

令和3年度

課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した災害時におけるテレビ放送の応急復旧

成果報告書概要版

令和4年3月25日

株式会社地域ワイヤレスジャパン

実証概要

実証概要

背景・目的

沖縄県において、**台風等自然災害時**に設備破損等を原因とするテレビ放送や通信サービスの**受信障害**が発生し、**災害情報が提供できない**といった課題が存在。住民への災害情報の安定的な提供を目的として、受信障害に対してローカル5Gを活用した応急復旧を行う実証を行った。

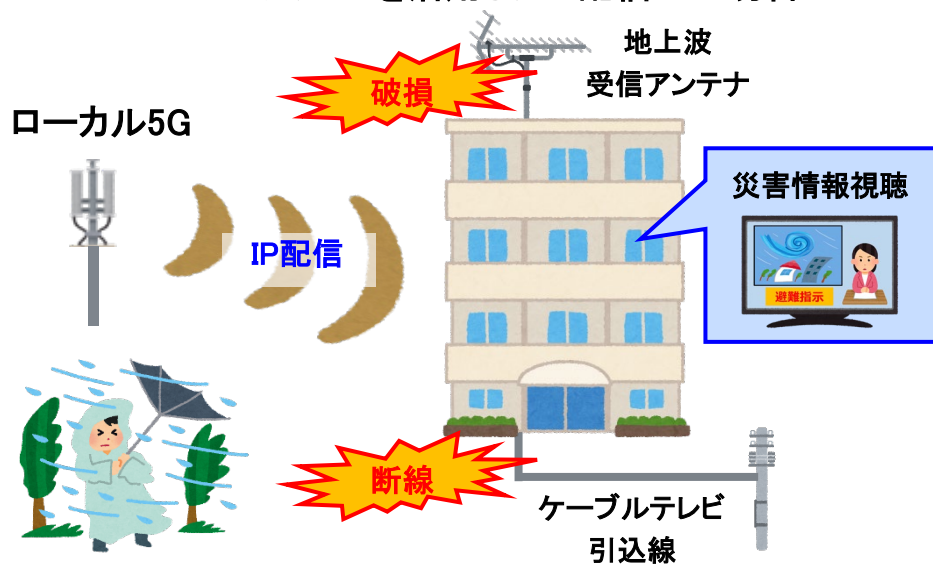
課題実証概要

- 災害発生時におけるテレビ受信障害に対し、ローカル5Gを活用した**IP映像配信による応急復旧**、**集合住宅向け高速インターネット接続サービス(FWAサービス)**との併用に関する実証を実施。
- 災害時における**防災・減災情報の確実かつ早期の提供**及び**復旧にかかる負担軽減**を実現。

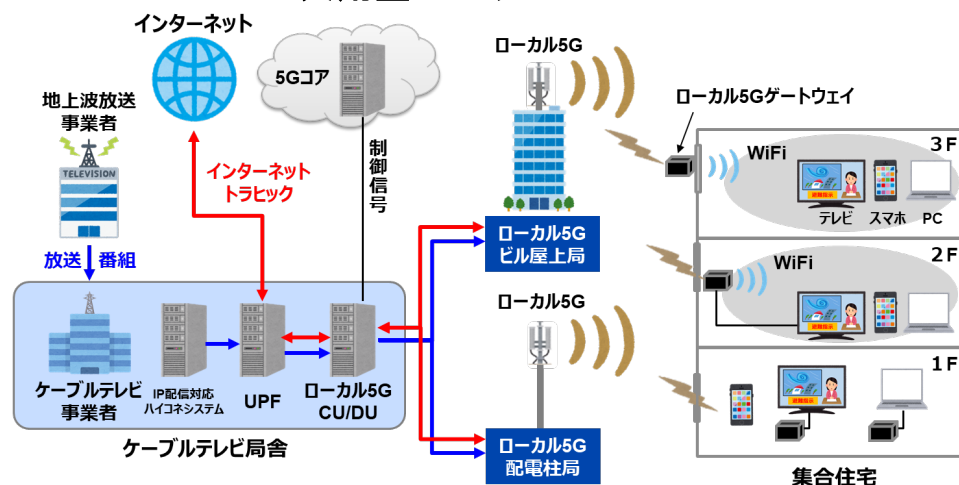
技術実証概要

- 集合住宅のように**高い場所にも移動局が設置**され、かつ**建物が密集した環境**における電波伝搬モデルの精緻化を実施する。
- 周波数:4.8-4.9GHz帯(100MHz) 構成:SA方式 利用環境:屋外

