地域課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証に係る防災分野におけるローカル５Ｇ等の技術的条件等に関する調査検討の請負（防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現）

成果報告書

2021 年 3 月 25 日

株式会社地域ワイヤレスジャパン

目次

1. 全体概要 1

1.1 背景・目的 1

1.2 実施事項及び実証目標 2

1.3 実施体制 3

1.4 実証のスケジュール 4

1.5 免許申請の概要 4

1.5.1 免許申請スケジュール 4

1.5.2 システム構成 5

1.5.3 実験試験局概要 5

1.5.4 カバーエリア 8

1.5.5 干渉調整 8

2. 実証地域 9

2.1 実証地域の概要 9

2.2 実証環境 10

2.3 地域課題等 14

3. 実証環境 15

3.1 ネットワーク構成 15

3.2 システム機能・性能・要件 24

3.3 実証環境の運用 32

4. 課題解決システムの実証 36

4.1 前提条件 36

4.2 実証目標 41

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析 42

4.3.1 アー１：高精細映像と AI を活用した水位予測 42

4.3.2 アー２：ダッシュボード等を活用した防災情報の可視化 49

4.3.3 アー３：地域住民向けの高精細映像配信 50

4.3.4 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証 52

4.4 課題解決システムに関する効果検証 54

4.4.1 アー１、アー２：高精細映像と AI を活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化 54

4.4.2 アー３：地域住民向けの高精細映像配信 66

4.4.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証 82

4.5 課題解決システムに関する機能検証 84

4.5.1 アー１、アー２：高精細映像と AI を活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化 84

4.5.2 アー３：地域住民向けの高精細映像配信 106
4.5.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証 123
4.6 課題解決システムに関する運用検証 131
4.6.1 アー１、アー２：高精細映像と AI を活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化 131
4.6.2 アー３：地域住民向けの高精細映像配信 134
4.6.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証 140
4.7 まとめ 163
5. ローカル 5G の性能評価の技術実証 164
5.1 前提条件 164
5.1.1 概要 164
5.1.2 プライベートマイクロセル構造の適用 170
5.1.3 ユースケースの概要と性能要件 172
5.1.4 実証環境 172
5.2 実証目標 178
5.2.1 技術課題 180
5.2.2 技術的課題へのアプローチ・検証仮説 180
5.2.3 技術基準の見直し等に資する新たな知見 182
5.2.4 実施事項 182
5.3 ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価等 191
5.3.1 評価・検証項目 191
5.3.2 評価・検証方法 194
5.3.3 検証結果 206
5.3.4 類似の調査結果 223
5.3.5 考察と今後の課題 224
5.4 ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等 226
5.4.1 評価・検証項目 226
5.4.2 評価・検証方法 229
5.4.3 検証結果 229
5.4.4 考察と今後の課題 237
5.5 その他ローカル５Ｇに関する技術実証 238
5.5.1 評価・検証項目 238
5.5.2 評価・検証方法 251
5.5.3 検証結果 252
5.5.4 考察と今後の課題 265
5.6 ローカル 5G の今後の高度化に関する考察 267
5.7 まとめ 269
6. 実装及び横展開に関する検討 271
6.1 前提条件 271
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定 272

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討 275
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討 277
6.5 まとめ 279
7. 会合等の開催 280
8. まとめ 281
9. 参考資料 282

1. 全体概要

1.1 背景・目的

第５世代移動通信システム（５Ｇ）は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有しており、我が国の経済成長に不可欠な Society 5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されています。５Ｇの技術的条件等について、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等を行う必要があります。このため、令和２年度から、様々な分野におけるローカル５Ｇのユースケースについて、多種多様なローカル５Ｇ基地局の設置・利用環境下でローカル５Ｇの電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル５Ｇ等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル５Ｇ等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル５Ｇ等の導入の促進を図る取り組みが行われています。

本調査検討では、「地域課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証」の一環として、防災分野において、特に地方公共団体における防災業務の高度化、迅速な住民の避難の実現等の課題解決に向け、高精細映像等を活用した災害状況のリアルタイム把握やケーブルテレビ等多様なメディアを通じた災害情報の配信などにローカル５Ｇの導入を促進するため、ローカル５Ｇの電波伝搬特性の解明及び課題解決システムにおける具体的なアプリケーション（高精細映像と AI を活用した水位予測、ダッシュボード等を活用した防災情報の可視化、地域住民向けの高精細映像配信、平時・災害時の併用モデル）を想定した高精細映像伝送等に基づくローカル５Ｇの性能評価を実施することを目的とします。

我が国においては、自然的条件から災害が発生しやすい特性を有しており、毎年のように、水害・土砂災害、地震・津波等の自然災害が発生していました。令和元年も台風やゲリラ豪雨等による河川越水や道路冠水などの豪雨災害により、甚大な被害が発生した。そのため、自然災害に対する備え、発災時の被害防止・最小化に向けた対策は喫緊の課題となっていました。こうした中、近年、災害発生時における被害状況の把握や予測、河川監視等に AI や水位センサの活用が進むなど、IoT・データ活用の重要性は高まっていました。

災害時における地方公共団体の業務において、適時的確な避難勧告等を発令し、ケーブルテレビ等多様な地域メディアとも連携しつつ、住民に対し災害情報等を迅速・的確に提供し、確実な避難誘導等につなげることは、住民の生命・財産を守る観点から極めて重要です。しかしながら、現状では、災害発生時は、限られた職員で様々な情報を収集・分析した上で迅速かつ的確に判断することが求められているのが実情であり、また、発災時の現場出動には危険が伴うなど職員の負荷が高く、リスクも大きくなります。さらに、住民への情報伝達手段が静止画やテキスト、音声情報のみの場合、住民の危機意識が高まりにくく、避難行動の遅れにもつながりかねないとの指摘もあります。

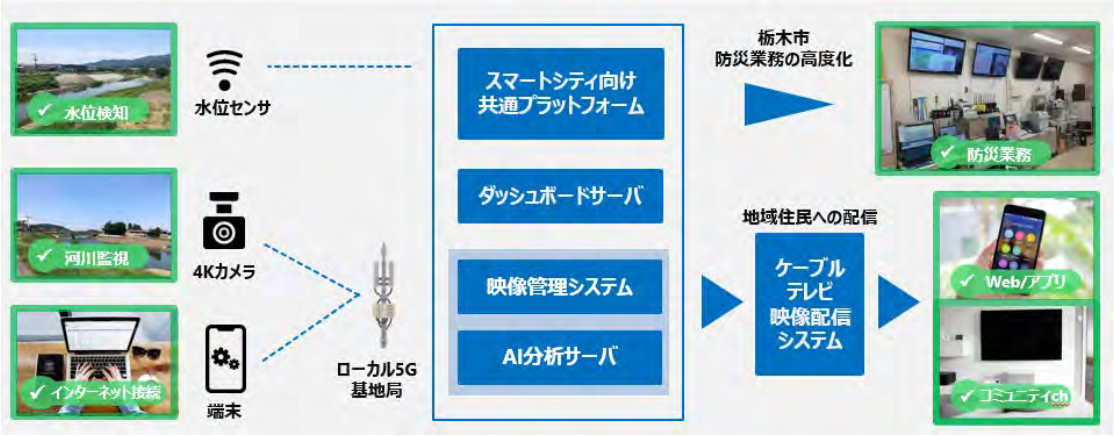
このようなことから、今後、地方公共団体においては、これまでの水位センサなどの情報に加え、河川等の高精細映像なども用いて発災現場の状況をリアルタイムに把握・分析するとともに、災害情報の一元化による情報共有の円滑化、当該映像情報を活用して住民に正確に状況を知らせることにより迅速な避難行動を促すなど、住民の生命・財産を守るための防災・減災に係るシステムの高度化が必要となっていました。なお、自然災害はどの地域でも発生しうるものであり、このような防災・減災システムの高度化については、大規模団体だけでなく、中小規模の地方公共団体も含めて導入可能なものであることが望まれます。

1.2 実施事項及び実証目標

本実証実験では、防災分野におけるローカル 5G を用いた課題解決システムにおける具体的なアプリケーションの実証のため、次の①～③を実施しました。
①自治体防災業務の高度化（ローカル 5G×AI 活用×Dashboard）により、職員負荷を軽減
②リアルタイム映像の配信により、住民の避難意識を向上
③FWA 併用による自治体負担コスト低減の仕組みを構築

全体システム概要を下図に示します。栃木市を実証フィードにおいて、水位センサ・河川監視用の 4K カメラ、一般ユーザへのインターネットサービス提供のための FWA（Fixed Wireless Access、固定無線アクセス）提供用端末の設置を行いました。4K カメラ映像データは Video Management System(以下、VMS)等を通して栃木市役所や地域住民に映像配信を行いました。VMS と連携して河川映像データの AI 分析を行うことで、自治体職員の映像監視をサポートしました。地域住民への映像配信は、ケーブルテレビ株式会社のシステムを通して行いました。情報集約のプラットフォームとして、スマートシティ向け共通プラットフォームである FIWARE を利用しました。

ここで、4K カメラの高精細映像のデータ伝送には、ローカル 5G による大容量データ通信が適しています。また、広帯域周波数の使用が可能なローカル 5G は、同一の基地局カバレッジエリアにおいて 4K カメラの映像伝送だけでなく一般ユーザー向けの高速インターネット接続サービス提供も併せて行うことに適しています。



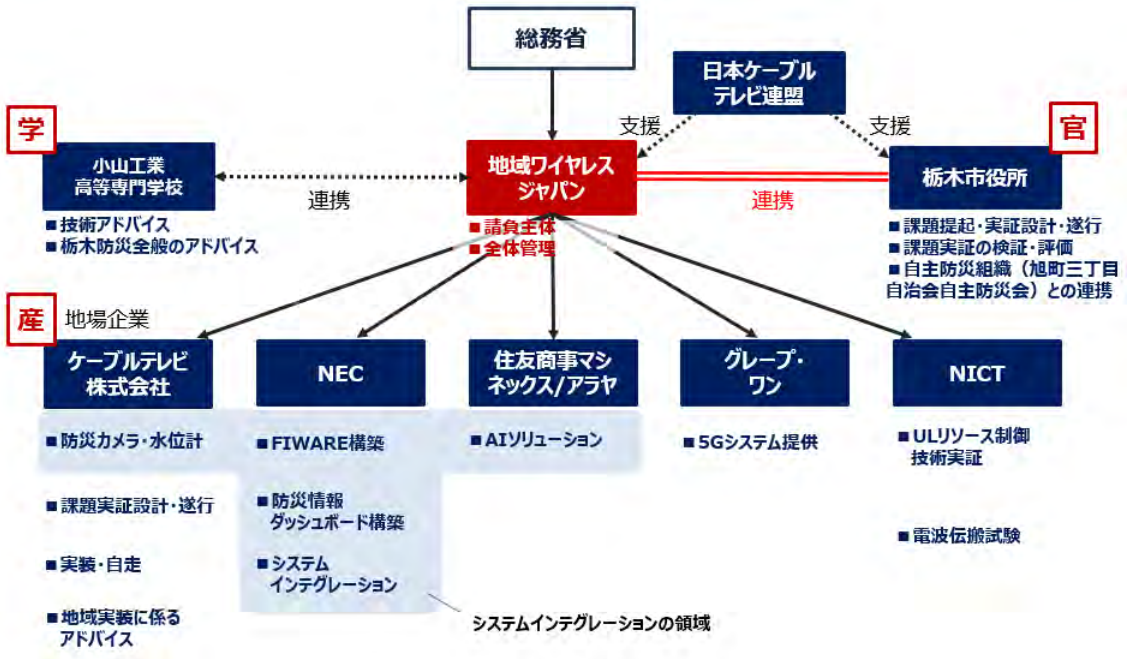
以下、課題実証/技術実証の概要を補足します。

【課題実証】
①の自治体防災業務の高度化では、防災情報のダッシュボード一元管理及び・AI 解析による水位予測を実施しました。②の地域住民への映像配信では、リアルタイム河川映像の配信を実施し、地域住民の避難意識の向上を図ります。③では FWA 併用による自治体負担コスト低減の仕組み構築することで、平時・災害時共存モデルの構築を目指しました。

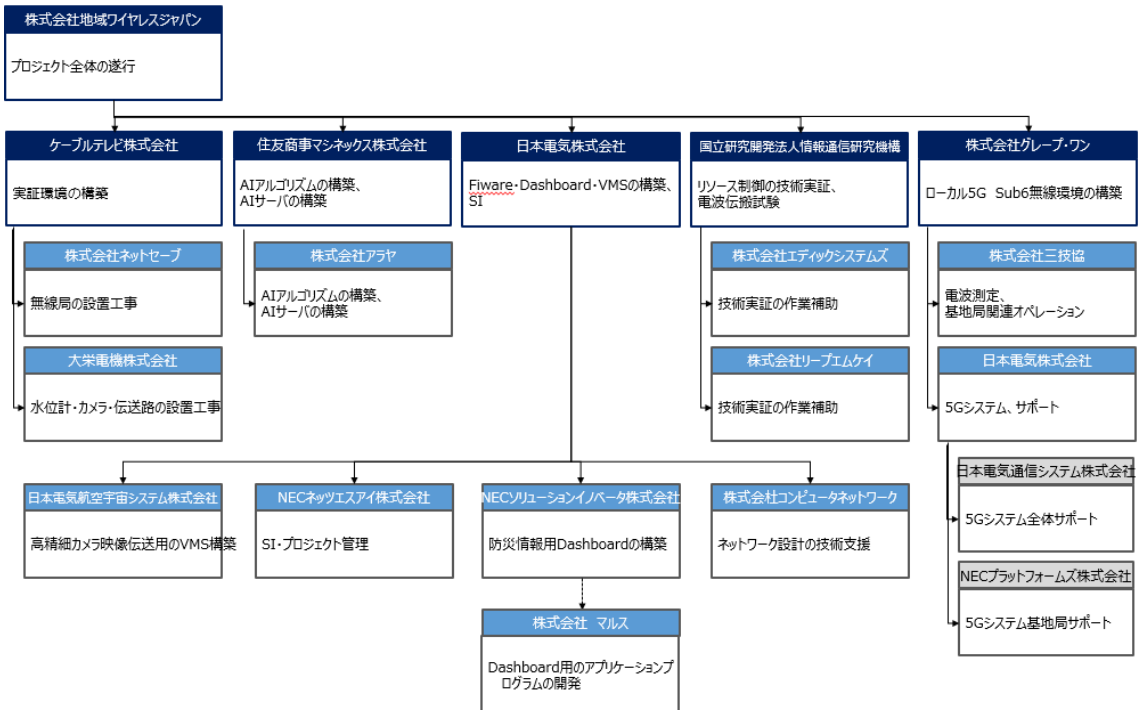
【技術実証】
ローカル 5G 用周波数帯域として新規に割当予定の 4.8-4.9GHz 帯域を用いて、災害時に重要度の高い 4K カメラの映像データ伝送にアップリンクリソースをに優先割当する技術を実証しました。また、同帯域の電波伝搬特性等の解明のための電波測定を行いました。

1.3 実施体制

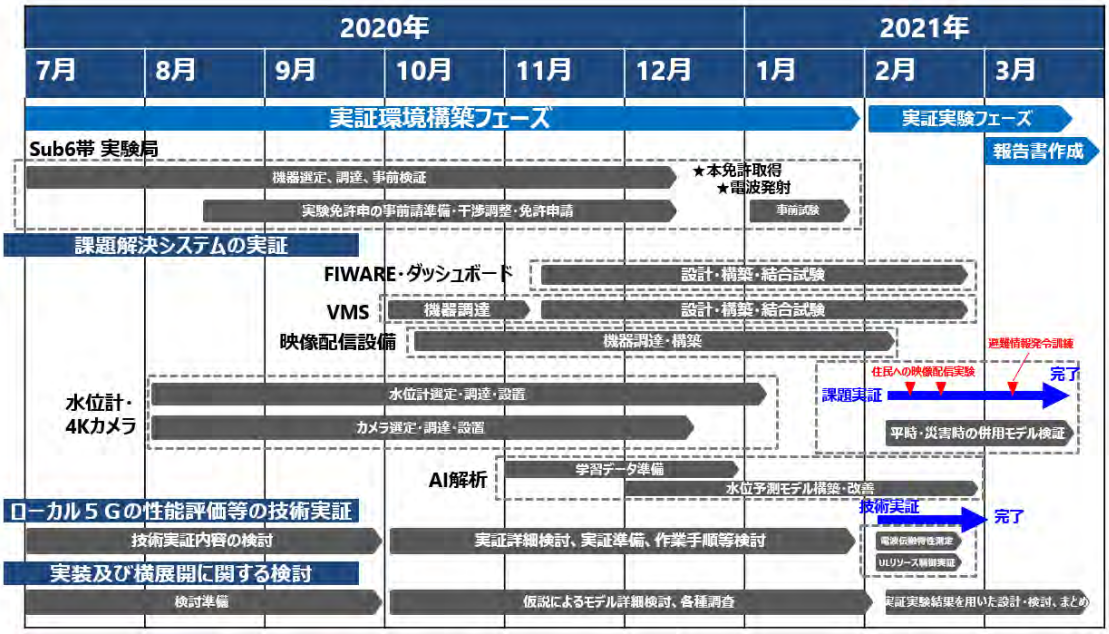
【コンソーシアム主要各社/団体】



【実証環境構築体制】



1.4 実証のスケジュール



1.5 免許申請の概要

本実証実験では 4.8GHz～4.9GHz の 100MHz 帯域を用いたローカル 5G 機器（基地局 2 局、移動局 5 局）の実験試験局免許を取得しました。

1.5.1 免許申請スケジュール

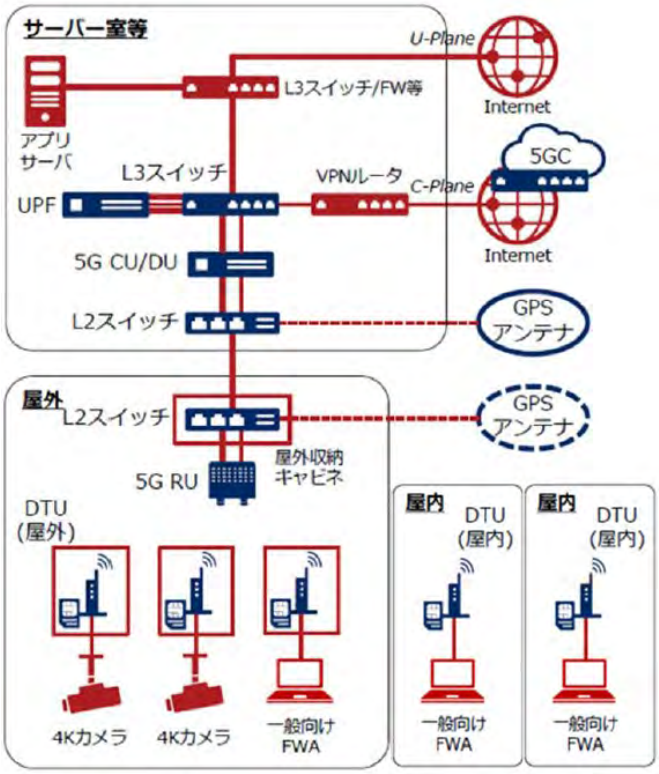
実験計画書提示～本免許交付までのスケジュールを下図に示します。

	2020 年				2021 年
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
事業者間調整、本省確認					
本省指示伺い					
予備免許審査					
登録点検					
落成検査					
本免許審査					

10/15 申請受理
11/19 予備免許取得
11/27 完了
12/14 完了
12/22 本免許取得

1.5.2　システム構成

本実証実験にて使用した 5G システムの構成を下図に示します。



1.5.3　実験試験局概要

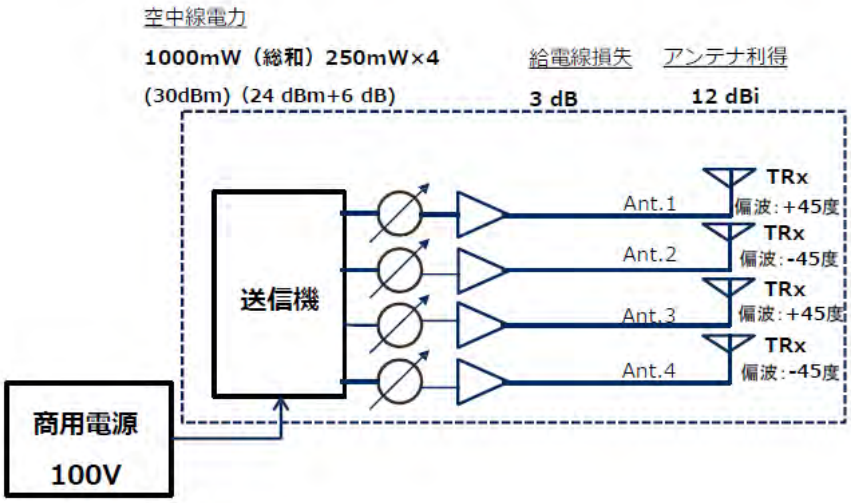
以下に、基地局の諸元情報を記載しました。

項目	諸元
識別信号	とちぎけーぶるそのべちょうＬ５Ｇきちじっけんだいいち、だいに
実験周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
電波の型式	X7W
変調方式	OFDM
送信出力	1W（0.25W×4）
雑音指数	5.6dB
製造者名	○○社 INDUSTRIAL INTERNET
型式又は名称	RTQN-7901
空中線型式等	空中線型式：平面アンテナ　/　偏波面：±45 度
空中線地上高	17m
空中線利得	12dBi
指向方向	330 度から 30 度の間を断続的に手動で変更
水平面の主輻射の角度の幅	60 度
空中線の位置	緯度：36.22.27　/　経度：139.42.46
実験試験局数	2 局（同期及び準同期）

※非公開情報を含むため一部文章を削除

以下に、基地局の無線系統図を示します。

無線設備系統図



利得

送信電力　：30dBm(1000mW)
損失　：3 dB
アンテナ利得：12 dBi

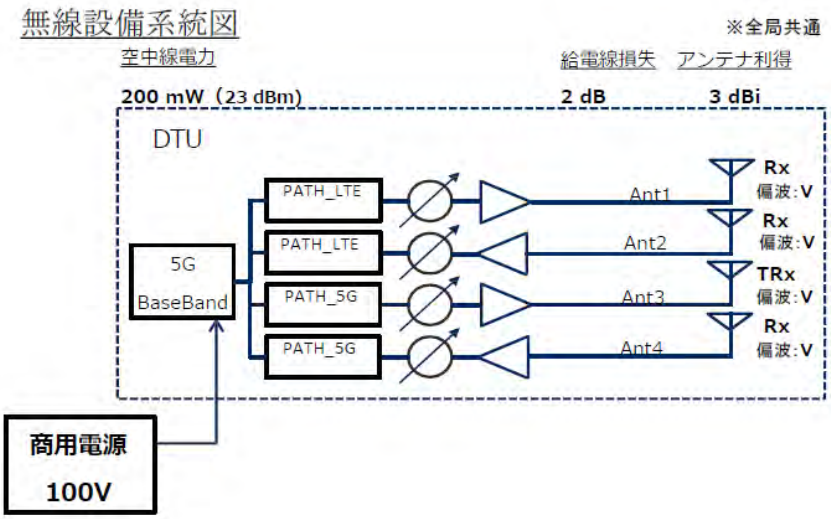
→EIRP：39dBm

以下に、移動局の諸元情報を記載しました。

項目	諸元
識別信号	とちぎけーぶるそのべちょうＬ５Ｇいどうじっけん１～５
実験周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
電波の型式	X7W
変調方式	OFDM
送信出力	0.2W
雑音指数	6dB
製造者名	○○社 INDUSTRIAL INTERNET
型式又は名称	5G DTU
空中線型式等	空中線型式：ダイポールアンテナ　/　偏波面：V
空中線地上高	1～6m
空中線利得	3dBi
移動範囲	栃木県栃木市薗部町の一部　/　栃木県栃木市平井町の一部
実験試験局数	5 局

※非公開情報を含むため一部文章を削除

以下に、移動局の無線系統図を示します。

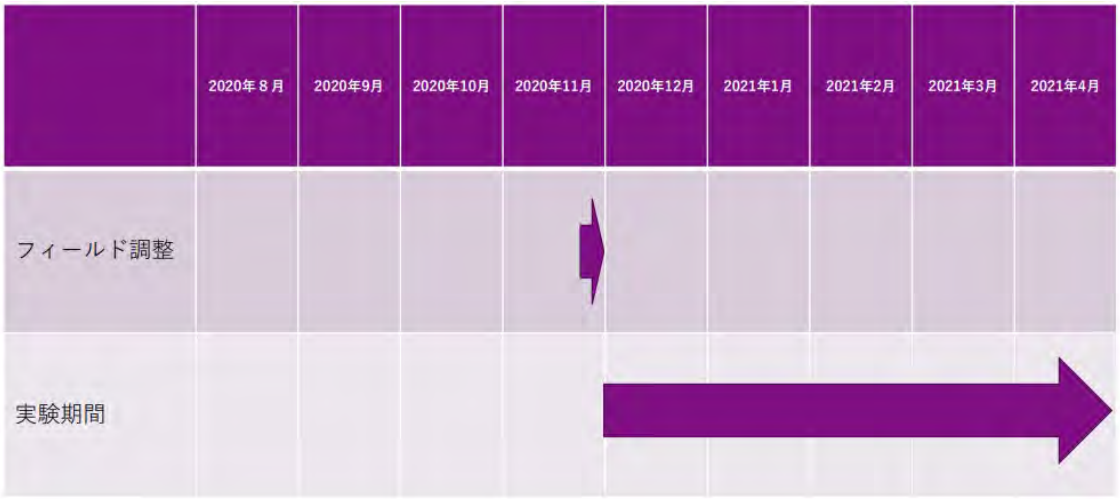


利得

送信電力　　：23 dBm(200 mW)
損失　　：2 dB
アンテナ利得：3 dBi

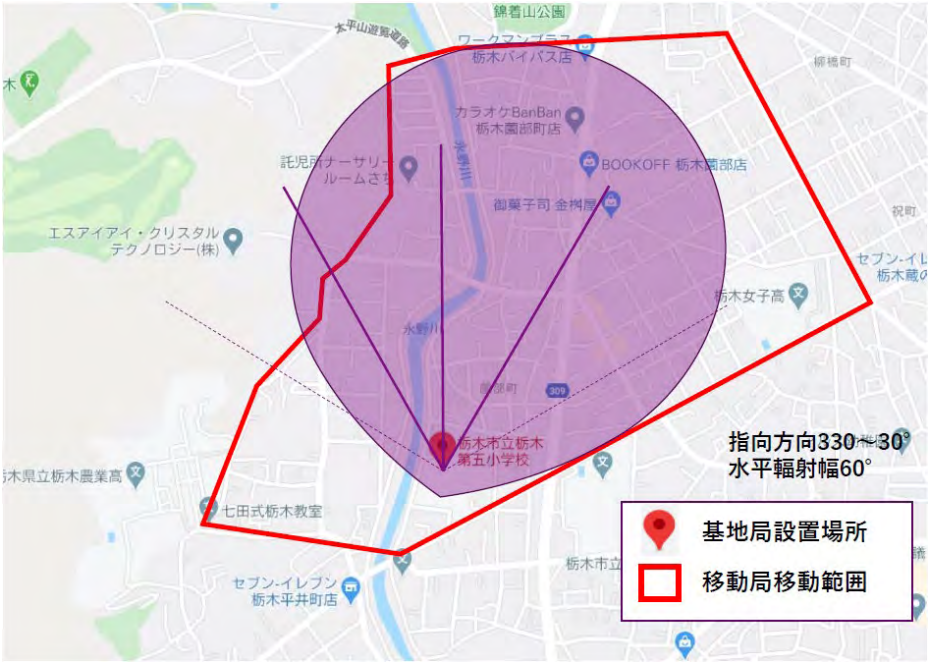
→EIRP：24 dBm

以下に、申請した電波発射スケジュールの図を示します。



1.5.4　カバーエリア

以下に、基地局のカバーエリア図を示します。



1.5.5　干渉調整

干渉調整の結果は以下のとおりです。

【携帯電話事業者】

株式会社 NTT ドコモとは、前述の免許申請と同等の情報を提示し、2020 年 9 月に合意を得ました。

【4.7GHz 帯域実験試験局事業者】

4.6～4.9GHz 帯域での実験試験局は栃木県、茨城県、群馬県において御座いませんでした。

2. 実証地域

2.1 実証地域の概要

栃木市は、平成 22 年（2010 年）3 月 29 日に、栃木市・大平町・藤岡町・都賀町の 1 市 3 町が合併して誕生しました。

平成 23 年（2011 年）10 月 1 日には、西方町と合併し、平成 26 年（2014 年）4 月 5 日に、栃木市と岩舟町が合併しました。

本市は、栃木県の南部に位置し、東京から鉄道でも、高速道路でも約 1 時間の距離にあります。

南北約 33.1km、東西約 22.3km、面積 331.50km2 で、壬生町、小山市、野木町、佐野市、鹿沼市などに接しており、また、茨城、栃木、群馬、埼玉の 4 県の県境が接する稀有な地域でもあります。

地勢としては、新市の西に「三毳山（みかもやま）」と「岩船山（いわふねさん）」、中央には「太平山（おおひらさん）」を中心とする太平山県立自然公園が広がり、南にはラムサール条約登録地である「渡良瀬遊水地（わたらせゆうすいち）」など県南のシンボル的な自然景観を有しています。

さらには「渡良瀬川（わたらせがわ）」、「思川（おもいがわ）」、「巴波川（うずまがわ）」、「永野川（ながのがわ）」「三杉川（みすぎがわ）」などの豊かな河川が新市域を流れています。また、北東部から南東部にかけては関東平野に連なる平坦地が広がり、県内有数の農業地帯でもあります。

市においては、豊かな自然環境を活かした観光振興や、農産物などを活用した地域ブランドの活性化によるまちづくりの推進が期待できます。

（栃木市ホームページ 栃木市紹介より引用）
https://www.city.tochigi.lg.jp/soshiki/4/1663.html

2.2 実証環境

栃木市は内陸部に位置するため夏暑く冬寒い気候です。降水量は夏場は多く冬場は乾燥します。夏季は夕立が頻繁に発生し、発雷日数も日本有数です。夏は気温が 30℃を超える日も多く、35℃以上の猛暑になる日もあります。冬は最低気温-5℃以下に冷え込む日もあり、降雪日数も年に数日あります。

栃木　平年値(年・月ごとの値)　詳細(降水量)

要素	降水量(mm)						
	合計	各階級の日数					
		≧1.0mm	≧10.0mm	≧30.0mm	≧50.0mm	≧70.0mm	≧100.0mm
統計期間	1981～2010	1981～2010	1981～2010	1981～2010	1981～2010	1981～2010	1981～2010
資料年数	30	30	30	30	30	30	30
1月	33.2	4.0	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0
2月	42.3	5.4	1.7	0.1	0.1	0.0	0.0
3月	81.1	9.6	3.0	0.3	0.0	0.0	0.0
4月	109.7	10.3	3.7	0.9	0.2	0.0	0.0
5月	137.2	11.7	4.9	1.1	0.3	0.1	0.0
6月	161.4	14.0	5.2	1.4	0.3	0.1	0.0
7月	190.4	14.4	5.9	1.9	0.6	0.3	0.1
8月	193.7	11.4	4.8	2.2	1.0	0.6	0.1
9月	206.8	12.8	6.1	2.0	0.7	0.4	0.2
10月	142.2	10.1	4.1	1.3	0.6	0.3	0.1
11月	62.9	6.5	2.1	0.5	0.1	0.0	0.0
12月	34.2	3.8	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0
年	1394.8	114.0	44.2	12.1	4.0	1.9	0.6

出典：気象庁ホームページ　(URL:
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=41&block_no=0340&year=&month=&day=&view=a1)

実証実験エリア
地図データ@2020 Google

28GHz 帯局アンテナの指向方向を撮影

巴波川（4K カメラ撮影箇所）

4.7GHz 帯基地局 アンテナ指向方向を撮影（アンテナ位置より 2-3m 程下から撮影）

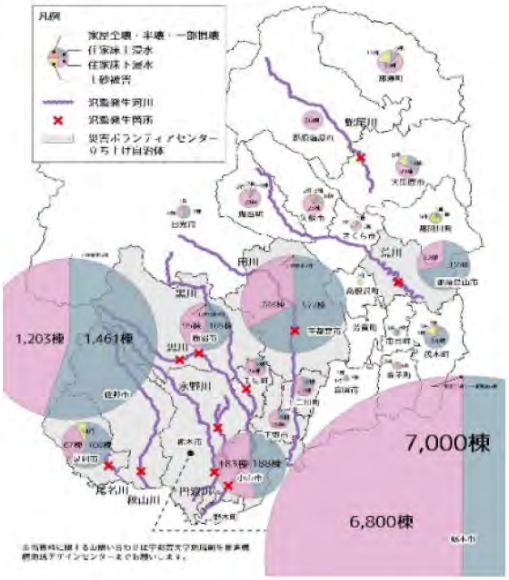
永野川　（4K カメラ撮影箇所）

2.3 地域課題等

日本は自然的条件から災害が発生しやすい特性を有しており、近年も各地で台風やゲリラ豪雨等による河川越水や道路冠水など、甚大な被害が発生していました。実証地域である栃木市の巴波川と永野川については、栃木市の中心部、まだ住宅が密集する地域を流れており、河川の決壊や越水、溢水など氾濫が発生した際には、甚大な被害を及ぼす恐れがあります。現に令和元年東日本台風（台風第 19 号）の際には、複数箇所での決壊等が発生したことにより甚大な被害を及ぼしました。現在も復旧復興を進めている状況にあり、今後の防災対策において重要な河川です。

県	市町	床上浸水 （棟）	床下浸水（棟）
栃木県	**栃木市**	**3,916**	**4,000**
	下野市	9	25
	壬生町	8	33
茨城県	結城市	6	2
	筑西市	27	3
群馬県	館林市	0	0
	板倉町	0	0
	明和町	0	0
	千代田町	0	0
	邑楽町	0	0
エリア合計		3，966	4，063

ケーブルテレビエリアの被害状況　※速報値



避難情報の発令にあたっては、河川の水位、現在・今後の雨の降り方、気象庁が発表する防災気象情報（台風情報、気象警報・注意報、記録的短時間大雨情報、土砂災害警戒情報、洪水予報、天気予報など）や避難情報を発令する時間帯など総合的に判断し発令することになります。

特に河川の水位や雨の状況は、避難情報の発令の判断に重要な役割を果たすことになるが、中小河川を含めると多数の河川の状況を注視しなければならず、複数河川で同時に避難判断水位に達する可能性もあるため、避難情報のスムーズな発令のタイミングなどに困難さが増していました。

また、水位が上昇中や上昇した河川の確認、災害の発生を把握した河川など、現地状況を確認することも重要となるが、確認には時間と人的労力、危険が伴うため、情報の迅速な把握に困難さが増しており、ライブカメラの設置やモニタリング体制の整備が必要です。

本実証では、防災ダッシュボードにより、避難情報発令の判断の必要な情報収集に掛かる時間を削減します。また、河川の状況をライブカメラにより遠隔でモニタリングすることで、現地確認の駆けつけに要する時間と現地確認の危険性を削減します。更には、河川映像や画像を地域住民へ多様な手段で届けることで、住民の避難意識を向上させて適切な避難行動を促進します。

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

本実証においては、栃木市の 2 か所の実証フィールドにおいてそれぞれ、4.8-4.9GHz 帯域（Sub6）を利用した Stand Alone 方式のローカル 5G システムと、28.2-28.3GHz 帯域（ミリ波）を利用した Non Stand Alone 方式のローカル 5G システムを使用しました。4.8-4.9GHz 帯域を利用した Stand Alone 方式については、関連装置（CU/DU、UPF 等）をケーブルテレビ株式会社のヘッドエンドに設置し、インターネット回線を通じてコア設備（NEC クラウドコア）と接続しました。28.2-28.3GHz 帯域（ミリ波）を利用した Non Stand Alone 方式については、関連装置（BBU 等）をケーブルテレビ株式会社のヘッドエンドに設置し、JPNAP 回線を通じてグレープ・ワン社のコア設備に接続しました。
栃木市役所への防災情報提供システムとしては、FIWARE（データ利活用プラットフォーム）とダッシュボードサーバを NEC クラウド上に持ちます。水位計等の情報については当該クラウドに情報を集約し、インターネット回線を通じて栃木市役所の防災対応の PC とモニターに表示させます。また、同モニターに河川カメラ映像を表示させますが、これについてはケーブルテレビ株式会社のヘッドエンドに設置する Video Management System（VMS）に映像データを集約し、ケーブルテレビ株式会社と栃木市役所の間の専用線を介して栃木市役所の PC に映像データを届けてモニターに表示させます。
住民への映像配信としては、河川カメラ映像を VMS 等の設備を介してコミュニティチャネル等の設備に映像データを送信し、住民がテレビやスマートフォン等の多様な手段で映像を視聴できる環境を構築しました。

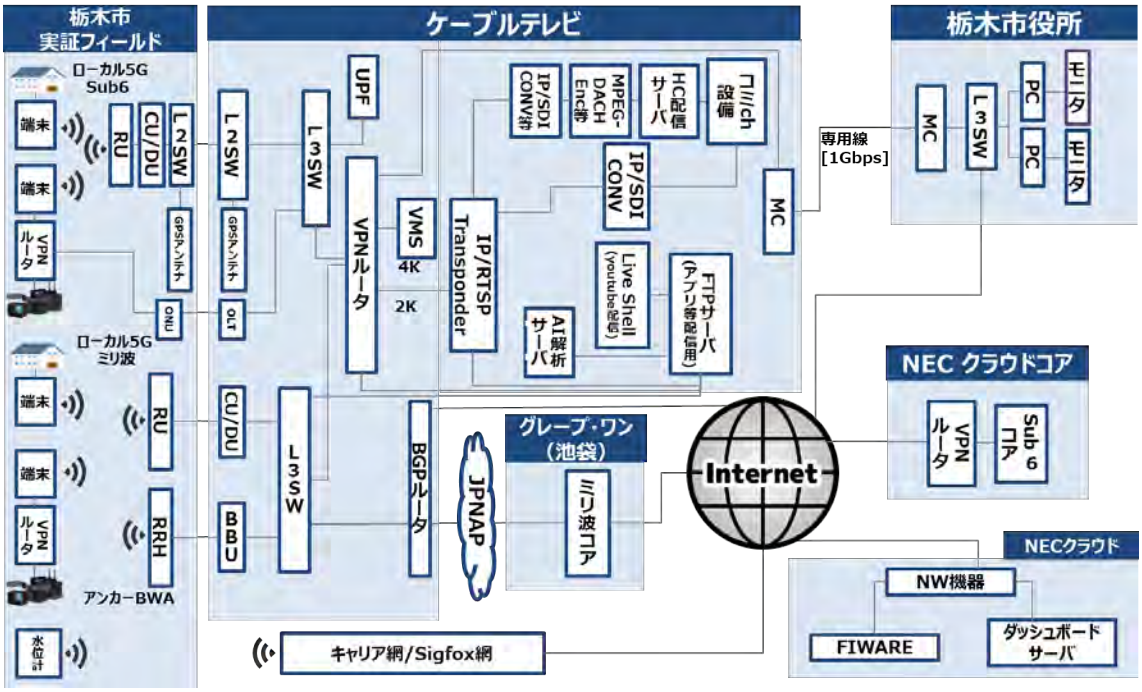


図 3-1 ネットワーク構成図全体

図 3-2 に 、全体構成図に置いて防災情報の可視化と AI を活用した水位予測で使用する主要なシステムの該当箇所をハイライトして示します。防災の情報ソースとして、と栃木市内河川から取得する 4K カメラと水位計を使用しました。伝送網としては、4K カメラはローカル 5G システム（ミリ波帯）及び有線伝送網、水位計は全国キャリア網及び Sigfox 網

を使用しました。ローカル 5G システムのコアネットワーク設備は、ミリ波帯ではグレープ・ワンの設備を使用しました。ケーブルテレビ株式会社建物内には、ローカル 5G システムの一部の設備、及び映像管理システムと AI 解析サーバを設置しました。映像データは、ケーブルテレビ株式会社と栃木市の間の専用線を通じて自治体の防災対応を行う危機管理課事務室へ伝送しました。水位計データと AI 解析結果のデータは NEC クラウドの FIWARE に集約し、ダッシュボードサーバを通して栃木市危機管理事務室の PC 端末から閲覧しました。

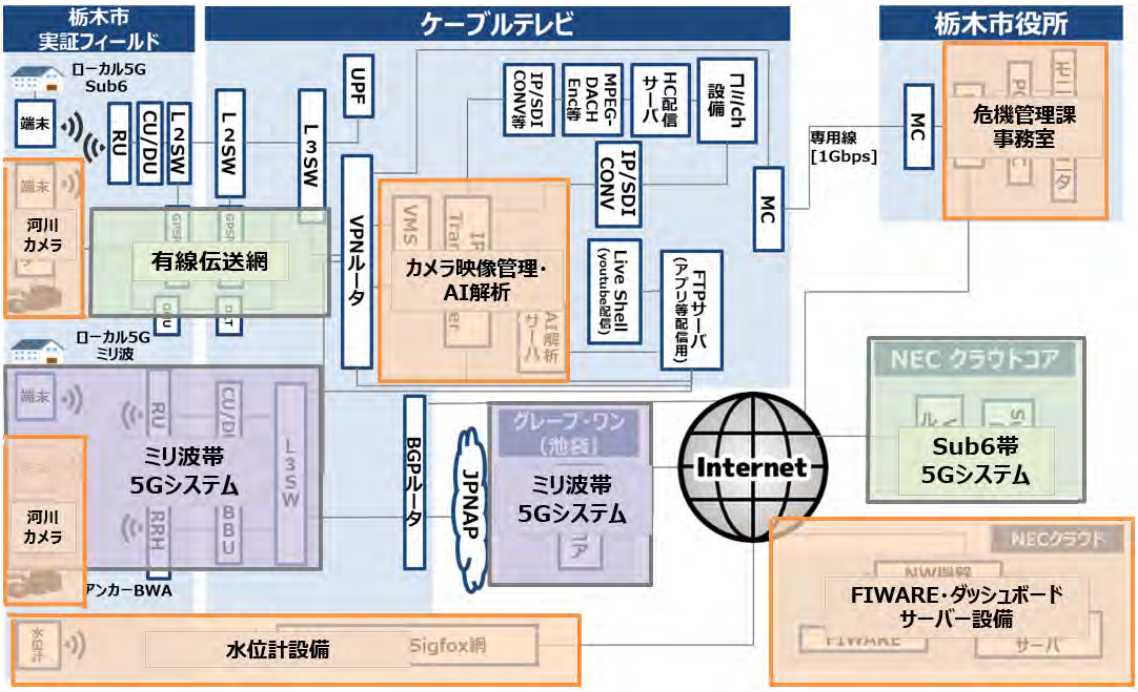


図 3-2 ネットワーク構成図 防災情報の可視化と AI を活用した水位予測

次の図 3-3 では、地域住民向けの高精細映像配信で使用する主要なシステムをハイライトして示します。4K カメラ映像を、ローカル 5G システム（ミリ波帯）及び有線伝送網を通して伝送し、ケーブルテレビ株式会社建物内の各種配信設備を通して住民へ配信しました。住民は、ケーブルテレビ株式会社のコミュニティチャネルやスマートフォン、PC など多様な手段で河川の状況を閲覧可能になります。

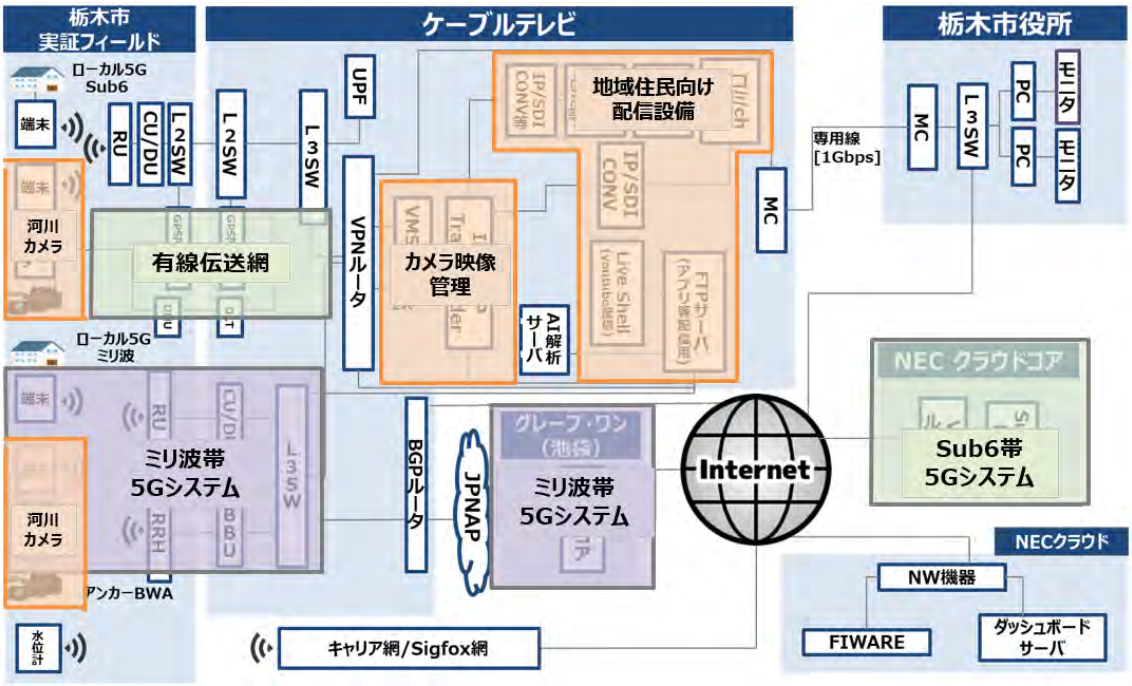


図 3-3 ネットワーク構成図 地域住民向けの高精細映像配信

図 3-4 に平時・災害時の併用モデルに関する検証で使用する主要なシステムをハイライトして示します。ここでは、Sub6 帯とミリ波帯それぞれの基地局のカバレッジエリアにおいて無線端末を複数個所設置し、河川カメラ接続及び一般向けインターネット接続サービス（FWA）を同時に運用することを前提とした併用モデルの検証を行いました。

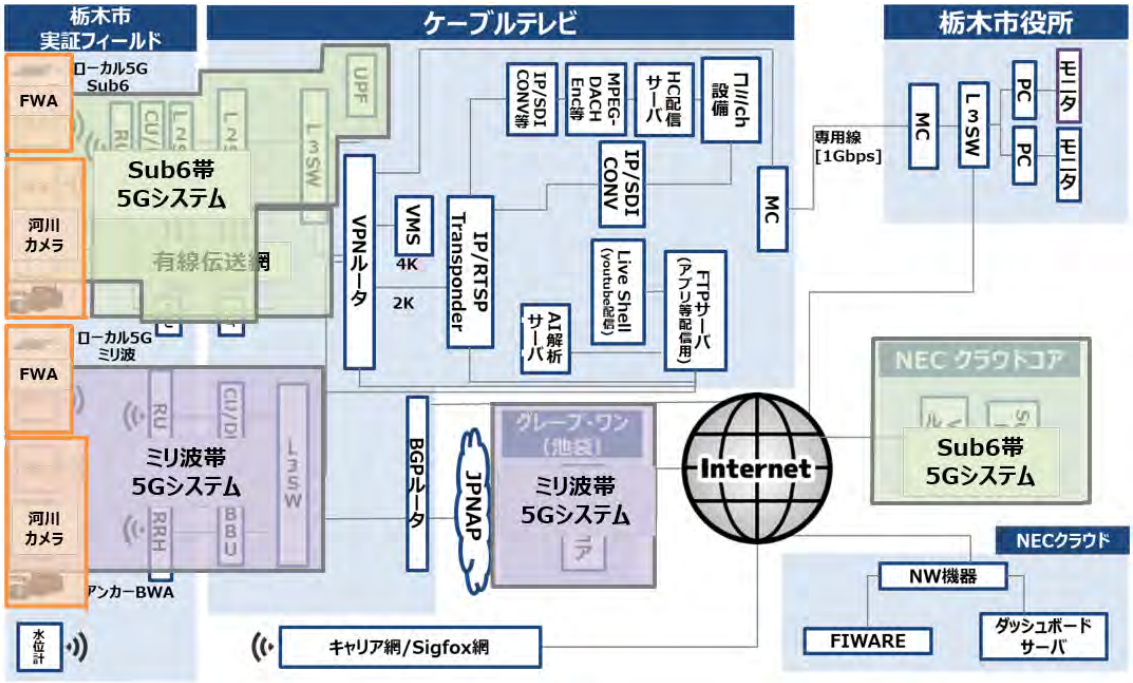


図 3-4 ネットワーク構成図 平時・災害時の併用モデル

図 3-5 に技術実証（5. ローカル５Ｇの性能評価等の技術実証）で使用する主要なシステムをハイライトして示します。ここでは、Sub6 帯の基地局のカバレッジエリアにおいて

無線端末及び 4K カメラを暫定的に設置し、20 個所程度の測定を実施しました。

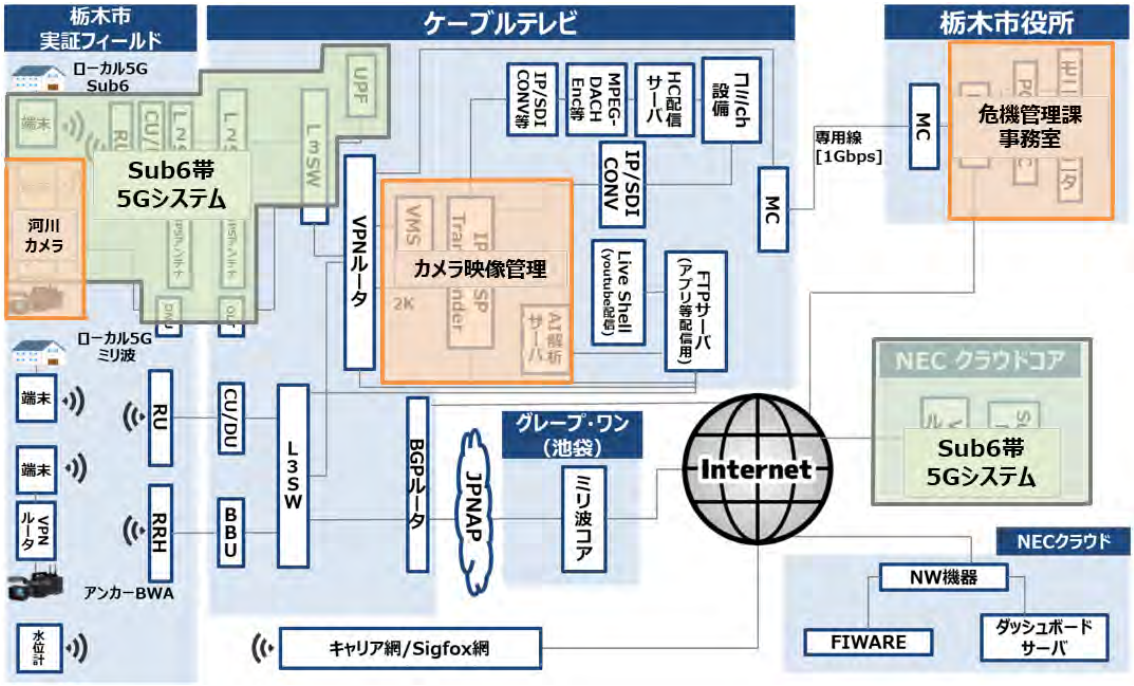


図 3-5 ネットワーク構成図 技術実証

以下に、基地局関連及び本課題実証に用意した装置の一覧を記載します。

表 3-1 装置一覧

カテゴリ	項目	詳細	数量
基地局	BWA 基地局	市街地 ※実証費用対象外	1
	28GHz 帯基地局	市街地 ※実証費用対象外	1
	4.7GHz 帯基地局	市西部	1
端末	28GHz 帯端末（屋内）	市街地（FWA 検証用）	10
	28GHz 帯端末（屋外）	市街地（FWA 検証用）	10
	28GHz 帯端末（カメラ接続用）	4K カメラ通信用	1
	4.7GHz 帯端末（屋内）	市西部（FWA 検証用）	1
	4.7GHz 帯端末（屋外）	市西部（FWA 検証用）	1
	4.7GHz 帯端末（カメラ接続用）	4K カメラ通信用	2
4K カメラ	-	河川監視用	3
水位センサ	超音波式水位計	Private Lora 仕様	2
	水圧式水位計	Sigfox 仕様	3
サーバ類	FIWARE	情報連携基盤	1
	ダッシュボードサーバ	水位データ、AI 分析結果等の一覧表示	1
	VMS（Video Management System）	4K 映像の管理サーバ	1

※設置形態は原則固定だが、技術実証においては 4.7GHz 端末は可搬として電波測定・実証を行いました。

以下に、基地局と端末の製造メーカの一覧を記載します。

表 3-2 製造メーカー一覧

カテゴリ	項目	製造メーカ
基地局	BWA 基地局	ノキア社
	28GHz 帯基地局	ノキア社
	4.7GHz 帯基地局	コア：NEC 社、無線機：〇〇社
端末	28GHz 帯端末（屋内）	Inseego 社
	28GHz 帯端末（屋外）	Askey 社
	4.7GHz 帯端末（屋内）	〇〇社
	4.7GHz 帯端末（屋外）	〇〇社

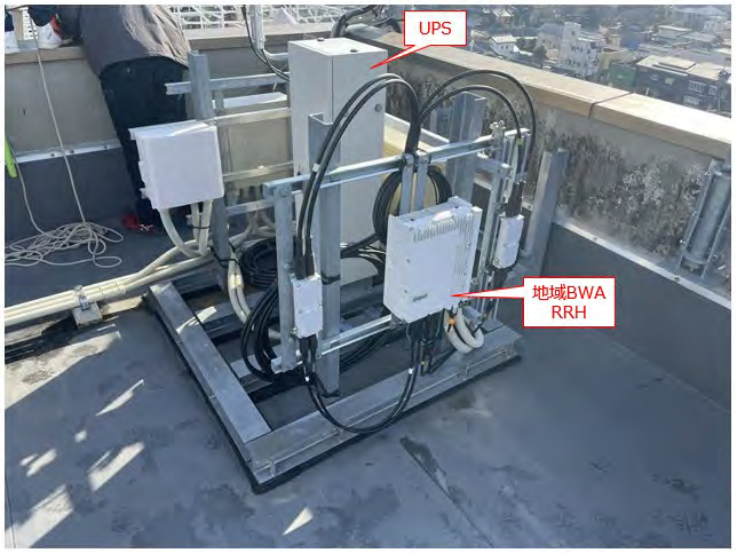
※非公開情報を含むため一部文章を削除

図 3-6 に、基地局・4K カメラ・水位計の設定位置を示します。

図 3-6 基地局・4K カメラ・水位計の位置関係

地図データ@2020 Google

4.7GHz 帯基地局



28GHz 帯基地局

4K カメラの設置

以下の図に、FWA 検証用端末の位置を示します。
4.7GHz 帯エリア

図 3-7 4.7GHz 帯エリアの FWA 端末位置
地図データ@2020 Google

28GHz 帯エリア

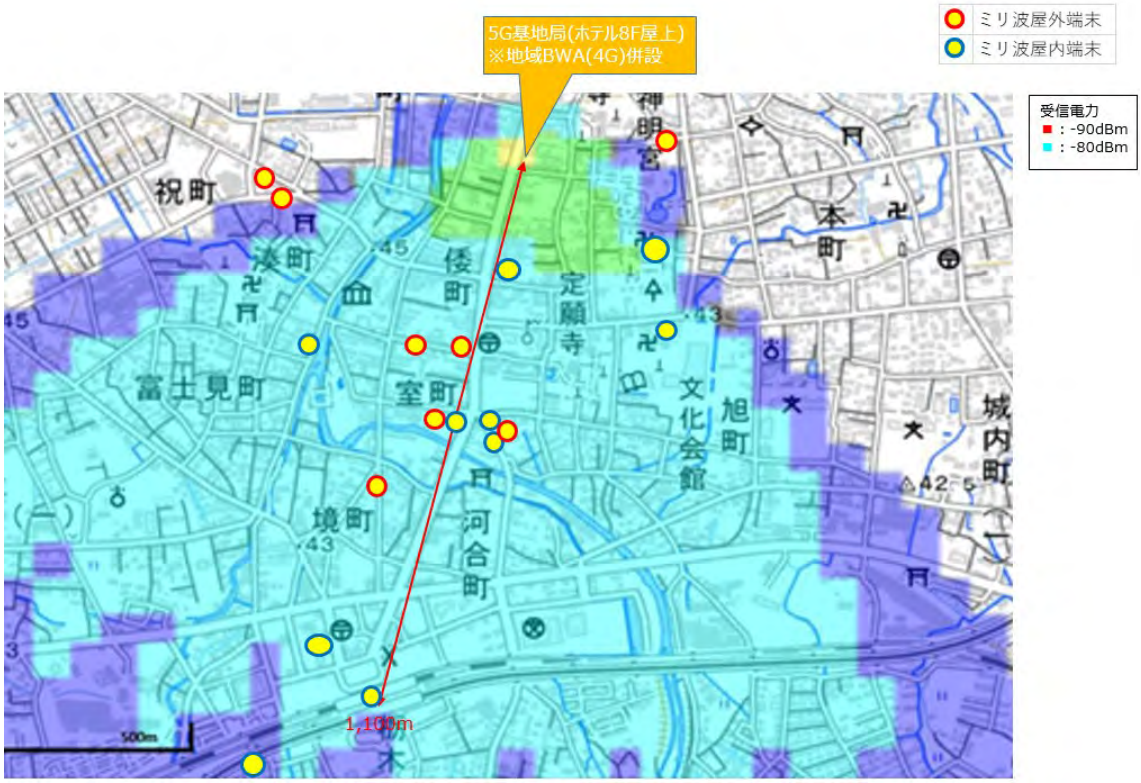


図 3-8　28GHz 帯エリアの FWA 端末位置

地図データ@国土地理院

以下に、各基地局のシミュレーション図を示します。

4.7GHz 帯エリア

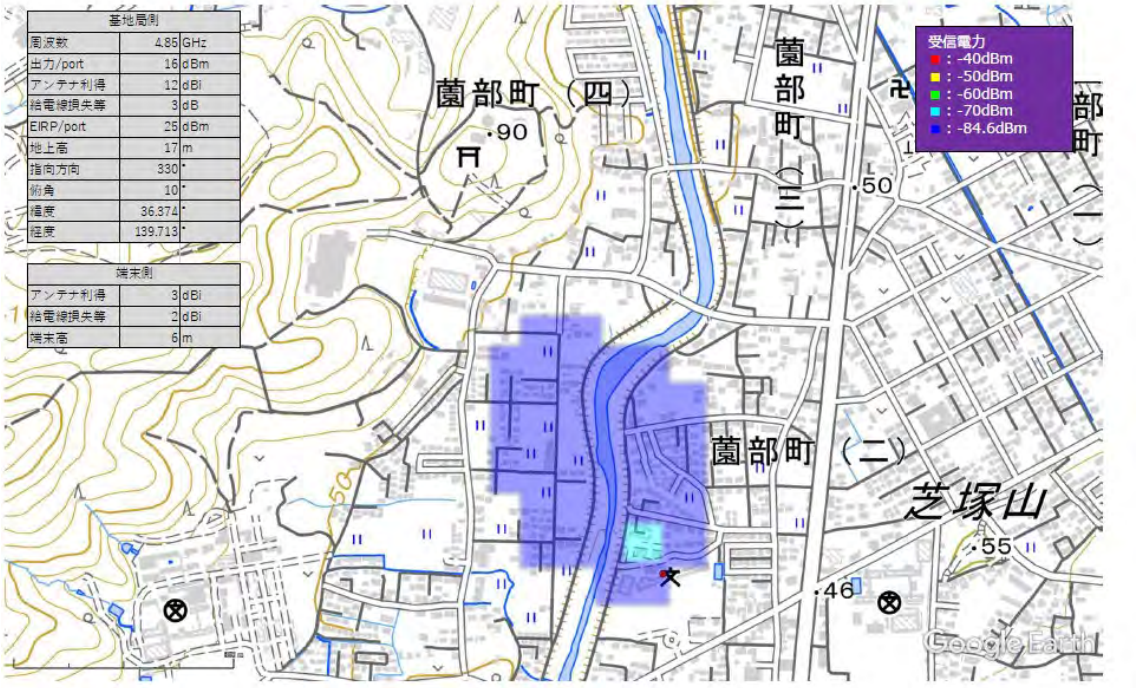
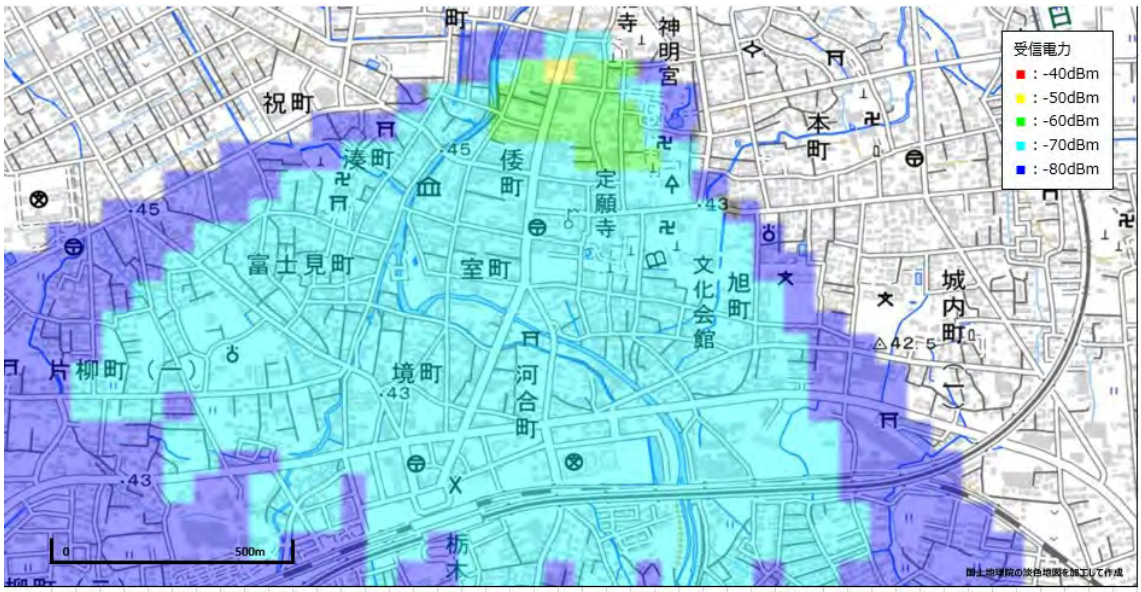


図 3-9 4.7GHz 帯エリアシミュレーション図

地図データ@国土地理院

28GHz 帯エリア



設定値			
基地局名	しとちぎけーぶるよろずちょう０１	基地局EIRP	44 dBm
設置場所(北緯, 東経)	36°22'54",139°44'04"	基地局指向方向	195 °
中心周波数	28.25 GHz	基地局機械チルト	16 °
周波数帯域幅	100 MHz	移動局アンテナ高	20 m
基地局アンテナ高	39 m	移動局空中線利得	10 dBi
基地局ANT型式/AU名	AWEUA	移動局給電線損失	0 dB

連絡先	
社名:	ケーブルテレビ 株式会社
部署:	
担当:	米澤 哲哉
住所:	栃木県栃木市嘉ノ口町43-5
電話:	0282-25-1811

図 3-10 28GHz 帯エリアシミュレーション図

地図データ@国土地理院

3.2 システム機能・性能・要件

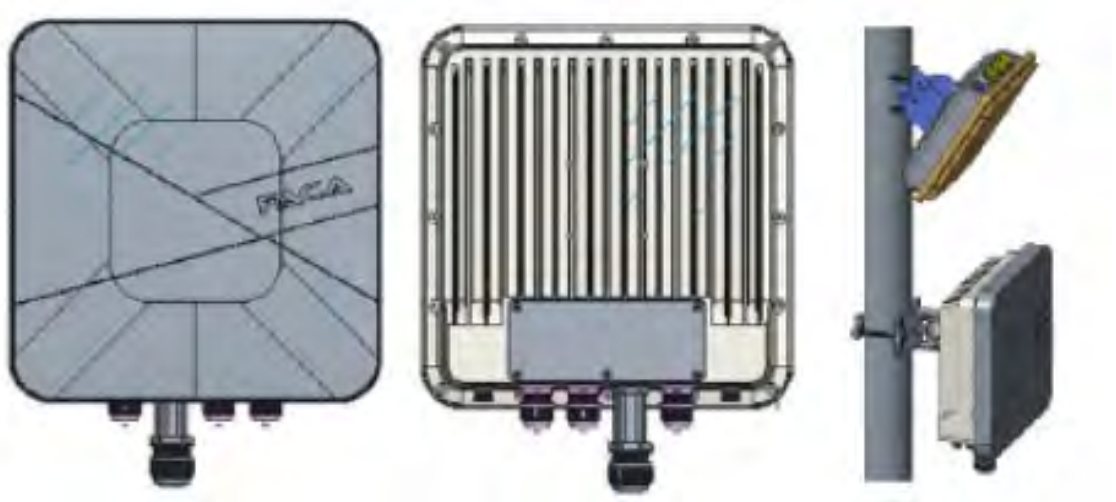
本実証では 4K 高精細カメラの映像伝送を行うためアップリンクにおいて大容量のデータ伝送が必要となります。下表に各装置の要件を示します。

項目	要件	データの特徴
4.7GHz 帯エリア基地局・端末	4K カメラ接続用端末 2 台、及び FWA 検証用端末 2 台を接続する ダウンリンク： 4K カメラ接続用端末は微小トラフィック（管理信号） FWA 検証用端末は 1 台当り約 3Mbps、2 台で合計約 6Mbps を想定 アップリンク： 4K カメラ接続用端末 1 台当り約 30Mbps、2 台で合計約 60Mbps を想定 FWA 検証用端末は 1 台当り約 1Mbps、2 台で合計約 2Mbps を想定	4K カメラ接続用端末： アップリンクの高精細映像の大容量データ FWA 検証用端末： 一般ユーザを想定したインターネット接続サービスのため、ダウンリンクの利用比重が高い。Youtube 等の動画閲覧を想定。
28GHz 帯エリア基地局・端末	4K カメラ接続用端末 1 台、及び FWA 検証用端末 20 台を接続する ダウンリンク： 4K カメラ接続用端末は微小トラフィック（管理信号） FWA 検証用端末は 1 台当り約 3Mbps、20 台で合計約 60Mbps を想定 アップリンク： 4K カメラ接続用端末 1 台当り約 30Mbps を想定 FWA 検証用端末は 1 台当り約 1Mbps、20 台で合計約 20Mbps を想定	4K カメラ接続用端末： アップリンクの高精細映像の大容量データ FWA 検証用端末： 一般ユーザを想定したインターネット接続サービスのため、ダウンリンクの利用比重が高い。
4K カメラ	・屋外での使用条件に準じた防雨性、耐候性 ・暗視性能：50m（設置地点から対岸をカバーする距離） ・ビデオ圧縮：H.264 対応（ストレージ容量削減、及び汎用性） ・解像度：4K（目視の代替及び画像 AI 解析のため一定程度必要） ・フレームレート：30fps（目視の代替のため一定程度必要）	・高精細映像の大容量データ
水位計	・測定間隔：10 分（防災業務の実務上の必要性） ・測定精度：±1cm（一般的な水位計精度として規定）	・数値情報等の微小データ

4.7GHz 帯エリアでは、4.8-4.9GHz 帯に対応した SA(Stand Alone)方式のローカル 5G シス

テムを使用しました。以下に主要な無線機器を示します。

【4.7GHz 帯・RU】



項目	内容
メーカ	○○社
寸法	約 325(L) x 316(W) x 106.4(H) mm アンテナ部: 約 255(L) x 255(W) x 82(H) mm
質量	約 5kg 以下 アンテナ部: 約 2kg
電源電圧	12V DC/5A
消費電力	最大 60W
運用温度	-10 ℃ ～ +55 ℃
無線アクセス方式	5G-NR TDD n79
対応周波数 帯域	4.8 ～ 4.9GHz (n79)
送信電力（空中線電力）	30dBm (24dBm/Port)
アンテナ	パッチアンテナ(4T/4R)
チャネル帯域幅	100MHz

※非公開情報を含むため一部文章を削除

【4.7GHz 帯・DTU（端末)】

項目	内容
メーカ	○○社
寸法	約 195(h) x 224.5(w) x 201.7(d) mm
質量	約 1kg
電源電圧	12-24V
消費電力	最大 18W
運用温度	0 ℃ ～ +50 ℃
対応周波数 帯域	・5G-NR(mmW) n257/258/261 ・5G-NR(Sub6) n1/3/8/20/28/41/66/71/77/79 ・4G LTE B1/3/4/8/12/13/14/20/25/26 B28/30/34/39/40/41/42/43/46 B48/66/71
送信電力（空中線電力）	23dBm
スループット	UL:94Mbps DL:1,403Mbps ※送受信時の技術規格上の最大値

※非公開情報を含むため一部文章を削除

28Ghz 帯エリアでは、28.2-28.3GHz 帯に対応した NSA(Non Stand Alone)方式のローカル 5G システムを使用しました。以下に主要な無線機器を示します。

【28Ghz 帯・RRH】

項目	内容
メーカ、型番	ノキアソリューションズ&ネットワークス、 AWEUA
寸法	270mm×325mm×115mm
質量	重量 10kg（アンテナ内蔵）
電源電圧	90 - 288 VAC
消費電力	最大 240W ， 定格 200W
運用温度	-40°C～ +55°C
無線アクセス方式	5G-NR TDD
対応周波数 帯域	28,200MHz～28.300MHz
送信電力（空中線電力）	44 dBm
アンテナ	内蔵アンテナ; 128 エレメント デュアル偏波（8x8 配列）; H/V 偏波 2×2MIMO ビーム幅；12° （水平面、垂直面） 水平スキャン角度: 90° (3 dB) 垂直スキャン角度: 30° (3 dB)
チャネル帯域幅	100MHz

【28Ghz 帯・端末】
屋内用端末

項目	内容
メーカ、型番	Inseego、Mi2000
寸法	150mm x 170mm x 18mm
質量	250g
対応周波数 帯域	5G：バンド n257(28GHz 帯)対応 バンド n79(Sub6 帯)対応 4G：バンド B41(2.5Ghz 帯)対応
スループット	(TBU)
その他	Wifi6:802.11 b/g/n/ax 2x2 MU-MIMO アンテナ内蔵型

屋外用端末

項目	内容
メーカ、型番	Askey、RTL0306

寸法	170mm x 100mm x 33mm
質量	(TBU)
対応周波数 帯域	5G：バンド n257(28GHz 帯)対応 4G：バンド B41(2.5Ghz 帯)対応
スループット	(TBU)
その他	アンテナ内蔵型

【4K カメラ】

項目	内容
メーカ、型番	AXIS、P1378-LE Network Camera
ビデオ圧縮	H.264 対応、H.265 対応
フレームレート	25/30 フレーム/秒
メモリ	RAM2GB、フラッシュ 512MB
赤外線照射	照射距離 50m 以上
動作条件	-40℃ ～ 60℃
寸法	404mm x 159mm x 168mm
重量	2.4kg

【水位計①】

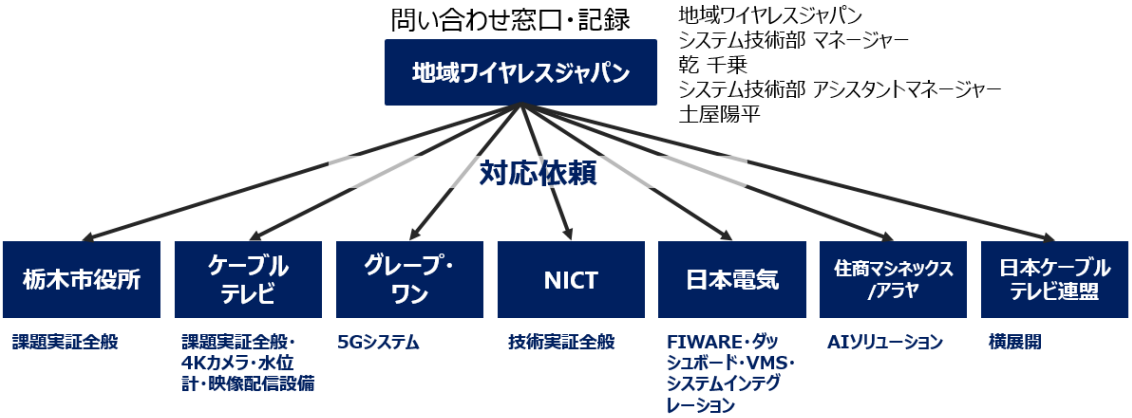
項目	内容
メーカ、型番	NEC マグナスコミュニケーションズ、PR-C04/05
通信仕様	Private Lora
水位測定	超音波式
測定頻度	・full モード時は 10 分間隔で測定・データ送信 ・eco モード時は 10 分間隔で測定し、満水率 10% 未満の場合は 1 時間間隔で 6 回分のデータを送信 *eco モード運用時に、閾値以上の水位を観測した 場合、full モードへ自動切替が可能
測定精度	±1cm

【水位計②】

項目	内容
メーカ、型番	オサシ・テクノス、SFLG-1
通信仕様	Sigfox
水位測定	水圧式
測定頻度	・水位測定は１秒～24 時間で設定可能 ・データ送信は 1 秒から 24 時間で設定可能。 閾値以上の水位を観測した場合、別途設定している観測頻度・送信頻度へ自動切替が可能
測定精度	精度：±0.1% F.S. *例えば、深さ 10m の水圧センサケーブルで測定する場合、0.1%の±1cm)

3.3 実証環境の運用

本実証実験では、ケーブルテレビ株式会社にて Sub6 の 4.7GHz 帯システム(4.8-4.9GHz 帯)無線局（実験局）免許の申請取得を予定していました。無線局免許の取得に当たっては、無線局の設置予定の場所における必要な電波干渉調整をし、関係事業者及び免許人等の合意を得た上で行いました。上記合意取得後、総務省関東総合通信局に無線局免許申請を行い、実証試験開始までに無線局免許を取得しました。実証を開始する前には、実証参加者等に対するシステム利用に関する研修を実施し、システム操作方法や実証方法について説明しました。具体的には、自治体向けの課題解決ダッシュボードや河川映像監視については、実証内で行う避難情報発令訓練の事前に、訓練に参加する自治体職員に向けてダッシュボードの操作方法や河川映像の閲覧方法の研修を実施しました。また、地域住民向け映像配信については、参加者住民に対して参加当日に用意した情報閲覧方法を説明しました。なお、実証期間中の問い合わせの体制図を下図に示します。地域ワイヤレスジャパンが実証参加者等からの問合せ等に対応し、内容に従って栃木市役所、ケーブルテレビ、グレープ・ワン、NICT、日本電気、住友商事マシネックス/アラヤ、日本ケーブルテレビ連盟と連携する体制を構築しました。実証期間中の問合せなどは地域ワイヤレスジャパンが記録し、「4. 課題解決システムの実証」の各項目に記載しました。



【地域住民向け映像配信の実験参加住民への説明】
日時： 2 月 9 日 9:00～17:30、2 月 17 日 09:00～12:10
（新型コロナウイルス感染拡大防止のため 1 グループ 5 名程度とし、合計 14 グループに対して実験及び事前説明を実施した。）
場所：ケーブルテレビ株式会社
参加者：「4.4.2 アー３ ：地域住民向けの高精細映像配信」に参加者属性を記載（匿名でアンケート調査実施）
説明資料：「4.4.2 アー３ ：地域住民向けの高精細映像配信」に記載

【VMS の運用方法説明】
日時： 2020 年 12 月
場所：ケーブルテレビ株式会社
参加者：ケーブルテレビ株式会社
説明者：日本電気株式会社

資料：参考資料１：取扱説明書_VMS.pdf

参考資料に沿って、以下項目について説明会を行いました。

取扱説明一覧	
1	VMS計算機起動・停止
2	VMS計算機・Windows Serverバックアップ/リストア
3	VMSサービスの起動及び停止
4	カメラ設定データの新規追加
5	カメラ設定データの既存設定情報の変更
6	カメラ設定データの削除
7	後段利用系PC側に対するVMS内アカウント新規作成
8	後段利用系PC側に対するVMS内アカウントや設定情報等の更新・変更
9	映像録画期間の設定変更
10	VMS計算機のIPアドレス（2つのLANセグメント）の変更方法
11	カメラ追加等のライセンスマニュアル更新によるアクティベート方法

【AI 解析サーバーの運用方法説明】
日時： 2021 年 1 月
場所：ケーブルテレビ株式会社
参加者：ケーブルテレビ株式会社
説明者：アラヤ株式会社
説明内容：AI 解析サーバー（ワークステーション）の基本的な操作方法について説明会を行いました。AI 解析処理の実行と停止の切替方法は、サーバー自体の電源 ON と OFF によって行います。サーバーの電源 ON により、AI 解析プログラムが自動的に起動する仕様です。

