　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果（周辺環境確認）

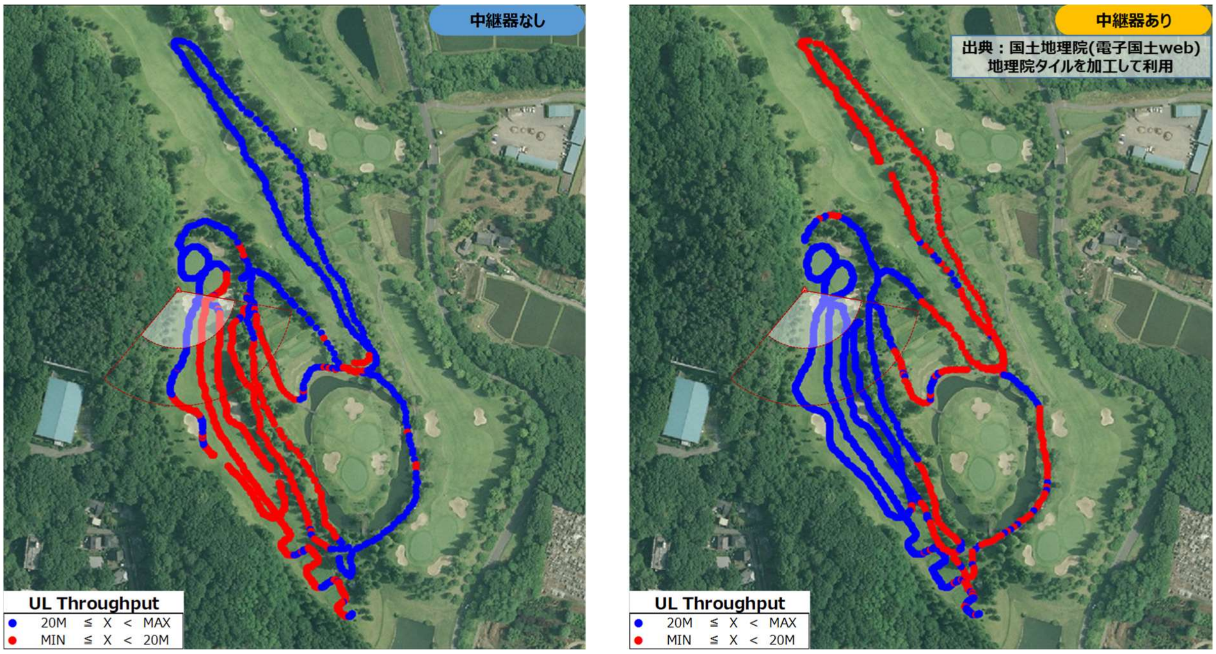


図 3.3-52　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果 2（周辺環境確認）

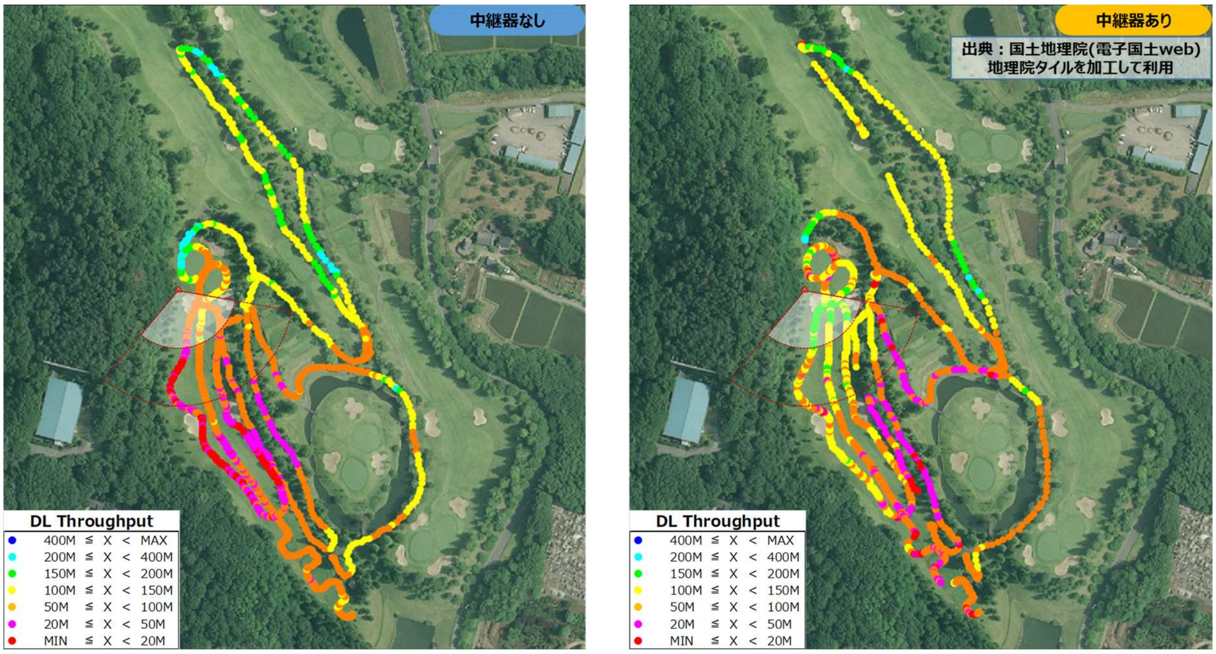


図 3.3-53　中継器設置前後におけるダウンリンク伝送スループット測定結果（周辺環境確認）

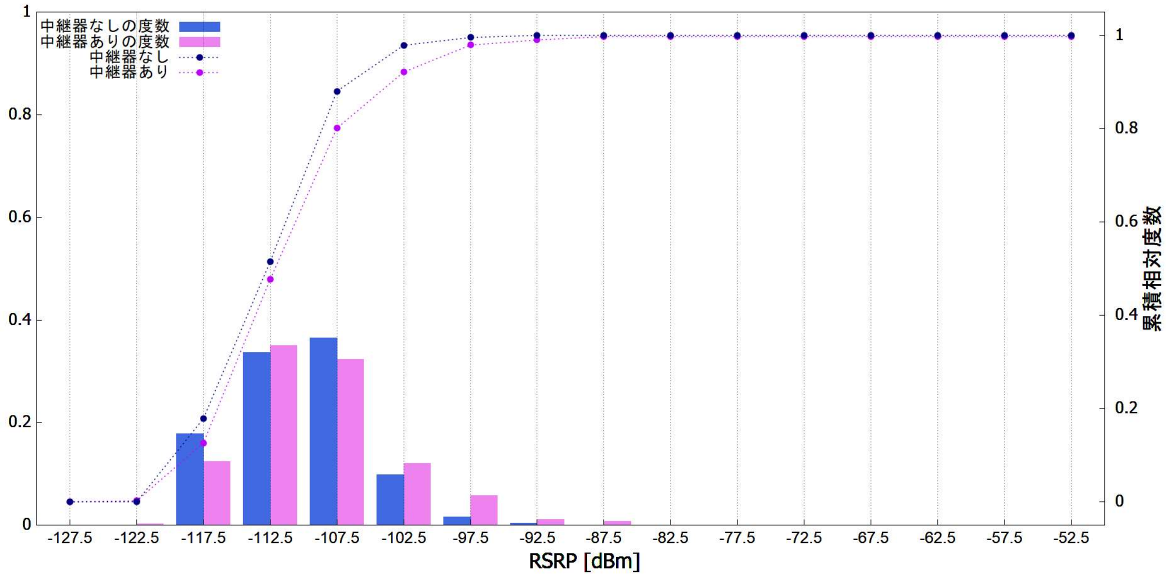


図 3.3-54　12 番ホール内における受信電力（SS-RSRP）の変化（周辺環境確認）

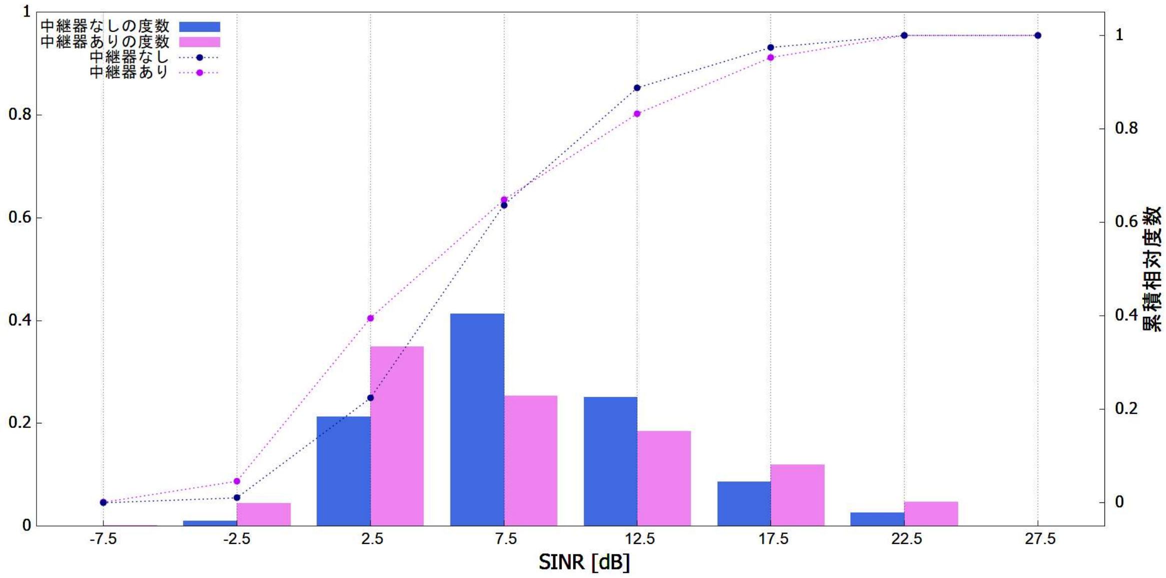


図 3.3-55　12 番ホール内における SINR の変化（周辺環境確認）

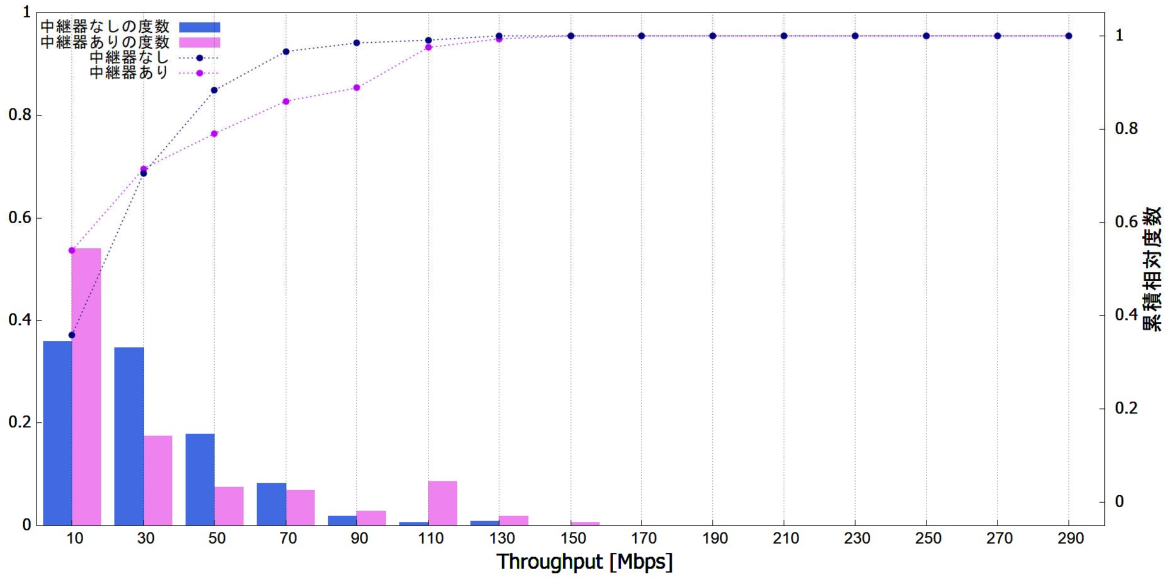


図 3.3-56　12 番ホール内におけるアップリンク伝送スループットの変化（周辺環境確認）

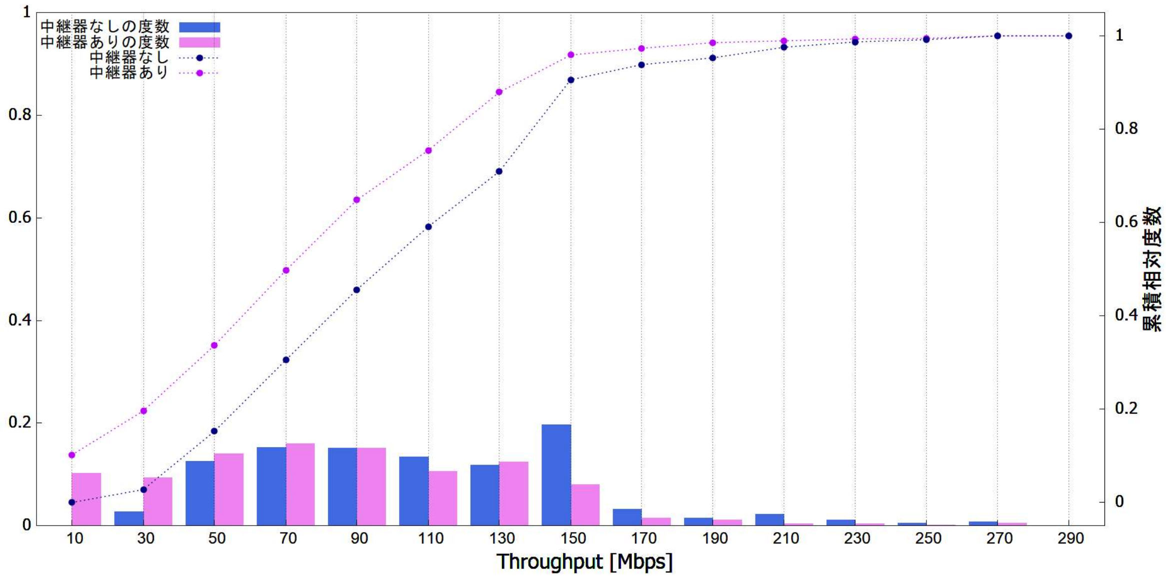


図 3.3-57　12 番ホール内におけるダウンリンク伝送スループットの変化（周辺環境確認）

12 番ホールの周辺環境については、受信電力（SS-RSRP）は改善傾向にあるものの、中継器から離れた場所では SINR、アップリンク／ダウンリンク伝送スループットが劣化していることが分かった。12 番ホール内では大きな改善に繋がったが、周辺環境については比較的広範囲に影響が出ている状態であり、中継器のアンテナ半値角が 120°を超えていることが大きな要因となっている。本実証では広範囲での弱電エリアの解消を目的として同アンテナを採用したが、ゴルフ場内のコース特性を考慮すると、周辺環境への影響を最小限に抑えるにはビーム幅を絞った半値角の小さいアンテナを用いることが有効であると考える。

ゴルフ場東端の 2 番ホール・グリーン付近の弱電界エリアに対して、図 3.3-58 のように中継器を設置し、事前と事後で歩行測定を実施した結果を図 3.3-59～図 3.3-63 に示す。

受信電力（SS-RSRP）、SINR、アップリンク伝送スループットについては、想定するエリアよりも広く品質改善できたが、ダウンリンク伝送スループットについては、グリーン右奥、並びにティーイング・エリア付近で設置前よりも低下する結果となった。

図 3.3-58　中継器の設置状況（2 番ホール）

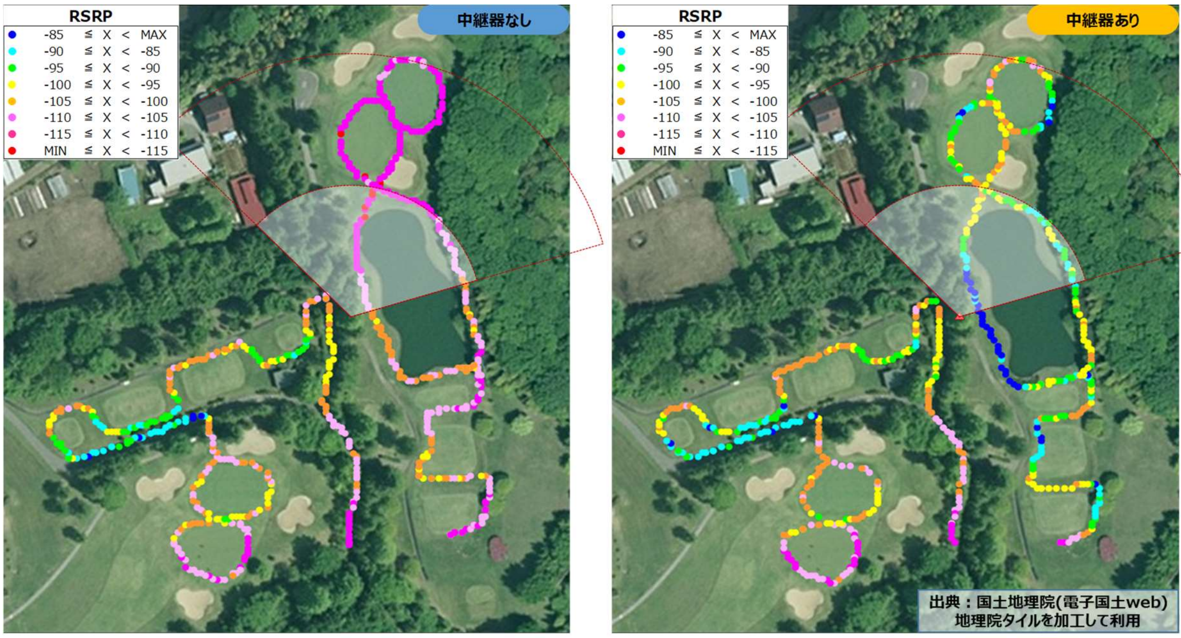


図 3.3-59　中継器設置前後における SS-RSRP 測定結果（2 番ホール）

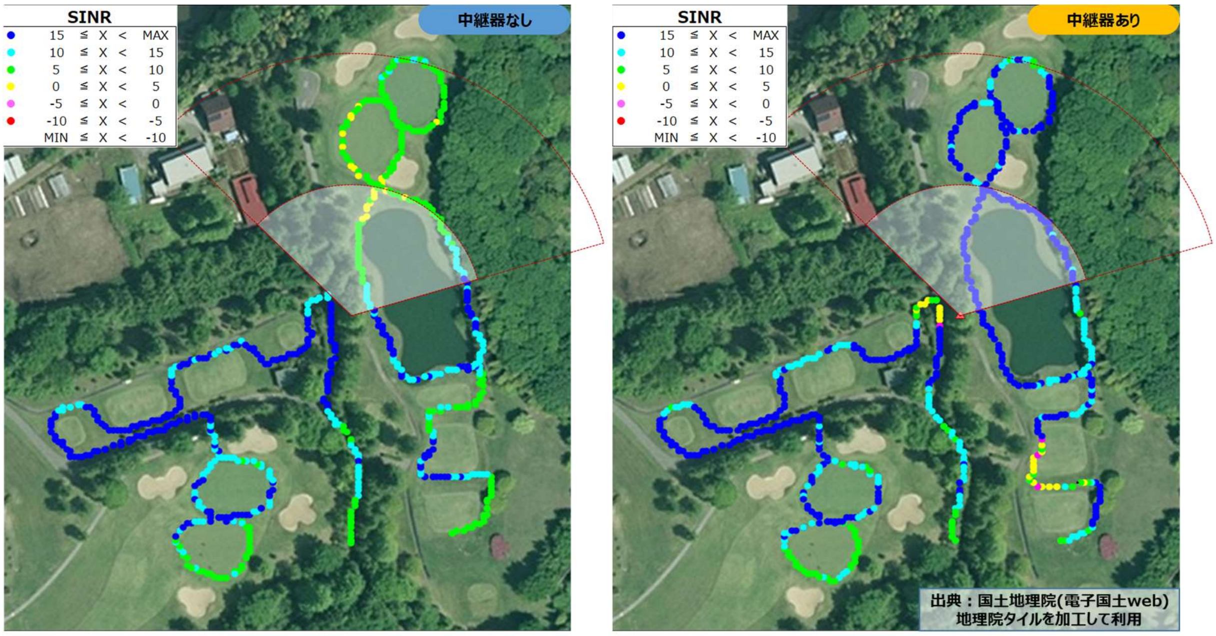


図 3.3-60　中継器設置前後における SINR 測定結果（2 番ホール）

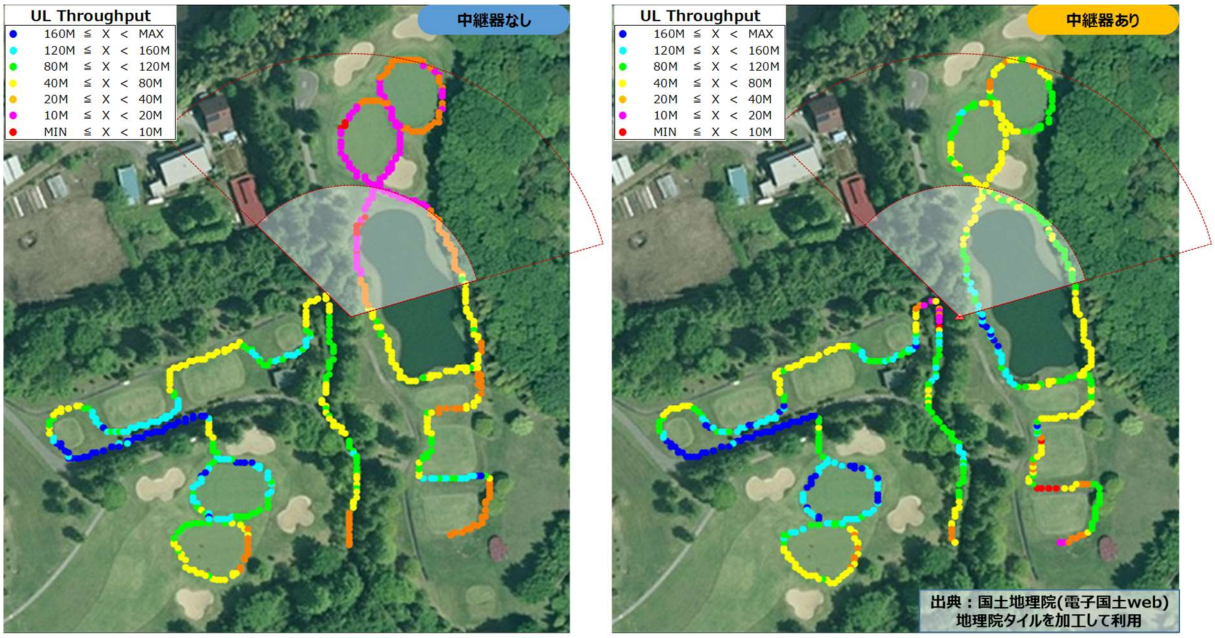


図 3.3-61　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果（2 番ホール）

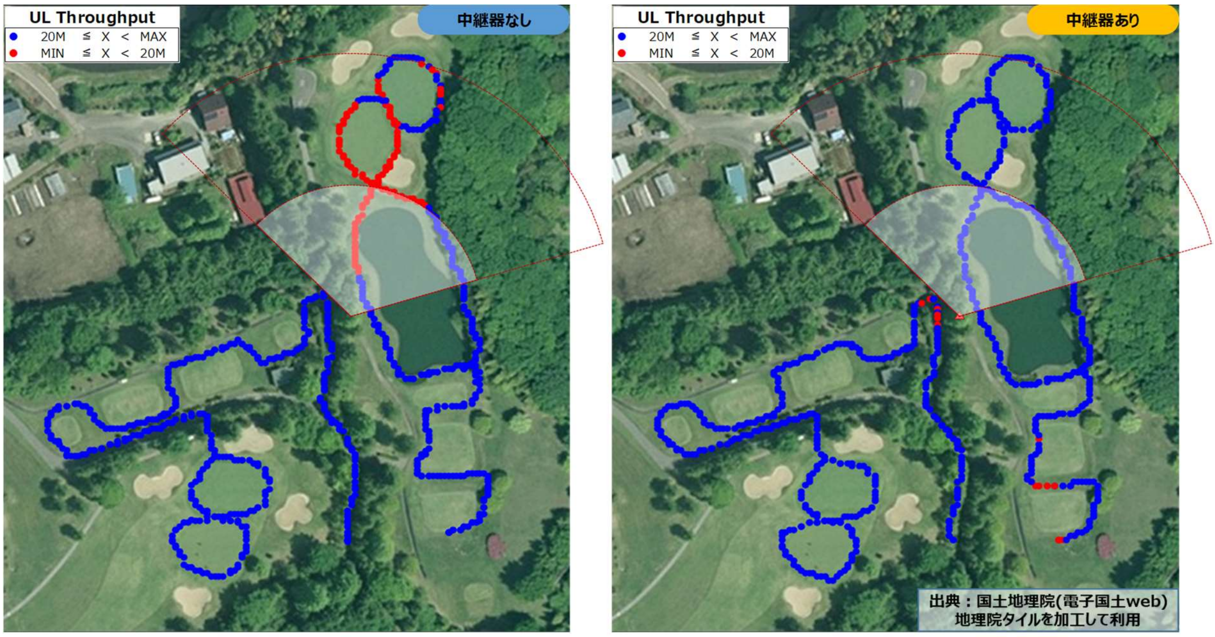


図 3.3-62　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果 2（2 番ホール）

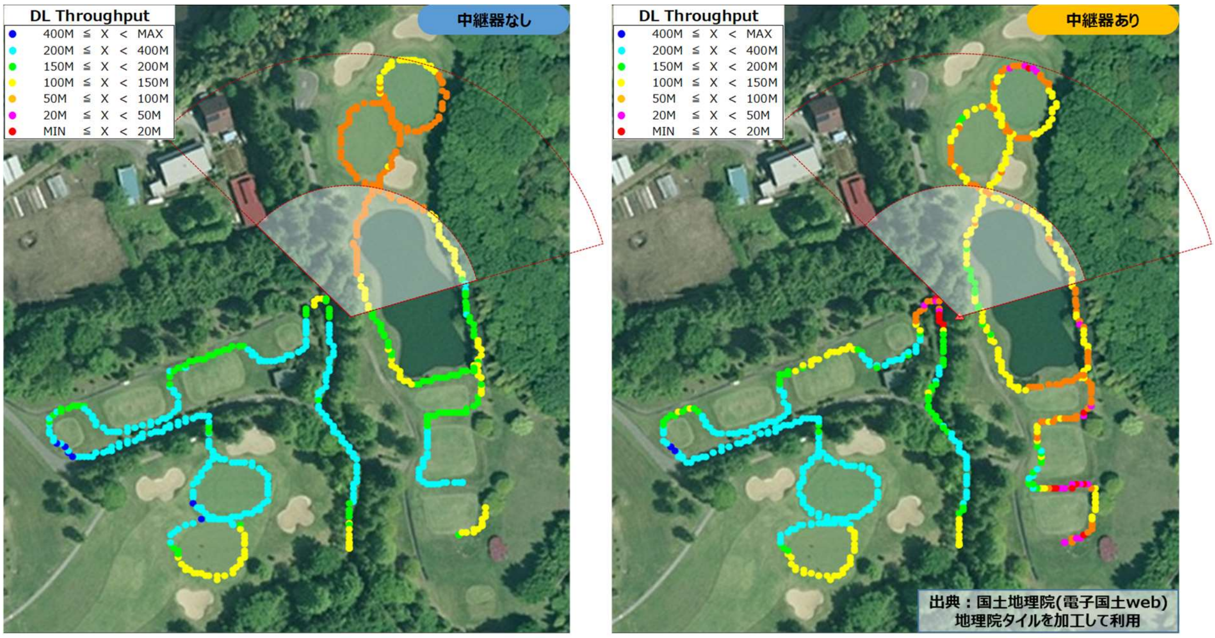


図 3.3-63　中継器設置前後におけるダウンリンク伝送スループット測定結果（2 番ホール）

ゴルフ場西端の 14 番ホール・グリーン付近の弱電界エリアに対して、図 3.3-64 のように中継器を設置し、事前と事後で歩行測定を実施した結果を図 3.3-65～図 3.3-69 に示す。

中継器の指向方向については、受信電力（SS-RSRP)、SINR、アップリンク伝送スループット、並びにダウンリンク伝送スループットが改善され、想定するエリアよりも広く品質改善できた。14 番ホールのグリーン近辺は、セクター2（180°方向）とセクター3（330°方向）のちょうど真ん中に位置し、カバーエリア外となっていたが、中継器の導入によりエリア化することが

できた。一方で、中継距離も南側のコース内では、想定よりも強く中継波が到達しており、干渉により品質が劣化する結果となった。前述の通り、本実証では広範囲での弱電エリアの解消を目的として半値角が広いアンテナ（約 120 度）を採用したが、周辺環境への影響が大きいため、ビーム幅を絞った半値角の小さいアンテナを用いる必要がある。

図 3.3-64　中継器の設置状況（14 番ホール）

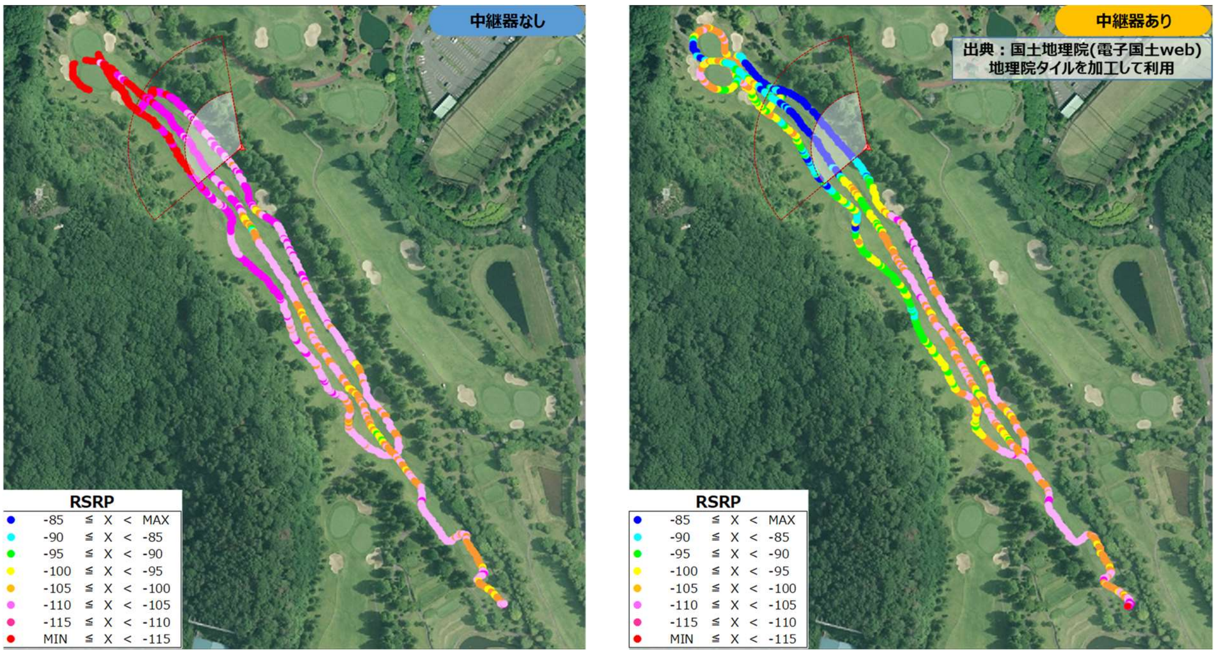


図 3.3-65　中継器設置前後における SS-RSRP 測定結果（14 番ホール）

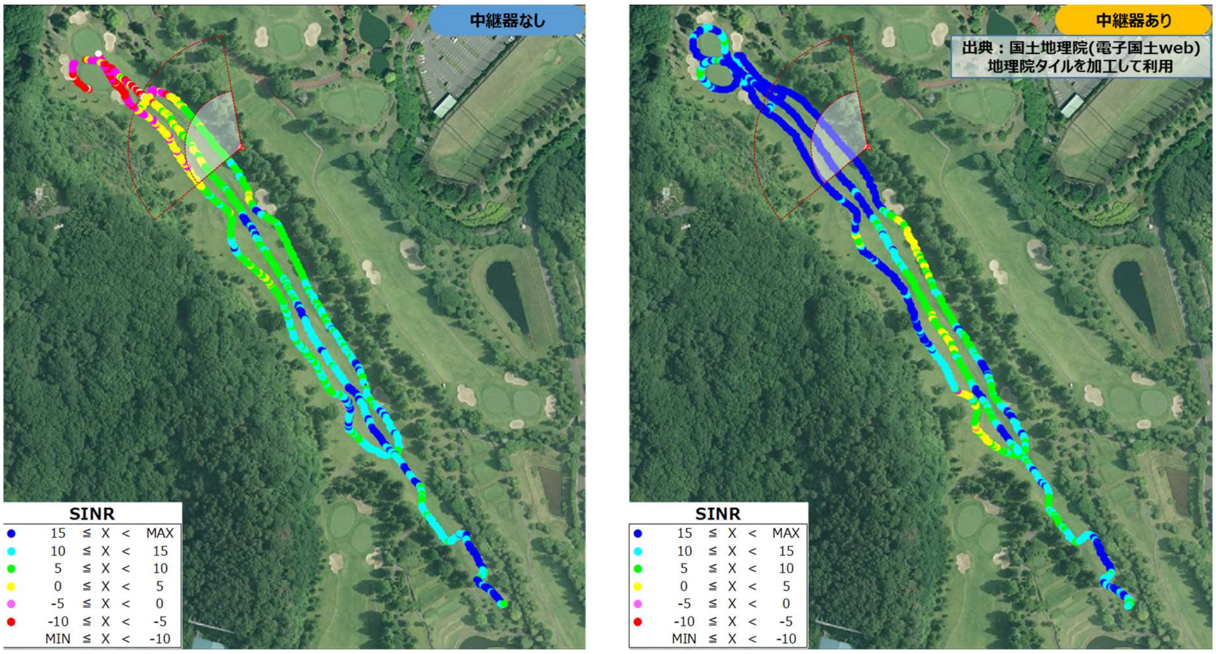


図 3.3-66　中継器設置前後における SINR 測定結果（14 番ホール）

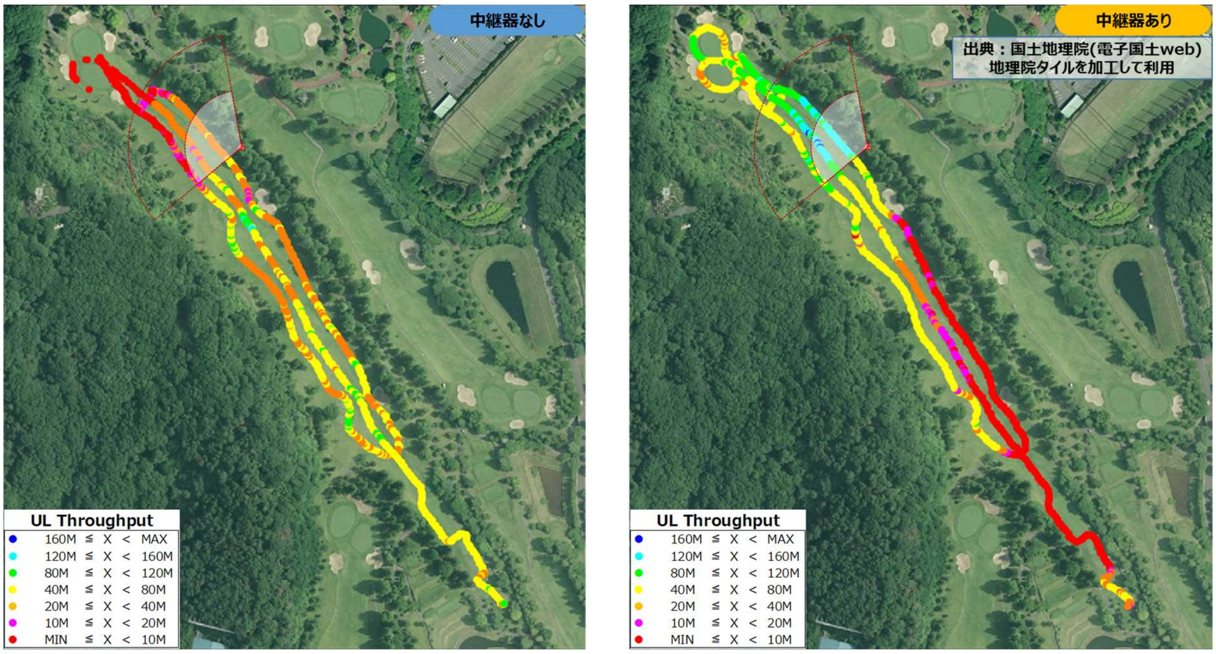


図 3.3-67　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果（14 番ホール）

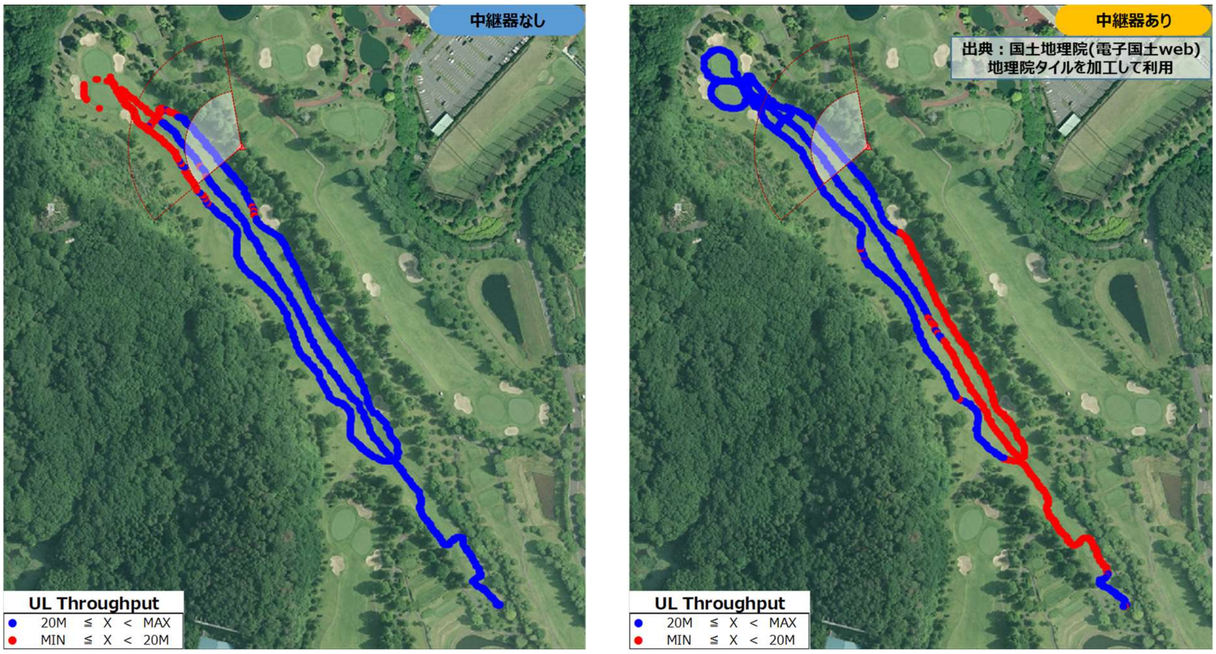


図 3.3-68　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループット測定結果 2（14 番ホール）

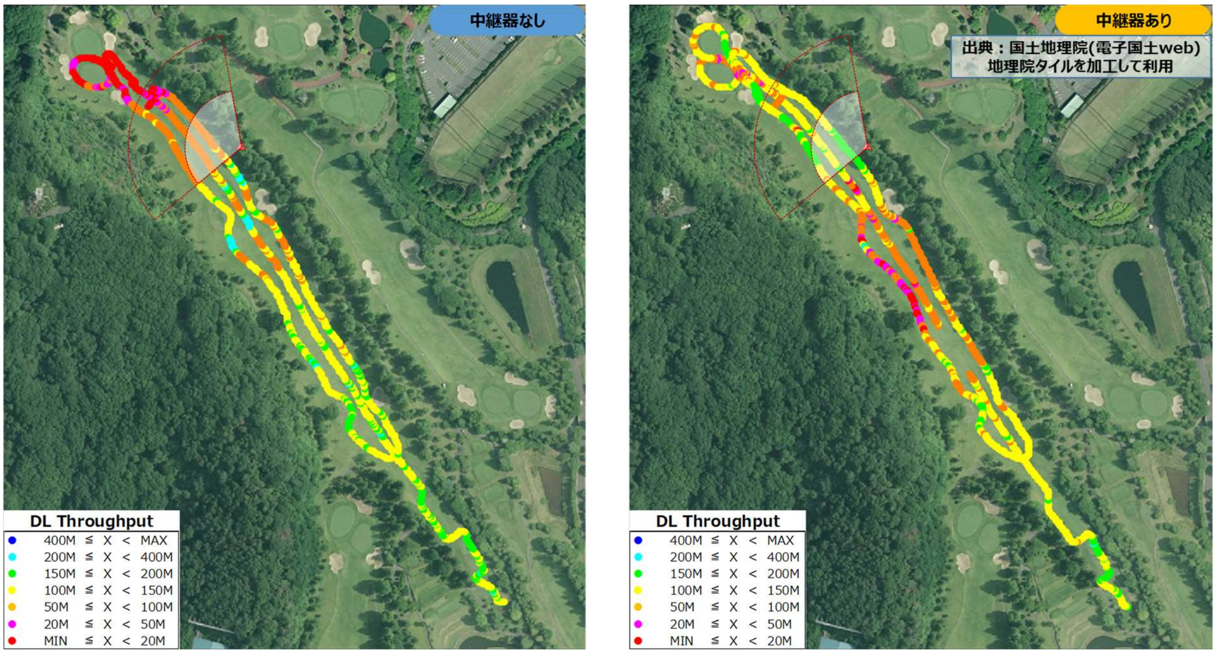
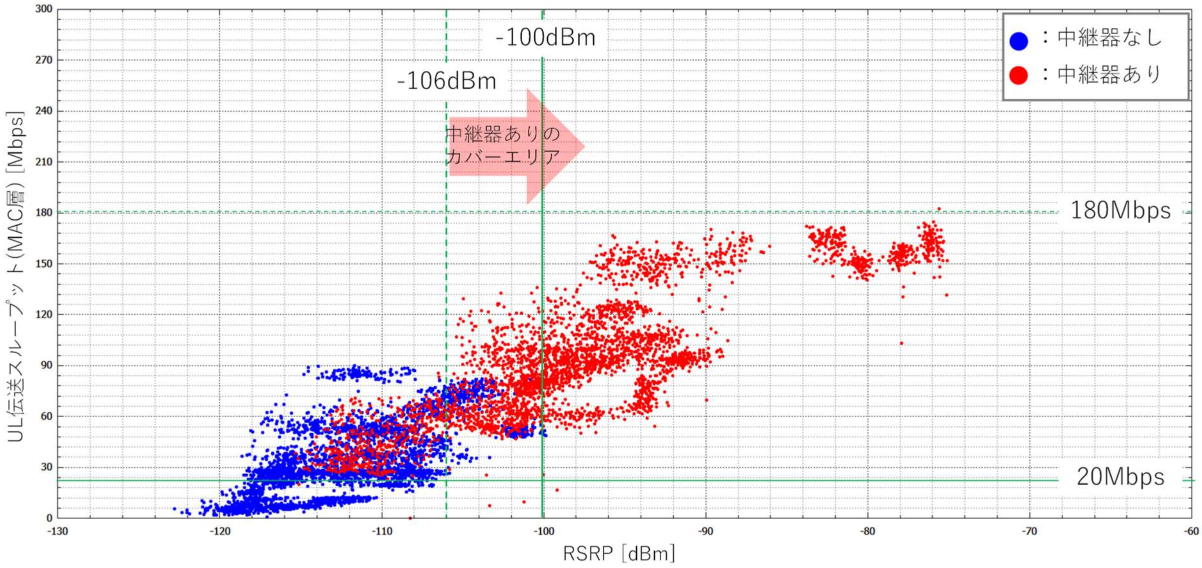


図 3.3-69　中継器設置前後におけるダウンリンク伝送スループット測定結果（14 番ホール）

中継器による改善効果を確認するために実施した測定結果を用いて、中継器のカバーエリアにおける受信電力（SS-RSRP）及び SINR と伝送スループットの相関図を図 3.3-70 と図 3.3-71 に示す。相関図の作成にあたっては、サービス・アンテナの指向方向を中心に±60°の範囲内にある定点測定結果を中継器のカバーエリアとした。



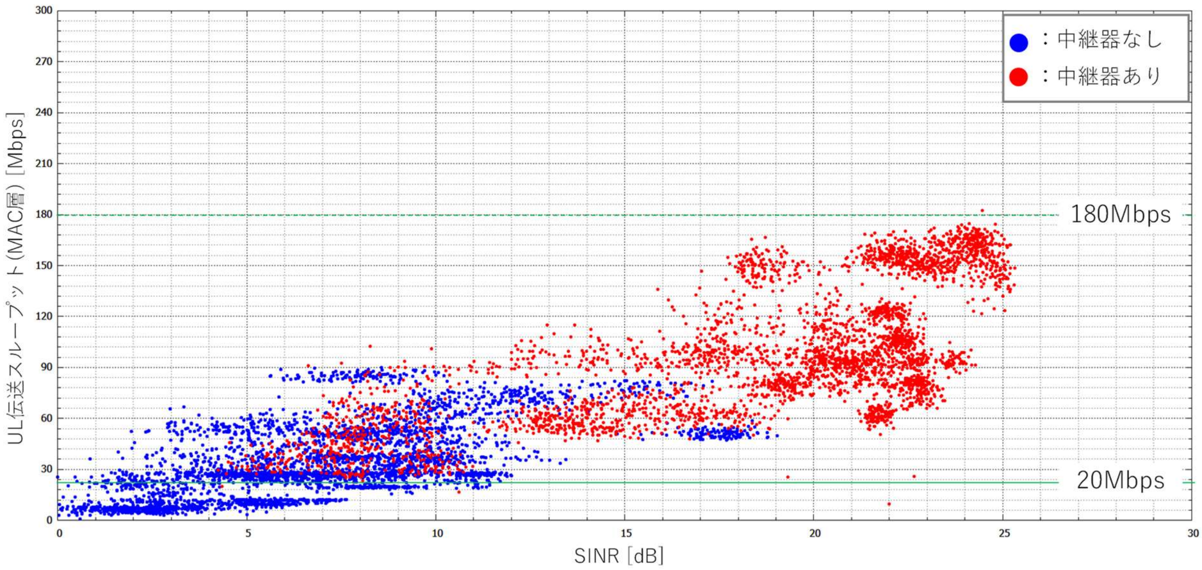


図 3.3-70　中継器設置前後における SS-RSRP／SINR とアップリンク伝送スループットの相関図

アップリンク伝送スループットに関する相関については、受信電力（SS-RSRP）が高くなるにつれ、アップリンク伝送スループットも改善されていき、受信電力が-90dBm を超えたところから約 180Mbps で頭打ちになっている。試験に用いた中継器は SISO（1×1）方式を採用しており、100MHz(SCS=30kHz)帯域幅でのほぼ限界値となっている。受信電力が-110dBm 以下となっても 20Mbps 以上のアップリンク伝送スループットを確保しており、汎用的に利活用が期待できる品質を確保できている。

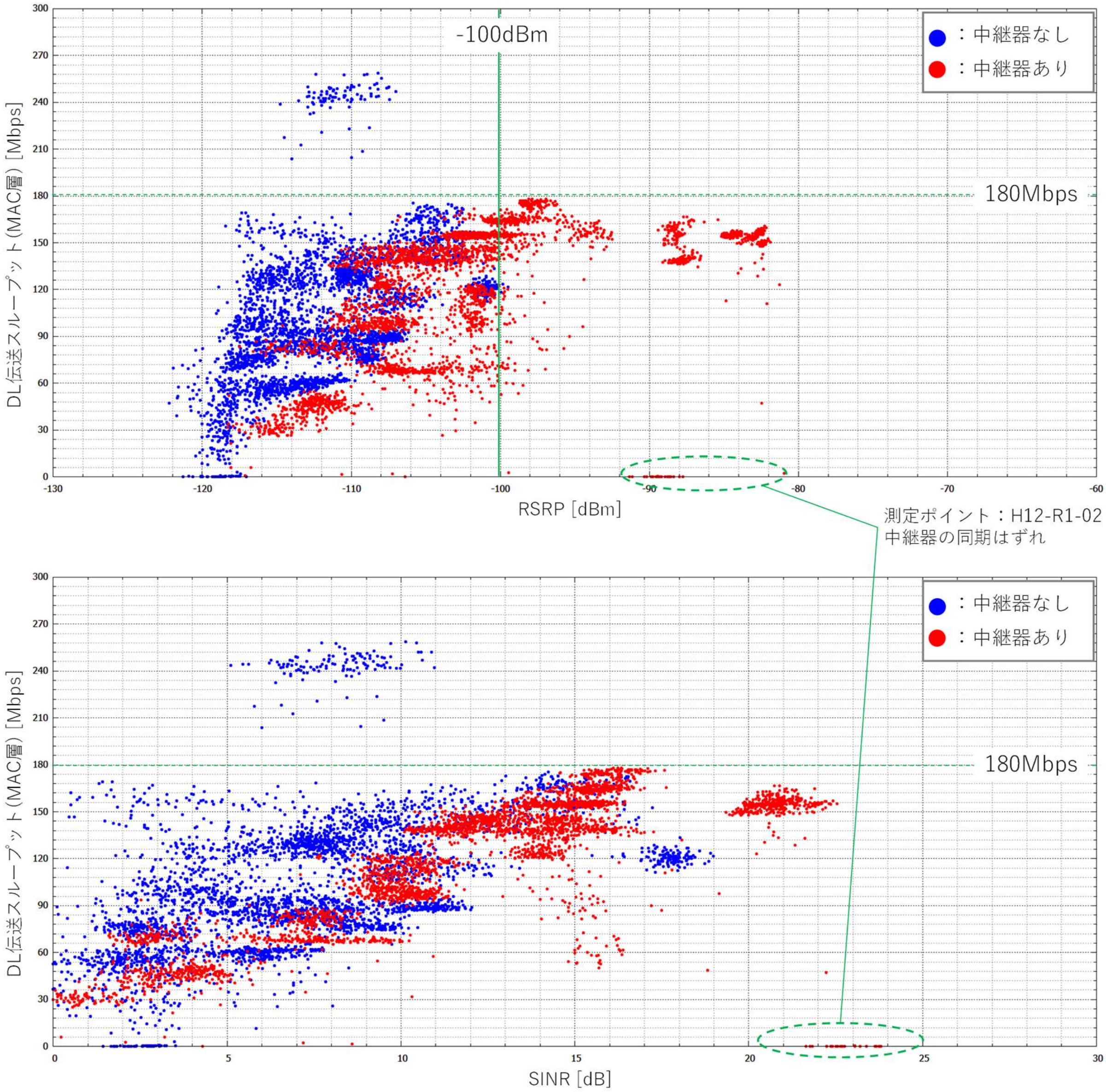


図 3.3-71　中継器設置前後における SS-RSRP／SINR とダウンリンク伝送スループットの相関図

ダウンリンク伝送スループットに関する相関では、高い受信電力（SS-RSRP）／SINR でダウンリンク伝送スループットが 0Mbps となる現象が確認されており、中継器の同期外れによるものであることが分かっている。本事象については、端末からの出力が中継器のドナー側に飛び込むために発生していることが判明しており、製品化までに対策を講じる予定である。

受信電力（SS-RSRP）が高くなるにつれ、ダウンリンク伝送スループットも改善されていき、受信電力が-100dBm を超えたところから、アップリン伝送スループットと同様に約 180Mbps で頭打ちになっている。中継器がない状態での相関図でも受信電力が-105dBm を超えたあたりから約 180Mbps で頭打ちになる現象が見られるが、一方で、受信電力が-110dBm で 200Mbps を超える伝送スループットになっており、この時の MCS は平均で 15（64QAM）、Layer 数の平均値も 2 となっており、安定した MIMO(2×2)の通信となっていた。試験に用いた中継器は

SISO（1×1）となっていることから、受信品質の状況によっては、ダウンリンク伝送スループットが下がることが想定される。

12 番ホール内を歩行により測定した結果を用いて作成した、受信電力（SS-RSRP）及び SINR と伝送スループットの相関図を図 3.3-72 と図 3.3-73 に示す。定点測定と同じ傾向が示されており、広範囲に渡ってエリア改善されていることが分かる。

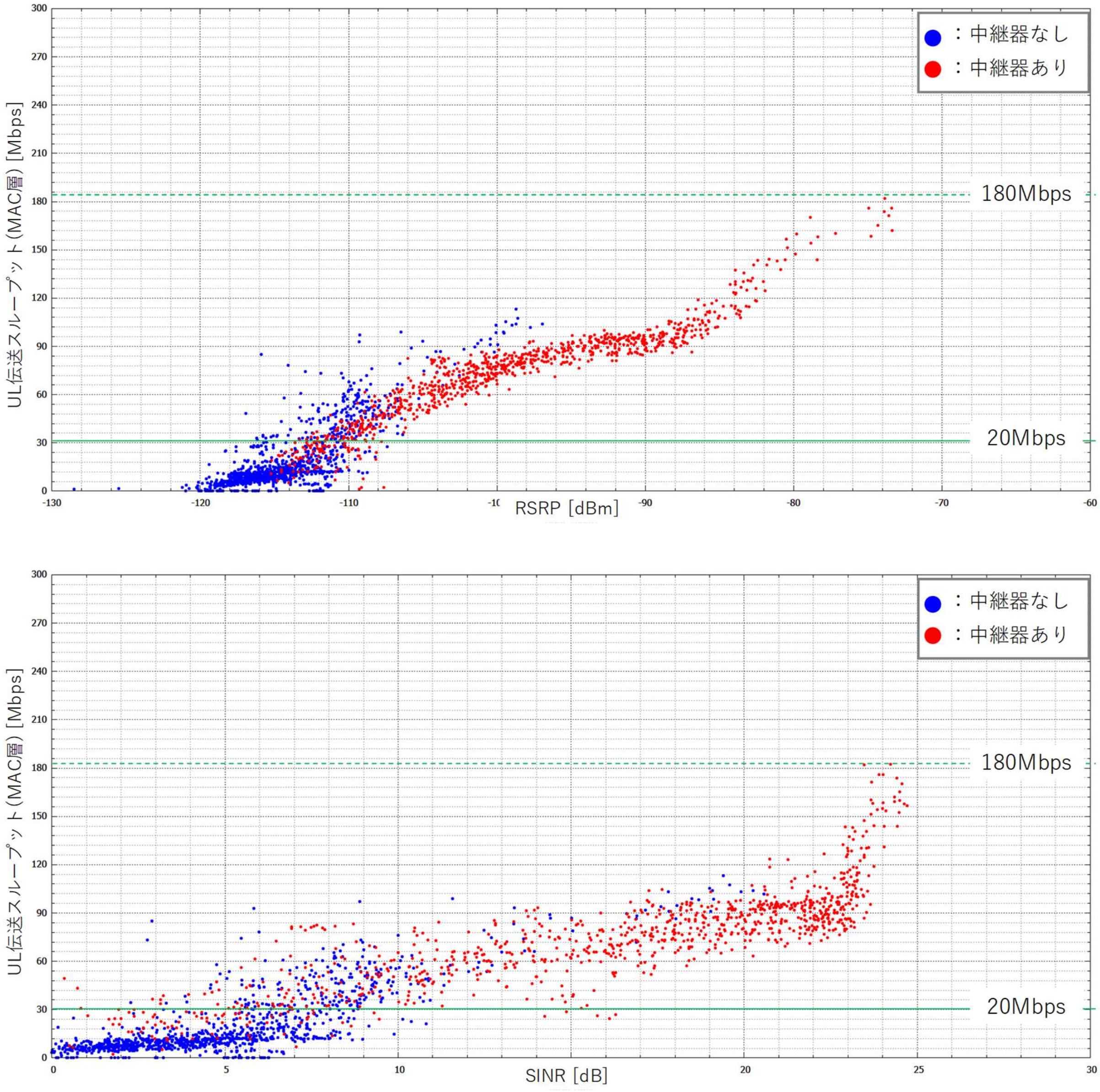
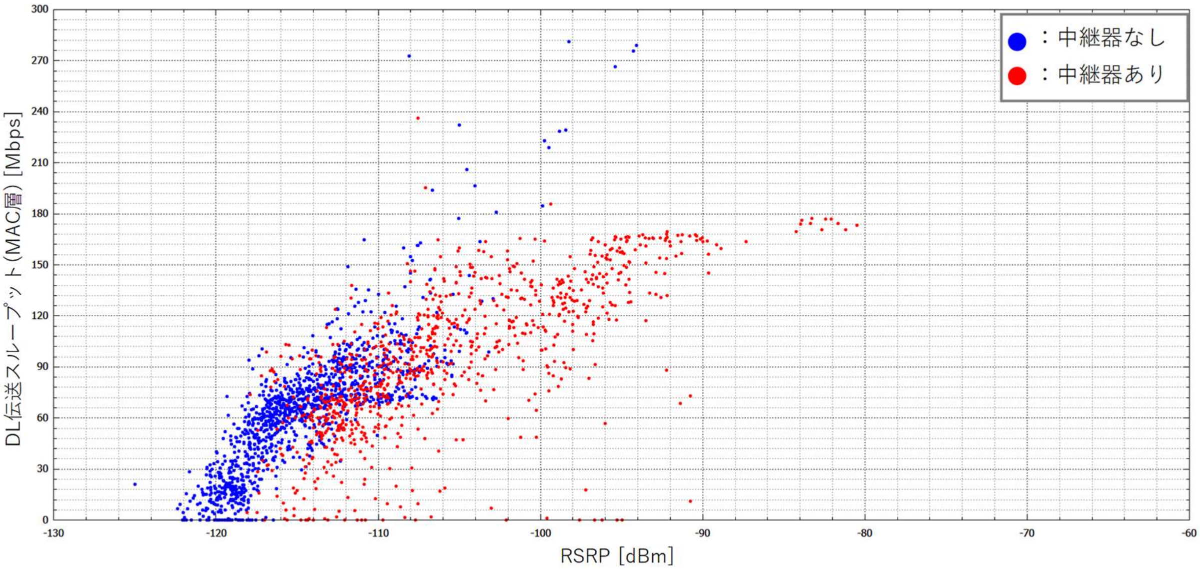