台風等によるテレビ放送受信障害の ローカル5Gを活用したIP配信への切替

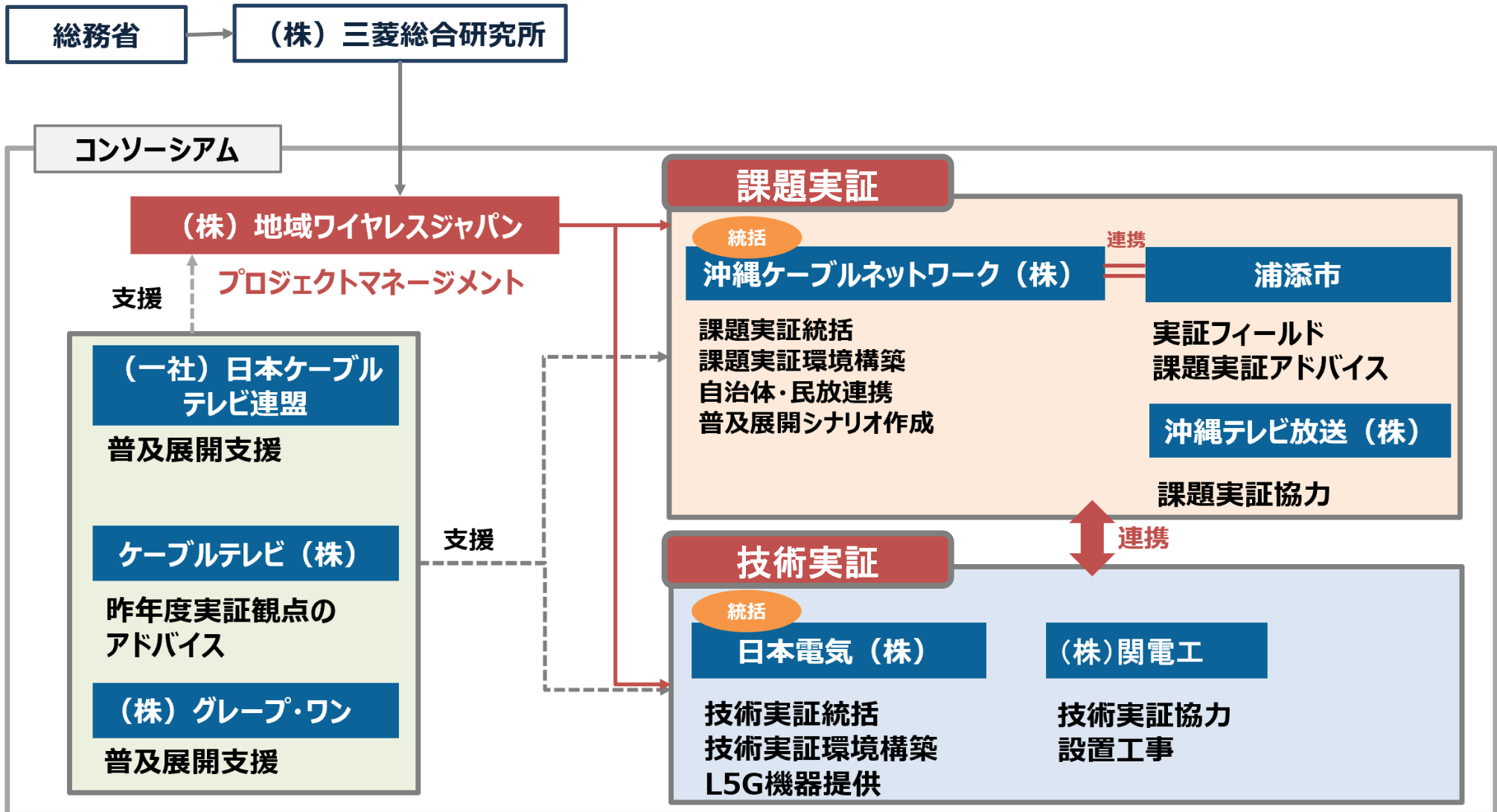


インターネット接続・テレビ放送 共用型FWAサービス



- ✓ ユーザーのテレビ視聴障害早期復旧、放送事業者の障害対応への負担軽減
- ✓ 高速インターネット接続サービス提供の併用による事業者の経済合理性向上

実施体制



実証環境の構築

実施環境

対象周波数帯 : 4.8-4.9GHz帯域(Sub6) 屋外用途
 実施環境 : 沖縄県浦添市宮城1丁目、集合住宅エリア

計算条件等

基地局の空中線電力	26.5dBm/Ant × 2
送信アンテナ利得	17.5dBi
給電線損失	2.0dB
アンテナタイプ	セクターアンテナ、半値角55度
使用する周波数	4849.98MHz
受信アンテナ利得	0.0dBi
基地局アンテナ高	20.0m
移動局アンテナ高	1.5m
カバーエリア(市街地)	最大215m
調整対象区域(市街地)	最大327m

計算条件等

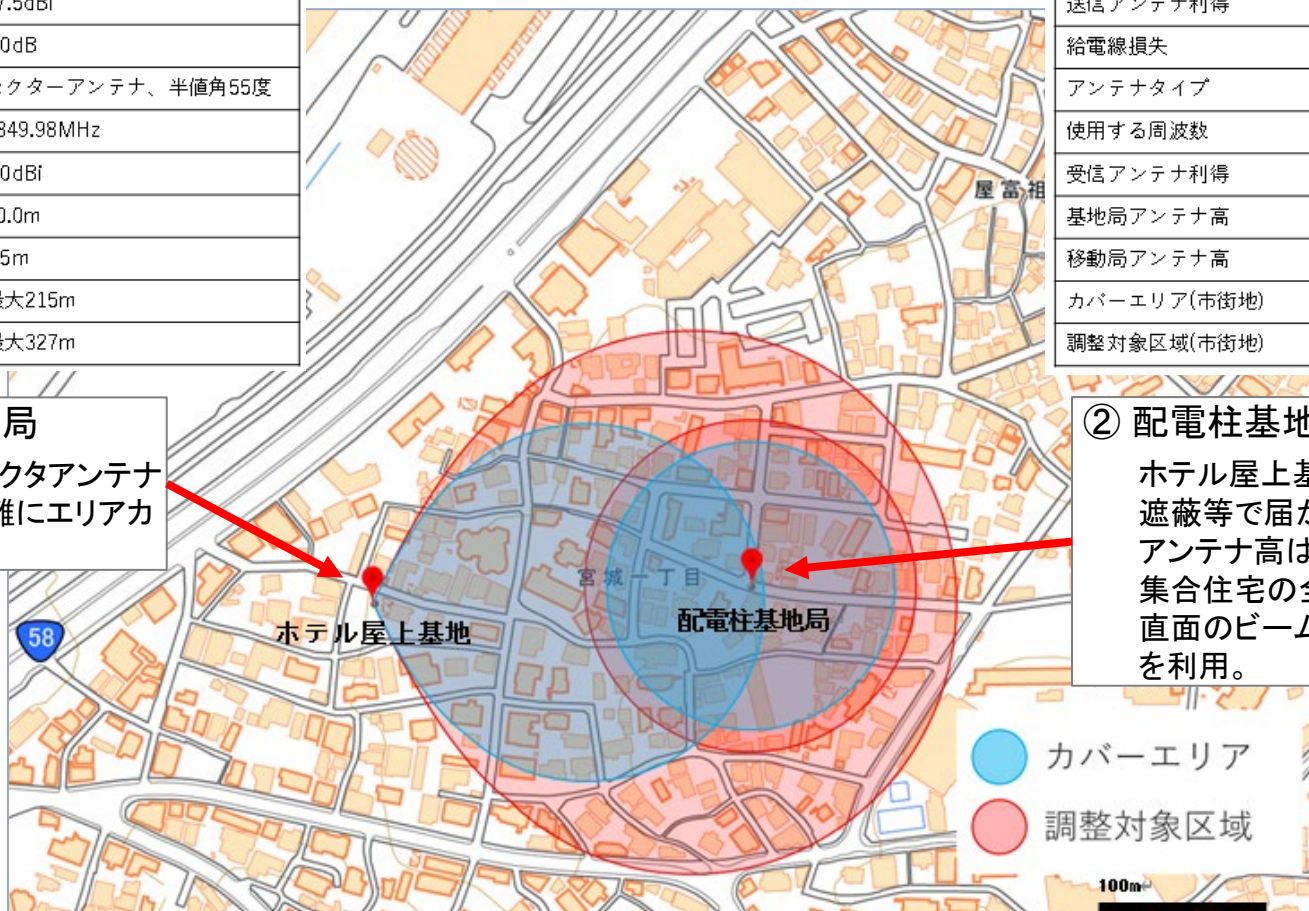
基地局の空中線電力	33.6dBm/Ant × 2
送信アンテナ利得	1.0dBi
給電線損失	2.0dB
アンテナタイプ	オムニアンテナ
使用する周波数	4849.98MHz
受信アンテナ利得	0.0dBi
基地局アンテナ高	5.0m
移動局アンテナ高	1.5m
カバーエリア(市街地)	最大82m
調整対象区域(市街地)	最大93m

① ホテル屋上基地局

高所に設置し、セクタアンテナで広域かつ長距離にエリアカバーする。

② 配電柱基地局

ホテル屋上基地局(①)の電波が建物遮蔽等で届かないエリアをカバーする。アンテナ高は①と比して低く、対象の集合住宅の全階を包含できるよう、垂直面のビーム幅が広いオムニアンテナを利用。