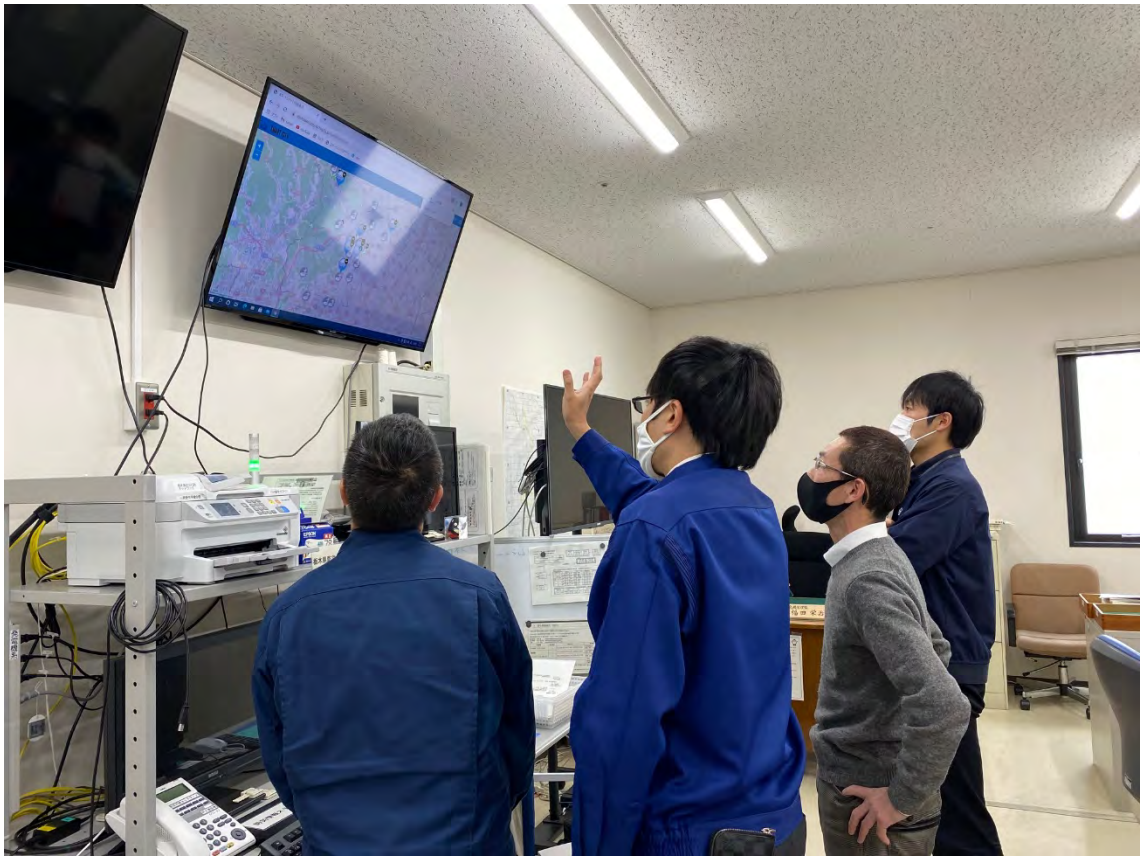
【自治体向け防災ダッシュボードの操作方法説明】
日時： 2021 年 2 月
場所：栃木市役所 危機管理課室
参加者：栃木市 危機管理課、株式会社地域ワイヤレスジャパン
説明者：日本電気株式会社
資料：参考資料２：栃木市防災ダッシュボード 操作マニュアル.docx、参考資料３：栃木市防災ダッシュボード 操作マニュアル(ユーザー管理).docx

以下の項目に沿って説明会を行いました。
1　はじめに
1.1　栃木市防災ダッシュボードとは
1.2　栃木市防災ダッシュボードの使いかた
1.3　用語定義
2　システムの利用をはじめる
3　トップ画面の使いかた
4　マップ画面の使いかた

4.1　マップを操作する
4.2　アイコンの見かた
4.2.1 防災 IoT（水防）関連
4.2.2 防災 IoT（避難場所）関連
4.3　表示するアイコンを選ぶ
4.4　アラートの見かた
5　　防災 IoT（水防）の操作
5.1　詳細情報を見る
5.1.1 水位
5.1.2 水位（県 HP）
5.1.3 降雨量
5.2　センサーを検索する
5.2.1 水位
5.2.2 水位（県 HP）
5.2.3 降雨量
5.3　センサー情報をダウンロードする
5.4　グラフを表示する
5.4.1 水位
5.4.2 水位（県 HP）
5.4.3 降雨量
5.5　履歴をダウンロードする
5.5.1 種類別一括ダウンロード
5.5.2 センサー別一括ダウロード
5.5.3 センサー情報のダウンロード
5.6　センサーのしきい値を変更する
5.6.1 水位
5.6.2 水位（県 HP）
5.6.3 降雨量
5.7　カメラ映像を見る
5.7.1 河川のカメラ映像
6　　防災 IoT（避難場所）の操作
6.1　詳細情報を見る
6.1.1 指定緊急避難場所
6.2　避難場所を検索する
6.2.1 指定緊急避難場所
6.3　指定緊急避難場所情報をダウンロードする
6.4　避難場所の情報を変更する
6.4.1 指定緊急避難場所
6.5　指定緊急避難場所を登録する
6.6　避難場所を削除する
6.7　避難場所をリセットする

7　　お知らせ設定の使いかた
7.1　お知らせを登録する
8　　付録
8.1　使用可能ブラウザ
8.2　ユーザごとにご利用になれる機能
8.3　アラート一覧
8.4　防災 IoT 一覧
8.4.1 水位
8.4.2 水位（県 HP）
8.4.3 降雨量
8.4.4 指定緊急避難場所
8.5　こんなときは

栃木市役所 危機管理課室における説明会の様子



【その他】
・FIWARE サーバーと防災ダッシュボードサーバーの運用に関しては、日本電気株式会社のクラウド型サービスであるためサーバー自体は日本電気株式会社が運用するものであり、本実証において運用者向け説明は不要としました。

4. 課題解決システムの実証

4.1 前提条件

本実証実験に先立って、栃木市役所 危機管理課やケーブルテレビ株式会社、自主防災組織（旭町三丁目自治会自主防災会）等へのヒアリングや、令和元年台風 19 号被害に関する住民アンケート調査を分析し、以下の現状把握・課題抽出を実施しました。また、栃木県土木事務所へは本案件の趣旨を説明し、既設の県管理の水位計の設置ノウハウに基づいて、水位計が流水や流入物に悪影響を生じさせぬよう流れの影となる地点へ設置するといったアドバイスを河川管理者より受けました。

【防災情報の可視化と AI を活用した水位予測】

自治体における避難情報の発令にあたっては、河川の水位、気象情報、現場河川の目視情報など多くの情報を基に総合的に判断し発令することになります。確認する情報の多くはインターネットを介したものであり（「とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報」等)、現状、日常的に使用する業務用のノートパソコンとは別に出水期に配備されるインターネット接続用ノートパソコン 2 台に多くの情報を表示し、画面を切り替えながら確認しているため視認性が悪く、情報の確認漏れや見落としの恐れ、職員間でスムーズに情報を共有できない状況にあります。特に避難情報の発令を判断する基準水位が設けられている河川の水位は重要な役割を果たすことになりますが、基準水位が設けられている河川は複数あり、それら河川の水位を注視しなければならず、発令の基準となる水位に複数の河川で同時に達した場合、避難情報のスムーズな発令においても支障をきたす恐れがあるという課題があります。以上の栃木市へのヒアリングの結果として抽出した課題の解決として、情報収集時間短縮のための防災情報の一元表示ダッシュボード、及び職員の河川監視負荷低減のための AI の活用が効率的かつ効果的なシステム高度化であると考えます。

尚、栃木市の既存の防災情報システムにはＬアラートや緊急速報メール等があるが、栃木市職員が本実証実験における課題解決システムから情報を得た後、職員による発令等の判断を基に実施するものであり、本実証において提供する課題解決システムと直接の連携は行わないものとしました。

以下に、「とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報」の表示例を示します。河川の水位（はん濫危険水位等の基準水位の超過状況含む）と河川画像を閲覧します。

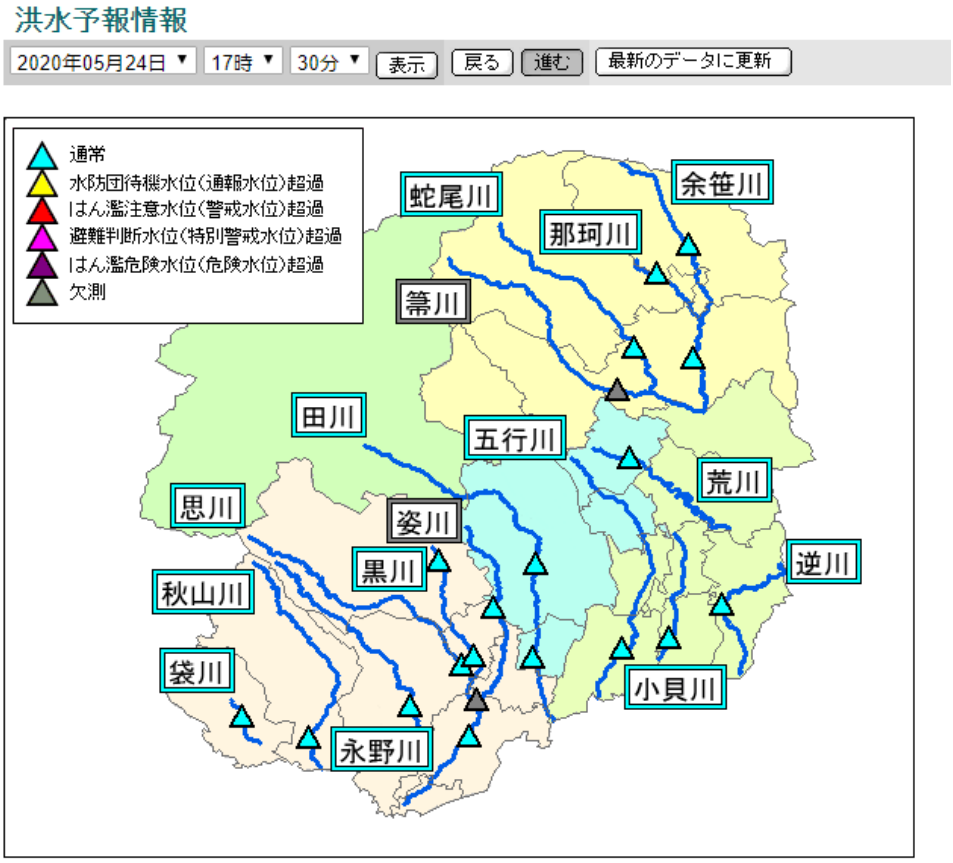


図 4-1 とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報の表示例 1
（引用元：とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報
URL:https://www.dif.pref.tochigi.lg.jp/index.asp）

図 4-2 とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報の表示例 2

（引用元：とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報
URL:https://www.dif.pref.tochigi.lg.jp/index.asp）

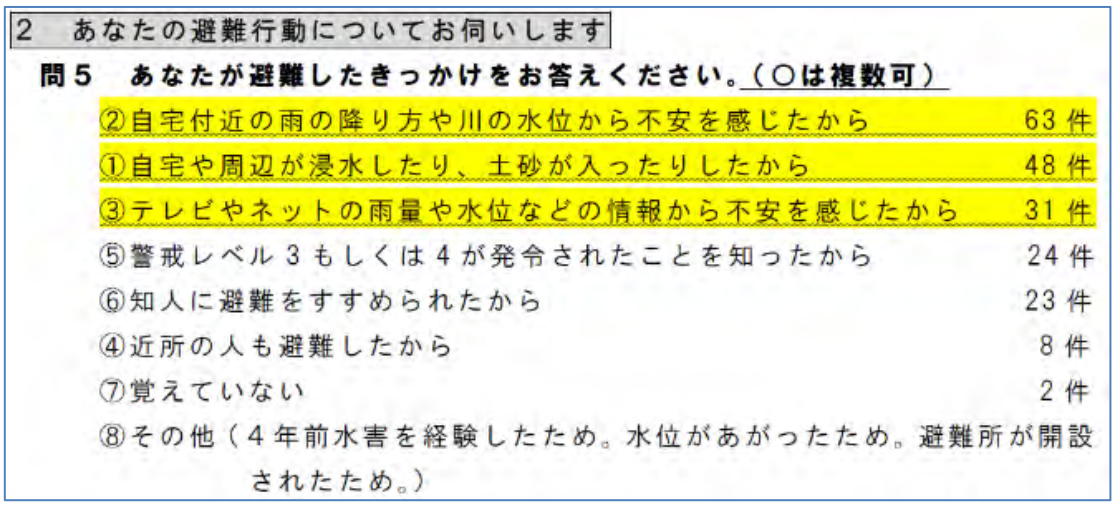
地域	事務所	河川	観測局	5/24 17:30		5/24 17:20		5/24 17:10		5/24 17:00		5/24 16:50		5/24 16:40		5/24 16:30	
				水位	水位差分	水位	水位差分	水位	水位差分	水位	水位差分	水位	水位差分	水位	水位差分	水位	水位差分
				(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
南西部	安足土木	姥川	(県)久野橋	-0.92	0.00	-0.92	0.00	-0.92	0.00	-0.92	0.00	-0.92	0.00	-0.92	0.00	-0.92	0.00
		幹線水路	(県)沼縁樋門	1.25	－	－	－	1.25	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00
		旗川	(県)白旗橋	0.61	0.00	0.61	0.00	0.61	0.00	0.61	0.00	0.61	0.00	0.61	-0.01	0.62	0.00
		旗川	(国)高田橋	-0.16	0.00	-0.16	0.00	-0.16	0.00	-0.16	0.00	-0.16	0.00	-0.16	0.00	-0.16	0.00
		三杉川	(県)願成寺橋	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00
		秋山川	(県)葛生大橋	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	－	－	－	0.07	0.00
		秋山川	(県)大橋	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00
		秋山川	(国)伊保内橋	1.75	0.00	1.75	-0.01	1.76	0.00	1.76	0.01	1.75	0.01	1.74	0.00	1.74	-0.01
		袋川	(県)千歳橋	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
		矢場川	(県)後河原橋	0.48	0.00	0.48	0.01	0.47	-0.01	0.48	0.00	0.48	0.00	0.48	0.00	0.48	0.00
		渡良瀬川	(国)早川田上	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	0.00	0.57	-0.01
		渡良瀬川	(国)岩井	-0.55	0.00	-0.55	-0.01	-0.54	0.00	-0.54	0.00	-0.54	0.00	-0.54	0.00	-0.54	0.00
		渡良瀬川	(国)足利	0.37	0.00	0.37	0.00	0.37	0.00	0.37	0.00	0.37	0.00	0.37	0.00	0.37	0.00
		渡良瀬川	(国)葉鹿橋	0.33	0.00	0.33	-0.01	0.34	0.00	0.34	0.01	0.33	-0.01	0.34	0.01	0.33	0.00
		矢場川	(国)足森橋	0.29	0.00	0.29	0.00	0.29	0.00	0.29	0.00	0.29	0.00	0.29	0.00	0.29	0.00
		松田川	(県)松田	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00
		松田川	(県)葉鹿	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	0.00
	宇都宮土木	姿川	(県)淀橋	0.68	0.00	0.68	0.00	0.68	0.00	0.68	0.00	0.68	0.00	0.68	0.00	0.68	0.00
	鹿沼土木	思川	(県)天満橋	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
		大芦川	(県)御幣岩橋	-0.85	0.00	-0.85	0.00	-0.85	-0.01	-0.84	0.01	-0.85	0.00	-0.85	-0.01	-0.84	0.00
		武子川	(県)武子川橋	-0.17	0.00	-0.17	0.00	-0.17	0.00	-0.17	0.00	-0.17	0.00	-0.17	0.00	-0.17	0.00
		黒川	(県)府中橋	1.09	0.00	1.09	0.00	1.09	0.00	1.09	0.01	1.08	0.00	1.08	0.00	1.08	0.00
	栃木土木	永野川	(県)永倉橋	0.03	0.00	0.03	-0.01	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
		永野川	(県)大平橋上	0.11	0.00	0.11	-0.01	0.12	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00
		永野川	(国)山下橋	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	-0.01	0.43	0.00	0.43	0.00	0.43	0.00
		姿川	(県)姿川橋	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
		思川	(県)保橋	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00
		思川	(県)観晃橋	0.47	0.00	0.47	-0.02	0.49	0.02	0.47	0.00	0.47	-0.02	0.49	0.01	0.48	-0.02
		思川	(国)乙女	-0.67	-0.01	-0.66	0.00	-0.66	0.00	-0.66	0.00	-0.66	0.00	-0.66	0.00	-0.66	0.00
		思川	(国)大光寺	-3.12	0.00	-3.12	0.00	-3.12	0.00	-3.12	0.00	-3.12	0.00	-3.12	0.00	-3.12	0.00
		巴波川	(県)倭橋	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
		巴波川	(国)中里	0.31	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00
		渡良瀬川	(国)藤岡	-2.22	0.00	-2.22	0.00	-2.22	0.00	-2.22	0.00	-2.22	0.00	-2.22	0.00	-2.22	0.00
		黒川	(県)東雲橋	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
日光地	日光土木	大谷川	(県)冰瀬橋	0.19	0.00	0.19	0.00	0.19	0.00	0.19	0.00	0.19	0.01	0.18	-0.01	0.19	0.00

図 4-3 とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報の表示例 3

（引用元：とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報
URL:https://www.dif.pref.tochigi.lg.jp/index.asp）

【地域住民向けの高精細映像配信】

栃木市では令和元年台風 19 号による住家被害が　7,994 世帯（床上浸水：3953 世帯　床下浸水：4015 世帯　土砂災害等：26 世帯）にものぼり、県内で最も多くの被害を受けた市町村となりました。その後の台風 19 号に関する住民に向けたアンケートの避難行動のきっかけに関する設問では、住民自身による状況判断が上位を占める結果となっていました。地域住民自身による状況判断に資するような視覚的な防災情報伝達手段は、現状はテレビや一部の静止画映像のみに限られていました。そこで、住民自身の目視による危険の確認に代わる手段として、河川の高精細映像を配信し閲覧してもらうことが効率的かつ効果的な解決法であると考えます。



2　あなたの避難行動についてお伺いします

問５　あなたが避難したきっかけをお答えください。（○は複数可）

②自宅付近の雨の降り方や川の水位から不安を感じたから	63 件
①自宅や周辺が浸水したり、土砂が入ったりしたから	48 件
③テレビやネットの雨量や水位などの情報から不安を感じたから	31 件
⑤警戒レベル３もしくは４が発令されたことを知ったから	24 件
⑥知人に避難をすすめられたから	23 件
④近所の人も避難したから	8 件
⑦覚えていない	2 件
⑧その他（４年前水害を経験したため。水位があがったため。避難所が開設されたため。）	

図 4-4 台風 19 号に関する住民に向けたアンケート結果の一例

また、下図に住民の避難情報の現状の入手媒体を示します。

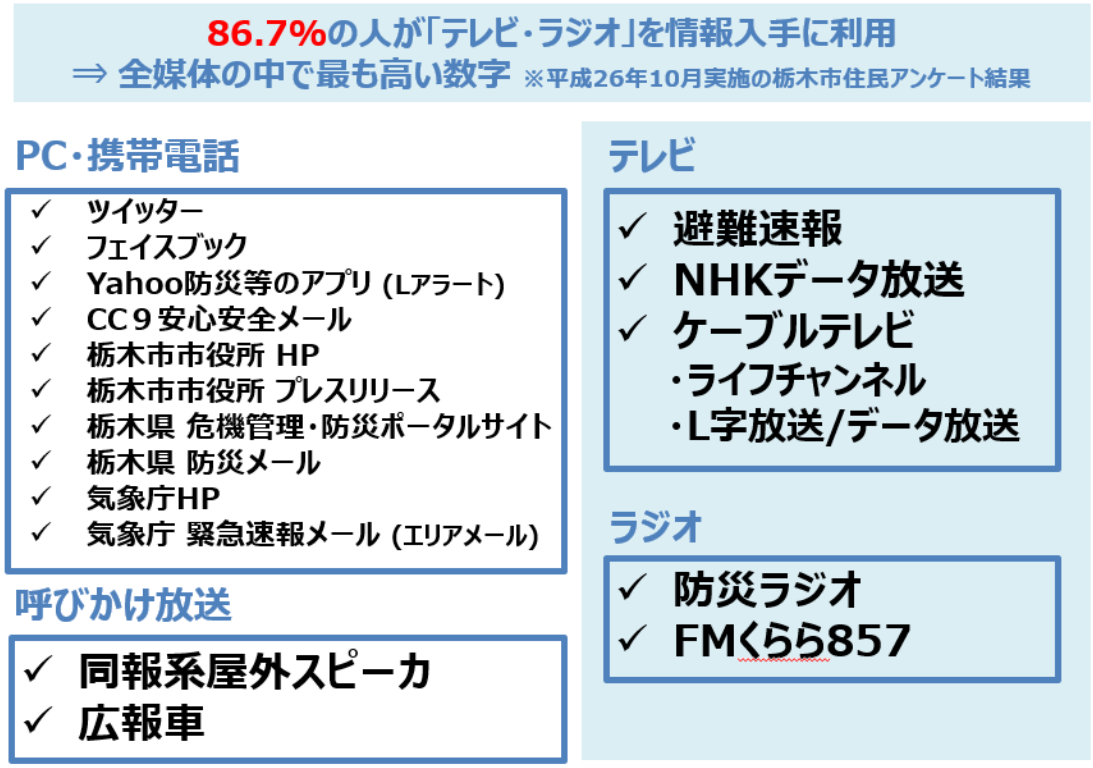


図 4-5 住民の避難情報の現状の入手媒体

【平時・災害時の併用モデルに関する検証】

本実証では、ローカル 5G システムを活用し、高精細の河川監視カメラ映像を市役所内から遠隔監視することで迅速かつ安全な現地状況把握を実現し、避難情報のスムーズな発令に役立てます。また、高精細の河川カメラ映像をケーブルテレビのコミュニティチャネル等で地域住民へ届けることで、適切な避難行動の促進を図ります。しかし、想定される課題として、当該関連設備の運用に係る費用が自治体及びケーブルテレビ事業の負担となり、

システムの中長期的な維持が困難になるという可能性が考えられます。ここで、導入するローカル 5G システムを防災用途だけでなく、FWA として利用し、一般向けの高速インターネット接続サービスとして提供することが経済性の観点で効率的かつ効果的であると考えます。

4.2 実証目標

【防災情報の可視化と AI を活用した水位予測】

防災ダッシュボードを導入することにより、画面を切り替えながら確認していた防災気象情報等を一元的に確認できる環境を整えることで、視認性を向上させると共に職員間でのスムーズな情報の共有が図れる体制を作ります。また、河川の高精細映像を基にした画像 AI 解析により、水位推定を基にして河川の状況変化を捉えてアラートを発報することで、複数の河川カメラ映像の同時監視における水位上昇の見落としを防ぎます。以上の実証により、避難情報のスムーズな発令を目指しました。

【地域住民向けの高精細映像配信】

本実証における河川の映像をケーブルテレビのコンテンツを介して幅広い層の住民が視聴し、また、動画配信サービスを利用したスマートフォン・パソコンなどの多様な媒体での視聴を可能にすること、さらに高精細映像でより鮮明な河川状況の可視化をリアルタイムで配信することで危機感を正確に伝え、地域住民の方々の防災に対する意識を高めることにつながり、それが早期の避難や迅速に行動へ移すことへのきっかけとなることを実証目標としました。

【平時・災害時の併用モデルに関する検証】

設置したローカル 5G システムの活用対象を高精細カメラ映像の無線伝送に限らず、一般ユーザ向けインターネットサービス提供を併用して運用して一定の収入を得ることで、費用負担の面でも持続可能なシステムを目指しました。

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

4.3.1 アー１：高精細映像と AI を活用した水位予測

4.3.1.1 課題解決システム概要

本システムは、河川の洪水や氾濫などの防災を目的として、4K カメラで撮影した高精細映像と AI を活用することで、河川の水位を予測しました。ローカル 5G の基地局と送受信する 4K カメラからの撮影映像を水位予測モデルの入力として、AI がリアルタイムに河川の状況を判断することで、避難勧告までの判断のサポートや、状況変化の見逃しを防止し、防災の高度化を実現に向けた検証を行いました。

水位計や雨量データを用いた防災アプローチも考えられますが、各データの入手元が異なることから、人が各データを収集し、共有された各種情報を経験的に優先度付けするなど情報を整理した上で判断する必要がありました。そのため、避難勧告の発令までに長い時間を要することや、状況変化の見逃しが発生することが課題となっていました。（図 4.3.1.1-1）

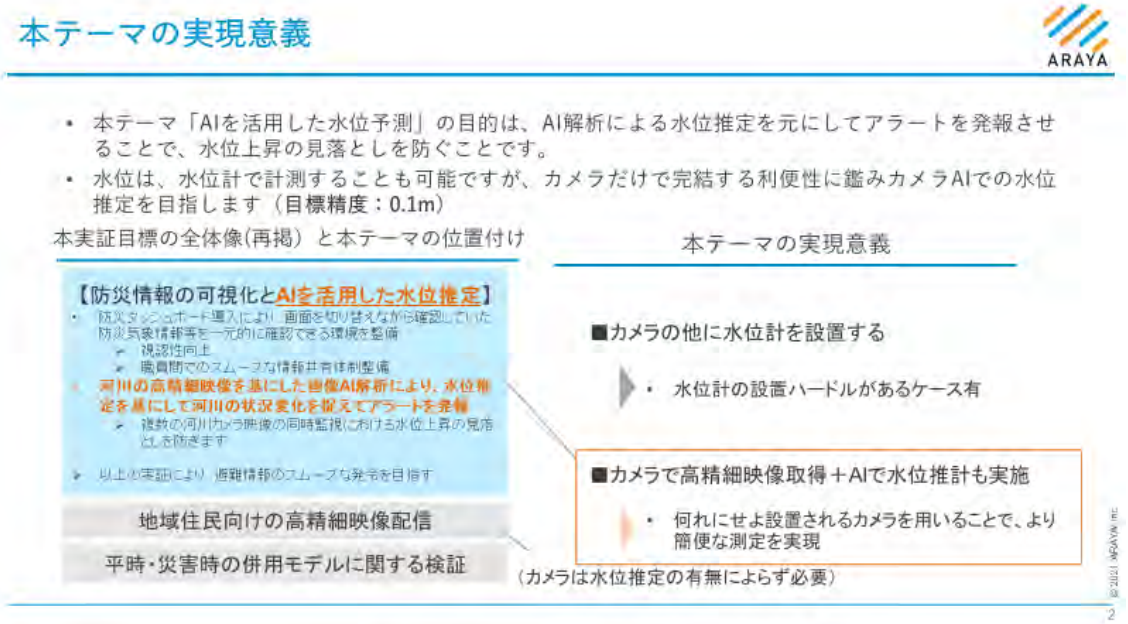


図 4.3.1.1-1

カメラ映像を活用した河川水位の予測を目的として、本検証では、河川の画像を入力とし河川の画像に対してセグメンテーションを行うモデル、およびそのセグメンテーション結果を入力として水位を予測する回帰モデルの構築を行いました。セグメンテーションとは画像の各画素に対応するクラスをラベル付けすることです。構築したモデルは画像と、それに紐づけた水位データからなるデータセットを用いて学習、評価を行いました。以下の図 4.3.1.1-2 に水位推定の実現手法を示します。また、図 4.3.1.1-3 ではアルゴリズムの各段階の概要と手法を示します。前処理とは実写画像から天候や気象に左右されにくい部分画像のみを切り出すこと、画像のコントラストを上げるためのヒストグラム平坦化を指します。

精度の検証にあたって、セグメンテーションモデルについては Intersection over Union(IoU)と呼ばれる指標を用いて、推定した画像内の各画素のクラスが予め人が予測

（アノテーション）した真の結果とどの程度一致しているかを評価しました。回帰モデルについては推定した水位と正解の水位との平均二乗誤差を用いて、推定した水位と正解の水位がどれだけ近いかを評価しました。
尚、カメラと水位計の設置場所は過去の水害経験を元に検討し、対策が必要な
巴波川と永野川から監視が必要かつ機器設置可能な場所を選定しました。

図 4.3.1.1-2

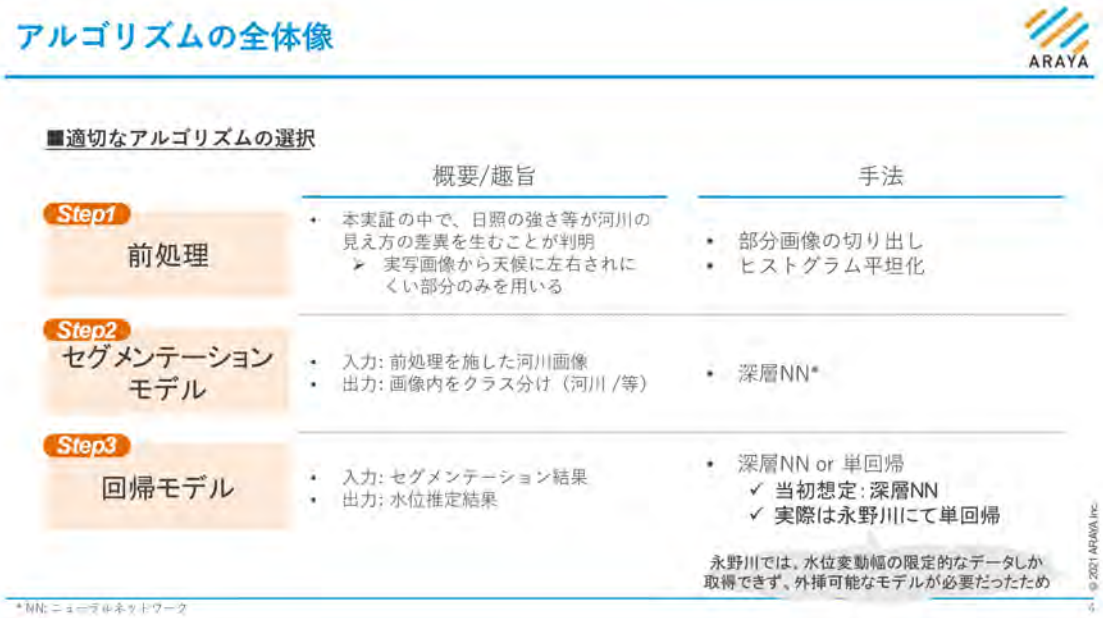


図 4.3.1.1-3

4.3.1.2　評価・分析項目と方法

【分析項目】
① AI を活用したアラートを発報させることによる自治体の災害時対応の業務上のメリットの検証

② 河川の画像と、それに紐づけた水位データの収集、AI 解析に必要な前処理やアルゴリズムの検討

【分析方法】

① 避難情報発令訓練を実施し、訓練に参加した自治体職員への聞き取り調査をしました。(詳細は後述「4.4.1　アー１、アー２：高精細映像と AI を活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化」)

② 収集した河川の画像や、それに紐づけた水位データから作成したデータセットを用いて AI 解析に必要な前処理やアルゴリズムの検討を行いました。

以下の図 4.3.1.1-4 に必要なデータセットを示します。セグメンテーションモデルの学習には、COCO(Common Objects in Context)と呼ばれる日常生活でみられる多種多様な物体を撮影した画像データセットのうち河川が含まれた画像、実写画像（巴波川については後述の通り人工的に作成したコラージュ画像を含む)、CG 画像を使用しました。回帰モデルの学習には、前述のセグメンテーションモデルが実写画像を推定した結果を用いました。巴波川のみ、増水時の様子を模した画像をコラージュで作成しました。コラージュの方法として実写画像から切り抜いた河川領域を水位の低い実写画像に貼り付けました。そしてこのコラージュ画像はセグメンテーションモデルの学習、評価で用いるデータに加えました。またコラージュ画像に対応する水位は護岸に取り付けた反射板の目盛りから算出しました。これらのデータはデータセットのバリュエーションを増やす目的で作成しました。なぜなら巴波川では 2020 年 10 月 30 日から 2021 年 2 月 1 日の間で 11cm の水位変動しか発生せず、永野側では 2020 年 12 月 4 日から 2021 年の 2 月 1 日の間で 7cm の水位変動しか発生しなかったためです。ただ永野川は草に囲まれているという河川の条件があるため、増水時の河川の様子が予想できないという理由でコラージュ画像の作成を行いませんでした。(図 4.3.1.1-5)

図 4.3.1.1-4

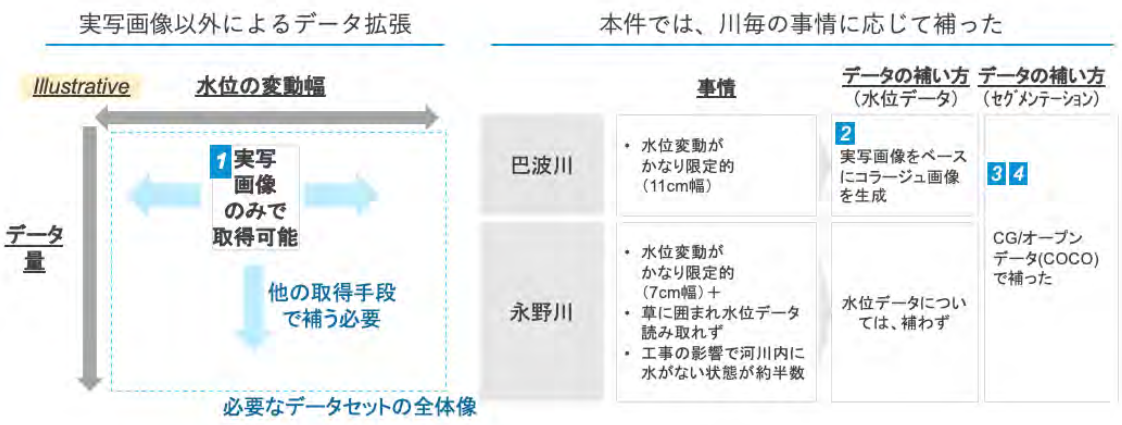


図 4.3.1.1-5

データセットの水位の幅については巴波川については 0.1~90cm、永野川については 0cm、および 43~45cm としました。ただ、永野川においては工事の影響で河川内に水が確認できない状態が発生したため水位が 0cm の水位データが半数以上でした。天候については晴天時、雨天時が含まれています。時間帯は朝、昼夜の画像が含まれています。カメラごとの水位予測モデルの学習、評価で用いたデータセットの合計画像枚数は巴波川で 1859 枚、永野川の南側カメラで 1610 枚、永野川の北側カメラで 1631 枚です。

以下の図 4.3.1.1-6 から 4.3.1.1-8 で使用した画像のうち数枚を掲載します。

図 4.3.1.1-6a 実写画像の例（巴波川）

図 4.3.1.1-6b 実写画像の例（永野川南側カメラ）

図 4.3.1.1-6c 実写画像の例（永野川北側カメラ）

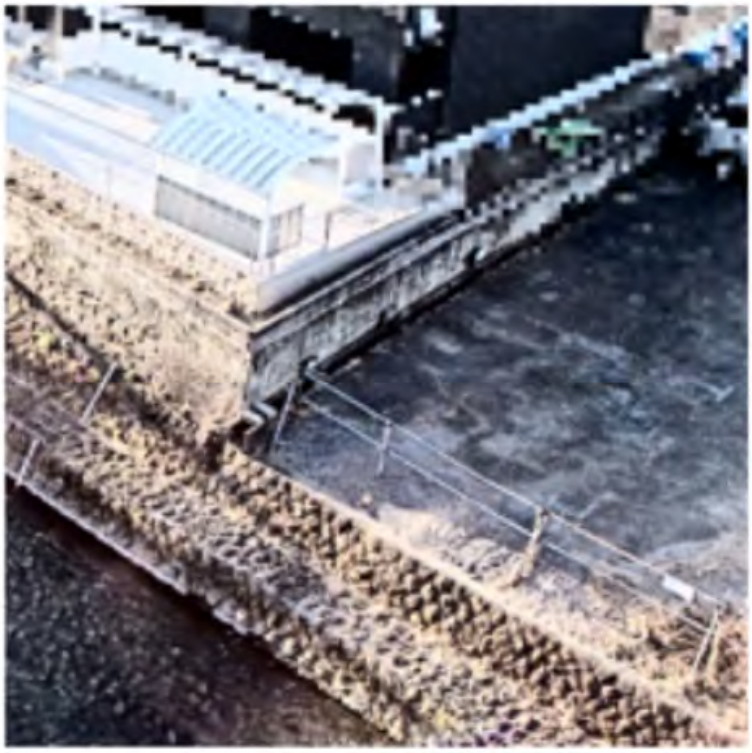


図 4.3.1.1-7a 前処理適用後の実写画像の例（巴波川）

図 4.3.1.1-7b 前処理適用後の実写画像の例（永野川南側カメラ）

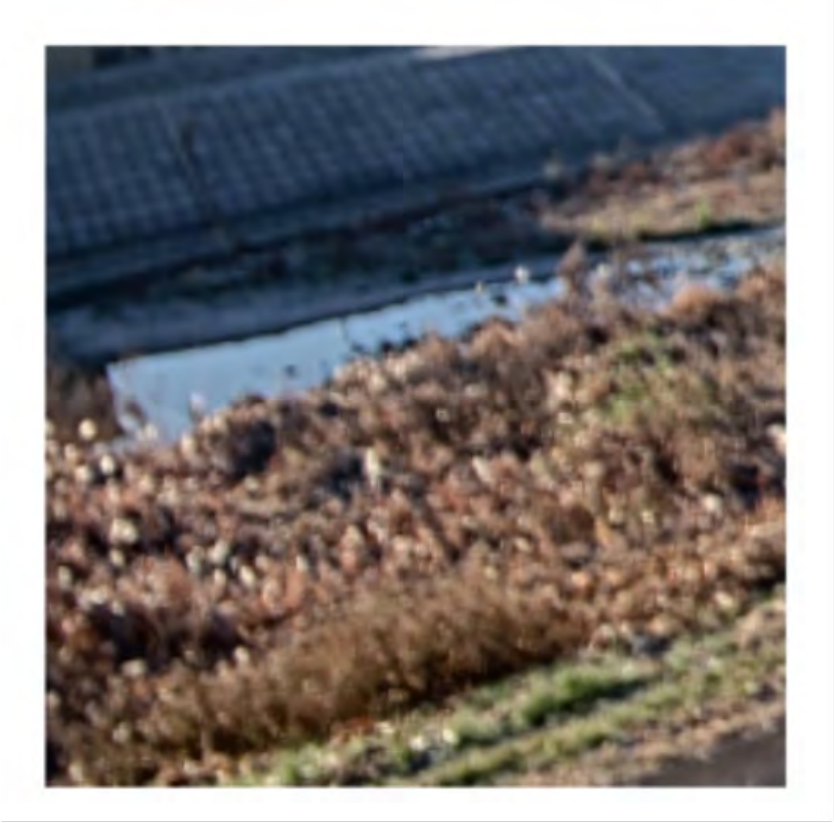


図 4.3.1.1-7c 前処理適用後の実写画像の例（永野川北側カメラ）

図 4.3.1.1-8a コラージュ画像の例（巴波川）

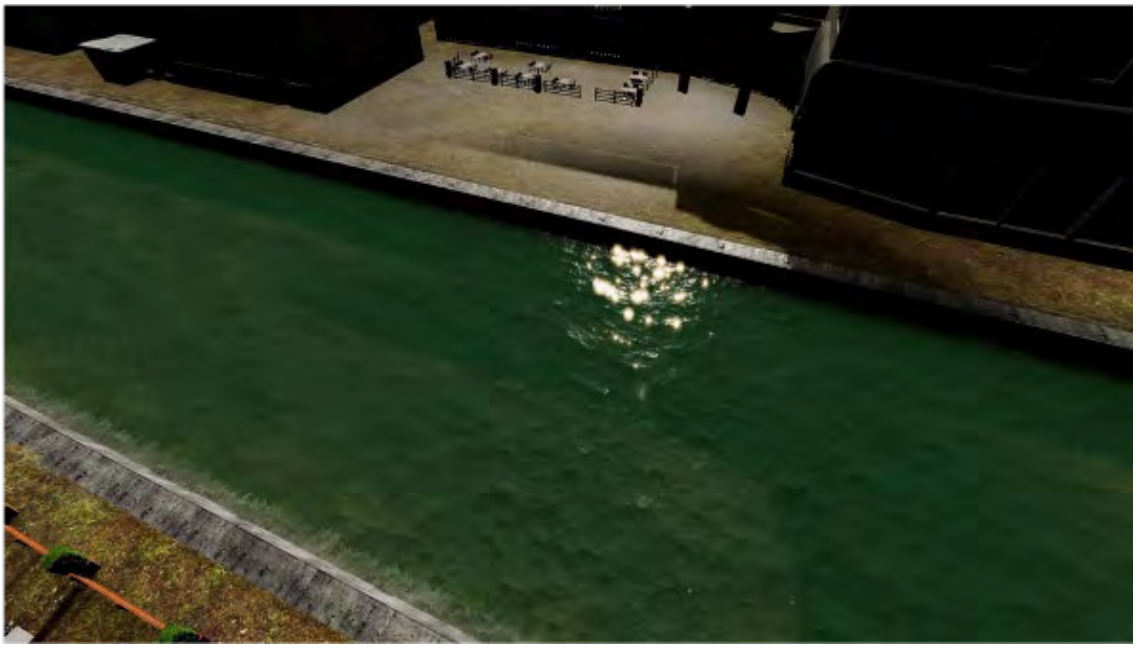


図 4.3.1.1-8b CG 画像の例（巴波川）

図 4.3.1.1-8c CG 画像の例（永野川南側カメラ）

4.3.2 アー２：ダッシュボード等を活用した防災情報の可視化

4.3.2.1 課題解決システム概要

ダッシュボードには、新たに設置する水位センサやカメラによる水位情報や映像情報と

河川画像 AI 解析結果、Web 公開されている栃木県リアルタイム雨量河川水位情報※１、の異種類の防災情報を地図上に一元可視化しました。
※１https://www.dif.pref.tochigi.lg.jp/
ダッシュボードで異種類の防災情報を同一地図上に一元可視化をすることにより、各情報が視認でき、またそれらの関係性が容易に理解できるため、発令等の迅速な意思決定が促進されることが期待できます。
異種情報をダッシュボードに一元化する際には、各情報法のデータ形式を揃えるための標準データモデルを定義し、集約した異種データを標準統一データ形式に変換して扱えるようにするため、標準 API として国際標準規格である NGSI が採用されています 。

4.3.2.2　評価・分析項目と方法

【検証項目】
・防災ダッシュボード導入による職員の負荷の軽減
・既存の情報収集方法との比較において、防災ダッシュボードによる情報収集の迅速化を検証
・防災ダッシュボードの最適な表示方法や運用方法に関する検討

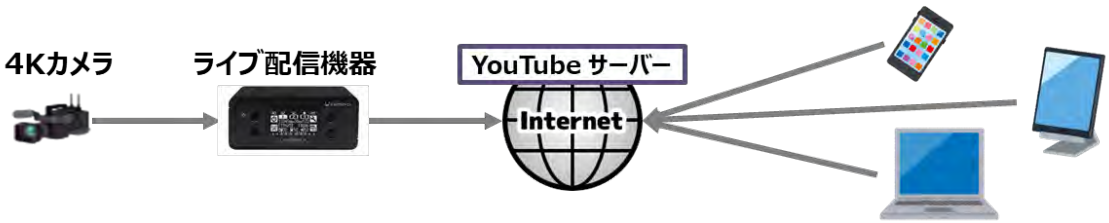
【検証方法】
自治体の避難情報発令訓練（詳細は後述「4.4.1　アー１、アー２：高精細映像と AI を活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化」）を実施し、訓練に参加した自治体職員への聞き取り調査及び情報収集から発令判断までに掛かる時間を測定しました。但し、実際に災害が発生した状況での訓練は困難であるため、過去の河川はん濫動画や予め用意した水位の値を防災ダッシュボード上で表示させる等の方法により、疑似的な災害環境を作り出して訓練を行いました。

4.3.3　アー３：地域住民向けの高精細映像配信

4.3.3.1　課題解決システム概要

カメラを対象河川に設置し、カメラ仕様としては映像を鮮明に撮影するための高精細映像(4K 解像度)に対応し、画質を損なうことなく帯域幅とストレージ容量削減のために H.264 等のビデオ圧縮仕様に対応したもの、また、劣悪な照明条件でも優れた画質で撮影できる暗視機能を備え、屋外での使用条件に準じた防雨性、耐候性を持つ機器を使用しました。そして、設置した 3 台の高精細カメラ映像を住民向けに配信しました。設置台数は栃木市西部の永野川河川沿いに 2 か所、栃木市内の巴波川沿いに 1 か所としました。
また、高精細映像の住民への配信は、ケーブルテレビの有線放送サービスでのテレビ向けの配信と、各種動画配信サービスを利用したマルチデバイス対応の動画配信を行いました。コミュニティチャンネルの視聴者には、データ放送への移行を促すメッセージをテロップで出すなどの処理も行うことができます。なお、栃木市世帯数 65,998 世帯のうち、コミュニティチャンネルを視聴可能な世帯数は約 33,200 世帯です。ここで、ケーブルテレビのテレビサービスユーザでなければ視聴できないため、テレビ以外にも、PC・スマホ・タブレット等の多様な媒体による映像視聴を可能とする Youtube 等の動画配信サイトの利活用を

行いました。高精細映像の動画アップロードを可能とするライブ配信機器を用いたアップロード構成としました。

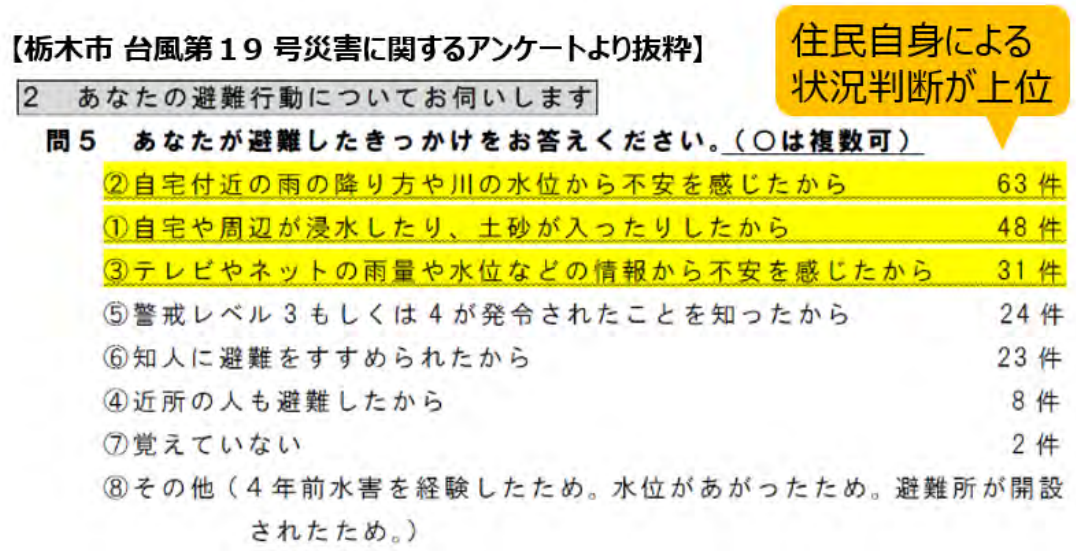


4.3.3.2　評価・分析項目と方法

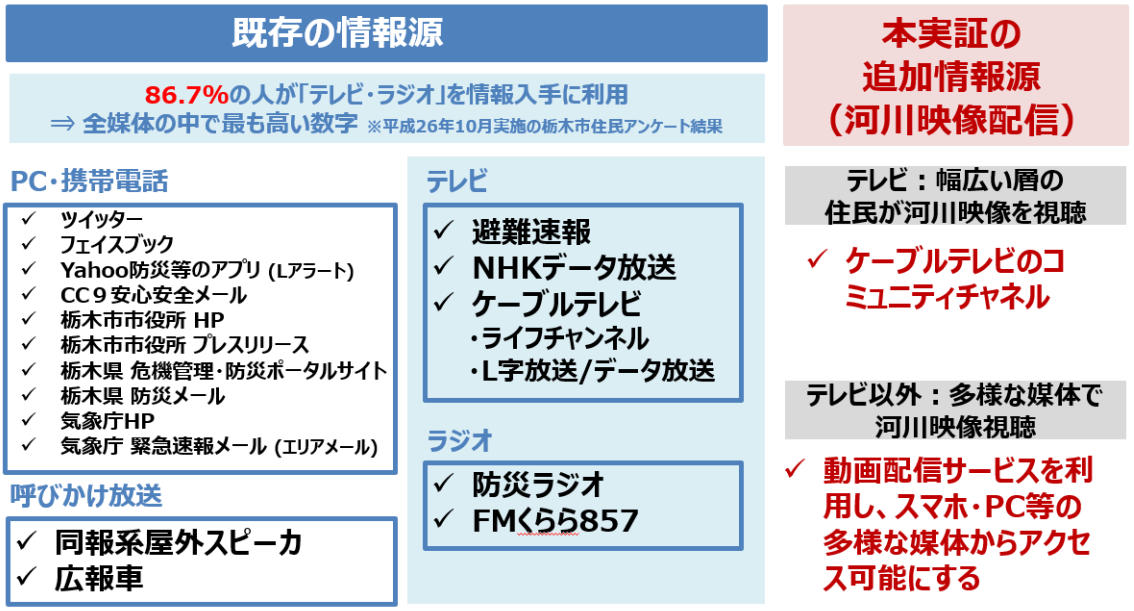
【検証項目】
・地域住民への情報伝達に際して、ケーブルテレビのコミュニティチャネル、動画配信サイト、端末アプリの多様なメディアを通じて自主防災組織を含む地域住民へリアルタイムで配信することで、適切な避難行動の促進の観点から評価・検証を行いました。
・実証にあたっては、最適な表示方法やリアルタイムな情報配信に資するシステム（映像サーバ、配信設備等）の構成に関する検討を行って環境構築をし、地域住民への情報伝達手段としての適正性や実用性について自主防災組織を含む地域住民からのフィードバックを得て検証しました。

【検証方法】
　ケーブルテレビを通じて被験者住民を募り、既存の情報入手の方法に加えて河川映像を閲覧する状況を体感してもらうことで、避難意識が高まるか否かを検証しました。

【現状分析について】
　下図に、令和元年の台風 19 号災害に関する父岸の住民アンケート結果の一部を抜粋します。当時の避難行動に関して、避難行動のきっかけを選択式で回答（複数回答可）した結果です。自治体の避難勧告等がきっかけとなったという回答よりも、住民自身の目による状況判断が上位の 1 位と 2 位を占めました。また、3 番目に多かった回答としては、テレビやネットから入手した情報により不安を感じたことがきっかけでした。以上の結果から、河川の高精細映像をテレビやネットを通じて住民へ配信することは、適切な避難行動の促進に繋がると考えます。



栃木市住民の情報入手の情報源について下図にまとめました。既存の情報源として、PC・携帯電話やテレビ、ラジオ、呼びかけ放送の手段により、多様な方法により住民は災害情報を入手することが現状において既に可能です。ここで、河川の高精細映像配信を提供することは、身に迫る災害の危険性をより現実的なものとして住民が実感することに貢献し、適切な避難行動の促進に繋がると考えます。



4.3.4　アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証

4.3.4.1　課題解決システム概要

4.7GHz 帯向け端末として、一般ユーザ向け FWA サービスのためローカル 5G 用端末を屋内用 1 台と屋外用 1 台の合計 2 台を用意しました。また、28GHz 帯向け端末は屋内用 10 台と屋外用 10 台の合計 20 台を用意しました。端末使用者は一般顧客を想定したモニタユーザ

を選定して協力を依頼し、実証実験を行いました。

4.3.4.2　評価・分析項目と方法

【検証項目】

・平時・災害時の併用の実現可能性と運用面の可用性（実証環境におけるインターネット接続サービスのスループットと設置環境の関係等）

・併用時にネットワーク全体のトラヒック等の負荷が増大した場合、アー１～アー３で実証を行う防災用途のアプリケーションの品質（河川映像品質及び河川映像品質に紐づく AI 解析結果）が損なわれることがないかの検証

・FWA サービスのユーザ数による収入とシステム維持に係る費用について経済性の検討

【検証方法】

一般向け FWA サービスのユーザとして、ケーブルテレビ等関係者からモニタユーザを募り、評価・検証を行いました。また、一部の端末から意図的に高トラフィックを発生させ、無線帯域の逼迫状態を作り出して評価・検証を行いました。

4.4 課題解決システムに関する効果検証

4.4.1 アー１、アー２：高精細映像とAIを活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化

4.4.1.1 実施概要

実際に避難情報を発令したケースを基に避難情報発令訓練のシナリオを作成し、防災業務の高度化の事前事後（従来方式/実証方式）比較による情報収集から避難情報の発令までに要する時間を実証方式として整理し、両方式により計測したそれぞれの所要時間を比較することで効果の検証を行いました。

4.4.1.2 検証項目・方法

【検証項目】

・水位計情報に加え、河川画像のAI解析結果によるアラート発出の改善効果（河川の遠隔監視における、状況変化の的確な検知や見逃し防止効果）

・防災業務の高度化による従前の手段と比較した業務改善効果（情報収集・確認、情報共有、情報伝達等に係る工程の削減や円滑化、実行時間）

【検証方法】

効果検証の測定イメージ

①効果検証の方法

避難情報発令訓練

②想定する災害

令和元年東日本台風（台風第19号）など実際に避難情報を発令したケースを想定

・対象河川：巴波川、永野川

③訓練参加者

防災担当職員（避難情報発令担当者）

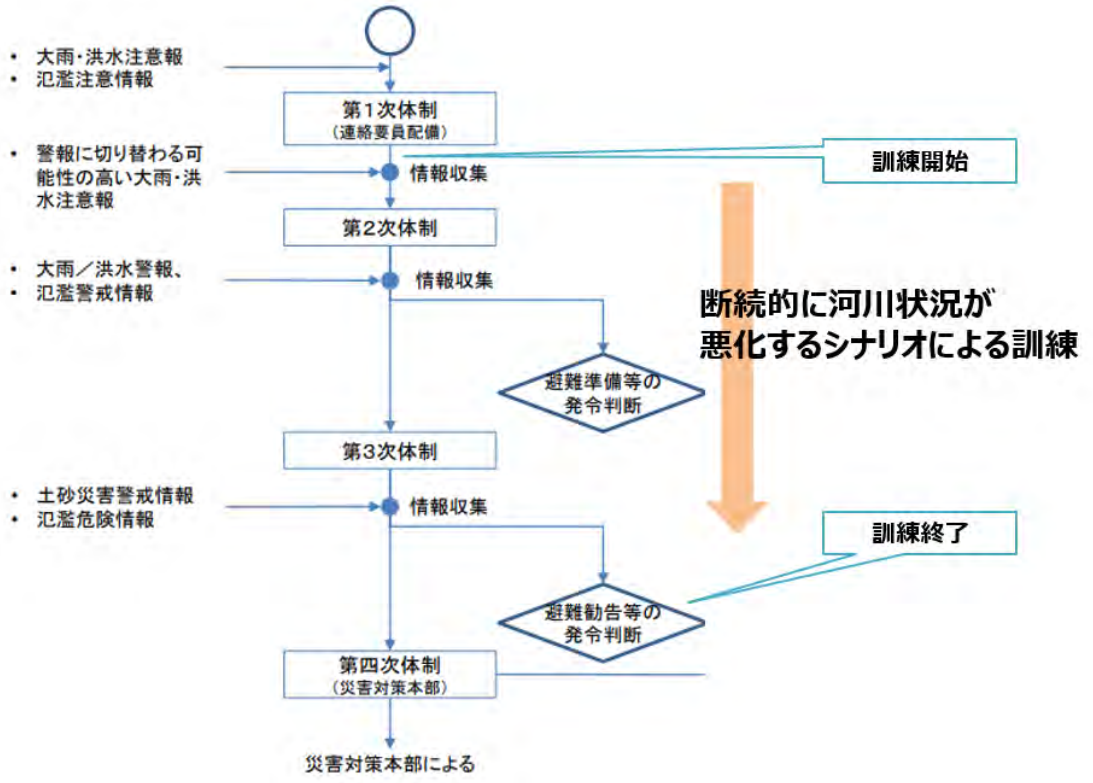
④基本シナリオ（流れ）

防災気象情報の収集から判断、対処（避難情報の発令）までの一連の流れを踏まえ、検証を実施

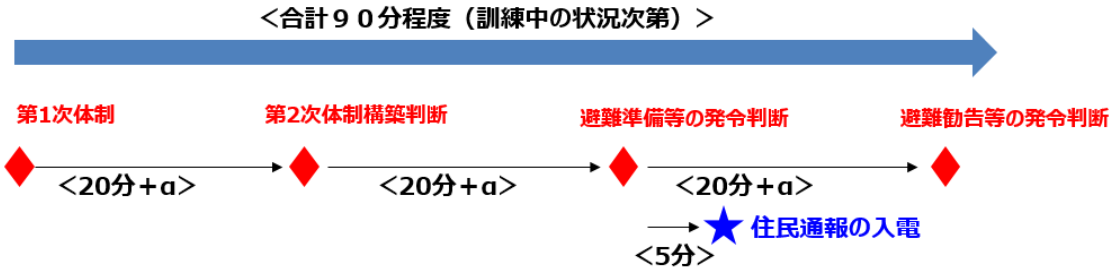
従来方式	実証方式
①防災気象情報の収集←←←←┐ ・水位情報、気象情報を　　│ 各ホームページから収集　│ ・現場情報の受信　　│ ②情報の一元化→→→→→→→┘ ・収集情報の整理 ③情報の共有 ④避難情報発令の判断	①防災気象情報の収集 ・ダッシュボードによる情報収集 ・4Kカメラでの情報収集 ・AI解析による判断サポート ②情報の共有 ③避難情報勧告発令の判断

また、下図に時間測定の対象区間である訓練開始から訓練終了のイメージ図を示します。訓練開始は、大雨・洪水注意報が発令されて第1次体制が組まれた時点としました。実際の災害時にできるだけ近い状態を模しての訓練とするため、断続的に河川状況が悪化する後述シナリオを作成しました。訓練開始後、訓練者は逐次各種情報収集を行い、第1次体制か

ら第２次体制への移行判断、次に避難情報等の発令判断の実施（第３次体制へ移行）、最後に避難勧告等の発令判断を行い、訓練終了としました。



下図に、従来方式と実証方式（Before と After）に共通する訓練シナリオの概要図を示します。訓練時は訓練者の情報収集等の行動のログと時間計測結果を残して検証を行いました。また、実際の災害時にも想定される住民通報の入電を、訓練の中で模擬的に行いました。この住民通報は、河川の状態異常を目撃した住民が栃木市危機管理課に電話で連絡するものであり、従来方式においては通報を受けて現地確認を行うところを、実証方式では河川映像のリモート監視による確認に代替されることによる比較を訓練として行うことを目的としました。

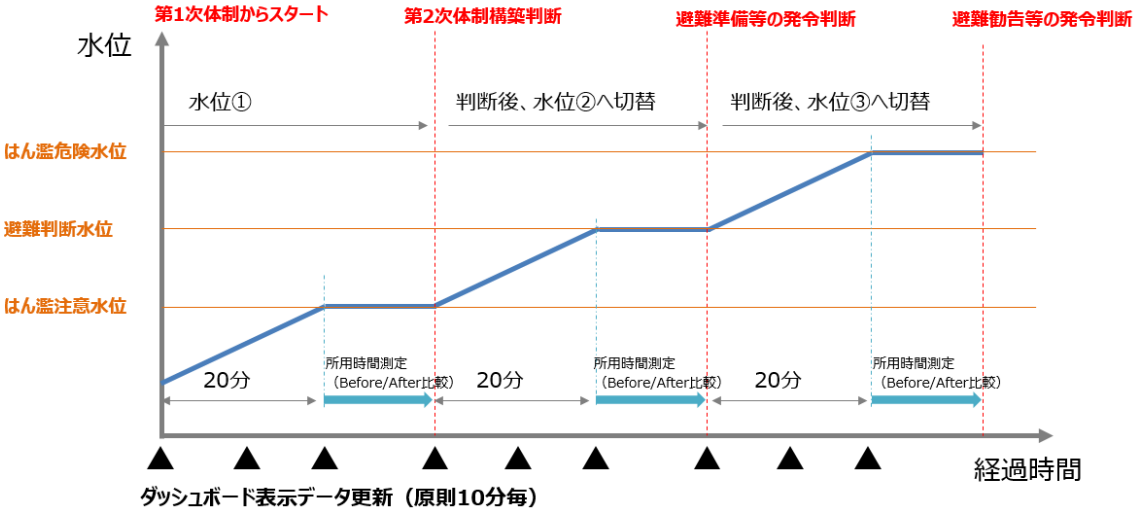


従来方式における各種情報収集では、「4.1　前提条件」に記載の各ホームページ情報を参照し、取得した水位の値を手作業で紙に書き出し、ホワイトボード上に張り出したグラフに数値をプロットする方法を行いました。また、住民通報の入電時は、模擬的に消防団への現地確認の依頼を行いました。

実証方式では、本実証で導入した防災ダッシュボードによる水位情報と降雨情報の収集、及び河川映像の遠隔監視を行いました。いずれの情報においても、訓練日の天候は穏やかでありリアルタイムの情報を用いると災害時の状況とは大きく異なるため、事前に用意した疑似的な水位データと降雨データを膨大ダッシュボードに表示させ、また、過去の河川はん濫時の記録映像をモニタに投影しました。

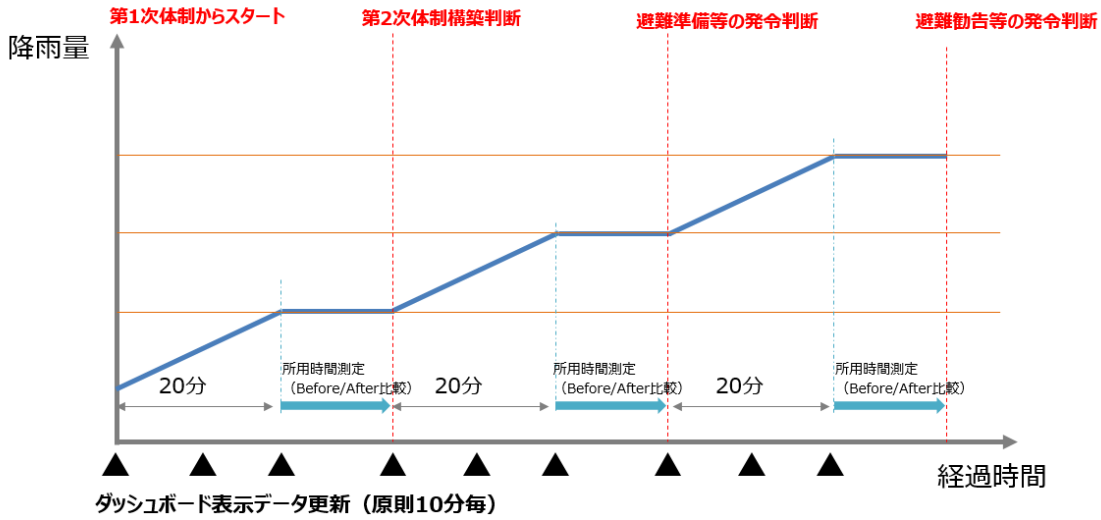
下図に、実証方式の訓練で用いた河川映像の例を示します。訓練開始以降、河川の状態が悪化する様子を映像で表現しました。映像には、令和元年台風 19 号発生当時に録画された河川の映像を用いました。

次に、実証方式の訓練で用いた防災ダッシュボードに表示する疑似的な水位情報のイメージ図を下図に示します。訓練開始以降、水位は断続的に上昇してはん濫注意水位、避難判断水位、はん濫危険水位に達するように設定しました。ここで、防災ダッシュボードの表示データの更新頻度は､防災ダッシュボードの通常運用時の仕様と同様の 10 分毎としました。尚、従来方式における既存ホームページの水位情報の更新頻度も、同様に 10 分毎となります。

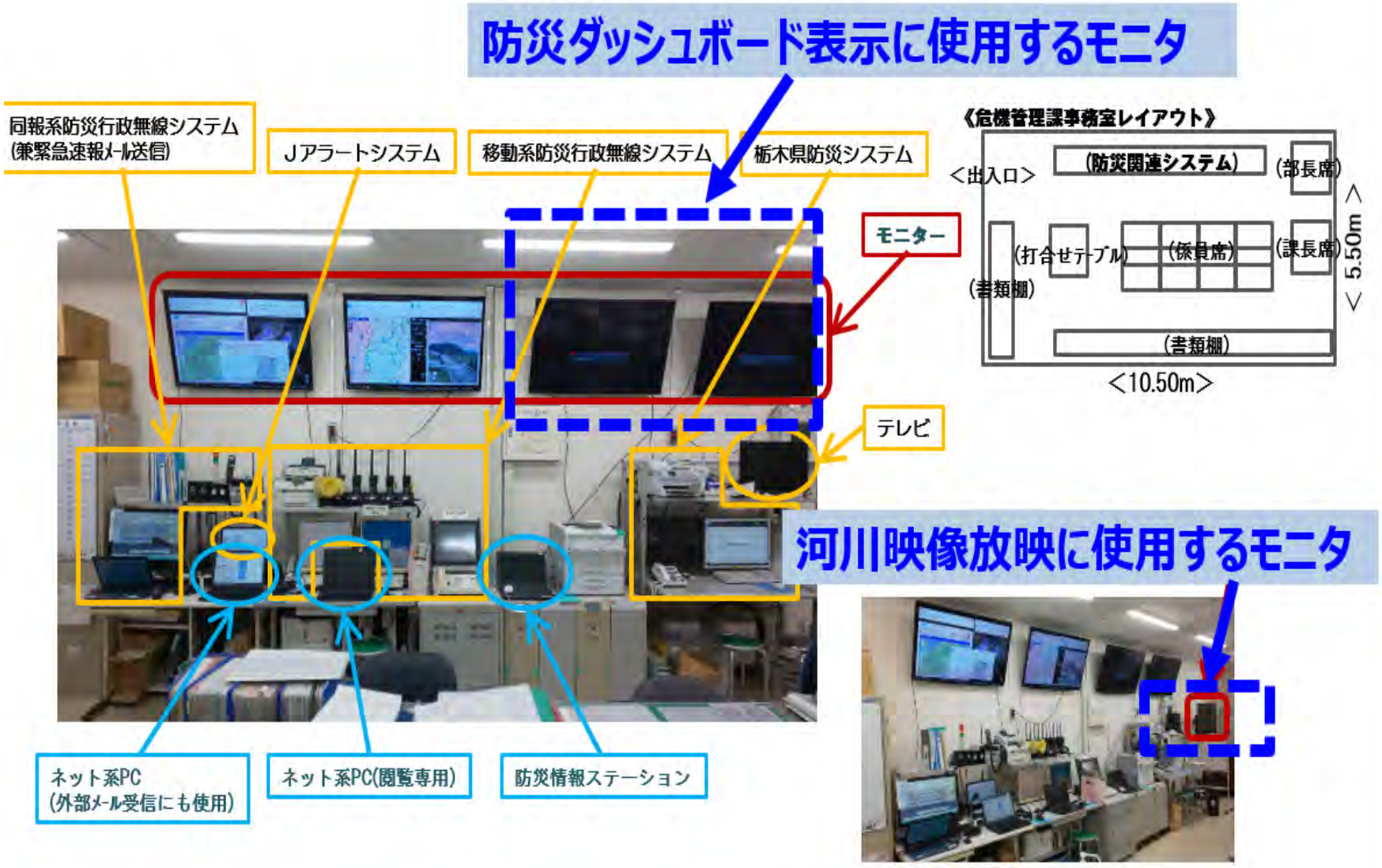


下図には、実証方式の訓練で用いた防災ダッシュボードに表示する疑似的な降雨情報のイメージ図を示します。訓練開始以降、降雨量は断続的に上昇するように設定しました。降

雨量の設置値は、令和元年台風 19 号発生時の降雨量の水位データを基に作成しました。上記水位情報と同様、防災ダッシュボードの表示データの更新頻度は、防災ダッシュボードの通常運用時の仕様と同様の 10 分毎としました。尚、従来方式における既存ホームページの降雨情報の更新頻度も、同様に 10 分毎となります。



下図は危機管理課室内のレイアウト図です。防災ダッシュボードは壁上部に備え付けられたモニタで閲覧します。河川映像放映には、室内奥の稼働型モニタを使用しました。

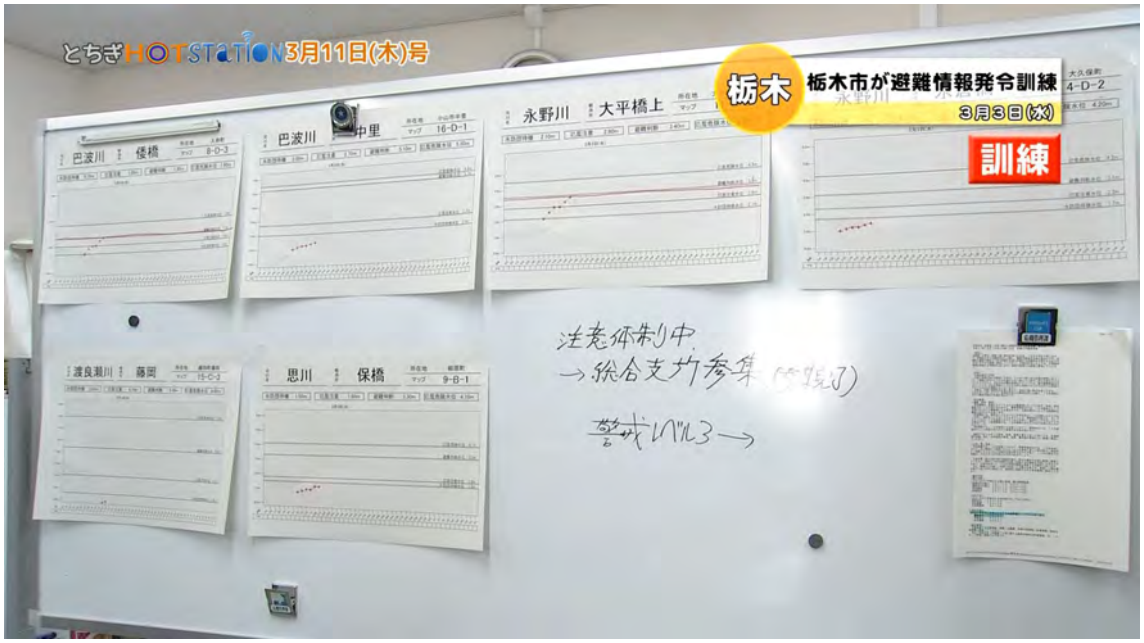

防災ダッシュボード表示に使用するモニタ
同報系防災行政無線システム
(兼緊急速報メール送信)
Jアラートシステム
移動系防災行政無線システム
栃木県防災システム
モニター
テレビ
《危機管理課事務室レイアウト》
<出入口>
(防災関連システム)
(部長席)
(打合せテーブル)
(係員席)
(課長席)
(書類棚)
(書類棚)
<10.50m>
< 5.50m >
河川映像放映に使用するモニタ
ネット系PC
(外部メール受信にも使用)
ネット系PC(閲覧専用)
防災情報ステーション

4.4.1.3　検証結果と考察

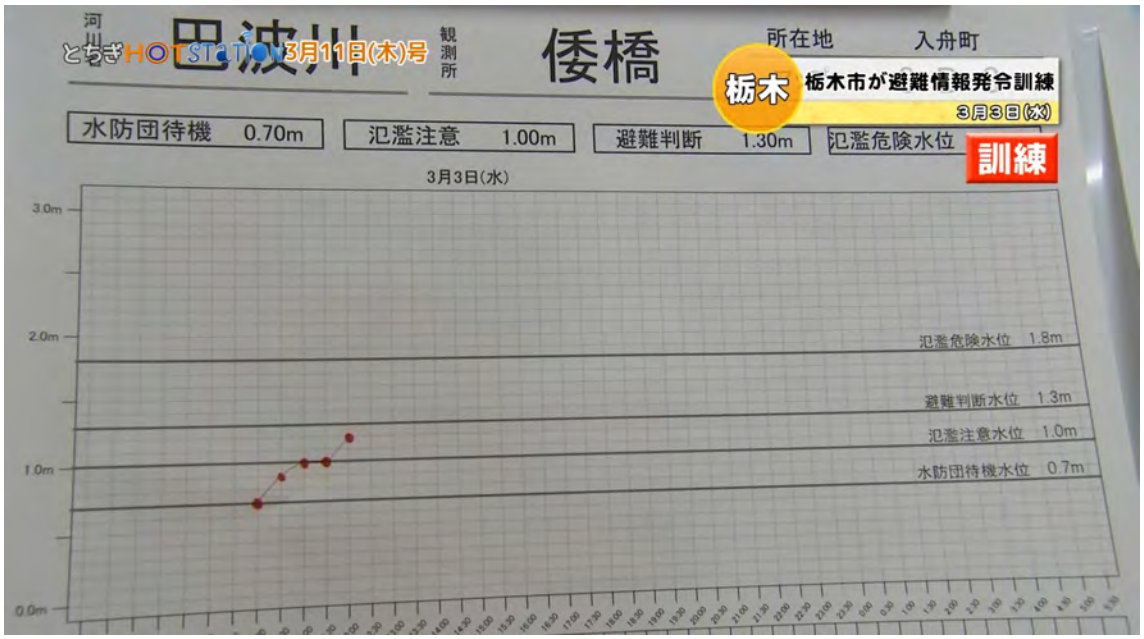
以下に、従来方式と実証方式の訓練の写真と時系列ログを示します。訓練真は、2021 年 3 月 11 日に栃木ケーブルテレビ 地上 111ch 「とちぎ HOT ステーション」において放映されたニュース映像から抜粋したものです。

従来方式（Before）の訓練の様子

「とちぎリアルタイム雨量河川水位観測情報」から水位情報を閲覧



水位の値の水位を手作業でプロットした紙のグラフ

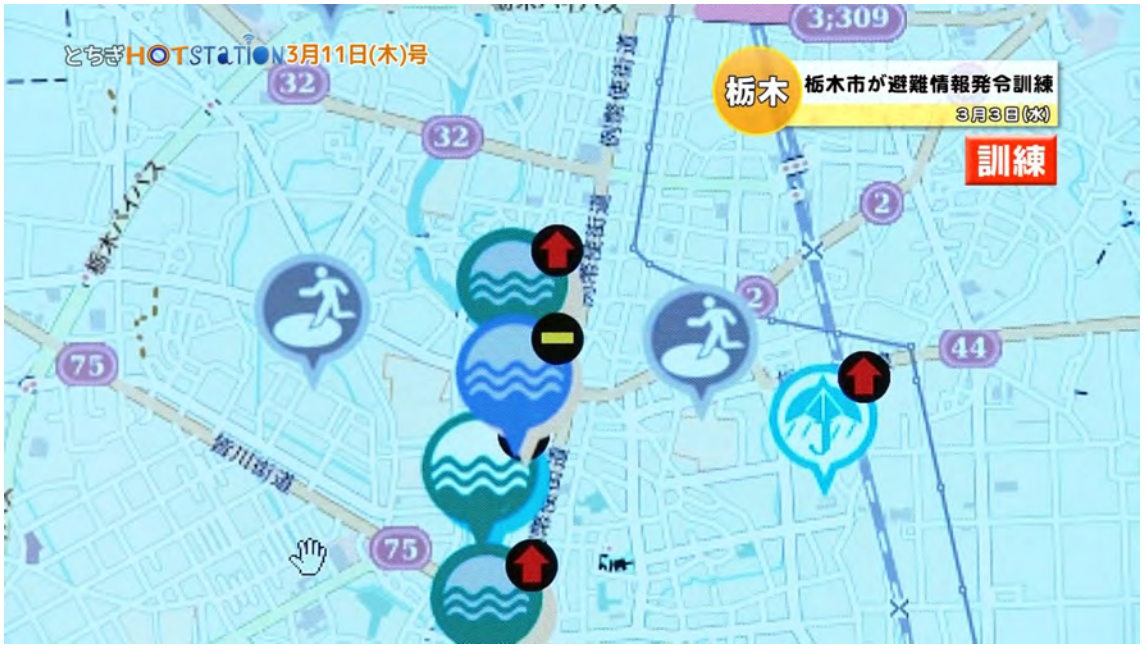


紙のグラフの拡大

実証方式（After）の訓練の様子

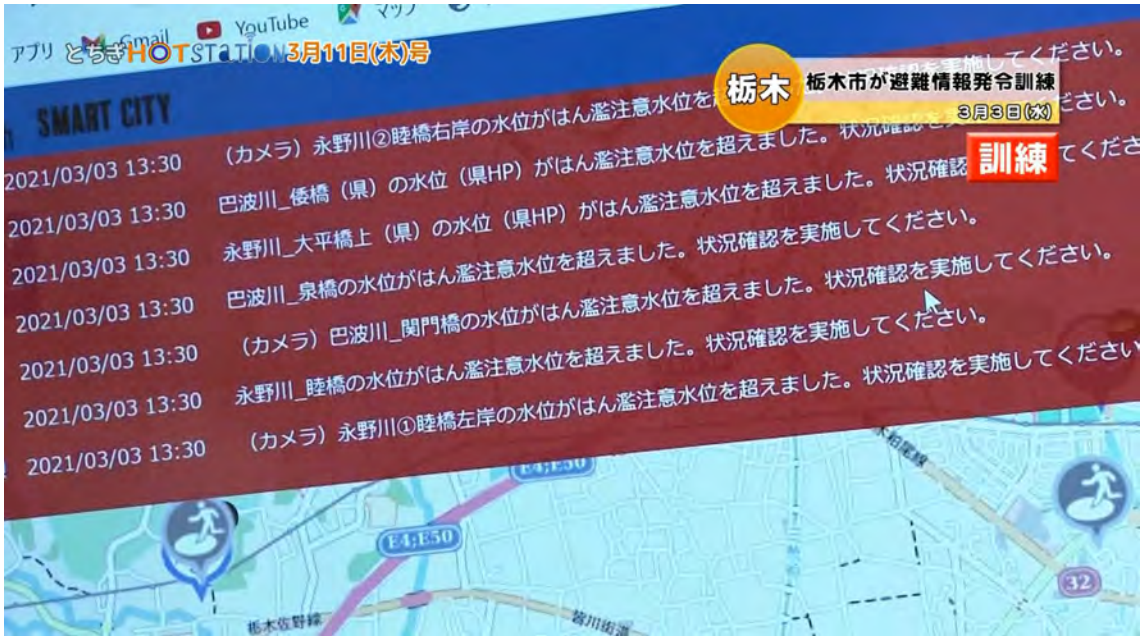
訓練の様子

防災ダッシュボード（左上）と河川映像（右）



防災ダッシュボードの拡大写真

防災ダッシュボードのグラフ表示（水位値と降雨量）



防災ダッシュボード画面上部の帯アラート表示

従来方式（Before）の時系列ログ

時刻	経過時間	内容
10:04	0:00	Before ケースの訓練開始
10:04	0:00	各種情報収集開始
10:08	0:04	水位情報収集完了
10:09	0:05	グラフに水位プロット完了、一部水位計で水防団待機水位に達していることを確認
10:09	0:05	発令判断検討開始

