

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】

ローカル5Gを活用したダムの点検管理及び
災害時現場検証による自治体業務支援の実現

成果報告書

令和5年3月

シャープ株式会社

自治体各種業務の高度化ソリューション実証開発コンソーシアム

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的	1
1.2	実証の概要	4
2.	実証環境の構築	7
2.1	対象周波数帯	7
2.2	実施環境	7
2.3	ネットワーク・システム構成	10
2.4	システム機能・性能・要件	23
2.5	その他	24
2.5.1	実証システムの拡張性等	25
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策	25
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）	27
3.1	実証概要	27
3.2	実証環境	28
3.3	実施事項	30
3.3.1	電波伝搬モデルの精緻化	30
3.3.2	エリア構築の柔軟性向上	100
3.3.3	準同期 TDD の追加パターンの開発	100
4.	ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）	101
4.1	実証概要	101
4.1.1	背景となる課題	101
4.1.2	本実証におけるローカル 5G 活用モデル	105
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性	115
4.1.4	実証目標	119
4.2	実証環境	124
4.3	実施事項	126
4.3.1	ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証	126
4.3.2	ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証	195
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	226
4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開	229

5.	普及啓発活動の実施	241
5.1	映像制作	241
5.2	実証視察会の実施	246
5.3	その他普及啓発活動	249
6.	実施体制	251
6.1	実施体制の全体像	251
6.2	実施体制内の役割	252
7.	スケジュール	253

1. 実証概要

1.1 背景・目的

近年、我が国の自治体においては、人手不足や財政悪化という困難な状況にも関わらず、災害対応やインフラ保守、測量等を始めとして自治体に対応すべき業務が増加・複雑化してきており、これらへの対応が喫緊の課題となっている。さらに、昨年から続くコロナ禍において、我が国のデジタル化の遅れが指摘され、自治体においてもデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が強く求められている。

本コンソーシアムの代表機関であるシャープ株式会社は、自治体における DX 推進に寄与するため、令和 2 年度に「ローカル 5G 等及び 8K 映像伝送による自治体各種業務支援に関する調査研究」（以下、「令和 2 年度調査研究」という。）を総務省より請け負い、奈良県内 3 自治体の協力のもと調査及び実験を行った。また、その一環として、本コンソーシアム構成メンバーで調査研究会を実施し（図 1-1）、ローカル 5G 及び 8K 映像伝送の活用による自治体各種業務の効率化・高度化について、その有効性、経済性並びに運用上の課題等について議論を行い報告書としてとりまとめた [1-1]。

調査研究会会合の様相



図 1-1 令和 2 年度ローカル 5G 等及び 8K 映像伝送による自治体各種業務支援に関する調査研究会会合の様相([1-1]概要版より)

上記調査研究では、自治体関連業務の具体例として、

- 災害発生現場確認
- 橋梁のインフラ点検
- 公共測量
- 道路インフラのスクリーニング検査
- 太陽光発電のインフラ点検

の 5 つのユースケースを取り上げ、ドローンから 8K 等の超高精細映像をローカル 5G の高速・大容量通信を用いて伝送することによって、必要人員や作業時間の大幅な削減、作業安全性の向上、点検精度の向上等が期待できることを明らかにした（表 1-1、表 1-2）。これにより、ローカル 5G の自治体業務への活用について、その大きな可能性を示すことができた。また、実際にローカル 5G の実験局を設置してドローンからの 8K 映像リアルタイム伝送試験も実施し、ビットレート約 80Mbps の 8K 映像をローカル 5G のアップリンクを用いてドローンからリアルタイム伝送することに成功した。

実証実験の検証結果まとめ

- ・業務作業時間はドローンを導入することで、人手に比べ 80~90%の削減が可能である
- ・操縦および飛行安全性は、実施業務や環境次第で容易な状況もしくは難しい状況になることを確認
- ・確実性の検討において、8K を導入することで業務の精度や性能が増す多くの事例を発掘できた

表 1-1 8K 映像比較による実証実験検証結果まとめ(1)

検討項目	評価項目	検証結果		
		①災害現場	②橋梁点検	③公共測量
効率性	■作業時間	人手と比べ 林道沿いで 70%削減 現場直行で 90%削減 年間約 7 割の削減効果	人手と比べ 91%削減	高度を倍とすることで撮影枚数を 70%削減可能 8K では 4K に比べて同じ精度で 50%短縮可能
	■操縦容易性	8K では 4K より撮影範囲が広く撮影容易	橋梁側面は容易 橋下の撮影が難しい	オートパイロットにより操縦は容易
	■安全性	8K では 4K の倍の高度で同等画質を確保できる	8K は 4K の 2 倍の距離を取った撮影で安全性優位	8K では精度維持しつつ 4K より高い高度で撮影可能
確実性	業務により異なる評価項目	■直上からの状況把握 ■情報収集範囲 解像度/画角/ダイナミックレンジを比較し、8K の画質面での優位性を確認 ■情報の統合度合い 山間部における GPS ロスによる情報損失あり 8K は精度保ち高度をとって GPS ロス回避可	■インフラ補修箇所発見 赤外線による早期発見の優位性を確認 可視カメラによりさらに詳細状況を確定確認 8K は 4K に対し撮影距離 2 倍でヒビ検出可能 解析手法に 8K を導入することで精度向上可能	■現場地図作成精度 ■誤差含有度合い 8K は高度 73m で地上画素寸法 1cm 理論的可能 静止画ではなく動画撮影でも実測 3cm 以下の測量誤差 写真測量の最も高い精度区分である 5cm 以内を達成可能

表 1-2 8K 映像比較による実証実験検証結果まとめ(2)

検討項目	評価項目	検証結果	
		④道路スクリーニング	⑤太陽光発電点検
効率性	■作業時間	人手と比べ 90%削減 車両と比べ 50%削減 8K では高度をとることで 4K に比べて短縮可能	人手と比べ 85%削減 8K では高度をとることで 91%の削減可能性
	■操縦容易性	ドローンによる道路点検 は非常に多く留意点あり	姿勢は安定で操縦容易 セル異常を見るには高度を 下げる必要あり
	■安全性	道路状況により安全性低 くなるケースがある	高度 30m あれば安全性とし ては十分担保
確実性	業務により異なる評価項目	■インフラ補修箇所発見 ドローン撮影画像からヒ ビ検出が十分可能 8K では 4K に比べて高度 が倍でも詳細に路面状況 を確認可能 安全性診断基準のわだち 掘れ量/IRI においては、 精度不十分	■インフラ補修箇所発見 赤外線による早期発見の優 位性を確認 8K カメラを用いることで点 検精度向上可能 クリップや架台下の点検な ど 8K で実用的に

一方で、ローカル 5G による超高精細映像伝送の導入による効果を自治体業務で最大限に活用するためには、現状では技術面、運用面、コスト面及び制度面で多くの課題があることもわかってきた。これらの課題は、実際の自治体業務での活用ケースに密着した実証を積み重ねることで 1 つ 1 つ解決していく必要があると考えているが、上記調査研究では、実際の自治体業務現場においてローカル 5G 通信エリアを構築した上で、ドローン+8K 映像伝送を用いた検証を行うまでには至らなかった。

そこで本提案における開発実証（以下、「本開発実証」という。）では、上記調査研究において有効性を確認できた自治体関連業務のユースケースから、より具体的に下記 2 つの実証ケースについて実際の自治体関連業務の現場においてローカル 5G 通信エリアを構築して実証を行い、自治体関連業務の省力化・迅速化を実現するローカル 5G 及びドローン+超高精細映像を活用した実用ソリューションの早期実装を目指した。

(実証ア) ダムの点検管理業務支援

(実証イ) 遭難者探索や災害発生時の現場検証支援

[1-1] 総務省、令和 2 年度「ローカル 5G 等及び 8K 映像伝送による自治体各種業務支援に関する調査研究」報告書、

https://corporate.jp.sharp/brand/vision/8k/8klab/l5g_report_2020.html

(総務省より許可を得て掲載中)

1.2 実証の概要

前項の調査研究結果を踏まえ、本コンソーシアムでは「自治体各種業務の高度化ソリューション実証開発」～ローカル 5G が可能にする 8K 超高精細映像リアルタイム伝送による Innovation～ として、下記 2 点での高度化ソリューションの開発実証を提案する。

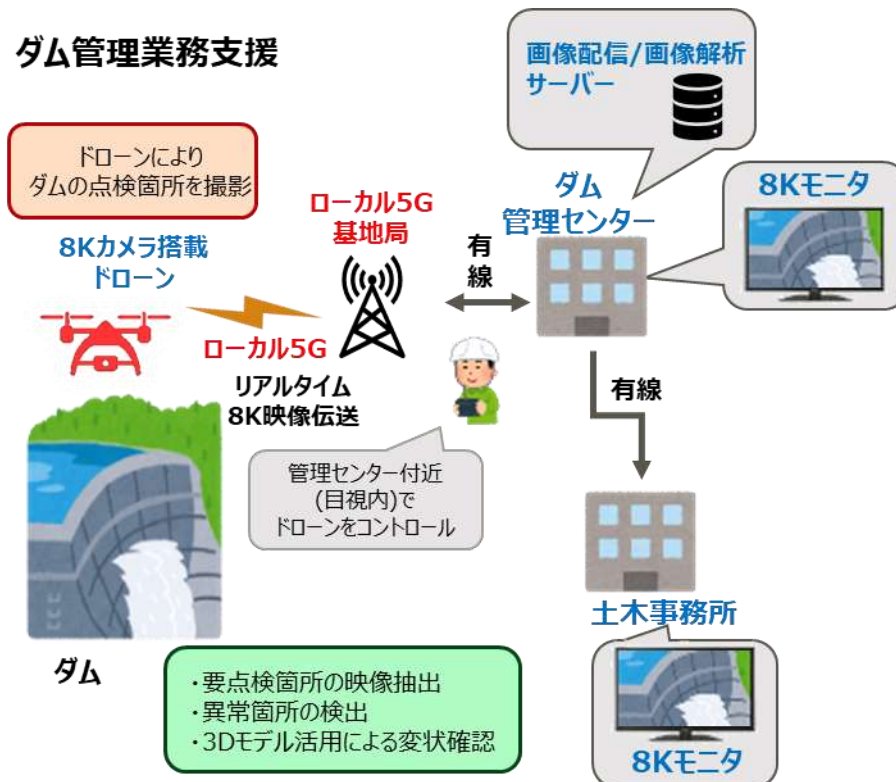


図 1-2 実証ア 概略図

令和 2 年度調査研究では、8K 超精細カメラを搭載したドローンからの橋梁のインフラ点検を行ったが、今年度は、よりローカル 5G ネットワーク環境を構築・実用化できる可能性が高い大型ダムでのインフラ保守点検を実証アとして実施した。

ダム堤体上部にローカル 5G 基地局アンテナを敷設し、8K カメラ搭載ドローンからの 8K 超高精細映像をアップリンク伝送することにより、ダムの壁面、細部箇所の損傷度合い、水面変位などをリアルタイムかつ安全に遠隔から詳細調査確認を可能とすることを目的とした。そのため、映像を受信する端末側では、8K 映像の配信機能を設け、画像処理により撮影映像をクリアにすることで詳細な状況がスムーズに把握できるようにする。さらに並行して映像解析処理を実施し、より迅速かつ簡便に補修箇所、危険箇所などの抽出も実現し利便性を高めた。

また、本ケースではダム堤体による電波の反射等の影響が強くと考えられるため、ダム堤体周囲の三次元的なドローン飛行エリアについての電波伝搬モデルの精緻化を課題とし、インフラ構造物による電波伝搬環境への影響をシミュレーション及び実測により評価を行い、インフ

ラ構造物周辺における三次元的な電波伝搬モデルの精緻化を目的として実証を行った。

その他、今回はローカル 5G エリアから有線ネットワークを介して関連自治体ネットワークへの接続の可能性についても検討する。例えば、ダムにおいては、国土交通省発行のダム総合点検実施要項などにも明記されているように、地振動最大加速度 25 ガル以上または気象庁震度階が 4 以上の地震が生じた際には概ね 2 時間以内の目視による一次報告、概ね 24 時間以内の詳細な二次報告が義務付けられていることから、地震直後から直ちに状況把握が必要であるが、上記のシステムを立ち上げることができれば、例えば近い将来、各庁舎から直ちにリアルタイムでかつ安全に状況を知ることができる。このような観点からも本開発実証を行い、コンソーシアムメンバーの各自体による評価結果および他案件への応用展開などもまとめた。

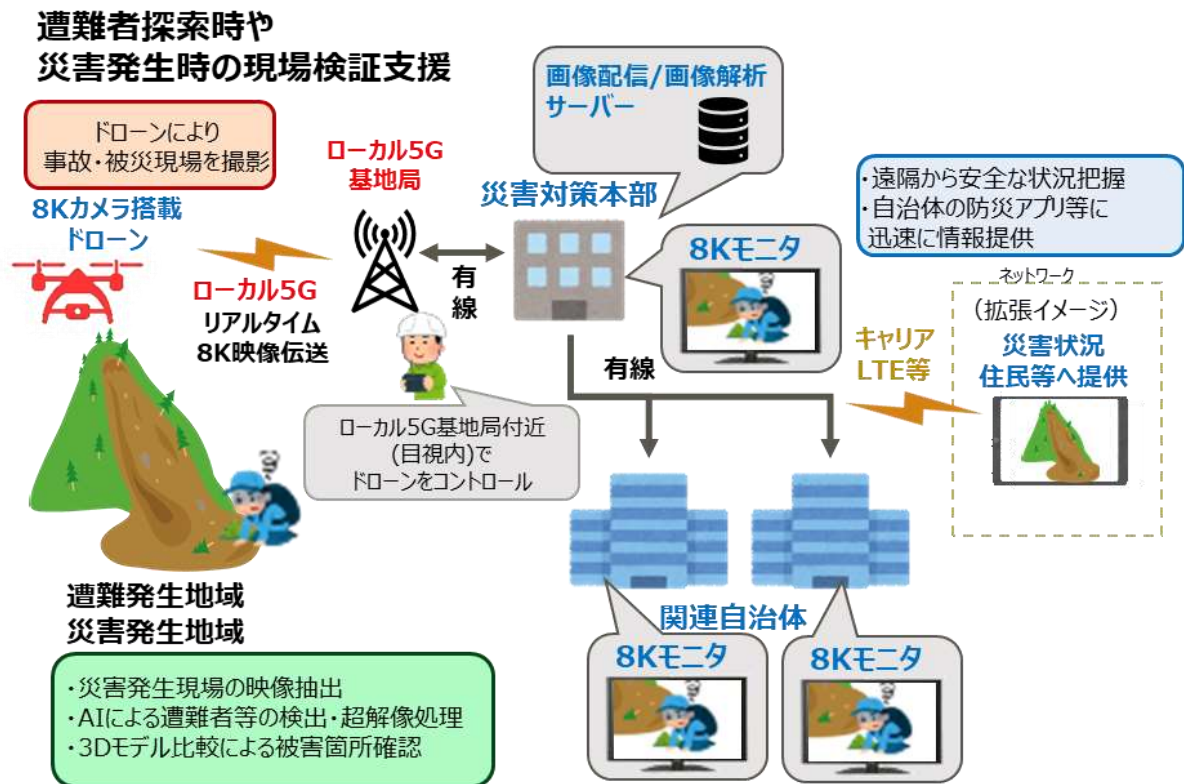


図 1-3 実証イ 概要図

令和 2 年度調査研究においては、山間地特有の土砂崩れなどの災害や、登山客の遭難事故といった事例が多く発生していることから、これらの課題解決に向けた開発実証を実証イとして実施した。

目視外飛行可能な 8K カメラ搭載ドローンにローカル 5G 端末を搭載し、災害発生想定地域近くにローカル 5G 基地局を設け、状況に応じてその状況を各自体へリアルタイムで映像伝送し、被災現場の状況を安全にかつ迅速に調査できる環境を構築した。

さらにソフトウェアを構築し、災害発生時に迅速に状況を共有する実証も行う。GPS と連動し、

ピンポイントの情報提供も実現できる他、インバウンド向けにも多言語で展開など、有事の際のインバウンドへの情報展開も容易になるようにシステムを構築する。

また、山間地におけるエリア設計のための電波伝搬の精緻化についても検証する。特に山頂から麓の指揮所までの高低差がある電波伝搬モデルの精緻化を目的としており、具体的には、今ケースでは山頂から山裾までは起伏が激しく、背の高い樹木も密集して繁茂しており、伝搬路上を樹木や山体が遮ることによる減衰量なども含めて電波伝搬の精緻化を図った。

これらの実証実験の結果および考察と、将来的に住宅地内の市役所などからレベル4の目視外飛行によるドローン運用を実施することを踏まえて本システムについての実用化横展開などをコンソーシアムメンバーの各自治体だけでなく土木事務所など現場関係者などの意見および評価を広く集めて分析した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本開発実証では屋外における電波伝搬測定を実施するため、ローカル 5G に割り当てられている周波数帯のうち、屋外利用可能な 4.8GHz~4.9GHz 帯の帯域幅 100MHz を使用した。

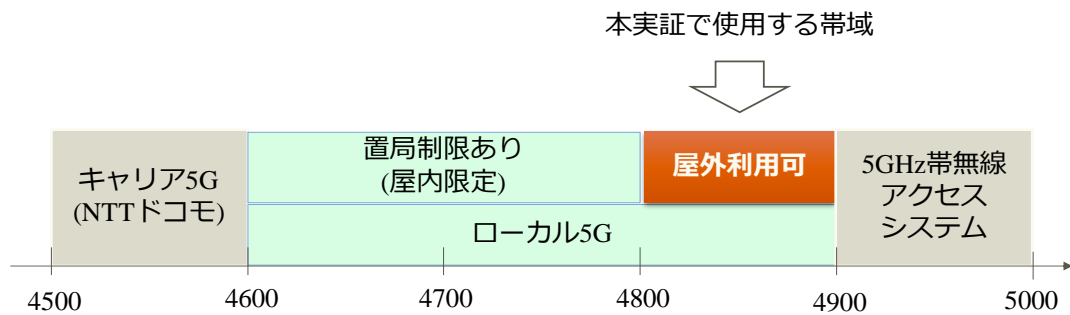


図 2-1 対象周波数帯

2.2 実施環境

奈良県天理市の天理ダム付近の屋外で試験を実施した。天理ダムにおいては、ダム堤体最上部付近にアンテナ、管理センターに基地局を設置した。

地理院地図



図 2-2 天理ダム付近の地図 (地理院地図を基に作成)



図 2-3 天理ダム堤体上部から下流方向の様子



図 2-4 天理ダム堤体上部から上流方向の様子



図 2-5 奈良県天理ダム管理センター外観

2.3 ネットワーク・システム構成

本開発実証では、図 2-6 に示すスケジュールでネットワーク・システムの構築を実施した。

本開発実証のソリューションではドローンにローカル 5G 端末を搭載して上空を飛行させるため、無線局免許（実験試験局免許）申請の過程において総務省本省にも確認を依頼し、調整いただいた。

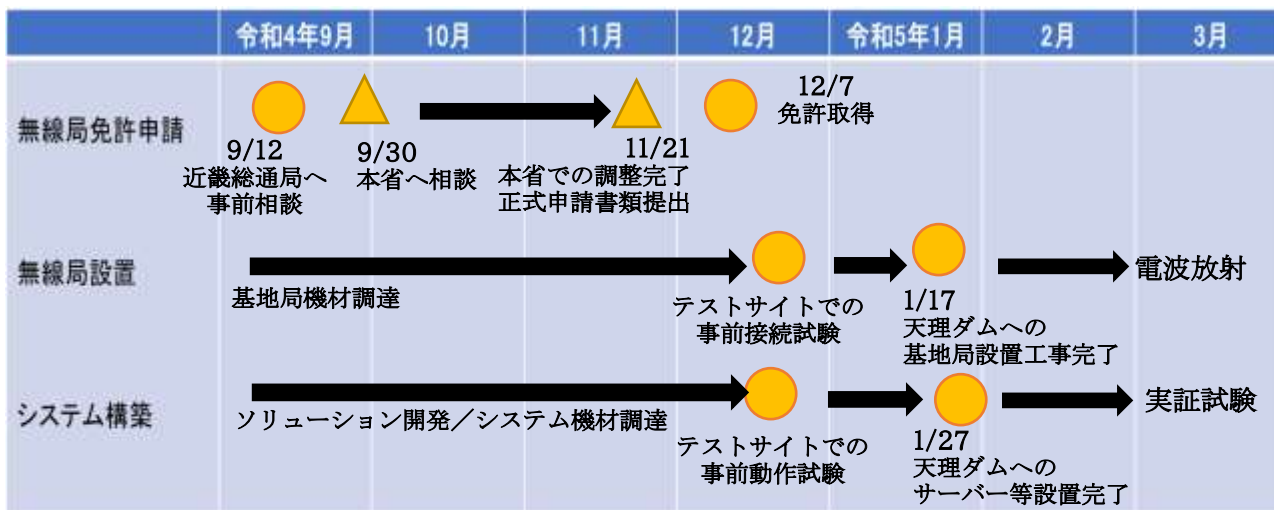


図 2-6 ネットワーク・システム構築スケジュール

設置場所は以下である。基地局設置場所を図 2-7 に示す。基地局のコアおよびベースバンドユニット(BBU)は「基地局設置場所」と記した天理ダム管理センター内に、無線ユニット(RU)はダム堤体最上部のクレストゲート上にそれぞれ設置した。



図 2-7 基地局の設置場所
(地理院地図を基に作成)



図 2-8 天理ダム管理センター内に設置したコア及びベースバンドユニット(BBU)



図 2-9 クレストゲート上に設置した下流向き無線ユニット(RU1)



図 2-10 クレストゲート上に設置した上流向き(ダム湖側)無線ユニット(RU2)

カバーエリア (エリアカバレッジ) は以下のように想定した。カバーエリアを図 2-11 に示す。なお、カバーエリアおよび調整対象区域の算出は、後述する基地局無線部特性と、電波法関係審査基準 (平成 13 年総務省訓令第 67 号) [2-1] が規定するエリア算出法 (以下、「エリア算出法」

という。)に記載の受信電界強度の算出式に基づいており、実際の建築物等の影響は考慮していない。また、カバーエリアとして他者土地を含むエリアを設定しているが、自己土地周辺の他者土地が狭域であること、自己土地周辺の他者土地において他の者がローカル 5G を開設する可能性が低いことから図に示すカバーエリアを設定した。

本開発実証では 100MHz システムを使用するため、カバーエリア計算時の受信電力を -84.6dBm、調整対象区域の受信電力を -91.0dBm とした。

また、受信電力の評価は以下の式を用いた。

$$P_r = P_t + G_t - L_f + G_r - L - 8$$

P_r [dBm] : 受信レベル(受信電力)

P_t [dBm] : 送信電力(基地局の空中線電力)

G_t [dBi] : 送信アンテナ利得

L_f [dB] : 基地局の給電線損失

G_r [dBi] : 受信アンテナ利得

L [dB] : 伝搬損失

伝搬損失は以下の式を使用した。

$$L = L_H = 46.3 + 33.9 \log_{10}(2000) + 10 \log_{10}(f/2000) - 13.82 \log_{10}(\max(30, H_b)) + \{44.9 - 6.55 \log_{10}(\max(30, H_b))\} (\log_{10}(d_{xy}))^\alpha - a(H_m) - b(H_b) + R - K - S$$

f [MHz] ; 使用する周波数

H_b [m] ; 基地局の空中線地上高

d_{xy} [km] ; 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

H_m [m] ; 陸上移動局の空中線地上高

R [dB] ; 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損

α ; 遠距離に対して考慮する係数であり、下記による。

$$\alpha = \begin{cases} 1 & : d_{xy} \leq 20km \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b) \left(\log_{10} \frac{d}{20} \right)^{0.8} & : 20km < d_{xy} < 100km \end{cases}$$

$a(H_m)$; 陸上移動局高に対して考慮する補正項であり、下記による。

$$a(H_m) = \begin{cases} 0.057 : \text{中小都市の場合} \\ -0.00092 : \text{大都市の場合} \end{cases}$$

大都市 ; 市街地のうち特に大規模な都市の領域であって、概ね 5 階建て以上の建物が密集した地域

中小都市 ; 市街地のうち、大都市に相当する地域以外のもの

$b(H_b)$; 基地局高に対して考慮する補正項であり、下記による。

$$b(H_b) = \begin{cases} 0 & : H_b \geq 30m \\ 20 \log_{10}(H_b/30) & : H_b < 30m \end{cases}$$

K ; 地形情報データにより算入しにくい地形の影響等の補正值であり、通常は 0 とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に算入する。

S [dB] ; 市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值であり、下記による。

- (1)市街地(都市の中心部であって、2階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など) ; $S=0.0$
- (2)郊外地(樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域) ; $S=12.3$
- (3)開放地(電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など) ; $S=32.5$

上記の式を用い、カバーエリアの距離、調整対象区域の距離としてそれぞれ 691m、1050m と算出した。

[2-1] 電波法関係審査基準 (平成 13 年総務省訓令第 67 号) : <https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/06/電波法関係審査基準ローカル 5G 部分<抜粋>.pdf>

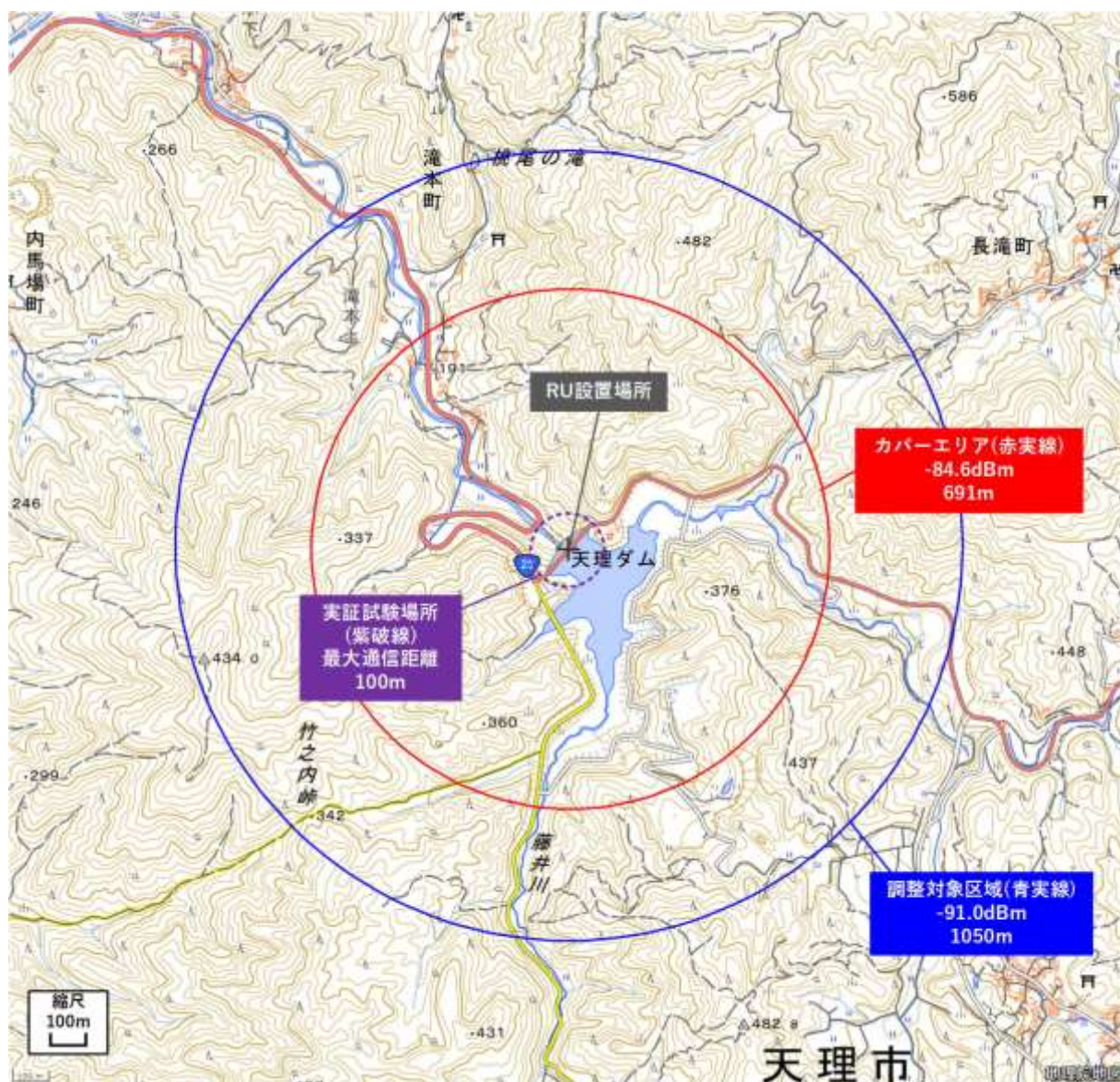


図 2-11 カバーエリア(算出法エリア図) (地理院地図を基に作成)

図 2-11 に示したカバーエリアはエリア算出法に基づいているが、実際のカバーエリアは地形の影響を大きく受けることが予想された。ドローンによるダム那点検を想定する場合、堤体と両岸の影響を受け堤体付近の三次元のカバーエリアが確保できないことも想定されたため、ドローンを用い、図 2-12 に示すように堤体付近に設定した三次元のメッシュに基づいて、ドローンを利用してカバーエリアの測定を行った。

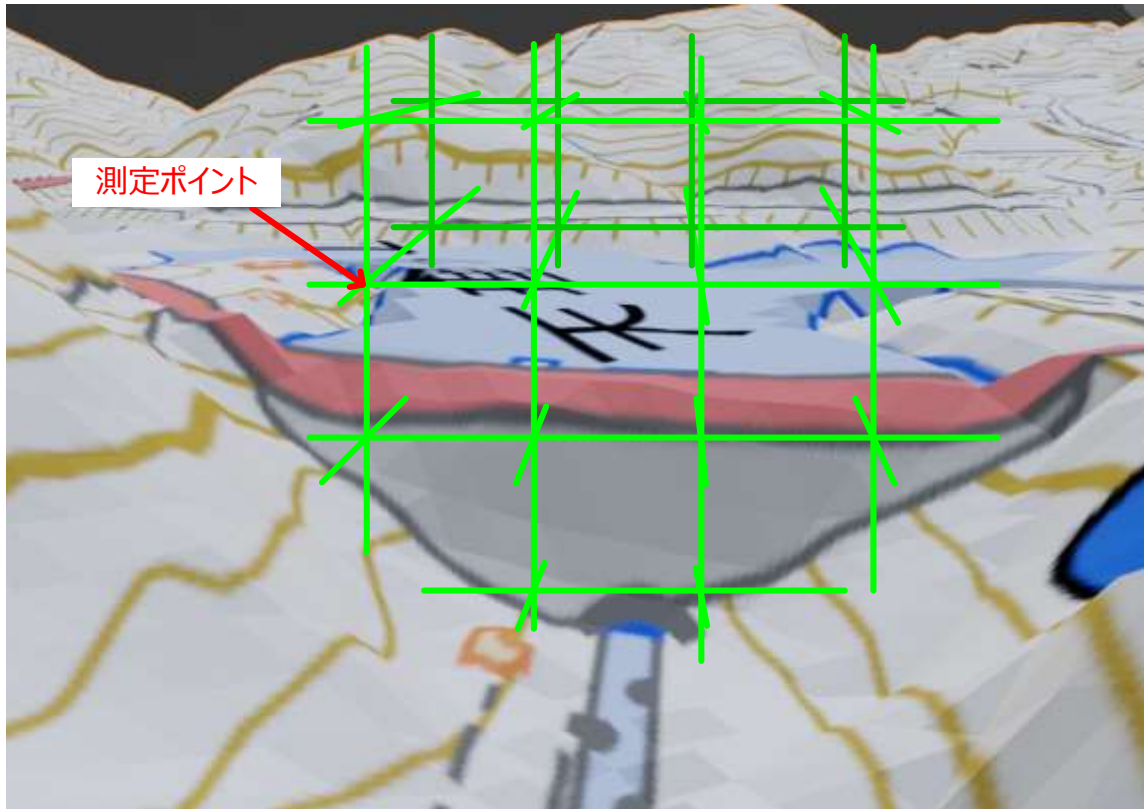


図 2-12 堤体付近の三次元カバーエリア測定イメージ (地理院地図を基に作成)

次に、ネットワーク・システム構成を示す。本無線伝送系の概要を図 2-13 に示す。

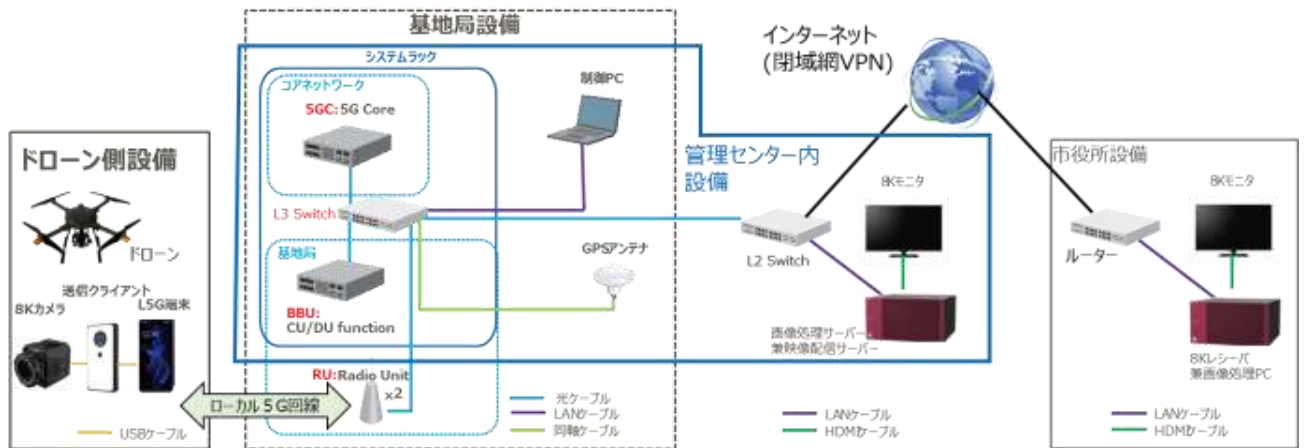


図 2-13 基本無線伝送系概要

この無線伝送系は基地局設備とドローン側設備、管理センター設備から構成される。基地局設備はコアネットワーク(5GC)、ベースバンドユニット(BBU)(CU/DU 一体型)、リモート無線ユニット(RRU/RU)、GPS アンテナ、制御用 PC と、これらを接続する L3 スイッチから構成される。コアネットワーク、ベースバンドユニット、L3 スイッチは1つのシステムラック内に収めて使用し、設置場所の変更が可能である。制御用 PC はベースバンドユニットとコアネットワークの設定を行うために使用する。RU と管理センター設備は光ファイバで結ばれる。

ドローン側設備はローカル 5G 端末 (以下、「ローカル 5G 端末」又は単に「端末」という)、送信クライアント、8K カメラから構成される。8K カメラは 8K 映像を SSP (Simple Stream Protocol) と呼ばれるプロトコルで出力し、送信クライアントにて 8K 映像データを送信する。送信クライアントからはローカル 5G 端末を経由し、安定した 8K 映像データ伝送のため SRT(Secure Reliable Transport)プロトコルに変換してコアネットワークを経由して管理センター設備の画像処理サーバー兼映像配信サーバーに送信する。ローカル 5G 端末、送信クライアント、8K カメラは全てバッテリーのみで動作するように構成し、これら全てをドローンに搭載する。

また管理センター内では、設備 L2 スイッチ、画像処理サーバー兼映像配信サーバー、8K モニターから構成される。画像処理サーバー兼映像配信サーバーは光ファイバを経由して受信する 8K 映像ストリームを復号し、8K 映像の画像処理を行い、画像処理した 8K 映像を、8K モニターに対して出力する。また、画像処理した 8K 映像を再度プロトコル変換し、インターネット(閉域網 VPN)を経由して各拠点の VPN ルータに送信する。

次に図 2-13 無線伝送系を利用し、エンドユーザーに相当する市役所設備を含む映像伝送系の概要を図 2-14 に示す。

ドローン側設備の送信クライアントは 8K カメラから受け取った 8K 映像データ(SSP)を、ローカル 5G 端末、ローカル 5G 基地局を経由して SRT を用いて管理センターに設置された画像処理サーバー兼映像配信サーバーに送信する。画像処理サーバー兼映像配信サーバーは、伝送された 8K 映像から、画像処理を行い、点検業務に使用する 8K 解析映像を生成する。また、生成した 8K 解析映像を 8K モニターに出力することで、ドローン側設備の 8K カメラで撮影された映像を利用した 8K 解析映像が 8K モニターに表示される。

管理センター設備にある画像処理サーバー兼映像配信サーバーは閉域網内のオンプレミスサーバーとして機能しており、8K 解析映像を蓄積し、市役所等の各拠点へ映像伝送を行う。各拠点設備として配置する 8K レシーバ兼画像処理 PC は閉域網 VPN 経由で管理センター内の画像処理サーバー兼映像配信サーバーにアクセスすることで 8K 解析映像を読み出し、8K モニターの画面に 8K 解析映像を表示する。

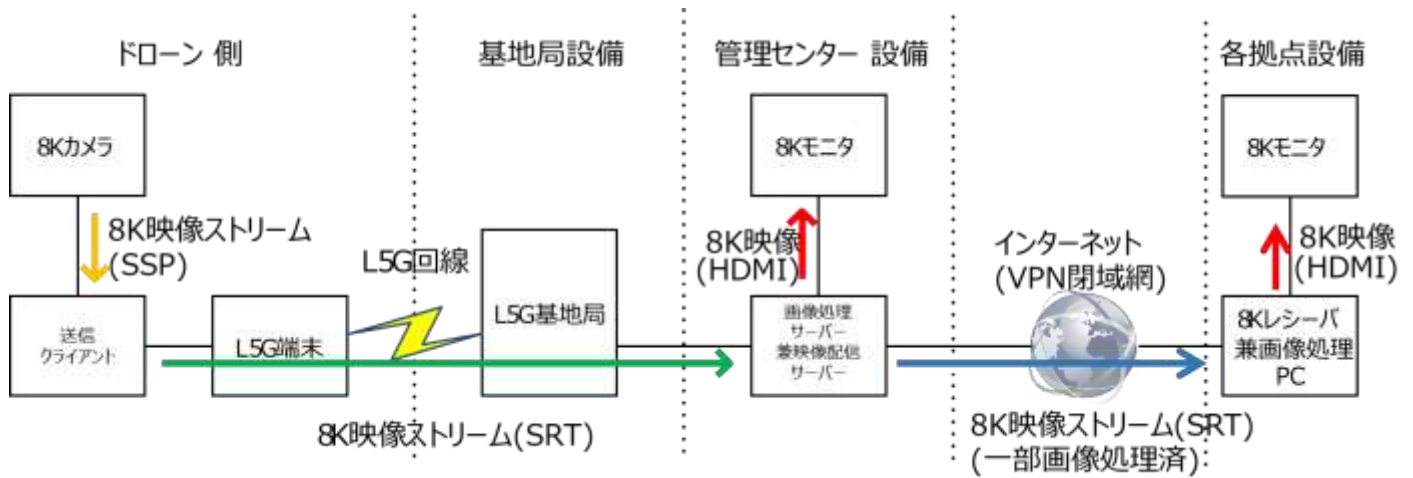


図 2-14 基本映像伝送系概要

基地局設備に含まれるベースバンドユニット、リモート無線ユニットで構成される基地局無線部の特性は以下の通りである。

表 2-1 ベースバンドユニットの特性概要(シャープ)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
チャンネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4×4 / 上り 2×2
TDD 設定	同期対応 (DDDSUUDDDD) 準同期対応 (DDDSUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
遅延	10m 秒以下
RAN 方式	1BBU に 3RRU 接続(3 セル化)可能
接続ユーザー数	384 / 1BBU (128 / RRU)
ハンドオーバー	RRU 間サポート (Intra-frequency HO) *Inter-frequency HO については非サポート
優先制御	5GQI 2, 9 に対応
インターフェース	バックホール: NG フロントホール: O-RAN 標準規格(option 7.2)
外形寸法	約 446(W)×711(D)×87(H) mm
重量	約 30kg

表 2-2 リモート無線ユニットの特性概要(シャープ)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
対応バンド	N79 (4.8-4.9GHz)
使用周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4×4 / 上り 2×2 (8T8R)
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
最大空中線電力	24dBm/port
最大 EIRP	44dBm
TDD 設定	同期対応 (DDDSUUDDDD) 準同期対応 (DDDSUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
接続ユーザー数	128
フロントホール	O-RAN 標準規格(option 7.2)
時刻同期方法	PTP (IEEE1588v2)
外形寸法	約 389.6(W)×389.6(D)×134.9(H) mm
重量	約 12kg

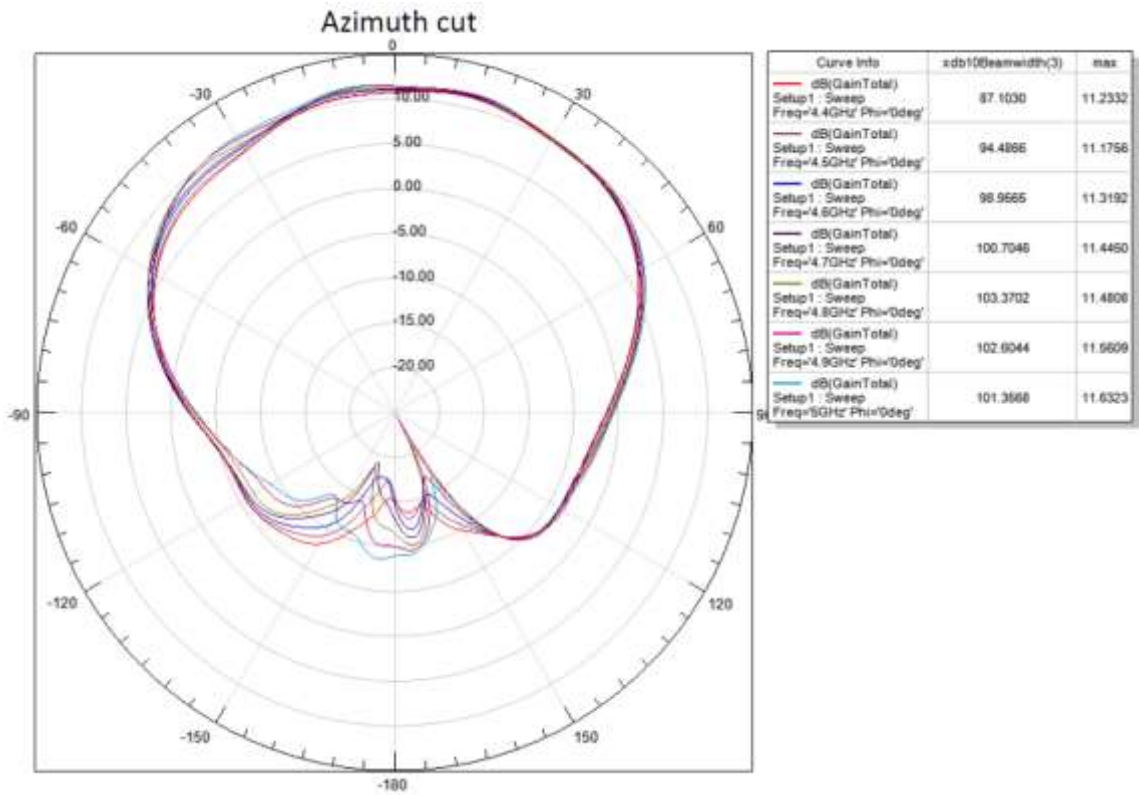


図 2-15 リモート無線ユニットアンテナパターン(水平面)

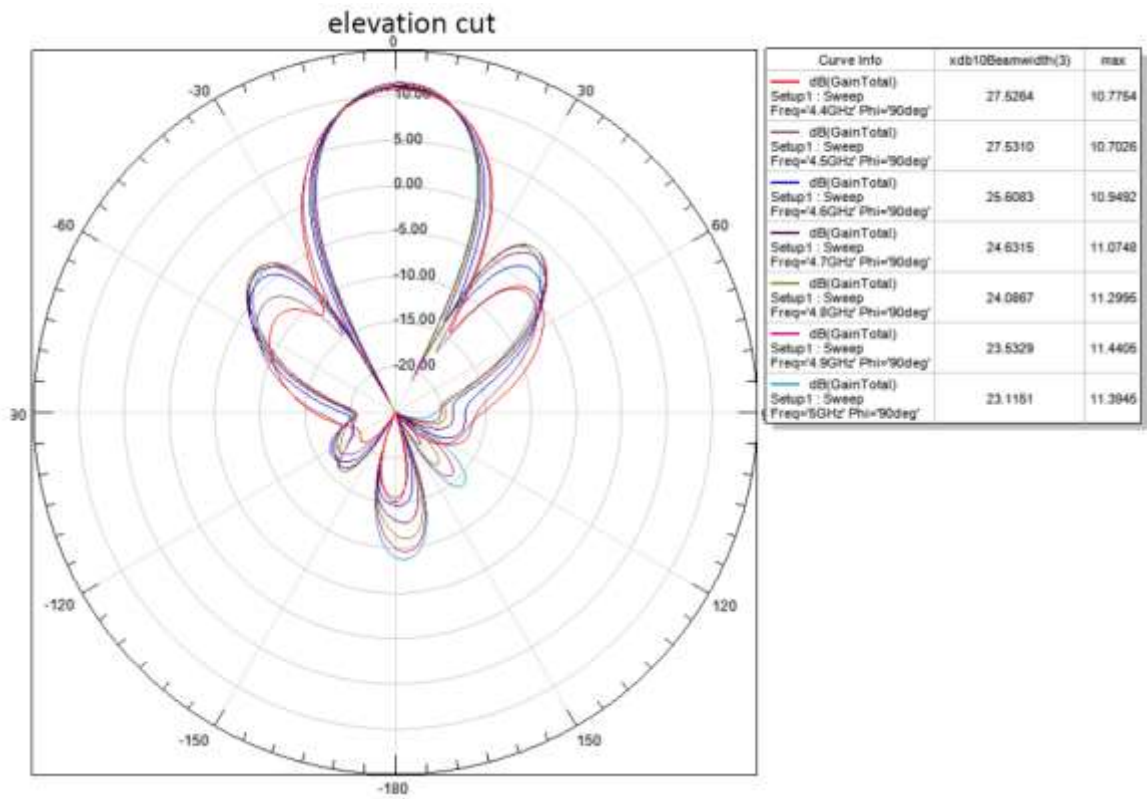


図 2-16 リモート無線ユニットアンテナパターン(垂直面)

コアネットワーク性能は以下ようになる。

表 2-3 コアネットワークの性能概要(シャープ)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
NF (Network Function)	AMF/SMF/AUSF/UDM/UPF
インターフェース	N1, N2, N3, N4, N6
接続ユーザー数	最大 10,000
接続 BBU 数	最大 64
スループット	最大 6Gbps
ハンドオーバー	BBU 間サポート
優先制御	5GQI 2, 9 に対応
外形寸法	約 254(W)×226(D)×43(H) mm
重量	約 3.4kg

使用するローカル 5G 端末の概要は以下のとおりである。

表 2-4 ローカル 5G 端末の概要(シャープ)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
対応周波数帯	n79 (4.6 - 4.9GHz) : SA
チャンネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	n79:下り 4×4 / 上り 1×1
変調方式	n79 : 下り 256QAM / 上り 256QAM
通信速度	下り最大約 2Gbps / 上り最大約 218Mbps
最大空中線電力	23dBm
TDD 設定(n79)	同期対応 / 準同期対応 (TDD1, TDD2, TDD3)
入出力端子	USB 3.0(Type-C) ×1
外形寸法	約 148 × 71 × 8.9mm
重量	約 178g

使用する 8K カメラの概要は以下のとおりである。

表 2-5 8K カメラの概要(Z-CAM)

項目	諸元
解像度等	7680×4320@30fps 対応
映像符号化方式	H.265, H.264
符号化情報速度	最大 200Mbps
外形寸法	122×99×91mm (バッテリー、レンズ含まず)
重量	約 1090g (バッテリー、レンズ含まず)
入出力端子	USB3.0, HDMI

使用する送信クライアントの概要は以下のとおりである。

表 2-6 送信クライアントの概要(ダイナブック)

項目	諸元
CPU	Intel Core m7-6Y75
メモリ	8GB
ストレージ	SSD 256GB
入出力	USB3.0 (Type-A, Type-C)
重量	約 310g (バッテリー込み)
外形寸法	約 165.0(縦)×85.0(横)×20.0(厚さ)mm
OS	Ubuntu 20.04

使用する 8K デコーダの概要は以下のとおりである。

表 2-7 8K デコーダの概要(アストロデザイン)

項目	諸元
CPU	AMD Ryzen9 5950
メモリ	32GB
ストレージ	SSD 2TB
入出力	Gigabit ethernet / HDMI2.1
重量	約 13kg
外形寸法	約 430×425×170 mm
OS	Windows 10 pro

使用する 8K モニターの概要は以下のとおりである。

表 2-8 8K モニターの概要(シャープ)

項目	諸元
画面サイズ	70V 型ワイド(対角 176.6cm)
最大解像度/フレームレート	7680×4320 60p / 3840×2160 120p 対応
入力端子	HDMI2.1×2 系統, HDMI2.0×2 系統
重量	約 46.5kg (スタンド込み)
外形寸法	約 1564×361×990 mm(スタンド込み)

使用するドローンの概要は以下のとおりである。

表 2-9 ドローンの概要(石川エナジーリサーチ)

項目	諸元
本体重量	6.3kg
積載重量	5.0kg
飛行時間	約 25～30 分(積載重量 5kg 時)
飛行時サイズ	930 x 1,280 x 200 mm
フライトコントローラー	Pixhawk
ジンバル	GremsyT7

2.4 システム機能・性能・要件

実証試験では、実証実施場所として設定したエリアにおいて、ドローン搭載した 8K カメラで撮影した映像を乱れなく伝送できることを確認した。具体的には、アップリンクにおいて最大 120Mbps、平均 80Mbps 程度の伝送スループットを確保できるか確認したが、実際はアップリンクの上限が 50Mbps 程度の伝送スループットにとどまった。しかし、伝送スループットとして 20～40Mbps の映像は良好に伝送することができ、本ソリューションにある実証ア点検業務、実証イの災害現場検証ソリューションとしても十分使用可能な高画質伝送を確認できた。また、この時にローカル 5G 端末と管理センター設備に設置した 8K デコード&画像処理 PC の間のラウンドトリップ時間が 200ms 以下となることを確認した。

上記性能を確保するため、特にアップリンクにおける伝送速度を確保するために、基地局装置は制度化済準同期パターン (DDDSUUDSUU)に対応し、上りの変調方式として 256QAM 対応する機種を選定した。また、端末装置については上りの変調方式として 256QAM 対応し、送受信ともに最大 200Mbps 以上となっている機種を選定した。

2.5 その他

本開発実証では、2.2 節で示した場所にローカル 5G 基地局を設置する予定であり、カバーエリア及び調整対象区域内におけるキャリア 5G、他免許人によるローカル 5G 及び 5GHz 帯無線アクセスシステムの開局状況は表 2-10 のとおりとなっている。

表 2-10 ローカル 5G 基地局設置場所の 5G 等開局状況

設置場所	キャリア 5G (4.5- 4.6GHz)	他免許人の ローカル 5G (4.6- 4.9GHz)	5GHz 帯無線アクセス システム (4.9-5.0GHz)
天理ダム	なし	なし	奈良県 奈良県広域消防組合

携帯通信事業者によるキャリア 5G、他免許人によるローカル 5G は存在していない。特に、キャリア 5G の無線局については、近傍にてサービス展開されている株式会社 NTT ドコモ様より問題ない旨、回答を頂いている。公共業務用無線局への干渉回避のためにマクロセル基地局の設置が制限されている市町村に該当していない。5GHz 帯無線アクセスシステムの無線局について、総務省近畿総合通信局に確認したところ、自治体としての奈良県並びに奈良県広域消防組合が免許人となっている無線局が開局されているとのことで、引き続き調査したところ、奈良県広域消防組合の無線局については十分距離が離れており、問題ないことを確認した。また奈良県の無線局についても、近傍で FWA 方式での 5GHz 無線システムを運用されているとのことだが、奈良県も本コンソーシアムメンバーであり、必要に応じて干渉調整することで合意頂いている。また、各設置場所周辺においてドローンを飛行させて実証を行うが、人口集中地区 (DID 地区) には該当していないため、ドローン飛行の許可・承認申請は不要である。

2.5.1 実証システムの拡張性等

構築したシステムで導入したローカル 5G システムでは、基地局装置（コアネットワークおよびアンテナユニットを含む）、端末装置ともに、ITU-R における第 5 世代移動無線通信システム（5G）標準規格として採用された 3GPP(3rd Generation Partnership Project)の標準仕様に準拠した通信機能を有している。5G システムは、キャリア 5G/ローカル 5G を問わず、現在普及段階に入っており、さらなる機能拡張が予想される。今回導入したローカル 5G システムにおいても、3GPP 規格に準拠した装置を導入したことで、ソフトウェアや一部ハードウェアの更新によって、当該機能拡張において必要となる機能を取り込んでいくことが可能である。

また、今回導入した基地局装置では、一つのベースバンドユニット（BBU）に対して、最大 3 つの RRU の接続が可能であり、それぞれが異なる通信セルを構築することが可能である。つまり比較的高価な BBU を増加させることなくセル数を増加させることが可能である。また、今回の実証試験では、2 つの RRU を比較的近接した状態で使用したが、光ファイバによる接続性が担保されれば、RRU の位置も比較的自由に設定可能である。そのため、ソリューションを提供する環境や規模に応じて、使用する RRU の数や位置を適切に設定することで、柔軟に通信エリアを構築することが可能である。

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

基地局装置、コア装置については、「ローカル 5G 導入に関するガイドライン」に留意し、サプライチェーンリスク対策を含むサーバーセキュリティ対策を実施した。「セキュリティ・バイ・デザイン」の考えで開発を行い、脆弱性を含まない安全設計、サイバーセキュリティに関するソフトウェアレビュー、セキュリティに関する脆弱性の評価により安全の確保を行った。

また、技術実証試験ではインターネット接続を使用しないオンプレミスでのシステム構成であり、クラウドサービスは利用しない。課題実証試験では、外部ネットワークへの接続を行うが、データの取扱いについては ISO27001 に従った、情報保護の対策を行っている。

サプライチェーンリスク対策として、主要機材は全て使用実績がある、もしくは既製品であり、さらに国内メーカーの製品を使用した。

(2) その他の実証システム

前項に含まれない主要機材についても、サプライチェーンリスク対策として、使用実績がある、あるいは既製品であり、また可能な範囲で国内メーカー品を選定した。

- ・ 8K カメラ : (Z-CAM E2-F8) 台湾製 (技術サポートは国内代理店) 既製品
NTT ドコモ社との 5G 映像伝送実験などでも実績多数
- ・ 送信クライアント PC : (Dynabook DE200) 国内メーカー製 既製品
NTT ドコモ社との 5G 映像伝送実験などでも実績多数
- ・ 8K デコーダ PC (配信サーバー・画像解析サーバー共用) : アストロデザイン AW-8803
国内メーカー製 既製品
- ・ 8K テレビ : シャープ 8T-C70DW1 国内メーカー製 既製品
- ・ ドローン : 石川エナジーリサーチ BuildFlyer 国内メーカー製 既製品

なお各拠点間ネットワークは今回コンソーシアムメンバーの NTT 西日本がサービス展開している「VPN プライオ」を採用した。VPN プライオは、NGN(次世代情報通信 NW)の IPv6 通信を利用した高速かつ高セキュアな VPN 通信が可能な閉域網サービスであり、複数の VPN ユーザーで共同利用する VPN 接続装置を経由しないため、安定した高速かつ大容量伝送も可能である。

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

本開発実証では、令和 2 年度調査研究で超高精細映像伝送のためにローカル 5G 活用ニーズがあることを明らかにしたドローン搭載の 8K 等の超高精細カメラからのリアルタイム映像伝送を活用し、地方自治体が抱える各種課題解決を目的として、ダム等大型建造物の保守点検や、土砂崩れ発生状況等の遠隔監視・調査による防災・減災の 2 つのユースケースを取り上げ、インフラ構造物周辺及び山間部でのローカル 5G システムのエリア構築技術の確立を目指した。

これら 2 つのユースケースは、上空又は空中から撮影した超高精細映像を用いて、インフラ保守点検や、災害発生現場確認及び遭難者捜索を効率的に実施しようというものである。

具体的なテーマ別実証としては、技術実証テーマ I「電波伝搬モデルの精緻化」の検討をそれぞれ実施した。

本提案における防災・減災をターゲットとしたインフラ点検や災害発生現場確認のソリューションをはじめとして、農業、林業・水産業、河川、建設、観光など、様々な分野のソリューションにおいて、ドローンからの超高精細映像伝送のニーズが高まっており、これらのドローンを活用するソリューションでは、以下のような、現在の電波伝搬モデルを単純に適用できないような影響を及ぼす特徴が存在する。

- 端末が空間上を三次元的に移動する
- 樹木や山体による減衰および遮蔽、水面やインフラ構造物による反射などの強い影響が表れる可能性がある

本実証では、上記特徴が顕著に表れると考えられる、巨大なインフラ構造物の周囲およびダム湖水面上を実証環境として選定し、ドローンが飛行する空間の電波伝搬特性を測定して評価・検討することで、上記のようなソリューションでのローカル 5G 活用に向けたローカル 5G 技術基準等の改訂に資する指標や提案をまとめることを目標とした。

ドローンが飛行する空間のローカル 5G の電波伝搬特性を評価・検討することで、ローカル 5G + ドローンの活用に向けたローカル 5G 技術基準等の改訂に資する指標や提案をまとめることができると考えており、さらにニーズの高いドローンからの超高精細映像伝送を活用した、様々なソリューションへの横展開に繋がられると考えている。

3.2 実証環境

技術実証の観点から見た実証環境の主な特徴は下記のとおりである。

- 屋外
- 斜面
- 水面
- インフラ構造物を中心とした三次元空間

本実証では、インフラ保守点検を目的としたソリューションを目指しており、インフラ構造物の周囲でドローンを飛行させ、インフラ構造物の状態を超高精細で撮影した映像を伝送する必要がある。本開発実証ではインフラとしてダムを実証対象に選定し、ダム堤体（ダムの構造体本体）の天端（堤体最上部）付近に基地局を設置する（図 3-1）。ドローンから撮影した超高精細映像データを、ドローンに搭載した端末がアップリンク伝送で基地局に送信し、基地局から管理センターまでは有線ネットワークで伝送する。

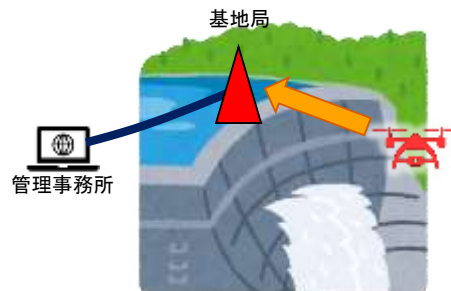


図 3-1 実証場所イメージ

図 3-4 に本開発実証での実証実施場所として選定した天理ダム（奈良県天理市）の周囲環境を示す。ダム堤体の天端から下流側（図 3-4 のダム堤体左上側）の最下部まで、約 50m の高低差がある。

ドローンは、このダム堤体の周囲を、コアンダ効果によってダム堤体に引き寄せられて衝突することを防ぐために一定の距離を保ちながら飛行させた。その際、ダム堤体による電波の反射や遮蔽の影響が強く表れると考えられた。ダム堤体周辺においてドローンを飛行させる三次元的なエリアについて電波伝搬特性の評価を実施した。



図 3-2 基地局アンテナ設置場所から見た下流側



図 3-3 基地局アンテナ設置場所から見た上流側

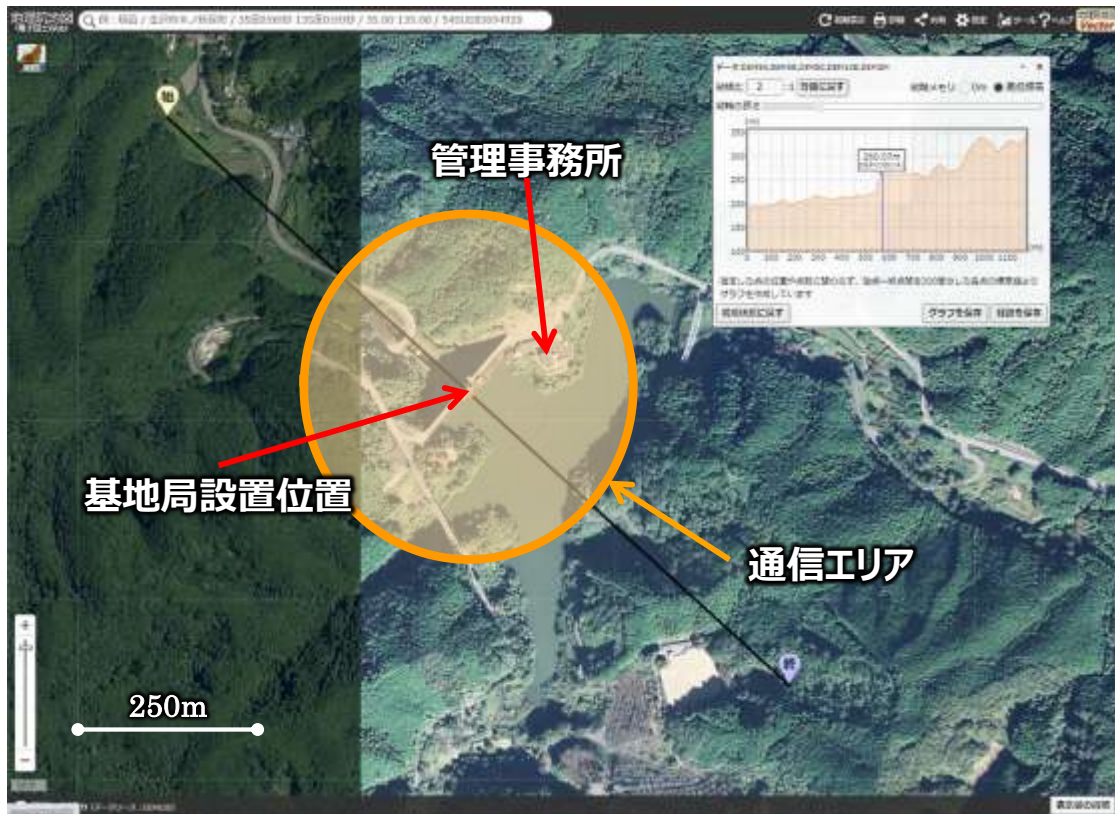


図 3-4 実証場所(天理ダム)周辺環境及び断面図 (地理院地図を基に作成)

図 3-5 に本実証におけるシステム構成図を示す。

このシステムでは、まず、ドローンに搭載した 8K カメラで撮影した超高精細映像をドローンに搭載した端末からアップリンクで基地局へ送信し、受信した超高精細映像データを管理センターに設置した画像処理サーバー兼映像配信サーバーを介して 8K モニターに表示する。

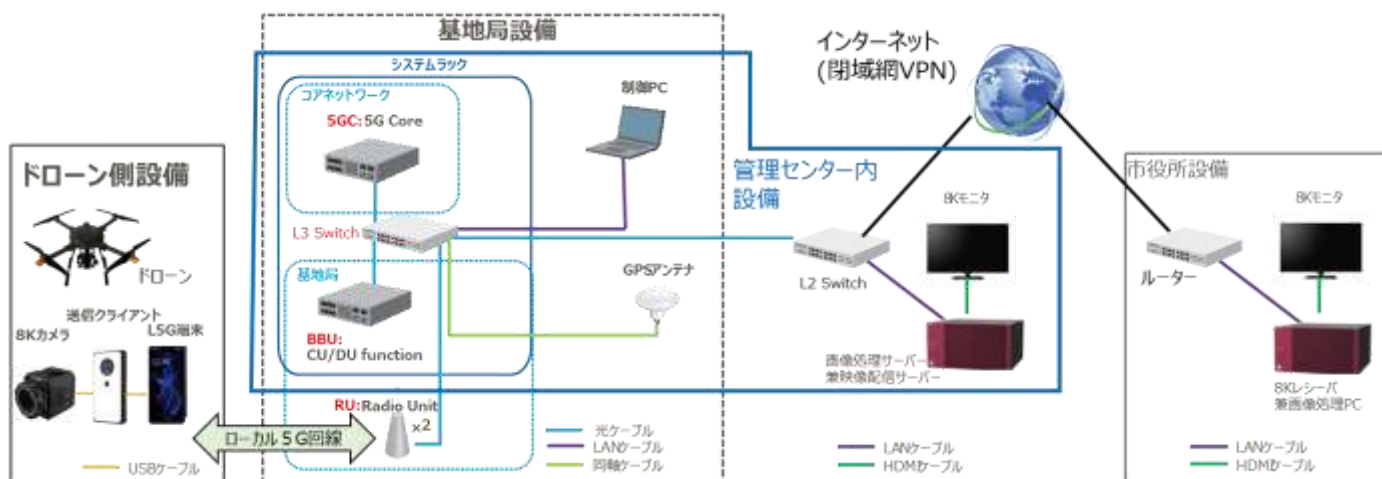


図 3-5 実証システム構成図

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

本実証では、インフラ構造物周辺及び山間部において、ドローンに搭載した 8K 等の超高精細カメラで上空又は空中から撮影した映像をローカル 5G の高速大容量通信を用いてリアルタイムに伝送するローカル 5G システムを構築し、インフラ保守点検や、災害発現場確認及び遭難者捜索の迅速化と省力化を実現するソリューションを確立して早期実装することを目的とした。

上記ソリューションにおいてローカル 5G に求められる性能は、アップリンクにおいて 8K 超高精細映像をリアルタイムで伝送可能なスループットを確保することであり、アップリンク伝送スループットの所要値は 100Mbps 以上を目標とした。

実証環境は、一方向がダム の 構造物 (堤体)、その両側面は樹木の茂る斜面となっており、残る一方向については、下流側は開けた地形、上流側はダム湖が広がっている (図 3-6)。基地局アンテナはダム堤体の最上部に設置した。

ローカル 5G 端末を搭載したドローンをダムのようなインフラ構造物の周辺を飛行させて点検を行う本提案ソリューションでは、ドローンの飛行空間でのインフラ構造物および水面等による反射波が電波伝搬特性に強い影響を与えることが考えられる。



図 3-6 ダム周辺環境

ダム堤体周囲のドローン飛行空間では、直達波、ダム堤体または湖水面での反射波、そして斜面での反射波が観測されると考えられるが、直達波とダム堤体／湖水面での反射波の2波の影響が支配的な環境となると予想され、エリア算出法に定められた計算式から大きく乖離する可能性があった。そのため、ダム堤体周囲の三次元的なドローン飛行エリアについての電波伝搬モデルの精緻化が課題であり、インフラ構造物および水面による電波伝搬環境への影響をシミュレーション及び実測により評価を行い、インフラ構造物周辺における三次元的な電波伝搬モデルの精緻化を目的として実証を行った。

また、上流側のダム湖岸の監視や災害発生現場を想定して対岸等を選定する場合、丘陵や樹木によって見通し外となる場所があり、このような場所では上記と異なる環境となるため、分けて精緻化を行った。

なお、本実証環境と同様な電波伝搬環境は、全国の多くのダムをはじめ、山間部の溪谷や湖、入江の港湾等、各地の様々な環境で観測されると考えられ、本ソリューションの横展開に向けて重要な検討と考えている。

さらに、3.2 節で述べたとおり、実証場所の天理ダムは、下流側の最下部からダム堤体の天端（基地局設置予定位置）までの高さが約 50m あり、そこから北西方向の布留川及び国道 25 号線の通る谷に沿って、標高が約 100m 下がっていている（図 3-7、図 3-8）。図 3-8 下端にある浄水場付近から天理ダム方向を望んだ場合、地形図的にはダム堤体が見通せる環境になっている（図 3-9）が、樹木の状態によっては見通せない可能性がある。また、その西側に広がる市街地は、さらに 100m ほど標高が低くなっている。

ほとんどの方角については谷の両脇の山体によって電波が遮蔽されると考えられるが、谷に沿った方向については、基地局アンテナからの標高差によって、カバーエリア及び調整対象区域が制度化済みの電波伝搬モデルで算出されるものよりも遠方まで広がる可能性もある。

このような大きな標高差が存在する場所においてローカル 5G エリアを設計する場合、想定外にエリアが広がってしまわないよう、標高差を考慮したエリア設計が課題であった。

このため、ダムから布留川の下流方向に受信電力の実測を行い、標高差を考慮した電波伝搬モデルの精緻化についても実証を行った。

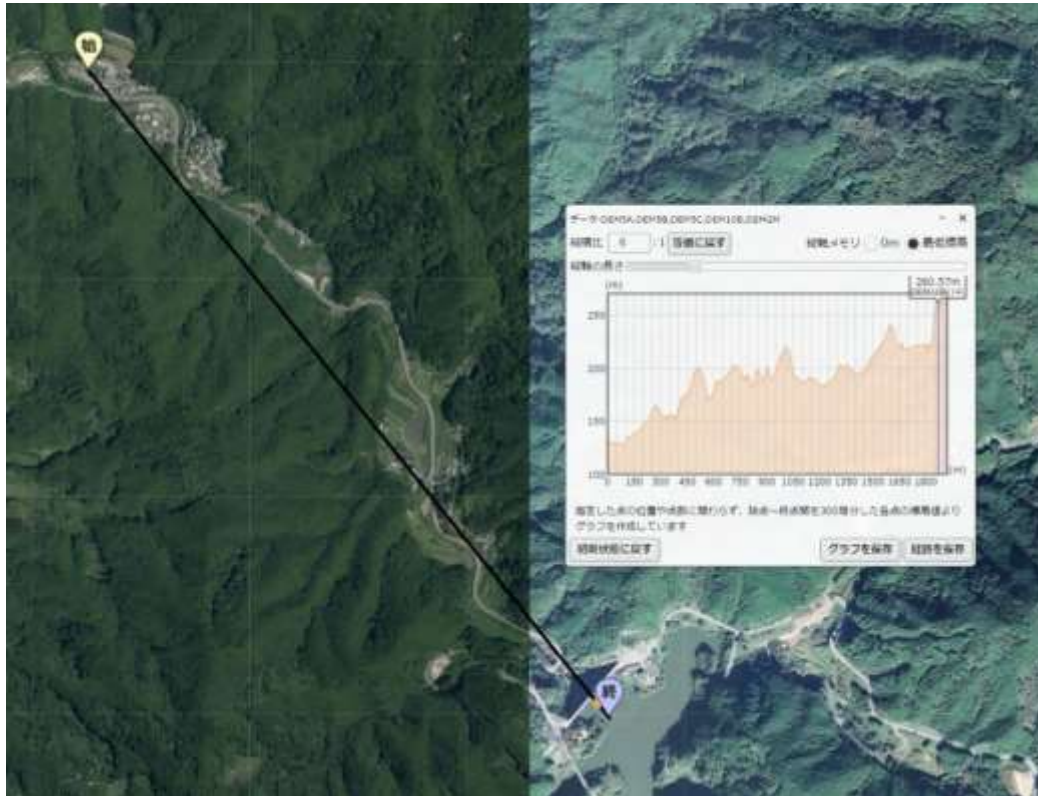


図 3-7 実証場所(天理ダム)から下流域方向の断面図(地理院地図)