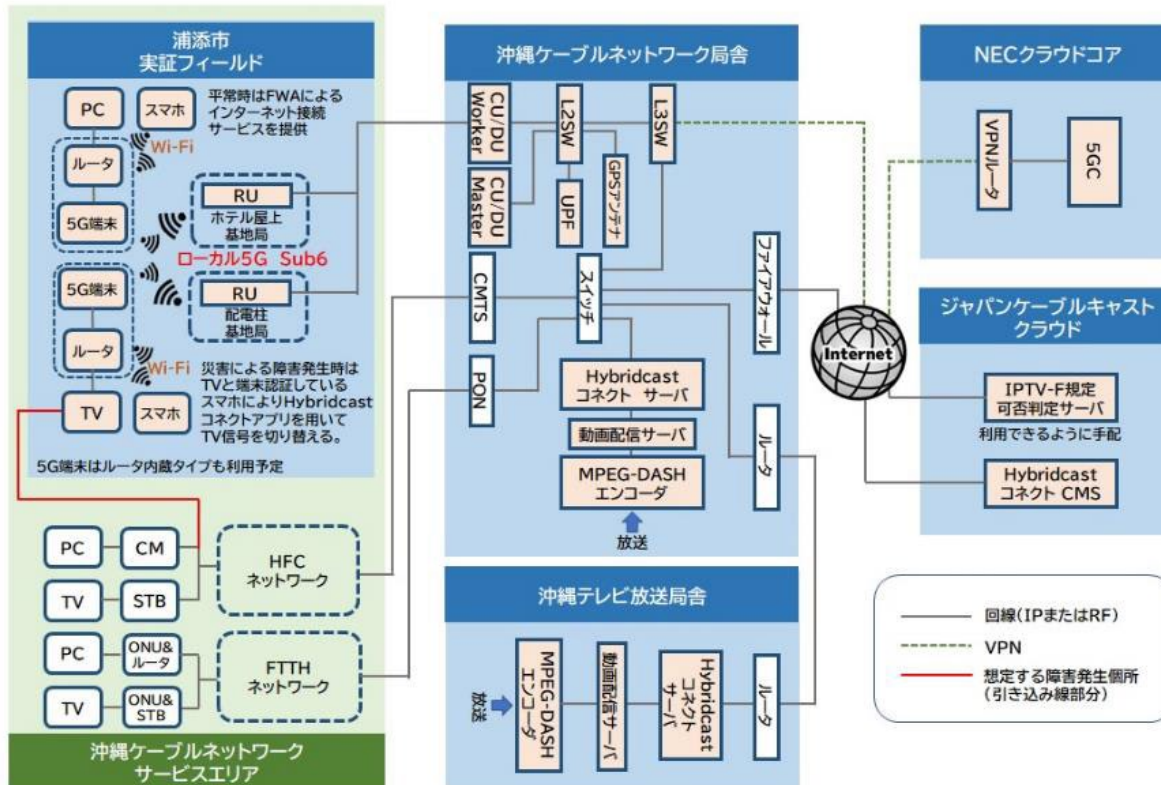


ネットワーク・システム構成

- 4.8-4.9GHz帯域 (Sub6) を利用した Stand Alone 方式のローカル5Gシステムを使用。
- ローカル5Gシステム関連装置 (CU/DU、UPF等) は、沖縄ケーブルネットワーク(株)のヘッドエンドに設置。コア設備はクラウドコアを使用。
- 課題実証に使用するIP配信対応ハイブリッドキャストコネク (ハイコネ) システムの設備は、沖縄ケーブルネットワーク(株)と沖縄テレビ放送(株)のヘッドエンドに設置。

【ネットワーク・システム構成】

【主要機器】



分類	装置名	数量
5Gシステム	5GC	1
	UPF	1
	CU/DU	1
5G対応端末	RU	2
	CPE	20
IP配信対応ハイブリッドキャスト(ハイコネ)システム	メディアトランスコーダ	2
	動画配信サーバー	2
	ハイコネサーバー	2

システム機能・性能・要件

ローカル5G基地局の主な技術的諸元

項目	内容
台数	2台
設置場所(屋内/屋外)	屋外
同期/準同期	同期
UL:DL比率	2:7
周波数帯	4.7GHz帯
SA/NSA	SA
UL周波数	4.8~4.9GHz
DL周波数	
UL帯域幅	100MHz
DL帯域幅	
UL中心周波数	4849.98MHz
DL中心周波数	
UL変調方式	QPSK、16QAM、64QAM
DL変調方式	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
MIMO	DL: MIMO (2Tx, 2Rx) UL: SIMO (1Tx, 2Rx)

免許及び各種許認可、その他要件、実証環境の運用

■ 免許及び各種許認可

- ✓ 基地局及び移動局の実験試験局免許を沖縄総合通信事務所より取得
- ✓ 配電柱共架許可及び受電許可を沖縄電力より取得（配電柱基地局設置のため）
- ✓ 道路占用許可を浦添市より取得（高所作業車を使用した高所電波測定のため）

■ その他要件

ローカル5G機器は、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器を使用

■ 実証環境の運用

- ✓ モニタ17世帯に端末及びハイコネ対応STB/TVを設置し、約1か月継続運用
- ✓ モニタ世帯以外に、詳細測定及びデモンストレーション用の実験環境を構築
- ✓ モニタ世帯設置の端末の稼働確認のため、実証期間中はNW側から端末に対し定期的に疎通確認を実施

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討 (技術実証)

ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

課題解決システム利活用環境における技術的課題

集合住宅のように高い場所にも移動局が設置される利用環境で、エリア算出法を用いてカバーエリア及び調整対象区域の図を作成し、エリア端の閾値が実測される基地局からの距離を把握する。

受信電力及び伝送性能(伝送スループット、伝送遅延)を把握する。

実証目標

平時においてはDLの伝送スループットとして160Mbps、ULの伝送スループットとして40Mbps、災害時にはDLの伝送スループットとして124Mbps、ULの伝送スループットとして40Mbpsを所要性能とする。

伝送遅延は、何れの場合も100msec以下とすることを所要性能とする。

実証内容

エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域の図の作成

通常の移動局アンテナ高での受信電力の測定

カバーエリア及び調整対象区域のエリア端における受信電力の測定

高所測定地点での受信電力の測定

高所におけるカバーエリア及び調整対象区域のエリア端の評価

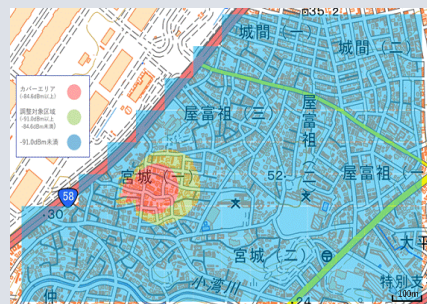
伝送性能の測定と所要性能を実現するための方策の検討

ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

実証結果

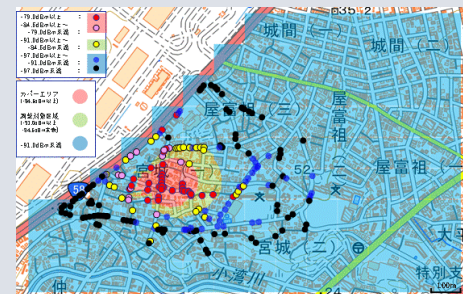
エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域の図の作成