10:11	0:07	発令不要と判断、継続して情報収集
10:14	0:10	水位データ更新あり、各種情報収集開始
10:16	0:12	水位情報収集完了
10:18	0:14	グラフに水位プロット完了
10:18	0:14	発令判断検討開始
10:20	0:16	発令不要と判断、継続して情報収集
10:24	0:20	水位データ更新あり、各種情報収集開始
10:27	0:23	水位情報収集完了
10:29	0:25	グラフに水位プロット完了、一部水位計ではん濫注意水位に達していることを確認
10:29	0:25	発令判断検討開始
10:30	0:26	第２次体制構築判断
10:34	0:30	水位データ更新あり、各種情報収集開始
10:37	0:33	水位情報収集完了
10:39	0:35	グラフに水位プロット完了
10:39	0:35	発令判断検討開始
10:41	0:37	現時点発令不要だが更なる悪化に備えて 11 時頃に発令を出せるように準備開始
10:44	0:40	水位データ更新あり、各種情報収集開始
10:47	0:43	水位情報収集完了
10:49	0:45	グラフに水位プロット完了
10:49	0:45	発令判断検討開始
10:52	0:48	発令不要と判断、継続して情報収集と発令準備
10:54	0:50	水位データ更新あり、各種情報収集開始
10:57	0:53	水位情報収集完了
10:59	0:55	グラフに水位プロット完了、一部水位計で避難判断水位に達していることを確認
10:59	0:55	発令判断検討開始
11:03	0:59	避難準備等の発令判断実施
11:04	1:00	水位データ更新あり、各種情報収集開始
11:06	1:02	水位情報収集完了
11:08	1:04	グラフに水位プロット完了
11:10	1:06	総合支所参集し、警戒本部への移行、警戒レベル 3、避難所開設
11:13	1:09	住民より入電、「巴波川関門橋付近で水が溢れそう」と通報受領
11:14	1:10	水位データ更新あり、各種情報収集開始
11:15	1:11	消防へ現地確認依頼
11:16	1:12	水位情報収集完了
11:17	1:13	グラフに水位プロット完了
11:17	1:13	発令判断検討開始
11:20	1:16	住民通報は消防団の現地確認待ち、継続して情報収集
11:24	1:20	水位データ更新あり、各種情報収集開始
11:26	1:22	水位情報収集完了
11:27	1:23	グラフに水位プロット完了、一部水位計ではん濫危険水位に達したことを確認

11:31	1:27	警戒レベル 4 の発令実施を判断、災害対策本部へ移行
11:45	1:41	消防団現地確認結果を受領、実際に溢れていることを確認

実証方式（After）の時系列ログ

時刻	経過時間	内容
13:12	0:00	After ケースの訓練開始
13:12	0:00	各種情報収集開始
13:19	0:07	水位情報収集完了、一部水位計で水防団待機水域に達していることを確認
13:22	0:10	発令不要と判断、継続して情報収集
13:22	0:10	水位データ更新あり、各種情報収集開始
13:26	0:14	発令不要と判断、継続して情報収集
13:31	0:19	水位データ更新あり、各種情報収集開始
13:31	0:19	一部水位計ではん濫注意水位に達していることを確認
13:33	0:21	第 2 次体制構築判断
13:41	0:29	水位データ更新あり、各種情報収集開始
13:43	0:31	状況変化なしを確認
13:51	0:39	水位データ更新あり、各種情報収集開始
13:51	0:39	一部水位計で水位上昇を確認
13:55	0:43	水位と河川カメラ映像で悪化傾向を確認、警戒レベル 3 を出す準備開始
14:00	0:48	水位データ更新あり、各種情報収集開始
14:02	0:50	一部水位計で避難判断水位に達していることを確認
14:04	0:52	避難準備等の発令判断実施
14:11	0:59	水位データ更新あり、各種情報収集開始
14:16	1:04	住民より入電、「巴波川関門橋付近で水が溢れそう」と通報受領
14:18	1:06	河川カメラ映像を確認、
14:20	1:08	水位計の値ははん濫危険水位に達していないがカメラ映像から警戒レベル 4 の発令実施を判断、災害対策本部へ移行
14:18	1:06	河川カメラ映像を確認、
14:20	1:08	水位計の値ははん濫危険水位に達していないがカメラ映像から警戒レベル 4 の発令実施を判断、災害対策本部へ移行

【河川の遠隔監視による改善効果】

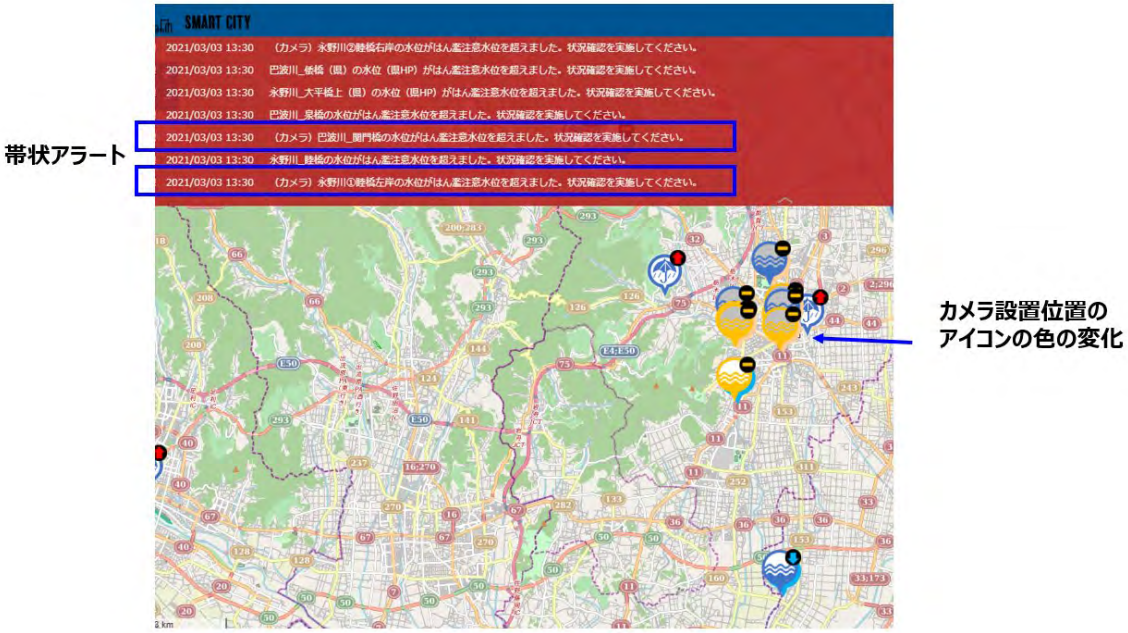
本訓練シナリオにおいて、避難勧告等の発令（警戒レベル 4）の迅速かつ適切なタイミングでの実行への効果を確認しました。従来方式においては、11:13 に住民の入電により巴波川関門橋付近の溢水の情報を入手し、現地確認のために 11:15 に消防団への現地駆けつけを模擬的に依頼しました。比較的近距離の現地確認の設定として駆けつけ時間は 30 分と見積り、現地の確認結果が消防団から得られた時刻は 11:45 となりました。これは、水位情報等を基に行った避難勧告等の発令判断 11:31 よりも後の時刻です。仮に住民通報時点において現地が避難勧告等を発令判断するのに十分なほど危険な状態であったとしても即時の検知ができず、発令判断が遅れたことになります。一方、実証方式においては 14:16 に住民

通報の入電後、遠隔で河川カメラ映像により現地の状態を確認し、通報から 4 分後の 14:20 に避難勧告等の発令の判断を行いました。従来方式と比して実証方式では、迅速かつ適切なタイミングで発令判断を行うことができました。

また、実証方式においては、消防団による現地駆けつけが不要となったことで、消防団の業務効率化に加えて、災害時の駆けつけ行動の危険性の削減に貢献します。

【AI アラートによる改善効果】

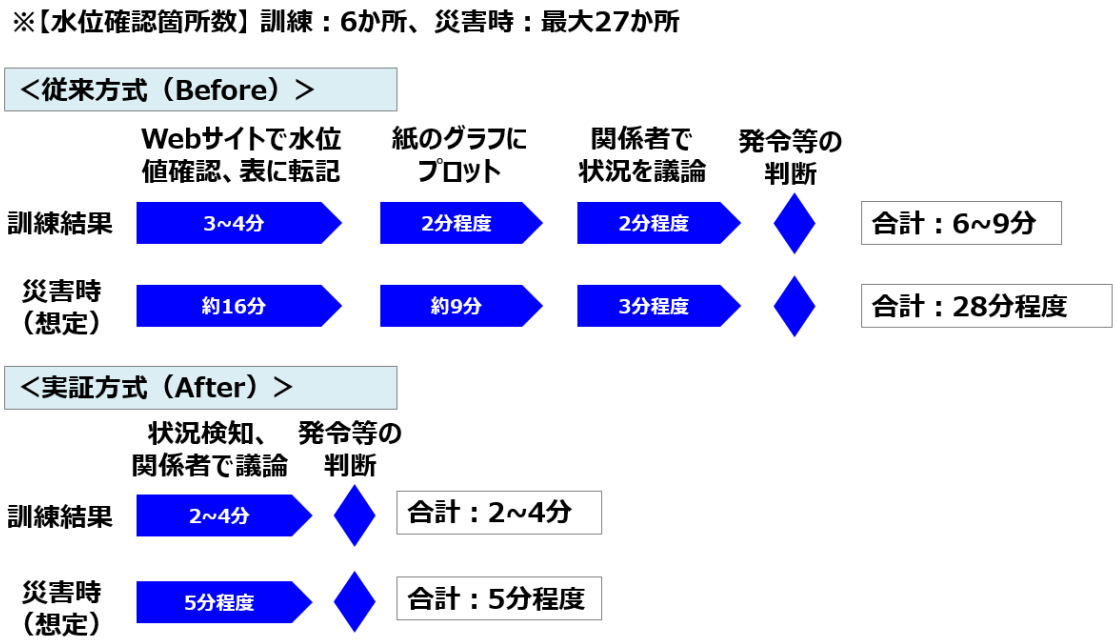
本訓練及び事後の振り返りを通して、AI アラートによる危険状態の見逃しリスクの削減効果があることを確認しました。災害対応の実務上、災害時は各種情報収集や発令判断の検討の他、住民通報対応、関係部署との連携、各種発令の準備、等の多種多様な業務が同時に発生するため、河川映像を常時あるいは頻繁に監視することは困難であることが、本訓練の訓練者のフィードバックとしてありました。タイミングを逃さずに危険状態を検知するためには、映像のみの配信だけでなく、映像から得られるデータを基にしたアラート発報が有効となります。本実証で導入した防災ダッシュボードでは、AI 解析による水位推定値の 10 分間隔の情報と予め設定した閾値により、地図上のカメラ設置位置におけるアイコンの色の変化及び画面上部の帯アラート発生（下図参照）により、災害対応者は河川カメラ映像の危険状態の検知が可能です。



【防災ダッシュボードによる改善効果】

下図に、情報収集から発令等の判断までに掛かる時間の従来方式と実証方式の Before/After 比較まとめを示します。訓練結果としては、従来方式は 6～8 分、実証方式では合計 2～4 分と改善しました。従来方式では、「Web サイトで水位値確認、表に転記」のステップが完了した後、「紙のグラフにプロット」を実施し、その後に職員間で情報共有の場を持って発令等を実施するか否かの議論（「関係者で状況を議論」）を行います。これら 3 つのステップは、作業の性質上、並行して実行できず順番に行うものとなります。一方、実証方式においては情報収集と職員間の情報共有を同時並行に実施することが可能となりまし

た。これによって、発令等の判断までの時間が短縮されています。また、本訓練では実証対象である巴波川と永野川の 2 河川のみを確認対象としたため水位の確認個所は 6 か所でしたが、実際の災害時を想定した場合には栃木全域の最大 27 箇所の水位の確認が必要となります。確認個所が増えた場合、とりわけ従来方式における「Web サイトで水位値確認、表に転記」と「紙のグラフにプロット」のステップは確認個所数に比例して所要時間が増大します。本訓練結果を基にした災害時想定の比較では、従来方式は 28 分程度、実証方式では 5 分程度と見積りました。この結果から、従来方式では 10 分毎に更新される水位データをデータ更新毎に把握することは困難であり、一方実証方式においてはそれが比較的容易であると考えられます。



4.4.2　アー３：地域住民向けの高精細映像配信

4.4.2.1　実施概要

モニター住民募り、既存の災害情報に加えて河川映像を閲覧した場合の効果を体感してもらい、アンケートによって効果検証をしました。

4.4.2.2　検証項目・方法

【検証項目】

既存の情報源や手段と比較した地域住民の避難行動促進効果（避難行動に資する危機意識の変化等）

【検証方法】

モニター住民アンケートによる効果検証を実施し、アンケート結果を災害レベル別及び河川映像視聴の有無を区分して整理し、河川映像視聴による避難意識向上の効果検証を行

いました。モニターとなる住民については、過去の水害の被災エリア及びその周辺に在住する方を主として協力者を募りました。映像視聴体験の当日は、実験の前に高精細映像の配信映像の視聴方法を伝えました。複数の災害レベルを用意し、既存情報源のみの場合（Before）と、河川映像を併せて視聴する場合（After）において、避難意識に関するアンケートを事後に集計し、地域住民の方々の防災に対する意識を高めることができたか否かをもって効果検証としました。

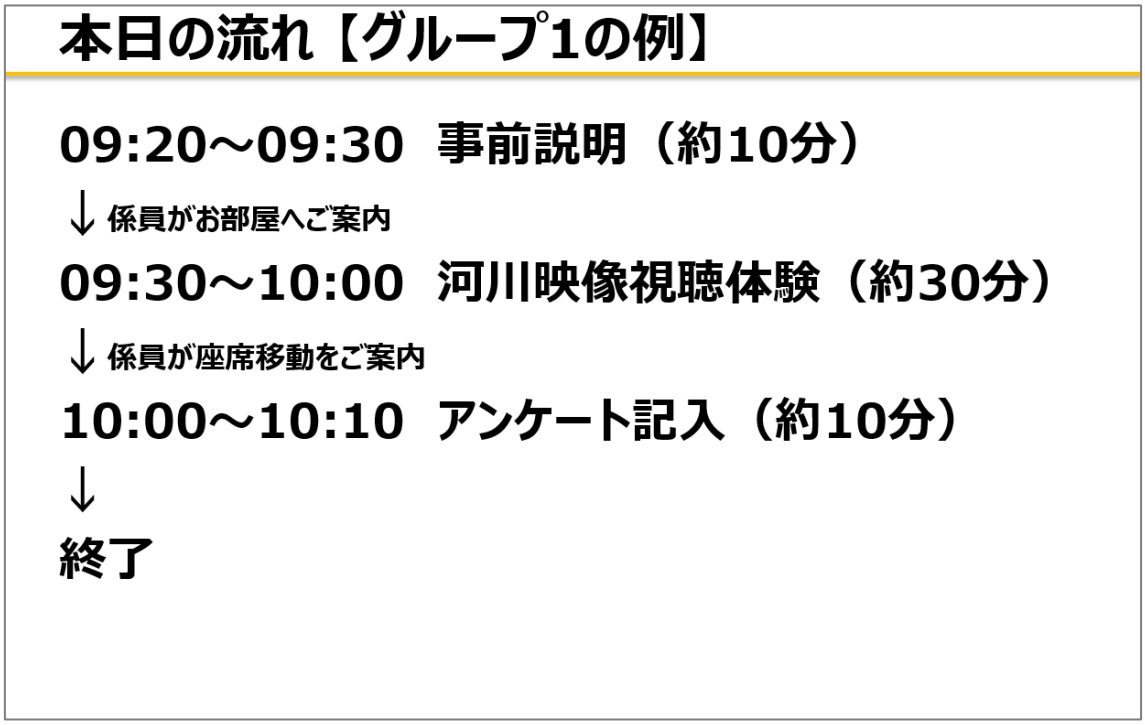
実験で用いた複数の災害レベル

災害レベル	勧告等の発令状況
レベル①	大雨洪水警報
レベル②	避難勧告
レベル③	大雨特別警報

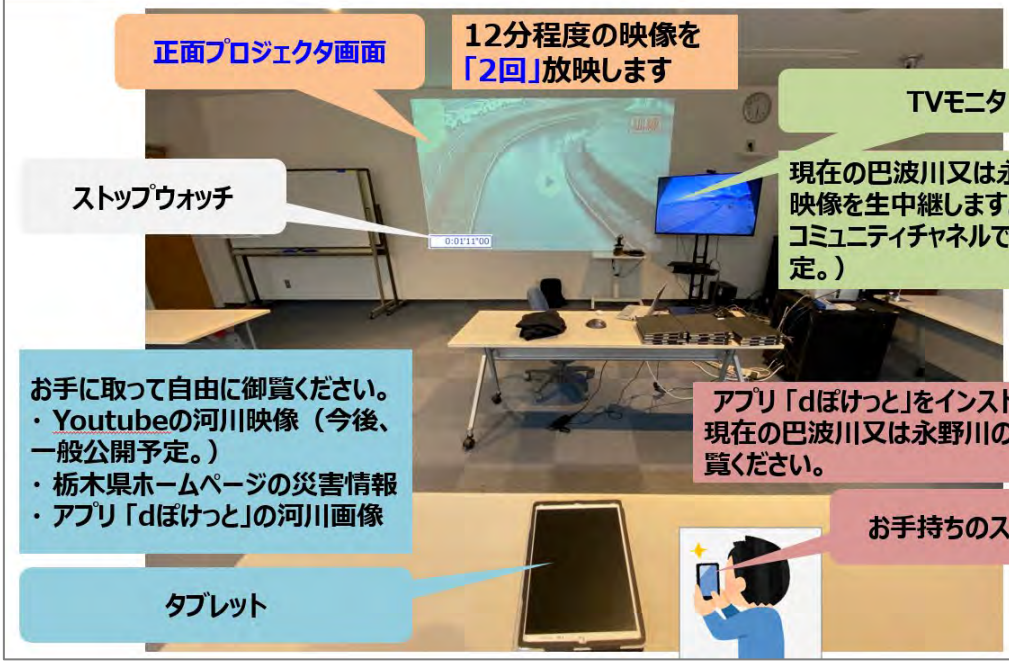
上記の災害レベル・既存情報源に対し、今回の実証で行う高精細映像の配信が加わることで住民の意識がどう変わったかを検証しました。

実験は新型コロナウイルス感染拡大防止のため 1 回当り 5 人程度を上限として、合計 45 名に住民（自主防災組織 旭町三丁目自治会自主防災会の 2 名を含む）にご協力いただきました。

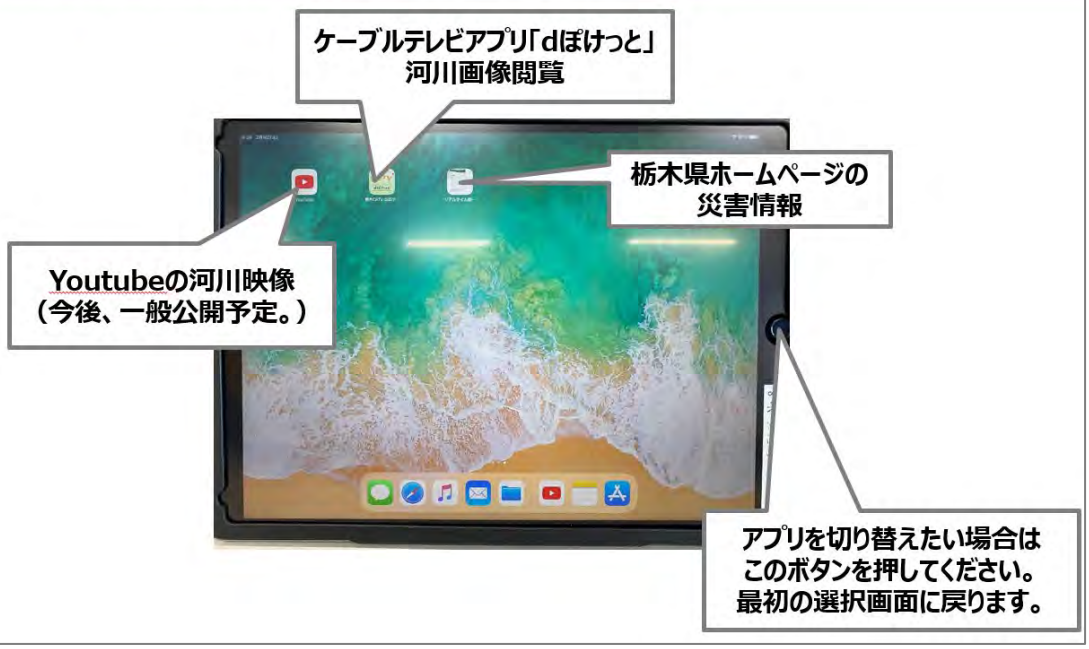
説明資料：下図参照



視聴体験の部屋



視聴体験中のタブレット画面



視聴体験中のお願い

○ 1回目の放映

実際に災害が発生した場合を想像してご覧ください。

放映開始後、ストップウォッチをスタートします。

正面プロジェクタ画面を見て、避難しようと思ったときのストップウォッチの時間（分単位）をメモしてください。

視聴体験後のアンケートでその時間をお伺いします。

○ 2回目の放映　（1回目とは異なる映像）

実際に災害が発生した場合を想像してご覧ください。

放映開始後、ストップウォッチをスタートします。

正面プロジェクタ画面を見て、避難しようと思ったときのストップウォッチの時間（分単位）をメモしてください。

視聴体験後のアンケートでその時間をお伺いします。

ケーブルテレビ dぽけっとアプリ 河川画像閲覧方法

【手順①】

アプリ「ｄぽけっと」を右のQRコードからインストール

（App Store 又は Google Playで「dぽけっと」でアプリ検索も可）

iPhone 版　Android 版

【手順②】

アプリ起動後、以下の手順を実行

実験における投影映像には、Before と After それぞれ 12 分ずつの映像を用意しました（下図参照）。映像開始から映像終了まで、段階的に災害状況が悪化するストーリーとしました。Before/After の両方のケースにおいて、緊急放送のテロップを入れています。映像開始の最初の 4 分は「栃木市に大雨洪水警報」、次の 4 分は「栃木市内 8 か所に避難勧告」、最後の 4 分は「栃木市に大雨特別警報」となります。Before の映像は、災害とは関係の無い映像を流し、河川映像配信が無い従来の状態としています。After の映像では 2019 年台

風 19 号の際の映像を使用し、本実証で導入した住民への河川映像配信がある状態を模した状態としました。協力住民には両方の映像を視聴していただき、映像開始から何分の段階で避難しようと思ったか、あるいは映像を見ても避難しようと思わなかったか、をアンケートに回答いただきました。尚、視聴する 2 つの映像の順番が結果に影響する可能性を考慮し、住民グループの半分は Before・After の順に映像を視聴し、残りの半分は After・Before の順に映像を視聴しました。

①河川映像無しのケース（避難勧告等のテロップ情報＋通常の TV 番組）

開始 0 分～3 分 59 秒の映像サンプル

開始 4 分～7 分 59 秒の映像サンプル

開始 8 分～12 分の映像サンプル

②河川映像有りのケース（避難勧告等のテロップ情報＋河川映像）

開始 0 分～3 分 59 秒の映像サンプル

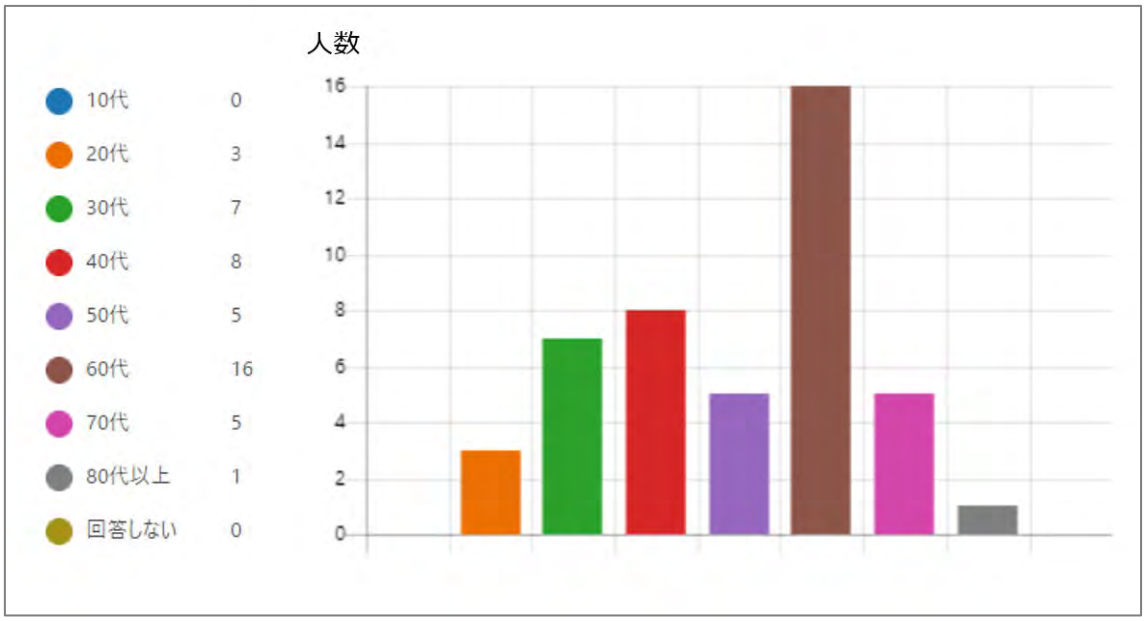
開始 4 分～7 分 59 秒の映像サンプル

開始 8 分～12 分の映像サンプル

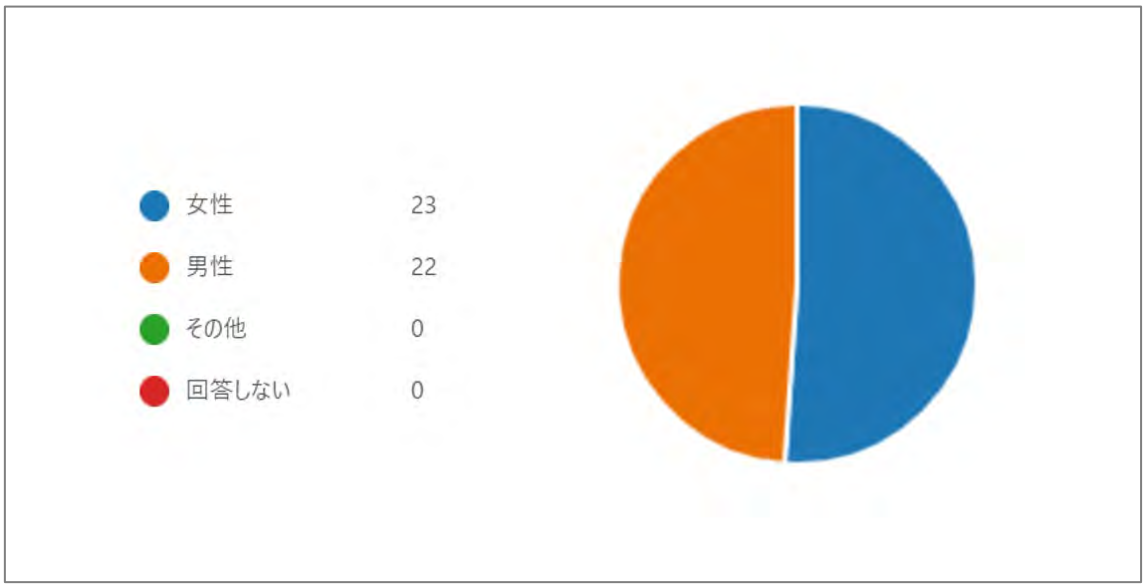
4.4.2.3　検証結果と考察

以下にアンケート集計結果を示します。

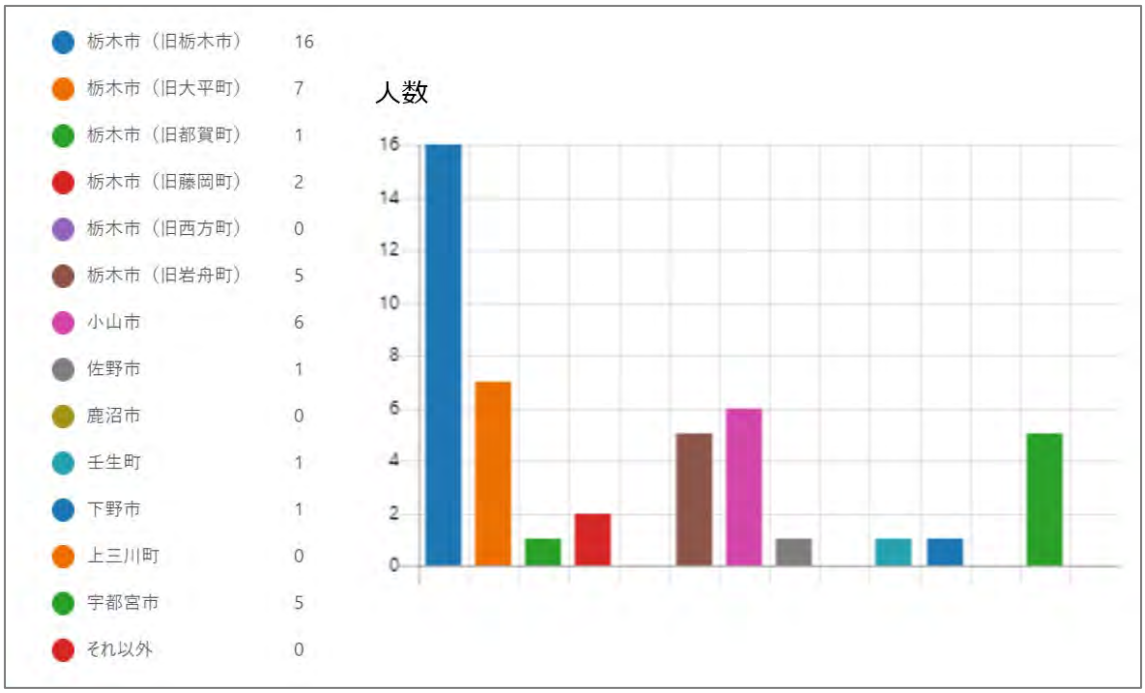
まず、被験者住民の属性のアンケート結果について列挙します。被験者数は 45 人でした。被験者 45 名には、自主防災組織 旭町三丁目自治会自主防災会の 2 名を含みます。年代は 20 代から 80 代以上まで幅広い層でした。性別の比率は男性女性がほぼ半数ずつでした。居住地域は、2019 年台風 19 号発生時に被害の大きかった栃木市が約 7 割であり、栃木市以外も被害のあった地域及びその周辺地域の住民です。同居人数や同居者についても偏りのない結果となりました。また、参考として地域特性を知る観点の「水害で避難する際の避難手段」の回答は、自家用車による移動が 8 割以上を占めました。


人数
10代 0
20代 3
30代 7
40代 8
50代 5
60代 16
70代 5
80代以上 1
回答しない 0
16
14
12
10
8
6
4
2
0

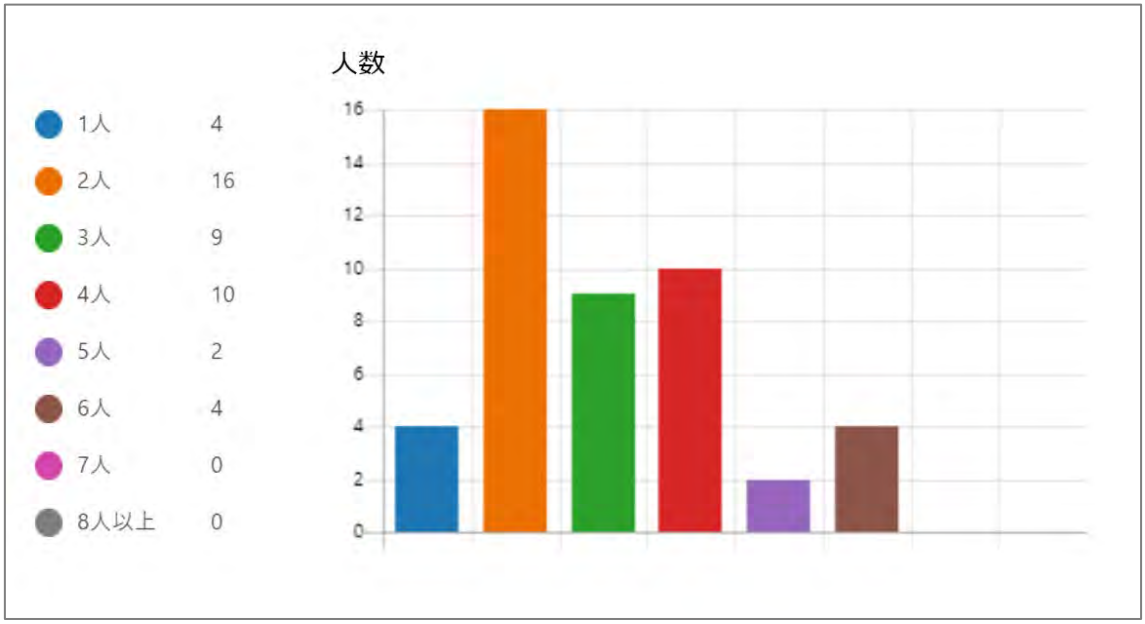
年代


女性 23
男性 22
その他 0
回答しない 0

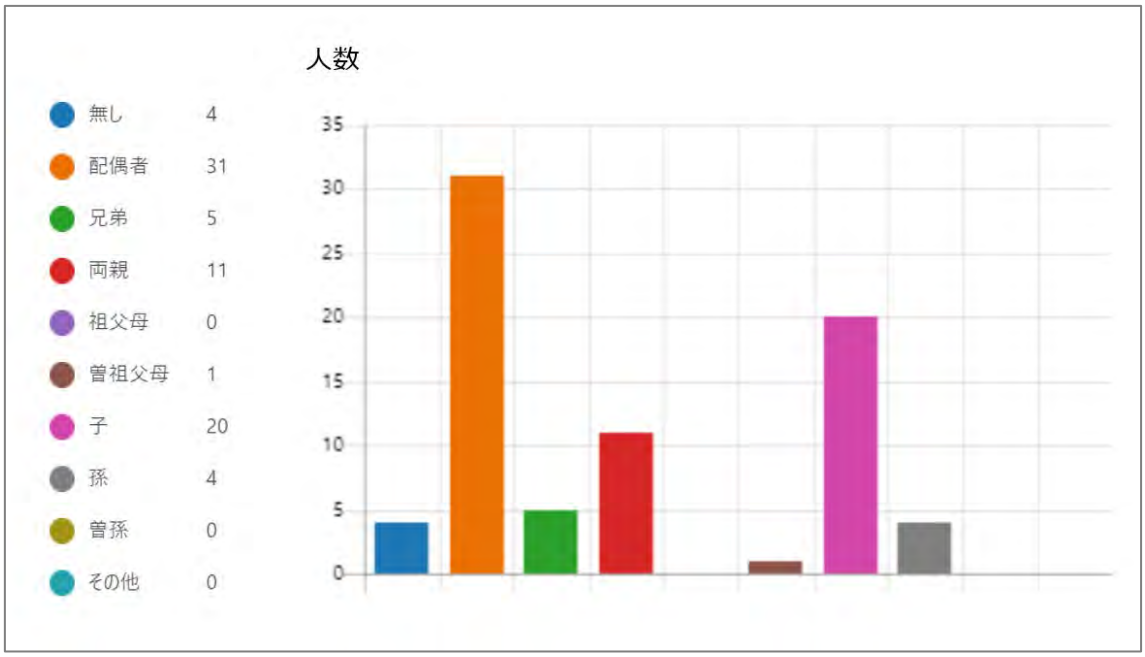
性別



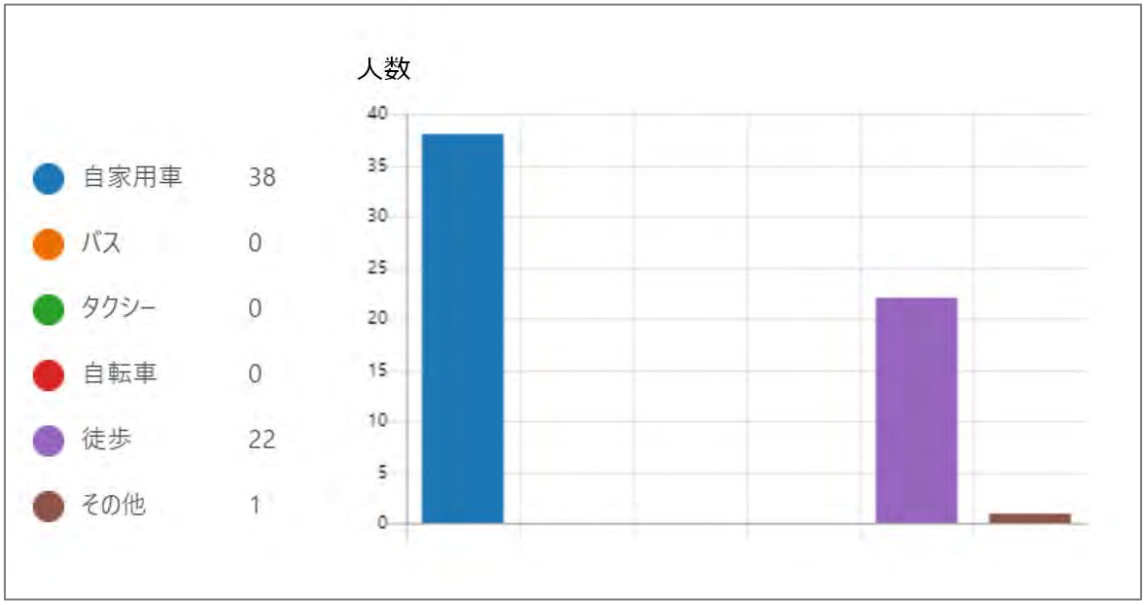
居住地域



同居人数（本人含む）



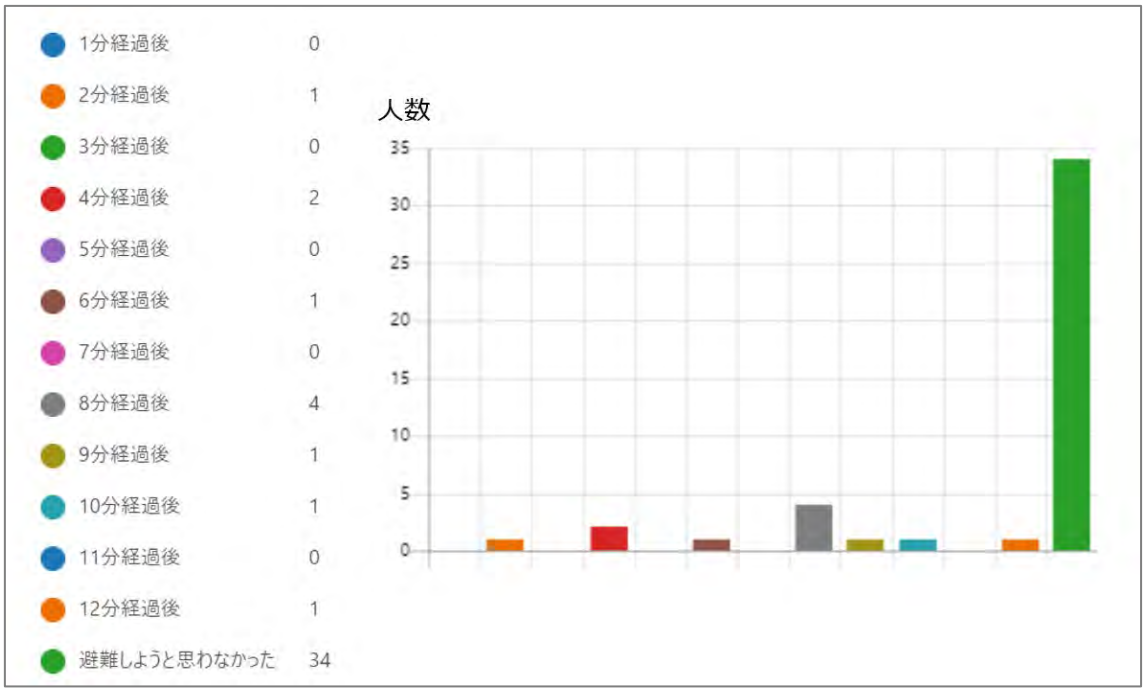
同居人の詳細（複数選択可）



水害で避難する際の避難手段

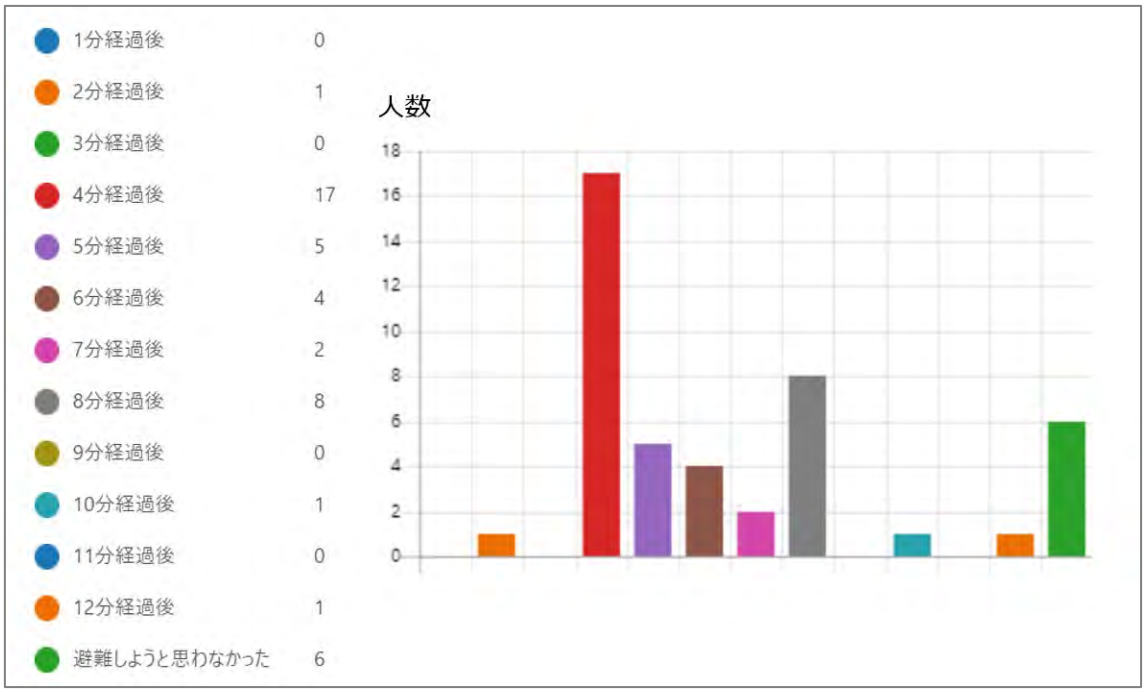
以下に、河川映像配信有無による避難意識向上のアンケート結果を記載します。各 12 分の異なる映像を 2 本視聴し、映像放映開始を 0 分として避難すべきと感じた時点の経過時間を集計しました。

Before のケース（河川画像無し）では、約 76%が 12 分の映像を視聴完了後においても避難しようとは思わなったという結果になりました。画面上に 4 分の時点で避難勧告、8 分の時点で大雨特別警報を表示したにも関わらずこの結果となったことは、文字情報による避難意識向上が限定的であることを示していると考えます。



河川映像無しのケース（避難勧告等のテロップ情報＋通常の TV 番組）

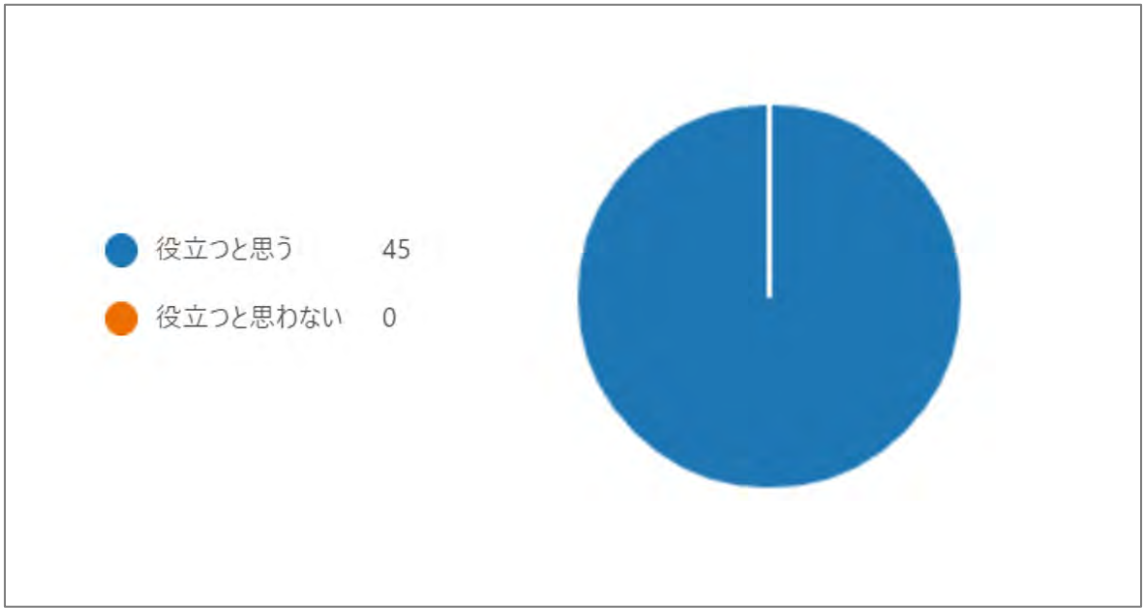
一方、After のケース（河川映像有り）では、12 分の映像と通して避難しようと思わなかった回答は約 13%にとどまり、80%が 4 分経過後から 8 分経過後の間に避難しようと思ったという結果になりました。これは、Before の河川映像無しのケースと比較して、河川映像を加えて After のケースにおいて、住民の避難意識が大幅に向上したことを示していると考えます。また、全体の約 38%が 4 分経過後に避難しようと思ったと回答しており、これは全回答の中でも最も多い回答となりました。4 分経過後は、自治体の避難勧告発令のテロップが映像上で表示された時点でありますが、自治体の避難勧告と地域住民の避難の決断のタイミングが、河川映像配信を伴うことで一致したと考えることもできます。



河川映像有りのケース（避難勧告等のテロップ情報＋河川映像）

以下、高精細河川映像配信による避難意識向上の定性的なアンケート結果を占めます。回答者すべてにおいて、高精細の河川映像がいつでも自由に視聴できることが、水害の際の避難判断に役立つと回答しました。

尚、実証実験で使用した河川映像は、高精細ではない過去の水害の映像を使用しましたが、実験会場ではリアルタイムの高精細の河川映像も併せて住民の方へ視聴していただきました。当該リアルタイム高精細映像を実際の災害時に視聴することを想定した回答が本アンケート結果となります。



高精細の河川映像をいつでも自由に視聴できることは、
水害の際（2019 年台風 19 号など）の避難判断に役立つ思うか

アンケートの個々の結果は以下の表に示します。

ID	ご年代	ご性別	お住まいの地域	一緒に暮らしている人数（ご本人含む）	一緒に暮らしている方の詳細	水害で避難する際の避難手段
3	30 代	男性	栃木市(旧栃木市)	1 人	無し;	自家用車;
4	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	2 人	配偶者;	自家用車;
5	70 代	男性	小山市	2 人	配偶者;	自家用車;
6	60 代	男性	栃木市(旧大平町)	2 人	配偶者;	自家用車;徒歩;
7	70 代	男性	栃木市(旧藤岡町)	2 人	配偶者;	自家用車;
8	60 代	男性	栃木市(旧藤岡町)	4 人	配偶者;曽祖父母;子;	徒歩;自家用車;
9	40 代	女性	小山市	2 人	配偶者;	自家用車;徒歩;
10	40 代	女性	宇都宮市	3 人	両親;兄弟;	自家用車;
11	30 代	女性	宇都宮市	4 人	配偶者;子;	徒歩;自家用車;
12	50 代	男性	宇都宮市	4 人	兄弟;	徒歩;
13	50 代	女性	宇都宮市	2 人	配偶者;	自家用車;
14	80 代以上	男性	栃木市(旧栃木市)	2 人	子;両親;孫;	自家用車;
15	60 代	女性	栃木市(旧栃木市)	1 人	無し;	自家用車;
16	30 代	女性	小山市	2 人	両親;	自家用車;
17	50 代	女性	栃木市(旧栃木市)	3 人	配偶者;子;	自家用車;
18	60 代	男性	栃木市(旧岩舟町)	6 人	子;孫;配偶者;	自家用車;
19	40 代	女性	栃木市(旧栃木市)	3 人	配偶者;子;	自家用車;徒歩;
20	40 代	女性	栃木市(旧岩舟町)	4 人	両親;兄弟;	徒歩;
21	30 代	女性	宇都宮市	4 人	両親;兄弟;	自家用車;
22	40 代	男性	栃木市(旧	5 人	配偶者;	徒歩;自家

			栃木市)		子;	用車;
23	50 代	男性	栃木市(旧都賀町)	6 人	配偶者;両親;子;	自家用車;
24	30 代	男性	小山市	2 人	配偶者;子;	自家用車;
25	30 代	男性	下野市	3 人	両親;	自家用車;
26	60 代	女性	栃木市(旧栃木市)	2 人	配偶者;	自家用車;
27	50 代	女性	栃木市(旧大平町)	2 人	配偶者;	自家用車;
28	70 代	男性	栃木市(旧岩舟町)	6 人	子;孫;	自家用車;徒歩;
29	60 代	女性	栃木市(旧岩舟町)	3 人	配偶者;子;	自家用車;
30	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	4 人	配偶者;子;	徒歩;
31	70 代	女性	栃木市(旧岩舟町)	3 人	配偶者;子;	自家用車;
32	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	2 人	配偶者;	徒歩;
33	60 代	男性	栃木市(旧大平町)	6 人	配偶者;子;孫;	自家用車;徒歩;
34	40 代	女性	栃木市(旧大平町)	4 人	配偶者;両親;子;	自家用車;徒歩;
35	40 代	女性	栃木市(旧栃木市)	4 人	子;配偶者;	自家用車;
36	70 代	女性	栃木市(旧栃木市)	2 人	配偶者;	自家用車;徒歩;
37	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	1 人	無し;	徒歩;
38	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	3 人	配偶者;子;	自家用車;徒歩;
39	60 代	男性	栃木市(旧栃木市)	2 人	配偶者;	垂直避難;
40	40 代	女性	小山市	2 人	配偶者;子;	自家用車;徒歩;
41	20 代	男性	栃木市(旧栃木市)	1 人	無し;	自家用車;徒歩;
42	30 代	女性	栃木市(旧大平町)	4 人	配偶者;子;	自家用車;徒歩;
43	60 代	女性	栃木市(旧大平町)	3 人	配偶者;両親;	自家用車;徒歩;

44	60 代	女性	栃木市(旧大平町)	2 人	配偶者;	自家用車; 徒歩;
45	20 代	男性	佐野市	5 人	両親;	自家用車;
46	60 代	女性	小山市	3 人	子 ; 配 偶者;	自家用車;
47	20 代	女性	壬生町	4 人	両 親 ; 兄弟;	徒歩;

ID	正面プロジェクタ画面の映像が「通常の番組（河川映像ではない）」のケースについて、避難しようと思ったタイミング	正面プロジェクタ画面の映像が「河川」のケースについて、避難しようと思ったタイミング	高精細の河川映像をいつでも自由に視聴できることは、水害の際（2019 年台風 19 号など）の避難判断に役立つ思いますか？
3	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
4	8 分経過後	4 分経過後	役立つと思う
5	2 分経過後	4 分経過後	役立つと思う
6	4 分経過後	4 分経過後	役立つと思う
7	6 分経過後	6 分経過後	役立つと思う
8	10 分経過後	10 分経過後	役立つと思う
9	8 分経過後	5 分経過後	役立つと思う
10	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
11	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
12	9 分経過後	8 分経過後	役立つと思う
13	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
14	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
15	避難しようと思わなかった	5 分経過後	役立つと思う
16	避難しようと思わなかった	7 分経過後	役立つと思う
17	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
18	避難しようと思わなかった	5 分経過後	役立つと思う
19	4 分経過後	4 分経過後	役立つと思う
20	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
21	避難しようと思わなかった	5 分経過後	役立つと思う
22	避難しようと思わなかった	2 分経過後	役立つと思う
23	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
24	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
25	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
26	避難しようと思わなかった	6 分経過後	役立つと思う
27	8 分経過後	8 分経過後	役立つと思う

28	12 分経過後	12 分経過後	役立つと思う
29	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
30	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
31	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
32	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
33	避難しようと思わなかった	6 分経過後	役立つと思う
34	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
35	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
36	避難しようと思わなかった	8 分経過後	役立つと思う
37	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
38	避難しようと思わなかった	5 分経過後	役立つと思う
39	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
40	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
41	避難しようと思わなかった	避難しようと思わなかった	役立つと思う
42	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
43	避難しようと思わなかった	7 分経過後	役立つと思う
44	8 分経過後	6 分経過後	役立つと思う
45	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
46	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う
47	避難しようと思わなかった	4 分経過後	役立つと思う

以上の実験結果より、住民への河川の高精細映像配信が、住民の避難意識向上に有効であると考えます。今後の課題として、今回導入したケーブルテレビのコミュニティチャネルによる河川映像配信、YouTube による河川映像配信、アプリ（d ぽけっと）による河川画像配信を地域住民へ広く知れ渡り、災害時にも地域住民が各種配信情報を閲覧することが求められます。本実証実験においては、実験会場を用意し、映像等の閲覧が容易に行える環境を用意した上で実験を行いました。災害時においても実験会場同様に住民が河川映像等にアクセスする行動に移るように、映像等の配信についての地域住民への周知が必要となります。

4.4.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証

4.4.3.1 実施概要

併用モデルにおいて、FWA サービスのユーザ数による収入とシステム維持に係る費用について経済性を検討しました。

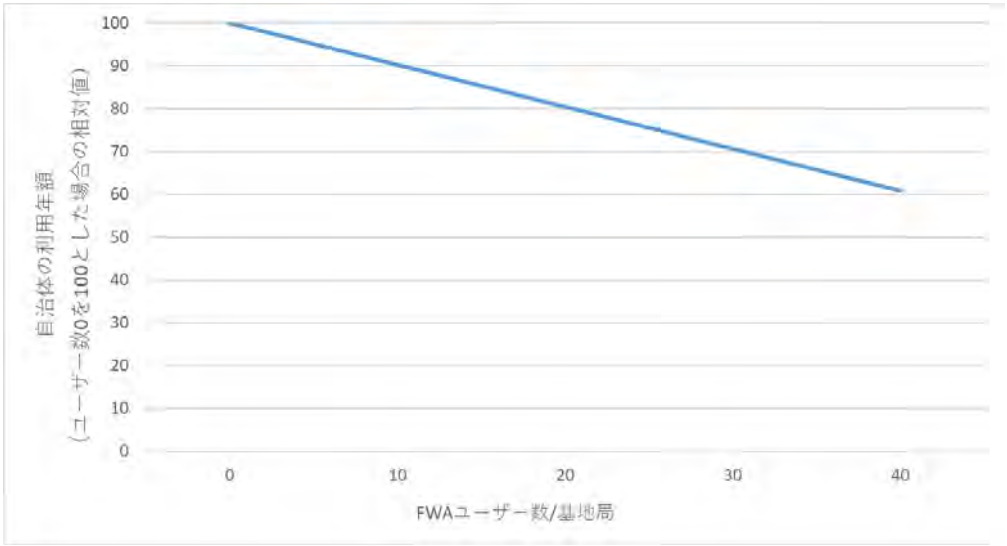
4.4.3.2 検証項目・方法

【検証項目】
・FWA サービスのユーザ数による収入とシステム維持に係る費用、及びその収支

【検証方法】
本実証実験において次年度の実証及び横展開の議論をコンソーシアム関係者と重ねる中で得られた知見を用いて、今後様々な自治体への展開を想定する中でその地域自治体の規模感に合った適切な提案に向けた試算に資するべく、経済性の観点から併用モデルの分析を行いました。

4.4.3.3　検証結果と考察

本実証実験を進める中で、コンソーシアム内において現実的な自治体費用プランや防災ソリューション利用にかかる費用の低減の議論を重ねました。基地局・端末・AI 解析サーバー。カメラ・水位センサーの運用費用と導入費用にかかる償却費用、IoT プラットフォームとダッシュボードサーバー利用料、等の費用が掛かる一方、FWA ユーザー獲得により収入が得られると仮定し、本実証で得られた知見により併用モデルにおける自治体負担額と FWA サービス加入ユーザー数の関係を試算した結果を下図に示します。設置基地局数は 3 局、4K カメラ台数は 1 基地局当り 3 台の合計 12 台、水位センサーは 10 台と仮定しています。自治体とケーブルテレビ事業者の関係・役割は、図 6.1　普及モデルのイメージに準じます。FWA ユーザーの獲得に向けては、大型集合住宅における集中的な加入者獲得や、南側に窓がある住宅が多い地域においては基地局から北方向にカバレッジエリアを作ることで端末から基地局への見通しを取りやすくしてユーザー体感を向上させるなどの施策が考えられます。また、基地局を含めたシステムの導入・運用費用の低減は今後も更なる議論が必要であり、それによって FWA ユーザー獲得による自治体負担費用の低減効果は高まっていきます。また、自治体によって必要とされるシステムや前提条件が異なると想定され、自治体ごとの個別具体的な検討が必要になります。



4.5 課題解決システムに関する機能検証

4.5.1 アー１、アー２：高精細映像とAIを活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化

4.5.1.1 概要

AIによる河川水位予測システムは、河川の画像を入力とし河川の画像に対してセグメンテーションを行うモデル、およびそのセグメンテーション結果を入力として水位を予測する回帰モデルの構築で構成しました。本検証では2つのモデルそれぞれで精度の検証を行いました。

また、高精細河川映像の遠隔監視と各種防災情報を表示させる防災ダッシュボードについては、効果検証による避難情報発令訓練のシナリオ実行を通して河川映像とダッシュボードの視認性や操作性を訓練参加者の目線で検証し、機能の改善点等の抽出を行いました。

4.5.1.2 検証項目・方法

【検証項目】

①AIによる水位予測モデルの精度。精度評価の枠組みや手法は図4.5.1.2-1の通り。
②遠隔監視河川映像と防災ダッシュボードを使用した情報取得の一覧性、視認性、表示項目、操作性、等

【検証方法】

①AIを活用した水位予測

(1)河川の画像に対してセグメンテーションを行うモデル
構築したセグメンテーションモデルが画像内の対象物である河川、護岸、背景(河川、護岸以外の領域)を正しく判別できているかを検証しました。精度の評価にあたっては、Intersection over Union(IoU)と呼ばれる指標を用いて、図4.5.1.2-2のように推定した画像内の各画素のクラスが予め人が予測（アノテーション）した真の結果とどの程度一致しているかを評価しました。

(2)セグメンテーションモデルの予測結果を入力とした回帰モデル
構築した水位予測モデルが実際の河川水位を正しく予測できているかを検証しました。精度の評価にあたっては、回帰モデルの入力はセグメンテーションの推定結果を用いました。精度の評価にあたっては、推定した水位と正解の水位との平均二乗誤差を用いて、推定した水位と正解の水位がどれだけ近いかを評価しました。

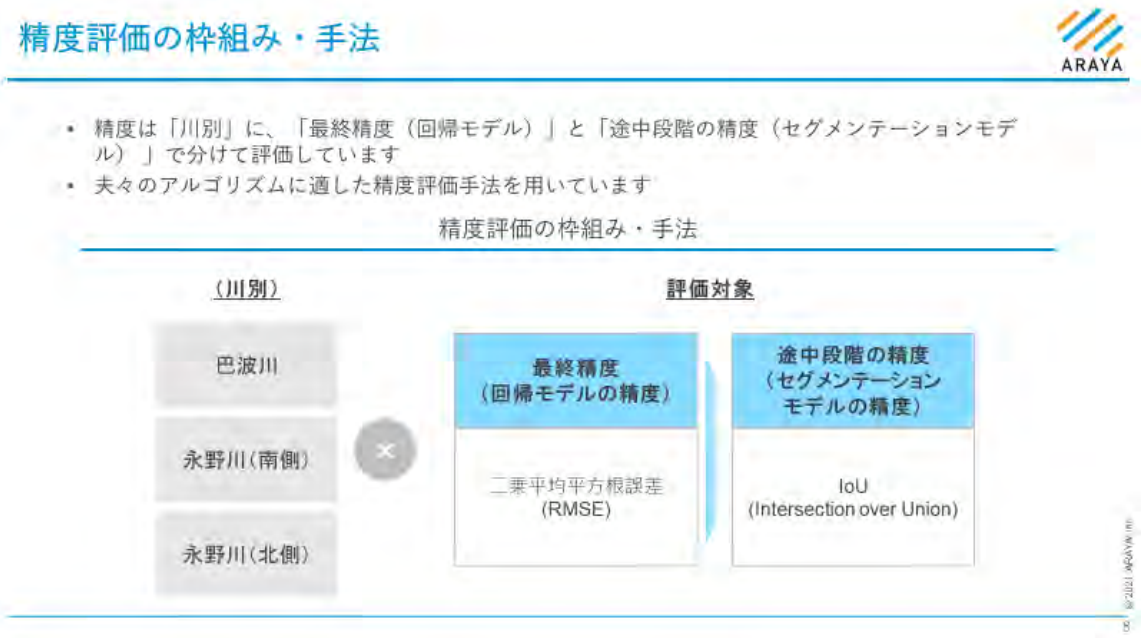


図 4.5.1.2-1

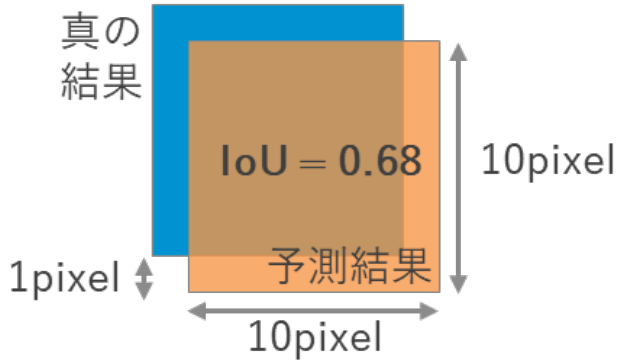


図 4.5.1.2-2

(3) 検討内容とデータセット

AI 解析による検知精度向上を目的として、AI 解析に必要な前処理作業、最適な画像解析手法やアルゴリズム等についても検討しました。データセットのバリエーションについて可能な範囲でデータ収集を行いましたが、不足があったため巴波川については増水時を模したコラージュ画像を作成しました。データの構成は以下の図 4.5.1.2-3 の通りです。

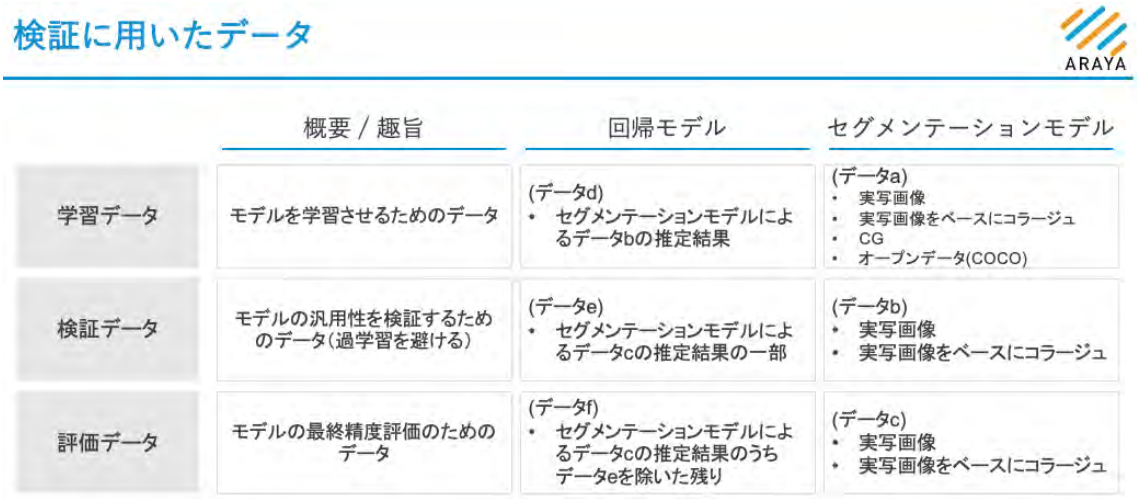


図 4.5.1.2-3

②河川映像の遠隔監視と防災ダッシュボード

避難情報発令訓練を実施し、訓練終了後、河川映像の遠隔監視と防災ダッシュボードを利用について自治体職員への聞き取り調査を行いました

4.5.1.3　検証結果と考察

①AI を活用した水位予測

【各カメラ画像で検証したセグメンテーションモデルの精度の評価】

＜評価結果サマリ＞

巴波川・永野川（南側）では、比較的良い精度が出ている一方で、永野川（北側）では十分な精度を達成していません。（図 4.5.1.3-1）

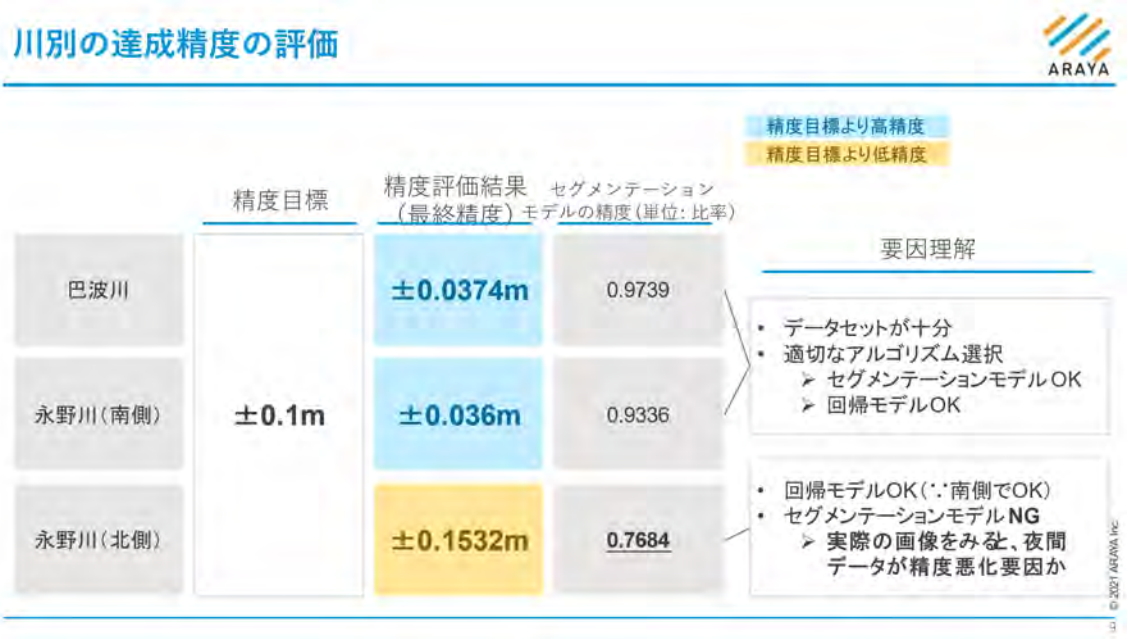


図 4.5.1.3-1

栃木市危機管理課は、実際の運用で導入可能な誤差の基準は 10cm ほどとしています。巴波川と永野川の南側カメラにおける本検証の結果については誤差が 10cm 以内に収まっているため、実運用の基準を満たしていると考えます。
一方で永野川北側カメラからの画像を用いて推定した水位は、誤差が 15cm ほどでした。これについては以下の図 4.5.1.3-2 の通りどちらのカメラの画像でも真の結果を用いて算出した河川の面積と水位の相関は高いため、セグメンテーションの精度が良好であれば精度良く水位を推定できていたと考えられます。

真の結果を用いて算出した河川の面積と水位の相関

	相関係数
永野川南側カメラ評価データ	0.9897
永野川北側カメラ評価データ	0.9727

図 4.5.1.3-2

ただ上記の図 4.5.1.3-1 の通り永野川北側カメラからの画像を用いたセグメンテーションの精度は低く、特に以下の図 4.5.1.3-3 の通り夜間（18 時台~5 時台）における河川の精度が不良でした。この結果回帰モデルの精度が低下したと結論づけます。

夜間のセグメンテーションモデルの精度（IoU）

	永野川南側カメラ評価データ	永野川北側カメラ評価データ
河川	0.8264	0.0382

図 4.5.1.3-3

永野川北側カメラからの画像を用いたセグメンテーションの精度が低い原因としては、図

4.5.1.3-4、図 4.5.1.3-5 の通り夜間において河川の判別が肉眼でも難しい状況があったからだと考えます。

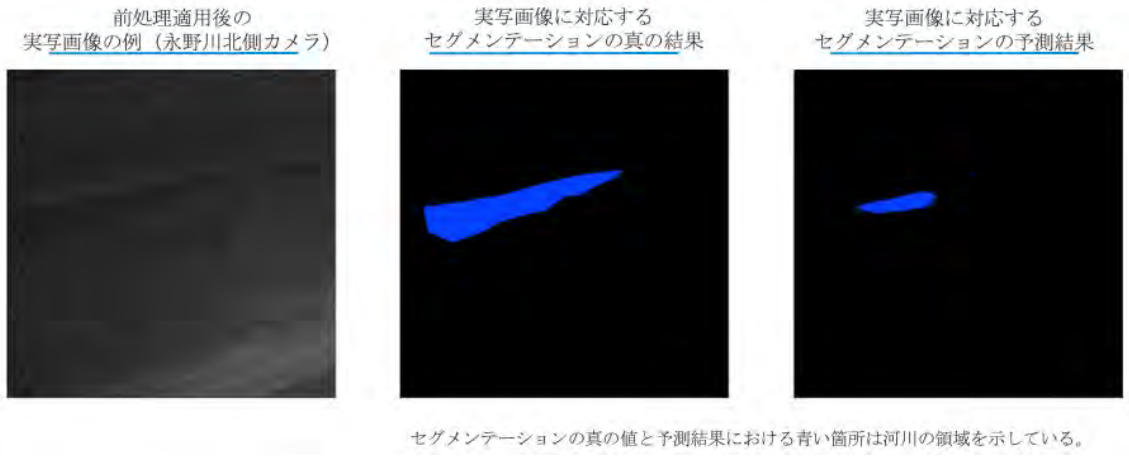


図 4.5.1.3-4

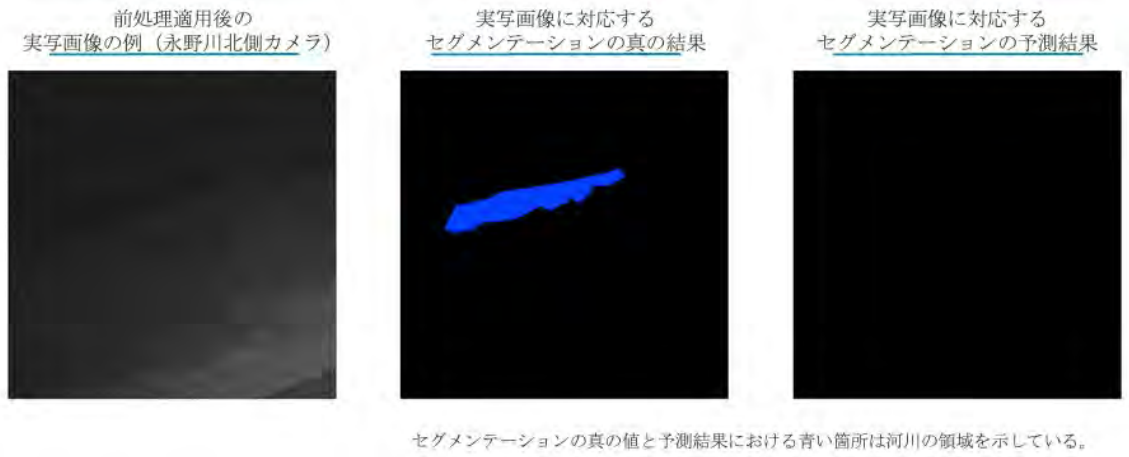


図 4.5.1.3-5

一般的に、人間の目視でも判断が難しいケースに関しては、AI も同様に精度が落ちることが予想されます。このように目視で判別が難しい河川において、セグメンテーション精度を維持するためには、今後はセグメンテーションの入力に適した画像を撮影できる位置にカメラを設置することや、反射板の情報をもとに水位を推定する回帰モデルを使用することが必要と考えます。

また、画像を入力とする水位予測 AI モデルを実際の運用で活用する場合、カメラの位置や画角がモデルの学習や評価で用いたデータセットの作成時と実際の運用時とで変わらないように注意する必要があります。設置しているカメラの位置や画角がデータセット作成時から変わる場合、モデルの推定精度が低下することが考えられるからです。そのため強風等の影響でカメラの位置や画角が変わらないようにカメラの設置を行うことが必要と考えます。

<巴波川>

巴波川に設置のカメラで撮影された画像で検証したセグメンテーションモデルの精度は図 4.5.1.3-6 の通りです。

セグメンテーションモデルの精度(IoU)

	評価データ
平均IoU	0.9739
背景	0.9814
河川	0.9845
護岸	0.9557

図 4.5.1.3-6

<永野川に設置の両カメラで撮影された画像を用いた水位推定で使用した回帰モデル>
永野川ではコラージュ画像を作成できなかったため、回帰モデルの学習データには十分なバリエーションの水位データが無く、外挿(学習データ外の予測)ができる可能性のあるモデルを使用する必要がありました。そのため、永野川については回帰モデルとしてパラメーターが多く学習データに適合する能力の高い深層ニューラルネットモデルではなく、河川面積から水位を推定する単回帰モデルを採用しました。また単回帰モデルを使用するにあたり、真の結果を用いて算出した河川の面積と水位の相関は高かったため永野川については河川の面積と水位は線形な関係と仮定しました。このため十分なバリエーションで学習していない単回帰モデルでも外挿をすることが可能と考えました。

<永野川の南側>
永野川の南側に設置のカメラで撮影された画像で検証したセグメンテーションモデルの精度は図 4.5.1.3-7 の通りです。

セグメンテーションモデルの精度(IoU)

	評価データ
平均IoU	0.9336
背景	0.9945
河川	0.8726
護岸	nan

部分画像においてアノテーションした真の結果には護岸クラスが含まれておらず、セグメンテーションの出力にも護岸クラスが含まれないためIoUはnanとなる 。

図 4.5.1.3-7

<永野川の北側>
永野川の北側に設置のカメラで撮影された画像で検証したセグメンテーションモデルの精度は図 4.5.1.3-8 の通りです。

セグメンテーションモデルの精度(IoU)

	評価データ
平均IoU	0.7684
背景	0.9905
河川	0.5436
護岸	nan

部分画像においてアノテーションした真の結果には護岸クラスが含まれておらず、セグメンテーションの出力にも護岸クラスが含まれないためIoUはnanとなる 。

図 4.5.1.3-8

以下の図 4.5.1.3-9 から図 4.5.1.3-11 は永野川の北側に設置のカメラで撮影された実写画像とそのセグメンテーションの真の結果、セグメンテーションの予測の結果の例です。図 4.5.1.3-9 の IoU が 0.7707 の結果では真の結果と予測の結果を比較すると全体的に大きな違いが見られません。それに対して図 4.5.1.3-10 の IoU が 0.6096 の結果では真の結果のうち河川の一部を予測できていないなどの違いが見られます。また図 4.5.1.3-11 の IoU が 0.1913 の結果では真の結果の一部のみ予測できています。
IoU が 0.1913 の結果では真の結果の一部のみしか予測できておらず、夜間での河川箇所の

特定（セグメンテーション）に誤差が生じていることがわかります。後述する通り、これは回帰モデルの水位の推定精度の誤差の要因となります。この水位の推定精度の誤差を解消する手段としては、反射板を利用することが考えられます。今回はセグメンテーションモデルを使用している理由から反射板を適切に利用して精度向上を実現することが出来ませんでしたが、物体検出モデルを使用することで精度向上を実現することが十分可能であると考えられます。具体的には物体検出モデルで反射板の長さを算出し、回帰モデルの入力とすることで夜間に河川領域の判別が難しいカメラにおいては水位の推定精度が向上すると考えています。

〈IoU が 0.7707 の結果〉

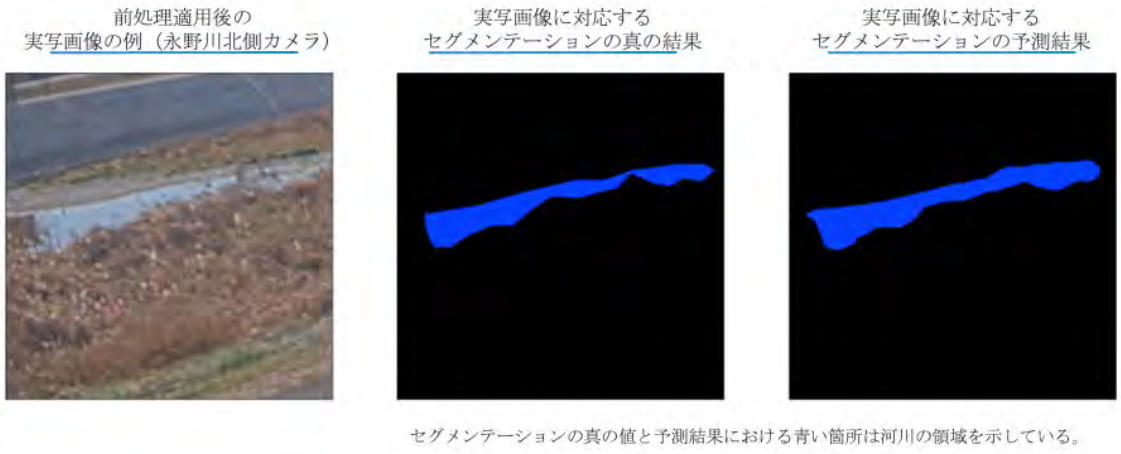


図 4.5.1.3-9

〈IoU が 0.6096 の結果〉

図 4.5.1.3-10

〈IoU が 0.1913 の結果〉

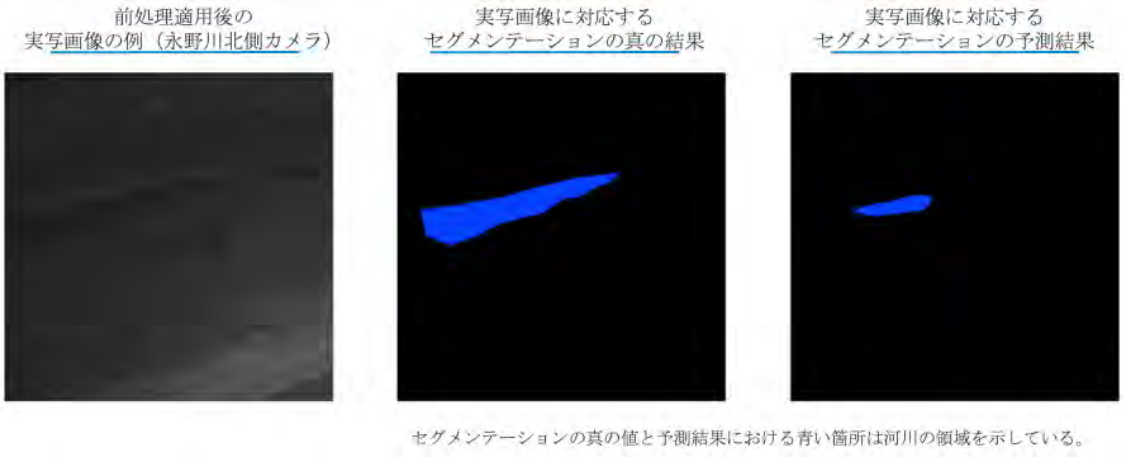


図 4.5.1.3-11

＜本検証で特定した課題と今後の方向性サマリ＞(図 4.5.1.3-12)