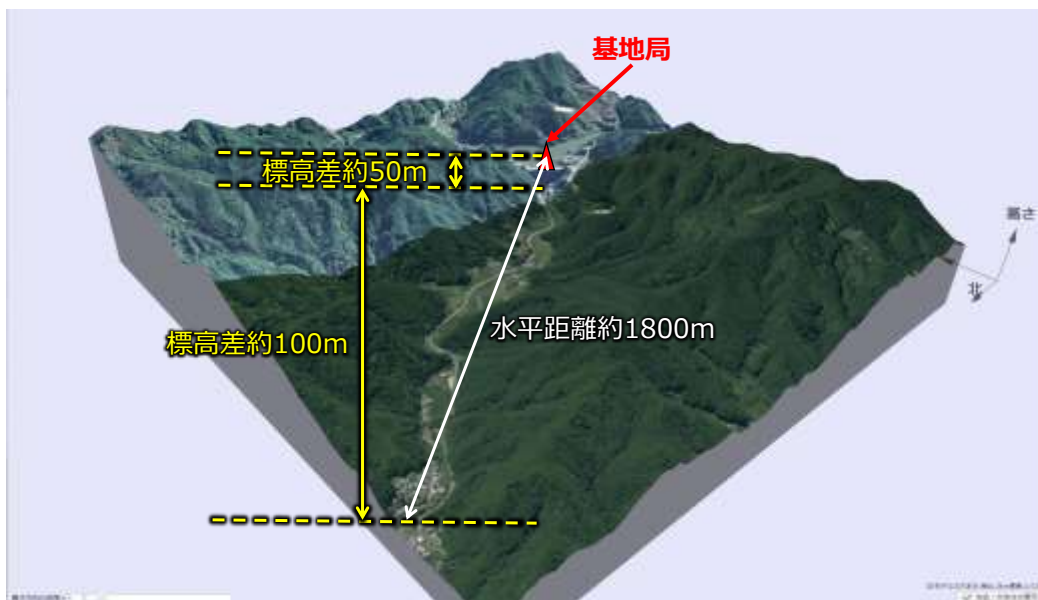


図 3-8 実証場所(天理ダム)下流域方向の標高差(地理院地図を基に作成)

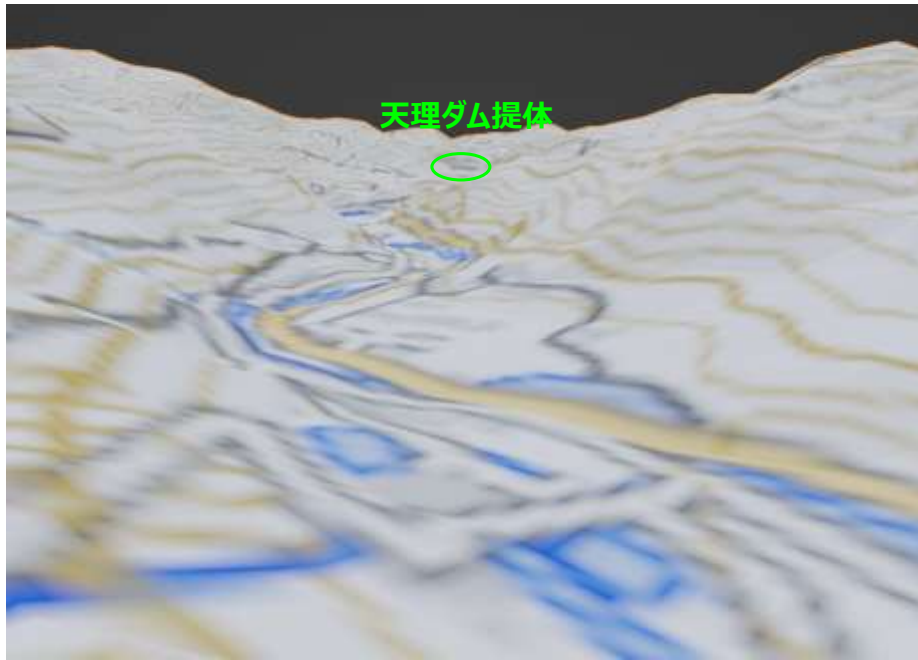


図 3-9 下流側(図 3-8 下端の浄水場付近)から天理ダム方向を望む図(地理院地図を基に作成)

2) 実証目標

電波伝搬モデルの精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータは下記のとおりである。

• K

実証環境は、巨大なインフラ構造物であるダム堤体の周囲であり、基地局とドローンに搭載した端末との三次元的な位置関係によって、ダム堤体またはダム湖水面による強い反射波の影響を受け、地形情報データによる算入がし難い強い影響が発生すると考えられることから、エリア算出法におけるパラメータ K の精緻化が必要と考える。

• S

実証環境の下流側は、一方向に巨大なインフラ構造物が存在し、その両側面は急な斜面、残る一方向が下流に向けて開けている地形となっている。また、下流側の谷は蛇行しながら下っていくため、カバーエリア端に向けて離れるにつれて山体や樹木によって見通し外となる可能性があり、さらに基地局アンテナ位置との標高差も生じることから、エリア算出法におけるパラメータ S の選択基準の詳細化が重要になると考える。

また、上流側はダム湖が広がる開放地となっているが、ダム湖岸の監視や災害発生現場を想定して対岸等を選定する場合、丘陵や樹木によって見通し外となる場所があり、このような場所では上記と異なるパラメータ S の選択基準の詳細化が必要と考える。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証のNo.11「ローカル5Gを活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の取組み」(以下、R3-No.11)において、陸上基地局から海上船舶の端末への電波伝搬モデルの精緻化を、海面反射による2波モデルを参照して検討されている。直達波と反射波の2波が電波伝搬環境に強い影響を及ぼすという点で、本提案と共通する技術課題となっている。

一方でR3-No.11では、潮位変動はあるものの端末は空間を上下方向には移動しないため、基地局と端末のアンテナの反射面(海面)からの高さは基本的に固定となっている。

これに対して本提案では、ドローンに搭載した端末が三次元的に移動するため、端末のアンテナの反射面からの高さが変化することになる。さらに、ダム堤体のように反射面が水平ではない場合も考慮する必要がある。このため本提案では、基地局、端末および反射面との間の三次元的な位置関係を考慮した電波伝搬路モデルの精緻化に取り組む。

本提案の実証環境と同様な電波伝搬環境は、全国の多くのダムをはじめ、山間部の溪谷や湖、入江の港湾等、各地の様々な環境で観測されると考えられ、今回の技術実証の結果は、ソリューションの横展開時に広く適用可能と考えられる。

(2) 実証仮説

図3-10に実証環境で想定される電波伝搬のイメージ図を示す。図3-10に示すように、ダム堤体の周囲の空間では、ダム堤体またはダム湖水面による電波の反射等の影響が強く表れると考えられる。

また、ダム湖岸の監視や、災害発生現場を想定して対岸等を選定する場合(図3-10右側)、丘陵や樹木によって見通し外となる場所があり、このような場所では上記と異なる特徴を示すと考えられる。

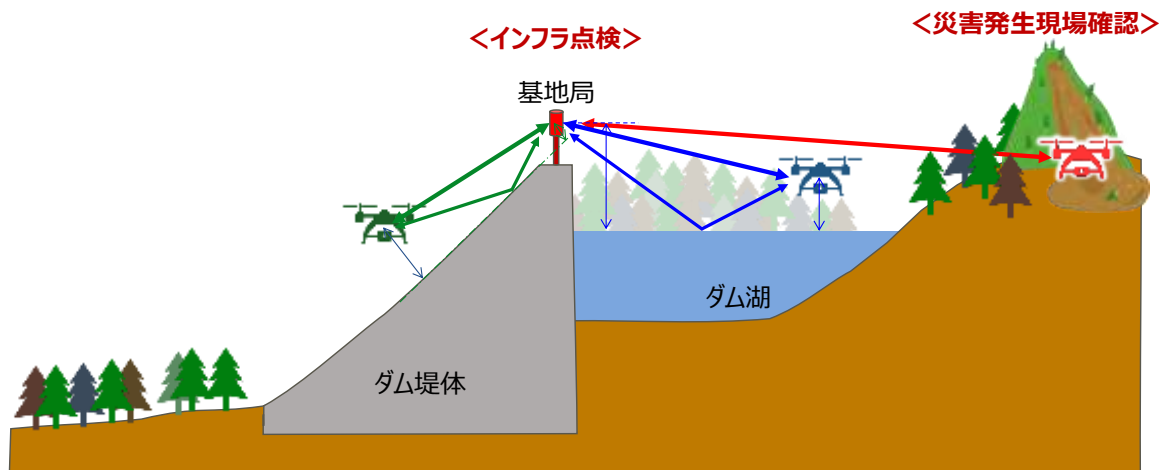


図 3-10 実証環境における電波伝搬のイメージ図

上記のような実証環境が、電波伝搬モデルの精緻化のパラメータ K および S へ与える影響について、下記のような仮説を立てている。

• K

精緻化はインフラ点検を想定するダム堤体の周囲と、災害発生現場確認を想定するダム堤体より比較的離れた領域とで分けて実施する。インフラ点検を想定するダム堤体の周囲では、パラメータ K には、ダム堤体や湖水面の反射の影響を考慮した値を算入する必要があると予想される。

しかしながら、実証環境では、直達波と、ダム堤体または湖水面による反射波との 2 波の影響が支配的となることが考えられ、伝搬損失から一定値を差し引くような固定的な K の値ではなく、距離 d_{xy} およびドローンの高度、すなわち H_m に相関を持つ値を想定する必要があると考えられる。

なお、上記の 2 波モデルにおける反射面からの送受信点の高さは、下流側はドローンの位置とダム堤体の反射位置での接線との位置関係、上流側はドローンの飛行高度とダム湖の水位によって変化すると考えられる。

一方で、災害発生現場確認を想定するダム堤体より比較的離れた領域においては、山体反射やの影響があると考えられる。2 波モデルとは異なり、算出式で用いられているモデルをベースにパラメータ K を精緻化することを想定しており、複数の反射波の受信が期待できることを考慮すれば、伝搬損失を小さくする方向に精緻化する必要があると考えられる。

実証環境は渓谷となっているため、複数の山体斜面からの反射波の影響があると考えられ、そのうちで受信電力に一定以上の影響を及ぼす反射波は 2~3 波と仮定し、 K としては 2dB 程度と予想した。

• S

実証環境は、一方向がダム の 構造物（堤体）、その両側面は樹木の茂る斜面となっており、残る一方向については、下流側は開けた地形、上流側はダム湖が広がっている。

下流側のダム堤体周辺の通信エリア（ドローン飛行エリア）に関しては、基本的に電波伝搬路上に障害物がないため、エリア算出法におけるパラメータ S は「開放地」の値を取ることが予想される。

ただし、下流側の谷は蛇行しながら下っていくため、カバーエリア端に向けて離れるにつれて山体や樹木によって見通し外となる可能性があることから、カバーエリア端および調整対象区域端においては、 S は「郊外地」と「開放地」の間の値を取ることが考えられるが、基地局アンテナ位置との標高差も生じることから、「開放地」寄りの値を取ることが考えられる。そこで、 S の値は 25dB 程度と予想した。

一方、上流側はダム湖が広がる開放地となっており、ダム湖近辺の見通しが確保できる地点での S は「開放地」に近い値を取ることが予想される。しかしながら、図 3-11 に示す標高図からわかるように、ダム湖岸から離れるにつれて急激に標高が高くなるとともに山体および樹木によって見通し外となる場所が多く、 S は「郊外地」と「開放地」の間の値を取るものと予想される。したがって、カバーエリア端および調整対象区域端では、周囲の地形の違いから、谷筋に沿って道路の延びる北東および南から南南東方向については「開放地」に近い値を、それ以外の方向については「郊外地」に近い値を取り、15dB 程度あるいはそれ以下になると予想した。

上記のように、基地局アンテナからの方向によって電波伝搬モデル精緻化を切り分ける必要があるものと考ええる。

上記の仮説を基に作成した仮説エリア図を図 3-12 に示す。図 3-12 では、 S の値に「開放地」を適用して算出法により求めたカバーエリア（算出法カバーエリア；赤実線円）と調整対象区域（算出法調整対象区域；青実線円）、および参考として S の値を「郊外地」とした場合のカバーエリア（紫実線円）と調整対象区域（紫点線円）も併せて示す。

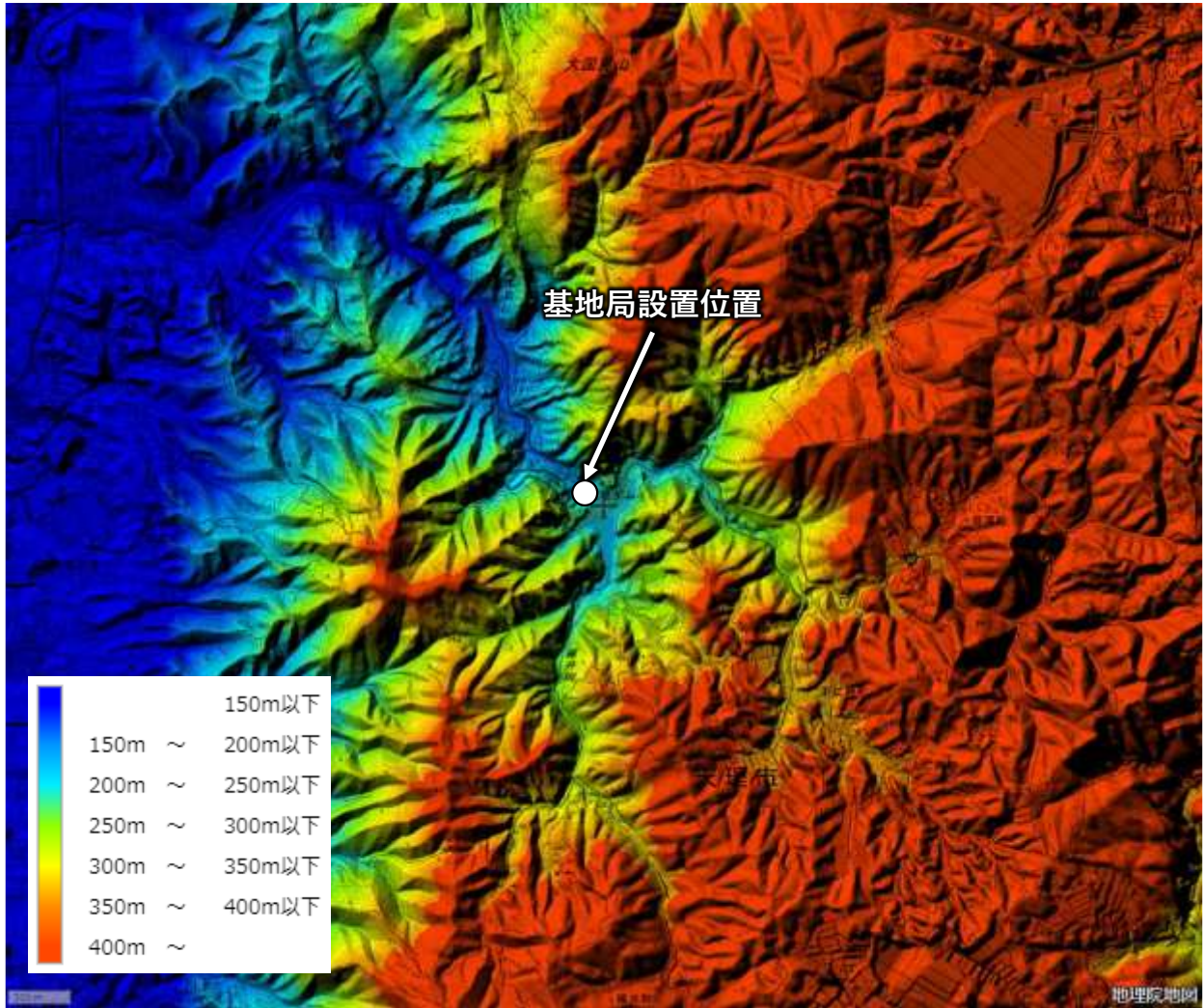


図 3-11 天理ダム周辺の標高図(地理院地図を基に作成)

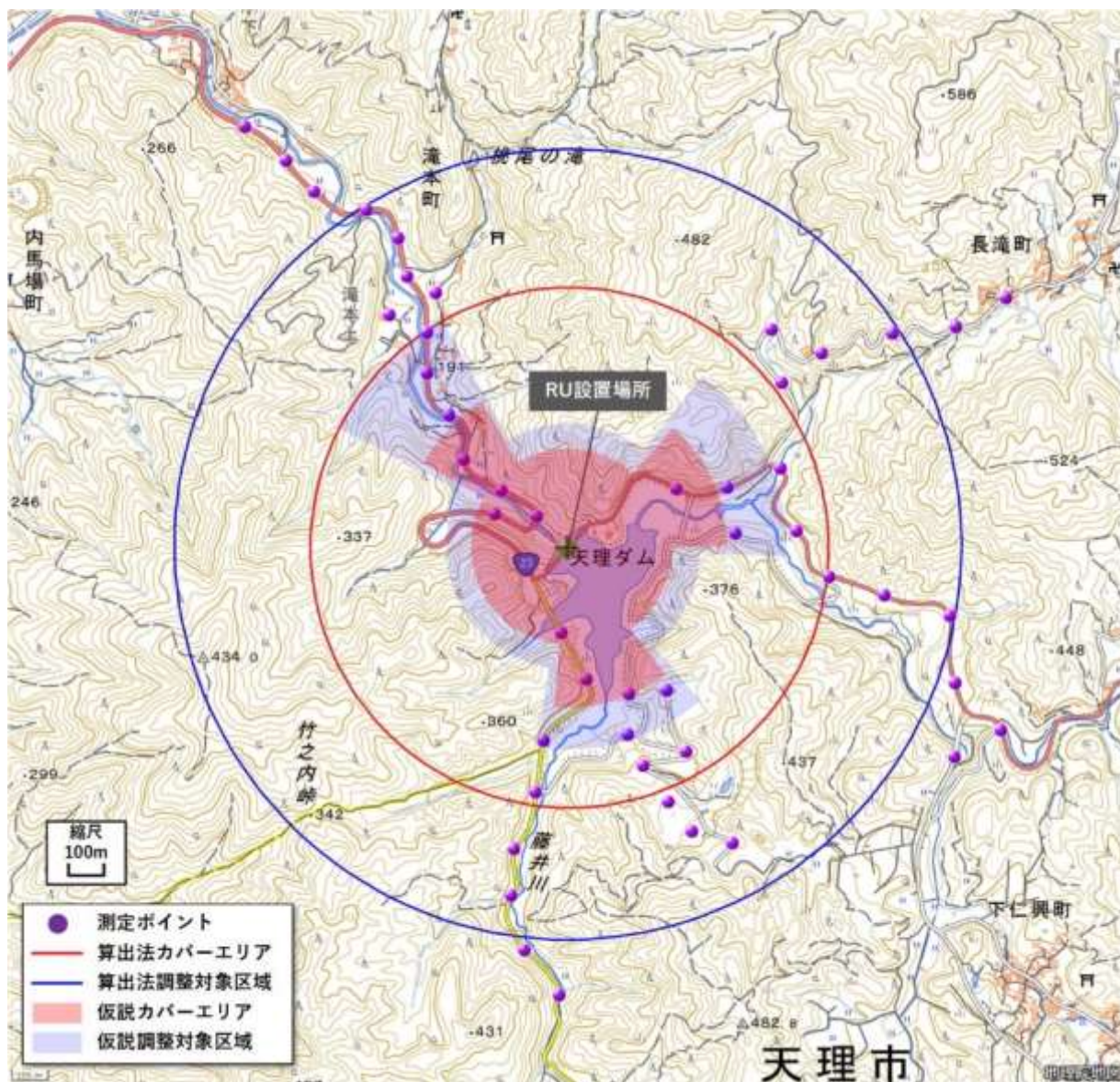


図 3-12 カバーエリア(仮説エリア図) (地理院地図を基に作成)

(3) 評価・検証項目

本実証における電波伝搬モデルの精緻化の評価・検討項目は下記のとおりである。

- ダム堤体周囲の三次元空間上に設定した各測定ポイント並びに仮説カバーエリアおよび仮説調整対象区域内に設定した各測定ポイントにおける受信電力
- 基地局アンテナおよび端末アンテナと、反射面（ダム堤体、水面）との位置関係
- 基地局アンテナおよび端末アンテナとの標高差、見通しの有無
- 電波伝搬シミュレーションによる各測定ポイントにおける受信電力のシミュレーション値
- エリア算出法による各測定ポイントにおける受信電力算出値と、実測値及びシミュレーション値

ン値との比較

- 上記比較結果に基づく、エリア算出法におけるパラメータ K および S の精緻化

表 3-1 評価内容

対象エリア	ドローン飛行エリア (100m 未満)	ドローン飛行エリア (100m 以遠)	カバーエリア・ 調整対象区域
精緻化パラメータ	—	K, S	K, S

(4) 評価・検証方法

本技術実証において使用する電波伝搬解析ソフトウェア RapLab Advanced の概要を表 3-2 に示す。

表 3-2 電波伝搬解析ソフトウェアの概要

項目	諸元
調達先	(株)構造計画研究所
主要機能	3D レイトレース法による電波伝搬解析 建物などの障害物の影響を加味した電波のカバーエリアの確認、伝搬経路の確認 ・受信レベル ・伝搬損失 ・遅延プロファイル ・角度プロファイル ・周波数特性 など
OS	Microsoft Windows 7/8/8.1/10 64bit
CPU	Intel Core i7 4 コア以上のモデル (推奨)
RAM	8GB 以上 (推奨)
ストレージ	SSD 256GB 以上 (推奨)
解像度	1920×1080 以上 (推奨)

本技術実証において、受信電力等の測定に用いる無線エリアテストの概要を表 3-3 に示す。また、この無線エリアテストを用いた測定に当たっての主な設定値を表 3-4 に示す。

表 3-3 無線エリアテストの概要

項目	諸元
型番 (メーカー)	ML8780A (アンリツ株式会社)
主要オプション構成	
ML8780A-003	同期用 GPS オプション
MU878070A	5G NR TDD sub-6GHz 測定ユニット
Z1911B	2.1/2.6/3.5/3.7/4.5GHz アンテナ (無指向性)

表 3-4 測定における主な設定値

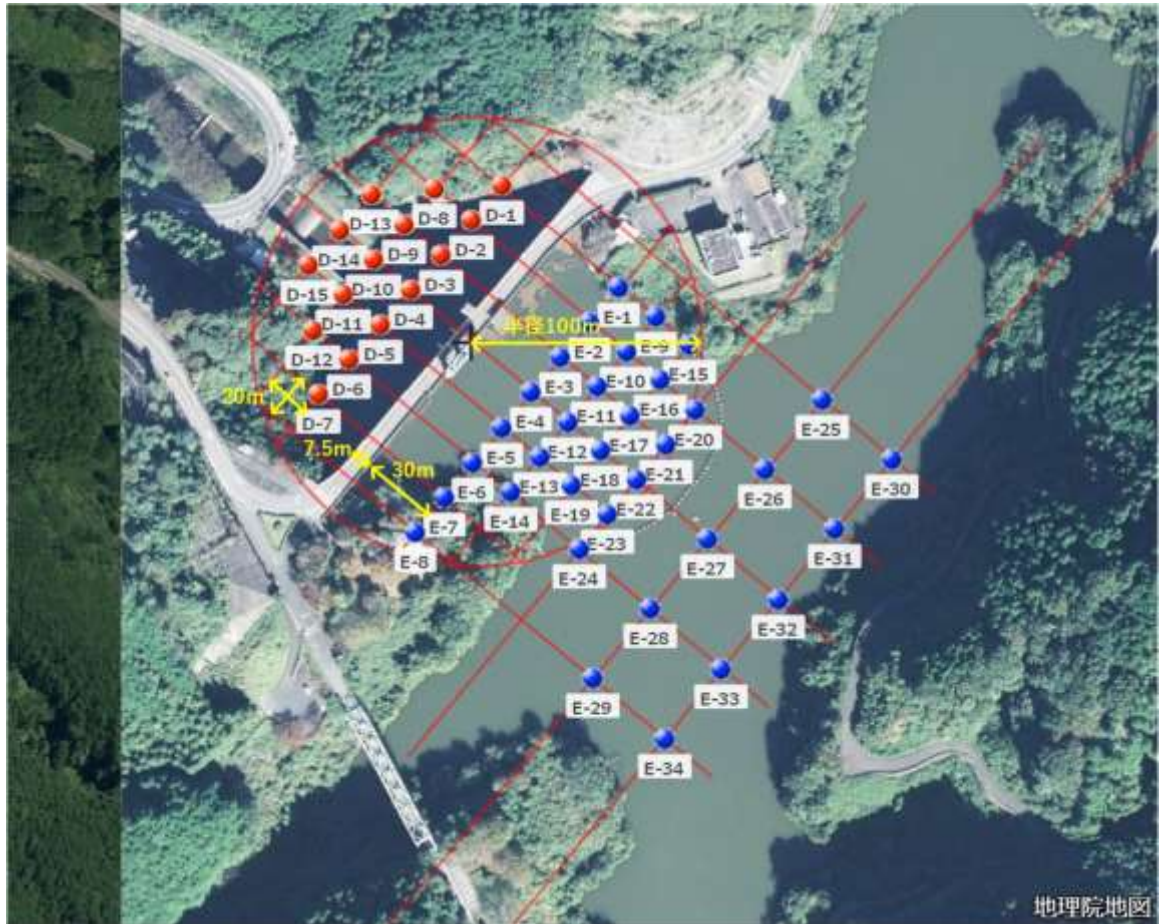
項目	設定値
中心周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
SS 周期	20ms
測定 PCI (Physical Cell Identifier) 数	1
最短測定周期	40ms

図 3-13 に、ダム堤体周囲でドローンを飛行させる三次元空間上の測定ポイントを示す。ダム上流側も同様に三次元格子状に測定ポイントを設定した。図 3-13 (a)はドローン飛行エリアの俯瞰図、図 3-13 (b)は断面図である。

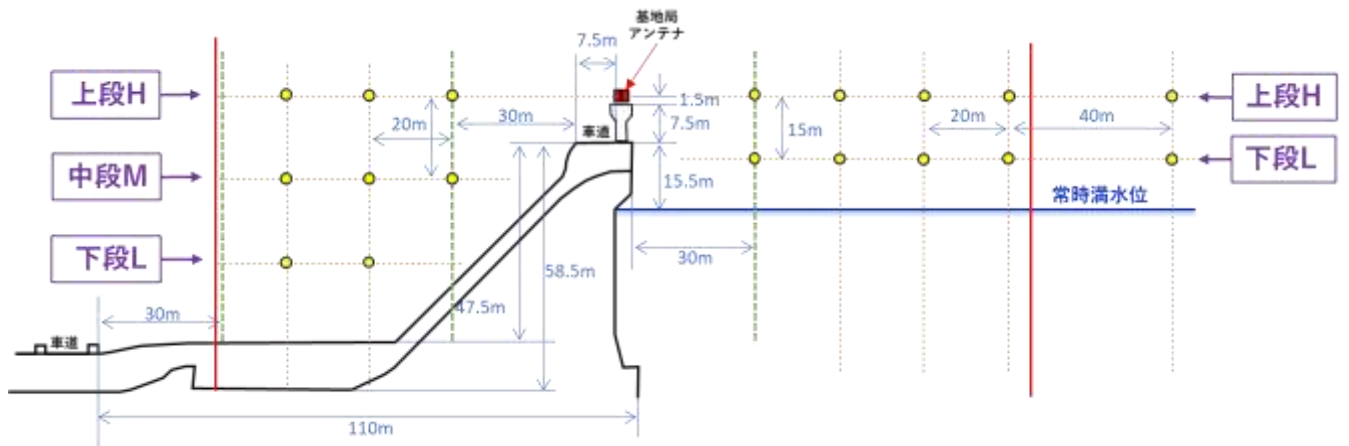
図 3-13 (a)に示すように水平面上では、航空法等の規制により、ダム堤頂を通る道路上 (およびダム下流側を通る道路) を通行する車および歩行者等からドローンを 30m 以上離して飛行させる必要があるため、道路両端から 30m の地点から 20m 間隔 (基地局アンテナから 100m 以上では 40m 間隔) の格子状に測定ポイントを設定した。

また、図 3-13 (b)に示すように垂直面上では、下流側は水平面上を同様に 20m 間隔の格子状に測定ポイントを設定するが、上流側では基地局アンテナからダム湖の通常時水面までが約 25m しかないため 15m 間隔で格子を設定した。なお、ドローンがダム堤体に近づきすぎると、コアンダ効果と呼ばれる現象によってダム堤体に吸い寄せられて激突する恐れがあるため、一定以上の距離を保てるポイントを設定した。

なお、実証時の現場において、下流側の D-8 及び D-13 の最も高度の低いポイント、並びに上流側の E-1、E-7 及び E-8 についてはドローンが樹木へ接触する可能性が認められたため、安全上の理由から測定を取り止めた。しかしながら、他の測定ポイントで精緻化に必要な十分な数が確保できていることと、近傍において新たに測定ポイントを設定することは地形上難しいため、これらの代替の測定ポイントは設定していない。



(a) 俯瞰図



(b) 断面図

図 3-13 ダム堤体周囲の三次元空間上に設定する測定ポイント

本実証における、電波伝搬モデルの精緻化の評価・検討方法は下記のとおりである。

1. 電波伝搬シミュレーション

ダム堤体の構造図およびダム周辺の三次元地図データに基づいて実証環境の三次元モデルを構築し、表 3-2 の電波伝搬解析ソフトウェアを用いて 3D レイトレース法による電波伝搬シミュレーションを実施する。

特に、ダム堤体周囲のドローン飛行エリアについては、三次元空間上に設定した各測定ポイントにおける到来波の構成（ダム堤体およびダム湖面からの反射波等）に注目する。

図 3-14 に、作成した天理ダム堤体周囲の 3D モデルを示す。



図 3-14 天理ダム 3D モデル

2. 受信電力測定

- ドローン飛行エリア

ダム堤体やダム湖面の反射影響を評価するために、ダム堤体周囲の三次元空間上のドローン飛行エリア内を格子で区切った各格子点（測定ポイント）における受信電力及び伝搬路の遅延プロファイルを測定する。

具体的には、ドローンのペイロードに表 3-3 の無線エリアテストを搭載し、各測定ポイントにおいてドローンをホバリングさせ、受信電力として SSS (Secondary Synchronization Signal) に基づく SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) を測定する。さらに無線エリアテストの遅延プロファイル測定機能を用いて、同時に遅延プロファイルの測定（伝搬パス毎の受信電力の相対値による測定）も行う。

受信電力の測定の際には、定在波の影響を避けるため、各測定ポイントにおいて搬送波波長 λ （約 6.2cm）に対して 10λ の範囲を目安にドローンをゆっくり動かしながら 40 秒間以上測定を行い、1 測定ポイントあたり 1000 サンプル以上を確保する。それら 1000 サンプル以上の測定結果を統計処理して、各測定ポイントにおける受信電力測定値の中央値、平均値、標準偏差、上位 10% 値および下位 10% 値を算出する。

なお、操縦上の制限や風の影響等でドローンを上記のように動かすことができない場合は、ドローンをその場で回転させることによって無線エリアテストのアンテナ位置を変え、同等の測定を行う等の対応を取る。

図 3-15 にドローンによる測定時の位置に関するパラメータを示す。ドローンの三次元空間上の位置は、図 3-15 に示すようなパラメータによって記録、特定する。具体的には、水平面上の位置はドローンおよび無線エリアテストに搭載された GPS による緯度・経度の測定結果を基本として、目視および測距計等により補完する。垂直位置は、ドローンに搭載された高度計による測定結果（離陸地点が基準）を記録し、地図情報から得られる離陸地点の標高を用いて、絶対的な値（ドローン位置の標高）を求める。上記の緯度、経度および標高を用いて、ダム堤体および基地局間の位置関係を特定する。また、ダム湖水面との位置関係は、奈良県河川情報システムのダム現況表^{*}にリアルタイムに反映されている貯水位（標高基準）により求める。

* http://www.kasen.pref.nara.jp/river/pub/jsp/index_kasen.jsp?disp=4

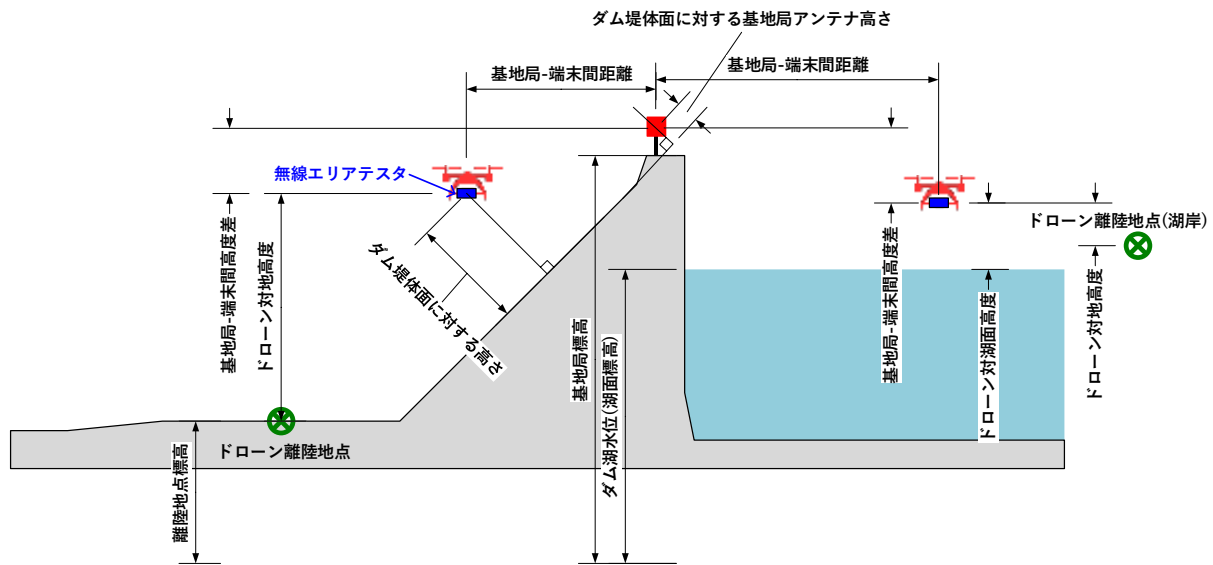


図 3-15 ドローンによる測定時の位置に関するパラメータ

- エリア端

地上測定によって山体反射や丘陵・樹木の影響を検討すべく、図 3-12 の仮説エリア図におけるカバーエリア端および調整対象区域端において設定した測定ポイント（図 3-13）において、無線エリアテスタを用いてアンテナ地上高 1.5m で受信電力および伝搬路の遅延プロファイルを測定する。仮説エリア図内において、基地局からの距離、方向が異なる 30 以上の地点で受信電力を測定するものとする。なお、気象条件や地形形状などによって想定測定ポイントの測定が不可の場合、当該測定ポイントの近傍で他の測定ポイントを検討する等して、30 以上の測定ポイントを確保する。また、測定ポイントから基地局アンテナへの見通しの有無、周囲の地形および標高についても記録する。ただし、図 3-13 に示した測定ポイントには立ち入りができない場所または安全に測定ができない場所も含まれていると思われる、そのような場合は、なるべく近傍で測定可能なポイントを再設定することで、精緻化のために必要な測定ポイント数を確保するものとする。

図 3-12 の仮説エリア図におけるカバーエリア端および調整対象区域端の測定ポイントでの受信電力測定値が、カバーエリア端および調整対象区域端の閾値と異なっている場合、閾値が測定されるポイントの予測と実測を繰り返し行う。

受信電力の測定の際には、各測定ポイントにおいて無線エリアテスタのアンテナを 10λ の範囲を目安にゆっくり動かしながら 40 秒間以上測定を行い、1 測定ポイントあたり 1000 サンプル以上を確保する。それら 1000 サンプル以上の測定結果を統計処理して、各測定ポイントにおける受信電力測定値の中央値、平均値、標準偏差、上位 10% 値および下位 10% 値を算出する。

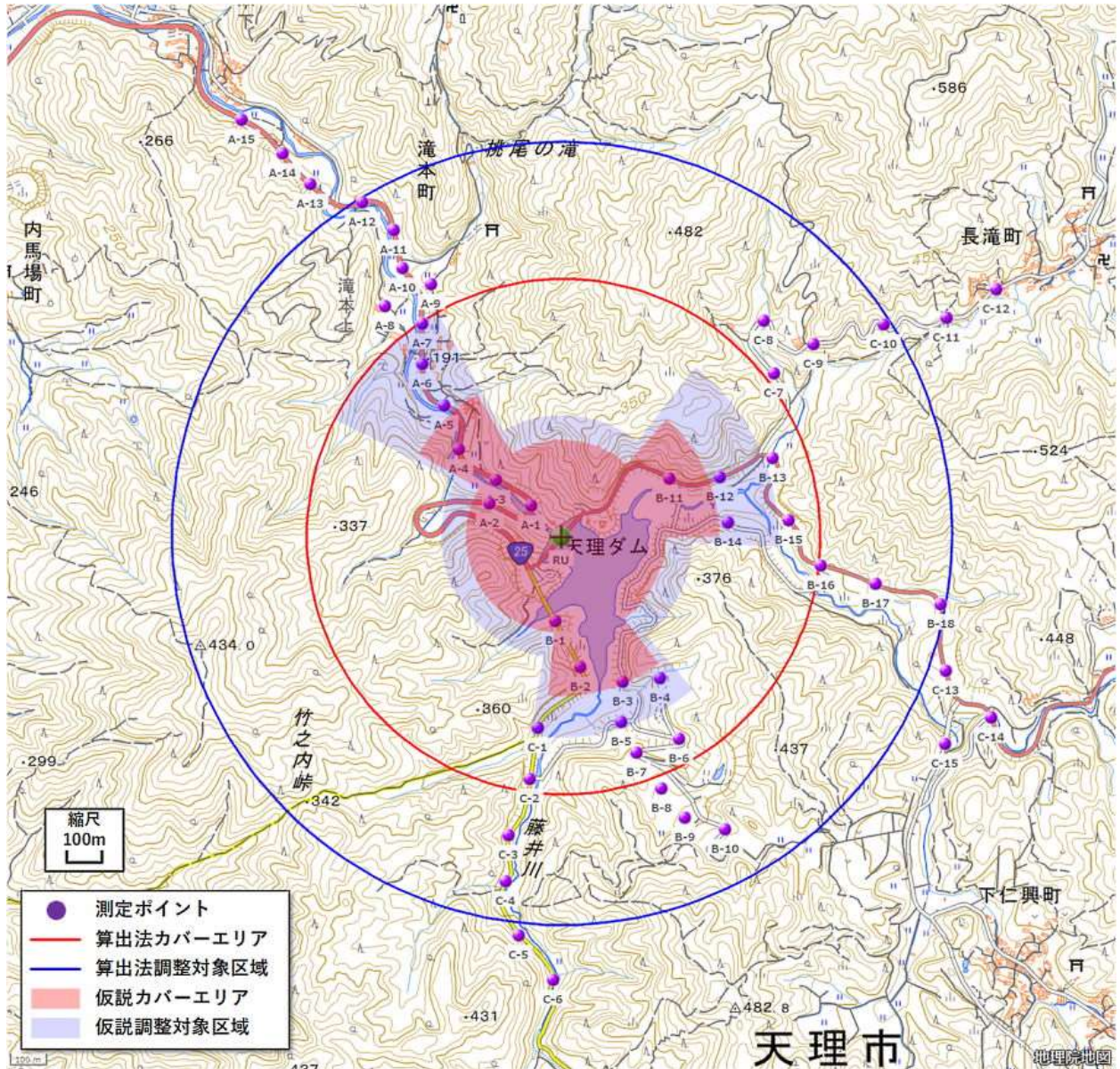


図 3-16 設定した測定ポイント

3. 結果の比較・分析

- ドローン飛行エリア

2 における受信電力および遅延プロファイルの測定結果と、1 の電波伝搬シミュレーション結果との比較を行う。

特に、2 での遅延プロファイル測定結果と 1 での到来波構成のシミュレーション結果との比較により、ドローンの三次元空間上の位置とダム堤体およびダム湖水面との位置関係に基づいて、ダム堤体およびダム湖水面による反射波の影響について分析を行う。上記反射波の影響はパラメータ K の精緻化に影響を与えると考えられるが、直達波とダム堤体または湖水面による反射波との 2 波の影響が支配的となることが予想され、伝搬損失から一定値を差し引くような固定的な K の値ではなく、2 波モデルのように距離 d_{xy} に相関を持つ値を想定した K の精緻化が必要となると考える。

- エリア端

2 における受信電力および遅延プロファイル測定結果と、エリア算出法に基づく算出値および1の電波伝搬シミュレーション結果との比較を行う。

特に、測定ポイントからの基地局アンテナへの見通し有無、基地局アンテナとの間の地形（谷筋、山体、ダム湖面との位置関係等）、基地局アンテナとの標高差に着目して、各結果の差分の要因を分析する。見通しの有無および標高差はパラメータ S の精緻化に、斜面、谷筋、ダム湖面との位置関係および標高差はパラメータ K の精緻化に、それぞれ影響を与えると考えられる。

4. パラメータ精緻化

3 における比較・分析結果を基に、エリア算出法におけるパラメータ K 及び S の修正値を導出し、これら修正値を反映させた新たなエリア算出法に基づいて各測定ポイントにおける受信電力を算出する。この受信電力算出結果と実測値とを比較して一致度を確認する。十分な一致度が得られるまで、3 および 4 を繰り返し実施する。

(5) 実証結果及び考察

1) ドローン飛行エリア

a. 電波伝搬シミュレーション結果

表 3-5 に実施した電波伝搬シミュレーションの主な条件を示す。その他の条件は実システムに準じた。

表 3-5 主な電波伝搬シミュレーション条件

項目	諸元
最大反射回数	1 回
最大回折回数	1 回
下流側基地局アンテナチルト角	30°
上流側基地局アンテナチルト角	0°

図 3-17、図 3-18 および表 3-6 に、ドローン飛行エリアにおける電波伝搬シミュレーションによる各測定ポイントでの受信電力算出結果を示す。

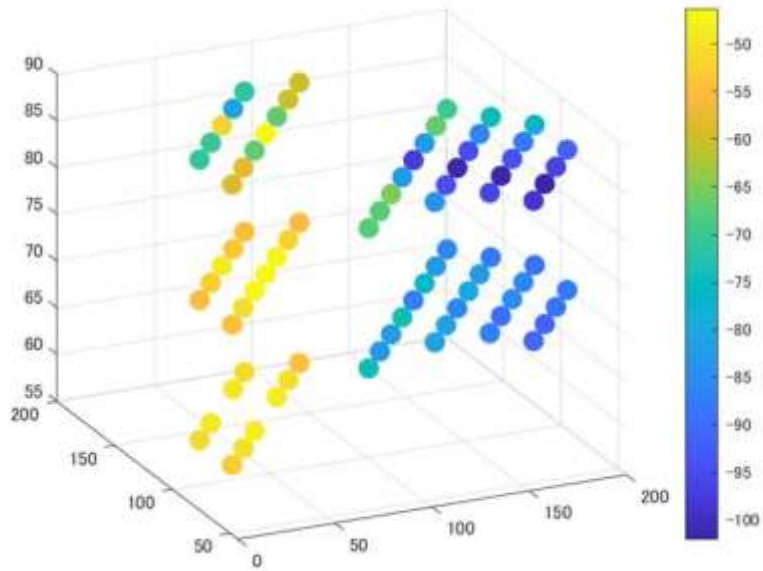


図 3-17 受信電力シミュレーション結果

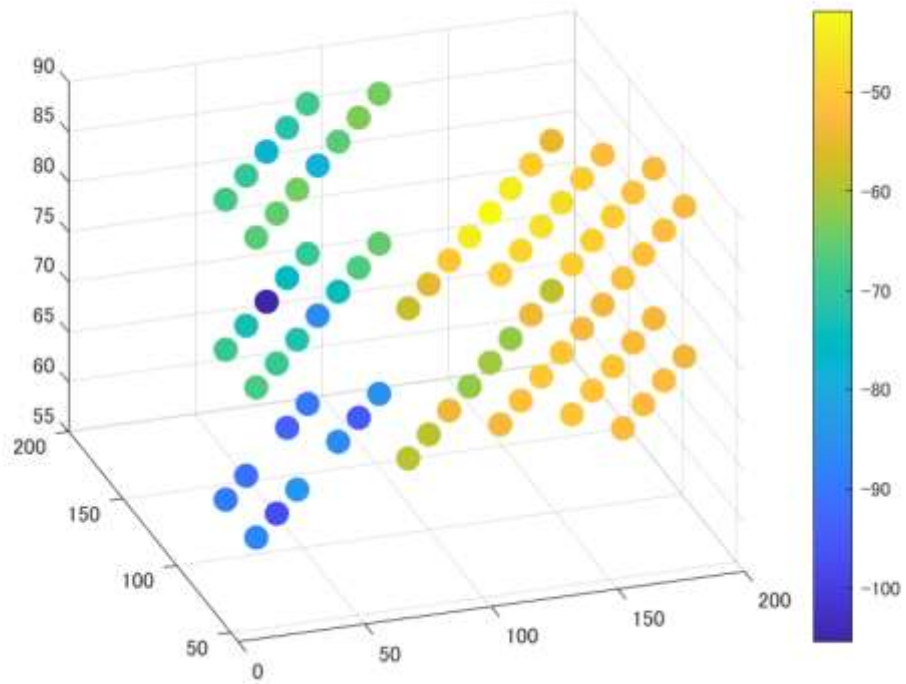


図 3-18 受信電力シミュレーション結果(RU2:基地局アンテナ上流向き)

表 3-6 各測定点における受信電力シミュレーション結果

測定ポイント番号	区分け	受信電力[dBm]	備考
D-1H	下流側	-59.7	上段
D-1M	下流側	-54.4	中段
D-2H	下流側	-54.0	上段
D-2M	下流側	-59.7	中段
D-3H	下流側	-66.6	上段
D-3M	下流側	-46.4	中段
D-4H	下流側	-70.1	上段
D-4M	下流側	-44.8	中段
D-5H	下流側	-67.1	上段
D-5M	下流側	-46.4	中段
D-6H	下流側	-58.1	上段
D-6M	下流側	-49.7	中段
D-7H	下流側	-58.5	上段
D-7M	下流側	-53.6	中段
D-8H	下流側	-71.6	上段
D-8M	下流側	-52.9	中段
D-9H	下流側	-80.0	上段
D-9M	下流側	-51.5	中段
D-9L	下流側	-50.1	下段
D-10H	下流側	-77.9	上段
D-10M	下流側	-49.9	中段
D-10L	下流側	-49.7	下段
D-11H	下流側	-70.2	上段
D-11M	下流側	-50.5	中段
D-11L	下流側	-50.1	下段
D-12H	下流側	-71.5	上段
D-12M	下流側	-52.9	中段
D-12L	下流側	-52.2	下段
E-1H	上流側	-54.8	上段
E-2H	上流側	-49.7	上段
E-2L	上流側	-53.6	下段
E-3H	上流側	-44.4	上段
E-3L	上流側	-61.6	下段
E-4H	上流側	-41.8	上段
E-4L	上流側	-60.9	下段

測定ポイント番号	区分け	受信電力[dBm]	備考
E-5H	上流側	-44.4	上段
E-5L	上流側	-61.6	下段
E-6H	上流側	-50.2	上段
E-9H	上流側	-52.1	上段
E-10H	上流側	-49.3	上段
E-10L	上流側	-53.1	下段
E-11H	上流側	-46.8	上段
E-11L	上流側	-50.7	下段
E-12H	上流側	-46.2	上段
E-12L	上流側	-50.1	下段
E-13H	上流側	-47.8	上段
E-13L	上流側	-51.7	下段
E-16H	上流側	-51.4	上段
E-16L	上流側	-52.5	下段
E-17H	上流側	-49.5	上段
E-17L	上流側	-50.7	下段
E-18H	上流側	-49.1	上段
E-18L	上流側	-50.3	下段
E-19H	上流側	-49.5	上段
E-19L	上流側	-50.7	下段
E-20H	上流側	-52.6	上段
E-20L	上流側	-53.5	下段
E-21H	上流側	-51.5	上段
E-21L	上流側	-52.5	下段
E-22H	上流側	-51.3	上段
E-22L	上流側	-52.2	下段
E-23H	上流側	-51.5	上段
E-23L	上流側	-52.5	下段

図 3-19 下流側の一測定点における三次元パスの様子を示す。図から分かるように、当初想定していたようにダム堤体による反射波が観測される一方で、周辺山体からの反射波も複数観測されていることがわかる。

この伝搬シミュレーション結果から、下流側のドローン飛行エリアでは、直達波とダム堤体による反射波の強い 2 波による 2 波モデルに近い傾向を示しながらも、近傍山体からの反射波の影響が加わるため、2 波モデルよりも高い受信電力が観測される可能性があるものと考えられる。

また図 3-20 に上流側の一測定点における三次元パスの様子を示す。こちらも当初想定していた直接波と湖面反射波の 2 波が観測される一方で、ダム湖対岸からの反射波も観測されていることがわかる。

この伝搬シミュレーション結果から、上流側のドローン飛行エリアについても、直達波とダム堤体による反射波の強い 2 波による 2 波モデルに近い傾向を示しながら、ダム湖対岸等の山体からの反射波の影響が加わるが、下流側と比較して山体の反射面が遠いため、下流側ほど山体からの反射波の影響は大きくないと推測される。

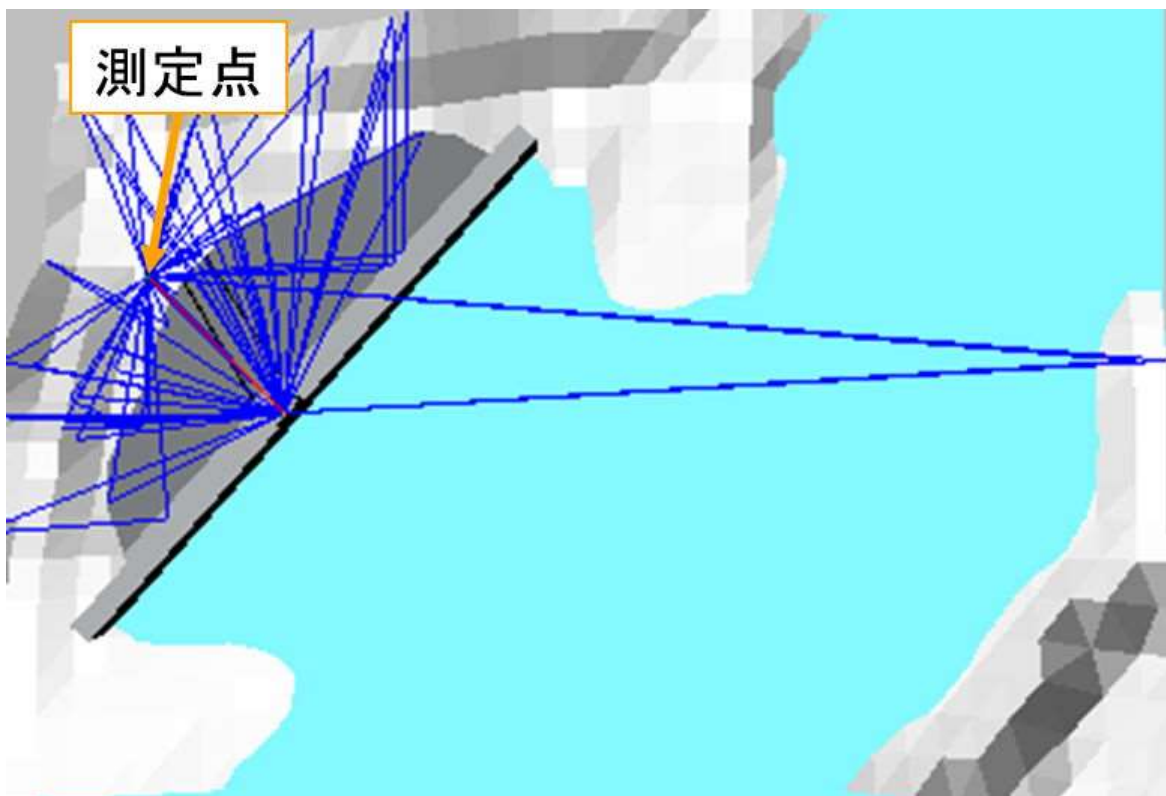


図 3-19 下流側の 3D パスの様子

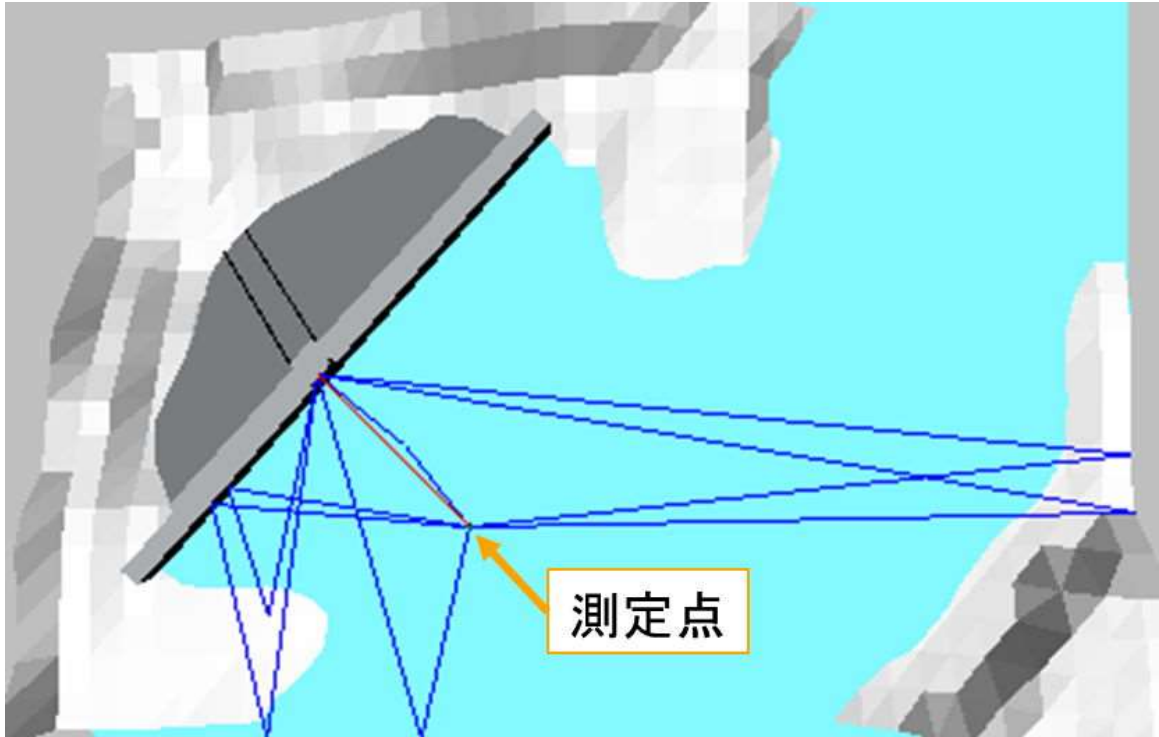


図 3-20 上流側の 3D パスの様子

b. 受信電力測定結果

まず、図 3-21 に、ドローンにエリアテストを搭載した測定の様子を示す。

ドローンのペイロードに特別な支持フレームを取り付け、そのフレーム内にエリアテストを天地逆転させた形で受信アンテナが下になるように搭載して測定を行った。



図 3-21 ドローンによる受信電力測定の様子

表 3-7 から表 3-9 に、実測した各ポイントの情報を示す。

表 3-7 ドローン飛行エリア実測ポイント情報(下流側)

番号	緯度[deg]	経度[deg]	標高 [m]	アンテナ間距離 [m]		基地局アンテナに 対する角度[deg]		基地局 アンテナ 利得 [dBi]
				水平	3D	仰角	水平角	
D-1H	34.5889982	135.8767938	279.5	63.3	63.3	30.0	-299.0	-11.0
D-2H	34.5888527	135.8766315	279.5	46.1	46.1	30.0	46.5	-8.0
D-3H	34.5887206	135.8764917	279.5	35.0	35.0	30.0	23.5	-7.0
D-4H	34.5885794	135.8763439	279.5	33.0	33.0	30.0	-11.8	-7.0
D-5H	34.5884561	135.8761899	279.5	43.3	43.3	30.0	-37.5	-7.5
D-6H	34.5883197	135.8760389	279.5	58.6	58.6	30.0	-53.1	-10.5
D-7H	34.5881817	135.8758965	279.5	75.7	75.7	30.0	-62.2	-12.0
D-8H	34.5889822	135.8764566	279.5	63.3	63.3	30.0	32.7	-8.0
D-9H	34.5888591	135.8763182	279.5	56.3	56.3	30.0	16.0	-7.0
D-10H	34.5887165	135.8761726	279.5	54.4	54.4	30.0	-5.4	-7.0
D-11H	34.5885822	135.8760310	279.5	59.9	59.9	30.0	-24.6	-7.5
D-12H	34.5884194	135.8758878	279.5	70.9	70.9	30.0	-41.8	-8.0
D-13H	34.5889572	135.8761583	279.5	73.8	73.8	30.0	11.3	-7.0
D-14H	34.5888111	135.8760096	279.5	72.6	72.6	30.0	-5.3	-7.0
D-15H	34.5886765	135.8758639	279.5	77.7	77.7	30.0	-20.1	-7.5
D-1M	34.5889895	135.8767920	259.5	62.4	65.5	12.2	-299.0	4.0
D-2M	34.5888580	135.8766269	259.5	46.7	50.8	6.8	46.1	8.0
D-3M	34.5887245	135.8764903	259.5	35.4	40.7	0.6	23.7	11.0
D-4M	34.5885814	135.8763493	259.5	32.7	38.3	-1.4	-11.0	11.0
D-5M	34.5884534	135.8761976	259.5	42.5	47.0	4.8	-37.8	10.5
D-6M	34.5883152	135.8760467	259.5	58.0	61.3	11.0	-53.7	5.0
D-7M	34.5881798	135.8758770	259.5	77.4	80.0	15.5	-61.9	1.0
D-8M	34.5889832	135.8764630	259.5	63.2	66.3	12.4	33.2	7.0
D-9M	34.5888562	135.8763166	259.5	56.1	59.6	10.4	15.7	8.5
D-10M	34.5887174	135.8761692	259.5	54.7	58.3	9.9	-5.5	9.0
D-11M	34.5885777	135.8760172	259.5	61.0	64.2	11.9	-25.4	7.5
D-12M	34.5884198	135.8758888	259.5	70.8	73.6	14.2	-41.7	5.0
D-13M	34.5889623	135.8761613	259.5	74.1	76.7	14.9	11.8	6.0
D-14M	34.5888119	135.8760108	259.5	72.6	75.3	14.6	-5.2	6.0
D-15M	34.5886858	135.8758633	259.5	78.1	80.6	15.6	-19.4	5.5
D-9L	34.5888496	135.8763080	239.5	56.0	68.8	-5.5	14.6	11.0
D-10L	34.5887235	135.8761723	239.5	54.9	67.9	-6.1	-4.8	11.0
D-11L	34.5885772	135.8760099	239.5	61.6	73.5	-3.0	-25.6	10.5
D-12L	34.5884229	135.8758799	239.5	71.6	82.0	0.8	-41.4	10.0
D-14L	34.5888166	135.8760112	239.5	72.9	83.1	1.2	-4.8	11.0
D-15L	34.5886867	135.8758626	239.5	78.2	87.8	2.9	-19.4	10.5

表 3-8 ドローン飛行エリア実測ポイント情報(上流側、上段)

番号	緯度[deg]	経度[deg]	標高 [m]	アンテナ間距離 [m]		基地局アンテナに 対する角度[deg]		基地局 アンテ ナ利得 [dBi]
				水平	3D	仰角	水平角	
E-1H	34.5886050	135.8773799	279.5	68.3	68.3	0.0	-55.7	7.5
E-2H	34.5884739	135.8772398	279.5	53.0	53.0	0.0	-44.2	9.0
E-3H	34.5883311	135.8770987	279.5	41.7	41.7	0.0	-23.3	10.5
E-4H	34.5882093	135.8769546	279.5	37.0	37.0	0.0	3.6	11.0
E-5H	34.5880698	135.8768212	279.5	43.6	43.6	0.0	30.5	10.0
E-6H	34.5879364	135.8766833	279.5	55.9	55.9	0.0	48.0	9.0
E-9H	34.5884759	135.8775725	279.5	83.5	83.5	0.0	-42.8	9.5
E-10H	34.5883435	135.8774315	279.5	71.2	71.2	0.0	-31.4	10.5
E-11H	34.5882085	135.8772936	279.5	63.2	63.2	0.0	-16.1	11.0
E-12H	34.5880732	135.8771540	279.5	60.7	60.7	0.0	2.1	11.0
E-13H	34.5879366	135.8770121	279.5	64.4	64.4	0.0	20.2	11.0
E-16H	34.5882353	135.8775751	279.5	86.6	86.6	0.0	-24.8	10.5
E-17H	34.5880833	135.8774419	279.5	81.6	81.6	0.0	-11.0	11.0
E-18H	34.5879527	135.8773099	279.5	80.3	80.3	0.0	2.4	11.0
E-19H	34.5878064	135.8771683	279.5	84.2	84.2	0.0	16.6	11.0
E-20H	34.5881007	135.8777540	279.5	106.8	106.8	0.0	-19.4	10.5
E-21H	34.5879713	135.8776164	279.5	101.7	101.7	0.0	-9.2	11.0
E-22H	34.5878561	135.8774760	279.5	98.8	98.8	0.0	1.0	11.0
E-23H	34.5877175	135.8773356	279.5	101.2	101.2	0.0	12.5	11.0
E-24H	34.5875710	135.8771869	279.5	107.8	107.8	0.0	23.5	11.0
E-25H	34.5881662	135.8783483	279.5	157.3	157.3	0.0	-28.9	10.5
E-26H	34.5878993	135.8780718	279.5	142.3	142.3	0.0	-15.1	11.0
E-27H	34.5876374	135.8778140	279.5	138.1	138.1	0.0	0.2	11.0
E-28H	34.5873605	135.8775489	279.5	144.8	144.8	0.0	15.9	11.0
E-29H	34.5870858	135.8772656	279.5	160.3	160.3	0.0	29.8	10.0
E-30H	34.5879342	135.8786993	279.5	194.8	194.8	0.0	-23.3	10.5
E-31H	34.5876653	135.8784152	279.5	182.1	182.1	0.0	-11.8	11.0
E-32H	34.5874069	135.8781413	279.5	177.5	177.5	0.0	0.3	11.0
E-33H	34.5871345	135.8778775	279.5	182.8	182.8	0.0	12.5	11.0
E-34H	34.5868521	135.8776091	279.5	196.6	196.6	0.0	23.8	11.0

表 3-9 ドローン飛行エリア実測ポイント情報(上流側、下段)

番号	緯度[deg]	経度[deg]	標高 [m]	アンテナ間距離 [m]		基地局アンテナに 対する角度[deg]		基地局 アンテ ナ利得 [dBi]
				水平	3D	仰角	水平角	
E-2L	34.5884682	135.8772427	264.5	53.3	55.3	-15.7	-43.5	5.0
E-3L	34.5883316	135.8770939	264.5	41.3	43.9	-20.0	-23.2	2.0
E-4L	34.5881993	135.8769575	264.5	38.0	40.8	-21.6	4.6	2.0
E-5L	34.5880596	135.8768137	264.5	44.4	46.9	-18.7	31.8	3.5
E-10L	34.5883545	135.8774080	264.5	68.9	70.5	-12.3	-32.2	7.5
E-11L	34.5882186	135.8772688	264.5	60.7	62.5	-13.9	-16.2	7.5
E-12L	34.5880910	135.8771269	264.5	57.5	59.4	-14.6	2.3	7.5
E-13L	34.5879489	135.8769934	264.5	62.4	64.2	-13.5	20.9	8.0
E-16L	34.5882410	135.8775627	264.5	85.3	86.6	-10.0	-25.1	8.5
E-17L	34.5881100	135.8774236	264.5	78.7	80.2	-10.8	-12.3	8.0
E-18L	34.5879745	135.8772823	264.5	76.8	78.2	-11.1	2.3	8.0
E-19L	34.5878303	135.8771550	264.5	81.3	82.7	-10.4	16.3	8.5
E-20L	34.5881276	135.8777297	264.5	103.7	104.8	-8.2	-20.5	9.5
E-21L	34.5879895	135.8775903	264.5	98.6	99.7	-8.7	-9.5	10.0
E-22L	34.5878596	135.8774467	264.5	96.5	97.6	-8.8	1.9	10.0
E-23L	34.5877231	135.8773233	264.5	100.0	101.1	-8.5	12.7	10.0
E-24L	34.5875912	135.8771717	264.5	105.2	106.3	-8.1	23.7	10.0
E-25L	34.5881755	135.8783379	264.5	156.2	156.9	-5.5	-29.2	10.5
E-26L	34.5879079	135.8780624	264.5	141.1	141.9	-6.1	-15.3	10.5
E-27L	34.5876304	135.8777943	264.5	137.2	138.0	-6.2	0.9	10.5
E-28L	34.5873568	135.8775156	264.5	143.5	144.3	-6.0	17.0	10.5
E-29L	34.5870654	135.8772510	264.5	162.0	162.7	-5.3	30.6	10.0
E-30L	34.5879096	135.8786750	264.5	193.4	194.0	-4.4	-22.3	10.5
E-31L	34.5876269	135.8783826	264.5	181.6	182.2	-4.7	-10.2	11.0
E-32L	34.5873570	135.8781161	264.5	179.4	180.1	-4.8	2.1	11.0
E-33L	34.5870764	135.8778453	264.5	186.3	186.9	-4.6	14.4	11.0
E-34L	34.5868057	135.8775829	264.5	200.2	200.8	-4.3	25.1	11.0

表 3-10 から表 3-14 にドローン飛行エリアにおける受信電力測定結果を示す。

受信電力の実測値は、エリアテストで測定された SS-RSRP（同期信号 Secondary Synchronization Signal の 1 リソースエレメント＝帯域幅 30kHz あたりの受信電力）を、下記換算式を用いて基地局の通信使用周波数帯域幅 100MHz あたりの RSRP 値に換算したものである。

$$RSRP = SS-RSRP + 10 \log_{10} \frac{100 \times 10^6}{30 \times 10^3} \approx SS-RSRP + 35.2 \text{ [dBm]}$$

表 3-10 ドローン飛行エリア受信電力測定結果(下流側、上段)

番号	実測値[dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
D-1H	-49.6	-49.8	1.0	-48.7	-51.2
D-2H	-45.8	-45.4	2.4	-42.0	-48.3
D-3H	-60.4	-60.5	1.5	-58.7	-62.4
D-4H	-60.0	-60.0	1.6	-58.0	-62.0
D-5H	-49.2	-49.3	1.1	-48.0	-50.9
D-6H	-54.2	-54.2	1.0	-53.0	-55.6
D-7H	-54.0	-54.2	1.5	-52.6	-56.2
D-8H	-52.1	-52.1	0.9	-51.1	-53.2
D-9H	-47.0	-46.9	0.9	-45.7	-48.1
D-10H	-54.7	-54.5	1.1	-53.4	-55.7
D-11H	-50.2	-50.2	0.8	-49.1	-51.3
D-12H	-50.2	-50.1	1.4	-48.5	-51.9
D-13H	-55.4	-55.3	1.5	-53.4	-57.3
D-14H	-55.7	-55.7	0.9	-54.6	-56.9
D-15H	-55.1	-55.1	1.0	-53.8	-56.3

表 3-11 ドローン飛行エリア受信電力測定結果(下流側、中段)

番号	実測値[dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
D-1M	-52.6	-52.6	1.9	-50.1	-55.1
D-2M	-60.9	-60.9	2.4	-58.1	-63.8
D-3M	-37.6	-37.6	0.8	-36.6	-38.5
D-4M	-33.1	-33.2	0.8	-32.3	-34.1
D-5M	-35.5	-35.8	1.7	-33.9	-38.3
D-6M	-41.4	-41.5	0.6	-40.8	-42.3
D-7M	-50.6	-50.3	2.9	-46.7	-53.7
D-8M	-44.1	-44.1	1.1	-42.6	-45.4
D-9M	-36.6	-36.6	0.4	-36.2	-37.1
D-10M	-37.7	-37.7	0.6	-37.0	-38.5
D-11M	-43.1	-43.5	2.0	-41.4	-46.5
D-12M	-44.7	-46.1	5.3	-40.1	-54.0
D-13M	-43.8	-43.8	0.9	-42.7	-45.1
D-14M	-41.2	-41.1	0.5	-40.4	-41.8
D-15M	-46.0	-45.9	1.0	-44.6	-47.2

表 3-12 ドローン飛行エリア受信電力測定結果(下流側、下段)

番号	実測値[dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
D-9L	-52.6	-52.6	1.9	-50.1	-55.1
D-10L	-60.9	-60.9	2.4	-58.1	-63.8
D-11L	-37.6	-37.6	0.8	-36.6	-38.5
D-12L	-33.1	-33.2	0.8	-32.3	-34.1
D-14L	-35.5	-35.8	1.7	-33.9	-38.3
D-15L	-41.4	-41.5	0.6	-40.8	-42.3

表 3-13 ドローン飛行エリア受信電力測定結果(上流側、上段)

番号	実測値[dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
E-1H	-48.9	-49.3	2.7	-46.2	-53.0
E-2H	-43.6	-44.0	1.7	-42.4	-46.9
E-3H	-44.7	-44.8	2.6	-41.5	-48.2
E-4H	-38.7	-40.2	5.0	-35.5	-47.6
E-5H	-41.5	-41.8	2.7	-38.5	-45.4
E-6H	-44.4	-44.5	1.8	-42.4	-46.8
E-9H	-45.1	-45.3	2.5	-42.4	-49.0
E-10H	-49.9	-49.3	2.1	-46.2	-51.8
E-11H	-44.3	-44.1	2.2	-40.9	-46.9
E-12H	-49.4	-50.0	5.1	-44.4	-56.8
E-13H	-43.2	-43.8	2.0	-41.5	-46.7
E-16H	-47.1	-47.4	2.5	-44.6	-51.0
E-17H	-44.0	-44.4	2.3	-41.8	-47.8
E-18H	-47.5	-48.4	5.0	-43.1	-54.8
E-19H	-43.4	-43.7	1.7	-41.8	-46.3
E-20H	-45.4	-45.7	1.5	-44.1	-47.8
E-21H	-49.6	-49.9	2.1	-47.5	-52.7
E-22H	-50.2	-51.6	5.1	-46.2	-59.1
E-23H	-46.0	-45.4	2.7	-41.7	-48.9
E-24H	-52.1	-51.9	2.2	-48.8	-54.6
E-25H	-55.1	-54.9	2.6	-51.3	-58.2
E-26H	-51.9	-51.9	2.2	-48.9	-54.8
E-27H	-55.7	-56.3	4.3	-51.6	-61.6
E-28H	-47.8	-48.1	1.7	-46.1	-50.5
E-29H	-53.4	-53.5	1.7	-51.6	-56.0
E-30H	-51.8	-52.0	1.4	-50.5	-54.1
E-31H	-54.7	-54.9	1.6	-53.0	-57.2
E-32H	-53.3	-53.6	2.0	-51.4	-56.3
E-33H	-47.6	-47.8	1.2	-46.6	-49.7
E-34H	-52.9	-53.1	1.5	-51.2	-55.2