図 3.3-72　中継器設置前後におけるアップリンク伝送スループットの相関図（12 番ホール内）



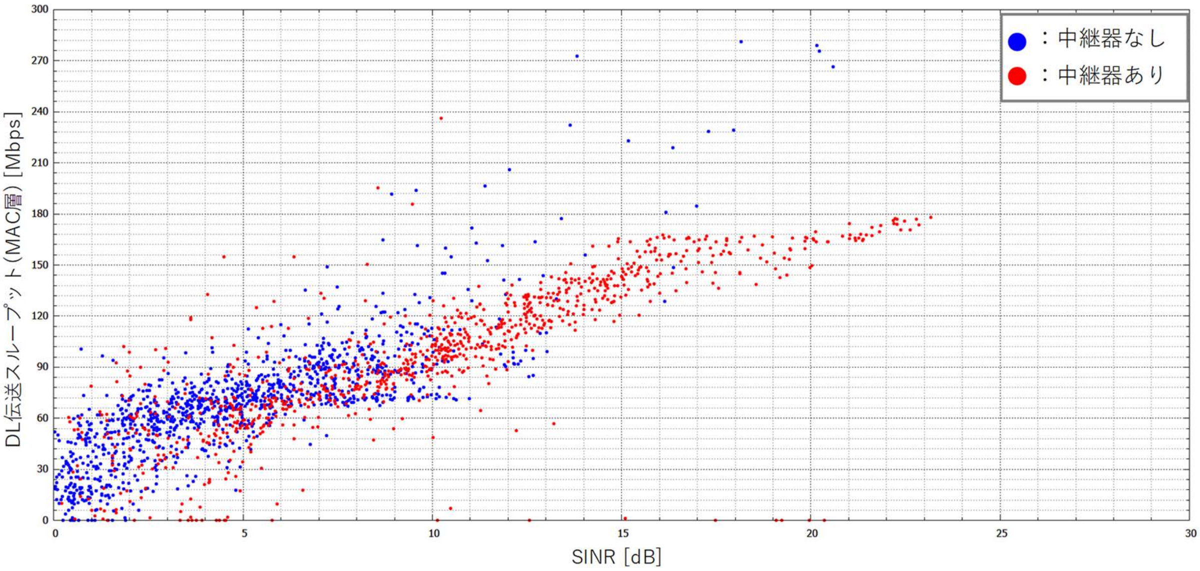


図 3.3-73　中継器設置前後におけるダウンリンク伝送スループットの相関図（12 番ホール内

・中継器による基地局カバーエリア及び干渉調整区域への影響確認

中継器の設置による周辺環境の変化を確認するため、エリア算出法による基地局カバーエリア及び干渉調整区域の端部、中継器によるカバーエリア及び干渉調整区域端部、カバーエリア閾値及び干渉調整区域閾値が観測される点において測定を実施した地点とその関係性を図 3.3-74～図 3.3-75 に、観測地点ごとの結果と中継器設置前後の差分について表 3.3-28～表 3.3-30 に示す。

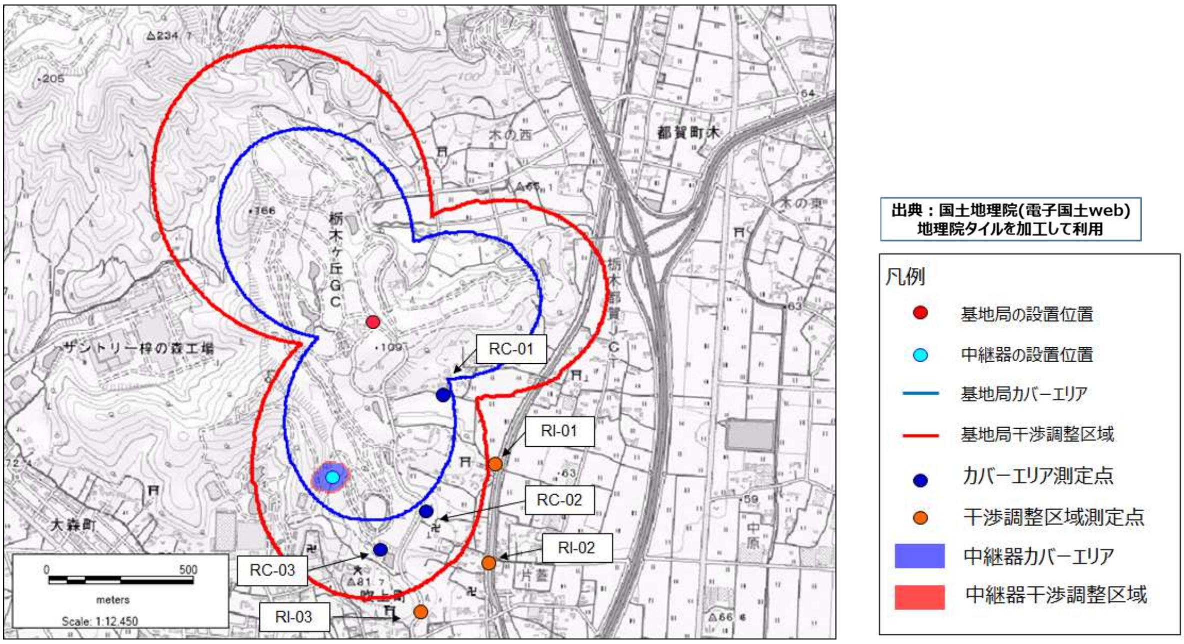


図 3.3-74　エリア算出法による基地局・中継器のカバーエリア及び干渉調整区域端と測定地点

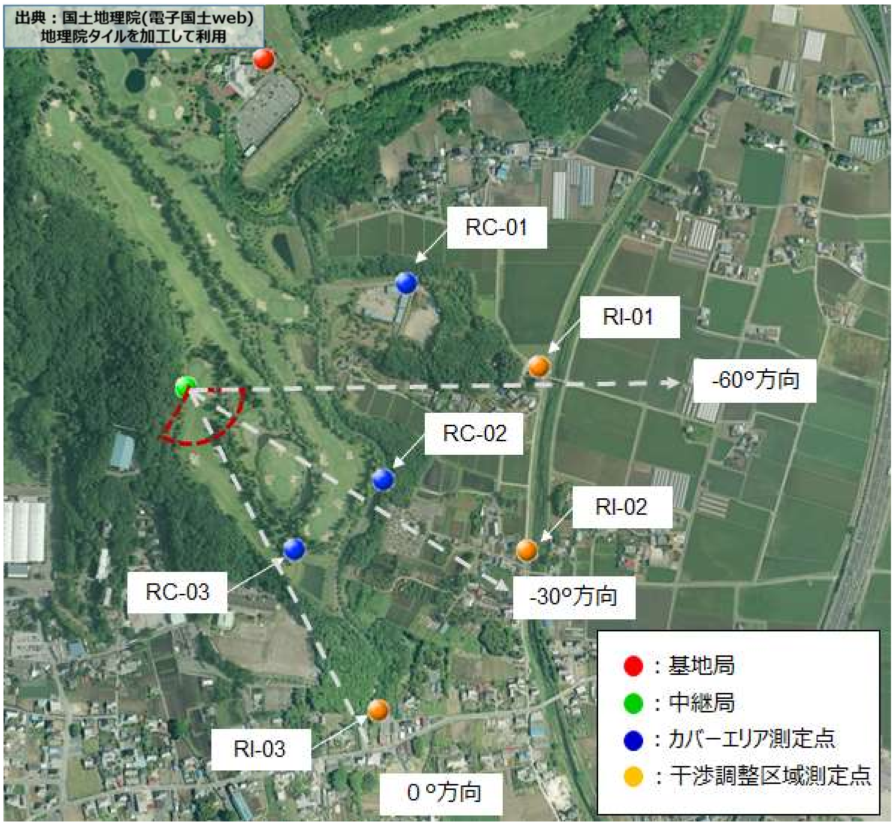


図 3.3-75　中継器のサービス・アンテナ指向方向と測定地点の関係図

本実証では基地局のカバーエリア内に生じた弱電界エリアに対して中継器による対策を実施したため、図 3.3-74 に示す通り中継器のカバーエリア及び干渉調整区域は基地局のカバーエリアに内包される。そのため、以下のように測定ポイントを設定し、中継器による対策前後における受信電力の比較を行うことにより、基地局のカバーエリア及び干渉調整区域に対して、中継器による影響がないことを確認した。

中継器サービス・アンテナのメインビーム方向を中心（0˚）として 30˚ごとに測定点を設けるようにカバーエリア及び調整対象区域の閾値が観測できるポイントを捜索した。

30˚方向においては、山林等の地形の関係上、各閾値を観測できる測定ポイントを設けることができないため、測定を実施しなかった。60˚方向、90˚方向においても同様である。

0˚～-60˚方向においては、±5˚に収まる範囲でポイントを設定することができたが、-60˚方向のカバーエリア端においては、閾値が観測できるポイントに山林及び民家が存在するため北側へ位置を変更して測定を実施した。

-90˚方向以北においては、中継器サービス・アンテナの半値角から外れることに加え、基地局との位置関係から直接波が支配的であることが明らかであるため、測定ポイントを設けなかった。

表 3.3-28　カバーエリア及び干渉調整区域端における RSRP 測定値　中継器なし

カバーエリア／干渉調整区域におけるSS-RSRP　中継器なし									
No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]			
				基地局	中継器	中央値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	RC-01	420.6	386.5	NLOS	NLOS	-118.1	3.56	-114.8	-124.7
2	RC-02	690.7	345.2	NLOS	NLOS	-117.8	3.72	-113.7	-123.7
3	RC-03	776.0	311.4	NLOS	NLOS	-118.0	4.04	-112.8	-124.0
4	RI-01	652.7	560.0	NLOS	NLOS	-127.0	1.33	-125.5	-129.0
5	RI-02	882.1	600.4	NLOS	NLOS	-127.4	2.55	-124.2	-130.8
6	RI-03	1043.1	594.9	NLOS	NLOS	-125.8	3.95	-120.0	-130.9

表 3.3-29　カバーエリア及び干渉調整区域端における RSRP 測定値　中継器あり

カバーエリア／干渉調整区域におけるSS-RSRP　中継器あり									
No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP [dBm]			
				基地局	中継器	中央値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	RC-01	420.6	386.5	NLOS	NLOS	-117.6	3.73	-114.4	-124.5
2	RC-02	690.7	345.2	NLOS	NLOS	-118.4	3.54	-114.5	-123.8
3	RC-03	776.0	311.4	NLOS	NLOS	-119.3	3.41	-114.9	-124.2
4	RI-01	652.7	560.0	NLOS	NLOS	-127.1	1.44	-125.4	-129.1
5	RI-02	882.1	600.4	NLOS	NLOS	-126.9	2.05	-124.6	-129.7
6	RI-03	1043.1	594.9	NLOS	NLOS	-126.9	2.27	-124.3	-130.1

表 3.3-30　カバーエリア及び干渉調整区域端部における測定値比較

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	中継器からの距離 [m]	見通し (LOS/NLOS)		SS-RSRP 中央値 [dBm]		差分 [dB]
				基地局	中継器	設置前	設置後	
1	RC-01	420.6	386.5	NLOS	NLOS	-118.1	-117.6	0.5
2	RC-02	690.7	345.2	NLOS	NLOS	-117.8	-118.4	-0.6
3	RC-03	776.0	311.4	NLOS	NLOS	-118.0	-119.3	-1.4
4	RI-01	652.7	560.0	NLOS	NLOS	-127.0	-127.1	-0.1
5	RI-02	882.1	600.4	NLOS	NLOS	-127.4	-126.9	0.5
6	RI-03	1043.1	594.9	NLOS	NLOS	-125.8	-126.9	-1.1

表 3.3-30 に示す通り、各地点の測定結果を比較したところ、差分は+0.5dB ～ -1.4dB の範囲に収まる結果となり、中継器による対策前後において有意な差は認められなかった。

本実証において基地局カバーエリア内に設置した中継器から発射した電波は、基地局本来のカバーエリア及び干渉調整区域の広さへの影響はないと判断できる。

・中継器導入プロセスの整理

本実証における中継器導入プロセスを表 3.3-31 に示す。

表 3.3-31　本実証における中継器導入プロセス

	実施内容	概要
STEP1	サービス品質の定義	サービスエリアに求められる品質基準（RSRP>-100dBm ／ UL Throughput>= 20Mbps）を設定。
STEP2	サービスエリアの定義と測定ルートの選定	ユースケースを想定して、ティーイング・エリア、フェアウェイ、グリーンをサービスエリアと定義し、ルートを選定。また、中継器の設置が可能なポイント（入力レベル-95dBm 以上）を探ることが可能なルートを追加
STEP3	歩行測定	STEP2 で選定したルートにて、位置情報(GPS データ)、受信電力とアップリンク伝送スループットを計測。
STEP4	測定結果の可視化と弱電界エリア（改善予定地点）の選定	測定結果を地図上に表示（可視化）し、アップリンク伝送スループットが 20Mbps に満たないエリアと当該エリア付近に受信電力が-95dBm 以上となっているポイントがある地点を抽出
STEP5	机上検討	基地局、中継器、サービス対象エリアへのリンクバジェット等を計算
STEP6	中継器設置場所におけるサイトサーベイ	中継器への入力レベルを満足するドナー・アンテナ（基地局向き）の設置場所とアンテナ高を調査。想定するカバーエリアを実現でき、ドナー・アンテナとのアイソレーション（90dB）が確保可能なサービス・アンテナ（端末向き）の位置を調査
STEP7	カバーエリア内測定	中継器からの電波を受信して通信が可能かを簡易的に確認
STEP8	実証試験	

本実証では、ゴルフ場内の樹木遮蔽等による弱電界エリアを抽出するため、コース内における受信電力等を歩行による実測を行い、測定した結果を可視化し、中継器によりカバーする弱電界エリ

ア（RSRP≦-100dBm）と中継器の入力レベル（SS-RSRP）が-95dBm 以上となる設置地点を選定することとしていた。

歩行測定では、受信電力（SS-RSRP）の他、アップリンク伝送スループットを同時に測定し、実際の受信品質と合わせて、実証で求められる伝送性能の指標となる 20Mbps 以上となるエリアかどうかという視点を加えてエリアの抽出を行った。試験開始当初、これまでの経験から RSRP が-100dBm 以下となるエリアでアップリンク伝送スループットが 20Mbps を下回ると考えていたが、実測の結果、-100dBm 以下となっているエリアは、ゴルフ場内のほぼ大半を占めていたものの、20Mbps 以上となっているエリアが広く存在し、-100dBm を閾値として弱電エリアとすることが難しくなったことから、アップリンク伝送スループットを弱電界エリア抽出の条件に加え、中継器の設置可能な-95dBm 以上となる条件と合わせて、導入エリアを選定した。

弱電界エリアを抽出するための測定としては、歩行測定が有効であり、ゴルフ場におけるコース利用を想定して、ティーイング・エリアとグリーン周り、及びフェアウェイを密に測定できるようにルート選定を行った。また、ゴルフ場内に中継器を設置する場合、お客様がプレーするコース内やカート道沿いなどには設置できないといった制限があることから、設置可能な場所となり得るコース外周も測定ルートに含めることにした。ゴルフ場の地形は起伏に富み、基地局からの見通し外エリアとなることが大半である一方、コース外周は起伏が大きいものの比較的高い場所に位置するため、コース内よりも高い受信レベルが期待できる。

選定したルートで歩行測定を実施したのち、アップリンク伝送スループットが 20Mbps に満たないエリアが判別でき、受信電力が-95dBm 以上となっているポイント抽出できるよう測定結果を地図上に表示（可視化）して、中継器を導入するエリアを選定した。中継器への入力レベルについては、測定した地上高が 1.5m となっており、実際の導入に際しては基地局向きのドナー・アンテナの設置高を高くすることができるため、基準値については再検討することが望ましい。

中継器の設置位置は、中継器入力レベルを満足するドナー・アンテナ（基地局向けのアンテナ）の位置と、品質改善したいエリアをカバーできるサービス・アンテナ（ユーザ端末向けのアンテナ）の位置により決まり、中継器のドナー側とサービス側の所要アイソレーションを確保できる距離やサイトエンジニアリングが重要である。事前に机上検討により設置位置関係の検討はするものの、実際は設置候補場所の周辺で電波測定を含む調査を行い、場所とアンテナ高、指向方向を決定するプロセスが必要となる。ドナー・アンテナの位置が決まった後、改善したいエリアをカバーでき、かつアイソレーション確保が可能なサービス・アンテナの設置位置を、実際に測定を行いながら決定している。アイソレーションの確保については、距離による離隔の他、高低差やアンテナパターンを考慮した角度などを踏まえて決定することになるが、周辺の遮蔽物などを利用することも有効な手段となるため、本事象では、弱電エリアの 1 つの要因となっている樹木を利用してアイソレーションの確保を行っている。

本実証において、中継器を設置する際に考慮した基本的な指針を以下に示す。

① 基地局に対して吹き戻しとなるような方向にサービス・アンテナを向けない
② ドナー・アンテナ（基地局向け）とサービス・アンテナ（端末向け）の指向方向の角度差は、

それぞれの半値角の 1/2 を足した値よりも大きくすることとし、できるだけ 180 度に近づける

③ ドナー・アンテナとサービス・アンテナの設置高（海抜高）は高低差が出るようにして、ドナー・アンテナの方を高く設定する

④ 中継器への入力レベル（ドナー側)、並びに設置視点における伝送性能を確認する。

①については、中継器のドナー側とサービス側でループが起きやすく、アイソレーションの確保が困難であることから一般的に実施はしない。②については、それぞれのアンテナの半値角方向が被ってしまうと水平面でのアイソレーション確保が困難となるため、双方の半値角が被らないようにすることが重要であり、理想はお互いが反対方向を向く 180 度となるがアンテナパターンによる。③については垂直方向のアイソレーション確保で重要になり、端末からの電波の影響を少なくするためにはドナー・アンテナの方を高く設定する必要がある。④については受信電力だけでは伝送性能が決まらないケースがあるため、実環境において目標とする伝送性能（スループットや遅延時間）を満足した状態で基地局との通信ができるかを確認する必要がある。

・中継器とその他方式による整備の比較

ゴルフ場へのローカル 5G の普及においては、基地局を設置する場所の確保が課題となる。クラブハウスや各ホールの間は樹木により遮蔽されているケースが多く、電波の到達が不十分なエリアが生じる可能性が高いため、1 つの基地局でゴルフ場内を全てカバーすることは困難である。これらの課題を解決し、エリア構築の柔軟性向上を目指す方策としては、今回、実証を行った中継器の他、DAS（分散アンテナシステム)、LCX（漏洩同軸ケーブル)、電波反射板、スモールセル等が候補に挙げられる。ゴルフ場において電波の到達が不十分なエリアへの対策として挙げられるこれらのシステムについて、その特徴や施工等を整理し比較検討を行う。

検討システムのうち LCX（漏洩同軸ケーブル）を用いた整備については、その目的が LCX の近傍領域のエリアカバーを目的としているため、ゴルフ場のような広大な屋外環境の整備には不向きであることと、ゴルフ場内に設置可能な場所がないため、比較検討は行わないことにする。

コストの算出において、各システムの機器費用については、導入の過渡期にあり一般的な価格帯が提示されていない、もしくは幅があることから、本検討では対象とせず、一般的な特徴、設置に関する費用（工事費用）についてのみ言及する。

中継器、DAS（分散アンテナシステム)、スモールセル、電波反射板を設置する費用を算出するにあたり、本実証で中継器による試験を実施した栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の 12 番ホール・グリーン下付近を整備対象エリアとした。

ゴルフ場内で電源を確保するには、売店や東屋、トイレなどがあるが、各ホールにあるわけではなく広く分散している形となっている。また、ゴルフ場内に構造物を設置する際の基本的な考え方としては、お客様のプレーや移動を妨げない、目立たないようにする（景観に配慮する）などがあり、このような条件を満足できない場所への建柱やケーブルの架空敷設は不可となっている。

これらの条件を踏まえ、12 番ホール・グリーン下付近を整備する場合、図 3.3-76 に示すように電源は 12 番ホールのティーイング・エリアに隣接する東屋から取得し、ゴルフ場の東端の方に埋設しながら、機材設置場所となるグリーン近くまでの約 400m 敷設する必要がある。光ケーブル等の通信線については、既設の配管ルートでの敷設が可能であり、ローカル 5G 用の光回線等が集約されているクラブハウスから電源取得位置となる東屋まで約 1350m と、東屋から機材設置位置までの 400m の埋設が必要となる。

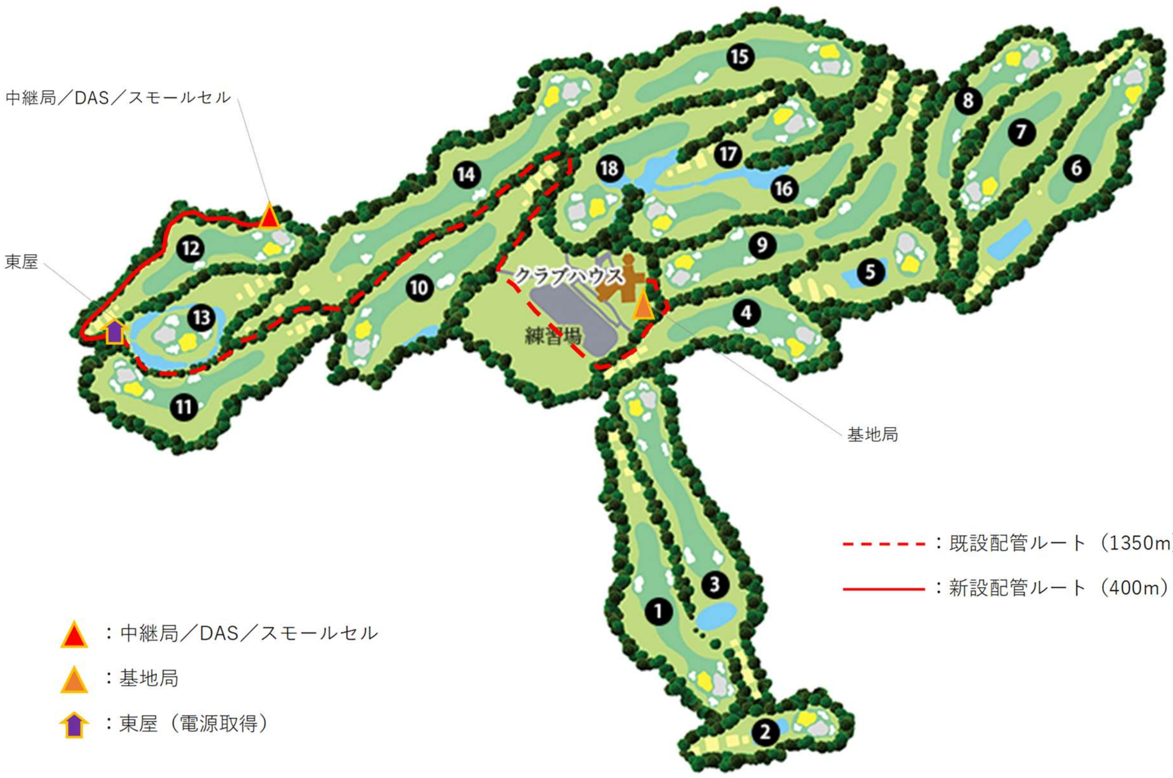


図 3.3-76　弱電エリア(12 番ホール・グリーン下付近)の対策：ゴルフ場内の位置関係

以下に、中継器、DAS（分散アンテナシステム)、及び電波反射板を用いて、ゴルフ場の 12 番ホールの弱電界エリアを解決する場合の基本的な条件を記載する。

① 機器の設置は、お客様の邪魔にならないコース外とし、なるべく目立たないようにする。
② 電源を必要とする機器への電源供給は、12 番ホールのティーイング・エリアに隣接する東屋とし、OB ライン上に埋設配管する（約 400m）
③ 通信線（光ファイバー等）の敷設は既設の東屋までの配管ルート（1350m）とし、新たに同ルート上に掘削して配管し、埋め戻す。
④ それぞれの機器構成（設置構成）は、図 3.3-77～図 3.3-80 と仮定する。

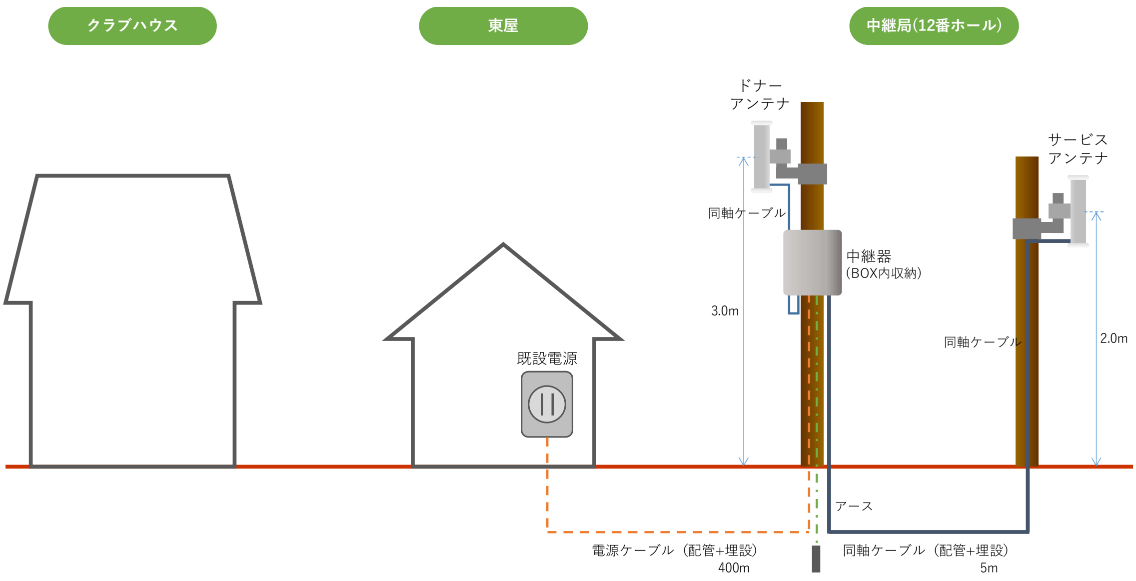


図 3.3-77　弱電エリア(12 番ホール・グリーン下付近)の対策：中継局による整備

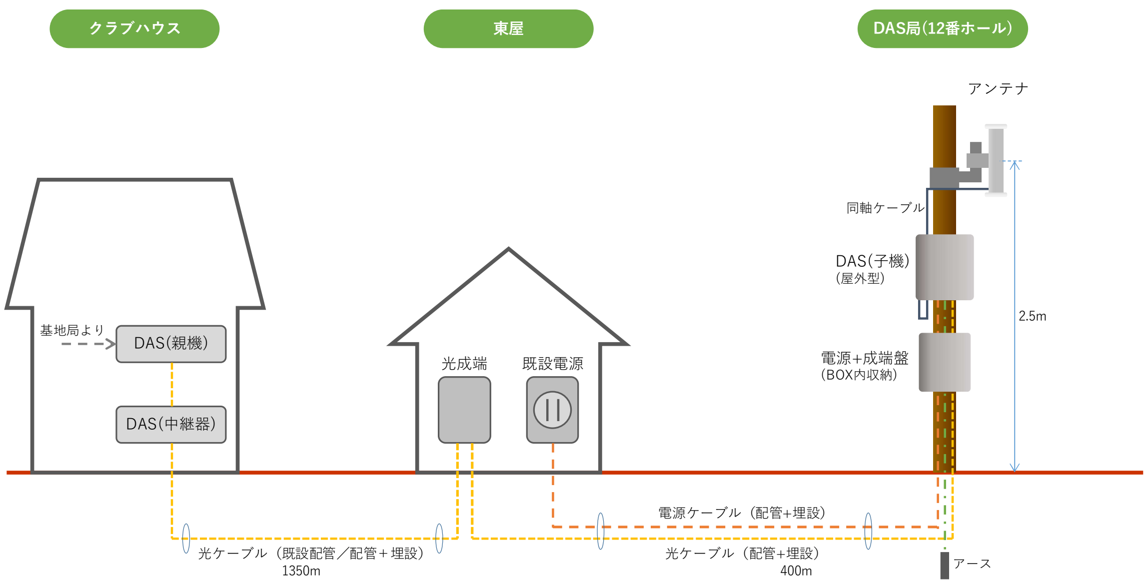


図 3.3-78　弱電エリア(12 番ホール・グリーン下付近)の対策：DAS による整備

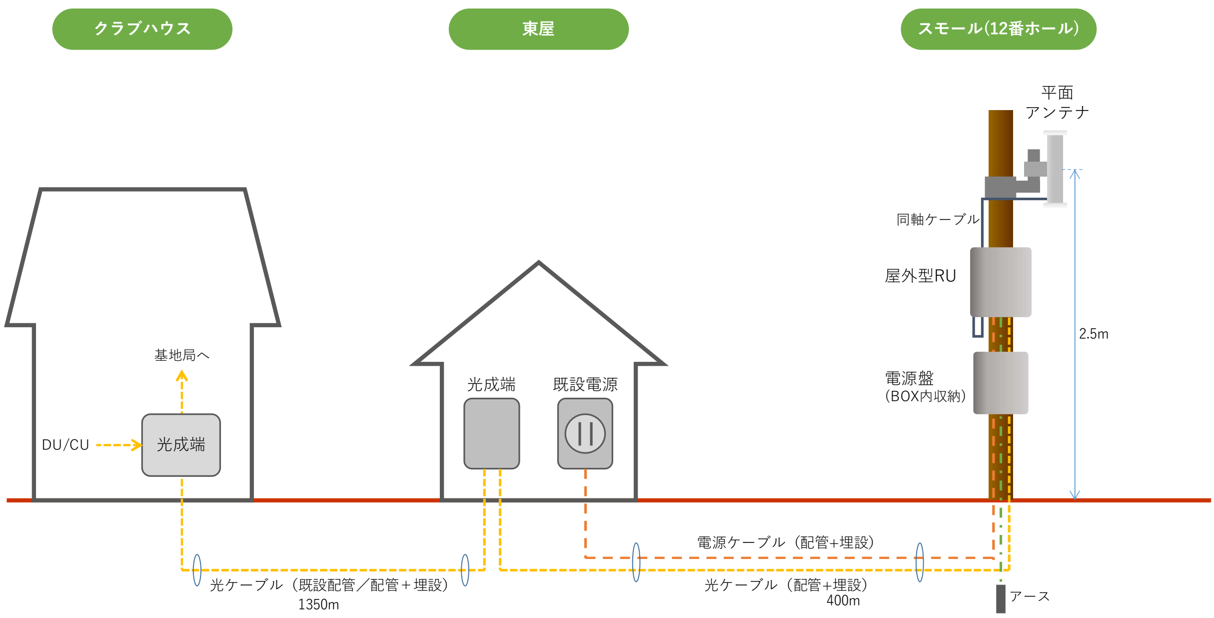


図 3.3-79　弱電エリア(12 番ホール・グリーン下付近)の対策：スモールセルによる整備

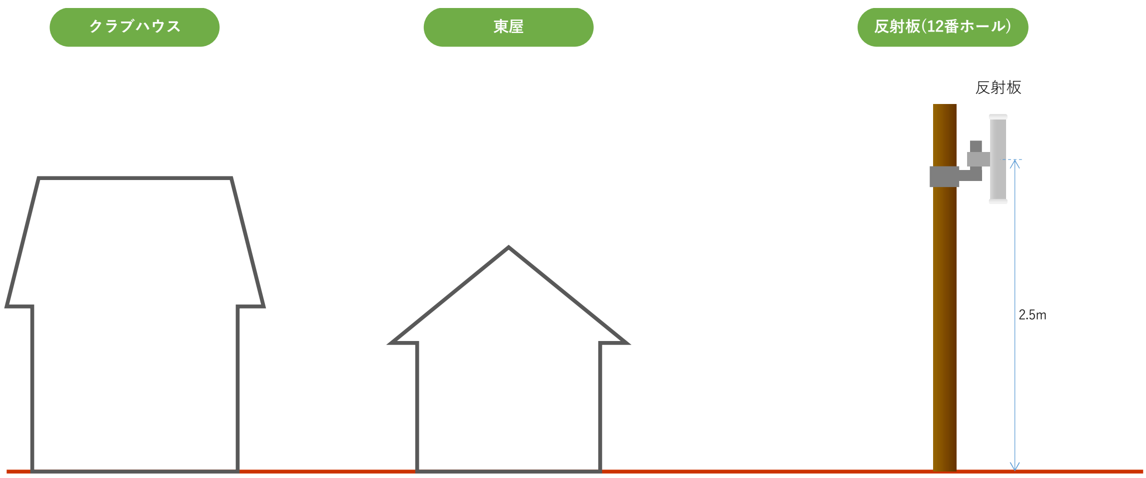


図 3.3-80　弱電エリア(12 番ホール・グリーン下付近)の対策：反射板による整備

表 3.3-32 に中継器とその他方式による設置の容易性比を、表 3.3-33 に上記条件を踏まえた設置のコストの比較結果を示す。

ゴルフ場の様に設置条件が厳しい場所への対策としては、電波反射板や中継器が適切であると言う結果になった。特に通信線が必要となる対策においては、埋設による敷設が基本となることから施工コストが課題となる。

表 3.3-32　設置の容易性比較

評価項目	電波反射板 （反射板素材：金属/メタマテリアル）	中継器	分散アンテナシステム（DAS） (Active DAS/Passive DAS)	スモールセル
設置位置 （アクセス面、面積）	○（△） ・反射板サイズに依存するが小面積で設置可能 ・基地局及び対策エリアに対する見通しが必要 ・ゴルフ場の景観に影響を与える可能性があり、設置場所の選定が困難 ※高利得な対策を必要とする場合、反射板が巨大化するため、その場合の評価は（）表示	○ ・ドナー及びサービスアンテナの支持柱が必要 ・ポール 2 本分の面積が必要 ・基地局及び対策エリアに対する見通しが必要だがドナーアンテナとサービスアンテナを分離することである程度柔軟な設置場所選定が可能 ・アンテナ以外の機器の隠蔽設置が可能	○ ・機器及びアンテナの支持柱が必要 ・中継器と異なり、柱に一定以上の強度が必要 ・アンテナ以外の機器の隠蔽設置が可能	○ ・機器及びアンテナの支持柱が必要 ・中継器と異なり、柱に一定以上の強度が必要 ・アンテナ以外の機器の隠蔽設置が可能
付帯設備 （電源・バッテリ等の必要性）	◎ ・反射板設置場所に電源等の付帯設備は不要	○ ・中継器設置場所に電源又はバッテリが必要 ・運用方法によってバッテリのみでも運用可能	△ ・DAS 設置場所に電源が必要	△ ・スモールセル設置場所に電源が必要
伝送路の必要性	○ ・反射板設置場所までの有線伝送路は不要 ・反射板設置位置において一定以上の受信電力、信号品質と基地局に対しての見通しが必要	◎ ・中継器設置場所までの有線伝送路は不要 ・ドナーアンテナ設置地点において一定以上の受信電力、信号品質が必要	△ ・DAS 設置場所までの有線伝送路が必要	△ ・スモールセル設置場所までの有線伝送路が必要
施工の容易性	◎（△） ・設置位置選定、設計、施工ともに一定レ	○ ・設置位置選定、設計、施工ともに一定レ	△ ・設置位置選定、設計、施工ともに一	△ ・設置位置選定、設計、施工ともに一

評価項目	電波反射板 （反射板素材：金属/メタマテリアル）	中継器	分散アンテナシステム（DAS） (Active DAS/Passive DAS)	スモールセル
	ベルの知識・技術を要する ・電源及び伝送路の敷設が不要であるため、他の手法と比較して施工の容易性は高い ・反射板(受風面積)が大型化した場合、強度の確保の観点から付帯設備が大型化し、施工の容易性は低くなる	ベルの知識・技術を要する ・電源の敷設が必要なため、施工の容易性は反射板と比較すると低く、伝送路の埋設が不要な分 DAS やスモールセルと比較すると高い	定レベルの知識・技術を要する ・電源及び伝送路の敷設（埋設）が必要となるため、他の手法と比較して施工の容易性は最も低い	定レベルの知識・技術を要する ・電源及び伝送路の敷設（埋設）が必要となるため、他の手法と比較して施工の容易性は最も低い
導入リードタイム	※機材発注から納入に関するリードタイムについて、現行で一般的な流通をしていないため、単純な比較検討が困難。			
移設の容易性	○(△) ・電源及び伝送路の敷設が不要であるため、施工観点での移設の容易性は高い ・メタマテリアル反射板の場合、入射角の変更に伴い、設備自体の変更が必要となる ・設置場所の再検討にあたり、一定以上の受信　電力、信号品質を確保でき、基地局と対策エリア間を結ぶ設置地点の選定が必要	○ ・移設場所への電源の敷設が必要となるため、施工観点での移設の容易性は反射板と比較して低い ・設置場所の再検討にあたり、一定以上の受信電力、信号品質を確保できる設置地点の選定が必要	△ ・移設場所への電源及び伝送路の敷設が必要となるため、他の手法と比較して施工観点での移設の容易性は最も低い	△ ・移設場所への電源及び伝送路の敷設が必要となるため、他の手法と比較して施工観点での移設の容易性は最も低い ・設置場所の再検討にあたり、移設先周辺環境の信号品質の把握、既存環境にとって干渉とならないような設計が必要となる
運用・保守	○(×) ・対策エリアからの見通しが必要となる箇所が反射板全体であることから中継器及び DAS 等で利用されるアンテナと比較して大きく、ボール衝突等による破損のリスクが高い	○ ・対策エリアからの見通しが必要となる箇所がサービスアンテナのみであり、その他の機器は隠蔽設置が可能なため、ボール衝突等による破損のリスクが低い ・電源の障害が発生した場合は復旧に時間	△ ・対策エリアからの見通しが必要となる箇所がアンテナのみであり、その他の機器は隠蔽設置が可能なため、ボール衝突等による破損のリスクが低い	△ ・対策エリアからの見通しが必要となる箇所がアンテナのみであり、その他の機器は隠蔽設置が可能なため、ボール衝突等による破損のリスクが低い

評価項目	電波反射板 （反射板素材：金属/メタマテリアル）	中継器	分散アンテナシステム（DAS） (Active DAS/Passive DAS)	スモールセル
	・反射板が大型化する場合、ゴルフ場の景観及びプレーへの影響が大きい	を要する バッテリのみで運用する場合は、バッテリの交換作業等に保守人員を要する	・電源及び伝送路において障害が発生した場合に復旧に時間を要する	・電源及び伝送路において障害が発生した場合に復旧に時間を要する
総合評価	良(不可)	良	可	可
中継器が有効となる条件や使い方	電源や伝送路が新規で敷設することが困難な場所（ゴルフ場や山小屋、浜辺など）においては、バッテリ運用が可能な省電力の中継器が有効。電波の届いていない不感地帯への局所的な対策に利用するのが最も有効な使い方と考える。			

表 3.3-33　設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 （反射板素材：金属/メタマテリアル）	中継器	分散アンテナシステム（DAS） (Active DAS/Passive DAS)	スモールセル
設備費用	現時点においては過渡期であることからどの設備においても一般的ではなく、単純な比較検討が不可			
設備施工費用	￥1,200,000- 資機材運搬及び建柱、周辺芝復旧費用	¥1,520,000- 資機材運搬及び建柱、機器装柱、周辺芝復旧費用	¥1,520,000- 資機材運搬及び建柱、機器装柱、周辺芝復旧費用	¥1,520,000- 資機材運搬及び建柱、機器装柱、周辺芝復旧費用
付帯設備費用 （電源、バッテリ等）	―	¥950,000- 電源線等部材一式	¥950,000- 電源線等部材一式	¥950,000- 電源線等部材一式
付帯設備施工費用 （電源、バッテリ等）	―	¥2,190,000-	¥2,190,000-	¥2,320,000-
伝送設備費用 （光、無線）	―	―	¥3,830,000- 必要部材等一式及び光ケーブル	¥3,830,000- 必要部材等一式及び光ケーブル
伝送設備施工費用 （光、無線）	―	―	¥7,100,000- 掘削・埋設管敷設等	¥7,100,000- 掘削・埋設管敷設等
運用・保守費用	どの方式においても、運用方法によって保守契約が変わり、一律の費用算出が不可能なため、比較検討が不可			
設備施工費 （管理費等）	¥590,000-	¥2,230,000-	¥6,020,000-	¥6,470,000-
費用合計	￥1,790,000-	¥6,890,000-	¥21,610,000-	¥22,190,000-
総合評価	良(不可)	良	不可	不可
中継器が有効となる条件や使い方	反射板は資機材を揃えて設置するだけで対策が可能であるため、他のシステムと比べて安価に導入ではあるが、限定的なエリアのみのカバーとなる。ゴルフ場のような樹木による遮蔽が多い場所では、中継器による解決が費用面においては有効となる。			

・まとめ

本技術実証で取組んだ中継器を用いたエリア構築の柔軟化（解決方策）について、実測により選定した弱電界エリアにおいて、受信電力（SS-RSRP）で 10dB 以上、アップリンク伝送スループットが 20Mbps 以上、伝送遅延時間で 100ms 以下を実現し、目標とした品質改善を達成することができた。また、想定される中継器のカバーエリア内だけでなく約 2 倍の距離まで改善効果が認められ、不感地帯を広範囲にカバーできることから、中継器によるエリア構築の有効性が確認できた。本実証で用いた低消費電力の中継器は、商用電源ではなくバッテリで長時間稼働することが可能であり、ゴルフ場という複雑な地形かつ設置場所が制限される中で、柔軟に場所を選定でき付帯工事の軽減が可能になることから、実状に応じた対策も可能になると考える。

一方で、本実証の結果を踏まえ、今後の検討課題となる点も見えてきた。

1 点目の課題は、中継器による MIMO 対応の必要性である。本実証で用いた中継器によるエリア改善において、ダウンリンク伝送スループットについては、受信電力やアップリンク伝送スループットと比べると大きく改善できたとは言いがたい結果となった。これは、本実証で用いた中継器が SISO（Single Input and Single Output）方式を採用しており、物理速度の限界値と基地局との直接通信での伝送速度との差がほとんどなかったことが要因である。中継器を用いたエリアカバーの普及のためには、より大きな改善効果と 5G の高速大容量の特徴を活かすために、中継器の MIMO（Multiple Input and Multipe Output）方式の対応についても検討する必要がある。

2 点目の課題は、中継器への入力信号の品質確保に関する課題である。中継器による対策を行う対象である弱電界エリアと中継器への所要入力レベルを満足するポイント（場所）は必ずしも設置可能な位置関係にあるわけではなく、ドナー・アンテナ（基地局向き）とサービス・アンテナ（端末向き）の設置が物理的な距離のために困難なケースも考えられる。本実証ではそのようなケースはなかったが、ドナー・アンテナとサービス・アンテナの距離が長くなる場合、アンテナケーブルだけでは限界があるため他の方策を検討する必要がある。この課題に関しては、ゴルフ場内での設置制限やコストを考慮すると、今回検証した中継器によるカスケード（多段中継）接続が有効な手段になり得ると考える。中継器によるカスケード（多段中継）接続を屋外で実現するためには、周辺環境への影響（干渉）もさることながら、遅延時間の増大が更なる課題になると考えられる。

中継器に係る技術基準は現時点で策定されておらず、総務省「新世代モバイル通信システム委員会 技術検討作業班」において、制度化に向けた議論が進められている状況であるが、中継器（小電力レピータ）の技術的条件の 1 つである帯域外利得については、「送信周波数帯域端から 200kHz 以上 4MHz 未満離れた周波数において利得 60dB 以下となること」が条件とされる見込みである。本実証で用いた中継器は、当該規定を満足させるためにデジタルフィルタを用いていることから、一般的なアナログフィルタを用いた中継器よりも遅延が大きくなっている。そのため、特にカスケード接続を想定した場合において、信号の CP 長を超える遅延により、信号品質に影響を与えてしまうことが懸念される。その懸念を解消し、今後の普及を推進するためには、遅延を抑えることができるフィルタの選定・開発が必要になるが、遅延時間を満足させ、かつ指定帯域における利得を満足する急峻な特性を持つフィルタの実現には技術面だけでなくコスト面でも課題となる。これらの状況を踏まえると、先に述べた中継器によるカスケード接続等を視野に入れ、Sub6 帯の中継

器を用いた柔軟なエリア構築を実現・普及させるには、「地形的に隣接システムに干渉を与えないことが確実な場所での使用に限定すること」を条件とするような、利用シーンに応じた規定の緩和等について、今後継続して検討を進めていくことが必要であると考える。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

（1） 実証の目的・目標

1） 背景となる技術的課題と実証目的

このテーマには取組まない。

2） 実証目標

このテーマには取組まない。

3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

このテーマには取組まない。

（2） 実証仮説

このテーマには取組まない。

（3） 評価・検証項目

このテーマには取組まない。

（4） 評価・検証方法

このテーマには取組まない。

（5） 実証結果及び考察

このテーマには取組まない。

3.3.4　基本的な電波伝搬データの取得

（1）　実施方法

・算出法エリア図

本実証におけるエリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域を図 3.3-81 に、基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域を図 3.3-82～図 3.3-84 に示す。

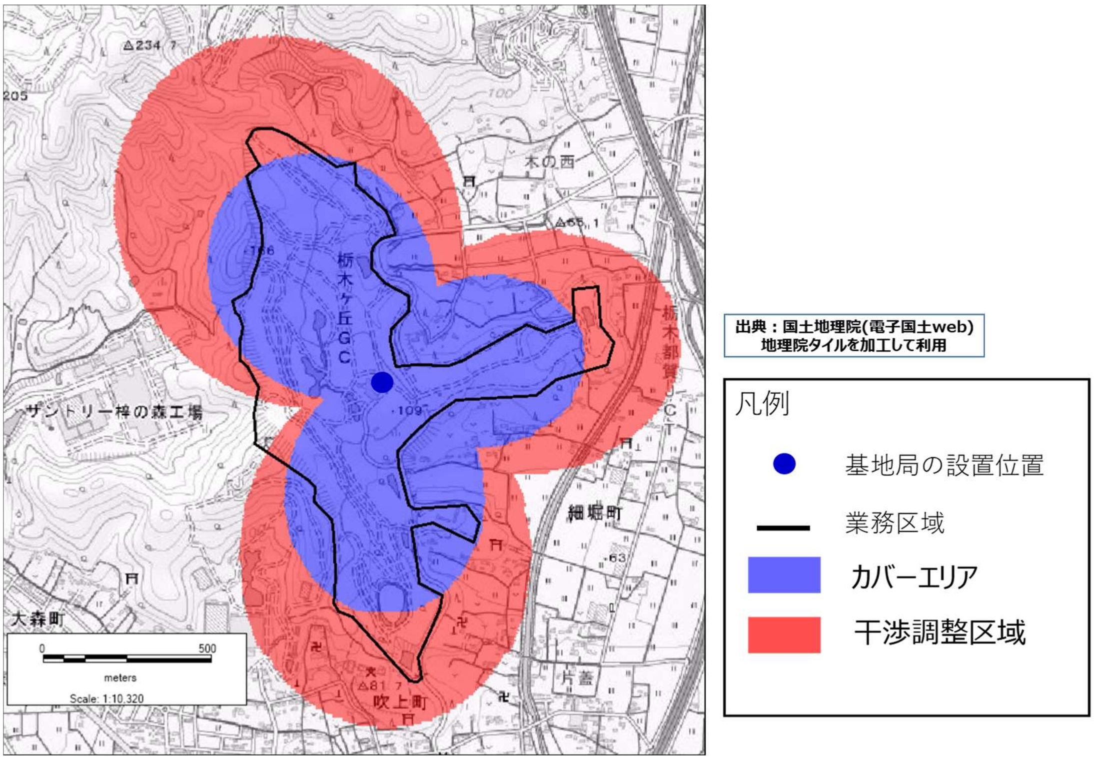


図 3.3-81　エリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域の図

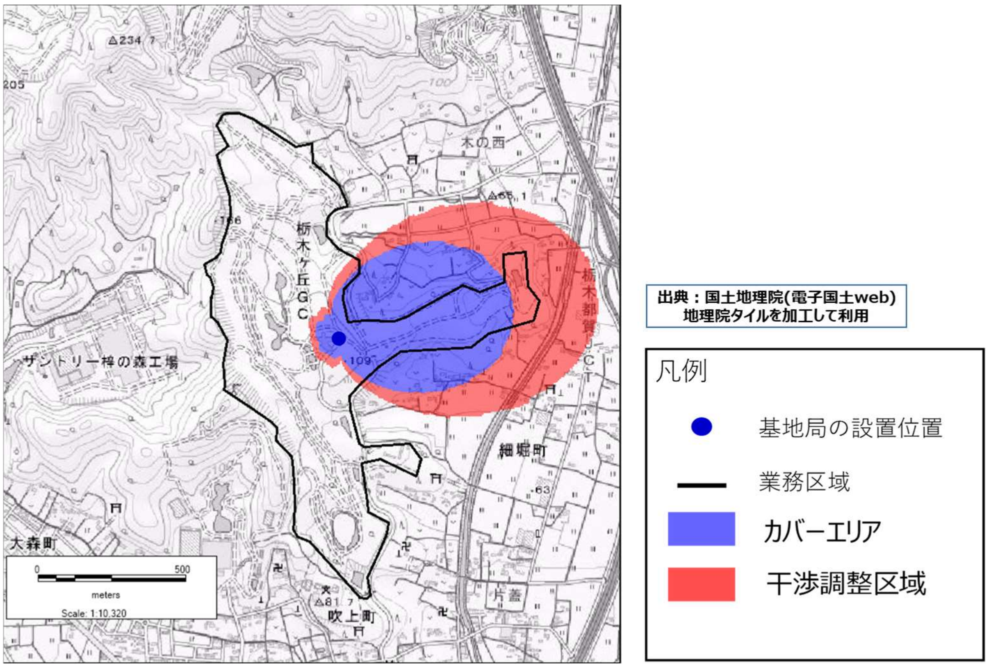


図 3.3-82　基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域の図（セクター1：80 度方向）

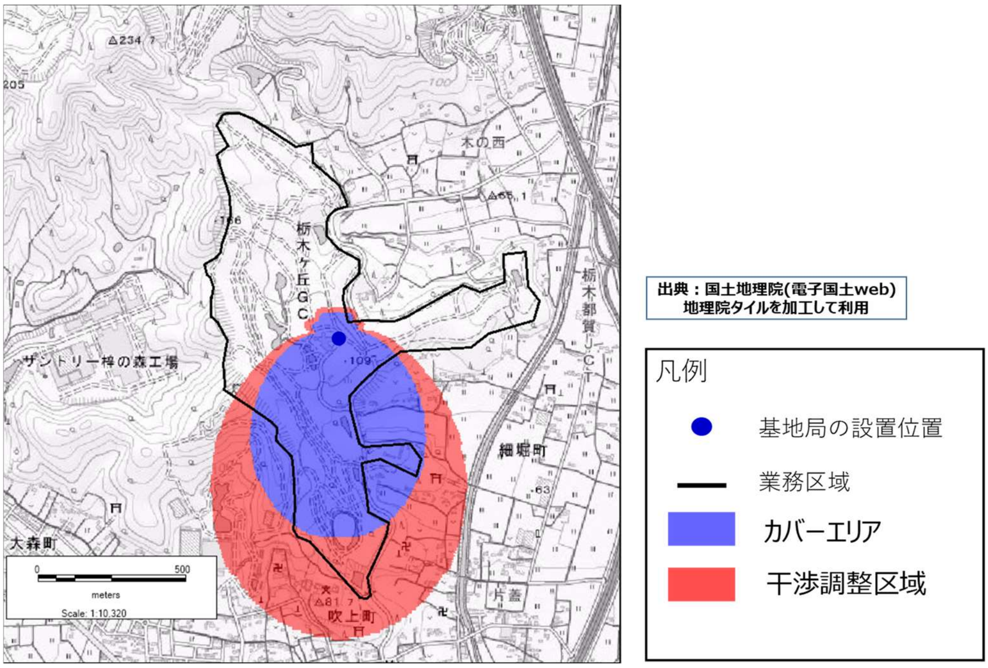


図 3.3-83　基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域の図（セクター2：180 度方向）

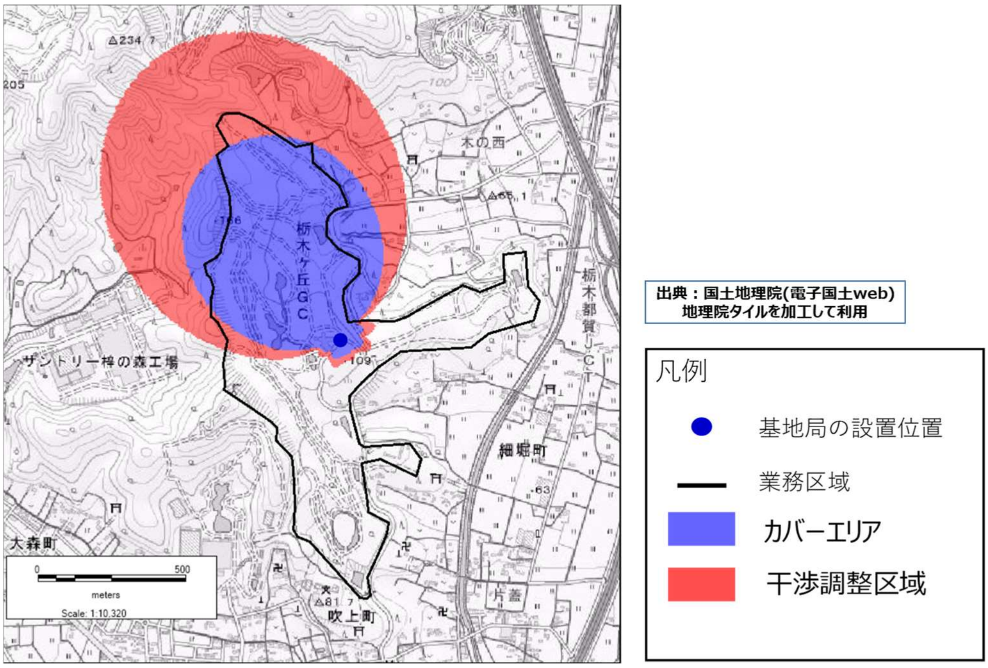


図 3.3-84　基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域の図（セクター3：330 度方向）

本実証におけるローカル 5G の電波伝搬特性の評価として、エリア算出法と実測値の比較、及び伝送性能の評価を行う。

エリア算出法と実測値の比較について、「電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法」（以下、「エリア算出法」とする。）に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域とのエリア端において、実際に電波測定した受信電力(SS-RSRP)とエリア算出法での閾値との比較、及び測定ポイントの基地局からの距離を算出する。

伝送性能の評価について、カバーエリア内のうち、全 18 ホールそれぞれでティーイング・エリア、2 打地点（コース中間地点)、及びグリーン付近を基本に計 50 の測定ポイントを選定し、伝送スループット（MAC 層)、及び伝送遅延時間を測定し、課題実証での要求値を満たしているか評価する。

表 3.3-34　評価・検証項目

評価・検証項目	概要	測定項目
エリア算出法と実測値の比較	・エリア算出法に定めるカバーエリア 及び調整対象区域のエリア端における受信電力を測定 ・エリア算出法での閾値と実測値の比較 ・エリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定ポイントの基地局からの距離を算出する。	受信電力（SS-RSRP） 基地局までの距離(m)
伝送性能の評価	・カバーエリア内に 50 地点の測定ポイントを設定し、各測定点における伝送スループッ	伝送スループット 伝送遅延時間

評価・検証項目	概要	測定項目
	ト及び伝送遅延時間が、課題実証での要求値を満たしているかを評価	

図 3.3-85 にカバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定ポイントを、図 3.3-86 にカバーエリア内の伝送性能を評価する測定ポイントを示す。