- 屋外及び屋内の環境で1階～5階の各階におけるエリア図を作成
- エリア算出法では、階による大きな差異はない



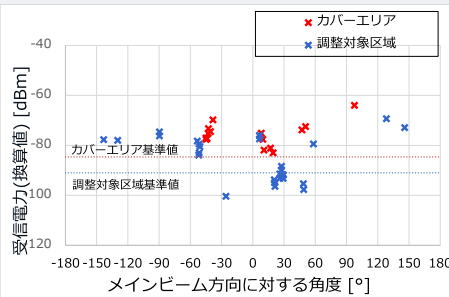
通常の移動局アンテナ高での受信電力の測定

- ホテル屋上から広範囲に電波が届くため走行による測定を実施
- エリア算出法に比べて道路に沿ってカバーエリアが拡大



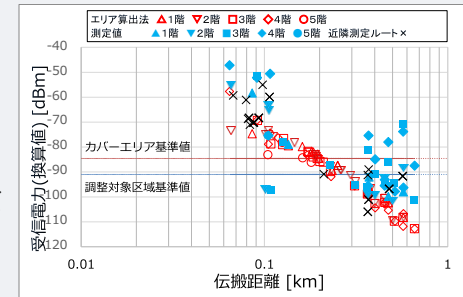
エリア端における受信電力の測定

- アンテナ高1.5mでの受信電力データを用いて評価
- エリア算出法で計算したエリア端の受信電力は、基地局からの方角で大きく異なりばらつきが大きい



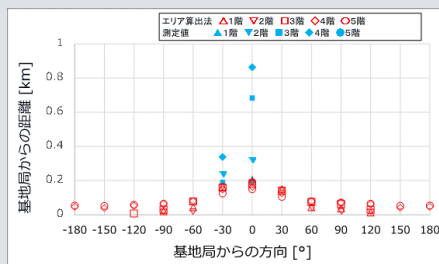
高所測定地点での受信電力の測定

- 集合住宅の1階～5階や高所作業車で受信電力を測定
- 上層階でエリア算出法の計算値と測定値の乖離が大きくなった



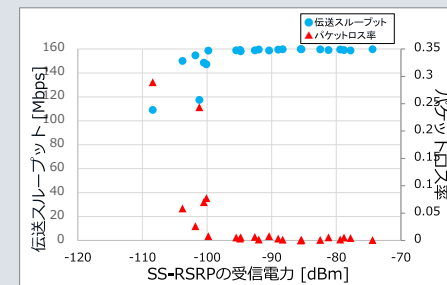
高所におけるエリア端の評価

- 2階以上の場所におけるエリア端の距離を評価
- 基地局からの方角によるばらつきが大きい、上層階ほどエリア端までの距離がより大きくなった



伝送性能の測定と所要性能を実現するための方策の検討

- 伝送スループット、伝送遅延ともに所要性能を達成
- 所定受信電力確保により所要性能を実現可能



電波伝搬モデルの精緻化

課題解決システム利活用環境における技術的課題

集合住宅のように高い場所にも移動局が設置される利用環境では、通常の移動局高の場合に比べて、電波がより遠くに届きやすいため、現行の電波伝搬モデルでは、本来必要な干渉調整が行われず、良好な電波環境が確保できない恐れがある。

伝搬損失に対する移動局高の影響を定量的に把握し、電波伝搬モデルの精緻化の対象となるパラメータとその条件に応じた適正な値を明らかにすることが技術的課題である。

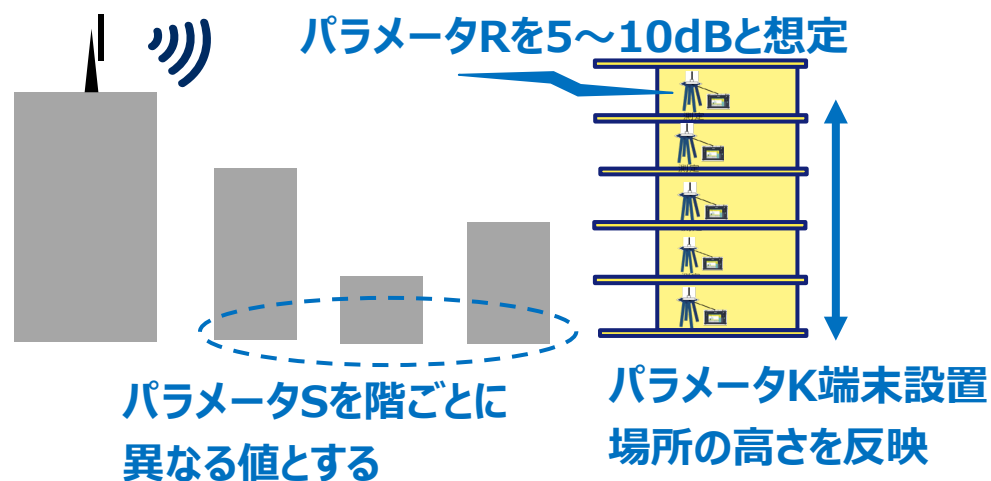
実証目標

高い場所に移動局が設置される利用環境において、電波伝搬モデルのパラメータK及びパラメータSの各々に関する精緻化仮説の検証を行い、精緻化対象とすべきパラメータと適正な値を明らかにする。

端末を集合住宅の住戸内(屋内)に設置した場合の建物侵入損Rを精緻化する。

実証前の仮説

- | | |
|---|---|
| K | 伝搬損失が距離の2乗に比例する距離が0.1kmよりも長く、移動局高に比例する |
| S | 移動局が設置される集合住宅の階によって、市街地、郊外地、開放地の値を選択する |
| R | 集合住宅の建物侵入損失は、透過損失が厚さ10mmで2dB程度のガラス窓や構造が異なるベランダの影響を受け5dB~10dB程度になる |

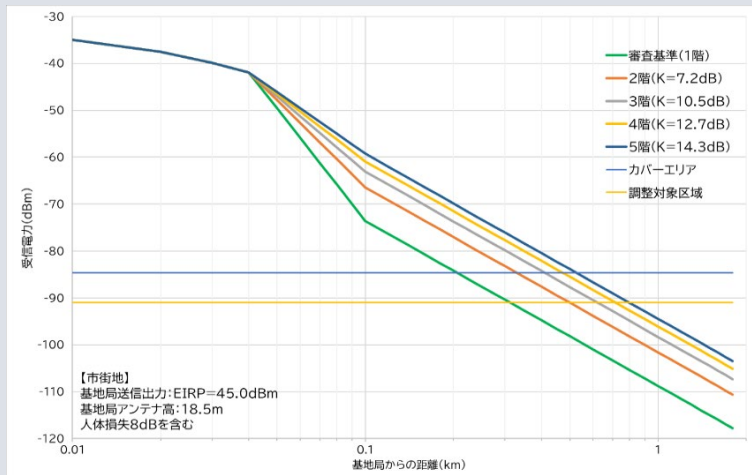


電波伝搬モデルの精緻化

実験結果と分析・考察

パラメータKの精緻化仮説

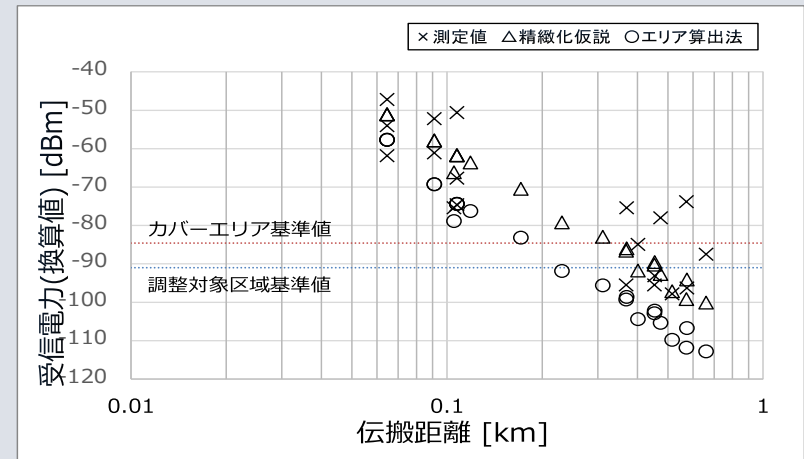
- 伝搬損失が距離の2乗に比例する距離が0.1kmよりも長く、移動局高に比例すると仮定し、Kの計算式を導出
- 精緻化仮説に基づく1階～5階の受信電力距離特性を算出(図は、ビル屋上基地局の例、以下同様)
- 測定値、精緻化仮説、エリア算出法の受信電力を比較
- 精緻化仮説により電波伝搬推定誤差が減少したため、この仮説は有効