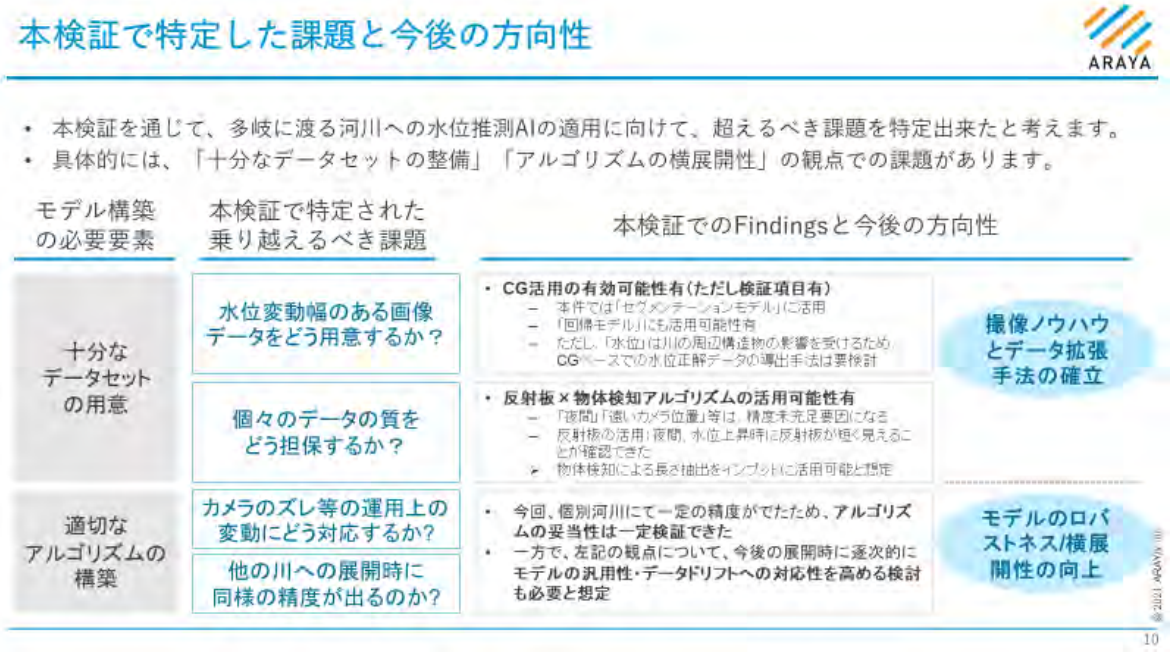


図 4.5.1.3-12

〈反射板の設置、反射板の設置による回帰モデルの精度向上の有効性、今後の活用方法について〉

反射板の設置の背景は夜間において河川の判別が肉眼でも難しい状況があり、反射板を使えば夜間でも河川を判別できる可能性があったためです。これについては夜間において最も河川の判別が難しかった永野川で反射板の設置許可が栃木土木事務所から下りず、反射板の設置が河川の判別に効果があるかの検証を行えませんでした。

また、今回検証した手法において反射板の設置による回帰モデルの精度向上の有効性は低いと考えました。そのため最終的に反射板を回帰モデルの特徴量として使用していません。反射板を設置した巴波川では、反射板が水位と相関のある特徴量であると考え、それを活用

することで回帰モデルの精度が向上されることを期待しました。具体的にはセグメンテーションの分類クラスは河川、護岸、背景(河川、護岸以外の領域)の 3 クラスでしたが、ここに反射板のクラスも加えることで 4 クラスの特徴量を回帰モデルの入力とすることができ、精度が向上すると考えました。しかし、反射板の設置後に実写画像を確認したところ夜間においては反射板が本来の大きさよりも横に膨張して見えることが判明しました。その結果夜間はセグメンテーションの推定結果において反射板の面積が大きくなり、相対的に反射板に隣接するクラスの面積が小さくなると推察しました。夜間時は常に昼間よりも反射板に隣接するクラスの面積が小さくなるというデータはノイズの大きいデータであり、回帰モデルの入力となるデータとして適さないと考えました。
一方で、本検証では図 4.5.1.3-13 の通り夜間において目視でも反射光を確認できることが分かりました。さらに、増水時に河川の水で隠れた反射板については発光しないことが分かりました。このため増水時と平常時で発光している反射板の長さに差が出ており、平常時は反射板が長く、増水時は反射板が短くなっています。この反射板の長さは水位と相関の高い特徴量だと考えられます。P42 にも記載の通りこれを活用することで、夜間に判別が難しい河川においては、反射板の高さに注目することで水位の推定を行うことができると考えます。

図 4.5.1.3-13a 水位が平常時の反射板の例（巴波川カメラ）

図 4.5.1.3-13a 水位が増水時の反射板の例（巴波川カメラ）

＜CG 画像の作成、CG 画像と実写画像の代替性、今後の活用方法について＞
CG 画像の作成の背景は、水位予測モデルの妥当性を確認するためです。作業開始当初は河川の水位変動がなく十分なバリエーションのデータを確保することができませんでした。そのため実写画像の代替として CG 画像を用いて水位予測モデルの妥当性を確認することとしました。この目的については CG 画像を作成することで実現されました。
また、今回の手法において CG 画像と実写画像の代替性は高いと考えています。ただ後述の通り実写画像を忠実に再現した CG 画像の作成が前提となります。
十分なバリエーションの巴波川の CG 画像で学習したモデルが巴波川の実写画像から現実の水位を推定できるかという点について、今回の検証では図 4.5.1.3-14 の試行 2 の通り精度が不良であることが確認されました。精度が不良な理由としては実写画像内に写る川幅や護岸の高さなどの測量結果が無く、実写の画像内の構造物の大きさを忠実に再現することができなかったことが原因と考えています。

試行ごとの絶対誤差の平均

試行	セグメンテーション用学習データ	回帰モデル用学習データ	評価データ	絶対誤差
1	CG画像(巴波川)、実写画像(COCO)	セグメンテーションモデルによるCG画像(巴波川)の推定結果	CG画像(巴波川)	0.128 m
2	CG画像(巴波川)、実写画像(COCO)	セグメンテーションモデルによるCG画像(巴波川)の推定結果	実写画像(巴波川)	0.353 m

図 4.5.1.3-14

ただ、実写の画像内の構造物の大きさを忠実に再現していない CG 画像で学習したモデルでの実写画像の推定結果の誤差が 35cm ほどでした。これは、実写画像を忠実に再現した CG 画像を作成すれば CG 画像で学習したモデルでの実写画像の推定精度が高まると考えられます。この忠実な CG 画像の作成に必要なものは実写画像内に写る川幅や護岸の高さなどの測量結果です。

＜4K カメラを使用した利点について＞

本実証においては、4K カメラは自治体における遠隔監視のための広角の撮影、及び AI 解析のためのズーム撮影の両立が必要とされます。AI の用途において、ズームを使って河川領域を撮影して解像度が劣化しても、AI の精度低下に繋がる事象がほとんど起きなかったことは 4K カメラを使用した利点であると考えます。

具体的には、巴波川と永野川に設置の両カメラにおいて河川領域を拡大するためにズームを使って撮影をしましたが、撮影された画像の解像度は AI 解析に十分でした。画質が劣化すると、真の結果を作成するアノテーション作業者の見間違えと真の結果の作成時のミスを引き起こし、結果的に AI の精度の低下に繋がる可能性があります。しかし、4K カメラを使用したことで、ズームしたとしても十分な解像度を担保できたと考えます。

②河川映像の遠隔監視と防災ダッシュボード

＜河川映像の遠隔監視＞

下図に、栃木市危機管理室における河川映像の表示例を示します。本実証では 3 か所のカメラを設置し、映像配信を行いました。自治体の意見を基に、標準の設定では図の表示例の通り、全てのカメラ映像を一覧可能なレイアウトに設定しました。ここでは、各カメラ映像一つにつき 2 種類の映像（ズームインとズームアップ）で表示して合計 6 映像の表示としました。また、注視が必要な場合には、1 つの映像を全画面表示して大画面で詳細な映像確認が可能となります。

危機管理課室における河川映像の表示例

本実証では本方式により十分な視認性・一覧性を得たものの、カメラ台数が今後増えた場合の映像表示方法の工夫は課題となります。モニタ 1 画面に表示させる映像の数が過剰になれば、1 映像当りの映像サイズが小さくなって視認性が悪化します。また、カメラ台数の増加に伴ってモニタの数を増やす手段を検討する場合、業務スペースの制約により実行不可能である場合が発生すると想定されます。根本的な解決手段の一つとして、本実証で実験を行った河川映像を基にした AI 解析によるアラート発報が有効であると考えます。モニタ上で複数映像を一覧して状況把握するのではなく、防災ダッシュボード上で AI 解析によるアラートを発報させることで注視すべきカメラを特定し、当該カメラ映像を画面上に表示させます。尚、防災ダッシュボード上では、カメラ設置位置のアイコン内の情報から河川映像の表示までをシームレスに行うことが可能です（下図参照）。

河川の映像表示

＜防災ダッシュボード＞

防災ダッシュボードの表示例を以下に示します。地図上に表示された円形の各アイコンは、水位計または河川監視カメラの位置を示しています。河川監視カメラのアイコンにおいては、河川映像の閲覧だけでなく、AI 解析によって得らえた水位情報の表示が可能です。各水位計または河川カメラの位置においては、はん濫危険水位等の基準水位が予め設定されており、水位の値が各閾値を超えた場合にはアイコンの色が変わります。また、アイコン右上部には、最新の測定値と前回の測定値を比較した変可能状態を表示しています。

防災ダッシュボード表示例 1

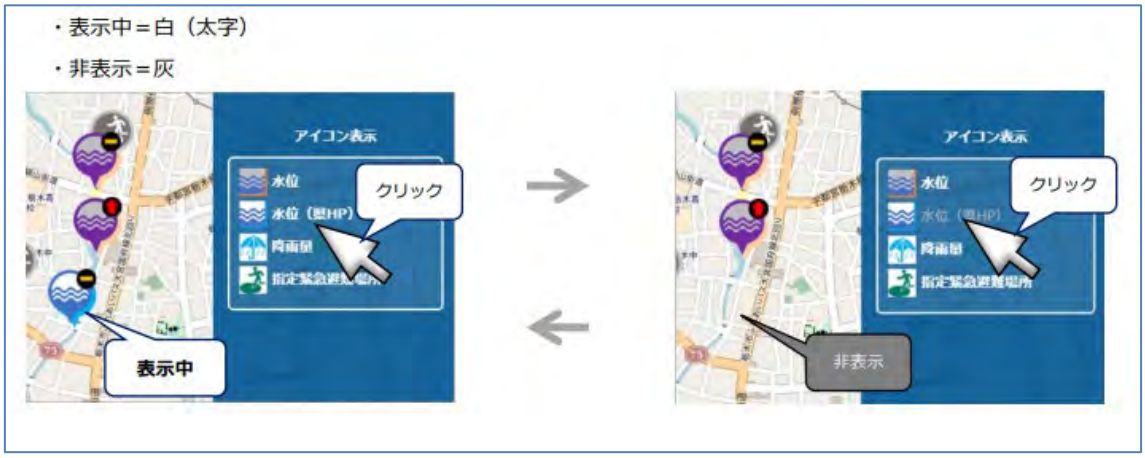
アイコン	説明
	水位センサーを示すアイコン 水位に応じてアイコンの色が変わります。 ● はん濫危険水位を超えたとき ● 避難判断水位を超えたとき ● はん濫注意水位を超えたとき ● 水防団待機水位を超えたとき ● 水防団待機水位未満
	県 HP の水位センサーを示すアイコン 水位に応じてアイコンの色が変わります。 ● はん濫危険水位を超えたとき ● 避難判断水位を超えたとき ● はん濫注意水位を超えたとき ● 水防団待機水位を超えたとき ● 水防団待機水位未満
	降雨量の計測地点を示すアイコン 降雨量に応じてアイコンの色が変わります。 ● 60mm 以上のとき ● 40mm 以上 60mm 未満のとき ● 20mm 以上 40mm 未満のとき ● 10mm 以上 20mm 未満のとき ● 1mm 以上 10mm のとき ● 0mm のとき

アイコン凡例

変化アイコン	説明	アイコン表示例
	前回から測定値が上昇したことを示すアイコン	
	前回から測定値が下降したことを示すアイコン	
	前回から測定値の変化が無いことを示すアイコン ※データの蓄積が無い場合、前回データが無い場合、 異常の場合にも本アイコンが表示されます。	

変化アイコンの凡例

マップ上に表示する情報アイコンを選ぶことができます。アイコン表示の凡例をクリックすることで、マップ上のアイコンの表示と非表示を切り替えます。



MAP 上に表示するアイコンの選択

各アイコンで閲覧可能な詳細情報は以下です。

項目	内容
観測地点名	観測地点の名称
水位	観測地点の水位の測定値（単位：m）
測定日時	観測地点の水位の測定日時（測定間隔：10 分）
水防団待機水位	観測地点の水防団待機水位（単位：m）
はん濫注意水位	観測地点のはん濫注意水位（単位：m）
避難判断水位	観測地点の避難判断水位（単位：m）
はん濫危険水位	観測地点のはん濫危険水位（単位：m）
カメラ映像 1	観測地点のカメラ映像
カメラ映像 2	観測地点のカメラ映像
関連エンティティ ID	関連エンティティとして降雨量の観測地点のエンティティ ID

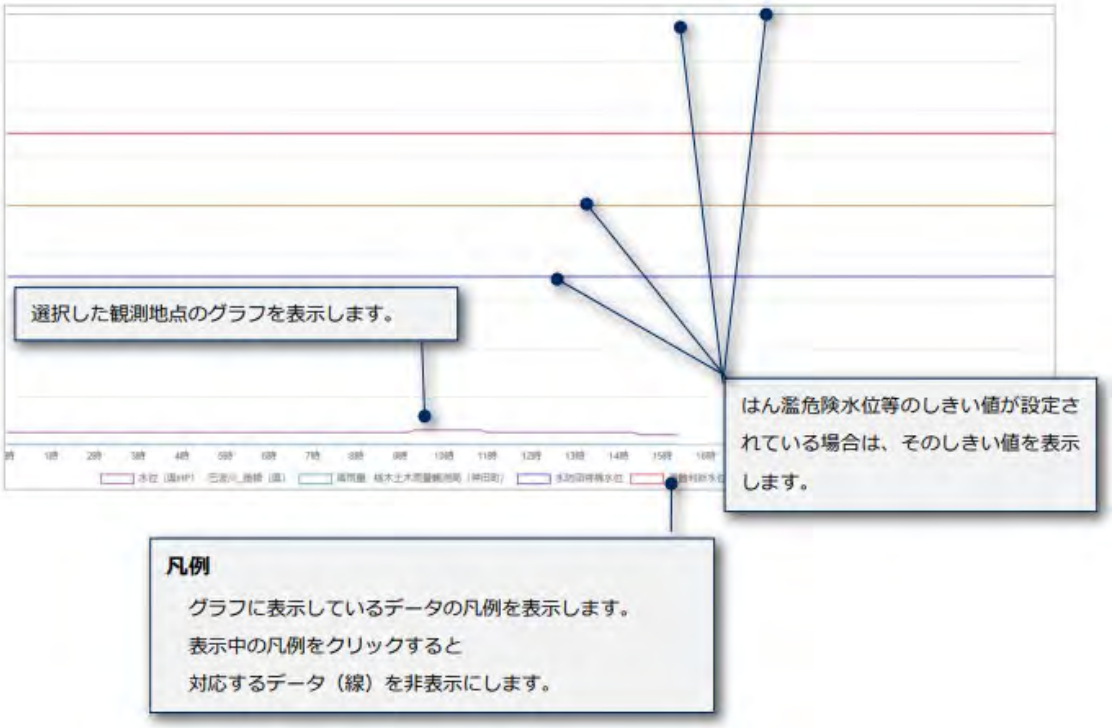
水位の詳細情報

項目	内容
観測地点名	観測地点の名称
水位	観測地点の水位の測定値（単位：m）
測定日時	観測地点の水位の測定日時（測定間隔：10 分）
水防団待機水位	観測地点の水防団待機水位（単位：m）
はん濫注意水位	観測地点のはん濫注意水位（単位：m）
避難判断水位	観測地点の避難判断水位（単位：m）
はん濫危険水位	観測地点のはん濫危険水位（単位：m）
関連エンティティ ID	関連エンティティとして降雨量の観測地点のエンティティ ID

水位（県 HP）の詳細情報

項目	内容
局名	観測地点の名称
降雨量	観測地点の降雨量の測定値（単位：mm）
測定日時	観測地点の降雨量の測定日時（測定間隔：10 分）

降雨量の詳細情報



グラフ上の閾値表示

項目	線の色	内容
水位		水位の推移を表示
水防団待機水位		水防団待機水位のしきい値を表示
はん濫注意水位		はん濫注意水位のしきい値を表示
避難判断水位		避難判断水位のしきい値を表示
はん濫危険水位		はん濫危険水位のしきい値を表示
降雨量		水位に関連する降雨量が設定されている場合、表示

閾値の詳細

観測地点名	関連降雨量観測局
巴波川_泉橋	栃木土木雨量観測局(神田町)
巴波川_栃木市役所立体駐車場	栃木土木雨量観測局(神田町)
巴波川_栃木市総合運動公園内	栃木土木雨量観測局(神田町)
永野川_睦橋	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)
永野川_上人橋	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)
(カメラ)巴波川_室町	栃木土木雨量観測局(神田町)
(カメラ)永野川①(園部町)上流撮影	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)
(カメラ)永野川②(園部町)下流撮影	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)

表示する水位リスト（本実証で設置した 5 か所の水位計、3 か所のカメラ）
※カメラの位置では AI 解析結果の水位値を表示する

観測地点名	関連降雨量観測局
巴波川_倭橋(県)	栃木土木雨量観測局(神田町)
巴波川_中里(国)	栃木土木雨量観測局(神田町)
永野川_大平橋上(県)	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)
永野川_永倉橋(県)	新落合雨量観測局(鹿沼市上永野)
渡良瀬川_藤岡(国)	安足土木雨量観測局(足利市伊勢町)
思川_保橋(県)	入粟野雨量観測局(鹿沼市入粟野)

表示する水位リスト（県 HP から情報を週出）

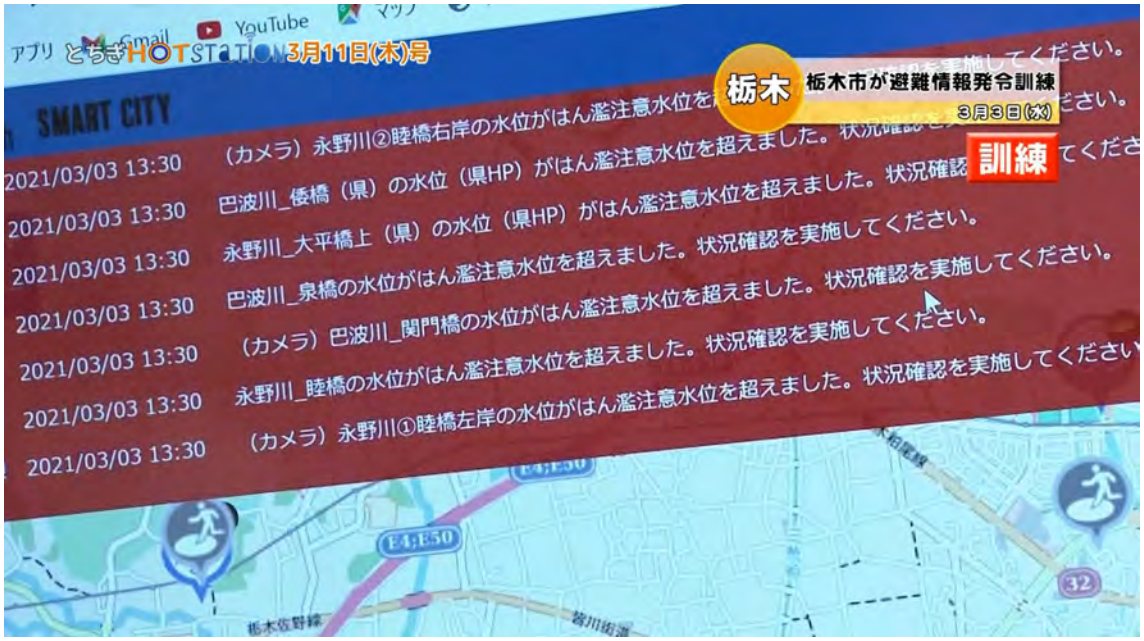
局名
新落合雨量観測局（鹿沼市上永野）
永野雨量観測局（鹿沼市永野）
梅沢雨量観測局（鍋山町）
寺尾雨量観測局（梅沢町）
皆川雨量観測局（皆川城内町）
栃木土木雨量観測局（神田町）
安足土木雨量観測局（足利市伊勢町）
入粟野雨量観測局（鹿沼市入粟野）

表示する降雨量リスト

避難場所名	住所
栃木市立真名子小学校	西方町真名子 1089 番地 1
栃木市西方総合文化体育館	西方町本郷 1705 番地 1
栃木市都賀公民館	都賀町原宿 521 番地
栃木市立寺尾中学校	鍋山町 86 番地 2
栃木市吹上公民館	吹上町 782 番地 1
栃木市皆川公民館	皆川城内町 699 番地
市民交流センター	入舟町6番地8号
栃木市国府公民館	惣社町 228 番地 1
栃木市立南小学校	沼和田町 38 番 10 号
栃木市立栃木東中学校	日ノ出町 1 番 11 号
栃木市立栃木西中学校	片柳町 2 丁目 15 番 40 号
とちぎコミュニティプラザ	箱森町 36 番 31 号
学悠館高校	沼和田町 2 番地2号

表示する指定緊急避難場所リスト

水位の値が各閾値を超えた場合は、アイコンの色が変わるだけでなくダッシュボード画面上部に帯アラートが表示されます（下図参照）。アラートの発生した箇所のアイコンが画面の地図上に表示されていなくても、帯アラートによる検知が可能となります。



防災ダッシュボード画面上部の帯アラート表示（再掲）

下図に、水位の時間推移と降雨量の時間水位を同一グラフに表示したイメージ図を示します。降雨量データには、水位計設置位置またはカメラ設置位置から最寄または関連の強い上流の観測所を用いて、推移と降雨量による総合的な判断を行いやすくします。

防災ダッシュボード表示例 2

避難情報発令訓練の実施後、自治体の訓練者より本訓練を通して体感した効果や今後の改善点等の聞き取り調査を行った結果を以下に記載します。尚、本聞き取り調査にはコンソーシアムメンバーである小山高専やケーブルテレビ株式会社も参加し、システム完成度や栃木の地域防災の観点でも議論を行いました。

・訓練開始当初は新方式による確認方法に試行錯誤したため時間を要した場面もあったが、当該訓練中に慣れるにしたがって従来方式と比較して有効な方式であると感じた。
・推移や降雨量の未来予測があると望ましい。値の変化量か変化速度を基に、一定の未来予測もできるのではないか。
・上記に関連して、表示グラフの横軸は中央を現時点として、未来と過去のそれぞれ 3 時間程度（時間はカスタマイズ可能が望ましい）を表示が可能になると把握がしやすい。
・アラート発報時に音が鳴る仕組みもあれば、見逃し防止の助けになる。
・地図を拡大縮小する際に、併せてアイコンの大きさも変化すると良い。現状は、地図を拡大した場合にアイコンが縮尺に比して大きくなり、アイコン同士が重なることがある。
・地図上に雨雲等の気象情報を可視化できると良い。気象情報も避難情報等の発令判断の検討材料として使用している。
・ダッシュボード上で河川カメラの画像データをサムネイルで表示できないか。簡易のチェックとして有用。
・災害情報はオープンデータとして公開して 2 次利用可能な形式とすれば、地域住民へ使いやすい形で広がっていくのではないか。

4.5.2 アー３：地域住民向けの高精細映像配信

4.5.2.1 概要

ケーブルテレビのコミュニティチャネルと動画配信サイトによる各映像配信手段について比較検討し、住民の避難意識向上に資する映像を提供ができているかを映像品質等の観点で検証しました。

4.5.2.2 検証項目・方法

【検証項目】

コミュニティチャネル、動画配信サイト、画像配信アプリによる各配信手段のそれぞれについて、避難意識向上の観点で十分な解像度であり有効な手段か否かを検証しました。

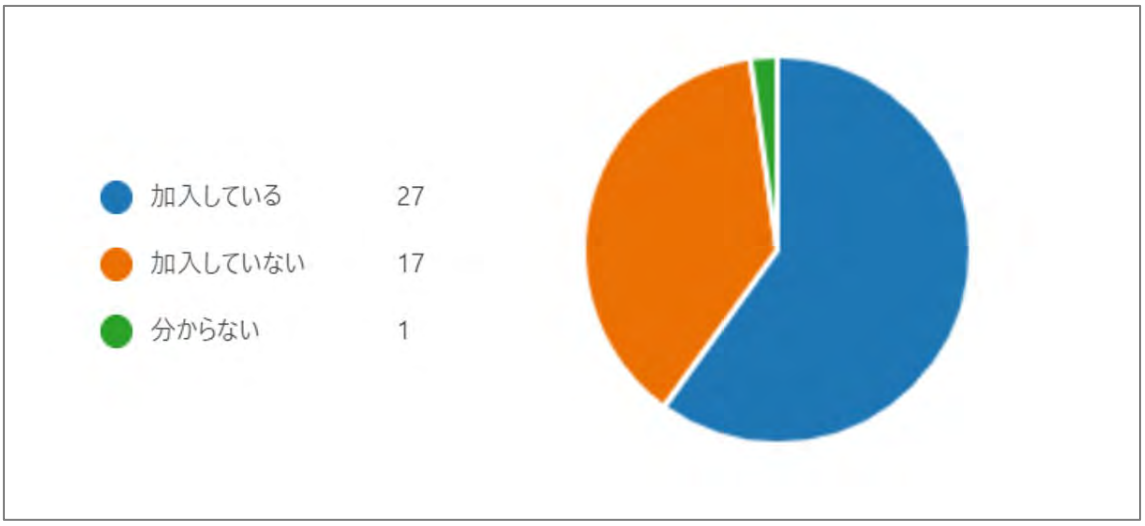
【検証方法】

効果検証で実施した住民の映像等の体験会（4.4.2.2 参照）において、上記検証項目についてアンケートを実施し、配信する映像等の品質について検証・考察しました。

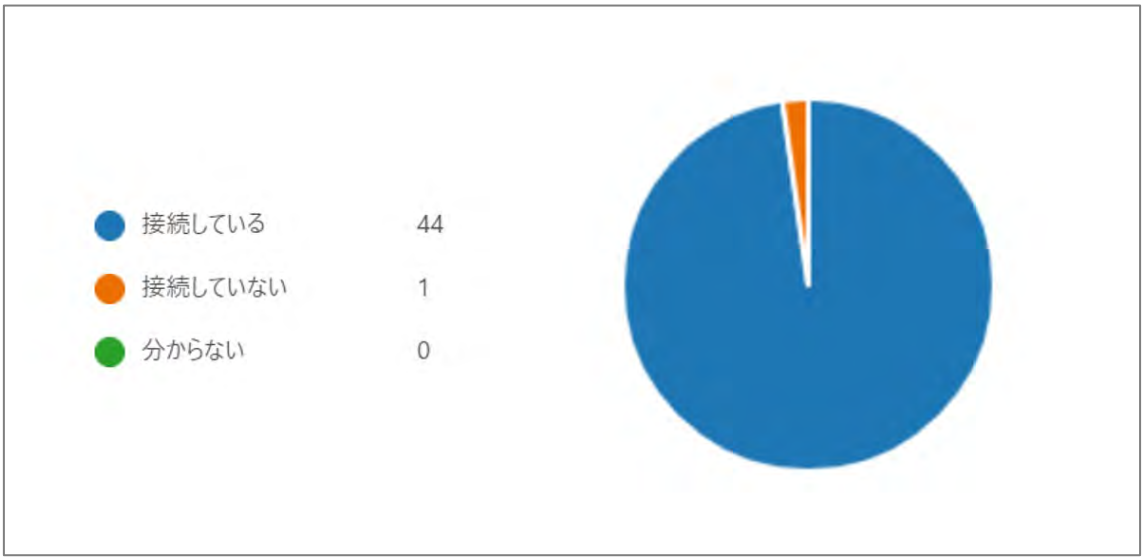
4.5.2.3 検証結果と考察

以下にモニタ住民のアンケート結果を示します。

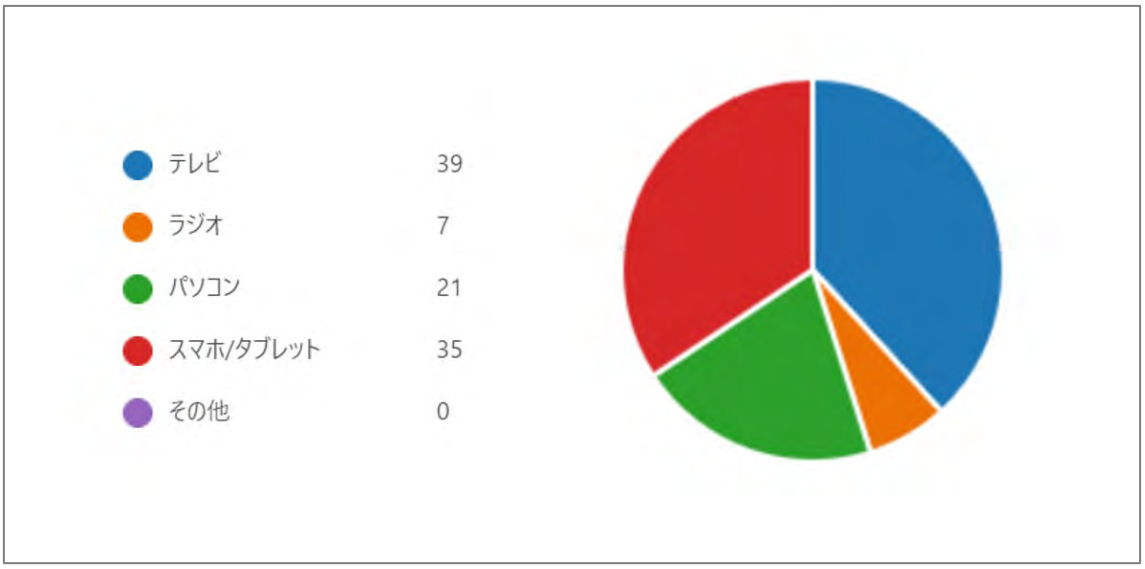
まず、本件検証に関連する被験者の属性の結果を列挙します。コミュニティチャネルの配信プラットフォームを担うケーブルテレビへのサービス加入有無は 60%となりました。この観点において、ケーブルテレビ株式会社のサービス提供エリアにおける有料サービス加入率約 50%との対比において、概ね公平性を担保した検証であったと考えます。被験者は幅広い年代（4.4.2.3 のアンケート結果参照）であったが、日常のインターネット接続率は約 98%と、ほぼ全員がインターネットを使用している母集団でした。過去の水害において重要視した情報入手した機器としてはテレビが最も多く、テレビによる防災情報の発信の重要性が伺えます。また、同質問においてスマホ/タブレットが次に多い回答であり、YouTube やアプリによる災害情報配信も有効であると考えます。過去の災害において重要視した情報源としては、テレビニュース（NHK 及び民放）が最も多く、その次にテレビニュース（ケーブルテレビ コミュニティチャネル）となりました。ラジオや SNS 等、他の情報源と比較してテレビニュースが住民にとって重視されていることがわかります。



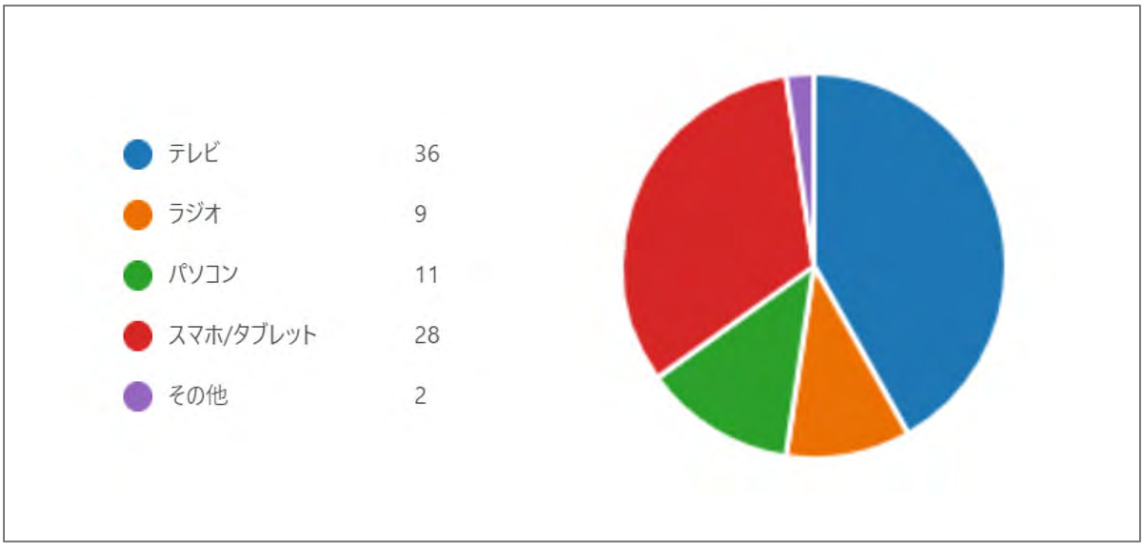
ケーブルテレビ加入有無



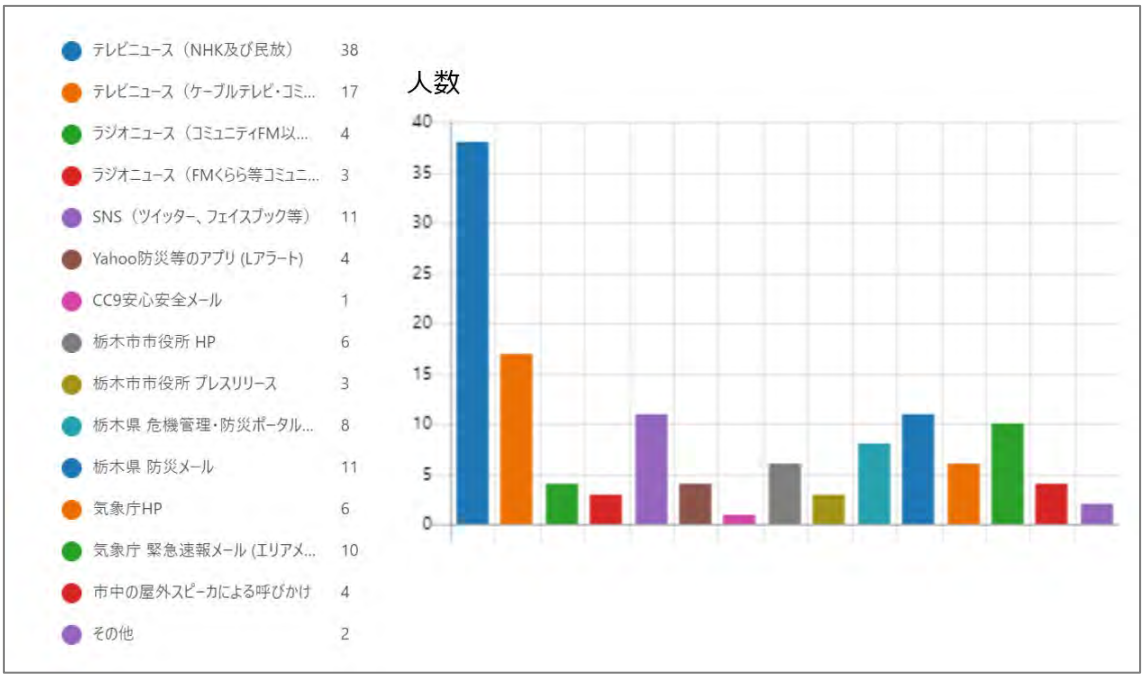
普段のインターネット接続有無（スマホ・携帯電話含む）



普段使用する情報入手機器

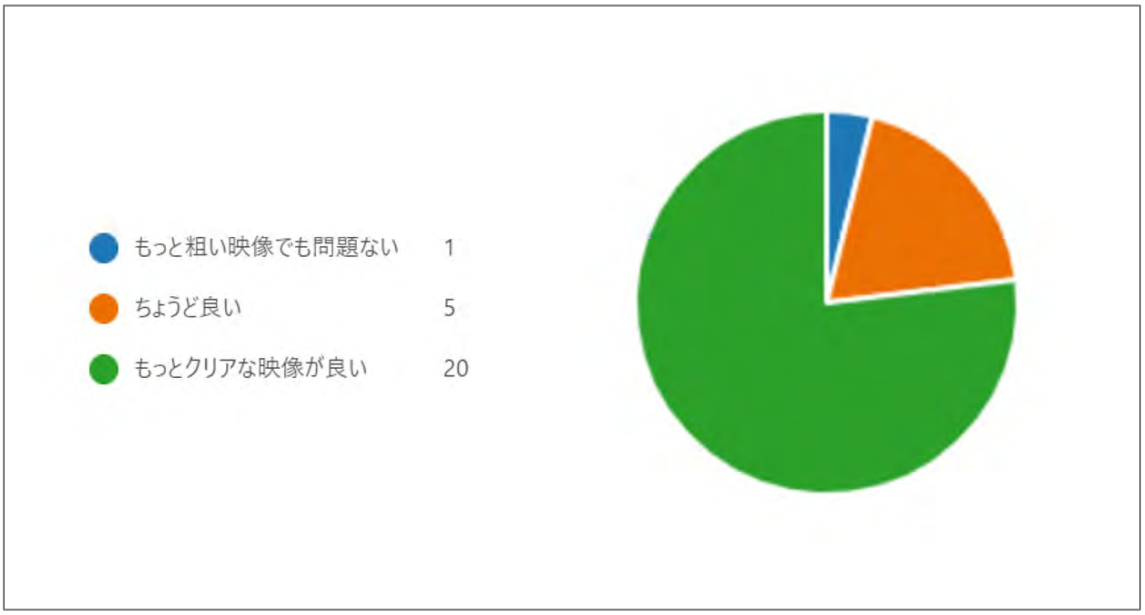


過去の水害の際（2019 年台風 19 号など）に重要視した情報入手機器（複数回答可）

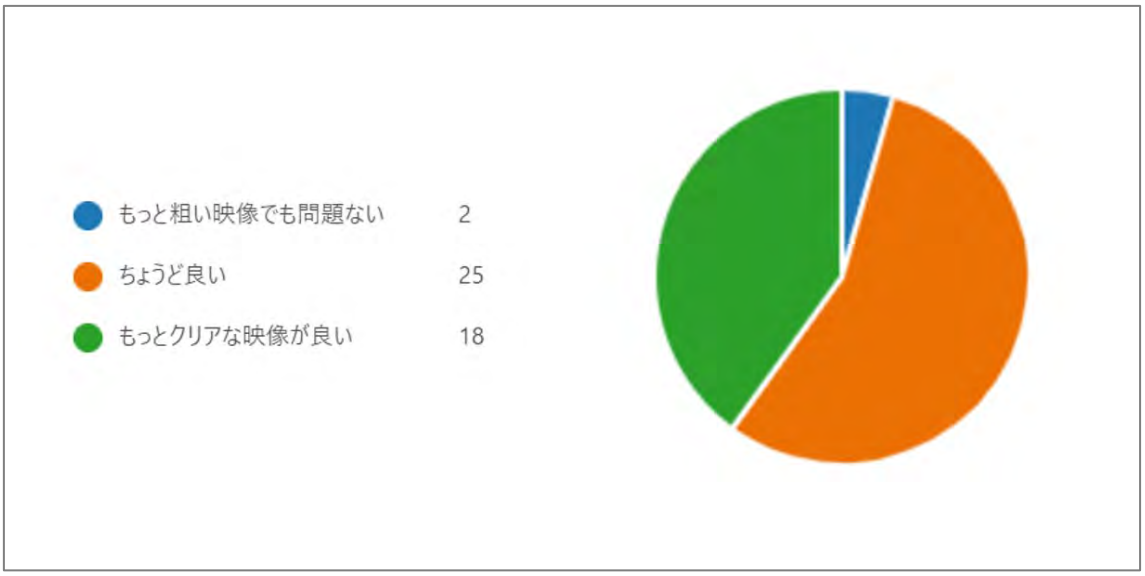


過去の水害の際（2019 年台風 19 号など）に重要視した情報源（複数回答可）

次に、視聴した河川映像の品質についてのアンケート結果を示します。本実験では非高精細の過去水害の映像（2019 年台風 19 号）も使用しておりますが、約 77%が映像品質に課題があると感じました。一方、本実証で導入した高精細の河川映像については、60%が映像品質に満足しているいう結果になりました。この結果は、既存の映像配信手段を比較して、高精細カメラの映像配信が有用であることを示していると考えます。

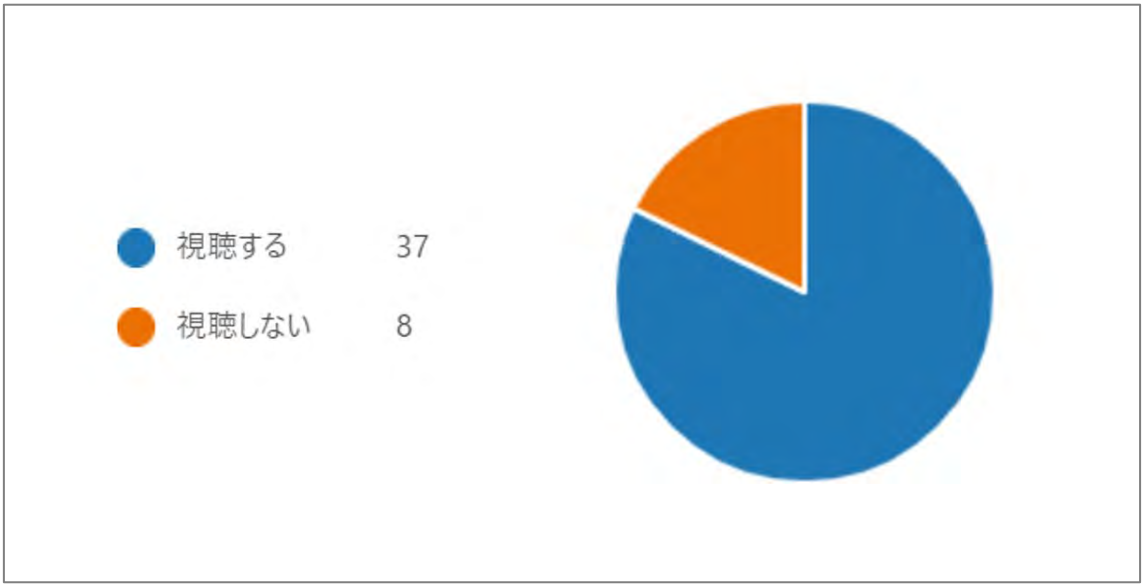


視聴した正面プロジェクタ画面（非高精細の過去の水害映像）の河川映像は十分にクリアでしたか？

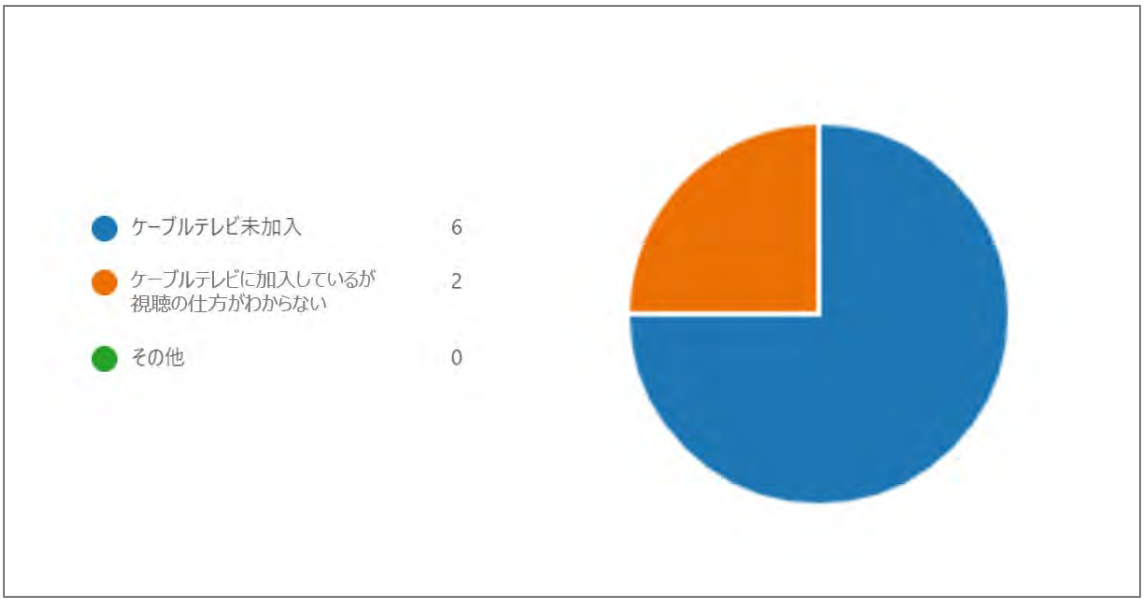


視聴した TV モニタの河川映像（高精細のリアルタイムの河川映像）は十分にクリアでしたか？

ケーブルテレビのコミュニティチャネルによる河川映像配信を今後の水害時に視聴するか否かの質問に対しては、約 82%が視聴すると回答しました。この値は、被験者のケーブルテレビ加入率 60%と比較して高い値であり、住民が河川映像配信のサービスを求めていると考えることができます。また、視聴しないと回答した残りの約 18%の理由の内訳のすべてはケーブルテレビ未加入又は視聴方法がわからない点を挙げており、河川映像配信自体に対してはポジティブな意見であると考えることができます。

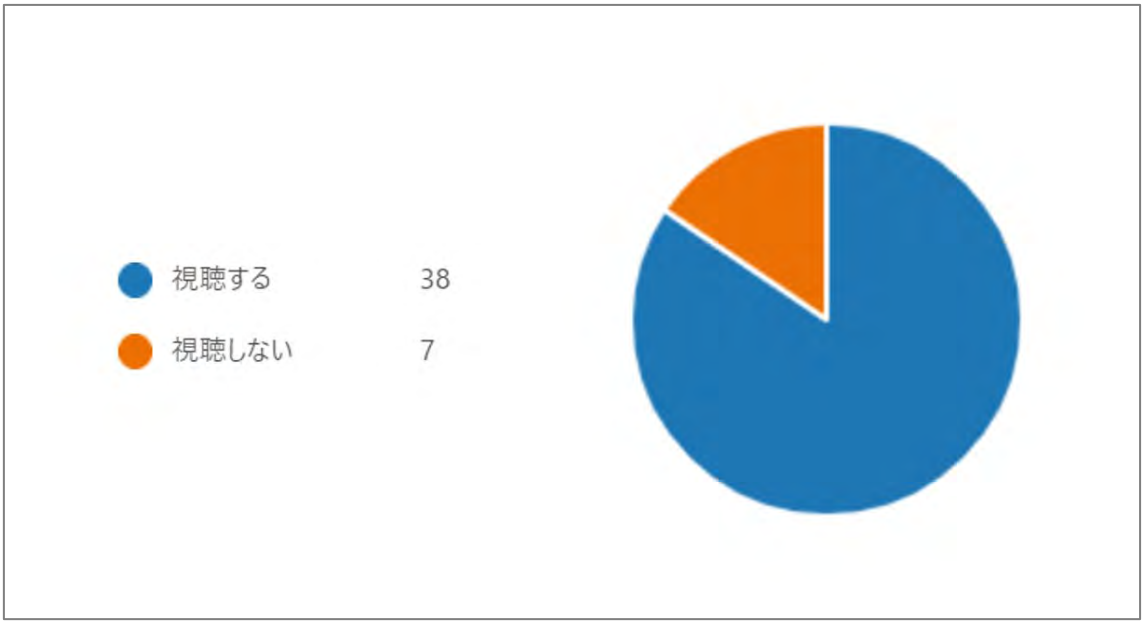


今後、ケーブルテレビのコミュニティチャネルで放映する高精細の河川映像を水害の際に視聴しますか？

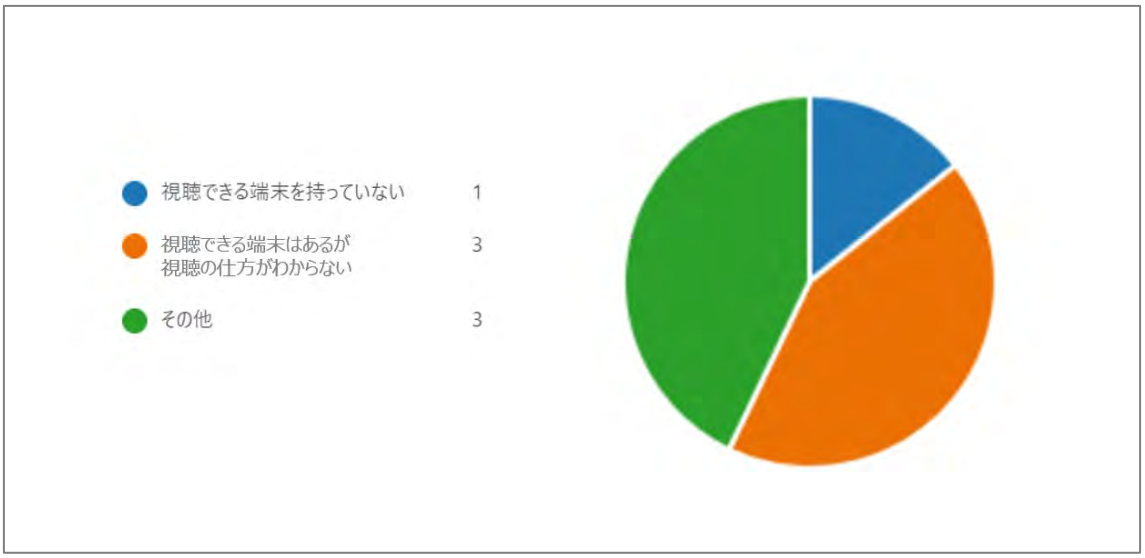


「視聴しない」を選択した理由を教えてください。

続いて、YouTube を用いた高精細の河川映像配信についてのアンケート結果をします。今後の水害時に当該映像配信を閲覧するか否かの質問に対しては、約 84%が視聴すると回答しました。この値は上記ケーブルテレビコミュニティチャネルにおける映像配信とほぼ同等の結果であり、同様に住民の河川映像配信サービスへの需要が大きいと考えられます。また、視聴しないと回答した約 16%の理由の内訳としては、視聴できる端末を持っていない、または視聴できる端末があるが視聴の仕方がわからない、の合計が過半数であり、視聴自体にはポジティブな回答が比較的多くありました。但し、被験者 45 人中 3 人は、視聴しない、かつ理由が不明（その他を選択し、理由の自由記入は空欄）であり、今後の理由の追求が今後の河川映像の YouTube による配信の効果の向上に資すると考えます。

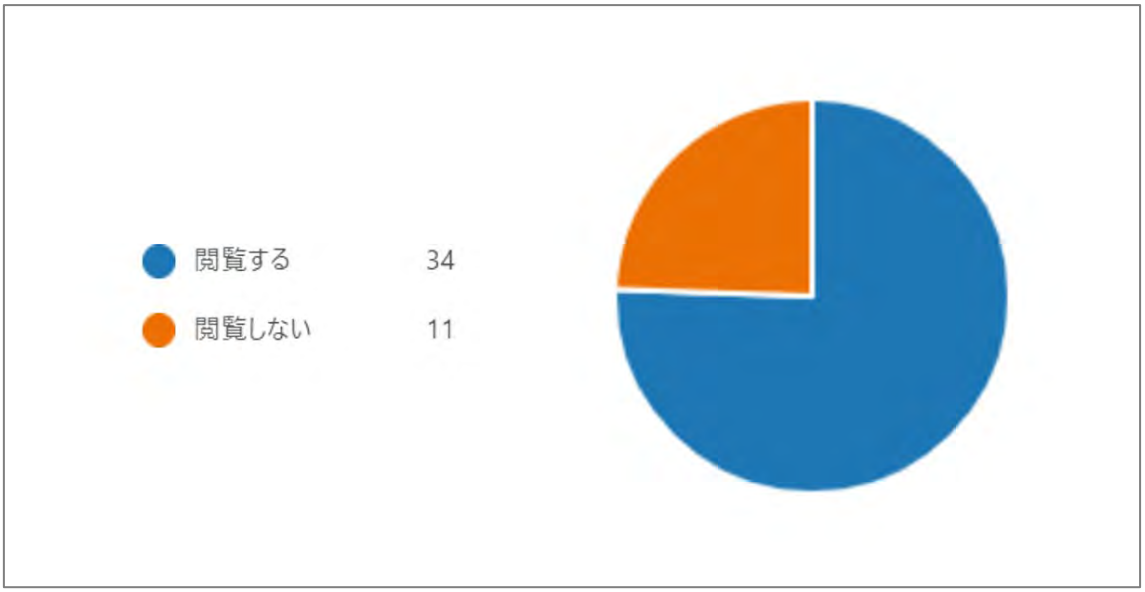


今後、YouTube で放映する高精細の河川映像を水害の際には視聴しますか？

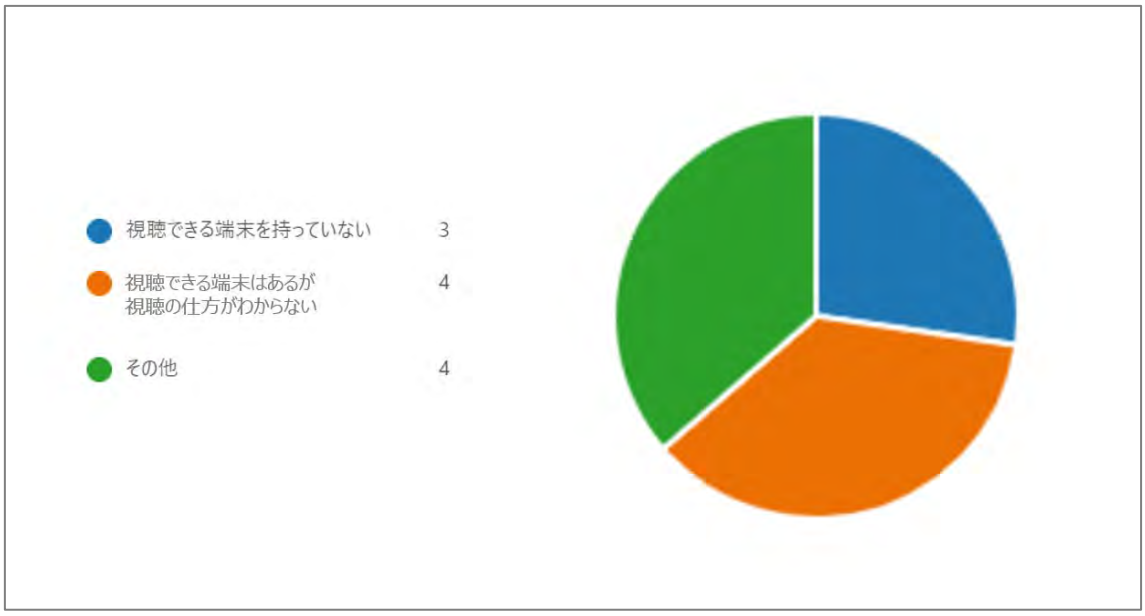


「視聴しない」を選択した理由を教えてください。

続いて、ケーブルテレビの地域への情報配信アプリ「d ぽけっと」により配信する河川画像を、水害の際には閲覧するか否かのアンケート結果を示します。約 76%が閲覧すると回答を得ました。この値は、アプリによる画像配信は有用であると考えることが可能である一方、同様の質問についてケーブルテレビコミュニティチャネル映像配信の約 82%、YouTube による映像配信の約 84%と比較して低い値となり、映像配信が画像配信よりも有用であることを示していると考えることができます。



今後、ケーブルテレビのアプリ「d ぽけっと」により河川画像配信を水害の際には閲覧しますか？



「閲覧しない」を選択した理由を教えてください。

以上の結果から、高精細の河川映像配信は既存の非高精細の河川映像配信を比較して有用であり、かつ十分な品質であることが示されたと考えます。また、高精細映像配信の視聴へ住民の視聴の意向があることを確認できました。

以下に、アンケートの個々の回答結果を示します。

ID	ケーブルテレビ加入有無	インターネット接続有無	普段ご使用する情報入手機器	過去の水害の際（2019年台風19号など）に重要視した情報入手機器	過去の水害の際(2019年台風19号など)に重要視した情報源
3	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;パソコン;ラジオ;テレビ;	スマホ/タブレット;パソコン;	テレビニュース（ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;ラジオニュース（FMくらら等コミュニティFM）;CC9安心安全メール;栃木市市役所HP;栃木市市役所 プレスリリース;気象庁HP;
4	加入している	接続している	テレビ;	テレビ;パソコン;	テレビニュース（NHK及び民放）;栃木県 防災メール;
5	加入している	接続していない	テレビ;	テレビ;	テレビニュース（NHK及び民放）;
6	加入	接続し	テレビ;	テレビ;ラジ	テレビニュース（NHK及び民

	している	ている	スマホ/タブレット;	オ;スマホ/タブレット;	放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル);栃木市市役所 HP;栃木市市役所 プレスリリース;栃木県 防災メール;
7	加入している	接続している	テレビ;ラジオ;スマホ/タブレット;	テレビ;ラジオ;	テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル);ラジオニュース(コミュニティFM以外);
8	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;ラジオ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビニュース(NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル);栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;栃木県 防災メール;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);
9	加入していない	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	パソコン;スマホ/タブレット;	テレビニュース(NHK及び民放);気象庁HP;栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;
10	加入していない	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース(NHK及び民放);Yahoo防災等のアプリ(Lアラート);SNS(ツイッター、フェイスブック等);気象庁 緊急速報メール(エリアメール);気象庁HP;
11	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;テレビ;パソコン;	スマホ/タブレット;テレビ;	テレビニュース(NHK及び民放);
12	加入していない	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース(NHK及び民放);Yahoo防災等のアプリ(Lアラート);気象庁 緊急速報メール(エリアメール);
13	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース(NHK及び民放);SNS(ツイッター、フェイスブック等);
14	加入している	接続している	テレビ;	現地;	テレビニュース(NHK及び民放);市中の屋外スピーカによる呼びかけ;
15	加入	接続し	テレビ;	テレビ;ラジ	Yahoo防災等のアプリ(Lア

	している	ている		オ;	ラート);テレビニュース（NHK及び民放）;危機管理課端末;
16	加入していない	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;
17	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;
18	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;栃木県 防災メール;市中の屋外スピーカによる呼びかけ;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);
19	加入している	接続している	スマホ/タブレット;パソコン;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;
20	加入している	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;
21	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;テレビ;	スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);
22	加入している	接続している	スマホ/タブレット;	スマホ/タブレット;	栃木県 防災メール;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;
23	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;パソコン;	テレビニュース（NHK及び民放）;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;栃木市市役所 HP;
24	加入していない	接続している	パソコン;スマホ/タブレット;	スマホ/タブレット;パソコン;	SNS（ツイッター、フェイスブック等）;栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;気象庁HP;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);
25	分か	接続し	スマホ/	実際に現地に	実際に現地にいたので補足

	らない	ている	タブレット;パソコン;	いました;スマホ/タブレット;ラジオ;	で上記の物を見ました;テレビニュース（NHK 及び民放）;ラジオニュース(コミュニティ FM 以外）;SNS（ツイッター、フェイスブック等）；
26	加入している	接続している	テレビ;	テレビ;	テレビニュース（NHK 及び民放）;テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;栃木市市役所 HP;栃木県 防災メール;気象庁 緊急速報メール （エリアメール);ラジオニュース(FM くらら等コミュニティ FM）；
27	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;	テレビニュース（ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;Yahoo 防災等のアプリ （L アラート);栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;栃木県防災メール;
28	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK 及び民放）;テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）；
29	加入している	接続している	テレビ;ラジオ;パソコン;	テレビ;ラジオ;パソコン;	テレビニュース（NHK 及び民放）;テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル);ラジオニュース(コミュニティ FM 以外）;栃木県 防災メール;
30	加入している	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;	テレビニュース（NHK 及び民放）；
31	加入していない	接続している	テレビ;	テレビ;	テレビニュース（NHK 及び民放）;栃木県 防災メール;
32	加入している	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;ラジオ;	テレビニュース（NHK 及び民放）;テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）；
33	加入していない	接続している	テレビ;	テレビ;	テレビニュース（NHK 及び民放）;市中の屋外スピーカによる呼びかけ;

34	加入している	接続している	テレビ;ラジオ;スマホ/タブレット;パソコン;	テレビ;	テレビニュース（NHK及び民放）;
35	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;	テレビニュース（NHK及び民放）;
36	加入している	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;
37	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;パソコン;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;栃木市市役所 HP;市中の屋外スピーカによる呼びかけ;
38	加入している	接続している	テレビ;パソコン;スマホ/タブレット;	テレビ;パソコン;	テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル);栃木市市役所 プレスリリース;気象庁HP;
39	加入していない	接続している	パソコン;	パソコン;	栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;
40	加入していない	接続している	テレビ;ラジオ;パソコン;スマホ/タブレット;	スマホ/タブレット;パソコン;テレビ;	テレビニュース（NHK及び民放）;気象庁 緊急速報メール(エリアメール);栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;
41	加入している	接続している	パソコン;スマホ/タブレット;テレビ;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;
42	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;テレビ;	スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;栃木市市役所HP;栃木県 危機管理・防災ポータルサイト;

43	加入している	接続している	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放);テレビニュース(ケーブルテレビ・コミュニティチャンネル）;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;
44	加入していない	接続している	テレビ;	テレビ;スマホ/タブレット;	テレビニュース（NHK及び民放）;栃木県 防災メール;気象庁 緊急速報メール （エリアメール);
45	加入していない	接続している	スマホ/タブレット;テレビ;	スマホ/タブレット;テレビ;	テレビニュース（NHK及び民放）;SNS（ツイッター、フェイスブック等);栃木県 防災メール;
46	加入していない	接続している	テレビ;ラジオ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;ラジオ;	テレビニュース（NHK及び民放);ラジオニュース(コミュニティFM以外）;
47	加入している	接続している	テレビ;ラジオ;スマホ/タブレット;	テレビ;スマホ/タブレット;ラジオ;	テレビニュース（NHK及び民放）;ラジオニュース（FMくらら等コミュニティFM）;気象庁HP;SNS（ツイッター、フェイスブック等）;

ID	視聴した正面プロジェクタ画面の河川映像は十分にクリアでしたか？	視聴したTVモニタの河川映像は十分にクリアでしたか？	今後、水害の際にケーブルテレビのコミュニティチャネルの河川映像を視聴しますか？	「視聴しない」を選択した理由を教えてください。
3		ちょうど良い	視聴する	
4		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
5		もっとクリアな映像が良い	視聴しない	ケーブルテレビに加入しているが視聴の仕方が分からない
6		ちょうど良い	視聴する	
7		もっと粗い映像でも問題ない	視聴しない	ケーブルテレビに加入しているが視聴の仕方が分からない
8		ちょうど良い	視聴する	
9		もっとクリアな映像が良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入

10		ちょうど良い	視聴する	
11		もっとクリアな映像が良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入
12		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
13		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
14		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
15		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
16		ちょうど良い	視聴する	
17		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
18	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
19	ちょうど良い	ちょうど良い	視聴する	
20		ちょうど良い	視聴する	
21	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入
22	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
23	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
24		ちょうど良い	視聴する	
25		ちょうど良い	視聴する	
26	もっと粗い映像でも問題ない	もっと粗い映像でも問題ない	視聴する	
27		もっとクリアな映像が良い	視聴する	
28	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
29	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	

30	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
31	ちょうど良い	もっとクリアな映像が良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入
32	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
33	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
34	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
35	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	
36	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	
37	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	
38	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	
39	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入
40	ちょうど良い	ちょうど良い	視聴する	
41	ちょうど良い	ちょうど良い	視聴する	
42	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	
43	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	
44	もっとクリアな映像が良い	もっとクリアな映像が良い	視聴する	

45	ちょうど良い	ちょうど良い	視聴する	
46	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴しない	ケーブルテレビ未加入
47	もっとクリアな映像が良い	ちょうど良い	視聴する	

ID	水害の際にはYoutube で高精細の河川映像視聴しますか？	「視聴しない」を選択した理由を教えてください。2	水害の際にはケーブルテレビのアプリ「dぽけっと」の河川画像を閲覧しますか？	「閲覧しない」を選択した理由を教えてください。
3	視聴する		閲覧する	
4	視聴する		閲覧しない	視聴できる端末を持っていない
5	視聴しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない	閲覧しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない
6	視聴する		閲覧する	
7	視聴しない	視聴できる端末を持っていない	閲覧する	
8	視聴する		閲覧する	
9	視聴する		閲覧する	
10	視聴する		閲覧する	
11	視聴する		閲覧する	
12	視聴する		閲覧する	
13	視聴する		閲覧する	
14	視聴する		閲覧しない	視聴できる端末を持っていない
15	視聴しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない	閲覧しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない
16	視聴する		閲覧する	
17	視聴する		閲覧する	
18	視聴する		閲覧する	
19	視聴する		閲覧する	

20	視聴する		閲覧する	
21	視聴する		閲覧する	
22	視聴する		閲覧する	
23	視聴する		閲覧する	
24	視聴する		閲覧する	
25	視聴する		閲覧する	
26	視聴する		閲覧する	
27	視聴する		閲覧する	
28	視聴する		閲覧する	
29	視聴する		閲覧する	
30	視聴しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない	閲覧しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない
31	視聴する		閲覧しない	視聴できる端末を持っていない
32	視聴する		閲覧する	
33	視聴する		閲覧する	
34	視聴する		閲覧する	
35	視聴する		閲覧しない	視聴できる端末はあるが視聴の仕方が分からない
36	視聴する		閲覧する	
37	視聴しない	そこまできたいしない	閲覧しない	情報がすくない、ふせいかくである
38	視聴する		閲覧する	
39	視聴する		閲覧する	
40	視聴する		閲覧する	
41	視聴する		閲覧しない	Youtube をつかう
42	視聴する		閲覧する	
43	視聴する		閲覧する	
44	視聴しない	w	閲覧しない	q
45	視聴する		閲覧する	
46	視聴しない	2	閲覧しない	2
47	視聴する		閲覧する	

4.5.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証

4.5.3.1 概要

高精細河川映像配信と FWA インターネット接続サービス提供を併用して運用する場合に、FWA インターネット接続サービスで高トラフィックが発生して防災アプリケーションの品質へ影響が及ぶケースの発生が想定されます。本実証実験では、意図的に FWA インターネット接続サービス用端末からトラヒック負荷をかけることで、防災アプリケーションへの影響を検証しました。

4.5.3.2 検証項目・方法

【検証項目】

併用時のネットワーク全体のトラヒック等の負荷が増大した場合における、河川画像の AI 解析結果に与える影響、及び高精細映像配信に与える影響を検証しました。

【検証方法】

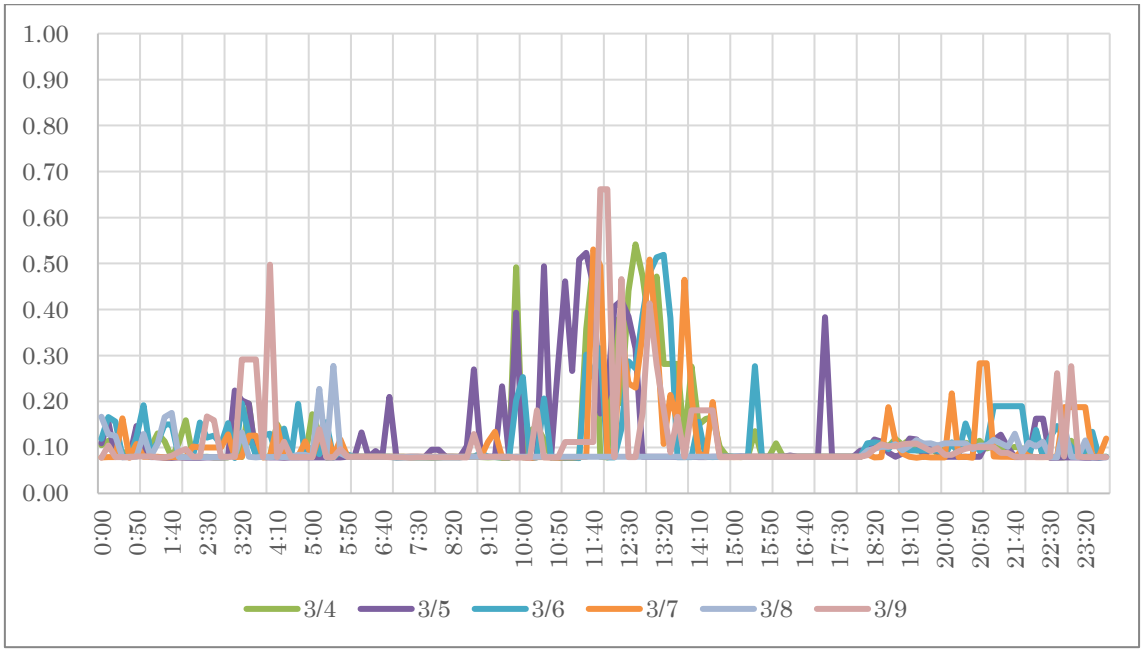
端末から意図的に高トラフィックを発生させ、無線帯域の逼迫状態を作り出すことで評価・検証を行いました。河川画像の AI 解析へ影響は、防災ダッシュボード上で取得可能な水位推定値のログを用い、ミリ波帯エリアの巴波川の水位推定値が高トラフィック発生時と通常でどう変わるかを検証しました。また、高精細映像配信に与える影響としては、Sub 帯エリアにおける 5. ローカル 5G の性能評価の技術実証における高トラフィック時の映像品質評価の結果を用いて検証を行いましたが、これは、本実証におけるその他映像配信方法（コミュニティチャネル配信と YouTube 配信）と比べてシステム構成がシンプルであり、測定時において不確定要素が入ることで本質的な検証結果の抽出が困難になる可能性を比較的避けられると考えたためです。尚、意図的な高トラフィック発生には iPerf を用いました。クライアント側の iPerf をインストールした PC を FWA 端末に接続し、サーバ側の iPerf をインストールした PC をコアネットワーク内の装置に接続し、クライアント側 iPerf からサーバ側 iPerf へデータ送信を継続的に行うことでアップリンクの高トラフィックを発生させました。

4.5.3.3 検証結果と考察

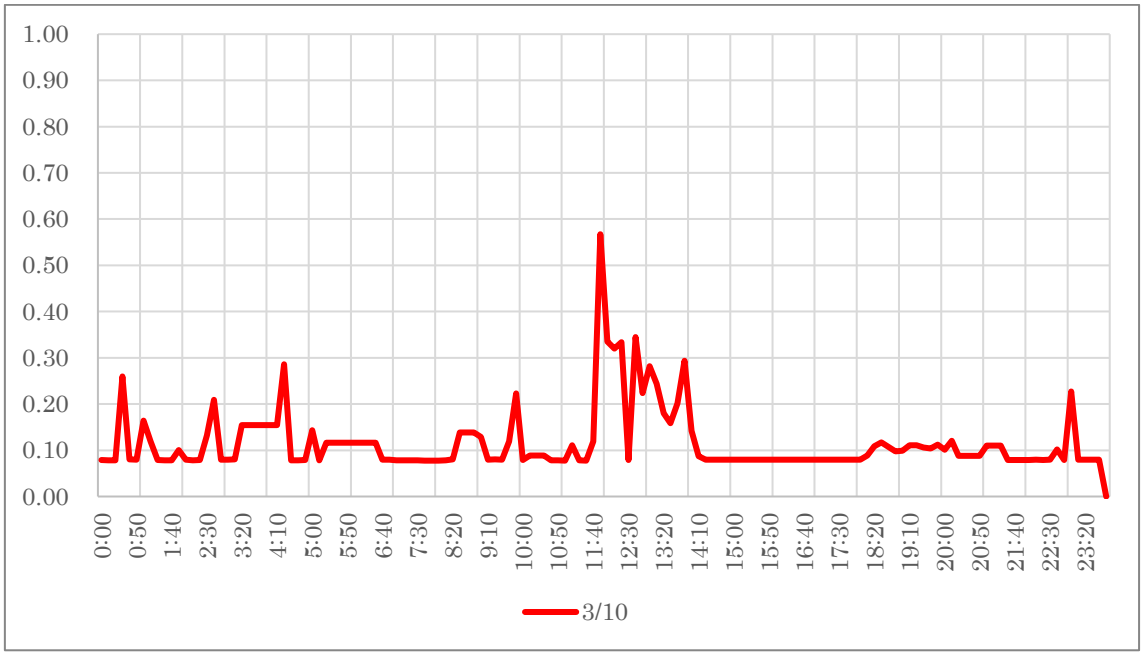
高トラフィック発生による河川画像の AI 解析へ影響を検証する期間として水位変化の少ない期間を選択し、3 月 4 日～10 日としました。この期間において、AI 解析対象の巴波川設置カメラから最寄の倭橋の水位計の水位値変化は±1cm でした。この期間の内、3 月 4 日～9 日アップリンク負荷無しの期間とし、3 月 10 日にアップリンク負荷をかけました。iPerf によるアップリンク負荷の設定値は、十分に大きな値として最大 250Mb/s と設定しました。、

下図に、トラフィック負荷無しと有りのそれぞれの 1 日の AI 水位推定値のグラフを示します。いずれも正午付近や深夜において AI 推定推移値が高くなる、つまり推定誤差大きくなる傾向にありましたが、各ケースの比較において大きな差は見られませんでした。これは、本実験におけるトラフィック負荷が、ローカル 5G により無線伝送された 4K 河川画像を AI

解析した結果の水位推定値に影響が出なかったことを示します。但し、無線環境や推定精度向上ための AI アルゴリズム変更など、前提条件が変更になった場合においての高トラフィック負荷の影響がどう変わるかの検証は今後も必要になると考えます。



トラフィック負荷無し（縦軸：AI 推定水位［m］、横軸：時間）



トラフィック負荷あり（縦軸：AI 推定水位［m］、横軸：時間）

以下に、実験期間における各日の AI 水位推定値の時刻変化を表に示します。

時刻別 AI 水位推定値（3 月 4 日～10 日）

時刻	日付

	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10
0:00	0.10	0.11	0.12	0.08	0.17	0.08	0.08
0:10	0.11	0.16	0.17	0.08	0.13	0.10	0.08
0:20	0.11	0.08	0.16	0.08	0.13	0.08	0.08
0:30	0.08	0.08	0.08	0.16	0.08	0.08	0.26
0:40	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
0:50	0.10	0.15	0.12	0.11	0.08	0.08	0.08
1:00	0.10	0.09	0.19	0.08	0.13	0.08	0.16
1:10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.12
1:20	0.13	0.08	0.11	0.08	0.11	0.08	0.08
1:30	0.11	0.08	0.15	0.08	0.17	0.08	0.08
1:40	0.08	0.08	0.15	0.08	0.18	0.08	0.08
1:50	0.11	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10
2:00	0.16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.08
2:10	0.08	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08
2:20	0.08	0.08	0.15	0.10	0.08	0.08	0.08
2:30	0.08	0.08	0.12	0.10	0.08	0.17	0.13
2:40	0.08	0.08	0.13	0.10	0.08	0.16	0.21
2:50	0.08	0.08	0.11	0.10	0.08	0.08	0.08
3:00	0.08	0.08	0.15	0.13	0.08	0.08	0.08
3:10	0.15	0.22	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
3:20	0.08	0.20	0.20	0.08	0.13	0.29	0.15
3:30	0.19	0.20	0.13	0.13	0.08	0.29	0.15
3:40	0.08	0.08	0.08	0.13	0.08	0.29	0.15
3:50	0.08	0.08	0.13	0.08	0.08	0.08	0.15
4:00	0.08	0.08	0.13	0.08	0.08	0.50	0.15
4:10	0.15	0.08	0.08	0.15	0.08	0.08	0.15
4:20	0.12	0.08	0.14	0.08	0.08	0.11	0.29
4:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
4:40	0.08	0.08	0.19	0.08	0.08	0.08	0.08
4:50	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08	0.08
5:00	0.17	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.14
5:10	0.13	0.08	0.08	0.13	0.23	0.14	0.08

5:20	0.08	0.08	0.15	0.14	0.08	0.08	0.12
5:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.28	0.08	0.12
5:40	0.09	0.08	0.09	0.12	0.09	0.10	0.12
5:50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
6:00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
6:10	0.08	0.13	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
6:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
6:30	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
6:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
6:50	0.08	0.21	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
7:50	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
8:00	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
8:10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
8:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
8:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.14
8:40	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.14
8:50	0.08	0.27	0.08	0.08	0.08	0.13	0.14
9:00	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.13
9:10	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08	0.08
9:20	0.08	0.08	0.08	0.13	0.08	0.08	0.08
9:30	0.08	0.23	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
9:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12
9:50	0.49	0.39	0.20	0.08	0.08	0.08	0.22
10:00	0.08	0.08	0.25	0.08	0.08	0.08	0.08
10:10	0.14	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09
10:20	0.15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.18	0.09
10:30	0.12	0.49	0.21	0.08	0.08	0.08	0.09
10:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