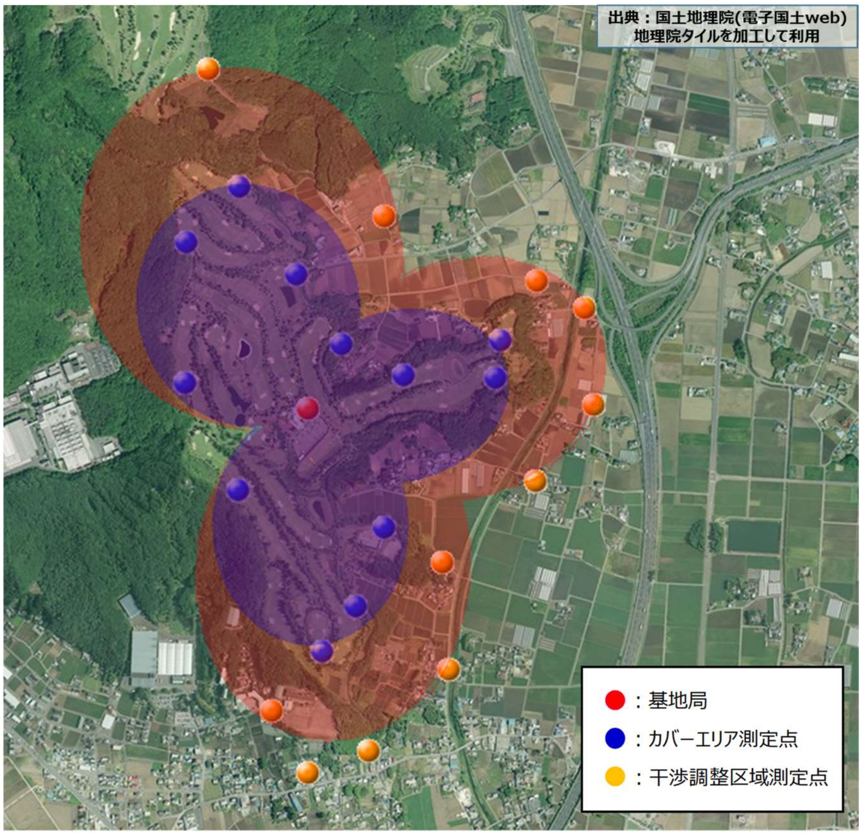


図 3.3-85　カバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定　測定ポイント

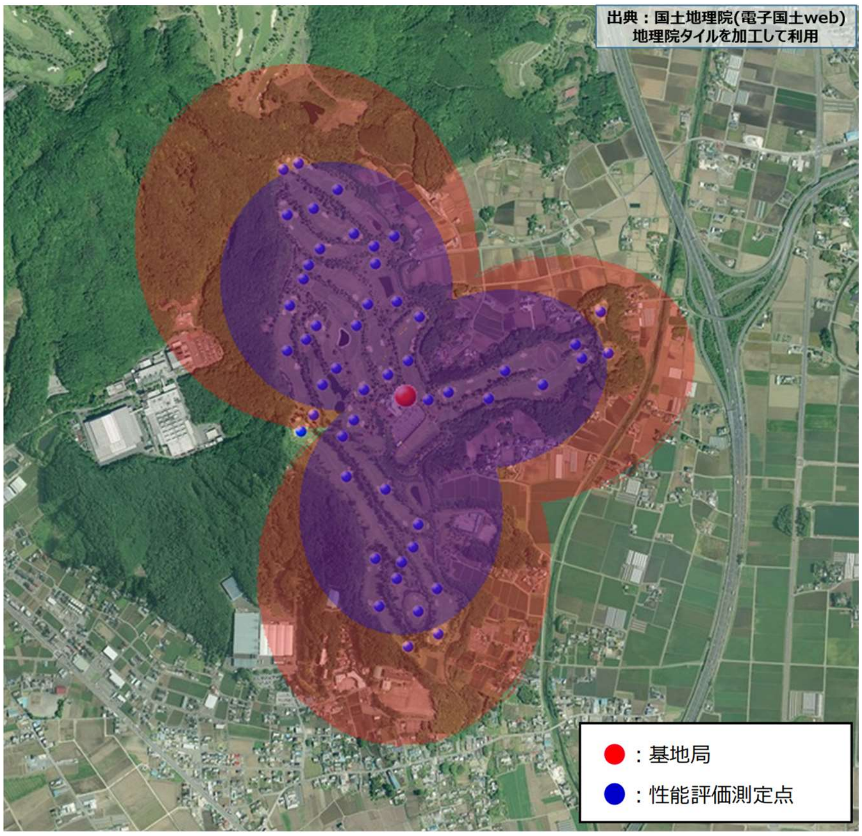


図 3.3-86　カバーエリア内における伝送性能の評価 測定ポイント

測定に用いる試験機器一覧を表 3.3-35 に示す。

表 3.3-35　試験機器一覧

項目	内容	機器諸元
エリアテスタ XCAL	受信電力(SS-RSRP)を測定。	表 2.3-13 表 2.3-15
測定用 PC	伝送スループット：iPerf 伝送遅延時間：Ping	表 2.3-14
GPS 測定器	GPS 座標を取得	表 2.3-16

エリアテスタ及び XCAL を用いた測定データについて、受信電力として SS-RSRP を測定し、1 測定ポイントあたり合計 1000 サンプル以上の測定結果に対し、中央値、σ、上位 10%値、下位 10%値を算出する。

なお、定在波の影響を避けるため、1 測定ポイントにおいて、10λ(λ=62mm)の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

伝送スループット測定について、測定ツールの iPerf を用いて、UE 配下の測定用 PC と 5G コア側に設置した L3SW 配下の測定用 PC 間での UL/DL 伝送スループット（MAC 層）をそれ

ぞれ測定する。

伝送遅延時間測定について、Ping を用いて、UE 配下の測定用 PC と 5G コア側に設置した L3SW 配下の測定用 PC 間での往復所要時間を測定する。

伝送スループット測定、及び伝送遅延時間測定を実施するローカル 5G 測定区間について、図 3.3-87 に示す。

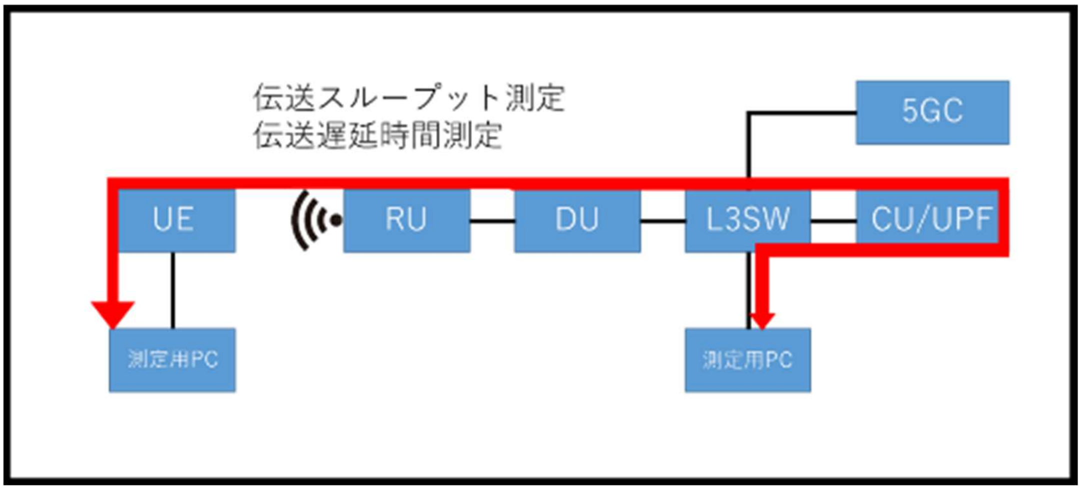


図 3.3-87　伝送性能測定区間図

（2） 実証結果

・エリア算出法と実測値の比較

図 3.3-88 にカバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定のポイント、表 3.3-36 に各測定ポイントの詳細を示す。

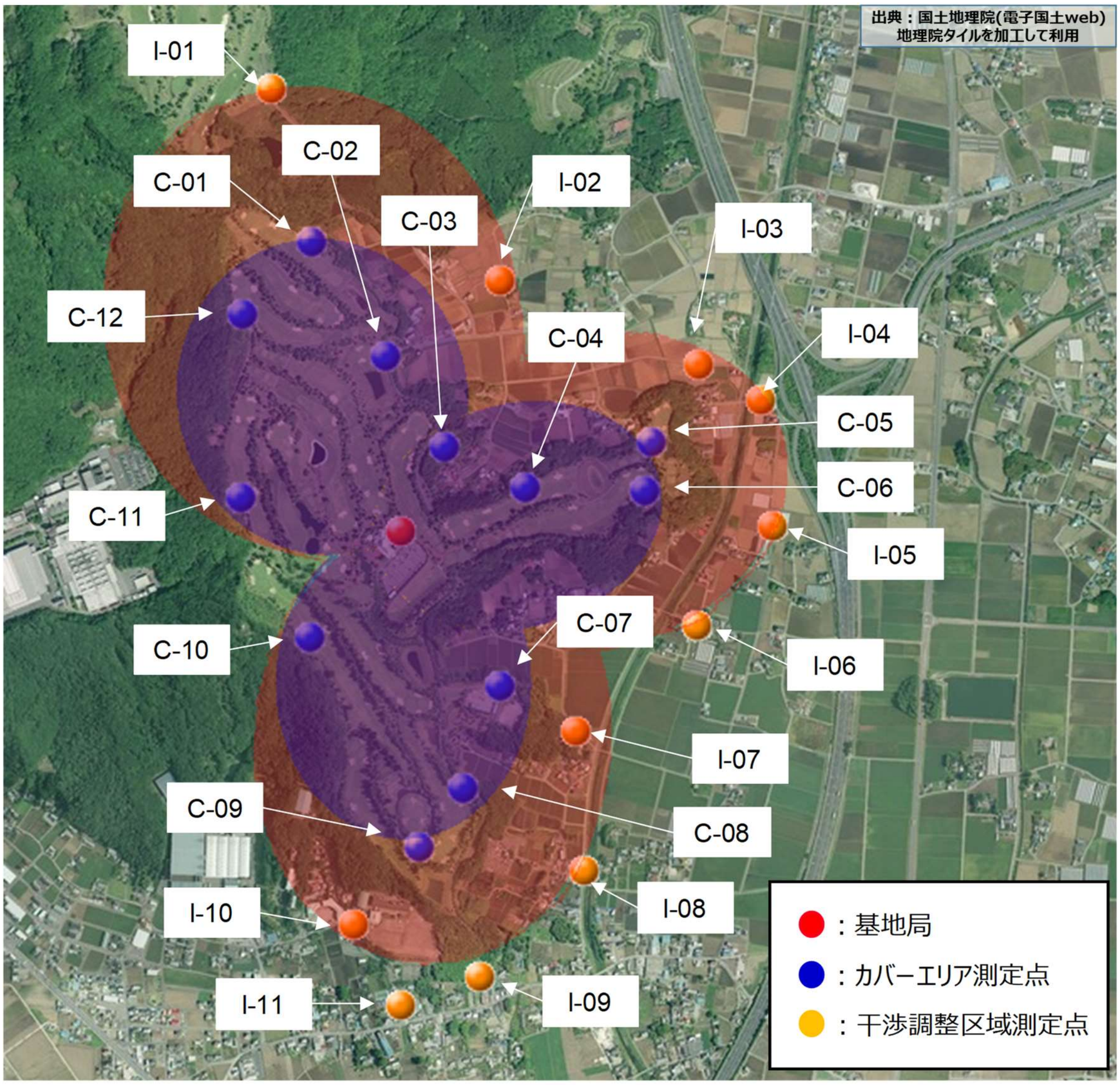


図 3.3-88　カバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定の測定ポイント

測定点の選定にあたっては、エリア算出法によるカバーエリア及び調整区域図より、カバーエリア端と干渉調整区域端を直線になるように配置することを前提に机上にて測定点を選定しているが、現地の状況により測定ができない地点がいくつかあった。図 3.3-88 は実際に測定を実施できた測定点を示している。

机上での選定と測定時の差異については、測定ポイント C-02、C-03、C-04 において当初計画した位置が民家や山林により、立入りができない場所となったため、測定点をカバーエリア端の内側へ変更することとなった。

表 3.3-36　カバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定の測定ポイント（詳細）

No.	測定ポイント	標高 [m]	地上高 [m]	基地局からの距離 [m]		基地局からの角度 [°]	見通し (LOS/NLOS)
				水平	空間		基地局
0	基地局	114.9	14.9	—	—	—	—
1	C-01	101.5	1.5	693.7	694.2	342.7	NLOS
2	C-02	84.9	1.5	400.5	402.8	354.6	NLOS
3	C-03	91.2	1.5	215.8	218.9	27.1	NLOS
4	C-04	96.6	1.5	301.8	303.4	70.3	NLOS
5	C-05	80.1	1.5	606.8	608.7	70.5	NLOS
6	C-06	83.0	1.5	562.9	564.7	80.5	NLOS
7	C-07	86.6	1.5	418.5	420.6	147.3	NLOS
8	C-08	84.3	1.5	605.6	607.2	166.4	NLOS
9	C-09	87.6	1.5	722.1	723.2	176.8	NLOS
10	C-10	117.0	1.5	316.9	317.1	220.8	NLOS
11	C-11	122.0	1.5	374.6	374.6	282.0	NLOS
12	C-12	122.7	1.5	612.8	612.8	323.9	NLOS
13	I-01	128.7	1.5	1052.3	1052.3	343.7	NLOS
14	I-02	76.6	1.5	616.4	618.6	21.6	NLOS
15	I-02	67.9	1.5	781.1	783.4	60.7	NLOS
16	I-02	70.3	1.5	874.2	876.1	69.9	NLOS
17	I-02	67.2	1.5	847.6	849.8	89.1	NLOS
18	I-02	67.2	1.5	710.1	712.7	107.6	NLOS
19	I-02	67.9	1.5	605.3	608.4	139.0	NLOS
20	I-02	65.1	1.5	879.9	882.1	151.7	NLOS
21	I-02	67.7	1.5	1033.5	1035.3	169.9	NLOS
22	I-02	81.4	1.5	904.5	905.6	186.9	NLOS
23	I-02	69.9	1.5	1083.5	1085.1	180.1	NLOS

表 3.3-37 にカバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定の測定結果を示す。

表 3.3-37　カバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定の測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	基地局への見通し (LOS/NLOS)	SS-RSRP [dBm]			
				中央値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	C-01	694.2	NLOS	-108.6	3.84	-104.7	-114.5
2	C-02	402.8	NLOS	-106.4	2.95	-103.1	-110.4
3	C-03	218.9	NLOS	-110.4	5.05	-104.5	-117.9
4	C-04	303.4	NLOS	-108.5	3.45	-104.8	-113.1
5	C-05	608.7	NLOS	-111.7	3.70	-107.9	-117.1
6	C-06	562.2	NLOS	-114.2	2.90	-110.6	-117.9
7	C-07	420.6	NLOS	-118.1	3.56	-114.8	-124.7
8	C-08	607.2	NLOS	-111.9	5.23	-103.7	-116.9
9	C-09	729.0	NLOS	-111.0	3.45	-106.8	-115.6
10	C-10	326.4	NLOS	-111.5	4.15	-104.8	-115.3
11	C-11	374.6	NLOS	-105.3	3.15	-101.2	-109.2
12	C-12	612.8	NLOS	-105.9	3.98	-102.5	-112.5
13	I-01	1052.3	NLOS	-117.3	4.72	-113.1	-126.8
14	I-02	618.6	NLOS	-123.7	3.14	-118.7	-127.5
15	I-03	783.4	NLOS	-121.5	3.35	-117.1	-125.8
16	I-04	876.1	NLOS	-123.3	4.58	-115.9	-128.0
17	I-05	849.8	NLOS	-123.8	3.20	-120.1	-128.8
18	I-06	712.7	NLOS	-125.7	2.09	-123.9	-129.4
19	I-07	608.4	NLOS	-124.7	1.38	-123.0	-126.5
20	I-08	882.1	NLOS	-127.4	2.55	-124.2	-130.8
21	I-09	1035.3	NLOS	-124.8	3.64	-119.5	-129.5
22	I-10	1085.1	NLOS	-	-	-	-
23	I-11	905.6	NLOS	-125.5	1.51	-124.1	-127.8

実測の結果から、エリア算出法による基地局カバーエリア及び干渉調整区域端部とされる地点において、C-07 、I-06、I-08 、I-11 の 4 ポイントについては閾値に相当する値が測定できたものの、その他の測定点では閾値に相当する値が確認できなかったため、実際に閾値が観測できる地点の捜索をすることとした。

実際の閾値が観測できる地点の捜索にあたっては、測定した地点から基地局に対して直線方向に前後に移動することとして、机上で想定された地点との差を明確にできるように捜索を行うこととし、山林や民家等の私有地があった場合は適宜測定地点をずらして測定を実施した。

実際の閾値が観測できる地点の捜索した結果測定ができた地点を図 3.3-89 に示し、その測定

値を表 3.3-38 に示す。

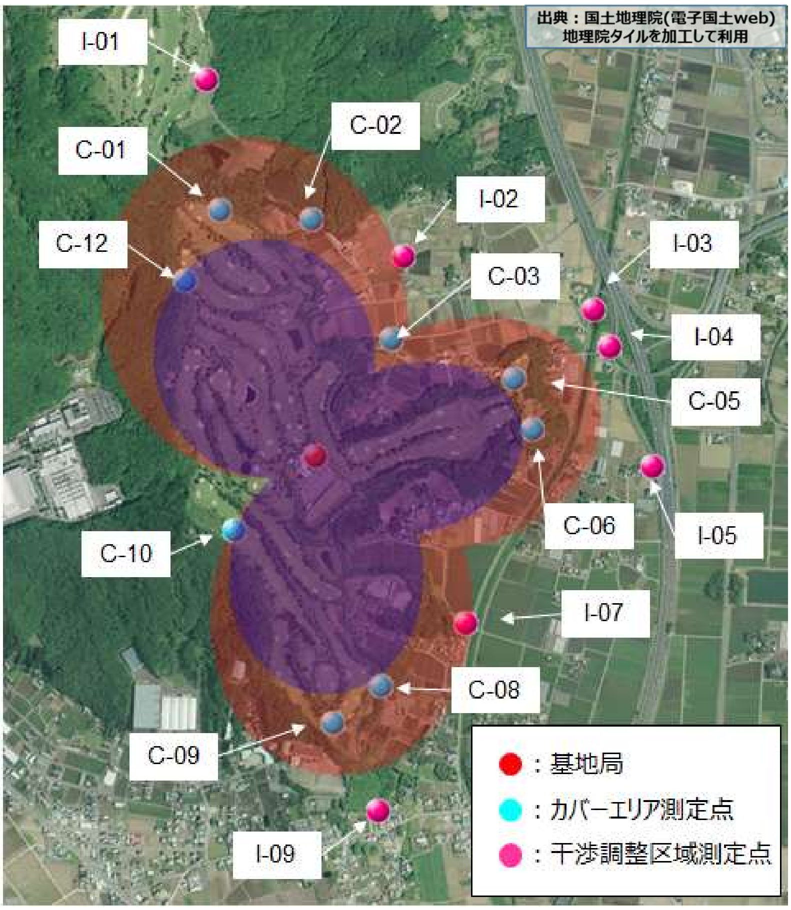


図 3.3-89　カバーエリア及び調整対象区域端閾値確認の測定ポイント

図 3.3-89 に記載のないポイントのうち C-04、C-11、I-10 については、地形的要因から測定が実施できなかったポイントとなる。

表 3.3-38　閾値の確認における受信電力測定の結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	基地局への見通し (LOS/NLOS)	SS-RSRP [dBm]			
				中央値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	C-01	765.6	NLOS	-110.6	1.79	-108.7	-113.5
2	C-02	684.5	NLOS	-117.1	3.71	-113.4	-123.3
3	C-03	406.2	NLOS	-115.7	2.50	-113.0	-119.2
4	C-05	617.1	NLOS	-117.8	3.05	-114.4	-122.1
5	C-06	631.2	NLOS	-113.8	3.58	-109.8	-119.0
6	C-08	690.7	NLOS	-117.8	3.72	-113.7	-123.7
7	C-09	776.0	NLOS	-118.0	4.04	-112.8	-124.0
8	C-10	319.6	NLOS	-117.3	2.99	-114.1	-121.9
9	C-12	634.0	NLOS	-113.1	2.54	-111.0	-117.1
10	I-01	1133.0	NLOS	-124.6	3.15	-119.3	-127.6
11	I-02	633.2	NLOS	-127.9	1.54	-125.7	-129.9
12	I-03	908.3	NLOS	-125.6	1.98	-123.6	-128.4
13	I-04	908.9	NLOS	-126.3	3.01	-122.0	-130.4
14	I-05	975.7	NLOS	-130.1	1.83	-127.2	-132.0
15	I-07	652.7	NLOS	-127.0	1.33	-125.5	-129.0
16	I-09	1043.1	NLOS	-125.8	3.95	-120.0	-130.9

上記結果を反映した各地点での測定結果を表 3.3-39 に、エリア算出法に基づくカバーエリア及び干渉調整区域端での測定結果と実際に閾値が観測できる地点での測定結果から基地局との距離の比較を表 3.3-40 に示す。

表 3.3-39　カバーエリア及び調整対象区域端における受信電力測定の測定結果

No.	測定ポイント	基地局からの距離 [m]	基地局への見通し (LOS/NLOS)	SS-RSRP [dBm]			
				中央値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	C-01	765.6	NLOS	-110.6	1.79	-108.7	-113.5
2	C-02	684.5	NLOS	-117.1	3.71	-113.4	-123.3
3	C-03	406.2	NLOS	-115.7	2.50	-113.0	-119.2
4	C-04	303.4	NLOS	-108.5	3.45	-104.8	-113.1
5	C-05	617.1	NLOS	-117.8	3.05	-114.4	-122.1
6	C-06	631.2	NLOS	-113.8	3.58	-109.8	-119.0
7	C-07	420.6	NLOS	-118.1	3.56	-114.8	-124.7
8	C-08	690.7	NLOS	-117.8	3.72	-113.7	-123.7
9	C-09	776.0	NLOS	-118.0	4.04	-112.8	-124.0
10	C-10	319.6	NLOS	-117.3	2.99	-114.1	-121.9
11	C-11	374.6	NLOS	-105.3	3.15	-101.2	-109.2
12	C-12	634.0	NLOS	-113.1	2.54	-111.0	-117.1
13	I-01	1133.0	NLOS	-124.6	3.15	-119.3	-127.6
14	I-02	633.2	NLOS	-127.9	1.54	-125.7	-129.9
15	I-03	908.3	NLOS	-125.6	1.98	-123.6	-128.4
16	I-04	908.9	NLOS	-126.3	3.01	-122.0	-130.4
17	I-05	975.7	NLOS	-130.1	1.83	-127.2	-132.0
18	I-06	712.7	NLOS	-125.7	2.09	-123.9	-129.4
19	I-07	652.7	NLOS	-127.0	1.33	-125.5	-129.0
20	I-08	882.1	NLOS	-127.4	2.55	-124.2	-130.8
21	I-09	1043.1	NLOS	-125.8	3.95	-120.0	-130.9
22	I-10	-	-	-	-	-	-
23	I-11	905.6	NLOS	-125.5	1.51	-124.1	-127.8

表 3.3-40　エリア算出法と実際の閾値の観測される地点の距離比較

No.	測定ポイント	エリア算出法		実測位置		距離差分
		基地局からの距離 [m]	基地局への見通し (LOS/NLOS)	基地局からの距離 [m]	基地局への見通し (LOS/NLOS)	[m]
1	C-01	694.2	NLOS	765.6	NLOS	71.4
2	C-02	402.8	NLOS	684.5	NLOS	281.6
3	C-03	218.9	NLOS	406.2	NLOS	187.3
4	C-04	303.4	NLOS	測定不可	ー	ー
5	C-05	608.7	NLOS	617.1	NLOS	8.4
6	C-06	562.2	NLOS	631.2	NLOS	69.0
7	C-07	420.6	NLOS	420.6	NLOS	0.0
8	C-08	607.2	NLOS	690.7	NLOS	83.6
9	C-09	729.0	NLOS	776.0	NLOS	47.0
10	C-10	326.4	NLOS	319.6	NLOS	-6.8
11	C-11	374.6	NLOS	測定不可	ー	ー
12	C-12	612.8	NLOS	634.0	NLOS	21.2
13	I-01	1052.3	NLOS	1133.0	NLOS	80.6
14	I-02	618.6	NLOS	633.2	NLOS	14.6
15	I-03	783.4	NLOS	908.3	NLOS	124.9
16	I-04	876.1	NLOS	908.9	NLOS	32.8
17	I-05	849.8	NLOS	975.7	NLOS	125.9
18	I-06	712.7	NLOS	712.7	NLOS	0.0
19	I-07	608.4	NLOS	652.7	NLOS	44.3
20	I-08	882.1	NLOS	882.1	NLOS	0.0
21	I-09	1035.3	NLOS	1043.1	NLOS	7.9
22	I-10	1085.1	NLOS	測定不可	ー	ー
23	I-11	905.6	NLOS	905.6	NLOS	0.0

測定結果からエリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域端と実際の閾値が確認された地点を結んだカバーエリア及び干渉調整区域を図 3.3-90 に示す。

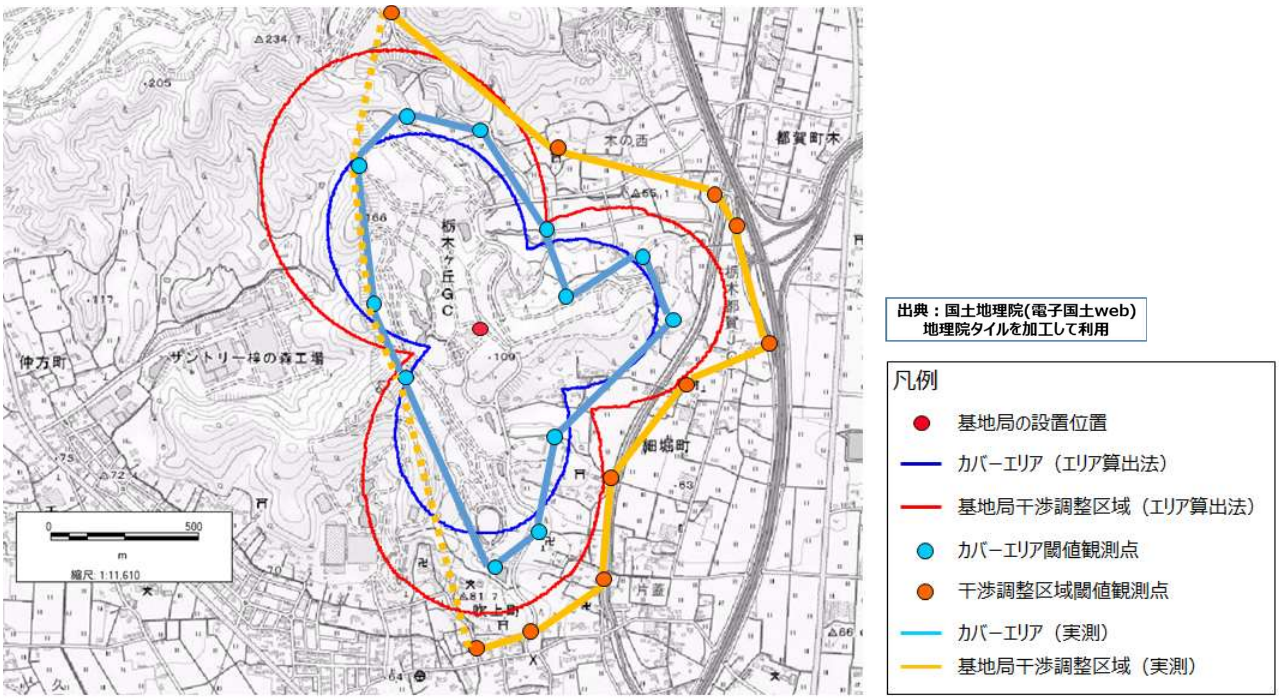


図　3.3-90　エリア算出法によるカバーエリア及び干渉調整区域端と実測地点関係図

本実証フィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の西側は地形上の問題により立入ることができないことから、図 3.3-90 に示す基地局干渉調整区域（実測）については、カバーエリアの閾値が観測されたポイントを点線で結んだ。

実測結果より、カバーエリアについてはエリア算出法による算出値と実測値が近しい結果となり、干渉調整区域については、実測されたエリアがエリア算出法による算出値と比較してやや広い結果となった。

以上の結果より、当初のエリア算出法において採用した S 値（12.3/郊外地相当）は、樹木に遮蔽されたゴルフ場内へのカバーエリアにおいては適切な設定であったが、標高差の関係上樹木による遮蔽を受けづらい干渉調整区域においては再考の余地が残ると考えられる。

・伝送性能の評価

図 3.3-91 から図 3.3-94 にカバーエリア内の伝送性能を評価する測定ポイント、表 3.3-41 に各測定ポイントの詳細を示す。

測定点情報に併せて各セクターの基地局からの地形の起伏を図 3.3-95 に示す。

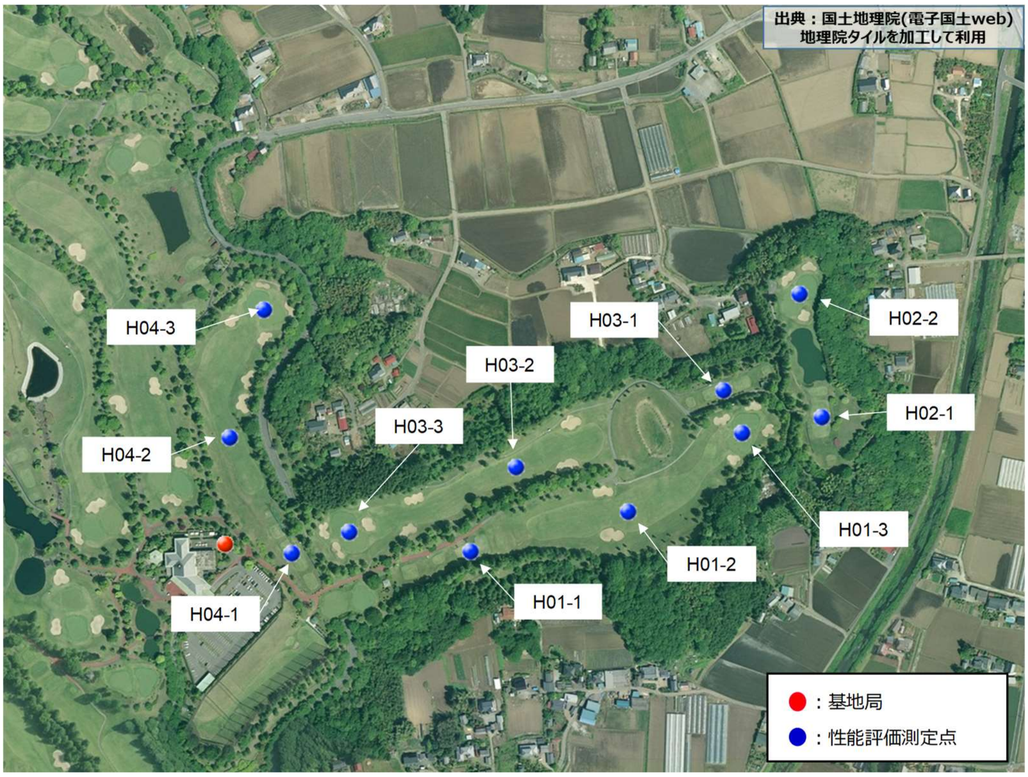


図 3.3-91 カバーエリア内における伝送性能評価 測定ポイント(1, 2, 3, 4 番ホール) (詳細)

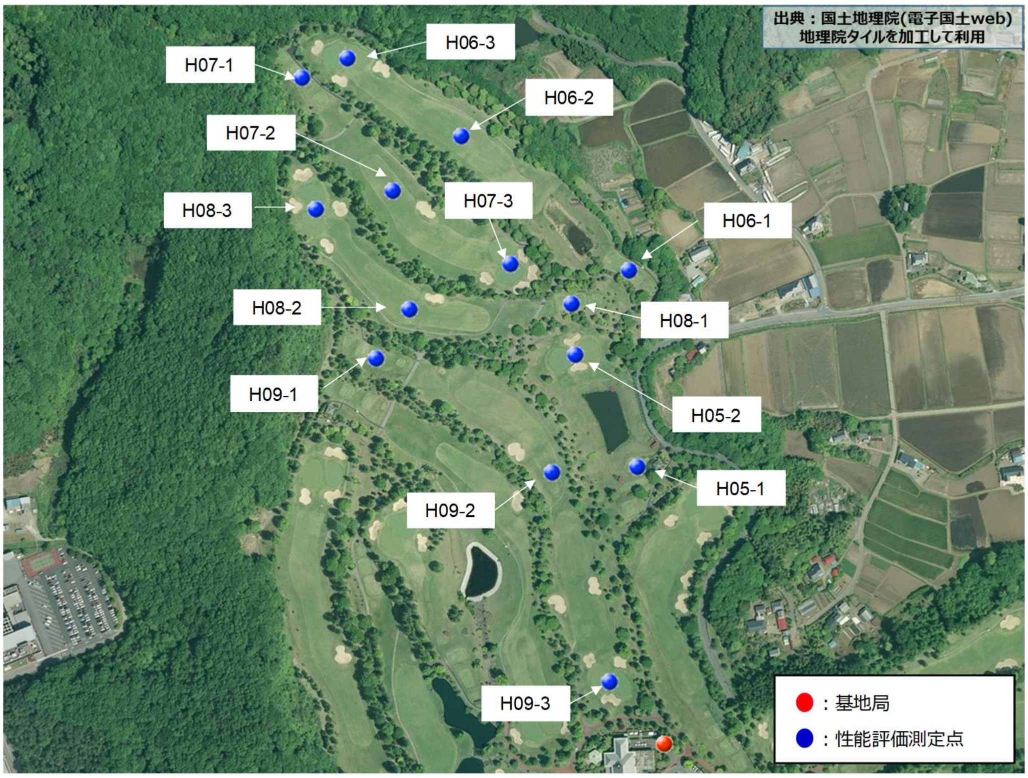


図 3.3-92 カバーエリア内における伝送性能評価 測定ポイント(5, 6, 7, 8, 9 番ホール) (詳細)

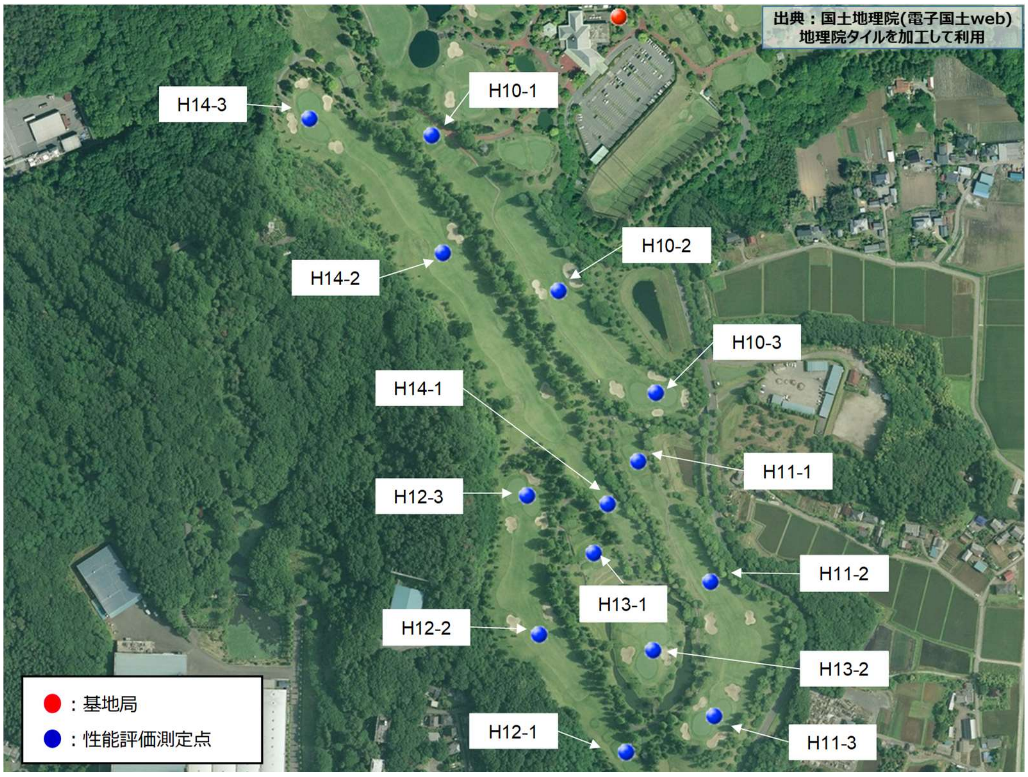


図 3.3-93 カバーエリア内における伝送性能評価 測定ポイント(10, 11, 12, 13, 14 番ホール)(詳細)

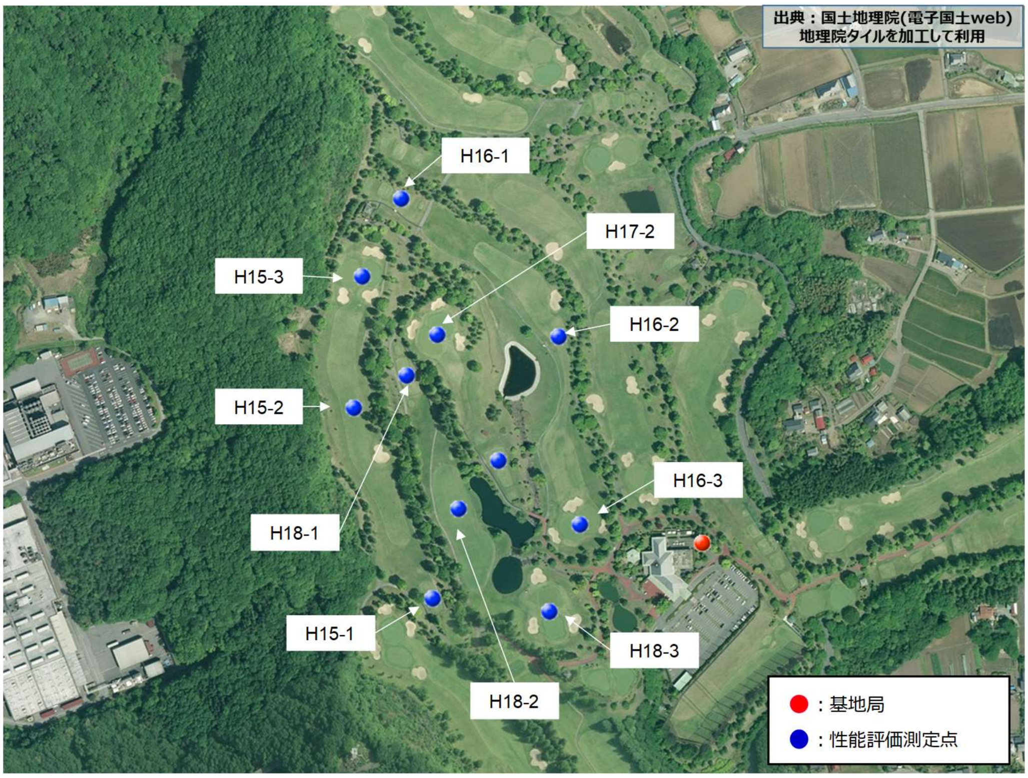


図 3.3-94 カバーエリア内における伝送性能評価 測定ポイント(15, 16, 17, 18 番ホール)(詳細)

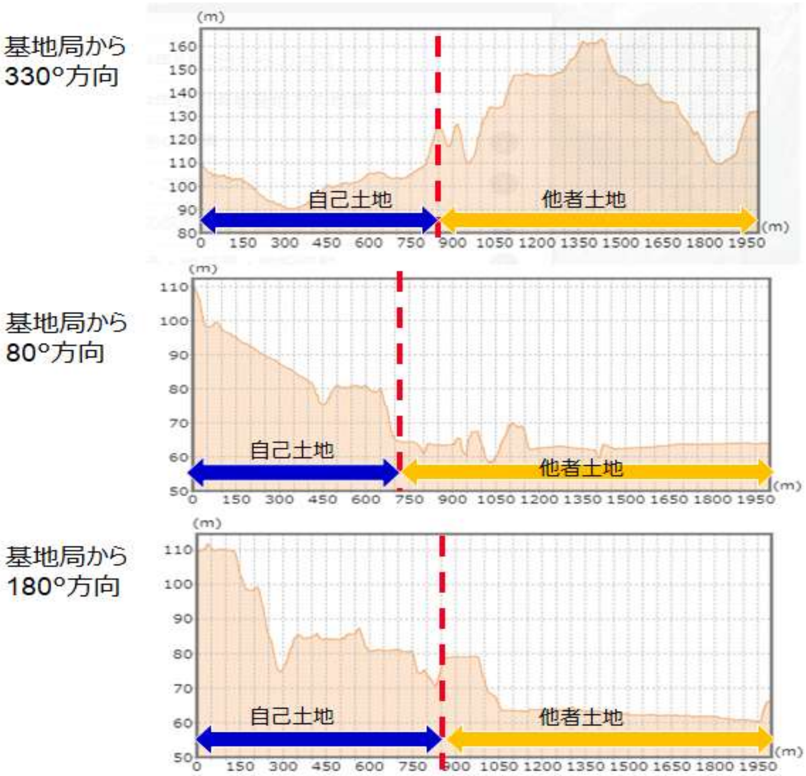


図 3.3-95 基地局からの地形の起伏図

表 3.3-41 カバーエリア内における伝送性能評価 測定ポイントの詳細

No.	測定 ポイント	標高 [m]	地上高 [m]	基地局からの距離[m]		基地局からの角度 [°]	見通し（LOS/NLOS）
				水平	空間		基地局
0	基地局	114.9	14.9	―	―	―	―
1	H01-1	92.8	1.5	254.3	256.8	91.7	NLOS
2	H01-2	86.6	1.5	419.7	421.8	85.4	NLOS
3	H01-3	85.2	1.5	548.5	550.2	77.9	NLOS
4	H02-1	85.3	1.5	632.2	633.7	78.0	NLOS
5	H02-2	84.4	1.5	649.4	650.9	66.5	NLOS
6	H03-1	85.1	1.5	540.6	542.4	72.9	NLOS
7	H03-2	91.8	1.5	311.8	313.9	75.3	NLOS
8	H03-3	101.7	1.5	129.3	132.0	84.5	LOS
9	H04-1	103.9	1.5	71.4	75.4	98.7	NLOS
10	H04-2	96.4	1.5	109.6	114.1	3.2	NLOS
11	H04-3	98.3	1.5	247.9	249.7	10.2	LOS
12	H05-1	85.4	1.5	288.7	291.9	354.4	NLOS
13	H05-2	89.7	1.5	413.5	415.3	347.1	NLOS
14	H06-1	91.2	1.5	491.7	493.1	355.7	NLOS
15	H06-2	100.2	1.5	664.3	664.9	341.6	NLOS
16	H06-3	111.9	1.5	783.7	783.8	335.2	NLOS
17	H07-1	115.7	1.5	785.7	785.8	331.4	NLOS
18	H07-2	111.1	1.5	640.4	640.6	333.8	NLOS
19	H07-3	102.1	1.5	523.1	523.7	341.8	NLOS
20	H08-1	98.8	1.5	465.2	466.1	348.0	NLOS
21	H08-2	110.5	1.5	522.4	522.7	329.6	NLOS
22	H08-3	119.2	1.5	661.5	661.6	326.9	NLOS
23	H09-1	115.2	1.5	499.1	499.3	323.2	NLOS
24	H09-2	94.7	1.5	304.3	306.1	337.5	NLOS
25	H09-3	110.4	1.5	85.7	87.6	318.6	NLOS
26	H10-1	113.1	1.5	229.9	230.4	237.5	NLOS
27	H10-2	97.0	1.5	291.2	292.8	192.4	NLOS
28	H10-3	89.3	1.5	392.6	394.5	174.4	NLOS
29	H11-1	89.0	1.5	462.4	464.1	177.5	NLOS
30	H11-2	86.7	1.5	593.7	595.2	170.8	NLOS
31	H11-3	85.6	1.5	732.2	733.5	172.2	NLOS
32	H12-1	86.3	1.5	763.5	764.7	179.4	NLOS
33	H12-2	97.1	1.5	646.6	647.4	187.3	NLOS
34	H12-3	107.9	1.5	505.7	506.1	190.8	NLOS
35	H13-1	96.9	1.5	557.1	558.0	182.7	NLOS

36	H13-2	85.5	1.5	658.7	660.1	176.9	NLOS
37	H14-1	95.0	1.5	506.2	507.3	181.3	NLOS
38	H14-2	113.9	1.5	306.0	306.4	216.7	NLOS
39	H14-3	121.7	1.5	338.0	338.1	251.8	NLOS
40	H15-1	117.1	1.5	286.0	286.2	258.3	NLOS
41	H15-2	120.5	1.5	387.8	387.9	291.2	NLOS
42	H15-3	124.2	1.5	448.6	448.6	308.1	LOS
43	H16-1	118.5	1.5	474.5	474.6	318.9	NLOS
44	H16-2	98.6	1.5	261.2	262.8	325.2	NLOS
45	H16-3	112.3	1.5	128.2	129.2	278.4	LOS
46	H17-1	110.4	1.5	228.2	228.9	291.9	NLOS
47	H17-2	109.6	1.5	350.0	350.5	308.1	NLOS
48	H18-1	113.5	1.5	352.3	352.6	299.6	NLOS
49	H18-2	112.3	1.5	255.5	256.0	277.9	LOS
50	H18-3	113.2	1.5	173.7	174.3	245.6	NLOS

表 3.3-42 にカバーエリア内における伝送性能評価試験の測定結果を示す。

表 3.3-42　カバーエリア内における伝送性能評価試験の測定結果

No.	測定 ポイント	基地局から の距離 [m]	基地局へ の見通し (LOS/NLOS)	SS-RSRP [dBm] 中央値	ULスループット [Mbps] 中央値	DLスループット [Mbps] 中央値	伝送遅延 [ms] 中央値
1	H01-1	256.8	NLOS	-91.2	292.7	339.5	20.0
2	H01-2	421.8	NLOS	-108.1	72.8	179.4	25.0
3	H01-3	550.2	NLOS	-97.4	154.6	334.1	23.0
4	H02-1	633.7	NLOS	-103.9	83.7	270.7	20.0
5	H02-2	650.9	NLOS	-111.2	21.3	101.2	128.0
6	H03-1	542.4	NLOS	-93.6	119.2	289.4	23.5
7	H03-2	313.9	NLOS	-91.4	215.8	339.5	21.0
8	H03-3	132.0	LOS	-98.7	378.2	340.1	21.0
9	H04-1	75.4	NLOS	-93.3	284.4	339.9	20.0
10	H04-2	114.1	NLOS	-99.1	111.2	171.2	23.0
11	H04-3	249.7	LOS	-103.4	63.7	225.2	25.0
12	H05-1	291.9	NLOS	-111.4	40.2	139.0	36.5
13	H05-2	415.3	NLOS	-105.1	57.2	193.2	26.0
14	H06-1	493.1	NLOS	-105.8	33.5	116.2	27.5
15	H06-2	664.9	NLOS	-114.2	14.6	29.5	timeout
16	H06-3	783.8	NLOS	-110.0	24.2	113.7	63.0
17	H07-1	785.8	NLOS	-110.9	19.4	95.1	154.5
18	H07-2	640.6	NLOS	-109.0	39.3	155.3	27.5
19	H07-3	523.7	NLOS	-107.4	44.7	137.8	24.0
20	H08-1	466.1	NLOS	-101.1	108.5	279.2	22.5
21	H08-2	522.7	NLOS	-105.0	46.6	140.0	27.0
22	H08-3	661.6	NLOS	-108.4	44.4	151.3	26.5
23	H09-1	499.3	NLOS	-102.7	111.8	230.9	20.0
24	H09-2	306.1	NLOS	-100.3	71.6	260.7	27.0
25	H09-3	87.6	NLOS	-95.8	179.9	273.7	20.0
26	H10-1	230.4	NLOS	-112.2	22.4	90.5	79.0
27	H10-2	292.8	NLOS	-107.9	41.3	138.0	26.0
28	H10-3	394.5	NLOS	-109.1	62.4	219.5	26.0
29	H11-1	464.1	NLOS	-97.1	55.2	183.4	26.0
30	H11-2	595.2	NLOS	-110.5	25.6	94.4	48.0
31	H11-3	733.5	NLOS	-114.5	29.3	105.3	31.0
32	H12-1	764.7	NLOS	-108.9	25.3	109.2	64.5
33	H12-2	647.4	NLOS	-115.3	8.4	67.6	timeout
34	H12-3	506.1	NLOS	-110.2	23.8	96.1	66.0
35	H13-1	558.0	NLOS	-113.8	17.5	101.5	178.0
36	H13-2	660.1	NLOS	-115.1	21.4	94.4	68.5
37	H14-1	507.3	NLOS	-105.5	39.4	156.6	25.0
38	H14-2	306.4	NLOS	-102.0	64.6	206.8	25.0
39	H14-3	338.1	NLOS	-125.6	0.5	0.9	timeout

40	H15-1	286.2	NLOS	-124.1	4.2	46.5	timeout
41	H15-2	387.9	NLOS	-113.1	25.8	112.0	51.5
42	H15-3	448.6	LOS	-97.5	201.7	337.7	22.0
43	H16-1	474.6	NLOS	-102.2	195.0	337.2	20.0
44	H16-2	262.8	NLOS	-102.1	97.2	198.0	24.0
45	H16-3	129.2	LOS	-99.4	67.2	276.7	34.0
46	H17-1	228.9	NLOS	-107.8	34.2	132.2	57.0
47	H17-2	350.5	NLOS	-104.0	123.3	251.3	25.0
48	H18-1	352.6	NLOS	-109.9	40.5	157.1	27.5
49	H18-2	256.0	LOS	-106.3	65.6	243.8	21.0
50	H18-3	174.3	NLOS	-110.3	18.6	91.6	201.0

伝送性能の評価において、課題実証で利用が想定される場所を設定している。コース上（フェアウェイ）、ティーイングエリア及びグリーンを基本とし、ロング・ミドルコースについては中間地点を追加し、合計 50 地点にて全体の性能評価を実施した。エリア算出法におけるカバーエリア外の範囲も含まれるが、業務区画として利用が見込まれるエリアについては全て測定を行い、評価対象としている。

測定結果より、全 50 の測定ポイントのうち 42 地点が要求性能（アップリンク伝送スループット≧20Mbps、往復遅延時間≦100ms）を満たす結果となった。基地局の近傍や測定ポイント H01、H03、H04 においては測定した地点においてシステムの最大性能に近い値が計測されているポイントがある一方で、測定ポイント H02-2、H06-2、H07-1、H12-2、H14-3、H15-1、H18-3 の 8 ポイントにおいては、地形的、環境的要因から要求値を満たすことができていない結果となっている。

性能を発揮できなかったポイントにおいて、H02 については樹木による遮蔽、H06、H07、H12 においては地形の起伏による遮蔽、H14、H15、H18 においてはセクター間となり、受信環境が悪く要求値を満たすことができなかったものと考えられる。

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

全国に 2,200 以上のゴルフ場を有する、世界でも有数のゴルフ場が多い日本では、ゴルフ場は概ね山地・僻地に立地し、①人手不足、②売上に比して施設維持費や常駐するスタッフの人件費等の高額な運営費、③ゴルフ人口の減少、という課題を抱えている。

本実証フィールドである栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の場合、スタッフ全 70 名のうち、コース管理は 11 名と約 16%を占めており、人件費以外のコストも含め、コース管理にかかるコストは全体経費の約 2 割近くを占めている。

また、ゴルフ場自体の商品力に直結する要素はコースであり、中でもコース芝の品質はプレーヤーにとってゴルフ場を評価する上で重要な指標であるため、来場者数の増減に大きく関係しており、これらの改善が急務になっている。

①人手不足

ゴルフ場で働くスタッフやキャディは、高齢化が進み、働き手不足になりつつある。

現在、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部におけるコースの芝管理では、毎朝最初にコース管理責任者であるグリーンキーパーが 30 分程度かけて一部のコースを巡回し、確認した結果を他のコース管理スタッフにフィードバックし、各コース管理スタッフが芝刈り等のコース整備作業を行う。以上の作業を、当日の 1 組目のプレーヤーがプレーを始める前の限られた時間に行っている。

本来であれば毎朝の巡回では全ホール（栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の場合、全 18 ホール）を見回る必要があるが、人手不足と時間の制約上やむを得なく、一部のホールのみに限定して巡回（※）を行っている。

（※）巡回における確認項目としては、芝の伸び具合、獣害等による芝の損傷、グリーンの葉の露の付き具合・伸び（病気の時も露の乗りが悪くなる）、落とし物等で、全て目視で確認している。また、夜中に降雨があった場合は砂が流れやすいバンカーについても確認する。これらの確認は軽トラックで実施するが、運転しながらの確認のため視認性が悪く、丘等の遮蔽により全てを見渡すことは難しい状況である。

また、グリーンキーパーは、巡回の際の確認作業を経験に基づき状況を推測しながら実施しているのが実状であり記録等は残されておらず、更に巡視するキーパーはメイン・サブの 2 名しかいないため業務が属人化している。

キーパー業務は経験則で実施されまた属人化していることから後進の育成に多くの時間を要し、個人差はあるが、業務を一通り遂行できるようになるためには現場経験が 5 年以上になるケースが多い。

②売上に対して高額な運営費(飲食物提供)

ゴルフ場における飲食物の提供についても課題はある。

通常、プレーヤーは前半 9 ホール終了後にクラブハウス内のレストランにて昼食を取り、後半 9 ホールをプレーする。加えて、各前後半の 9 ホールのプレー中においても、コース中に複数箇所設置されている売店にて飲料や軽食を購入することもある。

ここで、限定的な売上に比して施設維持費や常駐するスタッフの人件費等の費用の方が大きいケースが多いが、プレーヤーのニーズに応えるため採算は合わなくても売店の運営を継続せざるを得ない状況がある。

③ゴルフ人口の減少

国内のゴルフファー人口(コース)は、2018 年時点で 670 万人で、長期には減少傾向にある。一方、2016 年以降は横ばい～上昇の傾向があり、2020 年以降では、コロナ禍において一時的な入場者減少があったものの、3 密回避や日本人プロゴルファーの活躍等により、若者を中心とした新規参入者が増加している分析も出ている。

しかしながら、プレー歴の浅いうちはなかなか上達せず、ゴルフを辞めてしまうプレーヤーが一定数いる状況もあることから、新規参入者の定着が課題である。

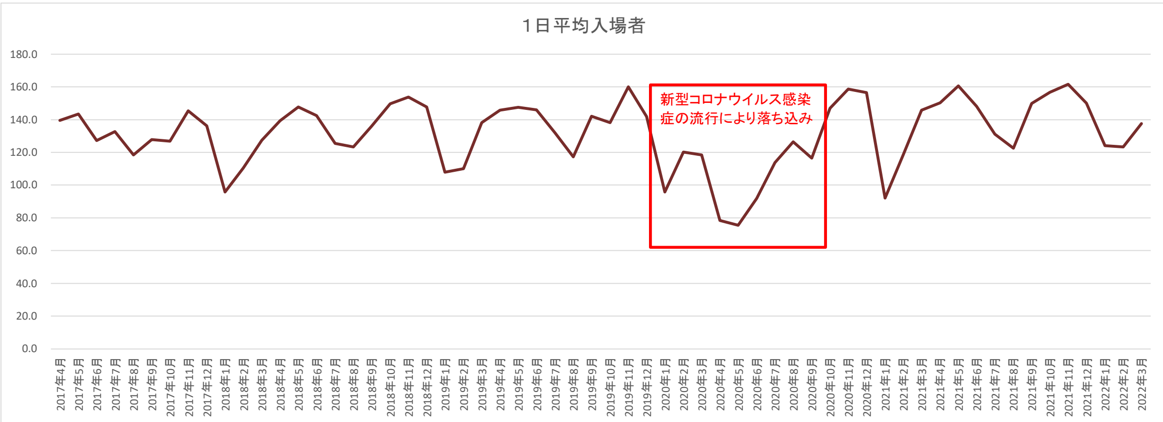


図 4.1-1A 栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の直近 5 年の 1 日平均の入場者数の推移

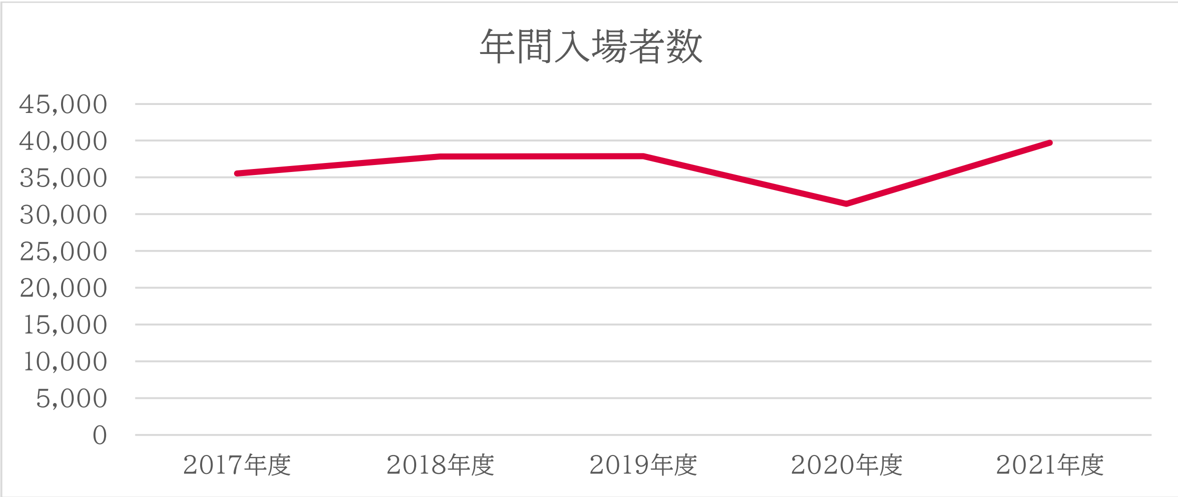


図 4.1-1B 栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の直近 5 年の年間入場者数の推移

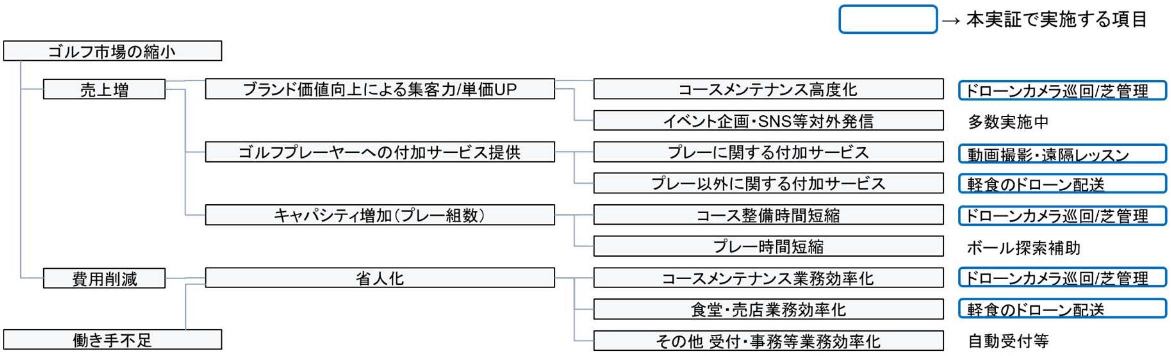


図 4.1-2 文献調査及び栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部へのヒアリングにより整理した課題分析とソリューション

4.1.2　課題分析とソリューション本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1)　ローカル 5G を用いたソリューション