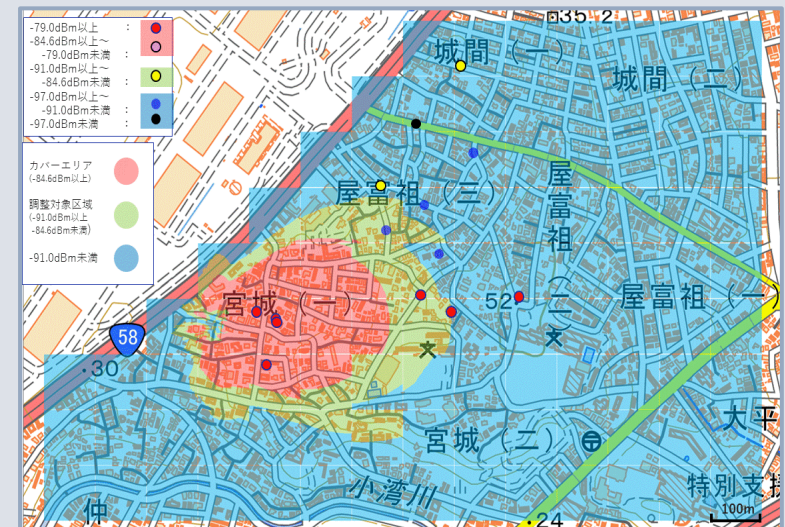
Kの精緻化仮説に基づく受信電力距離特性(1階～5階)

Kの計算式

影響要因	条件	K [dB]
移動局高	建物のn階に移動局を設置 (n = 1~5)	$15\log_{10}(2n-1)$



測定値、Kの精緻化仮説、エリア算出法の比較(4階)



測定値とKの精緻化仮説に基づくエリアとの比較(4階)

電波伝搬モデルの精緻化

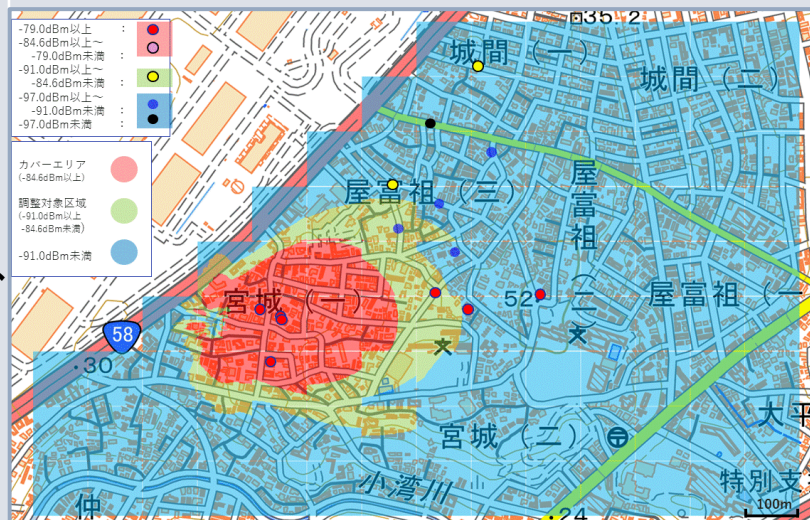
実験結果と分析・考察

パラメータSの精緻化仮説

- ビル屋上に基地局アンテナを設置する場合、階ごとの建物占有面積率によりSの値を選択
- 測定値と仮説に基づき計算した受信電力を比較
- 1階～3階は市街地、4階と5階は郊外地に相当すると判定することで測定値に対するRMSEの減少が確認でき、この仮説は有効

ビル屋上に基地局アンテナを設置する場合のSの値(2階～5階)

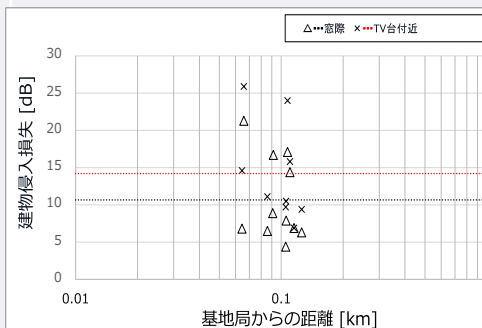
影響要因	条件	S [dB]
市街地	階ごとの建物占有面積率が10%以上の場所	0
郊外地	階ごとの建物占有面積率が2%以上、10%未満の場所	12.3
開放地	階ごとの建物占有面積率が2%未満の場所	32.5



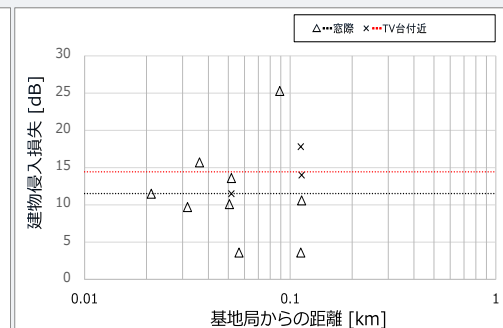
測定値とSの精緻化仮説に基づくエリアとの比較(4階)

パラメータRの精緻化仮説

- ベランダでの受信電力と、窓際及びTV台付近の受信電力より建物侵入損失を算出
- 建物侵入損失の平均値が窓際で12dB、TV台付近で13dBで、現行の16.2dBに比較的近く、精緻化は不要。5～10dBとなった場所も多かったが、ベランダに横から電波が到来して20dBを超えるケースも複数存在。



建物侵入損失(ホテル屋上基地局)



建物侵入損失(配電柱基地局)

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討 (課題実証)

ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証

課題実証の検証項目概要は以下の通りである。

- ① 応急復旧のためのハイブリッドキャストコネクト(ハイコネ)システムが有効に機能すること
 - ・ テレビIP配信の品質(遅延時間、画質主観評価)
 - ・ ハイコネ切替え操作の容易性(クリック数、切替反応時間)
 - ・ ハイコネ対応受信機のスマホ起動動作検証
- ② 応急復旧によるテレビ放送番組のIP配信が支障なく行われること
- ③ 災害発生時又は災害発生が予想される場合の緊急番組が効果的に提供できること
- ④ 平時・災害時を通してローカル5Gシステムによる高速インターネットサービスの提供が可能であること
- ⑤ スループット・伝送容量など、定量的評価についても一定の指標を設定し、評価・検証すること