10:50	0.08	0.28	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
11:00	0.08	0.46	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08
11:10	0.08	0.27	0.08	0.08	0.08	0.11	0.11
11:20	0.08	0.51	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08
11:30	0.36	0.52	0.30	0.08	0.08	0.11	0.08
11:40	0.50	0.45	0.25	0.53	0.08	0.11	0.12
11:50	0.08	0.17	0.32	0.49	0.08	0.66	0.57
12:00	0.08	0.22	0.08	0.08	0.08	0.66	0.34
12:10	0.38	0.41	0.08	0.10	0.08	0.08	0.32
12:20	0.20	0.42	0.14	0.35	0.08	0.47	0.33
12:30	0.44	0.38	0.29	0.24	0.08	0.08	0.08
12:40	0.54	0.32	0.27	0.23	0.08	0.08	0.35
12:50	0.47	0.08	0.39	0.35	0.08	0.17	0.22
13:00	0.36	0.08	0.48	0.51	0.08	0.41	0.28
13:10	0.47	0.08	0.51	0.34	0.08	0.28	0.24
13:20	0.28	0.08	0.52	0.11	0.08	0.18	0.18
13:30	0.28	0.08	0.38	0.21	0.08	0.09	0.16
13:40	0.28	0.08	0.08	0.15	0.08	0.17	0.20
13:50	0.11	0.08	0.08	0.46	0.08	0.08	0.29
14:00	0.28	0.08	0.08	0.21	0.08	0.18	0.14
14:10	0.15	0.08	0.16	0.09	0.08	0.18	0.09
14:20	0.16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.18	0.08
14:30	0.17	0.08	0.08	0.20	0.08	0.18	0.08
14:40	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
14:50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
15:00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
15:10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
15:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
15:30	0.14	0.08	0.28	0.08	0.08	0.08	0.08
15:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
15:50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
16:00	0.11	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
16:10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

16:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
16:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
16:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
16:50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:10	0.08	0.38	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:30	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
17:50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
18:00	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
18:10	0.09	0.10	0.11	0.08	0.09	0.08	0.09
18:20	0.10	0.12	0.11	0.08	0.10	0.10	0.11
18:30	0.11	0.11	0.11	0.08	0.10	0.11	0.12
18:40	0.10	0.09	0.10	0.19	0.10	0.10	0.11
18:50	0.12	0.08	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
19:00	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.10
19:10	0.12	0.12	0.09	0.08	0.10	0.11	0.11
19:20	0.09	0.12	0.09	0.08	0.12	0.11	0.11
19:30	0.09	0.08	0.09	0.08	0.11	0.10	0.11
19:40	0.10	0.10	0.09	0.08	0.11	0.09	0.10
19:50	0.08	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.11
20:00	0.10	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08	0.10
20:10	0.11	0.08	0.11	0.22	0.11	0.08	0.12
20:20	0.09	0.08	0.09	0.08	0.11	0.09	0.09
20:30	0.11	0.08	0.15	0.08	0.11	0.10	0.09
20:40	0.11	0.08	0.11	0.08	0.10	0.10	0.09
20:50	0.11	0.08	0.09	0.28	0.10	0.10	0.09
21:00	0.10	0.11	0.10	0.28	0.10	0.10	0.11
21:10	0.10	0.12	0.19	0.08	0.12	0.10	0.11
21:20	0.10	0.13	0.19	0.08	0.11	0.09	0.11
21:30	0.10	0.10	0.19	0.08	0.10	0.09	0.08
21:40	0.10	0.08	0.19	0.08	0.13	0.08	0.08

21:50	0.10	0.08	0.19	0.09	0.09	0.08	0.08
22:00	0.10	0.08	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08
22:10	0.14	0.16	0.14	0.08	0.10	0.08	0.08
22:20	0.08	0.16	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08
22:30	0.08	0.08	0.12	0.08	0.08	0.08	0.08
22:40	0.08	0.08	0.15	0.08	0.08	0.26	0.10
22:50	0.08	0.08	0.12	0.19	0.15	0.08	0.08
23:00	0.11	0.08	0.10	0.19	0.08	0.28	0.23
23:10	0.10	0.08	0.08	0.19	0.08	0.08	0.08
23:20	0.08	0.08	0.09	0.19	0.11	0.08	0.08
23:30	0.13	0.08	0.13	0.08	0.08	0.08	0.08
23:40	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
23:50	0.08	0.08	0.08	0.12	0.08	0.08	

次に、高トラフィックが高精細映像配信に与える影響を検証した結果を示します。下図は、5.4　ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等の結果から本検証に有用なデータを抽出し整理したものです。トラフィック負荷の有りと無し（表中は、「RB 逼迫あり」と「RB 逼迫なし」と表現）のケースの比較において、本結果からは映像品質の違いは認められませんでした。但し、無線環境やシステム構成の変更など、前提条件が異なる場合においての高トラフィック負荷の影響がどう変わるかの検証は今後も必要になると考えます。

トラフィック負荷（RB 逼迫）有無による映像の確認結果

スポット番号	状態	映像の確認結果 （請負者による目視）
1	RB 逼迫なし	カクカク
	RB 逼迫あり	カクカク
3	RB 逼迫なし	5 秒に一回更新　4:3 のみ映る
	RB 逼迫あり	5 秒に一回更新　4:3 のみ映る
4	RB 逼迫なし	10 秒に一回更新　4:3 のみ映る
	RB 逼迫あり	10 秒に一回更新　4:3 のみ映る
13	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
14	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
15	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
16	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新

	RB 逼迫あり	16:9 は 4 秒に 1 回更新
17	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
18	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
19	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
20	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
21	RB 逼迫なし	16:9 は 3 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 3 秒に 1 回更新
24	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新
25	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新　delay5 秒
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新　delay10 秒
26	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新　delay5 秒
	RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新　delay3 秒

4.6 課題解決システムに関する運用検証

4.6.1 アー１、アー２：高精細映像とAIを活用した水位予測とダッシュボード等を活用した防災情報の可視化

4.6.1.1 概要

本システムを導入するにあたり、事前作業として水害時の防災対応及び河川水位予測における自治体職員の現状の運用作業の洗い出しを行いました。また、本実証実験における避難情報発令訓練の実施の結果を以って、本システムの運用方法を検討しました。

4.6.1.2 検証項目・方法

【検証項目】
・AI活用により河川映像の常時監視が不要となる運用方法の検討
・システム導入により不要又は代替される業務の洗い出し
・河川遠隔監視が河川への現地駆けつけによる目視確認の代替になる得るか

【検証方法】
(1)運用作業の洗い出し
本システムを導入するにあたり、水害時の防災対応及び河川水位予測における自治体職員の現状の運用作業の洗い出しを行いました。現状の運用作業を理解し言語化した上で、本システムの運用方法を検討しました。実地調査ならびに自治体職員が利用している運用マニュアルや報告書類を確認しました。

(2)業務内容の見直し
現状の栃木市役所の防災業務の運用方法を整理し、本システム導入により不要になる業務、代替される業務を踏まえて、新たな運用方法を検討しました。
災害発生時の自治体職員の負荷軽減を目的とし、ダッシュボードによる防災情報の一元化、及び河川画像のAI解析による水位の閾値超過時のアラート発出により、避難勧告などの迅速な判断や河川水位リスクの見落とし防止につなげます。現状は手作業による情報確認や河川状況の現地確認を行っておりますが、本システムより現場確認が不要になり、情報取得の時間短縮や現場確認に伴う危険を減少させます。

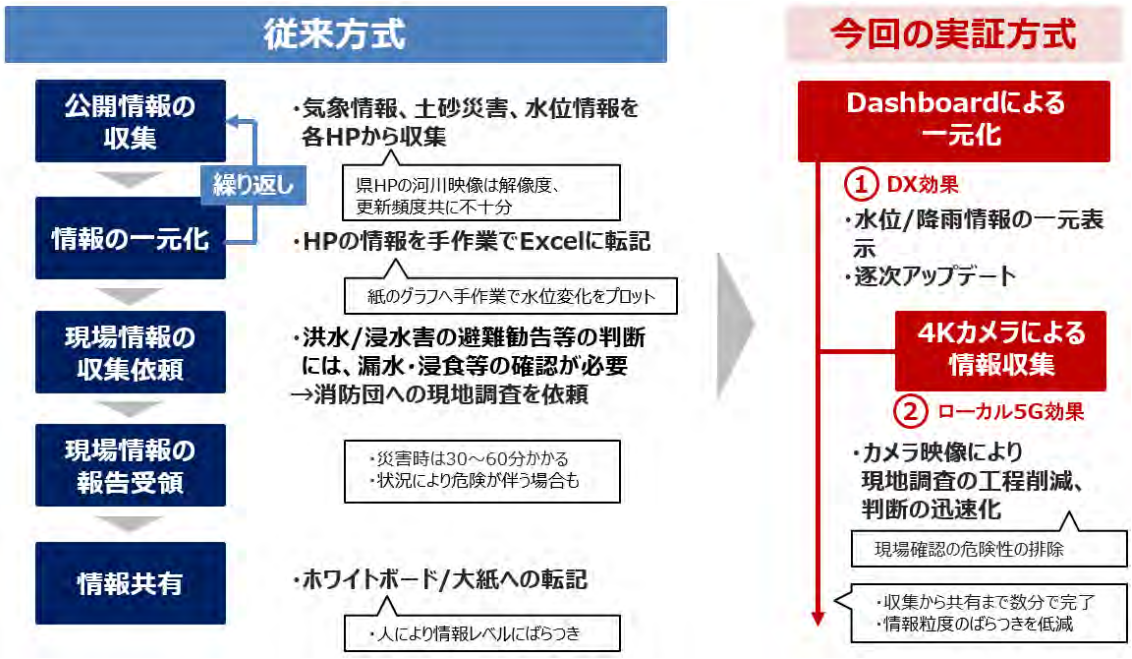
4.6.1.3 検証結果と考察

従来の運用方法の整理と実証方式による新しい運用方法の整理を行った結果を下図に示します。
従来方式においてはインターフェースやフォーマットの異なる複数のHPを参照して情報収集し、水位情報についてはホワイトボードに張り出す紙のグラフに逐次プロットをする作業を行っていました。今回導入した実証方式では、水位情報と降雨情報を防災ダッシュボードで確認する方式としました。本方式による利点は、一元表示による情報把握の掛かる時間の短縮だけでなく、新任者等の当該業務経験の少ない職員の業務習熟期間の短縮にもあります。ローテーション等による担当職員の入れ替りが定期的に発生する業務の実情において有効となります。また、地図上に可視化することで、地域の地名等に不慣れな新任職員等であっても、災害状況の把握が容易となります。

避難勧告等の発令判断には、河川の現地確認が必要となる場合があります。従来方式では、危機管理課から消防団等へ現地確認の依頼をしています。消防団等から現地までの距離や道路状況にも依りますが、駆けつけによる現地確認には概ね 30 分～60 分を要していました。また、災害時の現地確認には、駆けつけ人員の危険も伴います。実証方式においては、危機管理課室内に設置されたモニタによって河川に設置されたカメラを遠隔で監視して現地確認をします。これは、現地確認に要する時間を大幅に短縮すると共に、駆けつけ業務の削減、及び災害時駆けつけの危険性の削減に繋がります。

避難勧告等の発令判断に有効な河川の遠隔監視ですが、災害対応時に多種多様な業務が発生する中で、河川映像の監視に十分な時間を割けずに危険な状態を見逃す場合も想定されます。実証方式においては、河川映像は常時確認するのではなく、河川画像 AI 解析を基にしたアラートが防災ダッシュボード上で発報されるのを確認し、アラートが発報したカメラを重点的に監視する運用になります。

他の地方公共団体への汎用性・拡張性の観点では、地方公共団体によっては栃木市の従来方式よりもシステム化され効率的な方式の場合も考えられ、本実証で得られた効果と同等のものが得られないケースがあると想定されます。しかしながら、栃木市は全国市区町村の中でも上位 1 割程度に入る人口規模であり、そこから想定される予算規模を鑑みると、多くの地方公共団体で今回の実証方式が有用であると考えられます。



「情報収集・現状把握」「避難勧告の判断」を的確に実行するために、自治体職員向けに操作マニュアル（参考資料 2、参考資料 3）を作成しました。また、実地での操作講習を実施しました（関連箇所：「3.3　実証環境の運用」の【防災ダッシュボードの操作方法説明】）。

避難情報発令訓練の実施後、自治体の訓練者より本訓練を通して体感した効果や今後の改善点等の聞き取り調査を行った結果を以下に記載します。尚、本聞き取り調査にはコンソーシアムメンバーである小山高専やケーブルテレビ株式会社も参加し、システム完成度や栃木の地域防災の観点でも議論を行いました。

・従来、水位情報は 10 分毎に最新情報へ更新されるものの、10 分毎都度の情報把握は困難であり、20～30 分毎に確認を行っていた。新方式では 10 分毎の確認が容易になった。
・ダッシュボード画面上部の帯アラートの表示条件には、確認済みのアラートは以降非表示とするなどの工夫が必要。
・基準水位に達してから勧告等の発令判断を行うのではなく、基準水位に達する見込みが判明した時点で発令を検討することが望ましい。水位の未来予測や気象情報をダッシュボード上に重ねて表示するなどの手段は、より適切な発令判断に資すると考えられる。特に栃木市は実証フィールドである巴波川などの川幅は狭く、急に水位が上昇するケースもある。このような事情からも、基準水位に達する前の段階での総合的な判断が必要となる。
・本実証で導入したシステムは、市役所内における危機管理課以外の他部署との現状共有に役立つ。例えば、発令等の情報発信担当部署との連携が災害時には必要となるが、当該担当部署の自律的な情報把握も可能となる。
・地図上で可視化されたことによって、水位上昇場所との位置関係から避難所開設場所の選定判断がしやすくなる。
・河川カメラの画角は、本実証の設定で十分と考える。
・新方式の運用へ完全移行するためには、本実証の対象である巴波川と永野川以外の河川へ

も対応する必要がある。
・今後の更なる改善として、情報収集 PC への張り付き対応が不要となる方式は考えられないか。アラートが発生したら職員の携帯電話に連絡がいく等の仕組みも有効ではないか。
・

4.6.2 アー３：地域住民向けの高精細映像配信

4.6.2.1 概要

地域住民向けの高精細映像配信について、住民の避難意識向上に資する映像提供をケーブルテレビが行うにあたり想定される運用面の課題を整理しました。

4.6.2.2 検証項目・方法

【検証項目】
映像配信を持続的に行うにあたり必要な運用課題

【検証方法】
実証実験で導入した高精細河川映像等配信方法の整理、4K 映像配信の伝送容量の測定、及び住民の河川映像視聴体験会のアンケート結果を基に、運用面における配信方法の現状分析及び課題抽出を行いました。

4.6.2.3 検証結果と考察

下図はケーブルテレビ加入者向けコミュニティチャネル（112ch のライフチャネル）での映像公開の参考画面です。栃木市北部の映像配信に、本開発実証で設置した永野川の 2 つのカメラ映像を加えました。また、栃木市南部の映像配信に、本開発実証で設置した巴波川の 1 つのカメラ映像を加えました。いずれも、他の街中等のカメラ映像と交互に放映され、10 秒ごとに放映するカメラ映像が切り替わります。

栃木市北部の配信画面

栃木市南部の配信画面

実際の放送の様子

下図は YouTube による河川映像配信の例です。本実証で設置したカメラ 3 台を YouTube を通じて配信しています。コミュニティチャネルによる配信に加えて YouTube 配信を行うことで、ケーブルテレビ加入者以外でもインターネット接続環境があれば視聴可能になります。また、ユーザーのアクセス先サーバーはケーブルテレビ事業者では無く YouTube サービス提供事業者であり、アクセス過多への対応をケーブルテレビ事業者で行う必要が無く、映像配信運用上の利点があります。尚、プライバシー配慮のため、河川部分以外の住居等が映り込む箇所についてはモザイク処理をかけています。

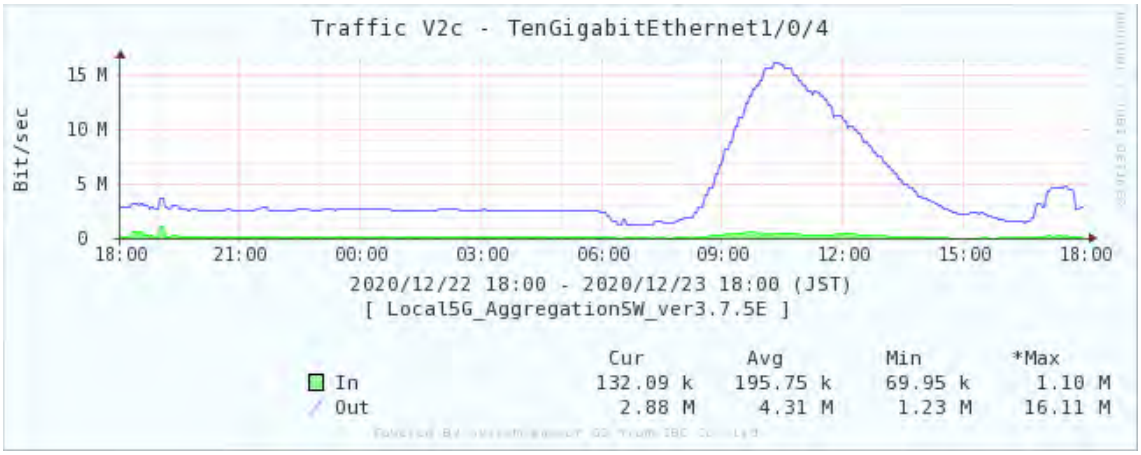
次に、ケーブルテレビ株式会社の地域への情報配信アプリ「d ぽけっと」による河川画像配信の閲覧方法を下図に示します。本実証実験で設置した 3 つのカメラを使用し、SD 画質で静止画を配信するものです。画像は 10 分毎に更新されます。本アプリは、ケーブルテレビへの加入/非加入に関わらず、iPhone 又は Android の対応した端末があれば誰でも閲覧可能になるものです。

各配信方法の特徴を下図にまとめました。コミュニティチャネルによる配信は、インターネット接続環境が不要であり年配の方にも視聴が容易である一方、ケーブルテレビ事業者の現実的な設備容量を考慮すると、1 カメラ 1 チャネルの配信が困難であり複数カメラ映像を定期的に切り替えて配信する方法となるため、視聴者が必ずしも視聴したい個所のカメラ映像を常に見られるわけではないというデメリットがあります。YouTube で配信する映像の閲覧には、インターネット接続環境が必要であるものの、ケーブルテレビへの加入は不要かつカメラ毎のチャネル視聴が可能であり、視聴は見たいカメラ映像を常に視聴可能になります。また、視聴者のアクセス先は YouTube サーバーとなるため、ケーブルテレビ事業者としてアクセス過多への対応が不要となります。アプリ「d ぽけっと」による河川画像配信は、YouTube の映像配信同様、インターネット接続環境が必要であるもののケーブルテレビへの加入は不要かつカメラ毎のチャネル視聴が可能であり、視聴者は見たい時にカメラ画像を閲覧し、かつ映像視聴と比較してデータ通信量を気にせず閲覧可能となります。

公開先	インターネット環境	ケーブルテレビ加入	端末	特徴
コミュニティチャンネル	不要	要	テレビ	インターネット環境が無くても視聴可能、年配の方にも優しい。 アクセス過多にも堪えられる。 見たい時に見たい河川を見られない。
YouTube	要	不要	スマホ・タブレット等	見たい時に見たい河川を見られる。 転送サーバ(今回はffmpeg)は必要だが、プラットフォームとしては準備されている。 アクセス過多にも堪えられる。 4Kへの対応も容易。
アプリ(dぽけっと)	要	不要	スマホ・タブレット等	見たい時に見たい河川を見られる。 解像度が低く、リアルタイム性は無いが、通信量を気にしないで良い。

各配信方法の特徴

下図に 4K 映像転送時のトラヒック観測図を示します。これは、本実証実験の環境条件下において、担保すべき 4K 映像伝送の 1 カメラあたりの通信容量を測定するためのデータ取得です。4K の 1 ストリームを ABR（Adaptive-Bitrate）設定で RTSP 転送し、かつ JPEG 画像（3MB 程度）を 10 分に 1 回 FTP 転送した状態で合計の Bitrate を観測しました。時間帯により大きく変動し、最大で 16Mbps を消費しました。



4K 映像のトラヒック観測図

以下に、住民向け河川映像配信実験のアンケートとして取得した、水害関連の情報配信に期待することへのコメントを列挙します。尚、回答結果は原文そのままとしております。

・とにかく、迅速な情報が欲しい。
・夜間の映像が暗くてわかりにくかった。街灯の位置等考慮してカメラの設置場所を決める必要もあるかと思いました。
・迅速な情報の発信をお願いします。
・具体的な場所の表示が地図等で見られたらいい
・音があればより緊迫感が増す
・河川だけでなく、水害を受けそうな場所も見られると良いと思います。
・予想を含む迅速な状況提供
・沢山の箇所の映像が欲しい。画面の見易さ。
・外部スピーカーは風などにより流れてしまい、ほとんど情報が得られません。また、高齢者 2 人世帯ですので、緊急性をわかりやすい方法でお知らせいただければ幸いです。
・その情報がどこでの情報なのか明確にわからなければならない
・緊急放送の画面は河川映像を流したほうがよい
・できれば一ヶ所だけでなく、数ヵ所を流した方が良い″
・溢水までの高さ、溢水予想時刻。避難所の状況。
・文字情報の表現は、一般の方が分かりやすいことが肝要です。″
・冠水している道路を色分けしたマップが、リアルタイムであるといいとおもいます。
・映像と合わせて、防災ポータルサイトなど Web サイトの案内もあると、避難後の情報収集に役立つと思う。以前の水害の際、近隣地区の情報を効率よく入手できず困ったので。
・映像の感じ方は人それぞれなので、「これぐらいの水位になったら避難した方が良い」といったように、絵や図で避難基準を示してあると誰でも基準にしやすいと思った。

水害の情報配信について、高精細の河川映像配信に加えて更なる要望が住民からはありました。また、既存の情報配信手段である屋外スピーカー（防災無線）等について、十分では無い旨の意見がありました。これらの意見は、今後の防災をより高度化する検討に繋がる

と考えます。

4.6.3 アー４：平時・災害時の併用モデルに関する検証

4.6.3.1 概要

4.7GHz 帯エリアと 28GHz 帯エリアの FWA インターネット接続サービスのモニタユーザのアンケートを取得し、平時・災害時の併用の実現可能性と運用面の可用性を整理しました。

4.6.3.2 検証項目・方法

【検証項目】

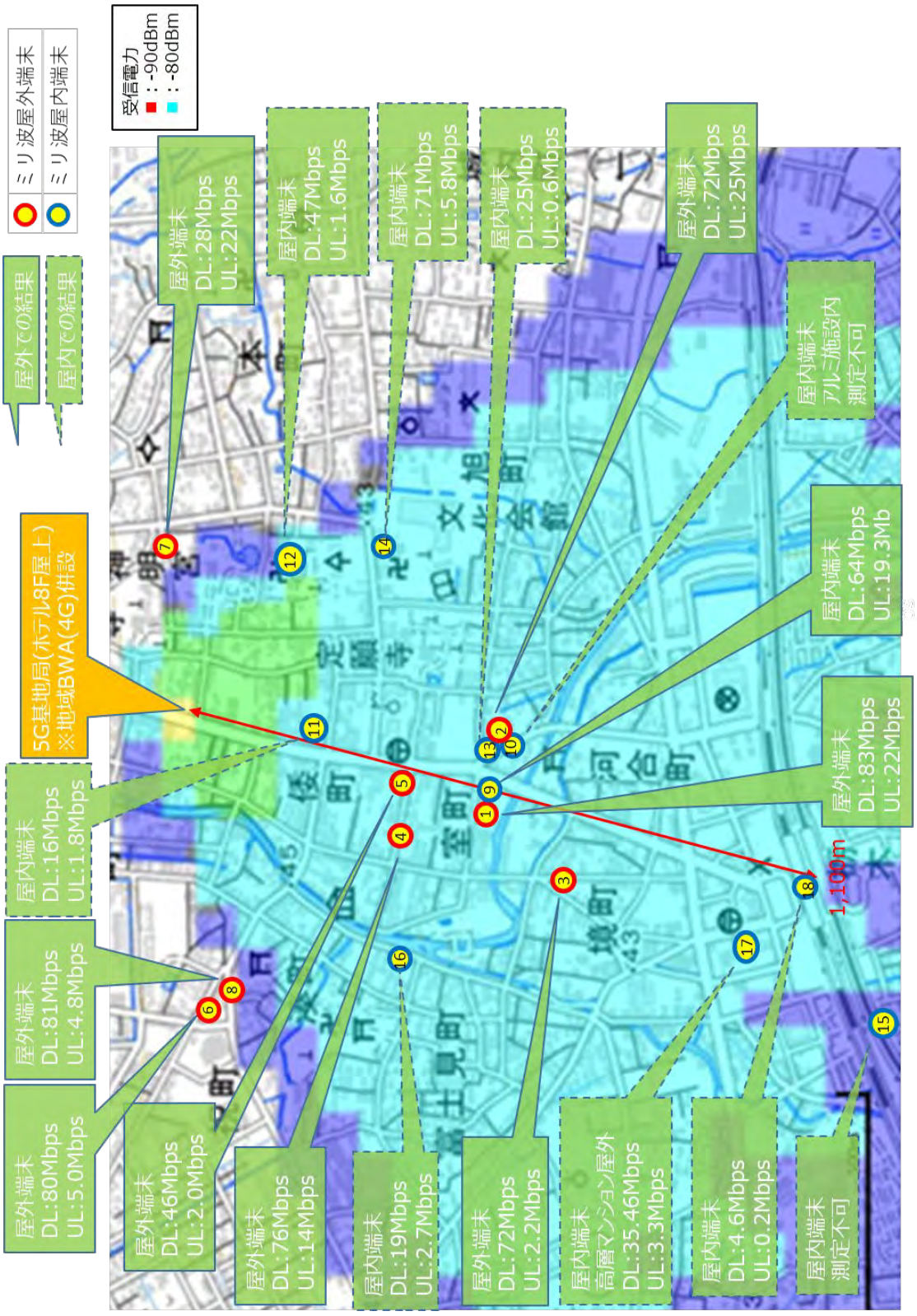
・4.7GHz 帯エリアと 28GHz 帯エリアの各々のエリアにおいて、高速インターネット接続サービス提供の実現可能性を検証しました。

【検証方法】

4.7GHz 帯エリアと 28GHz 帯エリアのそれぞれについて、高速インターネット接続サービスをモニタユーザが使用した結果をアンケート回答で測定し、併用モデルの実現可能性と運用面の可用性を整理しました。また、高速インターネット接続サービス端末の設置個所、基地局位置を整理し考察しました。

4.6.3.3 検証結果と考察

下図に 28Ghz 帯エリアと 4.7Ghz 帯エリアの FWA 端末設置位置を図示し、各設置位置におけるダウンリンクとアップリンクのスループットを記載しました。

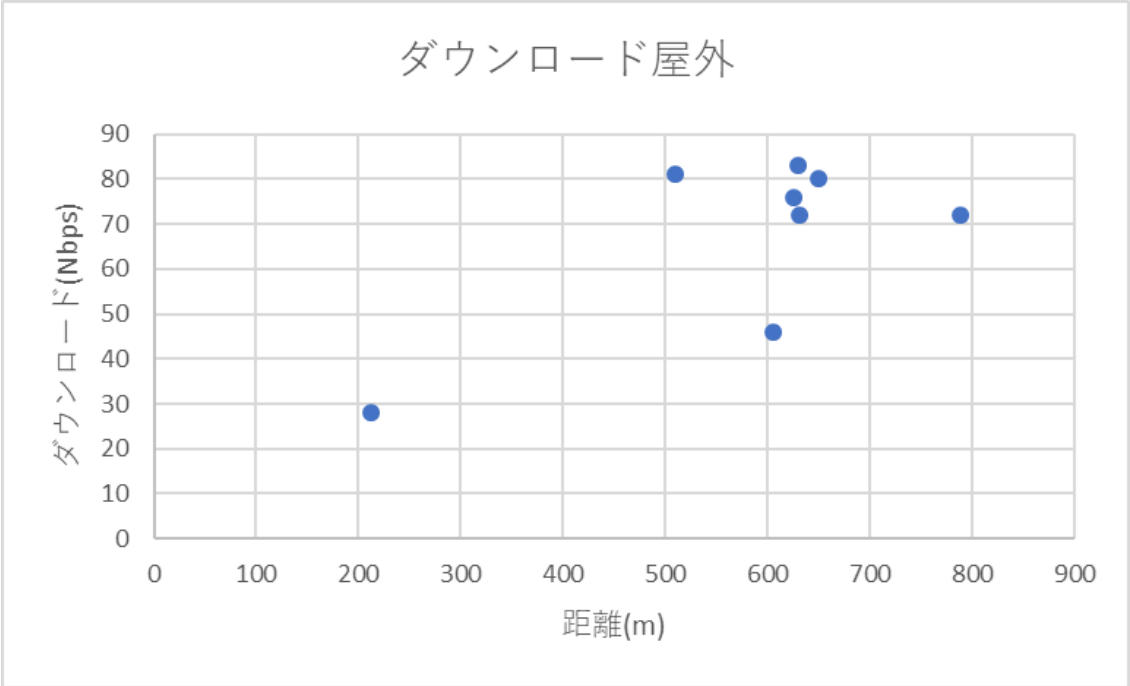


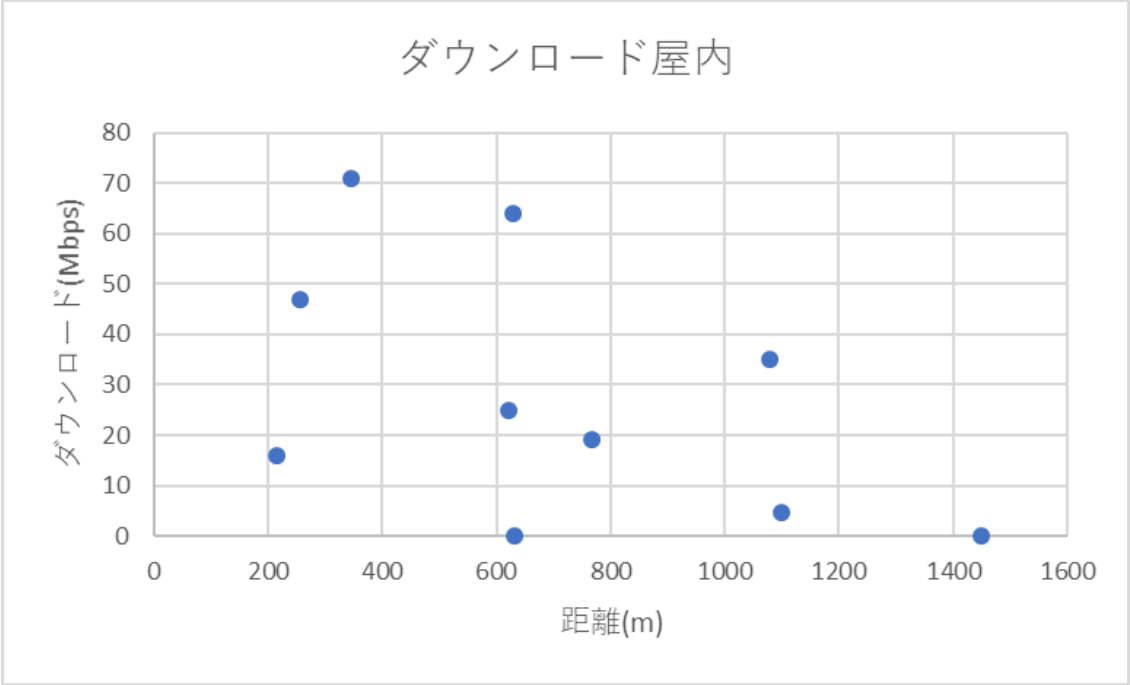
28GHz 帯の各 FWA 端末での DL/UL スループット

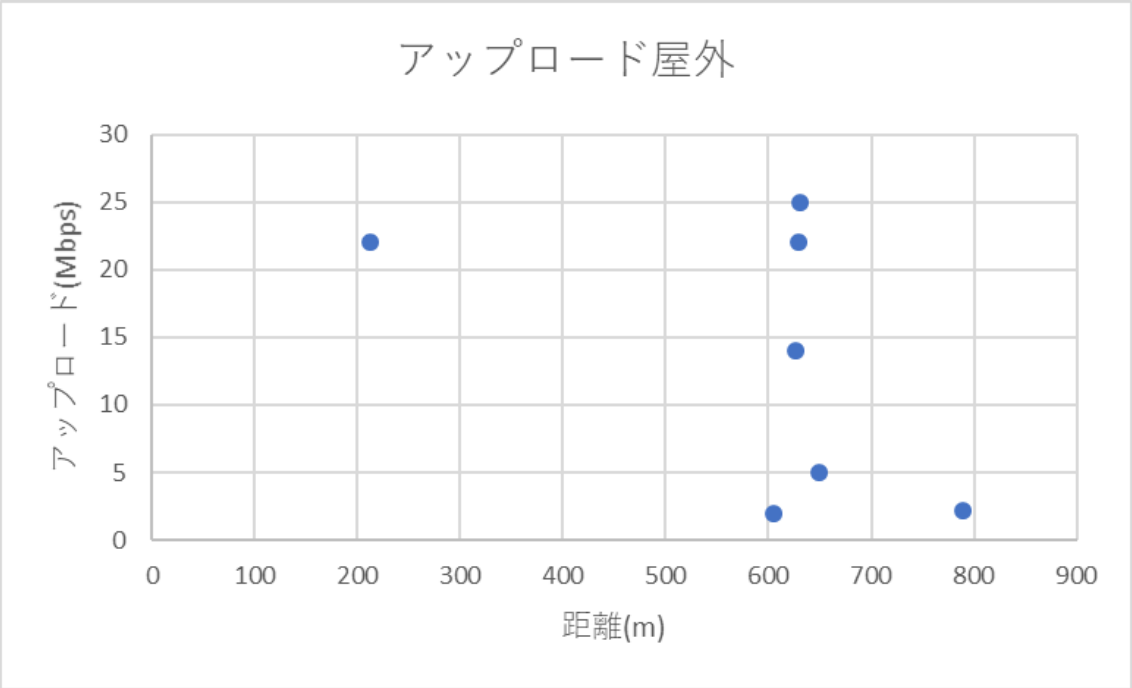
28GHz 帯 FWA 端末の試験結果リスト

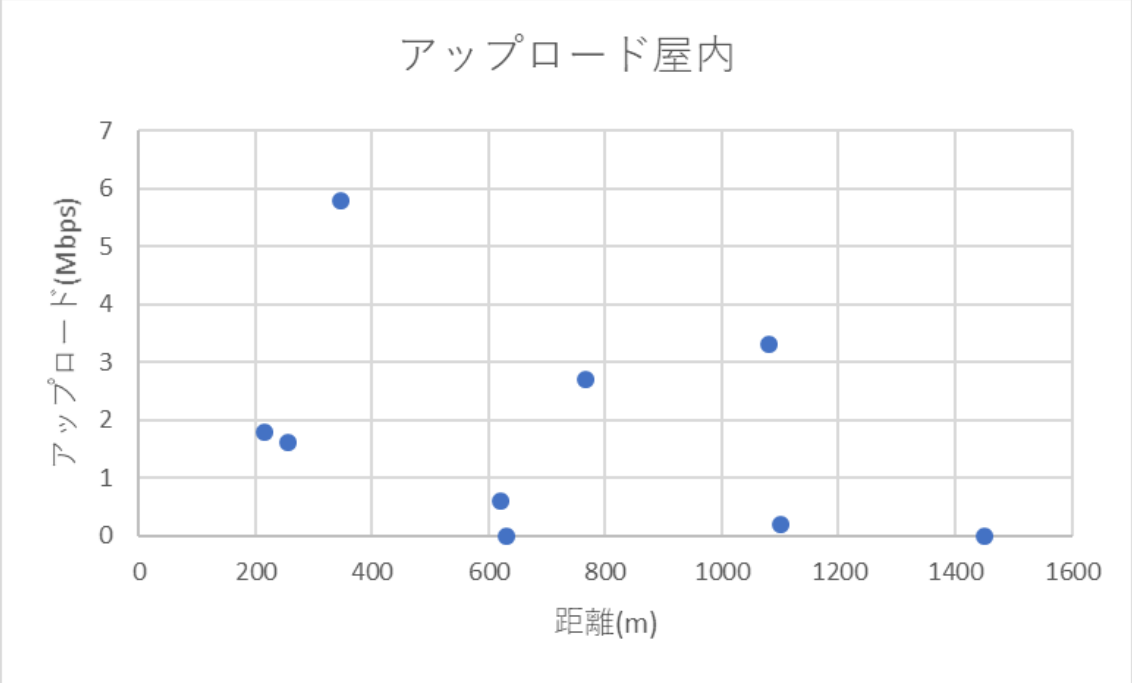
地点番号	端末種	見通し	Band	基地局からの距離(m)	ダウンロード(Mbps)	アップロード(Mbps)
1	屋外(Askey)	有	5G_NR	629	83	22
2	屋外(Askey)	無	5G_NR	631	72	25
3	屋外(Askey)	無	5G_NR	789	72	2.2
4	屋外(Askey)	無	5G_NR	626	76	14
5	屋外(Askey)	有	5G_NR	605	46	2
6	屋外(Askey)	有	5G_NR	649	80	5
7	屋外(Askey)	有	5G_NR	212	28	22
8	屋外(Askey)	有	5G_NR	509	81	4.8
9	屋内(inseego)	有	4G_LTE	629	64	19.3
10	屋内(inseego)	無	4G_LTE	631	0	0
11	屋内(inseego)	無	4G_LTE	215	16	1.8
12	屋内(inseego)	無	4G_LTE	256	47	1.6
13	屋内(inseego)	無	4G_LTE	620	25	0.6
14	屋内(inseego)	無	4G_LTE	346	71	5.8
15	屋内(inseego)	無	4G_LTE	1450	0	0
16	屋内(inseego)	無	4G_LTE	767	19	2.7
17	屋内(inseego)	無	4G_LTE	1080	35	3.3
18	屋内(inseego)	無	4G_LTE	1100	4.6	0.2

基地局から端末の距離とスループット速度の相関グラフを、屋内端末/屋外端末それぞれでダウンロード/アップロード別に作成しました。


ダウンロード屋外
ダウンロード(Nbps)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
距離(m)


ダウンロード屋内
ダウンロード(Mbps)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
距離(m)

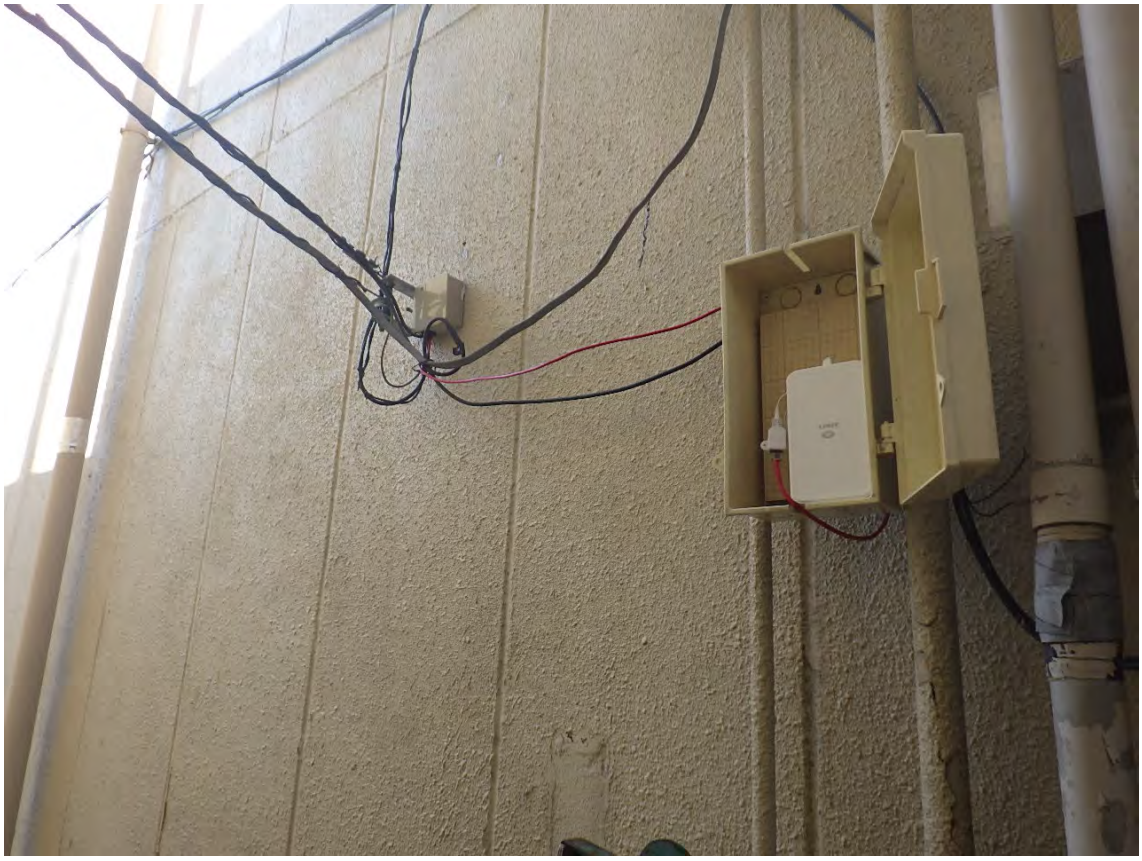




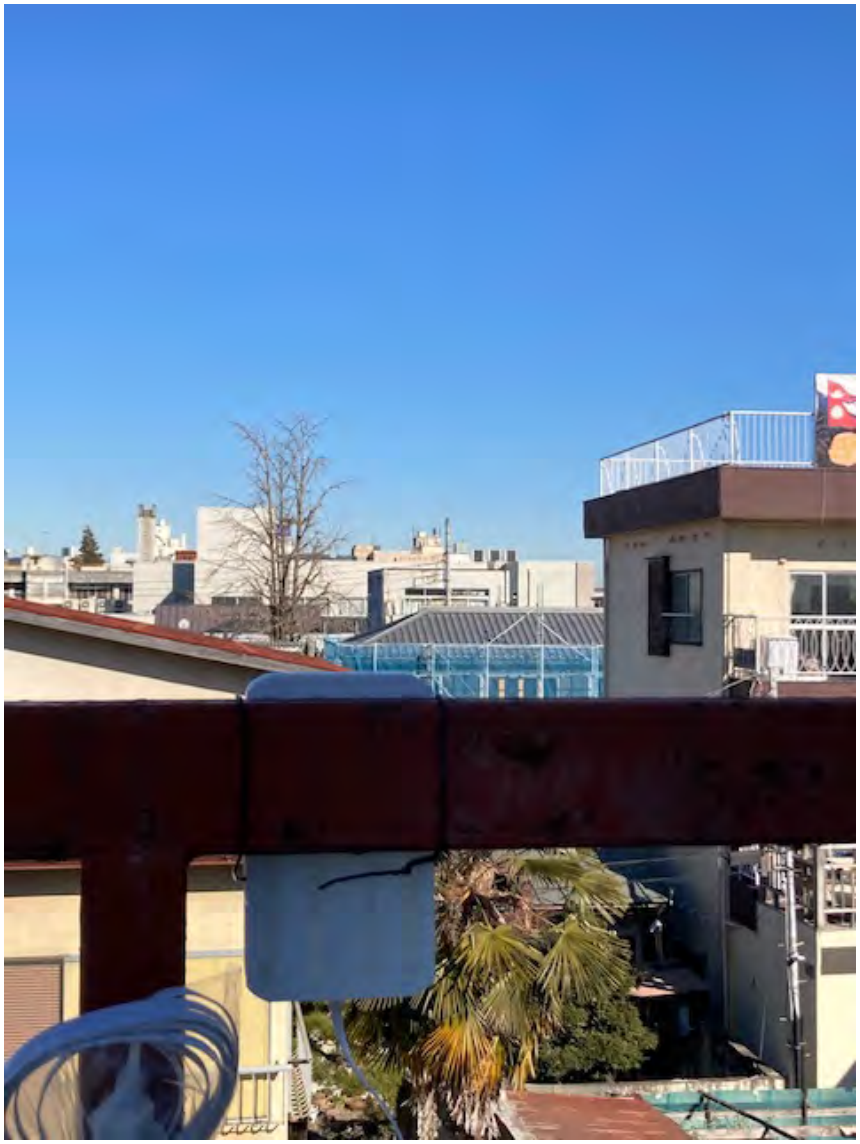
次に、屋外端末の設置位置の写真を例示します。

地点 1

地点 3



地点 4



地点 5

地点 6

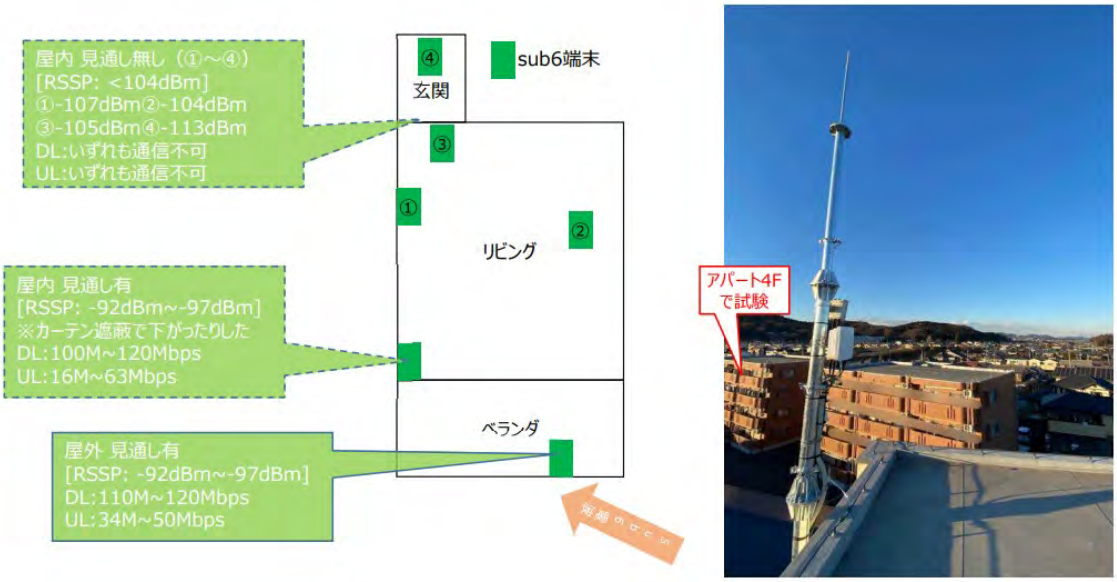
地点 7（写真 1 枚目）

地点 7（写真 2 枚目）

地点 8

次に、4.7GHz 帯の FWA 端末設置の試験結果を示します。

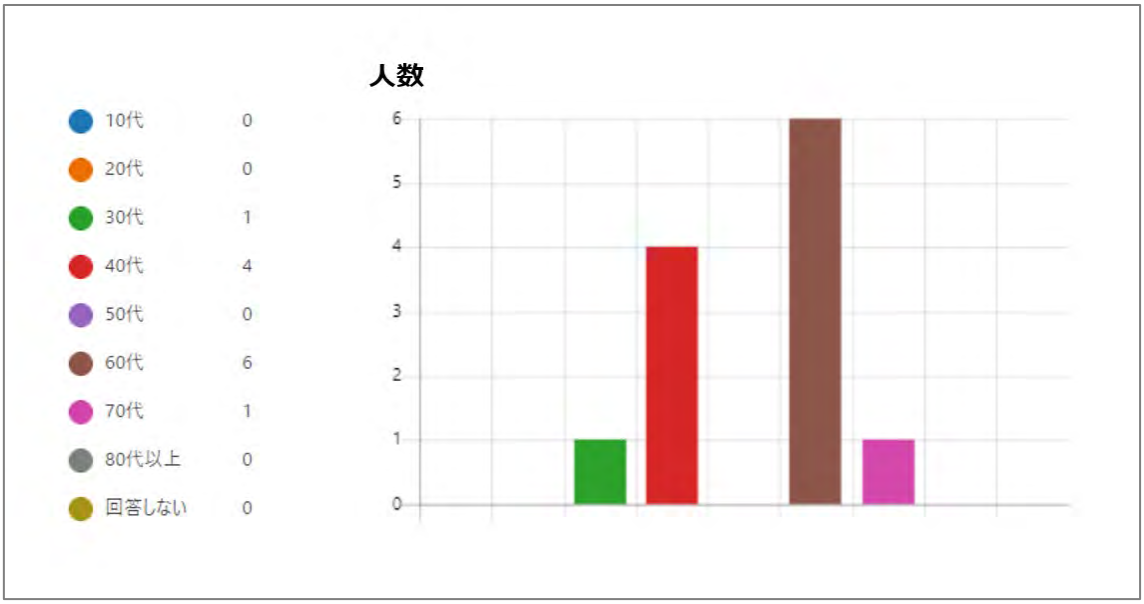
4.7GHz 帯エリアの FWA 端末設置位置（再掲）

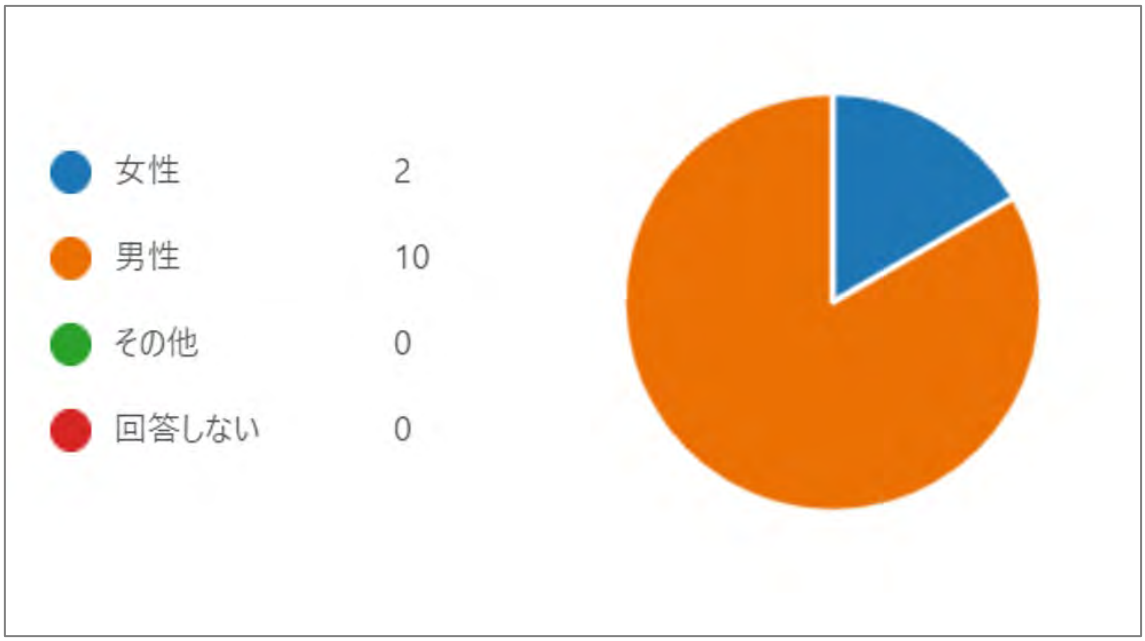


4.7GHz 帯エリアの FWA 端末設置位置

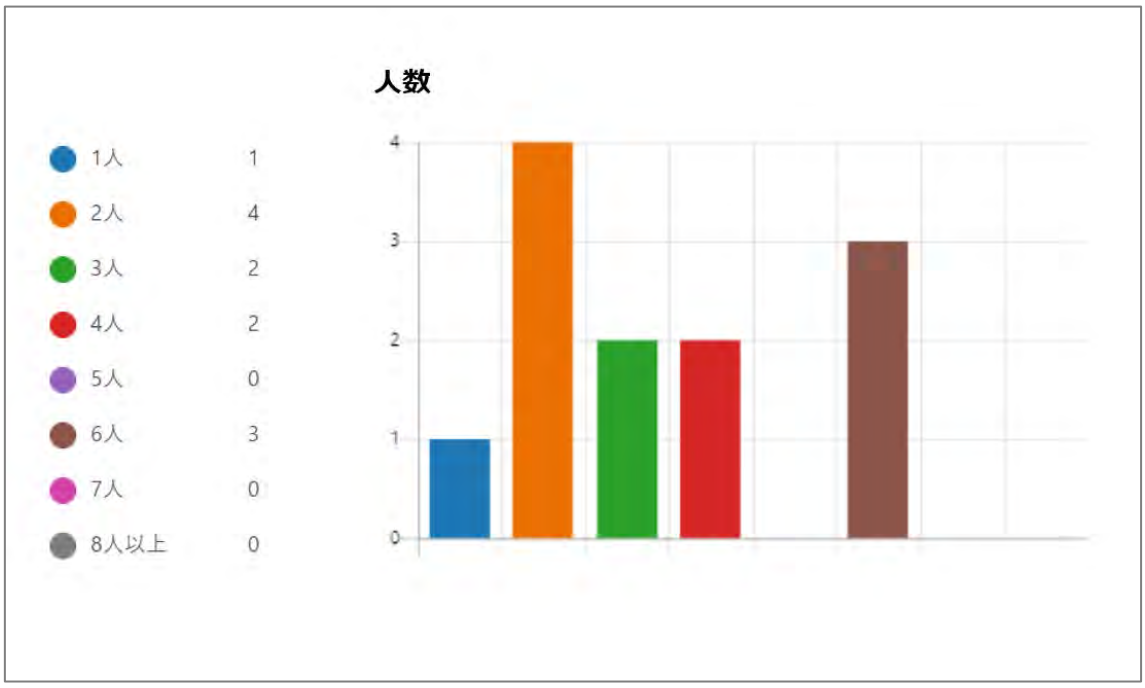
28GHz 帯基地局は BWA 基地局を併設しているおり、電波環境によっては LTE となる事象が屋内設置端末において多く見られました。屋外端末はすべての箇所で 5G を補足しました。その影響もあり、28GHz 帯と 4.7Ghz 帯ともに、屋内設置端末と屋外設置端末のスループットの差は明確に見られ、屋外端末の方が高速通信可能でした。しかしながら、屋内設置端末は工事不要でユーザーが使用可能である一方、屋外端末はベランダ等に設置しかつ屋内まで引き込むための工事が必要となるというデメリットがあります。事実、本実証でモニタユーザーに設置の協力を依頼した際に、屋外設置端末は 2 人のユーザーから設置工事の了承を得られませんでした。但しこれは、実証実験では恒久的な仕様では無く一時的な使用に留まるという面も、ユーザー心理に影響していたとも考えられます。

28GHz 帯エリアの FWA モニタユーザーから回答を得られた分の結果を示します。まず以下より、回答者の基本属性を示します。

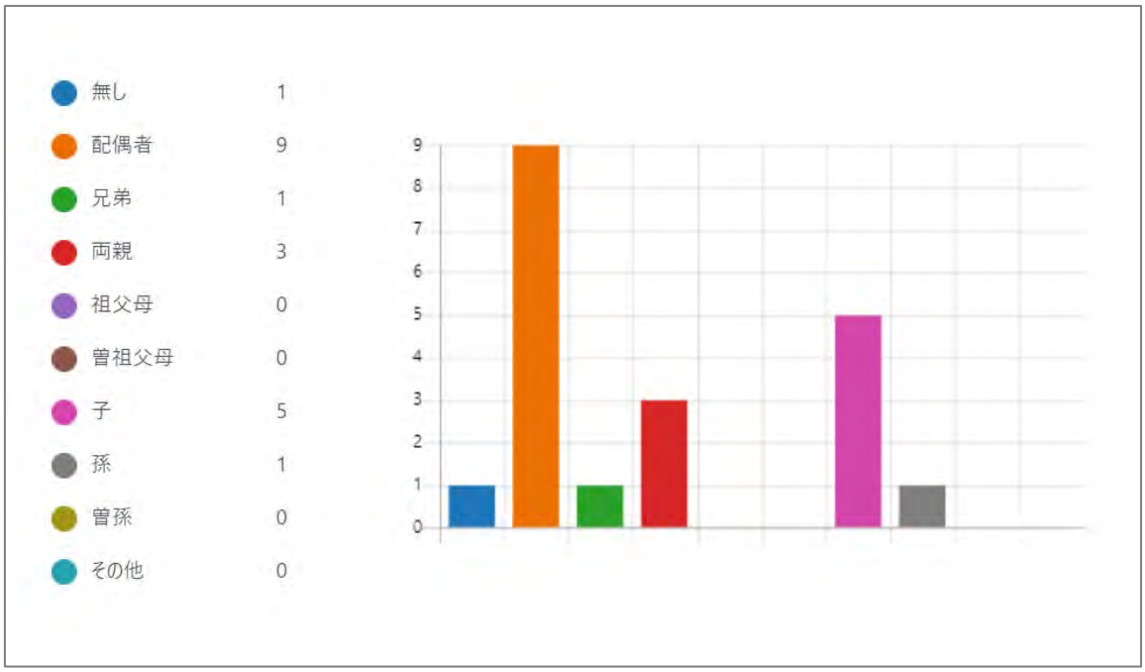




性別

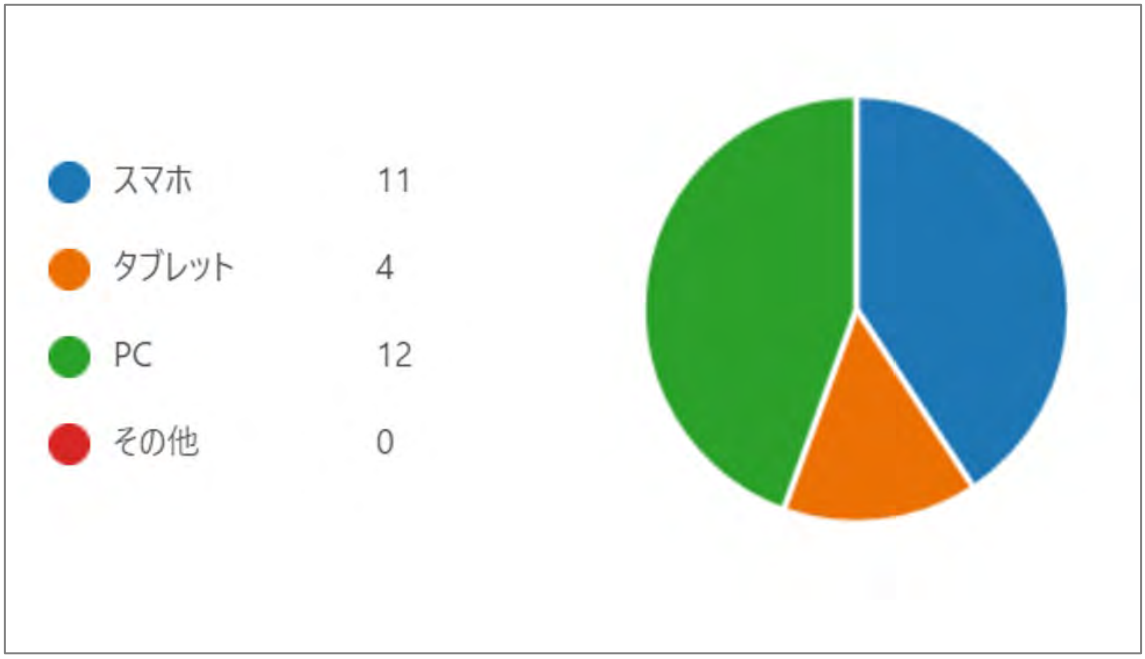


一緒に暮らしいている人数（本人含む）

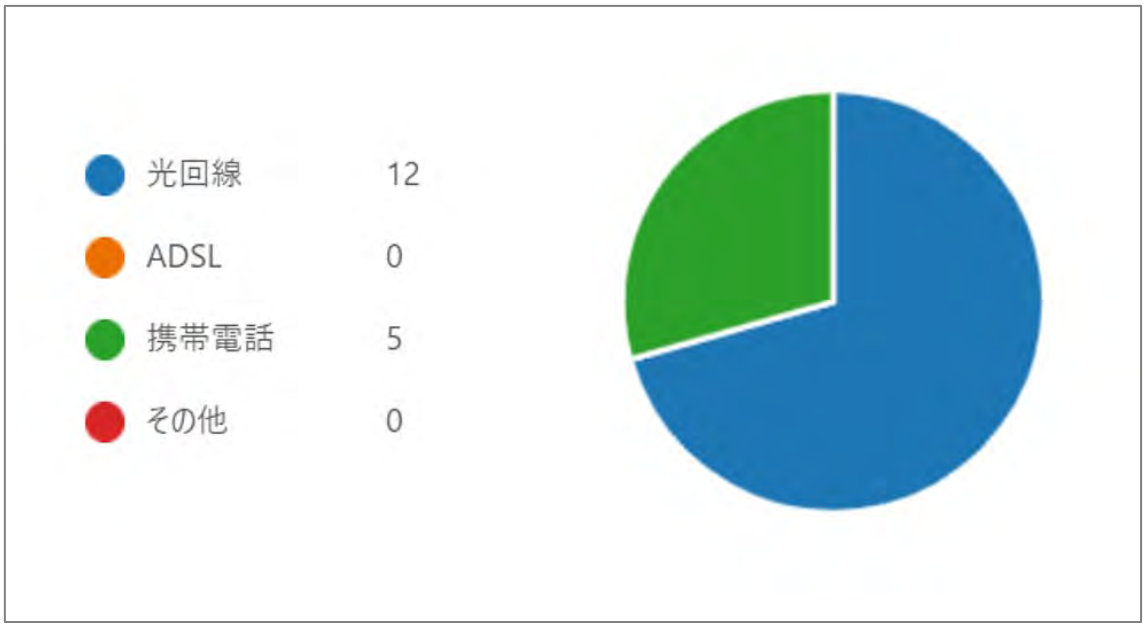


一緒に暮らしている方の詳細（複数選択可）

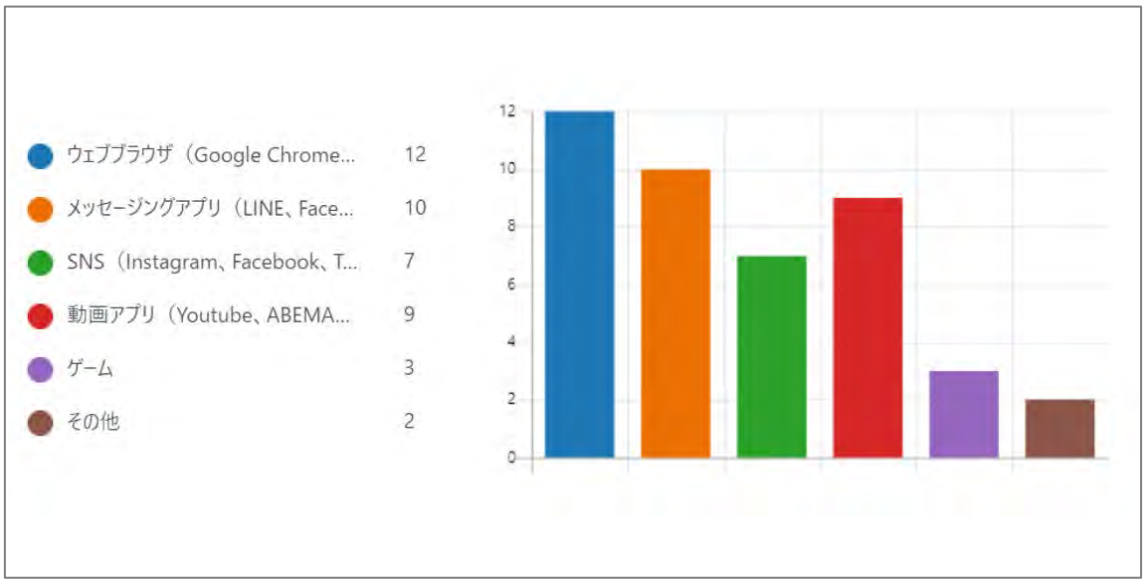
次に、以下より日常のインターネット接続等に関する回答を示します。回答ユーザーの全員が普段は光回線を使用する母集団となりました。



普段ご使用するインターネット接続機器（複数選択可）

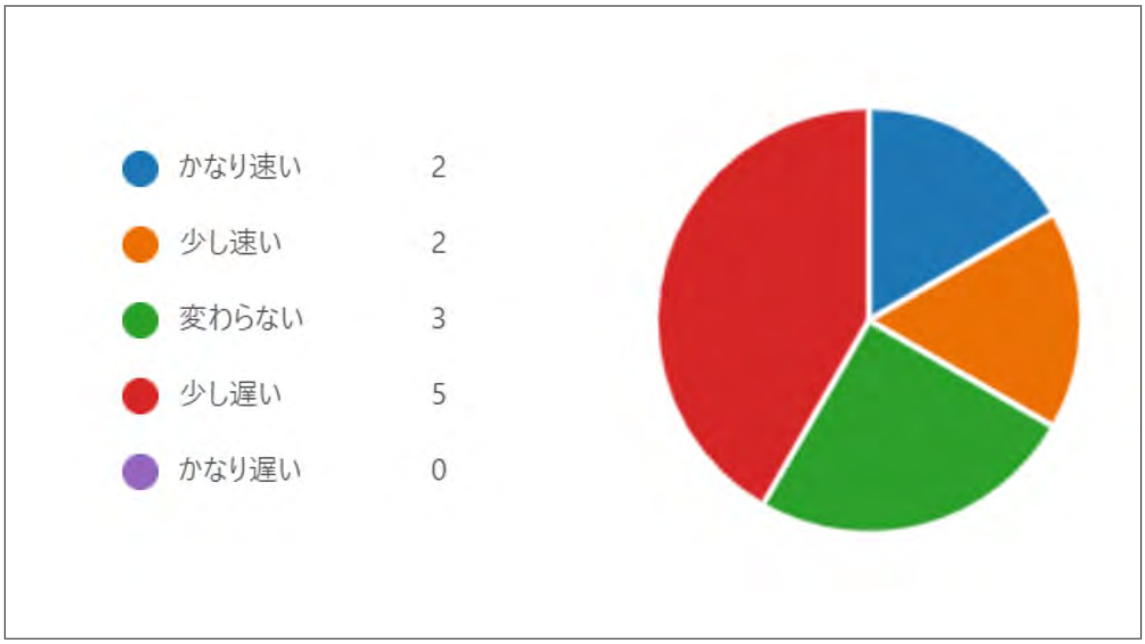


普段ご使用するインターネット接続サービス（複数選択可）

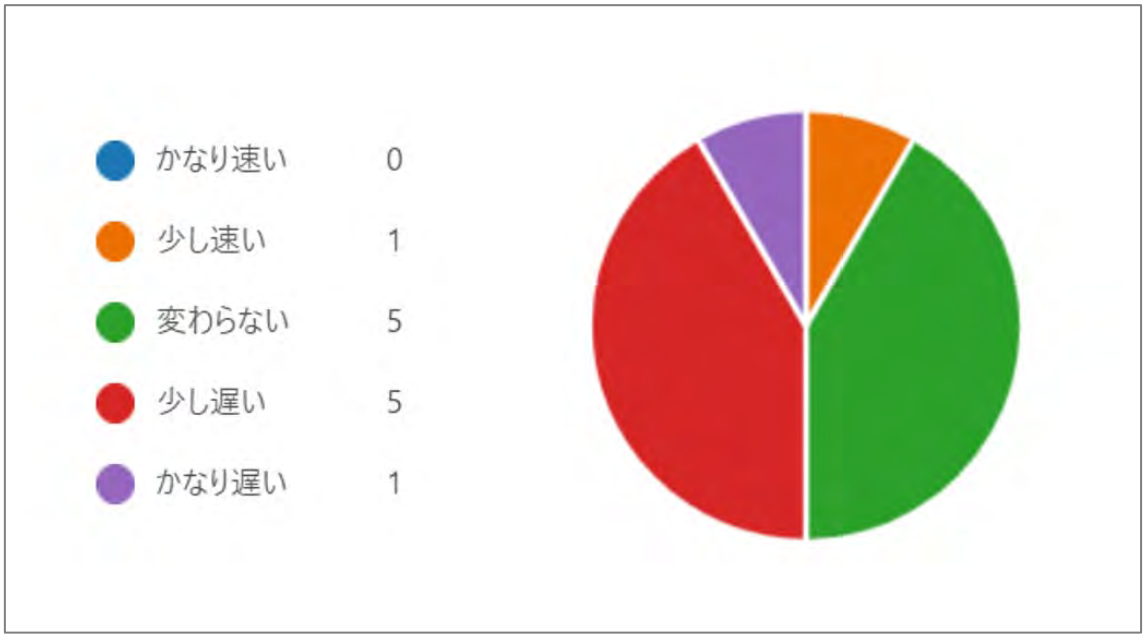


インターネットを使用する普段ご使用のアプリ（複数選択可）

ダウンロードの速さの体感について、トラフィック負荷試験を行っていない日と行った日の回答結果をします。負荷試験を行っていない日においては 40%が「かなり速い」または「少し速い」と回答した一方、負荷試験の日では「かなり速い」または「少し速い」が約 8%にとどまりました。

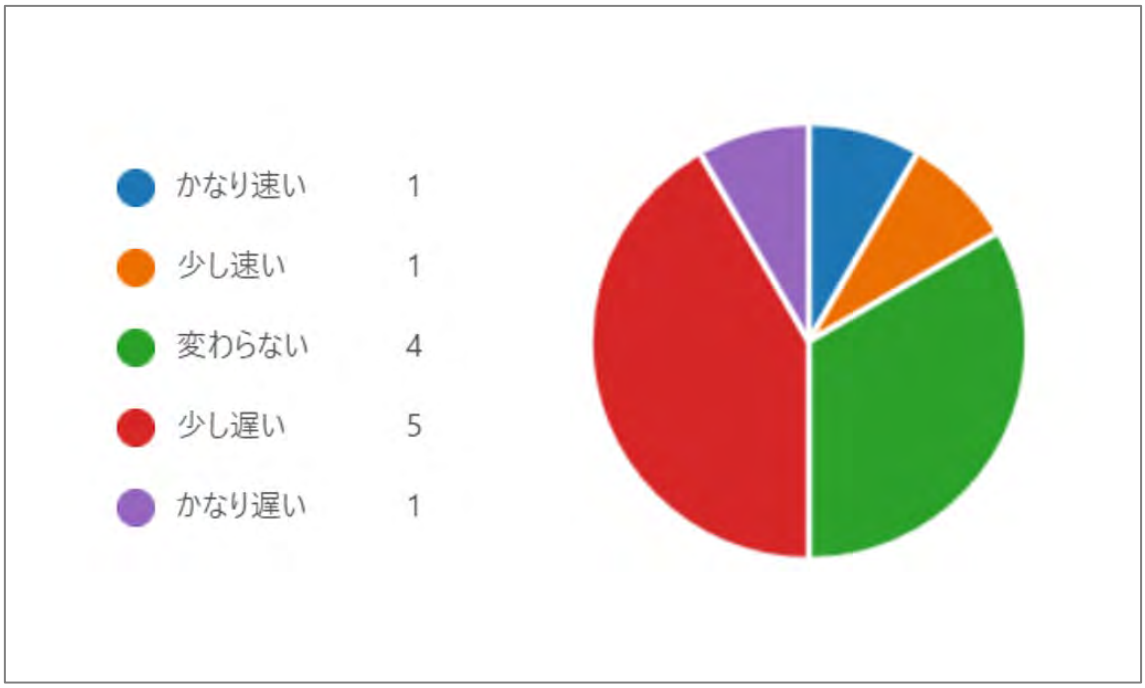


ダウンロードトラフィック負荷試験を行っていない日における、5G 端末を使用した場合のダウンロード（下り）の速さの体感

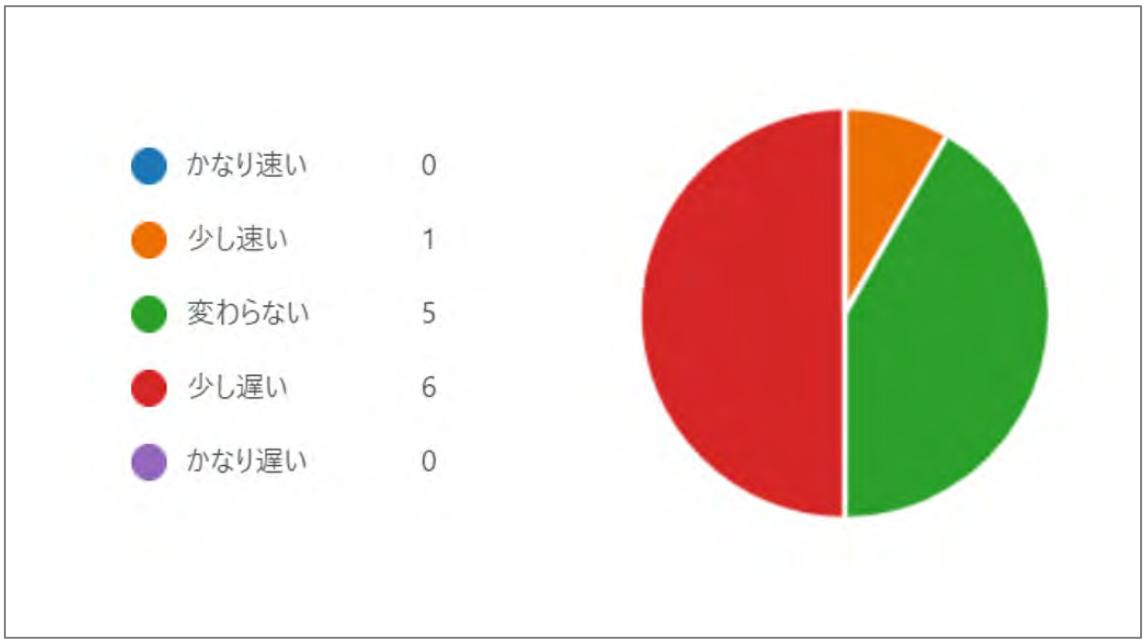


ダウンロードトラフィック負荷の日における、5G 端末を使用した場合のダウンロード（下り）の速さの体感

アップロードに関しては、負荷試験の有無で差があまりなく、負荷試験が無い場合で約 8%、負荷試験がある場合で約 17%が「かなり速い」または「少し速い」と回答しました。

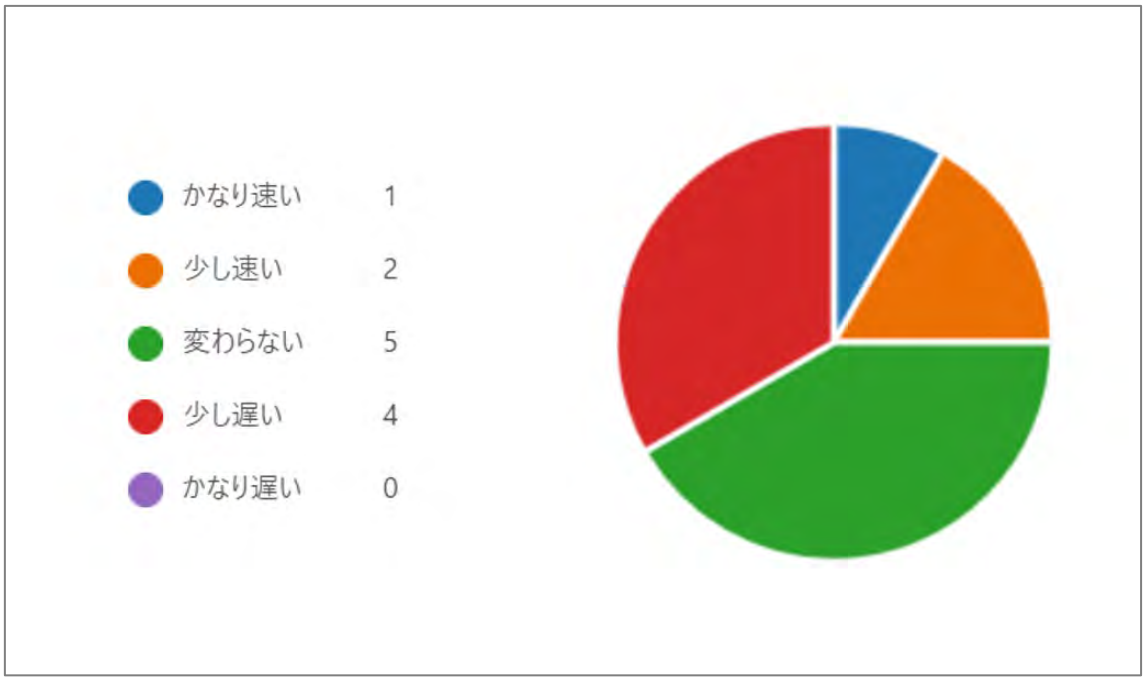


アップリンクトラフィック負荷試験を行っていない日における、、5G 端末を使用した場合のアップロード（上り）の速さの体感



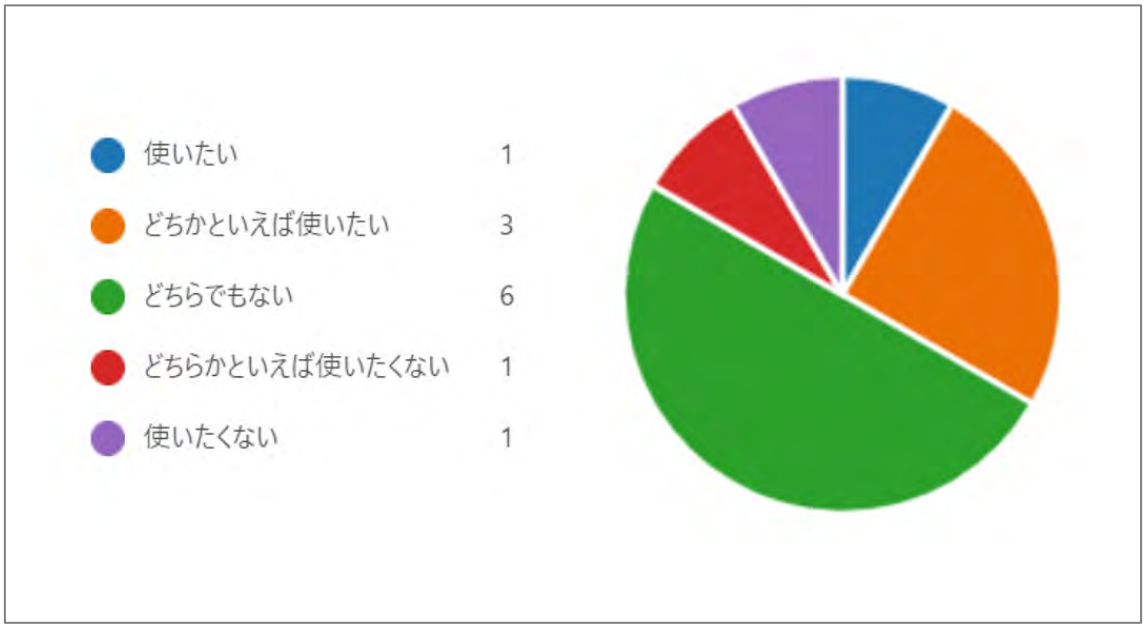
アップロードトラフィック負荷試験の日における、5G 端末を使用した場合のアップロード（上り）の速さの体感