1)　ドローンによるコースメンテナンス補助、飲食配送等

ドローンによるコース巡回・芝の育成状態管理（①人手不足に対するソリューション）

ゴルフ場においては芝の品質はゴルフ場の人気度や来場者数増減に関わる重要な要素であるため、コースの隅々まで確認し整備を行うことが理想である。

しかしながら、ゴルフ場の人手不足・業務の属人性に加えて、来場者の最初の組のプレー開始までにコース巡回とその後の整備を完了しなければならないという時間の制約上、18 ホール全ての目視巡回は非常に困難である。

そこで、本実証においては、現在目視で行っている巡回作業の代替を目指し、高精細カメラを

搭載したドローンを使用することで､限られた時間内に18ホールコース全ての巡回を可能とし、かつ、地上からの目視巡回とは異なり上空から俯瞰的なコース確認を可能とする。

具体的には、高精細映像を取得可能なマルチスペクトルカメラを使用し、高精細な映像による巡回及び映像の記録保存による定点観測を可能とするだけでなく、マルチスペクトル映像の撮影が可能なカメラを使用して得られた芝の育成状況の映像による解析に基づき、芝の育成状態を判断することで、熟練者のみが可能であった芝の状態把握の属人性の解消に繋げる。

以上の取組により、コース管理業務の高度化を実現し、ゴルフ場の人手不足・管理業務の属人性の解消とコース品質向上に貢献する。

ドローンによる飲食配送（②売上に対して高額な運営費(飲食物提供)に対するソリューション）

ゴルフ場におけるコース中の売店は、限定的な売上に比して施設維持費や常駐するスタッフの人件費等の費用の方が大きいケースが多いが、プレーヤーのニーズがあるため売店運営を継続せざるを得ない状況がある。

そこで、本実証においては、コースでプレー中のプレーヤーより注文を受けてドローンにより配送することで、プレーヤーのニーズへの対応を損なうことなく、コース中売店の削減によるコスト削減に貢献する。

以下に、各ソリューションについて具体的に説明する。

「ドローンによるコース巡回・芝の育成状態管理」について以下①②に分け、及びドローンによる飲食配送については以下③とし、3つに区分して検証した。

- ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム
- ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム
- ドローン検証③：飲食配送サービスシステム

スタッフの「目」に代わってコース芝を管理する役目を果たすために、カメラを搭載したドローンでコース芝を上空視点から撮影し、コースを漏れなく確認する。なお、搭載するカメラは、高精細、かつ可視光波長だけでなく不可視光波長帯も記録可能なマルチスペクトルカメラを選定している。

マルチスペクトルカメラで取得した情報を用いて、コース芝の状態を解析するアルゴリズムをクラウド上に実装する。更に、コース芝の状態を確認・判断し得る情報を速やかに獲得するために、カメラで取得した情報をローカル5G通信設備介して直接クラウドに伝送させ、解析用画像を生成する。

（期待する成果）

ドローンやIT技術の活用により、作業や判断の元になった芝の状態を示すデータの確認・判断の結果が記録及び蓄積でき、確認作業の品質を担保できる。また、蓄積したデータを活用することで後進の育成時間を短縮させることができ、グリーンキーパーの芝の状態把握の属人性及び人材不足解消にも繋がる。これらのソリューションには同一のドローンを使用し、実運用時の共通

化により運用コストを抑える。

ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム

（具体的なソリューション）

コース芝を管理するスタッフの「目」の役目を果たすために、カメラを搭載したドローンでコース芝を上空視点から撮影し、漏れのないコース確認を実現する。この際、短時間で巡回できるような飛行コースを設定し全体の状況をいち早く確認する。カメラの映像をローカル 5G 通信で伝送することにより、高解像かつリアルタイムで状態を確認できるようになる。

ゴルフのコースのメンテナンス作業は顧客のコース利用時間の関係上、時間が限られている。これまでは人が回っていたが、これをドローンに置き換えることで迅速にコースの確認を行うことが可能になる。実運用時には、毎朝キーパーがドローン巡回を実施する。

以下にネットワークの構成図とドローンの構成を示す。

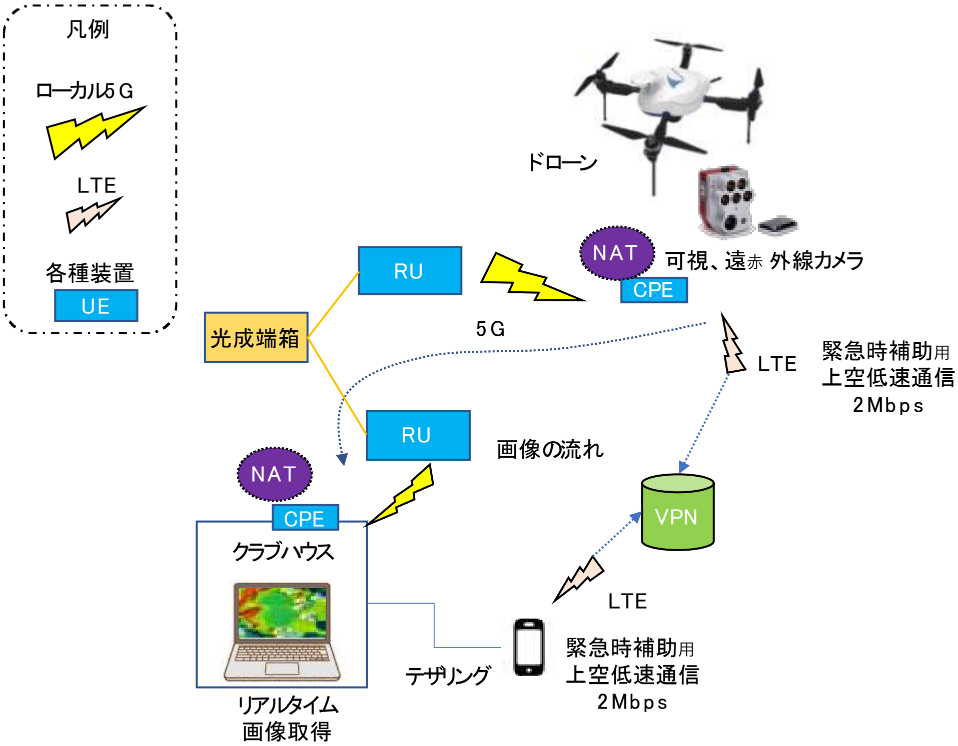


図 4.1-3 ネットワークの伝送図

※リアルタイム画像：取得した静止画を連続に送ることでリアルタイムに見られる画像

図 4.1-4 使用するドローンの構成

ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム

（具体的なソリューション）

より詳細に芝の状態を把握するために、ドローンを使って高解像で網羅的に撮影を行い、自動的に芝の育成状況の解析が可能になる映像の生成システムを構築する。

この際に搭載するカメラとして、可視光波長だけでなく不可視光波長帯も記録可能なマルチスペクトルカメラを用いる。マルチスペクトルカメラで取得した画像情報を用いて、コース芝の状態を NDVI という指標で解析用画像を生成するアルゴリズムをクラウド上に実装する。

更に、コース芝の状態を確認・判断し得る情報を、画像処理により速やかに獲得するため、カメラで取得した情報を、ローカル 5G 通信を介して伝送させることでより一層の時間短縮を図る。通常､伝送データが大容量の場合はデータが数 10GB にも及び伝送時間がボトルネックになるが、このボトルネックをローカル 5G により解決する。

（期待する成果）

ドローンや IT 技術の活用により、作業や判断の元になった芝の状態を示すデータの確認・判断の結果が記録及び蓄積でき、確認作業の品質を担保する。

また、蓄積したデータを活用することで後進の育成時間を短縮させることができ、キーパー人材不足及び芝の状態把握の属人性解消にも繋がる。

従来、ドローンで撮影したデータを SD カードなどの媒体を用いて移動させることでデータの確認までの時間がかかっていたが、今回新たにローカル 5G を用いた通信でデータを送受信することにより、確認までの時間を短縮することが可能になる。

また、ゴルフ場はほぼ毎日営業しており開場するまでの限られた時間の中で確認を行うには、上空から広い範囲で一度に見られるドローンを活用することでも効率化が可能となる。実運用時には、キーパーが生成した画像から芝育成状況を判定する。

グリーンの状態確認のためには 2 つの方法を用いる。1 つ目は通常のドローンで撮影した可視光の写真を使った確認で、2 つ目はドローンで撮影したマルチスペクトルカメラの画像から、植

物の活性度を表す値 Normalized Difference Vegetation Index（以下、NVDI）という植生指標を用いて算出する確認方法である。農場などで活用事例のある当指標を芝に適用することにより可視光だけでは分からなかったグリーンの状態を確認する。上記 2 つの観点で地図上に解析画像をマッピングし、問題点がないかを航空写真として確認することで、見落としなくかつ迅速にグリーンの状態を把握できることを検証する。

一般に NDVI は以下の式で算出されるが、これをクラウドにおいて全画素において算出し、グリーンの状態を確認する。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

式 : NDVI の算出式 : NDVI は近赤外光（NIR）と赤色光（RED）の和を差で除算することによって導く。

図 4.1-5 取得する画像の例 :

左は RGB を用いて合成平面画像（オルソ画像）を作成した例

右は近赤外線と赤色（R）を用いて導き出した NDVI の値を用いて作成したオルソ画像

図 4.1-6 NVDI の利用例：
エアロボクラウドを用いて算出

ネットワーク構成図は以下の図の通り。

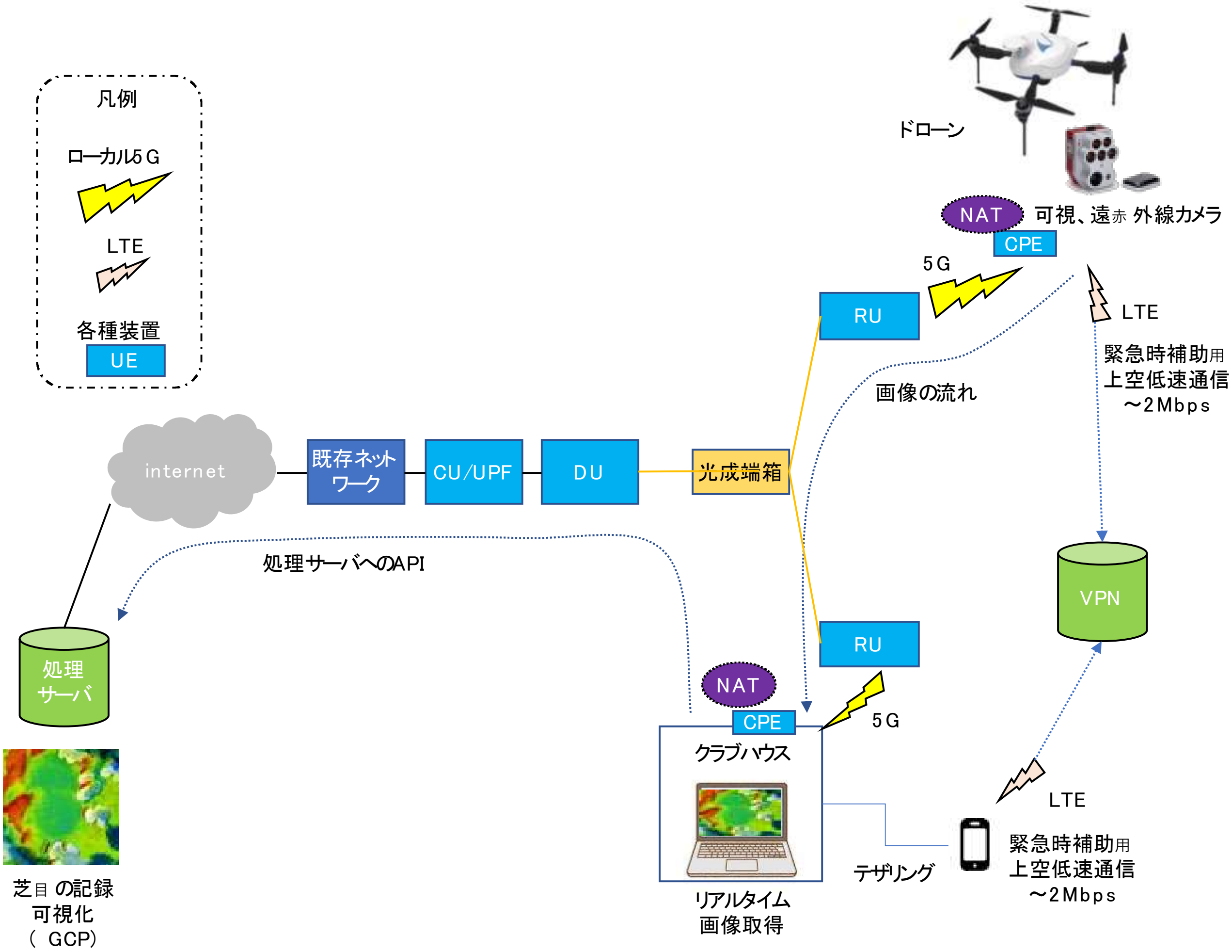


図 4.1-7 ネットワーク構成図

ドローン検証③：飲食配送サービスシステム

（具体的なソリューション）

ドローン検証①、②と同一のドローンを使用し、各コースにてプレーヤーが飲み物などを気軽に注文できるサービスを提供することでよりプレーヤーの満足度向上に寄与する。

ドローンを用いた配送システムの実証実験は各地で行われているが、有益なビジネスモデルが構築できていない状況であった。ゴルフ場においては配送サービスにより高付加価値を提供できユーザの対価とのバランスが取れる可能性があるため、その実証を合わせて行う。

図 4.1-8　ドローン配送参考事例

周辺の環境認識などが必要な状況で、ローカル 5G を用いた安定した無線を用いてより安全に周辺状況の監視や細かな制御を行うことで、お客様へのサービスができることを検証する。なお、実運用段階では、レストランスタッフもしくはホールスタッフがプレー中に注文を受けドローン配送する。

参考事例：レストランから家まで、住宅密集地における目視外ドローン配送を実施
～DID 地区でのドローン配送について、採算性と利用ニーズを検証～
https://aerosense.co.jp/pressitems2022/0616

2)　プレー動画撮影、遠隔レッスン

ウェアラブルカメラによるプレー動画撮影・提供や遠隔レッスン
（③ゴルフ人口の減少に対するソリューション）

一般的に、ゴルフ練習場で習得したゴルフスキルを、環境が大きく異なるゴルフ場で発揮することは容易ではないとされている。

また、近年はスイングチェック用の固定カメラの導入が進むゴルフ練習場も増えてきているが、ゴルフ場においては、電源設備の設置箇所が限定的であり、かつショットしたボールが衝突することによる破損の懸念があるため、固定カメラの設置は難しい。

そこで本実証では、プレーヤー自身がウェアラブルカメラを身に着け、同組のお互いのプレーヤーのプレーを撮影してスイング後に映像確認を可能とするシステムを導入することで、これまで困難であったゴルフ場におけるスイングチェックを可能とする。ここで、スイングチェックでは身体やゴルフクラブの細かな動きの確認も必要となるため、高精細な映像の撮影が可能なウェアラブルカメラを使用する。

また、同映像を活用し、プレー後に遠隔レッスンを受ける仕組みも導入し、更なるゴルフスキル改善にも役立てることができる。

以上の取組によりプレーヤーに高付加価値サービスの提供することで、来場者の売上単価増加や来場者の増加に貢献する。

以下、実証ソリューションについて具体的に説明する。

本実証では、ゴルフのプレーヤーにウェアラブル4Kカメラを帽子のつば等に装着してもらい、同組内で相互にプレーヤー同士を撮影できるようにする。そのため待機中のプレーヤーにはショット中のプレーヤーを注視してもらう必要がある。ウェアラブル4Kカメラで撮影された動画は、専用アプリをインストールしたスマートフォンを通してカートに設置したローカル5G受信機へWi-Fiで伝送し、ローカル5G受信機から基地局等を経由してケーブルテレビ株式会社に設置したCMSサーバへ伝送され記録する。CMSサーバへ記録された映像を遠隔地にいる指導者が見ることで、遠隔でレッスン指導を行えるようにする。指導者は複数のプレーヤーから伝送された4K映像をマルチアングルで見ることで、あたかもその場にいるかのような臨場感でプレーを視聴することができ、また、カートに設置したタブレットを通して現地にいるプレーヤーへのフィードバックも行える。加えて、プレーの記録が残ることで、プレーヤーは後で自己振り返りもできる。ゴルフをコースでプレーする場合、マットがなく傾斜がある等、練習環境とは大きく環境が異なる。プレーヤーは練習場におけるパフォーマンスをコースでは発揮できなくなる等の課題を持っているが、上記ソリューションを用いることで、コース現場でのプレー改善に取組むことができる。更に、団体でのコンペ等ではプレー後のパーティで他組の様子を視聴でき、例えばチップインやホールインワンといった貴重な場面を記録として残し共有できる。ゴルフ場にとっては新たなオプションサービスとして提供することで、入場者の満足度向上及び売上向上に繋がる。

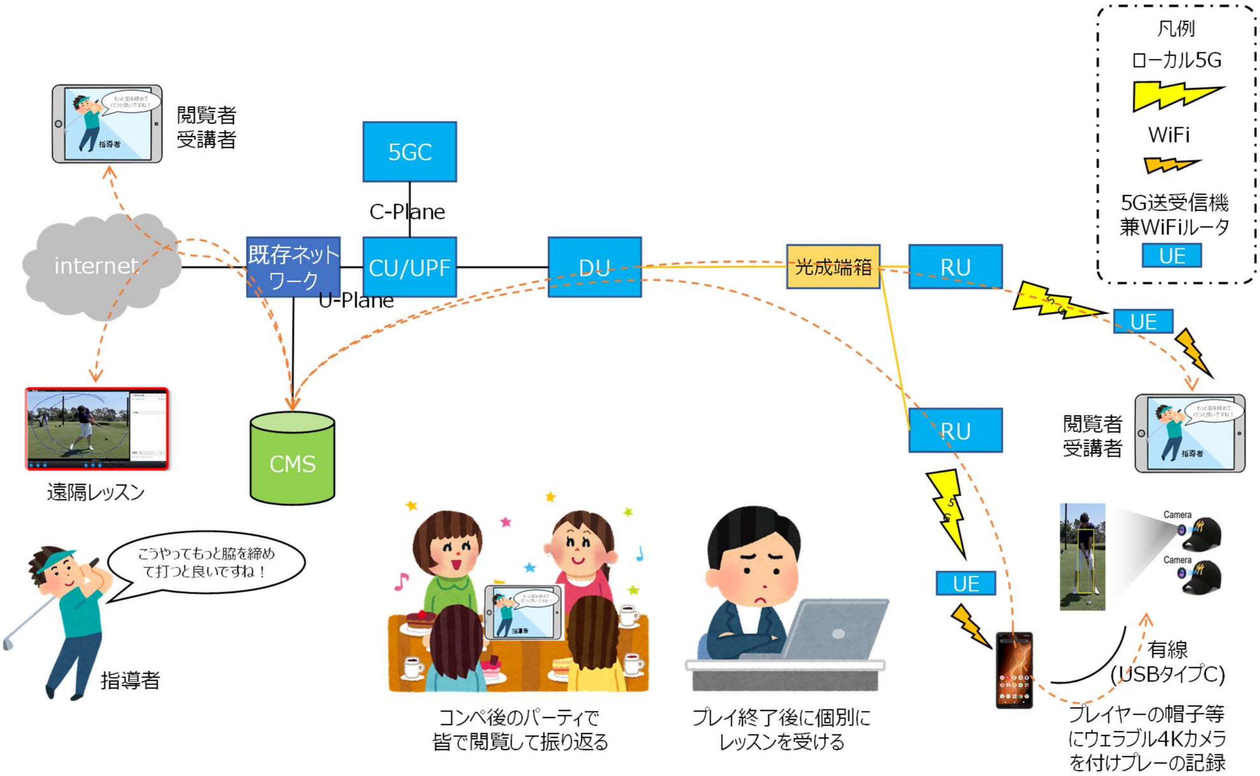


図 4.1-9 ウェアラブル4Kカメラの記録と遠隔レッスン

図 4.1-10 プレー動画撮影と保存の流れ

図 4.1-11 動画管理（CMS）のイメージ図

図 4.1-12 遠隔レッスンのイメージ図

（2） ローカル 5G 活用モデル

1.2 実証概要に記載の通り、実証終了後は、地元のケーブルテレビ事業者であるケーブルテレビ株式会社が実装主体となり、ソリューション提供や L5G システム提供を集約し、ゴルフ場の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に対して一括してサービス提供を行う。次年度以降の実装普及展開の段階では、設備共用によるコスト低減の取組として、ケーブルテレビ業界で共用する L5G コア設備の利用、及び同一地域の他ゴルフ場への横展開による設備共用（L5G の DU 等）を行うモデルとする。また、実証ソリューションはゴルフ場ごとのカスタマイズ不要で汎用的に展開が可能となると考える。

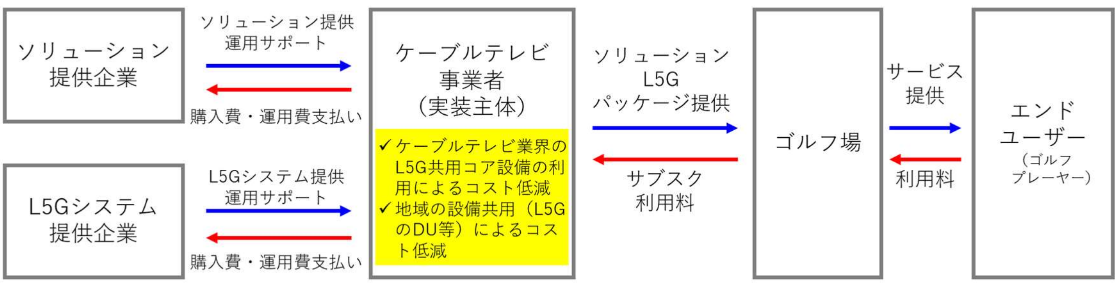


図 4.1-13 L5G 活用ソリューション提供スキーム

ローカル 5G システムのフロントホール伝送距離上には 20 か所以上のゴルフ場が立地、ゴルフ場以外にも産業団地・工業団地があり他分野へのローカル 5G 展開も可能（下図の通り）。

本実証を行う栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部は鹿沼グループに所属し、グループ内の横展開が期待される。それ以外に日本国内にはゴルフ場が 2,200 か所以上あり、日本ケーブルテレビ連盟/各地域

ケーブルテレビ事業者や GDO と連携した各ゴルフ場へのアプローチが可能である。

図 4.1-14 DU 共用の候補ゴルフ場

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

1) ドローンによるコースメンテナンス補助、飲食配送等

前述（(1) 1)）の通り、本実証ソリューションでは、広大なゴルフ場のコースメンテナンスのための目視巡回作業の代替とすべく、ドローン搭載の高精細映像を用いて限られた時間で巡回作業を行う。そのためには、ドローンが上空を移動しながら取得する高精細映像データを、ゴルフ場内のどこからでも高速にアップロードする必要がある。

そこで、無線通信による広いエリアカバーが可能であり、かつ上り大容量通信が可能な L5G を通信インフラとして採用した。

一方、ドローンによる飲食配送においては、ドローン制御の通信に L5G を活用することで安定した通信が可能となり、安心・安全なドローン運用を行うことでプレーヤーニーズの増加に貢献できることや、全国キャリアの無線エリアカバーのないゴルフ場において無線通信回線の確保が可能になるといった一定の L5G 導入メリットがある。しかしながら、コースメンテナンス補助ほ

どL5Gの必然性・必要性は高くなく、主には導入設備の費用対効果向上を目的として本実証において併せて実施する。

2) プレー動画撮影、遠隔レッスン

前述（(1) 2)）の通り、ショット後のスイングチェック等のため、プレーヤーが身に着けるウェアラブルカメラにより取得した高精細映像を即時閲覧可能とするソリューションを導入する。そのためには、ゴルフ場内のどこからでも高速に映像データをアップロード/ダウンロードする必要がある。

そこで、無線通信により広いエリアカバーができ、かつ安定した大容量通信が可能なL5Gを通信インフラとして採用した。

なお、遠隔レッスンは、得られたプレー動画を更に活用することにより、導入設備の費用対効果向上に資するものとして本実証において併せて実施する。

3) 他インフラ利用に関する検討

L5Gを有線等の他のインフラ手段に代替した場合の想定運用と問題点を机上検討し、以下に整理した。以下の表の通り、他のインフラ手段での代替は困難であり、L5Gが有効であることが分かる。

表 4.1-1 他インフラ手段で代替した場合の運用検討、問題点、L5Gの有効性について
ソリューション：ドローンカメラによるコース巡回及び芝の育成状態自動判断

インフラ	ソリューションに求められる機能要件			想定しうる運用	運用上の問題点	有効なL5G特性
	端末モビリティ	上り大容量通信	広大エリアカバー（上空）			
有線	×	○	×	・地上～上空ドローンを有線接続 ・ドローン巡回後に撮影データ送信	・コース間の林等の障害物があるため、端末移動に対してケーブル取り回しが困難 ・ドローン巡回完了後のデータ確認となり、トータルのコース管理時間が増大	・無線化による端末モビリティ性能向上
Wifi	○	○	×	・APを多数設置 ・ドローン巡回後に撮影データ送信	・クラブハウス~各APの接続回線コストが膨大 ・ドローン巡回完了後のデータ確認となり、トータルのコース管理時間が増大	・サービス設計柔軟性（ユースケースに合わせた置局設計/屋外の広大エリアカバー）
LTE（地域BWA等）	○	×	○	・撮影画質を下げ、低空飛行し撮影回数を増やす	・撮影回数増加により巡回に時間を要し、現行業務に効率化にならない	・大容量通信 ・サービス設計柔軟性（UL/DL比率変更）
全国5G	○	△	△	・全国5Gのカバーエリアに沿って低空飛行（全国キャリアのゴルフ場の上空カバー方針は未知数）	・撮影回数増加により巡回に時間を要し、現行業務に効率化にならない	・サービス設計柔軟性（UL/DL比率変更、ユースケースに合わせた置局設計）

表 4.1-2 他インフラ手段で代替した場合の運用検討、問題点、L5Gの有効性
ソリューション：ウェアラブルカメラによるプレー動画撮影/視聴の提供

インフラ	ソリューションに求められる機能要件				想定しうる運用	運用上の問題点	有効なL5G特性
	端末モビリティ	上り/下り大容量通信	広大エリアカバー（地上）	安定性			
有線	×	○	×	○	・カート設置端末を有線接続 ・撮影データをプレー後に一括送受信	・18コースで数kmのケーブルは非現実的 ・動画の即時視聴ができず、サービス価値低下	・無線化による端末モビリティ性能向上
Wifi	○	○	×	×	・APを多数設置 ・撮影データをプレー後に一括送受信	・クラブハウス~各APの接続回線コストが膨大 ・動画の即時視聴ができず、サービス価値低下 ・他ユーザートラフィックにより通信速度不安定	・サービス設計柔軟性（ユースケースに合わせた置局設計/屋外の広大エリアカバー）
LTE（地域BWA等）	○	×	○	×	・撮影画質を下げる	・画質低下により、サービス価値低下	・大容量通信 ・サービス設計柔軟性（UL/DL比率変更）
全国5G	○	△	△	×	・撮影データを即時性なく送受信 ・撮影画質を下げる	・動画の即時視聴ができず、サービス価値低下 ・画質低下により、サービス価値低下	・サービス設計柔軟性（UL/DL比率変更、ユースケースに合わせた置局設計） ・帯域占有による安定データ伝送

なお、上記以外の実証ソリューション（ドローン配送、ウェアラブルカメラによる遠隔レッス

ン）は、ユーザ企業の課題解決のため各ソリューション導入設備の費用対効果向上を主な目的として実施するソリューションであるため、本机上検討の対象外としている

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

（1） 実証内容の新規性

・取組む分野としての新規性

過年度実証では、スポーツ分野及びエンターテイメント分野において、ローカル5Gの活用事例が比較的少ない。本実証と関連する事業は少ないが、最も関連する事例として令和元年度5G総合実証「ゴルフ場でのラウンド補助」が挙げられる。後述の(3)にて本実証の差異について説明する。

・ドローンによるコースメンテナンス補助等

ゴルフ場における類似の過去取組としては、「後述の（3）過年度実証事業との関連性」に記載する取組があるものの、ドローン搭載高精細カメラを活用したコースメンテナンス高度化に関する取組は実施されていない。

・プレー動画撮影、遠隔レッスン

ゴルフ場における類似の過去取組としては、「後述の（3）過年度実証事業との関連性」に記載する取組があるものの、同取組ではプレーを意識的にカメラで撮影する必要があるため実運用上はプレーヤーに負荷をかけることとなる。一方、本実証ではウェアラブルカメラを採用することで、カメラ ON/OFF の動作は入るものの、ほぼ無意識的にプレー動画を撮影できる。また、得られた映像を遠隔レッスンへ転用することで、更なる付加サービス向上にも繋がる。

なお、プレー動画撮影、遠隔レッスンの既存サービスとの比較及び本ソリューションによる解決内容を以下に示す。

表 4.1-3　ウェアラブルカメラによるソリューションの既存サービスとの比較

分類	既存サービス	概要	本ソリューションによる解決
プレー動画撮影	カメラマン	カメラマンの手配が高価になり、また他人が入ることやカメラのシャッター音等がプレーに影響する可能性がある。	自身達の組で完結するため費用は抑えられる。 気の知れた人達で回るため気遣いも少ない。

分類	既存 サービス	概要	本ソリューションによる解決
	自己撮影	ショットの都度、カメラやスマートフォンを取り出して撮影しなければならない。	ウェアラブルカメラによりリモコン操作のみで撮影が可能。
遠隔レッスン	練習場でのレッスン	ゴルフ場で発生する傾斜やバンカー等への対応まで指導ができない。	ゴルフ場で撮影した動画を基にするため、状況に応じたレッスンを受講可能。
	ゴルフ場でのレッスン	指導者が帯同することになりリアルタイム性はあるが、高価になりがち。前後の組のことを考えて精神的に落ち着かない。	ゴルフ場の状況を動画で再現しつつ、比較的安価にレッスンを受講可能。
	アプリでの解析	自身で撮影する必要がある。ゴルフ場で発生する傾斜やバンカー等への対応まで指導ができない。	同組の人に撮ってもらえる。ゴルフ場で撮影した動画を基にするため、状況に応じたレッスンを受講可能。
	既存の遠隔レッスン	自身で動画を送って、後でテキストメッセージでフィードバックを貰うため、リアルタイム性に欠けることでストレスを感じる。	講師と時間を合わせることで、リアルタイムにフィードバックを貰ったり受け答えすることが可能。

(2) 過年度実証事業との関連性

関連性のある過年度実証事業として、令和元年度 5G 総合実証「ゴルフ場でのラウンド補助」が挙げられる。当該過年度実証は本実証と同様に、ゴルフ場を実証場所として取組であった。以下に概要を示す。

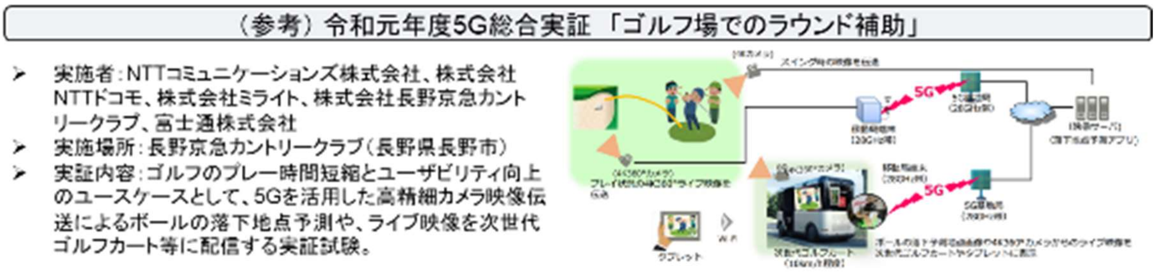


図 4.1-15 令和元年度 5G 総合実証　「ゴルフ場でのラウンド補助」

以下に、当該過年度実証と本事象の比較一覧を示す。

本実証では、実装普及展開を重要視し、周波数・L5G 機器・対象ホール数・ソリューションについて決定し、設備共用等によるコスト低減の計画、更には、普及展開に資する関連企業/団体とのコンソーシアム組成を行っている。

	周波数	L5G機器	対象	ソリューション	実装・普及展開
本提案	ローカル5G Sub6帯	基地局 +リピータ	最大 18ホール	• ドローンカメラ巡回 • ドローンカメラ 芝の育成状態自動判別 • ドローン配送 • ウェアラブルカメラによるプレー動画撮影/提供 • ウェアラブルカメラによる遠隔レッスン	• 設備共用によるコスト低減(ケーブル業界共用コア、同一地域他ゴルフ場等と共用DU、等) • リピータ併用によるコスト低減 • 実証ゴルフ場のグループ内(鹿沼グループ)他ゴルフ場への普及展開 • 日本ケーブルテレビ連盟/他地域ケーブルテレビ事業者、及びゴルフダイジェスト・オンラインと連携した、全国ゴルフ場へのアプローチ
令和元年度 5G総合実証「ゴルフ場でのラウンド補助」	全国5G ミリ波帯	基地局	1ホール	• ボール落下地点予測 • ライブ映像の配信	• 実証後は次年度に展示会を実施するも、継続はしていない模様

図 4.1-16 追記過年度実証案件との対比

4.1.4 実証目標

本実証で構築するローカル 5G システムにより各ソリューションが問題なく稼働することを確認し、ゴルフ場及び入場者に快適に利活用できることを確認する。

・ドローンによるコースメンテナンス補助及びドローン配送等

ドローンによる巡回を導入前と比べ巡回業務時間の短縮化を図り、また巡回の俯瞰化により従来確認できていなかった課題の発見・解決に繋げる。加えて、定点観測と記録化により芝目の不良傾向をいち早く把握できるようにするため、ドローン巡回時間を 30 分程度に短縮し、巡回頻度が 2 倍になること、芝生育状態把握業務を、削減率 3 割を目指す。

① 上記ソリューションにより、ゴルフ場スタッフの全体的な業務の効率化とコースにおける芝の品質の向上を企図する。令和 5 年度内には、キーパーがドローンの操縦に慣れ、芝目記録から全コースの芝状態を把握できるようにする。
② 令和 6 年度内には、コース管理業務及び飲食配送に従事するスタッフがドローンの操縦に慣れ、芝目記録から全コースの芝状態を把握できるようにする。
③ 令和 7 年度内には、コース管理及び飲食配送外のスタッフも数名がドローンの操縦に慣れ、

芝目記録から全コースの芝状態を把握できるようにする。

本実証では、ドローンの操縦の難易度をスタッフにヒアリング、コース管理業務量の前後比較、その他事前に想定していなかった発見点、等を計測することで、システム導入に対する難易度と効果を把握し、上記の中長期的な目標に妥当性があるかを確認していく。

上記により業務のダイバーシティを図り更なる業務効率化に繋げる。また、入場者数の推移との関連性についても確認する。

・プレー動画撮影、遠隔レッスン

オプションサービスとして提供し、入場者の満足度向上やプレーフィーによる売上向上に寄与できそうかを確認する。

具体的には、本ソリューションを実際のプレーヤーに体験してもらい、その後本ソリューション評価（5 段階評価）についてのアンケートを実施する。そのアンケート結果に基づき 5 段階評価のうち、上位 2 つまでが 50%以上を占めることを目指す。

本ソリューションの許容価格についてもアンケートを実施し、プレー動画撮影のオプション料金では 1,000 円以上が 50%以上を占めること、遠隔レッスンのオプション料金では 3,000 円以上が 50%以上を占めることを目指す。

また、プレー時間の前後比較、ゴルフ場側の業務負荷量、等について、ゴルフ場従業員にアンケート等を実施し、システム導入に対する難易度と効果を把握し、実証の目標に妥当性があるかを確認していく。

4.2 実証環境

本実証においては、4.8-4.9GHz 帯域（Sub6）を利用した Stand Alone 方式のローカル 5G システムを使用する。栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部のクラブハウス近くにローカル 5G 置局用のコンクリート柱を新規に建設し、その柱に RU（Radio Unit）を設置し、クラブハウスからコースが広がる 3 方位に向かってアンテナを 3 局置局する。上記により、全 18 ホールの多くをカバーできる可能性がある。場所によってはリピータで電界を拡張する。

ドローン及びウェアラブル 4K カメラともに、18 ホール全てで使用できるようにする。本実証で用いる L5G 端末は、もしローカル 5G が届かない場合は 4G へ切替えて通信は継続するようになるが、カメラ映像/画像伝送に支障が発生すると想定する。

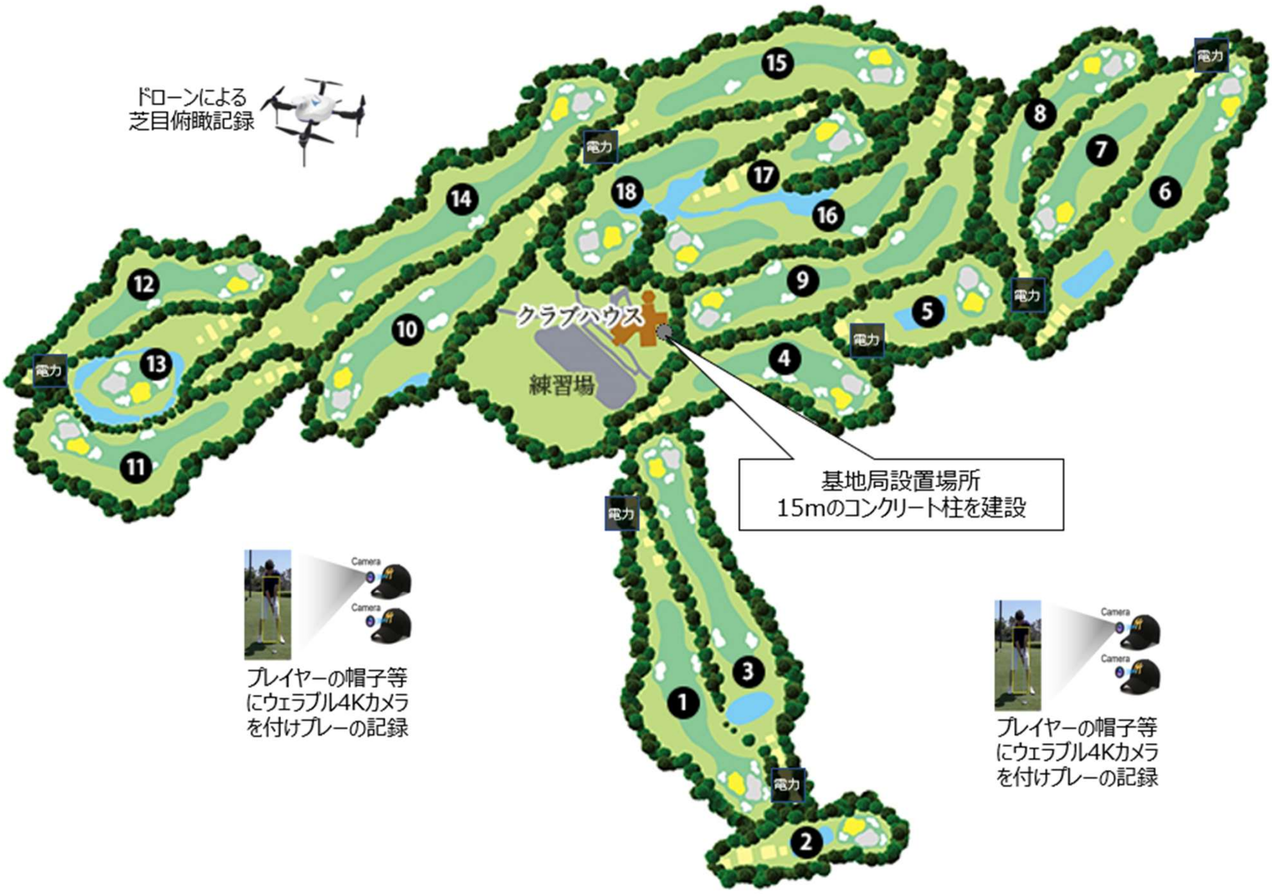


図 4.2-1 実証環境

ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローンによるコースメンテナンス補助等は、1,2,3 番ホール、及び 16 番ホールにて実証を行った。

ドローンの基本的な操作の流れは以下の通り。

・機体と操作端末の組立て・設置（本実証実験のみで実装環境では設置済み）
・機体と操作端末の電源を投入
・機体の状態と通信状態の確認
・あらかじめ組み込んである飛行プランを選択
・飛行ボタンで飛行開始
・リアルタイム映像伝送で画面にて目視確認
・飛行完了
・電源を落として片付け（本実証環境のみ）

図 4.2-2　ドローン機体

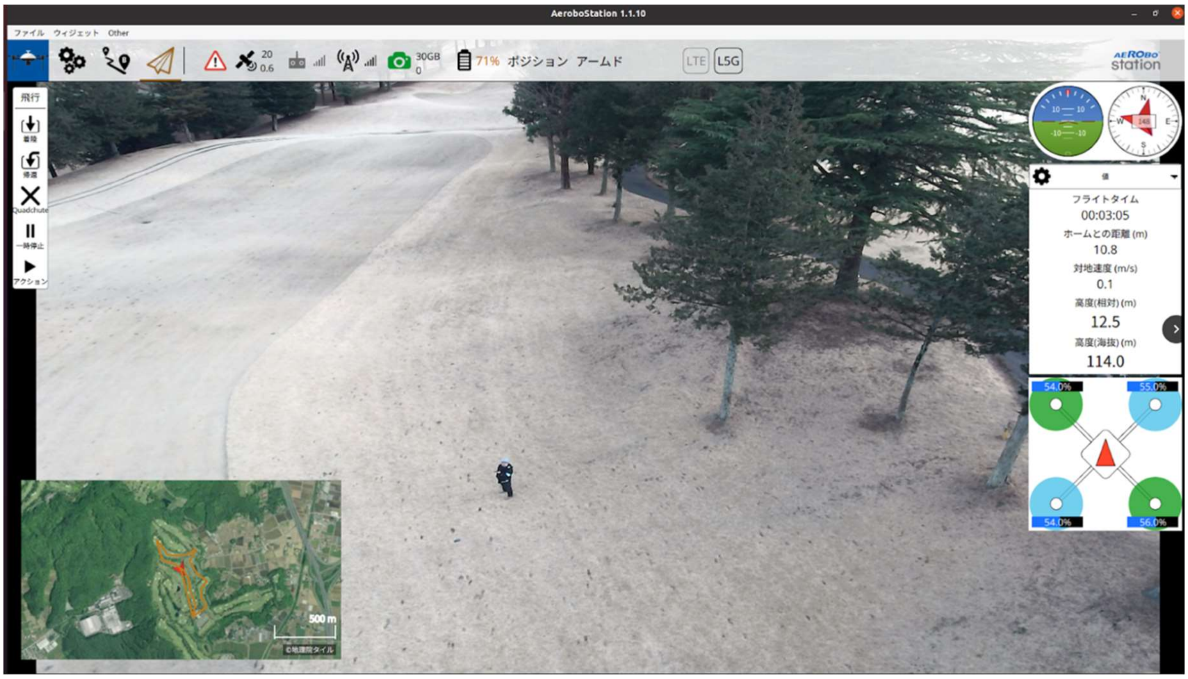


図 4.2-3　ドローンによるリアルタイムモニタリングの様子

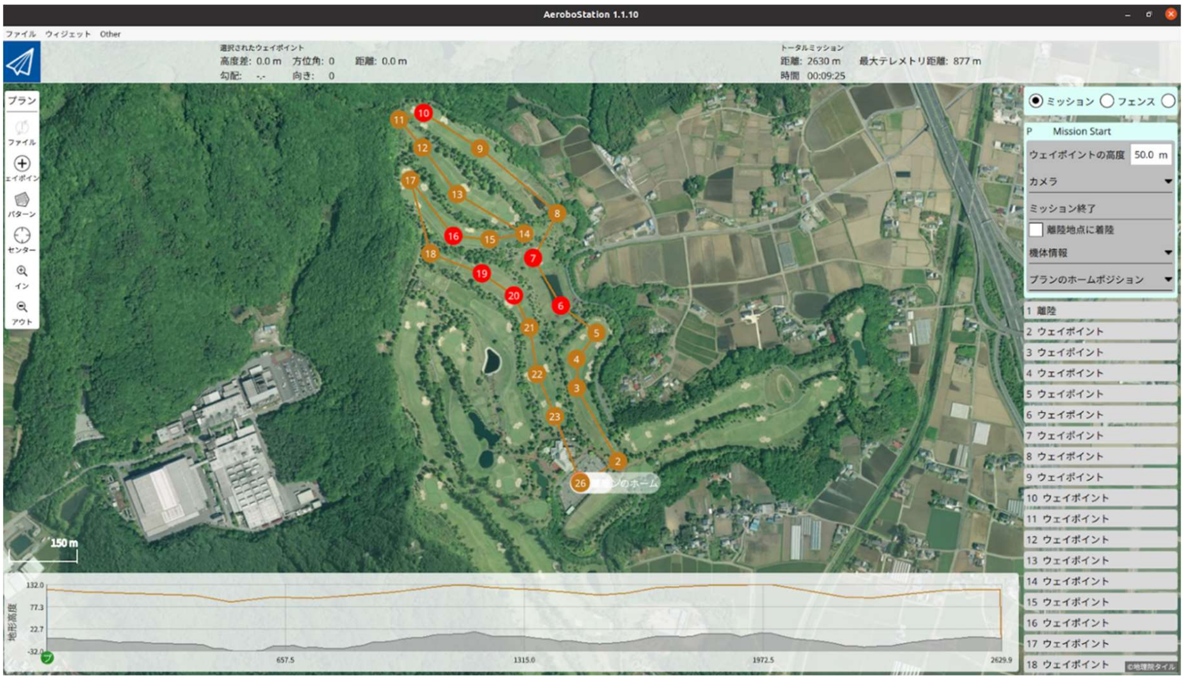


図 4.2-4　ドローンの自動巡回経路設定の様子

プレー動画撮影、遠隔レッスン

プレー動画記録、遠隔レッスンは全 18 ホール全てで実証を実施した。

ウェアラブルカメラを頭部もしくは胸部に装着し、専用アプリをインストールしたスマートフォンと USB ケーブル（タイプ C）にて有線接続し、スマートフォンは各プレーヤーのポケット等に収納する。スマートフォンは 5G-UE と Wi-Fi にて接続させる。

プレーヤーにはあらかじめアカウント・パスワードを発行しておき、専用アプリにてログインする。アプリにてラウンドを作成した者が該当ラウンドのマスターとなり、ラウンド情報（ゴルフ場、スタート時間、等）を入力する。該当ラウンドに同行者のアカウントを招待することで、ラウンドと組が成立する。同行者は各自のスマートフォンのアプリにてログインする。ラウンドの生成が確認されたら入場することでプレー記録の準備が完了する。

ラウンドが始まるとプレー記録が始まる。付属のブルートゥース・リモコンを押すことでビープ音が鳴り録画が開始され、10 秒後に録画が終了する（本実証では停止漏れを防ぐために自動停止とした）。録画された動画はスマートフォンを通して Wi-Fi で 5G-UE へ伝送され、5G-UE からローカル 5G を用いて伝送され、CMS サーバへ即時に記録される。1 ホールごとにマスターはアプリにてスコアを入力することで、どこのホールでのプレー記録かを区切ることになる。上記の動作を繰り返す。

スマートフォンのアプリにてプレー記録の閲覧が可能となり、またカートに搭載したタブレットでも CMS サーバを経由した動画の閲覧も可能となる。払い出したアカウント・パスワードを用いてブラウザで専用サイトにログインすることで、後日プレー動画の閲覧も可能となり、振り返りができるようになる。

遠隔レッスンは、マスターにてレッスンを生成し、レッスン情報（時間、対象者、等）を入力する。時間になったらログインすることで、遠隔レッスンに入場できる。相互にプレー動画を振り返りながら、パレット等を用いて描写が可能となる。テレビ会議のようにお互いの顔が見え、会話できることで、その場にいるかのように議論ができ、画面描写によりスタンスやスイングの悪いところが指摘されるようになる。

図 4.2-5　ウェアラブルカメラ装着の様子

図 4.2-6　ウェアラブルカメラ装着の様子（胸部）

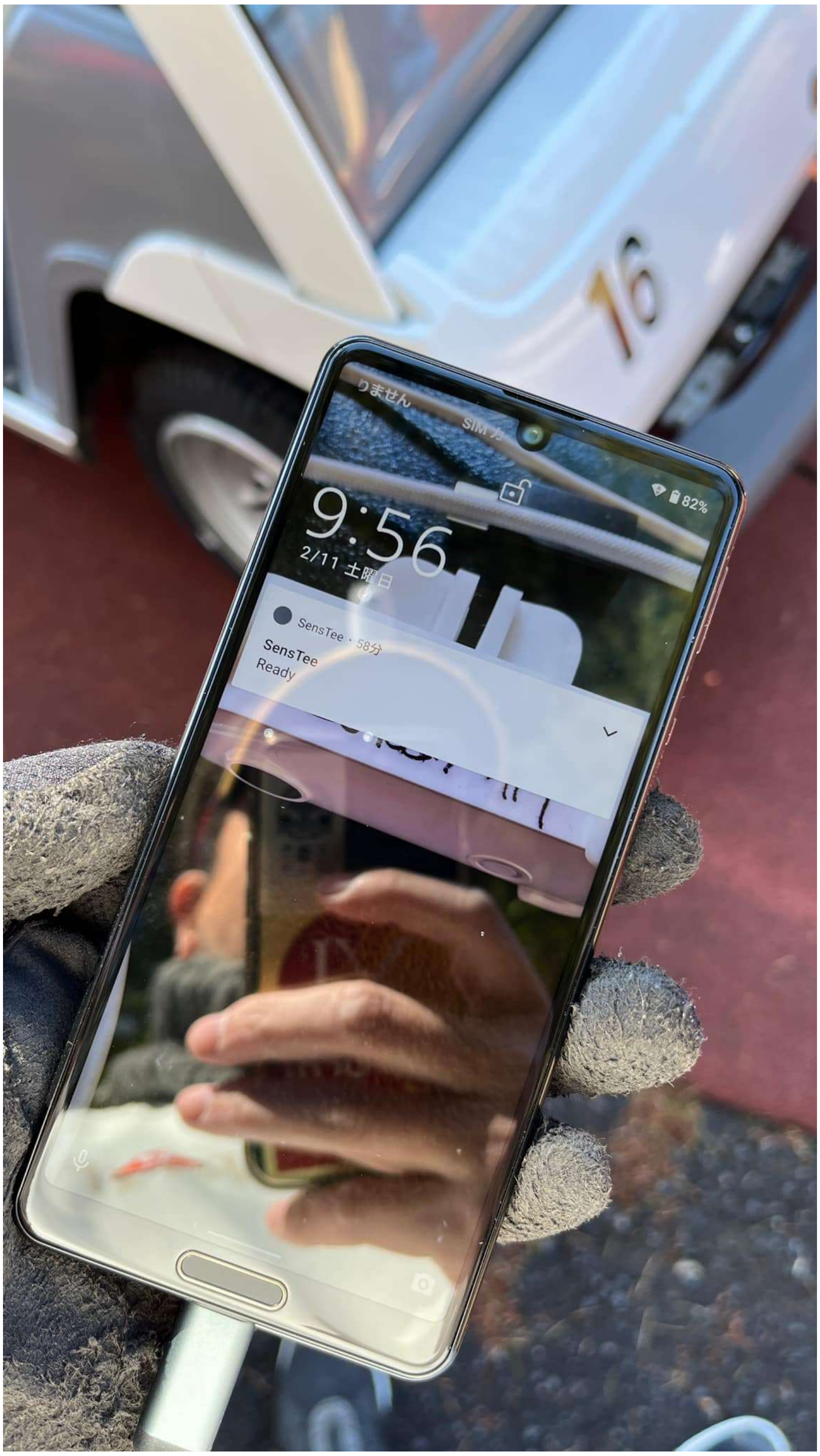


図 4.2-7　ウェアラブルカメラ用アプリの待機画面

図 4.2-8　ウェアラブルカメラ用アプリのスコア登録画面

図 4.2-9　ウェアラブルカメラによる撮影の様子

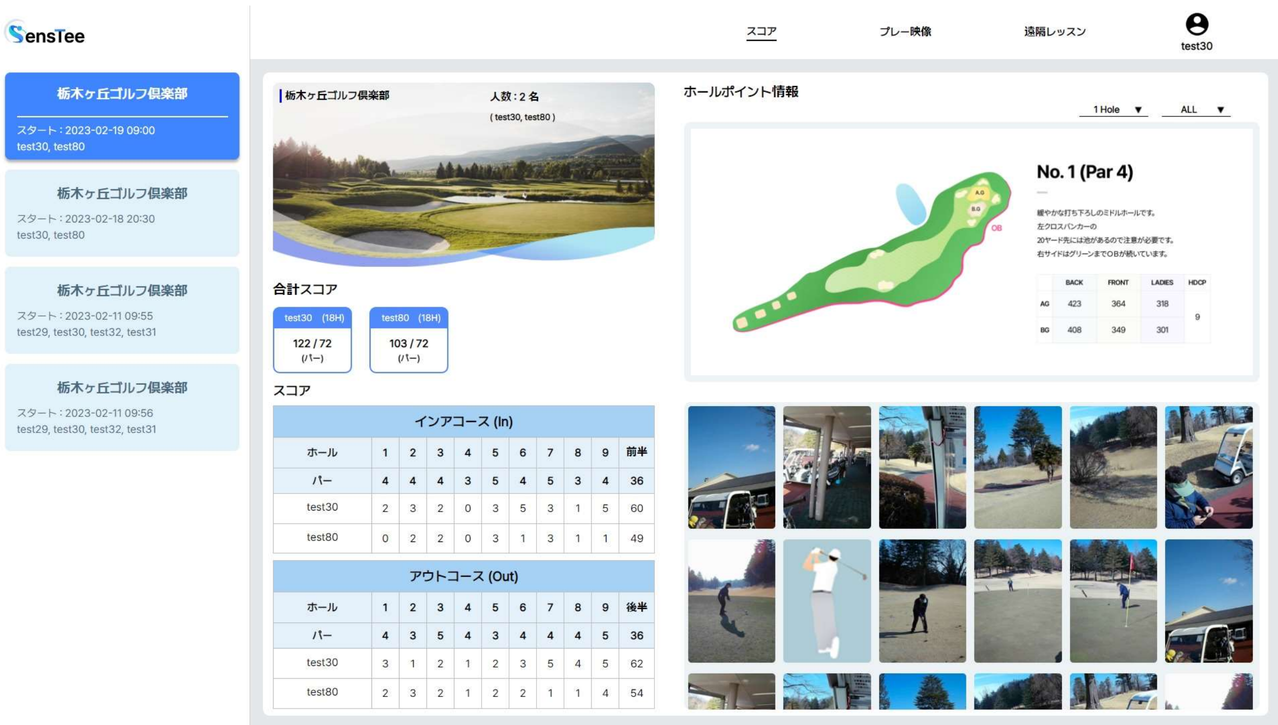


図 4.2-10　プレー動画撮影記録の閲覧

図 4.2-11　プレー動画の様子（横から撮影）

図 4.2-12　プレー動画の様子（後ろから撮影）

図 4.2-13　遠隔レッスンの画面

図 4.2-14　遠隔レッスン実施の様子（講師側）

4.3　　実施事項

4.3.1　　ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

・ドローンによるコースメンテナンス補助等

本実証においては、ローカル 5G 活用モデルによる課題解決を実現するため、ソリューションの要件を満たし得る無人航空機（ドローン）を活用した 3 つの機能について検証を行った。

ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム

ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム

ドローン検証③：配送サービスシステム

・プレー動画撮影、遠隔レッスン

本実証においては、ローカル 5G 活用モデルによる課題解決を実現するため、ウェアラブル 4K カメラを活用した 2 つの機能について検証を行った。

① プレーの動画撮影

② 遠隔レッスン

各プレーヤーは帽子のつば等にウェアラブルカメラを装着し、打者に注目することでプレーが撮影される。撮影された映像は即座にローカル 5G 網を通して CMS サーバへ記録され、カートに設置したタブレットで映像を閲覧できるようになる。遠隔レッスンの場合は、同様の映像を遠隔地にいるレッスンプロ等が閲覧して、プレーヤーに指導を行う。この閲覧はインターネットに繋がる場所であれば、どこからでも可能である。レッスンプロ等の上級者がパソコンやタブレット等から繋いで指導する。

ドローン検証③とプレー動画撮影、遠隔レッスンの検証は、ゴルフを始めたばかりの若者層や初心者も被験者に含める。

各ソリューションのニーズ強度と実証要素について以下に記載する。

ドローンによる巡回、芝育成管理：ゴルフ場においては芝の品質は人気度や来場者数増減に関わる重要な要素であるが、その管理には多くの手間がかかっている。通常は朝一番のプレー開始前に人がコースを巡回するが、コースの隅々までの確認や、全てのコースの確認は非常に困難である。今回ドローンを使用することで全コースを俯瞰的に効率的に確認ができるようになり、また記録されることで定点観測も可能となることから、業務の効率化、属人性及び人手不足の解消をしつつ、芝の好育成に繋げることが期待される。このようなニーズに対し、ドローンの操作がゴルフ場のスタッフにてスムーズに行えるか、業務量が削減できるかを検証した。

ドローンによる配送サービス：世界や日本の一部では昼食を取らない所謂スループレーが主流になっているゴルフ場もある。しかしながらスループレーによりレストランの収入が下がらないようにしつつ、プレーの合間で飲食配送がなされることで、ユーザの満足度は上がると考えている。ドローンの騒音がプレーの邪魔にならないか、運搬できる量は適切か、等を検証した。

プレー動画撮影、遠隔レッスン：多くのゴルファーは、練習場では上手く行くものがコースに出ると上手く行かないことが多く、その要因はコースの起伏等によるものであるが、俯瞰的に見る