ソリューションの有効性等に関する検証①-1

■ 実証概要

① 応急復旧のためのハイブリッドキャストコネクト(ハイコネ)システムが有効に機能すること

■ 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

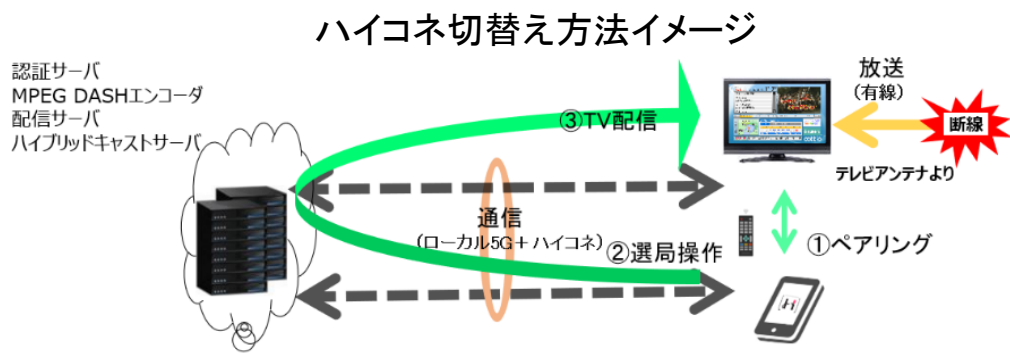
防災気象情報の収集から判断、対処(避難情報の発令)までの一連の流れを踏まえ検証実施。
基本シナリオは、地上放送の直接受信とケーブルテレビ受信の場合も同様である。

■ 実証環境

モニター17世帯で実証確認

■ 実証内容

- ・テレビIP配信の品質(遅延時間、画質主観評価)
- ・ハイコネ切替え操作の容易性(クリック数、切替反応時間)
- ・ハイコネ対応受信機のスマホ起動動作検証



操作から約8秒前後で切替わり

回数	切替操作&ch	切替わり時間(秒)		備考
		3Mbps	7Mbps	
1	OCN (RF→IP)	8.3	—	2022.02.18 測定
2	OTV (RF→IP)	—	8.4	
3	OCN (RF→IP)	8.6	—	
4	OTV (RF→IP)	—	8.5	
5	OCN (RF→IP)	8.5	—	
6	OTV (RF→IP)	—	8.5	

ソリューションの有効性等に関する検証①-2

RF放送からIP配信への切替操作性 機能検証結果

	項目	評価	結果
i	端末認証設定	○	モバイル端末のハイコネアプリから、以下のテレビまたはSTBと端末認証設定(ハイコネアプリと機器のペアリング)を確認。 <ul style="list-style-type: none"> ・Panasonic TH-43GX500(テレビ)、TH-40JX750(テレビ) ・Panasonic TZ-LT1500BW(STB) ・KDDI C02AS5(STB)
ii	端末認証にかかる時間	○	ハイコネアプリの操作により、端末認証(ハイコネアプリとテレビまたはSTBとのペアリング)が瞬時に行われることを確認した。
iii	IP配信への切替え	△	ハイコネアプリの操作で簡便にTVのIP配信切替ができることを確認。 ただし、IP配信受信中に、さらにハイコネアプリで他のchにIP配信への切替操作を行った際、極まれに切替できない事象が発生(原因究明中)。
iv	切替後のテレビ等の動作	○	テレビまたはSTB、およびモバイル端末動作の異常は認められなかった。
vi	オフライン時のモバイル端末の動作	○	モバイル端末がオンラインとなっていないときに、意図せず切替えされてしまうことはなかった。モバイル端末の他の操作も正常であった。
vii	RF受信復帰時のシステム等の動作	○	RF受信に戻った際に、システムや機器の誤動作は確認できなかった。

ソリューションの有効性等に関する検証②

■ 実証概要

② 応急復旧によるテレビ放送番組のIP配信が支障なく行われること

■ 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

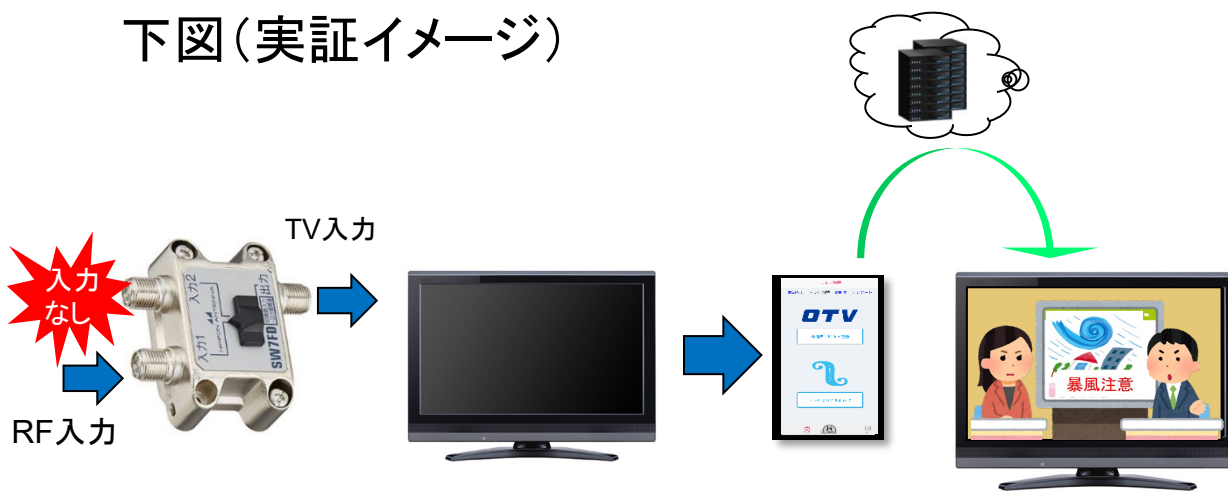
テレビ信号断となった際に、ユーザー自身で応急復旧操作を完結できるかどうかをモニター世帯に協力頂き検証

■ 実証環境

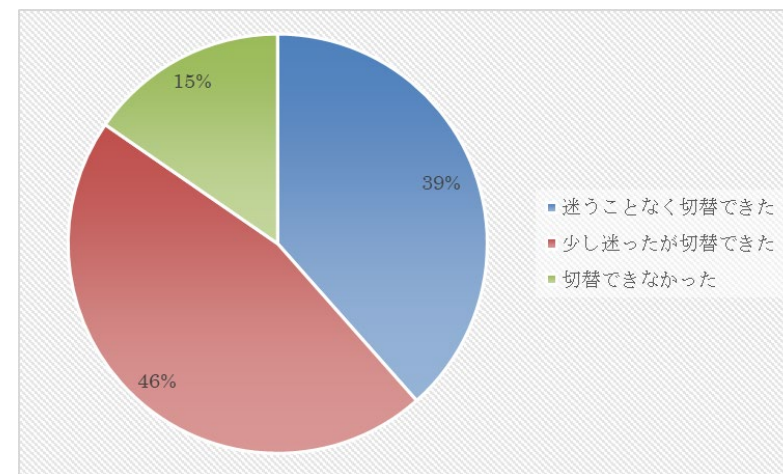
モニター17世帯に切替器、ハイコネ対応TV or STB、モバイル端末、テレビを設置