有線（光ファイバー等）による接続との比較を下図に示します。回答は「かなり速い」から「少し遅い」まで幅広い意見があったものの、「かなり速い」・「少し速い」・「変わらない」の約 67%は有線と同等又はそれ以上のデータ通信の快適さを感じたと言えます。



有線（光ファイバー等）による接続と比べた使い勝手の体感。

実証実験だけでなく今後も当該 5G 端末を使用したいかという質問に対しては、「どちらでもない」が半数、「使いたい」・「どちらかとえいば使いたい」が約 33%と、意見が分かれました。



今後も 5G 端末を使いたいと感じるか

「今後も 5G 端末を使いたいと感じますか」」の回答理由を抜粋して以下に列挙します。

・ウェブブラウザの閲覧時や SNS 利用時、普段利用している Wi-Fi よりももたつきを感じることが何度もあったため。今後改善させる可能性もあると思うため、少し様子を見たいで

す。
・ゲーム等はやらないので今までとあまり変わりがない
・現状でも不満は無いのですが、料金等利用条件を検討して負担がなければ利用したいと思います。
・現在の光回線よりダウンロードは速いが、アップロードは遅い。アップロードすることはあまり無いので、ダウンロードが速いというメリットを享受できるため。
・既存の光配線との決定的な速さの違いが実感出来ないから。
・あったらあったで便利ですが、宅内で端末を置く場所によって速度が変わるところが気になります。

以上の 28GHz 帯のアンケート結果によると、使用感について比較的良い評価を得た面もあるものの、今後当該端末を利用することについて明確に積極的になる結果は得られませんでした。屋内設置端末は工事不要で使用できるなど、データスピード以外の利点も訴求していく必要性があると考えます。

以下に個々のアンケート回答結果を示します。

ID	ご年代	ご性別	一緒に暮らしいている人数（ご本人含む）	一緒に暮らしている方の詳細（複数選択可）
1	40 代	男性	2 人	配偶者;
2	70 代	男性	2 人	配偶者;
3	30 代	女性	4 人	兄弟;両親;
4	60 代	男性	2 人	配偶者;
5	40 代	男性	6 人	配偶者;子;
6	40 代	男性	6 人	配偶者;子;
7	60 代	男性	1 人	無し;
8	60 代	男性	6 人	配偶者;両親;孫;子;
9	60 代	男性	2 人	配偶者;
10	60 代	男性	3 人	配偶者;子;
11	60 代	男性	4 人	配偶者;子;
12	40 代	女性	3 人	両親;

ID	普段ご使用するインターネット接続機器（複数選択可）	普段ご使用するインターネット接続サービス（複数選択可）	インターネットを使用する普段ご使用のアプリ（複数選択可）
1	スマホ;PC;	光回線;携帯電話;	メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;ウェブブラウザ（Google

			Chrome、Safari、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;
2	スマホ;PC;	光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;メール;
3	スマホ;PC;	光回線;携帯電話;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;
4	スマホ;PC;	光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;
5	スマホ;タブレット;PC;	光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;ゲーム;
6	スマホ;PC;タブレット;	光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;ゲーム;
7	スマホ;PC;	光回線;携帯電話;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;
8	PC;	光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;
9	PC;スマホ;	光回線;	動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;
10	スマホ;タブレット;PC;	携帯電話;光回線;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;ゲーム;
11	スマホ;タブレット;PC;	光回線;携帯電話;	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;
12	スマホ;PC;	光回線;	メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、

			WhatsApp、Wechat、等）;ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;動画アプリ（Youtube、ABEMA、Netfrix、等）;dぽけっと、FMくらら;

ID	ダウンロードトラフィック負荷試験を行っていない日における、5G端末を使用した場合のダウンロード（下り）の速さ	ダウンロードトラフィック負荷の日における、5G端末を使用した場合のダウンロード（下り）の速さは	アップリンクトラフィック負荷試験を行っていない日における、5G端末を使用した場合のアップロード（上り）の速さ	アップリンクトラフィック負荷試験を行っていない日における、5G端末を使用した場合のアップロード（上り）の速さ2	有線（光ファイバー等）による接続と比べて、使い勝手はいかがでしたでしょうか。※元々有線で接続していた場合に回答	今後も5G端末を使いたいと感じますか。
1	かなり速い	少し遅い	かなり速い	少し遅い	かなり速い	使いたい
2	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	使いたくない
3	少し遅い	かなり遅い	少し遅い	少し遅い	少し遅い	どちらでもない
4	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	どちらでもない
5	少し遅い	少し遅い	少し遅い	少し遅い	少し遅い	どちらでもない
6	少し遅い	少し遅い	少し遅い	少し遅い	少し遅い	どちらでもない
7	少し速い	少し遅い	変わらない	少し遅い	変わらない	どちらかといえば使いたくない
8	少し遅い	変わらない	少し遅い	変わらない	変わらない	どちらでもない
9	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない	どちかといえば使いたい
10	かなり速い	少し遅い	かなり遅い	少し遅い	少し速い	どちかといえば使いたい
11	少し速い	少し速い	少し速い	少し速い	少し速い	どちかといえば使いたい

12	少し遅い	変わらない	少し遅い	変わらない	少し遅い	どちらでもない

次に、4.7Ghz 帯のモニタユーザーの回答を表に示します。

	屋内端末	屋外端末
年代	40 代	
性別	女性	
一緒に暮らしいている人数（本人含む）	1 人	
一緒に暮らしている方の詳細（複数選択可）	無し	
普段使用するインターネット接続機器（複数選択可）	スマホ	
普段使用するインターネット接続サービス（複数選択可）	光回線	
インターネットを使用する普段使用のアプリ(複数選択可)	ウェブブラウザ（Google Chrome、Safari、等）;メッセージングアプリ（LINE、Facebook Massanger、WhatsApp、Wechat、等）;SNS（Instagram、Facebook、Twitter、等）;	
有線（光ファイバー等）による接続と比べた使い勝手	変わらない	変わらない
今後も 5G 端末を使いたいと感じるか	どちらでもない	どちかといえば使いたい

4.7GHz 帯モニタユーザーは、回答を得た 28GHz 帯モニタユーザーと同様に普段回線を利用しておますが、使用感は変わらないという結果になりました。この結果において、28GHz 帯モニタユーザーの回答結果との明確な違いは特に見受けられませんでした。

4.7 まとめ

高精細カメラの河川映像及びAI分析により、河川リモート監視及びアラート発報を実現するとともに、水位情報等を一元管理した防災ダッシュボードを構築し、自治体の避難情報等の発令判断の迅速化の実現を確認しました。また、地域住民に対する災害情報配信として、既存の防災情報に加え、河川映像が加わることで住民の避難意識の向上効果を確認しました。更には、高精細カメラ映像伝送とFWAインターネット接続サービスと両立した平時・災害時の併用モデル構築の検討として、高トラフィック発生時の影響やFWA端末のユーザー体感等を確認しました。

5. ローカル 5G の性能評価の技術実証

5.1 前提条件

5.1.1 概要

本事象で検証する平時・災害時の併用モデルにおいては、同一基地局配下には 4K カメラだけでなく、一般向けの高速インターネット接続サービスを提供しました。今回の現地実証対象エリアが、地形や建物の条件において、他の地域においても有効なシステム特性を検証可能とするものであることに留意しました。すなわち、課題解決システムの実装及び実証地域以外の地域での利用においても有益な成果が得られるように考慮した技術実証を行いました。このような目的のために、次の点に留意し実証しました。

(ア)ITU 及び 3GPP における５Ｇの標準化に関する検討状況並びに情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル５Ｇに関する検討状況を踏まえて検討を行うこと

(イ)既存の無線システムに影響を与えないよう、検証を行うこと

(ウ)測定機器類、測定環境等については請負者で準備すること

（ア）については、プライベートマイクロセルに資する標準化検討状況の記述を行いました。（イ）については、無線免許上の共存条件に即して 4.7GHz 帯の電波発射を行い、かつ連携動作について検討する LPWA システムについては、920MHz 帯の SUN システムを適用することで既存システムへの影響を排除した点が挙げられました。（ウ）については、今回の現地実証における基地局、UE 設備、コア環境、測定手段に関して、請負者によって整備の上で実証を行いました。

本実証では、4K カメラの映像伝送には無線区間の主にアップリンクを使用しましたが、一般のインターネットユーザーの使用状況に依っては回線が輻輳する可能性が考えられました。特に災害時において回線が輻輳した場合は、災害時に重要度が高い河川映像伝送に十分なリソースが割り当てられず、映像の乱れ等の影響が出る可能性があると考えられました。

本技術実証では、4.7GHz 帯サービスエリア内における複数地点における電波伝搬特性ならびにそれに準ずる当該ユースケース性能の定量的評価を行い、加えて今後のローカル 5G の高度化・展開に資する技術検証を行いました。具体的には、サービスエリアとして、以下の 2 つを想定しました。

- 市街地：家屋、商業施設や商店・商店街が密集した土地、区域であり、平均建ぺい率がおおむね 10%以上の街区がひと固まりとなったエリア

- 河川周辺：上述したユースケースのうち、河川との関わり（例えば、河川映像の観測）が現実的と考えられるエリア

後述するように、技術実証エリアはこれらに合致するものであることから、本実証で得られたデータは、今回の実証場所以外の地域であるが、このサービスエリアに同じく合致する地域におけるローカル 5G システム導入時特性の検証について有効となることが予想されました。

図 5.1.1-1 に、本技術実証における NW・システム構成を示しました。また、図 5.1.1-2 に、本技術実証内容に関する、動的 UL リソース制御技術の検証と、LPWA システム連携時の検証に必要となる構成について示しました。

なお、本技術実証においては、図 5.1.1-1 のとおり 4.7GHz 帯を適用するとし、28GHz 帯は課題実証では利用するが、技術実証では利用しませんでした。

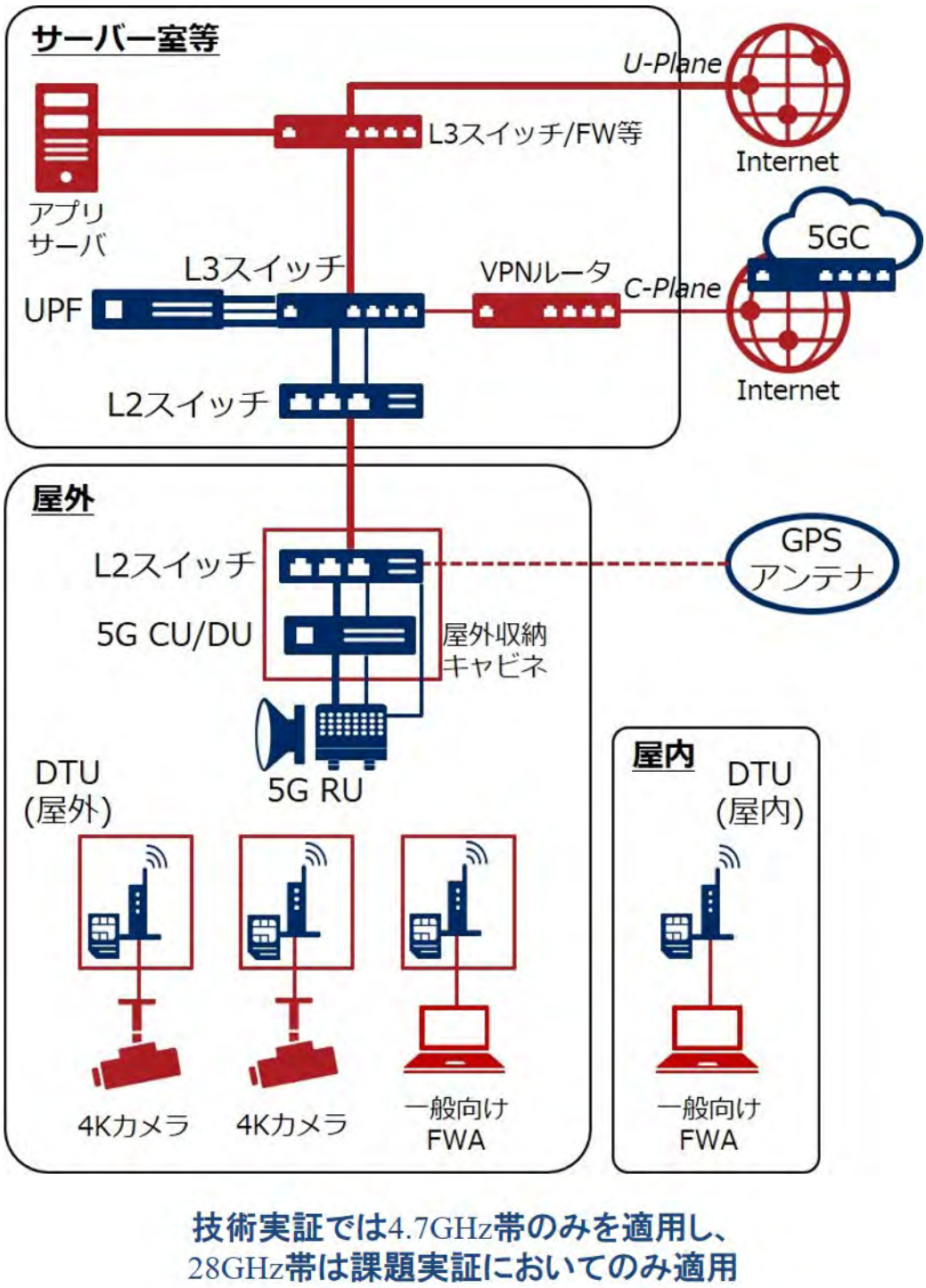
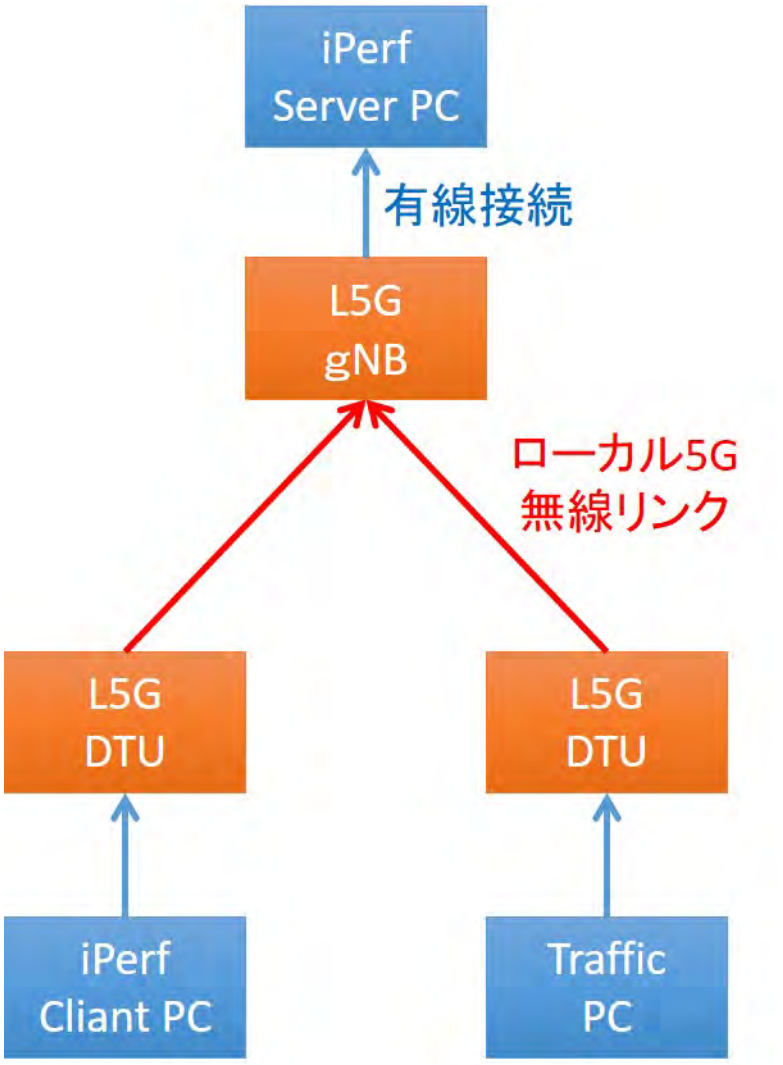
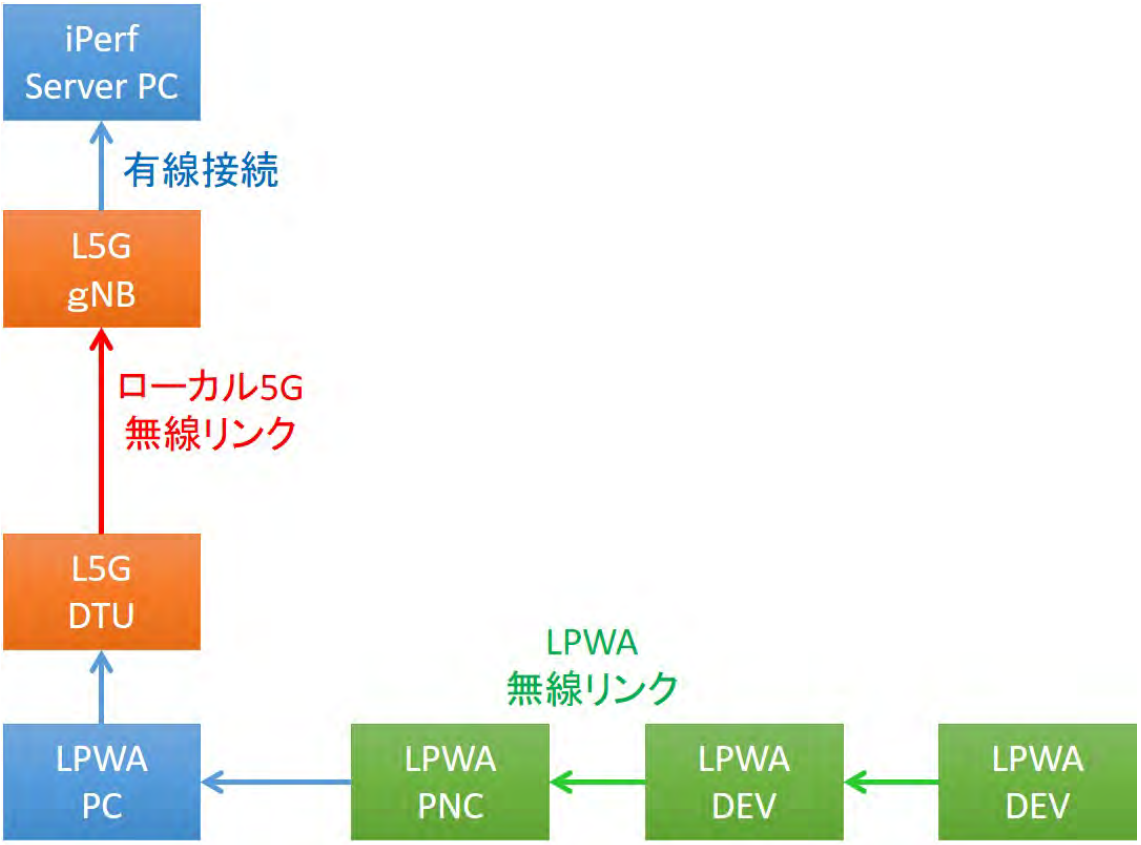


図 5.1.1-1　技術実証におけるＮＷ・システム構成


iPerf
Server PC
有線接続
L5G
gNB
ローカル5G
無線リンク
L5G
DTU
L5G
DTU
iPerf
Cliant PC
Traffic
PC

(a) リソース割当制御



(b) LPWA 連携

図 5.1.1-2　リソース割当制御、LPWA 連携のためのＮＷ・システム構成

なお、本実証において、当初基地局の送信電力は、160mW を予定していましたが、実証時には、図 5.1.1-1 に示す 5G RU の不具合により、40mW の送信しかできないという事象が発生しました。この結果、一部の伝搬データ取得スポット、または実証スポットにおいて、所望の受信感度が確保できないという影響がありました。これに対して実施した対策として、送信電力 160mW、40mW についてそれぞれシミュレーションによるサービスエリアの事前選定を行い、実証時の各スポットを空間的に補正し、評価することを行いました。

5.1.2 プライベートマイクロセル構造の適用

本節では、本技術実証におけるローカル 5G のサービスエリア構築に関して有望な実装形態のひとつと考えられるプライベートマイクロセル構造の概要と、本構造の実用化、運用に際する基本的な動作について述べました。図 5.1.2-1 にプライベートマイクロセル構造の概要を示しました。本図では、従来のセルラ事業者 A、及び B がそれぞれ自身のマクロセルとマイクロセルを敷設し、サービスを展開する様子を示しました。一方で、これらのセルラ事業者とは別に、マイクロセルのみを敷設する新しい事業者、プライベートマイクロセル事業者が考えられました。本事業者は、自身で設置するマイクロセル（プライベートマイクロセル）をセルラ事業者 A、B のユーザ端末に利用させ、その際には、図中に示されるように、セルラ事業者 A、B が保有するユーザ情報を共有されることを前提としました。本構造により、セルラ事業者は新たなマイクロセルサービスエリアを利用でき、一方でプライベートマイクロセル事業者は、事業者 A、B から共有することによるユーザ情報の管理を容易に行うことができると考えました。プライベートマイクロセル構造は、ローカル 5G を含む次世代移動通信サービスの展開に極めて有効に資する概念だと考えられました。

一方で、プライベートマイクロセル周波数資源の有効利用という見地より、リソースブロックの割当ての最適化という技術課題と、局所的なサービスエリアを適用する際のコスト計算等の運用課題が挙げられてきました。

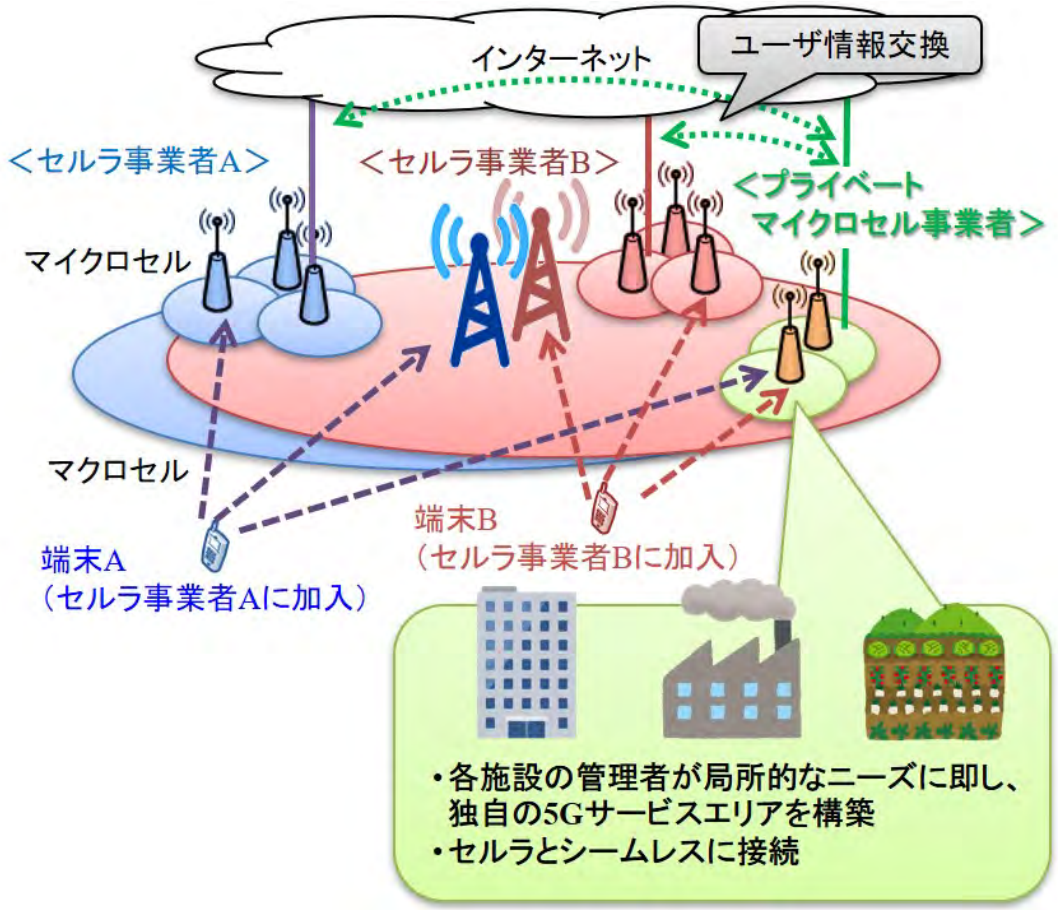


図 5.1.2-1　プライベートマイクロセルの概要

5.1.3 ユースケースの概要と性能要件

本技術実証では、ローカル 5G のユースケースとして、4K カメラ映像による災害情報の提供を想定しました。性能要件としては、カメラ解像度が 4K であることのほか、映像伝送を適切に実現するために、4K カメラの機器性能に基づきスループット 30Mb/s 以上、目視による気づき等の減少に基づき遅延時間 1 秒以下を性能要件として設定しました。なお、目視に関する評価を含む検証は、本技術実証の請負者である作業員によって行われました。

5.1.4 実証環境

基地局の諸元について、表 5.1.4-2 に示しました。

表 5.1.4-2　ローカル 5G 基地局の諸元

使用周波数	4.8GHz ~ 4.9GHz, 中心周波数: 4849.86MHz
帯域幅	99.72MHz
送信出力	160mW(22dBm) 1 局合計（16dBm/port x4)
アンテナタイプ・利得	パッチアンテナ・12dBi
アンテナ高	17m
アンテナチルト角	下向き 10 度
設置環境	屋外
台数	1 台
同期/準同期	準同期
DU 比	４：４：２
SA/NSA	SA

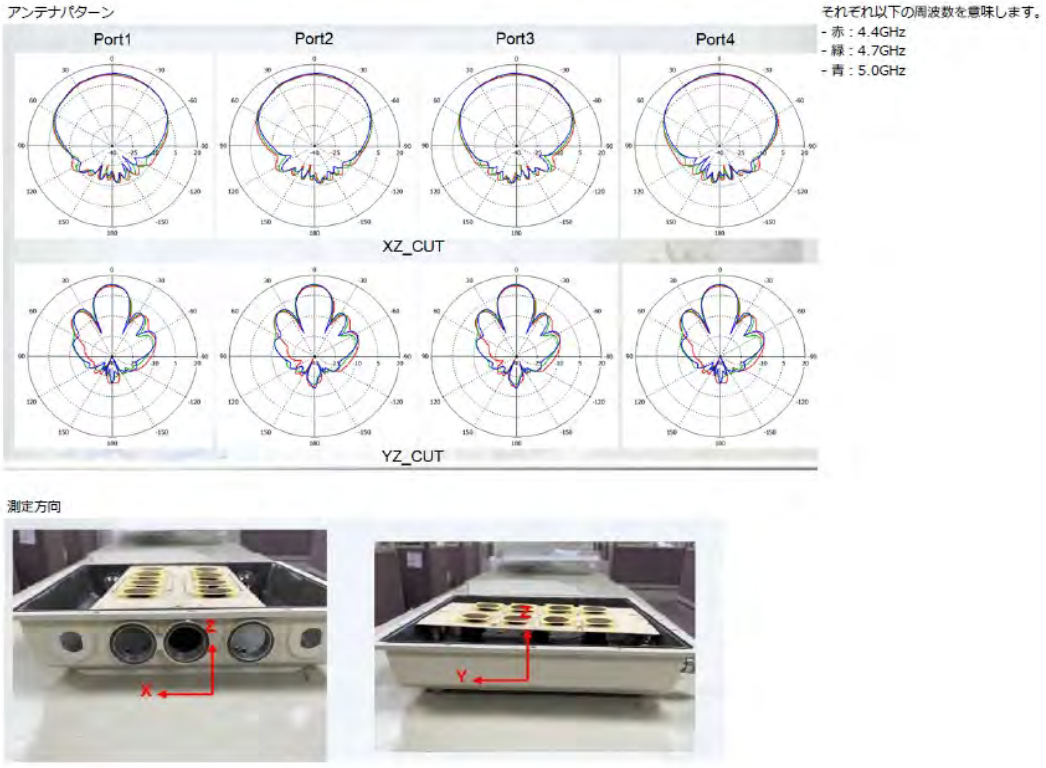


図 5.1.4-2　ローカル 5G 基地局のアンテナパターン

(a)基地局全体

(b) アンテナポール

(c)各アンテナ

(d)5G CU/DU

(e) L2 スイッチ

(f)端末 (DTU)

図 5.1.4-3　ローカル 5G 基地局の設置状況

基地局のアンテナパターンを図 5.1.4-2 に示しました。また、基地局の設置状況について図 5.1.4-3 に示しました。図 55.1.4-3(a)～(e)は基地局の構成要素であり、後述のとおり、栃木市立第 5 小学校の屋上に固定されて動作されました。一方で、図 5.1.4-3(f)は端末を示していて、本実証ではこの端末を各スポットに設置し、場所、環境に応じた動作特性について評価を行いました。

さらに、図 5.1.4-3(f)の端末の諸元について、表 5.2.2.1-3 に示しました。

表 5.1.4-3　ローカル 5G 端末の諸元

使用周波数	4.8GHz ~ 4.9GHz, 中心周波数: 4849.86MHz
帯域幅	99.72MHz
送信出力	160mW(22dBm) 1 局合計 (16dBm/port x4)
アンテナ利得	3dBi
アンテナ高	1m／2m
同期/準同期	準同期
台数	1 台

5.2 実証目標

本技術実証の目標は、ローカル 5G 無線通信システムの中でも、有望な運用形態のひとつと考えられ、5G 無線サービスエリアであるマイクロセルの実証と考えられました。具体的には、従来事業者とは異なるサービス（例えば、本報告書における防災業務）のために、当該サービスを提供する事業者が敷設し利用させる形態であるプライベートマイクロセル構造を取り上げました。当該構造を、特にローカル 5G 無線通信システムのための割当周波数帯として想定され、電波伝搬特性に関して距離による減衰特性、回り込み等による電波到達特性に起因し特別な電波伝搬特性を有すると考えられる 4.7GHz 帯における無線通信システム運用として適用しました。本実証においては、実際の運用環境、すなわち、ユースケースに起因する要因や、サービスエリアの敷設環境、さらには、「ローカル５Ｇ導入に関するガイドライン」（総務省、2019 年 12 月）に示されるような従前のローカル 5G 無線通信システム運用技術仕様に加えて、周波数資源有効利用等の観点より導入する付加的な技術仕様と、その効用に関する評価をとりまとめることを目標としました。すなわち、周波数資源の有効利用という見地より、リソースブロックの割当てという技術課題と、局所的なサービスエリアを適用する運用課題の両面より取り組まれる可能性について、本実証では示しました。特に、リソースブロック割当てについては、UL リソース動的割当てによる周波数資源の有効利用を実現するための、UE 側優先度制御について、技術基準に資する内容として、実証結果をまとめることができました。具体的には、当該制御により、従来の運用形態に比べスループット特性および遅延特性の改善がみられることから、今後システムあるいはサービスに対する周波数帯域幅の削減や、離隔距離等条件の緩和につながる可能性が予測されることから、技術基準等の整備に資する知見と考えられました。

プライベートマイクロセル構造は、自営事業者を例とするこれまでの広域事業者とは異なる事業者が、工場等の、サービスエリア未整備の区域にマイクロセルを敷設し、広域事業者と連携の上で従来ユーザに対してサービスを展開するものとして提案されました。新たなサービスエリアを構築できることが利点ですが、広域事業者のユーザに対する認証処理等の必要があること、敷設エリアのユースケースに特化したサービス提供が検証済（ひいては制度化済）のシステムと比べて不十分であること等が、課題あるいは欠点として考え

られました。なお、技術仕様については、技術基準として定められるもののほかに、例えば上位制御層における技術仕様等、技術基準の対象とならないものを含めました。本技術実証においては、当該プライベートマイクロセル構造の前提に特に起因する、技術課題と運用課題について考察を行い、とりまとめるものとしました。

5.2.1 技術課題

本実証における技術課題として、以下の項目が挙げられました。
(ア)ローカル 5G サービスの多様化に伴う周波数資源の有効利用技術
(イ)ローカル 5G サービスの多様化に伴う他システム・技術との連携動作
本技術実証では、(ア) の課題を解決するために、状況に応じたアップリンクにおける無線リソースの動的割当技術の検証、(イ) の課題を解決するために、場所的に不均一となる無線資源利用状況に着目した低速適応変調方式と、モノ同士通信をサポートする典型的な無線通信システムである LPWA システムとの連携技術の検証をそれぞれ実施しました。このことにより、技術課題を解決する知見であるとともに、周波数割当てや、他システムとの周波数共存等に関する解法を以て、本技術実証の成果は、技術基準にも資する知見になりうると考えらえました。なお、後述する各項目において取得するデータは以下のとおりです。なお、各項目で取得したデータで、項目間で共有し有効に使えるデータについては積極的に共有を行うこととしました。

- 第 5.3 節では、本実証におけるローカル 5G の基本特性と、サービスエリアの予測を行うことを目的とする、基地局周辺の各地点における受信電力、スループット、ならびに遅延時間の特性を取得しました。
- 第 5.4 節では、上記と同じローカル 5G ユースケースにおいて、状況に応じた UL リソース割当てを実施することによる効用を検証するために当該割当てを適用した場合のスループット、遅延時間の特性を取得しました。
- 第 5.5 節では、低速適応変調方式の適用による効果を検証するためのローカル 5G のセル半径に関連するデータ、ならびに LPWA システム連携の検証を目的とする LPWA システムデータ収集特性に関するデータを取得しました。

5.2.2 技術的課題へのアプローチ・検証仮説

以上の技術課題解決については、表 5.2.2-1 に示す 4.7GHz 帯を用いたこれまでの取組みを適切に参照し、基本システムの構築の効率化を目指すとともに、本技術課題解決のために本技術実証によって検証される新しい知見に基づき、本技術実証におけるローカル 5G システム導入のために要求される要素技術について実証とデータ解析により考察しました。

表 5.2.2-1　4.7GHz 帯を用いるこれまでの取組み

● NTT 東日本は、4.8GHz～4.9GHz 帯の無線局免許を申請。東京都の NTT 中央研修センタ内にある「ローカル 5G オープンラボ」に無線局を設置し、パートナーと実証実験を行っていく。
● NTT 西日本は、4.7GHz 帯の無線局免許を申請。28GHz 帯での先行取り組みで得たノウハウを活用し、現在建設中の新本社ビル（大阪府）で新たなサービスを開発していく。
● NTT コミュニケーションズは 4.7GHz 帯の無線局免許を申請。東京都のグランパークタワーに無線局を設置。NTT コムのデータ利活用プラットフォーム「Smart Data

Platform」との連携やIoT向け無線ネットワークのスライシングなどを検証する。

- GMOインターネットは、4.5GHz帯のSA（スタンドアロン）方式の無線局免許を申請。グループ本社（東京都）のコミュニケーションスペース「シナジーカフェ GMO Yours」にSA構成の無線局を設置する。同社は12月4日に日本初（同社調べ）となるSA構成による28GHz帯のローカル5G無線局免許を取得しており、グループ第2本社（東京都）の「シナジーカフェ GMO Yours・フクラス」で、従業員がローカル5Gを利用できる実験環境を構築している。

- 京セラも新周波数帯の無線局免許を申請した。無線局は京セラの滋賀野洲工場（滋賀県）に設置する。同社はSA方式、4.7GHz帯のローカル5Gシステムを開発しており、自社工場での効果検証を通じて、今後のソリューション展開とスマートファクトリーの実現に向けて取り組んでいくとしている。

- NECと富士通に4.7GHz／28GHz帯のローカル5G無線局免許を付与、全国初
  https://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/news/1305455.html
  - 設置場所は、NECが東京都港区（NEC本社ビル内「Future Creation Hub」）と神奈川県川崎市（玉川事業場内「ローカル5Gラボ」）、富士通が栃木県小山市で、使用用途は「ユーザーとの協創を通じたローカル5Gユースケースの創出」（NEC）と「ローカル5Gを活用したコネクテッドファクトリーの実践」（富士通）としている。

- NECは取得した免許を活用し、自社設備内にSA構成のローカル5Gネットワークを構築する。ローカル5G関連サービスのさらなる高度化への取り組みや、ローカル5Gを実際に体感できるデモの実施、顧客企業との共創活動を加速し、ローカル5Gの普及及びイノベーションを創出していくとしている。

- NTT東日本がローカル5G・Sub6の免許申請、東大との共同ラボで使用へ
  https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/7951/Default.aspx
  - NTT東日本は2020年12月18日、ローカル5Gの使用周波数帯の拡張（Sub6:4.6GHz～4.9GHz、ミリ波：28.3GHz～29.1GHzが新たに利用可能）等に係る制度改正に伴い、総務省に無線局免許を申請したと発表した。東京大学と産学共同で設立した「ローカル5Gオープンラボ」におけるSub6（4.8GHz～4.9GHz）の周波数帯に対応したローカル5G無線環境構築に向けたもの。無線局場所は、東京都調布市入間町1-44のNTT中央研修センタで、周波数は4.8GHz～4.9GHz。ローカル5Gオープンラボでは、東京大学本郷キャンパスの大学院情報学環 中尾研究室とNTT中央研修センタにおいてローカル5G・プライベートLTE（sXGP）の通信環境（コア、基地局、端末）を構築。オープンに参加企業を募り、さまざまな産業プレーヤーとのローカル5Gを活用したユースケースの共創に取り組む。

5.2.3 技術基準の見直し等に資する新たな知見

本技術実証では、従来運用形態に比べて、スループット、遅延時間等に代表されるシステムのサービス品質の改善がともに改善がみられた場合、従来の周波数割当てよりも狭い帯域幅や、制限が緩和された離隔条件等により、従来と同等の無線サービスを実現可能であることを示すことから、技術基準等の整備に資する知見となりうると考えられました。

5.2.4 実施事項

5.2.4.1 ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価等に関する実施概要

本提案では、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）においてこれまで行ってきたプライベートマイクロセル構造を、4.7GHz 帯のローカル 5G 無線通信システムに適用することを考え、具体的なユースケースとして、防災業務等に有効な 4K 等の高精細カメラ映像のアップロード形態を想定しました。

なお、本実証において用いる高精細カメラ映像の要求性能について、画面解像度 4K、スループット 30Mb/s 以上、遅延時間 1 秒以下としました。当該カメラは、運用時には電柱等の高さに設置されることが予想されましたが、本実証においては、当該ローカル 5G 運用エリアの詳細な検証を行うために、ローカル 5G 端末の移動に伴って搬送し、動作時には地上に置いて、伝送画像の劣化が確認できる程度の伝送動作を実施しました。この点において、前述の課題実証におけるカメラ動作とは異なることとなりました。

図 5.2.4.1-1 に、本実施におけるローカル 5G 基地局と、端末の配置を示しました。また、各端末位置に関する詳細情報を表 5.2.4.1-1 に示しました。本実施環境は、市街地ならびに河川周辺におけるローカル 5G サービスエリアを想定したもので、図 5.2.1-1 にも示されるとおり、建物が伝搬環境において反射・遮蔽の影響をもたらすことが予想されました。加えて、河川近辺の堤防・土手の地形が同様に伝搬に対して影響することが予想されました。

なお、本実証においては、遮蔽物、反射物について、市街地においては、木造、鉄筋、金属等の家屋建材、河川周辺においては、土、茂み等地形由来の素材が想定されました。

図 5.2.4.1-1　技術実証におけるローカル 5G 基地局と端末の配置

表 5.2.4.1-1　技術実証におけるローカル 5G 基地局と端末の配置の詳細

基地局/ 端末番号	緯度	経度	基地局からの 平面距離(m)	アンテナ高(m)
基地局	N36° 22’27.616	E139° 42’46.512	—	12.0
端末 1	N36° 22’28.950	E139° 42’43.193	33.3	1.00
端末 2	N36° 22’30.705	E139° 42’46.463	34.39	1.00
端末 3	N36° 22’28.464	E139° 42’45.740	11.71	1.00
端末 4	N36° 22’28.269	E139° 42’45.615	10.85	1.00
端末 5	N36° 22’28.497	E139° 42’45.906	11.22	1.00
端末 6	N36° 22’28.659	E139° 42’44.231	23.55	1.00
端末 7	N36° 22’29.588	E139° 42’41.516	49.95	1.00
端末 8	N36° 22’32.401	E139° 42’42.225	65.72	1.00
端末 9	N36° 22’33.115	E139° 42’42.128	72.78	1.00
端末 10	N36° 22’31.412	E139° 42’44.258	46.86	1.00
端末 11	N36° 22’31.635	E139° 42’49.018	50.08	1.00
端末 12	N36° 22’32.290	E139° 42’48.464	54.9	1.00
端末 13	N36° 22’27.770	E139° 42’46.939	4.2	1.00
端末 14	N36° 22’28.268	E139° 42’45.819	9.56	2.00
端末 15	N36° 22’28.362	E139° 42’45.642	11.4	2.00
端末 16	N36° 22’28.120	E139° 42’45.883	8	2.00

端末 17	N36° 22’28.372	E139° 42’45.016	15.85	2.00
端末 18	N36° 22’28.417	E139° 42’45.101	15.49	2.00
端末 19	N36° 22’28.366	E139° 42’44.759	17.82	2.00
端末 20	N36° 22’28.519	E139° 42’44.122	23.7	2.00
端末 21	N36° 22’30.413	E139° 42’46.549	31.14	2.00
端末 22	N36° 22’32.454	E139° 42’48.819	57.7	2.00
端末 23	N36° 22’31.506	E139° 42’44.190	48.06	2.00
端末 24	N36° 22’28.799	E139° 42’43.849	27.3	2.00
端末 25	N36° 22’28.763	E139° 42’43.774	27.95	2.00
端末 26	N36° 22’28.248	E139° 42’44.485	19.52	2.00

各端末について示された地点は、後述する伝搬データ取得スポットに相当する座標として今後扱うこととしました。また、後述のとおり、本スポットの一部については、実証スポットと定義し、ユースケースを想定する 4K カメラ映像の伝送特性について評価することとしましたが、本実証においては、全ての伝搬データ取得スポットについて、当該カメラ映像評価を実施しました。

以上の基地局、端末配置の上で、カメラ映像のアップロードを想定し、上り方向(UL; Up Link)のスループット、ならびに遅延時間の測定を行いました。なお、スループットの単位は IEEE 802 等で用いられる b/s 表記に統一しました。また遅延時間は、Ping プロトコルで見られるエンドエンドの RTT として計測し、取りまとめることとしました。なお、想定するスループットとしては、河川のリアルタイムの状況判断を可能とするだけでなく、AI 等の自律型映像分析機構においても十分な性能を提供できることを根拠とし、加えて表 5.2.2-1 に含まれる事例の一部における参照値に基づき、30～40Mb/s 程度の数値を想定しました。

5.2.4.2　ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等に関する実施概要

本検証においては、4.7GHz 帯を用いるローカル 5G 無線通信システムにおける無線リソースの能動的な割当て制御について、本制御の適用が性能に及ぼす効果を評価し、さらには、当該ローカル 5G 無線通信システムのエリア構築、ならびにシステム構成について将来の社会実装、社会展開に資する評価をまとめることを目的としていました。また、ユースケースとしては、防災業務等に有効な 4K 等の高精細カメラ映像のアップロードを想定しました。

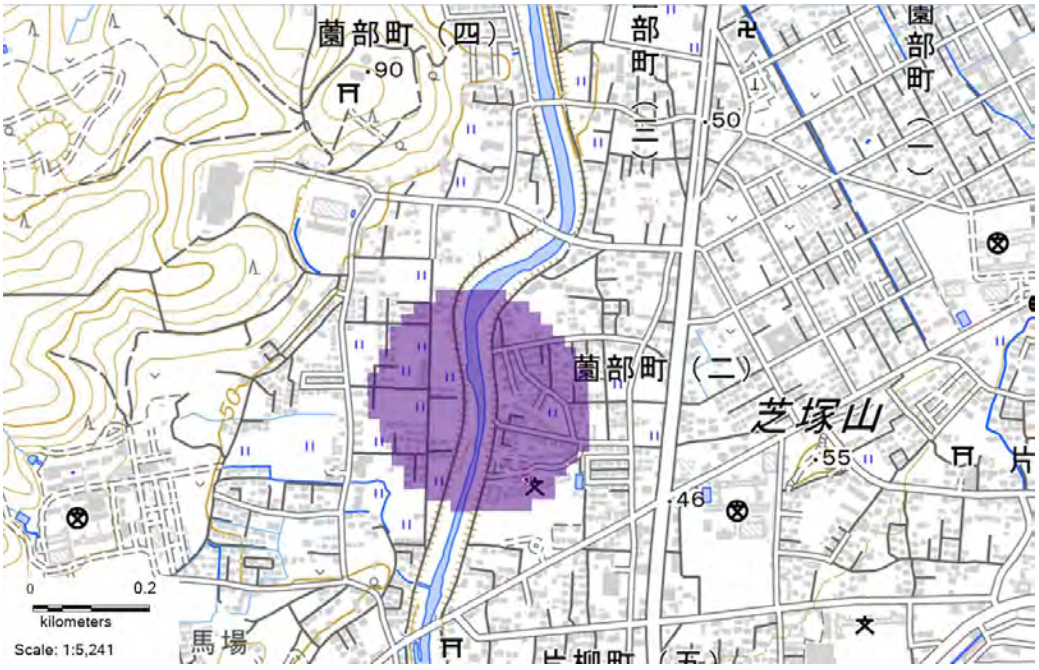
また、本検証におけるローカル 5G のエリア構築に関する事前検討として、シミュレーションによるエリア予測を実行しました。図 5.2.2.2-1 に、シミュレーション結果を示しました。なお、本シミュレーションは、受信電力が-78 dBm 以上となるエリアを、ローカル 5G 基地局の送信電力が 40 mW、160 mW それぞれの場合に予測したもので、シミュレーションにおけるパラメータとして、郊外地モデルと、市街地モデルをそれぞれ適用したシミュレーションとして挙げられました。なお、シミュレーションツールについては、Planet 7.3.0 Planning Editon（Planet 7.3.0.431 Patch 13 Build 8）を用いました。また、当該シミュレーションにあたり、「エリア算出法」（電波法関係審査基準）の変更に関する総務省からの要請事項（12 月 22 日周知）を考慮しました。

a)　変更前後双方の算出法において検討し、データ取得を希望

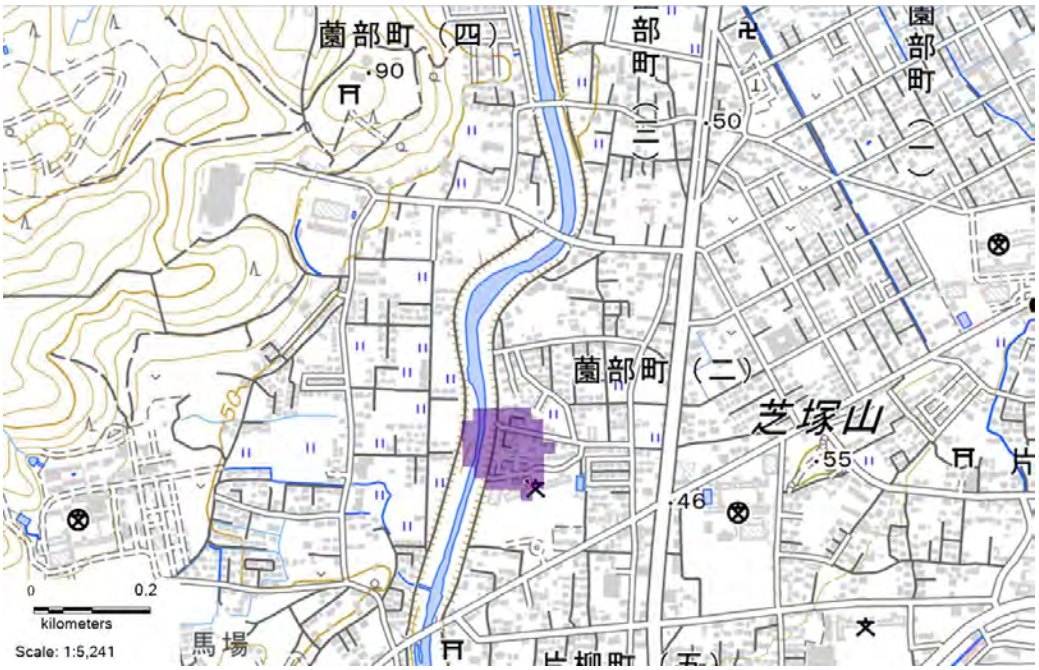
b)　双方のデータ取得が困難な場合には、修正後におけるデータ取得を優先

結果、本報告においては、修正後におけるデータ取得を優先しました。

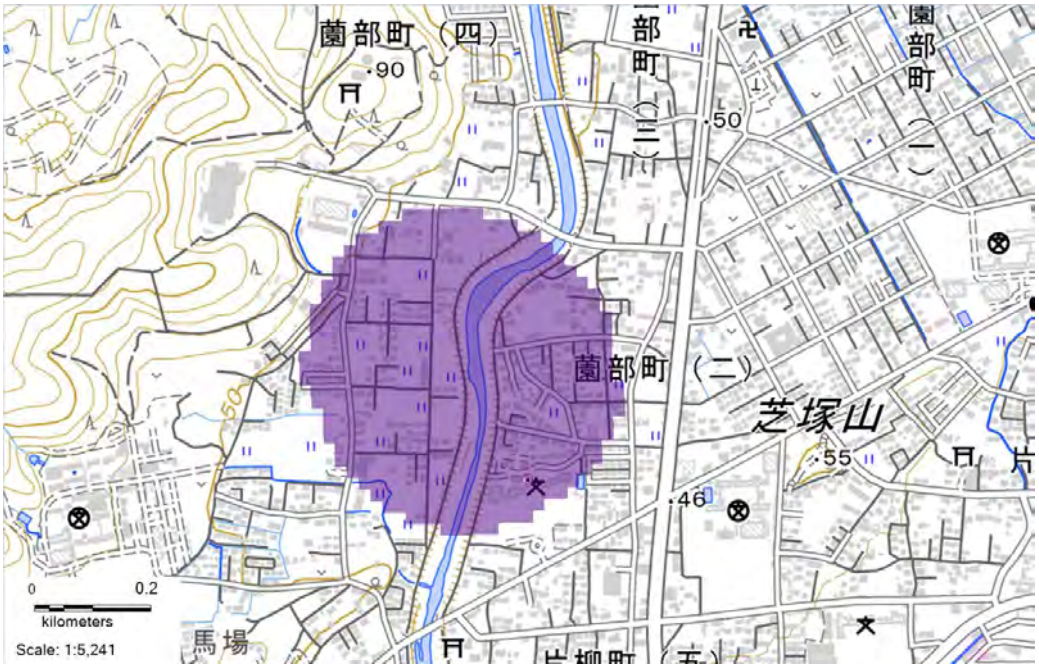
(a) 40mW 送信時、郊外モデル



(b) 40mW 送信時、開放地モデル



(c)160mW 送信時、郊外モデル



(d) 160mW 送信時、開放地モデル

図 5.2.2.2-1　エリア構築のシミュレーション

5.2.4.3 その他ローカル 5G に関する技術実証に関する実施概要

4.7GHz 帯を適用するローカル 5G 無線通信システムに対して本提案において想定する付加的な運用制御技術として、以下の二つを考えました。

- 低速適応変調方式の適用に関する検討

- 省電力広域無線（LPWA; Low Power Wide Area）との連携に関する検討

なお、付加的な運用制御技術については、ローカル 5G を基盤とする周波数資源有効利用技術として提案するものであり、当該無線システム、ひいては関連する無線システムにおける周波数有効利用に資する目的で実証を行いました。

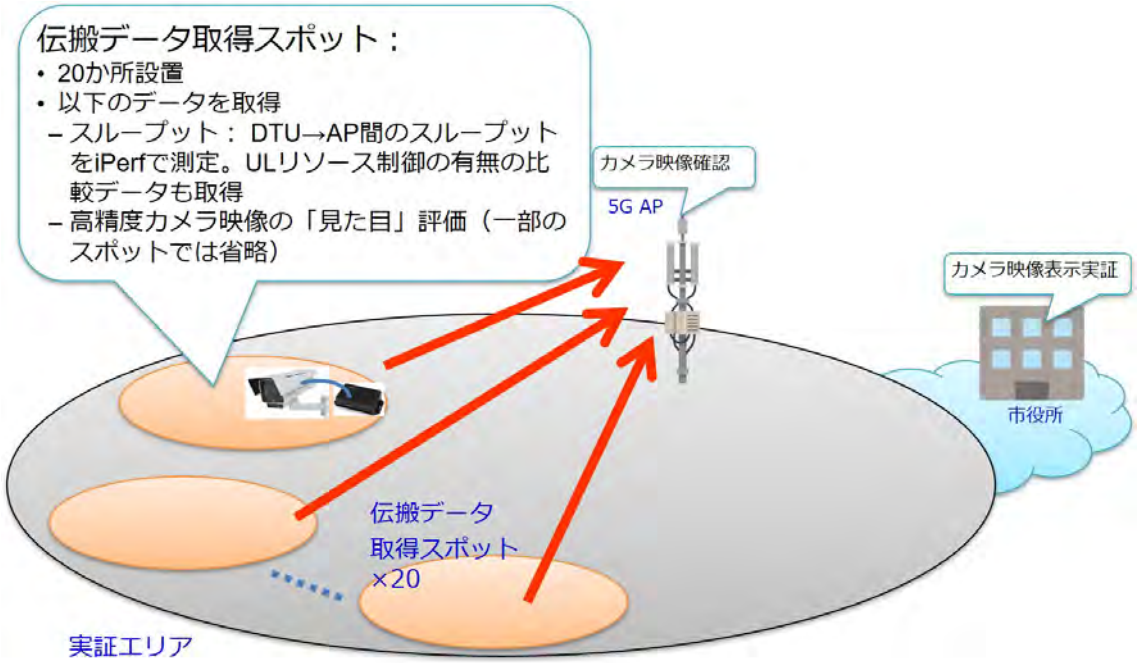
低速適応変調方式は、災害時は消費者向け通信が輻輳し、災害対応に必要な通信ができない可能性があることから、本実施のようなエリア内の各地点で伝搬路状況が異なる前提で、システムに割当てられたが周波数資源を有効に活用する方策が、今回の技術実証におけるローカル 5G エリアに適用可能と考えられた結果、本提案における想定技術として選定しました。

また、LPWA との連携に関する検討において、ここで用いる LPWA のユースケースは、水位センサを含むセンシング業務をまずは想定しました。連携は LPWA システムから提供するデータペイロードを 5G DTU のインタフェースに適合させることによる行いました。LPWA の特徴として、微小データが大量に転送される状況が挙げられるため、当該トラヒックを適切にローカル 5G におけるオファードトラヒックに転送することがひとつの技術検討課題だと考えられました。災害時は消費者向け通信が輻輳し、災害対応に必要な通信ができない可能性があることから、本実施のようなエリア内の各地点で伝搬路状況が異なる前提で、システムに割当てられたが周波数資源を有効に活用する方策が、今回の技術実証ローカル 5G エリアに適用可能と考えたことを背景としました。

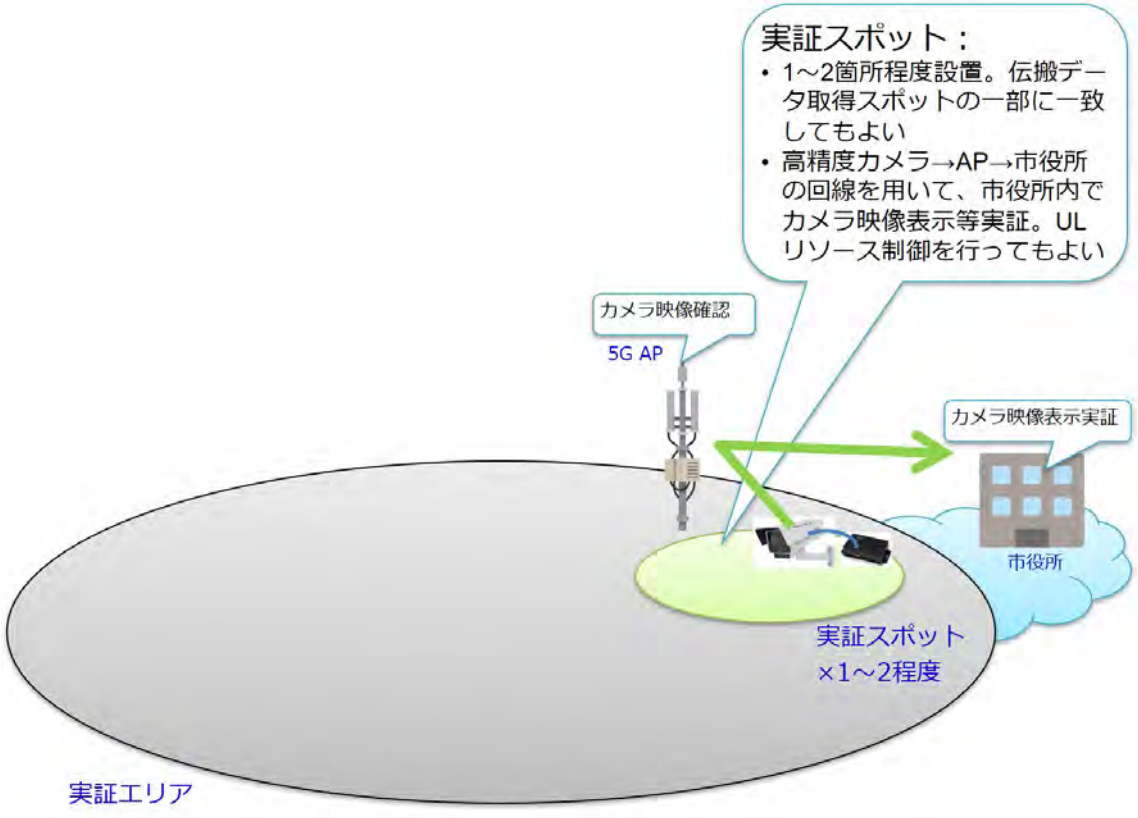
5.3 ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価等

5.3.1 評価・検証項目

本評価における評価・検証項目を定めるにあたり、ローカル 5G のサービスエリア近辺において、伝搬特性ならびに伝送特性を取得・評価するにあたり、前節にて述べたローカル 5G 端末の配置に基づき、複数の伝搬データ取得スポットと、実証スポットを選出し、各地点における伝搬特性ならびに伝送特性の取得を行いました。図 5.3.2-1 に、これらのスポットを図示しました。



(a)



(b)

図 5.3.1-1　評価のために設置したスポット：(a) 伝搬データ取得スポット、(b) 実証スポット

各スポットの詳細を以下に示しました。

伝搬データ取得スポット

- 実証エリア内において、26 か所設置しました。
- 各スポットに、ローカル 5G 無線端末に接続した高精細 4K カメラを設置し、基地局、またはコアネットワークまでのデータアップロード特性を測定しました。本測定対象は、アップリンクにおける伝送速度と伝送遅延の瞬時値で、防災業務用 4K 定点カメラ映像のユースケースに準ずる伝送速度、伝送遅延と比較すしました。同時に、電波伝搬損失データを取得しました。
- 各スポット、または一部のスポットにおいては、基地局、またはコアネットワークにおけるカメラ映像の評価を実施しました。
- 以上にて得られた結果に関して、市街地や河川周辺等おける 4.7GHz 帯の電波伝搬特性に関する類似調査結果を検証し、技術的課題を整理するともに、それらの解決方策等について考察を実施（なお、本検証ならびに考察については、1 月期～2 月期の現地調査において実施されました。）しました。

実証スポット

- 実証エリア内において、1、2 か所程度設置。伝搬データ取得スポットと一致することも想定しました。
- 各スポットに、ローカル 5G 無線端末に接続した高精細 4K カメラを設置し、基地局を経由し、コアネットワークまでのデータアップロード特性を測定しました。なお、本測定は、上述のとおり伝搬データ取得スポットと一致する場合を除けば、アップロード映像の見た目等の指標による評価にとどまり、伝搬データ取得スポットのように、詳細な伝送速度、伝送遅延の測定は行わず、同様に電波伝搬損失データも取得しないとしました。

各スポットに関して、コアネットワークにおけるカメラ映像を、4.7GHz 帯以外の周波数を用いるローカル 5G 無線通信システムのそれと比較評価を実施しました。これは、周波数による電波伝搬特性に起因するサービスエリア運用形態の差異について比較することで、複数の周波数帯について、それぞれローカル 5G の普及に資する基礎データを取得することを目的として実施しました。なお、本技術実証では数値による定量的評価を基本としましたが、一方で実証の過程で実際のユースケースに即した動作が実現できていることを確認するためにもカメラ映像の評価を行いました。本技術実証における 4K カメラ動作は前述のとおり、課題実証における動作とは異なるものとなりました。また、本技術実証における 4K カメラ映像のユースケースを想定の上で、ハウジングスクリーンの清拭等については留意した上で実施しました。

5.3.2 評価・検証方法

本実施では、図 5.3.2-1 ならびに表 5.3.2-1 に示した 26 地点を伝搬データ取得スポット、および実証スポットとして採用しました。図 5.3.2-1 に、各 26 スポットに設置した DTU から基地局方向に向けた様子を示しました。なお、表 5.3.2-1 に、各 26 スポットに関する環境の情報を示しました。

表 5.3.2-1　各 26 スポットの環境情報

スポット番号 (P1：スポット 1)	緯度	経度	環境
基地局	N36° 22’27.616	E139° 42’46.512	栃木第 5 小学校屋上
P1	N36° 22’28.950	E139° 42’43.193	栃木第 5 小学校前
P2	N36° 22’30.705	E139° 42’46.463	藤倉宅前
P3	N36° 22’28.464	E139° 42’45.740	ユーミーハーモニガーデン駐車場 1
P4	N36° 22’28.269	E139° 42’45.615	ユーミーハーモニガーデン駐車場 2
P5	N36° 22’28.497	E139° 42’45.906	ユーミーハーモニガーデン駐車場 3
P6	N36° 22’28.659	E139° 42’44.231	ユーミーハーモニガーデン駐車場 4
P7	N36° 22’29.588	E139° 42’41.516	永野川対岸 1
P8	N36° 22’32.401	E139° 42’42.225	永野川対岸 2
P9	N36° 22’33.115	E139° 42’42.128	永野川対岸 3
P10	N36° 22’31.412	E139° 42’44.258	永野川手前岸 1
P11	N36° 22’31.635	E139° 42’49.018	前橋宅前
P12	N36° 22’32.290	E139° 42’48.464	前橋宅前から右へ 20m

P13	N36° 22’27.770	E139° 42’46.939	栃木第5小学校屋上
P14	N36° 22’28.268	E139° 42’45.819	ユーミーハーモニガーデン駐車場（P3とP4の間）
P15	N36° 22’28.362	E139° 42’45.642	ユーミーハーモニガーデン駐車場（P5付近）
P16	N36° 22’28.120	E139° 42’45.883	ユーミーハーモニガーデン駐車場
P17	N36° 22’28.372	E139° 42’45.016	ユーミーハーモニガーデン駐車場
P18	N36° 22’28.417	E139° 42’45.101	ユーミーハーモニガーデン駐車場
P19	N36° 22’28.366	E139° 42’44.759	ユーミーハーモニガーデン駐車場
P20	N36° 22’28.519	E139° 42’44.122	ユーミーハーモニガーデン駐車場
P21	N36° 22’30.413	E139° 42’46.549	ユーミーハーモニガーデン駐車場(P2手前)
P22	N36° 22’32.454	E139° 42’48.819	畑（P12近傍）
P23	N36° 22’31.506	E139° 42’44.190	永野川手前岸遠
P24	N36° 22’28.799	E139° 42’43.849	永野川手前岸近
P25	N36° 22’28.763	E139° 42’43.774	永野川手前岸近2
P26	N36°	E139°	ユーミーハー

	22’28.248	42’44.485	モニガーデン 駐車場

(a) 第 1 スポット

(b) 第 2 スポット

（c）第 3 スポット

（d）第 4 スポット

（e）第 5 スポット

（f）第 6 スポット

（g）第 7 スポット

（h）第 8 スポット

（i）第 9 スポット

（j）第 10 スポット

(k) 第 11 スポット

(l) 第 12 スポット

(m) 第 13 スポット

(n) 第 14 スポット

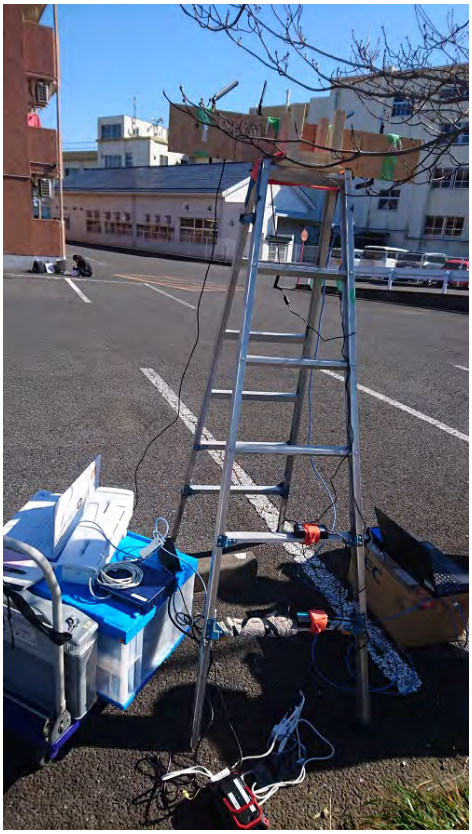
(o) 第 15 スポット

(p) 第 16 スポット

（q）第 17 スポット

（r）第 18 スポット

（s）第 19 スポット



（t）第 20 スポット

(u) 第 21 スポット

(v) 第 22 スポット

(w) 第 23 スポット

(x) 第 24 スポット

(y) 第 25 スポット

(z) 第 26 スポット

図 5.3.3-1　各 26 スポットから基地局方向の様子

伝搬データ取得スポット

- 無線回線に特化したデータの取得と評価を目的として、各スポットにおいて、基地局からの受信電力特性データを取得しました。具体的には、同期信号参照信号受信電力信号（SS-RSRP; Synchronization Signal-Reference Signal Received Power)を想定しました。
- データアップロード特性については、iperf を用いて、スループット特性の評価を実施しました。同時に、Ping プロトコルを用いて RTT 値の測定を実施しました。
- カメラ映像の評価については、基地局、またはコアネットワークにおいて、少なくとも見た目による定性的評価を行い、データとして整理しました。
- 以上の評価は、静止状態での測定を想定ユースケースとして、防災用 4K カメラ映像アップロードを想定し、一地点の定点観測に準ずる 1 箇所送信を評価しました。これは、カメラ等の台数がスポット数より少ないことによる実装上の制約となることが考えられました。なお、想定ユースケースにおけるカメラ台数は決定されていないと考えられる一方で、複数台数同時運用によって新たに生じる事象が周波数資源の逼迫だとしても、今回の技術実証では、別途 UE を整備し当該逼迫状況を実現する予定であるため、提案手法の妥当性に問題ないと考えました。

実証スポット

- 無線回線だけでなく、有線基幹網も含めたエンドエンドの特性データの評価を目的として、カメラ映像の評価について、基地局、またはコアネットワークにおいて、少なくとも見た目による定性的評価を行い、データとして整理しました。
- 以上の評価は、静止状態での測定を想定しました。

上記評価の 4.7GHz 帯以外の周波数を用いるローカル 5G 無線通信システムのそれと比較評価については、基地局、またはコアネットワークにおいて、少なくとも見た目による定性的評価を行い、データとして整理しました。

なお、見た目による定性的評価とは、実証における取得特性として定量的な数値データを想定する一方で、得られた数値データが想定ユースケースに対して妥当であることを確認するために、カメラ映像伝送のユースケースに関して、映像の見た目を観測するもので、具体的には、カメラを通さない風景と比較し、差分（ブロックノイズ、映像ストップ、暗転等）の有無と、その種別の明記を行い、評価としました。

また、測定結果の妥当性の確認方法については、伝搬損失については電波伝搬の理論式、スループットと遅延特性については既存のローカル 5G（相当）実測値、公称値のいずれかまたは双方を参照しました。

5.3.3　検証結果

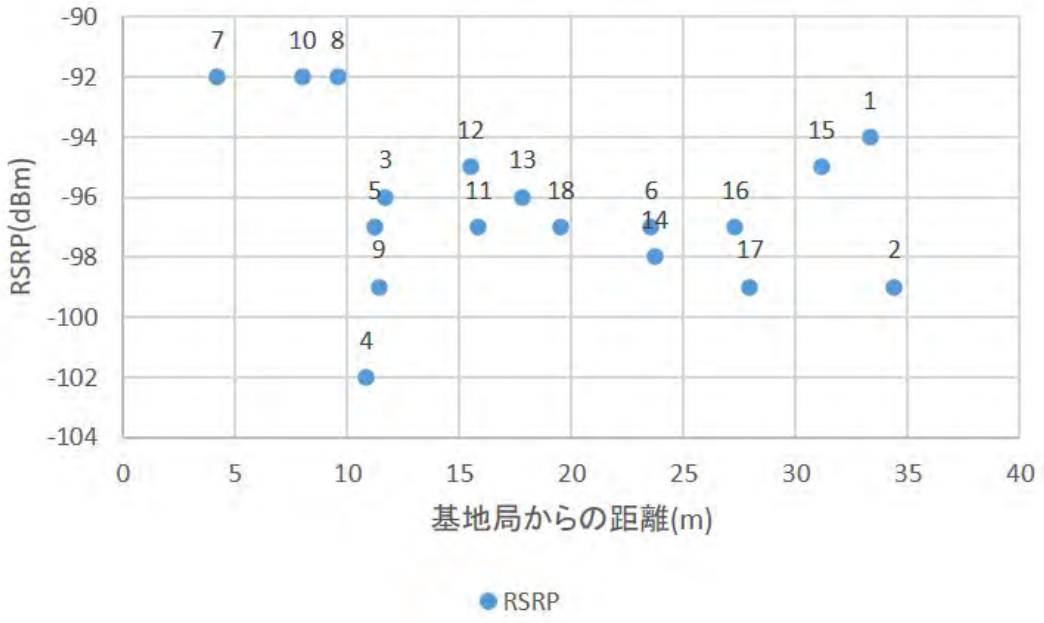
表 5.3.3-1 に検証結果を示しました。なお、RSRP 値については、スループット値と同様に、iperf による 10 秒間の測定により取得しました。

表 5.3.3-1　検証結果

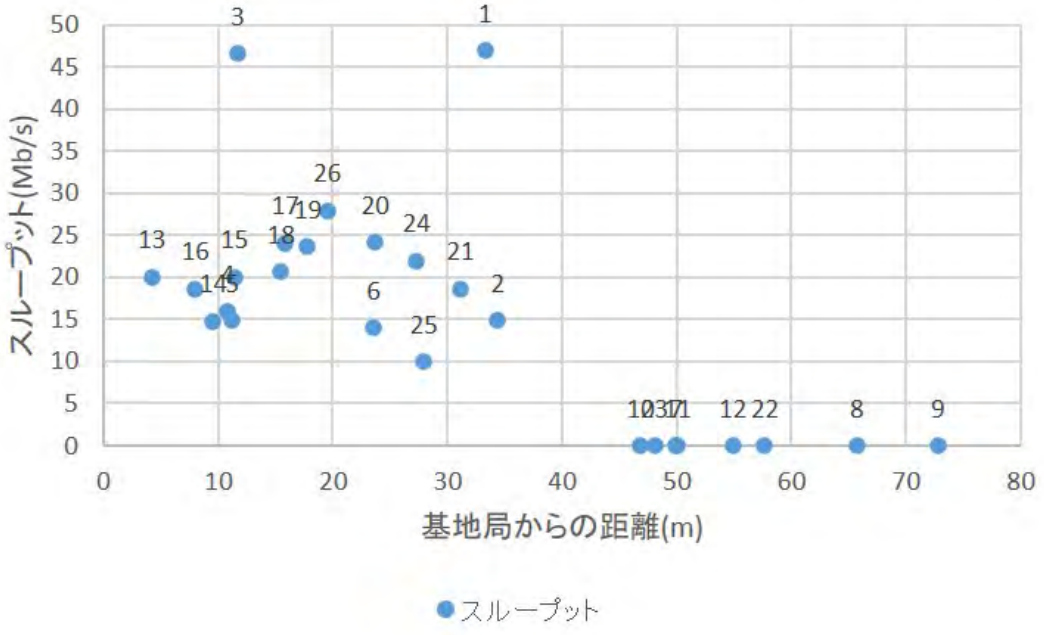
スポット番号	受信 RSRP 値 (dBm)	スループット (Mb/s)	遅延時間 (msec)
1	-94	46.92022948	41
2	-99	14.82323978	514
3	-96	46.56858114	62
4	-102	15.86209371	952
5	-97	14.82234215	1016
6	-97	14.02464049	1098
7	-	接続できず	接続できず
8	-	接続できず	接続できず
9	-	接続できず	接続できず
10	-	接続できず	接続できず
11	-	接続できず	接続できず
12	-	接続できず	接続できず
13	-92	20.06338307	1011
14	-92	14.77320693	1363
15	-99	20.06338307	1011
16	-92	18.63306024	843
17	-97	24.02256577	50
18	-95	20.65255571	976

19	-96	23.60781211	840
20	-98	24.1911148	814
21	-95	18.59683907	1113
22	-	接続できず	接続できず
23	-	接続できず	接続できず
24	-97	21.97483487	946
25	-99	9.947289165	2421
26	-97	27.94675109	682

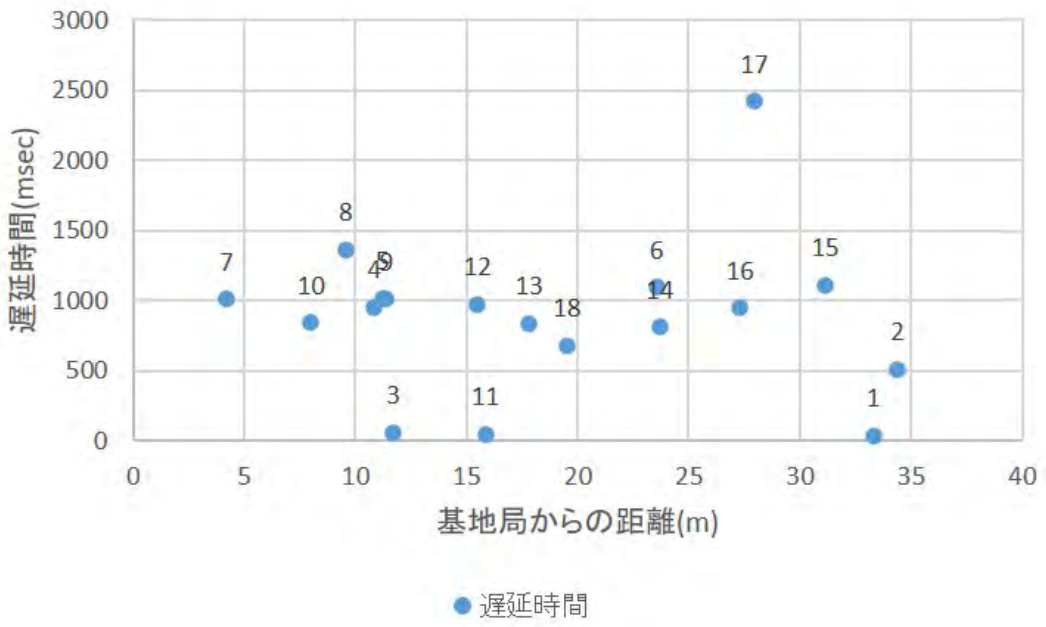
図 5.3.3-1 に、基地局からの距離に対する各特性を示しました。なお、図中のラベル番号は、各スポットの番号を示しました。