ことができないため自己解決が難しい状況にある。プレーしていない人が記録、その場で閲覧可能にすることで、自己俯瞰できる。また、練習場ではない場所でレッスンを受けることでより実践的な解決に結びつけることができると考える。カメラがプレーの邪魔にならないか、記録はプレー向上に役立つか、等を検証した。

本システムの主要要素であるウェアラブル 4K カメラ並びに CMS を活用してプレーを記録し、実証時にはプレーヤーの必要性や状況に応じて遠隔レッスンを実施することで、入場者の満足度向上及びゴルフ場の売上向上に寄与するかを検証する。なお、遠隔レッスンについてはプレー中に実施することでプレー時間が大幅に延び、回転率の低下等の懸念が考えられるため、平日のプレー人数の少ない日や、プレー終了後に一括で実施する等、ゴルフ場の運営に支障が出ないよう限定的な実施で考える。

(1) 機能検証

1) 検証項目

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

本実証では、ヒアリングによって得た従来の作業工程を元に、代替し得る芝管理従事者の作業工程を想定し、実装した機能ごとに定量的又は定性的な評価基準を設け評価及び検証を行った。

<u>ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム</u>

本機能検証では、
a) ドローンによるコース状態の撮影機能
b) ローカル 5G を用いた画像伝送機能
の 2 つの機能を確認した。

a）については、従来芝管理従事者がゴルフカートで巡回し目視によりゴルフコース上の対象項目について管理していたが、ドローンを活用した静止画像から注目箇所を漏れなく把握可能かどうか、及び十分な解像度でデータが取得できているかどうかを評価・検証した。
当初は、上記注目箇所としては、コース芝やグリーン上の忘れ物、芝の荒れ、や水たまりを想定していた。本実証では、実証時期において雨天が少なかったことや、芝管理者へのヒアリングによる業務上の重要度から、落とし物に注目（視認性、高度）して実証を行うことにした。
また、撮影準備開始から撮影完了までにかかる準備作業時間を測定した。
b）についてはリアルタイムで連続して画像が伝送可能な帯域が安定して得られるかを確認した。

<u>ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム</u>

本システムの主要要素である無人航空機（以下、ドローン）並びにクラウド上に実装する画像解析アルゴリズムを活用して、芝の生育状態及び芝の補修・状態改善判断を行うための画像生成を自動化することで、芝管理従事者が行う作業工程の効率化、属人性の解消に繋がる画像生成が可能か評価及び検証した。

本システムは、下記の 3 つ機能で構成する。

a）　ドローンによる芝状態の撮影機能
b）　ローカル 5G を用いた画像伝送機能
c）　芝生育状態判定のための画像生成機能

機能検証の実施にあたっては、本システムを実現する主要機能のそれぞれについて性能基準を策定した。また、芝管理従事者に作業工程をヒアリングして得られた情報から各機能の性能に対する適当な基準値を検討した。その上で、各機能の性能が、選定した基準値を満たしているかどうかを評価・検証した。

a）ドローンによる芝状態の撮影機能

ドローンによる芝状態の撮影機能については、micasense 社の ALTUM-PT を使用、芝状態の把握に必要な解像度にて撮影するための高度について検証した。

b）ローカル 5G を用いた画像伝送機能

ドローン検証①ではリアルタイム性が求められたが、ドローン検証②では、途切れないことではなく、大量のデータをどのくらい早く送れるのかが課題となる。ローカル 5G を用いた画像伝送機能において、以下のネットワーク構成で、大量のマルチスペクトルの画像の伝送がどのくらい時間で可能かどうかを確認した。また、機体操縦に関する無線通信についてもローカル 5G で行うため、万が一通信不通になった場合を想定し、低速 LTE 回線をバックアップ案として確保した。

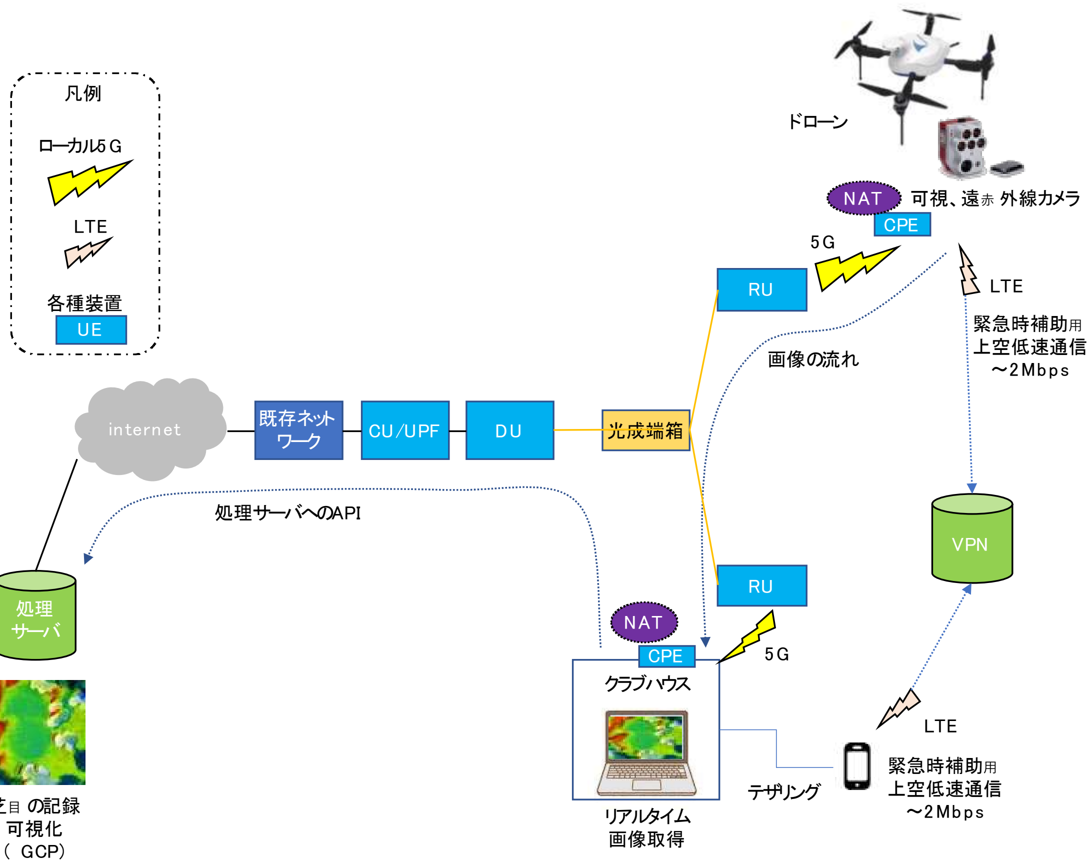


図 4.3-1 ネットワーク図

c）芝の生育状態解析用画像生成

クラウド上の芝の生育状態解析機能から得た芝生育マップ表示機能を通じて、芝の生育状態を判断可能かどうか評価した。芝管理従事者の方の実物の目視判断とドローンによる情報取得を比較することで、 NDVI 値を使って導出した 芝生育状況の良否の閾値を検討した。加えて、生育状態を判断した結果、芝状態改善・補修のためにどのような作業内容が必要かを導出可能かも評価・検証した。

ドローン検証③：配送サービスシステム

ドローンによる配送の機能検証として、プレーヤーが軽食や飲み物などを注文すると、指定された荷物受け取り所で商品を受け取るサービスの提供を想定し、騒音、配送時間、配送に必要な人工の評価を行った。

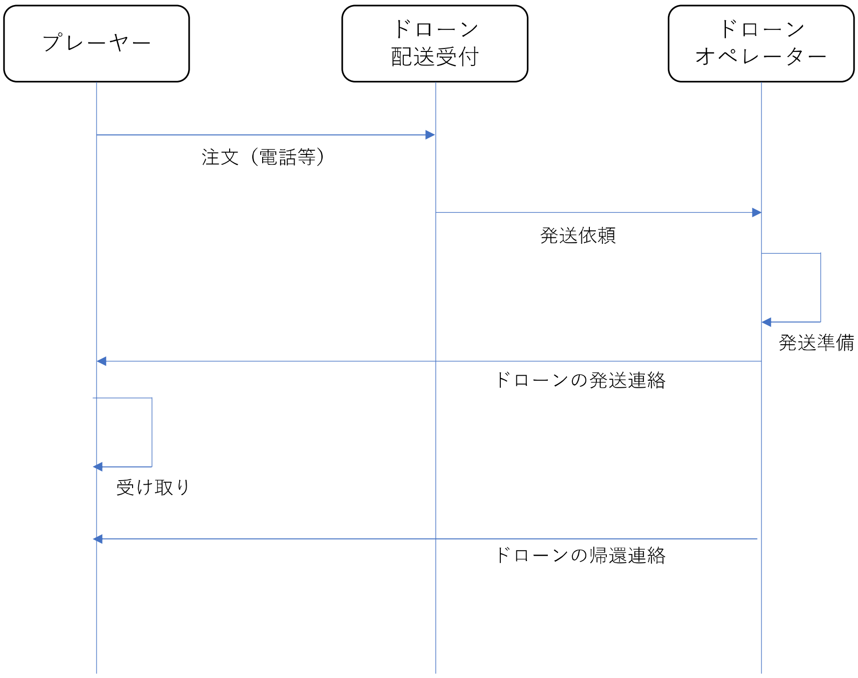


図 4.3-2 ドローン配送の運用の流れ

プレーヤーにとって飛行中ドローンが発する音が直接的、間接的にプレーを阻害し不快な思いをさせることがないような運用を目指し、飛行中の地表面での音を計測した。また、注文メニューを載せたドローンにより配送が可能かを検証した。そのため、配送時間及び配送に必要な工数を検証項目とした。軽食で出るゴミについては、プレーヤーがカートに乗せて持ち帰り、自身で持ち帰る想定である。実装時にはゴミ回収の工程も想定されるが、現状、栃木ヶ丘ゴルフ場ではお客様に持ち帰って頂いていることが分かり、本実証の工程には含めなくて良いと判断した。

検証項目：
ドローンの飛行時の騒音
配送時間
配送に必要な工数

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

体験したプレーヤーに対してアンケートを実施し、プレー動画撮影、遠隔レッスンのソリューションにおける映像品質の満足度やカメラデバイスのプレーヤーへの負荷について評価を行った。

2） 検証方法

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

評価対象箇所ついては、当初の想定として、2022 年 8 月 30 日（火）の現地における通信感度の

計測結果から得られたデータのうち、通信上の見通しが「〇」と判断されたコースの中から選択する予定だった。本実証では、クラブハウスからの距離、電波強度、技術実証実施時期、更に第3者上空にならないかどうかを踏まえてコース選定し実装した機能が機能することを確認した。具体的な実施コースは以下に記載した。

<u>ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム</u>

a）ドローンによるコース状態の撮影機能

定性評価：芝管理従事者の目視により、注目している箇所の撮影漏れがないかを確認しドローン撮影の代替性を評価した。芝管理従事者が注目する箇所については、芝管理従事者の従来の作業工程のヒアリングからその特徴や見極め方を参考に、注目箇所のチェックリストのキーパーの目視確認した数と比べてのカバレッジ（パーセンテージ）で評価した。コース芝やグリーン上の忘れ物を中心に確認した。

定量評価:コース内の注目箇所に対して撮影範囲が十分であるか､飛行計画の妥当性を評価した。撮影で見えていない注目箇所がどの程度あるかを確認した。撮影範囲が 90%以上カバーできていることを目指した。

定量評価：巡回で落とし物が確認できる高度、選定したコースの巡回時間を測定した。

カートを用いた巡回ではゴルフ場全体を巡回するのに､30 分から 1 時間程度かかっているため、それよりも短い 30 分前後で、ゴルフコース全体の撮影画像を取得できるかを評価することを目指し、まずは選定したコースに対して巡回時間を評価した。

b）ローカル 5G を用いた画像伝送機能

定量評価：映像伝送に必要な通信帯域の確保ができているかを数値で確認しローカル 5G の伝送の特性を評価した。送らなければいけないデータ量に対して、必要な帯域が各地点で確保できるかスループット等を用いて評価した。まずは従業員に対して画像の更新レートに対する許容度をヒアリングし定性評価し、それを踏まえて定量評価基準を設定した後に定量評価することとした。

<u>ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム</u>

a）ドローンによる芝状態の撮影機能

選定したコースを対象に、撮影解像度を高度と比較しながら、検証した。より高度になると解像度が下がるが、その分撮影時間の短縮化が測れるため、解像度と作業時間の最適化を検討した。異なる高度で撮影した結果からどの程度芝状態が把握できるか、まずは芝管理従事者に定性的に評価頂くことで、作業時間の短縮に繋がる最適な高度を検討した。

b）ローカル 5G を用いた画像伝送機能

十分な帯域が取れるかを確認する。従業員に対して伝送開始から完了までの時間についてヒアリングし定性評価し、それを踏まえて定量評価基準を設定した後に定量評価することとした。

c）芝の生育状態解析用画像生成

まず、芝状態の確認に必要な地上解像度を確認し、その解像度が取得できる高度にてオーバーラップ率 80%、サイドラップ 60%以上の画像重なりでコースを撮影し、クラウド処理にて NDVI を用いたオルソ画像を作成した。その後、分析ツールを用いて、この NDVI オルソ画像と実際の目視による判定を比較して、閾値候補を特定し、芝管理従事者による現場目視と NDVI オルソでの検出結果の対比を行った。それにより、この後の運用・効果実証で効率的と想定される閾値を推定した。

定性評価：芝管理従事者により確認した対処箇所に対比して、NDVI オルソに対する閾値の選択により得られた芝生育マップが、良否を有意に示すかを評価・検証した。

定量評価：対処箇所については、様々なタイプが想定される。そのため、芝管理従事者に品質管理上の対処箇所の優先度等をヒアリングした上で選定し、高優先度の対処箇所を定量評価の対象とした。その上で、対象の対処箇所について芝管理従事者の目視判断による対処箇所数と芝生育マップによる判別数を対比し評価・検証した。

<u>ドローン検証③：配送サービスシステム</u>

ドローン配送の機能検証を以下の方法で行った。

定量評価：従業員にヒアリングした上で、離着陸場所付近、飛行ルート上、及び隣接コース等の複数箇所で、飛行時の音をマイクロフォンで測定して、音の分布を可視化した。

定量評価：注文から配送、機体の回収の工程を見据え、簡易的なルートを設定して飛行時間を計測した。

定量評価：注文から配送、完了までの想定工数について、机上計算した。

それぞれの評価対象の定性評価については、プレーヤーからアンケートを取得した。

アンケート内容について下記に示す。

表 4.3-1 ドローン配送のアンケート内容（プレーヤー向け）

ソリューション		ドローン配送	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		6 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40

ソリューション		ドローン配送	
			代、50 代、60 代以上
		プレー日	2 月 17 日
		コース	OUT コース、IN コース
		ご予約開始時間	時間
		居住地	栃木県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台
	定性評価	ドローンの飛行音は気になりましたか？（騒音のプレーへの影響度）	5 段階（とても気になる：1～まったく気にならない：5）
		オーダーから受け取りまでの提供時間はいかがでしたか？（配送時間に対する満足度）	5 段階（とても不満：1～まったく気にならない：5）
	その他感想	自由記述	

また、配送の想定工数についても、従業員からアンケートを取得した。

アンケート内容について下記に示す。

表 4.3-2 ドローン配送のアンケート内容（従業員向け）

ソリューション		ドローン配送	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		従業員	
アンケート取得数		6 名	
質問内容	基本情報	業務種	フロント、マスター室、レストラン、調理、コース管理、営繕、事務所
		業務従事年数	年数
	定性評価	提供にかかる工数は問題ありませんでしたか？（配送作業の工数）	5 段階（不要な動きが多い：1～最適解：5）
	その他感想	自由記述	

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

プレー動画撮影、遠隔レッスン

定性評価：体験して頂いた入場者からアンケートを取得した。5 段階評価のうち、上位 2 つまでが 50%以上を占めるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。なお、遠隔レッスンは指導者の数も限られるためプレー動画撮影に比べると限定的な検証となった。

定量評価：記録された動画における再バッファリングの発生回数をアンケートにて取得した。

定性評価、定量評価については、プレーヤーからアンケートを取得した。

アンケート内容について下記に示す。

表 4.3-3 プレー動画撮影のアンケート内容

ソリューション		ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		66 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上
		プレー日	何月何日
		コース	OUT コース、IN コース
		ご予約開始時間	時間
		居住地	都道府県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台
	定性評価	カメラを使ったプレーはいかがでしたか？	5 段階
		撮影したプレー映像の品質(画質や滑らかさ)はいかがでしたか？	5 段階
		カメラはプレーの邪魔にはなりませんでしたか？	5 段階
		カメラの操作方法はいかがでしたか？	5 段階
	定量評価	映像のフリーズ(意図しない	5 段階

ソリューション		ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）	
		動画の停止）は何回発生しましたか？	
		バッテリの持ち時間は問題ありませんでしたか？（プレー中にバッテリ切れ等はなかったか？）	5 段階
	その他感想	自由記述	

表 4.3-4 遠隔レッスンのアンケート内容

ソリューション		ウェアラブルカメラ（遠隔レッスン）	
内容		項目	回答(備考)
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		19 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上
		プレー日	何月何日
		コース	OUT コース、IN コース
		ご予約スタート時間	時間
		居住地	都道府県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台
	定性評価	遠隔レッスンは問題なく受けられましたか？(指導者とのやり取りの滑らかさ)	5 段階
		遠隔レッスンをやってみていかがでしたか？(レッスン受講の満足度)	5 段階
		遠隔レッスンはスコアアップに繋がると思いますか？	5 段階
	その他感想	自由記述	

3）　検証結果及び考察

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローン検証①：芝の状態把握のための巡回システム

a）ドローンによるコース状態の撮影機能

定性評価：芝管理従事者の目視により、注目している箇所の撮影漏れがないかを確認しドローン撮影の代替性を評価した。令和 5 年 1 月 18 日、2 月 3 日、17 日、27 日にて飛行を実施し、芝の劣化や落とし物の判別などの確認を行い、またヒアリングを実施した。

ドローンのコースは 1 月時点ではゴルフ場の休館日でドローンの配送と合わせるために、16 番ホールでの簡易実験を行い、その後は、循環試験として顧客が先にプレーし終わる 1,2,3 番ホールを回るコースにて実験を行った。

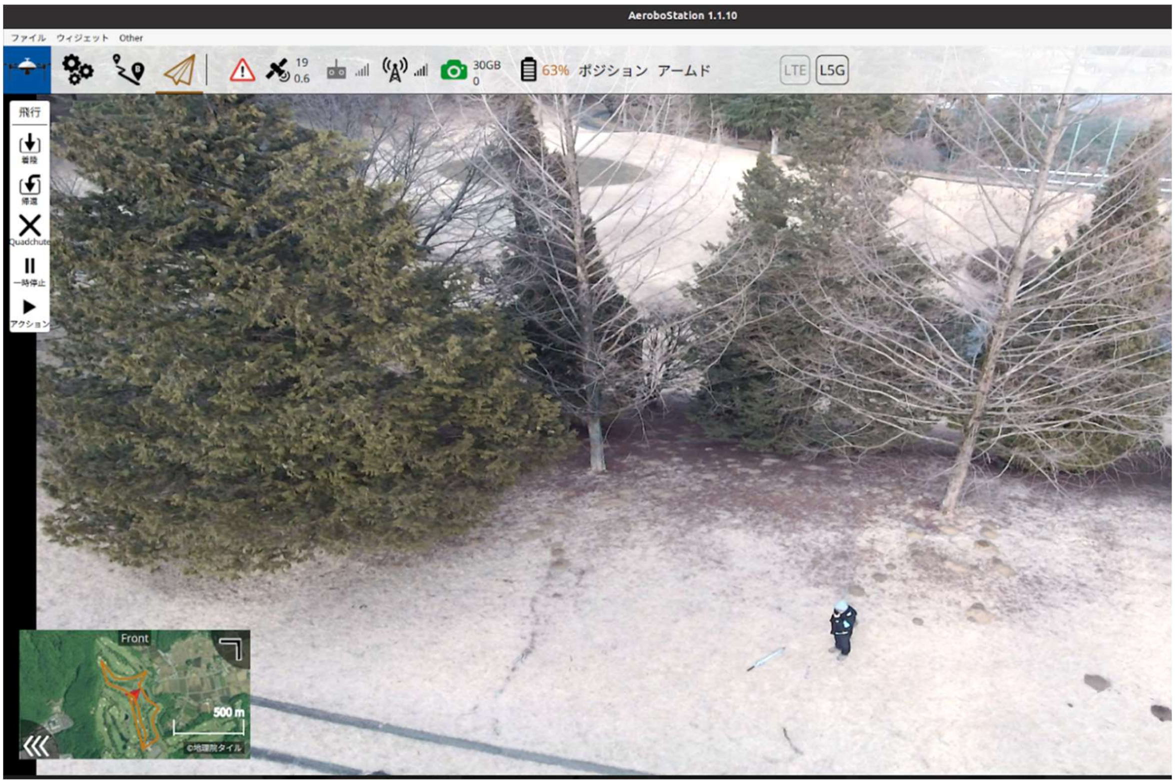


図 4.3-3：16 番ホールでの傘の忘れ物の確認の状況

図 4.3-4：3 番ホールでの忘れ物、鍵、携帯電話の確認の状況

定量評価：コース内の注目箇所に対して撮影範囲については広範囲で見ることができた。全範囲にて、コースの横幅前面が撮影できていることを確認でき、撮影範囲が目標の 90%以上カバーできていることが確認できた。実際には確認すべきコース全般が見えたため 100%のカバレッジだった。

落とし物については実際に地面に置いたものをドローンにて確認した。
その際に本実証では 4K での映像を送るための圧縮に VP9 を使用した。bitRate は 40Mbps としたが、追試により全区間にて安定して通信できるのが 20Mbps だったため、20Mbps にビットレートを変更し、画質劣化がないことを確認した上で実験を行った。

具体的には
・グリーンパスポート
・傘
・ゴルフクラブ
・車の鍵
・スマートフォン

などをコース上において、ドローンからの映像で確認し巡回撮影することによって確認を行った。結果として、高度 50m 程度では目視が難しく 15m 程度まで高度を下げて目視確認を行った。水平 110 度でコースの端から端までが見える範囲で飛行ができ、かつ落とし物が見える高さであることが確認できた。キーパーがくまなく目視巡回すれば見つけられる大きさの落とし物を複数パターン用意し、グリーンパスポート、傘、ゴルフクラブ、車の鍵、スマートフォンなどを使って検証をした。結果、巡回中に見つけられたものが半数 50%となった。実際にはキーパーが全

コースをくまなく見て回ることは現実的には膨大な工数を要するため不可能であり、50%であっても、1 つの有効手段であると評価できる。

検出精度が上がらなかった要因としては、芝も均一ではなく、様々な斑点のような芝の特徴点が存在するため、見慣れていないと、落とし物とそうでないものを判断するのに時間がかかる。定性的ではあるが回数を重ねるごとに見つけやすくなる感覚もあり、訓練で認識率が上がると思われる。これは今後の AI 解析による自動化でも同様の効果が出ると想定できる。

定量評価：選定したコースの巡回時間を測定する。
実際に測定したコースは以下の 1，2，3 番コースにて実測を行った。飛行水平距離が 605m であり、離陸上昇に 20 秒、水平飛行に 2 分 20 秒、着陸に 20 秒の合計 3 分での巡回となった。

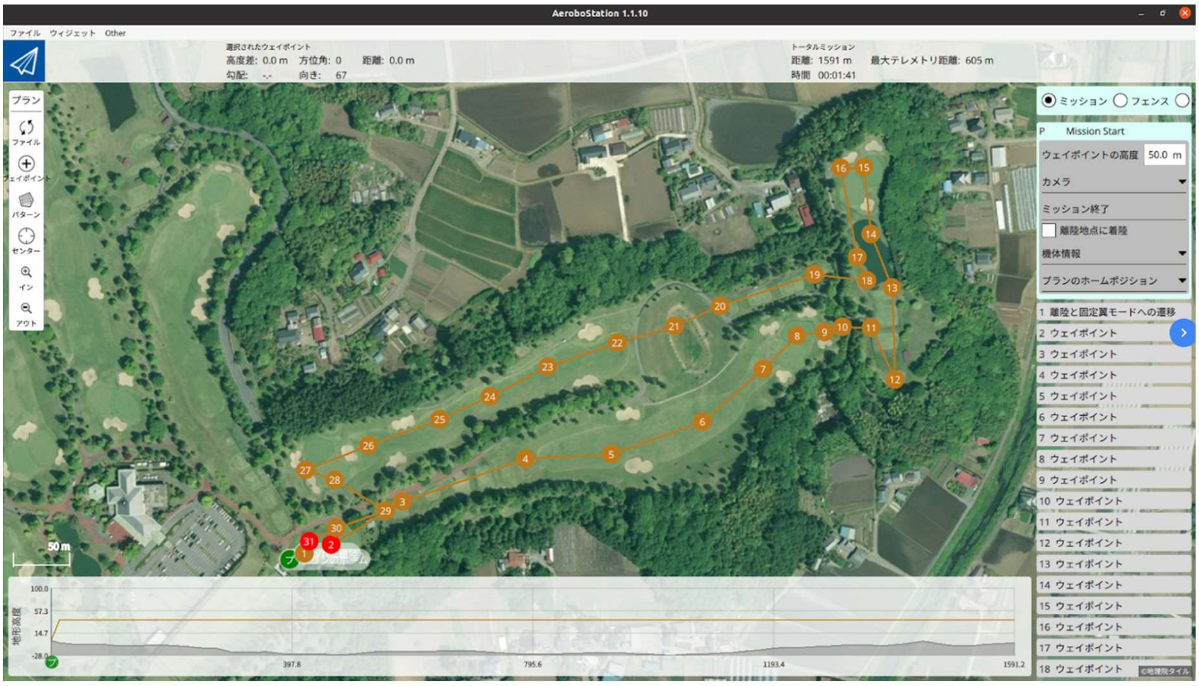


図 4.3-5：1～3 番ホールのコース巡回

それぞれのコースにて全域を見ることができることを確認した。経路として気をまたぐところだけは、上下方向に経路を注意して作成する必要があったが、それ以外は、コースを道なりに飛ぶようにするだけで、網羅率のコース設定を実現できることが確認できた。

他の区間での飛行時間想定としては、4～9 番ホールまで 9 分、10～18 ホールで 15 分となり全区間での飛行時間は 30 分以内に収まることが分かった。本実装時には据え置きシステムにすることで準備時間の削減により、全 18 ホールを 30 分での巡回が可能であることが確認できた。また、現行の目視巡回と同様に全 18 ホールの 6 分の 1 の 3 ホール程度の巡回であれば 5 分での巡回が可能となる。

実際には準備時間の削減のために、据え置きドローンにして、箱から出してセットアップする時

間、コースを設定する時間などは、ゼロにできる。グリーンキーパーは電源を入れて決められたコースを選択してスタートするだけで自動的にコースの状態の取得が可能となる。

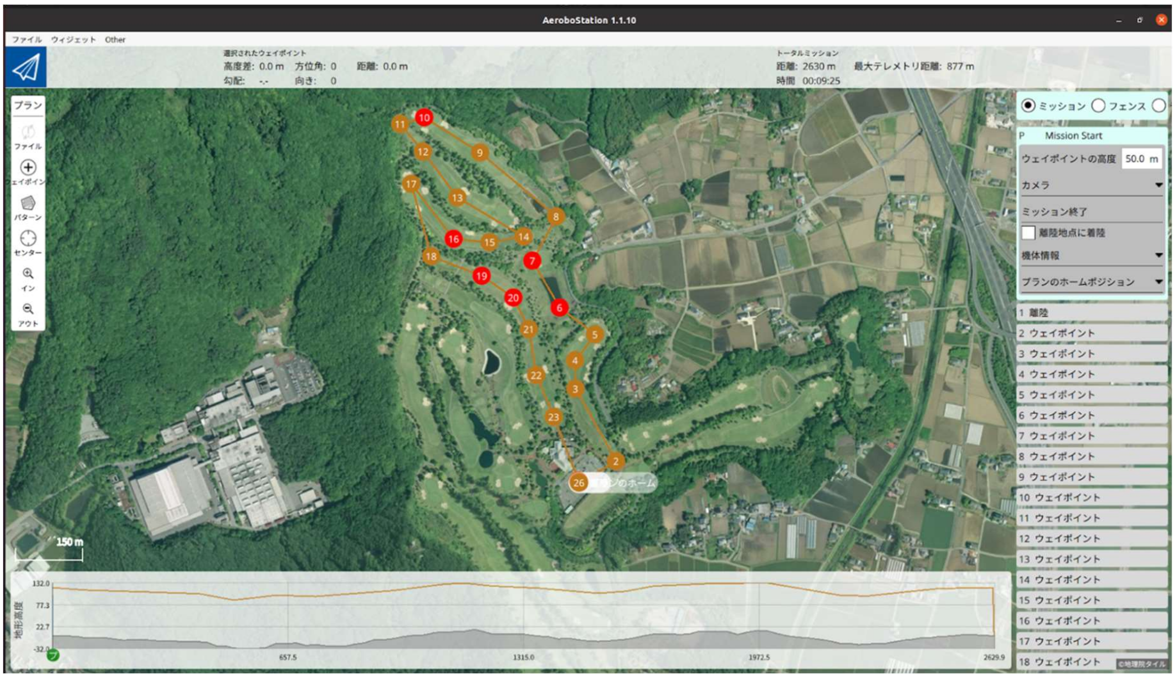


図 4.3-6：4～9 番ホールのコース巡回

b）ローカル 5G を用いた画像伝送機能

定量評価：

ドローンシステム全体を通した帯域のスループットを計測した。

- 直接の Local5G のスループット　上り、400Mbps、下り、200Mbps に対して
- 直接 Ether 接続　100Mbps
- VPN 経由　60Mbps
- 練習場（見通しなし）40Mbps
- 練習場までの道の木陰　20Mbps（最低値）

となった。上空では直接測れなかったが、見通しはよく通信はほぼ正常に行われていた。一部、帯域が落ちる地点が存在したが、アンテナの指向性が関係していると思われる。

実際に伝送したい映像伝送の帯域は 40Mbps であったため、帯域が取れない場所での離着陸を避けることで、ほぼ全域で帯域を確保することが確認できた。

<u>ドローン検証②：芝の生育状態解析用画像生成システム</u>

a）ドローンによる芝状態の撮影機能

1 番, 3 番ホールを対象に、NDVI を取得した。

使用したカメラは micasense 社の ALTUM-PT を用いた。

- 水平解像度 4112pix, 垂直解像度 3008pix,

- 水平画角 44 度、垂直画角 38 度

のカメラとなる。

高度による見え方を確認するために、

- 高度 70m：地上解像度 15mm
- 高度 130m：地上解像度 28mm

の 2 通りで撮影を行った。オーバーラップ率 80%、サイドラップ 60%以上の画像重なりでコースを撮影を撮影している。以下に最終的な NVDI の結果を示す。

図 4.3-7：生成した NDVI

解像度の比較としてカラーパレット化する前のオリジナルの NDVI のデータを比較する。

地上解像度が細かい 70m 高度のデータに比べて、130m 高度の方が画像は荒くなるが、芝の植生という意味では、130m 高度からの解像度で芝の植生解析が可能であることが確認できた。

時間は 130m の場合 17 分、70m の場合 14 分が 2 回のフライトとなった。70m 高度の場合 18 ホールで 12 フライトとなるため、コース休業日が限定されている状況では NDVI だけ確認するのであれば、半分の時間で完了できる 130m 高度の方が早く取れる方が良いと判断できた。

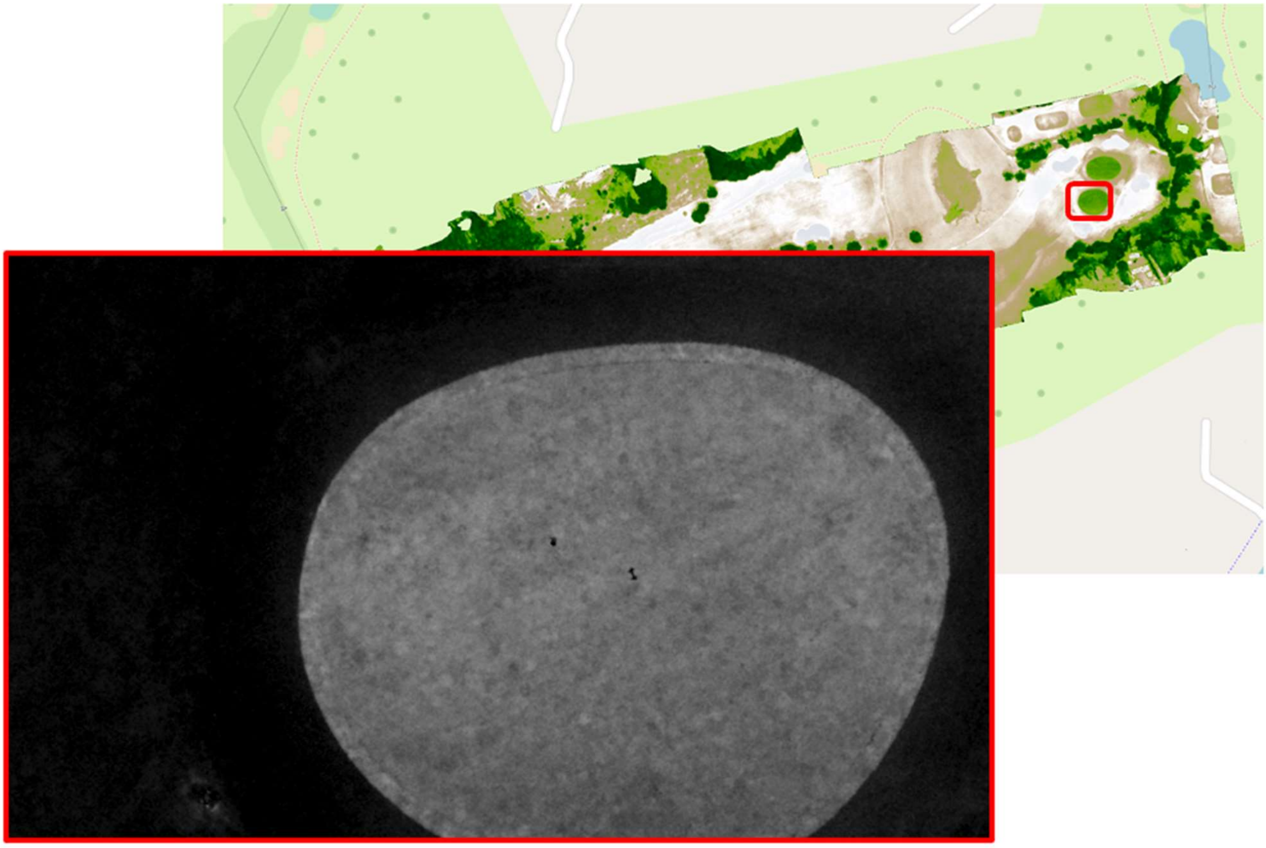


図 4.3-8-1：高度 70m で撮影した結果（元の NDVI ファイルの抜粋）

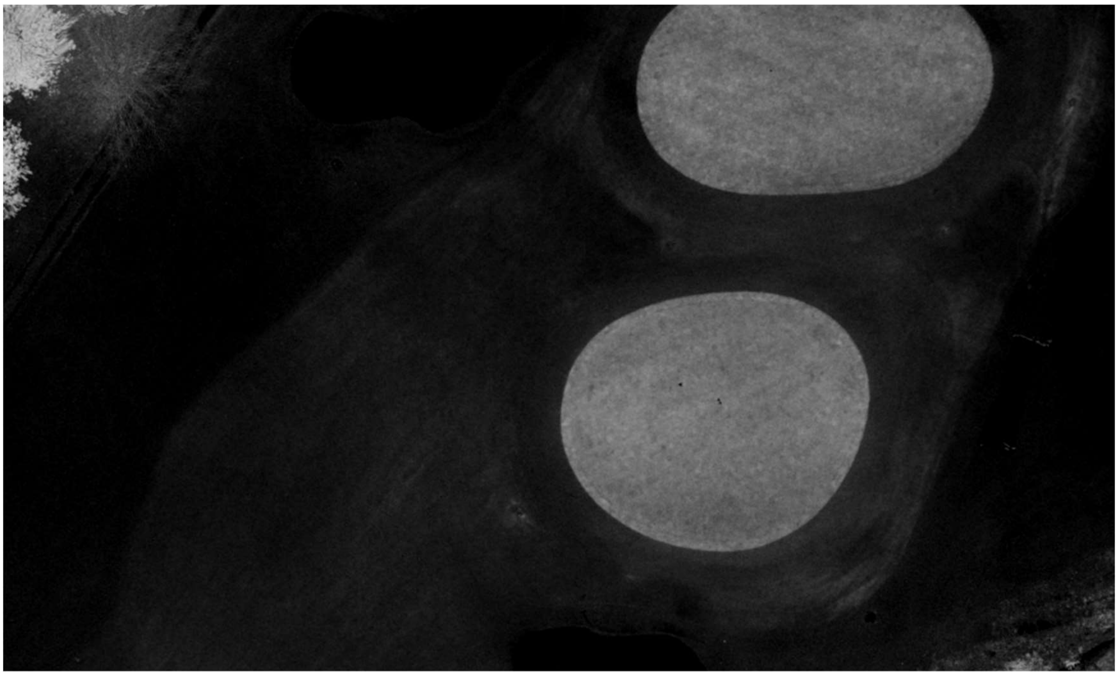


図 4.3-8-2：高度 130m で撮影した結果（元の NDVI ファイルの抜粋）

高度130m　高度70m

図 4.3-9：飛行経路の密度の違い

b）ローカル 5G を用いた画像伝送機能

実運用に使える十分な帯域が取れるかを確認した。1 秒間に 20Mbyte の画像セットを撮影していたため、良好な環境であっても、撮影時間よりも伝送時間の方が長くなったが、飛行中から Local5G を用いて取得したデータを転送していたこと、また、一回の飛行時間が 10 数分程度であったため、特に待ち時間を意識せずに、片付け時間にデータのアップロード完了前終えることが確認できた。

c）芝生育状態の判定

NDVI によるオルソ画像が、芝管理従事者の目視による芝状態把握と一致するか否かを検証した。NDVI オルソ画像（一例：図 4.3-6）を作成し、実際にコースを回り芝の長さ・色等による生育具合確認しながら、同時に同じ場所のオルソ画像を確認し、現行業務の手法により確認し定性的な芝の状態と提案手法による NDVI オルソ画像による定量的な評価値がどの程度一致するかを検証した。その結果、概ね全てについて両者が一致することを確認できた。これは、熟練が必要な目視による芝状態の把握業務について、少なくとも実証時期の 2 月においては本ソリューションの一定の業務代替性の可能性を示している。

次に、芝管理従事者の経験・知見に基づいた感覚的な判断を客観的な評価手法による判断とすることを目的として、複数の NDVI オルソ画像を作成して様々なコース状態での検証を行い、整備の要不要を判定する閾値の設定を目指した。

そこで、得られた複数の NDVI オルソ画像を比較検証したところ、芝の状態の変化差分が植生解析による分解能を下回る結果となり、変化を検知できない結果となった。これは、実証実施時期である冬季特有の、日々の状態変化に乏しい傾向の時期であることが要因として挙げられる。今後の対応としては、芝の生育状態の変化に富む冬季以外の時期を含め通年を通し多様なデータを蓄積し、評価検証を行う必要がある。

また、今回得られたデータを元に、植生解析の専門の小山高専の飯島先生と議論を行った。今後の発展に向けた議論として、前年比、前月比、前日比といったデータ差分を抽出した結果に加え、芝管理従事者が現状の業務で得たコース状態をデータとして蓄積し、更には、マルチスペクトルカメラで得られた複数の波長によるデータを NDVI 以外にも活用することで、芝管理従事者の経

験・知見に基づく判断を可視化することができる可能性を高められると考える。

ドローン検証③：配送サービスシステム

ドローン配送の機能検証を以下の方法で行った。
定量評価：騒音試験を令和 5 年 1 月 18 日、2 月 17 日に従業員にヒアリングした上で、離着陸場所付近、飛行ルート上、及び隣接コース等の複数箇所で、飛行時の音をマイクロフォンで測定して、音の分布を可視化した。

実測値として観測地点から上空 25m、50m、100m、水平 0m（真上）、100m、200m の地点にて計測を行った。計測器は Wintact デジタル騒音計 WT1357 を用いた。

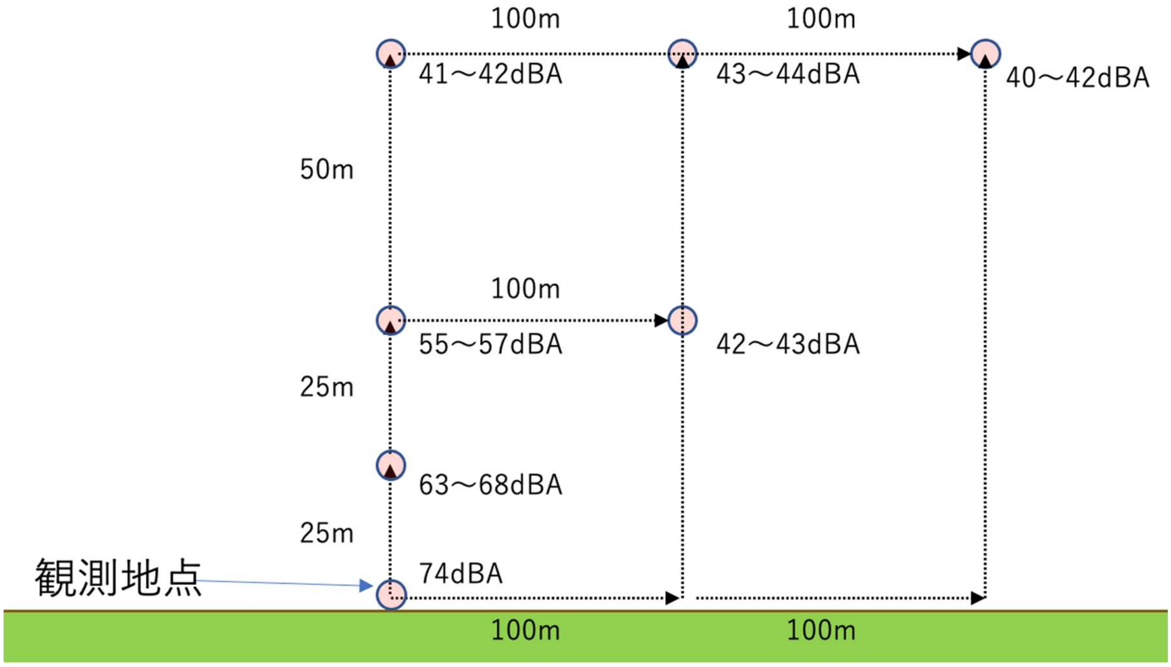


図 4.3-10-1：騒音測定結果

結果として 100m 上空ではほぼ聞こえない状態となり、周囲の雑音の方が十分に大きい結果となった。体感として 50dBA 以下になるとほぼ気にならないことが観測できた。

定量評価：注文から配送、機体の回収の工程を見据え、簡易的なルートを設定して飛行時間を計測する。クラブハウスのレストランからの配送を想定し、クラブハウス前から、最奥の売店になる 16 番ホールの売店での受け渡しを想定する。

図：4.3-10-2　配送コース

準備：お昼のお届けのため、事前準備として機体はセットアップが済んでおり、規定航路での飛行のため、飛行プランの設定も完了している想定とする。飛行時間は 3 分だが、その前後の準備が同じくらいかかり、全体でも 12 分 30 秒程度となった。

定量評価：注文から配送、完了までの想定工数について、机上計算する。

全体の流れ

- レストランから配送品を受け取り、輸送箱に詰め、機体に装着：1 分
- 電源 ON 後、飛行前点検として、電池交換、機体外装確認、通信確認、センサーチェック：4 分
- 飛行開始〜売店着陸：3 分
- 受け取り〜再離陸：1 分 30 秒
- 飛行〜クラブハウス前着：3 分
- 飛行後確認、次の飛行のための片付け：2 分

合計：12 分 30 秒

これを短縮するために、以下の方法が考えられる。セットアップの練習と簡略化で総準備時間は1/4 の 1 分程度になると想定できる。飛行時間については、飛行速度を 5m/s から 10m/s に変更して、移動時間を約半分に。受け取りのオペレーションを自動化することで着陸後すぐに離陸することで 30 秒程度に。着陸後の後処理の簡便化を整理することで半分程度に、などできれば時間としては半分には短縮できると想定する。

それぞれの評価対象の定性評価については、プレーヤーからアンケートを取得する。

令和 5 年 1 月 18 日（水）に実施したアンケート内容について下記に示す。

配送を体験した方への騒音に対するアンケート結果を以下に示す。

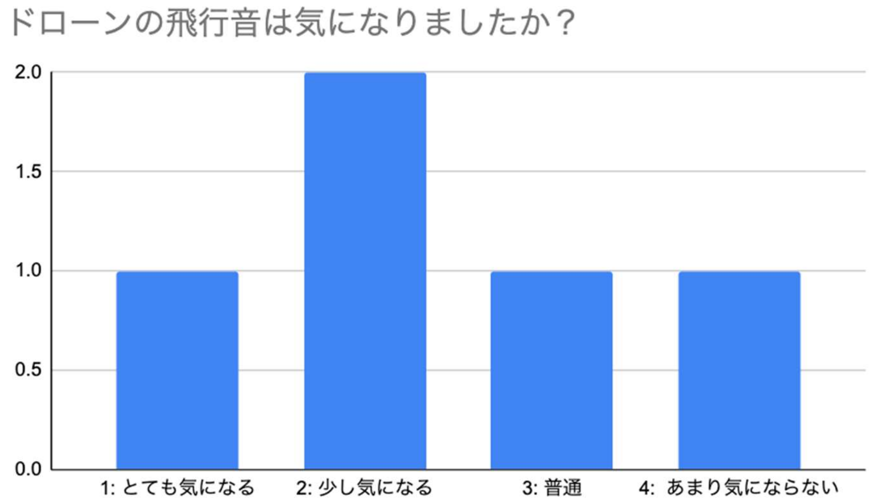


図 4.3-11-1：アンケート結果

その他のプレーヤーからの声としては以下の声が上がった。

- 音は近くに来るとうるさかったが提供も早くて良かった
- 開けるのに時間がかかってしまっていたのですぐ取れればいいと思います
- ドローンから飲食物をはずすのがもっと簡単だと、スタッフを介せず　どこのホールでも受け取れて良いかなと思った。
- 音声で会話ができたら、おもしろい。
- 高い場所を飛んでいたのでゴルフには影響しなさそうではあった、売店にないものがあれば買いたい。

また、配送時間としては全員から今回の 5 分であれば、次回も利用したいという回答を得た。

提供に係る工数に関して、机上の計算結果についての従業員からの回答は、以下の通り。

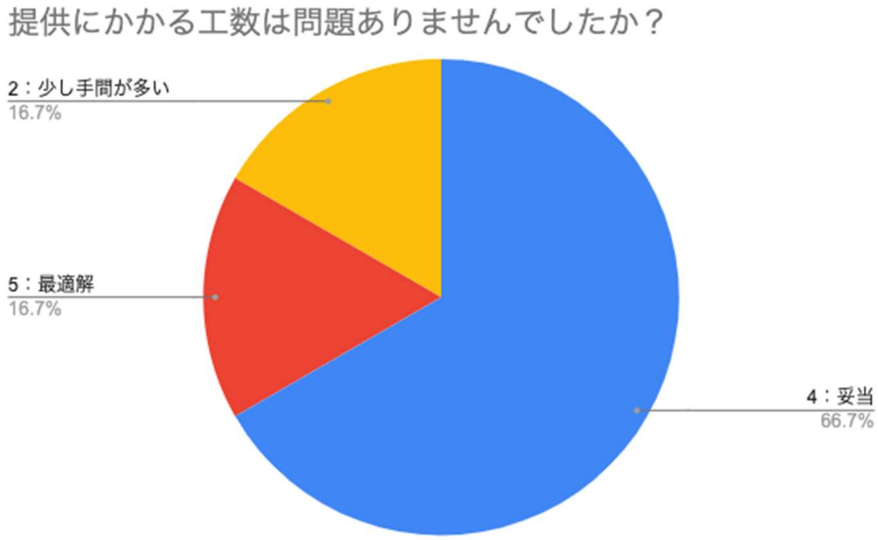


図 4.3-11-2：アンケート結果

従業員からは、更に回数を重ねることによる習熟が必要との声を得た。

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

令和 5 年 2 月 9 日(木)～2 月 19 日(日)の間の 7 日間で体感実証を行った（降雨、降雪、等の悪天候時は実施を見送った）。事前検証時に不具合（カメラの接続が切れる、認識しない等）が発生したため、また想定外の不具合が発生しプレーが遅延することでゴルフ場及び体感者や後続のお客様に迷惑をかけることのないように、全ての組において 1 名の補助員（ゴルフ場スタッフではなく、ソリューションベンダーにて対応）を帯同させることとした。補助員にてスタート前にアプリのセットアップやデバイス装着の説明を行った。プレーヤーにはあらかじめ登録してあったアカウント・パスワード、ログイン URL を渡すことで、各自閲覧ができるようにもした。

体感者から取得したアンケートの結果は下記の通りである。

まず体感者の属性であるが、年齢では 60 代以上が 1/3 以上を占めた。なおレジャー白書の調査によると、ゴルフ人口の年齢別割合は 20～30 代が 13%、40～50 代が 37%、60～70 代が 50%となっているが、本実証では平日の実施が中心だったため、仕事をリタイアしたであろう 60 代以上が多くを占める状況となった。

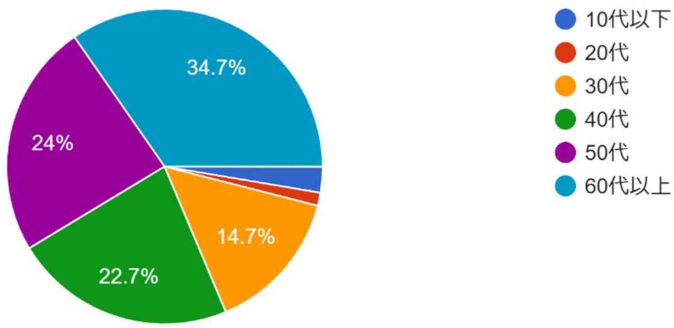


図 4.3-12：アンケート結果

続いてプレー動画撮影の評価について各設問に対する回答の分布を以下に示す。評価は 5 段階とし、1 が一番低評価（満足度が低い）、5 が一番高評価（満足度が高い）、となる。

プレー動画撮影（定性評価）

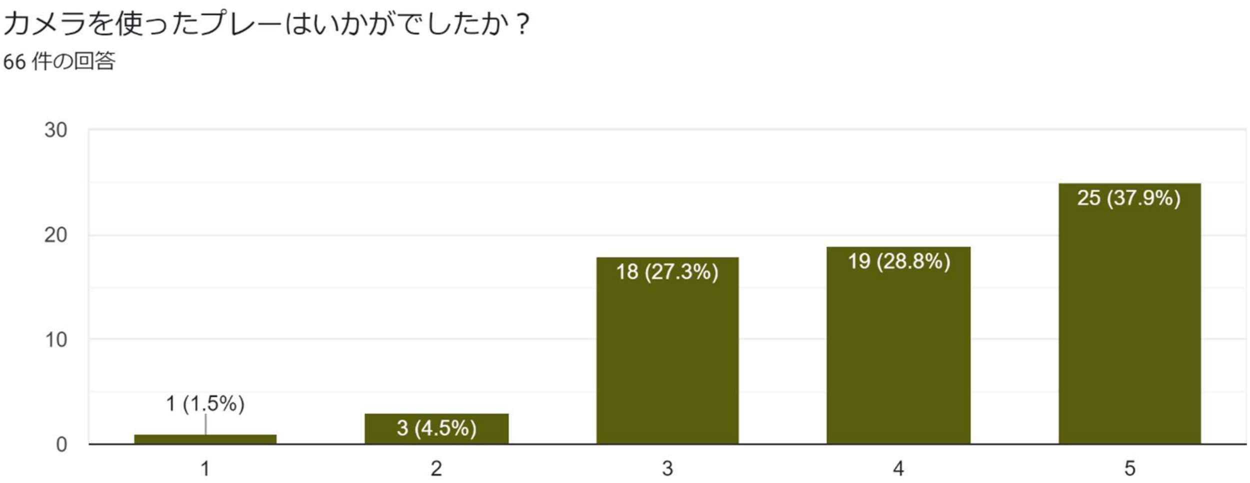


図 4.3-13：アンケート結果

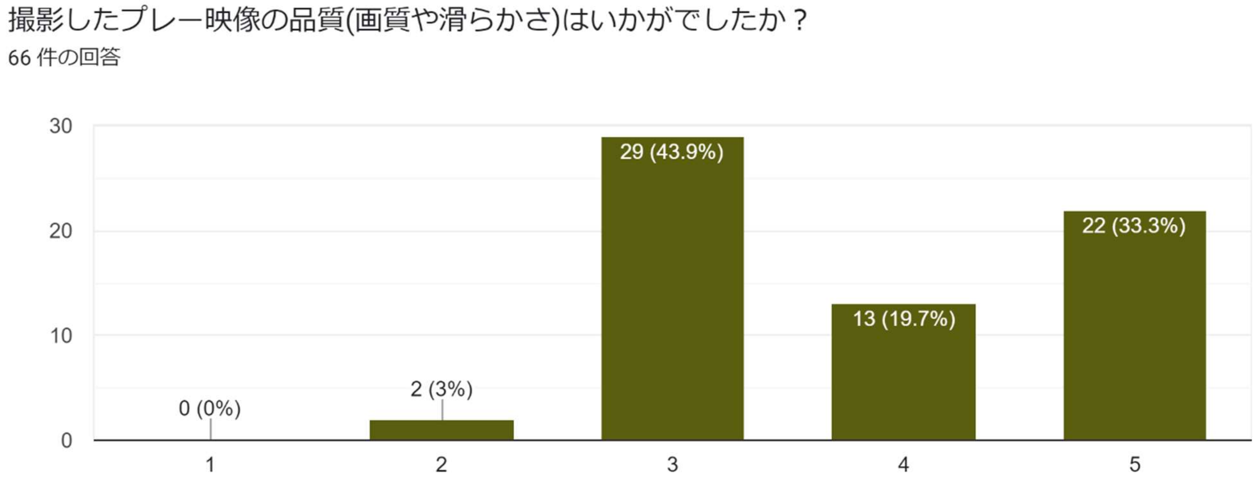


図 4.3-14：アンケート結果

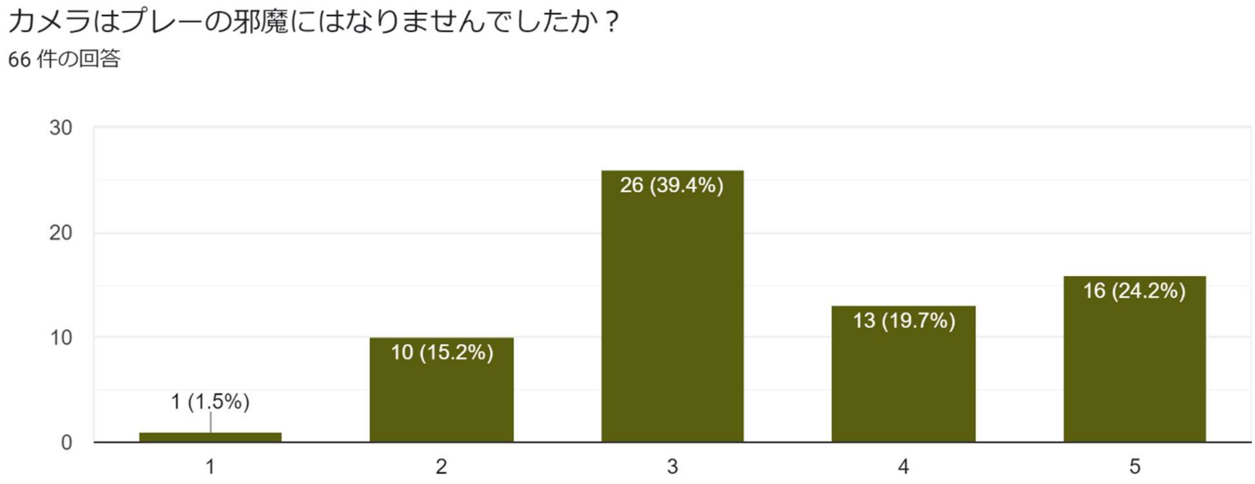


図 4.3-15：アンケート結果

カメラの操作方法はいかがでしたか
66 件の回答

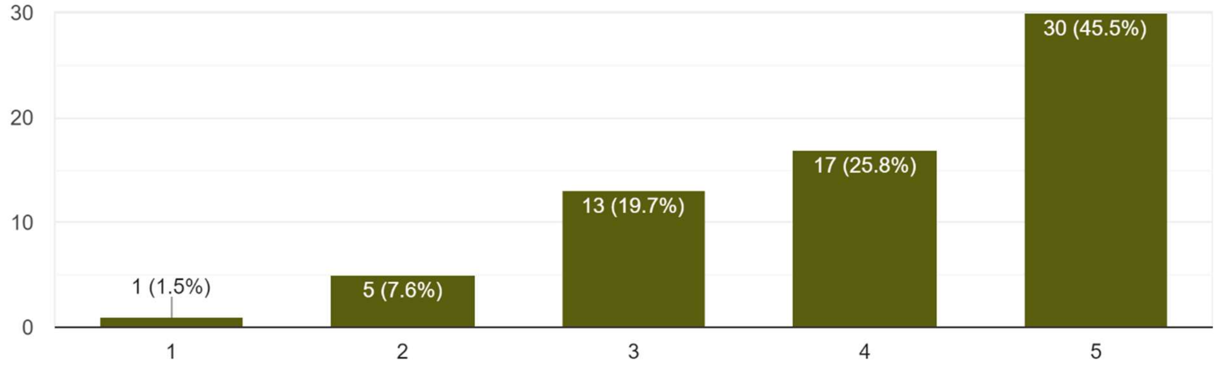


図 4.3-16：アンケート結果

定性評価における各項目の上位 2 つ（4 と 5）が占める割合を以下に示す。

表 4.3-5　機能検証におけるウェアラブルカメラ・プレー動画撮影の定性評価の分布

評価項目	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
カメラを使ったプレーはいかがでしたか？	1	3	18	19	25	66.7%
撮影したプレー映像の品質(画質や滑らかさ)はいかがでしたか？	0	2	29	13	22	53.0%
カメラはプレーの邪魔にはなりませんでしたか？	1	10	26	13	16	43.9%
カメラの操作方法はいかがでしたか	1	5	13	17	30	71.2%