■ 実証内容

下図(実証イメージ)



ハイコネアプリによる切替え操作(モニター回答数13)



ソリューションの有効性等に関する検証③④

■実証概要

- ③災害発生時又は災害発生が予想される場合の緊急番組が効果的に提供できること
- ④平時・災害時を通してローカル5Gシステムによる高速インターネットサービスの提供が可能であること

■背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

- ・ OTVマスターからのローカル緊急放送訓練映像の送出
- ・ 浦添市役所から緊急放送訓練映像をOCN中継
- ・ テレビ放送をRF受信から、ローカル5GのIP配信に切り替えた場合に、それまで利用可能であったインターネット接続に影響がないか、情報提供内容と伝送レートを可変し実用的な速度を検証

■実証内容

浦添市からの緊急放送訓練映像

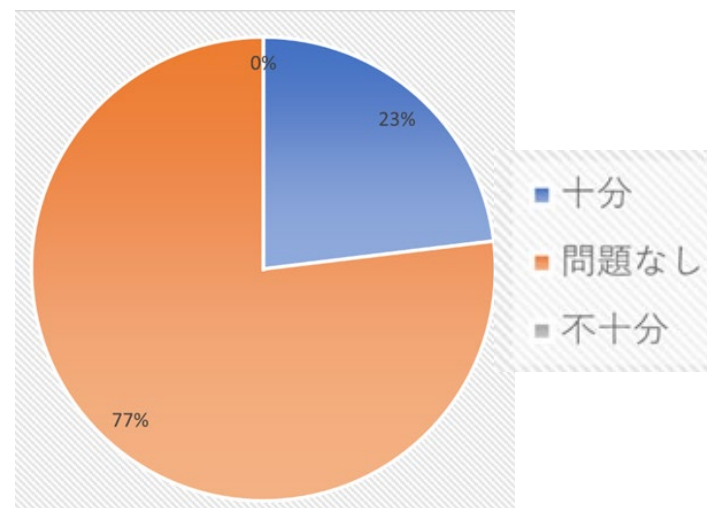


避難所情報の提示

緊急放送訓練

No.	名称	住所	電話番号	標高(m)	災害発生時の避難の適否		
					津波	高層	日時不明
①	織志小学校	仲間2-47-1	877-2064	101.3	○	○	○
②	仲西小学校	藤家祖2-32-1	877-2067	40.9	○	○	○
③	神森小学校	勢理者14-1	877-6380	26.1	○	○	○
④	満城小学校	伊祖2-13-1	877-3335	34.2	○	○	○
⑤	牧港小学校	牧港2-14-1	878-4142	20.6	○	○	○
⑥	当山小学校	当山2-34-1	877-7598	65.5	○	○	○
⑦	内間小学校	内間4-3-1	877-0369	25.4	○	○	○
⑧	徳川小学校	城間4-37-1	879-1974	31.2	○	○	○
⑨	宮城小学校	宮城3-7-3	879-5312	20.6	○	○	○
⑩	沢城小学校	沢城988	879-3238	80.7	○	○	○

避難情報画面の表示は、避難を判断するには十分な情報だったか(モニター回答13)



ソリューションの有効性等に関する検証⑤

■実証概要

⑤スループット、伝送容量など、定量的評価についても一定の指標を設定し、評価・検証すること

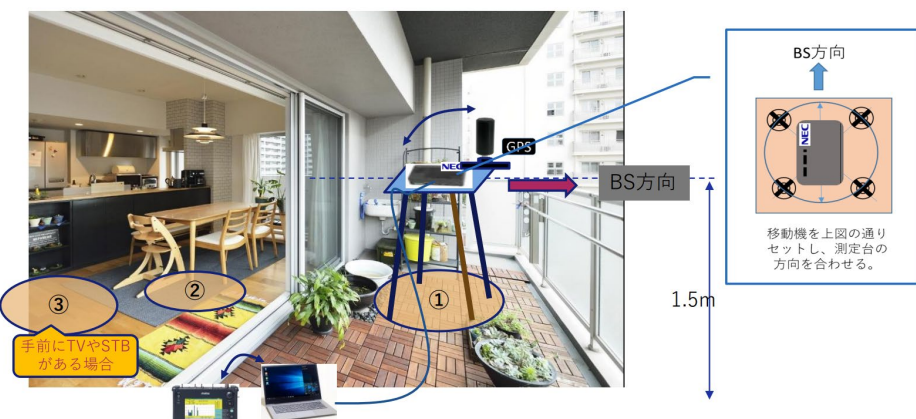
■背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

正確なスループット測定にあたり、測定端末以外の端末を全てオフにして測定

■実証環境

モニター17世帯へのL5G端末設置時に3ヶ所の測定を実施

■実証内容



設置場所		①ベランダ		②窓際		③TV台付近	
	部屋番号	RSRP (dBm)	下り速度 (Mbps)	RSRP (dBm)	下り速度 (Mbps)	RSRP (dBm)	下り速度 (Mbps)
1	S2階	-90.4	158.8	-94.8	158.1	-100.1	147.2
2	S3階	-78.8	159.1	-95.5	158.9	—	—
3	S4-1階	-79.4	159.6	-88.3	159.8	—	—
4	S4-2階	-77.8	158.8	-101.8	154.7	-94.9	159.3
5	S6階	-85.4	159.8	-99.8	158.7	-101.2	117.5

ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

1. ローカル5G受信端末

モニター宅に設置したローカル5G受信端末は防水非対応の為、ベランダ設置ではプラスチックケースでカバーした仮設置を行なった。Wi-Fi機能は部屋内まで到達しており、一体型端末の利便性は高い。商用利用に際しては、ベランダに固定設置できるケースの開発ないし防水性能の受信端末が必要。

2. ハイコネアプリの利便性

現状のハイコネアプリはローカル5G受信端末のIPアドレスが変更となるとペアリングがリセットされてしまう為、ペアリングの再設定ができないモニター参加者もいた。ハイコネアプリ実用化にあたってはアプリ実装面で対策が必要。

3. ハイコネ対応受信機の普及

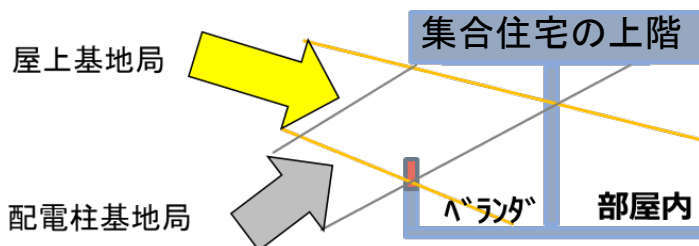
テレビのハイコネ対応機種は少ない。又、機能実装していてもハイコネ技術仕様においてRF信号断における利用が想定されておらず、機種間で異なる動作があった。今回の課題実証の使い方の有用性を広く業界及びハイコネ技術仕様を定めたIPTVフォーラム等で報告し普及展開を活動する。

4. ローカル5Gエリアカバー

屋上基地局から集合住宅等のベランダが見通せる場所においては、受信電力が高くローカル5Gの高速性が発揮できる良好結果を得た。平屋建て住宅が多い一般住宅エリアでは、配電柱基地局の見通し距離までが良好なエリアでカバー範囲が狭い。集合住宅向けのスポット利用として配電柱活用は有効と考える。