表 3-14 ドローン飛行エリア受信電力測定結果(上流側、下段)

番号	実測値[dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
E-2L	-49.9	-50.4	2.6	-47.4	-54.2
E-3L	-58.8	-59.1	2.7	-55.9	-62.7
E-4L	-54.0	-54.8	3.7	-50.8	-60.0
E-5L	-53.7	-54.6	3.3	-51.0	-59.4
E-10L	-50.9	-51.7	4.1	-47.1	-57.7
E-11L	-56.5	-57.2	3.8	-53.1	-62.8
E-12L	-53.7	-54.0	2.5	-51.2	-57.4
E-13L	-51.0	-51.2	2.1	-48.8	-54.0
E-16L	-52.9	-53.1	2.0	-51.0	-55.9
E-17L	-50.3	-50.4	1.9	-48.1	-53.1
E-18L	-51.1	-51.4	2.5	-48.4	-54.9
E-19L	-49.0	-49.0	0.9	-48.0	-50.2
E-20L	-49.2	-49.3	1.0	-48.1	-50.7
E-21L	-49.6	-49.5	1.4	-47.7	-51.3
E-22L	-50.7	-50.7	1.1	-49.4	-52.3
E-23L	-50.9	-51.0	1.6	-48.9	-53.2
E-24L	-51.5	-51.6	1.1	-50.2	-52.9
E-25L	-51.2	-51.3	1.4	-49.8	-53.3
E-26L	-49.7	-49.8	1.2	-48.3	-51.6
E-27L	-53.9	-54.0	1.4	-52.2	-55.9
E-28L	-53.0	-53.0	1.6	-51.1	-55.0
E-29L	-54.9	-55.1	1.7	-53.3	-57.5
E-30L	-51.4	-51.6	1.4	-49.9	-53.6
E-31L	-55.3	-55.7	2.5	-52.6	-59.4
E-32L	-55.3	-55.4	1.9	-53.1	-58.0
E-33L	-53.9	-54.6	2.4	-51.9	-58.4
E-34L	-54.7	-54.6	1.7	-52.3	-56.7

a. 分析・考察

ア) ダム上流側・上段

図 3-22 に、ダム上流側の上段、すなわち受信アンテナと基地局アンテナの高度（標高）が同じ測定ポイント（E-xxH）における、受信電力実測値、自由空間伝搬を仮定して算出した受信電力及びダム湖面を反射面とする 2 波モデルを仮定して算出した受信電力の、送受信間距離に対する受信電力特性のグラフを示す。

受信電力の測定結果には、測定ポイントの水平・垂直位置によって基地局アンテナの指向性の伴う送信アンテナ利得の変動の影響が内包されてしまっている。そこで、受信電力実測値についても、送信アンテナ利得の影響を除いた伝搬損失の値を算出して検討を行う。図 3-23 に、ダム上流側の上段における、伝搬損失実測値、自由空間損失及び 2 波モデルにおける伝搬損失の送受信間距離に対する特性を示す。

なお、自由空間伝搬での伝搬損失 L_0 [dB] は次式で算出した。

$$L_0 = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 10 \log_{10} d^2 + 10 \log_{10} f^2 - 147.6 \text{ [dB]}$$

ここで、 d は送受信アンテナ間の直線距離 [m]、 λ は搬送波の波長 [m]、 f は搬送波周波数 [Hz] である。

なお、搬送波周波数 f を MHz で表し、直線距離 d を送受信アンテナ間の水平距離 d_{xy} [km] と基地局の空中線地上高 H_b [m] と陸上移動局の空中線地上高 H_m [m] から $d^2 = d_{xy}^2 + (H_b - H_m)^2$ として求めれば、エリア算出法における① $d_{xy} \leq 0.04$ [km] の場合の屋外における式に一致する。

また、2 波モデルでの伝搬損失 L_2 [dB] は次の式で算出した。

$$L_2 = -10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2\pi d_{xy}} \sin \frac{\Delta\phi}{2} \right)^2 \text{ [dB]}$$

ここで、水面での反射係数は反射角が水平に近いとみなして -1 とし、 $\Delta\phi$ は 2 波の位相差であり、次式で近似した。

$$\Delta\phi \approx \frac{4\pi h_r h_t}{\lambda d_{xy}}$$

なお、 h_r [m] は受信アンテナの水面からの高さ、 h_t [m] は基地局アンテナの水面からの高さであり、図 3-22 及び図 3-23 では $h_r = h_t = 25.5$ [m] である。また、このときの 2 波モデルのブレイクポイントは約 42km となる。

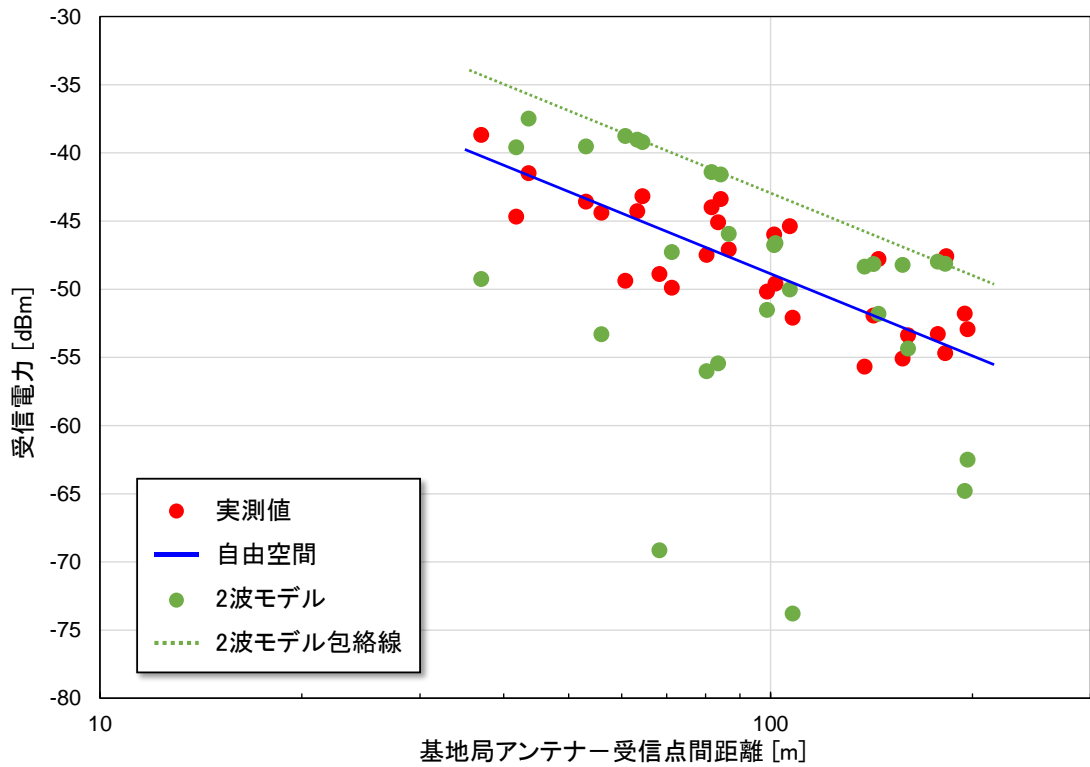


図 3-22 ドローン飛行エリアにおける送受信間距離対受信電力特性(上流側、上段)

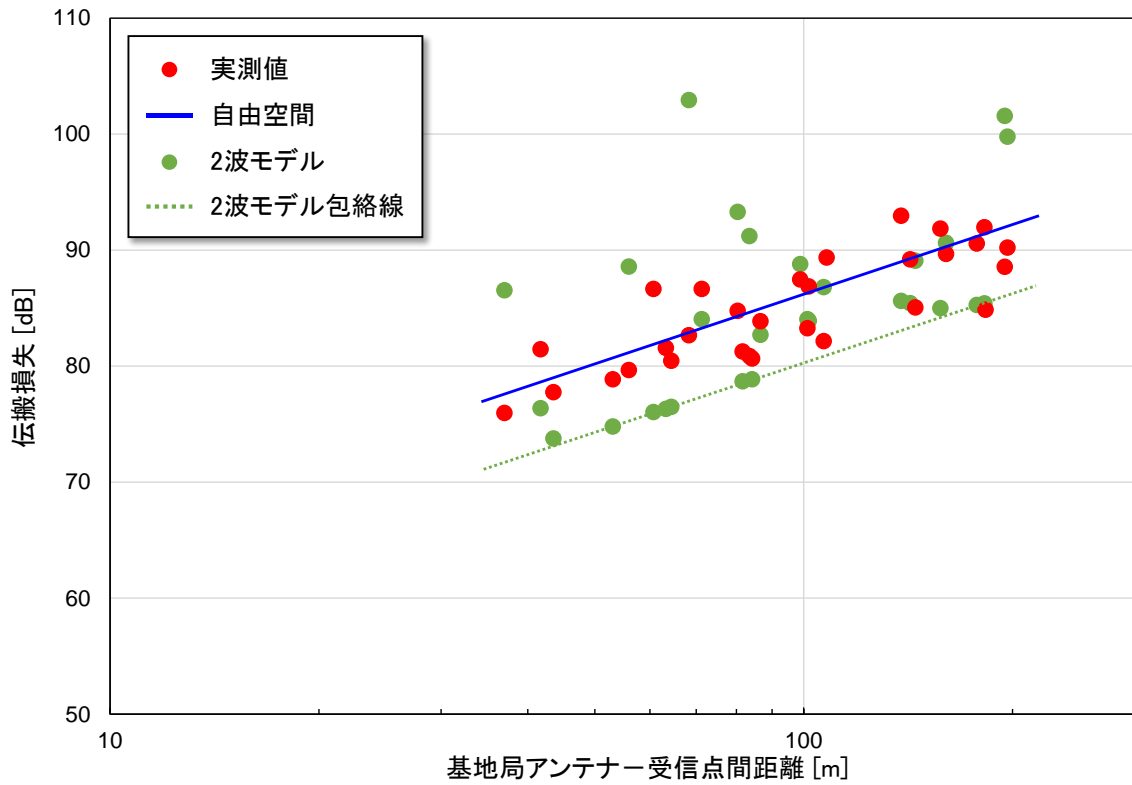


図 3-23 ドローン飛行エリアにおける送受信間距離対伝搬損失特性(上流側、上段)

ダム上流側の湖面上のドローン飛行エリアにおいて端末受信アンテナと基地局アンテナが同じ高度にある場合、図 3-23 に示すように、実測した受信電力から求めた実測伝搬損失特性は、基地局アンテナ近傍では自由空間の伝搬損失特性に近く、基地局アンテナから離れるにしたがってダム湖水面を反射面とする 2 波モデルの伝搬損失特性に漸近していくことがわかる。

これは、ダム堤体近傍においては基地局アンテナからダム湖水面への俯角が大きく、直達波に比べて反射波方向の基地局アンテナの利得が大幅に小さくなる（図 2-16 の基地局アンテナ垂直面パターン、半値角およそ $\pm 12.5^\circ$ ）ために完全な 2 波モデルとはならず、自由空間伝搬の直達波にダム湖水面からの弱い反射波が加わって、自由空間伝搬損失よりも若干小さい伝搬損失となって観測されたのではないかと考えられる。

そして、ダム堤体から離れるにつれて、基地局アンテナからダム湖水面への俯角が小さくなり、基地局アンテナパターンの影響が無視できるようになるため、直達波とダム湖水面からの反射波の 2 波モデルに漸近していているものと考えられる。

イ) ダム上流側・下段

図 3-24 に、ダム上流側の下段、すなわち受信アンテナの高度が基地局アンテナの高度（標高）より 15m 低い測定ポイント（E-xxL）における、受信電力実測値、自由空間伝搬を仮定して算出した受信電力及びダム湖水面を反射面とする 2 波モデルを仮定して算出した受信電力の、送受信間距離に対する受信電力特性のグラフを示す。

また、ダム上流側・上段と同様に、送受信間距離対伝搬損失特性のグラフを図 3-25 に示す。

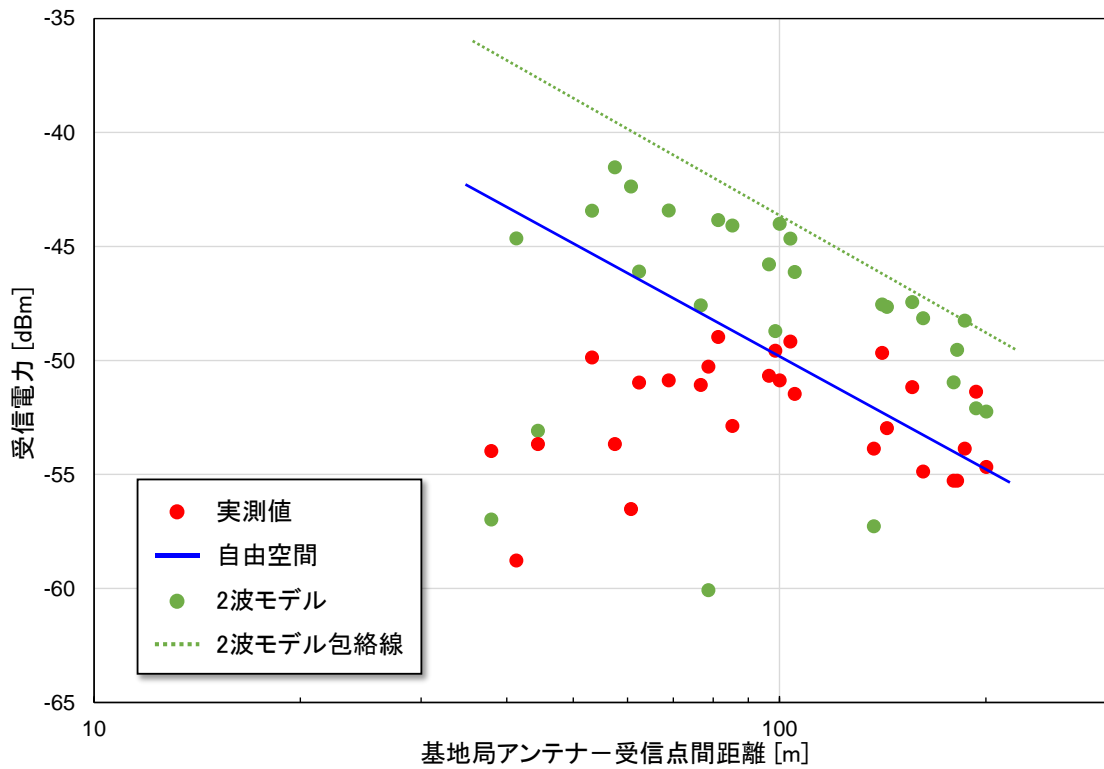


図 3-24 ドローン飛行エリアにおける送受信間距離対受信電力特性(上流側、下段)

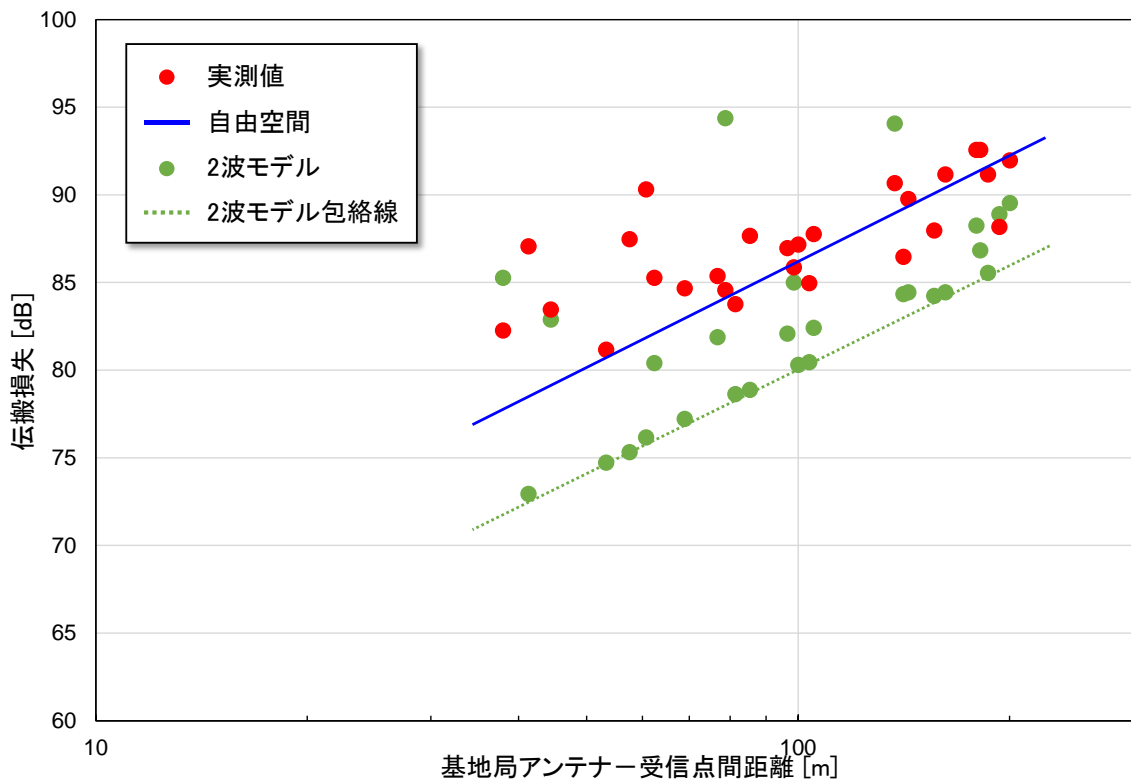


図 3-25 ドローン飛行エリアにおける送受信間距離対伝搬損失特性(上流側、下段)

ダム上流側の湖面上のドローン飛行エリアにおいて端末受信アンテナが基地局アンテナより低い高度にある場合、図 3-25 に示すように、実測した受信電力から求めた実測伝搬損失特性は受信アンテナと基地局アンテナが同一高度の図 3-23 と比較して劣化しており、自由空間の伝搬損失特性あるいは 2 波モデルの伝搬損失特性から乖離が見られる。

前述のダム上流側の上段と異なり、基地局アンテナと受信アンテナの高度に 15m の差があるため、直達波についても基地局アンテナから見下ろす形で俯角が存在する。このときダム堤体近傍においては図 3-24 に示した測定の様子のように、直達波がかなり上方から届く形になる。また、エリアテストは図 3-21 に示したようにドローン筐体の下側に搭載されているため、ドローンの筐体によって直達波に遮蔽が発生している可能性がある。このため、ダム堤体近傍では、自由空間伝搬よりも伝搬損失が大きくなっているのではないかと考えられる。

そして、ダム堤体から離れるにつれて俯角が小さくなり遮蔽が解消されるため、伝搬損失は自由空間伝搬に近づいていき、さらに離れるにつれて上段と同様に 2 波モデルに漸近していているものと考えられる。

以上のことから、実運用段階においては、ドローンへの端末の搭載方法、特に端末アンテナの位置について十分に考慮する必要がある。例えば、今回の受信電力測定では基地局アンテナよりも高いポイントを飛行しなかったため、受信アンテナがドローン筐体の下側に位置したことによる遮蔽の影響が見られたが、一方で基地局アンテナよりも高い高度を飛行する運用を行う場合であれば遮蔽の影響は見られなかったと考えられる。



図 3-26 ダム上流側・下段ポイントの測定の様子

ウ) ダム下流側

ダムの下流側では、ダム堤体を反射面とする反射波の影響が強く出ると考えられるが、その際の基地局アンテナ及び受信アンテナとダム堤体との位置関係のパラメータを図 3-27 に示す。

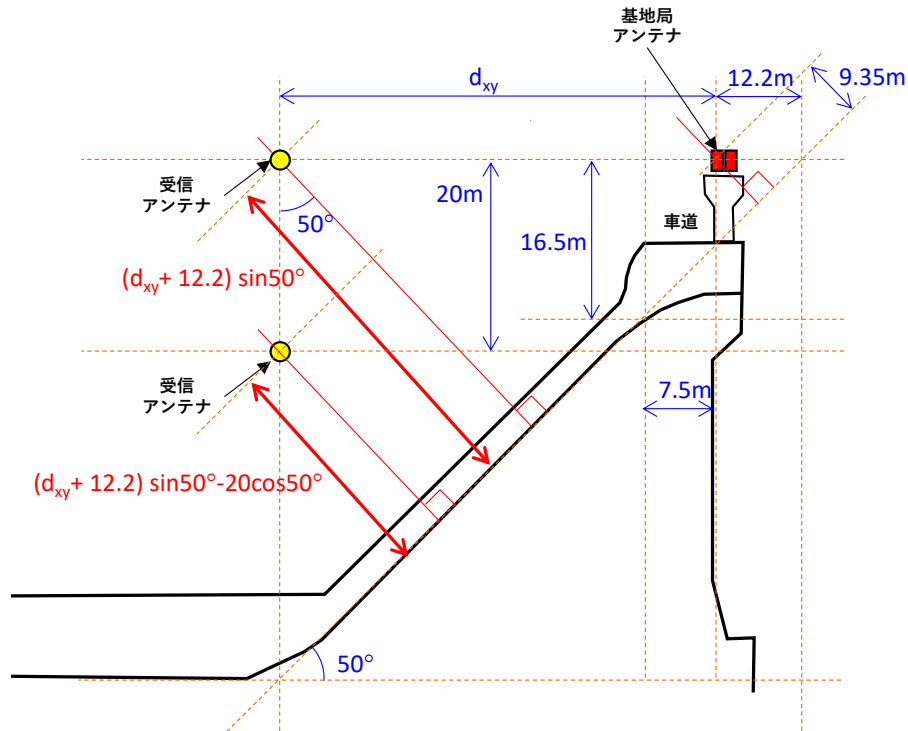


図 3-27 ダム堤体を反射面とする反射波に関する位置パラメータ

図 3-38 に、ダム下流側の測定ポイント (D-xxH/M/L) における、受信電力実測値、自由空間伝搬を仮定して算出した受信電力のグラフを示す。ダム下流はダム堤体が支配的な反射体である一方で、ドローンの位置によっては、地面や周辺山体も反射体となってしまう、図 3-28 に示されているすべての測定点の結果について、網羅的に解析を行うのは困難である。そこで、ダム下流側のダム堤体については、図 3-29 に示すように、垂直方向についてはダム堤体からの垂直距離に基づいて、測定点を 3 つのグループに分解することを考え、また、水平方向についてはダム山体からの反射波の影響が比較的小さい中央 9 点を採用して、当初仮定していた 2 波モデルとの関係について考察を行うものとした。

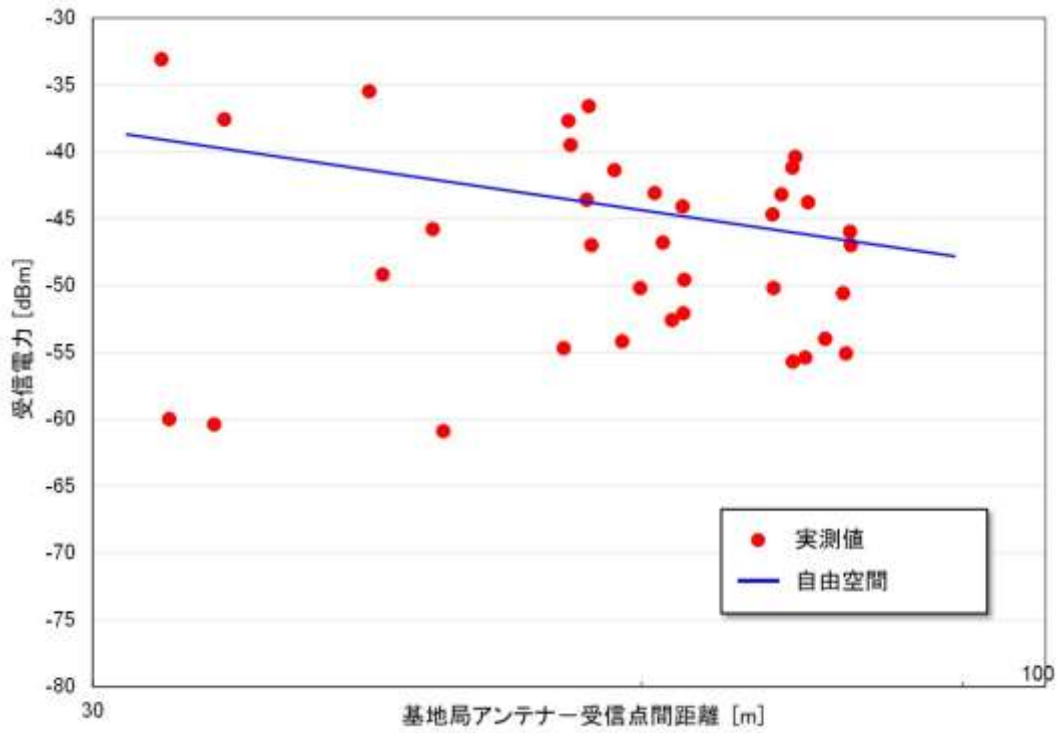


図 3-28 ダム下流側における受信電力の様子

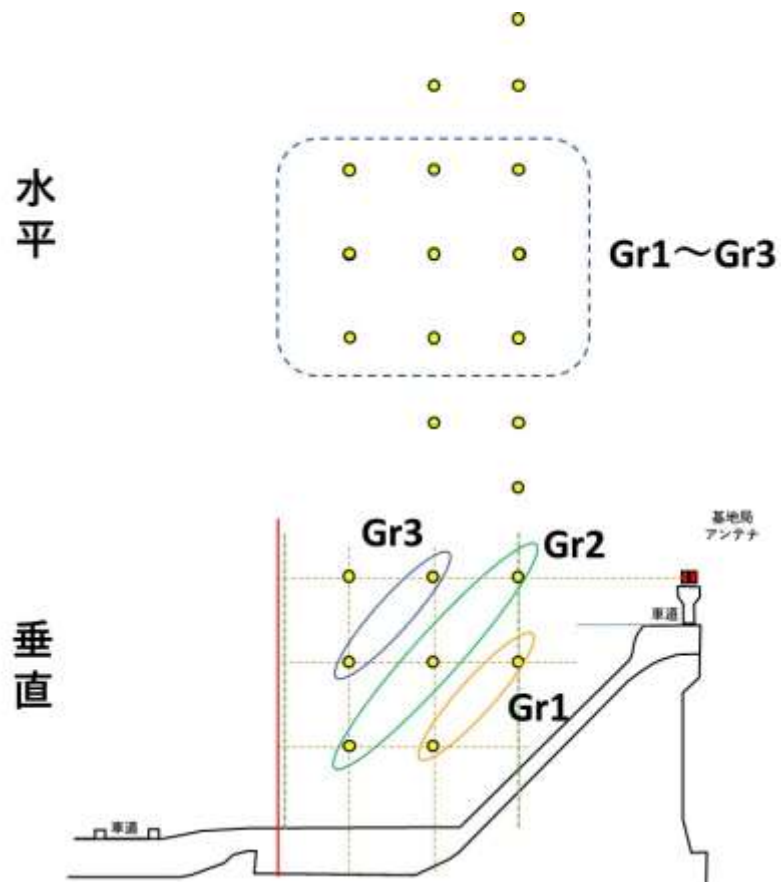


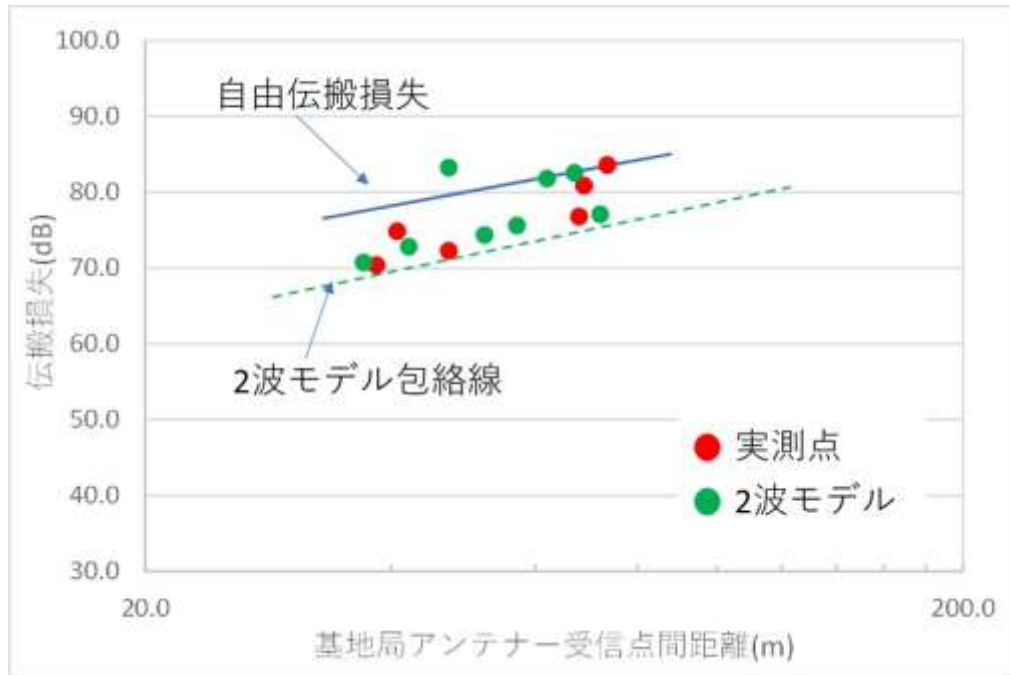
図 3-29 解析の分類

図 3-30(a)～図 3-30(c)はそれぞれのグループにおける伝搬損失の関係を示す図である。はじめにダム堤体に最も垂直距離が近いグループ(Gr1)については(図 3-30(a))、2 波モデルの包絡線に比較して、距離に対する傾向がおおよそ近いことが分かり、ダム堤体からの反射波の影響を受けていることが確認できる。一方で基地局アンテナからの距離が大きくなるにつれて、2 波モデルからの乖離が大きくなる。これは図 3-31 から分かるように Gr1 の遠方測定点については、ダム堤体からの反射に加えて、地面からの反射の影響が強くなるためと考えられる。ダム堤体に対して、2 番目に垂直距離が近いグループ(Gr2)については(図 3-30 (b))、やはり 2 波モデルの包絡線に比較して、距離に対する傾向が近いことが分かるが、基地局アンテナに近い測定点については、乖離が大きい。当該測定点は、ダム堤体の反射面から若干外れており、ダム堤体自身からの反射を受けにくい点となっているためである。最後に、ダム堤体に垂直距離が最も遠いグループ(Gr3, 図 3-30(c))については、ダム堤体斜面からの反射波以外の反射波の影響が軽微であることから、2 波モデルの包絡線と同じ距離傾向を示していることが分かる。

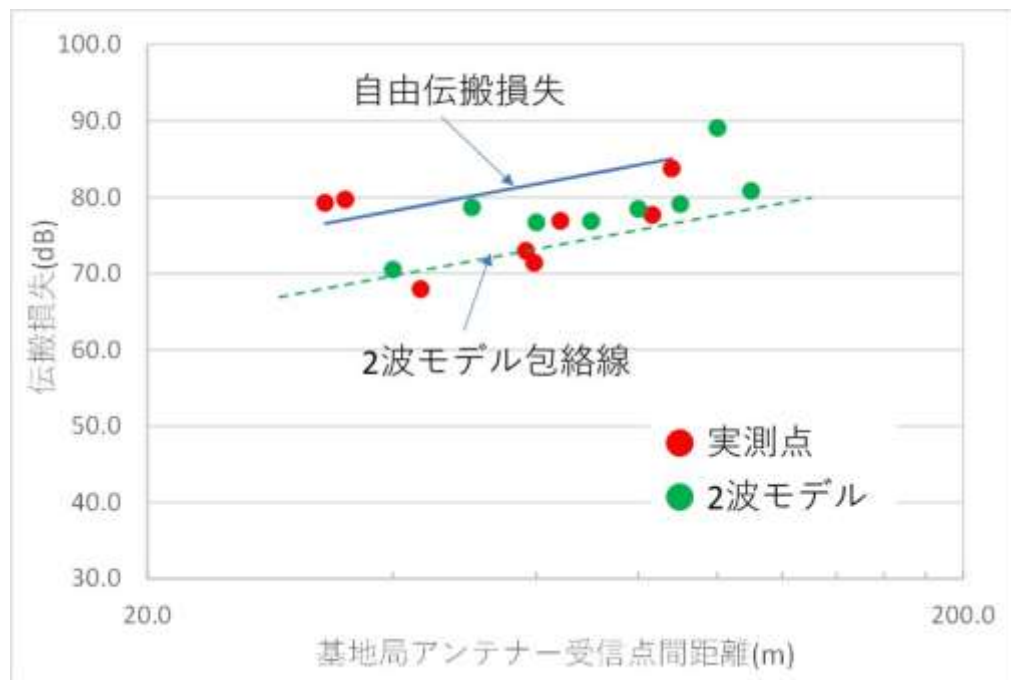
以上の検討結果から、ダム下流側、すなわちダム堤体近傍については、基本的には 2 波モデルに近い傾向を示すことが分かる。すなわち、ダム堤体からの強い反射波を受けて、比較的低い伝搬損失をなす点が多い。当然ながら、逆位相の反射波を受けることで、極端に高い伝搬損失となる点も存在することを意味している。しかし、本実証試験で想定するような、ドローンによる無線装置の運用の場合、ドローンが 1 点に完全にとどまって運用されることは想定されておらず、また機体自体の振動や風による揺れの影響を考慮すれば、当該の極端に高い伝搬損失となる点に固定されるという状況が発生する可能性は非常に低いと考えられる。本実証試験においても、各測定ポイントにおける測定において、極端に高い伝搬損失で固定されるという状況は発生しなかった。

また、本実証環境においては地面や山体が対象となるが、ダム堤体以外の反射体に近づくと、2 波モデルから若干乖離が大きくなり、伝搬損失は高くなる傾向にあることが分かった。これは、ダム堤体以外の反射体からの反射波の影響が若干強まるためであるが、このような状況にあっても、自由伝搬損失と比較して極端に伝搬損失が小さくなるようなことはないことが分かった。

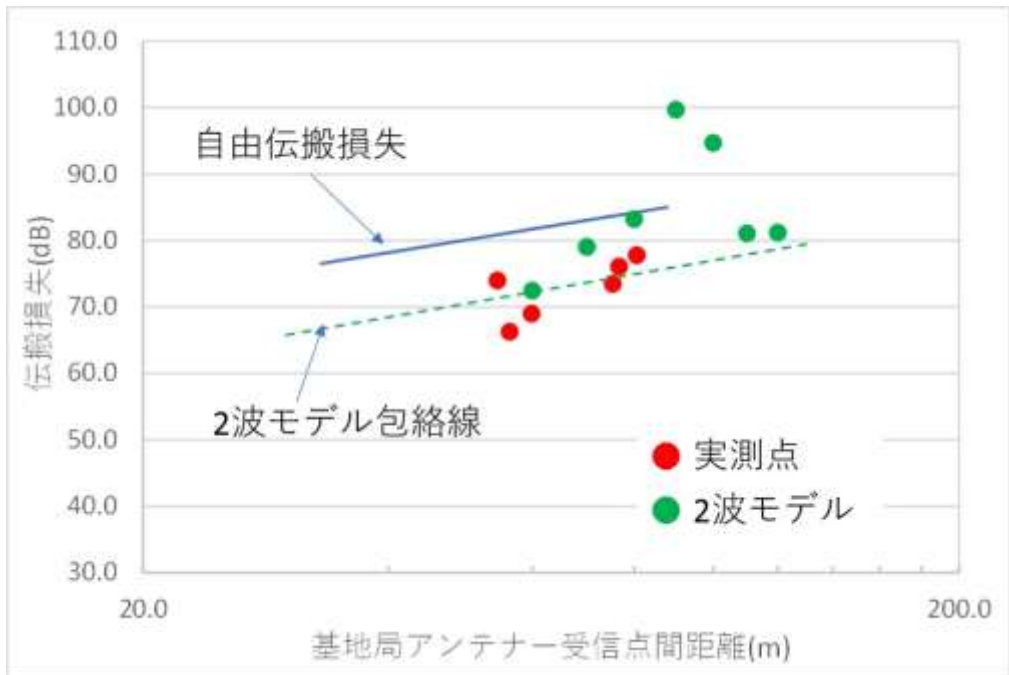
以上を整理すると、ダム下流側、すなわちダム堤体近傍については、基本的には 2 波モデルに近い傾向を示すものと考えられることがわかる。また、ドローンでの無線装置の運用によれば、2 波モデル特有の極端に伝搬損失が大きくなる点にはまり込む可能性は低いことから、実際のソリューションを展開する通信エリア設計においては、2 波モデルで定義される伝搬損失の中央値もしくは平均値を参考にすることが可能と考えられる。また、ドローンがダム堤体以外の反射体に近づけば、2 波モデルから若干乖離するが、自由伝搬損失と比較して極端に伝搬損失が小さくなるようなことはない。このことから、実際のソリューションを展開する通信エリアと比しての遠方地域、具体的には干渉の調整対象区域を検討するような場合においては、本実証試験のように、ドローンの飛行高度が極端に高くないのであれば、自由伝搬損失で与干渉電力を見積もることが有効ではないかと考えられる。



(a) ダム堤体近傍グループ



(b) ダム堤体中間グループ



(c) ダム堤体遠方グループ

図 3-30 ダム下流側のグループにおける伝搬損失の関係を示す図



図 3-31 ダム下流側の測定の様子

2) カバーエリア・調整対象区域

まず、実際に受信電力測定を行った測定ポイントを図 3-32 に示す。基本的には図 3-32 で設定した測定ポイントにおいて測定を実施したが、山間部で道路が狭いため、安全に測定できないポイントが存在したため、それらについては代替の測定ポイントを設定しなおして測定を行った。



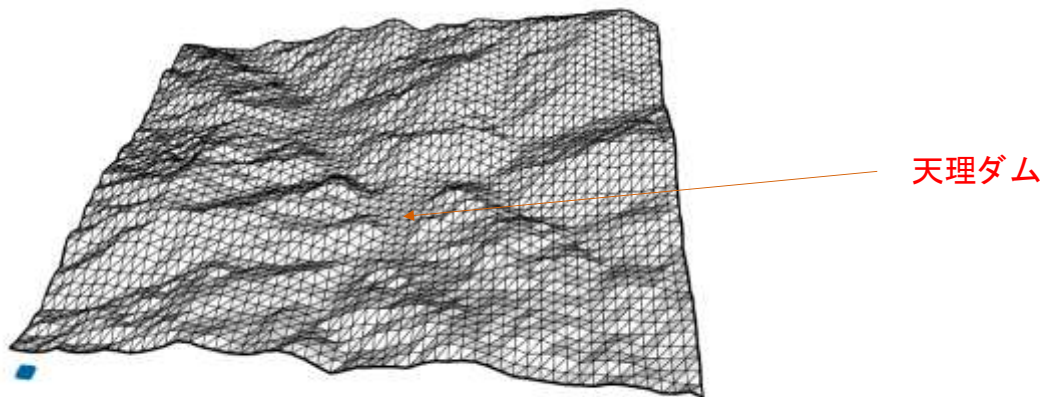
図 3-32 実測ポイント図

a. 電波伝搬シミュレーション結果

図 3-33 に電波伝搬シミュレーションに使用した、カバーエリア・調整対象区域を含む 3D モデルの図を示す。

図 3-33 のモデルを用いて図 3-32 に示した実測ポイントの受信電力を算出した結果を表 3-15 に示す。さらに、図 3-34 にその結果を地図上に表示した図を示す。

右上座標: **34.600878, 135.891884**



左下座標: **34.576769, 135.861603**

図 3-33 カバーエリア・調整対象区域の 3D モデル(50m メッシュ)

表 3-15 カバーエリア・調整対象区域の電波伝搬シミュレーション結果

測定ポイント番号	受信電力[dBm]	備考
A-1	-53.5	下流側
A-2	-63.4	下流側
A-3	-60.6	下流側
A-4	-72.2	下流側
A-5	-73.9	下流側
A-6	-76.2	下流側
A-7	-77.4	下流側
A-8	-86.3	下流側
A-9	-78.4	下流側
A-10	-85.5	下流側
A-11	-81.3	下流側
A-12	-93.5	下流側
A-13	-83.4	下流側
A-14	-82.1	下流側
A-15	-84.0	下流側
A-16	-75.3	下流側

測定ポイント番号	受信電力[dBm]	備考
A-17	-76.2	下流側
A-18	-74.0	下流側
A-19	-75.4	下流側
B-1	-62.7	上流側
B-2	-65.6	上流側
B-3	-65.8	上流側
B-4	-67.0	上流側
B-5	-66.8	上流側
B-6	-68.4	上流側
B-7	-68.2	上流側
B-8	-72.3	上流側
B-9	-72.5	上流側
B-10	-73.4	上流側
B-11	-71.1	上流側
B-12	-69.3	上流側
B-13	-73.6	上流側
B-14	-67.2	上流側
B-15	-70.1	上流側
B-16	-70.2	上流側
B-17	-72.0	上流側
B-18	-74.6	上流側
B-19	-73.0	上流側
B-20	-63.7	上流側
B-21	-66.6	上流側
B-22	-57.3	上流側
B-23	-64.7	上流側
B-24	-72.9	上流側
C-1	-69.3	上流側
C-2	-72.1	上流側
C-3	-74.4	上流側
C-4	-75.7	上流側
C-5	-76.1	上流側
C-6	-76.7	上流側
C-7	-78.9	上流側
C-8	-83.8	上流側
C-9	-81.4	上流側

測定ポイント番号	受信電力[dBm]	備考
C-10	-83.2	上流側
C-11	-83.0	上流側
C-12	-83.2	上流側
C-13	-74.5	上流側
C-14	-75.3	上流側
C-15	-74.7	上流側
C-16	-68.1	上流側

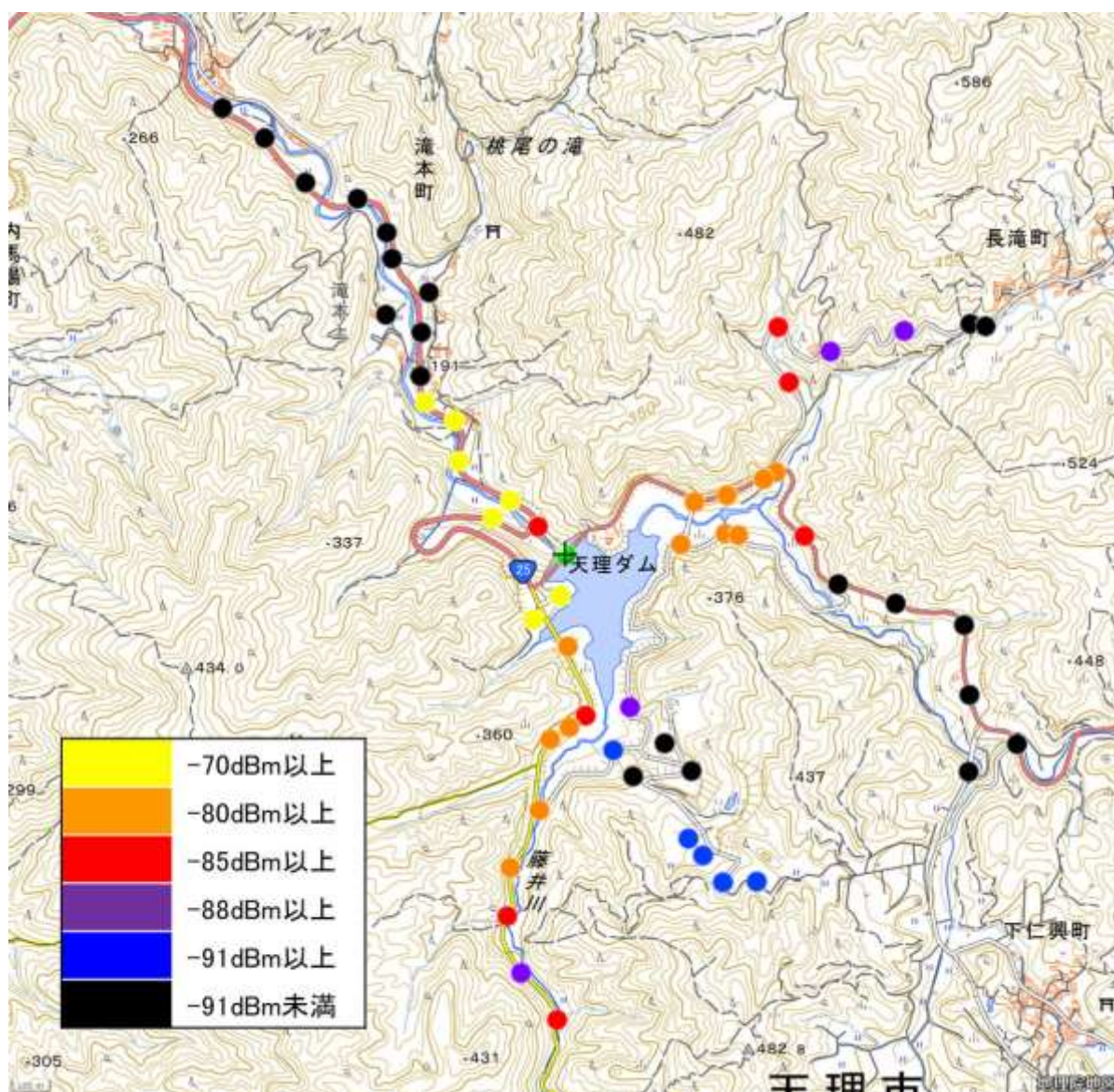


図 3-34 カバーエリア・調整対象区域の電波伝搬シミュレーション結果

図 3-35 より、ダム下流側（北西方向の A で始まるポイント）では、基地局アンテナより標高がダム直近のポイントで約 60m、最も低いポイントで 130m 以上低くなっているが、基地局アンテナにダウンチルトを 30° に設定している影響もあり、NLOS となる A-5 から遠い地点において急激に受信電力が落ち始めていることがわかる。

また、ダム上流側では、谷筋は両側が急激に立ち上がる崖に挟まれた細い道となっているが、山体による反射波が多数到達する（後述の三次元パスの様子を参照）ため、谷筋の奥まで一定程度の受信電力が得られていることがわかる。

図 3-35 から図 3-40 に幾つかの特徴的なポイントについて、伝搬シミュレーションによる三次元パスの様子を表示させた図を示す。

いずれのポイントにおいても、周囲の山体からの反射波が数多く到達する結果となっている。特に、上流側の開けた高台にある公園のポイント B-8 及び B-10 では、ダム湖面での反射波が観測されている様子が見える。

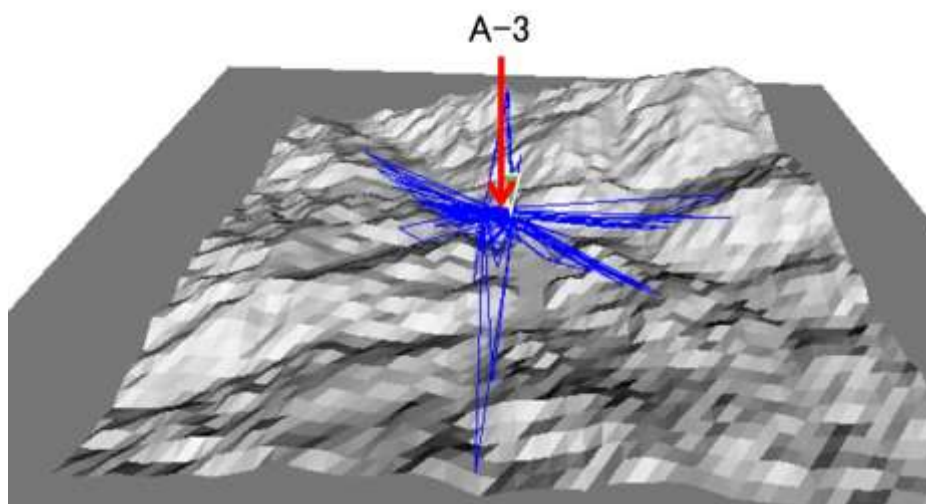


図 3-35 測定ポイント A-3 における 3D パスの様子(下流側ダム堤体直近・LOS)

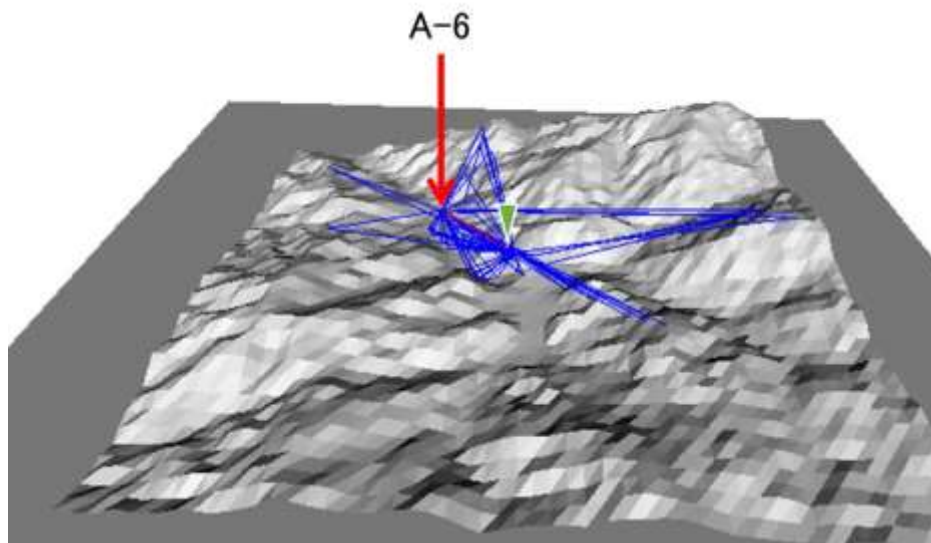


図 3-36 測定ポイント A-6 における 3D パスの様子(下流側・NLOS)

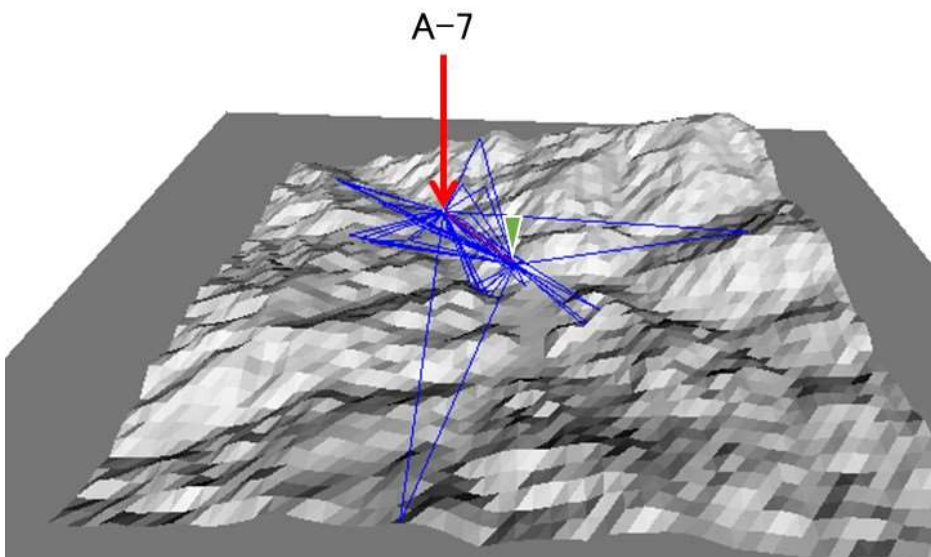


図 3-37 測定ポイント A-7 における 3D パスの様子(下流側・NLOS)

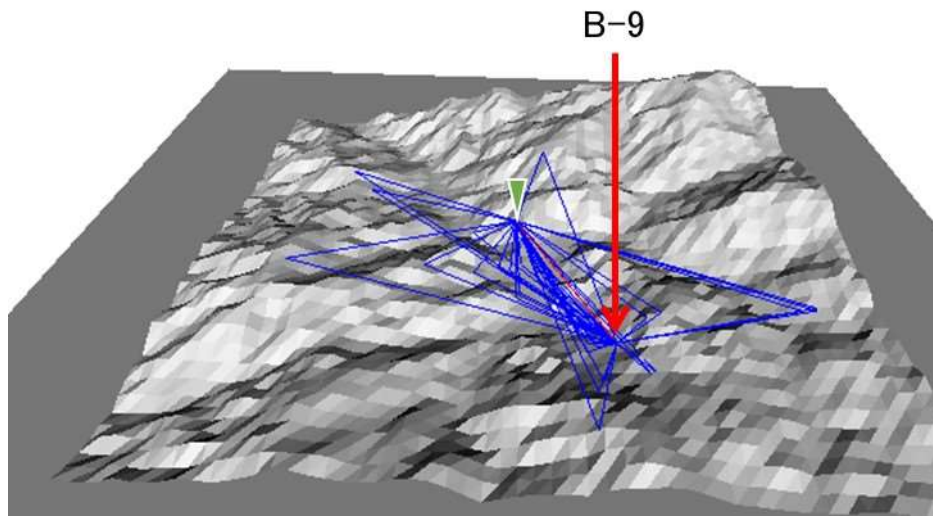


図 3-38 測定ポイント B-9 における 3D パスの様子(上流側高台公園・NLOS)

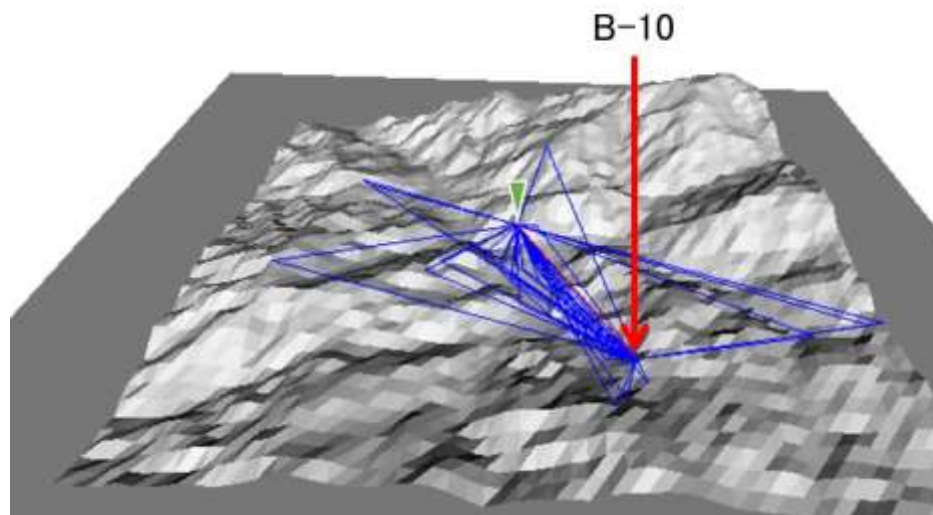


図 3-39 測定ポイント B-10 における 3D パスの様子(上流側高台公園・LOS)

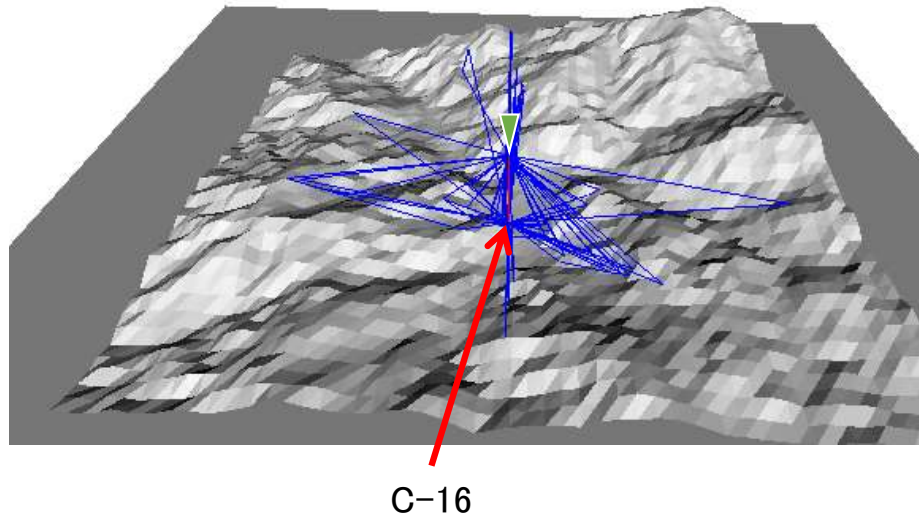


図 3-40 測定ポイント C-16 における 3D パスの様子(上流側・NLOS)

b. 受信電力測定結果

まず、表 3-16 に、今回実際に測定を行ったポイントの詳細情報を示す。

さらに、図 3-41(1)～(43)に、各測定ポイントからの基地局アンテナ方向の写真を示す。

なお、実証エリアは、樹木が密度高く生えている森林となっている急峻な山間地となっており、基本的に道路や公園となっている場所以外には安全に立ち入ることができなかった。また、道路についても、特に上流側では谷間を縫うように曲がりくねって走る細い道路となっているため、安全に測定できないエリアが多数存在した。

表 3-16 カバーエリア・調整対象区域実測ポイント情報

番号	緯度[deg]	経度[deg]	標高[m]	アンテナ間距離 [m]		基地局アンテナに 対する角度[deg]		基地局 アンテ ナ利得 [dBi]
				水平	3D	仰角	水平角	
A-1	34.589076	135.8758791	221.1	100.8	115.7	314.5	0.5	11
A-2	34.58928727	135.874623	224.5	209.4	216.1	296.7	15.7	7
A-3	34.58968246	135.8751162	213.9	197.8	208.0	314.2	12.0	8.5
A-4	34.590573	135.8736682	200.1	362.6	370.9	310.8	17.9	3
A-5	34.59151499	135.873544	194.5	445.3	453.0	320.0	19.4	2.5
A-6	34.59255142	135.8725743	188.0	590.6	597.4	320.6	21.3	0
A-16	34.59192828	135.8727318	191.7	529.0	536.0	317.0	20.7	1
A-17	34.59253354	135.8725913	188.0	588.0	594.9	320.6	21.3	0
A-18	34.59152889	135.8735167	193.9	448.1	455.9	319.9	19.4	2.5
A-19	34.59194978	135.8727368	191.7	530.4	537.4	317.2	20.8	1
B-1	34.58631965	135.8767135	274.3	235.2	235.2	178.8	-0.9	8.5
B-2	34.58472256	135.8772069	273.6	415.3	415.3	173.1	-0.6	10
B-3	34.58492764	135.8784561	276.1	422.9	422.9	157.1	-0.3	10.25
B-4	34.58410172	135.8794275	298.4	543.9	544.3	152.2	2.1	11
B-5	34.58393933	135.8779786	275.4	513.6	513.6	166.4	-0.3	10
B-7	34.5833347	135.8785328	301.3	591.7	592.1	163.1	2.3	10
B-8	34.58190323	135.880095	347.0	790.5	793.5	156.5	5.0	10.5
B-9	34.58151945	135.8805005	347.5	844.5	847.4	155.4	4.7	10.5
B-10	34.58089438	135.8810477	369.1	928.6	933.1	154.3	5.6	10.25
B-11	34.58979536	135.8811509	274.2	438.4	438.5	69.9	-0.5	7
B-12	34.58963453	135.880268	277.1	356.4	356.4	68.2	-0.1	6.5
B-13	34.59033227	135.8825428	276.4	579.0	579.0	68.7	-0.2	6.5
B-14	34.58887287	135.8814712	274.1	443.8	443.8	83.8	-0.5	9
B-15	34.58885928	135.8833284	284.1	613.4	613.4	85.6	0.6	9
B-19	34.59017407	135.8821833	277.6	541.9	541.9	69.2	0.0	6.5
B-20	34.58867539	135.879865	272.2	295.0	295.1	84.9	-1.1	9
B-21	34.58890989	135.8811221	276.7	412.5	412.5	82.7	-0.2	8.5
B-22	34.58749167	135.8765083	271.4	106.0	106.2	187.6	-3.6	7.5
B-23	34.58693554	135.8757551	270.8	186.4	186.5	206.5	-2.2	2.5
C-2	34.58256041	135.8759301	267.0	655.6	655.7	185.9	-1.0	7.5
C-16	34.58446339	135.8767545	274.4	441.1	441.1	178.9	-0.5	9



(1) A-1



(2) A-2



(3) A-3



(4) A-4



(5) A-5



(6) A-6



(7) A-7



(8) A-8



(9) A-9



(10) A-10



(11) A-11



(12) A-12



(13) A-13



(14) A-14



(15) A-15



(16) A-16



(17) A-17



(18) A-18



(19) A-19



(20) B-1



(21) B-2



(22) B-3



(23) B-4



(24) B-5



(25) B-6



(26) B-7



(27) B-8



(28) B-9



(29) B-10



(30) B-11



(31) B-12



(32) B-13



(33) B-14



(34) B-15



(35) B-19



(36) B-20



(37) B-21



(38) B-22



(39) B-23



(40) B-24



(42) C-1



(43) C-2



(42) C-12



(43) C-16

図 3-41 測定ポイントの様子

表 3-17 から表 3-19 に、各測定ポイントにおける、エリア算出法によって算出した受信電力値、(2)実証仮説で予想した K 及び S を用いて算出した受信電力仮説値、並びに受信電力測定結果を示す。

なお、表中の「N/A」は、その測定ポイントにおける受信電力がエリアテストの測定限界を下回っており、測定できなかったことを表している。エリアテストの公開されている仕様書には測定限界に関する項目はないが、これまでの経験から、(平均の) SS-RSRP が -130dBm を下回る地点になるとフェージング等の変動の影響で測定できないサンプルが出始め、 -140dBm を下回る値は測定結果にほぼ記録されていないことがわかっている。以上から、帯域を 100MHz として換算した際の RSRP が -100dBm 付近がエリアテストの測定限界であると推測され、伝搬損失が 137dB 以上ある場合と考えられる。

地理院地図の地形情報から LOS と推測した地点でも実際には完全な NLOS であった地点も数多く存在しており、複雑に入り組んだ地形では地形情報の誤差が無視できない場合があることがわかった。

また、伝搬シミュレーションの結果では、山体による多数の反射波が確認できたが、実証場所の山体は背の高い樹木から背の低い草木まで密度高く茂っている影響からか(図 3-2、図 3-3

参照)、山体からとみられる強い反射波はほとんどのポイントで観測できなかった。

表 3-17 測定ポイントにおける受信電力算出値と測定結果(下流側)

番号	算出式 [dBm]	仮説値 [dBm]	実測値[dBm]					遅延分散 [μs]
			中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%	
A-1	-50.1	-52.6	-60.8	-60.0	4.2	-54.1	-65.3	0.200
A-2	-62.3	-67.8	-64.1	-64.2	2.7	-60.9	-67.7	0.185
A-3	-60.0	-65.5	-59.0	-59.7	4.0	-54.5	-65.7	0.184
A-4	-74.7	-80.2	-74.3	-74.8	3.2	-71.4	-79.0	0.167
A-5	-78.4	-83.9	-85.8	-85.7	3.8	-80.9	-89.8	0.231
A-6	-85.2	-90.7	-95.7	-96.0	3.5	-91.8	-101.0	0.321
A-7	-87.3	-92.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-8	-91.7	-97.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-9	-93.0	-98.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-10	-95.2	-100.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-11	-96.3	-101.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-12	-98.0	-103.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-13	-100.5	-106.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-14	-103.4	-108.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-15	-105.8	-111.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-16	-82.5	-88.0	-86.8	-87.6	3.5	-84.2	-92.7	0.309
A-17	-85.1	-90.6	-95.1	-95.3	4.0	-90.2	-100.8	0.363
A-18	-78.5	-84.0	-81.5	-81.5	1.9	-78.9	-84.1	0.184
A-19	-82.5	-88.0	-93.4	-93.8	3.0	-90.2	-97.6	0.386

表 3-18 測定ポイントにおける受信電力算出値と測定結果(上流側その 1)

番号	算出式 [dBm]	仮説値 [dBm]	実測値[dBm]					遅延分散 [μs]
			中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%	
B-1	-62.6	-68.1	-72.9	-72.8	3.2	-68.7	-77.0	0.369
B-2	-69.8	-75.3	-86.2	-86.2	3.4	-82.0	-90.2	0.294
B-3	-69.8	-75.3	-60.1	-61.5	4.4	-57.1	-68.0	0.186
B-4	-72.9	-78.4	-89.5	-90.1	3.3	-86.7	-94.6	0.326
B-5	-73.0	-78.5	-65.3	-66.3	4.4	-61.2	-73.1	0.181
B-6	-75.4	-80.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B-7	-75.2	-80.7	-75.7	-76.5	4.3	-71.6	-82.7	0.185
B-8	-79.1	-84.6	-72.5	-72.9	3.1	-69.5	-77.5	0.180
B-9	-80.2	-85.7	-84.7	-85.6	4.0	-81.6	-91.2	0.207
B-10	-81.9	-87.4	-67.7	-68.8	4.9	-63.6	-75.3	0.170
B-11	-73.6	-79.1	-83.4	-83.6	2.7	-80.1	-87.2	0.422
B-12	-71.0	-76.5	-80.8	-81.0	3.3	-76.9	-85.6	0.316
B-13	-78.4	-83.9	-89.0	-89.4	3.9	-84.7	-94.7	0.269
B-14	-71.8	-77.3	-87.7	-88.0	3.8	-83.5	-92.7	0.382
B-15	-76.8	-82.3	-94.4	-94.7	4.1	-89.7	-100.1	0.315
B-16	-77.8	-83.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B-17	-80.8	-86.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B-18	-83.8	-89.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B-19	-77.4	-82.9	-86.7	-86.9	2.8	-83.8	-90.3	0.273
B-20	-65.6	-71.1	-67.9	-68.1	2.9	-64.6	-71.8	0.292
B-21	-71.2	-76.7	-76.0	-76.6	4.8	-70.5	-83.1	0.207
B-22	-52.9	-56.9	-55.0	-55.6	3.7	-51.2	-60.7	0.192
B-23	-65.0	-70.5	-74.7	-74.9	3.2	-71.0	-79.6	0.340
B-24	-82.0	-87.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 3-19 測定ポイントにおける受信電力算出値と測定結果(上流側その2)

番号	算出式 [dBm]	仮説値 [dBm]	実測値[dBm]					遅延分散 [μs]
			中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%	
C-1	-94.0	-89.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-2	-99.5	-94.8	-96.3	-96.4	3.6	-91.8	-101.4	0.453
C-3	-103.3	-98.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-4	-105.4	-100.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-5	-107.0	-102.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-6	-107.6	-102.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-7	-105.4	-100.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-8	-109.9	-105.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-9	-109.0	-104.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-10	-111.0	-106.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-11	-111.6	-106.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-12	-112.0	-107.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-13	-104.8	-100.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-14	-106.4	-101.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-15	-104.9	-100.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C-16	-91.9	-87.2	-90.7	-91.1	2.8	-88.0	-94.7	0.376

c. 分析・考察

表 3-17 から表 3-19 の受信電力測定結果、図 3-41 の測定ポイントの状況及び地形等から、伝搬モデル精緻化の対象を図 3-42 に示す 3 グループとした。

3 グループそれぞれの伝搬環境はそれぞれ以下の通りである。

- ・精緻化グループ 1

伝搬環境：ダム下流側に広がっている地形であり、緩やかな下り傾斜となっている。周辺に山体はあり、また樹木などの反射体も平均的に存在している。

- ・精緻化グループ 2

伝搬環境：ダム上流側に広がっている地形であり、穏やかな上り傾斜となっている。周辺に山体はあり、また樹木などの反射体も多い。

- ・精緻化グループ 3

伝搬環境：ダム上流側に広がっている地形であり、穏やかな上り傾斜となっているが、グループ 2 と比較すると、樹木などの反射体は多い点と少ない点が混在している。

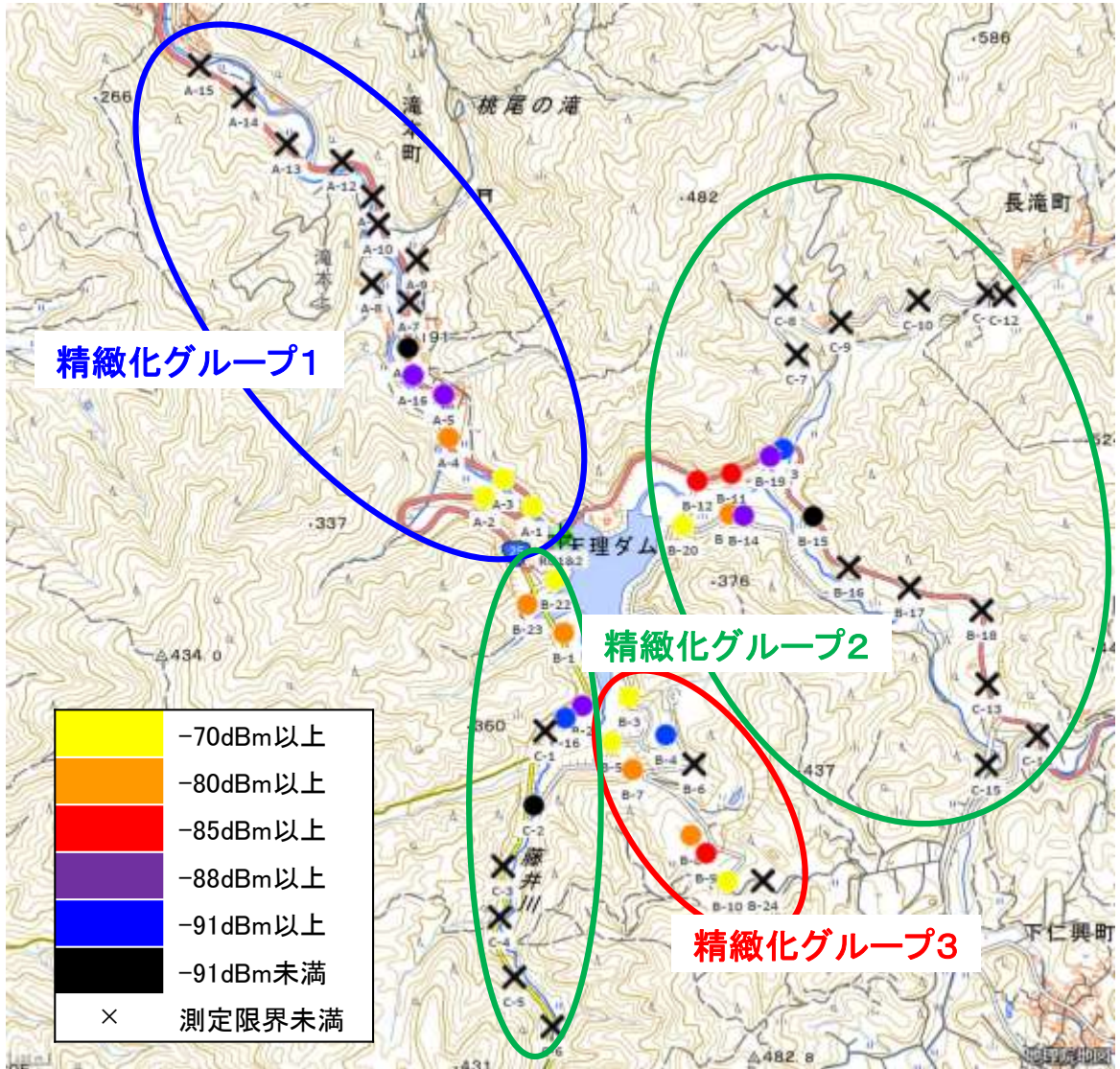


図 3-42 受信電力測定結果と精緻化グループ分け再検討結果

図 3-43 に下流側の精緻化グループ 1 における受信電力実測値、エリア算出法の算出式による受信電力及び実証前の仮説による受信電力の、送受信間距離に対する特性のグラフを示す。