プレー動画撮影（定量評価）

映像のフリーズ(意図しない動画の停止)は何回発生しましたか？
66 件の回答

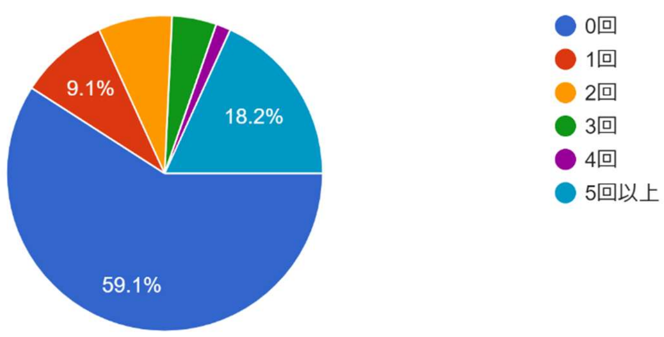


図 4.3-17：アンケート結果

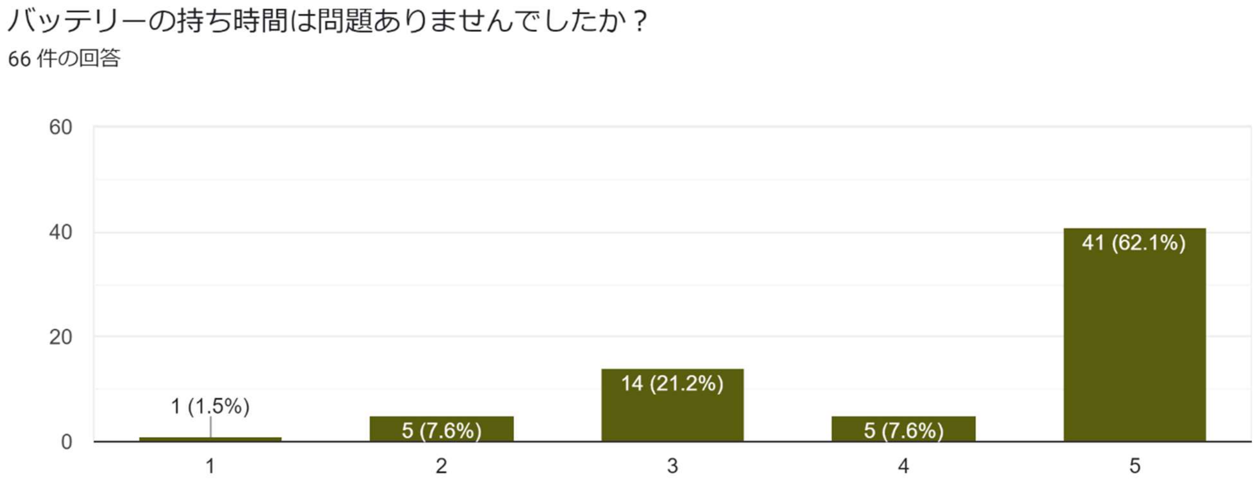


図 4.3-18：アンケート結果

プレー動画撮影（フリーコメント）

・カメラとスマートフォンの連結コードがなくなると、スイングがスムーズになると思います。

・スマートフォンがない方法があれば良いと思います。

・頭に付けるカメラは帽子が取れなくて嫌だ。カメラは無線が良い。操作に気を取られてプレーに集中できない。カメラの不具合が多すぎる。カメラ撮影専属なら沢山撮ってあげたいと思います。映像があるなら、その飛距離も出れば良い。

・カメラのコードが邪魔だった。カメラがもう少し小さくなると良い。都度スイッチを押すことと、撮りに行く手間があって自分のプレーに集中できなかった、

・ウェアを脱ぎ着する時にコードが気になる。Wi-Fi で対応できたらいいと思う。スマートフォンを携帯せずに撮影できたらいろんなものを装着している感なく撮影できると思う。カメラのベルトは使用される度にクリーニングされるのでしょうか。夏期はベルトが汗を吸収してしまうと思います。最初にこれくらいの距離でこれくらいの映像が撮影できます、というようなシミュレーションがあるといいと思います。システムとしてはとても楽しいと思います。

・カメラとスマートフォンを繋げているコードが長い。コードレスの方が良い。更に言うと、身に付けるのはカメラだけが良い。カメラはもう少し小さい方が良い。接続がすぐに切れたのでストレスがたまった。同伴者のプレーを撮ろうとすると常に側によらなければならないので、スロープレーになってしまうのでは。

・カメラの大きさがもっと小さくなったら良いと思います

・つい全員集合しているティーグラウンドでのドライバーショットの撮影に重点を置いてしまう。今後はフェアウェイ上やグリーン上でも撮影できればと思う。やや慣れが必要。

・コードレスで操作できるようになれば、プレーに集中もできる。撮影時間が1回10秒だとスタートボタンを押した後すぐに打たなくてはならず慌ただしい。

・録音スタートの時の音が少し気になる

・音が少し気になる

・欲を言えば選択する際の文字を大きくしてほしいです。機能的には問題ありません。楽しさ倍増でした。後で自分のスイングが確認できあらためて弱点を自覚できました。

・個人的には本当に新しい経験だったので、特に改善することがあるとは思いませんでした。

プレー動画撮影（考察）

プレー動画撮影の定性評価では4項目中3項目において上位2つまでが50%以上を占める結果となった。唯一50%以下となったのが「カメラはプレーの邪魔にはなりませんでしたか？」であり、上位2つが49.7%と低評価であった。これはフリーコメントにもあるが、カメラ自体もしくはウェアラブルカメラとスマートフォンを接続する有線ケーブルが煩わしいという声が多く、それに起因していると考えられる。また、定量評価では映像のフリーズが発生しなかったことが一番多かったが、一定程度で発生していた。同行した補助人に確認したところでは、プレー中の閲覧でフリーズが発生した場面は見られなかったとのことで、有線ケーブルの抜けもしくはスマートフォンのスクリーンがアクティブなまま接触したことによりラウンドから退場したことが発生したため、録画の停止をフリーズもしくは動画の停止と混同した恐れがある。これらの解決には有線ケーブルの改良（しなやかで接続の強いもの）や無線技術による解決が有効である。もしくはウェアラブルの概念を取り払い、カートもしくはティーグラウンドに固定したカメラ等による解決等も考えられる。バッテリについては、概ね問題は出なかった（同行した補助人にて確認した限りではバッテリ切れは発生しなかった）。

また録画開始が手動であることの煩わしさや、録画開始時と録画終了時のビープ音が気になるという声もあった。一方でビープ音がないと録画できているか不安という声もあった。これはスマートフォン側の設定でマナーモードにすることで音をなくしバイブのみにすることは可能である。また動作検知による録画開始・終了の自動化、全録画してからのスイング検出等による解決も考えられる。

それから本実証では冬の実施となり、汗をかくことはなかったが、夏に実施すると汗をかくことで頭部に設置したウェアラブルカメラを都度装着し直さないといけないという課題が出てくる。

新しい体験、楽しい体験、ができたという非常にポジティブな感想も聞くことができた。

なお体感者の全体としては60代以上が多くを占めることになったが、世代別で結果を選別すると、若い世代ほどより高評価であることが見て取れる（以下に60代以上、60代未満で定性評価の分布を示す）。これはスマートフォンやタブレットに対するネガティブ反応の有無が要因と考えられる（若年層の方がデジタルデバイスに慣れており、抵抗感が少ない）。元々本ソリューションは若年層をターゲットにしていたこともあり、より若年層に効果の高いソリューションであると考えられる。なお60代未満に絞れば全ての定性評価において上位2つまでが50%以上を占める結果ともなった。

プレー動画撮影（定性評価；年代別）

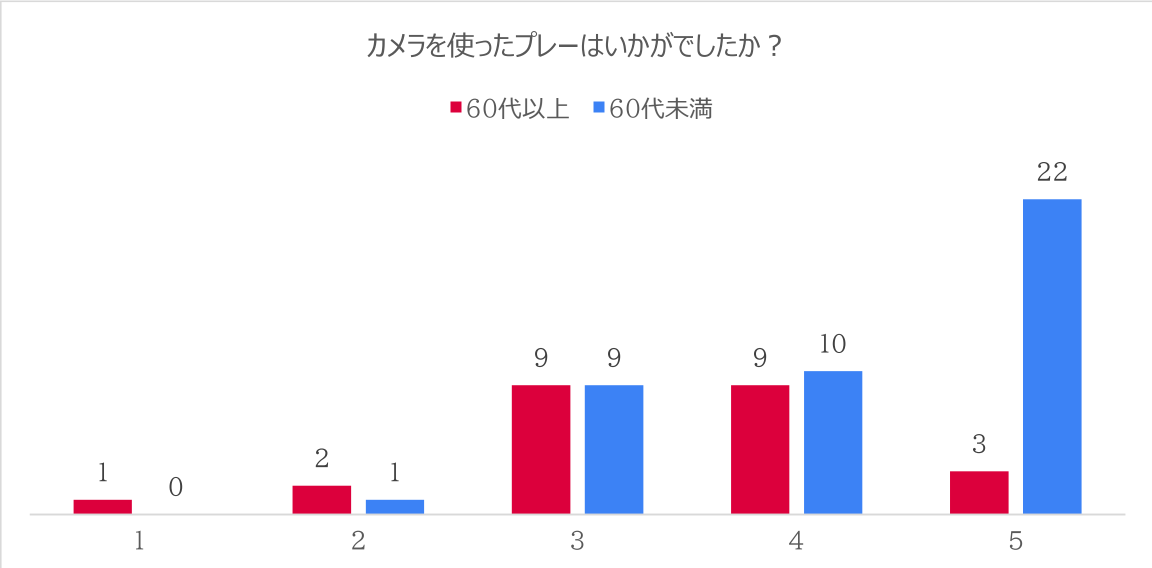


図 4.3-19：アンケート結果

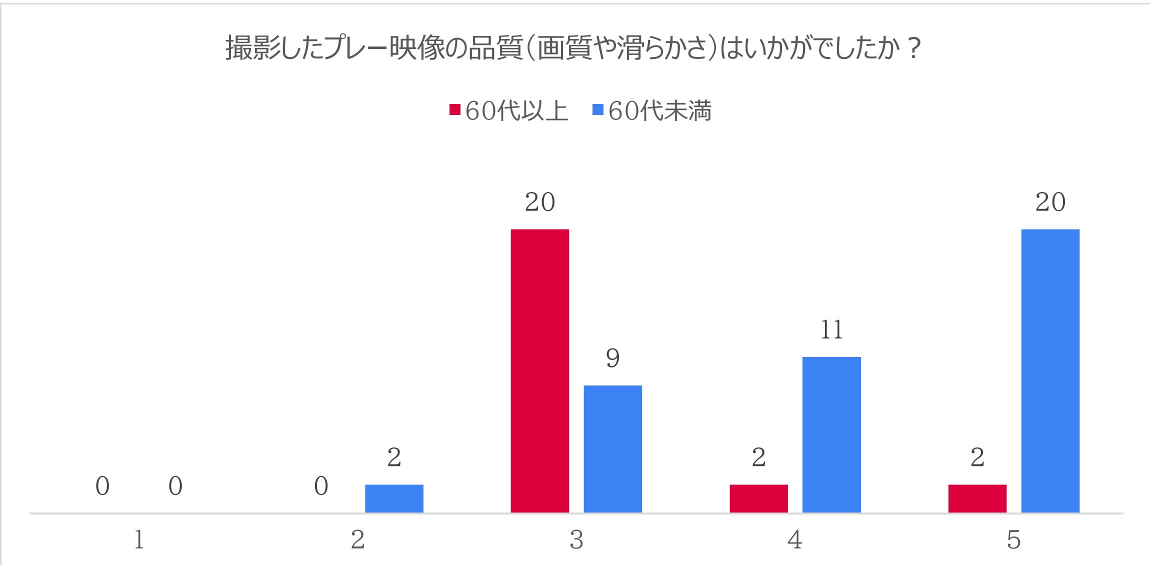


図 4.3-20：アンケート結果

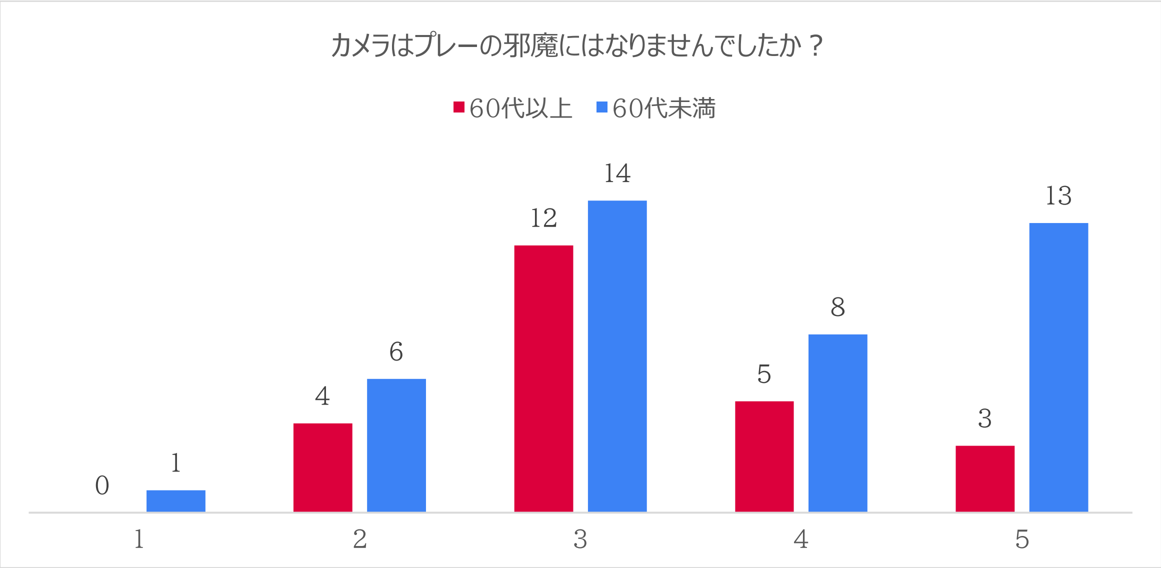


図 4.3-21：アンケート結果

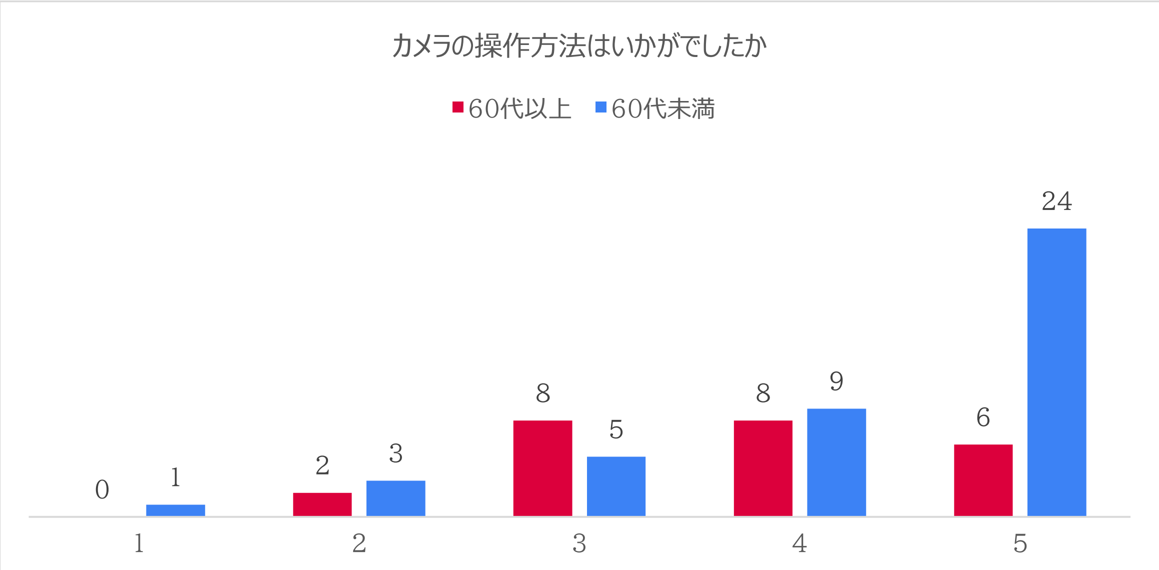


図 4.3-22：アンケート結果

表 4.3-6　機能検証におけるウェアラブルカメラ・プレー動画撮影の世代別の定性評価の分布

評価項目	年代	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
カメラを使ったプレーはいかがでしたか？	60代以上	1	2	9	9	3	50.00%
	60代未満	0	1	9	10	22	76.19%
	全体	1	3	18	19	25	66.67%
撮影したプレー映像の品質(画質や滑らかさ)はいかがでしたか？	60代以上	0	0	20	2	2	16.67%
	60代未満	0	2	9	11	20	73.81%
	全体	0	2	29	13	22	53.03%
カメラはプレーの邪魔にはなりませんでしたか？	60代以上	0	4	12	5	3	33.33%
	60代未満	1	6	14	8	13	50.00%
	全体	1	10	26	13	16	43.94%
カメラの操作方法はいかがでしたか	60代以上	0	2	8	8	6	58.33%
	60代未満	1	3	5	9	24	78.57%
	全体	1	5	13	17	30	71.21%

続いて遠隔レッスンの評価について各設問に対する回答の分布を以下に示す。評価は 5 段階とし、1 が一番低評価（満足度が低い）、5 が一番高評価（満足度が高い）、となる。

遠隔レッスン（定性評価）

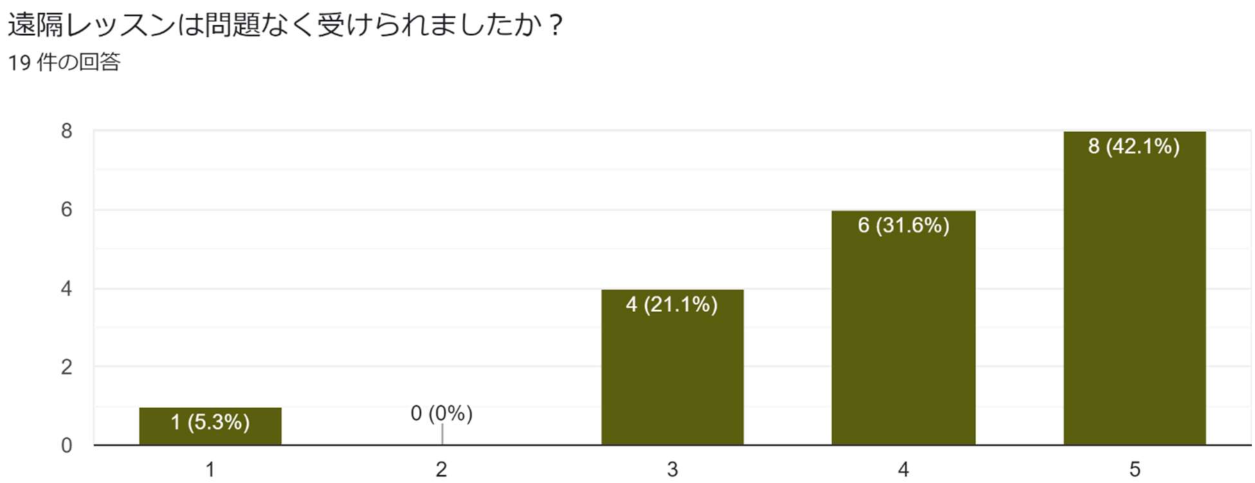


図 4.3-23：アンケート結果

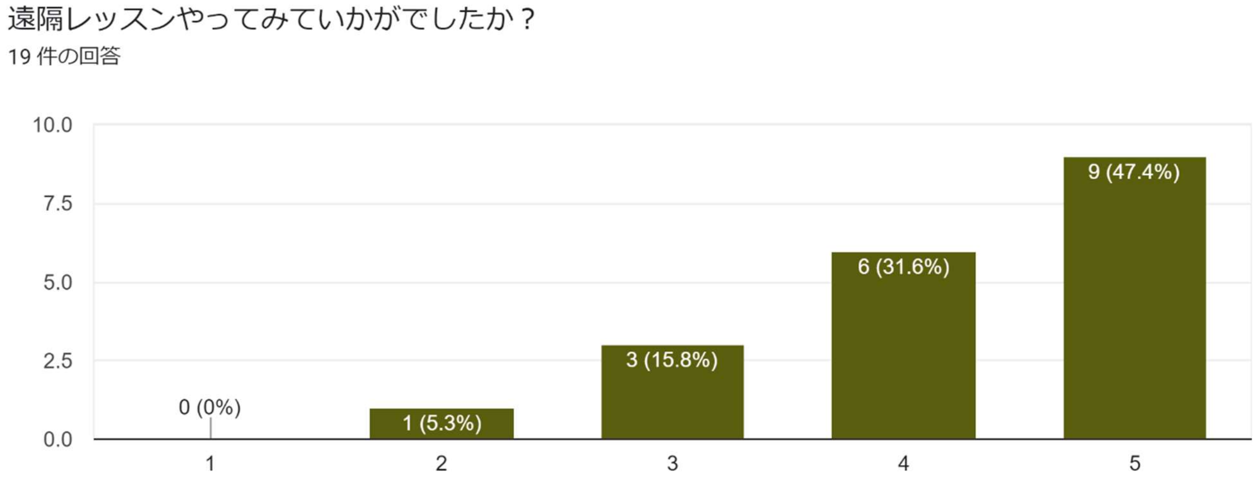


図 4.3-24：アンケート結果

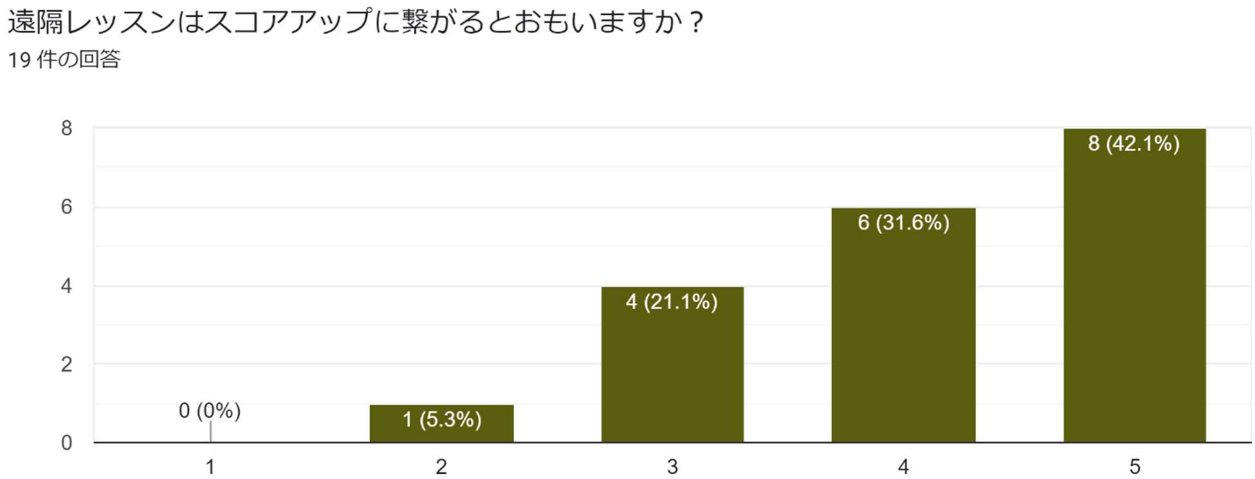


図 4.3-25：アンケート結果

定性評価における各項目の上位 2 つ（4 と 5）が占める割合を以下に示す。

表 4.3-7　機能検証におけるウェアラブルカメラ・プレー動画撮影の定性評価の分布

評価項目	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
遠隔レッスンは問題なく受けられましたか？	1	0	4	6	8	73.7%
遠隔レッスンやってみていかがでしたか？	0	1	3	6	9	78.9%
遠隔レッスンはスコアアップに繋がるとおもいますか？	0	1	4	6	8	73.7%

遠隔レッスン（フリーコメント）

・良いレッスンでした。

・練習場では分からなかったことが判明して良かった。

・最初は、無償レッスンがあると良いが。ただし、無償時点で満足感を感じられないと、有償ユー

ザに繋がらず、十分なマネタイズにはならないと考える
・良かったです
・不便なところなく良かった

遠隔レッスン（考察）

遠隔レッスンの定性評価では 3 項目中全てにおいて上位 2 つまでが 50%以上となり、いずれも 70%を超える高評価の結果となった。プレー動画撮影程の実施の難易度はなく、課題も少ない状況であった。

トーナメントプレーヤーの方に講師をしてもらったこともあったが、講師役からも高評価の声が聞かれた。

なお遠隔レッスンについても 60 代未満の世代の方が、評価が高い結果となっているが、母数が少ないため参考までとする。

表 4.3-8 機能検証におけるウェアラブルカメラ・遠隔レッスンの世代別の定性評価の分布

評価項目	年代	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
遠隔レッスンは問題なく受けられましたか？	60代以上	0	0	1	1	0	50.0%
	60代未満	1	0	3	5	8	76.5%
	全体	1	0	4	6	8	73.7%
遠隔レッスンやってみていかがでしたか？	60代以上	0	0	1	1	0	50.0%
	60代未満	0	1	2	5	9	82.4%
	全体	0	1	3	6	9	78.9%
遠隔レッスンはスコアアップに繋がるとおもいますか？	60代以上	0	0	2	0	0	0.0%
	60代未満	0	1	2	6	8	82.4%
	全体	0	1	4	6	8	73.7%

（2） 運用検証

1） 検証項目

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローン検証①芝の生育状態巡回システム

注目箇所の検出を想定巡回時間内に実施できるかを評価した。

まず、検証準備として、2 名迄の芝管理従事者に対し、ドローンの導入研修を実施した。その後、当社の指導・サポートなく芝管理従事者だけで継続運用できるようにテスト飛行して頂きつつ、選定した飛行ルートで、適正な撮影高度を決定した。

その上で、事前に検証対象のコースを選定した上で、当該コース芝のドローン空撮により得られるリアルタイム画像ビューアを通して、コース内において想定巡回時間程度に対処・対策が必要な荒れや水たまり、あるいは忘れ物の検知が可能かを評価した。その後、他のコースでも同様の評価を行った。

芝管理従事者自身でドローン組立て、配置、飛行プランの設定から飛行完了までを巡回の工程と想定し、巡回作業完了までの時間を計測し評価・検証した。

また、次年度以降の育成を想定し、研修内容についても評価した。

ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム

芝の生育状態の良否を判定する閾値が他の複数のコースでも適応できるかを評価した。

適応性の評価が高いコースついては、芝生育マップから芝の補修あるいは改善の必要がある箇所の判断可否を評価及び検証した。

ドローン検証③配送サービスシステム

ゴルフ場支配人、キーパー、調理を担当するレストランを含む関係者からのヒアリングを元に配送のルートや運用工程を決め、その上で、飛行ルートの妥当性や運用工程について評価した。

また、選定した離着陸場所と飛行ルートで、注文を受けてからドローンによる配送、離陸場所まで戻って来て配送完了までの時間を評価した。

なお、注文処理については、将来的にはスマートフォンアプリ等を開発し注文処理を行うシステムが望ましいが、今回の運用実証では、電話にて受注する方法を採択し、支払いはプレー終了後の会計処理時にまとめて行う運用を想定した。

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

新サービスによりゴルフ場側の業務負荷増（プレーヤーがカメラやタブレットの操作ができなくなったり記録ができなくなったりした場合の問い合わせ対応やサポート対応、を想定）となっていないかを検証した。また付加サービスを実施することでプレー時間の長時間化の懸念があるため前後比較して検証を行った。

2）　検証方法

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローン検証①芝の生育状態巡回システム

飛行準備から、撮影、映像による確認作業完了までの時間を計測し、想定巡回時間目安である 30 分内の実施可否を評価した。

複数のコース内の注目箇所に対して検知が可能かを評価する。芝管理従事者による目視に対比させた検知率が 90%以上を評価基準とした。

研修内容については、2 名迄の受講者へのヒアリングを定性的に評価した。

ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム

芝管理従事者に、想定している複数のコースで得られる芝生育マップにより、対処箇所の芝生育状態の良否を判定し閾値の適性を評価する。閾値の適性評価は、対処箇所全体の 90%以上検出率を評価基準とした。

なお、判定対象とする対処箇所のタイプについては、コース品質管理上高優先度の対処箇所タイプをヒアリングにより選定し定量評価の対象とした。

ドローン検証③配送サービスシステム

飛行ルートや配送の運用工程を従業員関係者へのアンケートによる評価した。

また、電話による受注を受けてから配送完了までの時間を計測し、従業員関係者へのアンケート取得により評価した。アンケート内容について下記に示す。

表 4.3-9 ドローン配送のアンケート内容

<table>
<tr><td colspan="2">ソリューション</td><td colspan="2">ドローン配送</td></tr>
<tr><td colspan="2">内容</td><td>項目</td><td>回答（備考）</td></tr>
<tr><td colspan="2">アンケート対象者</td><td>従業員</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">アンケート取得数</td><td>6 名</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">質問内容</td><td rowspan="2">基本情報</td><td>業務種</td><td>フロント、マスター室、レストラン、調理、コース管理、営繕、事務所</td></tr>
<tr><td>業務従事年数</td><td>年数</td></tr>
<tr><td>定性評価</td><td>配送サービスはプレーの付加価値になり得ると思います</td><td>5 段階</td></tr>
</table>

ソリューション		ドローン配送	
		か？	
		提供に係る工数は問題ありませんでしたか？	5 段階
		サービスが増えて業務負荷に変化はありましたか？	5 段階
		どれくらいの提供時間であればお客様に利用して頂けると思いますか？（提供時間の許容範囲）	5 段階
	その他感想	自由記述	

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

定性評価：ゴルフ場スタッフからアンケートを取得する（5 段階評価、その他コメント）。5 段階評価のうち、上位 2 つまでが 50%以上を占めるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。

定量評価：プレー時間の前後比較をする。プラスマイナス 5%以内になるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。

アンケート内容を下記に示す。

表 4.3-10 ウェアラブルカメラアンケート内容

ソリューション		ウェアラブルカメラ	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		従業員	
アンケート取得数		1 名	
質問内容	基本情報	業務種	フロント、マスター室、レストラン、調理、コース管理、営繕、事務所
		業務従事年数	年数
	定性評価	ウェアラブルカメラを使ったサービスはプレーの付加価値になり得ると思いますか？	5 段階
		サービスが増えて業務負荷に変化はありましたか？	5 段階
		カメラの操作案内はスムーズに行えましたか？	

ソリューション		ウェアラブルカメラ	
		バッテリの持ち時間は問題ありませんでしたか？（案内をしていた感想）	5 段階
	定量評価	プレー時間	管理ソフトより抽出
		プレー組数	管理ソフトより抽出
	その他感想	自由記述	

3） 検証結果及び考察

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローン検証①芝の生育状態巡回システム

飛行準備から、撮影、映像による確認作業完了までの時間を計測し、想定巡回時間目安である 30 分内の実施可否を評価した。

実際の飛行準備を行ったところ
・組立て　3 分
・コース設定　実測できず。（※これまでの経験を踏まえると、7，8 分）
・通信確認・センサーチェック　4 分
という結果になった。練習不足もあるが、準備にて 15 分程度使用することになった。
片付けには 7 分かかった。
今回の半分のホール（1～9 番）で総時間は、準備＋飛行時間＋撤収で 15 分＋13 分＋7 分で 25 分となった。

ただし、実運用になった場合は準備の組立てとコース設定は変更することがないため、0 分とすることができる。また、電池交換、通信確認、センサーチェックは、前述の配送同様 1 分程度で終わるため、準備時間は実運用時には 1 分程度と考えられる。
片付けも実運用時にはほぼ不要になり、電源を切りバッテリを取り外して 1 分程度となるため、実運用では半分のホールで 15 分、全ホールで 30 分となる。

複数のコース内の注目箇所に対して検知が可能かを評価する。芝管理従事者による目視に対比させた検知率が 90%以上を評価基準とした。
目視による検出においては、芝管理従事者による現場の目視に対して、上空からの見え方が良くなることを期待したが、想定より上空からの高度が高い場合に、見え方が想定よりも高くなく、見つけられるまでに高度を 15m 程度まで下げる必要があった。15m の高度で 1～3 コースにて確認

したところ、それぞれのコースで同じ程度の検出率である 50%程度になったが、これは機能検証でも確認した慣れによる改善により目標値の 90%への改善が想定できる。

研修内容については、2 名迄の受講者へのヒアリングを定性的に評価する。
研修では、1 日目に、飛行原理、航空法などの法規、操縦技術や安全対策に関する知識を身に着けて頂くための講義を実施し、2 日目に、業務に必要な技能（セットアップ、フライトパス設定、自律飛行、マニュアル飛行、ラップアップ）を習得頂くためその説明と実際の作業・操縦を実施した。
飛行が自動だとはいえ、覚えなくてはいけない手順が多い、バッテリの管理方法が心配という声が大きかった。

実際の実験結果と実験中のヒアリングの結果から、事前のヒアリングに加えて更なる要望があることが分かった。日々の巡回点検については、落とし物や大きなグリーンの欠損だけではなく、芝について触感や葉の艶、更に目視だけではなく、フサフサ感の触感なども確認しているということが分かり、想定した解像度より高い解像度が求められ、また触感など含めて、どのように把握するかが今後の課題となる。

<u>ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム</u>

運用検証においては、機能検証結果から特定された閾値候補を活用し、検証サンプル数を増やすべく複数のコースに対して、定性的、かつ定量的に目視判定結果と生育状態解析による判定結果とを比較対比することで、設定した閾値の妥当性を評価することを目指した。

しかしながら、前述の「1）機能検証　ドローン検証② c）芝の生育状態解析用画像生成」
に記載した通り、閾値の特定が困難であったことから、運用検証において閾値適性を検証するには至らなかった。芝生育状態の良否を判定し閾値の適性評価は、令和 5 年度以降実施する通年を通した多様なデータの蓄積とともに実施する予定である。詳細の対応策は、4.3.1(1)を参照。

<u>ドローン検証③配送サービスシステム</u>

配送サービスの運用検証及びアンケートを令和 5 年 2 月 17 日に実施した。ゴルフ場支配人、キーパー、調理を担当するレストランを含む関係者からのヒアリングを元に配送のルートや運用工程を検討した。レストランスタッフが長時間持ち場を離れることは難しいため、クラブハウスのカート駐車場周辺くらいまでが限界ということで、今回は通行の妨げにならないクラブハウス前を出発地点に決定した。
飛行ルートについては、ドローンの下に人が来ない、木の上を通る安全ルートを設定できたため、そのルートを選択した。ドローンの騒音についても 100m 上空であれば影響がないことが確認できたため、上空 100m に上り、売店近くで降下するルートを設定するコースを確定できた。

従業員関係者 6 名へのアンケート結果より、「どれくらいの提供時間であればお客様に利用して頂けると思いますか？」については全員が 5 分と回答を得た。その他の回答については以下の通り。

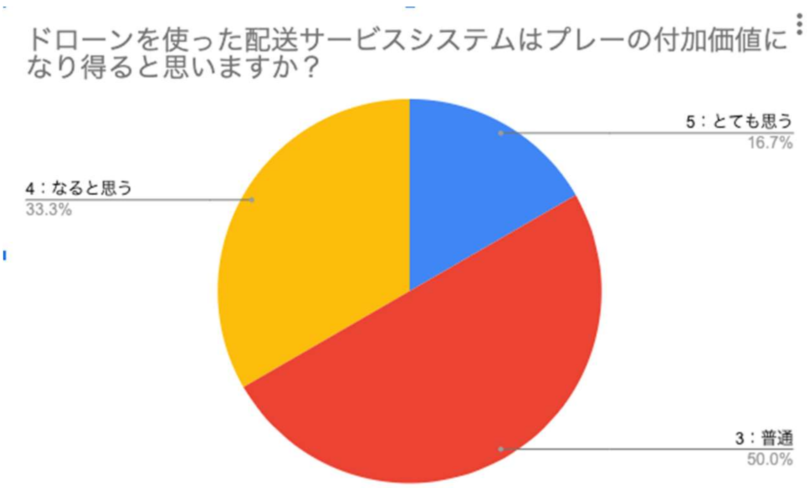


図 4.3-26 アンケート結果

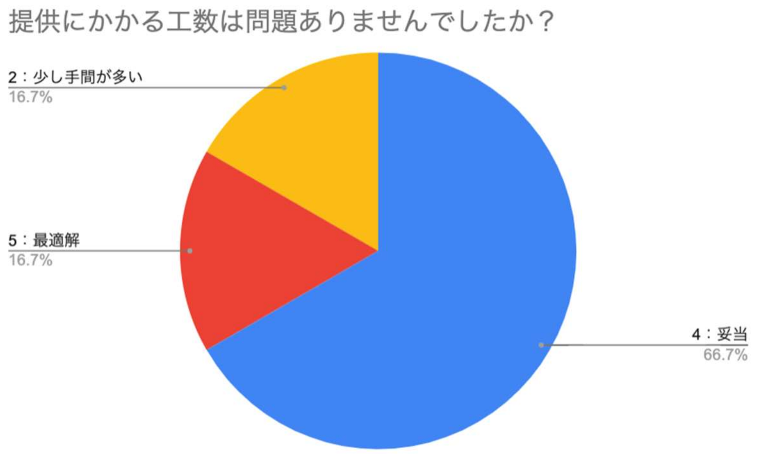


図 4.3-27 アンケート結果

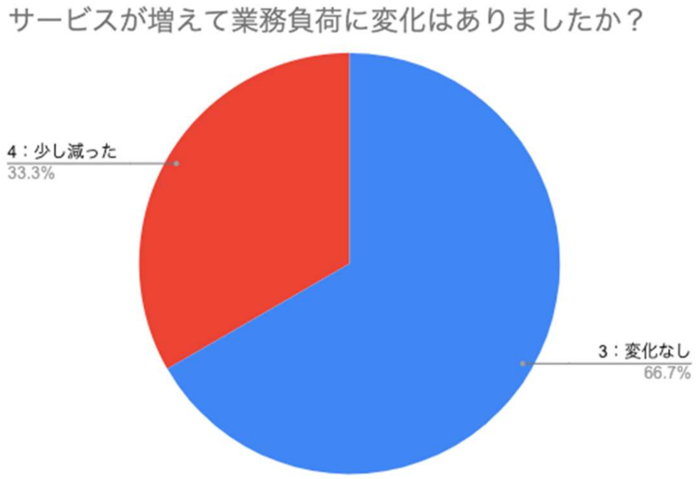


図 4.3-28 アンケート結果

なお、ゴミについてはカートの後ろに入れてユーザに持ち帰って頂くため、サービス提供する側に追加の工数は発生しない。アンケートの結果、従業員の意識としては大きな作業追加はなく、顧客への価値のあるサービスが可能であり、また配送時間としても許容範囲になることが分かった。実際にサービス提供側からすると有効的なソリューションであることがあると判断できた。

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

令和 5 年 2 月 9 日(木)～2 月 19 日(日)の間の 7 日間で体感実証を行った（降雨、降雪、等の悪天候時は実施を見送った）。本実証では不具合時に迅速にサポートができるように補助員（ソリューションベンダーにて対応）を付けた。本実証期間においては不具合の発生が予見され、補助員がいない場合には不具合発生時に迅速にサポートができなかった可能性がある。またゴルフ場のコース内で発生する諸般の事案への対処については全てマスター室にて対応を実施するようになるが、現状でもカートへ搭載されたナビ等の不具合の問い合わせ対応等の負荷もあり、より負荷を高める可能性がある。よってソリューションの完成度を高め、マスター室の業務負荷にならないようにすることが必要である。補助員へヒアリングを実施したところ、以下のような不具合が発生していたが、ナレッジを溜め込みマニュアルを充実化させることで解決可能と考える。
・スマートフォンの画面がアクティブになっている時に意識せず触れたことで専用アプリのラウンド画面から抜けてしまっていた。
・有線ケーブルの接続不良が発生した場合に、接続し直しても稀に復帰できないことが発生した。
・録画の制御をするリモコンのボタンが OFF 状態になっていた。

プレー時間についてはカート管理システムより抽出した結果は以下の通りである。なおゴルフでは天候や気温、曜日や組数によってプレー時間に変動があるため、それらの情報も参考に付加した。なお天候等の気象情報については気象庁にて公表している最寄りの地点（栃木県宇都宮市）の情報を採用した。

表 4.3-11　実証期間中におけるプレー時間の平均と増減率

日付	曜日	全体組数	実証組数	天気	降水量（mm）	平均気温(℃)	最高気温(℃)	最低気温(℃)	日照時間(h)	実証外の平均時間	実証の平均時間	時間差	増減率
2023年2月8日	水曜日	未実施		曇時々晴後雨	0.0	6.5	12.6	2.0	2.6	未実施			
2023年2月9日	木曜日	37	5	晴	0.0	3.2	9.6	-1.3	10.3	4:56	4:59	0:03	1.1%
2023年2月10日	金曜日	未実施		雪時々曇後みぞれ	22.5	0.8	2.4	-1.7	0.0	未実施			
2023年2月11日	土曜日	37	5	晴	0.0	6.6	12.9	0.4	8.5	4:56	4:59	0:03	1.1%
2023年2月12日	日曜日	52	2	晴後一時曇	0.0	7.4	13.6	0.3	8.1	4:59	5:05	0:05	1.8%
2023年2月13日	月曜日	未実施		雨時々曇	1.0	6.9	8.6	5.1	0.0	未実施			
2023年2月14日	火曜日	36	3	晴	0.0	3.7	9.7	0.0	9.2	4:52	5:02	0:10	3.6%
2023年2月15日	水曜日	未実施		晴	0.0	1.2	6.9	-2.4	8.7	未実施			
2023年2月16日	木曜日	30	2	晴一時曇	0.0	1.0	7.5	-5.3	10.6	4:44	4:34	-0:10	-3.8%
2023年2月17日	金曜日	40	4	晴	0.0	3.8	10.3	-2.3	10.4	4:50	5:08	0:18	6.3%
2023年2月18日	土曜日	未実施		晴時々曇	0.0	6.9	14.0	-1.4	7.7	未実施			
2023年2月19日	日曜日	51	1	雨後曇時々晴	0.0	9.6	15.0	3.9	4.2	4:56	5:11	0:14	5.0%
平均					2.0	4.8	10.3	-0.2	6.7	4:53	5:00	0:06	2.2%

全体の平均で 2.2%の増加となった。日別で見ても概ね目標値である増減率 5%以内に収まっている。ただし 2 月 16 日については全体組数が少なかったこともあり、例外的に実証外よりも短くなっている。また 2 月 18 日についてはこの日だけ補助員が 1 名で 2 組を見たことで遅延が発生し、目標値を超えて 6.3%の増加となった。尤もゴルフの場合、全体の混み具合、前組の詰まり具合、によって変動があるため、判然としないとも言える。

（3） 効果検証

1） 検証項目

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

<u>ドローン検証①芝の生育状態巡回システム</u>

作業工程の代替性、作業工程の削減効果、工程の時短化、並びに運用コスト削減効果の有無について定性的かつ定量的に評価及び検証した。

評価・検証は運用コストダウンへの寄与の観点で実施した。従来の目視での巡回とドローンによる巡視を、把握・修繕ポイントの検知までの時間で比較し効果を評価・検証した。具体的には、従来 30 分から最大 1 時間かけてカートによる巡回を行っていたが、ドローン活用により 30 分程度で代替可能かどうかを評価・検証した。

ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム

作業工程の代替性、作業工数の削減効果、工程の時短化、並びに運用コスト削減効果の有無について定性的かつ定量的に評価・検証した。
なお、次年度以降、生育状態の判定自動化のその先として、改善箇所に対して取るべき打ち手の判断の自動化を検証していくことも想定される。その準備として、打ち手の 1 つである農薬散布については、農薬散布量やタイミングの自動推定可否を評価した。

ドローン検証③配送サービスシステム

採算性、新規顧客獲得並びに既存顧客の囲い込みの点から有用性を評価した。
集客や顧客満足度への寄与の観点から評価・検証した。
当該サービスにより新規顧客増あるいは既存顧客満足度の向上に繋がるかを検証するために、プレー中の顧客に対し当該コースにおけるデリバリサービスを体験頂いた。
また、関係者との検討により選定したメニューのドローン配送をした場合の将来的な採算性を見据え、売上増の見込みを評価・検討した。

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

体験したプレーヤーからアンケートを取得し（付加サービスとして払えそうな金額、その他コメント）、各提供サービスにおける売上向上の見込みを検証した。

2) 検証方法

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

ドローン検証①芝の生育状態巡回システム

飛行準備から、ゴルフ場全体の異常・改善箇所判断に必要な画像を取得し終わる時間について、従来の工程と比較することで工数削減度合いを評価・検証した。
工数削減により巡回頻度を 2 倍程度増やせることを目指した。

ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム

飛行機材の準備から芝生育マップ生成、異常・改善箇所の有無確認までの時間について、従来の工程と比較して評価・検証した。

また、従業員へのヒアリング等を行い、最適な農薬散布量やタイミングの推定自動化可能性について定性的な評価を行った。
3 割程度の業務削減率が図れることを目指した。

<u>ドローン検証③配送サービスシステム</u>

複数のプレーヤーに体験頂き、顧客満足度やサービス導入に関するアンケートを取った上で、その結果から、集客増の可能性及び既存顧客のリピート率向上の可能性について評価・検証した。
また、配送時間や輸送品質などの評価・検証も行った。

アンケート内容を下記に示す。

表 4.3-12

ソリューション		ドローン配送	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		6 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上
		プレー日	何月何日
		コース	OUT コース、IN コース
		ご予約開始時間	時間
		居住地	都道府県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台
	定性評価	どれくらいの配送料金だったら次回以降も利用したいと思いますか？(値段の満足度)	無料、200 円、400 円、600 円、800 円以上
	その他感想	自由記述	

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

定性評価：体験して頂いた入場者からアンケート取得した。5 段階評価のうち、上位 2 つまでが 50%以上を占めるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。プレー動画撮影のオ

プション料金では、1,000 円以上が 50%以上を占めるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。遠隔レッスンのオプション料金では、3,000 円以上が 50%以上を占めるのであれば、ソリューションとして実装可能と考える。

なお、オプション料金の閾値については既存サービス等の相場感等から算出した。

表 4.3-13　各種既存サービスのオプション料

分類	サービス名	料金
プレー動画撮影	ゴルフ練習場 スイング動画送信料金	500円/4スイング
	プロカメラマンの相場	10,000～15,000円/時間
遠隔レッスン	Golf Times24	3,000円/回
	EVERYONE GOLF	3,000円/回
	モビゴル	10分～　600円～
	参考相場 屋内/屋外練習場のマンツーマンレッスン：5,000円～10,000円/回 ゴルフ場でのレッスンプロ帯同のラウンドレッスン：10,000円/プレーヤー 学校の部活動向け遠隔指導サービス：月額17,600円	

アンケート内容を下記に示す。

表 4.3-14 ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）のアンケート内容

ソリューション		ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）	
内容		項目	回答（備考）
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		66 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上
		プレー日	何月何日
		コース	OUT コース、IN コース

ソリューション		ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）	
		ご予約開始時間	時間
		居住地	都道府県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台
	定性評価	どれくらいの料金だったら次回以降もカメラを使ってプレーしたいと思いますか？（値段の満足度）	500 円、1000 円、1500 円、2000 円、2500 円、3000 円以上
		撮影したプレーを見返したいと思いますか？	5 段階
		ウェアラブルカメラを使ったプレーをまたしたいと思いますか？	5 段階
	その他感想	自由記述	

表 4.3-15 ウェアラブルカメラ（遠隔レッスン）のアンケート内容

ソリューション		ウェアラブルカメラ（遠隔レッスン）	
内容		項目	回答(備考)
アンケート対象者		来場者	
アンケート取得数		19 名	
質問内容	基本情報	年齢	10 代以下、20 代、30 代、40 代、50 代、60 代以上
		プレー日	何月何日
		コース	OUT コース、IN コース
		ご予約スタート時間	時間
		居住地	都道府県
		ゴルフ経験年数	1 年に数回、月に 1 回、月に数回、週に 1 回、週に数回
		直近 1 年のプレー頻度	1 年に数回、月に 1 回、月に 2 回、週に 1 回、週に数回
		ベストスコア	110 台以上、100 台、90 台、80 台、70 台、60 台

ソリューション		ウェアラブルカメラ（遠隔レッスン）	
	定性評価	どれくらいの料金だったら次回以降も遠隔レッスンを利用したいと思いますか？（値段の満足度）	2000 円、3000 円、4000 円、5000 円、6000 円以上
		遠隔レッスンまた利用したいと思いますか？	5 段階
		遠隔レッスンを受けゴルフ実力向上に役に立ったと思いますか？	5 段階
	その他感想	自由記述	

3） 検証結果及び考察

a. ドローンによるコースメンテナンス補助等

<u>ドローン検証①芝の生育状態巡回システム</u>

実際のキーパーの方の朝の作業の課題としては、少ない人数で現場対応をしなくてはならないが、全ホールに対して、細かく見て回る時間が取れないということが挙げられる。巡回点検業務において、本システムを導入することにより、30 分程度の飛行時間で全 18 ホール全てをドローン巡回可能になり、コース品質の向上に大きく寄与できる可能性が確認できた。18 ホールのグリーン全部を見て回るための時間を問題点のある箇所への対処に限定することができればオープン前の作業時間を有効に活用することができるようになる。

実際に巡回して飛行している時間は 30 分程度であることが確認できているため、他の作業をしている間に、ドローンが自動で状況を取得し、更に自動で異常を検出できることができれば、現場にとって大きな貢献になることが分かった。その際に実際にキーパーの方が目で見るだけでなく、手で触ったり、脚での触感を確認したりしているということが分かり、動画撮影により吹き下ろしの風の影響で芝の表情が観察できるならば、単なる目視以上の確認ができる可能性もあることが確認できた。

図 4.3-29：芝目の例

ドローン検証②芝の生育状態解析用画像生成システム

効果検証においては、飛行機材の準備から NDVI オルソ画像生成、異常・改善箇所の有無確認までの時間について、芝管理従事者の経験・知見に基づく判断を可視化・整理し、従来の工程と比較して評価・検証し、3 割程度の業務削減率が図れることを目指した。

しかしながら、前述の「1）機能検証　ドローン検証② c）芝の生育状態解析用画像生成」

に記載した通り、閾値の特定が困難であったことから、定量的に従来の工程との比較検証にまでは至らなかった。

一方、前述の「1）機能検証　ドローン検証② c）芝の生育状態解析用画像生成」に記載の通り、

NDVI オルソ画像作成及び確認及び現行業務手法における確認結果との一致は検証できたため、その結果を基に芝管理従事者へのヒアリング・議論を行った。現状は熟練者のみが行うことができる最適な農薬散布の量やタイミングの判断の自動化の可能性について議論し、本実証の期間だけでなく年間を通した取組によって、将来的には熟練者の属人性の解消に繋げられる可能性があるとの結論になった。

更に、植生解析を専門とする小山高専の飯島先生と議論を行った。NDVI に限らずマルチスペクトルカメラで得られた全ての情報を集積し、コース状態変化の差分を表示することで、更なる効率化に繋げることも今後の検討事項とする。

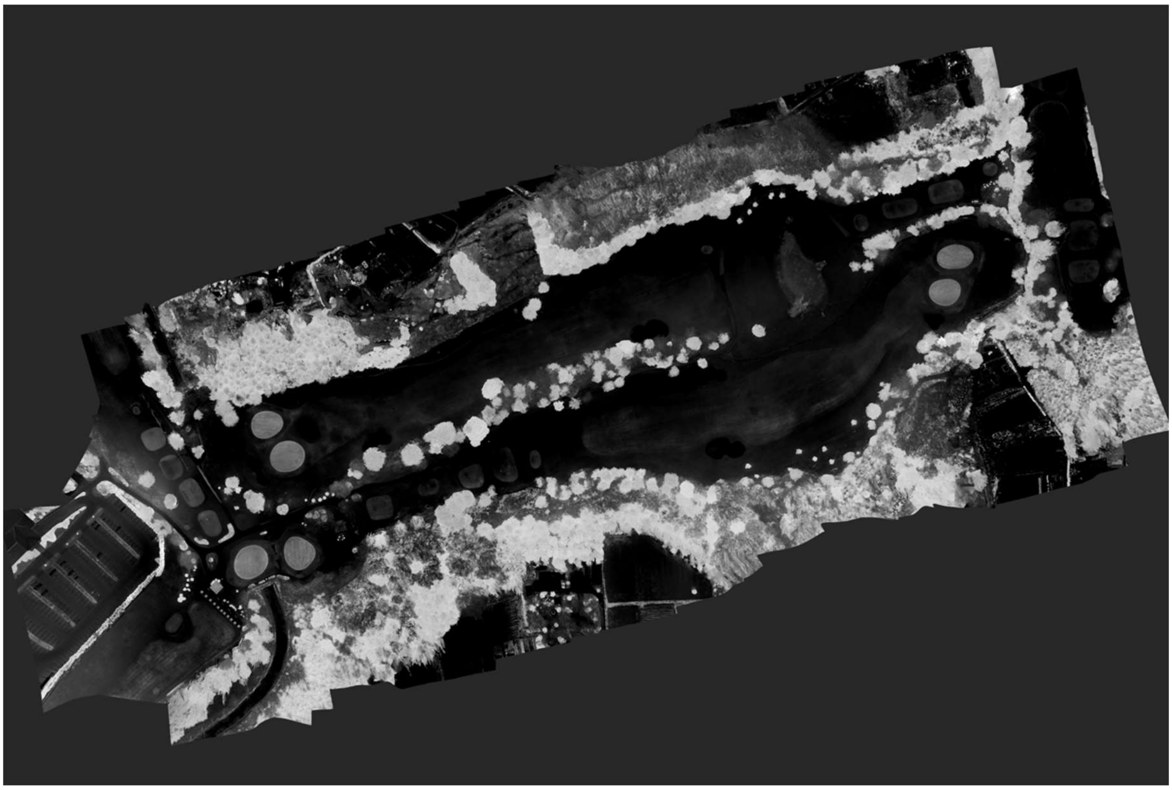


図 4.3-30：素の高解像度 NDVI

<u>ドローン検証③配送サービスシステム</u>

時給 2000 円として、換算した場合、12 分 30 秒の場合、417 円程度となる。顧客に対するアンケートから、送料は 400～500 円程度が妥当という回答が来ており、賃率程度になってしまうため、前述のオペレーション短縮が重要となる。2/17 に実施したアンケートの結果を示す。

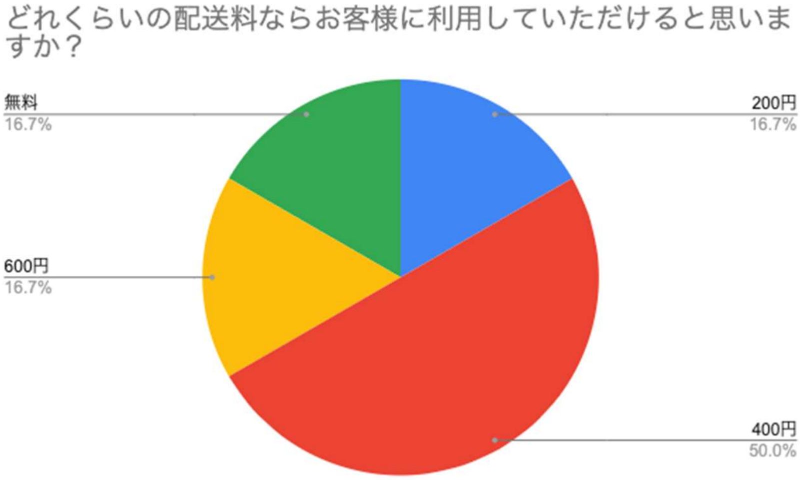


図 4.3-31 アンケート結果

運用をする中で、プレーヤーは 4 人一組で回るということで、飲食物配送も 4 人分が同時に配送できることが必須ということが分かった。重量としても 1kg だと少し物足りなく、2kg 程度運べると飲み物と軽食が同時に運べるようになるため、輸送箱を大きくすることが望まれる。

飲み物としては缶ジュース等、軽食としてはサンドイッチやお菓子等を輸送箱に格納して配送した。いずれの飲み物・軽食においても、配送による潰れ等の目に見える状態変化は発生しておらず、輸送品質には問題がなかった。

アンケートの中で多かった意見が、商品の取り出し時にもたつくという意見があった。
今後の改善として配送としては受け取り側に人がいなくても自動で配送物を置いてくることができるシステムにすることで、運用時間の削減、並びにプレーヤーの近くにドローンが近寄る必要がなくなるため安全に運行ができるようになる。自動運行におけるドローンの高度化において、機体状態や周辺の状況の確認など多くのデータを通信しながら運行できる必要が出てくるため、機体に搭載するカメラで安全確認をするなど、よりローカル 5G の活用用途が広がる可能性がある。

食品配送としては取り出し以外では大きな課題は出てきておらず、自動で配達し、自動で食材を置いて帰還するシステムができれば、ゴルフ場のサービスとしては売りになるサービスに発展することができるという感触を得ることができた。そのために、手間を増やさずに運行ができるよう準備と片付けの部分が人を介さずにできることが重要であることも確認できた。途中地点で軽食が取れることがあたり前になる文化ができれば、より一層発展することになる。

また、食品配送の課題として人がいる時間、場所にドローンを飛行させる必要があるため、法規制に対応するために、配送を依頼する人についてはドローン配送が行われることを通知し、理解を頂いた上で運行するという手順が必要になることも分かった。