5. ローカル5Gシステムのチューニング・拡張

5Gコア設備との通信断が発生した時に一時的に5Gコアを利用する監視・登録・変更などの機能を縮退してもローカル5G受信端末のネット利用はフェイルセーフ機能で維持したり、一時的なGPS断が発生しても自走したりするシステムチューニングが必要。



L5G電波の直進性が強い為
ベランダ(屋外)設置
できる端末が必要

ローカル5G活用モデルの検証結果

- 台風災害を想定したRF信号断となる環境下で、受信機によるハイコネ動作の起動に差異発生（規格の運用想定外で定めがない）。
今後のハイコネ普及を見据え、広く業界及び規格策定団体であるIPTVフォーラムに今回の実証結果を報告し、統一的なベンダー実装を促したい。
- ハイコネアプリの使い勝手に課題はあるものの、災害時にハイコネを利用してローカル5Gで緊急番組が配信できる本ソリューションはモニター世帯に一定の評価を得て有効と考えられる。
アプリの使い勝手を改良した上で、サービス利用については別途検討する。
- ローカル5Gの集合住宅向けFWAは、所要性能に近いスループットが得られ、モニター評価（有償利用意向）も良好であった。
特に、高い場所に設置した屋上基地局から、南側に面したベランダを見通せる集合住宅は高速FWAとしての活用が期待できる結果を得た。

ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

1. 技術面

(1) システム

監視/フェイルオーバー	FWAサービスを前提としたコア接続機能とシステムチューニング	ベンダー対応中
同時接続数	経済性を鑑みたRU接続端末数の拡大	ベンダー対応中
IPv6対応	IPマルチキャスト技術を利用した放送サービスへの展開	改修要望

(2) ハードウェア

端末	屋外設置型による複数住戸の同時収容・量産効果による価格低下を期待	調査継続
エリア設計	技術実証結果を受けたサービスエリア設計ノウハウの蓄積	継続実施

2. 運用面

(1) 制度

隣接地の制度整理	他者土地隣接の自己土地における優先順位の扱い	制度改正
----------	------------------------	------

(2) サービス

権利処理	ハイブリッドキャストでのテレビ放送番組同時配信における権利処理	調査継続
多数同時配信	IPマルチキャスト放送による伝送帯域を効率利用するサービス提供	調査継続

(3) アプリケーション

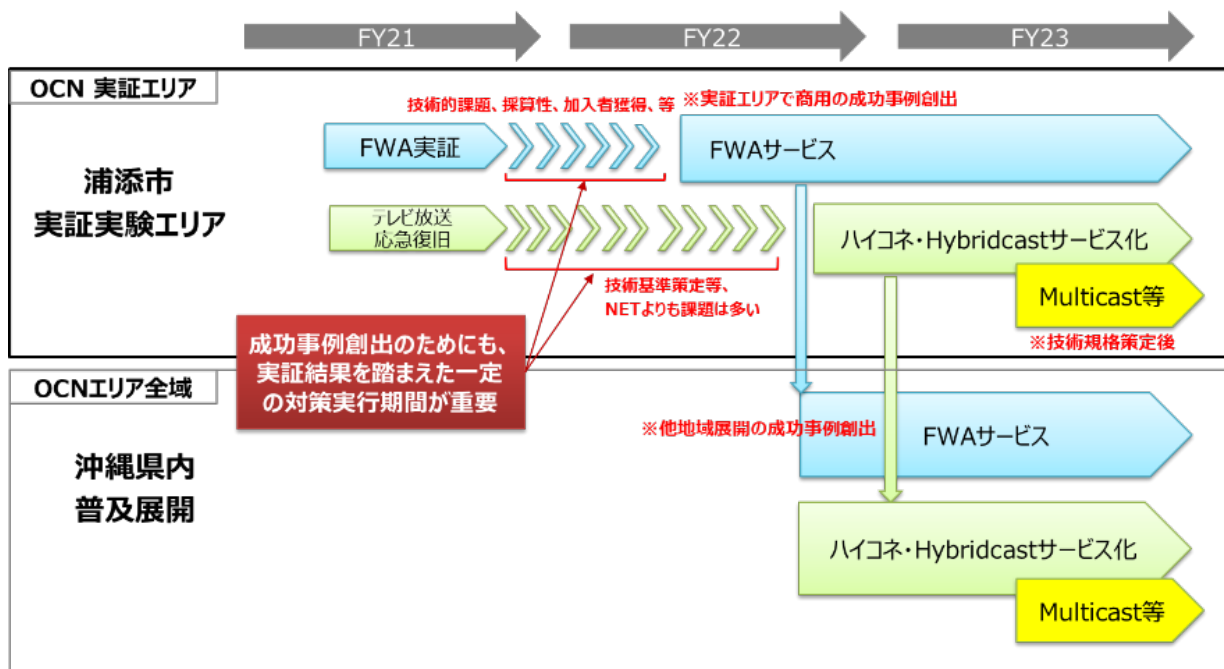
ハイコネの普及	ハイコネ対応テレビの普及、放送事業者による活用促進と連携	検討中
認知度の向上	アプリ機能の拡充(平常時に利用習慣化できるサービスの導入・自局アプリとの統合)	検討中
将来拡張	放送エリアを超えたサービス提供の可能性検討	調査継続

継続利用・実装計画

有償利用への商用移行は、ネットワークの安定性等の対策実行したうえで行うこととし、当面は有償で継続意向を希望するモニター世帯に対してサービスを継続しながら、システム安定化後にFWAの商用サービス開始を行う計画である。

また、ハイコネによる災害時のユーザー操作によるテレビ応急復旧については、その有用性は確認できたことから、アプリの使い勝手を改良したうえでサービス利用を別途検討する。

来年度以降の実装・普及展開のロードマップは下記の通り。



まとめ

まとめ

- ✓ 台風等自然災害時によるテレビ放送の受信障害の場面において、ユーザー自身の手元のアプリによりローカル5Gを活用したIP配信へ切替え、TV視聴を応急復旧するシステムを構築した。また、共用型FWAサービスモデルとして高速インターネット接続提供も行った。
- ✓ モニタ17世帯への利用者アンケートやシステム機能試験等により、本システムの有効性及び課題抽出を行い、実装に向けた各種方策を検討した。
- ✓ 集合住宅における端末利用環境における電波測定を実施し、仮説と実測の比較により電波伝搬モデルの精緻化を検討した。
 - パラメータK仮説: 建物のn階に移動局を設置したとき、 $K=15\log_{10}(2n-1)$ として計算することとし、2階以上で測定値に対するRMSEの減少が確認でき、本精緻化仮説は有効。
 - パラメータS仮説: ビル屋上に基地局アンテナを設置する場合に、階ごとの建物占有面積率を計算し、1階～3階は市街地、4階と5階は郊外地に相当すると判定することで測定値に対するRMSEの減少が確認でき、本精緻化仮説は有効。
 - パラメータR仮説: 建物侵入損失の平均値が窓際で12dB、TV台付近で13dBで、現行の16.2dBに比較的近く、精緻化は不要。5～10dBとなった場所も多かったが、ベランダに横から電波が到来して20dBを超えるケースも複数存在。