なお、ドローン飛行エリアと同様に、受信電力の測定結果には測定ポイントの水平・垂直位置によって基地局アンテナの指向性の伴う送信アンテナ利得の変動の影響が内包されてしまっている。そこで、受信電力実測値についても、送信アンテナ利得の影響を除いた伝搬損失の値を算出して検討を行う（図 3-44）。

グループ 1 に属する測定点のうち、比較的基地局アンテナに近い A-1 から A-3 の 3 点に関しては、極めて伝搬損失が小さいことがわかる。これは、当該 3 点に関しては、基地局アンテナに対して、完全な見通し環境になっているためである。そのため、この 3 点に関しては、自由伝搬損失式によってモデル化するのが妥当と考え、以下では A-4 以降の測定点での実測値に基づいて精緻化を検討する。

実証前仮説においては、周辺山体から反射を考慮して $K=2$ を仮定し、一方で、 S に関しては開放地と郊外地の間にあたる環境と仮定し $S=25$ とした。実測値と仮説計算値を比較すると、実測された伝搬損失は相当に大きいことがわかった。これは、下流側エリアにおいては、最も狭い場所で幅 20m 程度しかなく両側は樹木が密集する山体が立ち上がっており（上り斜面）地形が複雑であり、受信点と基地局アンテナとの間で山体による遮蔽影響が想定よりも強かったためと考えられる。精緻化の結果、当初仮説とは異なり、より郊外地に近い値となる $S=16$ が妥当との結論を得た。なお、 K の値については、反射波の原因となる周辺山体については、測定ポイントによって大きく変化する様子が見られなかったため、 $K=2$ の想定で問題ないものとする。

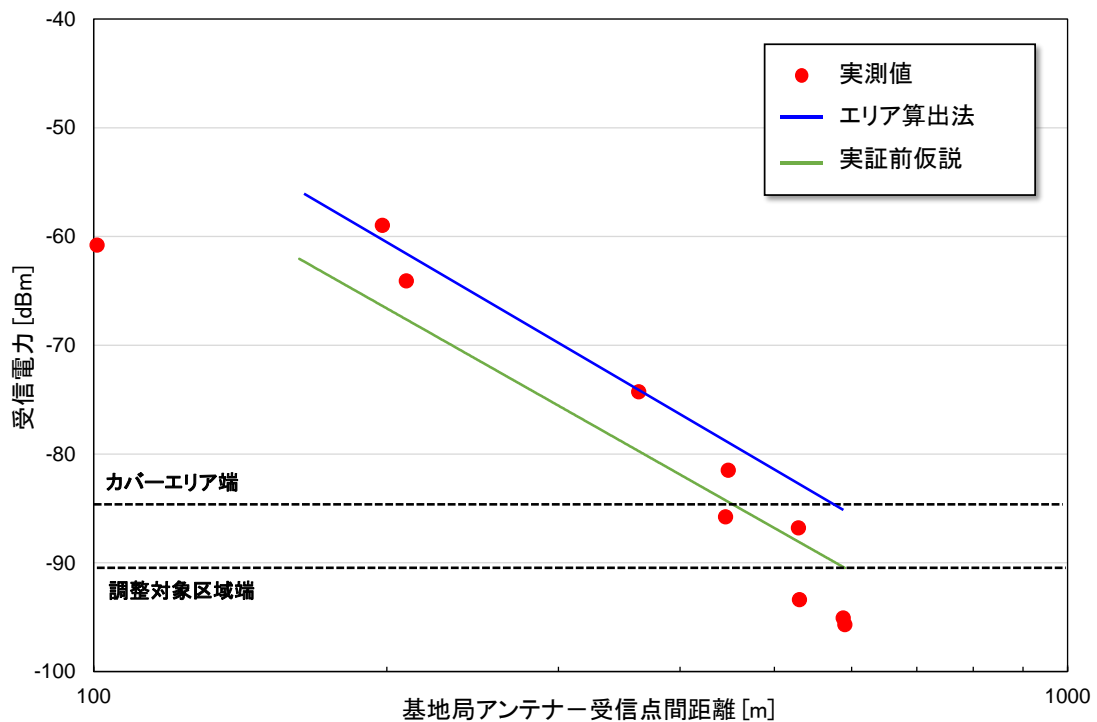


図 3-43 カバーエリアにおける送受信間距離対受信電力特性(グループ 1)

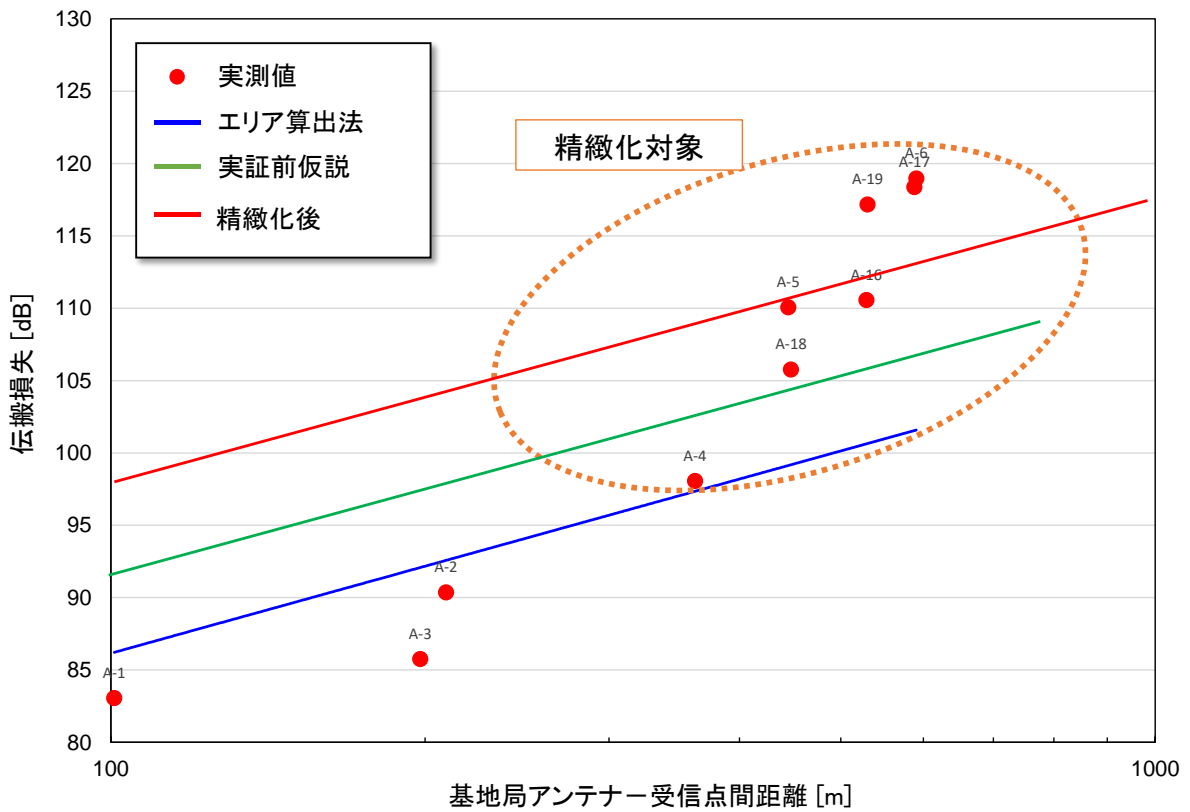


図 3-44 カバーエリアにおける送受信間距離対伝搬損失特性(グループ 1)

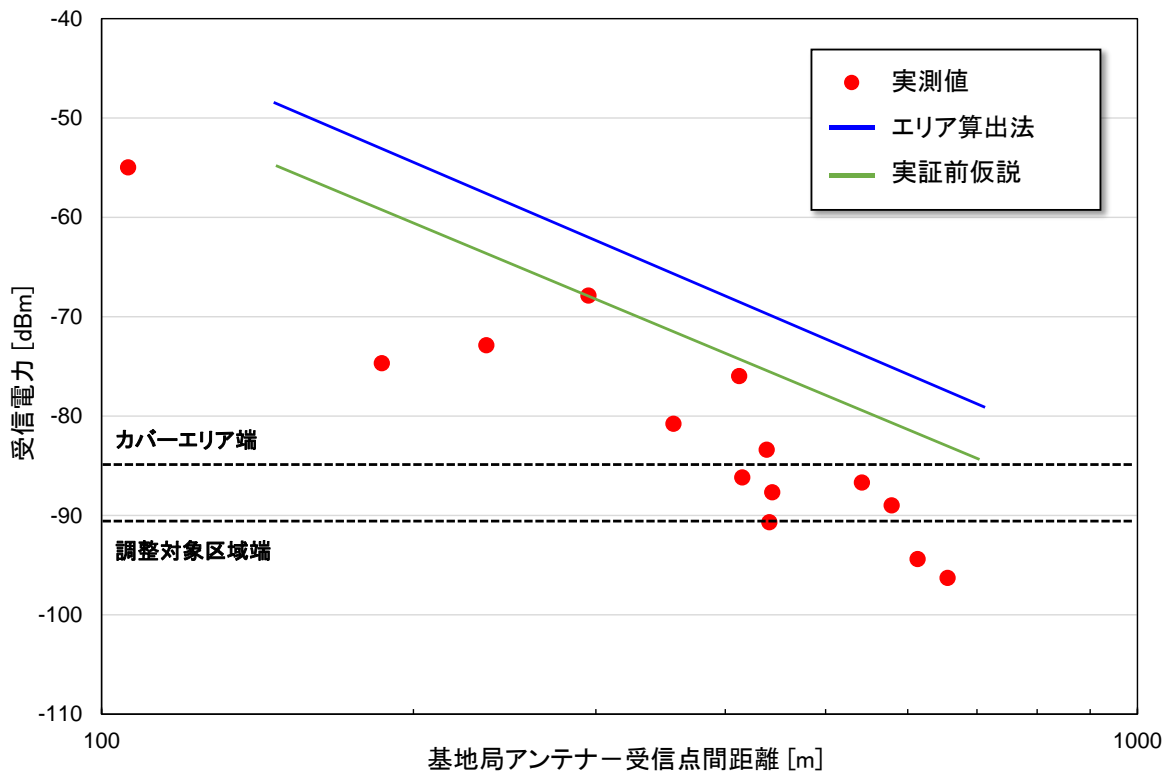


図 3-45 カバーエリアにおける送受信間距離対受信電力特性(グループ 2)

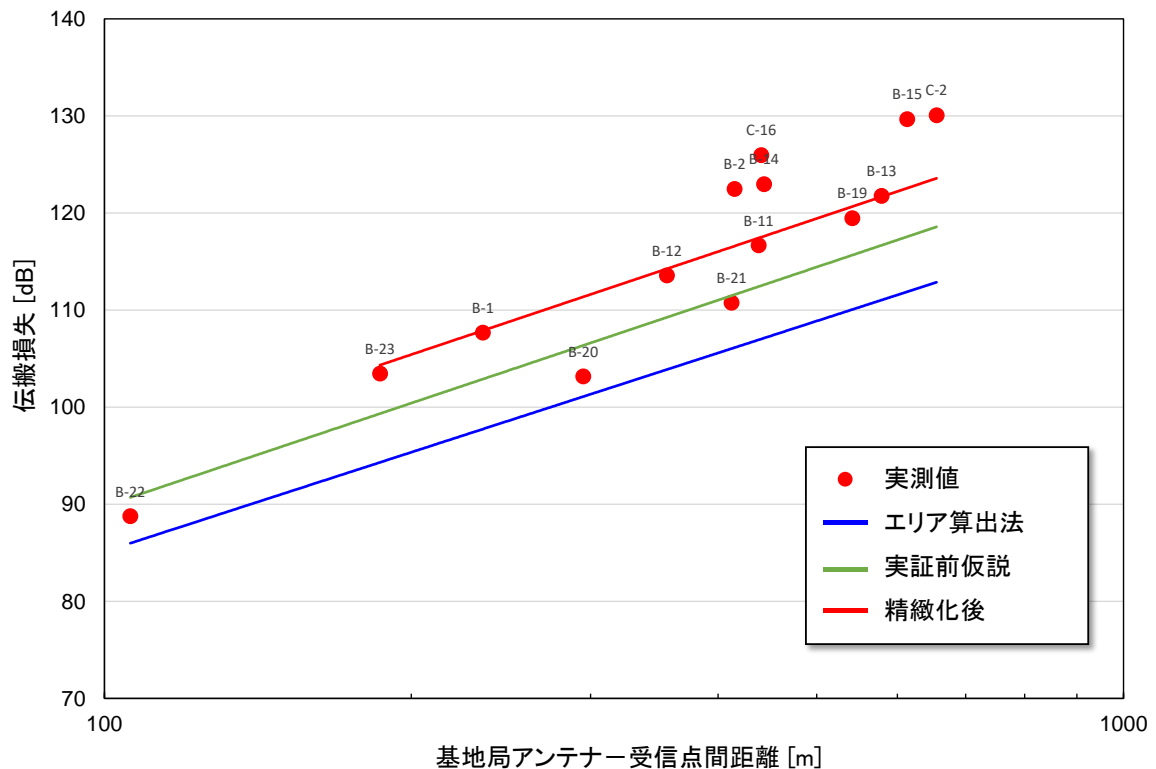


図 3-46 カバーエリアにおける送受信間距離対伝搬損失特性(グループ 2)

次にグループ 2 について、図 3-45 に受信電力実測値、エリア算出法の算出式による受信電力及び実証前仮説による受信電力の送受信間距離に対する特性を、図 3-46 に伝搬損失実測値、エリア算出法の算出式による伝搬損失及び実証前の仮説による伝搬損失の、送受信間距離に対する特性のグラフを示す。

実証前仮説においては、周辺山体から反射を考慮して $K=2$ を仮定し、一方で、 S に関しては開放地と郊外地の中間にあたる環境と仮定し $S=25$ とした。結果から見ると、実際の伝搬路損失は、実証前仮説よりも高いことが分かる。これは、実際の環境においては、地形の起伏が想定よりも大きく、より郊外地に近い S としなければならないことを示唆している。このことを踏まえ、改めて精緻化の検討を行ったところ、 $S=20$ とすることが妥当との結論を得た。なお、 K の値については、反射波の原因となる周辺山体（測定点から見て上り斜面）については、測定ポイントによって大きく変化する様子が見られなかったため、 $K=2$ の想定で問題ないものと考ええる。周辺斜度は地点によってばらつきはあるものの、平均的にはおよそ 20° 程度に見積もることができる。

なお、図 3-46 からは、グループ 2 の中でもさらに 3 つの傾向があることが分かる。それぞれ対象 (1)、対象 (2) および対象 (3) と考え、この様子を図 3-47 に示す。ここでは、先の精緻化式も併せて示している。それぞれの測定点の様子を詳細に分析すると、一般的にはおよそ見通し外の同じ環境として捉えることが可能であるグループ 2 の中においても、対象 (1) はより見通し外の環境、すなわち基地局アンテナに向かって遮蔽物が多く、一方で、対象 (3) は比較の見通しの環境、すなわち遮蔽物が少ない環境として捉えることが可能であることが分かる。このこと

を踏まえ、さらに細分化して精緻化を検討すると、 S は対象(1)は郊外地よりの13dB、対象(3)は開放地よりの27dBに設定することができる。図3-47に示すように、対象(1)～対象(3)において、それぞれ精緻化式が定義できることが分かる。このことから、およそ周辺の状況から、当該環境を特定した後においても、実際に運用される状況を詳細に観測することができる状況、本実証環境で考えれば、一般的に見通し外と分類される環境においても、見通し外の原因となる遮蔽物の多寡まで判定できるのであれば、さらに S の値を考慮することでより正確な伝搬損失の計算が可能となる。しかし、実際には、周辺エリアを詳細に分類することは困難であることが通常であることを考えれば、本実証環境において、グループ2に分類される環境であれば、 $S=20$ として、伝搬損失を計算するのが妥当と考える。

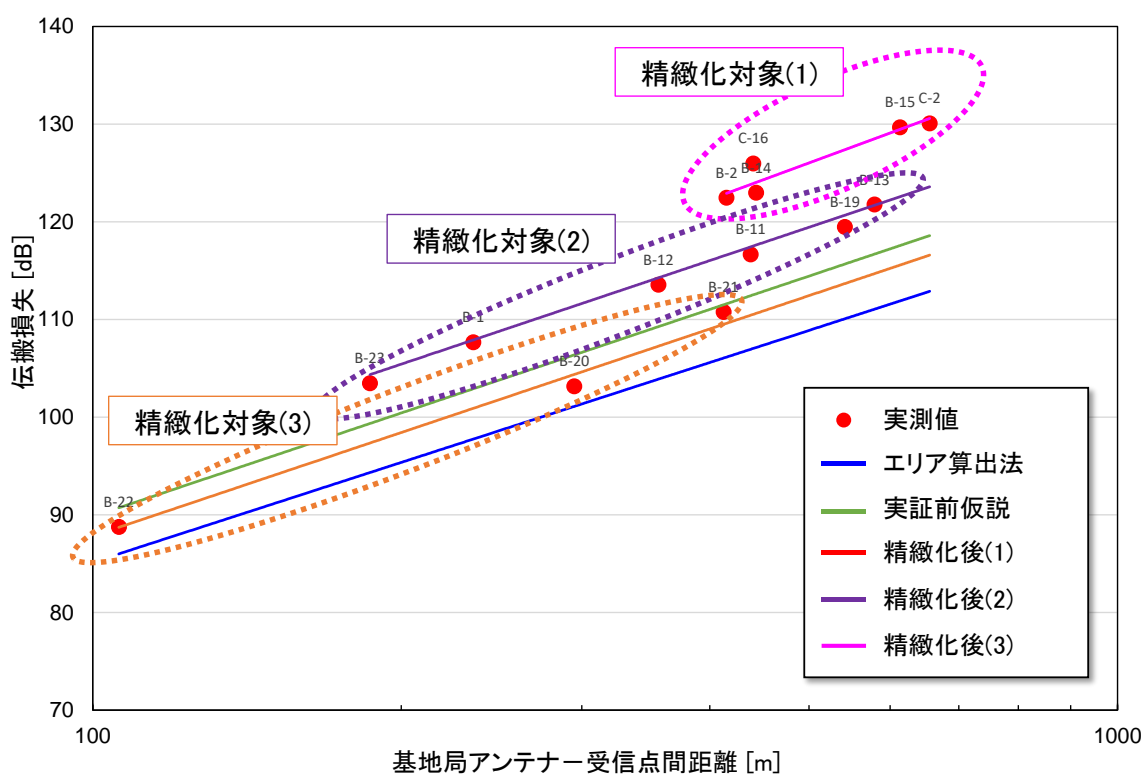


図 3-47 グループ細分化による精緻化検討(グループ 2)

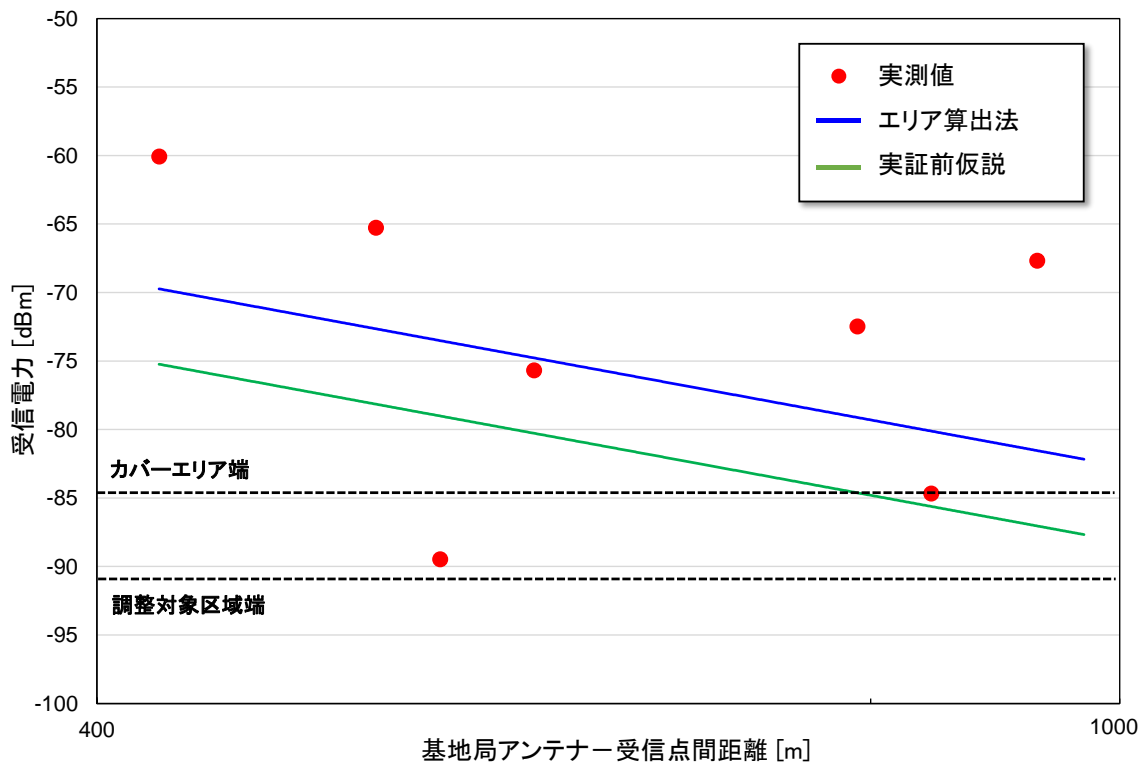


図 3-48 カバーエリアにおける送受信間距離対受信電力特性(グループ 3)

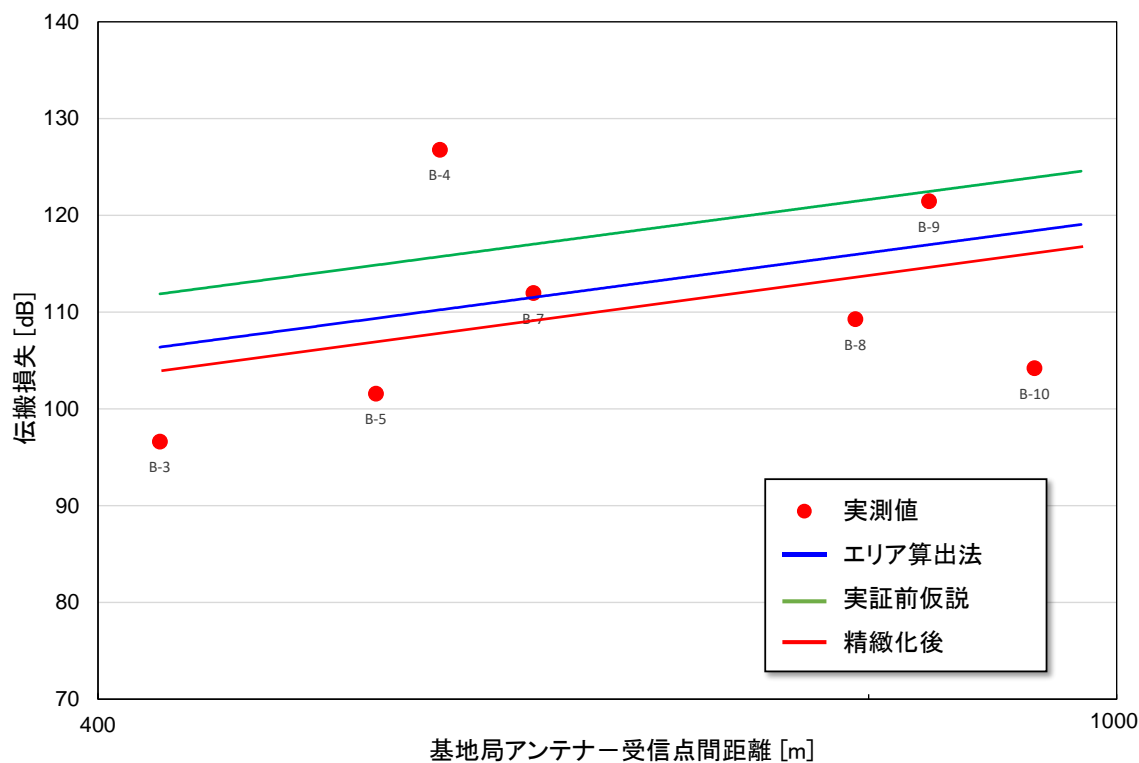


図 3-49 カバーエリアにおける送受信間距離対伝搬損失特性(グループ 3)

次にグループ 3 について、図 3-48 に受信電力実測値、エリア算出法の算出式による受信電力及び実証前仮説による受信電力の送受信間距離に対する特性を、図 3-49 にグループ 3 における伝搬損失実測値、エリア算出法の算出式による伝搬損失及び実証前の仮説による伝搬損失の、送受信間距離に対する特性のグラフを示す。

実証前仮説においては、周辺山体から反射を考慮して $K=2$ を仮定し、一方で、 S に関しては開放地と郊外地の中間にあたる環境と仮定し $S=25$ とした。結果から見ると、実際の伝搬路損失は、実証前仮説よりも小さいことがわかる。これは、実際の環境が広場や公園として整備されているエリアを含んでおり場所によっては基地局アンテナへの見通しが確保できる場合もあり、樹木などの遮蔽物が比較的少ないためであり、より開放地に近い S としなければならないことを示唆している。このことを踏まえ、改めて精緻化の検討を行ったところ、 $S=33$ とすることが妥当との結論を得た。なお、 K の値については、後述するように測定点毎に考えれば、反射体となりえる周辺山体（測定点から見て上り斜面）に対する見通しの状況について違いが存在したため、厳密に考えれば測定点毎に K の値を設定しなければならない。例えば、周辺山体からの見通し状況が強い B-3 や B-5 については、 $K=5$ 程度のさらに伝搬損失を小さくするような値が妥当であり、また周辺山体からの見通し状況が悪い B-9 のような地点においては、 $K=-9$ 程度のかかなり大きな補正が必要となる。しかし、測定点を平均的にとらえれば、 $K=2$ 程度が全体の環境とよく表現しているものと考え、 $K=2$ の想定で問題ないものとする。なお、グループ 3 もにおいても、グループ 2 と同様に、さらに 3 つの傾向があることが分かる。すなわち、より見通し環境に近い測定点 (B-3 および B-10) と、より見通し外環境に近い測定点 (B-4) として捉えることができる。このように実際の環境を詳細に分析すれば、より精度の高い精緻化は可能であるが、一方で、運用エリアを詳細に分類することも困難であることから、グループ 3 に分類される環境については、 $S=33$ として、伝搬損失を計算するのが妥当と考える。

以上をまとめ、精緻化後の K 、 S と、これらの適用条件を整理すると、表 3-20、表 3-21 の通りとなる。

表 3-20 精緻化後の K を適用する環境とそのときの K の値

精緻化後の <i>K</i> を適用する環境	精緻化後の <i>K</i> の値
両側が山体の溪谷 (両側とも上り斜面で、周辺斜度は平均的に見積もって 20°程度)	2.0 dB
周囲に山体が存在する傾斜地 (両側とも上り斜面で、周辺斜度は平均的に見積もって 20°程度)	2.0 dB

表 3-21 精緻化後の S を適用する環境とそのときの S の値

精緻化後の <i>S</i> を適用する環境	精緻化後の <i>S</i> の値
<ul style="list-style-type: none"> • 蛇行して下っていく溪谷で、最も狭い場所で幅 20m 程度、両側は樹木が密集する山地 • エリアに占める樹木の面積比 90%以上 	16.0 dB
<ul style="list-style-type: none"> • 蛇行して登っていく溪谷で、ダム湖近傍は幅 100m 程度あるが、その他は最も狭い場所で幅 20m 程度の、両側に樹木が密集する山地 • エリアに占める樹木の面積比 90%以上 	20.0 dB
<ul style="list-style-type: none"> • 基地局アンテナ(ダム湖)方向に開けていて、基地局アンテナより標高が高い • 基地局アンテナ方向以外は、より標高の高い山地に囲まれている • 場所によっては見通し環境となる 	33.0 dB

3.3.2 エリア構築の柔軟性向上

このテーマには取り組まなかった。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

このテーマには取り組まなかった。

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

令和2年度調査研究では、奈良県内3自治体（天理市、王寺町、天川村）の各種業務の現状と課題についてヒアリング調査を実施し課題詳細の抽出を行っており、表4-1に示すように、自治体業務の現状と課題として、防災・インフラ点検・観光・農業・環境・高齢化の6種類に大きく分類できた。

表 4-1 各自治体が抱える課題(令和2年度調査研究)

	天理市	王寺町	天川村
人口(世帯数)	64,422(29,829)	23,778(10,564)	1,157(659)
地域の区分	市街地、ダム、高速道路	市街地	ルーラル、観光地(温泉街)
地域の特徴	東西に西名阪自動車道と名阪国道、南北軸の国道24号線や国道169号線の通じる交通の要地。東部には、天理ダム、白川ダムを擁する。市内には文化財や史跡が点在。農地面積率が高い。	王寺駅周辺の市街地と南西部の山地を擁する。新興住宅地が多く、ベッドタウンとして発達(3割近くが大阪へ通勤)。海拔が低く、水害による甚大な被害を経験。	世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」の主要構成要素である修験の山脈が聳える(近畿最高峰)。「天川村をきれいにする条例」
市町村の課題	防災、インフラ点検、観光、農業、環境	防災、観光	インフラ点検、防災、観光、住民の高齢化
課題の詳細	①防災 ・危険箇所の現状把握 ・住民への情報伝達手段の確保 ②インフラ点検 ・インフラ点検業務の効率化 ③観光 ・PR強化による誘客促進 ・市内周遊ルートの整備 ④農業 ・就農人口減少対策 ・病虫害、鳥獣害の状況把握 ⑤環境 ・産業廃棄物の不法投棄対策	①防災 ・危険箇所における現状把握 ・減災活動の効率化 ②インフラ点検 ・インフラ点検業務の効率化 ③観光 ・観光資源の活用 ・観光プロモーションの強化	①防災 ・危険箇所における現状把握 ・減災活動の効率化 ②インフラ点検 ・インフラ点検業務の効率化 ③観光 混雑期の道路渋滞対応 ⑥住民の高齢化 ・買い物弱者に対する支援

さらに図 4-1 に示すように、課題の詳細をブレークダウンし、それぞれに対してローカル 5G の「高速大容量」「低遅延」「多接続」「セキュリティの高さ」「安定した通信」「ニーズに応じた構築が可能」といった特長を自治体業務の課題解決に活用できると想定されるローカル 5G ユースケースを考察し仮説を立てた。そして、これら想定されるユースケースを検討する中で、実際の自治体関連業務の現場においてローカル 5G 通信エリアを構築し 8K 映像伝送を用いることで課題解決に値するかどうかを実験検証するに適した自治体業務として「①防災」と「②インフラ点検」に着目した。さらに、実際に 8K/4K カメラを搭載したドローンによる映像撮影および比較実験を計画し、5 つのユースケースを想定して撮影実験を実施したところ、効率性・確実性の面で 8K 映像の適用が自治体課題解決に効果があると確認できた。

図 4-2 に 5 つのユースケース（災害現場の映像撮影、橋梁のインフラ点検、地形・区画等の公共測量、道路インフラのスクリーニング検査、太陽光発電のインフラ点検）を想定した実証実験の概要を示す。いずれも上空のドローンから撮影した超高精細映像についてローカル 5G を用いて伝送することを想定して、自治体関連業務支援に活用するものであり、8K カメラの映像と比較するため 4K カメラもしくは 5K カメラ、赤外線カメラでの撮影を自治体業務に活用することを想定して実施し、効率性および確実性の観点から想定される複数の評価項目から解析検証を実施した。



図 4-1 自治体各種業務の課題とローカル 5G ユースケースと実証実験(令和2年度調査研究)



- シャープ広島事業所内を試験環境として、ローカル5Gを用いたドローンからの8K映像のライブ伝送試験を実施・成功



図 4-3 ローカル 5G を用いたドローンからの 8K 映像のライブ伝送試験(令和2年度調査研究)

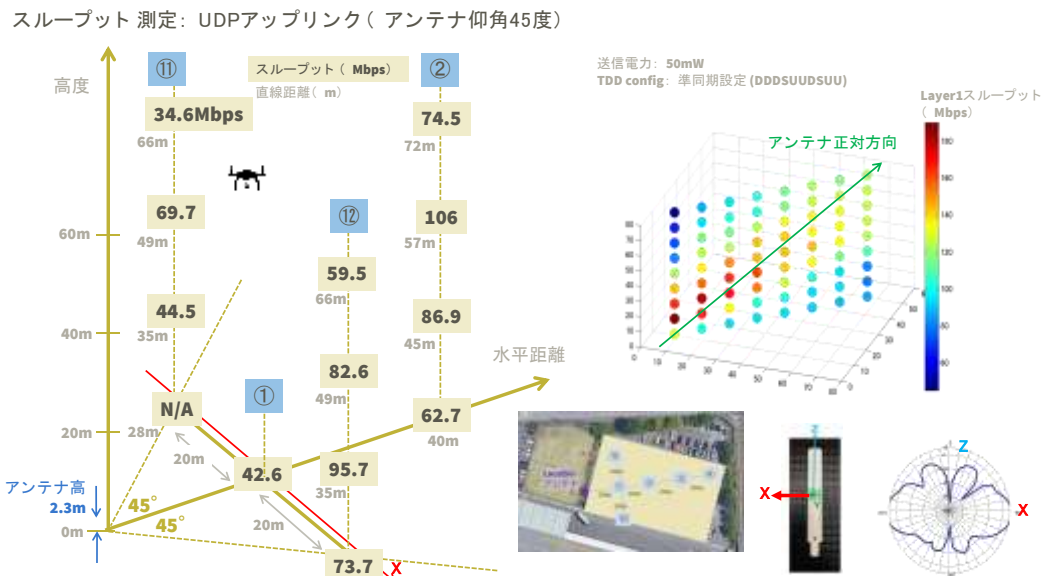


図 4-4 ローカル 5G ドローン端末によるスループット測定(令和2年度調査研究)

なお、ローカル 5G による超高精細映像伝送の導入による効果を自治体業務で最大限に活用するためには、現状では技術面、運用面、コスト面及び制度面で多くの課題があることも調査研究会での議論により明らかになった。これらの課題は、実際の自治体業務での活用ケースに密着した実証を積み重ねることで1つ1つ解決していく必要があると考えているが、令和2年度調査研究では、実際の自治体業務の現場においてローカル 5G 通信エリアを構築した上で、ドローン+8K 映像伝送を用いた実験検証を行うまでには至らなかった。そこで今回の開発実証において、自治体が管理されている天理ダムにご協力を得て、ローカル 5G 通信エリアを構築した上で、ドローン+8K 映像伝送を行うことを目標とした。

4.1.2 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

前節で述べた令和 2 年度調査研究により、ドローンから 8K 等の超高精細映像をローカル 5G の高速・大容量通信を用いて伝送することによって、自治体業務の防災・インフラ点検の課題である必要人員や作業時間の大幅な削減、作業安全性の向上、点検精度の向上、さらなる高度化等が期待できることが明らかになった。これを踏まえて、ローカル 5G による自治体関連業務支援のための実現したい将来像を以下の図 4-5 に示す。

ストーリーとしては、多岐にわたる自治体各種業務支援が必要な現場にローカル 5G 基地局を多数設置したローカル 5G ネットワークを構築してあり、市役所等に待機している 8K カメラ搭載ドローンが各種インフラや災害発生想定地域等の現場に定期的にあるいは緊急で短時間に飛行到着し現場の状況を 8K 映像で撮影、既に設置してあるローカル 5G 基地局経由でリアルタイムに映像を市役所や管理事務所等に伝送する。そこでは、リアルタイム 8K 映像を活用し、省力かつ迅速に管理業務を遂行できる環境の構築を整えており、ドローンは目視外自動運転制御で自律的に発進帰還するため効率的に運用することができる。また、撮影データをサーバーに蓄積し、過去との差分や AI 解析・AI 超解像等により必要な情報を抽出する自治体支援サーバーを構築してあり、担当者が対策判断を迅速に決断できるようにバックアップする。さらに、市役所や県庁だけでなく地方自治体のスーパーアプリ等と連携し迅速かつわかりやすい最新情報を住民に提供する多拠点情報提供も可能とするソリューションを掲げた。

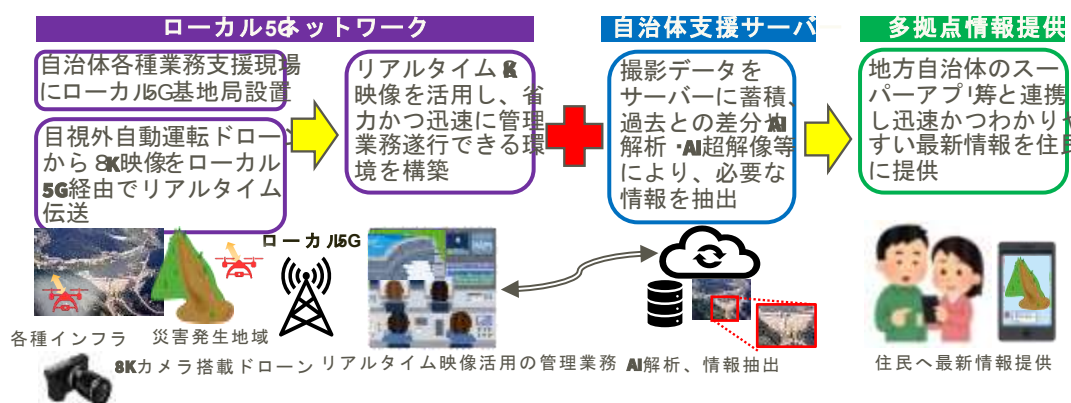


図 4-5 実現したい将来像

以上の将来像を踏まえ、今年度の本開発実証では、自治体関連業務のユースケースの中で自治体からの要望が大きく有効性を確認できた「防災」「インフラ点検」の 2 つのソリューションにフォーカスし、インフラ点検を (SOL ア)、防災を (SOL イ) として実際に課題解決の対象となる自治体管理の候補地に基地局を設置し課題実証を実施する。また、2 つのソリューションに共通する部分は多く経済性の面でも全体のシステムを部分的に共有化および柔軟に変更できると将来的に横展開や事業継続性が容易になる。この点を踏まえて本提案では共通のシステム構成とな

るソリューションを実証し、上記の将来像の基盤となるエコシステムを構築した。

(SOL ア) インフラ点検のローカル 5G を用いたソリューション

最初に、「インフラ点検」のソリューションについて説明する。ローカル 5G ユースケースの候補として橋梁・道路・太陽光発電を含め自治体のインフラ管理課題について調査聞き取りを行ったところ、奈良県で管理するダムについて以下のような喫緊の課題を持つことが明らかになった。

- ダムは原則、日常の目視点検が必要であるが、リソース不足もあり、詳細な目視点検には限界がある。
- 高所での作業を要する点検もあり、より安全に点検できる方法が求められている。
- 地震(約 25 ガル以上等)発生時、概ね 2 時間以内に目視による一次点検報告が必要だが、対応は容易ではない。従って即時で確認できる方法が求められている。

インフラ構造物としてダムは最も大きい部類に入り、しかも管理役場等から離れた山間地にある。ここでローカル 5G を用いたソリューションを実装できれば他のインフラ点検に応用展開することが容易いと考えられる。そのため、天理市にある奈良県が管理するダムを「インフラ点検」のユースケース候補として有力であると考え今回候補地として選定した。なお、同様のインフラ点検の課題をもつ王寺町に今回オブザーバーとしてコンソーシアムメンバーに参加してもらっている。このダム点検のローカル 5G を活用した将来像を図 4-6 および説明枠とともに示す。

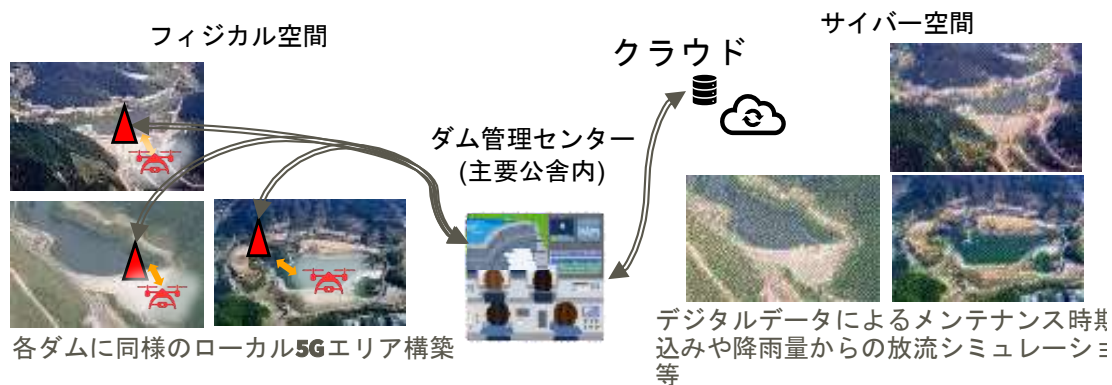


図 4-6 ローカル 5G を活用したダム点検業務のフューチャービジョン

自治体管理の多拠点に及ぶ複数のダムを一元管理する「ダム管理センター(仮称)」を主要公舎などに設け、各ダムに設置のローカル 5G ネットワークを介し、当該センターよりドローンのコントロール、並びに高精細映像のリアルタイム受信を行うことで、省力かつ迅速に管理業務を遂行できる環境を構築する。さらに大量の蓄積高精細撮影データをサーバーに展開し、3D 処理によるデジタルツイン化によるサイバー空間上での異常箇所の自動検出等も視野に入れる。

上記将来像から今年度構築するソリューションを（実証ア）ダムの点検管理業務支援として図4-7に示す。

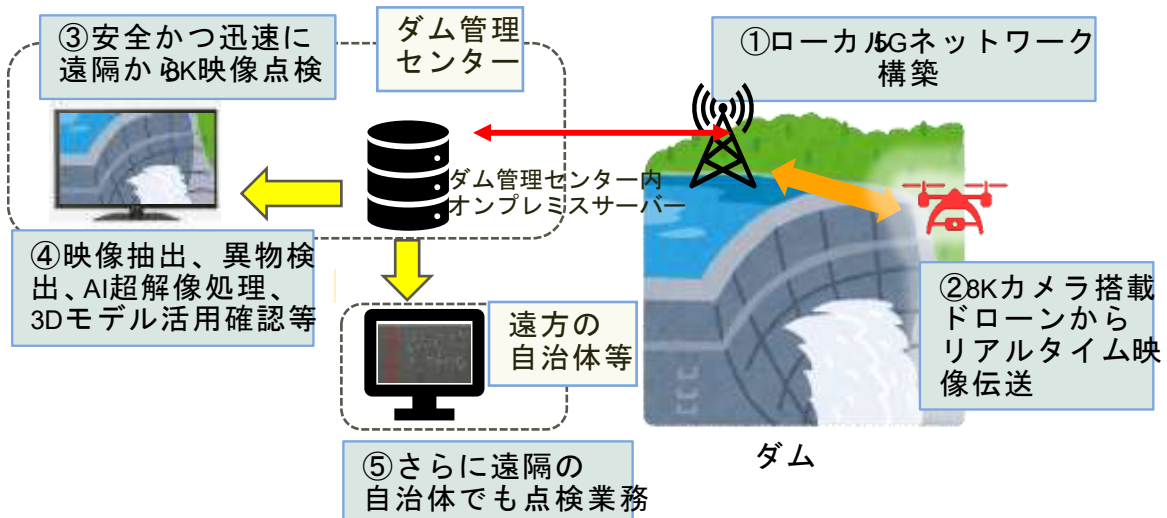


図 4-7（実証ア）ダムの点検管理業務支援

実施内容の概要は以下となる。

- ① ダム堤体上部にローカル 5G 基地局を敷設しネットワークを構築。
- ② 自律飛行可能な 8K カメラ搭載ドローンを用いてローカル 5G 経由で撮影映像をリアルタイムで映像伝送。
- ③ 遠隔のダム管理センターで安全かつ迅速にダムの壁面、細部箇所損傷度合い、水面変位等を 8K 映像で観察点検。
- ④ 管理センター内に設置のオンプレミス型画像処理兼映像配信サーバーにて要点検個所の映像抽出・異常検出と解析・先鋭化のための AI 超解像処理・3D モデル活用による変状確認等の高度化処理。
- ⑤ さらに遠隔の土木事務所、自治体など各拠点にも 8K 映像を同時に配信し、各拠点でも要点検個所の自動検出し、迅速に補修箇所、危険箇所などの情報を抽出提供。

以上のローカル 5G を用いたダム点検ソリューションを（実証ア）として課題検証する。

(SOL イ) 防災対策のローカル 5G を用いたソリューション

続いて、「防災」のソリューションについて説明する。ローカル 5G ユースケースの候補として、奈良県内で自治体業務として現在既に喫緊の課題をもつ天川村と天理市の 2 自治体を今回の開発実証候補地として選定した。両自治体ともに毎年災害が多く発生する自治体であり、調査から以下のような喫緊の課題を持つことが明らかになっている。

- 台風などが発生するたびに、土砂崩れなどの被災が起こっていないかの調査を行う必要がある。
- 確認エリアも広域にわたるため、所要時間も大幅に生じる。
- 被災状況などの詳細も知る必要があり、高画質が求められている。
- 災害に巻き込まれた人や遭難者の発見には即時性が求められるため、映像のリアルタイム伝送は必須である。

地球温暖化等の影響により例年台風、豪雨等による災害被害が甚大化している。日本の国土は多くを山間地で占めており、上記のような課題を持つ自治体は国内に多いと想定される。今回、天川村は雪の影響で実証実験が難航することが判明したため、同様の課題をもつ天理市を、「防災」ユースケースの候補地として選定し、天川村においてはオブザーバーとして参加してもらっている。この防災のローカル 5G を活用した将来像を図 4-8 および説明枠とともに示す。

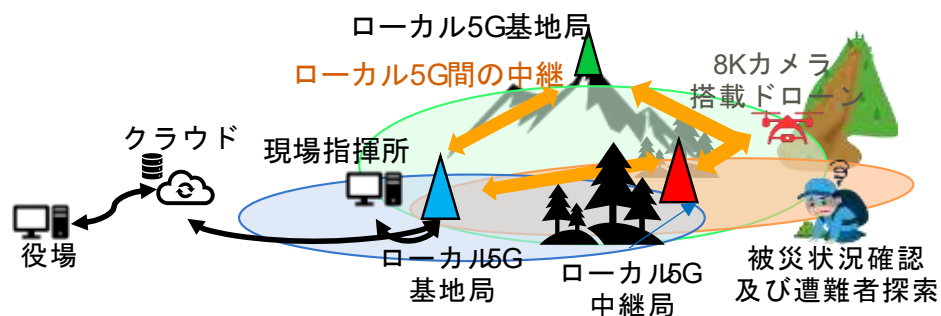


図 4-8 ローカル 5G を活用した防災関連業務のフューチャービジョン

防災行政無線等既存設備並びに 5G の IAB(*)等も用いて、山間地で広域にローカル 5G を構築し、リアルタイムで 8K 超高精細映像を役場等に配信し、省力かつ迅速に詳細を調査することを可能とする。

(*)IAB(Integrated Access and Backhaul):3GPP Release-16 で仕様化、現在 Release-17 向けに改訂作業中の NR の中継機能

上記将来像から、今年度構築するソリューションを（実証イ）遭難者探索時や災害発生時の現場検証支援として図 4-9 に示す。

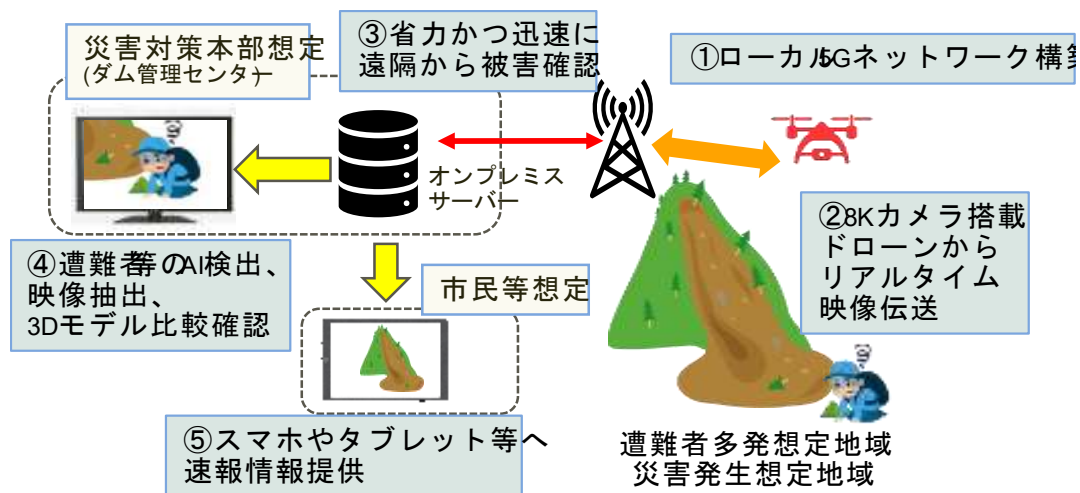


図 4-9 (実証イ) 遭難者探索や災害発生時の現場検証支援

実施内容の概要は以下となる。

- ① 災害発生想定地域にローカル 5G 基地局を敷設しネットワークを構築。
- ② 自律飛行可能な 8K カメラ搭載ドローンを用いてローカル 5G 経由で撮影映像をリアルタイムで映像伝送。
- ③ 災害対策本部に見立てたダム管理センター内で、省力かつ迅速に現在の被害状況を詳細確認し、素早い判断による避難誘導など減災対応支援できる状況を構築する。
- ④ 災害対策本部に見立てたダム管理センター内に設置のオンプレミスサーバーにて AI 解析による遭難者等の検出・災害発生想定地域等の映像抽出・3D モデル比較による被害箇所確認等の高度化処理。
- ⑤ 被災人や建物の破損、災害規模等をタブレット、PC のブラウザで見ることができるようにし、迅速かつわかりやすい最新情報を市民らに提供する状況を構築する。

以上のローカル 5G を活用した防災ソリューションを（実証イ）として課題検証した。

(2) ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

本実証において提案するローカル 5G を用いた 2 つのソリューションを発展させた自治体支援ローカル 5G 活用モデルの概要を図 4-10 に示す。本ローカル 5G 活用モデルは「ローカル 5G ネットワーク」「自治体支援サーバー」「他拠点情報提供」の 3 つのサブシステム連携により構築された活用モデルであり、それぞれが綿密に連携することにより課題解決を推進する汎用持続的なエコシステム基盤である。このようなモデルにした理由は、R2 研究会での調査で自治体関連業務の課題が非常に多岐にわたることから、それぞれの案件にそれぞれのシステムを構築することは非常に非効率であることが判明した。そのため、自治体業務全体を包括するような陣形をとり

つつ各パートが独自にその時の最新技術が投入できるように、あるいは将来低コスト機材に代替したりしても全体の連携が崩れずソリューションが解決できるように3つのサブシステム構成に敢えて分けて、全体のソリューション実装の進み具合の見通しが良くなるようなビジネスモデルとした。また、自治体関連業務にはローカル5Gが当初導入できないものや必要でない業務も考えられる。その際、3つのサブシステムのうち「ローカル5Gネットワーク」以外のソリューションを利用することで利用機材の共通化を図りビジネス上の全体コストを下げることでローカル5G導入の基盤を確固とすることも狙ったものである。



図 4-10 自治体支援ローカル5G活用モデルのソリューションの提供

3つのサブシステムのうち「ローカル5Gネットワーク」は、ネットワークの機能拡張を担う部分であり、ローカル5Gの普及にかかわる部分である。ローカル5Gの普及を進めるため、自治体関連業務の課題としては緊急度の高い防災とインフラ点検現場にあるいはその他投資が見込めるところに基地局を優先的に設置する。その後、順次他の自治体各種関連業務支援現場に設置を拡大することを目指す。そして、レベル3（将来的にはレベル4）の目視外自動運転の8Kカメラ搭載ドローンで自治体支援対象地域を広範囲高精度に撮影して、ローカル5Gの高速性能と安定性を活用して遠隔地に映像伝送する。次にサブシステム「自治体支援サーバー」は、高度化処理の機能拡張を担う部分であり、自治体課題へ高度な映像処理技術をサーバー上にて提供する。今回の実証実験で提供する高度な映像処理技術は3つである。1つ目は抽出機能である。伝送され蓄積された巨大な映像データから時間的に必要なシーンおよび空間的に必要な部分的な画像を時空間的に繰り返し抽出し情報抽出を実施することで膨大な撮影映像データを分析分類抽出して情報を扱いやすくする機能を提供する。2つ目はAI等による画像解析機能である。インフラ点検ソリューションにおいては、異常箇所などを検出し、また災害ソリューションにおいては、被災者や倒壊した建物などを検出する機能を提供する。3つ目は3Dモデル化処理機能である。土砂災害などは過去の差分をとることで災害規模などを算出することができる。3Dモデル化技術によりデジタル3Dデータを自治体全体で作成すれば、過去の3D差分を計算し、破損や災害規模などを正確に算出し、原因究明や早期避難などにかかわる情報を提供することができる。将来的に他の高度化処理、例えば錆や破損状況などの総合的な老朽化の検出や災害が起きた際のシミュレーションなどが要求されることが考えられるが、「自治体支援サーバー」部分のみをアップデートすることで他の部分の改修も含めたために高コストになったといった事態にならないよう

に高度化処理部分を分離させたモデルとした。最後のサブシステム「多拠点情報提供」は、情報拡張の機能拡張を担う部分であり、管理センターや市役所へリアルタイム映像を伝送して、複数人で同時視聴・観察できるようにする。さらに「自治体支援サーバー」上で AI 等により解析した情報も合わせて提示して確認できるようにする。また、住民への情報提供は自治体業務における重要業務の 1 つであることから、スマホ・タブレット上で動作する地方自治体のスーパーアプリ等と連携しわかりやすい最新情報を住民に提供する。

なお、同様な基盤として現在奈良県におかれては「ナラプラス」というポータルアプリが運用されている。今回は時間的手続き的な都合上既存のアプリとの連携が実施できないが、これら既存アプリの調査結果などもまとめた。

また、現在各自治体において、ヘリテレやカメラ映像などの防災情報を一元管理・監視するシステムが既に使われていると思われる、本実証システムを連携できるのか、という観点もある。例えば奈良県では、地域衛星通信ネットワークの映像伝送サービス（SUPERBIRD B3）が利用されており、映像信号は MPEG-2 1.5Mbps となっている。そのため、本実証システムの 8K 映像をそのまま用いる場合は別システムとして導入となる。が、仮説として、8K より解像度は低いものの災害現場映像が見られるだけでも情報収集に有意義であれば、ダウンコンバート映像を既存システムに乗せて連携することもできると考えられる。今回の現場を例にすると、このような仮説の確認ができれば、今後のアクションとして基地局にコンバータを設置するなどが考えられる。ただし、あくまでもこれは仮説であって、映像配信技術の観点からでは、上記のようにコンバータを介すだけで、8K 映像を 1.5Mbps 相当に低い解像度のものに変換できるものの、現在採用されている自治体の他のシステムに実装できるかについても検討した。

上記に述べた「自治体支援サーバー」に関しては、ユーザーが理解できるようにユーザー目線で、「自治体支援サーバー」のメリット（コスト、機能追加の柔軟性、自治体向けのカスタマイズ内容等）を具体的に表にまとめ整理し、さらにコンソーシアム内外の調査でメリットの検証および充実化を図って報告書にまとめていく。

以上のローカル 5G 活用モデルにおけるビジネスモデルに係る要素を表 4-2 にまとめて示す。

表 4-2 ローカル 5G 活用モデルのビジネスモデルに係る要素

ビジネスモデルの要素	説明
想定するターゲット	奈良県自治体 → 全国自治体
ソリューションの提供	ローカル 5G ネットワーク：ローカル 5G ネットワーク機能の導入拡張 自治体支援サーバー：高度化処理機能の導入拡張 多拠点情報提供：情報提供機能の導入拡張
利用方法	ローカル 5G ネットワーク：構築コンサルタント、機材レンタル、メンテナンス 自治体支援サーバー：高度化処理への WEB API アクセス 多拠点情報提供：PC・スマホ・タブレットからのネット接続
運用に係る体制	テスト運用ではコンソーシアムメンバーを中心に実装・横展開を実施し、本運用では奈良県下自治体の連携により運用を目指している。 (4.1.3(2)実装・横展開の可能性を参照)
事業スキーム	運用関係者とともにコンソーシアム内で定期的に議論していく。 (4.3.2(2)運用スキーム・ビジネスモデルの検討)
導入効果	各種自治体業務の効率化と迅速化、利便性向上 (4.3.2(1)経済性・市場性の検証)
横展開の在り方など	コンソーシアム内外の他地域や多分野への横展開が可能 (4.1.3(2)実装・横展開の可能性を参照)
ゼロカーボン	計画的な育成の監視等による森林管理への活用が想定できる
SDGs	SDGs⑨ローカル 5G を活用したインフラ（ダム点検業務） SDGs⑩ローカル 5G を活用した防災関連業務

このビジネスモデルにおいて想定するターゲットは、現在本コンソーシアムメンバーの奈良県下自治体であるが将来的には全国自治体へ展開する。ソリューションの提供としては、上記で説明した通り「ローカル 5G ネットワーク」においてはローカル 5G ネットワーク機能の導入拡張であり、「自治体支援サーバー」においては高度化処理機能の導入拡張であり、「多拠点情報提供」においては情報提供機能の導入拡張である。ソリューションの利用方法については、「ローカル 5G ネットワーク」においては構築コンサルタント、機材レンタル、メンテナンスを提供する。「自治体支援サーバー」においてはサーバー上の高度化処理への WEB API アクセスを提供する。「多拠点情報提供」においては PC・スマホ・タブレットからのネット接続である。運用に係る体制として、テスト運用ではコンソーシアムメンバーを中心に実装・横展開を実施し、本運用では奈良県下自治体の連携により運用を目指している（後述の「実装・横展開の可能性」を参照）。事業スキームに関しては、運用関係者とともにコンソーシアム内で定期的に議論していく（後述の「運用スキーム・ビジネスモデルの検討」を参照）。導入効果としては、各種自治体業務の効率化と迅速化、

利便性の向上がもたらされる（後述の「経済性・市場性の検証」を参照）。横展開の在り方などは、コンソーシアム内外の他地域や多分野への横展開が可能としている（4.1.3(2)実装・横展開の可能性を参照）。また、昨今重要視されるゼロカーボン対応としても、計画的な育成の監視等による森林管理への活用が想定できる。

なお、本ローカル 5G 活用モデルは、持続可能な開発目標 SDGs にも貢献できるものである。本提案の実証案件を例にすれば、「ローカル 5G を活用した防災ソリューション」においては、災害前後の正確な情報を把握できることから、住民らに対して迅速な行動を促し、二次災害などを抑制できる効果に加え、将来的には定点観測等によるデータの取得からの AI 解析による崩落現場および遭難者の自動検出などもできるようになると、より防災や人命救助への実用性が高まることも考えられる。すなわち、SDGs No.11「住み続けられるまちづくりを」（包摂的で安全かつ強靱で持続可能な都市及び人間居住を実現する）に大いに貢献できるものである。

また、「ローカル 5G を活用したダム点検ソリューション」においては、地震や台風などからの被害なども、各庁舎、ひいては在宅などからも迅速にかつ正確に把握でき、各ダム施設への横展開も容易に実施できる。さらには、AI 処理による非定常個所のリアルタイム自動検出といったことも可能性が出てくることから SDGs No.9「産業と技術革新の基礎をつくろう」（強靱なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及び技術革新の推進を図る）にも大いに貢献できるものである。（図 4-11 参照）



図 4-11 今回のローカル 5G 活用モデルの SDGs への貢献イメージ

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

本提案のソリューションでは、ローカル 5G を 8K カメラ搭載ドローンから基地局へ映像データを伝送する経路に用いることでリアルタイムに 8K 映像伝送が可能となり、自治体関連業務の安全・迅速・効率的な課題解決につなげることを目的とした。

各種通信手段について、本提案のローカル 5G 活用モデルにおけるソリューションがなぜ最適なのかについて判断した内容を表 4-3 に示す。「実証環境」に関しては、ダム・山間地帯でありキャリア 5G/4G のカバー範囲外であり、Wi-Fi (5GHz) は規制により、有線はドローンがダム近くを飛行するため上空での使用は不可能である。「高速性」に関しては、8K@30P(30P とは毎秒 30 フレーム駆動で、かつ飛び越し走査ではないプログレッシブ走査による表示の意味)の映像伝送に 100Mbps 程度のデータ帯域が必要なため、キャリア 4G・Wi-Fi では帯域が不足している。「通信安定性」に関しては、ローカル 5G は免許制による占有利用が可能であるため、Wi-Fi のように電波干渉を受けにくく安定した映像伝送には必要である。また、Wi-Fi (5GHz) および有線は上述の通りドローンと通信できない。「セキュリティ」に関しては、重要インフラ点検等を想定するためセキュリティが担保されることが望ましくローカル 5G の免許制によりできるだけ高セキュリティにすることで情報保全が保たれることが必要不可欠である。

以上の観点から、本提案のローカル 5G 活用モデルのソリューションの課題解決にローカル 5G が必然であり必要不可欠である。

表 4-3 本提案におけるローカル 5G の必然性・必要性

判断項目	本提案要求	ローカル 5G	キャリア 5G	キャリア 4G	Wi-Fi 2.4GHz	Wi-Fi 5GHz	有線等
実証環境	ダム・山間	○	×	×	○	×上空	×上空
高速性	8K 100Mbps Uplink	○	○	×	×	×上空	○
通信安定性	免許制占有利用可	○	○	○	×	×	×
セキュリティ	情報保全確保	○	○	○	△	△	○

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

本実証内容はローカル 5G による自治体関連業務支援を目的としており、横展開および事業化とその継続性を念頭に様々な業務を包括的かつ柔軟に支援するシステムを目指して構成を設計した。そのため、各部分においても新規性を持つがトータルシステムとしてもさらに自治体にとって大きな力となるような新しい仕組みづくりに配慮した。実証内容の新規性についてまとめたものを表 4-4 に示す。

表 4-4 実証内容の新規性

分野	ローカル 5G による自治体関連業務支援 (本実証は防災・減災であるが横展開を含めると対象分野は多岐にわたる)
ユースケース	(実証ア) ダムの点検管理業務支援 巨大な特殊構造物であるダムの各種安全点検と効率化 (実証イ) 遭難者探索時や災害発生時の現場検証支援 災害発生状況を多拠点へ安全かつ迅速に提供する方法の構築
トータルソリューション	3 つのサブシステム連携課題解決を推進する汎用持続的なエコシステム基 板を構築提供し、様々なユースケースに応用可能 ・ローカル 5G ネットワークソリューション 8K カメラ搭載ドローンからローカル 5G 経由でリアルタイム映像伝送 ・自治体支援サーバーソリューション 情報抽出・AI 解析・3D データ等の高度な映像処理を提供 ・多拠点情報提供ソリューション 管理事務所や市役所で映像確認
個別ソリューション	(実証ア) ・ダム点検アプリケーションによる効率的な点検作業を実現 (実証イ) ・遭難者探索業務支援アプリケーションによる効率的な遭難者探索を実現

(2) 過年度実証事業との関連性

令和2年度および令和3年度に実施された開発実証との関連性を調査したところ、令和2年度においては「R2No14：防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現」、令和3年度においては「R3No23：道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向けた実証」において関連性があるとみられた、これらとの共通点および差異を表4-5に示す。R2No14においては、共通点として固定カメラを用いたローカル5G環境での映像伝送により、河川の氾濫状況などをリアルタイム伝送しており、カメラで映像伝送し災害状況を観察する点が類似している。R3No23においては、共通点として自動運転車両に搭載された4Kカメラを用い、ローカル5G環境下での映像伝送を実施。および4Kカメラ搭載ドローンで取得した映像はドローンのベースステーション到着後、ローカル5Gや光ケーブルを介して伝送しており、カメラ搭載ドローンでの災害状況の撮影が類似している。

そこで本コンソーシアムでは、実際にドローンに搭載の8Kカメラのストリーミング映像を用い、下記の検証を実施した。

- R2 No14: [防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現]の課題である固定カメラは様々な角度の映像が取得できないため、ドローンを用いて様々な角度からのローカル5G映像伝送を実現。良好な8K映像を取得できた。
- R3 No23: [道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向けた実証]の課題である4Kカメラ伝送に対しても、さらに解像度の高い8Kカメラによる伝送により、さらなる詳細箇所の状況のリアルタイム伝送を実現できた。

表 4-5 過年度開発実証との共通点および本実証での検証結果

過年度類似ソリューションとの差異	過年度 類似ソリューションの特徴	左記課題に対する本実証での検証結果
R2 No14 防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現	・固定4Kカメラを用いたローカル5G環境での映像伝送により、河川の氾濫状況などをリアルタイム伝送。	・固定カメラでは対応できない、ドローンを用いての様々な角度からのローカル5G映像伝送を確認できた。
R3 No23 道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向けた実証	・自動運転車両に搭載した4Kカメラを用い、ローカル5G環境下での映像伝送。 ・4Kカメラ搭載ドローンで取得した映像は、リアルタイムストリーミングではなく、ベースステーションからローカル5Gや光ケーブルを介して伝送する。	・8Kモード、4Kモードでのリアルタイム伝送を実施し、デジタルズームで詳細部を確認したところ、解像度の高い8Kモードの方がより詳細な映像伝送をできることを確認できた。

図 4-12 はドローンに搭載の 8K カメラからローカル 5G を介してライブストリーミングした際のダム湖面側のキャプチャー映像、また図 4-13 は、図 4-12 のドローンと同一の位置で 180 度回転させて、ライブストリーミングした際のダムの堤体側のキャプチャー映像になる。



図 4-12 ローカル 5G を介してのドローンに搭載の 8K カメラ 実際の映像(湖面側)



図 4-13 ローカル 5G を介してのドローンに搭載の 8K カメラ 実際の映像(堤体側)

ドローンは自由に向きを変更できるので、このように自由な画角でライブストリーミングすることが可能である。

また、8K 画像と 4K 画像の差についても記載する。8K 画像と 4K 画像の差は、大きい画面での差は一見判りにくいですが、詳細を確認するためのデジタルズーム処理をするとその差が明らかになる。前述のローカル 5G を介してのカメラ映像について、8K モードと 4K モードで撮影した場合でのデジタルズームの画像を図 4-14、4-15 に示す。これらはいずれもデジタルズーム倍率は約 5.5 倍相当である。



図 4-14 クレストゲートのアンテナ 8K 映像 デジタル 5.5 倍ズーム



図 4-15 クレストゲートのアンテナ 4K 映像 デジタル 5.5 倍ズーム

見比べてみると判るように、8K 画像の場合、デジタルズームをしても、RU 部下のケーブルが視認できるのに対し、4K 画像の場合は、視認が難しい。また 4K 画像の方はアンテナ部の輪郭も二重になってしまっており、形状が判りにくくなっている。

以上のように、遠方からの撮影においても 8K 画像の方が詳細を視認することが容易であることがわかる。

4.1.4 実証目標

最初に、(実証ア) ダムの点検管理業務支援の課題実証における実証目標とその実施項目内容および実現時期を表 4-6 に示す。(実証ア) の目標において設定根拠となるものは、ダム管理業務を安全かつ作業性を効率化することである。そのため、「ア A 保守点検の安全効率化」を第 1 目標に挙げ、作業安全向上率と作業短縮率を目標値として設定した。続く目標はシステム構築を完成することを考慮し順次達成すべき目標値を設定した。

まず、安全性を向上するためドローンから 8K 映像点検を可能とするため、「ア B 点検映像のリアルタイム伝送」が必要であるがこれは伝送遅延の数値を目標値とすることで評価するとした。効率化としては 8K 大画面映像による「ア C 点検映像の複数人同時観察」、「ア D 多拠点への同時点検映像配信」によるマルチ化による効率化を目標として設定した。また、ドローンによる作業効率化の確実性を離陸から着陸まで担保するため「ア E 点検のドローン目視外飛行」の飛行時間の計画と実際の差を目標として設定した。ドローンから撮影する映像は膨大なデータ量となるため映像を全て見て必要な場面を検索するのは非効率である。そのため「ア F 点検映像の自動抽出検索」の必要な個所のカット正解率、8K 映像の中から必要な個所を切出す正解率を目標として設定した。ダム点検は様々な作業があるがヒビ検出を作業高度化する代表例として「ア G 点検映像の自動ヒビ検出」の精度を目標として設定した。最後に、過去現在の変化を把握するためには 3D データの比較が有効である。そのため「ア H 点検 3D データ比較」の比較精度を目標として設定した。

以上のすべての目標を達成した段階で(実証ア) で今回目指す 2022 年度のシステムとして完成形となる。続く 2023 年度以降の目標は 2020 年度の目標をさらに高度な目標としたものである。なお、当初計画の目標に未達もしくは異なる結論が得られた場合はその原因を考察した。