配送という観点では、ゴルフ場においては、ゴルフクラブの忘れ物が非常に多く、これを配送（かつ回収も）できるようになることでスタッフの手間が大幅に改善されるという声があり、食品以外の配送についても、今後の発展型としては存在することが確認できた。

b. プレー動画撮影、遠隔レッスン

令和５年２月９日(木)～2 月 19 日(日)の間の７日間で体感実証を行った（降雨、降雪、等の悪天候時は実施を見送った）。体感者から取得したアンケートの結果は下記の通りである。

プレー動画撮影（定性評価）

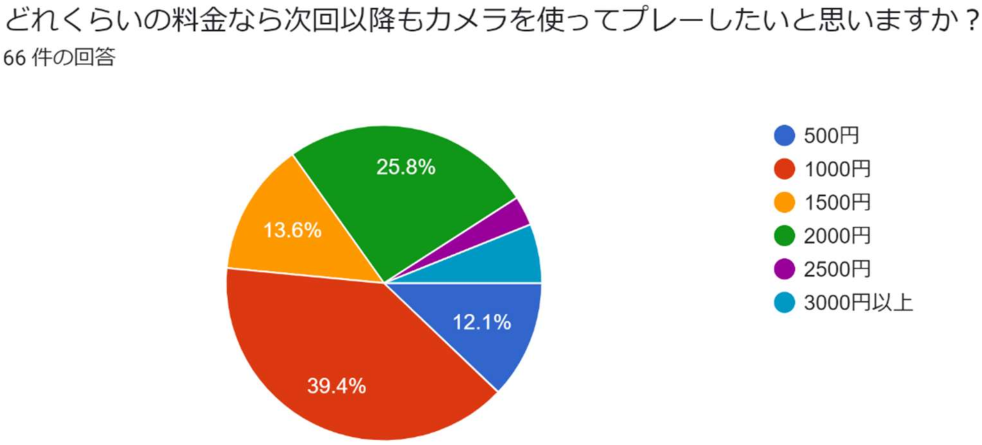


図 4.3-32 アンケート結果

表 4.3-16　ウェアラブルカメラ・プレー動画撮影のオプション料に関するアンケート結果

評価項目	500円	1000円	1500円	2000円	2500円	3000円以上	1000円以上のパーセンテージ
どれくらいの料金なら次回以降も カメラを使ってプレーしたいと思いますか？	8	26	9	17	2	4	87.9%

プレー動画撮影の評価について各設問に対する回答の分布を以下に示す。評価は５段階とし、1 が一番低評価（満足度が低い）、５が一番高評価（満足度が高い）、となる。

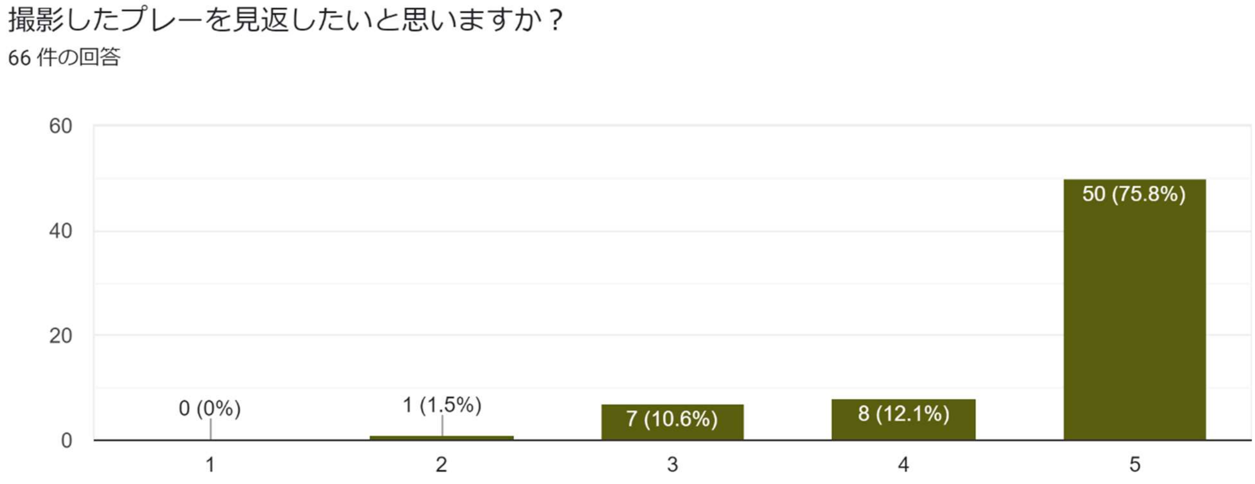


図 4.3-33 アンケート結果

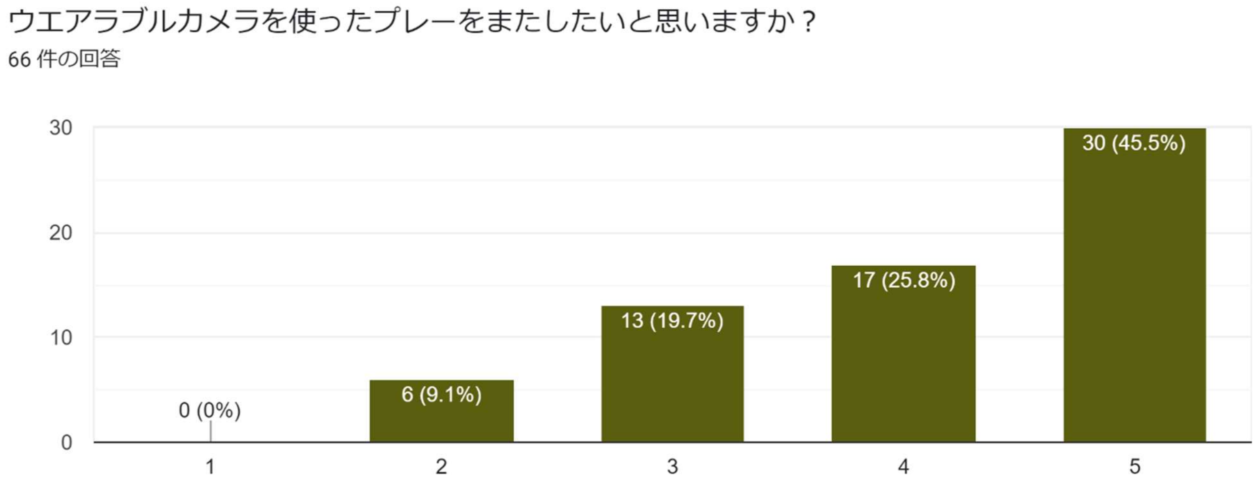


図 4.3-34 アンケート結果

定性評価における各項目の上位 2 つ（4 と 5）が占める割合を以下に示す。

表 4.3-17 効果検証におけるウェアラブルカメラ・プレー動画撮影の定性評価の分布

評価項目	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
撮影したプレーを見返したいと思いますか？	0	1	7	8	50	87.9%
ウエアラブルカメラを使ったプレーをまたしたいと思いますか？	0	6	13	17	30	71.2%

遠隔レッスン（定性評価）

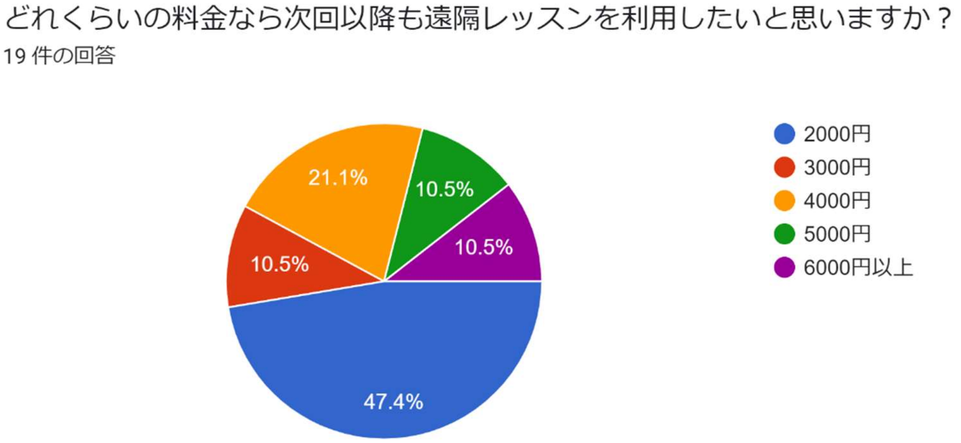


図 4.3-35 アンケート結果

遠隔レッスンの評価について各設問に対する回答の分布を以下に示す。評価は 5 段階とし、1 が一番低評価（満足度が低い）、5 が一番高評価（満足度が高い）、となる。

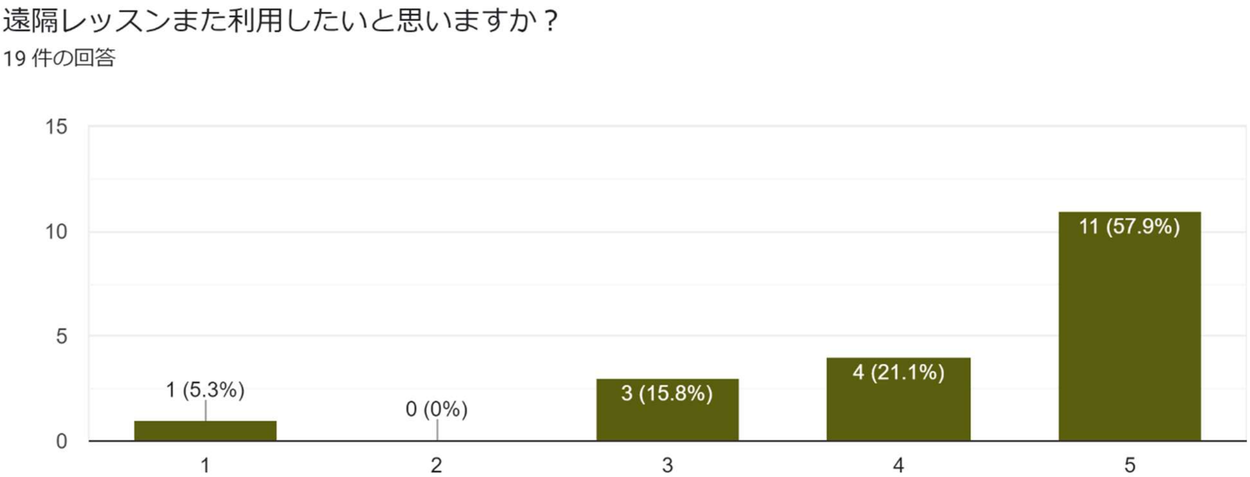


図 4.3-36 アンケート結果

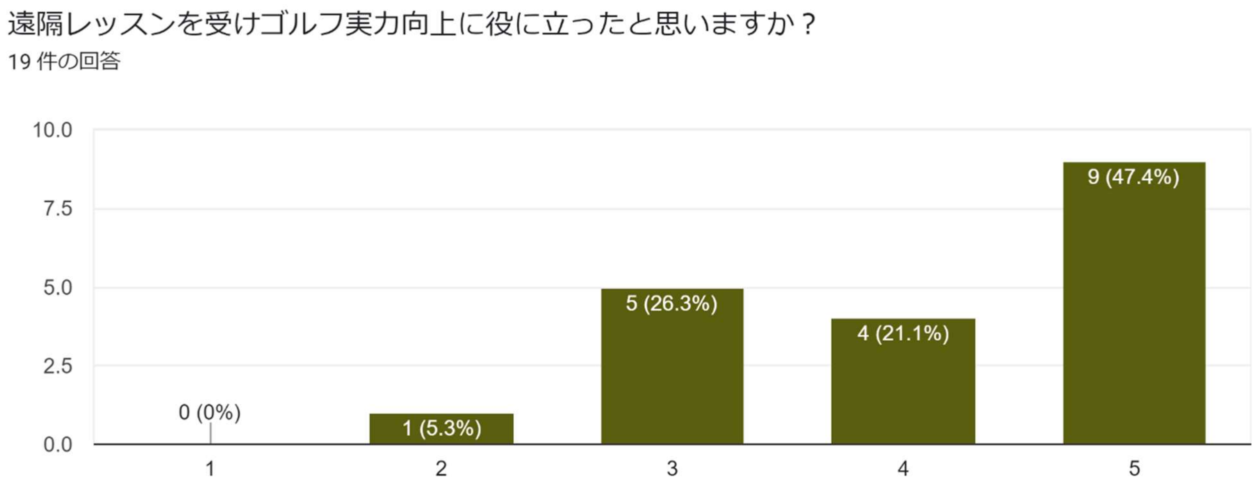


図 4.3-37 アンケート結果

定性評価における各項目の上位 2 つ（4 と 5）が占める割合を以下に示す。

表 4.3-18　効果検証におけるウェアラブルカメラ・遠隔レッスンの定性評価の分布

評価項目	1	2	3	4	5	上位2つのパーセンテージ
遠隔レッスンまた利用したいと思いますか？	1	0	3	4	11	78.9%
遠隔レッスンを受けゴルフ実力向上に役に立ったと思いますか？	0	1	4	6	8	73.7%

プレー動画撮影、遠隔レッスン（考察）

プレー動画撮影のオプション料金では、1,000 円以上が 87.9%以上となった。なおアンケート取得による平均料金は 1,432 円であった（仮に「3000 円以上」を 3,000 円に設定した場合）。1,000 円以上が 50%以上となればソリューションとして実装可能と想定していたが、大きく上回る結果となった。また定性評価においても、上位 2 つのパーセンテージが 2 項目ともに 70%を超える結果となった。特に「撮影したプレーを見返したいと思いますか？」の設問については 87.9%と全てのアンケート回答の中で一番高い評価となった。これはゴルフ場におけるプレーを見返したいユーザが非常に多いことを示唆している。

遠隔レッスンのオプション料金では、3,000 円以上が 52.6%以上となった。なおアンケート取得による平均料金 3,263 円であった（仮に「6000 円以上」を 6,000 円に設定した場合）。3,000 円以上が 50%以上となればソリューションとして実装可能と想定していたが、少し上回る結果となった。また定性評価においても、上位 2 つのパーセンテージが 2 項目ともに 70%を超える結果となった。遠隔レッスンについては実証においては特に大きな課題は見られず、実装がしやすいソリューションであると言える。

（4） ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

ドローンについては、コース巡回による芝の状況の把握、マルチスペクトルカメラによる芝の育成状況の自動可視化、食品配送サービスの 3 つの検証を行った。

コース巡回による芝の状況の把握においては、ドローンの機動性と Local5G の通信帯域を活かして、これまで巡回に時間が割けなかったところを自動化する目途が確認できた。

マルチスペクトルカメラによる芝の育成状況の自動可視化においては大容量のマルチスペクトルカメラのデータを自動でアップロードから可視化までを行うシステムが実現でき、難しい操作なく現場の方でも解析データを作成するシステムができ、今後の芝の育成に効果的に役立てられることを確認した。

食品配送サービスにおいては実際に配送をしてユーザの意見を確認して実際のサービスとして実装可能であることを確認できた。

3 つのアプリ―ケーションで確認できた課題を解決することで、ゴルフ場の運営において大きな効率化が図れることを認識できた。

ウェアラブルカメラについては、プレー動画撮影と遠隔レッスンに関しての有効性等に関する実証を行った。

プレー動画撮影では、スマートフォンとカメラの接続性に難があることでの課題が多く残ったが、若年層であればより高評価であり、有効性が高いことを認識した。

遠隔レッスンでは。特に大きな課題は残らず、有効性・即適用性が高いことを認識した。

いずれのソリューションもゴルフをプレーする多くの利用者に対し、新たなプレー体感を提供し、一定のオプション料金を付加させることでゴルフ場に新たな収入をもたらす、という有効性を確認できた。

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

（1） 経済性・市場性の検証

1） 検証項目

本実証では以下のシステムやソリューションの提供を栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に行うものである。

・ローカル 5G システム
・ソリューション①（ドローンによるコースメンテナンス補助等）
・ソリューション②（プレー動画撮影、遠隔レッスン）

ソリューションの提供対象はゴルフ場となり、ローカル 5G システムは基本的に自己土地利用で考える。

今回、ケーブルテレビ株式会社の千塚サブセンターに DU を設置するが、DU あたりの RU 接続数は最大 18 台となり、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部では 3 台の RU を設置するため、機器の仕様容

量上は残り 15 台の接続が可能である。また、DU から RU までの接続距離はシングルモードファイバーで 20km となり、電柱上架線距離：直線距離＝10：6 とし、かつ千塚サブセンターから半径 12km 以内を収容可能距離とすれば、エリア内には 20 か所以上の多くのゴルフ場が立地している。当エリアにて DU の収容能力を最大限活用し、ゴルフ場へ導入の営業をすることで、経済合理性をより高められると思料する。また周辺には工業団地や産業団地が比較的多く立地しており、工業等の他分野へのローカル 5G 提供も可能であることから地域全体の産業振興に寄与できると考える。

図 4.3-38 DU 共用可能なエリアとゴルフ場の配置

4.3.1 項の機能検証・運用検証・効果検証で実施するアンケート結果を活用し、以下の項目の検証を実施した。

検証項目① 栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部における、業務削減量・売上向上量とシステム導入の収益差（実証ゴルフ場における実装に関する検証）

検証項目② 鹿沼グループ内での普及展開時における、業務削減量・売上向上量とシステム導入の収益差（普及展開に関する検証）

2）　検証方法

4.3.1 項の機能検証・運用検証・効果検証で実施するアンケート結果を参考にしながら、以下の項目の検証もヒアリング等で実施した。

検証項目①の検証方法

・ケーブルテレビ株式会社が栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部及び同ゴルフ場を管轄する鹿沼グループへのヒアリングを実施した。

・実証結果を踏まえたゴルフ場及びケーブルテレビ事業者の収支試算

検証項目②の検証方法

・ケーブルテレビ株式会社がエリア内のゴルフ場へ利用意向のヒアリングを実施した（デジタル化への興味有無、ソリューションの興味有無、利用料を鑑みた利用意向有無、等)。

・ケーブルテレビ株式会社が 2 社のケーブルテレビ事業者へヒアリングを実施した。

・実証結果を踏まえたゴルフ場及びケーブルテレビ事業者の収支試算

3）　検証結果及び考察

・検証項目①：ゴルフ場、鹿沼グループとの議論結果

栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部及び同ゴルフ場を管轄する鹿沼グループへのヒアリングを実施した。ヒアリングは令和 5 年 2 月 21 日、令和 5 年 3 月 6 日、令和 5 年 3 月 10 日、に実施した。

現状、コース管理は慢性的に人手不足のため、コース管理スタッフに与えられた時間が短く、日頃、巡回確認で隅々までは回りきれていない。今後も継続的にドローン巡回/芝育成状態管理の実証を行う意向を確認した。

一方、ドローンの循環監視、芝管理、配送の実導入に向けては、ゴルフ場は準備・操縦作業の短縮に課題を感じており、準備などが不要な形での確認が自動化でき、無人運行ができることが望まれる。

また、一定のコストのかかるドローンについては、ドローンの他用途への活用（プレーヤー向け撮影サービス等）のニーズもあるという意見があり、更なる費用対効果向上を狙える。

実証前のヒアリングからの変化として、他の課題として、練習場の混み具合を見たい、環境測定（温度、土の水分量）を芝目観測よりも実作業（芝刈り、水撒き、等々）を効率化したい、忘れ物を取りに行ったり、届けたりできると導入効果が高いという意見が出てきた。芝の解析については春にも再度実施予定。

ウェアラブルカメラや遠隔レッスンは運用に課題が残るがプレーヤーから好評という点では、ゴルフ場からも好意的な意見あり、ゴルフ場としても導入への動機付けになる。

・検証項目②：近隣ゴルフ場へのヒアリング結果

近隣の 2 か所のゴルフ場へヒアリングを実施した（なお、いずれも全国系列にも所属はしていないゴルフ場であった）。ヒアリングは、令和 5 年 2 月 13 日、令和 5 年 2 月 15 日、に実施した。

いずれにも共通していたのはコース管理業務の人手不足の課題であり、①土地が広大故にコース管理に業務の多くを割かれている、②業務従事者の高齢化、といった要因が挙げられる。

①の要因については、ドローンを使って業務を効率化できる可能性が高いと感じる。ドローンによるコースの撮影を毎日実施する必要性が低いようであれば、地域共用することでより設備稼働の効率性を上げることも可能であると考える。

②の要因については、①の課題解決により効率化を図るとともに、ローカル 5G を用いて業務を効率化することにより課題解決ができると考えられる。

また、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部ではクラブハウスを中心に 18 ホールのコースレイアウトであったが、ゴルフ場によってはホール数や起伏の違いもあり（27 ホールや飛び地ホール等）、地理特性に応じた電波設計にも注意が必要となってくる。

また、「ブラインドが多い」という課題も聞かれた。山間に立地するゴルフ場の場合、その起伏により同様の状況は発生し得る。その場合、例えばカメラを各所に設置し、ローカル 5G 等で伝送することで、前のホールへ状況を伝えることができるし、安全性を確保できることになり、お客様満足度を高めることもできると考える。

今回は 2 か所のゴルフ場へヒアリングしたが共通してコース管理の業務に課題を抱えている結果となり市場性が高いと言える。ゴルフ場にローカル 5G の設備を導入し、ドローンによる芝の育成状況のモニタリングをすることで業務効率化を行い、省力化によるコスト削減に貢献できる本実証ソリューションはゴルフ市場で有用なソリューションであると分析できる。更には近隣のゴルフ場がローカル 5G を導入することで DU の収容能力を最大限活用できることになり、ローカル 5G システムの経済合理性を高められる可能性があることを確認できた。

・検証項目②：ケーブルテレビ事業者へのヒアリング結果

2 社（東京都西部、三重県北西部）のケーブルテレビ事業者にゴルフ場におけるローカル 5G 及びソリューションの取組みを紹介し、ヒアリングを実施した。ヒアリングは、令和５年３月９日、令和５年３月 10 日、に実施した。

いずれも既にローカル 5G に取組んでおり、各社 1 局以上の置局を既に行っていた。

東京都ではゴルフ場自体が少ないが、三重県ではゴルフ場が多くその半分以上のゴルフ場に既に光ファイバーを引き込んでいる状況であった。ゴルフ場は敷地が広大かつ山間部にあることが多いためインフラが脆弱な傾向は全国的に変わらない。栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部においてもキャリアの電波は場所により不安定という状況である。またゴルフ場内は景観を守るためにコース内の有線でのインフラ新設は困難であるため、敷地内で高速かつ敷設が容易かつ柔軟な設計が可能なローカル 5G はニーズが高いと考えられる。

それからいずれのケーブルテレビ事業者でも共通してドローンに興味を持って頂いており、広大な土地が広がる場所での活用としてニーズを感じたということ、業務効率化に資すること、その活用はゴルフ場のコース管理だけでなく工夫することでより他分野（飲食配送、上空撮影）へも幅を広げられるのではと言う意見があった。ウェアラブルカメラについても進化（クラブくらいの大きさの小型の 3 脚付カメラを用意してショット時にプレーヤーの好きな角度から撮影、AI を使った無人レッスン、等）することで、より良いソリューションになり得るという意見があっ

た。

今回は 2 社のケーブルテレビ事業者へヒアリングしたが、地域によってはゴルフ場が多く存在し、いずれの社でもゴルフ場におけるドローンソリューションへの興味があり、それによりローカル 5G の潜在的なニーズがあることで、ゴルフ場におけるローカル 5G の全国的な市場性があり、ケーブルテレビ事業者等を通した横展開の可能性があることを確認した。

・検証項目①/②共通：ゴルフ場の収支及びケーブルテレビ事業者の収支について

本実証ソリューション導入におけるサービス提供者（ケーブルテレビ事業者）及びユーザ（ゴルフ場）の採算性を検証するため、実証結果を踏まえて年間収支の試算を行った。ここで、鹿沼グループ内の他ゴルフ場は、実証ゴルフ場とは距離が離れているため DU の共用は不可能であり、導入にあたっての費用・効果等に違いはないことをヒアリング等で確認したため、事業収支は共通とした。なお、DU 共用によるコスト低減を踏まえた試算は、4.3.4 (2) 2)の収支計画に反映している。

カメラソリューションの映像提供と遠隔レッスンは、ゴルフ場来場者数の 20%がサービス利用したと仮定した。利用料金は、本実証のアンケートの回答平均額を基に、映像提供は 1,400 円/人、遠隔レッスンは 3,200 円/人とした。ドローン配送は、ゴルフ場来場者数の 10%がサービス利用したと仮定し、配送料は 200 円/人とした。いずれも、4.3.1 (3) 3)の効果検証におけるアンケート結果を基に数値設定をし、また、仕入れ原価率を 65%として計算した。

省人効果については、現行の 3 コース程度を 30 分かけた目視巡回をドローンソリューションで 5 分に短縮するとして、25 分の削減効果を定量効果として算入した。

しかしながら、ドローンの巡回及び芝管理については、ゴルフ場との議論の結果、定性効果が大きく発生するものと思料する。コース管理業務の属人性の解消による効率化、従業員の退職発生時のリカバリーのしやすさや採用コスト削減、更にはコース品質向上による、ゴルフ場のブランド価値向上にも繋がる。ブランド価値向上は、ゴルフ場のプレーフィーの底上げにも資するため、重要な要素である。

表 4.3-19 ゴルフ場収支

ゴルフ場収支/年			単位：円
収入	カメラソリューション	映像提供	10,640,000
		遠隔レッスン	24,320,000
	ドローンソリューション	飲食配送	760,000
収入計			***35,720,000***
費用	カメラソリューション	映像提供	-7,246,000
		遠隔レッスン	-16,138,000
	ドローンソリューション	飲食配送	-234,000
		巡回	-1,174,000
		芝管理	-2,474,000
	L5Gインフラ運用保守		-7,200,000
費用計			***-34,466,000***
粗利益			***1,254,000***
省人効果	ドローン	芝管理	208,000
営業利益			***1,462,000***

ケーブルテレビ事業者の年間収支の試算結果の一例を以下に示す。

ゴルフ場への売上に対し、L5G インフラ保守を除き、仕入れ原価率は 75%に設定した。L5G インフラ保守については、ゴルフ場への提供は RU あたり月額 20 万円のサブスクリプションモデルとしている。

なお、設備共用による L5G のコスト削減は、直接的にはユーザ企業への提供料金に影響しない。しかしながら、ユーザ企業はサブスクリプションモデルによるイニシャルコストゼロを享受するが、それは、ケーブルテレビ事業者が設備共用によるコスト削減努力を行うことと前提とするためである。

また、ゴルフ場のサポートや普及展開のため、営業費用を 600 万円積んでいる。

表 4.3-20 ケーブルテレビ事業者収支

CATV収支/年			単位：円
収入	カメラソリューション	映像提供	7,246,000
		遠隔レッスン	16,138,000
	ドローンソリューション	飲食配送	234,000
		巡回	1,174,000
		芝管理	2,474,000
	L5Gインフラ運用保守		7,200,000
収入計			***34,466,000***
費用	カメラソリューション	映像提供	-5,434,500
		遠隔レッスン	-12,103,500
	ドローンソリューション	飲食配送	-175,500
		巡回	-880,500
		芝管理	-1,855,500
	L5Gインフラ運用保守		-4,056,000
費用計			***-24,505,500***
粗利益			***9,960,500***
減価償却費	ドローン		-600,000
	カメラ＆導入費用		-800,000
	ウェアラブルカメラ		-1,000,000
	L5Gインフラ		-3,333,333
営業			-6,000,000
営業利益			***-1,772,833***

総論としては、プレーヤー向けソリューションはサービスオプション料金として定量的に収支に算入できるため、導入効果を明示しやすい一方、コース管理業務等の効果は定性的であり、収支への算入が難しいものの、ユーザ企業の喫緊の課題である人手不足の解消に貢献するものであるため、重要性・必須性は高い。喫緊の課題への効果を基本とし、更にユーザ向けソリューションで売上向上の資する、両軸での提案をユーザ企業にすることは、導入障壁を下げることに繋がるのではないかと思料する。また、ケーブルテレビ事業者の観点においては、実証ゴルフ場の近隣ゴルフ場や工業団地等への L5G 導入による DU 等の設備共用によりコスト削減を行うことで、採算性の改善が期待される。加えて、全国各地域のケーブルテレビ事業者においても同様の取組を

行うことで、ケーブル業界の共同購買や基地局共用によるコスト削減を行うことにより、採算性は更に向上する。

（2） 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1） 検証項目

ローカル 5G システム及びそれに付随するソリューションをケーブルテレビ株式会社がゴルフ場へ提供する。例えば、ゴルフ場の入場者・お客様にサービスを提供するソリューション（BtoBtoC 型）、従業員の人手不足に対するソリューションを提供する（BtoB 型）等。

ケーブルテレビ株式会社が主体となり、無線システムからソリューションまでを一括提供する。その際、お客様の初期投資・設備投資の負荷を最小限に抑えるために、基本的には月額制（サブスクリプション型）の提供形態を考える。運用・保守についてもケーブルテレビが行い、運用中に不具合等が発生すればケーブルテレビ株式会社にて不具合対応を実施する。

ケーブルテレビ株式会社においても経済合理性が成り立つように、ケーブルテレビ業界共同コアを利用することで、コア装置部分のコスト負荷を軽減させる。

また無線局の免許申請についてもケーブルテレビ株式会社にて行う（ただし、ドローンのような上空を飛行するものが陸上移動局になる場合、現行のローカル 5G の制度上では実用局としての利用が認められていないため、実験試験局で運用する必要がある）。提供する際の運用スキームは下記の通りである。

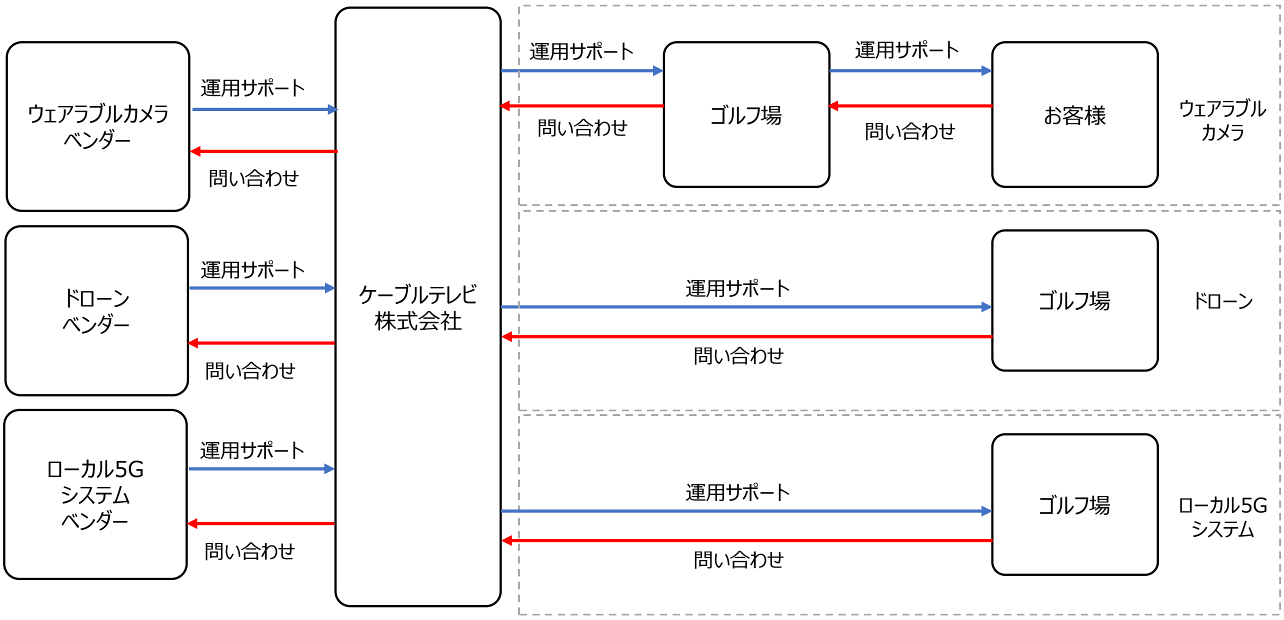


図 4.3-39 ローカル 5G 活用ソリューション運用スキーム

本実証においては、4.3.1 におけるローカル 5G モデルの有効性等に関する検証の結果を基に、下記項目について検討を行った。

・運用面の課題
・ゴルフ場のイニシャル・ランニングのコスト負荷
・本実証ソリューションのゴルフ場のニーズへの適合
・ビジネスターゲット

サービス提供者（この場合はケーブルテレビ会社）とサービス利用者（この場合はゴルフ場）の両者にとって妥当性がある運用スキーム・ビジネスモデルとなっているか、検討を行った。
妥当性が成立しない結論となった場合は、課題を抽出し、解決策及びスケジュールを策定し、再検証を行った。

2) 検証方法

検討検証項目について、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部及び鹿沼グループと導入に向けた検討会議を行い、及び近隣のゴルフ場へはヒアリングを行った。検討会議実施日：令和5年2月21日、令和5年3月6日、令和5年3月10日。ヒアリング実施日：令和5年2月13日、令和5年2月15日。

3) 検証結果及び考察

・運用面の課題

ゴルフ場単独でのドローンオペレーション実施に課題が残った。実証期間内において、ゴルフ場従業員は2日間のドローン講習（実演を含む）、及び実運用を想定したドローン巡回とドローン配送を繰り返し行い、オペレーション自体に特段の問題はないものの、従業員の実感としてベンダー立ち合い不要となるまでには至らなかった。

オペレーション自体は問題なくできていることから、対策としては更なる繰り返しの運用、及び長期に渡る継続運用による知見・経験の積み上げが考えられる。繰り返しかつ長期に行うことで、ドローンの安全性を実感として持つこと、及び想定外実証発生時への対応を実経験として積むことができると考える。

また、ドローンオペレーション実施者の再選定も対応策として考えられる。本実証では、ゴルフ場従業員の中から、ソリューション導入の意思決定のしやすさの観点を重視し、管理者の立場である2名をドローンオペレーション担当として選定した。しかしながら、ゴルフ場従業員において、ドローンオペレーションに対して、バックグラウンドや年齢等の点で比較的親和性の高い従業員を担当者とすることが適切である可能性もある。また、サービス提供者であるケーブルテレビ株式会社がドローンオペレーションを担うことも考えられる。

ウェアラブルカメラの運用については、本実証同様にプレーヤーに補助員を付けた運用は、ゴルフ場の負荷増となるため難しいが、この点はウェアラブルカメラのHW/SWの改善により解決を行い、実装では補助員は不要とする。

・ゴルフ場のイニシャル・ランニングのコスト負荷

令和 6 年度の実装を想定した議論において、サービス提供者であるケーブルテレビ株式会社へ支払う利用料の他、前述の運用面の課題に係るゴルフ場の人的リソース負荷増の課題が現状としては存在するため、リソースを含めた総合的な負荷は高い。根本課題として人手不足があるため、人的リソース負荷を増やさない運用スキーム確立が必要であり、前述の運用面の課題にて言及した通り、追加期間での知見・経験の積み上げが必要であると考える。

・本実証ソリューションのゴルフ場のニーズへの適合

本実証期間中の 2 月に行った近隣ゴルフ場 2 か所へのヒアリングを行い、実証ゴルフ場以外のニーズ確認を行った。当該ゴルフ場では、売上向上の課題と比して、人手不足を喫緊の課題として挙げており、本実証ソリューションの中でもドローンによるコース管理への関心があることを確認した。しかしながら、ゴルフ人口が減少するトレンドにおいて、コロナ禍で一時的に持ち直す傾向があるものの、中長期的には売上向上の課題は存在する。この点においては、ウェアラブルカメラの HW/SW の改善を行い、実装では補助員は不要とすることで、ニーズに適合すると思料する。

・ビジネスターゲット

栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部との議論及び近隣ゴルフ場へのヒアリングの結果として、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部同様に課題への改善意欲が高く実際に各種施策を行っているゴルフ場を当面のターゲットとすることが最善と考える。栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部を管轄する鹿沼グループの他、大手ゴルフ場グループ企業がターゲットとなる。また、ローカル 5G のエリアカバーの観点では、基地局と中継局の数を抑えた構成でエリアカバー可能なゴルフ場は、コスト課題が低減されるため、ターゲットとなる。栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部は起伏の大きく、遮蔽となる樹木が多いコースであるものの、基地局のみで一定のエリアカバーが可能であることを確認した。河川敷等の平坦な土地に位置し樹木の少ないゴルフ場であれば、基地局のみの構成による電波浸透はより高まり、コストを抑えた導入運用が可能になる。

（3） ローカル 5G 活用モデルの構築

1） ローカル 5G 活用モデルの全体像

a. ターゲット

本活用モデルは、全国 2000 か所超の全ゴルフ場を最終目標とする。当面のターゲットは、実証ゴルフ場を管轄する鹿沼グループが本実証への取組意欲と理解が深いために同グループの他 2 か所のゴルフ場（鹿沼カントリークラブ、鹿沼 72 カントリークラブ）、コスト低減のためのローカル 5G の設備共用が可能となる実証ゴルフ場近辺の他ゴルフ場、及び実装主体であるケーブル

テレビが主体となってコンタクト可能な同社サービスエリア内のゴルフ場とする。その後のターゲットは、業務改善や売上向上の意欲が高く、かつ横展開性の高い大手グループのゴルフ場とする。

b. 対象となるシステム

ア） ドローンによるコースメンテナンス補助等

本活用モデルにおいて、システムが想定しているターゲットとシステムの機能要件、非機能要件は以下の通りである。

表 4.3-21　ドローンによるコースメンテナンス補助等の機能要件、非機能要件

ターゲット	従業員の高齢化と人手不足が課題となっているゴルフ場	
機能要件	通信機能	ローカル 5G,LTE,Wi-Fi 通信が可能なドローン（ただしローカル 5G 通信については外付け）
	画質	撮影目的を確認できる画質以上で撮影可能なマルチスペクトラムカメラ
	経路設定	フライトプランに基づくプログラム飛行機能を持ったドローン
	リアルタイム映像伝送	リアルタイムでの 4K 映像確認をするための 20Mbps 以上の通信速度を持った無線通信環境
	飛行性能	地面から 15m の高度でホバリングできる機能を持ったドローン 30 分(バッテリ交換等含む)で 18 ホール巡回完了できる飛行速度が出せるドローン
非機能要件	可用性	予備バッテリの保有
	拡張性	プレーヤー及び従業員の両者に負担のない飲食配送の注文の仕組み
	運用性	ユーザ企業にてドローンを操縦するための運用体制
	保守性	機器故障等が発生した際に修理対応できるサポート体制
	安全性	安全に飛行するためのガイドライン策定

・ネットワーク・システム構成図

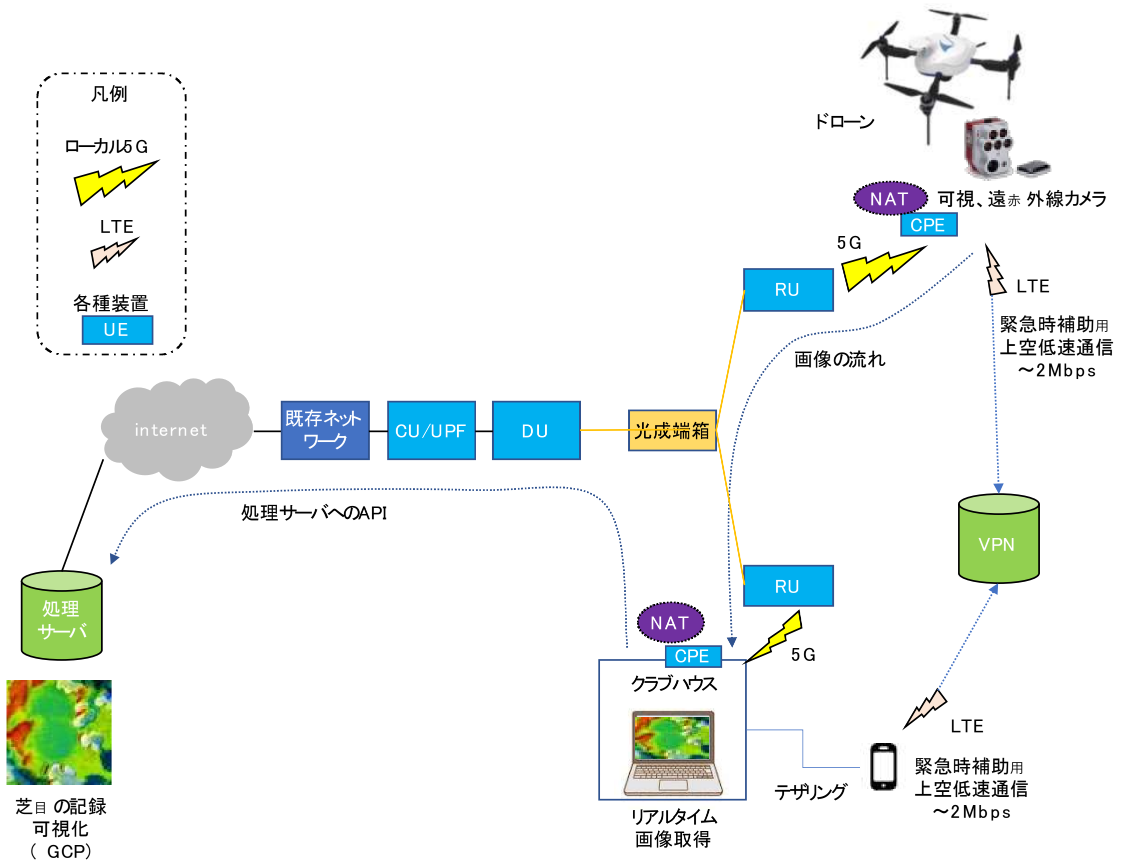


図 4.3-40 ネットワーク構成図

カメラを搭載したドローンでコース芝を上空視点から撮影し、漏れのないコース確認を実現する。この際、短時間で巡回できるような飛行コースを設定し全体の状況をいち早く確認する。カメラの映像をローカル 5G 通信で伝送することにより、高解像かつリアルタイムで状態を確認できるようになる。

ゴルフのコースのメンテナンス作業は顧客のコース利用時間の関係上、時間が限られている。これまでは人が回っていたが、これをドローンに置き換えることで迅速にコースの確認を行うことが可能になる。実運用時には、毎朝キーパーがドローン巡回を実施する。

・業務フロー

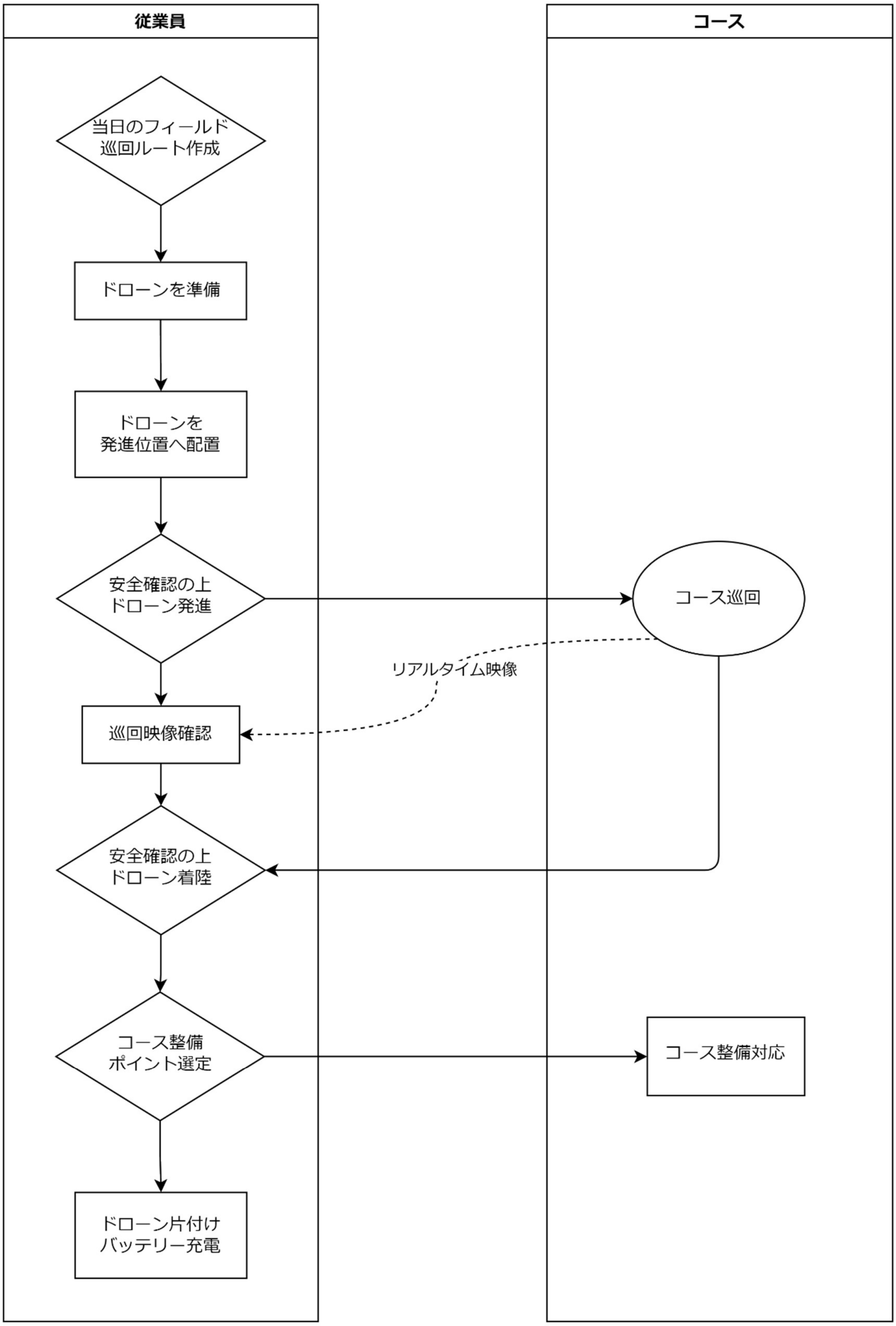


図 4.3-41 ドローン巡回業務フロー

コースのメンテナンス作業では従業員が巡回ルートを作成し、安全確認の上でドローンを発進させる。ドローンは作成した巡回ルートに従って自動でコース巡回を行い、従業員は巡回中のドローン映像を確認し、コース整備するポイントを検討する。ドローンによるコース巡回の終了後は、従業員が実際にコースに足を運び、整備を行う。

イ）プレー動画撮影、遠隔レッスン

本活用モデルにおいて、システムが想定しているターゲットとシステムの機能要件、非機能要件は以下の通りである。

表 4.3-22　プレー動画記録、遠隔レッスンの機能要件、非機能要件

ターゲット	ゴルフを新たに始めた若者層のゴルフプレーヤー	
機能要件	通信機能	USB,Wi-Fi 通信が可能なウェアラブルカメラ
	画質	現場の臨場感を伝える高精細な映像が録画できるウェアラブルな 4K カメラ
	映像伝送	プレー動画記録を即時に CMS に記録し映像確認をするための 20Mbps 以上の通信速度を持った無線通信環境
	記録装置	プレーの支障のないデバイスの質量・サイズのウェアラブルなカメラ
	CMS 機能	ユーザ ID とパスワードによるログイン機能 複数のユーザ ID とパスワードでログイン可能な機能 ユーザ ID の照会、登録、更新、削除ができる機能
非機能要件	可用性	ウェアラブルカメラ及び予備品の保有
	拡張性	プレーヤー及び従業員の両者に負担のないオプションサービスの仕組み
	運用性	過不足なく遠隔レッスン講師を手配できる運用体制
	保守性	不具合等が発生した際に対応できるサポート体制
	セキュリティ	CMS ログイン情報の管理体制

・ネットワーク・システム構成図

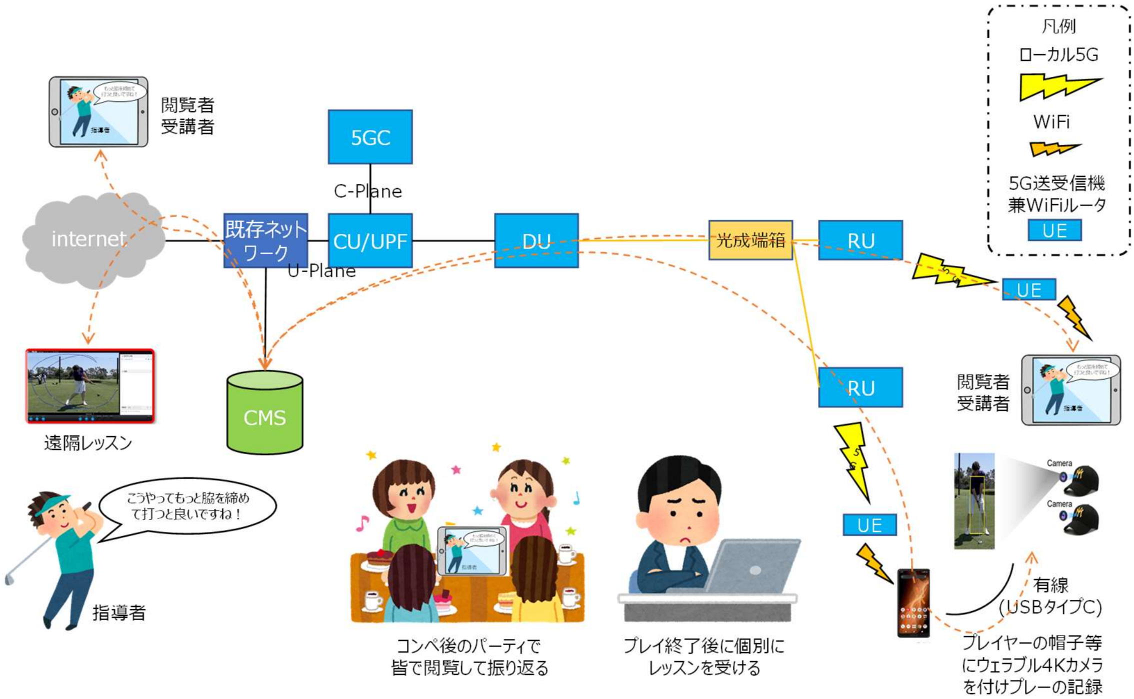


図 4.3-42 ネットワーク・システム構成図

ウェアラブル 4K カメラで撮影された動画は、専用アプリをインストールしたスマートフォンを通してカートに設置したローカル 5G 受信機へ Wi-Fi で伝送し、ローカル 5G 受信機から基地局等を経由してケーブルテレビ株式会社に設置した CMS サーバへ伝送され記録する。CMS サーバへ記録された映像を遠隔地にいる指導者が見ることで、遠隔でレッスン指導を行えるようにする。指導者は複数のプレーヤーから伝送された 4K 映像をマルチアングルで見ることで、あたかもその場にいるかのような臨場感でプレーを視聴することができ、また、カートに設置したタブレットを通して現地にいるプレーヤーへのフィードバックも行える。加えて、プレーの記録が残ることで、プレーヤーは後で自己振り返りもできる。

・業務フロー（プレー動画記録）

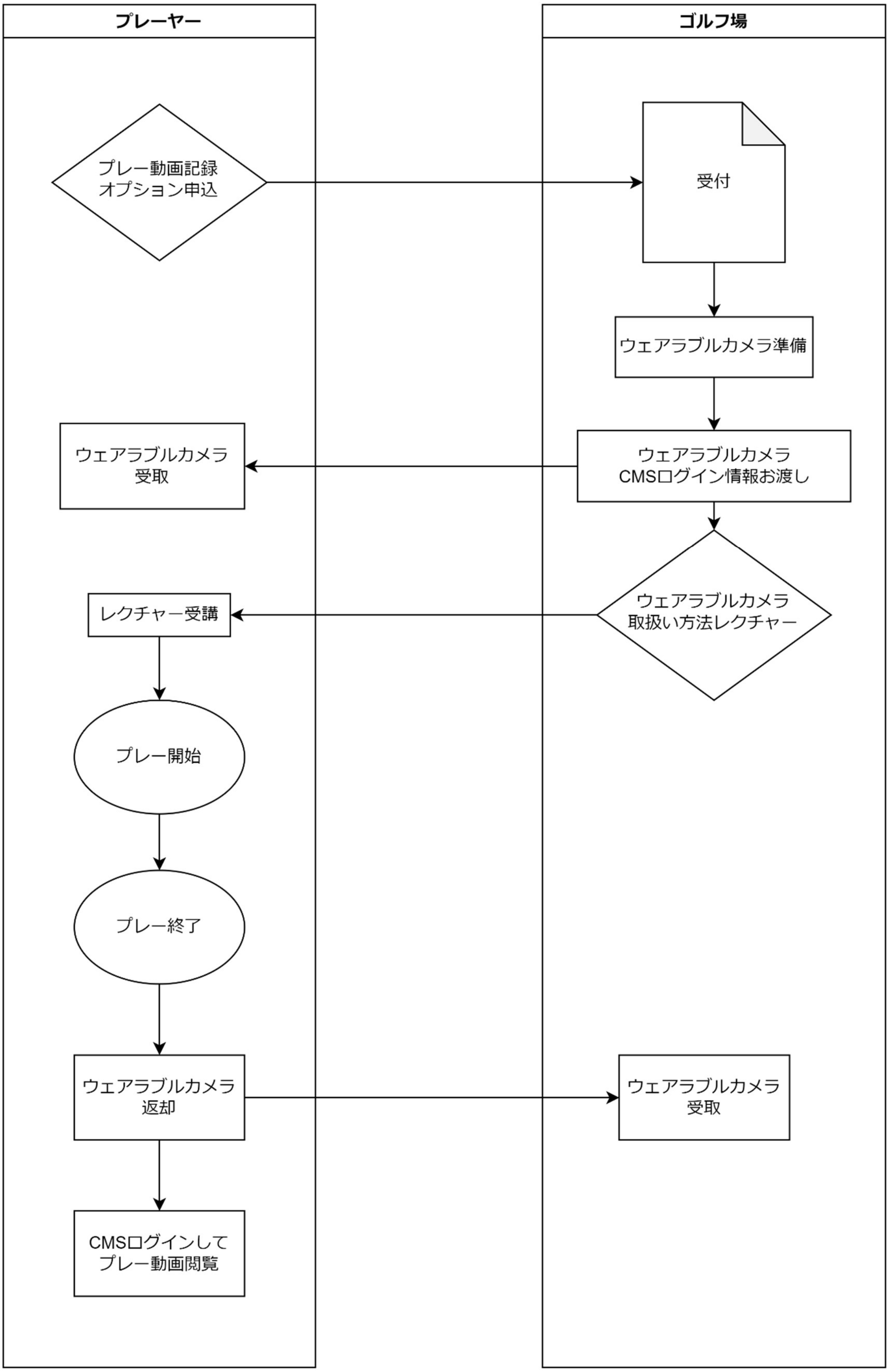


図 4.3-43 ウェアラブルカメラ（プレー動画撮影）の業務フロー図

プレーヤーからプレー動画記録の申込があったら、ゴルフ場はウェアラブルカメラと CMS ログイン情報をプレーヤーに渡す。その際、プレーヤーにウェアラブルカメラの取扱い方法とCMS ログイン方法などをレクチャーする。プレーヤーは動画を撮影しながらプレーをし、撮影した映像は専用アプリでカート移動中など自分の好きなタイミングで見ることができる。プレーが終わった後もプレーヤーは専用アプリでログインすることで撮影した映像を見ることができ、自分のプレーを振り返ることができる。

・業務フロー（遠隔レッスン）

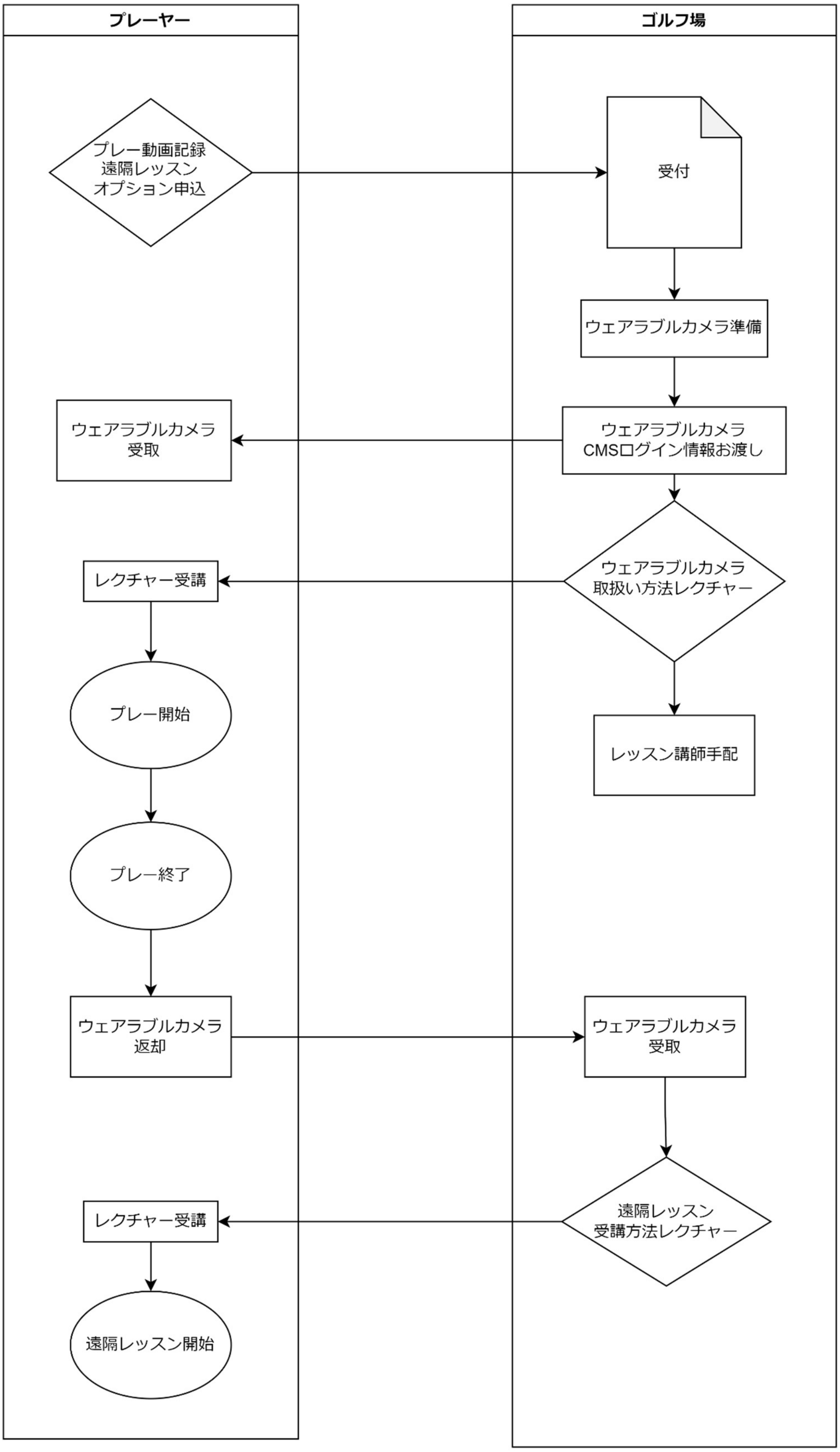


図 4.3-44 ウェアラブルカメラ（遠隔レッスン）の業務フロー図

プレーヤーから遠隔レッスンの申込があったら、ゴルフ場はウェアラブルカメラと CMS ログイン情報をプレーヤーに渡す。その際、プレーヤーにウェアラブルカメラの取扱い方法と CMS ログイン方法などをレクチャーする。ゴルフ場はプレーヤーがプレーを開始したらレッスン講師の手配をし、プレー終了後の遠隔レッスンの準備をする。プレーヤーは動画を撮影しながらプレーをし、撮影した映像は専用アプリでカート移動中など自分の好きなタイミングで見ることができる。プレーが終了したらプレーヤーは遠隔レッスンの受講方法についてレクチャーを受ける。当日撮影した映像を元にレッスン講師より遠隔レッスンを受ける。遠隔レッスンが終わった後もプレーヤーは専用アプリでログインすることで撮影した映像を見ることができ、自分のプレーを振り返ることができる。

c. ビジネスモデル

実証終了後は、地元のケーブルテレビ事業者であるケーブルテレビ株式会社が実装主体となり、ソリューション提供やL5G システム提供を集約し、ゴルフ場の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に対して一括してサービス提供を行う。ここで、L5G インフラへの投資の回収の観点から、本実証ソリューションのドローンとウェアラブルカメラの両ソリューションは一括提供を行うことを前提とする。