(a)受信電力特性



(b)スループット特性



(c) 遅延時間特性

図 5.3.3-1　基地局からの距離に対する特性

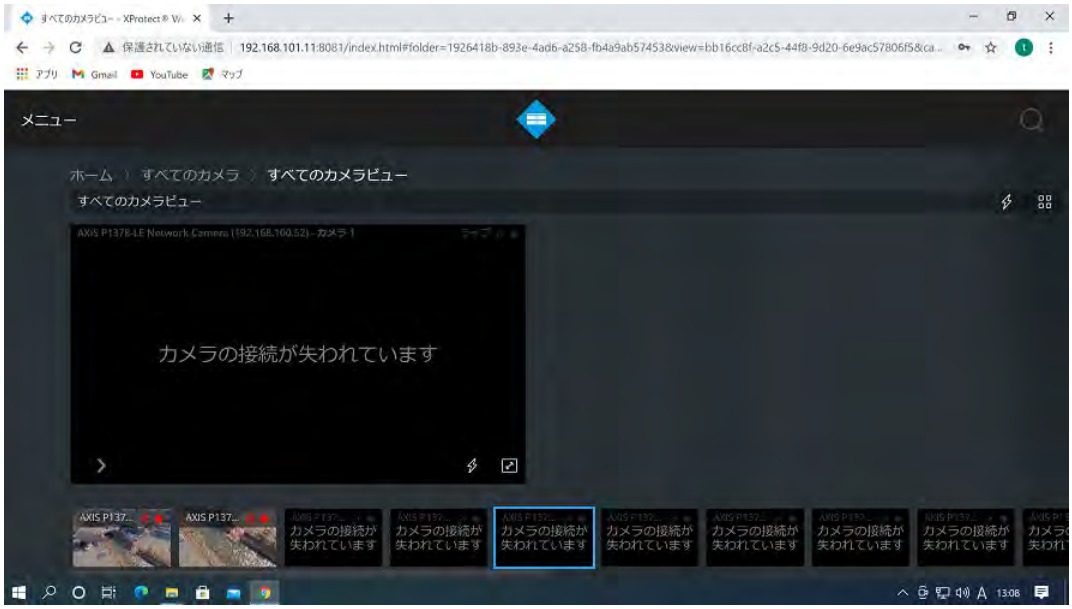
図 5.3.3-2 に、各スポットに関する画像のキャプチャー画面を示しました。

(a)第 1 スポット

(b)第 2 スポット

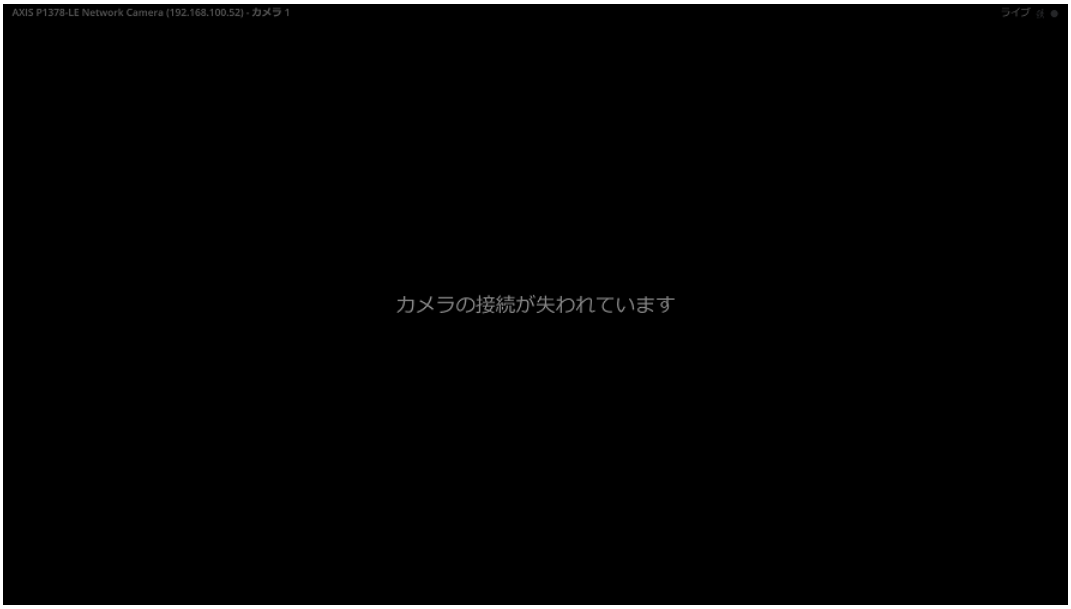
(c)第 3 スポット

(d)第 4 スポット

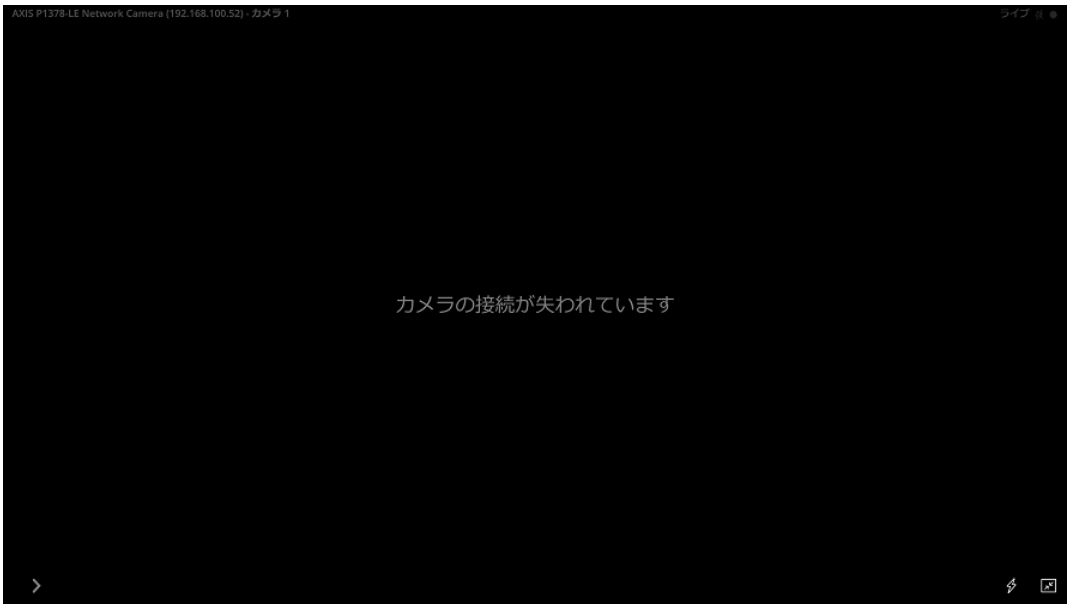


(e)第 5 スポット

(f)第 6 スポット

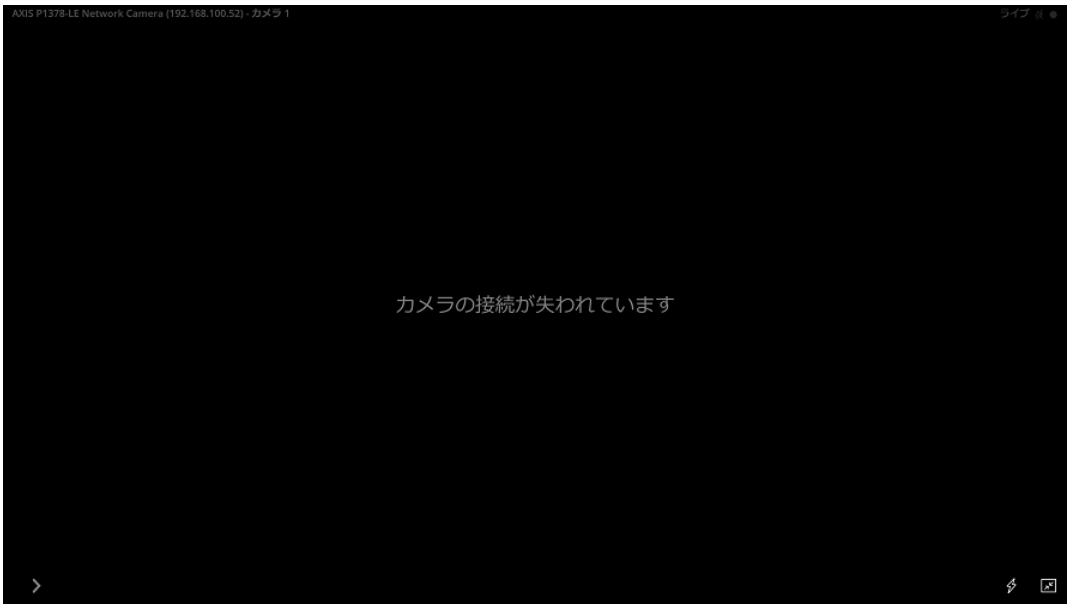


(g)第 7 スポット

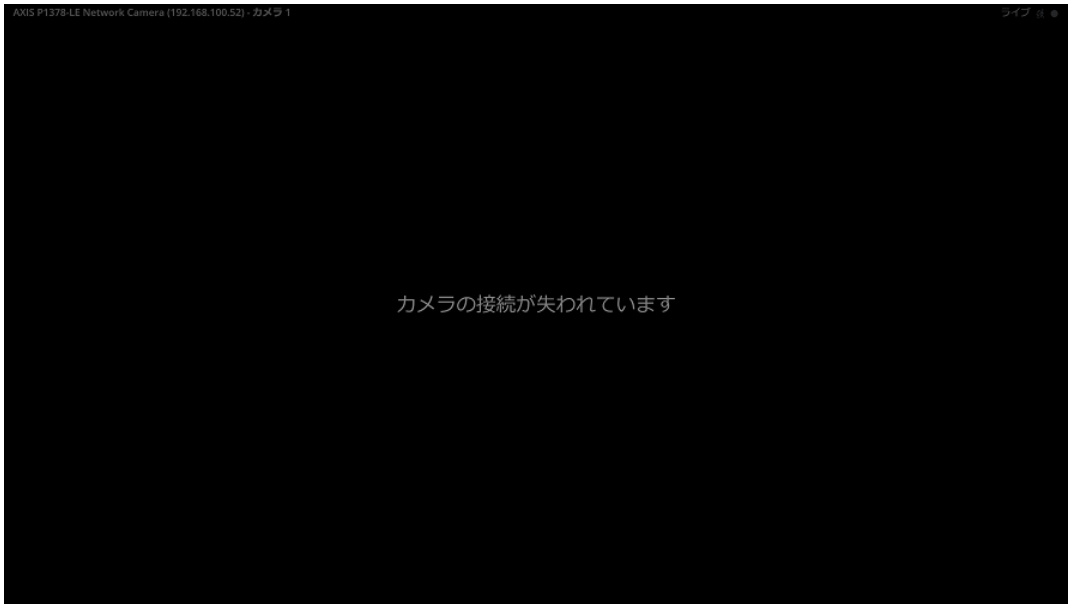


(h) 第 8 スポット

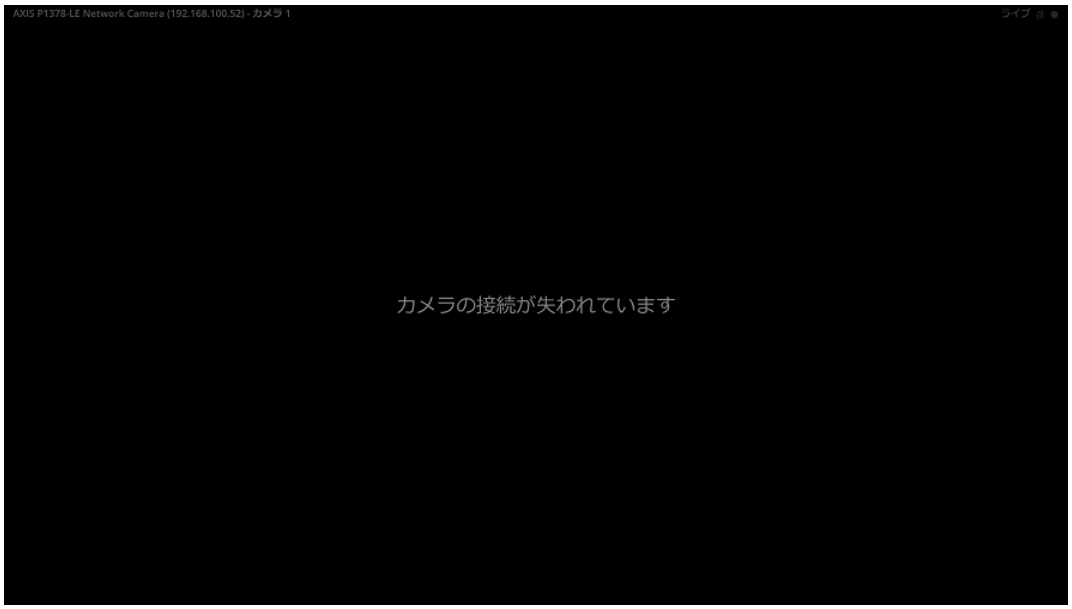
（i）第 9 スポット



（ｊ）第 10 スポット



（k）第 11 スポット



(l)第 12 スポット

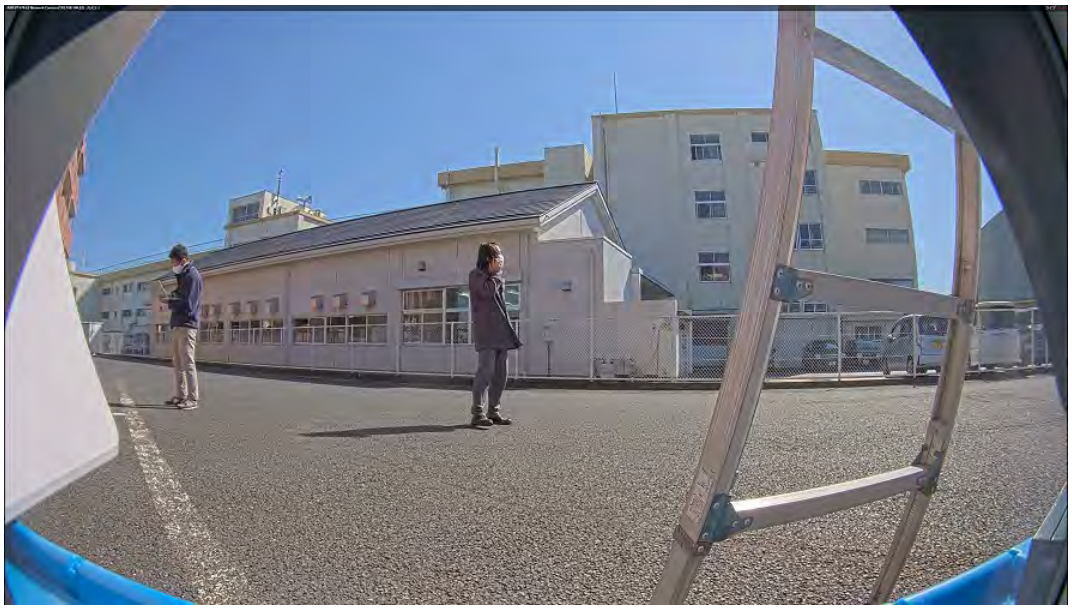
(m)第 13 スポット

(n)第 14 スポット

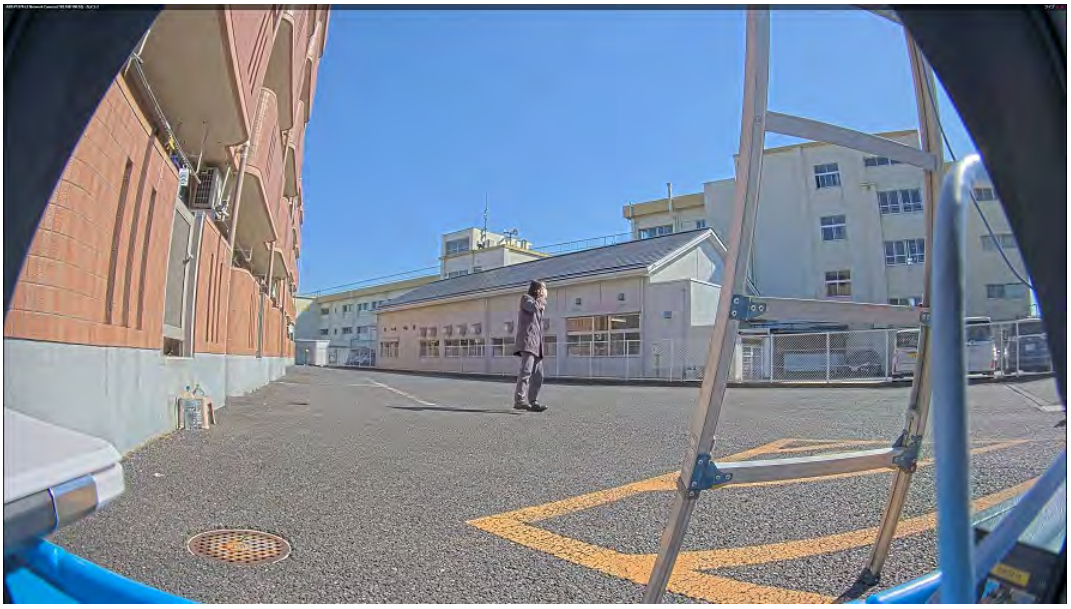
(o)第 15 スポット

(p) 第 16 スポット

(q) 第 17 スポット



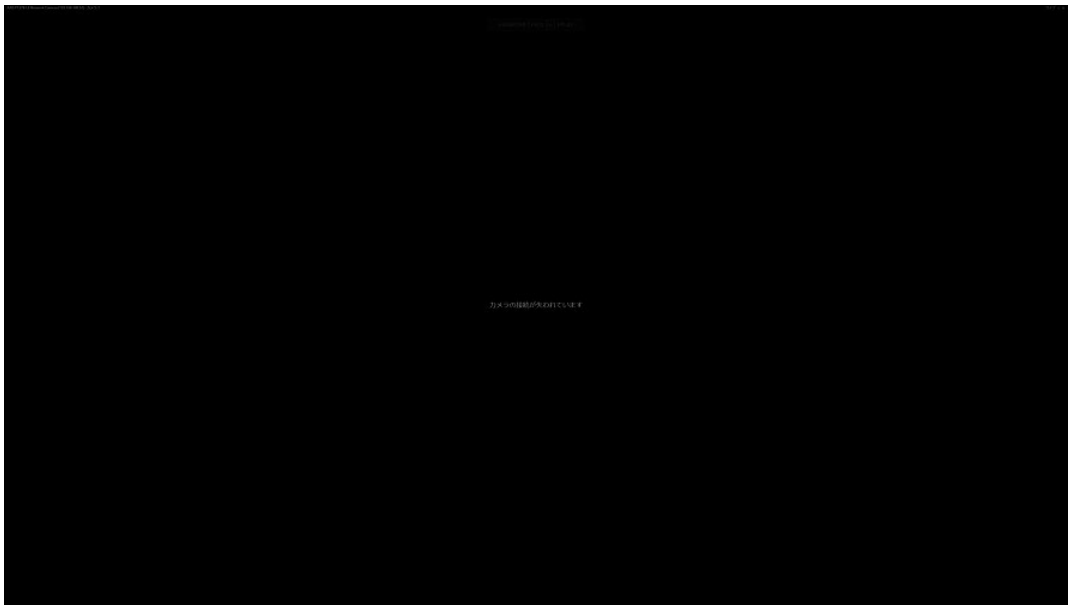
(r) 第 18 スポット



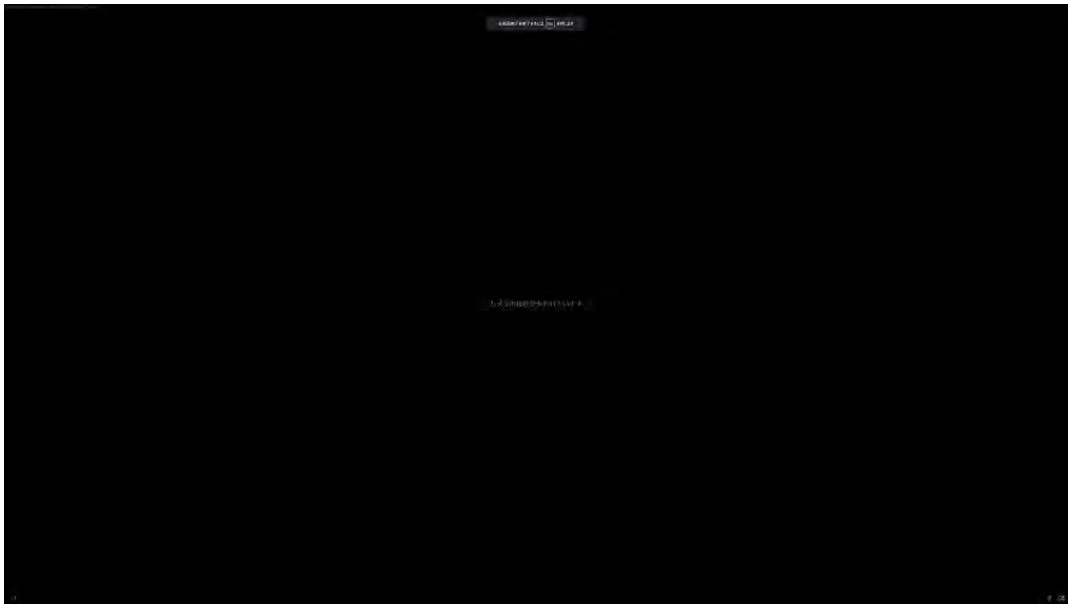
(s)第 19 スポット

(t)第 20 スポット

(u)第 21 スポット



(v)第 22 スポット



(w)第 23 スポット

(x)第 24 スポット

(y)第 25 スポット

(z)第 26 スポット

図 5.3.3-2　各スポットにおける画像キャプチャー画面

5.3.4　類似の調査結果

得られた成果について、表 5.2.2-1 に示した類似の調査結果を参照し、これらとの比較について表 5.3.4-1 のとおりまとめました。

表 5.3.4-1　類似の調査結果との比較

類似の調査結果	本技術実証との比較
● NTT 東日本は、4.8GHz～4.9GHz 帯の無線局免許を申請。東京都の NTT 中央研修センタ内にある「ローカル 5G オープンラボ」に無線局を設置し、パートナーと実証実験を行っていく。 ● NTT 西日本は、4.7GHz 帯の無線局免許を申請。28GHz 帯での先行取り組みで得たノウハウを活用し、現在建設中の新本社ビル（大阪府）で新たなサービスを開発していく。 ● NTT コミュニケーションズは 4.7GHz 帯の無線局免許を申請。東京都のグランパークタワーに無線局を設置。NTT コムのデータ利活用プラットフォーム「Smart Data Platform」との連携や IoT 向け無線ネットワークのスライシングなどを検証する。	オープンな屋内環境における実証で、防災業務等の明確なユースケースを定めず、むしろユースケースの創出を目的としている。
● GMO インターネットは、4.5GHz 帯の SA（スタンドアロン）方式の無線局免許を申請。グループ本社（東京都）のコミュニケーションスペース「シナジーカフェ GMO Yours」に SA 構成の無線局を設置する。同社は 12 月 4 日に日本初（同社調べ）となる SA 構成による 28GHz 帯のローカル 5G 無線局免許を取得しており、グループ第 2 本社（東京都）の「シナジーカフェ GMO Yours・フクラス」で、従業員がローカル 5G を利用できる実験環境を構築している。 ● 京セラも新周波数帯の無線局免許を申請した。無線局は京セラの滋賀野洲工場（滋賀県）に設置する。同社は SA 方式、4.7GHz 帯のローカル 5G システムを開発しており、自社工場での効果検証を通じて、今後のソリューション展開とスマートファクトリーの実現に向けて取り組んでいくとしている。 ● NEC は取得した免許を活用し、自社設備内に SA 構成のローカル 5G ネットワークを構築する。ローカル 5G 関連サービスのさらなる高度化への取り組みや、ローカル 5G を実際に体感できるデモの実施、顧客企業との共創活動を加速し、ローカル 5G の普及及びイノベーションを創出していくとしている。 ● NTT 東日本がローカル 5G・Sub6 の免許申請、東大との共同ラボで使用へ https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/7951/Default.aspx ➢　NTT 東日本は 2020 年 12 月 18 日、ローカル 5G の使用周波数帯の拡張	自社設備等の限定空間における屋内実証で、スマートファクトリー等の狭域エリアに特化したユースケースを定めているが、防災業務をユースケースとしたものではない。

（Sub6:4.6GHz～4.9GHz、ミリ波：28.3GHz～29.1GHz が新たに利用可能）等に係る制度改正に伴い、総務省に無線局免許を申請したと発表した。東京大学と産学共同で設立した「ローカル 5G オープンラボ」における Sub6（4.8GHz～4.9GHz）の周波数帯に対応したローカル 5G 無線環境構築に向けたもの。無線局場所は、東京都調布市入間町 1-44 の NTT 中央研修センタで、周波数は 4.8GHz～4.9GHz。ローカル 5G オープンラボでは、東京大学本郷キャンパスの大学院情報学環中尾研究室と NTT 中央研修センタにおいてローカル 5G・プライベート LTE（sXGP）の通信環境（コア、基地局、端末）を構築。オープンに参加企業を募り、さまざまな産業プレーヤーとのローカル 5G を活用したユースケースの共創に取り組む。	

5.3.5　考察と今後の課題

(1)考察

表 5.3.3-1 と、図 5.3.3-1 を比較した結果、基地局からの距離に加え、周囲の建造物による遮蔽や回折等の影響により、スループット、遅延特性が劣化したり、基地局への接続自体ができなくなったりすることが確認されました。表 5.3.5-1 に、特に想定するローカル 5G の動作性能の確保が難しいと考えられるスポットについて、環境条件による劣化要因を予測しまとめました。本実証では、SNIR の測定は行いませんでしたが、ポータブルスペアナを用いて、該当周波数帯における干渉波の存在の確認を随時行いました。結果、深刻な干渉波の存在は見られなかったことから、表 5.3.5-1 に示した要因が主たる劣化理由となったことが推測されました。

表 5.3.5-1　劣化要因のまとめ

スポット番号	性能劣化	要因
2	スループット劣化	周辺建物による遮蔽等
4	スループット劣化	周辺建物による遮蔽等
5	スループット劣化	周辺建物による遮蔽等
6	スループット劣化	周辺建物による遮蔽等
7	接続できず	距離による減衰
8	接続できず	距離による減衰
9	接続できず	距離による減衰
10	接続できず	距離による減衰

11	接続できず	距離による減衰
12	接続できず	距離による減衰
22	接続できず	距離による減衰と、周辺建物による遮蔽等
23	接続できず	距離による減衰と、周辺建物による遮蔽等
25	スループットと遅延の劣化	距離による減衰と、周辺建物による遮蔽等

(2)技術的課題の解決方策

以上のような状況に対する対策として、アンテナ高を高くすることによる伝搬状況の改善や、アンテナ指向性の最適化による受信状況の改善が挙げられました。さらに、今後の課題として、さらなるローカル 5G サービスの利便化、高度化が挙げられると考えられ、資する技術として、電波模擬技術の適用や、全二重無線アクセス方式の適用が考えられました。電波模擬技術と、全二重無線アクセス方式の適用により、それぞれ高精度かつリアルタイムの伝搬・通信状況に即した電波利用形態の導入が図られる点、周波数利用効率の飛躍的な向上が達成できる点として結論づけました。

(3)更なる技術的課題

また、5.1.1 節において述べたとおり、今回の実証時には送信電力が想定時よりも低い動作しか行えませんでした。そのための対応として行った計算機シミュレーション結果（図 5.2.2.2-1）より、予定していた送信電力を用いた場合には、上記表 5.3.4-1 において、距離による劣化を受けているスポット 7～12 については 5.2 節においてのべたプライベートマイクロセルに基づく所望のローカル 5G サービスが実現できるものと考えられました。加えて、図 5.2.2.2-1 の 160mW 送信時において始めてエリアとして含められる地点であって、今回スポットを設置していない地点についても同様にサービスエリアとして含められることが予想されました。

5.4 ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等

5.4.1 評価・検証項目

本検証では、評価項目として、上述のローカル５Ｇの性能評価における実証環境と同等のものを想定しました。すなわち、実証エリア内において、設置された伝搬データ取得スポット、及び実証スポットにおいて、それぞれアップリンクリソース割当制御を行った場合についても同様のデータ取得を行い、当該無線リソース割当制御の有効性を含めた包括的システム性能について、そのような有効性が得られるスポットについてローカル 5G 無線通信システムのサービスエリア構築の見地よりまとめ、評価を行いました。なお、評価については、前述の伝搬データ取得スポットの一部を参照し、行いました。

一方で、評価方法について、本検証の主眼である上述したアップリンクリソース割当制御を行う際の具体的な手法について決定する必要がありました。本提案においては、少なくとも以下に示す 3 種類の手法が存在すると考えられ、適切な手法の選定と遂行を考えました。

- 手法 A：UE に対して異なる優先度指標を割当てる手法
- 手法 B：準同期制御を適用する手法
- 手法 C：基地局における周波数キャリアを動的に制御する手法

表 5.4.1-1　リソース割当制御手法に関する比較検討

手法	メリット	デメリット
手法 A：UE に対して異なる優先度指標を割当てる手法	● 既存システムにおいて広く実装されている ● 動的割当ての基準として、UE の種別に依存する部分が大きく、動作例として理にかなっている	● 一定以下の短期間の状況変化に対応したリソース割当てが困難
手法 B：準同期制御を適用する手法	● 既存システムにおいて広く実装されている	● UL 間でリソース割当てに差をつける制御が困難 ● 上り下り比を、本手法の目的とは無関係に変化させてしまう
手法 C：基地局における周波数キャリアを動的に制御する手法	● 比較的短期間の状況変化に対応したリソース割当てが可能	● 既存システムにおいて実装例が少なく、 ●

表 5.4.1-1 に、上記 3 手法に関する比較検討結果をまとめました。本実証においては、それぞれの手法のメリットとデメリットを比較した結果、メリットが最も確認できて、デメリットも同様に少ないと考えられる手法 A を採用しました。

なお、当該 3 手法は、機器整備コストや、評価作業効率等が異なるものの、リソース割当ての実態（とその効果）等の技術基準等見直しについては差異があるものではないと考えられることから、上記コスト、効率を考慮の上で適切な（場合によっては複数の）手法の選定を行う方向で進め、最終的には最初の手法のみを適用しました。なお、リソース割当てを実現するための各手法は事業者やベンダ側でのインプリメンテーションマターと考え、技術基準には手法の差異については顕在化しないと考えられたことも、本実証の背景として存在していました。なお、手法についてはインプリメンテーションマターでありながらも、効果として一定の無線周波数利用効率が確認された場合には、本効果を踏まえた技術基準等の整備は有意義であることは明白と考えられました。本実証における UE の優先度指標は、複数 UE について、それぞれ固定で付加することを想定しました。

また、本リソース割当制御の有効性を示すために、疑似的な輻輳環境の適用を行いました。さらに、実在環境（栃木市）において、複数地点の伝搬データ取得スポットを定義し、それぞれにおいて得られた当該割当制御方式の有効性を比較することで、エリアに関する知見としました。図 5.4.2-1 に、アップリンクリソース割当制御の概要を示しました。

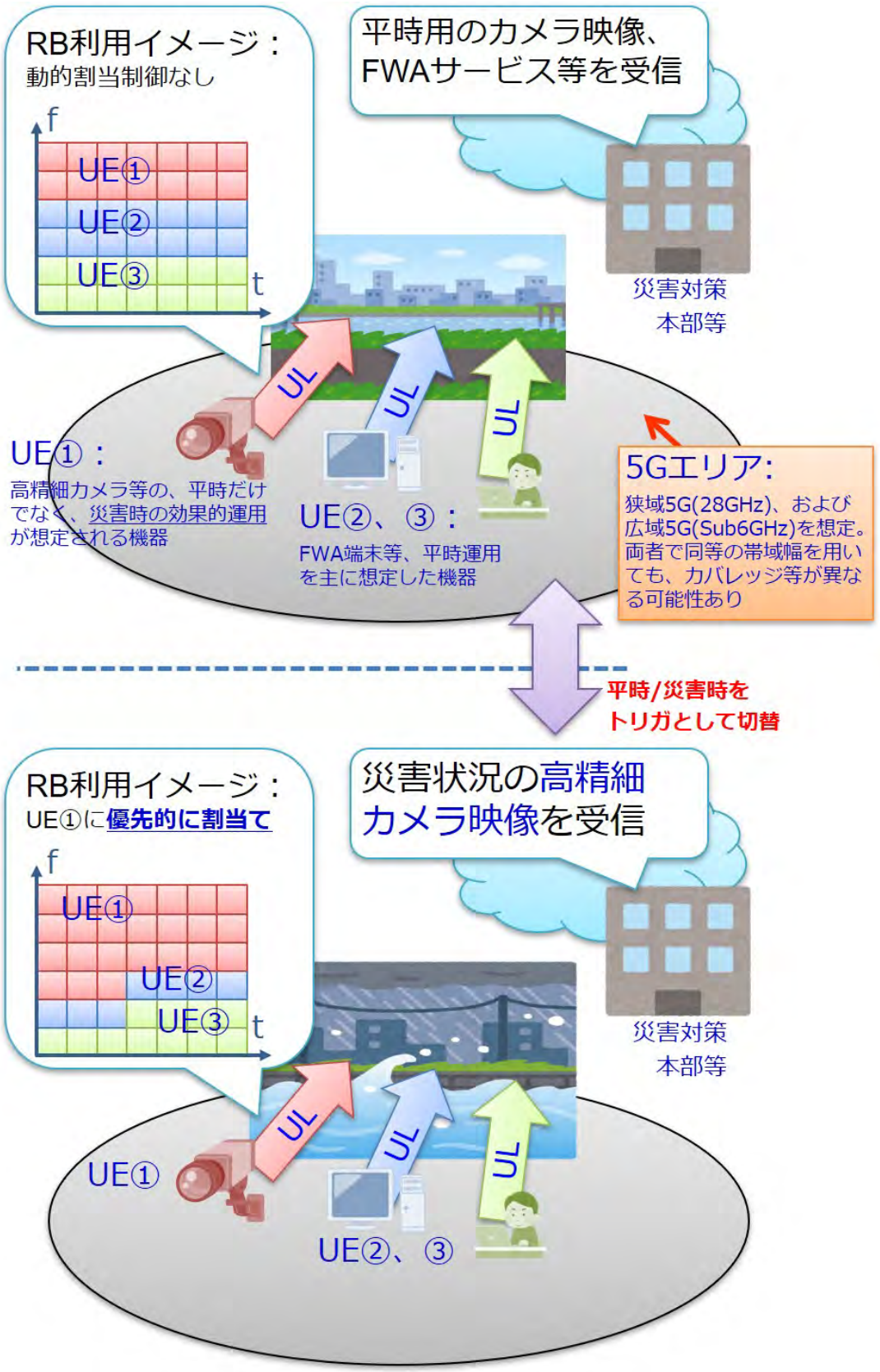


図 5.4.2-1　アップリンクリソース割当制御の概要

5.4.2 評価・検証方法

アップリンクリソース割当制御のために、少なくとも上述のとおり 3 手法を検討するが、本実証においては、実証期間や実証設備、実施コスト等の観点より、適切なひとつ、または複数の手法を選定した上で実施しました。実証時には、第一の手法による現実的な動作が可能であることが確認されたため、本手法を用いて行いました。

測定においては、前述したエリア内の各スポットにおいて、単一の UE だけを動作させた場合、当該 UE に加えて別の UE が同時に動作し、当該エリア内リソースの逼迫状態をもたらした場合、さらには当該逼迫状態において、被評価 UE に対してのみ優先的にリソースを割当てる制御を行った場合について、それぞれ特性データを取得しました。

5.4.3 検証結果

アップリンクリソース割当制御について、データ取得または、検討を行い、得られた結果について数値的なデータを含め取りまとめました。

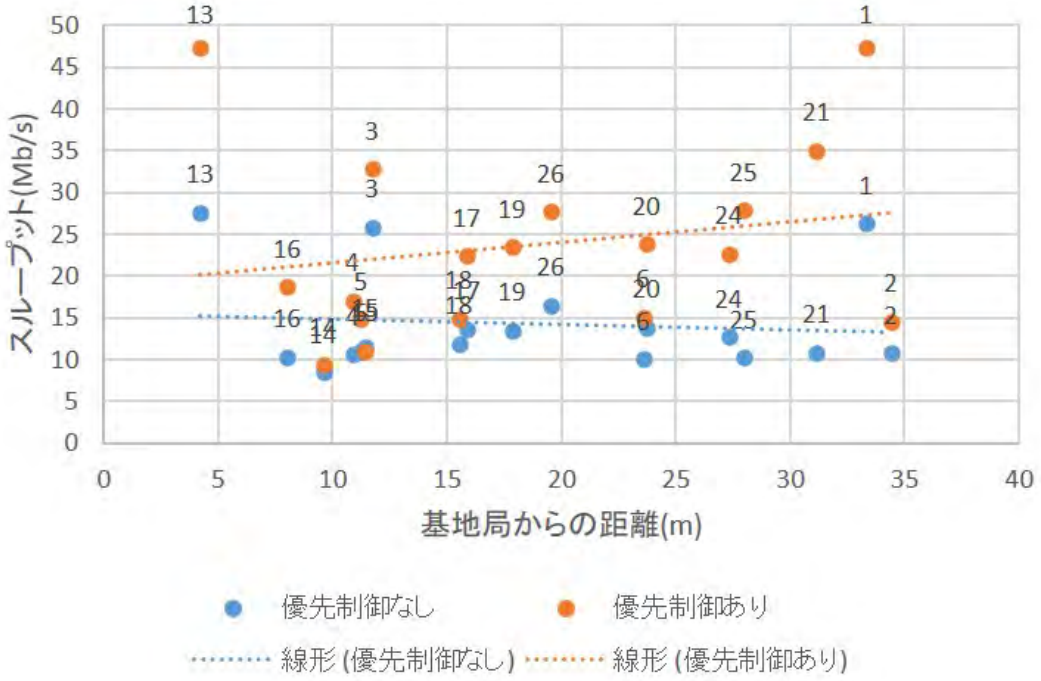
表 5.4.3-1 に、本実証により得られたスループットならびに遅延時間の結果を示しました。

表 5.4.3-1　アップリンクリソース割当制御に関する実証結果

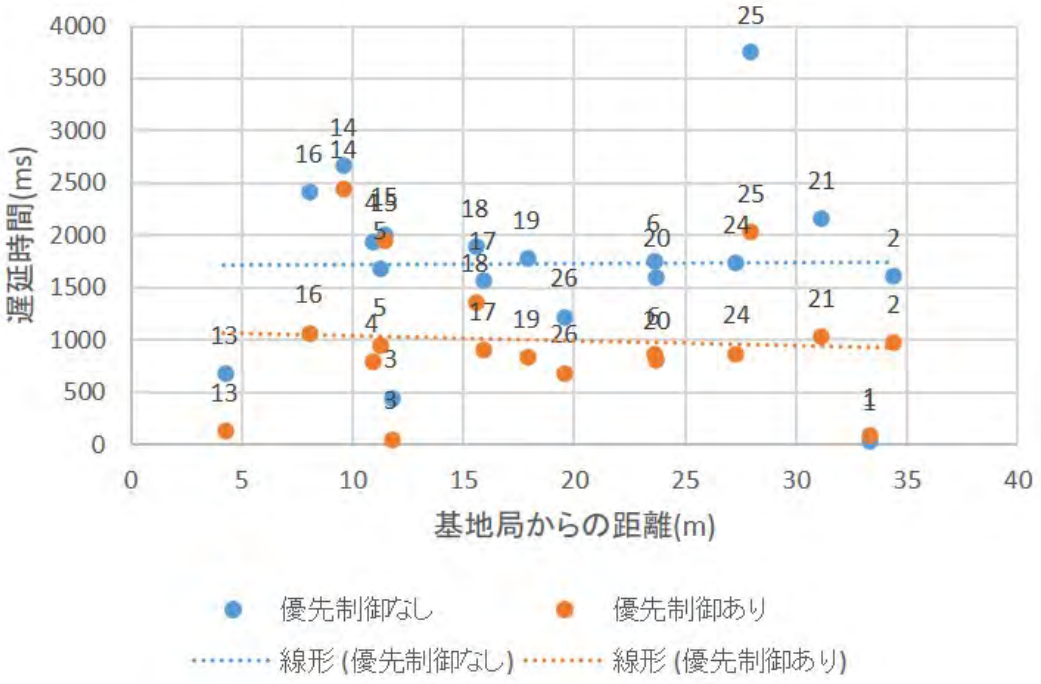
スポット番号	RSRP 値 (dBm)	リソース制御前スループット (Mb/s)	リソース制御後スループット (Mb/s)	リソース制御前遅延時間 (msec)	リソース制御後遅延時間 (msec)
1	-94	26.36755521	47.3589315	49	98
2	-99	10.90050657	14.68151383	1619	981
3	-96	25.94794703	32.87206729	457	58
4	-102	10.71402397	17.09717157	1949	802
5	-97	11.09612706	14.89967724	1691	959
6	-97	10.20567282	15.17671023	1764	868
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-

12	–	–	–	–	–
13	-92	27.7337561	47.43893115	685	139
14	-92	8.568316885	9.424733842	2676	2459
15	-99	11.67457896	11.12848016	2015	1958
16	-92	10.40161663	18.76125014	2426	1077
17	-97	13.80126214	22.48402065	1582	914
18	-95	11.98307345	15.04995081	1905	1372
19	-96	13.57868587	23.60737074	1785	840
20	-98	13.91344165	23.94489742	1615	824
21	-95	10.97267513	35.13552978	2170	1041
22	–	–	–	–	–
23	–	–	–	–	–
24	-97	12.82017791	22.76048167	1743	877
25	-99	10.3439871	27.94675109	3764	2046
26	-97	16.63466521	27.79747699	1233	692

図 5.4.3-1 に、スループット特性と、遅延特性に関する、リソース制御ありの場合となしの場合の比較を示しました。なお、図中のラベルは、各スポットの番号を示しました。



(a) スループット特性



(b) 遅延時間特性

図 5.4.3-1　基地局からの距離に対する特性

以上の結果より、優先制御を行わない従来運用形態に比べ、提案するULリソース制御を実施した場合に、スループット、遅延時間ともに改善がみられ、数値としては、それぞれ30Mb/s程度、1秒程度の特性を達成することができました。本結果は、従来の周波数割当てよりも狭い帯域幅や、制限が緩和された離隔条件等により、従来と同等の無線サービスを実現可能であることを示すことから、技術基準等の整備に資するデータとなりうると考えられました。

表 5.4.3-2 に、本実証に伴う 4K カメラ画像の検証結果を示します。なお、5.2.2-3 節等に記載のとおり、実証スポットにおけるカメラ画像の評価としては、請負者の見た目による画質によって行い、4K コーデックのスループット等の記録は行いませんでした。当該評価指標等を採用した定量的な評価については今後の検討課題として考えられました。

表 5.4.3-2　カメラ画像の検証

スポット番号	RSRP 値 (dBm)	状態	カメラ画像 (請負者による目視)	備考
1	-94	RB 逼迫なし	カクカク	4:3 も 16:9 両方映る
		RB 逼迫あり	カクカク	4:3 も 16:9 両方映る
		RB 逼迫&リソース制御あり	カクカク	4:3 も 16:9 両方映る
2	-99	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫&リソース制御あり	カメラ接続が失われています	4:3 のみ一瞬映る
3	-96	RB 逼迫なし	5 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
		RB 逼迫あり	5 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
		RB 逼迫&リソース制御あり	5 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
4	-102	RB 逼迫なし	10 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
		RB 逼迫あり	10 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
		RB 逼迫&リソース制御あり	10 秒に一回更新　4:3 のみ映る	
5	-97	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫&リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
6	-97	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫&リソース制御あり	カメラ接続が失われています	4:3 のみ一瞬映る

7	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
8	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
9	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
10	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
11	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
12	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
13	-92	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
14	-92	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
15	-99	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動

				画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
16	-92	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 4 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
17	-97	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
18	-95	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
19	-96	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
20	-98	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
21	-95	RB 逼迫なし	16:9 は 3 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 3 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫&	16:9 は 3 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動

		リソース制御あり		画
22	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
23	-	RB 逼迫なし	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫あり	カメラ接続が失われています	
		RB 逼迫& リソース制御あり	カメラ接続が失われています	
24	-97	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新	4:3 はほぼ動画
25	-99	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay5 秒	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay10 秒	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay5 秒	4:3 はほぼ動画
26	-97	RB 逼迫なし	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay5 秒	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay3 秒	4:3 はほぼ動画
		RB 逼迫& リソース制御あり	16:9 は 2 秒に 1 回更新 delay5 秒	4:3 はほぼ動画

また、測定結果の妥当性の確認方法については、伝搬損失については電波伝搬の理論式、スループットと遅延特性については既存のローカル 5G（相当）実測値、公称値のいずれかまたは双方を参照し、確認しました。

表 5.4.3-1 の結果より、アップリンクリソース割当制御が、前述した本技術実証における技術課題の解法となりうることがわかりました。なお、災害時等の状況に応じて適切にリソース割当てを行うトリガ機構の実装が今後の課題として考えられました。

5.4.4　考察と今後の課題

(1)考察

本検証により、従来の運用形態に比べスループット特性および遅延特性の改善がみられることから、今後システムあるいはサービスに対する周波数帯域幅の削減や、離隔距離等条件の緩和につながる可能性が予測されることから、技術基準等の整備に資する知見と考えられました。

(2)技術的課題の解決方策

本実証において取り上げた市街地と河川周辺のエリアは、今回のローカル 5G ユースケースの見地から典型的な運用性能として、ユーザとして多数端末の接続動作が予期されるため、無線リソースの繰り返し利用等を実現するリソース割当性能、センサ情報等を通じ状況の変化に対応した災害監視カメラ映像伝送性能がそれぞれ想定されることから、本節における周波数利用効率の向上性能が効果的に作用すると予想されました。無線周波数利用に関して、上記サービスエリアに起因する伝搬環境の影響が非常に重要だと考えられました。市街地においては、木造、コンクリート、金属等の家屋素材に基づく無線電波の遮蔽、反射、回折等の影響が予想され、対して河川周辺においては家屋やその他の建造物による遮蔽は無く、条件によっては開放地に近い電波伝搬特性が予測される一方で、土手等の自然地形による電波伝搬遮蔽等が予想されてきました。これを解決するために、受信感度を上げる目的で端末側アンテナ高を本実証で用いた 2m 以上として設置すること、アンテナ指向性も端末が固定であることを考慮して十分なレベルに事前に設定すること、さらに電波電波の反射等の影響を軽減するために複数アンテナを適用したダイバーシチ技術を用いる等の解決方策が有望だと考えられました。

(3)更なる技術的課題

以上のことから、本検証を通じて、市街地、河川周辺に対する上記運用性能を前提として、これらの性能の適切な評価のための実証試験や、それらの結果をも踏まえた詳細仕様の策定が今後の課題と考えられました。また、以上の検討により当該リソース割当ての詳細仕様が策定されても、実際のリソース割当を実行するトリガや、トリガ発動の基準となる判断基準等も将来的には策定が望ましいと考えられました。

5.5 その他ローカル５Ｇに関する技術実証

5.5.1 評価・検証項目

（1）低速適応変調方式の適用に関する検討

評価方法、及び評価項目として、セルラシステムの周波数利用効率向上に有効な低速適応変調方式の適用に関する検討においては、上述したローカル５Ｇの性能評価におけるマイクロセル構造を想定しました。

図 5.5.1-1 に、マイクロセル構造に対する低速適応変調方式適用時の動作概要を示しました。基地局からの距離に応じて、無線通信サービスの特性が変化すると同時に、複数基地局を配置する際に考慮すべきセル繰返し距離にも影響が生じるため、この観点により市街地等に予想されるある程度の端末接続数が見込まれるエリアにおける周波数資源の有効利用が図られると考えました。

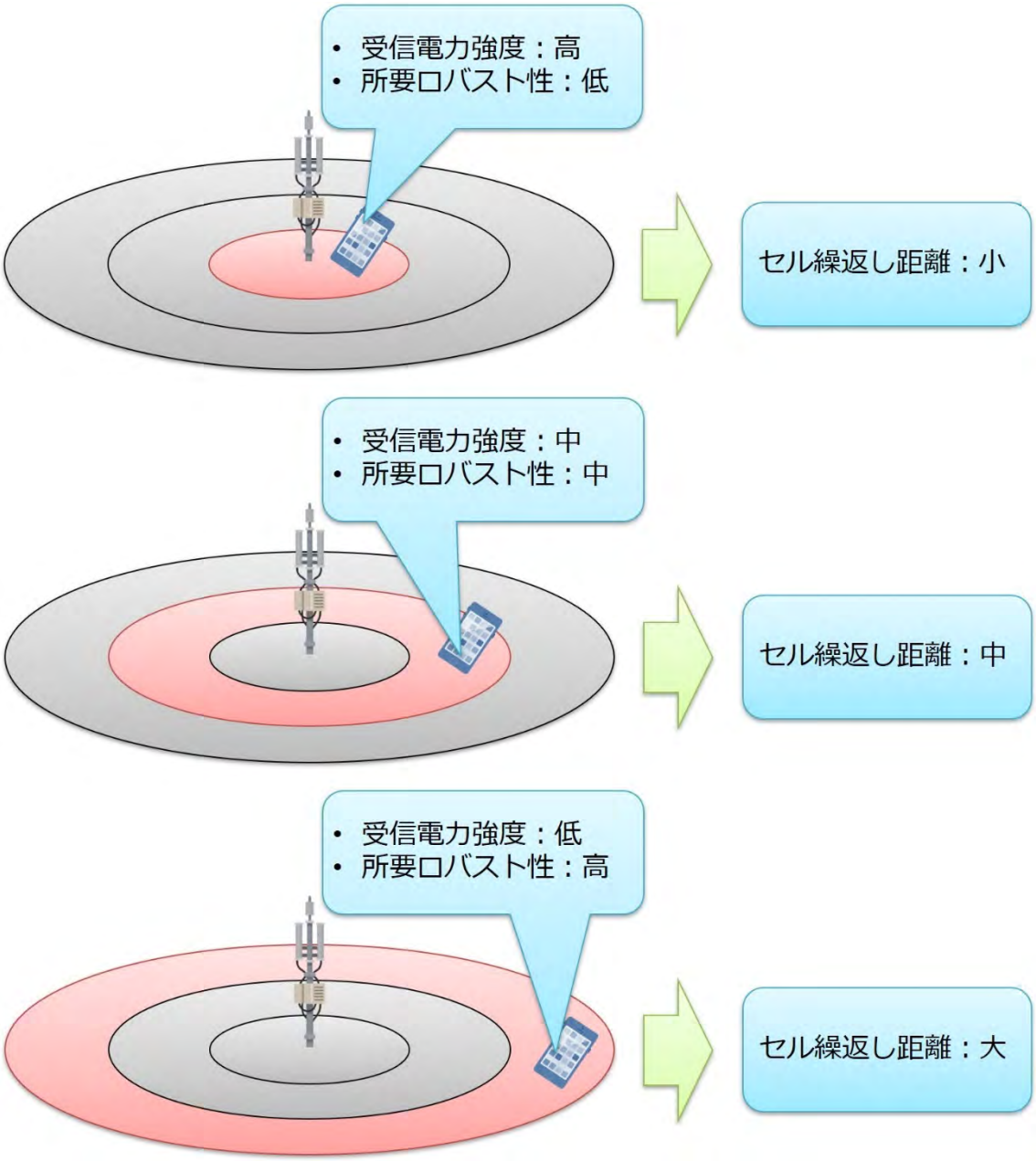


図 5.5.1-1　マイクロセル構造に対する低速適応変調方式適用時の動作概要

（２）省電力広域無線との連携に関する検討

LPWA との連携に関する検討においても、上述のローカル５Ｇの性能評価において用いたシステムの一部として動作することを想定しました。本実証においては、多数の無線機の連携動作によるサービス提供することが多い、無線機自体がセンサ等のモノへの搭載される、等の特徴的な運用が為されることがある LPWA システムと、インターネット等の基幹通信網との接続回線としてローカル 5G を用いると同時に、河川付近のエリアにおける防災業務ローカル 5G に対してセンサ情報等の付加的な情報を提供できる形態として、LPWA システムとの連携動作について検証しました。

本技術実証では、LPWA システムとして、IEEE 802.15.4 標準規格として標準化されたスマートユーティリティネットワーク（SUN；Smart Utility Network）を適用し、本システムが構築する網構造であるパーソナルエリアネットワーク（PAN；Personal Area Network）の基本トポロジを用いて測定を行いました。IEEE 基本トポロジを図 5.5.2-2 に示しました。SUN のトポロジを構成する無線機は大きく 2 種類に分類され，それぞれ全機能デバイス（FFD；Full Function Device)、機能制限デバイス（RFD；Reduced Function Device）と呼称されていました。前者は PAN を立ち上げ、PAN の識別子（ID；Identifier）を定めることができるほか（この場合、PAN コーディネータと呼ばれます)、新規に PAN に加入する無線機を承認することができました。後者はこのような機能を持たない無線機として動作しました。当該 SUN 標準規格では、図 5.5.2-2 のように 2 種類のトポロジが定義されていました。両トポロジ間の最大の差異は、PAN 内において、無線機間の無線リンクに対してマスタースレーブの関係を定義するかどうかでした。図 5.5.2-2(a)に示される Star トポロジは、マスタースレーブの関係を定義する形態として挙げられました。このため、トポロジは閉路を含まず、必然的にツリー形状となりました。マスタとなる無線機は、FFD に限定されます。本トポロジにおいては、マスタである無線機が、スレーブの無線機に対して通信タイミングを定義する等の動作が可能となり、省電力動作等のサービス要件に適した動作を行うことができました。一方で、図 5.5.1-2 (b)に示される Peer-to-peer トポロジは、マスタースレーブの関係を定義しない形態でした。このため図のとおり、形状はツリー状に限定されずメッシュ状となることが可能で、より多様な構造を実現することができました。

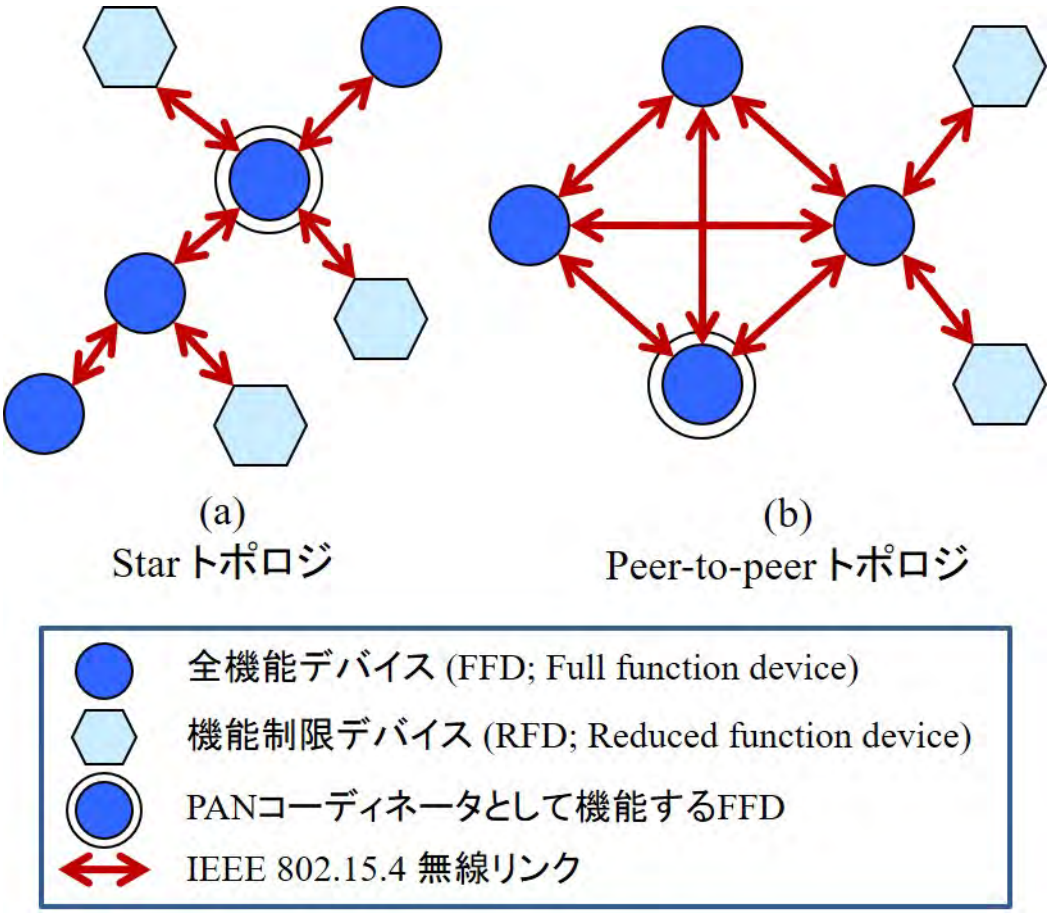


図 5.5.1-2　SUN 測定のための IEEE 802.15.4 基本トポロジ
【出展：児島、“近距離無線システム SUN における通信量制御に関する一考察、”月刊 EMC、No.342, 2018 年】

図 5.5.1-3 に、本形態において有効性が見込まれる省電力 MAC 方式の動作例を示しました。本 MAC は、NICT によって提案され、IEEE 802.15.4e において定義される省電力スーパフレーム構造を適用しています。スーパフレームとは、時分割多元接続（TDMA; Time Division Multiple Access）制御の基本となる時間周期であり、周期的なビーコン信号によって規定されました。基本的な時間単位となるビーコン間隔（BI; Beacon Interval）は、アクティブ期間（AP; Active Period）とスリープ期間（SP; Sleep Period）に分割され、アクティブ期間は実質的な通信期間として運用される一方で、スリープ期間では各デバイスはスリープ状態に入ることができました。省電力動作のために、ビーコン信号は毎スーパフレームに送信されるのではなく、原則的に同期が必要な場合にのみ送信されていました。また、図のようにアクティブ期間は、データフレームより短くなる場合があり、データフレームの終了はアクティブ期間内に制限されず、次のスーパフレームの開始時点以前であればよいとされていました。結果として、データフレーム長に関わらずアクティブ期間を短縮化することが可能となりました。すなわち、各無線機によるデータフレームの送受信の開始、および待機のための受信状態はアクティブ期間においてのみ行われ、スリープ期間ではアクティブ期間から継続するデータフレーム送受信に関わる無線機以外はスリープ状態に入ることができるため、消費電力の低減が図られていました。本動作は、図 5.5.1-3 (b)に示されるように、複数のデータフレームを結合させる機能を適用することも可能であり、その

場合には、結合によりデータフレームの長さが増大することにより、送信データフレームがスリープ期間中に占める時間割合が高くなることから、さらに省電力効果が上がると考えられました。

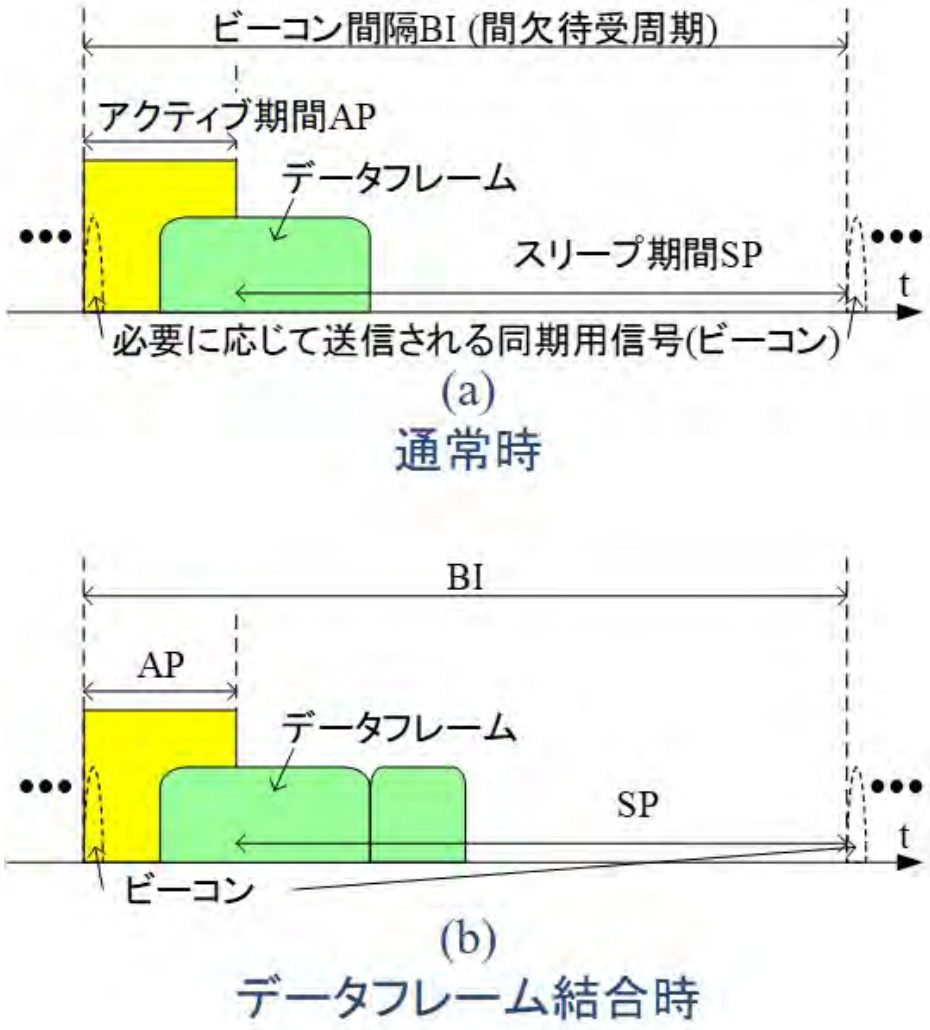


図 5.5.1-3　省電力 MAC 方式の動作例
【出展：児島、“近距離無線システム SUN における通信量制御に関する一考察、”月刊 EMC、No.342, 2018 年】

図 5.5.1-4 に、PAN トポロジにおいて、省電力 MAC 方式を用いてマルチホップ通信を実現する動作例を示しました。IEEE 802.15.4 規格によって規定される PAN は、最初に起動され PAN 設立を宣言する PAN コーディネータと、それ以降に起動され、PAN に対して加入手続きであるアソシエーションを行う無線機によって構成されました。アソシエーションを行う無線機と、アソシエーションを受理する無線機の関係に注目すると、PAN コーディネータを根とするツリー構造の PAN トポロジを見出すことができることから、本実証においては、本ツリー構造を利用し、PAN コーディネータを収集局（CS; Collection Station）として、他の無線機からのデータを収集するマルチホップ通信形態を適用しました。図 5.5.1-4 では、D3 あるいは D4 の無線機が D1 へとデータフレームを送信する場合には、D1 の規定するスーパフレームに従い、それに対して D1 が CS に送信する場合には、CS のスーパフレームに従

って送信していることが確認できました。

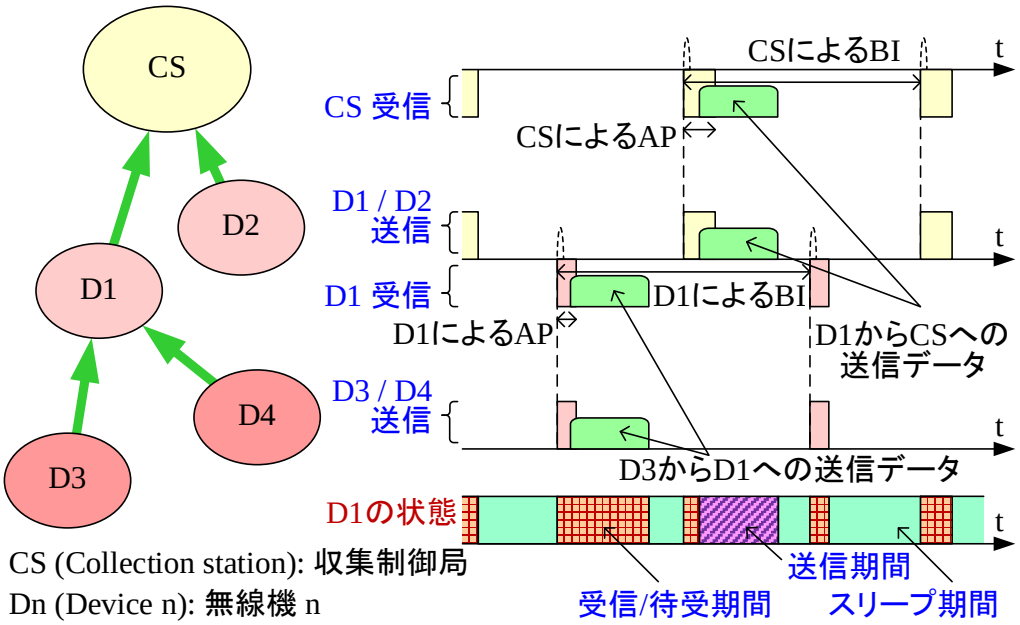


図 5.5.1-4　省電力マルチホップ通信の動作例
【出展：児島、“近距離無線システム SUN における通信量制御に関する一考察、”月刊 EMC、No. 342, 2018 年】

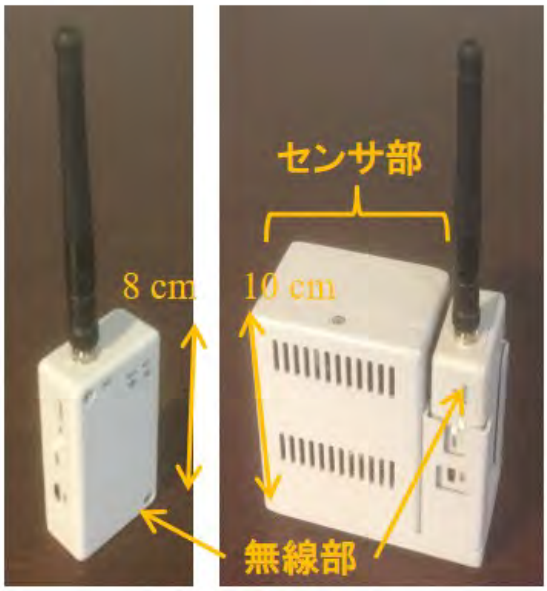
NICT が開発した省電力 SUN 無線モジュールを図 5.5.1-5 に示します。さらに本モジュールの諸元を表 5.5.1-1 に示しました。本モジュールは、多様な利用形態を想定した上での前方誤り訂正（FEC; Forward Error Correction）等、付加的機能まで含めた上で、物理層・MAC 層集積回路、および制御用組込型マイクロプロセッサ（MCU; Micro Controller Unit）の 4cm×2cm の基盤上での極小構成に成功しているものでした。当該無線モジュールは、スマートメータへの収容のみならず、風雨の影響を考慮した屋外設置型モニタリングポストへの設置や、USB 端子を具備したプラグイン型の小型無線機等、センサ等接続機器と同様に、極めて多様な利用環境に展開されることが予想されました。また、図 5.5.1-6 に本モジュールを組込み、環境適応型の省電力動作を実装する目的で開発された省電力 SUN 無線機の例を示しました。図 5.5.1-6 (a)は、工場における製造機器にも採用される PLC (Programmable Logic Controller) 等の汎用的なインタフェースも実装した無線機として示しました。対して図 5.5.1-6 (b)は、着脱式の環境センサ（PM2.5、CO、CO_2、気圧、温度、湿度に対応）を具備した省電力無線機であり、各データの定期的な収集を可能とするだけでなく、BLE（Bluetooth Low Energy）インタフェースにより、タブレット等の周辺機器とのデータ共有も可能としている無線機として示しました。

図 5.5.1-5　省電力 SUN 無線モジュール

表 5.5.1-1　省電力 SUN 無線モジュールの諸元

パラメータ	設定値
送信出力	20 dBm
周波数	920.6 - 928.0 MHz
変調方式	GFSK
データレート	50, 100, 200 kb/s
最大データ長	2047 オクテット

(a)
農業機器インタフェース
実装無線機



(b)
環境センサ
無線機

図 5.5.1-6　省電力 SUN 無線機

図 5.5.1-7 に、LPWA 無線機の配置を示しました。図中のピン表示のうち、黄色ピンが収集局となる無線機で、赤色と青色のピンがそれぞれ図 5.5.1-6(b)の環境センサを具備した無線機で、青色ピンの無線機は直接通信により、赤色ピンの無線機は青色ピン無線機の中継

を介するマルチホップ通信によりそれぞれセンサデータを収集局に収集しました。収集局は、本実証におけるローカル 5G 端末に接続していて、ローカル 5G により収集センサデータを基地局にアップロードし、そこからさらに栃木市役所にも届ける動作を検証しました。

図 5.5.1-7　LPWA 無線機の配置

図 5.5.1-8 に、各無線機の設置状況を示します。

(a) 黄色ピン無線機（収集局）

(b) 青色ピン無線機

(c)赤色ピン無線機

図 5.5.1-8　LPWA 無線機の設置状態

表 5.5.5-2 に、各無線機の情報を示しました。

表 5.5.1-2　無線機配置の諸元

無線機	収集局からの距離（m）	緯度	経度
黄色ピン（収集局）		N36° 22’28.850	E139° 42’43.940
青色ピン	58m	N36° 22’30.789	E139° 42’44.123
赤色ピン	102m	N36° 22’32.157	E139° 42’44.551

適用した LPWA システムにおいて、マルチホップ通信のほかに特徴的な動作として、多

数の転送データを結合し、データ数を減少させながら収集することにより、多数のデータ同士の衝突や閉塞を避けるデータ連結動作について検証しました。図 5.5.1-9 は、収集局（CS;Collection Station）に対して、直接、間接的に接続された複数の無線機からそれぞれデータが収集されて、中継時にデータが結合されることにより、データの数自体が削減されていく様子を示しました。

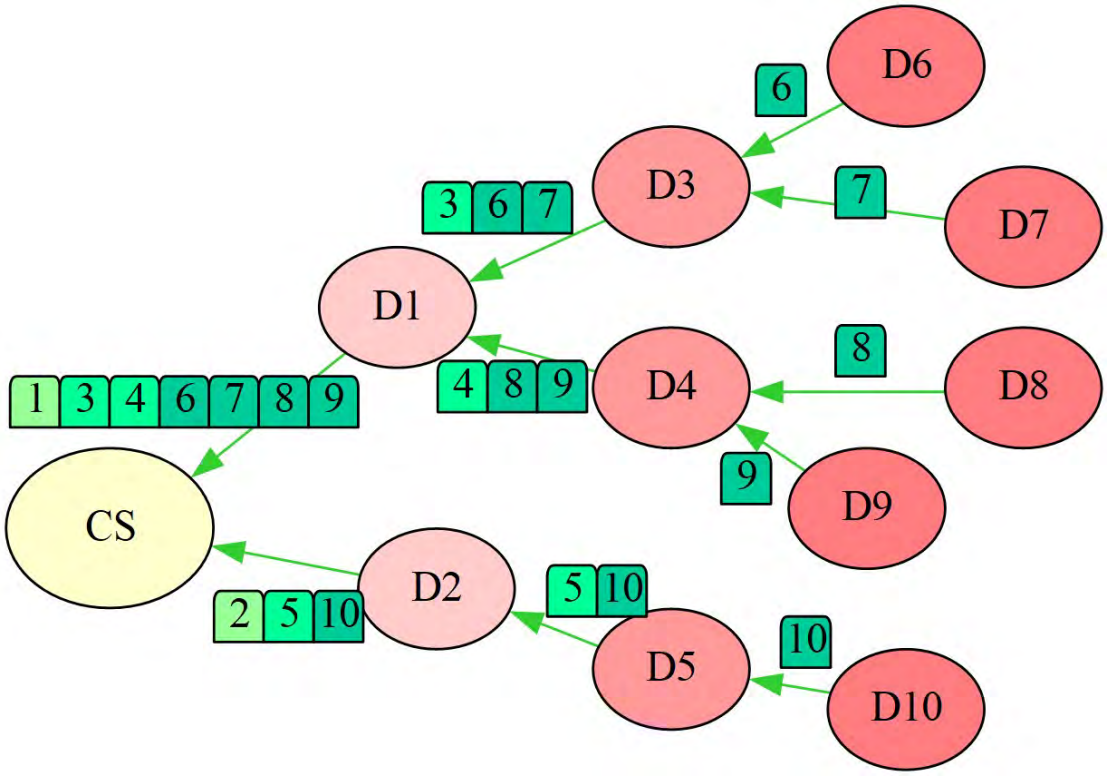


図 5.5.1-9　LPWA システムにおけるデータ結合動作の例
【出展：児島、“近距離無線システム SUN における通信量制御に関する一考察、”月刊 EMC、No.342, 2018 年】

5.5.2　評価・検証方法

低速適応変調方式を適用した場合、LPWA との連携を行った場合について、データ取得または、検討を行いました。

（1）低速適応変調方式の適用に関する検討

上述した実証結果にもとづき、ローカル 5G におけるセル半径の設定について仮定を行い、それに基づく周波数資源の利用形態について計算機シミュレーション等も活用した検証と評価を行いました。低速適応変調方式は、複数のサービスエリアの地理的な共存に関する技術ですが、本技術実証では単一基地局による実証しか行わなかったため、当該実証の結果（特に基地局からの距離に対する基本特性）を踏まえて計算機シミュレーションにて行い、上記複数サービスエリアの運用形態について検証を行いました。

（2）省電力広域無線との連携に関する検討

前節における無線機の配置において、2 つの無線機からの定期的に発生するセンサデータ収集実証を行いました。また、データ結合を行った場合の転送データ数について、データ結合を行わない場合との比較を行いました。

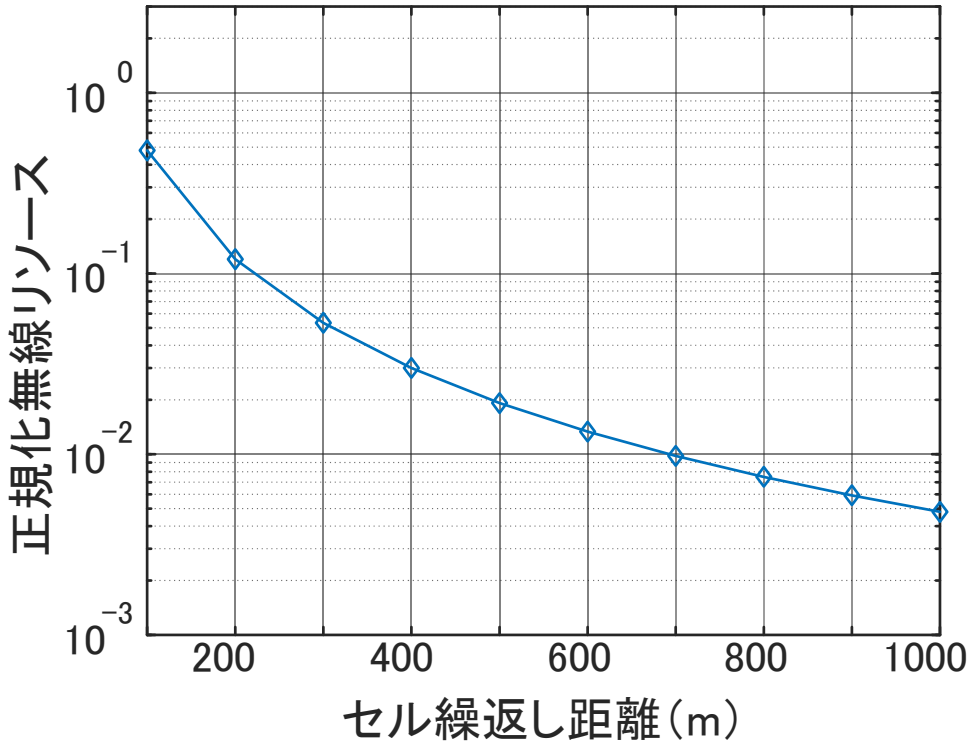
その結果、本提案にて想定する 4.7GHz 帯ローカル 5G 無線通信システムに対する付加的と考えられる制御技術を適用した動作形態において、将来の実用化、社会展開に資する運用データとして取りまとめました。

5.5.3　検証結果

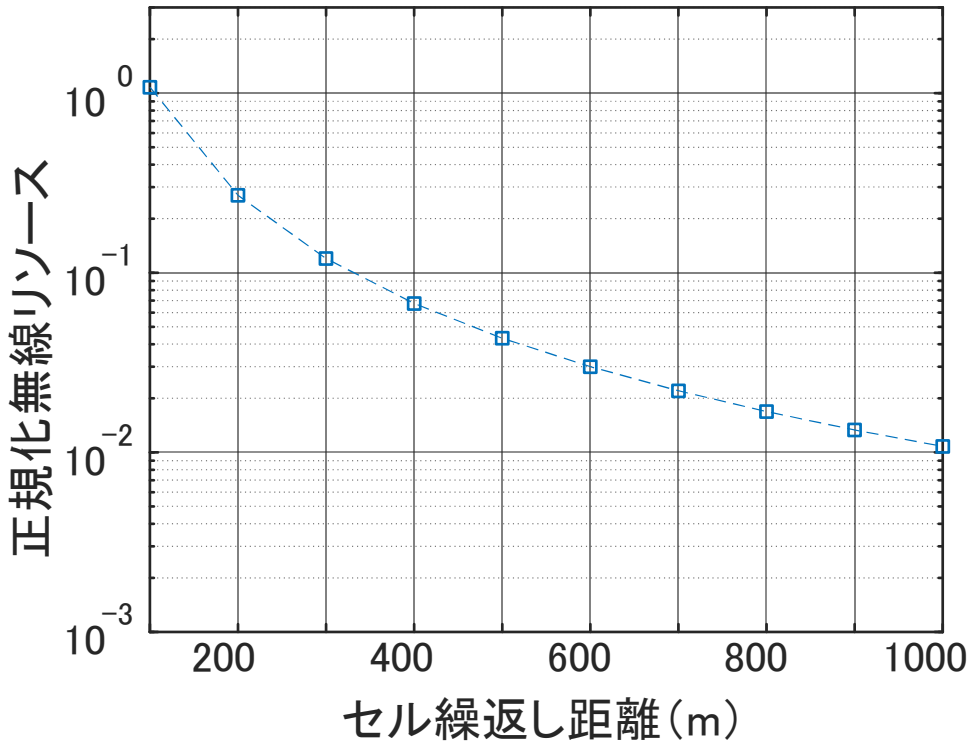
低速適応変調方式を適用した場合、LPWA との連携を行った場合について、データ取得または、検討を行い、得られた結果について数値的なデータを含め取りまとめました。

（1）低速適応変調方式の適用に関する検討

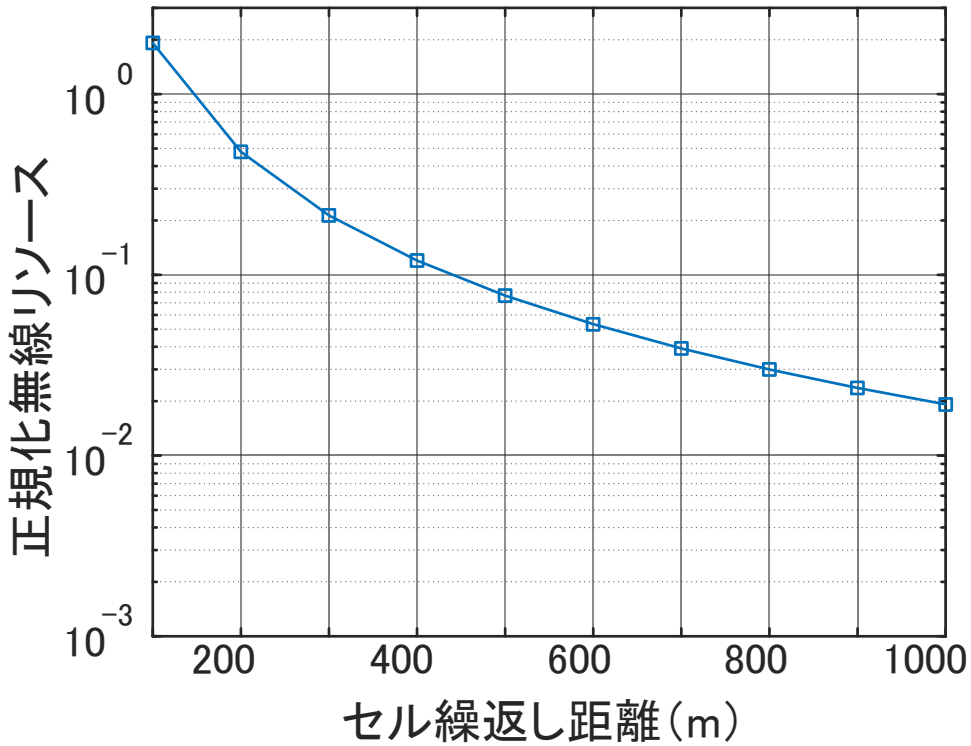
図 5.5.3-1 に、本技術実証におけるセル半径を考慮した低速適応変調方式の効果について示しました。