表 4-6 (実証ア)の実証目標と実現時期

項番	(実証ア)の実証目標	実施項目内容 (2022年度実現)
ア A	保守点検の安全効率化 <ul style="list-style-type: none"> 作業安全向上率：2割以上 作業短縮率：70%以上 点検作業効率化項目：1項目以上増加 関連マニュアル案作成 	保守点検項目のうち本実証により安全性が向上した作業項目と従来の作業時間に比較した作業短縮率を数値化することで安全性と効率化が達成されることを実証・映像による点検の汎用化(本実証により効率化・有用性が確認できること)を実証・関連するマニュアル案を作成
ア B	点検映像のリアルタイム伝送 <ul style="list-style-type: none"> 伝送映像：8K@30P 伝送遅延：1分未満 	ローカル 5G を活用して 8K カメラ搭載ドローンで撮影した点検映像を管理センターにおいてリアルタイム受信できることを実証
ア C	点検映像の複数人同時観察 <ul style="list-style-type: none"> 観察人数：3名以上 観察評価点：80%以上整合 	8K 映像により正確に把握できるかどうかを熟練の点検者複数人で同時比較して各チェック個所をカウントし、各点検者の評価が一致する割合にて 8K 映像の点検への効果を実証
ア D	多拠点への同時点検映像配信 <ul style="list-style-type: none"> 配信拠点数：3か所以上 配信ズレ：1分未満 	複数の拠点(管理センター、市役所、県庁など)に 8K モニターを設置し、8K 映像を同時配信して映像が高画質で観察でき、ほぼ同時刻に情報共有できるかどうかを実証
ア E	点検のドローン目視外飛行 <ul style="list-style-type: none"> 自律飛行：レベル 3 自律飛行時間：計画差 5 分未満 	ドローンを遠隔地から出発させて自律飛行レベル 3 で目視外飛行させつつ複数個所を点検撮影しローカル 5G 経由で映像を伝送、作業後に元の位置に帰還できるかどうかを実証
ア F	点検映像の自動抽出検索 <ul style="list-style-type: none"> カット正解率：70%以上 切出し正解率：70%以上 	点検映像から対象物が撮影されているシーンをカットして検索できるかどうか実証。8K 映像の中からヒビがある部分を画像から自動的に切出し検索できるかどうかを実証
ア G	点検映像の自動ヒビ検出 <ul style="list-style-type: none"> 撮影距離：15,30,50,70m 超解像処理効果：ON/OFF 検出率：70%以上 ヒビの状況の確認 	撮影距離によるヒビ検出率を 8K カメラおよび 2K/4K カメラ搭載ドローンで比較評価。8K は遠距離からでも検出率が保持できかつヒビ検出専用の AI 超解像処理効果により精度が向上することを実証・目視に比べ、ヒビの状況を確認しやすいことを実証
ア H	点検 3D データ比較 <ul style="list-style-type: none"> 比較箇所：本体と水面 比較精度：15cm 未満 	大量の撮影データをデータベース管理し、3D デジタルデータ化することで、撮影時間の異なる 3D データ同士を精度よく比較処理できることを実証
	(実証ア)の実証目標	実施項目内容 (2023年度以降実現)
ア I	点検業務の利便性の向上 <ul style="list-style-type: none"> 作業安全向上率：3割以上 作業短縮率：85%以上 	遠隔からスマホやタブレットなどで点検業務が安全かつ効率的にできることを実証

ア J	点検業務の高度化 ・検出対象：複数 ・検出率：70%以上	AI 解析処理により非定常個所や異物をリアルタイムで自動検出することで熟練者でなくても点検個所の異常をすぐに把握できることを実証
ア K	点検ドローンの目視外飛行 ・自律飛行：レベル 4、3 か所 ・自律飛行時間：計画差 5 分未満	ドローンを市街地から出発させて自律飛行レベル 4 で目視外飛行させ 3 か所のインフラを順次点検し映像を伝送、作業後に元の位置に帰還できるかどうかを実証
ア L	点検映像の自動ヒビ検出向上 ・撮影距離：15,30,50,70m ・検出率：85%以上	ヒビ検出専用の AI 超解像処理の精度向上によりヒビ検出率を向上できることを実証する。ヒビ割れのレベルも自動判別することで危険度も検出できることを実証
ア M	デジタルツインの高精細化 ・比較箇所：構造物全体 ・比較精度：8cm 未満	デジタルツインの 3D データを超解像処理により 3 次元的に高精細化することで、3D データを高解像度化することで比較精度を向上できることを実証
ア N	他地域・他分野への展開 ・他地域：2 か所 ・他分野：2 件	他地域にインフラ点検の実証を進める 他分野への横展開を検討し、実証を進める 例) 王寺町橋梁点検、大淀町太陽光発電

続いて、(実証イ) 遭難者探索時や災害発生時の現場検証支援の課題実証における実証目標とその実施項目内容および実現時期を表 4-7 に示す。(実証イ) の目標において設定根拠となるものは、被災現場の状況を省力かつ迅速に住民に提供することである。そのため、イ A「現場確認の安全迅速化」を第 1 目標にあげ、作業安全向上率と作業短縮率を目標値として設定した。続く目標はシステム構築を完成することを考慮し順次達成すべき目標値を設定しており、すべて達成した段階で今回目指すシステムとして完成形となる。

まず、省力化のためにドローンから 8K 映像点検を可能とするため、「イ B 点検映像のリアルタイム伝送」が必要であるがこれは伝送遅延の数値を目標値とすることで評価するとした。迅速化としては「イ C 現場情報を住民へ配信提供」の配信数と配信遅延、「イ D 多拠点への同時現場映像配信」による配信拠点数と各拠点間で同じものを見て対策を練るという視点で各拠点の配信ズレを目標として設定した。また、ドローンによる作業効率化の確実性を離陸から着陸まで担保するため「イ E 点検のドローン目視外飛行」の飛行時間の計画と実際の差を目標として設定した。ドローンから撮影する映像は膨大なデータ量となるため映像を全て見て必要な場面を検索するのは非効率である。そのため「イ F 点検映像の自動抽出検索」の必要な個所のカット正解率、8K 映像の中から必要な個所を切出す正解率を目標として設定した。遭難者探索や災害時の現場検証として様々な作業があるが作業高度化する代表例として「イ G 現場映像の人・建物自動検出」の検出率を目標として設定した。最後に、過去現在の変化を把握するためには 3D データの比較が有効である。そのため「イ H 災害 3D データ比較」の比較精度を目標として設定した。

以上のすべての目標を達成した段階で(実証イ)で今回目指す 2022 年度のシステムとして完成形となる。続く 2023 年度以降の目標は 2020 年度の目標をさらに高度な目標としたものである。迅速にエリア構築できる車載タイプの移動式基地局について、電波干渉等の観点から設置場

所を柔軟に変更して運用することが認められることで将来導入可能になることを想定し実証目標に移動式基地局の運用導入も設定した。なお、当初計画の目標に未達もしくは異なる結論が得られた場合はその原因を考察した。

表 4-7 (実証イ)の実証目標と実現時期

	(実証イ)の実証目標	実施項目内容 (2022年度実現)
イ A	現場確認の安全迅速化 ・作業安全向上率：5割以上 ・作業短縮率：70%以上 ・関連マニュアル案作成	現場確認及び遭難者探索のうち本実証により安全性が向上した作業項目と従来の作業時間に比較した作業短縮率を数値化することで安全性と効率化が達成されることを実証・関連するマニュアル案を作成
イ B	現場映像のリアルタイム伝送 ・伝送映像：8K@30P ・伝送遅延：1分未満	ローカル 5G を活用して 8K カメラ搭載ドローンで撮影した災害発生想定地域の映像を対策事務所においてリアルタイム受信できることを実証
イ C	現場情報を住民へ配信提供 ・配信数：50人以上 ・配信遅延：10分未満	現場の撮影映像から被災状況等の情報を自動作成し、地方自治体スーパーアプリ経由で撮影画像とともに複数の住民のスマホ・タブレットへ情報提供できることを実証
イ D	多拠点への同時現場映像配信 ・配信拠点数：3か所以上 ・配信ズレ：1分未満	複数の拠点(対策事務所、市役所、対策本部など)に 8K モニターを設置し、8K 映像を同時配信して映像が高画質で観察でき、ほぼ同時刻に情報共有できるかどうかを実証
イ E	現場のドローン目視外飛行 ・自律飛行：レベル 3 ・自律飛行時間：計画差 5分未満	ドローンを遠隔から出発させて自律飛行レベル 3 で目視外飛行させつつ複数個所を現場撮影しローカル 5G 経由で映像を伝送、作業後に元の位置に帰還できるかどうかを実証
イ F	現場映像の自動抽出検索 ・カット正解率：70%以上 ・切出し正解率：50%以上	現場映像から被災現場が撮影されているシーンをカットして検索できるかどうか実証。8K 映像の中から遭難者がいる部分を画像から自動的に切出し検索できるかどうかを実証
イ G	現場映像の人・建物自動検出 ・撮影距離：15,30,50,70m ・超解像処理効果：ON/OFF ・検出率：70%以上	撮影距離による人・建物検出率を 8K カメラおよび 2K/4K カメラ搭載ドローンで比較評価。8K は高高度からでも検出率が保持できかつ災害現場専用の AI 超解像処理効果により精度が向上することを実証
イ H	災害 3D データ比較 ・比較箇所：被災想定現場 ・比較精度：15cm 未満	大量の撮影データをデータベース管理し、3D デジタルデータ化することで、被災前を想定した過去の 3D データ同士を精度よく比較処理できることを実証
	(実証イ)の実証目標	実施項目内容 (2023年度以降実現)
イ I	現場確認の利便性の向上 ・作業安全向上率：7割以上 ・作業短縮率：85%以上	赤外線と 8K カメラのマルチ搭載のドローンにより遭難者の探索の効率化および LIDAR を搭載することで土砂災害等の予兆を探知できることを実証

イ J	現場確認の高度化 ・ 検出対象：複数 ・ 検出率：80%以上	AI 解析処理により人・建物以外の災害状況をリアルタイムで自動検出することで熟練者でなくても異常をすぐに把握できることを実証
イ K	現場確認の広範囲化 ・ ドローン速度：70km/h 以上 ・ 撮影範囲：操作距離/3 以上	準リアルタイムで映像伝送する仕組みを取り入れることで、ローカル 5G の電波伝搬距離以上の広範囲で 8K 映像伝送できることを検証
イ L	現場のドローンの目視外飛行 ・ 自律飛行：レベル 4、3 か所 ・ 自律飛行時間：計画差 5 分未満	ドローンを市街地から出発させて自律飛行レベル 4 で目視外飛行させ 3 か所の災害現場を順次確認し映像を伝送、作業後に元の位置に帰還できるかどうかを実証
イ M	現場映像の人・建物自動検出向上 ・ 撮影距離：15,30,50,70m ・ 検出率：85%以上	災害現場専用の AI 超解像処理の精度向上により人・建物自動検出率を向上できることを実証する。ヒビ割れのレベルも自動判別することで危険度も検出できることを実証
イ N	デジタルツインの高精細化 ・ 比較箇所：被災想定現場 ・ 比較精度：8cm 未満	デジタルツインの 3D データを超解像処理により 3 次元的に高精細化することで、3D データを高解像度化することで比較精度を向上できることを実証
イ O	メタバースへの応用展開 ・ 災害をシミュレーション ・ バーチャル避難訓練	サイバー空間で災害等をシミュレーションし住民にアバターで参加してもらい、オールシーズンで避難訓練等を可能とできることを検証
イ P	他地域・他分野への展開 ・ 他地域：2 か所 ・ 他分野：2 件	他地域に防災確認の実証を進める 他分野への横展開を検討し、実証を進める 例) 天川村土砂災害、大和高田市公共測量
イ Q	移動基地局の運用導入 ・ 運用手順の明確化 ・ 導入運用コスト削減 ・ 効率や利便性の向上比較	迅速にエリア構築できる車載タイプの移動式基地局が将来導入可能になることを想定し、運用手順を明確化し導入運用コスト削減の算出、効率や利便性の向上を固定基地局と比較して実証

4.2 実証環境

各実証の環境を課題実証の観点から説明する。

(実証ア) ダムの点検管理業務支援

本実証の実証環境は、奈良県の天理ダムである。奈良県自治体が管理するダムを表 4-8 に示す。6 つのダムの中で運用効果が高い場所として今回は天理ダムを撮影現場として開発実証を実施する予定である。天理ダムは一級河川の治水対策として洪水調整や河川維持用水の確保、天理市上水道の水源開発としての多目的用途を有するダムで、奈良県下でも有数の大型ダムであり、ローカル 5G 基地局を設置するための電源も活用できる。表 4-8 に天理ダム外観と管理センターを示す。管理センターはダム付近に併設されておりここにローカル 5G 基地局を設置し、ダム中央クレストゲート上にローカル 5G アンテナを敷設した。

ドローンによる点検箇所としては、実際のダム点検管理に沿って決定するが、上空からのダム全体・近づいてダム壁面（放水側・貯水側）および放水・貯水の水面の撮影を行った。

表 4-8 (実証ア)奈良県自治体管理ダムの仕様

名称	天理ダム	岩井川ダム	白川ダム	初瀬ダム	大門ダム	宮奥ダム
場所	天理市	奈良市	天理市	桜井市	生駒郡三郷町	宇陀市
堤高	60.5m	55.0m	30.0m	55.0m	35.4m	36.5m
堤頂長	210.0m	180.9m	516.0m	212.5m	122m	175m
堤体積	193,000m ³	82,000m ³	850,000m ³	165,000m ³	27,000m ³	65,000m ³
目的	治水・用水 上水道	治水	治水・用水	治水・用水 上水道	治水・用水	用水 上水道
写真						



天理ダム（放水側）外観



天理ダム（貯水側）水面と管理センター

図 4-16 実証ア)天理ダム外観と管理センター

(実証イ) 遭難者探索や災害発生時の現場検証支援

本実証の実証環境は、災害発生想定地域として上記の天理ダム近辺とした。奈良県天川村が当初候補であったが、雪の影響で実証実験が難航することが昨年度判明したため、同様の課題をもつ天理市を、「防災」ユースケースの候補地として選定した。この付近の山間地域では、実際に土砂災害の恐れがあり、図 4-17 に示すように危険区域がハザードマップで設定されている。

ドローンによる確認現場としては、天理市の要望を伺い候補地を決定し現場ロケ調査にて決定するが、土砂災害を想定した山斜面もしくは川沿いの撮影、遭難者を想定したダミーの配置、被災した建物を想定した構造物などの撮影を行った。



図 4-17 (実証イ)奈良県ハザードマップより抜粋 災害発生想定地域(天理ダム付近)

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

(1) 機能検証

1) 検証項目

本ソリューションはダムの異常箇所や災害現場の早期発見を目的にしており、撮影映像をサーバーへ伝送し素早く映像処理し精度よく結果を出すことが求められる。そのため、システム上でボトルネックになると予想される各ポイントでの機能性能の検証が重要となる。本課題の機能検証は、ポイントとなる 8K カメラ搭載ドローンで撮影した映像の伝送機能やドローンの目視外飛行の機能、自治体支援サーバー上で処理する自動抽出、自動検出、3D データ化について実施する。各実証の機能検証項目とその内容をそれぞれ表 4-9、表 4-10 に示す。

表 4-9 (実証ア)の機能検証項目

機能検証項目	機能検証内容	実証目標の項番
ダム点検映像のリアルタイム伝送	ローカル 5G を活用して 8K カメラ搭載ドローンで撮影したダム点検映像を管理センターでリアルタイム受信する検証を行う	ア B
ダム点検のドローン目視外飛行	ドローンを遠隔地から出発させて自律飛行レベル 3 の目視外飛行でダム点検撮影し映像を伝送できるかどうかの検証を行う	ア E
ダム点検映像の自動抽出検索	ダム点検映像から対象物が現れるシーンをカットして抽出検索およびヒビ等の評価箇所を自動的に切出し抽出検索の検証を行う	ア F
ダム点検映像の自動検出・状況の確認	撮影距離によるヒビ等の検出率を 8K カメラおよび 2K/4K カメラ搭載ドローンで比較検証を行い、状況確認しやすくなるか比較検証を行う	ア G
ダム点検 3D データ比較	撮影時間の異なるダムの 3D データ同士を精度よく比較処理できるかどうか検証を行う	ア H

表 4-10 (実証イ)の機能検証項目

機能検証項目	機能検証内容	実証目標の項番
災害現場映像のリアルタイム伝送	ローカル 5G を活用して 8K カメラ搭載ドローンで撮影した災害現場映像を対策本部でリアルタイム受信する検証を行う	イ B
災害現場のドローン目視外飛行	ドローンを遠隔から出発させて自律飛行レベル 3 の目視外飛行で災害現場撮影し映像を伝送できるかどうかの検証を行う	イ E
災害現場映像の自動抽出検索	災害現場映像から被災現場が現れるシーンをカットして抽出検索および遭難者部分を自動的に切出し抽出検索の検証を行う	イ F
災害現場映像の人・建物自動検出	撮影距離による人・建物検出率を 8K カメラおよび 2K/4K カメラ搭載ドローンで比較検証を行う	イ G
災害現場 3D データ比較	被災前後を想定した災害現場の 3D データ同士を精度よく比較処理できるかどうか検証を行う	イ H

2) 検証方法

各実証の機能検証方法をそれぞれ表 4-11、表 4-12 に示す。

表 4-11 (実証ア)の機能検証方法

機能検証項目	機能検証方法	実証目標の項番
ダム点検映像のリアルタイム伝送	ドローンから管理センターまでの 8K 映像伝送遅延時間を測定し評価する	ア B
ダム点検のドローン目視外飛行	自律飛行レベル 3 の目視外飛行状態で発進から帰還まで、規定の飛行時間でダム点検の作業完了できるかどうかを評価する	ア E
ダム点検映像の自動抽出検索	対象物が現れるシーンカットの正解と間違いを評価する 画像からヒビ等の自動切出しの正解と間違いを評価する	ア F
ダム点検映像の自動検出・状況の確認	ダム壁面からの撮影距離による検出率を評価する AI 超解像処理により精度向上することを評価する ヒビ等の評価箇所の状況を把握可能か目視観察との割合比較を行う	ア G
ダム点検 3D データ比較	ダムの点検比較箇所を想定計画し、撮影時間の異なる 3D データ同士を比較評価する	ア H

表 4-12 (実証イ)の機能検証方法

機能検証項目	機能検証方法	実証目標の項番
災害現場映像のリアルタイム伝送	ドローンから対策本部までの 8K 映像伝送遅延時間を測定し評価する	イ B
災害現場のドローン目視外飛行	自律飛行レベル 3 の目視外飛行状態で発進から帰還まで、規定の飛行時間で災害現場の確認作業完了できるかどうかを評価する。	イ E
災害現場映像の自動抽出検索	被災現場が現れるシーンカットの正解と間違いを評価する 画像から遭難者部分の自動切出しの正解と間違いを評価する	イ F
災害現場映像の人・建物自動検出	地面からの撮影距離により人・建物検出率を評価する 災害現場専用 AI 超解像処理により精度向上することを評価する	イ G
災害現場 3D データ比較	被災前後となる現場を想定計画し、撮影時期の異なる 3D データ同士を比較評価する。	イ H

3) 検証結果及び考察

a) 検証に用いたアプリケーションの説明

今回用いた、ダム那点検業務支援および、遭難者探索業務支援におけるアプリケーションの説明を行う。

・ダムの点検業務支援アプリケーション

今回、「ダム堤体の目視点検」をターゲットとして、ドローンに搭載した 8K カメラで撮影した堤体映像をローカル 5G で送信し、受信側サーバーで映像を確認できるアプリケーションを準備した。これは、ベースとなるアプリケーション（管路内を撮影した映像を管理・閲覧しやすくするソフトウェア。シャープ開発済）があり、それをダム点検映像に応用できるように調整したものである。その画面を下図に示す。



図 4-18 ダム点検アプリケーション画面

左上：撮影した 8K の堤体映像（下部にコントロールボタンとシークバーが重畳）

右上：ドローンの飛行場所を地図上に重畳

右中：ダムの上図（撮影場所に赤丸を重畳）

右下：ダムの側面図（撮影場所に赤丸を重畳）

動画を再生すると、右側の 3 つの図にある「ドローンの飛行位置」「上面図における撮影場所」「側面図における撮影場所」が連動する。すなわち、「動画として映し出されている場所が、ダムの図面上でどの位置なのか」が一目で分かるようなユーザインターフェースを有するアプリケーションとなっている。

ダム堤体の撮影の際は、下図に示すように、上方から下方にかけ、ジグザグにスキャンするようにドローンを飛行させた。また、堤体とドローン（カメラ）との離隔距離は、常に一定になるようにウェイポイントを事前設定し、自動飛行のプログラムに反映させた。イメージを下図に示す。

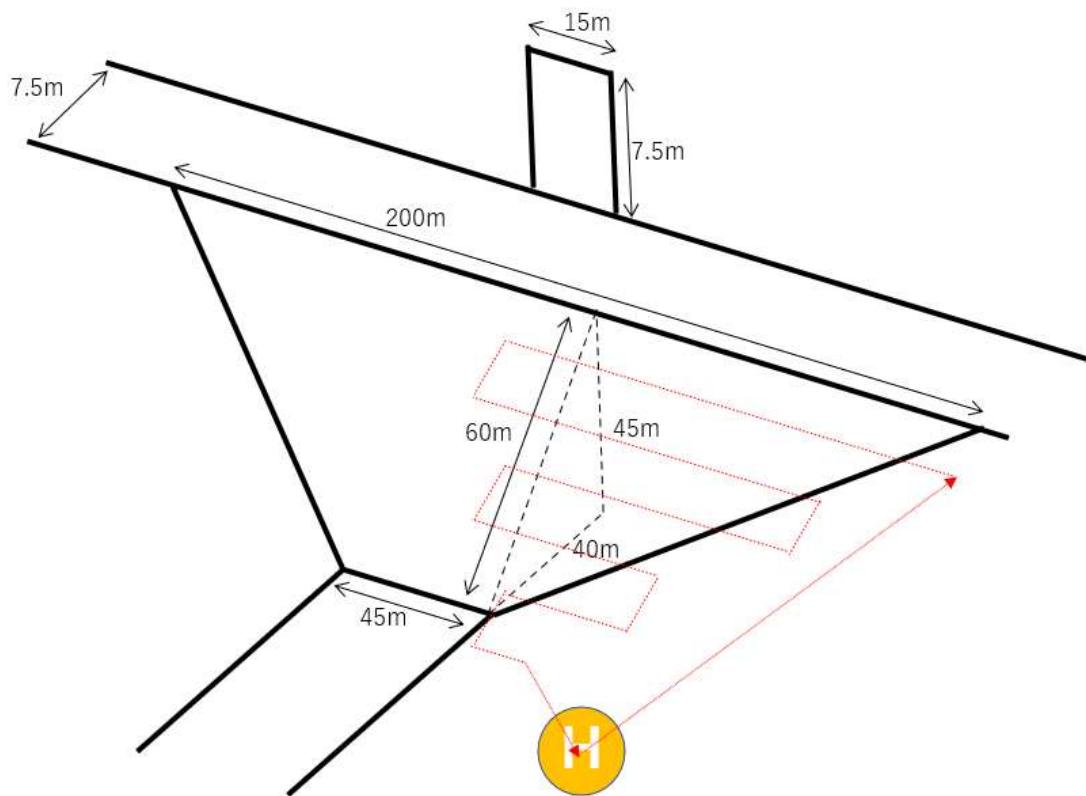


図 4-19 ダム堤体の撮影におけるドローン飛行経路イメージ

また本アプリ内では、ダムの上図において、特定の場所をドラッグアンドドロップにて矩形で指定することが可能である。次図に示す。

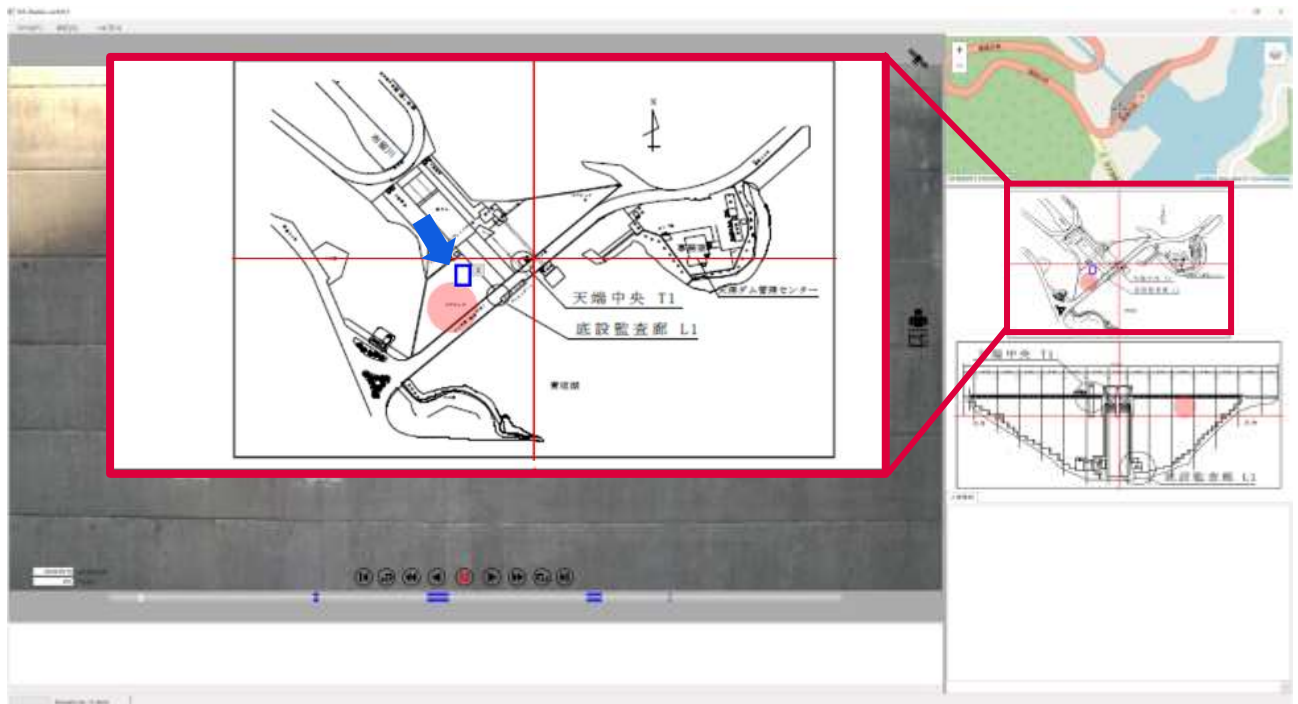


図 4-20 ダム点検アプリケーション画面において特定の場所を指定する様子

右側の平面図（中央に拡大して表示）において、特定の場所が青色の矩形で示されている。そのように指定した場所が、撮影した映像（動画）の中に映っていれば、そのシーンが動画のどの時間帯にあるのか、を、シークバーに示すことができる。シークバー上に色付け（青色）をし、そこに矩形で指定した場所が映っていることが分かるようになっている。

そして動画の再生中に、シークバー上に色付けした位置に再生箇所を指定することで、矩形で指定した場所（＝特定の場所）がすぐに再生画面内に表示できるようにした。この機能にて、特定の場所が現れるシーンを抽出することができる。

- ・ 遭難者探索業務支援アプリケーション

今回、「遭難者の探索」をターゲットとして、ドローンに搭載した 8K カメラで撮影した映像をローカル 5G で送信し、受信側サーバーで映像を確認できるアプリケーションを準備した。これは、ベースとなるアプリケーション（管路内を撮影した映像を管理・閲覧しやすくするソフトウェア。シャープ開発済）があり、それを遭難者探索映像に応用できるよう調整したものである。その画面を次図に示す。

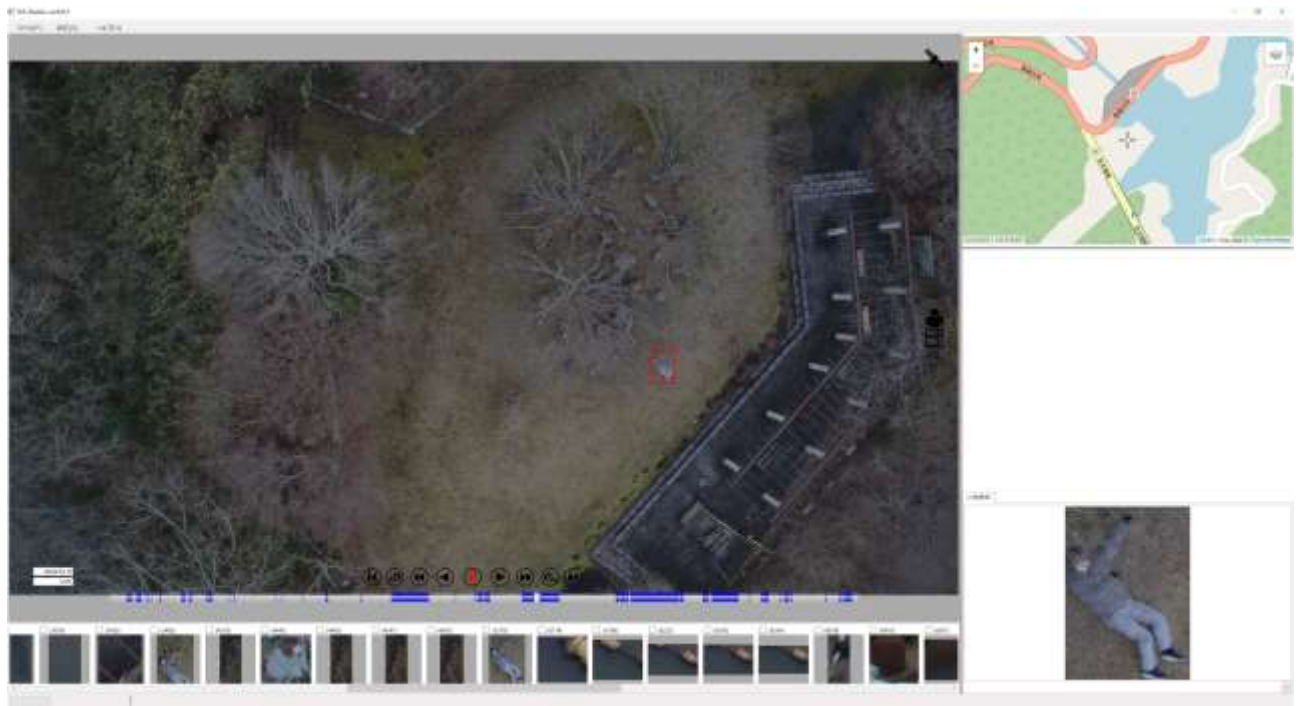


図 4-21 遭難者探索業務支援アプリケーションの画面

左上：撮影した 8K の公園の映像（下部にコントロールボタンとシークバーが重畳）

左下：「人」と検出した部分のサムネイル画像

右上：ドローンの飛行場所を地図上に重畳

右下：「人」と検出した部分の拡大画像

動画を再生すると、右上の「地図上のドローンの飛行位置」が連動する。すなわち、動画として映し出されている場所が、地図上でどの位置なのか、が一目で分かるようなユーザーインターフェースを有するアプリ、となっている。

また映像のシークバー内には、人を検出したシーンに色付けが自動的に表示されるようにしているため、映像再生中に色付け部分にジャンプすると、人が検出されたシーンにすぐアクセスすることができるようになっている（右下の拡大部も連動して表示される）。

b) 検証結果

ア B：ダム点検映像のリアルタイム伝送

ドローンから管理センターまでの 8K 映像伝送遅延時間の測定方法としては、以下の方法が考えられる。

- ・飛行中のドローンに搭載のカメラの前に時計 A（時刻は ntp サーバーと同期済み）を置き、それを撮影する。
- ・ローカル 5G により送信された映像を表示・確認する 8K モニター前にも、ntp サーバーと同期済みの時計 B を置いて、モニター内に表示されている時間とともに別途カメラで映像として保管する。

- ・その映像（動画）を確認し、時計 A と時計 B との差異が遅延時間となる。

上記方法が理想であるが、本シチュエーションでは、上空を飛行中のドローンの前に時計を設置することが困難であることにより、

- ・ドローンの離陸前に、ローカル 5G の通信を確立させておく。
- ・8K カメラからの映像がローカル 5G 通信経由で受信側 PC のモニターに届いている状態でドローンを離陸させる。
- ・離陸の様子を目視で確認し、その後にカメラからモニターに届く離陸の映像との遅延時間を確認する。

という手法を取った。

上記手法より、目視での遅延時間は約 2～3 秒であることが分かった。

この 8K カメラ映像をローカル 5G に載せるため等のコーデック変換に要する時間が必ず遅延時間には含まれる。言い換えると、8K カメラでの映像符号化処理（エンコード処理）とレシーバ PC での映像復号化処理（デコード処理）が生じる。このコーデックに関する遅延を、「8K カメラにより撮影される映像を、カメラに直結したモニターに表示させ、そのモニター表示映像での遅延時間」を確認したところ、ローカル 5G を介した遅延時間が約 1.5 秒であった。その他、映像を安定して伝送するために、送信クライアント PC にて実施しているレイテンシー時間なども鑑みると、ローカル 5G 送信自体としては、遅延量はごくわずかである。

以上、コーデック変換時間も総合的な遅延に含んだとしても、実務的には 2 秒程度の遅延時間なので、概ねリアルタイムと変わりなく使用できると考えられる。

本検証のみならず、本実証事業を通じて、全ての項目の実験において 8K 映像は 30P としており、よって、本項目の実証目標の「伝送映像：8K@30P、伝送遅延：1 分未満」を達成することができた。

ア E：ダム点検のドローン目視外飛行

今回、ダム点検を遠隔で行うことを想定した「目視外飛行」には、ドローンに通信モジュールを用いて飛行コントロールをする必要がある。そのため、LTE 通信モジュールを搭載し、LTE 通信によるドローンの自立飛行の確認を行った。

ローカル 5G による映像の伝送については、本実証実験内では「離陸前に通信確立状態」となっているときにのみ上空での映像伝送が確認できていた。しかし、目視外飛行となると離発着場所をダム（今回のローカル 5G アンテナの設置場所）から離隔する必要がある。その理由として、国土交通省より発行されている「無人航空機の目視外飛行に関する要件」にも記載されているが、「操縦者は目視外飛行時、機体の異常や計画上の飛行経路から逸脱するような場合に、計画上の飛行経路に戻す、あるいは適切な場所に着陸させる」といった責務があり、離発着時にそのリスクが最も高いと言われていることから、万全を期すため、離発着場所に近い場所に操縦者を配置するため、ドローン、操縦者いずれもダムから離れたところで目視外飛行を実施した。しかしながら、今回の離陸場所においては通信確立状態を確保することが困難であったため、映像の伝送および飛行時間評価はせず、8K カメラをドローンに搭載し、LTE 通信下での自立飛行による動

画撮影の確認、を実施した。したがって、イEと兼ねた飛行・撮影となっている。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/16 13:00-15:30 (天候：曇り)

飛行回数：テスト含め2回

カメラ：Z CAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

解像度：7680 x 4320

レンズ：24mm

(カメラの撮影方向は、ピッチ角約45度)

使用ドローン：build flyer (石川エネルギーリサーチ社製)

撮影高度：60m 設定

飛行速度：4m/s 設定

飛行距離：約1.15km 設定

飛行ルート・エリアおよび人員配置は次図の通り。



図 4-22 ドローン飛行ルート・エリアおよび人員配置

実証目標にある「ダム点検の作業完了できる規定の飛行時間」を設定する元データがないため、「目視外飛行の設定ルートの飛行時間」を目標（比較元）とし、実際に要した飛行時間を比較した。次表に示す。ほぼ目標通りの結果であった実施目標内の「計画差5分以内」については、予定飛行ルートを設定しなおしたものの、目標を達成できたと考える。

表 4-13 飛行時間

	飛行時間
目標	4分47.5秒
結果	4分45秒

LTE での接続によるフライトコントロール画面を下図に示す。

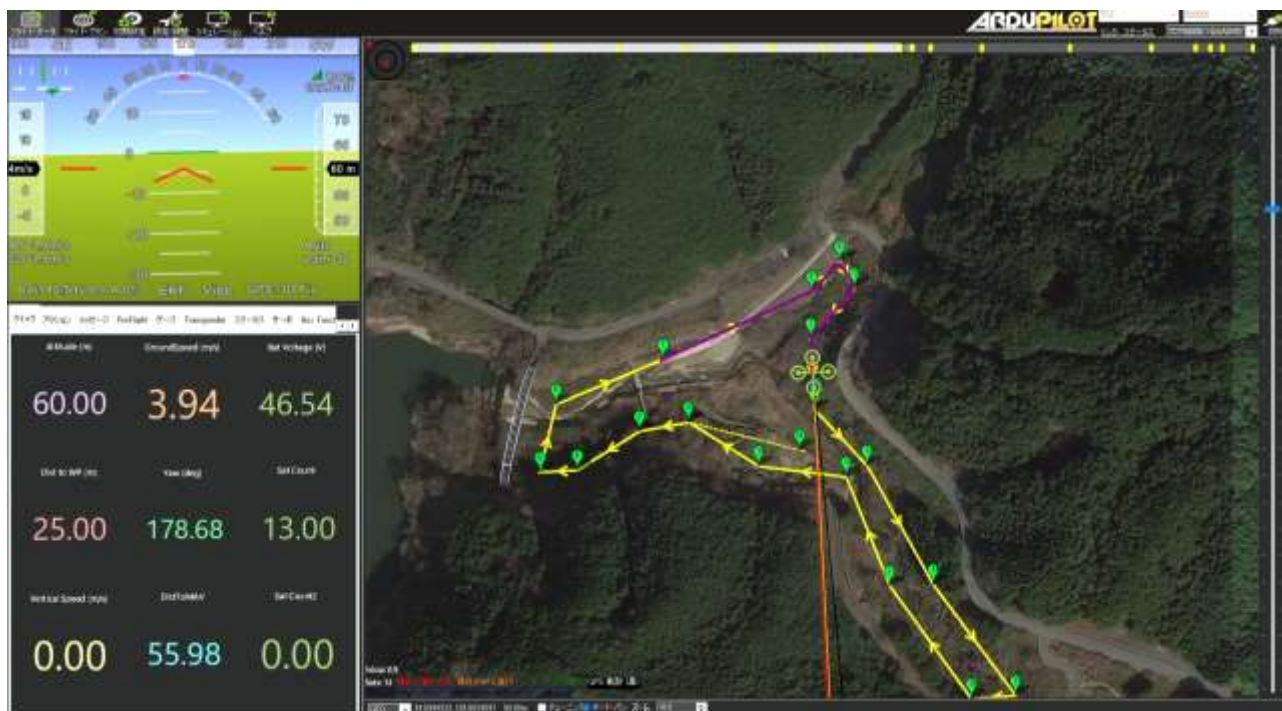


図 4-23 LTE での接続によるフライトコントロール画面

また、このときに、ドローン搭載の 8K カメラによって撮影された映像を次図に示す。全ルートを通して撮影を行い次図のような 8K 映像を取得することができており、目視外飛行として問題なくできていることが確認できた。



図 4-24 ドローン搭載の 8K カメラによって撮影された映像

ア F：ダム点検映像の自動抽出検索

今回の実証実験においては、堤体映像は録画済みデータ（ダム下流側から堤体に向かって右半分）を用いた。この理由を以下に述べる。点検支援アプリケーションとしての今回のポイントは、撮影場所（もしくはドローンの飛行場所）と、撮影映像がリンク（連動）するところである。そのためにはドローンの飛行位置（フライトログ）が必要となるが、今回用いたドローンのシステムでは、フライトログはメモリに保管され飛行終了後に取り出すこととなるため、映像自体も録画済みデータを用いることとした。ベースとなるアプリケーションの内部処理としては、その元データがストリーミング映像データに変わり、使用するフライトログデータも合わせて逐次送信されれば、同様に処理できる想定となるため、このような方法をとった。また、右半分とした理由は、今回のドローンの航続可能時間とダム堤体のサイズを鑑み、1回のフライトで収まる範囲の飛行エリアとしたため、である。その画面を次図に示す。

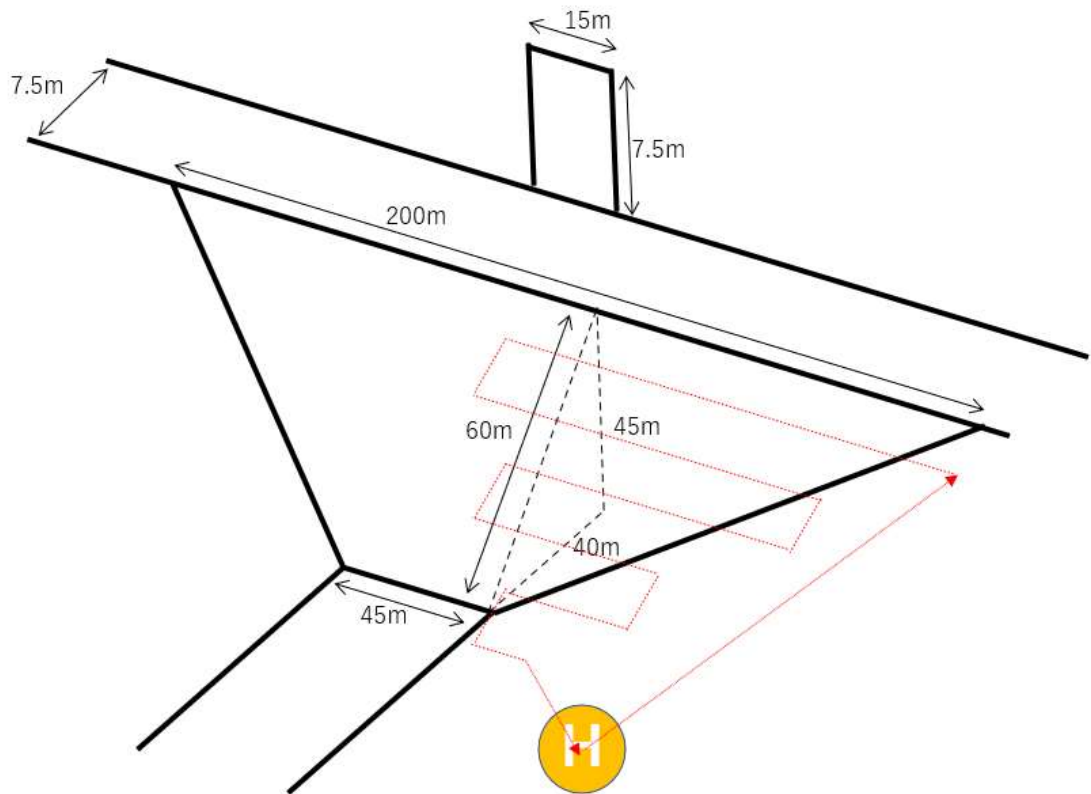


図 4-25 1回のフライト範囲のイメージ

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2022/10/26 10:00-15:00（天候：晴れ）

飛行回数：テストおよびウェイポイント設定含め5回

カメラ：Z CAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ（35.97 x 23.98 mm）

解像度：7680 x 4320

レンズ：24mm

（カメラの撮影方向は、堤体に正対する方向にピッチを調整済み）

本項目では、対象物もしくはヒビ等の映る場所を、自動的にカット・切り出すとなっているが、今回はその対象物を堤体に設置されている「鉄管及び階段」として、それが映っているシーンカットすることとした。鉄管及び階段を選んだ理由としては、堤体面に沿って上方から下方に設置されており、今回の映像において複数個所にわたり撮影されていることによるものであり、映像の中での対象物の自動抽出を示すに好適であると考えた。

本アプリ内の、特定の場所を矩形で指定する機能を用い、上記「鉄管及び階段」を特定の場所として矩形指定した。図 4-26 に示す。

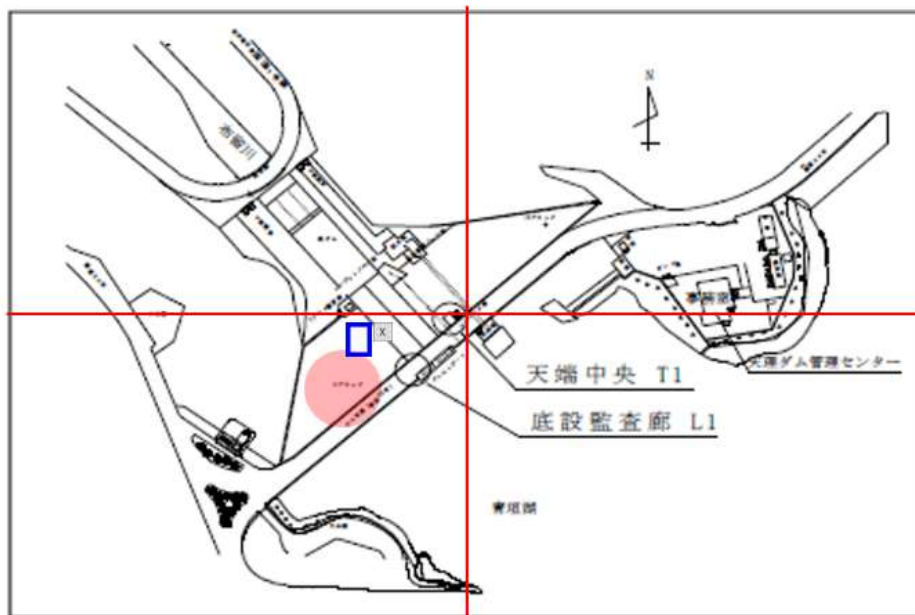


図 4-26 ダム点検アプリケーション画面において「鉄管及び階段」を特定の場所として指定する様子

アプリケーション全体の画面を下図に示す。



図 4-27 アプリケーション全体の画面

「鉄管及び階段」が映っているシーンは、シークバー上に色付けされている。この動画を再生しているときに、色付けした位置に再生箇所を指定したときのアプリケーション画面を次図に示す。「鉄筋及び階段」が現れるシーンを抽出することができた。



図 4-28 「鉄管及び階段」を再生箇所として指定したときのアプリケーション画面

例えば、図に示すような、堤体面に存在する大きなパイプ・階段のある位置を矩形指定することで、シークバー内の幾つかの場所にパイプ・階段が映っている箇所が示されることが分かる。元の映像としては、ダム堤体の上方から下方にかけ、水平方向に往復するように撮影しながら降りてきているため、シークバーの左側（すなわち動画のタイムスタンプとしては早いほう）では上方が映っており、右側（すなわち動画のタイムスタンプとしては遅いほう）では下方が映っていることになる。よって、シークバー内に幾つかの色付けした位置が存在している場合には、特定の対象物の中でも上方部分は左のほうで映っており、下方部分は右のほうで映っている、ということになる。



図 4-29 下方を映し出しているアプリケーション画面

今回、特定の対象物を正しくシーン抽出できているかどうか、を評価した。そのため、
 カット正解率=図面上に指定物の位置を設定し、選択されたシーン内に、少なくとも1か所に
 指定物が映っているかどうかの割合

切出し正解率=図面上に指定物の位置を設定し、選択された複数のシーンに、指定物が映って
 いるシーンがどの程度含まれているかの割合
 と定義した。

地図および図面の東西南北の方位と画面の縦横を合わせているので、天理ダムの堤体の延伸する向きが北東-南西方向であるため、上面図上で鉄管及び階段を指定する際の矩形の向きも図面に対して傾く。したがって、矩形の領域と鉄管及び階段の領域との間に過不足部分が生じることとなったため、シーン抽出も過不足なくきっちりと行うことは難しかった。しかし、鉄管及び階段を、指定する矩形で確実にカバーできるよう広めにすることで、指定した場所(=鉄管及び階段)の切出しには成功したといえるので、それぞれの正解率100%を達成できたと考えられる。今後、特定の対象物の選択方法を、矩形ではなく自由形状が使えるようにすれば、広めに指定することなく、シーン抽出の正確性を高めること(特定の対象物が画角の中心付近に映っているシーンに限定することと同義)は可能である。

上記シーン抽出について、「ヒビ」を特定の対象物として設定することも可能である。例として、ヒビの位置を矩形にて指定したときのアプリの画面を図4-30に示す。



図 4-30 ヒビのある領域を指定した場合のアプリケーション画面

右中段の図に、青い矩形で示しているのが、ヒビのある領域を指定した場所である。その場所が撮影映像のどのタイミングに映っているのか、が、映像下部にあるシークバー内の青く色付けされた箇所該当している。映像の再生場所を色付け箇所指定すると、図のようにヒビが映っているシーンにアクセスできる。このように本機能を「ヒビ」に対して適用しても、同様にシーン抽出は可能である。

さらに、後述する「ヒビ検出」の技術にて、上図のヒビを検出した結果を次図に示す。推測されるヒビ幅は 100mm 程度であり、ア G で検出できるヒビである。



図 4-31 ヒビ検出の結果

上図において、検出できた箇所にもゼンタで色付けした線を重畳した。このヒビ検出技術は、別ソフトウェアでの処理画像であるが、このヒビ検出技術を機能として本アプリケーション内に統合することは可能である。その統合を行い、検出結果をアプリケーション内で重畳表示することが可能となる。またヒビの検出結果のデータを本アプリケーション内で保持することもできるため、図面内にもヒビの位置情報を重畳することが可能である。そこから、特定のヒビを指定することで、そのヒビの映っているシーンにアクセスして抽出することができるようになる。今後、このようにヒビ検出も含めた機能へ拡張していくためには、ヒビ検出技術と本アプリケーションの統合が必要である。

今回のシステムでは「フライトログを飛行終了後に取り出し」てデータをアプリケーションに取り込み、その飛行時に撮影された録画済み映像と紐づけている。フライトログは、ドローン飛行中に逐次記録されるドローンに関する情報（位置情報だけでなく、機体の状況やセンサー情報等）の時系列データであるが、それを飛行中リアルタイムに伝送する機器・ソフトはない（操縦のためプロポへ必要情報は送信されているものの、他に二次的に使用するために送信されていない）。現状、基本的には事故等のトラブル発生時の原因究明のためにフライトログが使用されることが大半であり、ユーザー側でフライトログのデータを活用する機会は少ない。しかしながら、本システムにおいて、ドローンからリアルタイムに送られてくる映像に対して、アプリケーション側でもリアルタイムに撮影位置情報などを反映させて表示していくには、フライトログも同時にかつユーザー側で使用できる形式でリアルタイム送信される必要がある。このような使い方を鑑みたドローン機器・操縦ソフト側でのフライトログ送信機能の開発も進めていくことにより、本システムのユーザビリティも向上することが期待できる。

なお、ユーザーにおける評価結果としては、ダム関係者からのヒアリングにより、

○ダム堤体は表面がのっぺりしているの、どこを見ているのか図面との照合が簡単にできるのは良い。

○トンネル壁面も同様なので、このアプリケーションを適用できるのではないかと。

○橋梁も最近では GPS 座標が台帳に記録されており、同様に適用しやすいのではないかと。

等の評価を得た。ユーザインターフェースとしてはかなり直感的にわかりやすいとの評価は得られたと考えられる。

ア G：ダム点検映像の自動検出・状況の確認

本項目は当初、ヒビの自動検出について、撮影距離を変えたときのヒビの検出率を検証する、となっていた。しかしながら、ダム関係者とのヒアリングの中で、「目視点検での確認はするものの、ダムの基本性能を脅かすようなヒビは存在せず、またヒビの幅等を測定していることもないので、数値データは持っていない」ということが分かった。

したがって、撮影したダム堤体の映像内に、仮にヒビがあったとして、その幅等を画像解析によって推定したとしても、「真値」がないため、算出結果が合っているのか・間違っているのか・どの程度差があるのか・精度はどうなのか、など、測りようがなかった。

よって、実際のヒビを観察する、ということではなく、真値が分かっている「模擬的なヒビ」となるような対象物を、ダム堤体の表面に貼り付けておき、それをドローンに搭載した 8K カメラで離隔距離を変えながら撮影をしたデータから、対象物のサイズを画像解析にて推定計測を行うこととした。

模擬的なヒビとしては、その幅等の真値が分かっており、可搬性（付け外しなどできること）が必要なため、幅の大きさに応じてシャープペンシルの芯・ラインテープ・ビニールテープを用意した。これまで用いているヒビ検出のプログラムでの検出動作の確認とパラメータ調整等のため、まず 4K 画像にて撮影・検出処理を実施した。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2022/12/28 9:30-11:30 （天候：晴れ）

飛行回数：テスト含め 3 回

カメラセンサーサイズ：13.2 x 8.8mm

焦点距離：8.8mm（35mm 判換算 24mm 相当）

画素数：3840 x 2160 pixel（4K）

撮影方法：地上に置いた被写体の上空 100m にドローン（代替機）の高度を初期設定し飛行。

「ホバリング 10 秒程度ののち 10m 降下」を繰り返しながら、4K 動画による撮影（録画）を実施。

検出方法：取得した動画のうち、10m ずつのホバリング映像にてフレーム（静止画）を抽出し、ヒビ検出プログラムにかけて検出処理を実施。

被写体：次図に示す。模擬的なヒビとなるシャープペンシルの芯・ラインテープ・ビニールテープを台紙に貼り付け、路面上に設置した。

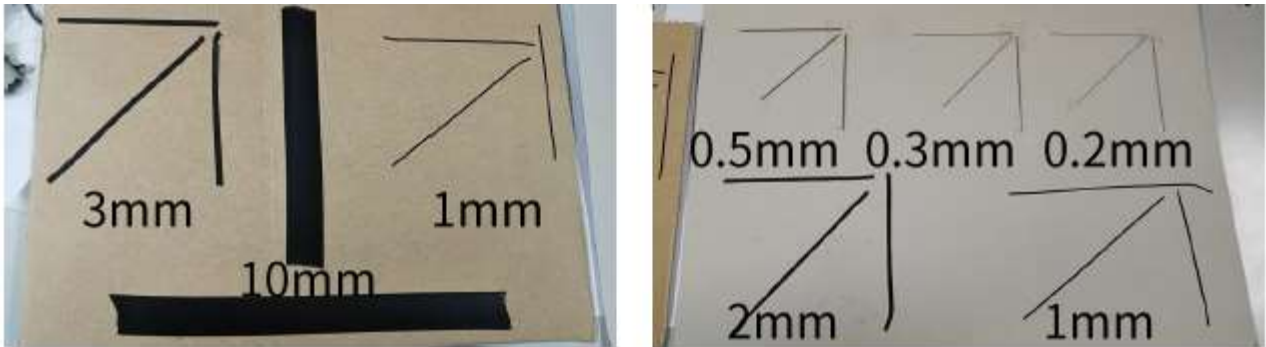


図 4-32 模擬的なヒビ

画像データ（動画からフレームを抽出してヒビ検出の結果を重畳している）を下図に示す。

模擬ひび周辺を切り出した検出結果。()内は画素分解能。

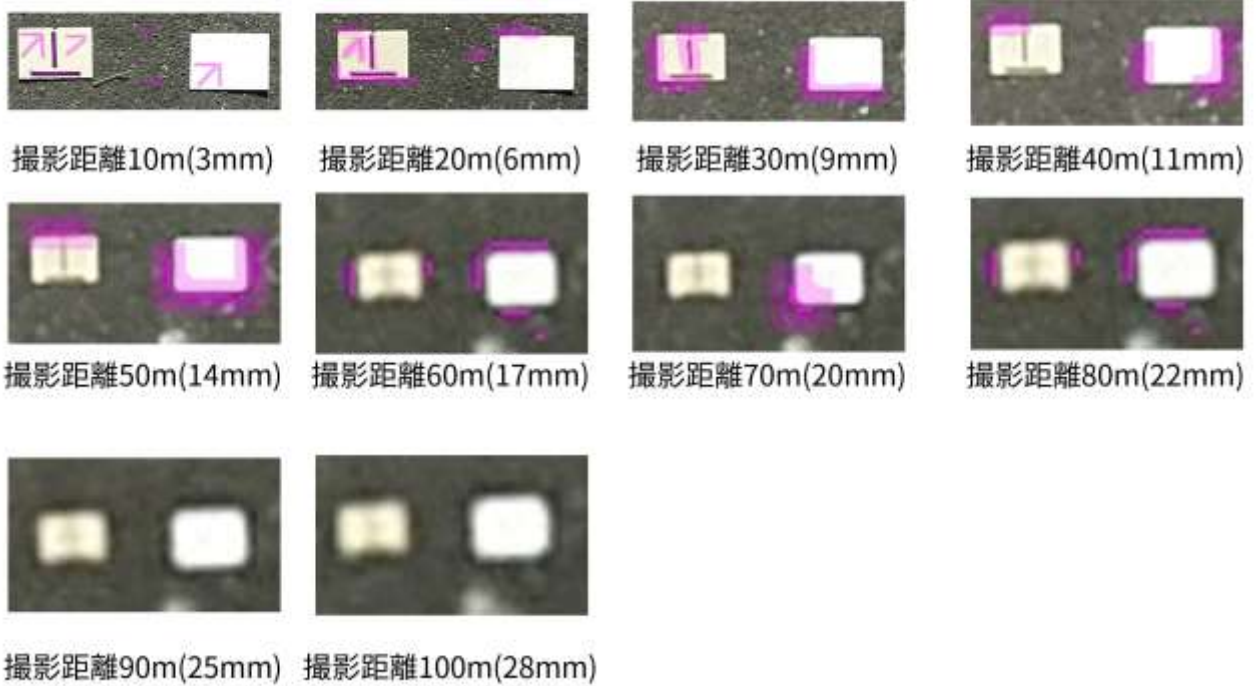


図 4-33 模擬的なヒビの画像および検出結果

以上の画像から検出結果まとめを次表に示す。

画素分解能とは、画像における1画素（ピクセル）あたりの長さを示す。

表 4-14 ヒビ検出結果まとめ

模擬ひび検出結果 : 画素分解能1/4より大きい模擬ひび

撮影距離 [m]	画素分解能 [mm/pix]	ひび検出可否[mm]						
		0.2	0.3	0.5	1	2	3	10
10	3	×	×	×	△	○	○	○
20	6	×	×	×	×	×	△	○
30	9	×	×	×	×	×	×	△
40	11	×	×	×	×	×	×	×
50	14	×	×	×	×	×	×	×
60	17	×	×	×	×	×	×	×
70	20	×	×	×	×	×	×	×
80	22	×	×	×	×	×	×	×
90	25	×	×	×	×	×	×	×
100	28	×	×	×	×	×	×	×

画素分解能以上
○：縦横斜め全て検出
△：縦横斜めのいずれかが未検出
×：未検出

画素分解能以上の検出率は 75% (3/4)、試算上可能とみられた画素分解能未満～1/4 まで、では検出率 7% (1/14) であった。検出に用いた画像から被写体部を抽出した画像（検出結果をマゼンタ線で重畳）を示す。

基本的には、画素分解能以上の幅の模擬的なヒビであれば検出されることになるのだが、撮影距離 30m での 10mm 幅の模擬的なヒビの検出が一部できていなかった。その原因を考察すると、「台紙外の輝度差も背景として計算しているため」であることがわかった。周辺背景の輝度としては台紙部分「のみ」を用いるべきところ、台紙周辺の路面まで計算に用いており、その分輝度差が得られず一部（特に横方向）の模擬的なヒビが検出できなかった。ダムにおいては、模擬的なヒビを「堤体に直接」貼り付けるので、台紙による影響を排除し純粋な背景からの輝度差を用いることで、このような状況は生じないと考えられた。

また、画素分解能 1/4 より大きく画素分解能より小さい幅の模擬的なヒビがほぼ未検出となった出の原因は「台紙のハレーションにより模擬的なヒビの明るさが持ち上げられ、十分な輝度差が得られなかったこと」と推定された。ダムにおいては、台紙のように高輝度と得られやすいようなテクスチャではないため、周辺背景のハレーションによる影響は少なくなり、このような状況は生じないと考えられた。

以上より、「このような模擬的なヒビを、一様な背景に貼り付ければ、画素分解能以上の幅のものを検出可能である」ため、ダム堤体に図 4-34 のように貼り付け、撮影実験を行った。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/7 10:00-14:30 (天候：曇り)

飛行回数：6回 (再撮影含む)

カメラ：ZCAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

レンズ：50 mm

(カメラの撮影方向は、堤体に正対する方向にピッチを調整済み)

画素数：7680 x 4320 pixel (8K)

使用ドローン：build flyer (石川エナジーリサーチ社製)

被写体：模擬的なヒビを、下図のような配置で堤体表面に直接貼り付けた (上述の4K撮影時と同様、(0.1~0.3mm幅はシャープペンシルの芯、1~3mm幅は黒色ラインテープ、10mm幅はビニールテープを用いた)。

撮影方法：離隔距離が2m/5m/10m/15m/30m/50m/70m (いずれも設定値) となるような位置でドローンをホバリングさせながら、8K動画撮影を実施。距離の確認については、堤体の水平打ち継ぎ目の間隔が2mであることから算出した「画角の縦幅の距離」を用い、ドローンの位置を調整して設定の離隔距離とした。

検出方法：取得した動画のうち、ホバリング中の映像にてフレーム (静止画) を抽出し、ヒビ検出プログラムにかけて検出処理を実施。

実際に撮影した動画から、検出に用いる静止画を切出し、検出された結果を重畳した画像を示す (順番に、離隔距離2.5m/10m/15m/30m/50m/70m設定)。



図 4-34 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 2.5m)



図 4-35 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 10m)



図 4-36 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 15m)

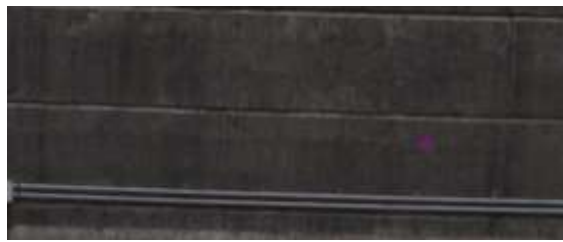


図 4-37 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 30m)



図 4-38 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 50m)



図 4-39 検出に用いる画像および検出結果(離隔距離 70m)

以上に示した検出に用いた画像の検出結果を次表にまとめた。

表 4-15 模擬ヒビ検出結果

模擬ひび検出結果

撮影距離 [m]	画素分解能 [mm/pix]	模擬ひび幅[mm]						
		0.2	0.3	0.5	1	2	3	10
2.5	0.2	△	△	△	○	○	○	○
5	0.5	動きぶれのぼやけにより検出困難						
10	1	—	—	—	○	△	○	○
15	1.5	—	—	—	—	×	○	○
30	3	—	—	—	—	—	×	○
50	5	—	—	—	—	—	—	○
70	7	—	—	—	—	—	—	○

○:縦横斜め全て検出 △:縦横斜めのいずれかが未検出 ×:未検出

上記より、今回の撮影条件下においては、

- ・ 離隔距離 15m 程度であれば、3mm 幅（以上）の模擬的なヒビは検出可能
- ・ 離隔距離 2.5m 程度まで接近すれば、0.5mm 以下の幅の模擬的なヒビも方向によっては検出可能
- ・ 10mm 程度の幅の模擬的なヒビでは、最も離れた離隔距離 70m 程度であっても検出可能

ということが分かった。画素分解能以上の幅の検出率としては、67% (12/18) であった（離隔距離 5m 設定のデータは除く）。

離隔距離 5m 設定において「動きぶれのぼやけにより検出困難」だったのは、（動画）撮影時においてドローンをホバリングさせて空中で静止させていたのだが、ドローン周辺の状況により空中での静止が困難であったため、ドローンが常に細かく動いている状態であったことが影響し、取得した動画データから抽出した画像に動きぶれが常に含まれ、想定していた解像度の画像が得られなかったから、と推定される。

なぜ「空中での静止が困難」だったのか、について考察する。この離隔距離（5m 設定）でのホバリング位置では、図に示すようにダム設備の構造物があり、その上からドローンによるダウンフローの風が吹き付けることになる。その後、これら構造物によりその周辺で不規則に風が舞うことになり、ドローンの空中静止制御が困難になりやすかった、と推察する。

その他の離隔距離では同様の事態が生じなかった（もしくは生じにくかった）ため、所望の画像抽出並びにヒビ検出処理がかけられたと考えられる。ドローンの下方に構造物があったとしても、離隔距離および高度が十分にある場合には、ドローンが発する風が自身の位置制御に悪影響を及ぼす可能性も低くなると考えられる。

一方、8K 撮影においても、画素分解能の 1/4～画素分解能までの幅の検出はできなかった。こ

れは、堤体の表面が降雨・降雪の影響と、気温や日射量が少ない影響などで、常に湿潤状態であり、模擬的なヒビと背景との適切な輝度差が得られなかったことによると考えられる。

4K との比較については、撮影条件・パラメータの違い等があるが、画素分解能以上の検出状況にて比べてみると、10mm 幅の模擬的なヒビについては

4K : 30m 程度まで

8K : 少なくとも 70m 程度

の離隔距離であれば検出可能、となった。ダムの基本性能を脅かすような要観察のヒビとしては、その幅の大きさが一概に決まるものではないが、遠くから（すなわち安全性をより確保して）観察しデータを取得するには、8K 動画撮影のほうが 4K 動画撮影よりも優位性があることが実証された。

また、「ダム壁面からの撮影距離による検出率」については、基本的に各「撮影距離＝離隔距離」における画素分解能以上の幅を検出できたかどうかで整理した（離隔距離 5m 設定時を除く）。今回の結果では、

15m : 画素分解能 1.5mm/pixel だが 2mm 幅未検出

30m : 画素分解能 3mm/pixel だが 3mm 幅未検出

であり、それ以外の距離においては、画素分解能以上の幅は検出可能であった。

また、本評価項目に挙げている AI による超解像処理によって、ヒビの検出率が向上するかの確認を行った。現在、代表機関のシャープにおいて、AI による超解像処理について研究開発を進めている。この技術の本来は、高画質映像を低い伝送レート下で伝送後に AI 学習データを用いて超解像処理をすることで元の高画質映像に近いレベルにまで映像生成する技術であり、今回のソリューション用に開発された技術ではない。

ドローンに搭載の 8K カメラから撮影した実際のヒビの部分をクリックアップし、実際に AI 超解像処理を施したものを次図に示す。



図 4-40 ヒビ部の AI による超解像処理 (左:元画像 右:AI 超解像処理)

今回は幾つか方式がある中で、境界線などを強調する、いわゆるエンハンス効果が高いアルゴリズムを採用し実施した。上図において、左が元画像で、右が AI による超解像処理を施した画像である。一見、ヒビ部が強調されているのが判る。しかし、ヒビ部の周りに縞模様が新たに生じているのが判る。結果として、この縞模様が誤検出をする恐れがあり、このままでは利用できない。

そこで、さらに検出率を高めるように、元画像からコントラストを向上させる処理（ヒストグラム平坦化）を行った上で改めて AI 超解像処理を行ったものを次図に示す。



図 4-41 前図からさらにエンハンス効果を高めた超解像処理
(左:ヒストグラム平坦化処理 右:左図からの AI 超解像処理)

この図を見ると、ヒビの形状がより明確になったものの、周囲の縞模様がより強調されてしまう結果となった。

この他にも幾つかの処理方法を施したが、検出率向上につながる結果は得られなかった。

考察として、学習データがヒビやコンクリートに特化したものではなく、汎用性の高い、様々なジャンルのモデルからの学習データであったため、エンハンス効果そのものは得られたものの、検出という概念が反映できなかつたことが挙げられる。

今回は学習データも不十分であったため、引き続き本ソリューションに特化した学習データを多く取得し、検出に適した超解像処理ができるように開発を進める。

本ソリューションが、ダムの点検項目のうちどの部分の置き換えになるか、「ダム総合点検実施要領・同解説」(国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課 平成 25 年 10 月)の「【様式 A3】現地状況(概査)の整理」の下表を用いて考察する。

表 4-16 「ダム の 現 地 状 況 (概 査) の 整 理 」 か ら の 本 ソ リ ュ ー シ ョ ン 置 き 換 え 項 目 検 討

項目			確認手段	置き換え
本体	上流面	クラック	目視	○
		変形	目視または測量	○
		劣化	目視及び打撃	△ (目視のみ)
		継目の開き	目視	○
		その他		
	下流面	クラック	目視	○
		変形	目視または測量	○
		劣化	目視及び打撃	△ (目視のみ)
		継目の開き	目視	○
		浸透水	目視及び計測	×
		漏水量	目視	×
		その他		
	堤頂	クラック	目視	○
		変形	目視または測量	○
		劣化	目視及び打撃	△ (目視のみ)
		摩耗	目視	○
		継目の開き	目視	○
		越水時飛沫による周辺への影響		
		その他		
	監査廊	クラック	目視	×
		変形	目視または測量	×
		劣化	目視及び打撃	×
		継目の開き	目視	×
		異常漏水		
		異常排水		
		その他		
	基礎・周辺斜面	ダム周辺の漏水	目視及び聞き取り	△ (目視のみ)
		地山のはらみ出し	目視または測量	○
沈下		目視または測量	○	
風化		目視	○	
断層		目視または測量	○	
地すべり・崩壊 (ダムサイト近傍)		目視	○	
グラウト				
その他				
洪水吐き		ダム設計洪水流量	現基準による計算	×

項目		確認手段	置き換え
		既往最大流量の確認	
流入部	クラック	目視	○
	変形	目視または測量	○
	摩耗・損傷	目視	○
	劣化	目視及び打撃	△（目視のみ）
	継目の開き	目視	○
	閉塞（流木等）	目視	○
	その他		
越流部	クラック	目視	○
	変形	目視または測量	○
	劣化	目視及び打撃	△（目視のみ）
	摩耗	目視	○
	継目の開き	目視	○
	その他		
導流部	クラック	目視	○
	変形	目視または測量	○
	摩耗・損傷	目視	○
	劣化	目視及び打撃	△（目視のみ）
	継目の開き	目視	○
	閉塞（流木等）	目視	○
	その他		
減勢工	クラック	目視	○
	変形	目視または測量	○
	摩耗・損傷	目視	○
	劣化	目視及び打撃	△（目視のみ）
	継目の開き	目視	○
	閉塞（流木等）	目視	○
	その他		

本ソリューションでは、カメラにて撮影した映像を用いるため、基本的には「目視点検」が置き換えられることとなる。上表では、「目視」および「目視または測量」については「置き換え可（○）」とした。「劣化」については、例として「鉄筋や骨材露出」があるが、確認手段として「目視及び打撃」とあり、打診による検査が含まれている。そのため、本ソリューションでは対象箇所映像は確認できるものの、打診はできないので、置き換えは「△（目視のみ）」とした。

「浸透水」「漏水量」として、目視（及び計測）による確認となっているのだが、これらは三角堰等で水量を測り目盛りを読み取る、という手段であるので、本ソリューションでの置き換えは

困難であるとして「×」とした。また、項目として「監査廊」における各項目があるが、監査廊そのものがとても狭い閉空間であり、本ソリューションのような機器ではドローンの安定飛行は困難であるので、置き換えは困難であるとして「×」とした。

このように、全ての項目を本ソリューションで置き換えることはできないので、現場で確認する必要がある項目は残るものの、「極力近接した位置での目視」を基本とし、やむを得ず双眼鏡等で確認するような場所の構造物に対しては有効性のある置き換えとなる。

本実証の結果としては、今回の撮影条件・カメラパラメータの前提の下では、

- ・10mm以上のヒビ検出可能距離：撮影距離70mまで
- ・1mm以上のヒビ検出可能距離：撮影距離10mまで

であった。1mm未満のヒビについては、撮影距離2.5m程度まで近づけば一部の延伸方向については検出できたものの、検出できない場合もあったので、撮影可能距離としてのデータ取得には至らなかった。よって今回のデータとしては「検出限界は1mm幅」と考えられる。

一方で、ダムの基本性能を脅かすようなヒビはその幅で一概に決まるものでもないため、上記検出分類や検出限界は今後対象となるヒビの存在が確認されたら、条件等を適宜調整する必要があると考える。