次年度以降の実装普及展開の段階では、設備共用によるコスト低減の取組として、ケーブルテレビ業界で共用する L5G コア設備の利用、及び同一地域の他ゴルフ場への横展開による設備共用（L5G の DU 等）を行うモデルとする。また、実証ソリューションはゴルフ場ごとのカスタマイズ不要で汎用的に展開が可能となると考える。

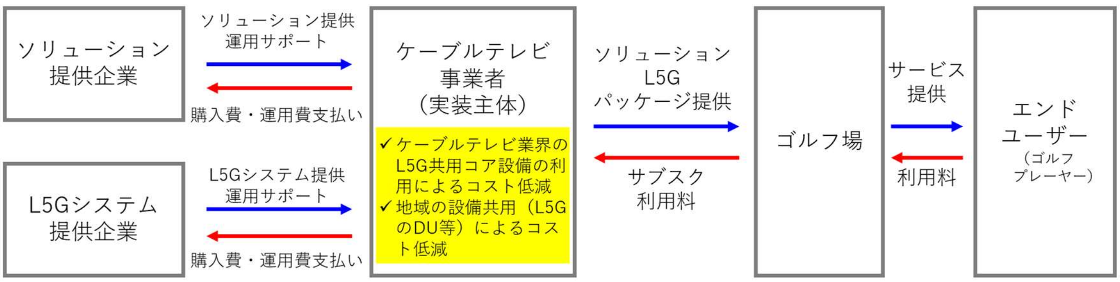


図 4.3-45 ローカル 5G 活用ソリューション提供スキーム

ローカル 5G システムのフロントホール伝送距離上には 20 か所以上のゴルフ場が立地、ゴルフ場以外にも産業団地・工業団地があり他分野へのローカル 5G 展開も可能（下図の通り）。

本実証を行う栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部は鹿沼グループに所属し、グループ内の横展開が期待される。それ以外に日本国内にはゴルフ場が 2,000 以上あり、日本ケーブルテレビ連盟/各地域ケーブルテレビ事業者や GDO と連携した各ゴルフ場へのアプローチが可能である。

図 4.3-46 DU 共用の候補ゴルフ場

2） 体制・役割分担

・免許人の違いによる比較表

基地局免許人はケーブルテレビ事業者がなるケースと、ゴルフ場がなるケースの 2 パターンがあるメリット・デメリットの比較表は以下の通りである。

表 4.3-23　免許人の違いによる比較表

	ケーブルテレビ事業者が免許人の場合	ゴルフ場が免許人の場合
メリット	・CU↔DU↔RU↔UE の運用ノウハウがある ・選任無線従事者が既にいる ・FWA サービスとしても転用できる ・ゴルフ場以外でも知見を転用できる ・24 時間 365 日の保守体制がある ・電波法申請のノウハウがある(特に電子申請では、申請準備時間を大幅に削	・柔軟に 5G 設計、運用ができる ・他のゴルフ場と差別化した PR ができる ・ゴルフ場スタッフ内で主体者として 5G 活用を議論し、新たな 5G ソリューション案を醸成できる ・陸上移動局の追加を積極的に検討できる

	ケーブルテレビ事業者が免許人の場合	ゴルフ場が免許人の場合
	減できる。また電子申請で申請手数料を削減できる）	・ケーブルテレビ事業者にとって、ゴルフ場と 5G 活用を議論する機会が増え、5G ソリューションのブラッシュアップに活かしやすい
デメリット	・ゴルフ場は基地局の申請や保守をケーブルテレビ事業者へ一任できる一方で、5G ソリューションによる利益が低い場合、ゴルフ場は廃止を検討しやすい ・ゴルフ場スタッフに 5G 活用への理解が浸透しにくい	・無線従事者を新たに選任する必要がある ・ケーブルテレビ事業者等の申請ノウハウを持った企業からの支援が必要となる ・DU から 5GC への上位回線を電気通信事業者等から調達する必要がある ・保守体制を構築する必要がある

どちらが免許人になったとしてもメリット、デメリットがあるが実証終了後のビジネスモデル（地元のケーブルテレビ事業者であるケーブルテレビ株式会社が実装主体となり、ソリューション提供や L5G システム提供を集約し、ゴルフ場の栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に対して一括してサービス提供を行う）を考慮すると、ユーザ企業よりケーブルテレビ株式会社が免許人になることが望ましいと考えられる（なお、ユーザ企業が免許人になった場合でも、ケーブルテレビ株式会社がローカル 5G 設備を構築したり、サブスク提供することも可能ではある）。

最終的に取る体制・役割分担は以下の通りである。

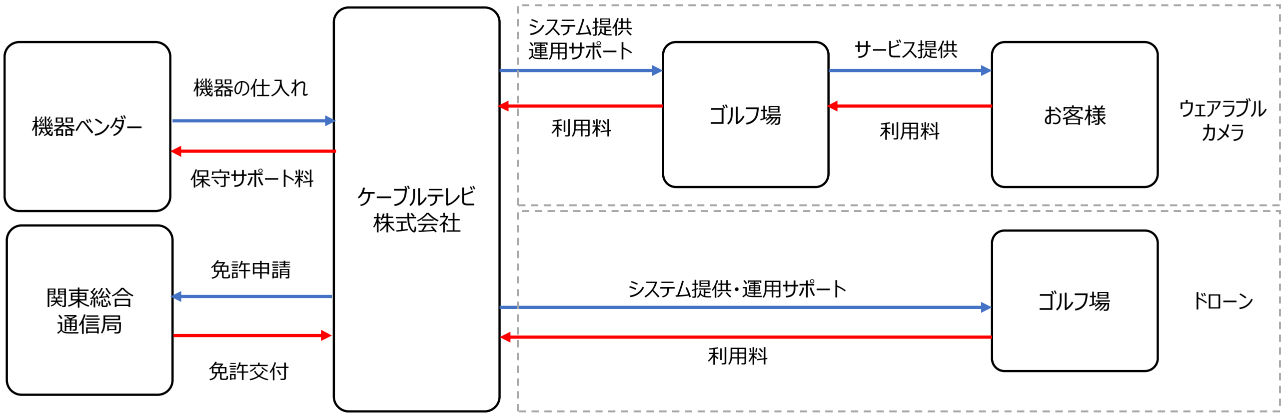


図 4.3-47 ローカル 5G 活用ソリューション体制・役割分担

3） 導入効果

本ビジネスモデルのターゲットは日本全国に点在するゴルフ場となる。本実証で実施したソリューションは、①ドローンソリューションによる業務効率化により、ゴルフ場の人手不足、属

人性の解消、及び売上に対した高額が運営費（飲食物提供）の解消、②ウェアラブルカメラによりゴルフ場の利用者へ新たな付加価値を提供しゴルフ場の売上向上にも貢献する。

①については、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部及び近隣のゴルフ場へのヒアリングの結果、人不足と高齢化が課題となっており、それらの課題への解決策となる。

②については、特に若者層をターゲットにしており、それは有効性等に関する検証でも明らかになった。

またゴルフ場への来場者が増えると、ゴルフ場利用税も増え、地域の自治体にとっても喜ばしいことである。

ここで、ゴルフ場の年間の事業収支の試算を以下に示す。

カメラソリューションの映像提供と遠隔レッスンは、ゴルフ場来場者数の 20%がサービス利用したと仮定した。利用料金は、本実証のアンケートの回答平均額を基に、映像提供は 1,400 円/人、遠隔レッスンは 3,200 円/人とした。ドローン配送は、ゴルフ場来場者数の 10%がサービス利用したと仮定し、配送料は 200 円/人とした。L5G インフラ保守以外の費用については、仕入れ原価率を 65%として費用を計算した。L5G インフラ保守については、RU あたり月額 20 万円のサブスクリプションモデルとして支払いを行う。

ウェアラブルカメラソリューションについては、プレーヤーの利用ごとに費用が発生する従量課金制のため収益が出やすい。ドローンソリューションについては、定量的な効果では、毎朝の巡回において全 18 ホールを詳細に見て回ることはできなかったところを 30 分のドローン巡回で実現できるようになる。また、現行の目視巡回と同様の 3 ホール程度の巡回であれば 5 分での巡回が可能となる。省人効果については、現行の 3 コース程度を 30 分かけた目視巡回をドローンソリューションで 5 分に短縮するとして、25 分の削減効果を定量効果として算入した。更には、人材不足に対して、コースメンテナンスの自動化の効率化による副次効果が見込まれる。この点については、例えば、コース品質向上によるブランド価値向上、属人業務の削減、及び不測への退職者への対応（残業代増加、リクルート費用）等、多面的な定性効果が発生する。

表 4.3-24 ゴルフ場の収支

収入	カメラソリューション	映像提供	10,640,000
		遠隔レッスン	24,320,000
	ドローンソリューション	飲食配送	760,000
収入計			***35,720,000***
費用	カメラソリューション	映像提供	-7,246,000
		遠隔レッスン	-16,138,000
	ドローンソリューション	飲食配送	-234,000
		巡回	-1,174,000
		芝管理	-2,474,000
	L5Gインフラ運用保守		-7,200,000
費用計			***-34,466,000***
粗利益			***1,254,000***
省人効果	ドローン	芝管理	208,000
営業利益			***1,462,000***

(4) 実装性を高める手法の検討及び実行

1) 検証項目

本実証では自己土地で完結する、4.7GHz 帯を用いたローカル 5G システムを用いる。自己土地のためリピータの設置も比較的容易に可能である。また、ソリューションが上り帯域を多く使用するが、準同期を用いることで上り帯域を確保できる。

ゴルフ場という土地・立地の特性（自己土地となる、建物等の障害物が少ない、電源が取りにくい、等）及び本実証における適用ソリューション（上り帯域を多く消費する）からゴルフ場の本実証ソリューションにおけるローカル 5G の適合性についての検証を行う。これらを検証することでゴルフ場におけるローカル 5G 制度や技術との適合性が高いことが確認できれば、ゴルフ場におけるローカル 5G はより実装性が高いと考えられる。

ローカル 5G システムや付随するソリューションを地方の企業が採用するには技術面の他にも運用面等で敷居が高いと想定している。そのような環境の中で、本実証ではユーザ企業がローカル 5G システムを直接利用するのではなく、地域のケーブルテレビ会社が関わる形態を採ることで、ユーザ企業がローカル 5G システムや付随するソリューションを導入しやすくしている。

上記を踏まえて、本実証では実装性に関して以下のような項目について検証を行った。

ゴルフ場の本実証ソリューションにおけるローカル 5G の適合性について以下の項目について分析を行った。

・周波数
・準同期運用
・通信速度
・自己土地
・リピータ

ユーザ企業が直接ローカル 5G システムを利用する場合と比較して、地域のケーブルテレビ会社を介した利用形態の実装性や導入障壁への効果に関して以下の項目についてヒアリングを行った。

・システム費用
・システム運用

ゴルフ場への横展開方法として、日本ケーブルテレビ連盟やゴルフ業界団体等での説明会等での情報提供の妥当性・効果について検討を行った。

2) 検証方法

ゴルフ場におけるローカル 5G 制度や技術との適合性について、コンソーシアム内で分析を行った。

ゴルフ場へヒアリングを行い、ユーザ企業が直接ローカル 5G システムを利用する場合と、ケーブルテレビ会社を介して利用する場合の利用形態について分析を行った。

日本ケーブルテレビ連盟及び栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部と、業界団体を通した横展開の手法を協議した。

3) 検証結果及び考察

ゴルフ場の本実証ソリューションにおけるローカル 5G 適合性に関する分析結果は以下の表の通りである。

表 4.3-25　ゴルフ場におけるローカル 5G 適合性の分析表

項目	分析結果
周波数	樹木遮蔽もあったが、ゴルフ場の概ね 9 割以上をカバーできた。 ミリ波では周波数特性からするとおそらくカバーできなかったと思われる。もしくはミリ波でカバーするにはより多くの基地局が必要となり、ま

項目	分析結果
	たゴルフ場内では電源を取れる場所が限られるため、全ホールのカバーは難しくなる。
準同期運用	本実証では上りを多く使うソリューション（ドローンによる 4K リアルタイムモニタリング、ウェアラブルカメラによる 4K 動画撮影）であったため、準同期運用することで上り帯域の確保ができたことを確認できた。 同期運用の場合、上り帯域が不足したホールが発生したと思われる。
通信速度	僻地に立地していることが多く、また山間部等にある場合は特にキャリアの電波が入りにくく通信速度も低いもしくは繋がらない傾向にあるが、ローカル 5G であれば柔軟な設計により十分な帯域を持った通信インフラを構築できる。 本実証では 100MHz 幅で足りたが、ソリューションの使用帯域率とからするとソリューション使用が増えた場合に、通信速度帯域不足が想定され、その手段として NR-DC（New Radio-Dual Connectivity）技術の適合性が高いと思われる。
自己土地	本実証では自己土地で完結することを確認できた。ゴルフ場は基本的に自己土地となり、他者土地は原則的にないためローカル 5G 制度上の不利益を受けることもない。
リピータ	電界の拡張が事前想定を上回っており効果的であることを確認できた。 ただしゴルフ場で電源を取れる場所は限られるため、リピータの設置場所によっては既存の電源から分電工事等を行う必要もある。

ユーザ企業が直接ローカル 5G システムを利用する場合と、ケーブルテレビ会社を介して利用する場合の利用形態の分析表は以下の通りである。

表 4.3-26　ゴルフ場におけるローカル 5G のシステム費用とシステム運用の分析表

項目	分析結果
システム費用	ローカル 5G システムについてはゴルフ場が設備投資するよりも、ケーブルテレビのような電気通信事業者が設備してサブスクで提供する方が望ましい場合が多い。
システム運用	ドローンの運用には更なる訓練が必要である。空撮等でドローンの操作に慣れているケーブルテレビ会社のスタッフがフォローすることも可能である。 ウェアラブルカメラの運用には、実証時には補助人が付いたが、補助人が

項目	分析結果
	付かなくても運用できるように改善する必要がある。デジタルデバイスの操作に慣れているケーブルテレビ会社のスタッフがフォローすることも可能である。 ローカル 5G 及びソリューションいずれのシステムにもその運用に慣れているケーブルテレビ会社がフォローすることで運用性が高めることができる。

以上の分析より、ゴルフ場という土地・立地や本実証ソリューションはローカル 5G 制度の適合性が高いことが分かり、よってローカル 5G の実装性も高いと考えられる。

またシステムについても、ユーザ企業へのヒアリングの結果、企業が独自に導入するには敷居が高いことが分かり、ケーブルテレビのような電気通信事業者が介在して、サブスク型で提供したり、運用をサポートしたりすることで、ユーザ企業への導入障壁を低めることになり、ローカル 5G の実装性が高まると考えられる。

日本ケーブルテレビ連盟が主催する令和 5 年度の全国説明会及び展示会等で本実証の活用モデルを取り上げて全国のケーブルテレビ事業者へ横展開することで、ケーブルテレビ事業者から全国のゴルフ場へローカル 5G の活用モデルとして普及展開を図ることとした。

また、ゴルフ場関連団体を通して令和 5 年度内に本実証の活用モデルのプレゼンテーションを実施する予定である。なお本実証の取組や視察会の様子を業界紙・地元紙等で取り上げて頂いたことで一定のゴルフ場から反響があったことを確認した。

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

（1） ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

実装に係る課題をソリューションごとに区分して以下に記載する。

<u>ドローンによるコース巡回・芝の育成状態管理</u>

- 映像確認作業の効率化
  実証ではドローンの高精細映像をモニタ画面にて注視し、落とし物等の検知を行った。検知は一定程度可能であったものの、全 18 ホール全ての巡回映像のため画面を注視し続けることは、作業者の負荷が高く容易ではないことが分かった。
- 通年の検証
  実証の冬季の約 1 か月間の期間に行った。冬季におけるコース状態監視の検証にて一定の成果を挙げたものの、ゴルフコースは四季を通じて変化が少なくなく、更には冬季を比し

て他の季節の芝の状態変化は大きく、1年を通した検証が必要であることが分かった。

- 飛行準備の簡易化
  実証ではドローン飛行のある日は、まず専用ケースを発着場へ持ち出し、ケースからドローンを出してプロペラの取付等を行い、冬季のため低温となっているバッテリを温めてからドローンに取付る作業を行うなど、飛行準備に時間を要していた。
- 操作・運行の習熟
  実証ではエアロセンスがゴルフ従業員2名に対してドローンの講習を行い、その後、繰り返しの訓練により、ゴルフ従業員単独にて操作・運行が可能になった。しかしながら、いずれもエアロセンスが同席して行ったものであり、ゴルフ場従業員が自信を持ってエアロセンス同席なしの操作・運行が可能となるまでには至らなかった。
- 芝状態可視化マップの改善
  本実証では、芝の状態可視化マップの活用方法の1つとして、同一箇所にて別日に取得した可視化マップを見比べることを行った。しかしながら、可視化マップを見比べて違いを目視で検知することは、高い集中力と慣れが必要であり、容易ではなかった。

<u>ドローンによる飲食配送</u>

- 騒音の低減
  ドローンの騒音は、ヘリコプターの騒音よりも小さいものの、プレーヤーへのヒアリングでは、ドローンの騒音の方が気になり、プレーの妨げになるという声があった。
- 配送全自動化
  実証では配送品の受取場所に従業員があらかじめ待機し、クラブハウスら飛行してきたドローンの着陸を見届け、配送品を取り外し、注文したプレーヤーに渡すという運用を行った。ここで、受け取りのための従業員の配置を行うことは、ゴルフ場のリソース負荷増加にも繋がるため、運用の改善が必要となる。

<u>ウェアラブルカメラによるプレー動画撮影</u>

- カメラの操作性・装着性の改善
  バッテリ等の課題解決のためにカメラには有線でスマートフォンを接続したことで、プレーヤーからは一定数、スイング動作時に有線部分がプレーの妨げになるという声が上がった。

<u>ウェアラブルカメラによる遠隔レッスン</u>

- レッスン画面の機能性向上
  動画を利用したゴルフレッスンにおいて、スイング動画のスロー再生機能等を使用したいという声があった。
- 受講者と講師とのマッチング
  実証では実証事務局にて事前手配した講師により遠隔レッスンを行ったが、手配には一定の工数がかかるため、遠隔レッスンの需要が増えた場合には対応が容易ではない。

（2） ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

(1)に記載した各課題に対し、解決策案と実行主体を以下一覧表に示す。いずれの課題解決も、令和 6 年度の実装開始に向けて、令和 5 年度中の解決を目標とする。

表 4.3-27　ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題と解決策の一覧表

分類	課題	課題の説明及び今後の検討方針等
ドローンによるコース巡回・芝の育成状態管理	映像確認作業の効率化	落とし物や整備箇所の検知において、目視で映像を見続けることは負荷が高い。エアロセンスが AI 等のベンダーと協議して映像自動解析により検知を自動化することで、負荷の軽減及び効率化を図る。
	通年通年の検証の検証	コース状態は季節による違いが大きいため、年間を通した映像データ取得による検証が必要。ケーブルテレビ及び栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部が 4 月以降、定期的にドローンを飛行させて映像データを取得する。
	飛行準備の簡易化	実証では毎回、ドローンの組立てやバッテリを温める作業（冬季のみ）を実施した。栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部により使用都度の組立て不要とするためのドローン保管スペース選定や、ケーブルテレビによるバッテリボックスの用意を行う。
	操作・運行の習熟	実証ではゴルフ場従業員がベンダー同席の下で操作・運行をした。ベンダー不在で操縦可能となるよう、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の担当社にて繰り返しの訓練を行うか、あるいはケーブルテレビのドローン操縦習熟者によるオペレーションを行う。
	芝状態可視化マップの改善	状態変化を把握する際に、過去の可視化マップと見比べるだけでなく、過去のデータとの差分を可視化してマップ表示することで、より効率的に確認を行う。エアロセンスにより追加開発を行う。
ドローンによる飲食配送	離着陸時の騒音の低減	エアロセンスがドローンのプロペラ等を改良し、静音化を行う。
	商品受け取りの簡易化	実証では受取場所に従業員を配置し、プレーヤーに手渡しで品物を渡していた。受取場所に品を置いて自動帰還するドローンにエアロセンスが改良することで、商品受け取りの簡易化を行う。
ウェアラブルカメラによるプ	カメラの操作性・装着性の	バッテリ等の課題解決のためカメラにはスマートフォンを有線接続したが、スイング動作時に有線部分か気にな

分類	課題	課題の説明及び今後の検討方針等
レー動画撮影	改善、CMSの改善	るという声がプレーヤーよりあった。Support Technologyにより、バッテリや重さ等を考慮しながらの完全無線化、及び、取得した動画分析機能、編集機能などをCMS上で可能とする機能を実現する。
ウェアラブルカメラによる遠隔レッスン	レッスン画面の機能性向上	遠隔指導をより円滑かつ効果的に行うため、Support Technologyにより、レッスン画面のスロー再生機能等のUI改善を行う。
	受講者と講師とのマッチング	効率的な遠隔レッスンのサービス提供を目指し、Support Technologyにより、レッスンの受講者と講師をマッチングするための予約システムを構築する。

4.3.4 ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

（1）実装・普及展開シナリオ

ユーザ企業であるゴルフ場の実装時の姿を以下2点に示す。

- ✓ ドローンによるコース巡回・芝の育成状態管理により、コース管理業務を効率化。ドローンによる飲食配送により、売店の人件費等の費用削減。これらにより、人手不足・熟練者業務の属人性解消・コース品質向上が実現。
- ✓ ゴルフ場から来場のプレーヤーに対してウェアラブルカメラによるプレー動画撮影・提供や遠隔レッスンのサービス提供。客単価向上/来場者増加により売上向上が実現。

実装においては、ケーブルテレビが主体となり、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部に対し令和6年度の商用実装を実施し、更には栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部周辺のゴルフ場及び鹿沼グループの他2か所のゴルフ場へのサービス提供を目指す。また、他地域のゴルフ場へは地域ワイヤレスジャパンが各地域ケーブルテレビ事業者と連携してサービス提供を行い、全国の2,200か所超のゴルフ場への普及展開を目指す。

以下に将来像の実現に向けたシナリオの図を示す。

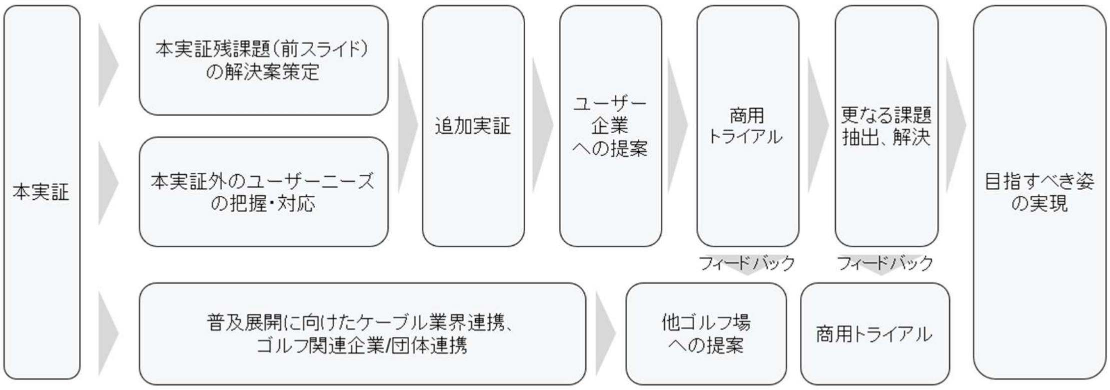


図 4.3-48 将来像の実現に向けたシナリオ

実証終了後は、4.3.3 に記載した現時点の課題（ミッシングピース）とその対応策について連携先の企業等の具体化を行い、また、本実証以外のユーザニーズも把握・分析した上で追加実証の計画を策定し、令和 5 年度に実証を行う。年間を通じた検証が必要なドローンによる巡回・芝管理については、ローカル 5G システムは一時的に停波するためリアルタイム伝送はできないものの、データ記録・保存は可能なため、令和 5 年度 4 月より定期的にゴルフ場現地においてドローンを飛行させ、データ蓄積を行う。また、併せてユーザ企業又はサービス提供企業によるドローンオペレーションの経験積み上げも行う。令和 5 年度の追加十署では、ローカル 5G を活用して数カ月の長期に渡り実証を継続的に行うことで、ソリューションの更なる改善、及びソリューション効果のユーザ企業による理解を深める。年度内にユーザ企業への実装提案を行い、令和 6 年度 4 月以降の商用トライアル・実装を行い、更なる課題抽出・解決後を経て、目指すべき姿を実現する。また、並行して、ケーブル業界連携やゴルフ関連企業/団体との連携を行い、他ゴルフ場への展開も目指す。

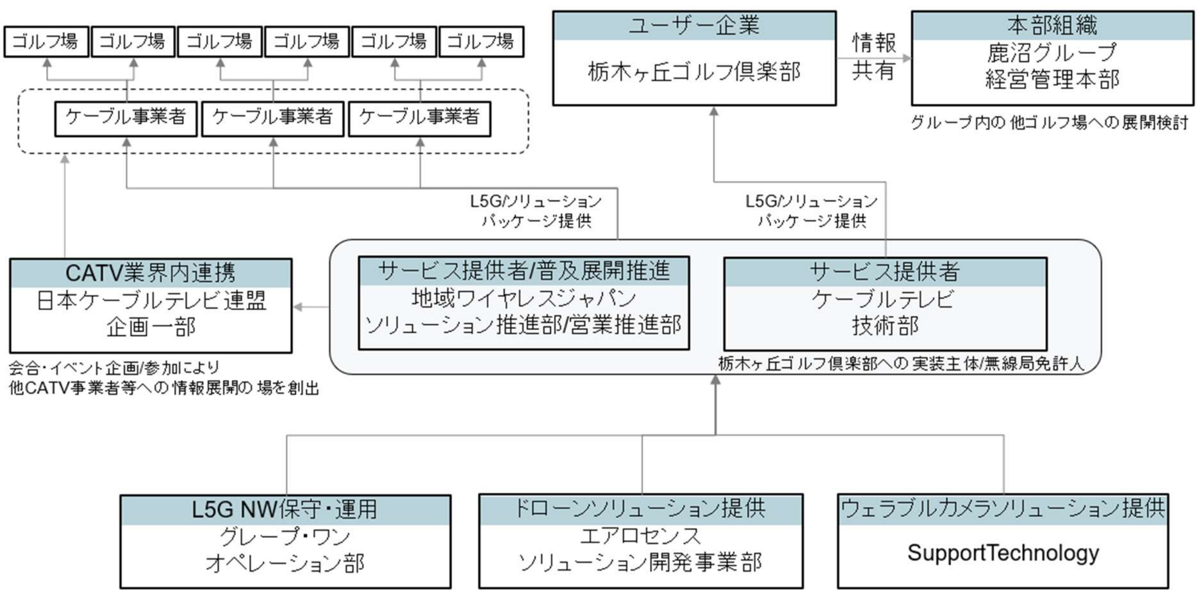
（2） 実装計画

1） 実装計画の作成方法

実証実験を通じて得られた成果や知見、残課題を整理し、また、実証ゴルフ場との議論に加えて近隣の他の 2 か所のゴルフ場へのヒアリングによるニーズ把握をし(ヒアリングの結果については、4.3.2(1)3)を参照)、ゴルフ場業界やドローン業界の知見を蓄積し、毎週木曜の定例会議の他、令和 5 年 2 月 15 日、令和 5 年 2 月 21 日にコンソーシアム関係者にて議論を行い、実施体制・実装計画・収支計画・実装を確実にするための取組等について意識合わせを行い、本実装計画を策定した。

2) 実装計画の要約

開 13 代表機関名	株式会社地域ワイヤレスジャパン	分野	文化・スポーツ
実証件名	ゴルフ場におけるローカル 5G を活用したコース運営の効率化及び新たなゴルフ体験の実現		
実施体制			



		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)
実装計画	ドローンソリューション	開発実証	課題対応	実装 (ゴルフ場数 1)	普及展開(ゴルフ場数: 3→8→18)		
	ウェアラブルカメラソリューション	開発実証	課題対応	実装 (ゴルフ場数 1)	普及展開(ゴルフ場数: 3→8→18)		
	ローカル 5Gシステム	開発実証	実装				
収支計画(千円)	(1)ユーザから得る対価	-	-	34,446	114,760	308,494	706,664
	(2)補助金・交付金	-	-	-	-	-	-
	(3)収入 ((1)+(2))	-	-	34,446	114,760	308,494	706,664
	(4)ネットワーク設置費	-	5,000	-	1,955	15,066	37,955
	(5)ネットワーク運用費	-	3,000	4,056	7,584	18,696	38,628
	(6)ソリューション購入費	-	10,000	26,449	80,670	216,970	485,598
	(7)ソリューション開発費	-	30,000	-	-	-	-

	(8)支出 ((4)+(5)+(6)+(7))	-	48,000	30,505	90,209	250,733	562,181
	(9)収支((3)−(8))	-	▲48,000	3,960	24,550	57,760	144,482

収入、支出の算定根拠

- ケーブルテレビ㈱の収支計画。令和 9 年度までに実証ゴルフ場含む 18 ゴルフ場へ導入。
- 令和 5 年度の課題対応費用は概算金額を積算。
- (1)ゴルフ場から得る対価については、ドローンソリューションは一定料金、ウェアラブルカメラソリューションについてはユーザの利用数に応じた従量課金。
- (4)ネットワーク設置費用は減価償却費を記載。
  (7)ソリューション開発では、本実証ソリューションの高度化の他、実証や他ゴルフ場のヒアリングを通じて出てきたニーズへの対応も行う予定。

実装を確実にするための取組		どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)	いつまでに
	提供コスト低減	・ ①設備共用:5GC について、実証で用いたオンプレ型から、ケーブルテレビ業界にて共用するクラウド型へ移行し、コスト低減を行う。また、地域に設置する DU を複数のユーザ企業(本ソリューションではゴルフ場)で共用する。 ・ ②ユーザへの L5G システム提供:ケーブルテレビより、イニシャルコストを要しないサブスクリプション型の提供を行う。 ・ ③ソリューション:地域ワイヤレスジャパンより、CATV 事業者を通じた複数ゴルフ場への提供を、ベンダーに対して一括交渉することでコスト低減を図る。	①令和 5 年度上期 ②令和 5 年度に他ゴルフ場へ導入推進をし、令和 6 年度より共用を開始 ③複数ゴルフ場への導入が始まる令和 6 年度より開始
	ソリューション追加開発	・ 実装に向けた残課題に対するソリューションの高度化や新たなニーズへ対応するソリューションを追加開発する。	令和 5 年度
	顧客開拓	・ ケーブルテレビのサービスエリア内のゴルフ場への個別訪問等による導入促進 ・ ケーブルテレビのサービスエリア内の産業団地・工業団地等の他分野への導入促進(設備共用によるコスト低減) ・ 総務省様向け視察会への他 CATV 事業者への参加誘致とともに、要望に応じて個別の視察受け入れを実施 ・ 日本ケーブルテレビ連盟の無線利活用委員会等の会合での説明等によるケーブルテレビ事業者への導入促進 ・ ゴルフ場の業界団体を通した他ゴルフ場への導入促進	実証終了後より継続的に実施
	運用面の改善	・ 実証終了後は継続的にドローンカメラによるデータ取得を行い、画像データの蓄積だけなく、ドローンオペレーションの知見・経験積み上げを行う。	令和 5 年度
	ルールメイキングへの貢献	・ ドローン飛行に関する航空法の則った適切な実運用の策定について、ドローン業界動向を見極めながら整理を行う。	令和 5 年度より継続的に実施
	計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) 中長期の事業性を判断した上で、より事業性の高いソリューションの追加導入又は切替えの手段も含め継続等の計画を策定し、関係各社の追加投資を検討する。また、補助金・交付金の活用も検討する。		

a. 実施体制

以下に実装計画実行にあたっての実施体制図を示す。ケーブルテレビが栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部へ、L5G インフラとソリューションをパッケージ提供するモデルとする。本モデルでは、ゴルフ場特有の地形等に適したエリア設計によるローカル 5G インフラ構築や、地元事業者ならではの丁寧なサポートや問題事象発生時の即時駆け付け対応を可能とすることで、地域のユーザ企業によるソリューション導入の促進を狙える。この点は、全国展開している他の 5G 提供事業者に対して競争優位性を持つものと考える。

また、普及展開では、ケーブルテレビ株式会社/地域ワイヤレスジャパンが実装主体となり、ゴルフ場に対してローカル 5G 及びソリューションを一括してサービス提供する。

将来的には、全国 2,200 か所超の全ゴルフ場への展開を目標とする。

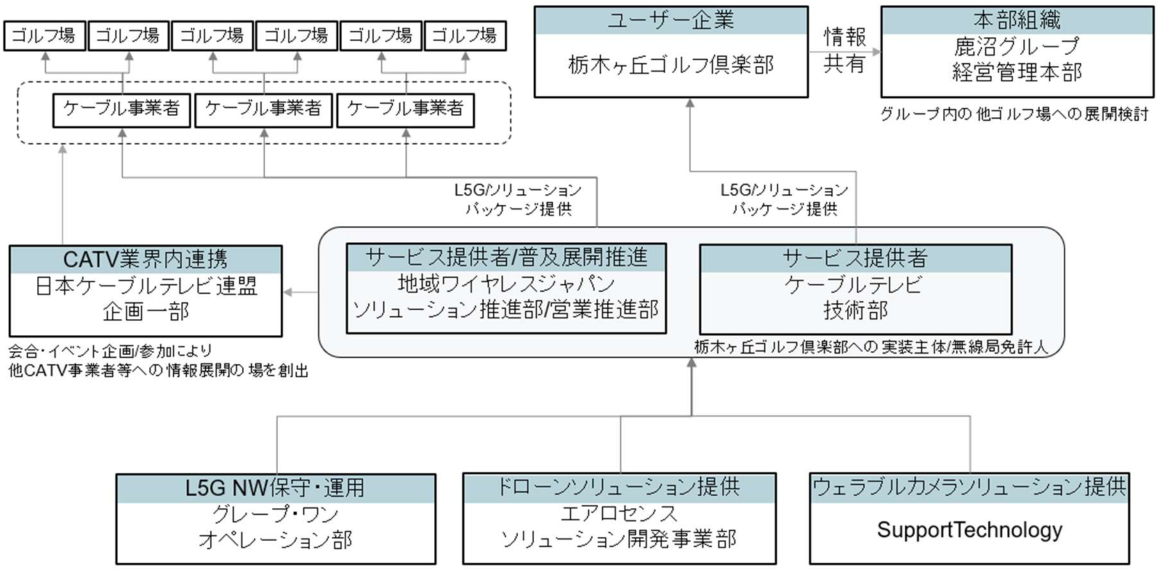


図 4.3-49 実装普及展開体制図

b. 実装計画（実施事項）

以下に実装計画を示す。実証事業後は、L5G は商用局免許に切替え、5GC はケーブル業界で共用するクラウドに切替え、実証環境である栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部で利用継続を目指す。利用継続する対象ソリューションは、実証結果や上記課題を踏まえて選定し、課題解決及び利用継続再開スケジュールを立案する。令和 5 年度は利用継続を行うことで、ユーザ企業（栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部）及びサービス提供企業（ケーブルテレビ）において知見や稼働実績を蓄積し、次年度の本格商用開始に向けて各企業にて予算計上を行う。また、実証を通じて得られた知見等を活かし、ゴルフ場へ導入すべき他ソリューションの模索や、ゴルフ場以外の類似施設等（例：ゴルフ練習場）への L5G を活かしたソリューション検討・導入推進を行う。これと並行して、ケーブルテレビが主体となって、栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部周辺のゴルフ場及び鹿沼グループの他 2 ゴルフ場への導入推進を行う。また、地域ワイヤレスジャパンが主体となって、他地域ケーブルテレビ事業者

を通じた他ゴルフ場への導入推進を行う。

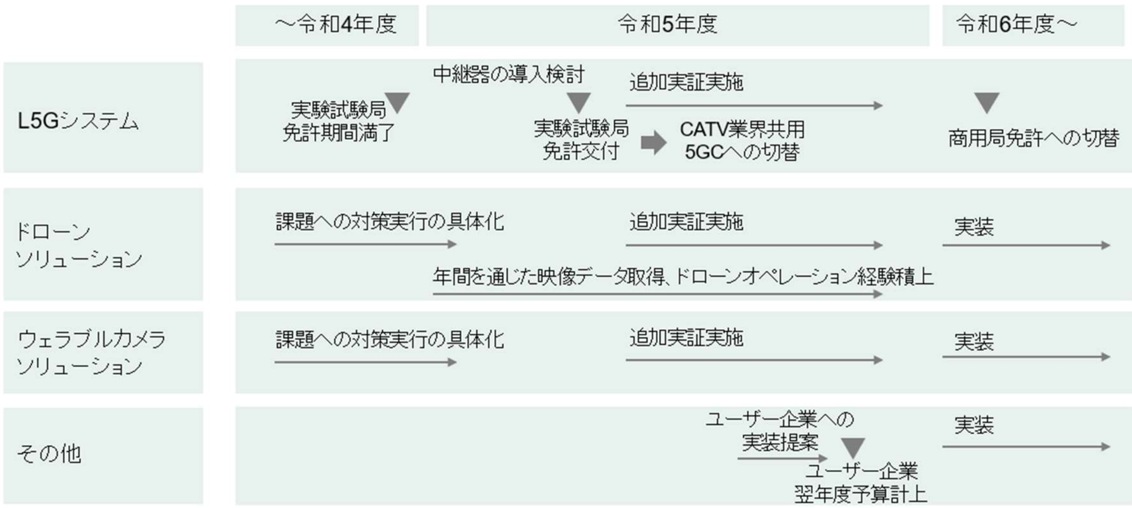


図 4.3-50 実装スケジュール

【実施タスク】

L5G システム

・実験局免許の再取得

令和 4 年度末の実験局免許期間満了後、新たな実験の枠組みで実験局免許を申請し、8 月頃に交付を受ける。

・5GC の切替え

オンプレの 5GC から、ケーブル業界共用の 5GC（クラウドコア）に切替えを 8 月までに実施する。

・中継器の導入検討

中継器提供ベンダーと屋外向けの高出力中継器開発及び費用の交渉を続け、ゴルフ場に適する中継器であれば導入を行い、上記の実験局免許申請にて併せて申請する。

ドローンソリューション

・表 4.3-4 に記載の課題対応を令和 5 年度内に行う。通年の検証については、データ蓄積のため令和 5 年度 4 月より定期的にドローンによる映像データ取得を行う。

ウェアラブルカメラソリューション

・表 4.3-4 に記載の課題対応を本実証後終了後より実行開始し、令和 5 年度内に検証を行う。

その他

・令和 5 年度は 8 月以降の実証期間を経て、年度内にユーザ企業に対し、実装の提案を行う。

c. 収支計画

ア） 収支計画

収支計画は「2)実装計画の要約」を参照

算出方法の補足

(1)ユーザから得る対価

L5G システム及びドローンソリューションのサブスクリプション料金、及びウェアラブルカメラソリューションのユーザ利用都度の従量課金から構成される。ウェアラブルカメラの映像提供/撮影と遠隔レッスンの売上は、実証でのモニタユーザアンケート結果より得られた利用料金調査や利用意向のデータを基に算出した。具体的にはカメラソリューションの映像提供と遠隔レッスンは、ゴルフ場来場者数の 20%がサービス利用したと仮定し、利用料金は本実証のアンケートの回答平均額を基に、映像提供は 1,400 円/人、遠隔レッスンは 3,200 円/人とした。ドローン配送は、ゴルフ場来場者数の 10%がサービス利用したと仮定し、配送料は 200 円/人とした。いずれも、仕入れ原価率を 65%として計算した。

(4)ネットワーク設置費

L5G システムの導入費用の減価償却額を記載した。なお、複数ゴルフ場への展開における UPF/CU/DU が設備共用も加味して試算した。具体的には、DU1 台あたり RU18 台を収容可能なため、1 ゴルフ場あたり RU3 台として、DU1 台あたり 6 か所のゴルフ場への設備共用による提供したケースとして試算をした。なお、4.3.2(1)3)では UPF/CU/DU 等の導入コストを算入したが、本実証において調達した UPF/CU/DU 等は実証費用で精算済みとして計上していない。

(5)ネットワーク運用費

L5G システムのベンダーへ支払う保守運用費。詳細は非開示のため省略。

(6)ソリューション購入費

ドローンやウェアラブルカメラ等の物品調達費用（減価償却額）、ドローン/ウェアラブルカメラのベンダーへの支払い費用、普及展開やユーザ窓口業務の営業費用。ベンダーへの支払いは、原価率 75%として計算をした。

イ）ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

ユーザ企業における必要リソースを以下の表に示す。

表 4.3-28 ユーザ企業における必要リソース

項目		イニシャルコスト（初年度）	ランニングコスト（次年度以降、年間）
ローカル 5G システム		-	7,200 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務	-	-

項目			イニシャルコスト（初年度）	ランニングコスト（次年度以降、年間）
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託		-	7,200 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション			-	27,266 千円
a.	ドローンソリューション		-	3,882 千円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	-	-
	②	メンテナンス委託費、クラウド利用料	-	3,882 千円
b.	ウェアラブルカメラソリューション		-	23,384 千円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	-	-
	②	サービス利用料	-	23,384 千円

算出根拠について以下に記載する。

■ローカル 5G システム

b. ローカル 5G システムに係る運用業務委託

ケーブルテレビ事業者へのサブスクリプション型の支払いモデルとする。RU1 台あたり 200 千円 /月とし、ゴルフ場への 3 台の RU 導入を想定。

■ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション

a. ドローンソリューション ②メンテナンス委託費、クラウド利用料

ドローン 1 台に対して 702 千円/年のメンテナンス費用。画像保存及び画像植生解析のクラウド利用料として、3,180 千円/年。

b. ウェアラブルカメラソリューション ②サービス利用料

サービス基本料を 660 千円/年間。その他、プレーヤーの利用都度、910 円/回（映像提供）、2,080 円（遠隔レッスン）が発生する。なお、ここでは、ゴルフ場利用者数の平均的な人数である 38,000 人より、20%がサービス利用したと仮定して計算。

d. 実装を確実にするための取組

ア） 提供コスト低減

①設備共用：5GC について、実証で用いたケーブルテレビ所有のオンプレ型から、令和 5 年度にケーブルテレビ業界にて共用するクラウド型へ移行し、コスト低減を行う。また、令和 6 年度

以降、地域に設置するケーブルテレビ所有の DU を複数のユーザ企業（本ソリューションではゴルフ場）で共用する。実証で導入する DU は 18 台の RU が収容可能であり、DU と RU の距離は 20km 以下の制限があるものの、実証地域はゴルフ場が密集するエリアであり、DU 共用によるコスト低減に適している環境である。

②ユーザへの L5G システム提供：ケーブルテレビよりゴルフ場に対して、イニシャルコストを要しないサブスクリプション型の提供を令和 6 年度より行う。

③ソリューション：令和 6 年度以降の複数ゴルフ場への横展開では、地域ワイヤレスジャパンより、ベンダーに対して一括交渉することでコスト低減を図る。

イ） ソリューション追加開発

令和 5 年度に、実装に向けた残課題に対するソリューションの高度化や新たなニーズへ対応するソリューションを追加開発する。

ウ） 顧客開拓

横展開先に向けて、令和 5 年度より以下の活動を実施予定。

- ケーブルテレビのサービスエリア内のゴルフ場への個別訪問等による導入促進
- ケーブルテレビのサービスエリア内の産業団地・工業団地等の他分野への導入促進

（設備共用によるコスト低減）総務省様向け視察会への他 CATV 事業者への参加誘致とともに、要望に応じて個別の視察受け入れを実施

- 日本ケーブルテレビ連盟の無線利活用委員会等の会合での説明等によるケーブルテレビ事業者への導入促進
- ゴルフ場の業界団体を通した他ゴルフ場への導入促進
- ケーブルテレビ株式会社のエリア内にある産業団地・工業団地における他分野への横展開

エ） 運用面の改善

実証終了後は令和 5 年度より継続的にドローンカメラによるデータ取得を行い、画像データの蓄積だけなく、ドローンオペレーションの知見・経験積み上げを行う。

オ） ルールメイキングへの貢献

ドローン飛行に関して、航空法に関する国土交通省への申請に対応案について記載する。ドローン飲食配送では一般のプレーヤーの上空を飛行することになるが、現行の航空法において、第 3 者の上空を飛行するか否かは申請区分に違いが発生する。本実証においては、事前に十分な周知を行い、第 3 者ではなく関係者のみの上空を飛行する実験を行ったが、一方、実運用において事前説明をどの程度行った一般プレーヤーが関係者とみなされるか否かは、令和 6 年度の実装に向

けた今後の整理事項とする。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

将来的な事業性を判断した上で、より事業性の高いソリューションの追加導入又は切替えの手段も含め継続等の計画を策定し、関係各社の追加投資を検討する。また、補助金・交付金の活用も検討する。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

本実証コンソーシアムは、実証の取組成果に係る動画（3 分程度）を作成した。また、本実証コンソーシアムは、MRI がローカル 5Gの普及の観点から本事業に関する映像を制作するにあたって、実証映像等の素材提供や関係者へのインタビューの撮影等に協力した。

5.2 実証視察会の実施

以下の内容にて実証視察会を開催した。

表 5.2-1 実証視察会概要

実施日	2023/3/7（火） 15:00~17:30
実施形態	現地・オンラインのハイブリッド開催
開催目的	実装普及展開に向けた啓蒙・啓発
場所・URL	栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部（栃木県栃木市）及びオンライン
参加機関	総務省、ケーブルテレビ事業者、コンソーシアム企業・団体、関係企業・団体等
プログラム	1. 開会宣言 2. 第 1 部 開会の言葉 3. 実証説明 実証概要、課題実証、技術実証について説明 4. 質疑応答（以下①） 5. 総務省講評 6. 第 1 部 閉会の挨拶 7. 第 2 部開始 8. 基地局見学（以下②） 9. ソリューション デモンストレーション ドローンソリューションデモンストレーション（以下③）及びウェアラブルカメラソリューションデモンストレーション（以下④）を実施 10. 第 2 部 閉会の挨拶

①質疑応答

- ドローン運用において風速の制限はあるか。また、ローカル 5G による通信はドローンのどこの部材と通信をしているのか。加えて、ドローンの飛行は自動運転なのか。

- 風速については 10m/s 以下が耐用範囲。通信については、ドローンに搭載しているローカル 5G 端末にて通信を行っている。また、ドローンの飛行については自律・自動運転をしている。（エアロセンス）

- 初心者でもドローンの操縦が可能か。
  - 自律飛行のためどなたでも操作可能。（エアロセンス）
- ゴルフ場におけるドローンソリューション及び遠隔レッスンソリューションにおけるローカル 5G の必要性について、前者はリアルタイム性が必要なのか。また、後者についてはリアルタイムで遠隔レッスンしないのであればどのような点でローカル 5G が必要なのか。
  - 栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部においては、毎朝の限られた時間で巡回を行う必要があるため、リアルタイムに映像伝送を行って映像確認を行う必要がある。（エアロセンス）
  - 遠隔レッスンはプレー後に行うことを想定しており、リアルタイム性が必要なプレー映像の撮影/提供の副次的なサービスとして本実証において併せて実施した者である。
- 電波伝搬について、中継器に MIMO を利用する際の条件等があれば教えて頂きたい。
  - 条件は特に定めていないが、MIMO を利用することで未使用時の 2 倍の伝送スループットを期待している。（京セラコミュニケーションシステム）

②基地局見学

クラブハウス傍に設置したローカル 5G 基地局を見学し、京セラコミュニケーションシステムより基地局のカバーエリア等の情報について説明を行った。

図 5.2-1 基地局近影

③ドローンソリューションデモンストレーション

ドローンによるコース巡回のデモンストレーションを行った。

3番ホール上空にドローンを飛行させ、ドローンに搭載した高精細カメラで得られた映像をローカル 5G の通信を介してリアルタイムにコース状態を遠隔モニタリングする様子をデモンストレーションし、エアロセンスによる説明を行った。

図 5.2-2 ドローンソリューションデモンストレーションの様子 1

図 5.2-3 ドローンソリューションデモンストレーションの様子 2

④ウェアラブルカメラソリューションデモンストレーション

ウェアラブルカメラによるプレー動画撮影・提供と遠隔レッスンのデモンストレーションを行った。

1番ホールのティーグラウンドにて、ウェアラブルカメラを装着したプレーヤーがティーショットを行い、得られた映像がローカル 5G の通信を介してタブレット等で即時閲覧する様子をデモンストレーションし、ケーブルテレビ株式会社より説明を行った。

図 5.2-4 ウェアラブルカメラソリューションデモンストレーションの様子

5.3 その他普及啓発活動

本実証コンソーシアムは、実証成果のその他普及啓発活動（テレビ・新聞・WEB 記事等におけるインタビュー対応、学会参加、イベント開催等）に積極的に取組んだ。その際、あらかじめ MRI に取組内容について報告し、実施結果についても速やかに報告した。

なお、実証コンソーシアムにて本契約に関する情報発信を行う場合、総務省「令和 4 年度　課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けたローカル 5G の電波伝搬特性やローカル 5G 等の活用に関する技術的検討並びに調査検討の請負」の一環としての取組・成果である旨を明示するとともに、あらかじめ MRI に対して情報提供を行った。

普及啓発活動実績一覧

2022 年 11 月 4 日　地域ワイヤレスジャパン・ケーブルテレビ・栃木ヶ丘ゴルフ倶楽部の 3 社共同ニュースリリース

2022 年 11 月 4 日　グレープ・ワン ニュースリリース

2022 年 11 月 4 日　住友商事より子会社地域ワイヤレスジャパンの取組紹介としてニュースリリース

2022 年 11 月　京セラコミュニケーションシステムの HP に掲載

2022 年 11 月　ゴルフダイジェスト社 ゴルフ場セミナー12 月号掲載

2022 年 11 月　一季出版株式会社 ゴルフ特信 11 月 30 日号掲載

2022 年 12 月 19 日　関東総合通信局より免許交付の報道発表

2022 年 12 月 23 日　日本ケーブルテレビ連盟の定例記者会見で実証概要を説明

2023 年 1 月 25 日　JANOG51 Meeting において実証概要を説明

2023 年 3 月 7 日　実証視察会を実施

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本実証における実証体制図を以下に記載する。

代表機関である地域ワイヤレスジャパンはプロジェクト全体のマネジメントを行い、課題実証はケーブルテレビが統括し、技術実証は京セラコミュニケーションシステムが統括し、実証を遂行した。

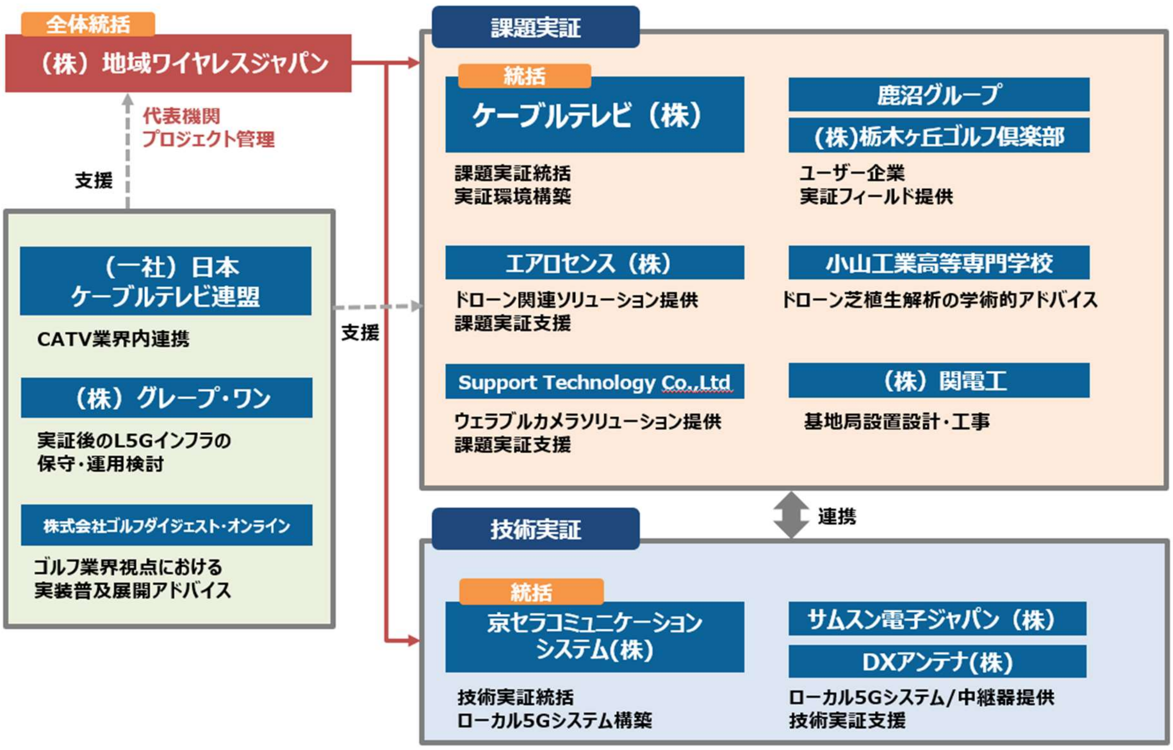


図 6.1-1 コンソーシアム体制図

6.2 実施体制内の役割

上図の通り。

7. スケジュール

本実証のスケジュール実績を以下に掲載する。

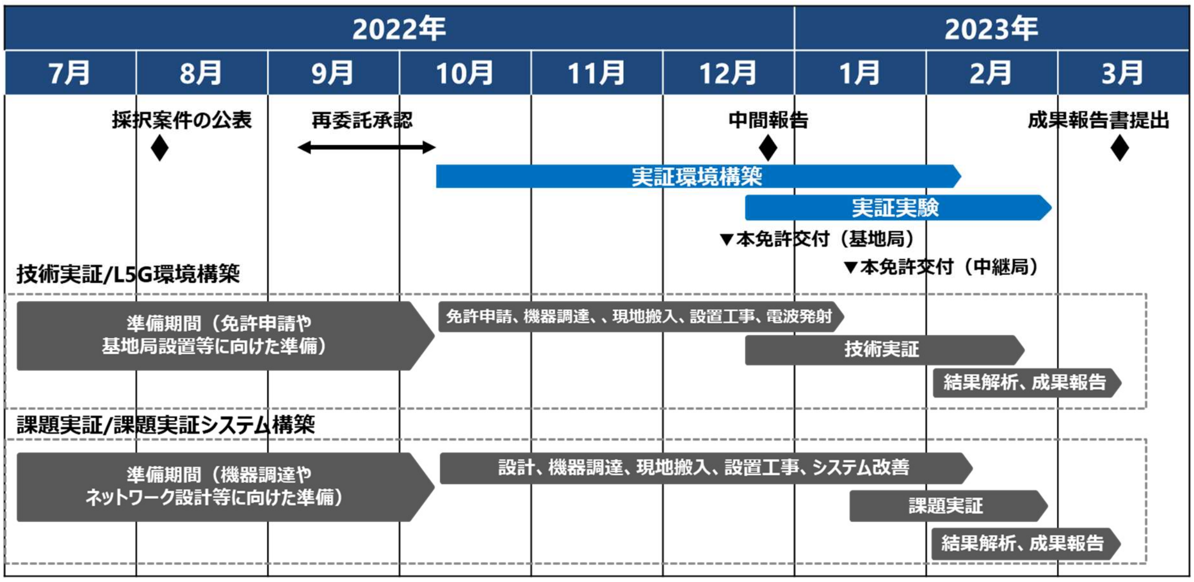


図 7-1 実証スケジュール実績

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【開発実証事業】

ゴルフ場におけるローカル5Gを活用したコース運営の効率化及び新たなゴルフ体験の実現

2023年3月

株式会社地域ワイヤレスジャパン