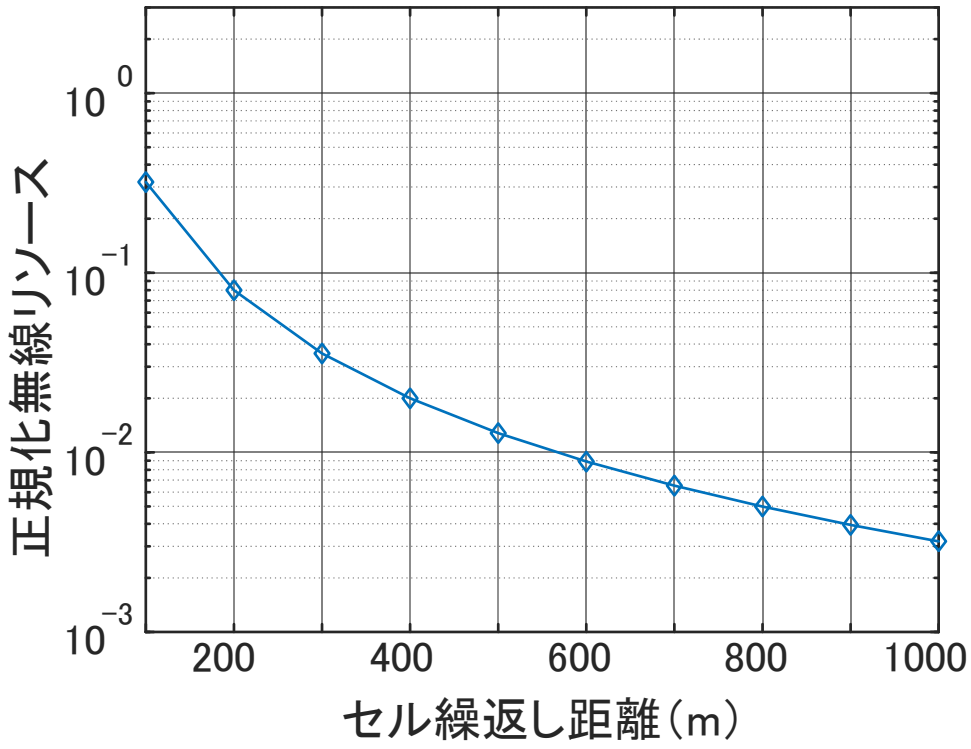
- 六角形セル検証、セル半径 40m



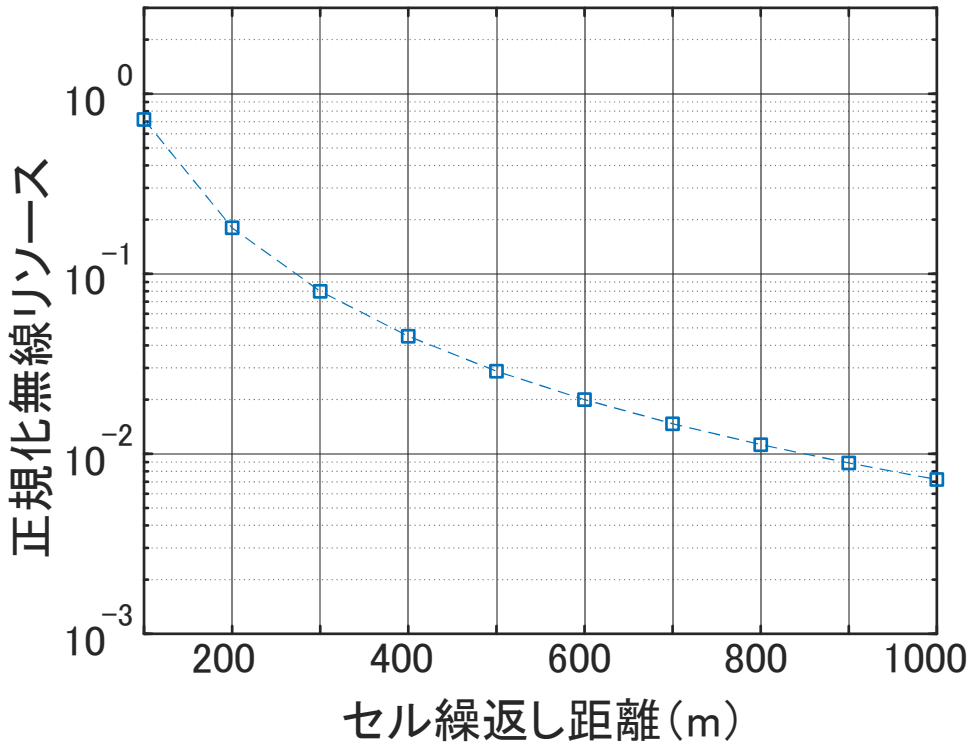
- 六角形セル検証、セル半径 60m



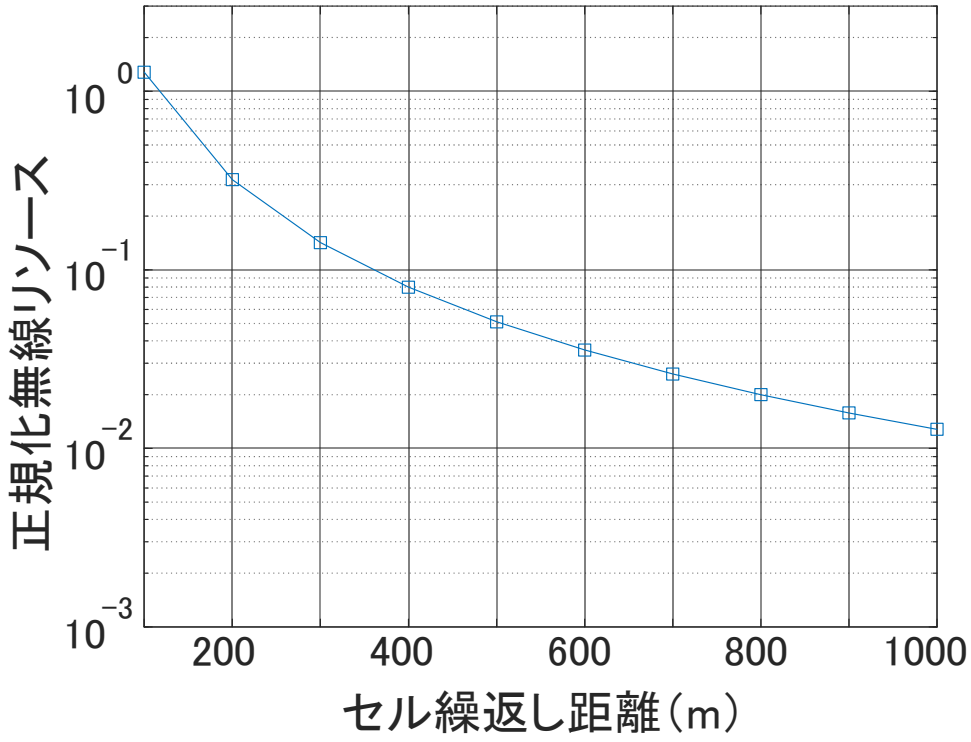
- 六角形セル検証、セル半径 80m



➢ 四角形セル検証、セル半径 40m

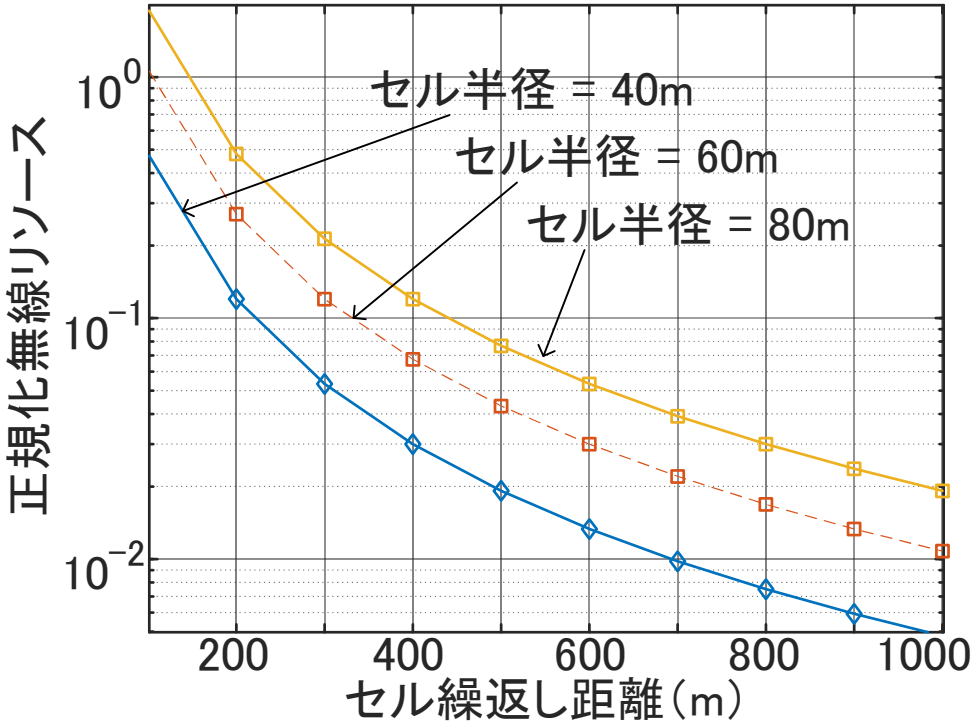


(e) 四角形セル検証、セル半径 60m

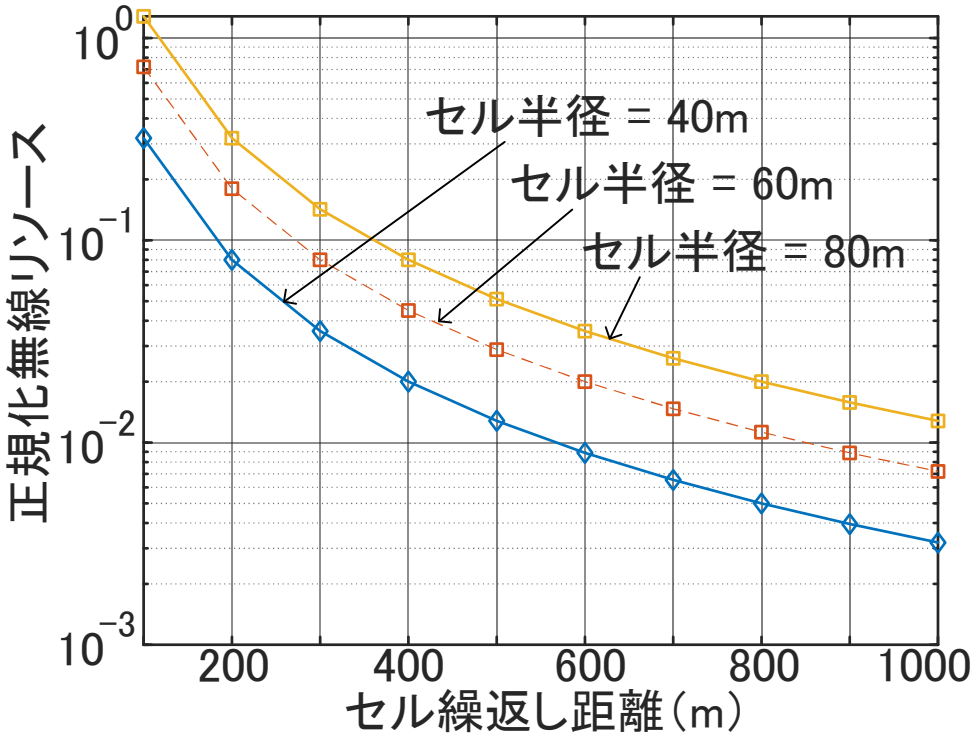


(f)四角形セル検証、セル半径 80m

図 5.5.3-1　本ローカル 5G システムにおけるセル半径を適用した低速適応変調方式の効果



(a) 六角形セルの比較

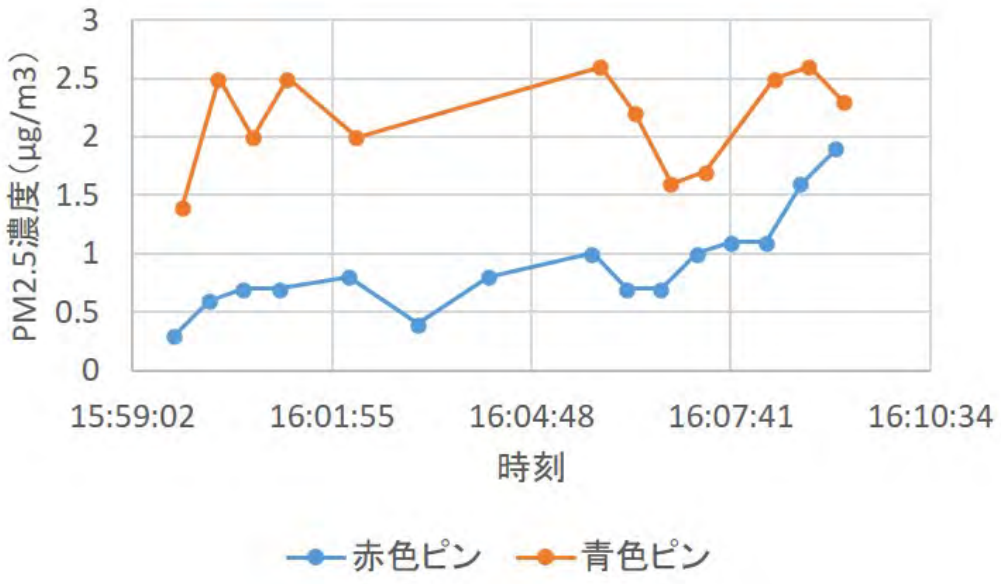


(b) 四角形セルの比較

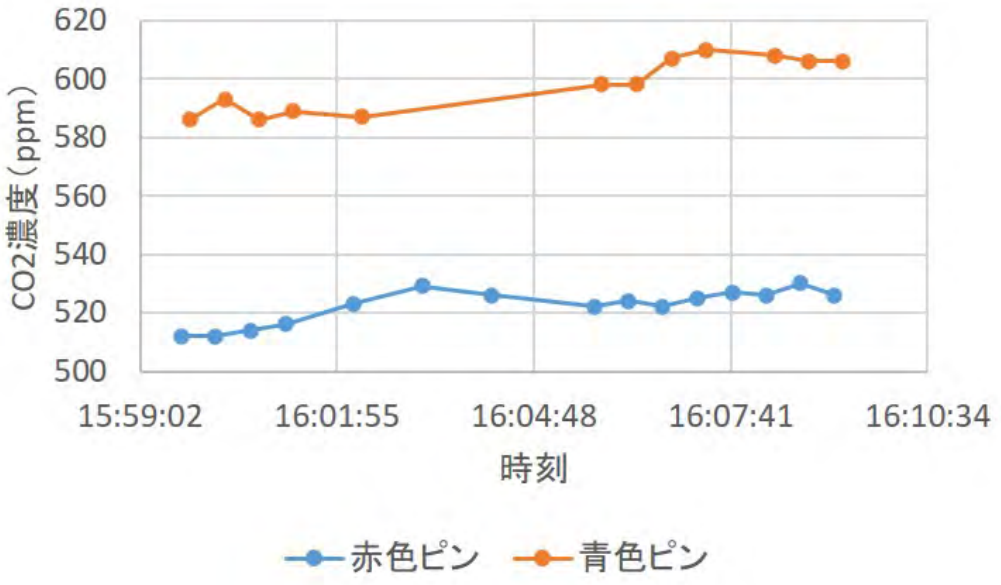
図 5.5.3-2　セル形状、およびセル半径に関する比較

（２）省電力広域無線との連携に関する検討

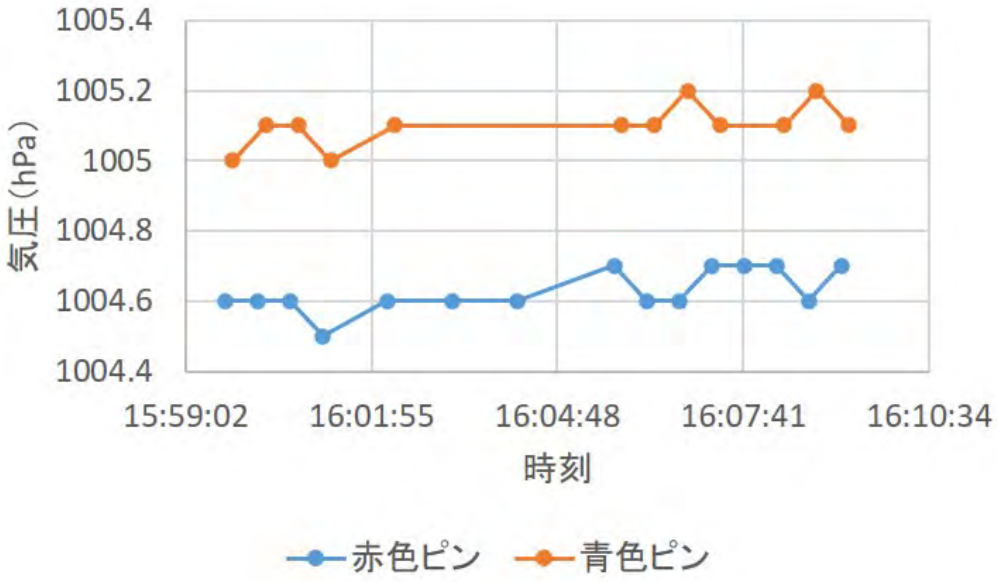
図 5.5.4-3 に、本実証において取得されたセンサデータを示しました。また、図 5.5.4-4 に、本システムにおける無線機（センサユニットを搭載した赤色ピン、青色ピンの無線機）における受信電力特性を示しました。LPWA システムの伝搬状況に応じて、データの欠損は見られますが、大部分のデータが収集され、ローカル 5G 端末側にて確認することができました。



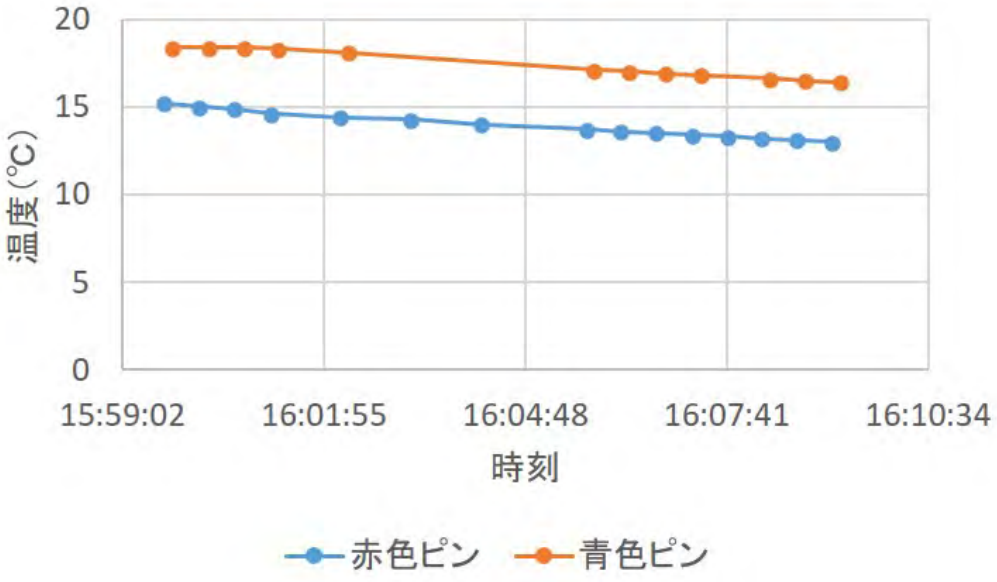
(a)PM2.5



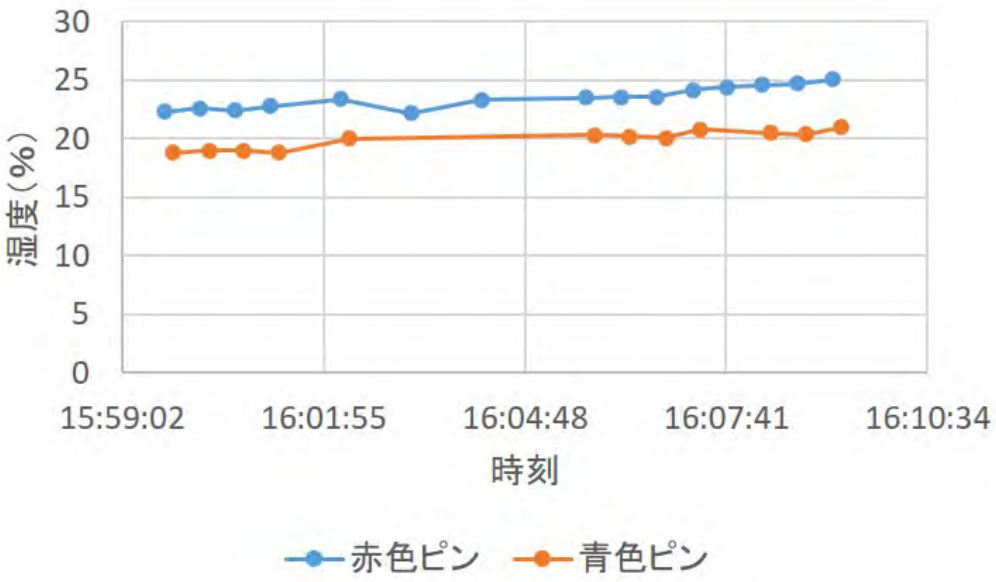
(b)二酸化炭素濃度


1005.4
1005.2
1005
1004.8
1004.6
1004.4
気圧（hPa）
15:59:02
16:01:55
16:04:48
16:07:41
16:10:34
時刻
赤色ピン
青色ピン

(c) 気圧


20
15
10
5
0
温度（℃）
15:59:02
16:01:55
16:04:48
16:07:41
16:10:34
時刻
赤色ピン
青色ピン

(d) 温度



(e)湿度

図 5.5.3-3　LPWA システムによるセンシング結果

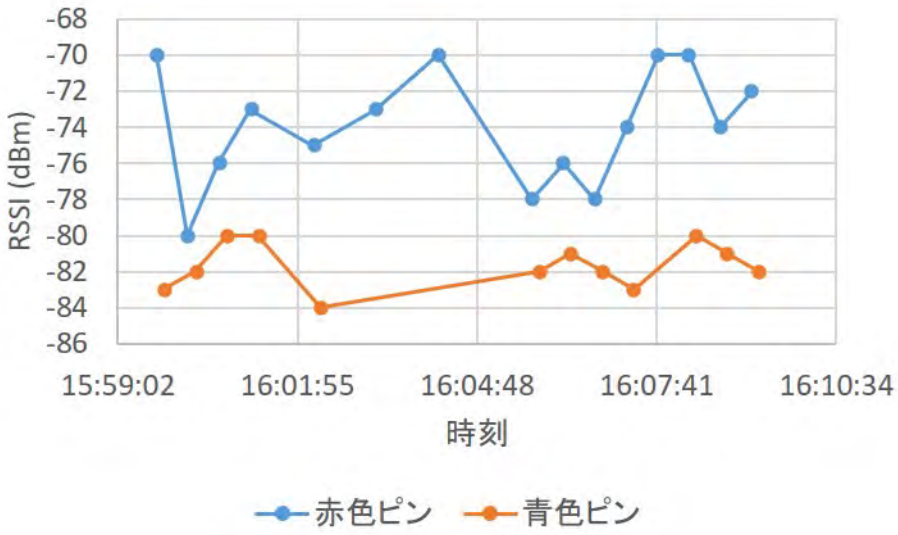


図 5.5.3-4　LPWA 無線機の受信電力特性

表 5.5.3-1 に、LPWA システムとローカル 5G システムの連携動作におけるセンサデータ収集結果を示しました。前述したデータ結合動作により、中継データが結合されて結果的に収集局に到来するデータ数に関する特性を取得しました。

表 5.5.3-1　LPWA システムによるセンサデータ収集実証結果(10 分間動作)

(a) データ結合あり

評価項目	数値
受信パケット数	15 (内 3 結合無し)
赤色ピン無線機データ	12
青色ピン無線機データ	15
ローカル 5G 転送データ	10

(b)データ結合なし

評価項目	数値
受信パケット数	28
赤色ピン無線機データ	13
青色ピン無線機データ	15
ローカル 5G 転送データ	10

図 5.5.3-5 に、本実証における LPWA システムのセンサデータ収集の動作ログを示しました。ここでは、上述したデータフレームの結合機能の有無についてそれぞれログをまとめて表示しました。ログ表示の左端の部分は、データ結合に関するインジケータであり、数字が入るものについては、同一の数字のデータフレームとのデータ結合が為され、一個のフレームとして転送されたことを示しました。

結合	ソースアドレス	初回受信アドレス	初回受信RSSI値	親局 データ受信時刻	データ作成時刻	作成から受信までの時間[sec]	PM	CO	CO2	hPa	温度	湿度
16	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-70	2021/02/04 16:00:12	2021/02/04 15:59:39	33	0.3	0.0	512	1004.6	15.2	22.3
16	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-83	2021/02/04 16:00:12	2021/02/04 15:59:46	26	1.4	0.0	586	1005.0	18.4	18.8
17	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-80	2021/02/04 16:00:42	2021/02/04 16:00:09	33	0.6	0.0	512	1004.6	15.0	22.6
17	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-82	2021/02/04 16:00:42	2021/02/04 16:00:17	25	2.5	0.0	593	1005.1	18.4	19.0
18	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-76	2021/02/04 16:01:12	2021/02/04 16:00:39	33	0.7	0.0	514	1004.6	14.9	22.4
18	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-80	2021/02/04 16:01:12	2021/02/04 16:00:47	25	2.0	0.0	586	1005.1	18.4	19.0
19	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:01:42	2021/02/04 16:01:10	32	0.7	0.0	516	1004.5	14.6	22.8
19	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-80	2021/02/04 16:01:42	2021/02/04 16:01:17	25	2.5	0.0	589	1005.0	18.3	18.8
20	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-75	2021/02/04 16:02:42	2021/02/04 16:02:10	32	0.8	0.0	523	1004.6	14.4	23.4
20	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-84	2021/02/04 16:02:42	2021/02/04 16:02:17	25	2.0	0.0	587	1005.1	18.1	20.0
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:03:42	2021/02/04 16:03:10	32	0.4	0.0	529	1004.6	14.3	22.2
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-70	2021/02/04 16:04:42	2021/02/04 16:04:11	31	0.8	0.0	526	1004.6	14.0	23.3
21	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-78	2021/02/04 16:06:12	2021/02/04 16:05:41	31	1.0	0.0	522	1004.7	13.7	23.5
21	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-82	2021/02/04 16:06:12	2021/02/04 16:05:48	24	2.6	0.0	598	1005.1	17.1	20.3
22	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-76	2021/02/04 16:06:42	2021/02/04 16:06:11	31	0.7	0.0	524	1004.6	13.6	23.6
22	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-81	2021/02/04 16:06:42	2021/02/04 16:06:18	24	2.2	0.0	598	1005.1	17.0	20.2
23	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-78	2021/02/04 16:07:12	2021/02/04 16:06:41	31	0.7	0.0	522	1004.6	13.5	23.6
23	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-82	2021/02/04 16:07:12	2021/02/04 16:06:49	23	1.6	0.0	607	1005.2	16.9	20.1
24	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-74	2021/02/04 16:07:42	2021/02/04 16:07:12	30	1.0	0.0	525	1004.7	13.4	24.2
24	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-83	2021/02/04 16:07:42	2021/02/04 16:07:19	23	1.7	0.0	610	1005.1	16.8	20.8
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-70	2021/02/04 16:08:12	2021/02/04 16:07:42	30	1.1	0.0	527	1004.7	13.3	24.4
25	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-70	2021/02/04 16:08:42	2021/02/04 16:08:12	30	1.1	0.0	526	1004.7	13.2	24.6
25	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-80	2021/02/04 16:08:42	2021/02/04 16:08:19	23	2.5	0.0	608	1005.1	16.6	20.5
26	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-74	2021/02/04 16:09:12	2021/02/04 16:08:42	30	1.6	0.0	530	1004.6	13.1	24.7
26	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-81	2021/02/04 16:09:12	2021/02/04 16:08:49	23	2.6	0.0	606	1005.2	16.5	20.4
27	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:09:42	2021/02/04 16:09:12	30	1.9	0.0	526	1004.7	13.0	25.1
27	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-82	2021/02/04 16:09:42	2021/02/04 16:09:19	23	2.3	0.0	606	1005.1	16.4	21.0

(a) データ結合あり

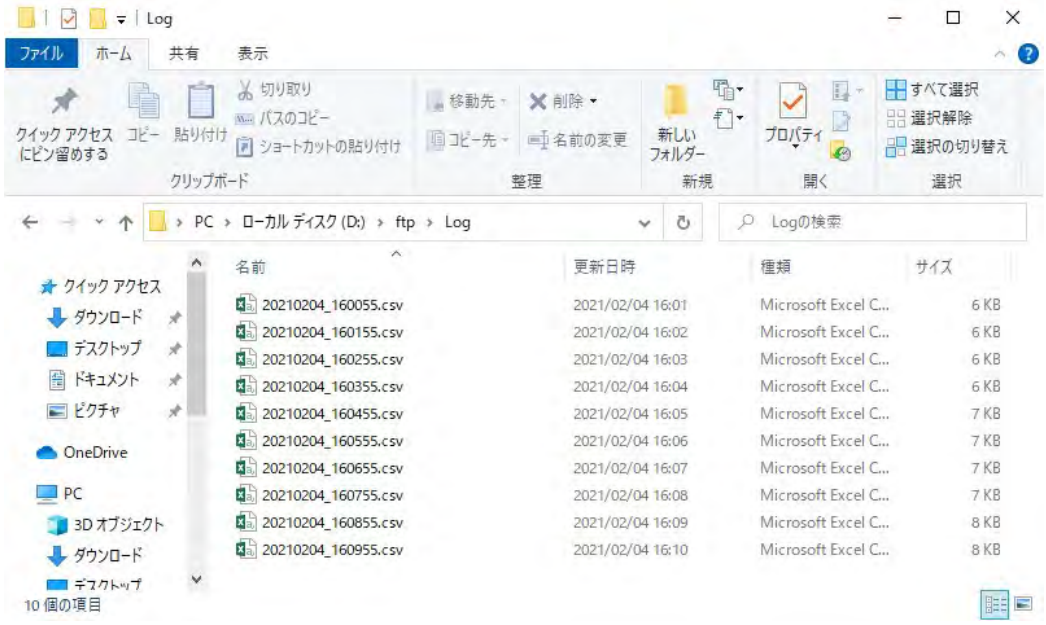
結合	ソースアドレス	初回受信アドレス	初回受信RSSI値	親局 データ受信時刻	データ作成時刻	作成から受信までの時間[sec]	PM	CO	CO2	hPa	温度	湿度
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:26:58	2021/02/04 16:26:54	4	2.8	0.0	494	1004.9	10.6	28.9
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:27:03	2021/02/04 16:26:57	6	66.5	0.0	569	1005.5	11.5	27.3
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:27:33	2021/02/04 16:27:27	6	19.5	0.0	585	1005.5	11.4	28.1
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:27:58	2021/02/04 16:27:54	4	2.0	0.0	500	1005.0	10.5	28.0
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:28:03	2021/02/04 16:27:58	5	12.2	0.0	591	1005.5	11.3	27.4
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:28:28	2021/02/04 16:28:24	4	1.6	0.0	500	1005.1	10.4	29.5
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-80	2021/02/04 16:28:33	2021/02/04 16:28:28	5	9.6	0.0	596	1005.5	11.2	27.7
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:28:58	2021/02/04 16:28:54	4	0.8	0.0	502	1005.0	10.3	29.4
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:29:28	2021/02/04 16:29:25	3	0.6	0.0	502	1005.1	10.2	29.5
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:29:58	2021/02/04 16:29:55	3	0.6	0.0	503	1004.9	10.1	28.4
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:30:03	2021/02/04 16:29:58	5	3.1	0.0	603	1005.5	11.0	27.5
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:30:58	2021/02/04 16:30:55	3	1.2	0.0	495	1005.1	9.8	29.1
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-80	2021/02/04 16:31:03	2021/02/04 16:30:58	5	2.2	0.0	603	1005.5	10.9	27.7
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:31:28	2021/02/04 16:31:25	3	1.6	0.0	493	1005.1	9.7	29.7
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:32:03	2021/02/04 16:31:59	4	2.1	0.0	605	1005.6	10.7	27.9
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-73	2021/02/04 16:32:58	2021/02/04 16:32:56	2	1.8	0.0	493	1005.1	9.4	30.0
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:33:03	2021/02/04 16:32:59	4	1.9	0.0	610	1005.6	10.6	28.0
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-74	2021/02/04 16:33:28	2021/02/04 16:33:26	2	1.8	0.0	496	1005.1	9.3	30.6
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:33:33	2021/02/04 16:33:29	4	1.9	0.0	604	1005.7	10.5	28.3
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:34:28	2021/02/04 16:34:26	2	1.3	0.0	492	1005.1	9.2	30.0
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:34:33	2021/02/04 16:34:30	3	1.2	0.0	609	1005.6	10.4	28.2
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:34:58	2021/02/04 16:34:56	2	1.4	0.0	496	1005.1	9.1	31.2
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:35:03	2021/02/04 16:35:00	3	1.2	0.0	607	1005.7	10.3	28.5
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:35:28	2021/02/04 16:35:26	2	0.9	0.0	499	1005.2	9.1	31.9
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:35:33	2021/02/04 16:35:30	3	1.9	0.0	610	1005.7	10.3	29.3
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-72	2021/02/04 16:35:58	2021/02/04 16:35:57	1	0.8	0.0	501	1005.1	9.0	30.5
None	0CCDFBFFFE0001EB	0CCDFBFFFE0001EA	-79	2021/02/04 16:36:03	2021/02/04 16:36:00	3	1.9	0.0	610	1005.7	10.2	28.6
None	0CCDFBFFFE0001EA	0CCDFBFFFE0001E9	-70	2021/02/04 16:36:28	2021/02/04 16:36:27	1	0.7	0.0	501	1005.1	8.9	33.3

(b)データ結合なし

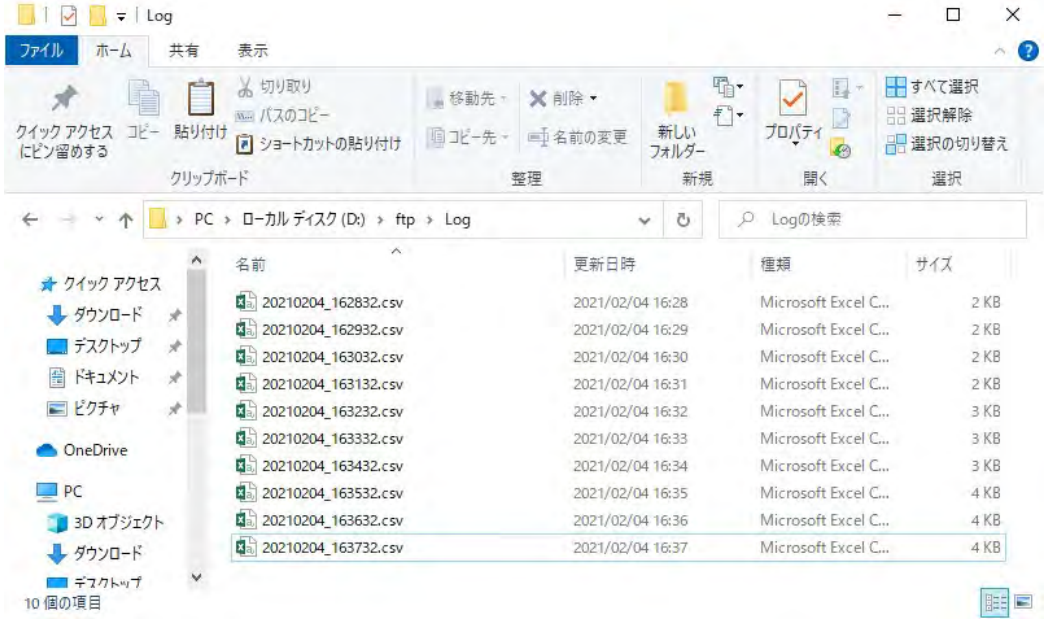
図 5.5.3-3　LPWA システムセンサデータ収集動作ログ

以上の結果より、同一の動作時間内に収集されたデータ数が、データ結合により削減されている効果が確認できました。このことにより、今後 LPWA 網の規模が大きくなり、到来データ数が増大した場合にも、適切に転送データ数を削減することで、衝突、輻輳等のシステム特性劣化を低減できることがわかりました。

図 5.5.3-4 に、本実証において、LPWA システムで収集された後に、ローカル 5G の回線を用いてアップロードされたデータファイルの画面を示しました。図 5.5.4-4 では、ローカル 5G 基地局の先のファイルサーバに対して、ローカル 5G 無線リンクを通じてアップロードされたデータファイルを示しました。本実証により、今回連携された LPWA システムの収集データが、ローカル 5G 無線システムにおいて適切に転送され、ファイルサーバにアップロードされる動作が確認できました。



(a)データ結合あり



(b)データ結合なし

図 5.5.3-4　ローカル 5G による LPWA センサデータアップロード結果

また、測定結果の妥当性の確認方法については、伝搬損失については電波伝搬の理論式、スループットと遅延特性については既存のローカル 5G（相当）実測値、公称値のいずれかまたは双方を参照することで確認しました。。

5.5.4　考察と今後の課題

(1)考察

本項目では、4.7GHz 帯を適用するローカル 5G 無線通信システムに対して本提案において想定する付加的な運用制御技術として、以下の二つを考えました。

- 低速適応変調方式の適用に関する検討

- 省電力広域無線（LPWA; Low Power Wide Area）との連携に関する検討

本項目における付加的な運用制御技術については、ローカル 5G を基盤とする周波数資源有効利用技術として提案するものであり、当該無線システム、ひいては関連する無線システムにおける周波数有効利用に資する目的で設定しました。

(2)技術的課題の解決方策

低速適応変調方式は、災害時は消費者向け通信が輻輳し、災害対応に必要な通信ができない可能性があることから、本実施のようなエリア内の各地点で伝搬路状況が異なる前提で、システムに割当てられたが周波数資源を有効に活用する方策が、今回の技術実証ローカル 5G エリアに適用可能と考えられた結果、本提案における想定技術として選定しました。なお、低速適応変調方式は本来、複数のサービスエリアの地理的な共存に関する技術ですが、本技術実証では単一基地局による実証しか行わなかったため、当該実証の結果（特に基地局からの距離に対する基本特性）を踏まえて、セル半径を 40m、60m、80m と変化させながら計算機シミュレーションを実施することにより行いました。

本項目に関する実施の結果、セル半径に応じて適用される無線サービス品質が異なることを、複数サービスエリアを導入し二次元的なエリア構築がなされた場合の、無線リソース繰返し距離と、それに伴うシステム全体の無線リソースの分割運用についても考察することができ、状況に応じた柔軟なローカル 5G エリアの構築と運用が可能であることがわかりました。このことにより、本実証の目的であるプライベートマイクロセル構造を、複数二次元的に配置したエリア展開を行う場合の周波数有効利用に効果的な知見となることがわかりました。

また、LPWA との連携に関する検討において、ここで用いる LPWA のユースケースは、水位センサを含むセンシング業務をまずは想定しました。連携は LPWA システムから提供するデータペイロードを 5G DTU のインタフェースに適合させることによる行いました。LPWA の特徴として、微小データが大量に転送される状況が挙げられるため、当該トラヒックを適切にプライベートマイクロセル構造に基づくローカル 5G システムにおけるオファードトラヒックに転送することがひとつの技術検討課題だと考えられました。災害時は消費者向け通信が輻輳し、災害対応に必要な通信ができない可能性があることから、本実施のようなエリア内の各地点で伝搬路状況が異なる前提で、システムに割当てられたが周波数資源を有効に活用する方策が、今回の技術実証ローカル 5G エリアに適用可能と考えたことを背景としました。本項目に関する実施の結果、LPWA システムは、災害地を含めたエリア内の複数地点のセンサ情報を収集する動作に効果的である一方で、特に災害時等においては、重要となるセンサ情報の総量が膨大なものとなり、LPWA システム内で衝突、輻輳等のシステム動作劣

化が予想されたため、システム内転送データ結合等の衝突回避手法が有効に作用することを確認することができました。データ結合の手法については、図 5.5.1-3 (b)、図 5.5.1-9 に見られるように、結合されるデータの数に応じて単純にデータペイロード長が増大するだけでなく、結合データの元のデータへの分離に必要な情報として、結合部分に関する付加的な情報が加わるため、元データそれぞれのデータ長の合計以上にデータペイロードは長大となりますが、転送されるデータ数自体が減少することから、上記衝突や輻輳による影響は低減することから、本実証内容は、本ユースケースの特性改善に有効であることがわかりました。なお、今回の実証における LPWA システム内の上記動作については、MAC 層における中継、経路選択制御動作を前提とするものですが、本制御動作によるオファードトラヒックの低減効果により、上述した電波伝搬特性に応じたローカル 5G システムのサービス品質の設計等を適切に行うことの意義が示されることとなりました。

(3)更なる技術的課題

上記の成果の基づき、低速適応変調方式については、今回の実証における検証のような二次元におけるシステム設計だけでなく、より実運用環境に即した斜面や高度差等も考慮した三次元的なサービスエリア配置に関する詳細検討が更なる技術的課題のひとつとして考えられました。

また、LPWA システムとの連携については、無線機の小型化による機能制限や、省電力動作性能がシステムの要件とされることがあることから、この事項に考慮した上での効果的な無線機、あるいはシステムの設計と実装が更なる技術的課題のひとつとして考えられました。

5.6 ローカル 5G の今後の高度化に関する考察

本節では、上記の実証と考察を踏まえた上で、今後のローカル 5G 運用に関して、予想される高度化要素について述べました。NICT では、5G、ローカル 5G 技術を拡張したさらなる地上系無線サービスの高度化について検討していました。ひとつは、全二重通信方式への対応です。本方式は、上りと下りで同一の無線リソースを割当てることで周波数利用効率の飛躍的な向上を図るもので、自身の送信信号の回り込み成分が受信信号に対して干渉（自己干渉）となる事例が深刻であることから、NICT では効果的な解決方法を提案するとともに、評価装置等の整備による検証を継続していました。

もうひとつは、高度な電波模擬技術との連携についての検討が挙げられました。電波模擬技術は、物理空間と適切に関連付けられたサイバー空間における仮想検証によりシステム設計の効率化を可能とする技術で、NICT では、検証手法のさらなる精緻化やリアルタイム性の導入により、今後の地上系無線サービスの革新的な拡張に十分となる電波模擬技術の確立のための研究開発を進めていました。以降ではこれらふたつの高度化の方向性について、技術的な詳細を説明しました。

NICT では、プライベートマイクロセルへの適用も考えられ、加入者容量ならびに周波数利用効率を飛躍的に増大する全二重無線通信方式について研究開発を行ってきました。図 5.6-1 に、全二重無線通信方式を適用した基地局構成例を示しました。本方式は、上りと下りで同一の無線リソースを割当てることで加入者容量の増大を図るものですが、自身の送信信号の回り込み成分が受信信号に対して強力な干渉（自己干渉）となる事例がシステムを展開する上で深刻な問題と考えられていました。NICT では図 5.6-1 に示すように、アンテナ部、高周波アナログ回路部、ベースバンドデジタル回路部でそれぞれ異なる手法で自己干渉を低減することで、全二重無線通信方式を効果的な解決方法を提案するとともに、評価装置等の整備による検証を継続してきました。技術的課題としては、非常に強力な回り込み信号を雑音レベルにまで抑圧するための、アンテナアイソレーション特性の確立、送信信号のアナログ成分を用いたキャンセルの実現、以上だけでは除去しきれない自己干渉の影響を低減するためのデジタル信号処理技術の確立が挙げられてきました。

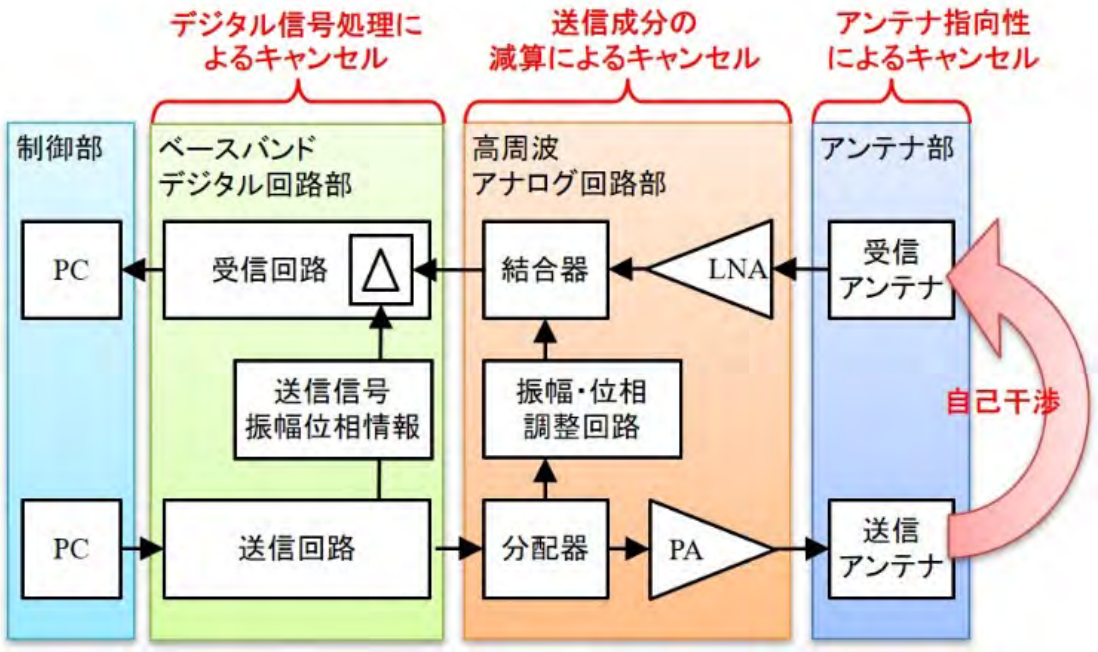


図 5.6-1　全二重通信を適用した基地局構成と動作の例

図 5.6-2 に、高度電波模擬技術の概要を示しました。電波模擬技術は、サイバー空間における仮想検証によりシステム設計の効率化を可能とするものとして提案されてきました。図 5.6-2 における電波模擬は、大容量サーバ等により実装される大規模仮想環境検証基盤において行われ、当基盤上において構成され電波伝搬モデル・電波発射挙動モデルを適切に反映した無線リンクエミュレータ構造において、外部無線機（ソフトウエア無線機等の疑似無線機、または商用機器を含む実無線機）の動作を反映し相互作用させることで、これらの無線機の現実の動作ならびに特性を高精度かつリアルタイムに出力するものとして考えられてきました。大規模仮想環境検証基盤上には、加えて仮想的に多数の無線機の動作を実現する仮想無線機も実装され、前述の外部無線機との間で、あるいは仮想無線機だけで当該電波模擬を実施することも想定されてきました。NICT では、電波模擬による検証手法のさらなる精緻化のために電磁界解析、レイトレーシング、伝搬モデルを適切に参照しモデル化する手法や、リアルタイム性実現のために、無線機の移動に対する動的な状況反映手法について検討を継続しながら、今後の地上系無線サービスの革新的な拡張に十分となる電波模擬技術の確立のための研究開発を進めてきました。高度電波模擬技術の技術的課題としては、ソフトウエア無線機や、試作無線機等の模擬的な無線機を、仮想環境検証基盤上に定義される仮想無線機と適切に相互接続し動作させるための時刻同期技術等が挙げられてきました。

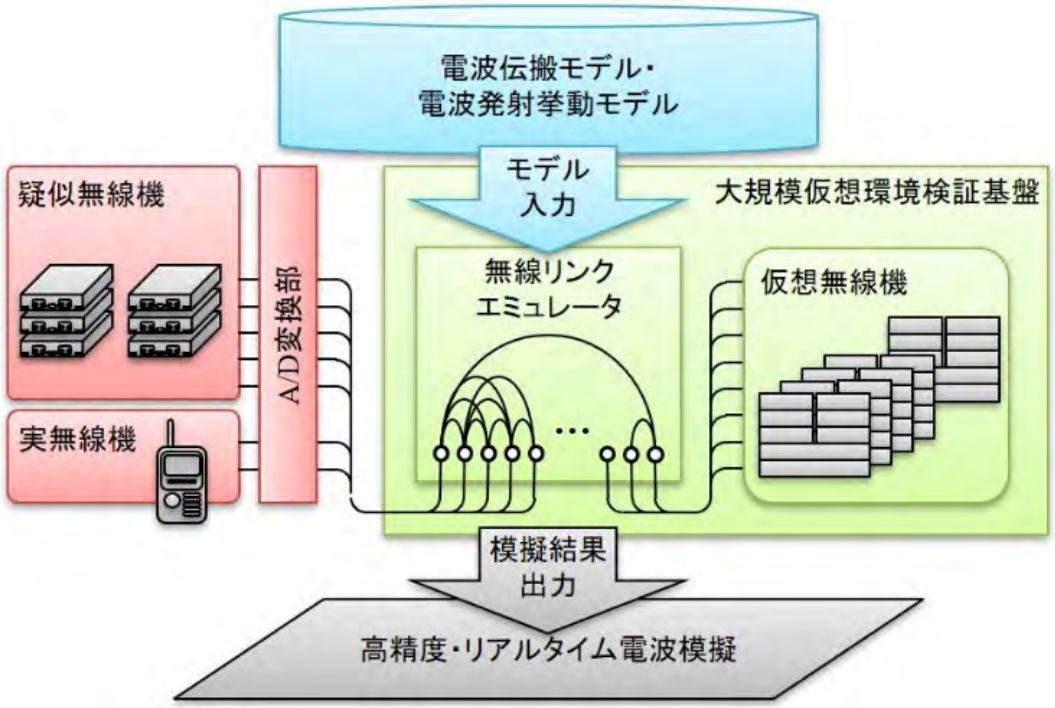


図 5.6-2　全二重通信を適用した基地局構成と動作の例

5.7 まとめ

本章では、地域課題解決のためのローカル 5G の有効な利用形態として、防災のユースケースを挙げ、それを前提とするエリア構築、周波数有効利用、さらなるシステム高度化のための技術実証と検証について述べました。

本検証により、従来の運用形態に比べスループット特性および遅延特性の改善がみられることから、今後システムあるいはサービスに対する周波数帯域幅の削減や、離隔距離等条件の緩和につながる可能性が予測されることから、技術基準等の整備に資する知見と考えられました。

ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価等では、基地局からの距離に加え、周囲の建造物による遮蔽や回折等の影響により、スループット、遅延特性が劣化したり、基地局への接続自体ができなくなったりすることが確認されました。このような局面においては、アンテナ高を高くすることによる伝搬状況の改善や、アンテナ指向性の最適化による受信状況の改善の必要性が考えられました。

ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等では、本実証において取り上げた市街地と河川周辺のエリアは、今回のローカル 5G ユースケースの見地から典型的な運用性能として、ユーザとして多数端末の接続動作が予期されるため、無線リソースの繰り返し利用等を実現するリソース割当性能、センサ情報等を通じ状況の変化に対応した災害監視カメラ映像伝送性能がそれぞれ想定されることから、無線周波数利用に関して、上記サービスエリアに起因する伝搬環境の影響が非常に重要だと結論づけることができました。市街地においては、木造、コンクリート、金属等の家屋素材に基づく無線電波の遮蔽、反射、回折等の影響が予想され、対して河川周辺においては家屋やその他の建造物による遮蔽は無く、条

件によっては開放地に近い電波伝搬特性が予測される一方で、土手等の自然地形による電波伝搬遮蔽等が予想されてきました。これを解決するために、受信感度を上げる目的で端末側アンテナ高を本実証で用いた 2m 以上として設置すること、アンテナ指向性も端末が固定であることを考慮して十分なレベルに事前に設定すること、さらに電波電波の反射等の影響を軽減するために複数アンテナを適用したダイバーシチ技術を用いる等の解決方策が有望だと考えられました。

その他ローカル５Ｇに関する技術実証では、セル半径に応じて適用される無線サービス品質が異なることを、複数サービスエリアを導入し二次元的なエリア構築がなされた場合の、無線リソース繰返し距離と、それに伴うシステム全体の無線リソースの分割運用についても考察することができ、状況に応じた柔軟なローカル 5G エリアの構築と運用が可能であることがわかりました。このことにより、本実証の目的であるプライベートマイクロセル構造を、複数二次元的に配置したエリア展開を行う場合の周波数有効利用に効果的な知見となることがわかりました。また、LPWA との連携に関する検討において、災害時は消費者向け通信が輻輳し、災害対応に必要な通信ができない可能性があることから、本実施のようなエリア内の各地点で伝搬路状況が異なる前提で、システムに割当てられたが周波数資源を有効に活用する方策が、今回の技術実証ローカル 5G エリアに適用可能と考えられ、LPWA システムが災害地を含めたエリア内の複数地点のセンサ情報を収集する動作に効果的である一方で、特に災害時等においては、重要となるセンサ情報の総量が膨大なものとなり、LPWA システム内で衝突、輻輳等のシステム動作劣化が予想されたため、システム内転送データ結合等の衝突回避手法が有効に作用することを確認することができました。

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

地域における防災対策のニーズは地域の特性に応じて異なるが、その対応策として地域の放送・通信サービスの活用が重要であることは論を俟たないものである。ケーブルテレビ事業者は、自治体を中心とする地域の防災対策において、地域の放送・通信サービス事業者の立場でできる限り貢献できるよう取組みを進めている。その取組み内容は、それぞれの地域のニーズに応じたものであり、また事業としてみた場合のリソース（予算、運用体制）確保の方法も様々なかたちとなる。そのような中であるが、本実証で取り組む事業モデルはローカル５Ｇ という新しい無線技術等を活用しかつコストを抑えるための官民共用モデルとしていることから、多くの自治体のニーズを捉えているものと考えている。ケーブルテレビ連盟としては、無線利活用委員会等の会合にて本モデルを説明するとともに、個別説明会も開催して横展開のための情報発信を進めている。その際には内閣府の地方創生推進交付金を活用した導入モデルも提示している。現在、複数事業者が興味を示しており、令和４年度以降での導入に向け自治体との連携に関して準備、検討を進めている。

- 技術的前提条件

  今回の実証により明らかになった技術的な課題を含め、前提となる条件は以下の点があげられる。

  - 反射式の水位計は設置が容易であったが、API 機能がなく開発が必要であった。水位計等のセンサー機器において API 機能は必須ではないがダッシュボード等と連携する場合は有効であり、そういった機器のデータ連携 I/F 仕様についても事前の確認が重要である。

- 本ソリューションのシステム構築・運用時の前提条件

  運用検証の結果を踏まえ、前提として以下の点が考えられる。

  - 導入する機器およびシステムについて、自治体の予算規模に応じて極力コストを抑えた運用とする場合には、機能を最小限に絞り混み、自社人員での運用も視野に入れ検討を進める必要がある。

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

実証終了後の継続利用モデルの基本的な考え方として、ローカル５G 等の無線ネットワークや映像配信に関する設備は地域のケーブルテレビ事業者（今回はケーブルテレビ株式会社）が保有し、自治体に対して役務提供するモデルを軸として考えている。ここでのケーブルテレビ事業者は、ローカル５G 等の無線ネットワーク設備を BtoC の超高速インターネットサービスに利用し一定の収入を得て、自治体へのサービス提供価格を抑制する官民共用モデルを目指す。BtoC サービスの収入規模は、1 基地局あたり 40-60 回線程度の超高速インターネットサービス（単価 4 千円/月）を提供する場合、年間で 190 万円～290 万円程度が期待できる（仮定ではあるが、この収入の 2 割程度を基地局の維持費として充てるモデルを想定)。基地局等のローカル５G 回線に掛る費用はこのような BtoC 事業からの収入と自治体負担の組み合わせで賄うことを想定している。これにより自治体は、基地局等共用設備の導入・運営費用のおおよそ半分程度を負担することで利用可能となる想定である。
一方で、自治体の危機管理課業務にのみ利用されるようなシステムについては、栃木市所有のシステムとして整理される。それぞれの仕組みにおいて、資産の償却、運用費用において予算確保を進めて継続利用することを想定している。

この事業モデルを概念図として示したものが図 6-1 の通りとなる。必要となるそれぞれの設備において、官民共用や（ケーブルテレビ業界としての）業界内共用によりコスト抑制できると考えている。

実装計画における課題としては予算の確保が挙げられる。予算は、栃木市およびケーブルテレビ株式会社にて調整中であり、調整がつき次第順次運用を開始する想定。また、本実証で利用するローカル５G や IoT データ基盤という一連の技術に関する ICT 技術者を地域で育成するという狙いとあわせて、内閣府の地方創生推進交付金等の活用について検討も進めている。本交付金を利用する場合、栃木市の負担を極力抑えて自走できるスキームとなる。改めて申し上げるまでもないですが、長期的な継続の観点では、導入時のコストよりも継続的な支出をいかに低減するかという点が重要となります。

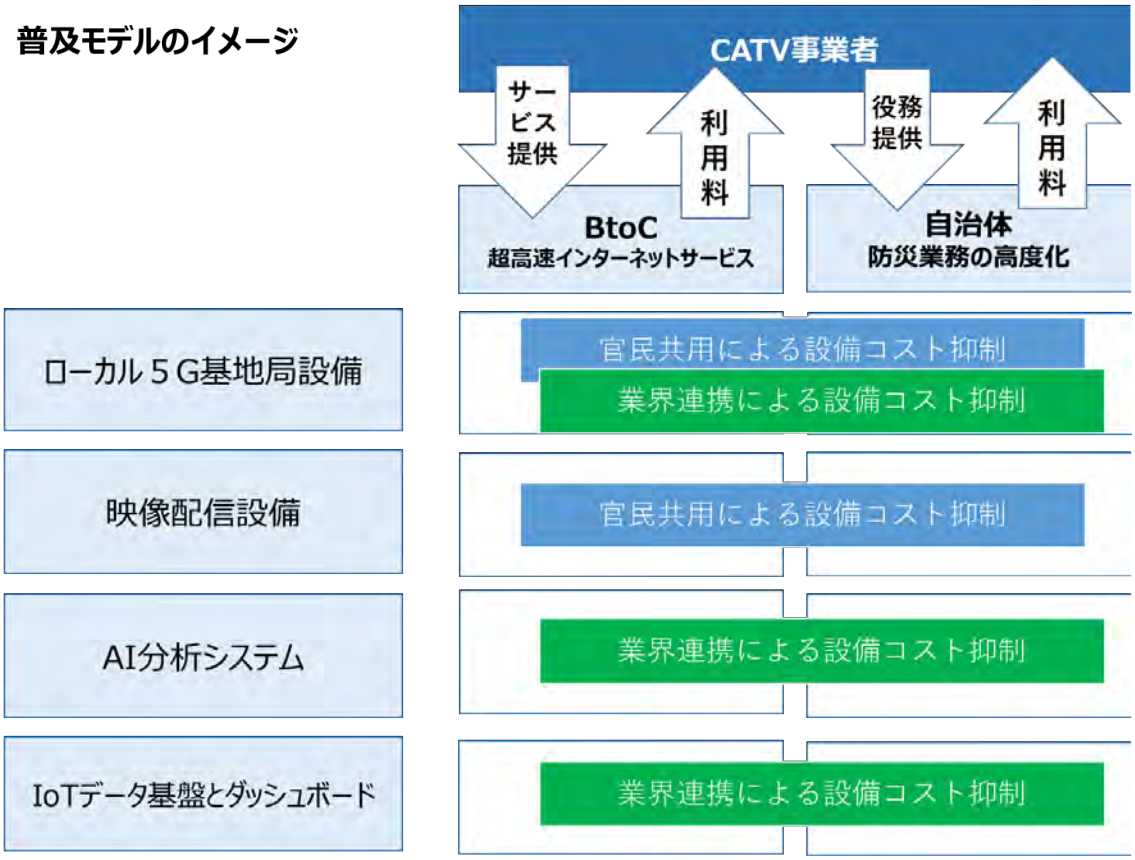


図 6-6-1 普及モデルのイメージ

図 6-2 に栃木市の実装シナリオ（案）を示します。実証実験完了の直後となる令和 3 年度 4 月からは、本実証実験で導入したソリューションの一部である 4K カメラのリアルタイム映像の栃木市危機管理課への提供等を検討しています。令和 3 年度からの栃木市の導入に要する費用規模は、初期導入費で最小規模でのスタートと仮定して数百万円程度（～500 万程度）、運用費用で数百万円程度（導入規模により異なる）を想定。初期導入費用は主に設定作業。運用費用の内訳は sub6 帯ローカル５G 基地局レンタル料およびローカル５G 回線利用料が 200 万円～、IoT 基盤利用料 500 万円～、ビデオサーバ等利用料 250 万円～が目安となる。これら費用は最小構成であるが、予算確保状況により更なる調整を行い、導入を進めていきます。

令和４年度からの本格導入に関しては、地方創生推進交付金の活用も検討します。また、本件は自治体のスマートシティ推進の取り組みの第一歩、という考え方もできます。そのため、将来的には防災分野で導入したデータ利活用基盤や 4K カメラを他分野へ活用し、また、他分野への設備投資によるスマートシティの本格化に繋げていくことを目指します。

図 6-6-2 栃木市 実装シナリオ（案）

表 6-1 に費用項目一覧と機器所有権を示します。機器の所有権については５G 基地局などの情報通信設備に加え４K カメラをケーブルテレビ事業者が負担する場合のケース１と自治体が主に負担するケース２の２つを検討している。

表 6-1 費用項目と機器所有権

	項目	導入にかかるコスト	保守運用にかかるコスト	機器所有権 ケース１	機器所有権 ケース２
1	4Kカメラ	固定資産	保守運用費	CATV	自治体
2	５G端末	固定資産	保守運用費・回線利用料	CATV	自治体
3	FTTH関連	固定資産	保守運用費	CATV	CATV
4	５G基地局SA方式	固定資産	保守運用費	CATV	自治体
5	５G基地局NSA方式	固定資産	保守運用費	CATV	自治体
6	UPF	固定資産	保守運用費	CATV	CATV
7	ビデオサーバ関連	固定資産	保守運用費	CATV	CATV
8	IoT基盤	構築作業費用	利用料	CATV	自治体
9	ダッシュボード	構築作業費用	利用料	自治体	自治体
10	AI測定(３年間のみ)	構築作業費用	利用料	自治体	自治体
11	その他	その他経費	その他経費	自治体	自治体

- コスト見積りに関する指針
  - 金額的に大きな割合を占める基地局に関して、基本的に FWA 提供エリアをもとに考える。1 基地局に接続する防災監視用のカメラの台数は、上位回線の容量を実測値を基に FWA での使用帯域を考慮し決定することが望ましい。

- 実装を行うための課題
  - 導入するシステム、設備の運用コストを低減するためには可能な範囲で自社人員による作業を行う等の工夫が必要となる。

- 地方創生交付金獲得へ向けた具体的なアクションプラン
  - 自治体内や関係者での調整を 10 月ごろまでに終え、年初の申請に向けて準備を進める。

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

・　推進対応方策

日本ケーブルテレビ連盟では２か月に１回程度無線利活用委員会や支部長会を開催しており、そういった機会を利用して本案件の発信および活用できると思われる省庁の支援施策や交付金等の情報を展開してまいります。情報の展開に当たっては、実際のシステム構成や運用ノウハウ等、自治体との共用の方法をケーブルテレビ事業者の目線で説明を行い、多くの事業者が取り組めるよう支援をしてまいります。さらには栃木市役所の協力を得て、自治体危機管理業務の具体的な改善事例としての発信を務めてまいります。

導入の意向のあるケーブルテレビ事業者においては、本実証実験の成果を参照の上でサービス導入と継続の実現性を検討し、自治体に対して導入の提案を行います。各地域の防災課題や予算規模やニーズに応じて、河川カメラの設置台数、水位計の設置台数、防災ダッシュボード、河川カメラを用いたAI解析導入の提案を進めます。自治体それぞれに適した予算規模の検討が必要となり、更なる費用低減は課題となります。これに関して、複数自治体によるシステム共用の仕組み（IoTデータ基盤の共用等）も費用低減の解決策の一つとして今後の検討課題となります。

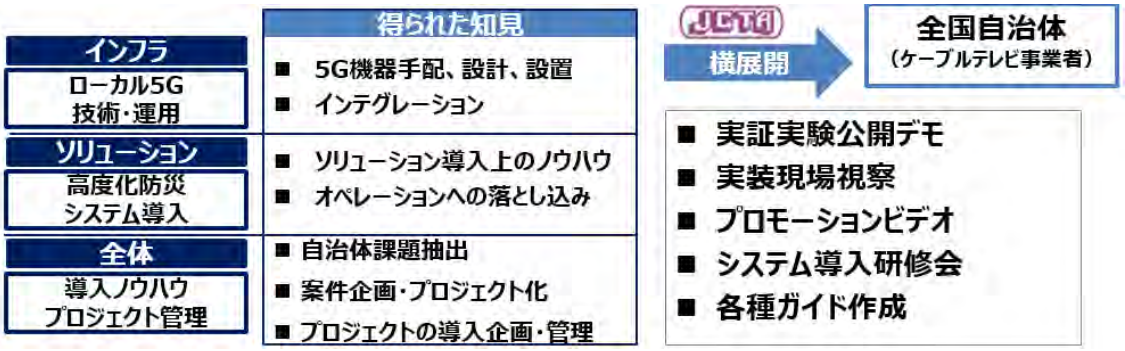


図 6-3 横展開に向けての整理

・　横展開計画

令和３年度は栃木の実証成果をもとに業界内へ技術面・採算面において実証の周知を進め、令和４年度での導入に向けて横展開の活動を進めます。その後更なる導入計画を進めます。

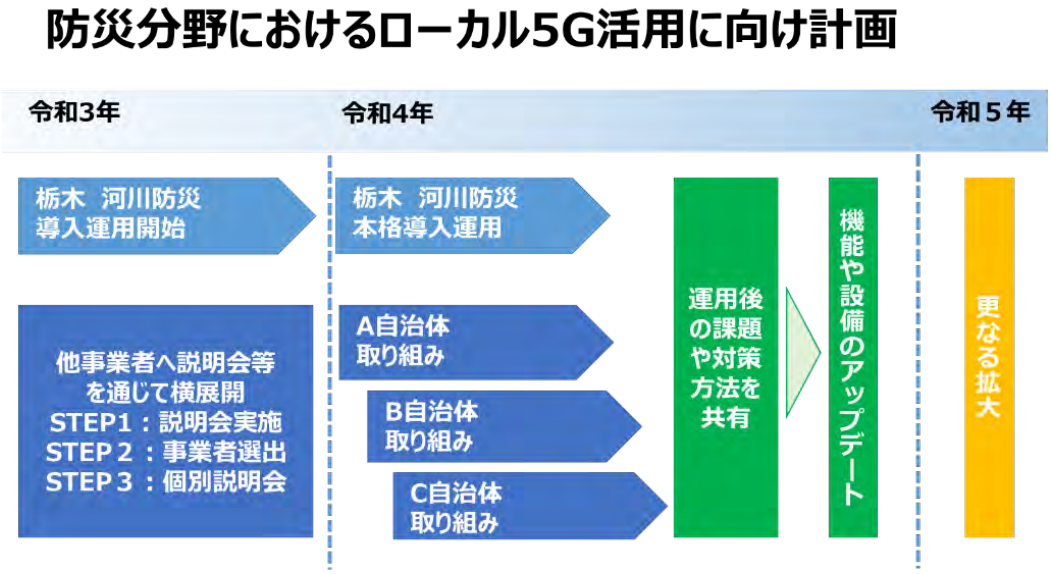


図 6-4 横展開計画

尚、本実証実験の参加企業であるケーブルテレビ株式会社のサービス提供エリアの中で、栃木市同様に 2019 年台風 19 号による被害の大きかった壬生町と下野市に関しては、横展開先の候補として考えています。それ以外の地域では具体的な事業者、自治体の選定はできておりません。

・ 想定される課題

既存の防災システムへの連携、Iot データ基盤の運用コストの低廉化についての要望が上がっている事。

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

本実証で開発した AI による水位予測モデルについて、共同利用型プラットフォームを通じた横展開に向けた検討を行いました。共同利用型プラットフォームについて、システムと体制面で整理した全体像イメージを図 6.4-1 に示します。大きく①横展開性の高いモデル構築、②地場の体制×AI プロ体制による効率的横展開の 2 つがプラットフォームに必要になると考えます。

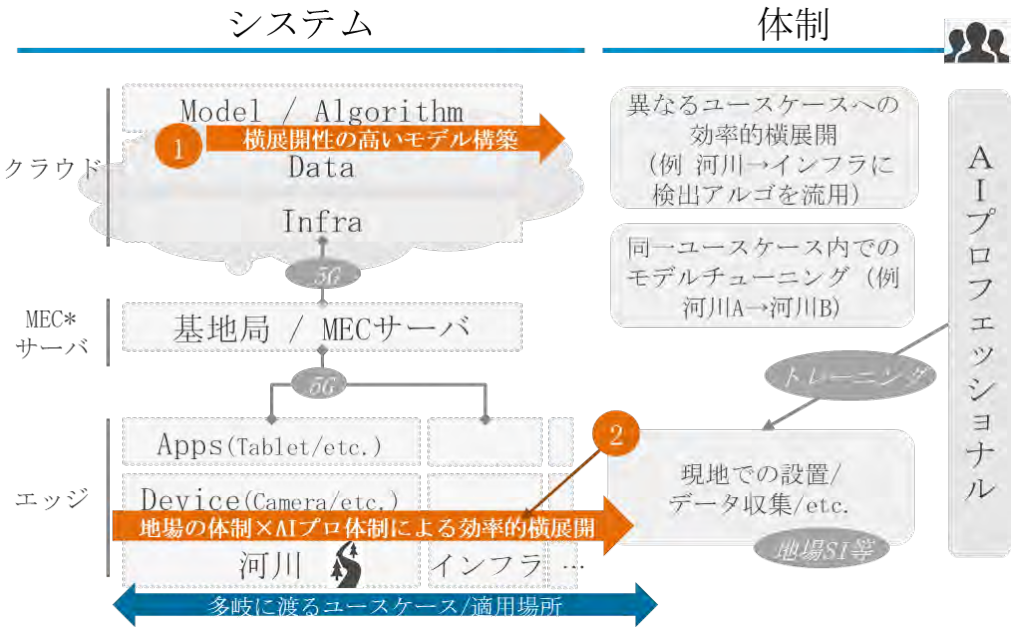


図 6.4-1 共同利用型プラットフォーム　全体像イメージ

①横展開性の高いモデル構築について

本検証において、対象となったそれぞれの河川データを取得して水位予測モデルを開発しましたが、河川ごとに設置したカメラ位置や画角、河川の状態（水量、草木、藻、護岸の有無など）が異なっているため、河川ごとに学習データの取得は必要となります。環境の変化は予測水位の精度に大きく影響を与えますが、他河川へ展開する場合は、展開先の環境が異なることが考えられるため、水位予測モデルの汎用化が必要になってきます。

水位予測モデルの汎用性向上のためには、以下の様なアプローチが有効であると考えます。それぞれのアプローチを適応させるには検討や開発が必要となります。

- 公開データセットの利用
  - ➢ 公開されている河川に関連したデータセットを学習に用いることで、データのバリエーションを増やす。
- CG データの利用
  - ➢ 学習データとして CG で作成した河川のデータを用いる。
- Few-shot Learning の適応
  - ➢ 画像認識の様々なタスク(物体識別、物体検知、意味的領域分割等)において、少ない学習データ数で新しい環境に適合できる技術。

特に CG データの利用については、実写画像を忠実に再現した CG 画像を作成することができれば、以下のような利点があると考えます。

(1) 予め人が予測（アノテーション）するよりも精緻に真の結果を作成できる

- 人手でアノテーションをする場合、作業者のミスなどにより画素単位で間違いが生じる可能性があり、モデルの精度悪化に繋がる懸念があります。一方で CG での真の結果の作成においてはこの間違いは起こり得ず、精緻にアノテーションすることが可能となります。

(2) 予め人が予測（アノテーション）する際に発生する作業コストを削減できる

- 人手でアノテーションする場合、実写画像 1 枚あたり 3～10 分程度の時間がかかりました。画像 1 枚におけるアノテーションの所要時間を 5 分とすれば、1000 枚の画像のアノテーションには 80 時間ほどかかることになります。一方で CG 画像のアノテーションは自動で行われ、人手でのアノテーションが不要となるためコスト削減が期待できます。

(3) モデルの学習や評価で用いるデータセットの作成のために水位の変動を待つ必要がない

- CG なら 2 週間程度でデータセットを作成できます。また、水位変動を待つ必要がありませんので、水位予測対象河川ごとに準備する河川画像データ量の準備にかかる工数を減らすことが可能と考えます。これにより水位予測を実施するまでの期間短縮にもつながると考えます。

②地場の体制×AI プロ体制による効率的横展開について

展開先から取得した個別河川データをもとに、水位予測 AI の追加学習を適時行い、プラットフォームから水位予測結果を提供するイメージを想定しております。（図 6.4-2）

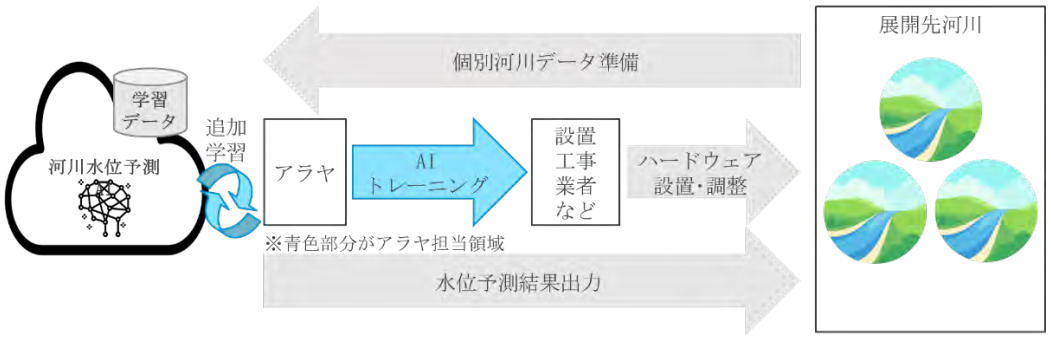


図 6.4-2 水位予測イメージ

共同利用型プラットフォームを通じて他河川へ展開を行うにあたり、データ整備と環境設定を考慮した効率的横展開が必要になると考えます。横展開の推進にあたっては、AI プロフェッショナルによる地場 SI や展開先自治体への AI の特性や水位予測に関するトレーニング提供も必要ではないかと考えます。

- データ整備
  - 展開先に適応させる場合に、バリエーションをもった水位データが必要になる

が、降雨量が変化しない/工事によって、準備が難しいことが想定されます。

- ✧ 展開先の個別データが必要になるので、取得出来る仕組みが必要と考えます。そのため、展開先には事前にデータを準備して頂き、導入にあたってプラットフォームへデータを連携してもらうといった対応が必要と考える。
- ✧ 普段から全国的に様々な河川画像を自動的に吸い上げて蓄積出来るシステムがあることで、展開先に準備してもらうデータ量を少なくすることも可能と思われる。

- 環境設定
  - ➢ 本検証での経験より、カメラなどの環境設定の最適化に都度現地での作業発生が想定されます。

AI を活用した水位予測を行うにあたって、AI の特性を理解している SIer 様や工事業者様が必要になると考えます。カメラ設置位置についての交渉や現地土木事業者様との調整や設置などにおいて、スムーズな対応ができると展開先に負担の少ない環境の設定を行うこと可能になると考えます。

6.5 まとめ

本実証実験での議論や得られた知見をもとにして、栃木市における次年度実装に向けた取り組み状況、及び横展開に向けた推進対応方策や計画をまとめました。また、共同利用型プラットフォームに関しては、本実証で開発した AI モデルをプラットフォームを通して横展開すること想定したシステム全体像を検討しました。

7. 会合等の開催

日本ケーブルテレビ連盟主催の無線活用に関する会議や説明会で適宜周知活動を進める。（無線利活用委員会及び支部長会、2 か月に 1 回程度開催）

8. まとめ

令和元年台風 19 号で甚大な被害を受けた栃木市の中でも特に被害の大きかった巴波川と永野川をフィールドとして実証実験を行いました。高精細カメラの河川映像及び AI 分析により、河川リモート監視及びアラート発報を実現するとともに、水位情報等を一元管理した防災ダッシュボードを構築し、自治体の避難情報等の発令判断の迅速化の実現を確認しました。地域住民に対する災害情報配信として、既存の防災情報に加え、河川映像が加わることで住民の避難意識の向上効果を確認しました。技術実証においては、高精細映像伝送を目的とした大容量データ通信における UL リソース制御方式の効用を示すデータを取得し、スループット向上と遅延時間短縮の効果を確認しました。また、基地局からの距離や周囲の建造物による遮蔽や回折等の影響により、スループット、遅延特性の劣化、基地局への接続不可等といった状況が発生するが、アンテナ高を高くする等による伝搬状況の改善、アンテナ指向性の最適化による受信状況の改善を確認しました。最後になりますが、実証実験で得られた知見から議論し検討した実装及び横展開の方策を基に、次年度以降のローカル 5G を活用した防災分野の高度化に向けて取り組んでいきます。

9. 参考資料

参考資料１：取扱説明書_VMS.pdf
参考資料２：栃木市防災ダッシュボード 操作マニュアル.pdf
参考資料３：栃木市防災ダッシュボード 操作マニュアル(ユーザー管理).pdf
※参考資料１、2、3はいずれも非公開情報のため、公開版報告書において削除。