天理ダムの堤体においては、真値の分かっているヒビがないとのことで、上記実証実験を行ったが、ヒビを検出してその幅や長さを推定計測できる技術・機能については、定期的な観察や地震等の災害時の臨時点検にて「新しいヒビが生じたかどうか」の確認作業に利用可能と考えている。また、関係者とのヒアリングにて、他ダム事例ではあるが、ヒビの定点観測をする場合もあり、そういった業務にも、本システムが活用できると考えている。

なお、本項に関し、ユーザーにおける評価結果としては、ダム関係者からのヒアリングおよび土木事務所関係者からのアンケート結果により、

- ダム堤体の高所などの点検ができるのは良い
 - 短時間で広範囲に対応できる
 - 近接目視できないところに有効
- 等の評価を得た。一方で、
- 微小なクラックのスケールを当てて確認できない

といった、より実際の作業に近い確認方法を求める意見もあり、立体ディスプレイ、VRやAR等、平面ディスプレイからより進化させた映像インターフェースの採用必要性も検討すべきと考えられる。

アH：ダム点検3Dデータ比較

ダムの点検比較個所を、ダム湖面－堤体のL字部分と想定し、撮影時間の異なる3Dデータ同士を比較することとした。

湖水面と堤体面が接している場所から約45度斜め上方・離隔距離47mの位置を基準として、角度がやや浅い・やや急に見込むように、3種類の角度でもって堤体の延伸方向に往復するよう

にドローンを飛行させて撮影した。下図に示す。

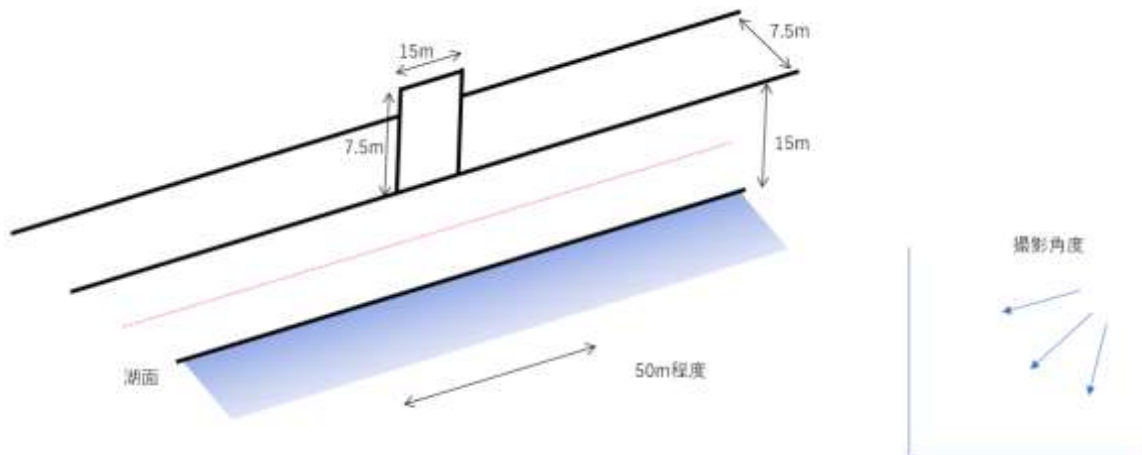


図 4-42 堤体の撮影飛行経路

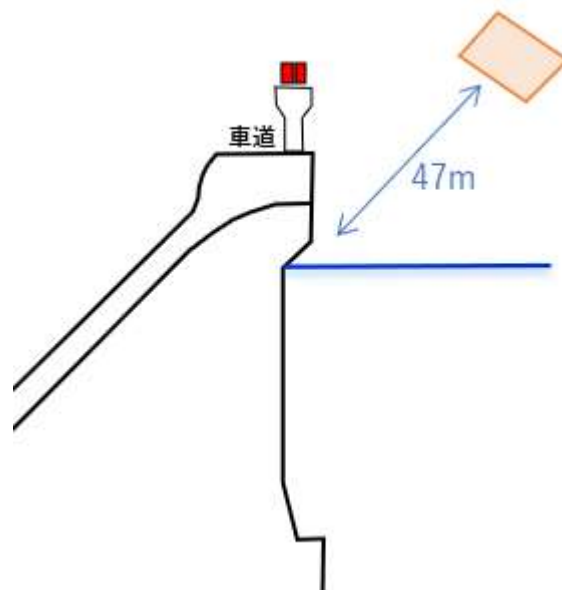


図 4-43 堤体とドローンの位置関係

まずは、ベースとなる 3D データを生成・取得するため、「曇天時」の撮影を行った。理由は、やや暗めの映像からのほうが 3D データを作りやすいこと、および、なるべく「影」が生じない日照条件下のほうが 3D データを作りやすいこと、があるからである。

また、本実証実験では、ローカル 5G でのデータ送信を想定しており、高精細な動画の送信 (配信) を考えているため、元データは 8K 動画として取得した。3D データとするには、85~90% 程度のラップ率を有する画像群を準備する必要があるが、今回取得した動画から、ドローンの移動速度 (約 2m/s) を鑑み、静止画として約 6 フレームごとに動画から抽出することで、約 85%

のラップ率の静止画像群を生成した。

この画像群を用い、3D データとした画像を、ダム壁面に向かって正面から・向かって左斜め上から・向かって右斜め上から見るように回転させた。下図に示す。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/6 11:00-15:30 (天候：曇り)

飛行回数：6 回 (再撮影含む)

カメラ：ZCAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

レンズ：24 mm

撮影方向：堤体に垂直とし、堤体と平行に往復して撮影しながら、1 往復ごとにピッチを 55°→45°→35°と調節)

画素数：7680 x 4320 pixel (8K)



図 4-44 3D データ画像(ダム壁面に向かって正面から)



図 4-45 3D データ画像(ダム壁面に向かって左斜め上から(上)・右斜め上から(下))

一方で、撮影時間の異なる 3D データを生成するため、「晴天時」の撮影を行った。ドローンの飛行ルートや撮影の角度などは、曇天時と同じデータを用いた。晴天時のため、

- ・ダム堤体の色味が白飛びした場合
- ・木々の影やドローンの影が映り込んだ場合
- ・構造物の凹凸部分の影がある場合
- ・堤体面に湖面から反射した光が揺らめいて映っている場合

など、撮影時間が異なると、曇天時にはなかった影響が様々考えられた。晴天時に得られた 3D データを図に示す。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/17 10:00-11:00 (天候：晴れ)

飛行回数：3回 (再撮影含む)

カメラ：ZCAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

レンズ：24 mm

撮影方向：堤体に垂直とし、堤体と平行に往復して撮影しながら、1往復ごとにピッチを 55° →45° →35° と調節)

画素数：7680 x 4320 pixel (8K)

意図的に白飛び状態で撮影 (シャッタースピードを 1/100 に調整) した動画から作成した 3D データを図に示す。



図 4-46 白飛び状態で撮影した動画から作成した 3D データ

クレストゲート (中央) の水色のシャッター部や、堤体向かって右側壁面で、データ欠損が目立つことが分かった。白飛びのためテクスチャ情報が失われて特徴点对応が取れなくなり、点群を生成できなくなったため、と考えられる。

次に、このシャッタースピードを速めて (1/1600) 白飛びを抑えて撮影した動画から作成した 3D データを図に示す。



図 4-47 シャッタースピードを速めて白飛びを抑えて撮影した動画から作成した 3D データ

テクスチャ情報が飽和することなく撮影できているので、上記より欠損部の少ない 3D データが得られていることが分かった。

また、ドローンの影は、撮影方向と太陽の位置関係から、堤体面もしくは道路面に映っていたのだが、3D データ化においてはその影響がなくなっている。道路上を走行していた車両もあったのだが、ともに「移動している特徴量」とみなされ 3D データには反映されなかったと考えられる。晴天の場合は、ドローン自体の影の映り込みが懸念される場所だが、3D データへの影響はないことが分かった。

構造物の影は明瞭に映っているため、3D データにテクスチャとして描画されている。曇天時のほうが、影ができていないため、3D データには本来のテクスチャが再現されているため、曇天時データを 3D データ化に用いるメリットが確認できた。

堤体面に湖面から反射した光が、湖面の揺らぎによって揺らめきながら映っていたのだが、3D データのテクスチャとしては画像の乱れなど大きな影響なく再現されていることが分かった。しかしながら、晴天だったため湖面には堤体自体が映り込んでおり、撮影したデータではそれも視認できる状態であった。そのため、3D データを作成した際にも、実際は「湖面へ映り込んだ堤体」も少し再現されていた。その図を示す。



図 4-48 湖面へ映り込んだ堤体少し再現されていた 3D データ

特に堤体に向かって左側の湖面にて、「湖面へ映り込んだ堤体」が見られることが分かる。先の図でも、この映り込みのデータは含まれていたのだが、テクスチャ成分がないので、不要部分として取り除いていた。晴天時には湖面にこのような映り込みが入りやすいので注意が必要である。

実証目標では、「本体と水面部分での比較精度 15cm」としていたが、これは高さ方向の精度なので、高さ方向に対する基準点を設けることとなるのだが、水面上や、堤体湖面側のどこかに基準点をセットすることが不可能であったため、高さ方向の数値比較ができなかった。しかしながら、得られた曇天時・晴れ時のデータを比較し、「撮影時間の異なる 3D データ同士を相対比較」し、誤差の割合を数値化することを試みた。次図のオレンジ枠内で囲まれた打ち継ぎ目の高さ方向の間隔を用い、相対精度を算出した。



図 4-49 3D モデルの相対精度比較

曇天時に対し、晴れ時のデータがどの程度差があるのか、晴れ時のデータ（シャッタースピードが異なるデータも含め 3 つ）と比較した。計測方法としては、点群を位置合わせ後、打ち継ぎ目交点の座標を手動選択し、座標値から長さを計測し、差分の割合を誤差として算出した。結果を下表に示す。

表 4-17 3D モデルを用いた相対精度比較(差分割合)

	打ち継ぎ目の高さ方向の長さ (任意単位)	曇天時データとの差分 (任意単位)	曇天時点群に対する差 分割合 (誤差) [%]
曇天時点群	0.1117	0.0000	0.0000
晴れ時点群①	0.1135	0.0018	1.5908
晴れ時点群②	0.1111	-0.0006	-0.5427
晴れ時点群③	0.1124	0.0006	0.5507

誤差の割合は、幅はあるものの概ね 2%以内であると算出された。撮影されている打ち継ぎ目の間隔は、実測できる場所ではないため、ダム堤体の下流側の打ち継ぎ目間隔 (2m) と同等とすると、4cm 程度の誤差と推定される。実施目標の「比較箇所：本体と水面、比較精度：15cm 未満」に対しては、相対比較及び推定寸法を用いた算出との前提にて、目標値を満たしたと考える。

なお、本項に関して、今回は直接ユーザーにおける評価を得る機会が得られなかったが、検証により得られた知見により、再現度の高い構造物 3D データを作成することで、ダム点検ソリューションに資するものと考えている。

イ B：災害現場映像のリアルタイム伝送

ドローンから対策本部 (管理センターと設定) までの 8K 映像伝送遅延時間の測定方法としては、

以下の方法が考えられる。

- ・飛行中のドローンに搭載のカメラの前に時計 A（時刻は ntp サーバーと同期済み）を置き、それを撮影する。
- ・ローカル 5G により送信された映像を表示・確認する 8K モニター前にも、ntp サーバーと同期済みの時計 B を置いて、モニター内に表示されている時間とともに別途カメラで映像として保管する。
- ・その映像（動画）を確認し、時計 A と時計 B との差異が遅延時間となる。

上記方法が理想であるが、本シチュエーションでは、上空を飛行中のドローンの前に時計を設置することが困難であることにより、

- ・ドローンの離陸前に、ローカル 5G の通信が確立させておく。
- ・8K カメラからの映像がローカル 5G 通信経由で受信側 PC のモニターに届いている状態でドローンを離陸させる。
- ・離陸の様子を目視で確認し、その後にカメラからモニターに届く離陸の映像との遅延時間を確認する。

という手法を取った。

上記手法より、目視での遅延時間は約 2～3 秒であることが分かった。

これは A B と基本的には同じであり、共通した対応となる。A B と同様、この 8K カメラ映像をローカル 5G に載せるため等のコーデック変換に要する時間が必ず遅延時間には含まれる。言い換えると、8K カメラでの映像符号化処理（エンコード処理）とレシーバ PC での映像復号化処理（デコード処理）が生じる。このコーデックに関する遅延を、「8K カメラにより撮影される映像を、カメラに直結したモニターに表示させ、そのモニター表示映像での遅延時間」を確認したところ、ローカル 5G を介した遅延時間が約 1.5 秒であった。その他、映像を安定して伝送するために、送信クライアント PC にて実施しているレイテンシー時間なども鑑みると、ローカル 5G 送信自体としては、遅延量はごくわずかである。従って、ローカル 5G 送信に起因する遅延部分についてはほぼ影響ないと考えられる。

また、ダム点検と異なり災害対応は一刻を争う事案ではあるが、コーデック変換に起因する 2～3 秒の遅延を含めたとしても、実務的にはリアルタイムと大きな差はないと考える。

イ E：災害現場のドローン目視外飛行

今回、災害現場を想定し遭難者探索を遠隔で行うことを想定した「目視外飛行」には、ドローンに通信モジュールを用いて飛行コントロールをする必要がある。そのため、LTE 通信モジュールを搭載し、LTE 通信によるドローンの自立飛行の確認を行った。

A E と同様、ローカル 5G による映像の伝送については、本実証実験内では「離陸前に通信確立状態」となっているときにのみ上空での映像伝送が確認できていた。しかし、目視外飛行となると離発着場所をダム（今回のローカル 5G アンテナの設置場所）から離隔する必要があったため、映像の伝送および飛行時間評価はせず、8K カメラをドローンに搭載し、LTE 通信下での自立飛行による動画撮影の確認、を実施した。したがって、A E と兼ねた飛行・撮影となっている。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/16 13:00-15:30（天候：曇り）

飛行回数：テスト含め2回

カメラ：Z CAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ（35.97 x 23.98 mm）

解像度：7680 x 4320

レンズ：24mm

（カメラの撮影方向は、ピッチ角約45度）

使用ドローン：build flyer（石川エネルギーリサーチ社製）

撮影高度：60m 設定

飛行速度：4m/s 設定

飛行距離：約1.15km 設定

飛行ルート・エリアおよび人員配置は次図の通り。



図 4-50 ドローン飛行ルート・エリアおよび人員配置

実証目標にある「ダム点検の作業完了できる規定の飛行時間」を設定する元データがないため、「目視外飛行の設定ルートの飛行時間」を目標（比較元）とし、実際に要した飛行時間を比較した。下表に示す。ほぼ目標通りの結果であった実施目標内の「計画差5分以内」については、予定飛行ルートを設定しなおしたものの、目標を達成できたと考える。

表 4-18 飛行時間

	飛行時間
目標	4分47.5秒
結果	4分45秒

LTE での接続によるフライトコントロール画面を下図に示す。

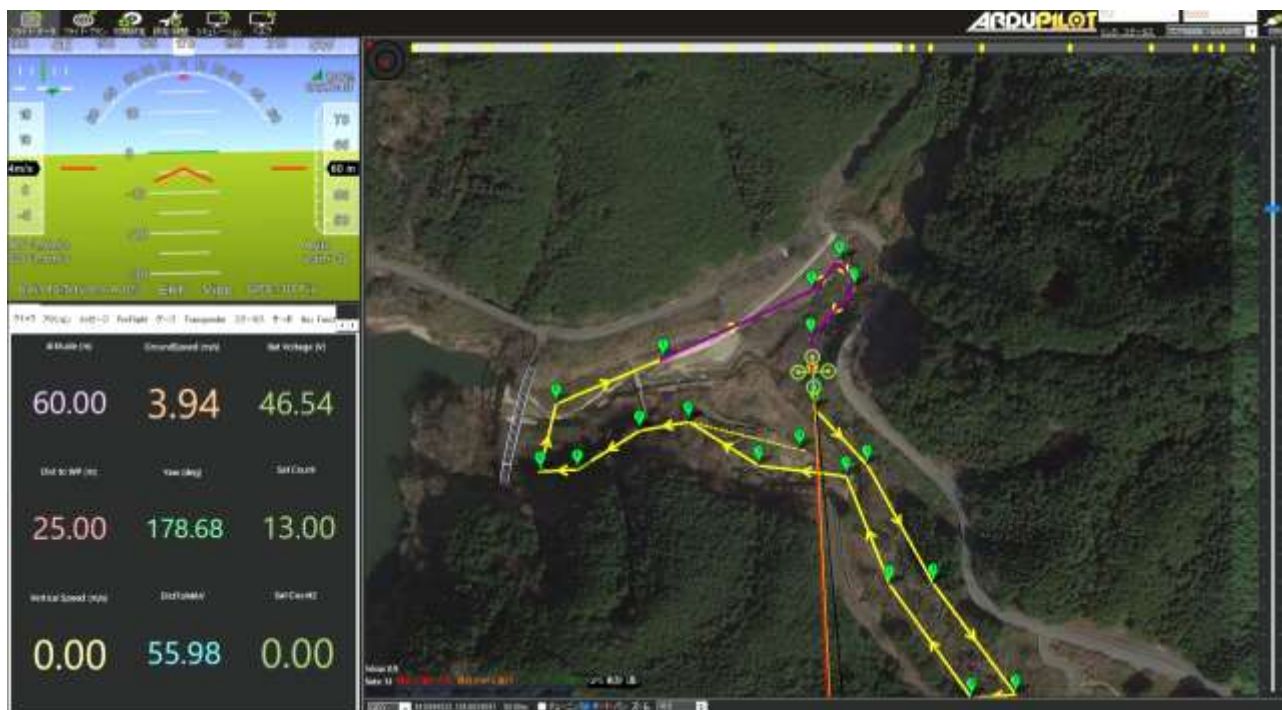


図 4-51 LTE での接続によるフライトコントロール画面

またこのときに、ドローン搭載の 8K カメラによって撮影された映像を次図に示す。全ルートを通して撮影を行い次図のような 8K 映像を取得することができており、目視外飛行として問題なくできていることが確認できた。



図 4-52 ドローン搭載の 8K カメラによって撮影された映像

イ F：災害現場映像の自動抽出検索

今回の実証実験においては、遭難者映像については、ダム湖を挟んで管理センターと反対側にある公園に想定遭難者を横たわせ、管理センター駐車場からドローンを離陸させて公園上空から撮影した録画データを用いた。その画面を次図に示す。

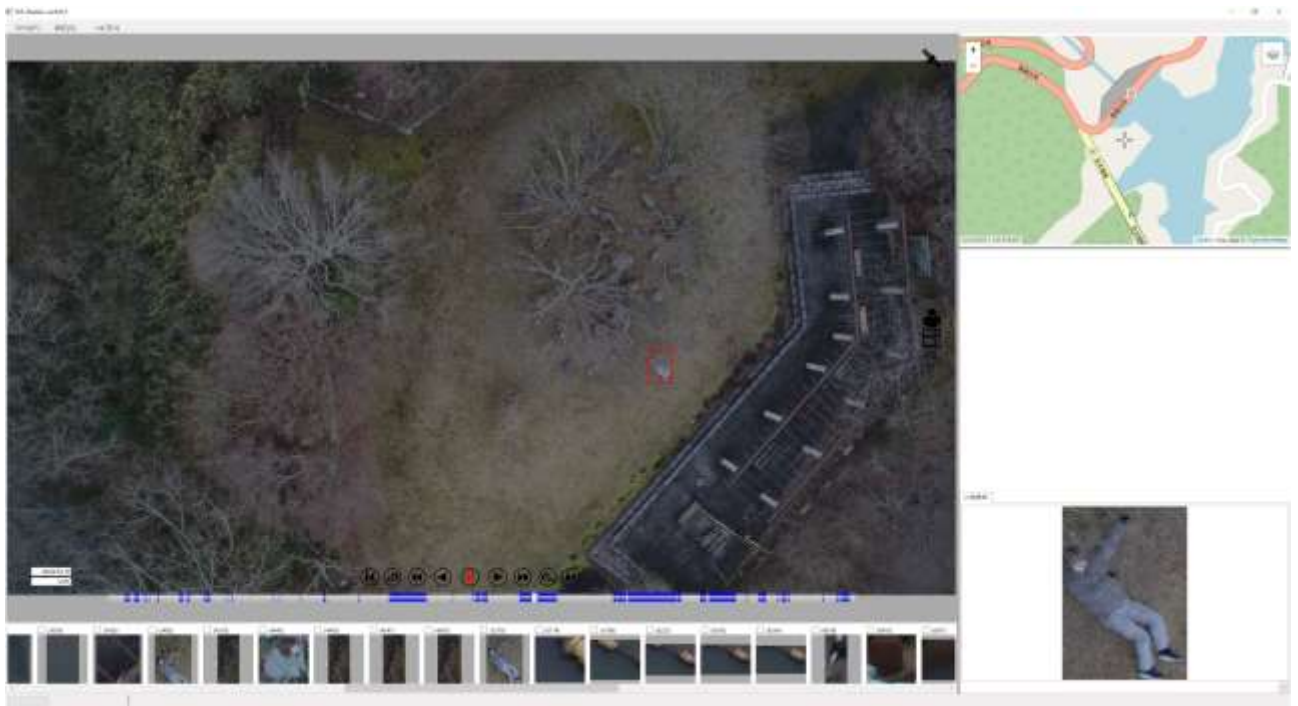


図 4-53 公園に想定遭難者を横たわせ、公園上空から撮影した際のアプリケーション画面

上図において、

左上：撮影した 8K の公園の映像（下部にコントロールボタンとシークバーが重畳）

左下：「人」と検出した部分のサムネイル画像

右上：ドローンの飛行場所を地図上に重畳

右下：「人」と検出した部分の拡大画像

動画を再生すると、右上の「地図上のドローンの飛行位置」が連動する。すなわち、動画として映し出されている場所が、地図上でどの位置なのか、が一目で分かるようになっている。

また映像のシークバー内に、人を検出したシーンに色付け（青色）が自動的に表示されるので、映像再生中に色付け部分にジャンプすると、人が検出されたシーンにすぐアクセスすることができるようになっている（右下の拡大部も連動して表示される）。

公園の撮影の際は、次図に示すように、ドローンはまず公園手前までダム湖をまたぎ、その後公園上を往復するように飛行させて撮影を行った。

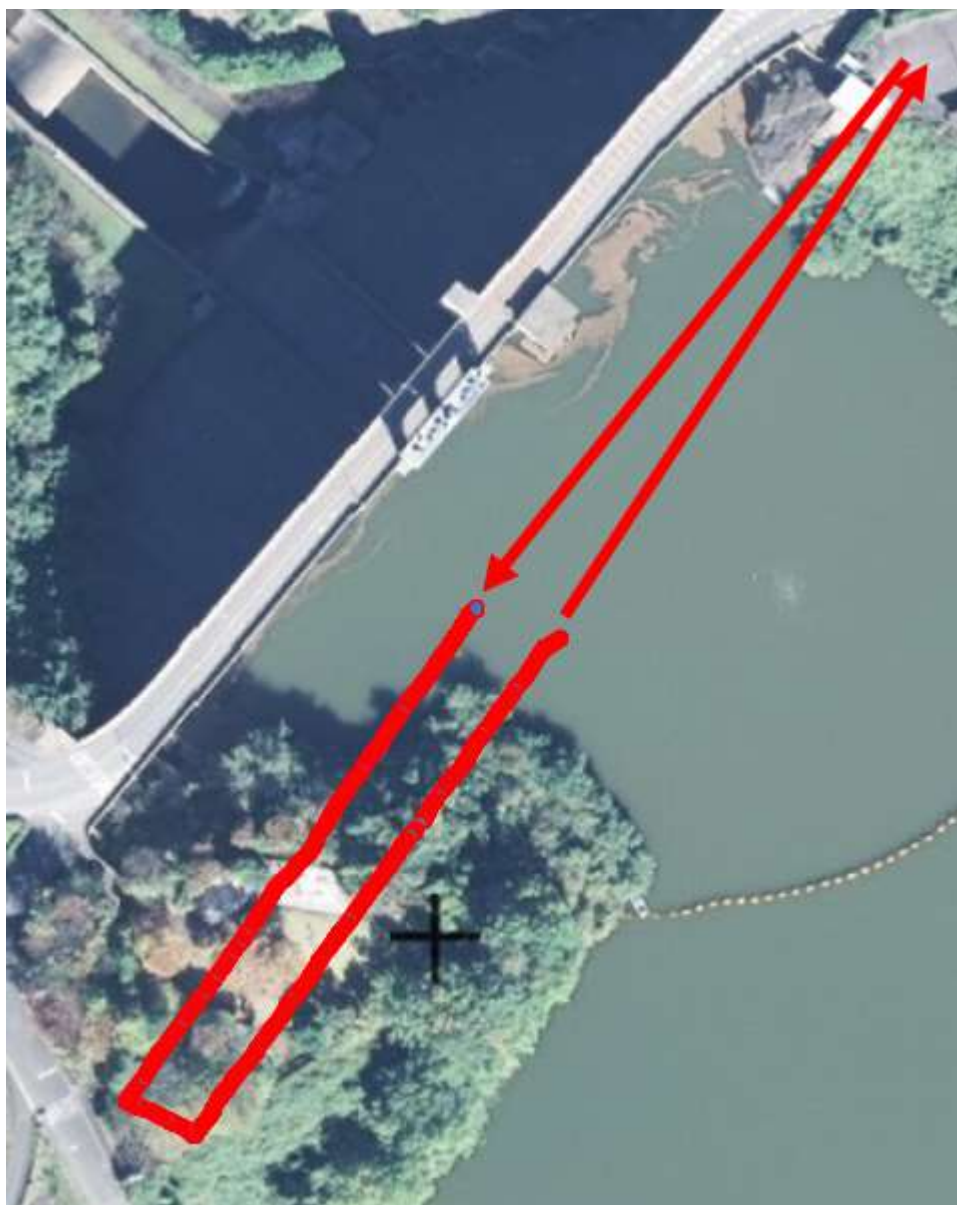


図 4-54 ドローンの飛行経路

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/8 15:00-16:00 （天候：曇り）

飛行回数：テスト含め 2 回

カメラ：Z CAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

解像度：7680 x 4320

レンズ：24mm

（カメラの撮影方向は真下）

飛行高度：47m（設定値）

本項目において、カット正解率・切出し正解率の結果を記す。まず、それぞれの定義を以下に説明する。公園を真上から撮影している映像において、

- ・カット正解率＝想定遭難者が映っている一続きのフレームのまとまり（カット）の中で、少なくとも1回は想定遭難者に人物検出ができていているかどうか
- ・切出し正解率＝人物が検出されたとする箇所のうち、想定遭難者に対して検出されているかどうか

まずカット正解率については、前図のとおり公園上を一往復する映像であるため、想定遭難者が映っているカットの数としては「2」となる（いわば往路と復路）。そのどちらにおいても、想定遭難者に対して人物検出ができていているため、その正解カット数としても「2」となる。すなわち、カット正解率としては100%という結果となった。

次に切出し正解率については、公園上を往復したシーンにおいて、
人物として検出された箇所＝937

想定遭難者に対して検出されている個所＝781

であったため、率としては約 83.4% となった。

以上から、カット正解率・切出し正解率ともに、目標を達成していることが分かった。

なお、ユーザーにおける評価結果としては、土木事務所関係者からのアンケート結果により、

○緊急的に判断を求められる現場では有効

○ドローンの移動範囲を拡大することができると、震災後の有効さは大幅に広がると思う等の評価を得た。

イ G：災害現場映像の人・建物自動検出

本項目においては、人の検出率において検証を行った。また、実証目標においては、撮影距離を「15m/30m/50m/70m」と変えるとの想定であったが、

- ・現場の道路附帯物や樹木の高さを考慮し、安全に飛行する必要があること
- ・イ F での撮影条件も鑑み、条件を複雑にしないこと

などを考慮し、撮影距離（ドローンの飛行高度。撮影高度、と読み替えてもよい）としては、47m/94m/141m の3種類とした。次図に示す。

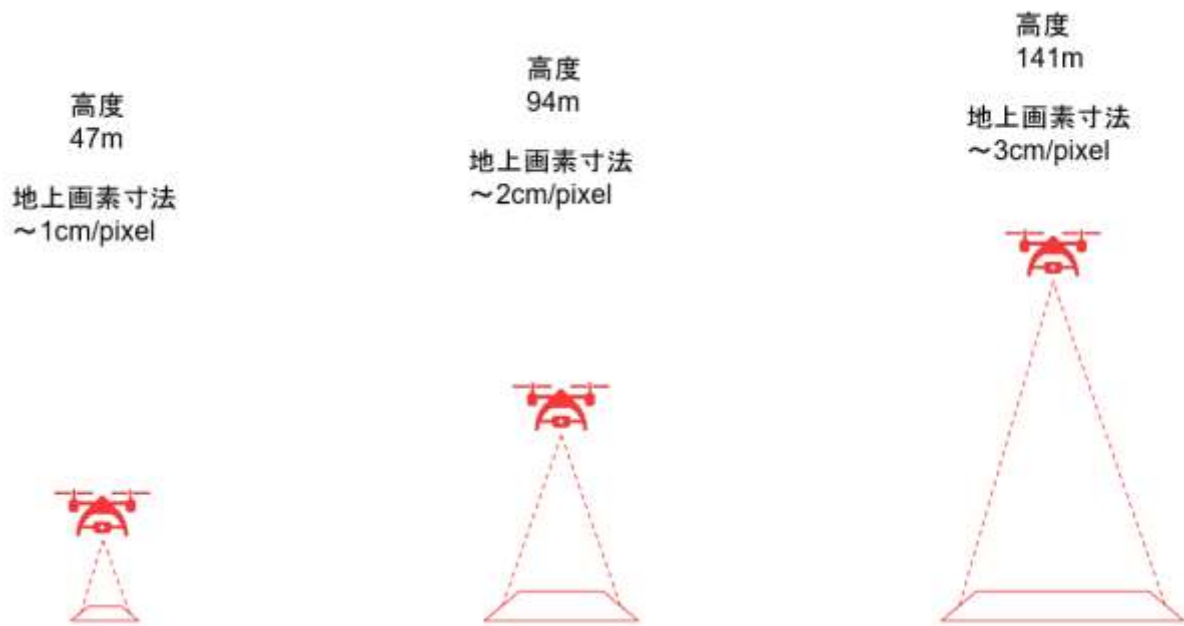


図 4-55 ドローンによる撮影距離(飛行高度)と地上画素寸法

それぞれの高さから撮影された画像を示す。



図 4-56 ドローンによる撮影画像(高度 47m)



図 4-57 ドローンによる撮影画像(高度 94m)



図 4-58 ドローンによる撮影画像(高度 141m)

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/17 13:00-14:30 (天候：晴れ)

飛行回数：4回 (テスト飛行含む)

カメラ：ZCAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ (35.97 x 23.98 mm)

レンズ：24 mm

(カメラの撮影方向は真下)

画素数：7680 x 4320 pixel (8K)

使用ドローン：build flyer (石川エナジーリサーチ社製)

撮影対象エリア：展望公園

撮影距離 (飛行高度)：47m/94m/141m

移動速度：展望公園上は 2m/s、それ以外は 5m/s 設定

まず、飛行高度 47m の撮影データにおいて、遭難者想定的人物が映っているフレームの総数を分母、その中で人検出をかけた結果その人物が人として検出されたフレームの総数を分子とすることで、検出率として定義し整理した。

検出に用いたパラメータは以下の通り。

検出モデル：Yolo-v5

検出イメージサイズ：3840

地上画素寸法：1cm/pixel (設定値)

遭難者想定的人物が映っているフレームの総数を分母、その中で人検出をかけた結果その人物が人として検出されたフレームの総数を分子とすることで、検出率として定義し整理したところ、検出率は 93.5% (835/893) であった。893 フレーム中 58 フレームが「未検出フレーム」であったが、そのほとんどが「人がフレームイン・フレームアウトするときに部分的にしか映っていない」ときであり、ほぼ遭難者が人として検出されていることが分かった。

同様に、他の飛行高度の撮影データにおいても検出を試みた。3種類の撮影高度における検出率の結果を整理すると、以下のようになった。

高度 47m：93.5% (835/893)

高度 94m：86.5% (1545/1786)

高度 141m：53.8% (1583/2945)

以上から、高度が高いほど（＝画素寸法が粗いほど）、未検出のフレームの割合が増える、という結果が得られた。高度 47m では、未検出フレームのほとんどが「人物がフレームイン・フレームアウトするときに部分的にしか映っていない」ときであり、ほぼ遭難者が人として検出されていることが分かった。高度 94m になり、画素寸法が倍になると検出率がやや減ることが分かった。

さらに高度 141m になると、画素寸法が 3 倍に粗くなることもあり、かなり検出率としては下がることが分かった。この検出結果を詳しく見てみると、画像の中で画角の端近辺での検出率が落ちていることが分かった。詳細についてはさらなる解析が必要となるが、画素寸法が 3cm/pixel に粗くなったことと画像端での検出精度が相互に影響しているのではないかと推察する。ドローンの飛行安全性を考えると、高いほうが道路附帯物や樹木などとの干渉を避けやすくなるが、一方で上記のように検出精度に悪影響が出やすくなるので、今回の撮影パラメータとしては 50～100m あたりの高度での飛行・撮影が望ましいと考えられる。また、141m という高さは、航空法上国土交通大臣の許可が不要で飛行できる上限（150m）に近いので、もし地表に高低差がある場合はこの上限を超えてしまう可能性がある。それも鑑みると、ある程度上限高さに対して余裕をもった高さにする必要もあるだろう。

実証目標における検出率の数値（70%）との考察を述べる。今回の結果の数値と単純に比較すれば、高度 47m・94m の場合は実施目標値を超えていて、141m では超えていない、と見える。しかし、これは「141m という高い高度では十分な結果ではない」のではなく、100m 程度の高度までであれば、十分な検出率が得られる映像となり、150m 程度の高い高度からの撮影は不要である、という知見が得られた、という解釈である。前述のように、そもそも航空法上国土交通大臣の許可が必要となる 150m 以上の空域に近寄る必要がない、ということなので、むやみに高度を上げていなくてもよい、ということが確認できた、という実証の結果である。

AI 超解像処理効果についての検討だが、上述のように、高い検出率を確認することができ、47m/94m といった高度でもその目標値を十分にクリアしていることから、今回の検討の中での処理効果確認についてはその実施を省略した。

なお、ユーザーにおける評価結果としては、土木事務所関係者からのアンケート結果により、

- 山の上の方など人が行かずに確認できる
- 2次災害の防止につながる
- 例えば、土砂崩れで道路が通れない時などに有効

等の評価を得た。

イ H：災害現場 3D データ比較

本項目では、想定被災前後の比較ということで、実被災の状況で試すことはできないので、「土砂崩れ等の被災があった場合、その崩落・流出した体積を推定・算出」することとした。例えば、実際に土砂崩れが生じた場合、復旧するためには崩落した土砂を除去する作業が必要であり、それには土砂を積載・運搬する大型トラックを手配するのだが、「除去すべき土砂の量はどのくらいなのか」を見積もり、トラックが何台必要になるかを算出しなければならない。今回はその場面を想定し、土砂崩れの発生による「変状」を、「車両の有無」に見立て、「車両がない状態」が「車両が駐車している状態」へ変化をした場合を、車両そのものを変状として、3D モデルを構築することにより把握し、その体積を推定算出して評価することとした。

ドローンの飛行・撮影に関しては、飛行高度 47m にて直下に向けた動画撮影として、駐車中の車の上空で往復して撮影した後、車を移動させて同じ場所を同様に上空でドローンを往復させて撮影することで、車の有無を変状と見立てた映像素材を得ることとした。

基礎情報は以下の通り。

撮影日時：2023/2/6 15:30-16:30 （天候：曇り）

飛行回数：2回（テスト飛行含む）

カメラ：Z CAM 8K E2F8

センサー：フルサイズ

解像度：7680 x 4320

レンズ：24mm（カメラの撮影方向は真下）

使用ドローン：build flyer（石川エナジーリサーチ社製）

飛行高度：47m（設定値）

移動速度：概ね 2m/s

ダム堤体での 3D データ生成と同様に、また、本実証実験では、ローカル 5G でのデータ送信を想定しており、高精細な動画の送信（配信）を考えているため、元データは 8K 動画として取得した。そこから、85～90%程度のラップ率を有する画像群を抽出して 3D データ生成を行った。この画像群を用い、3D データとした画像を図に示す。



図 4-59 測定車両の 3D データ

「車両本体」が、変状分の体積となるため、その体積を 3D データから算出したところ、 8.137m^3 であった。

また、この車両の実際の形状は次図の通りであり、諸元表によると幅 1,475mm・高さ 1,890mm・長さ 3,395mm である。

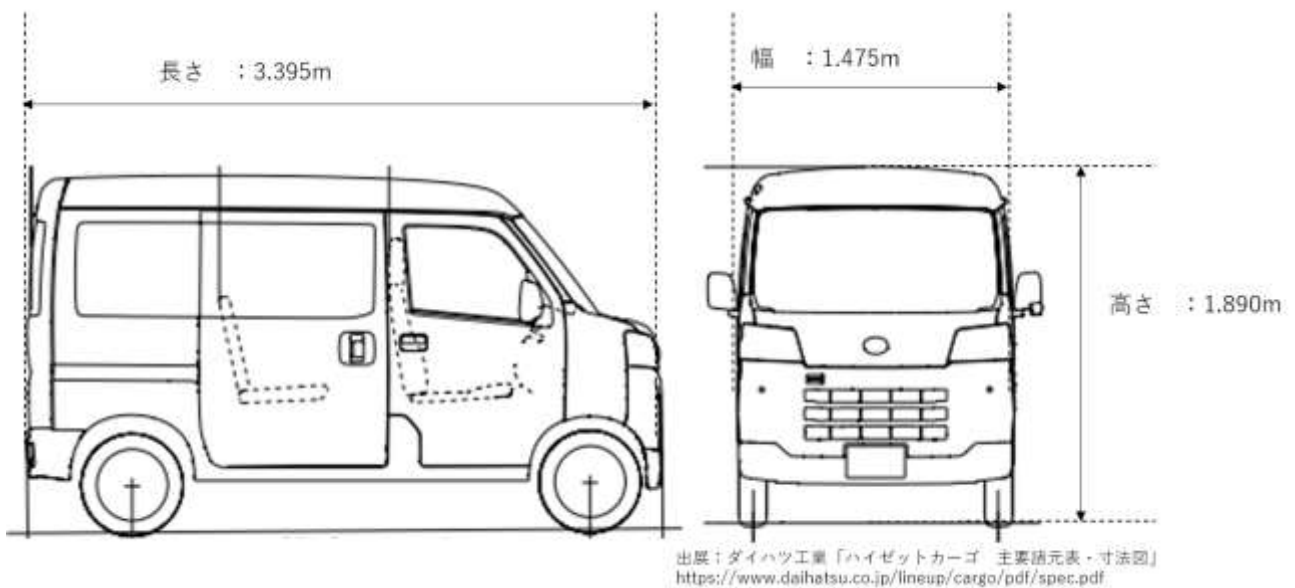


図 4-60 変状推定に用いた車両の寸法図

先の 3D データから算出した計測値と、寸法値との比較結果を下表に示す。

表 4-19 車両の 3D データと寸法値の比較

項目	寸法値 [m]	計測値 [m]	誤差 [m]	誤差 [%]
幅	1.475	1.505	0.030	+2.03
高さ	1.890	1.801	-0.089	-4.39
長さ	3.395	3.382	-0.013	-1.27

実施目標としては、「比較箇所：被災想定現場、比較精度：15cm未満」とあるが、今回は被災想定現場として車両の有無について比較することとしているため、この車両のサイズの計測値の精度として算出を試みた。その上で、上の表のとおり、誤差としては3方向とも15cm以内であることが確認できた。実際の被災現場を想定したとすると、車両より大きく広範囲な変状を推定・算出する必要があると考えられる。例えば土砂崩れであれば、その土砂を撤去するために必要な大型トラックの台数の見積をするときに有用な推定計算となる。その目的に対しては、今回得られた精度は十分によいものと考えられる。

また、寸法値のデータから、ボンネット上の部分を推定して車両の体積を概算すると、8.704m³であった。先の3Dデータから算出した体積とは、約-6.5%の誤差があることが分かった。

生成された点群データを見ると、上面やボンネット上は密度が高く、ドアなどの側面は密度が低いことが分かる。これは、撮影方向が直上からであり、撮影角度をつけて側面を撮影していないことから、側面部分に関する特徴量が極端に少なく、3Dデータの量が少なくなったと考えられる。また、それに影響を受けられることとして、上面から側面にかけてのデータの連続性が失われており、それにより3Dデータで算出された車両の大きさが少なくなった、と考えることができる。

なお、別の車両でも同様の撮影方法・算出を試みた（異なる車両・ただし4K画像を利用）ところ、こちらも実際の車両の体積よりも約9.5%少なく算出された。ほぼ直上からの撮影画像しかない場合、鉛直に近い面を再現するのは困難であり、概ね同様の傾向があると言える。

今回は車両（直方体に近い形状）の有無を変状と見立てたが、実際の災害では変状の形状は多種多様であり、直上からの撮影データでも3Dデータを構築しやすい場合もあると思われる。一方で、本手法では変状が生じる前のデータとの比較、となるため、通常の状態での（例えば山肌の）形状を事前にデータ化しておく必要がある。その「事前データ」も、本手法と同じく画像取得から3Dデータ構築、とできる場合もあるが、森林などであれば、上空からの画像では地面の形状を捉えることは困難である。よって、そのようなロケーションに対しては、レーザスキャナを搭載したドローンでのレーザスキャンにより、3Dデータを構築するための元データを取得する方法も有効である。なお、ユーザーにおける評価結果としては、土木事務所関係者からのアンケート結果により、

- 土量が推定できれば費用(予算)を算出しやすい

- 土砂崩れの撤去土量が分かると便利。現場の作業は従来通りでも発注が早くなる

- 崩土等の確認が道路上からの目視では限界がある

等の評価を得た。

(2) 運用検証

1) 検証項目

本ソリューションを実際に運用するにあたり、ダムの異常箇所や災害現場の早期発見を目的に常時利用することが想定されるため、システムの使い勝手や目的達成に対する作業の効率化が重要となる。そのため、本ソリューションに適した運用方法の策定や、使い勝手の操作方法、運用に伴う作業の安全性向上や作業時間の短縮について検証が必要である。各実証の運用検証項目とその内容をそれぞれ表 4-20、表 4-21 に示す。

将来の運用段階では各自治体職員が対応することを想定した。例えば、実証アの例では、今回の実証実験場所を提供する天理ダム、奈良土木事務所においては既にドローン操縦資格を有する職員が所属しており、実証イの例でも、一部の自治体でドローン操縦資格を有する職員が所属されていて、それら職員による運用は十分可能と考えている。従って、下記運用検証項目においては、各自治体職員も対応できることを想定し設定した。

なお、実証アでは、ヒビの検出に関する検証を、(1)機能検証にて説明したが、ヒビ以外のダムの点検項目について、本ソリューションの活用の広がりも考えられる。その他目視点検項目として、堤体・基礎・洪水吐きを対象に、主に

- ・剥離
- ・鉄筋/骨材露出
- ・漏水
- ・継目開き

などがないか、目視確認し記録することとなっている（参考資料「ダム総合点検実施要領・同解説」国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課 平成 25 年 10 月）。より詳細には、現場担当者とヒアリング確認し、本ソリューションの有効性・適用性が見られる項目があるか、を実証にて確認していく。

表 4-20 (実証ア)の運用検証項目

運用検証項目	運用検証内容	実証目標の項番
ダム保守点検マニュアル	本実証を利用する場合のダム保守点検の運用マニュアル(案)を作成し、運用方法やその有効性について検証を行う	ア A
ダム保守点検の安全性	本実証によりダム保守点検における危険な作業項目が減少し安全性が向上したかどうかを検証する	
ダム保守点検の効率性	本実証によりダム保守点検の作業時間が短縮し効率性が向上したかどうかを検証する・本実証の手法をダム保守点検の種々項目へ適用すると、作業の効率化が図れる可能性がある項目があるかどうかを検証する	

表 4-21 (実証イ)の運用検証項目

運用検証項目	運用検証内容	実証目標の項番
災害現場確認マニュアル	本実証を利用する場合の災害現場確認の運用マニュアル(案)を作成し、運用方法やその有効性について検証を行う	イ A
災害現場確認の安全性	本実証により災害現場確認における危険な作業項目が減少し安全性が向上したかどうかを検証する	
災害現場確認の効率性	本実証により災害現場確認の作業時間が短縮し効率性が向上したかどうかを検証する	

2) 検証方法

各実証の運用検証方法をそれぞれ表 4-22、表 4-23 に示す。

表 4-22 (実証ア)の運用検証方法

運用検証項目	運用検証方法	実証目標の項番
ダム保守点検マニュアル	作成したダム保守点検の運用マニュアル(案)に従って作業を実施し、ユーザーから意見を集約し課題抽出を行い改善する	ア A
ダム保守点検の安全性	ダム保守点検項目を調査し、安全性が向上した項目を評価する	
ダム保守点検の効率性	ダム保守点検の作業時間を従来と本実証で測定比較する・点検作業の効率化が図れる項目を増やせるか評価する	

表 4-23 (実証イ)の運用検証方法

運用検証項目	運用検証方法	実証目標の項番
災害現場確認マニュアル	作成した災害現場確認の運用マニュアル(案)に従って作業を実施し、ユーザーから意見を集約し課題抽出を行い改善する	イ A
災害現場確認の安全性	災害現場確認項目を調査し、安全性が向上した項目を評価する	
災害現場確認の効率性	災害現場確認の作業時間を従来と本実証で測定比較する	

3) 検証結果及び考察

ア A：ダム保守点検マニュアル／ダム保守点検の安全性／ダム保守点検の効率性

天理ダム現場担当者とのヒアリングにより、堤体の目視点検においてヒビの目視確認は行うものの、ダム本体としての基本性能を脅かすヒビは天理ダムには存在していないことが分かった。よって、今回の実証実験にて、堤体目視点検におけるヒビ検出・サイズ計測を行い記録するような手順・マニュアルについては、ダムを含めた土木事務所にて管轄するようなインフラの点検作業に対し、今回準備した点検支援アプリケーションのようなツールが、実際の目視点検と比較して業務改善効果があるか「このようなシステムを使うことで、安全性の向上が図れそうか」「このようなシステムを使うことで、作業時間の短縮が図れそうか」を、本実証のデモンストレーションを見ていただいた土木事務所職員の方々にアンケート回答いただくこととした。

その結果、下表に示す意見・コメントが得られた。

表 4-24 土木事務所におけるアンケート回答

項目	意見・コメント	回答者の担当業務等
運用方法や有効性	近接目視できないところに有効	河川・砂防事業の工事・設計
	一次調査（目視点検）の代わりとして利用可	道路、河川工事の実施担当課の管理職
安全性向上	人力では入れないところの点検が可能	予算調整、管理
	日常点検を行う職員の安全を確保した上で、調査が可能になると想定される	道路、河川工事の実施担当課の管理職
	足場を組んだり、崖を登ったりしなくてよいなら安全性は向上しそう	計画調整業務
効率性向上	短時間で広範囲に対応できる	土木工事の発注・監督
	速く対策ができると感じた	計画業務
点検効率化が図れる項目	吸い出し	土木工事の発注・監督
	構造物の傾き	予算調整、管理
	道路の舗装や不陸	(未記載)
	ジャンカ	道路、河川工事の実施担当課の管理職

以上の意見から、土木事務所管轄の構造物の点検について、本実証実験で用いたツールは、目視しにくい場所やアクセスのしにくい場所に対する業務課題への対策として、有効性・安全性・効率性があることを感じていただけた。また、他にも適用できる点検項目も多数あることから、広く応用範囲を広げられる可能性があることが分かった。

また本アンケートにて、本ソリューションを用いることでどの程度の作業時間短縮が見込めそうか、その割合で回答いただいた。全アンケート（19人）中、13名から回答をいただき、「現状10時間が8時間になる＝20%削減」とした場合の削減度合いの期待値を平均し、約34%の削減が見込めそう、との結果であった。

イ A：災害現場確認マニュアル／災害現場確認の安全性／災害現場確認の効率性

本実証内において、災害現場確認のための運用マニュアル案を作成した。また、そのための知見として、ドローンの飛行高度や撮影範囲の4K/8K映像を用いた場合の比較や、遭難者を想定した場合の人検出の精度などのデータを得ることとした。

また、土木事務所でのデモンストレーションの際、見ていただいた土木事務所職員の方々にアンケート回答いただき、災害現場確認において本実証で用いたシステムの有効活用に向けた意見や、安全性向上に関する意見をいただいた。

その結果、次表に示す意見・コメントが得られた。

表 4-25 土木事務所におけるアンケート回答

項目	意見・コメント	回答者の担当業務等
安全性向上	夜間の現場対応による二次災害を防止することができる	砂防災害対策計画の検討等
	足場を組んだり、崖を登ったりしなくてよいなら安全性は向上しそう	計画調整業務
	特に山間部の道路が崩土した場合に現場確認する職員の安全性が確保できると感じた	用地買収
	2次災害の防止につながる	工事発注・監督 土木工事の発注・監督

効率性については、本件もアンケートにて意見を求めることとした（目標との差異：比較元となる従来の作業時間の捉え方が定まらないため）。

その結果、下表に示す意見・コメントが得られた。

表 4-26 土木事務所におけるアンケート回答

項目	意見・コメント	回答者の担当業務等
効率性向上	崩土等の確認が道路上からの目視では限界がある為	用地買収
	山の上の方など人が行かずに確認できる	道路改良工事、橋梁補修工事
	緊急的に判断を求められる現場では有効	河川・砂防事業の工事・設計
	土砂崩れの撤去土量が分かると便利。現場の作業は従来通りでも発注が早くなる	舗装の穴埋めなど、緊急維持業務
	土量が推定できれば費用（予算）を算出しやすい	工事発注・監督
	例えば、土砂崩れで道路が通れない時などに有効	予算調整、管理
	技術者の人員も少なくなっているので活用できれば良いと思う	河川整備
	人が入れないところへの調査	計画業務
	災害時の初期対応（被害規模調査等）に活用できる	道路、河川工事の実施担当課の管理職

以上のように、これまで行けなかったところを調査できるようになる・土砂崩れの量を算出しやすくなる、といったメリットに多くの意見が寄せられた。また、作業短縮に関しては、約 20% の低減が見込めるとした意見も寄せられた。

さらに、本技術の応用範囲が広げられる先として

- ドローンの移動範囲を拡大することができると、震災後の有効さは大幅に広がると思う。
 - 路面凍結を確認できる案はどうか。(河川掘削工事、法面对策工事の担当者)
- といった案も寄せられ、応用範囲を広げられる可能性が感じられた。

ア A・イ A ともに、本ソリューションを使用するための、マニュアル案として操作項目を整理する。

1. ローカル 5G 基地局のシステム立ち上げ
2. ドローン・カメラの立ち上げ
3. サーバーPC の立ち上げ
4. ドローン・サーバーPC 間での通信確立確認
5. ドローンの自立飛行開始・撮影
6. サーバーPC での映像確認
7. ドローンの帰還・録画データバックアップ・バッテリー交換
8. 点検エリア量に応じ、4.以降の繰り返し
9. ドローン・カメラ・ローカル 5G 基地局の立ち下げ
10. サーバーPC での確認作業等終了後立ち下げ

上述のような手順が自治体のみで問題なく作業できるか、改善する必要があるか、については、

- ・基地局システムやサーバーPC など、PC 操作や動作確認に専門性の高い知識が必要となる
(コマンド打ち込みによるプログラム・サービスの起動や動作ログ確認などが必要)
- ・ドローンの管理や安全性確認に、操縦熟練者の経験があったほうがよい
(GPS 衛星の捕捉状況に応じ、慎重な離発着管理が必要な場合がある)

ことがあり、アンケートでも「業務に役立てることはできるが、基本レベルの知識を身に付けないと応用できないのが難点」との指摘もあり、現時点でのソリューションの運用としては、その手順だけでなく、システム・機器のユーザビリティ等も改善する必要があることが分かった。

また自治体と関係機関（サービス提供者）が連携して対応する場合には、次図に示すような体制が必要である。この体制下で、「ダム点検」や「遭難者探索や災害発生時の現場検証」の業務に本ソリューションを使用するための、一つのマニュアル案として項目を整理する。

1. 自治体からサービス提供者窓口へ当該業務の依頼連絡
2. サービス提供者内で日程調整し、各種機材等の準備
3. サービス提供者内で日程調整し、点検業者との実施日程候補調整
4. 自治体側と窓口との日程の確認
5. 点検実施業者による現場点検
6. データ解析業者による目視点検画像データ整理
7. 上記以外のデータと合わせてサービス提供者内で報告書作成

8. 窓口から自治体へ提出

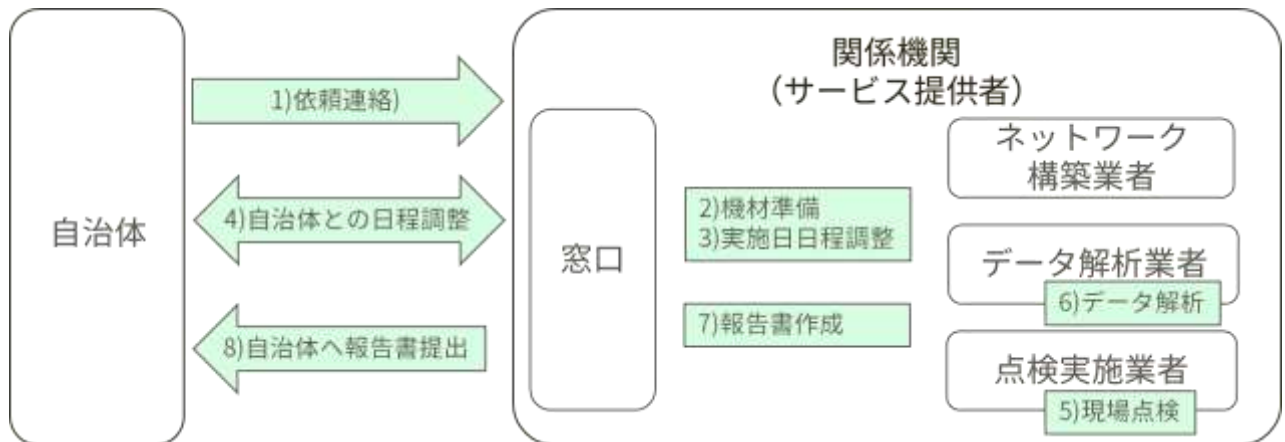


図 4-61 体制フロー

上述のような運用をするための課題として、「災害発生時」の「ダム点検」という、「臨時点検」が考えられる。例えば「一次点検」としては、「ダムに設置されている地震計が最大加速度 2.5 ガル以上の地震を観測した場合、又はダム近傍震度観測地点において、気象庁震度階が 4 以上の地震を観測した場合」に、「地震発生後速やかに実施し、主に目視による外部点検を概ね 3 時間以内に終了」との国土交通省の指針があり、上記連携を短時間にまとめあげ実行に移すことが困難である。関係機関との連携が必要な体制においては、「臨時点検」は従来の実施方法での点検も可、など、柔軟性を担保しておくことも考えられる。

アンケートの意見より、ダム保守点検及び災害現場確認の安全性/効率性についてはドローンを活用した点検ソリューションは一定の効果があることが明確になった。

総じて、

「これまで人が行けなかったところを調査できるようになる」

「崩土量が推定できると利便性が上がる」

など、これまで手間や時間のかかる業務のストレス低減を伺える意見が得られた。一方で、

「管理物件が広範囲だと難しいと感じる」

「限られた範囲のみだとまだ使いづらい」

といった意見もあり、今後のドローンの機能拡張・性能向上に合わせたシステム改善や、寄せられた「効率化が図れる追加項目（吸い出し・構造物の傾き・道路の舗装や不陸・ジャンカ）」対応へのソリューション改善をしていく必要であろう。また自治体のみもしくは自治体と関係機関が連携して対応する場合には、マニュアルだけでなく体制や手順を明確にする必要があり、「4.3.2 (3) 1 c. ビジネスモデル」の項にて説明しているので参照いただきたい。

したがって、今後のドローン点検ソリューションの実用化に向けては、部分的に導入し、実情に則して徐々に導入領域を拡大していくことが肝要と考える。

突発的な災害のケースも含めた点検者の安全性確保が不可欠な点検作業から導入し、点検作業の効率向上が図れる業務へ拡大が望ましい。日常の目視点検全業務への適用についてはインフラ

設備の整備も必要なことから、早急な現場への導入は今後の課題と思われる。点検業務のDX化の推進に当たっては、現場と密接に連携し、DX化優先業務の切出し、DX範囲の策定等が必要であろう。

また、カメラ画像を活用した点検業務の効率化に加え、8Kカメラ画像による土砂量の測定等の応用は、従来の目視計測業務の高精度化等、今後のDXの拡大分野になると考えられる。

さらに、表 4-16 「ダムの現地状況（概査）の整理」からの本ソリューション置き換え項目検討にも記載している各検査項目において、目視および測量を○としている検査項目となっている箇所については本ソリューションでの対応は全て対応可能であることも本結果より言える。なお、本ソリューションでの作業量の省人化効果については 4.3.1(3)効果検証の検証結果及び考察にてまとめている。

(3) 効果検証

1) 検証項目

本ソリューションの効果の検証として、遠隔地から現場の状況を従来になく容易に把握できることが求められる。その際にユーザビリティやわかりやすさが重要となり、その有効性を確認することが必要となる。ここでのユーザビリティとは、それぞれ異なる遠隔拠点から多人数で現場状況を高精細映像でリアルタイムに確認し、意見を交換しあいながら早期に対策決定や行動を行えることにある。各実証の効果検証項目とその内容をそれぞれ表 4-27、表 4-28 に示す。

表 4-27 (実証ア)の効果検証項目

効果検証項目	効果検証内容	実証目標の項番
ダム点検映像の複数人同時観察	8K 映像により正確に点検できるかどうかを熟練の点検者複数人で同時比較することにより効果を検証する。	ア C
多拠点への同時ダム点検映像配信	複数の拠点に 8K モニターを設置し、ダム点検映像を同時配信して映像を高画質で観察し情報共有できるかどうか検証する	ア D

表 4-28 (実証イ)の効果検証項目

効果検証項目	効果検証内容	実証目標の項番
災害現場情報を住民へ配信提供	現場の撮影映像から被災状況等の情報を自動作成し、地方自治体スーパーアプリ経由で撮影画像とともに複数の住民のスマホ・タブレットへ情報提供できることを実証	イ C
多拠点への同時災害現場映像配信	複数の拠点に 8K モニターを設置し、災害現場映像を同時配信して映像を高画質で観察し情報共有できるかどうか検証する	イ D

2) 検証方法

各実証の効果検証方法をそれぞれ表 4-29、表 4-30 に示す。

表 4-29 (実証ア)の効果検証方法

効果検証項目	効果検証方法	実証目標の項番
ダム点検映像の複数人同時観察	複数の点検者で同時比較して各点検チェック箇所をカウントし、各点検者の評価が一致する割合にて 8K 映像の点検への効果を点検者が評価する	ア C
多拠点への同時ダム点検映像配信	ダム点検映像を各拠点で観察してもらい同時に各拠点を繋いだ TV 会議を実施して映像を評価し意見交換を行う	ア D

表 4-30 (実証イ)の効果検証方法

効果検証項目	効果検証方法	実証目標の項番
災害現場情報を住民へ配信提供	住民想定の特スタを募集し、スマホ・タブレットへ情報提供してユーザビリティを評価してもらう	イ C
多拠点への同時災害現場映像配信	災害現場映像を各拠点で観察してもらい同時に各拠点を繋いだ TV 会議を実施して映像を評価し意見交換を行う	イ D

3) 検証結果及び考察

ア C : ダム点検映像の複数人同時観察

ダム点検映像の複数人同時観察としては、

まず「ダム堤体映像をダム管理センターから配信し、受信拠点（土木事務所）にて複数人での点検（映像確認）」を行ってもらった。

基礎情報は以下の通り。

実施日：2023年2月22日 11:00-12:00, 14:00-15:00（天候：晴れ）

実施場所：奈良県奈良土木事務所・水防室

参加人数：19人（土木事務所の職員）

実施方法：参加者を5名ないし9名の3グループに分け、それぞれのグループに対して映像確認

実施時間：1グループあたり15～30分程度

その時の様子を次図に示す。



図 4-62 土木事務所での映像確認

次に「ダム堤体映像をダム管理センターにて複数人での点検（映像確認）」を行ってもらった。

基礎情報は以下の通り。

実施日：2023年3月3日 14:30-14:40（天候：晴れ）

実施場所：天理ダム管理センター・展示室

参加人数：3人（ダム管理センターの職員）

実施時間：10分程度

その時の様子を下図に示す。



図 4-63 天理ダム管理センターでの映像確認

実証目標としては、「同時観察人数：3名以上、観察評価点：80点以上」のうち、同時観察人

数については目標を達することができた。ただし、観察評価点については、観察評価比較用場面を設定できなくデータが取れなかったが、「鉄管及び階段」を観察対象として指定し、アプリケーション内で動画の再生位置をそこが映っている場所にジャンプさせて、「事前に指定した点検したい場所」として閲覧することができることを異論なく確認していただいております、本アプリケーションを用いて見ている点検場所について、参加者間で一致した認識を持っていただけたと考えている。

また、ダムを含めた土木事務所にて管轄するようなインフラの点検作業に対し、デモンストレーションをみていただいた土木事務所の職員の方々へのアンケートでは、下記評価および感想をいただいた。情報共有のしやすさ・精度向上への期待が寄せられた。次表に示す。

表 4-31 土木事務所におけるアンケート回答

項目	意見・コメント	回答者の担当業務等
情報共有	大勢で画面を指さしたりしながら相談する使い方が想定できる	舗装の穴埋めなど、緊急維持業務
	議論がしやすい	工事の積算、工事の監督
	情報共有がスムーズにできる	土木工事の発注・監督
精度向上	見落とし可能性が低下する	工事発注・監督
	複数の者が見ることで見落としが減る	維持修繕
	複数人が同時に映像によりチェックできることは、精度アップにつながる	道路、河川工事の実施担当課の管理職

こうしたアンケート結果から、ダム点検における課題や対策を含め考える。天理ダムでのヒアリングにおいて、他のダム（例：奈良県奈良市の岩井川ダム）では定期的に特定のヒビを定点計測しているなど聞いており、ヒビ検出・計測といったソリューションが必要となる他のダムは存在している。それを踏まえると、高精細で大画面を用いてインフラ点検作業の様子を確認できることは、現地の様子を把握する上で有用性があることが認められる。また、本質的なチェック作業のために一時的に多数の人材がこれに携わることができる環境を容易に実現できる。これにより問題箇所の見落としを防ぐことや、その場で正常・異常の判断に必要な議論も容易であり、関係者との情報共有もタイムラグなく行うことができるため、トータルとしての業務効率を高めることが期待できる。

一方で多様な点検業務や対象となる現場の状況は個々に違いがあるため、現場ごとの要望に応じて柔軟かつ容易にカスタマイズできる仕組みについては工夫が必要と考えられる。

ア D ; 多拠点への同時ダム点検映像配信

3つの拠点に8Kモニター・VPNを設置し、ドローンで撮影したダム堤体の点検用映像を観察してもらった。各拠点でのスケジュールの都合上、各拠点でのダム側（配信）・観察側（受信）で、高画質の映像の確認を行った。この映像（8K-30p）の出力ビットレートは、およそ20M~40Mbps程度を見込んでおり、帯域的に200Mbps程度が安定して確保できていれば、8K映像のリアルタイム伝送が可能である。各拠点間での配信結果を次表に示す。

表 4-32 各拠点間での映像の配信結果

拠点間	測定日時	ビットレート計測値 (平均)	8K 映像配信
天理ダム～ 天理市役所	2月2日 14～15時	約420Mbps	良好
天理ダム～ 奈良土木事務所	2月1日 10～11時	約400Mbps	良好
天理ダム～ 王寺町役場	2月7日 10～11時	約410Mbps	良好

天理市役所・奈良土木事務所・王寺町役場とも、配信映像そのものを確認できた。実施目標としては「3か所以上への同時配信・配信ズレ1分未満」であったが、同時配信拠点数としては1か所であった。上記表の通信ビットレートが確認できたので、送る映像のビットレートを鑑みると、十分に同時配信も可能であることが分かった。また、配信ズレに関しては、今回詳細な時間を計測することができなかったが、拠点間ごとに配信動作確認時には、電話やビデオ会議の通話機能を使いながら相互の操作状況を確認しており、配信開始直後に受信側で配信映像を見ることができていたことから、少なくとも「ズレ1分未満」は確認できていた。

複数拠点で同時に現場の高精細映像を配信できることは、遠隔点検システムを実運用していく際に、必要な時に必要な関係者が同時に参画できる環境を整える上で重要なポイントになる。これにより全体の作業効率を高めることが可能になると考えられる。今回の実証により複数拠点接続の検査作業の実運用に向けた基本的なシステムの実現性が確認できたため、この上で稼働させるアプリケーションレベルで使いやすさを追求することで、インフラ点検業務のDX化促進につながると考える。

イ C：災害現場情報を住民へ配信提供

スマホ・タブレットへの情報を提供・閲覧可能なシステム構築に至らなかったため、土木事務所の方々へのデモおよびアンケートを実施させていただき下記意見が得られた。次表に記す。

表 4-33 土木事務所におけるアンケート回答

項目	有効性を感じる理由	回答者の担当業務等
スマホ・タブレットでの情報提供や閲覧ができる	ある特定の出力機器だけとその機器のある場所 でしか情報共有できない為	用地買収
	持ちあるきのしやすいものだから	計画業務
	災害の現場ではメリットがあると想定される	道路、河川工事の実施担当課の管理職

実施目標の「50人以上への配信・配信遅延10分未満」については、発信された情報を受信し閲覧するのは自治体でなく住民側であることや、8K映像やユーザインターフェース等含め、モバイル機器への配信に適した形式等へのコンバート等を含む課題解決が必要であることなどを鑑み、今回は自治体業務効率化に主眼を置き、遠隔拠点でのディスプレイ上の確認を実施した。しかし今後住民向けの提供も視野に入れて、令和6年度での取り組みを予定する

上表の意見からは、常日頃、現場で災害対応に当たる方々にとって、スマホ・タブレットによる災害現場情報のタイムリーな提供は、いち早く情報を入手して迅速な対応につながる効果を期待できると考えられる。災害に直面するという意味では当該地域の住民も、上記対応者と同様の立場であり、住民向け情報配信システムも有用性を期待できると考えられる。今後、自治体への横展開を進める中で、災害現場情報を住民へ配信提供する実証実施を検討していく。

なお、今回、住民へ情報を共有する術として、ナラプラスなどの既存アプリについて調査したところ、現在運用されているナラプラスは、いわゆるポータルサイトで、県民への各種行政情報や、県庁内の各部門が運営されているWEBページにアクセスできる仕組みになっている。今回我々の方で用意した検出ソフトはまだHTML形式などを表示するウェブブラウザへの実装ができなかったため、ナラプラスなどの既存のアプリへの展開はできなかったが、検出ソフトは比較的高いスペックのノートPC、タブレットでも再生することができた。

従って、今後はスマートフォンなどのアプリでも動作できるレベルまで処理の軽量化を図り、もっと多くの方にも使用頂けるようなシステムを引き続き検討する。

イD：多拠点への同時災害現場映像配信

多拠点への同時災害現場映像配信の有用性に関しては、同じくアンケートで下記意見が得られ、災害初動対応や情報共有の迅速化に有用性があることが期待された。次表に示す。

表 4-34 土木事務所におけるアンケート回答

項目	意見・コメント	回答者の担当業務等
多拠点への同時災害現場映像配信の有用性	災害時の初動においては、ライブで同一情報を共有することが大事である為	用地買収
	順番で見る回数が減る、一度に意見交換できる	道路改良工事、橋梁補修工事
	8K の映像で時間の短縮につながる	砂防災害対策計画の検討等
	情報共有がスムーズにできる	土木工事の発注・監督
	災害時の対応がはやくできる	計画業務

実施目標としては「3 か所以上への同時配信・配信ズレ1分未満」であったが、同時配信拠点数としては1か所であった。上記表の通信ビットレートが確認できたので、送る映像のビットレートを鑑みると、十分に同時配信も可能であることが分かった。また、配信ズレに関しては、今回詳細な時間を計測することができなかったが、拠点間ごとに配信動作確認時には、電話やビデオ会議の通話機能を使いながら相互の操作状況を確認しており、配信開始直後に受信側で配信映像を見ることができていたことから、少なくとも「ズレ1分未満」は確認できていた。

上表の意見により、多拠点への同時災害現場映像配信は、情報を共有することで、素早く初動対応を行い、また、複数人のチェックや意見により災害対応を正しく確実に実行する可能性を高めることができるものと考えられる。しかしながら、それを実現するためには、拠点ごとに映像配信システムの整備が必要であることは言うまでもなく、そのための予算確保や低コスト化は実現に向けた今後の課題である。

また、実証アにおける本ソリューションを活用した場合の省力化効果、並びに災害時の早期発見による人命救助効果を金銭換算したものをまとめたので報告する。

実証ア) 本ソリューションを活用した場合の省力化効果

今回はダムの堤体側の全面点検の場合の省力化効果について検討した。

天理ダムの堤体面積は中央の水路溝部も含め約 7,350m² と極めて広く、点検作業者がロープなどにぶら下がって確認する方法の場合、ほぼ一日要するとのことだった。

一方で、前述の図 4-19 などを実施したドローンでの点検用堤体スキャンに要した時間は準備なども込みで、約 65 分間で対応できた。詳細の時間内訳を表 4-35 に示す。

表 4-35 本ソリューションを活用した場合の省力化効果(堤体側全面)

	従来の詳細点検	本ソリューションでの点検
準備・撤収時間	約 1 時間	35 分(バッテリー交換含)
点検時間	約 6 時間	30 分
レポート作成	約 30 分	実質 0 分(ローカル 5G 転送時間考慮)
合計時間	約 7.5 時間	65 分
作業量	2 人日 (2 名、1 日)	1.5 人日 (3 名、半日)
備考	打音検査可能	打音検査不可

レポート作成は実施した内容のレポートを指すが、従来の場合、全ての作業終了後に情報などを手入力する必要があるが、本ソリューションの場合はリアルタイムで解析サーバーに伝送されるので、レポート作成は撤収作業時のうちに完成するため、実質 0 分とした。

また作業量については、従来の方法ではおよそ 2 名での対応となる。一方本ソリューションでの点検の場合はドローンの操縦者、補助員、現場監督の 3 名で実施したとみなす。この場合、本ソリューションであれば半日で対応できることから、1 回あたりの作業量は 1.5 人日となる。さらに、本ソリューションの場合、合計時間が約 65 分で実施できるので、ダムのレストランによっては、同日に複数のダムの点検も可能となる。例えば、奈良北中部に位置する表 4-8 に記載の 6 基のダムにおいては、車でそれぞれ 1~2 時間程度で移動できる距離にあるので、移動時間を鑑みても同日に 2~3 基検査を実施することも可能となることから、さらなる効率化が図れることも考えられる。

また、安全面の観点でも、従来の詳細点検の場合、ロープにぶら下がるような危険を伴う作業が発生する一方で、本ソリューションにおいては、地上で作業が完了することから従来と比較しても安全に点検作業が進められることから、総合的に判断しても本ソリューションの作業は極めて有効であると言える。この結果、堤体の詳細点検は従来点検方法に対して、およそ 75%の仕事量で実施することができる。

一方で、従来点検の場合、危険な作業であるものの、ハンマーなど打音検査が可能で、より詳細な点検が可能であるため、単純な比較は難しい。それでも、本ソリューションでの点検は安全面という観点でも有利であるので、例えば、本ソリューションにより安全にダム全体のスクリーニング点検が実施できるので、本ソリューションの点検は月次点検とし、従来点検を伴う、打音検査を含む詳細検査の実施頻度を年次ないし数年に一度程度とする運用も可能と考えられる。

上記はダムの堤体側の全面点検の場合の省力化効果についての作業量について算出したものであるが、表 4-16 「ダムの現地状況（概査）の整理」からの本ソリューション置き換え項目検討にも記載した項目のうち、本体の「下流部」、洪水吐きの「導流部」の点検を指す。実際には本体の「上流部」「堤頂部」、洪水吐きの「越流部」「減勢工」の点検も必要となる。またダムの基礎・周辺斜面も対象となることから、これらすべての目視点検を鑑みると、作業量は上記点検部の面積比率で概算すると、ダムの規模にも依存するが、天理ダムの場合、実際の作業量は、表 4-35 の作業量の約 3 倍が発生すると考えられる。従って、トータルの省人化効果としては従来の作業量は 1 回あたり 6 人日程度に対し、本ソリューションの場合は 4.5 人日となり、省人化の効果はより高まるものと考えられる。

続いて 実証イ) 災害時の早期発見による人命救助効果の金銭換算を検討した。

これは令和 2 年度に実施した「ローカル 5G 及び 8K 映像伝送による自治体各種業務支援に関する調査研究」にて報告した調査結果に基づいて算出する。

今回のコンソーシアムメンバーである天川村の場合、村管理林道が延べ約 62km、35 本ある。

台風や大雨、地震などの発災時、職員らで各林道の巡回確認をされるが、天川村様の情報によると、発災 1 回あたり、10 名体制でローラー調査をされ、平均約 1.5 日かかるとのこと。それを年 2 回の発災とした場合、年間 30 人日の労力が必要となる。

一方、本ソリューション活用の場合、62km、35 本の場合、1 本あたり平均 1.8km とみなすと、調査時間はおよそ 10 分程度となる。全箇所で考えると約 6 時間程度で確認が終了できる。

村内移動の時間などもある程度考慮すると、ドローン担当者 3 名が 6 時間ですべての箇所を確認することができると思込まれる。以上を表に示す。

表 4-36 災害時の早期発見による人命救助効果

	従来のローラー調査	本ソリューションでの調査
人数	10 名	3 名
日数	1.5 日(12 時間)	0.5 日(6 時間)
作業量	15 人日	1.5 人日

作業量で換算すると本ソリューションの場合 1/10 の作業量で実施でき、大幅に省人化の効果が得られる。さらに、迅速に発見できる可能性が極めて高い。二次災害などのリスクなども鑑みると、本ソリューションでの実施が省人化だけでなく、迅速に、かつ人命救助作業時に発生しやすい二次リスクも低くなるというメリットも挙げられるので、極めて効果的と考える。

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

実証ア・イそれぞれのソリューションに対し、成果・課題・対応策を下表にまとめる。

表 4-37 実証アに関する目標・成果と課題・対応策

項目	目標	成果	課題・対応策 (時期・担当)
アA 保守点検の 安全効率化	作業安全向上率：2割以上	△：アンケートによる ユーザ意見抽出を実施	作業安全への寄与の 定量化等の効果見え る化を図る (R6・各コンソメン バー)
	作業短縮率：70%以上	△：約34%	作業短縮への寄与の 定量化等の効果見え る化を図る (R6・各コンソメン バー)
	点検作業効率化項目：1項目 以上増加	○：4項目追加	課題なし
	関連マニュアル案作成	△：案を作成し、ユーザ 意見抽出を実施	システム・機器のユー ザビリティ等の改善 検討 実運用に則した運用 体制構築、自治体への トレーニング等の実 施 技術拡張等により、応 用可能性のある作業 項目を検討 (R5・各コンソメン バー)
アB 点検寧像の リアルタイム伝送	伝送映像：8K@30P	○：8K@30P	課題なし
	伝送遅延：1分未満	○：2～3秒	課題なし
アC 点検映像の 複数人同時 観察	観察人数：3名以上	○：3名以上	課題なし
	観察評価点：80%以上整合	○：ユーザによる指定し た点検場所の確認を実施	課題なし
アD	配信拠点数：3か所以上	△：同時配信拠点数1か	複数拠点での映像の

項目	目標	成果	課題・対応策 (時期・担当)
多拠点への 同時点検映 像配信		所	同時確認 (R5・各コンソメン バー)
	配信ズレ：1分未満	△：ユーザによる拠点間 相互での操作状況確認を 実施	配信ズレ時間の計測 手法の確立 (R5・各コンソメン バー)
アE 点検のド ローン目視 外飛行	自律飛行：レベル3	○：レベル3	課題なし
	自律飛行時間：計画差5分未 満	○：計画差3秒以内	課題なし
アF 点検映像の 自動抽出検 索	カット正解率：70%以上	○：100%	課題なし
	切出し正解率：70%以上	○：100%	課題なし
アG 点検映像の 自動ヒビ検 出	撮影距離：15,30,50,70m	○ ： 2.5,10,15,30,50,70m	課題なし
	超解像処理効果：ON/OFF	×：ヒビのみへの効果が 確認できず	AI 学習データを充 実、AI 超解像処理の 性能向上により、ヒビ 等の検出率向上を図 る (R5・シャープ)
	検出率：70%以上	△：67%	データ不足部分の補 完検討 (R5・シャープ)
	ヒビの状況の確認	○：検出可能なヒビを確 認することができた	課題なし
アH 点検3D データ比較	比較箇所：本体と水面	○：本体と水面	課題なし
	比較精度：15cm 未満	○：4cm 程度(相対比較)	課題なし

表 4-38 実証イに関する目標・成果と課題・対応策

項目	目標	成果	課題・対応策
イ A 現場確認の 安全迅速化	作業安全向上率：5割以上	△：アンケートによる ユーザ意見抽出を実施	作業安全への寄与の 定量化等の効果見える 化を図る (R7・各コンソメン バー)
	作業短縮率：70%以上	△：約 20%	作業短縮への寄与の 定量化等の効果見える 化を図る (R7・各コンソメン バー)
	関連マニュアルの作成	△：案を作成し、ユーザ 意見抽出を実施	システム・機器の ユーザビリティ等の 改善検討 実運用に則した運用 体制構築、自治体へ のトレーニング等の 実施 (R7・各コンソ メンバー)
イ B 現場映像の リアルタイム 伝送	伝送映像：8K@30P	○：8K@30P	課題なし
	伝送遅延：1分未満	○：2～3秒	課題なし
イ C 現場情報を 住民へ配信 提供	配信数：50人以上	－（自治体業務効率化に 主眼を置いたため）	モバイル機器への配 信に適した形式等へ のコンバート等を含 む技術検討 (R7・各コンソメン バー)
	配信遅延：10分未満	△：実務上支障ない品質 であることを確認	
イ D 多拠点への 同時現場映 像配信	配信拠点数：3か所以上	△：1か所	複数拠点での映像の 同時確認 (R5・各コンソメン バー)
	配信ズレ：1分未満	△：ユーザによる拠点間 相互での操作状況確認を 実施	配信ズレ時間の計測 手法の確立 (R5・各コンソメン バー)

項目	目標	成果	課題・対応策
イ E 現場のドローン目視外飛行	自律飛行：レベル 3	○：レベル 3	課題なし
	自律飛行時間：計画差 5 分未満	○：計画差 3 秒以内	課題なし
イ F 現場映像の自動抽出検索	カット正解率：70%以上	○：100%	課題なし
	切出し正解率：50%以上	○：83%	課題なし
イ G 現場映像の人・建物自動検出	撮影距離：15,30,50,70m	○：47,94,141m	課題なし
	超解像処理効果：ON/OFF	－：十分な検出率が得られたため不要	課題なし
	検出率：70%以上	○：93%@47m, 86%@94m	課題なし
イ H 災害 3D データ比較	比較箇所：被災想定場所	○：車両	課題なし
	比較精度：15cm 未満	○：最大誤差長さ約 9mm, 体積誤差 7% 以内	課題なし

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

ローカル 5G を活用したソリューションを持続的に導入・利用するためのローカル 5G 活用モデルの構築に向けて必要な項目を整理したものを表 4-39 に示す。表中※印が記されている検討項目については、本開発実証におけるコンソーシアムメンバーでの議論及び関係者へのヒアリング調査などを実施し、その結果についても各項に示す。

なお、本活用モデルにおいて、「地方都市、ルーラル、山間地などのキャリア 5G が到達しないエリアを含む地域」「基本的に屋外で、山間地、林道沿い又は山頂並びにダム、橋梁など」を前提条件としているが、特に今回のようなダムの場合、その大半が山間地にあるため、5G のみならずキャリア LTE の通信も繋がりにくいという問題がある。一例として、今回実施の天理ダムは一部の通信キャリアがエリア外、あるいは非常に繋がりにくく、また同じく奈良県が管理されている岩井川ダム（奈良市）は一部のキャリアが繋がりにくいだけでなく、有線ネットワークも監視カメラ用回線は配備されているものの、NTT インターネット回線等は配備されていない状況である。

また、前述の表 4-8 に記載の奈良県が管理されている奈良県北中部の 6 基のダムのうち 4 基において、一部の通信キャリアが入りにくい環境下にある。

表 4-39 ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

整理項目	ローカル 5G 活用モデルの構築内容	検証結果
想定される具体的な主体	全国の自治体	—
対象となるシステム	屋外の自治体業務全般	—
詳細の前提条件	<ul style="list-style-type: none"> ・地方都市、ルーラル、山間地などのキャリア 5G が到達しないエリアを含む地域 ・基本的に屋外で、山間地、林道沿い又は山頂並びにダム、橋梁など 	—
体制・事業スキームのモデル	ビジネスモデルの明確化	次項(2)運用スキーム・ビジネスモデルの検討にて記載
導入効果	人員や作業時間の大幅な削減、作業安全性の向上、点検精度の向上、高度化等	前項の効果・機能・運用検証を参考
課題と対応策	技術面・運用面・財政面での課題抽出	本項(1)経済性・市場性の検証にて記載

参考として、令和 2 年度の調査研究会でも、各自治体へヒアリング調査、実証実験、コンソーシアム内での議論によりローカル 5G 活用モデルの構築・検証を実施した。図 4-64 に標準モデル案、図 4-65 に体制・事業スキームのモデル案、図 4-66 に課題と対応策案を示す。

なお、令和 2 年度の調査研究では、実際の自治体業務に展開できるようになるまで詳細にあるいは自治体業務全体に落とし込めるほどモデル化するまでに至っていない。そのため、本開発実証ではローカル 5G 活用モデルのさらなる落とし込みを様々な視点で詳細に検討し、導入効果を効果検証・機能検証・運用検証により検証した。

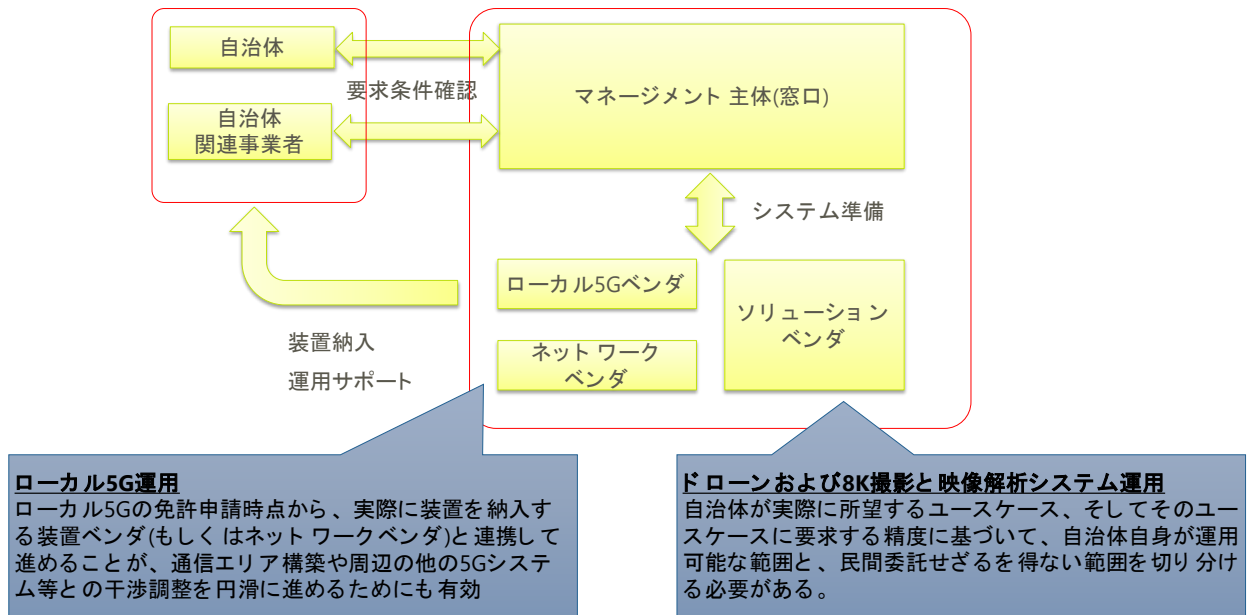


図 4-64 ローカル 5G 業務標準モデル案(令和 2 年度調査研究)

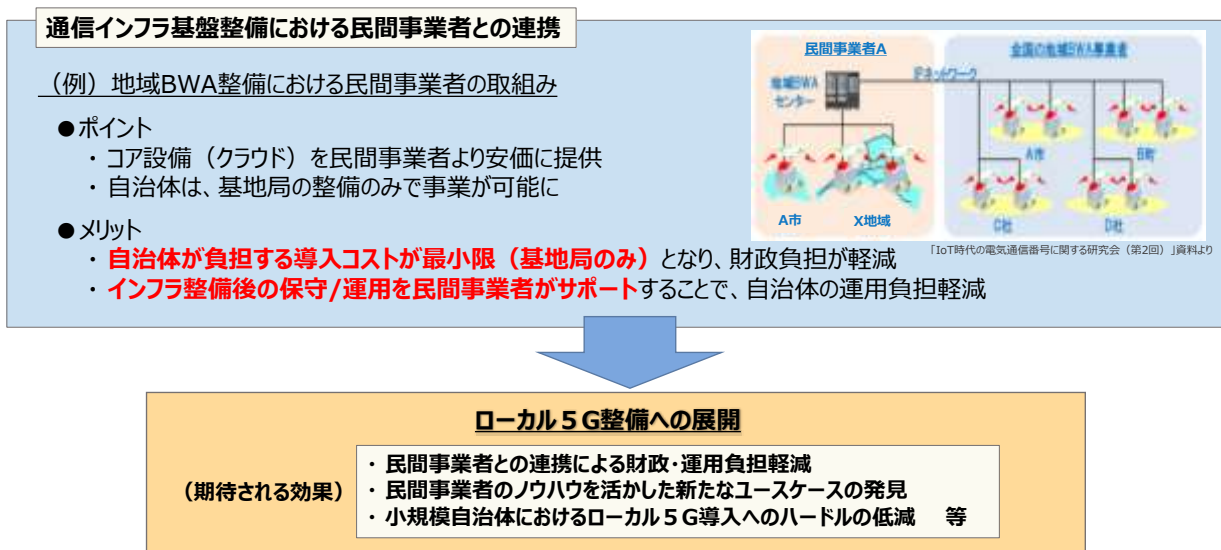


図 4-65 体制・事業スキームのモデル案(令和 2 年度調査研究)

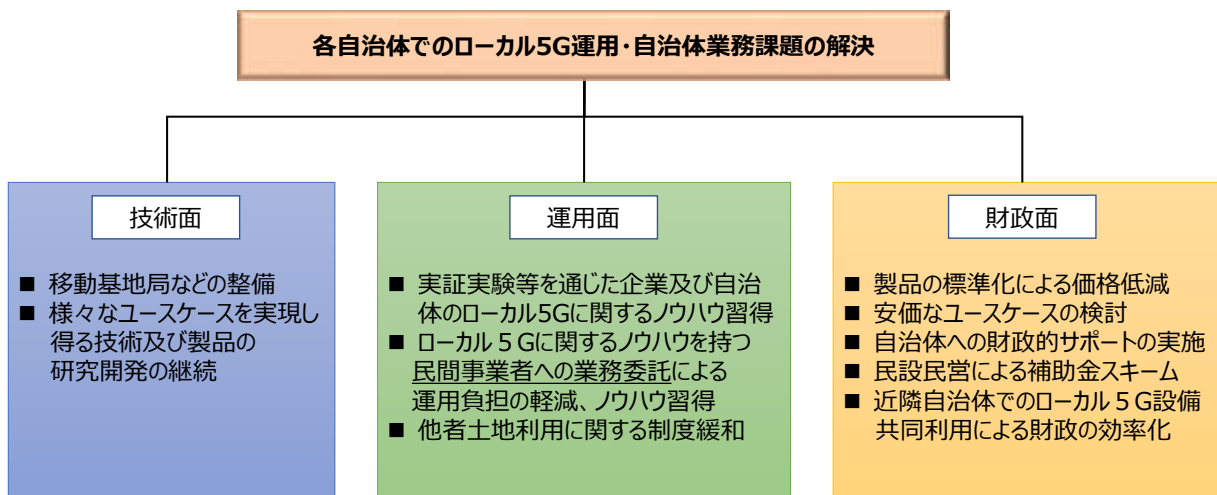


図 4-66 各自治体での課題と対応策案(令和2年度調査研究)

また、市場性という観点では、ダム以外の大型インフラ設備点検等への横展開の可能性も高い。現在、来年度以降の展開の一つとして、四国の化学系プラント会社や、和歌山の大型タンクを保有されている石油販売会社などとのディスカッションも実施し、その可能性も模索している。いずれも既にドローンでの点検業務を実施されており、現状の点検業務としては、十分対応できているとのコメントを頂いているが、一方で地震などの際に緊急にかつ安全に詳細な情報をリアルタイムに知る必要があるとのことで、今回のダム点検ソリューションについても、強い興味を示して頂いている。

以上、技術面、運用面、財政面などの観点を参考、実証ア、実証イそれぞれでのイニシャルコスト、年毎のランニングコストについて検討を行った。

2) 検証方法

まず本実証で採用したシステムを細分化してコストを明確化し、技術面の観点で各項目の金額について明記する。その結果に対し、ユーザー目線でみた運用面、財政面の観点で、見直すべきところがないか検証する。

3) 検証結果及び考察

まず、技術面で算出した金額は下記となる。今年度実際に係った金額から適切なコストダウンも含んだコスト算出に対して間接費・利益相当の20%を上乗せした数字とした。

なお、各費目に含まれる主な内訳の補足についても表下に記載する。

実証ア) ○イニシャルコスト部 (令和5年度見込み)

表 4-40 実証ア インitialコスト (単位:千円)

費目	品目	1式のコスト	内訳	
ネットワーク 構築費	ローカル 5G システム	22,000	機材費	15,000
			人件費、工事費等	3,500
			間接費等	3,700
	VPN イニシャル コスト	3,480	機材費、工事費 (4 拠点相当)	2,900
			間接費等	580
ソリューション 購入費	ドローン導入	5,640	機材費	4,000
			人件費等	700
			間接費等	940
	映像配信装置一式	6,840	機材費	5,000
			人件費等	700
			間接費等	1,140
合計		38,160		

※内訳補足：

- ・ローカル 5G システム機材費には BBU の他、RU2 基、ファイバケーブル、ローカル 5G 通信ユニットなどが含まれる。
- ・VPN イニシャルには、4 拠点の VPN ルータや工事費などが含まれる。
- ・ドローン機材費にはドローン本体の他、各種アタッチメント、改造費などが含まれる
- ・映像配信装置機材費には配信サーバー、8K モニター、8K カメラ、解析ソフトウェアなどが含まれる

○ランニングコスト部（令和 5 年度見込み）下記は年間に係るコスト

表 4-41 実証ア ランニングコスト (単位:千円)

費目	品目	1年間コスト	内訳	
ネットワーク 運用費	ローカル 5G 運用費	1,560	保守費用、人件費等	108.3/月
			間接費等	260
	VPN 運用	1,008	使用料、保守費用	70/月
			間接費等	168
ソリューション 構築費	ドローン運用	4,440	人件費	308.3/月
			間接費等	740
ソリューション 運用費	ソフト開発、バー ジョンアップ対応	4,838	開発人件費	336/月
			間接費等	806
合計		11,846		

※内訳補足：

- ・ローカル 5G システム運用費、VPN 運用費には保守費用等が月額で発生する。
- ・ドローン運用費には月次点検を想定し、月額 308.3 千円(2 日間程度)とした。
- ・ソフト開発、バージョンアップ費などのソリューション開発費は開発に係る人件費を見越しており、月額 336 千円(6 人日程度)とした。

実証イ)

実証イの場合、上記のシステムに加え、イニシャルコストに移動式基地局に相当するものとして、BBU やアンテナを搭載する 2t トラックおよびその改造費を加算したもの、またランニングコストにその移動式基地局の運用コストが加算される。

○イニシャルコスト部 (令和 5 年度見込み)

表 4-42 実証イ イニシャルコスト (単位:千円)

費目	品目	1 式のコスト	内訳	
ネットワーク 構築費	ローカル 5G システム	22,000	機材費、	15,000
			人件費、工事費等	3,500
			間接費等	3,700
	VPN イニシャルコスト	3,480	機材費、工事費 (4 拠点相当)	2,900
			間接費等	580
	移動式基地局用 トラック	12,000	機材費	10,000
間接費等			2,000	
ソリューション 購入費	ドローン導入	5,640	機材費	4,000
			人件費等	700
			間接費等	940
	映像配信装置一式	6,840	機材費	5,000
			人件費等	700
			間接費等	1,140
合計		50,160		

※内訳補足：

- ・ローカル 5G システム機材費には BBU の他、RU2 基、ファイバケーブル、ローカル 5G 通信ユニットなどが含まれる。
- ・VPN イニシャルには、4 拠点の VPN ルータや工事費などが含まれる。
- ・移動式基地局用トラック機材費にはトラック、発電機、改造費などが含まれる
- ・ドローン機材費にはドローン本体の他、各種アタッチメント、改造費などが含まれる
- ・映像配信装置機材費には配信サーバー、8K モニター、8K カメラ、解析ソフトウェアなどが含まれる

○ランニングコスト部（令和5年度見込み） 下記は年間に係るコスト

表 4-43 実証イ ランニングコスト（単位:千円）

費目	品目	1年間コスト	内訳	
ネットワーク 運用費	ローカル 5G 運用費	1,560	メンテナンス費	108.3/月
			人件費等	
			間接費等	260
	VPN 運用比	1,008	使用料、保守費用	70/月
			間接費等	168
	移動式基地局 運用費	792	保守費用等	55/月
間接費等			132	
ソリューション 構築費	ドローン運用	4,440	人件費	308.3/月
			間接費等	740
ソリューション 運用費	ソフト開発、バージョンアップ対応	4,838	開発人件費	336/月
			間接費等	806
合計		12,638		

※内訳補足

- ・ローカル 5G システム運用費、VPN 運用費には保守費用等が月額で発生する。
- ・移動式基地局運用費には保守費用や燃料費なども含まれる。
- ・ドローン運用費には月次点検を想定し、月額 308.3 千円(2 日間程度)とした。
- ・ソフト開発、バージョンアップ費などのソリューション開発費は開発に係る人件費を見越しており、月額 336 千円(6 人日程度)とした。

次いで上記算出した金額に対し、運用面、財政面という観点で適切か検討する。

特に運用面という観点では、ランニングコストが従来の検査方法と比較して妥当かという点になるが、ダムの場合、規模や使用目的によって大きく変動するため一概ではないが、天理ダムに相当する中～大型クラスのダムの場合、概ね年間 2,000～3,000 千円前後要しているとの情報があった。

またこの金額は目視点検だけでなく、漏水量の確認など、本ソリューションだけでは対応できない点検項目も幾つか含まれている。

単純な比較となるが、従来の点検にかかるコストに対し、実証アのランニングコスト見積が 11,846 千円となっており、およそ 4～6 倍の開きがある。

一方で、本ソリューションにおいては、通常の日視点検ではできない高所の点検などを安全に実施できるといった、安全面、効率面という観点のメリットもあるため、コストだけの比較も難しい。

また、ユーザーの評価額も担当者らに伺ったところ、概ねの意見として、安全面などのメリットをインシャルコストで賄えたとしても、前述の年間点検費用およそ 2～3,000 千円と同等のランニングコストが望ましいという意見であり、現状のランニングコスト見積額 11,846 千円との差はまだ大きい。

そこで、今後、導入件数などが増えることによるコストダウンをどの程度見込めるかという点に着目する。今回のシミュレーションでは年度ごとにおよそ 5%のコストダウンを見込んだところ、例えば令和 9 年度になると実証アのランニングコストはおよそ 9,650 千円となり、令和 5 年度の見積からは 2,000 千円以上のコストダウンが見込める。また、現在の見積では毎月の点検を前提にした見積を行っているが、例えば案件によっては、従来の点検に加え、本詳細点検は隔月のみといったハイブリッド的な運用も可能であればランニングコストも下げられる可能性も考えられる。実際のところ、各コンソーシアムメンバー、ベンダーにも確認し、為替レートなどの変動もあるので一概ではないものの、生産のイニシャルコストに対する減価償却費用の年度毎の削減、数量生産による生産コストの削減なども鑑みると年度毎におよそ 5%程度のコストダウンは可能であると見積もっている。

また 4.3.3 章でも触れるが、同一ユーザーにおける複数の拠点での機材の共有化を図る案も挙げられる。例えばイニシャルコストで最も高額な BBU をはじめ、比較的共有しやすいドローンなどは、同時に使用しないのであれば共有することも可能であり、2 台目以降イニシャルコストを抑えることが可能となる。ただし、ローカル 5G 設備の共有化は物理的に可能であるが移設により発生するコストやその都度必要となる免許人選定などの付帯業務を鑑みると、ローカル 5G システムの共有化はあまり適切ではないと考える。

また財政面という観点では、ランニングコストに加え、イニシャルコストも重要である。

自治体規模により予算額も大きく変わるため、一概ではないものの、実証アの 38,160 千円という金額は簡単に捻出できないだろうと伺っている。

ただこちらも年度ごとのコストダウンは可能だと考えており、ランニングコスト同様、年度ごとに 5%のコストダウンを実施した場合、令和 9 年度の時点でおよそ 31,081 千円となり 7000 千円以上のコストダウンが見込まれる。それでもまだ高額であるため、交付金や補助金などの制度の活用も引き続き検討していくべきと考えている。その他、安全面や地震などの際の緊急性などを重視されている民間企業向けの案件を先行することで、イニシャルコストのコストダウンに貢献できるようなシナリオも並行して実施していくべきと考えている。

また財政面のその他のポイントとして、図 4-66 にも記載の令和 2 年度の調査研究会でも検討し、当時の検討結果として

- ・製品の標準化による価格低減
 - ・安価なユースケースの検討
 - ・自治体への財政サポート、民間企業の補助金スキーム
 - ・近隣自治体でのローカル 5G 設備共同利用による財政の効率化
- を挙げていた。

今回の検討結果と比較しても、概ね同じような内容であり、年度ごとのコストダウンはある程度見込めているので、交付金・補助金なども今後積極的に得られるように自治体とも連携して進めていく。

また、前述の 4.1.2 当初仮説にも記載の、現在各自治体において、ヘリテレやカメラ映像などの防災情報を一元管理・監視するシステムにおいて、本実証システムを連携できるのか、という観点もある。例えば奈良県では、地域衛星通信ネットワークの映像伝送サービス (SUPERBIRD B3) が利用されており、映像信号は MPEG-2 1.5Mbps となっている。そのため、本実証システムの 8K 映像をそのまま用いる場合は別システムとして導入となる。が、仮説として、8K より解像度は低いものの災害現場映像が見られるだけでも情報収集に有意義であれば、ダウンコンバート映像を既存システムに乗せて連携することもできると考えられると、今回の現場を例にすると、このような仮説の確認ができれば、今後のアクションとして基地局にコンバータを設置するなど考えられると仮説を立てていた。

これを運用面で検証したところ、2 点問題があることが判った。

1) 既存システムの連携

上記の仮説においては、既存システムに 8K から低解像度 (ここでは 1280x720(HD)ないし 1920x1080(FHD)を想定) に変換するコンバータをローカル 5G の基地局に設置するとしていたが、現状、その先の受信側の入力フォーマットが上記の HD 以下ないし FHD 以下のみ対応となっているため、現状、基地局にダウンコンバータを設置するだけでは、基地局付近での 8K アーカイブを保存するようなシステムしか構築できず、本来の 8K を活かすソリューションを構築することは容易ではないことが判った。すなわち今回実施したように各拠点でも 8K を受信できるシステムを構築しなければならない。

なお、4.3.1 の検証結果アンケートにもあるように高精細映像での点検は効率面の点からもかなり高い評価を頂いている。今回実証実験に利用したモニターのサイズは 70 型で、現在利用されている点検用大型モニターはおおよそ 50~60 型サイズのモニターを利用されているが、設置場所によっては 70 型でも十分置けるスペースでもあったので、運用者目線で考えると、今回の 8K モニターに差し替えても既存のシステムの映像は出力できるので、当面はモニターだけ 8K 対応にし、追って既存のシステムの出力 PC も 8K 出力対応にリプレースできれば、既存システムからの流用も比較的容易と考える。

2) ダウンコンバートによる映像劣化

映像配信技術の観点からも、上記のようにコンバータを介すだけで、8K 映像を 1.5Mbps の帯域でも伝送できる 1280x720(HD)ないし 1920x1080(FHD)のものに変換できるものの、変換した画質は 8K からの劣化が著しく、結局。現在、汎用の監視カメラやドローンとの画質レベルと変わらない。すなわち、8K カメラドローン搭載ドローンである必要性が挙げられない。

検証結果として、上記のように、基地局のコンバータ追加だけでは、既存システムをそのまま活かすソリューションとしては不十分であり、途中の通信システムや受信側にも 8K を活かすネットワーク・システム、映像受信システムも併せて導入することも必要であると考えられる。

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1) 検証項目

「コンソーシアム内外での自治体との議論による他の自治体業務への適応可能性の探索」

図 4-67 はローカル 5G の普及展開方策として、令和 2 年度調査にて自治体業務支援ソリューションの実証実験をどのように展開することで早期実用化できるかどうかを各関連当事者の関係図を用いて検討した一例で、実際の運用関係者が実証実験当初から参画することが望ましいとしている。

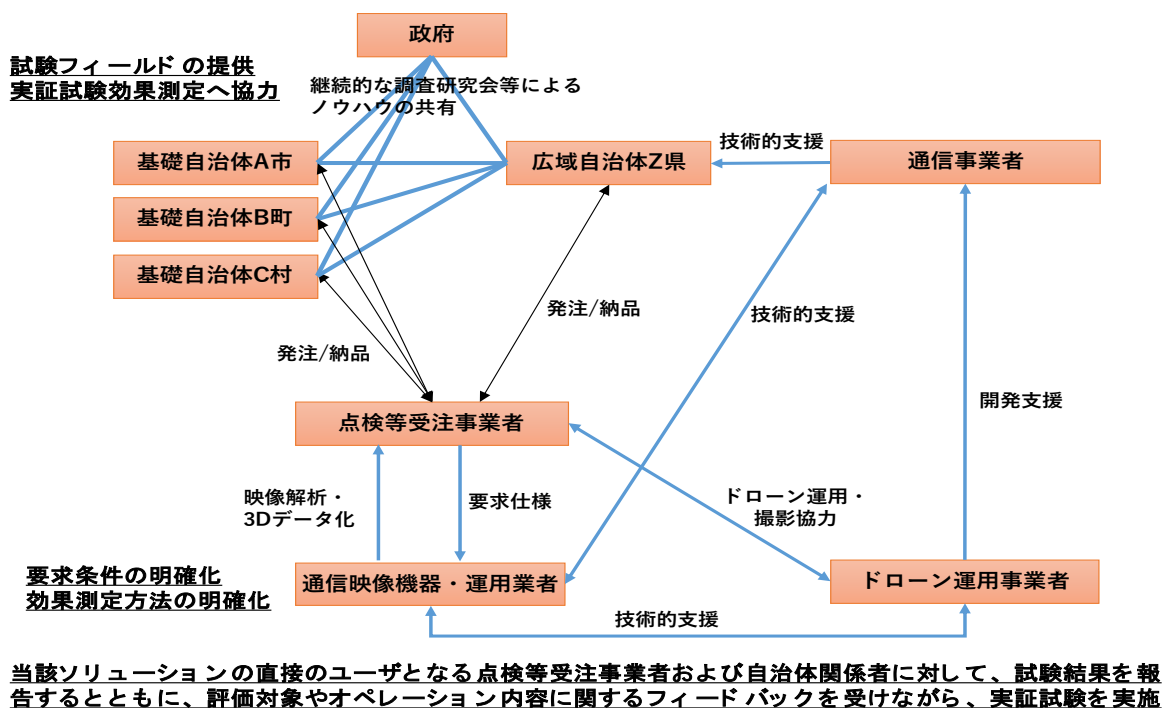


図 4-67 ソリューションの横展開と垂直展開(令和2年度調査研究)

上記を参考に、今回は検証項目として、まずコンソーシアム内のサービス提供者（シャープ、ミラテックドローン、西日本電信電話）で考えるビジネスモデル、またコンソーシアム内のユーザー（奈良土木事務所）が求める本ビジネスの在り方について検討した。

2) 検証方法

- ・ コンソーシアムメンバー内に属するサービス提供者で検討すること
実証したソリューションの横展開（周辺自治体や民間団体等）や垂直展開（他ユースケースへの応用等）
 - ・ コンソーシアム内のユーザーが検討すること
試験実施主体の持続可能な連携・サポート体制の構築
- 常に実証実験完了後の将来のビジョンを関係者で共有しながら実証実験を進め、実験実施だけ

に終わらず、実験結果が様々に応用・活用される取組みが必要であり、定期的な議論を設け、それぞれの検証結果を次項にまとめた。

3) 検証結果及び考察

コンソーシアムメンバーで協議した結果、今回の実証内容からのビジネスモデル化についてのポイントを整理した。

① 周辺自治体や民間企業などへの横展開

4.3.1 の有効性でも触れられているが、実際に作業されている方々のご意見として、今回の実証内容で評価の高かったポイントは「安全面」「効率面」が挙げられた。これは他自治体や民間企業にも同様の傾向があると思われるので、それをしっかりとアピールできる形のビジネスモデルが必要であると考えます。

その中で、周辺のダムにおいては、前述にもあるように、山間部で過疎地域に位置していることが多いことから通信環境が十分でないダムも複数存在しているが、その傾向は他自治体のダムにも同じような傾向があると考えられるので、ローカル 5G のメリットでもある、通信エリアを柔軟に構築できることもアピールポイントになると考える。

また、コンソーシアムメンバー内での意見を整理すると、各種インフラ点検を既に実施しているミラテクドローンをはじめ、ローカル 5G システムベンダーであり、かつ画像配信技術、画像解析技術を請け負うシャープ、通信ネットワークを構築する NTT 西日本（地域によっては NTT 西日本のグループ会社など）の 3 社を中心としたサービス提供者として、本ソリューションの対応が可能である。

その場合、免許人をどうするかという点については、本来はダムの管理団体と協議する必要がある。自治体管理のダムの場合、点検業務を外部委託されているケースも多く、民間企業の場合も管理企業に近い関連企業・グループ企業らが点検業務を請け負っているケースも多いので、本ソリューションの場合も、点検業務を請け負うサービス提供者が免許人になるケースが多くなる可能性が高い。

整理すると

○ニーズ)

高所など人が立ち入ることができないような場所での点検が必要

○ローカル 5G のメリット)

大容量伝送並びに通信環境が十分でない箇所でも通信エリアを柔軟に構築できる

○運用スキーム)

本コンソーシアム主要 3 社によるサービス提供者となり運用推進

○免許人)

ダム管理団体ないしサービス提供者（外部委託なども含む）

② 他ユースケースなどへの垂直展開

後述の 5.3 普及啓発活動でも少し触れているが、今回、スマートシティ構想やスマートキャンパスなどへのローカル 5G の応用をディスカッションする機会を頂いた。その際に、インフラ点検以外になってくると作業の「安全面」という観点よりも、多くの方々が同時に利用されるため、低遅延、多端末接続がもたらす「情報共有化」という要素を期待されていることが判った。また、スマートキャンパスにおいては、研究開発テーマを扱う点からも秘匿性という観点も注目とのことだった。

こちらにもコンソーシアム内メンバーの意見を整理すると、本コンソーシアムの主要 3 社がまとまって対応できる他ユースケースに展開できるソリューションがなかなかなく、ソリューションに現在のソリューションそのものでは、これらのスマートシティなどへのビジネスモデル展開は困難ではあるものの、実証イニシアチブに挙げている、災害状況の市民への情報共有化という観点では、連携できる可能性があり、ここは引き続き他ユースケースへの連携は模索していくべきと考える。

整理すると

○ニーズ)

今回ヒアリングしたスマートシティ、スマートキャンパスでの代表的なニーズは低遅延や多端末接続がもたらす「情報の共有化」

○ローカル 5G のメリット)

セキュリティの担保、

○運用スキーム)

上記ニーズに対する本コンソーシアム主要 3 社によるサービス提供者は現時点对応不可。

ただし、「情報の共有化」という観点では連携できる可能性があるため、引き続き連携模索する。

③ コンソーシアム内ユーザーの検討

(試験実施主体の持続可能な連携・サポート体制の構築)

本コンソーシアム内のユーザーでもある奈良県および奈良土木事務所より強く指摘された点が 2 点ある。一つはローカル 5G の空中利用が依然認められていない状況での持続性についてである。現時点、法整備がまだ整っていない段階では、本運用という形は取ることができないため、持続するとしても実験局扱いでしか継続できない点については、他のダムへの展開も不可能であるという懸念を持たれている。

もう一つの指摘事項としては、費用対効果で、技術の高さは十分理解されたものの、リアルタイムを求められるケースが地震などの有事の際に限定されているため、発生頻度を鑑みると、得られる効果以上に発生するコストが大きい旨、ユーザーより懸念を持たれている。

しかしながら、本ソリューションでもたらされる安全面、効率面という点で非常に高い評価を頂いており、この点についてはコンソーシアムとしてニーズを発信しながら、実現に向けて貢献していく。

ニーズについては、前述の通り、安全面・効率面という点で高評価を頂いているので、上記の課題がクリアになれば、本格導入が加速すると思われる。

また、コンソーシアムメンバー内での意見を整理すると、上記①と同様で、各種インフラ点検を既に実施しているミラテクドローンをはじめ、ローカル 5G システムベンダーであり、かつ画像配信技術、画像解析技術を請け負うシャープ、通信ネットワークを構築する NTT 西日本（地域によっては NTT 西日本のグループ会社など）の 3 社を中心としたサービス提供者として、本ソリューションの対応が可能である。また次年度以降の運用も、無線局免許を取得後にも継続して実験局としての運用は可能である。

その場合、免許人は実験局の運用が継続する間は、必然的に本コンソーシアム内で構築するサービス提供者となる。また、本運用後においても免許人については上記①と同様、ダムの管理団体となる奈良県及び奈良土木事務所と協議する必要があるが、点検業務を請け負う当コンソーシアムメンバーのサービス提供者、ならびに案件が増えた場合は、当コンソーシアムメンバー内のサービス提供者にとどまらず、地元企業等にも業務移管を予定しており、免許人も当面はサービス提供者及び地元企業にて実施する可能性が高い。

こちらも、整理すると、

○ニーズ)

安全でかつ効率よく点検可能。但し法整備対応は急務。

○ローカル 5G のメリット)

大容量伝送並びに通信環境が十分でない箇所でも通信エリアを柔軟に構築できる

○運用スキーム)

当面は本コンソーシアム内サービス提供者が運用推進。

件数が増えれば地元企業などに一部業務移管し、連携して運用推進

○免許人)

当面はサービス提供者および移管先の地元企業。将来的には自治体対応も視野。

以上を鑑み、次章にて、横展開を意識したビジネスモデルを提示し、その中で、課題で挙げられている、ローカル 5G の空中利用が認められていない点に対しても、本ソリューションによるローカル 5G の空中利用の必要性をしっかりとアピールすることでルールメイキングへの貢献にも繋がることから、本ビジネスモデルの構築が最優先として考えている。

さらに懸念で挙げられている費用対効果についても、効果の方は高く御評価して頂いていることから、並行して民間企業などへの横展開も進めながら、しっかりとコストダウンを引き続き実施していくことにより、費用対効果としてユーザーにとってメリットあるようなシナリオも並行して進めていくこととする。

(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

【実証ア】ダム点検支援

- ・高所など目視点検が困難な箇所を有する大型ダム向け
- ・山間地などのキャリア 5G が到達しないエリアにあるダム向け

【実証イ】災害発生時の業務支援

- ・災害ハザードマップなどで土砂崩れなどが起こりやすい箇所
- ・遭難者が出やすい山岳地帯

b. 対象となるシステム

【実証ア】

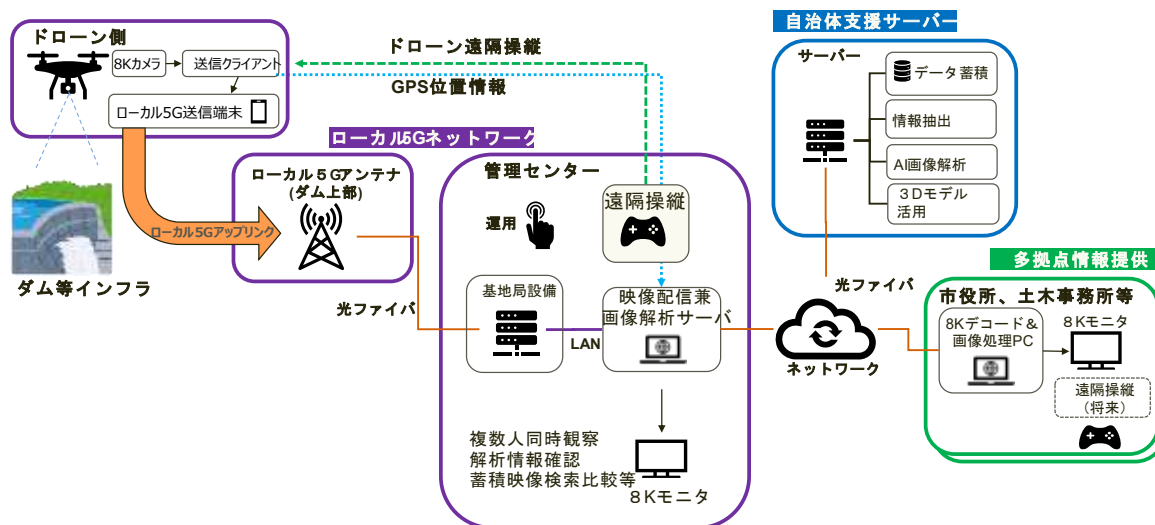


図 4-68 実証ア システム全体図

実証アのシステムとして、システム構成図を示す。

ローカル 5G ネットワークはじめ、多拠点アクセスの為の有線ネットワーク、各拠点の機材なども一式のシステムとして考えている。

なお、今回の実証では、管理センター内にオンプレミスのサーバーを配して、閉域網に特化したネットワークで実施した。一方で、自治体によっては既存の自治体が所有されているクラウド

サーバー等もある。機能的にはオンプレミスサーバー、あるいはクラウドサーバーいずれも対応可能なので、案件に応じて、切り分けることが可能である。

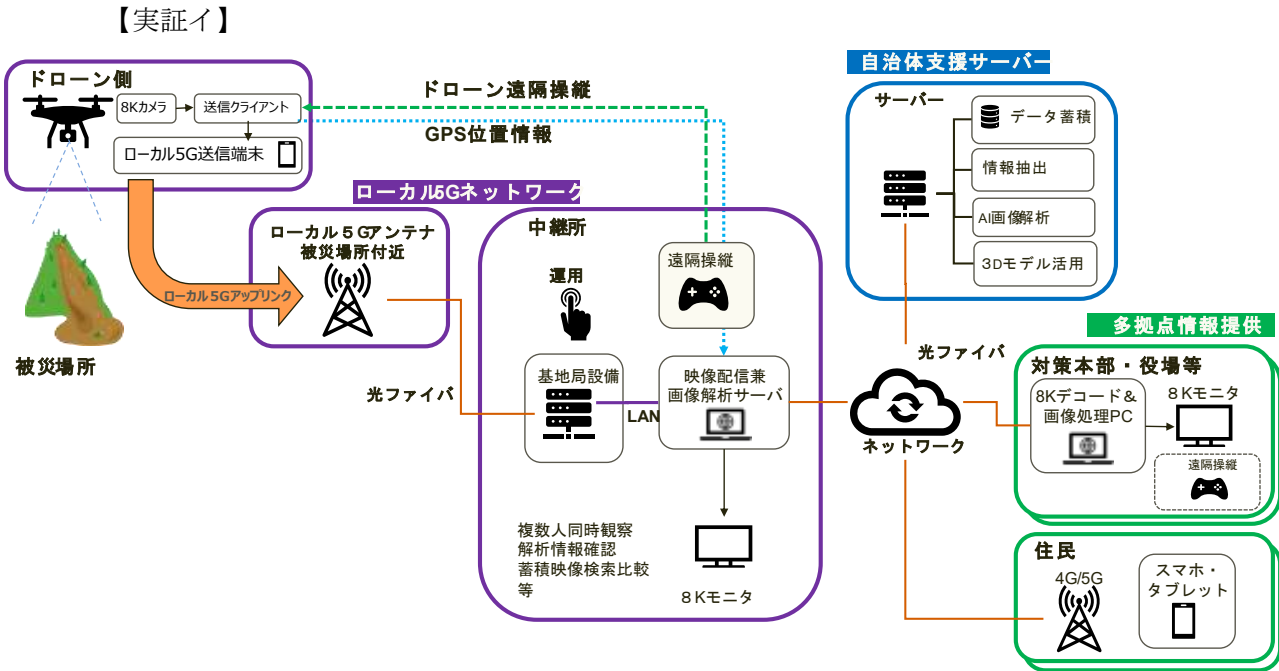


図 4-69 実証イ システム全体図

実証イのシステムとして、システム構成図を示す。こちらにもローカル5Gネットワークをはじめ、多拠点アクセスの為に有線ネットワーク、各拠点の機材なども一式のシステムとして考えている。また、住民向けの迅速な情報フィードバックを実現するためのフローも含んでいる。

今回の実証では、実際の被災場所での実証ができなかったため、天理ダム周辺エリアを災害発生想定地域として実施したため、実証アと同様に、基地局は固定された建物内に設置して実施しているが、実際に本ソリューションが実施される場所は被災場所であり、予め限定することが難しいため、基地局を設置する中継所は、できれば移動できるような形（例えばトラックやワゴン車など）や複数のローカル中継局を有する仕組みが望ましい。

c. ビジネスモデル

【実証ア】

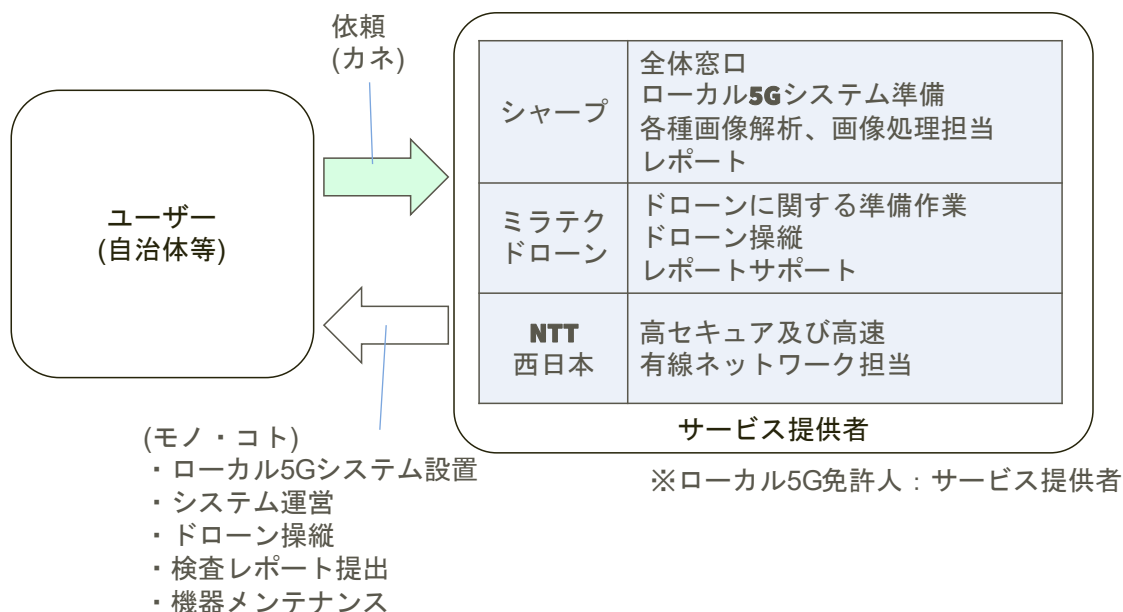


図 4-70 実証ア ビジネスモデル 1stステップ

実証アのダム点検におけるビジネスモデルの1stステップを上図に示す。

この1stステップ時において、それぞれのコンソーシアムメンバーがなすべきことを記載する。自治体に代表されるユーザーがサービス提供者に点検を依頼し、サービス提供者のうち、まずシャープが全体窓口、ならびに、ローカル5Gのシステムの手配、設置、さらに各種画像解析や一連の映像伝送を請け負う。さらにミラテクドローンは、ドローンの手配、ならびに飛行計画書などの作成、ドローンの操縦、検査業務およびそのレポートを実施する。さらにNTT西日本においては、各拠点を結ぶ為の高セキュアおよび高速ネットワークの構築を請け負う。さらに、サービス提供者全体による検査結果のレポートの提出を実施し、また機器メンテナンスなども含めて一式を請け負うものである。

現時点、ローカル5Gの上空利用が認められておらず、実験局での対応となるため、当面は請け負うサービス提供者がローカル5Gの免許人となる。

また、ダム管理の方々に伺ったところ、現在、毎月の点検は、外部業者に委託されており、現在のスキームでは、上記のようにサービス提供者が一式を承るビジネスモデルが妥当といえる。

なお、主要機材の機能要件は、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に3名で詳細確認できる70型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の8Kカメラやローカル5G通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛

行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。

○拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

また、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制は、基本的にサービス提供者が設備全体を運用するので、機材提供は想定していない。

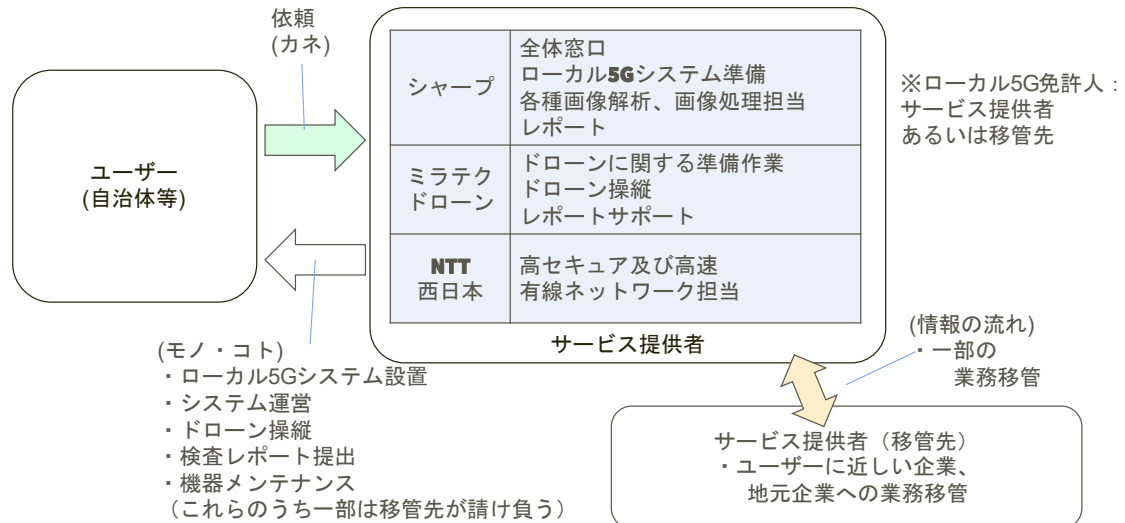


図 4-71 実証ア ビジネスモデル 2nd ステップ

続いて、ビジネスモデルの 2nd ステップのケースを上図に示す。案件が増えてくると、現在のコンソーシアムメンバーのみで構成されたサービス提供者のみでは、処理しきれなくなるため、ユーザーに近い企業や地元企業へ、業務の一部について業務移管を想定した。

コンソーシアムメンバーのそれぞれの役目は、1st ステップとほぼ変わらないが、1st ステップから 2nd ステップに移行する際には、移管先となるユーザーに近い企業や地元企業への移管業務が発生する。具体的には、その移管先が保有する点検業務の知見やドローン操縦などの対応可否など、それぞれの移管先が保有するスキルを活かす体制で進められるように移管業務も進めることになる。

例えば、機材の手配のみ元のサービス提供者が実施し、に相当する点検業務などを移管先の企業が実施するというケースが考えられる。また、ドローンの操縦も元のサービス提供者が行うケースもあれば、移管先が行うケースも考えられるため、移管先が請け負う業務については一様ではない。

今のところ令和 8、9 年度頃にはこのビジネスモデルの運用も含んでくると思われる。

なお、主要機材の機能要件は、1st ステップと同様、下記の通りである。

○カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量化が望ましい

○モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に 3 名で詳細確認できる 70 型サイズ程度が望ましい。

- ドローン：上記の 8K カメラやローカル 5G 通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

また、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制について、前述通り、移管先が保有する点検業務の知見・スキルを有する地元企業などへの移管を想定しているが、1st ステップ同様、基本的にサービス提供者および移管先の地元企業等が設備全体を運用するので、ユーザーへの設備提供は、想定していない。

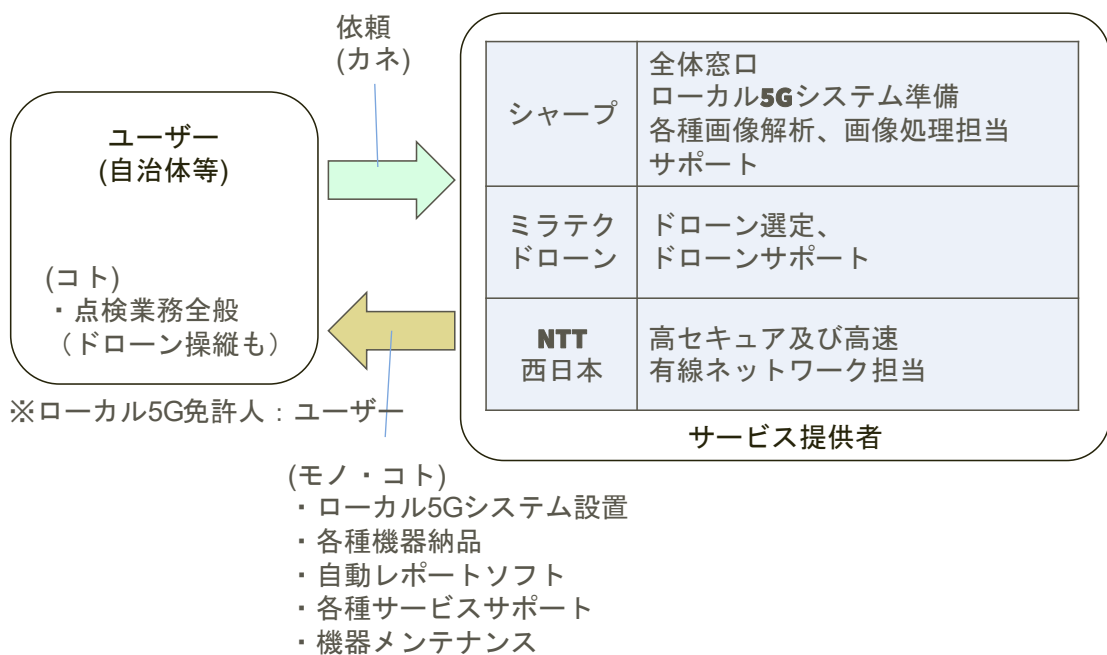


図 4-72 実証ア ビジネスモデル 3rd ステップ

最後にビジネスモデル 3rd ステップを上図に示す。このモデルは機材販売、設置などはサービス提供者がユーザーに提供するものの、これまでの作業、点検業務は全てユーザーが行うというビジネスモデルである。この場合、ローカル 5G の免許人もユーザー側が務めるものとする。

サービス提供者の役割を整理すると、ユーザーからの依頼に対する全体窓口は従来のステップと同様、シャープが務め、シャープはローカル 5G のシステムの手配、点検ソフトが含まれる PC などの映像伝送系の各種機器の納品などを実施する。またミラテクドローンもドローンの選定、手配は請け負うが操縦はユーザー側で実施することを想定した。但し NTT 西日本においては、有線ネットワーク構築について従来のステップと同様である。なお、各種メンテナンス、各種サービスサポート、また画像解析時の技術的サポートなど一連のサポート業務はサービス提供者がそれぞれ請け負う。従って 2nd ステップから 3rd ステップに移行する際には、ローカル 5G の立ち上げ作業や、点検ソフトの使用法の指導などもサービス提供者からユーザーに実施する。

但しこの場合、ドローンの操縦、日々の整備などもユーザー側が対応することとなり、また、現在の課題となっているローカル 5G の上空利用が認められていない等の法整備の課題なども挙げられるため、まだこのビジネスモデルに至るには、もう少し時間を要すると思われる。

なお、主要機材の機能要件は、1st、2nd ステップと同様、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に 3 名で詳細確認できる 70 型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の 8K カメラやローカル 5G 通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

なお、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制について 3rd ステップにおいては、ユーザーにて実施して頂くことを想定した。

まず、設備の提供体制については上記にもあるように、主な機材の選定はサービス提供者が実施する。また設置工事やメンテナンスもサービス提供者が実施する。

ユーザーの方で実施するのは、ローカル 5G の免許人及びローカル 5G 通信のシステム管理、ドローンの操縦、点検業務となる。そのドローンの操縦に際してもミラテクドローンにてドローン操作に必要な研修、適宜トレーニング等を実施することも想定した。

【実証イ】

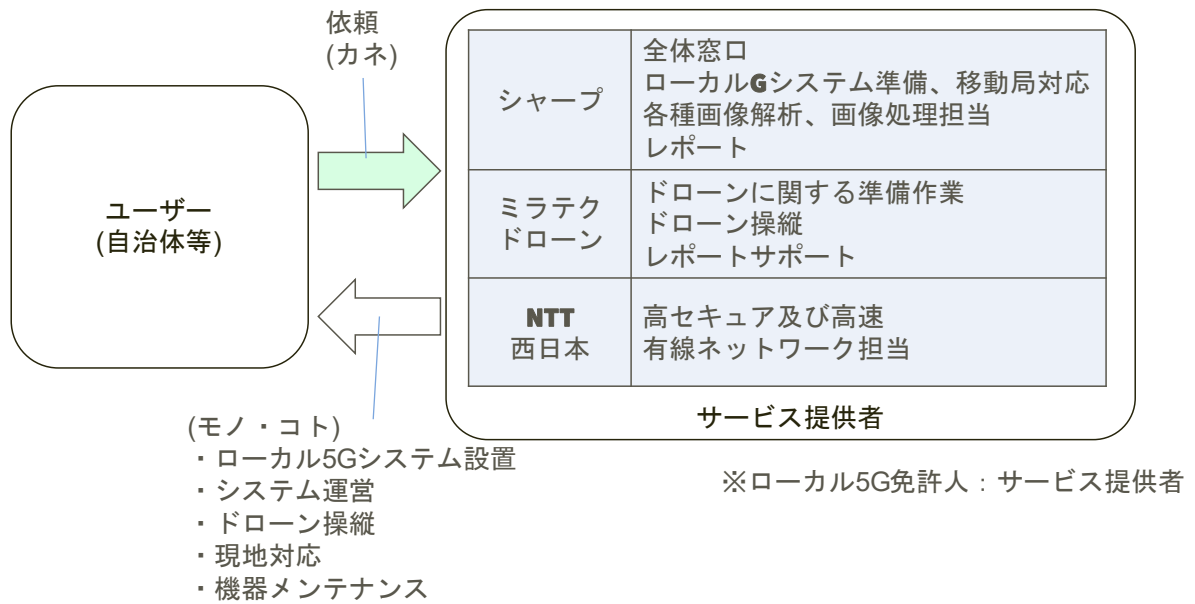


図 4-73 実証イ ビジネスモデル 1stステップ

実証イの災害対策ソリューションも、大きな流れは実証アと似ている。

基本的にはサービス提供者が、ユーザーから依頼を受け、機材の設置からドローンの操縦、そのレポートまで対応することを想定した。

但し、こちらは、広大なエリアでのローカル 5G での伝送が必要となることから、前述の通り電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更して運用することが認められていないため、早い段階のビジネス化は厳しく、引き続き法整備への取り組みが重要と考える。

なお、主要機材の機能要件は、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に 3 名で詳細確認できる 70 型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の 8K カメラやローカル 5G 通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量かつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

また、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制は、基本的にサービス提供者が設備全体を運用するので、機材提供は想定していない。

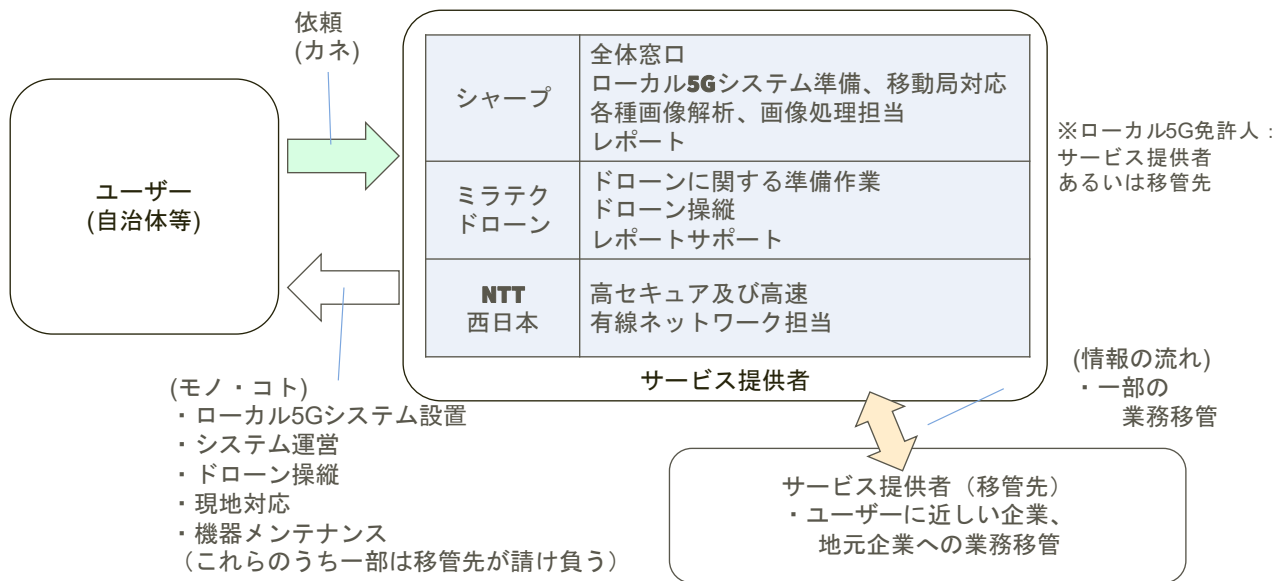


図 4-74 実証イ ビジネスモデル 2nd ステップ

続いて、実証イの 2nd ステップにおいては、より即時性が求められるソリューションだけに、サービス提供者はユーザーに近い企業や地元企業などへの業務移管が必須と考える。

こちらは 1st ステップで前述している電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更して運用することが認められれば、すぐにでも 2nd ステップへの展開がベターかと考える。

なお、主要機材の機能要件は、1st ステップと同様、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に 3 名で詳細確認できる 70 型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の 8K カメラやローカル 5G 通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

また、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制について、前述通り、移管先が保有する点検業務の知見・スキルを有する地元企業などへの移管を想定しているが、1st ステップ同様、基本的にサービス提供者および移管先の地元企業等が設備全体を運用するので、ユーザーへの設備提供は、想定していない。

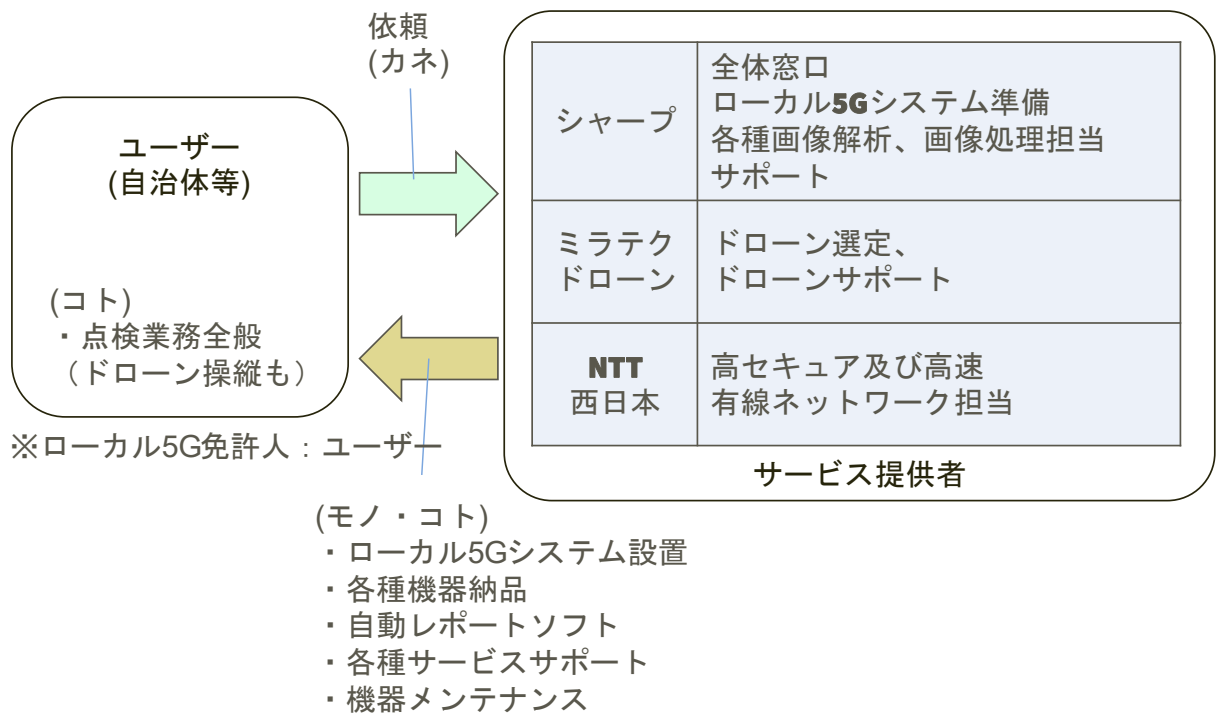


図 4-75 実証イ ビジネスモデル 3rdステップ

実証イの3rdステップも、実証アと同様、機材販売、設置などはサービス提供者がユーザーに提供するものの、一連の確認作業等は全てユーザーが行うというビジネスモデルである。この場合、ローカル5Gの免許人もユーザー側が務めるものとする。

但しこの場合、ドローンの操縦、整備などもユーザー側が対応することとなり、加えて、移動局の準備などもユーザーが実施する必要があるため、こちらもこのビジネスモデルに至るにはもう少し時間を要すると思われる。

なお、主要機材の機能要件は、1st、2ndステップと同様、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に3名で詳細確認できる70型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の8Kカメラやローカル5G通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速VPNネットワーク

なお、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制について3rdステップにおいては、ユーザーにて実施して頂くことを想定した。

まず、設備の提供体制については上記にもあるように、主な機材の選定はサービス提供者が実

施する。また設置工事やメンテナンスもサービス提供者が実施する。また移動式基地局の運用もユーザーが実施する。

ユーザーの方で実施するのは、ローカル 5G の免許人及びローカル 5G 通信のシステム管理、移動式ローカル 5G 基地局の運用、ドローンの操縦、点検業務となる。そのドローンの操縦に際してもミラテクドローンにてドローン操作に必要な研修、適宜トレーニング等を実施することも想定した。なお、移動式ローカル 5G 基地局の運用については、今年度の移動式ローカル 5G 基地局における実証検証を実施していないため、具体的な運用方法については記載しないが、令和 5 年度にも移動式ローカル 5G 基地局の運用について継続して検証する。

なお、4.3.2(1)経済性・市場性の項目でも触れている令和 2 年度の調査研究会にて、体制・事業スキームについて検討し、図 4-64、図 4-65 にその際に検討していたモデル案を報告している。

当時の結果として

- ・ローカル 5G の運用は自治体単独ではなく、装置ベンダーもしくはネットワークベンダーと連携して進めるほうが通信エリア構築や周辺の他の 5G システム等との干渉調整を円滑に進めるためにも有効
- ・ドローンおよび 8K 撮影、映像解析システム運用においても、自治体自身が運用可能な範囲と民間委託する範囲を切り分ける必要がある。
- ・ローカル 5G の整備への展開によって期待される効果として、民間事業者との連携により、自治体の財政面や運用負担軽減、新たなユースケース発見することが可能。また小規模自治体におけるローカル 5G の導入のハードルの低減

と捉えていた。

今回の結果である、法整備の課題やドローンの操縦、日々のメンテナンスなどの課題を踏まえても、自治体単独での運用スキームはすぐに展開することは難しいことに加え、上記令和 2 年度の調査研究会でも報告していた、むしろ民間企業との連携した運用の方が、他自治体への展開なども鑑みても望ましいと考えており、特に地元企業等への展開、連携も鑑みた 2nd ステップのモデル案はより望ましいと考えている。

なお、主要機材の機能要件は、1st、2nd ステップと同様、下記の通りである。

- カメラ：8K 解像度動画が撮影できるカメラ。ドローン飛行時間の観点でできるだけ軽量が望ましい
- モニター：8K30P 再生がスムーズに表示できるモニター。画面サイズは同時に 3 名で詳細確認できる 70 型サイズ程度が望ましい。
- ドローン：上記の 8K カメラやローカル 5G 通信ユニット等が搭載できるドローン。また飛行時間を長くするために、搭載する機材の重量における軽量化が望ましい。
- 拠点間ネットワーク：大容量でかつセキュア性能もよく、さらにコストパフォーマンスに優れた高速 VPN ネットワーク

なお、ユーザーへの設備の提供体制、運用体制について 3rd ステップにおいては、ユーザーにて実施して頂くことを想定した。

まず、設備の提供体制については上記にもあるように、主な機材の選定はサービス提供者が実施する。また設置工事やメンテナンスもサービス提供者が実施する。

ユーザーの方で実施するのは、ローカル 5G の免許人及びローカル 5G 通信のシステム管理、ドローンの操縦、点検業務となる。そのドローンの操縦に際してもミラテクドローンにてドローン操作に必要な研修、適宜トレーニング等を実施することも想定した。

2) 体制・役割分担

体制については、前項にあるブロック図を参照頂き、役割分担については、ステップ毎に役割が変わるため、下記表にして示す。

表 4-44 実証ア 役割分担

	1st ステップ	2nd ステップ	3rd ステップ
ユーザー(自治体等)	点検依頼、結果確認	点検依頼、結果確認	システム機材発注 自身でのシステム利用 ※免許人
シャープ	全体窓口、ローカル 5G システムの手配・設置 各種画像解析・画像処理ソフト担当 レポート製作 ※免許人	全体窓口、ローカル 5G システムの手配・設置 各種画像解析・画像処理ソフト担当 レポート製作 ※免許人の場合あり (一部の作業を地元企業などへ移管)	ローカル 5G システムの手配・設置 画像解析・画像処理ソフトの納品、ソフトの操作サポート
ミラテクドローン	ドローン選定、ドローン飛行準備・操縦、レポート製作	ドローン選定、ドローン飛行準備・操縦、レポート製作 (一部の作業を地元企業などへ移管)	ドローンの選定、納品 ドローンの各種サポート
NTT 西日本	有線ネットワーク構築	有線ネットワーク構築	有線ネットワーク構築
地元企業等	—	上記の一部の作業を実施。 ※免許人の場合あり	—

表 4-45 実証イ 役割分担

	1st ステップ	2nd ステップ	3rd ステップ
ユーザー(自治体等)	点検依頼、結果確認	点検依頼、結果確認	システム機材発注 移動式基地局の運用 自身でのシステム利用 ※免許人
シャープ	全体窓口、ローカル 5G システムの手配・ 設置 各種画像解析・画像処 理ソフト担当 移動式基地局などの 準備 現地対応、レポート製 作 ※免許人	全体窓口、ローカル 5G システムの手配・ 設置 各種画像解析・画像処 理ソフト担当 移動式基地局などの 準備 現地対応、レポート製 作 ※免許人の場合あり (一部の作業を地元 企業などへ移管)	ローカル 5G システ ムの手配・設置 画像解析・画像処理ソ フトの納品、ソフトの 操作サポート
ミラテクドローン	ドローン選定、ドロー ン飛行準備・操縦、レ ポート製作	ドローン選定、ドロー ン飛行準備・操縦、レ ポート製作 (一部の作業を地元 企業などへ移管)	ドローンの選定、納品 ドローンの各種サ ポート
NTT 西日本	有線ネットワーク構 築	有線ネットワーク構 築	有線ネットワーク構 築
地元企業等	—	上記の一部の作業を 実施。 ※免許人の場合あり	—

3) 導入効果

後述の実装計画にもあるが、実証アにおいては令和 5 年度のシステム一式販売価格は約 38,000 千円、ランニングコストも 1 年あたり約 11,800 千円となっており、ユーザーの意見としては導入の時点でかなり高額という印象となっている。実証イに至ってはさらに移動式基地局などの費用も発生するため、ユーザーの想定額を大きく上回っているのが現状である。

そこで、例えばダムにおいては、ダムの堤体点検以外の目的で、水位変動や不法投棄の観点で監視カメラを配置されており、こちらは、24 時間 365 日稼働されているが、使用されているカメラの解像度も HD の 1/4 のサイズで確認されている状況である。従って、本ローカル 5G システムの中に、監視カメラも複数台組み込むことにより、点検以外の使い道も実施することで、利用価値は高まると考える。過去の自治体の監視カメラシステムの導入コストについては、設置規模に依存するものの、大規模なものでは 100,000 円を超える金額で落札されている案件もあり、本ローカル 5G システムと監視カメラシステムの組み合わせであれば、より利用価値がより高まる点を踏まえても、本システムの導入コスト 38,000 千円は十分適用頂ける金額であると考えている。

なお現在、天理ダムで利用されている監視カメラは昨年導入されたもので、FWA ネットワークが利用されているため、天理ダムにおいてはすぐに上記監視カメラへの組み込みは困難であるが、他のダムへの展開においては、ローカル 5G を活用した監視カメラとドローン活用を融合した上記ソリューションについても提案することでユーザーにおける利用価値を高めていきたいと考えている。

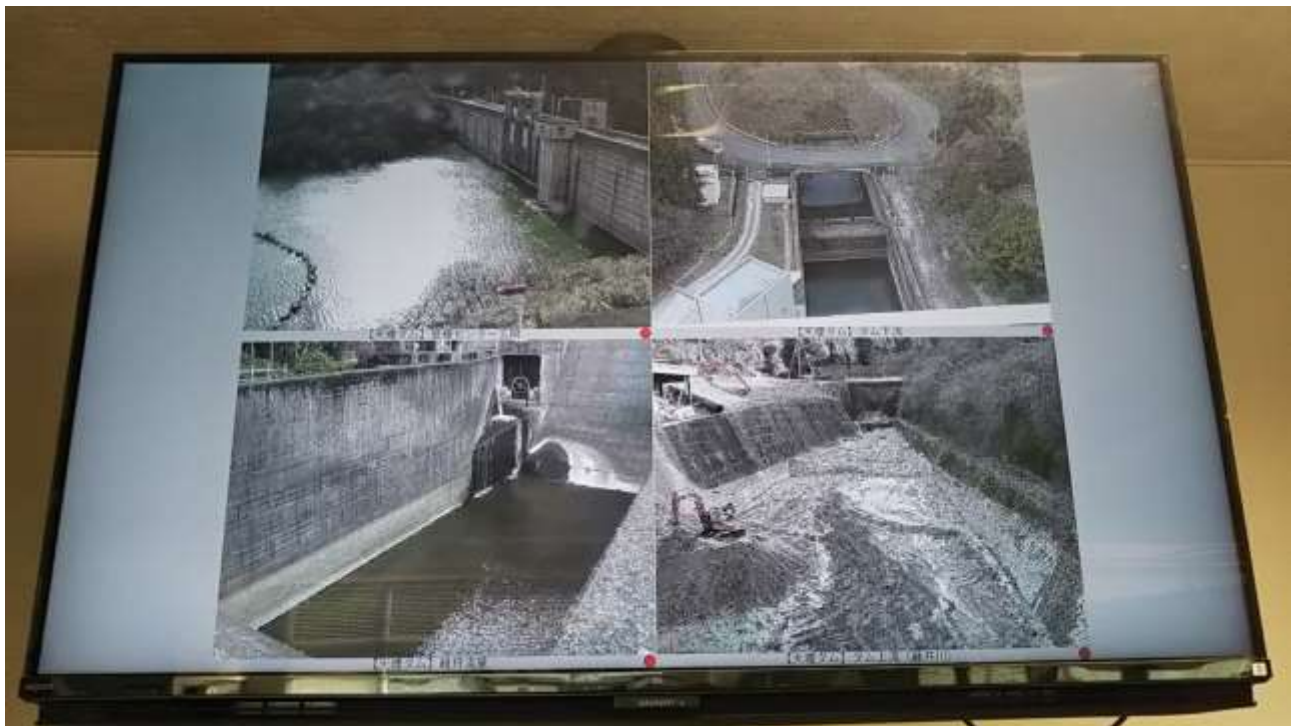


図 4-76 天理ダムに既に設置されている監視カメラシステム モニター画像

(4) 実装性を高める手法の検討及び実行

1) 検証項目

本コンソーシアムメンバーの主要メンバーで会合を行い、今後、営業活動をするにあたり、アピールポイントや、その他の細かい課題事項を整理し、より実装性を高める手法について検討を実施した。

○各拠点間のネットワークについて

8K 映像伝送を行うにあたり、どのような回線を提供すべきか。

○適切なドローンの採用

サプライチェーンリスクの観点で国産ドローンを採用。一方で課題などないか。

2) 検証方法

前項に挙げている検証項目である「各拠点間ネットワーク」「適切なドローンの選択」「8K 映像の安定した伝送」に着目し、これらの課題の根本原因の探求やアプローチをコンソーシアムメンバー内でディスカッションし、課題の見える化を図った。

○各拠点ネットワーク：

・8K 映像伝送を各拠点に伝送するにあたり、幾つかの選択肢を持って判定する。

→ 本課題については、本コンソーシアムの西日本電信電話にて準備頂いた、高速伝送回線コストについて、検証を行った。

○適切なドローンの選択：

・令和 2 年度に採用したドローンは DJI 製で実績はあるものの、一部のユーザーから国産のドローンを希望されることが多い。

→令和 2 年度の際に課題となっていた飛行時間についてもアピールできるように、本コンソーシアムのミラテックドローンにて検証を行った

3) 検証結果及び考察

○各拠点ネットワーク

今年度はコンソーシアムメンバーである西日本電信電話において三種類の有線ネットワークを検討した。

① Business Ether ワイド

特長 帯域が確保されている高い信頼性を有する法人向けネットワーク
但し金額も高額。

エリア間距離などにより金額が異なるが、例として 1Gbps で今回の県内利用の場合、デュアルアクセスで約 170 万円/月（初期工事費別）

② VPN プライオ

特長 NTT のフレッツ網を利用した VPN サービス。PtoP 接続が可能で、優先的にパケットを転送できる帯域優先機能を有するので、一般的な光回線よりも安定した通信が見込める

料金も拠点ごとに 7,700 円/月 と安価。（初期工事費別）

但し、ベストエフォート型サービスのため、帯域は確保されていない。

③ VPN ワイド

特長 VPN 故に高セキュア通信可能。価格もリーズナブルで 1980 円～利用可能。（初期工事費別）但し、PtoP 通信ができないため、時間帯などによっては通信速度の影響を受けやすい。

今回利用する 8K カメラ（8K-30p）の出力ビットレートはおよそ 20M～40Mbps 程度を見込んでおり、帯域的に 200Mbps 程度が安定して確保できていれば、8K 映像のリアルタイム伝送が可能である。

そこで、今回予め各拠点のネットワークの距離、ルートも検証したところ、②の VPN プライオでも 200Mbps 以上の帯域がコンスタントに得られることが判ったので、各拠点での伝送テストを行った。

表 4-46 拠点間のビットレート計測値

拠点間	測定日時	ビットレート計測値 (平均)	8K 映像伝送
天理ダム～ 天理市役所	2月2日 14～15時	約 420Mbps	良好
天理ダム～ 奈良土木事務所	2月1日 10～11時	約 400Mbps	良好
天理ダム～ 王寺町役場	2月7日 10～11時	約 410Mbps	良好

いずれの拠点も 400Mbps の帯域がほぼ安定して計測できたことで、8K 映像伝送もいずれの拠点でも良好に伝送することができた。特に今回は上記にもある②の VPN プライオの回線コストが月々 7,700 円で実証できたので、ネットワークの維持コストという観点でも非常にリーズナブルなコストで運用できることが確認できた。

○適切なドローンの選択：

令和 2 年度の調査研究で使用したドローンと今回のドローンとの仕様を比較する。

表 4-47 ドローンの比較

	令和 2 年度 Matrice 600 pro	令和 4 年度 BuildFlyer
メーカー名	DJI (海外製)	石川エナジーリサーチ (日本製)
特長	DJI で 8K カメラが搭載できる機体。現在製造中止	国産ドローンで、改造対応も可能。公称飛行時間も長い
全長(プロペラ含む)	1,666x1,158x727mm	930x1280x680mm
本体重量	10kg	6.3kg
ペイロード	6kg	5kg
飛行時間 (仕様値)	16 分(6kg 搭載時)	25 分(5kg 搭載時)
各種改造対応可否	否	可
実際の飛行時間	16 分	16 分 (ペイロードが約 6kg)

今回採用したドローンは石川エナジーリサーチ社の BuildFlyer という機体で、主な特徴としてはマグネシウム合金による大型でかつ軽量化が図られたドローンである。また今回採用しているローカル 5G 通信ユニットや送信プロトコル変換器の取付のために必要な改造対応、また技術実証に使用するエリアテストを搭載する為のアタッチメント改造対応、さらにこれらの対応納期も鑑み、こちらのドローンを採用した。また 5kg ペイロードありの飛行時間も 25 分ということで、事前の 8K カメラ、ローカル 5G 通信ユニット、目視外飛行用の LTE ユニットなど総荷重約 4kg 強の見積だったので、30 分以上の飛行時間を見込んでの導入であった。

しかし、下記 2 点の問題が後から判明し、総ペイロードが 6kg を越えることが判った。

- ① エリアテストを取り付ける際、着陸時にエリアテストのアンテナ部が地面に当たるリスクが判ったため、安全のために足を 8cm ほど延長した。そのため重さが約 100g 増加
- ② ドローン下に取り付けるジンバルにおいて当初 1.2kg の軽量タイプを選定していたが、実装後、カメラのコネクション部とジンバルのアームが干渉することが判明。急遽大型のジンバルに差し替えたため、固定用金具などの追加も含めて当初より 1.5kg ほど増加

その結果、実際の飛行時間は余裕をみたバッテリー残レベルも鑑みると 16 分程度となり、令和 2 年度のドローンの飛行時間と同じような飛行時間となってしまった。

今回の実証実験そのものには 16 分の飛行時間でも実施できたが、今後、実証イのような遭難者捜索用などのソリューションを鑑みるとさらなる飛行時間延長が望ましい。

しかし、今回は時間の都合、大型のジンバルを採用したが、カメラの底のアタッチメントを工夫することで、当初予定していた軽量ジンバルの採用も可能となるので、次年度以降の対応においては当初の見込みである 30 分以上の飛行時間は対応可と考えている。

従って、今回採用した国産ドローンでの本ソリューションでの活用は次年度以降の活動の中でより効果を発揮するものと考えている。

なお、強風や雨天などの荒天時には、二次災害のリスクから、各自治体におかれては、点検作業や遭難探索作業はほとんど実施されないが、特に、人命救助に関しては迅速に対応する必要があるため、今後は全天候型ドローンの導入も検討している。今回はローカル 5G の通信ユニット取付や 8K カメラ搭載対応の為、改造対応可能な石川エナジーリサーチ社の BuildFlyer を選定したが、ミラテクドローンにおいては、雨天時や風速 5m/s 以上の環境下でも飛行することができる全天候型ドローンについても実使用に向けての調査検証を継続している。具体的には風速 18m/s の中でも飛行可能とする全天候型のレスキュードローンについて別の国内ドローン製作会社と連携して開発が進められており、早ければ、令和 6 年度から令和 7 年度あたりにもローカル 5G 通信ユニットや 8K カメラも搭載できる全天候型ドローンも展開できる可能性がある。



図 4-77 今回のドローン

エリアテスタ搭載イメージ1

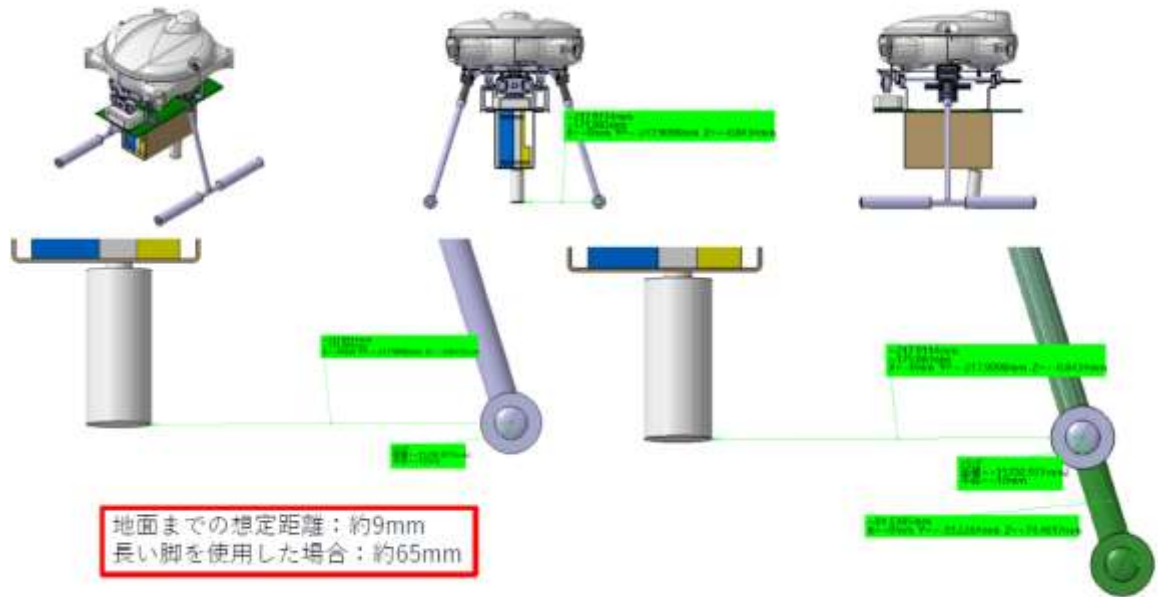


図 4-78 エリアテスタ取付時に改造した延長脚

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

➤ 「奈良モデルを参考にしたシェアリングやノウハウ共有によるコスト削減」

自治体単体では予算や人材に限られており、1自治体だけでローカル 5G を導入することを難しくしている。これに似た状況として自治体が管理する橋梁点検や修繕事業への支援体制として、奈良県では「奈良モデル」と称する「市町村合併に代わる奈良県という地域にふさわしい行政のしくみ」（平成 21 年度『「奈良モデル」検討報告書』）を導入した。その概要は、

- 人口減少・少子高齢社会を見据えた「地域の活力の維持・向上や持続可能で効率的な行財政運営を目指す、市町村同士または奈良県と市町村の連携・協働のしくみ」と定義し、県と市町村の役割分担の方向性を示している。
- 消防の広域化や南和地域における広域医療提供体制の再構築、道路インフラの長寿命化、連携・協働によるまちづくり等様々な取組で成果を挙げている。
- 土木技術職員不足を背景に、橋梁長寿命化修繕計画の策定、橋梁点検や修繕事業等を、平成 22 年度から県が市町村から受託。既に 27 市町村で実施実績がある（図 4-79 参照）。

このような、シェアリングや、ノウハウ共有、適材適所の民間外部委託などにより、トータルコストの削減を達成できる可能性があると考えられる。

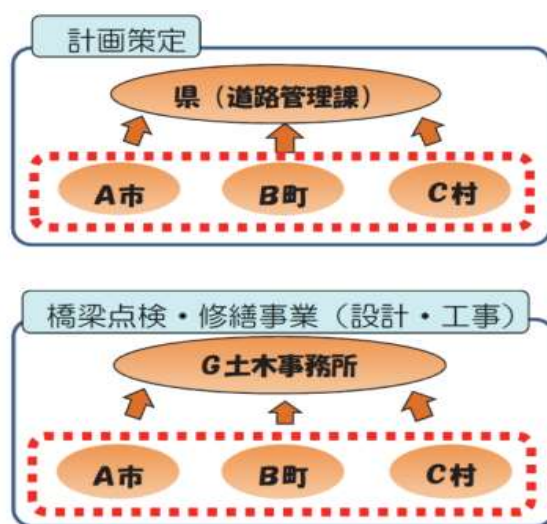


図 4-79 奈良モデルの適用例(令和2年度調査研究)

この「奈良モデル」を本実証に適用した場合の共有、計画および運用における本実証実験に展開した場合の具体化していくイメージを以下の表にまとめる。共有に関しては、機材、技術者およびノウハウ等の共有を、計画に関しては計画策定のとりまとめと協議対象者を、運用に関してはマネージメント、マニュアル、外部委託等を現時点の想定とした。

表 4-48 奈良モデルを適用した場合の具体化イメージ

(実証ア) ダムの点検管理業務支援		
共有	機材	ドローン
	技術者	ドローン操縦者
	ノウハウ	技術者研修、講習会
計画	とりまとめ	ダム管轄事務所等
	協議対象	対象自治体、コンソーシアムメンバー
運用	マネージメント	ダムを管轄する県管理事務所等による窓口
	マニュアル	本実証にて基本マニュアル作成展開
	委託	他地域委託、部分的な民間外部委託

(実証イ) 遭難者探索や災害発生時の現場検証支援		
共有	機材	ドローン、移動式のローカル 5G 基地局
	技術者	ドローン操縦者、移動式基地局運用技術者
	ノウハウ	技術者研修、講習会
計画	とりまとめ	県災害対策本部等
	協議対象	対象自治体、コンソーシアムメンバー
運用	マネージメント	災害対策等の県管理事務所等による窓口
	マニュアル	本実証にて基本マニュアル作成展開
	委託	他地域委託、部分的な民間外部委託

なお、想定の妥当性および共有運用以外も含めたモデルの詳細化等については、コンソーシアムメンバーの県内土木事務所の方々へのヒアリング等による調査を実施し、コンソーシアム内で検討を実施した。

(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

コンソーシアムメンバーの自治体、ならびに県内の土木事務所員に行った上記についてのヒアリングの結果は以下の通りである。

表 4-49 奈良モデル活用の可能性

(実証ア) ダムの点検管理業務支援			ヒアリング結果
共有	機材	ドローン	共有は可能。ただ、ダムに限定するのではなく、他の案件にも幅広く共有できる。 既に研修会を受けたものもあり、実際に操縦できるものもいる。
	技術者	ドローン操縦者	
	ノウハウ	技術者研修、講習会	
計画	とりまとめ	ダム管轄事務所等	主に計画調整課がとりまとめをしている。また橋梁については市町村管理のものや河川管理課が管理しているものもあり、それぞれが独自に点検している。
	協議対象	対象自治体、コンソーシアムメンバー	
運用	マネジメント	ダムを管轄する県管理事務所等による窓口	ローカル 5G の活用という点ではまだ運用は難しい。土木事務所だけでハンドリング不可。またそのまま他のダム等への共有も、8K カメラやドローンの展開はできてもローカル 5G の空中利用自体、法整備がまだであれば、早々の運用は困難。
	マニュアル	本実証にて基本マニュアル作成展開	
	委託	他地域委託、部分的な民間外部委託	

(実証イ) 遭難者探索や災害発生時の現場検証支援			ヒアリング結果
共有	機材	ドローン、移動式のローカル 5G 基地局	非常に興味深い。ドローンを飛ばせるものも多くはない。移動式基地局は免許必要か知りたい。
	技術者	ドローン操縦者、移動式基地局運用技術者	
	ノウハウ	技術者研修、講習会	
計画	とりまとめ	県災害対策本部等	規模にもよるので一概に言えない。
	協議対象	対象自治体、コンソーシアムメンバー	
運用	マネジメント	災害対策等の県管理事務所等による窓口	迅速に展開することが重要。これができれば、省人化など非常に効果があると思う。ただ、法的にまだ本運用ができないのであれば、早々の運用は困難。
	マニュアル	本実証にて基本マニュアル作成展開	
	委託	他地域委託、部分的な民間外部委託	

結論として、実証ア、実証イとも、強い興味は示していただけたものの、運用面においては、ローカル 5G の上空利用が認められていない点や、ローカル 5G の移動式基地局についても電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更して運用することが認められていない等、本運用に向けて法整備が必要な点については、引き続きニーズを示すことが重要であることを説明している。

後述するが、ルールメイキングへの貢献は必須であり、法整備にメドが立てば、これらの運用面についても一気に加速するものと思われる。

また、今回奈良モデルによる高額機材の共用の可能性についても確認したが、県内の土木事務所間で既にドローンや各種測定機器、重機など共有利用されていることが判った。特に共有利用しやすい 8K カメラ搭載ドローンはインシヤルコスト削減にも寄与し、加えて、ダムのみならず他のインフラ点検などにも流用できる可能性も高い。但し、ローカル 5G システムの共有化については、共有自体、物理的に可能ではあるものの、移設により発生するコストや免許人選定などの付帯業務などを鑑みると、ローカル 5G システムの共有化は依然ハードルが高いと考える。

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

・目指すべき姿

近年、我が国の自治体においては、人手不足や財政悪化に直面している一方、特にインフラ保守業務や災害対応業務の増加・複雑化という課題が存在。

その課題に対し、ダム付近及び山間地にローカル 5G 環境を構築し、ドローンを活用した 8K 映像のリアルタイム伝送による、ダム管理業務支援及び遭難者探索時や災害発生時の現場検証支援を、本コンソーシアムを中心に、早々に実現していく。

またインフラ保守業務の省力化・迅速化を通じ、一連の業務の安全性向上、効率性向上を実現。加えて、災害対応業務の迅速化を通じ、安全な状況確認、二次災害の抑制を実現する。

・現時点の課題（ミッシングピース）

- ・現状導入コスト 本ソリューションに使用するローカル 5G システムは一式約 5000 万円（ローカル 5G システムの他、各拠点ネットワーク構築、ドローン、8K カメラなどの機材も含む）、およびランニングコストも年間約 1200 万円（ローカル 5G システムや各拠点ネットワークのメンテ、ドローン運用、解析ソフトのカスタム、バージョンアップ等含む）となっており、普及のためには、さらなるコストダウンが必須。

【ソリューションの性能改善】

- ・有効性検証にも記載している実証ア 自動ヒビ検出、ヒビの状況確認において、検出率を向上させるための AI 超解像処理の結果に対し、逆に正常な箇所にご模様が出るなど誤検出の恐れがあり、検出率を求めることができなかった。

- ・ドローンに取り付けるローカル 5G 通信ユニットの取付位置において、アンテナの位置などについて十分考慮された設計になっていなかったため、さらなる通信状態を安定化するためにドローンのローカル 5G 通信ユニットの取付位置などの設計を再考する必要がある。

【顧客に対するプロモーション】

- ・自治体に近い地元企業がハンドリングできるようなスキームのプロモーションが必要。

【運用面の改善】

- ・可搬式などのローカル 5G システムが運用できるようになれば、ソリューションに応じて活用できる可能性がある。特に今回実証実施に取り組んだ災害ソリューションにおいては、災害発生箇所が事前に知ることが困難であるため、可搬式のローカル 5G の運用が効果的である。
- ・ダム点検において、ローカル 5G を用いての点検業務については、すぐに使える状況ではないため、当面は、ダム職員が免許人としてではなく、本コンソーシアムの主導メンバーであるサービス提供者が免許人となって点検業務を請け負うような運用が想定されている。しかし、案件が増えてくると、リソース的に対応が難しくなるため、他の地元企業などとの連携が必要。
- ・ビジネスモデルの項で提案した役割分担においては、ステップが 1st、2nd、3rd と移行していくにつれ、ユーザーが行う業務が増えていくため、それらを確実に運用するためのマニュアルや、業務担当者に対するトレーニング体制について、整備の必要性が増してくると考えられる。特に、自治体においては業務担当者が数年ごとに替わることもありうるため、専門家でない者でも理解できるマニュアルを作成することで、業務引継ぎを容易かつ確実にすることができる。また、トレーニングについては、その業務単独で行うのではなく、例えば自治体における災害想定訓練等に組み込むことで、効率的かつ効果的なトレーニングを行えると考えられる。

【ルールメイキング】

- ・現状はまだローカル 5G の上空利用は実験局での運用に限られているが、今後上空利用について規制が緩和されれば、さらなる普及が予想される。
- ・本ソリューションの将来イメージとして、土木事務所からドローンを飛行させ、遠方のドローン点検作業を実施するというシナリオがあり、そのためにはレベル 4 の目視外飛行が必須となる。ドローンの有人地帯(第三者上空)での補助者なし目視外飛行(レベル 4)も一等無人航空機操縦士の資格を取得することで実施できるという法律が、昨年 12 月に法整備された。2023 年 2 月時点で、ライセンス取得者は全国でもわずか数名にとどまっているものの、全国でドローン教習所の設立が増えつつあり(一例としては、自動車教習所の参入が相次いでいる)、今後は上記のような高度な操縦技術を有するライセンス取得者の増加が期待される。それにより、本ソリューションの将来イメージを具現化するための条件が一層整ってくるものと考えられる。

・将来像の実現に向けたシナリオ

将来像の実現には、費用対効果が重要であるので、費用、効果の両面からシナリオを検討する。

費用：・導入コストのコストダウン（件数の増加、生産力の向上、8K ドローンの共有化）

- ・ランニングコストのコストダウン（セットの流用活用→ソリューション横展開）
- 年度ごとにおよそ5%程度のコストダウンを盛り込む。

効果：・準備時間も含んだ作業時間の削減（作業のマニュアル化→簡便な操作、UI の改良）

- ・ユースケースのさらなる創出
（遠隔地からのドローン操縦（目視外飛行が可能なパイロットの教育））
- ・安全面のメリット明確化（定常点検と比較してのメリット）

またルールメイキングの観点で、ローカル 5G の上空利用の必要性を積極的にアピールすることで、ローカル 5G の上空利用の本運用についても貢献していく。

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

基本的な見積案として、ソリューションをパッケージ化した販売価格を設定し、年度ごとにコストダウンも見越した金額を策定し、併せて、イニシャルコストとランニングコストそれぞれも見積もった市場規模のシミュレーション結果を提示する。

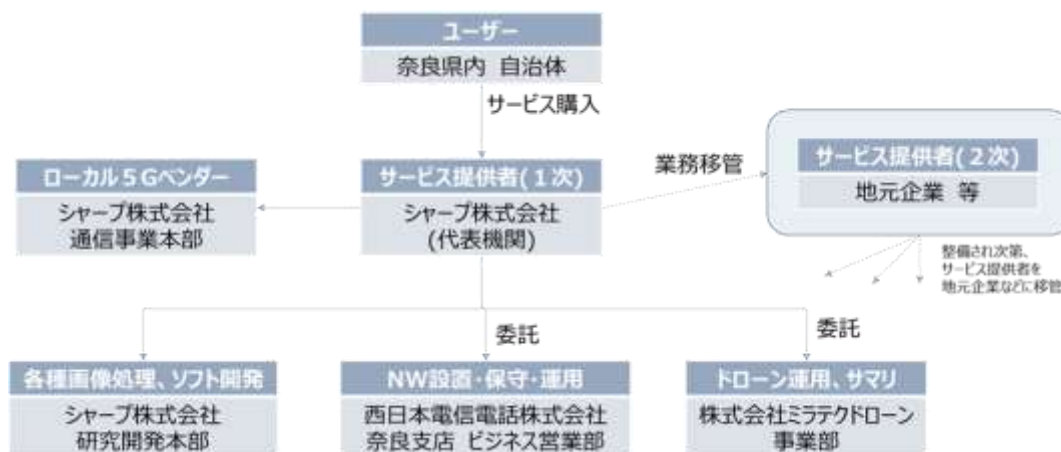
具体的には、まず、点検ソリューションにおいては、天理ダムでの継続運用の他、令和 5 年度以降、民間企業および、県内ダム、他自治体管理ダムの導入シミュレーションを記載した。

一方、災害ソリューションにおいては、4.3.4(1)にも記載しているように、移動式基地局の導入が効果的と考えているが、現時点、移動式の基地局は電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更して運用することが認められていないため、ここでは、令和 7 年度頃からの運用ができることを想定したシミュレーションとした。

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

開 15 代表 機関名	シャープ株式会社	分野	防災・減災
実証件名	ローカル 5G を活用したダムの点検管理及び災害時現場検証による自治体業務支援の実現		
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	実証ア ダムの点検管理業務支援 ソリューション	開発実証	実験局運用	民間企業への横展開(実験局運用)				
				コンソ内自治体の別施設での横展開実証		他自治体への横展開実証		
			課題への対応(システム完成度向上、ルールメイキングへの貢献、低コスト化等)					
		実装に向けた 交渉・調整	実装試行	実装				
	実証イ 遭難者探索や災害発生時 の現場検証支援ソリュー ション	開発実証			コンソ内自治体での実装			
					県内自治体での実装		県外自治体での実装	
			課題への対応(システム完成度向上ルール、メイキングへの貢献、低コスト化等)					
	ローカル 5G システム	開発実証	実装					
	(1)ユーザーから得る対価	—	44,083	64,387	124,040	176,699	233,432	
	(2)補助金・交付金	—	0	0	0	0	0	
(3)収入((1)+(2))	—	44,083	64,387	124,040	176,699	233,432		
(4)ネットワーク設置費	—	21,400	20,330	48,628	64,544	78,746		
(5)ネットワーク運用費	—	3,210	5,083	8,056	11,032	18,920		
(6)ソリューション購入費	—	15,950	18,668	32,129	44,198	64,020		
(7)ソリューション開発費	—	6,048	9,576	14,555	19,013	32,841		
(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	—	46,608	53,656	103,367	138,786	194,527		
(9)収支((3)-(8))	—	-2,525	10,731	20,674	37,913	38,904		

収入、支出の算定根拠
(ダムの点検管理業務支援ソリューション)
(収入部)

(1) ユーザーから得る対価

・天理ダムに設置したローカル 5G の基地局などは、そのまま運用する計画で進めているが、現時点、奈良県としては今年度発生するランニングコストに充当する予算は確保されていないため、ランニングコストについては本コンソーシアム内での持ち出しによる運用を予定している。なお R5 年秋に予定されている次年度の予算請求に改めて本案件を含んで頂くよう、引き続き働きかけを実施する。

・並行して、民間企業への導入についても検討頂いており、R5 年度には 1 社の導入(四国エリア)、R6 年度、R7 年度にもそれぞれ 1 社ずつの導入を見込んでいる。

・自治体での実装については、コンソーシアム内の自治体の別施設には R8 年度に 2 基、さらに県外には R9 年度に 3 基での導入を見越したシナリオとした。

・各収入金額は後述の各費用に対して 2 割程度の管理費及び利益を加算したものとした。

また各セットを導入された初年度におけるランニングコストは設置した時期によって変動するため、ここでは半年分をランニングコストとして合算し、次年度以降は 1 年間のランニングコストを収入とした。

・後述の支出費用について、イニシャルコスト、ランニングコストいずれもコストダウン率として 1 台あたり前年度の 5%の削減を実施しているため、各収入金額も年度ごとにコストダウン分を加味した金額とした。

(2) 補助金・交付金

確定している補助金類は現時点ではないため、通年でゼロとした。但し、普及には補助金・交付金の活用は非常に重要であり、既に、コンソーシアムメンバーの奈良県ともその可能性について議論している。については奈良県と一体となって、関連する補助金・交付金制度の活用について積極的に検討を続ける。

(支出部)

(4)ネットワーク設置費)

・ローカル 5G システム)R5 年度 機材一式 16,500 千円(BB1 台、アンテナ 2 基、光ファイバ等、イニシャル費(工事費、旅費など 2,000 千円)

・各拠点ネットワーク)R5 年度 VPN 機材及び工事費込み(4 拠点想定 1 拠点当たり 725 千円)計 2900 千円

(5)ネットワーク運用費

・ローカル 5G システム運用メンテ)保守費用 1,300 千円(月額 108.3 千円) R5 年度は前年度の 1 台と R5 年度に設置の 1 台。但し、年度途中設置のため半年分のランニングコストが発生するとみなして、R5 年度の本項目は(1,300 千円) \times 1.5=1,950 千円とした。

・VPN 運用メンテ)保守費 840 千円(月額 70 千円)但し、年度途中設置のため半年分のランニングコストが発生するとみなして、R5 年度の本項目は(840 千円) \times 1.5=1,260 千円とした。

(6)ソリューション購入費

・配信用各種機材)R5 年度 機材一式 8K カメラ及びレンズ備品一式 1,200 千円、映像配信兼映像解析サーバー-2,700 千円、8K モニター1,200 千円、作業費 600 千円

・ドローン機材)R5 年度 ドローン 4,000 千円、付帯作業費 700 千円

・ドローン運用)2 日/月対応 \times 12 か月 1 か月当たり 308.3 千円 \times 12 か月で 3,700 千円。但し、年度途中設置のため半年分のランニングコストが発生するとみなして、R5 年度の本項目は(3,700 千円) \times 1.5=5,550 千円とした。

(7)ソリューション開発費

・解析ソフト更新及びメンテナンス 1 か月あたり 6 人日程度の人件費として、@賃率 7 千円 \times 8 時間 \times 6 人日 \times 12 か月 =4,032 千円。但し、年度途中設置のため半年分のランニングコストが発生するとみなして、R5 年度の本項目は(4,032 千円) \times 1.5=6,048 千円とした。

(遭難者探索や災害発生時の現場検証支援ソリューション 災害対策)

(収入部)

(1)ユーザーから得る対価

R5 年度、6 年度はローカル 5G 移動式基地局の法整備が整わないと予測しており、R7 年度からの実装を計画。まず、当コンソーシアムの天川村にて 1 セット導入の計画。追って、翌年度には奈良県下の他の自治体での実装、さらに R9 年度には奈良県外の自治体での実装を計画している。

また移動式基地局の追加に伴い、ダムの点検管理業務支援ソリューションよりも 1 セットの価格はおよそ 1200 万程度高額となっている。

(支出部)

(4)ネットワーク設置費、(5)ネットワーク運用費

実装アと異なる点として、R7 年度の実装開始から、移動式の基地局ということで、2tトラック相当の車をイニシャルコスト(移動式基地局投入)、ランニングコスト(移動式基地局運用)をそれぞれに追加した。

それ以外は、ダムの点検管理業務支援ソリューションと同じ収入根拠、同じコスト根拠とした。

なお、R7 年度時点の移動式基地局はトラック及びその改造費として 10,000 千円、またその移動式基地局の運用費は本体や発電機やメンテナンスなどとして 660 千円(月々55 千円)を見積もっている。また、ダムの点検管理業務支援ソリューション同様、年度途中設置のため半年分のランニングコストが発生するとみなして、R7 年度の本項目は(660 千円) \times 1.5=330 千円とした。

	どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)	いつまでに	
実装を確実にするための取組	提供コスト低減	<p>インフラ点検、災害対策共)</p> <p>サービス提供者をはじめとする各担当からの機材コスト、サービスコストの削減を実施。年度ごとに前年度よりおよそ5%程度のコストダウンを目指す。なお、ソリューション数増も上記コストダウンのために必要であり、1セットあたりの提供コストも削減される</p>	<p>・インフラ点検)令和6年度より実施、年度毎に5%ダウン目指す</p> <p>・災害対策)令和7年度より実施、年度毎に5%ダウン目指す</p>
	ソリューション追加開発	<p>インフラ点検)</p> <p>ヒビ等の検出率を高めるためのAI超解像処理において、AIの学習データを充実させることで、AI超解像処理の性能を高め、誤検出の少ないシステムを構築する。</p> <p>インフラ点検、災害対策共)</p> <p>より安定した8K映像伝送を可能にするために、アンテナの指向性を加味し、ドローンに取り付けるローカル5G通信ユニットの取付け構造など改良する。</p>	<p>・いずれも令和5年度より実施し、令和6年度内に実装する。</p>
	顧客開拓	<p>インフラ点検、災害対策共)</p> <p>他自治体へのプロモーションはもちろんのこと、民間企業へのプロモーションも積極的に実施する。</p>	<p>・インフラ点検)令和5年度より横展開する。</p> <p>・災害対策)令和7年度より横展開実施する。</p>
	運用面の改善	<p>インフラ点検、災害対策共)</p> <p>移動式のローカル5Gシステムが運用できるようになれば、ソリューションに応じて流用できる可能性がある。</p> <p>また災害対策においてはエリア拡大にも対応できるように中継局の導入も検討する。</p> <p>その他、案件が増加してくると当コンソーシアム内だけの対応が困難になってくるため、例えば各地域に近い地元企業やSIerなどに本ソリューションを展開し、より横展開しやすい状況を構築する。</p>	<p>・インフラ点検)令和7年度より横展開する。</p> <p>・災害対策)令和7年度より横展開する。</p>
	ルールメイキングへの貢献	<p>本ソリューションのメリットである「安全性」「効率化」「省人化」を積極的にアピールすることで、ローカル5Gの上空利用やドローンの目視外飛行などの必要性を通じ、利便性の高いソリューションであることを実証する。</p>	<p>・インフラ点検)令和5年度より継続して実施する</p> <p>・災害対策)令和6年度より継続して実施する。</p>
<p>計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など)</p> <p>・自治体主導の場合、自治体の規模によって確保できる予算額も依存するため、自治体単独での予算獲得は容易ではなく、公的予算などに頼る可能性が高くなると思われる。</p> <p>一方で、民間で使用できるようなソリューション(例:電力系インフラ点検、私有地での害獣対策など)にも展開することは可能であり、民間への展開も積極的に図っていき、並行してコストダウンも図ることで、自治体としても導入しやすいレベルに少しでも近づけるように努める。</p>			

a. 実施体制

企業名・団体名	主な役割
シャープ株式会社	○サービス提供者（1次）代表機関 但しサービス提供のビジネス立ち上げには注力するも、案件が多くなる場合は自治体に近い地元企業やSIerなどに業務移管。 ○ローカル 5G ベンダー ○各種画像処理、ソフトウェア開発
西日本電信電話株式会社奈良支店	○ネットワーク構築、保守、運用
株式会社ミラテクドローン	○ドローン構築、運用
奈良県下 自治体	○ユーザー

b. 実装計画（実施事項）

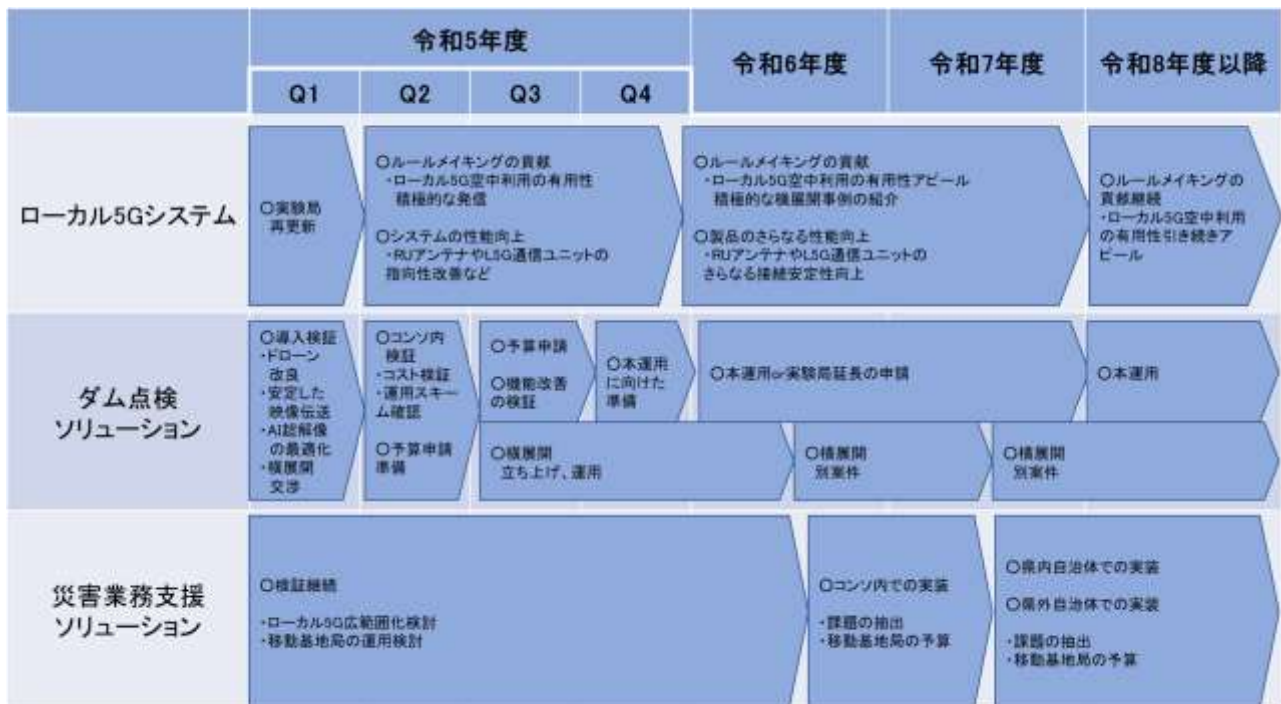


図 4-80 各ソリューションの実装に向けたロードマップ

【実装ア】

図 4-80 に各ソリューションの実装に向けたロードマップを展開している。

次年度以降、奈良県、天理ダムのご協力の下、実験局として運用を継続し、運用面での問題がないか検証する。但し、現時点では、奈良県として本件を稼働するために必要なランニングコストに当たる予算がないため、令和5年秋にある予算請求を検討頂く。そのためには、令和5年夏頃に、本ソリューションの見極めを実施して頂く予定である。なお、令和5年度夏の見極めで本

運用として見送りとなった場合も次年度以降も実験局としての運用を継続し、引き続き本運用に向けた検証を実施する。

並行して令和 5 年度、6 年度においてもコンソーシアムに属する自治体と連携し、他の施設などでの可能性について検証を実施し、令和 8、9 年度には奈良県内のみならず、県外の自治体にも横展開を実施していく。

また並行して、民間企業への実装も既にアプローチを図っており、早ければ令和 5 年度内にも民間企業への採用の可能性も出てきており、令和 6 年度以降にも引き続き民間企業の案件も増やしていく計画である。

さらに、より使い勝手のよいシステムソリューションを開発し、ネットワーク環境を構築するコンソーシアムメンバーの西日本電信電話株式会社奈良支店、同じく実際のドローン環境を構築するコンソーシアムメンバーの株式会社ミラテックドローンと連携し、積極的な横展開を図っていく。

【実証イ】

遭難者探索や災害発生時の現場検証支援においては、災害がいつどこで生じるか判らない中で、災害時にエリア展開できることが極めて有用なことから、移動式基地局の導入を検討している。

しかし、現時点、移動式基地局の認可について、電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更して運用することが認められていないため、時間を要することから、すぐの本運用には困難であるため、令和 5 年度以降も、地方自治体と連携し、防災・減災などに適用される公的資金の導入も視野に入れ、引き続き、テスト運用を実施する。なお、まだ推測の域を出ないが、令和 7 年度前後には、災害時などの特例で山間地域限定での電波干渉等の観点から設置場所を柔軟に変更できる運用についての認可が実施されることを想定し、令和 6 年度夏に自治体での本ソリューションの見極め、令和 6 年度秋に予算請求できるように検討頂き、令和 7 年度からの実装計画を挙げている。

また、上記の移動式基地局については、迅速にエリア構築できる車載タイプの移動式基地局を想定しており、2t 程度のトラックを想定した。また、エリアごとに移動式基地局を構築するために初年度はイニシャルコストが発生するが、機動力が大幅に向上することで、多くのエリアで横展開できるものと予測している。

具体的には、想定するサービスモデルは上記にもあるように機材一式をパッケージ化したサービスモデルを想定している。なお、本実装計画の策定に際し、色々なシチュエーションまで十分考慮していないため、ケースによってはセットの価格も大きく変動する可能性も考えられるが、ここでは算出根拠が明確になるよう、シンプルな算出基準を用いることとした。

c. 収支計画

ア) 収支計画

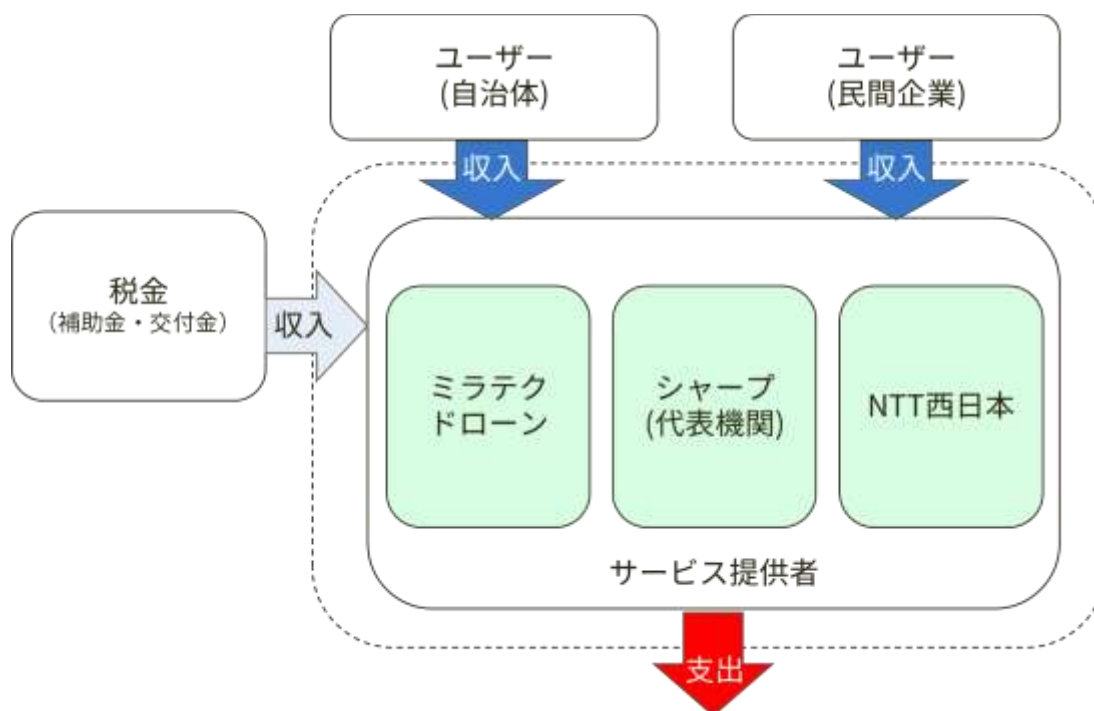


図 4-81 収支計画

収支計画については、前述の通り、自治体と民間企業それぞれのシナリオを進めている。

自治体については、自治体の規模によって確保できる予算額も依存するため、例えば令和5年度の場合の新規システム導入にかかるコスト（イニシャルコスト約31,800千円、ランニングコスト約9,872千円）は高額であり、加えて利益相当分を上乗せした値付けではさらに高額となってしまう。今回は確定された補助金・交付金がまだないため、収支計画の補助金・交付金についてはゼロとしているが、自治体の場合、新規システム導入においては、引き続き補助金・交付金の獲得について、自治体と連携して検討していく。一方で、ランニングコストについては、一旦見積では毎月点検を想定したコスト試算であり、例えば、毎月点検ではなく、隔月点検などで賄える場合、ランニングコストは大幅に削減することも可能である。実際の使い方なども鑑み、ランニングコストを抑えることも含め、各自治体と協議することが必要と考える。

民間企業においても、自治体と同様の傾向が言えるが、規模によっては、充当できる予算枠も大きく確保できる可能性もある。すなわち、民間企業から得られる収入から、予算枠が小さい案件分を補填するなど、案件毎の収支に捉われない総合的なビジネスと捉えて、引き続き本ソリューションの横展開を図っていく。

イ) ユーザーにおける必要リソース

表 4-50 ユーザー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		22,000 千円	1,560 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務	22,000 千円	1,560 千円
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託	※2nd ステップ	※2nd ステップ
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション			
a.	ダム点検ソリューション	16,160 千円	10,286 千円
	① 運用に係る環境整備等に係る経費	16,160 千円	10,286 千円
	② 外部委託費	※2nd ステップ	※2nd ステップ
b.	災害業務支援ソリューション	28,160 千円	11,078 千円
	① 運用に係る環境整備等に係る経費	28,160 千円	11,078 千円
	② 外部委託費	※2nd ステップ	※2nd ステップ

表 4-50 ユーザーにおける必要リソース表 4-50 にユーザーにおける必要リソースを記載する。各金額については、前述の 4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの経済性・市場性の検証の表 4-40～表 4-43 にも記載しているが、主な費目内訳は下記となる。

○ローカル 5G システム

- ・イニシャルコストに該当するローカル 5G システム機材費には、BBU の他、RU2 基、ファイバケーブル、ローカル 5G 通信ユニットなどが含まれる。
- ・ランニングコストに該当するローカル 5G システム運用費には、保守費用等が含まれる。

○ダム点検ソリューション

- ・ダム点検ソリューションにおけるイニシャルコストには各拠点のネットワーク構築費、ドローンの機材費一式、映像配信装置導入費用一式等が含まれる。
- ・ダム点検ソリューションにおけるランニングコストには、各機材の保守費用やドローン操縦などのドローン運用費、ソフトウェアのバージョンアップ費用なども含んでいる。

○災害業務支援ソリューション

- ・災害業務支援ソリューションにおけるイニシャルコストには各拠点のネットワーク構築費、ドローンの機材費一式、映像配信装置導入費用一式の他、移動式基地局のトラックなども含んでいる。
- ・災害業務支援ソリューションにおける欄人数コストは、各機材の保守費用やドローン操縦

などのドローン運用費、ソフトウェアのバージョンアップ費用の他、移動式基地局の運用費も含んでいる。

なお、前述のビジネスモデルの通り、当面は 1st ステップにもあるように、サービス提供者が導入から運用まで請け負うものを予定しており、ユーザーにおける必要リソースという点ではほとんど発生しない。また、案件が増えてくることで想定している地元企業への業務移管（2nd ステップ）においても、基本的にユーザーの負担額は 1st ステップと同等額を想定した。

d. 実装を確実にするための取組

ア) 提供コスト低減

インフラ点検、災害対策共)

サービス提供者をはじめとする各担当からの機材コスト、サービスコストの削減を実施。年度ごとに前年度よりおよそ 5%程度のコストダウンを目指す。

なお、ソリューション数増も上記コストダウンのために必要であり、1セットあたりの提供コストも削減される

- ・インフラ点検) 令和 6 年度より実施
- ・災害対策) 令和 7 年度より実施

イ) ソリューション追加開発

インフラ点検)

ヒビ等の検出率を高めるための AI 超解像処理において、AI の学習データを充実させることで、AI 超解像処理の性能を高め、誤検出の少ないシステムを構築する。

インフラ点検、災害対策共)

より安定した 8K 映像伝送を可能にするために、アンテナの指向性を加味し、ドローンに取り付けるローカル 5G 通信ユニットの取付け構造など改良する。

- ・いずれも令和 5 年度より実施、令和 6 年度内に実装する。

ウ) 顧客開拓

インフラ点検、災害対策共)

他自治体へのプロモーションはもちろんのこと、民間企業へのプロモーションも積極的に実施する。

- ・インフラ点検) 令和 5 年度より横展開 民間への横展開は前倒し
- ・災害対策) 令和 7 年度頃より本展開

エ) 運用面の改善

インフラ点検、災害対策共)

設置場所を柔軟に変更して運用できるローカル 5G システムが運用できるようになれば、ソリューションに応じて流用できる可能性がある。

また災害対策においてはエリア拡大にも対応できるように中継局の導入も検討する。

その他、案件が増加してくると当コンソーシアム内だけでの対応が困難になってくるため、例えば各地域に近い地元企業や SIer などに本ソリューションを展開し、より横展開しやすい状況を構築する。

- ・インフラ点検) 令和 7 年度より横展開
- ・災害対策) 令和 7 年度より横展開

オ) ルールメイキングへの貢献

ローカル 5G の上空利用やドローンの目視外飛行などの必要性を通じ、利便性の高いソリューションであることを実証する。

- ・インフラ点検) 令和 5 年度より継続して実施
- ・災害対策) 令和 6 年度より継続して実施

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）

自治体主導の場合、自治体の規模によって確保できる予算額も依存するため、自治体単独での予算獲得は容易ではなく、公的予算などに頼る可能性が高くなると思われる。

一方で、民間で使用できるようなソリューション（例：電力系インフラ点検、私有地での害獣対策など）にも展開することは可能であり、民間への展開も積極的に図っていき、並行してコストダウンも図ることで、自治体としても導入しやすいレベルに少しでも近づけるように努める。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

本映像制作に際しては、天理ダム様ご協力の下、代表機関のシャープ株式会社と、コンソーシアムメンバーの株式会社ミラテクトローンとで連携し、撮影を実施。また映像編集作業も、シャープ株式会社にて実施した。

ダイジェストカットは下記の通りである。

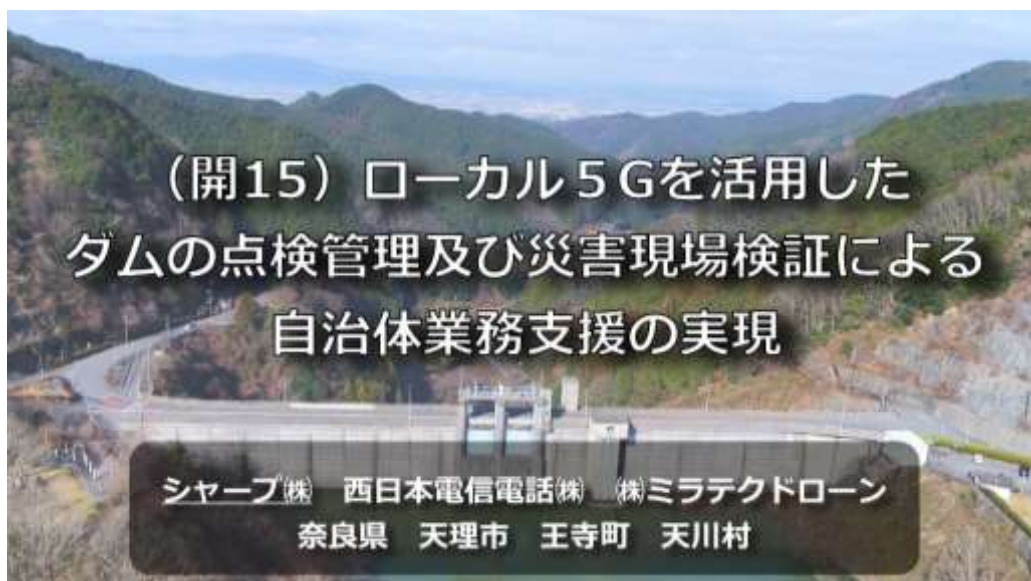


図 5-1 説明映像 タイトル



図 5-2 説明映像 ダムの目視点検



図 5-3 説明映像 ネットワーク図



図 5-4 説明映像 8K カメラ搭載ドローン



図 5-5 説明映像 8K リアルタイム伝送中のドローン



図 5-6 説明映像 ダム管理センター内でのリアルタイム映像による点検作業

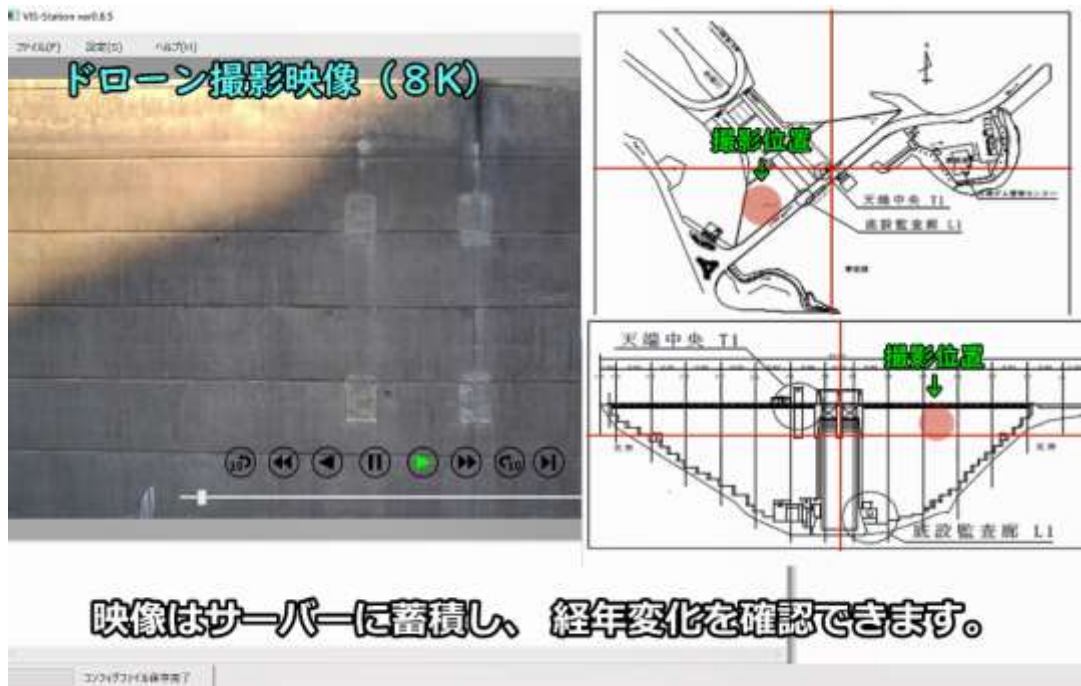


図 5-7 説明映像 ダム点検ソフト



図 5-8 説明映像 天川村 実際の土砂崩れ



図 5-9 説明映像 AI を用いた遭難者自動検出ソフトでの確認作業

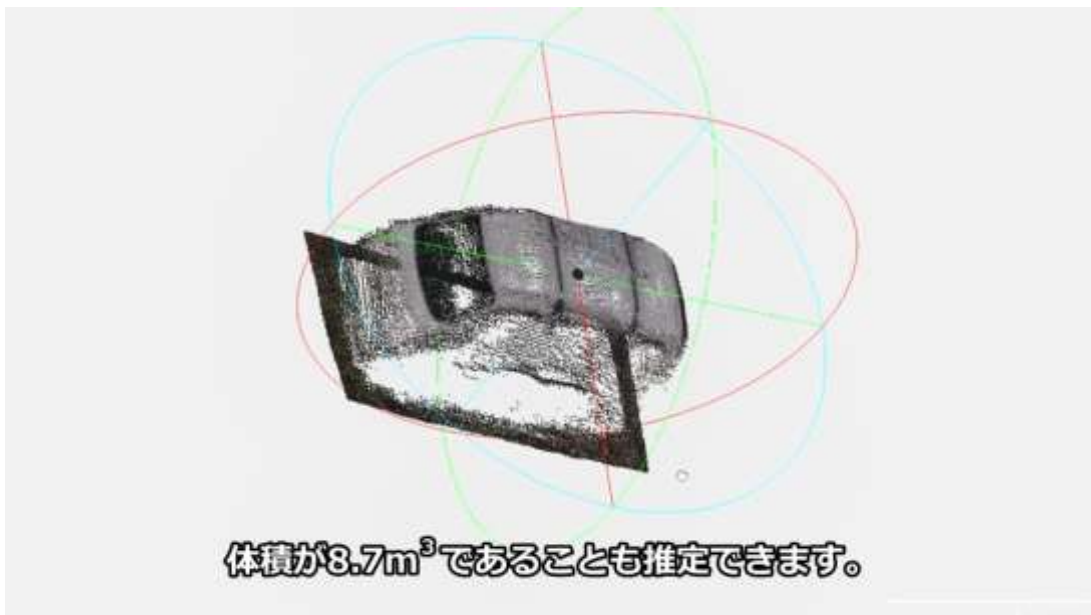


図 5-10 説明映像 8K カメラ空撮からの 3D モデル作成

5.2 実証視察会の実施

実証視察会の概要は以下の通りである。

実施日 2023年2月14日（火）

場所 本会場 天理市役所 上下水道局 2階 大会議室
及び 天理ダム周辺 展望公園
(Zoomによるハイブリッド開催も実施)

主な出席団体、企業

総務省、近畿総合通信局

天理市、奈良県、王寺町

西日本電信電話、ミラテクドローン

三菱総合研究所

シャープ

主な発表内容

- ・本実証主旨説明、技術実証説明、課題実証説明 等
※発表内容については本報告書の内容と重複するため割愛
- ・デモの実施
 - 1) 天理ダムからの8Kリアルタイム映像配信
本来はドローンからの8Kリアルタイム映像伝送を予定していたが、降雪のため、予め撮影していたドローンからのダムの堤体部の映像を天理ダムに設置の配信サーバーよりリアルタイム配信
 - 2) ダム点検ソフトのデモ
 - 3) 遭難者検索ソフトのデモ
 - 4) 2K、4K、8Kの比較デモ
- ・上記一通り発表後、天理ダム近くの展望公園に移動し、ダムのクレストゲート上にあるローカル5Gのアンテナ視察、ならびに、今回採用のドローンの飛行状況を視察。



図 5-11 本会場の様子



図 5-12 デモをご覧になる様子



図 5-13 ダム視察の様子



図 5-14 ダム展望公園からのドローン飛行視察の様子

5.3 その他普及啓発活動

(1) 奈良県議会議員、桜井市議会議員への本活動の紹介

実施日 2022年10月13日

場所 奈良県庁 議会棟

出席者 奈良県議会議員、桜井市議会議員 他

目的 本活動のご紹介の他、奈良県で現在推進されている「大和平野中央田園都市構想」へのローカル5Gの活用についてのディスカッション。

ローカル5Gの特長である大容量伝送、超低遅延時間を活かすスマートシティへの取り組みについて情報交換し、併せて、田園都市建設時のインフラDXとして本コンソーシアムの取り組みも応用できる旨、横展開を図った。

大和平野中央田園都市構想とは

1. 大和平野は奈良県発展の中心地、震源地になりうる
2. 大和平野中央(磯城郡3町)の田園都市づくりを核にして県勢発展のきっかけを作る
3. 県勢発展の原動力となり得るインフラ整備の波が大和平野中央周辺に押し寄せている
4. 県勢発展の起爆剤となる「デジタル田園都市」を大和平野中央に建設する
5. 地元や民間の人たちと力を合わせて未来に輝く大和平野を創生する

図 5-15 大和平野中央田園都市構想の一部

(2) 奈良県庁くらし創造部への本活動の紹介

実施日 2022年11月28日(月)

場所 奈良県庁 議会棟

出席者 奈良県庁 くらし創造部 他

目的 ローカル5G利用に深く興味を持って頂いている方々に、当コンソーシアムでの活動をご紹介。

教育現場で昨今検討されているスマートキャンパス構想や、地域活性化を目指した産学官の知的交流拠点(スタートアップヴィレッジ)において、ローカル5Gを活かすケースなどについてディスカッションを実施。

(3) 地方創生テクノロジーラボとのディスカッション

実施日 2022年12月19日(月) 他数回

場所 Zoom

出席者 地方創生テクノロジーラボ 他

目的 今回の本コンソーシアムの活動の紹介に加え、同様の課題を持つ他の地方自治体についての模索についての相談。今回は費用の兼ね合いで、深掘りするまでには至らなかったが、該社は、全国の多くの地方自治体とコネクションがあり、次年度以降の横展開活動の中で強力なパートナーに十分なりえることから、引き続き連携を図っていく。

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

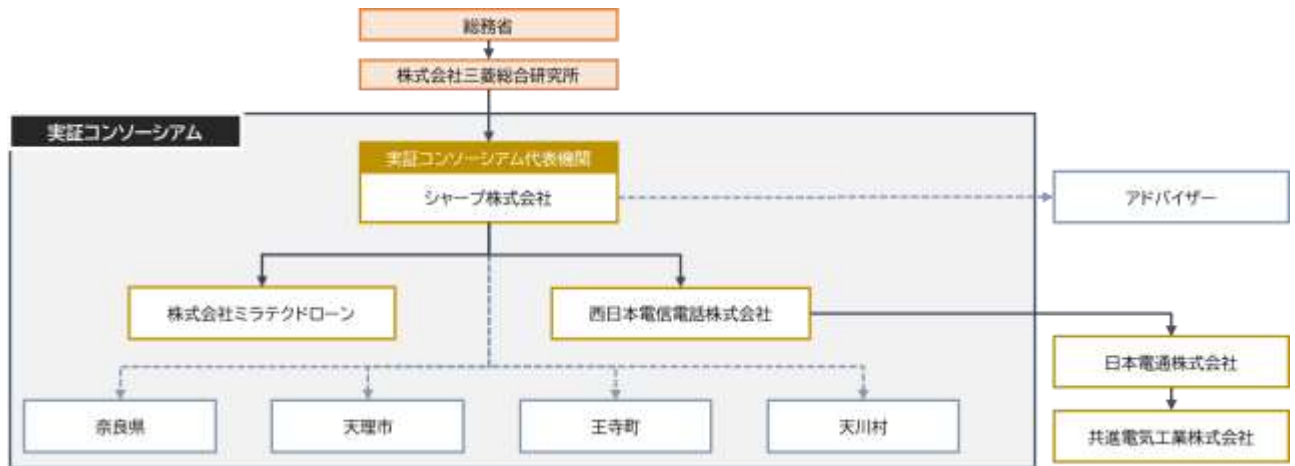


図 6-1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

当コンソーシアムの協力体制については下記の通りである。

表 6-1 コンソーシアム構成表

企業名・団体名	主な役割
シャープ株式会社 (代表機関)	請負契約主体・全体統括・課題実証統括・各種通信機器提供・技術実証の測定、データまとめ、 将来を見据えたシステム運用の検証 ※本コンソーシアムのプロジェクトマネージャー、技術実証担当者、課題実証担当者、会計処理担当者は本代表機関より選定。
西日本電信電話株式会社	技術検証実施連携 ローカル 5G エリア外との通信ネットワークについての検討、構築
株式会社ミラテクドローン	検証に適したドローン機種を選定、改良 ドローンの操縦
奈良県	課題実証に向けた検証環境の提供（天理ダム等） 各課題検証の評価
奈良県天理市	課題実証に向けた検証環境の提供（天理ダム内の一部施設等）、 各課題検証の評価
奈良県天川村	オブザーバー、各課題検証の評価
奈良県王寺町	オブザーバー、各課題検証の評価
日本電通株式会社	ローカル 5 G 用関連工事対応
共進電気工業株式会社	ローカル 5 G 用関連工事対応
その他、著名な伝送技術の先生にアドバイザーを務めて頂いた	

7. スケジュール

No	コンソ名	大区分	小区分	9月			10月				11月				12月					
				5日	12日	19日	26日	3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	5日	12日	19日	26日
開15	イベント	各種イベント																		
	実証環境の構築	実証環境の準備																		
	技術実証	電波伝搬特性等の測定 テーマ別実証(電波伝搬精緻化)																		
	課題実証	有効性等に関する検証																		
		実装性に関する検証																		
		課題の抽出及び解決策の検討																		
		実装計画の作成																		

No	コンソ名	大区分	小区分	1月					2月				3月						
				2日	9日	16日	23日	30日	6日	13日	20日	27日	6日	13日	20日	27日			
開15	イベント	各種イベント																	
	実証環境の構築	実証環境の準備																	
	技術実証	電波伝搬特性等の測定 テーマ別実証(電波伝搬精緻化)																	
	課題実証	有効性等に関する検証																	
		実装性に関する検証																	
		課題の抽出及び解決策の検討																	
		実装計画の作成																	

図 7-1 全体スケジュール

図 7-1 に全体スケジュールを示す。本免許の取得について当初の予定より 1 か月ほど遅れて 12 月の取得、および 1 月初旬のローカル 5G 機材の設置工事となったが、予め、ローカル 5G 以外のネットワーク接続性チェックなどを実施していたこともあり、実施環境の立ち上げ自体はスムーズに構築することができた。

また、降雪や強風などの天候不順により、実証実験が実施できない日も数日生じたが、実施計画に記載のローカル 5G 実証実験はほぼ遂行することができた。

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】

[開 15 ローカル5Gを活用したダムの点検管理及び災害時現場検証による自治体業務支援の実現]

2023年3月

シャープ株式会社
