

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

高速道路上空の土木建設現場における、安全管理のDX化に
求められる超高精細映像転送システムの実現

成果報告書概要版

令和4年3月25日

清水建設株式会社

実証概要

実証の背景・目的

<p>実証の背景</p>	<p>本実証の対象となる建設現場は、10万台/日の交通量のある供用中の高速道路上空で工事を行うものである。通常の安全衛生管理に加えて、第三者災害による影響をゼロに抑える極めて細心の安全管理が求められるものである。工事監督者のみならず、作業員自身が常に高い緊張状態を維持する必要がある、工事の受発注者が一体となった、安全管理DXの実現を目指している。</p>
<p>実証の目的</p>	<p>「安全管理のDXに求められる超高精細映像伝送システム」の実現 建設工事の受発注者間において超高精細映像データによる共時空間性を確保し、建設現場における安全性向上や管理業務効率化への効果を検証する。</p>
<p>課題</p>	<p>山間部等の立地条件・工事進捗により変化する現場環境に対応可能な映像取得と安定通信</p>

デジタル安全支援システムの将来像

- ①リアモーション(リアルタイムモニタリングステーション)による共時空間性の確保
- ②低遅延、高精細画像による、ストレスフリー遠隔安全臨場(新三現主義)の確立
- ③個人とハザードの関係を常時デジタル評価し、リスクレベルの低減を促す自律型の支援システム

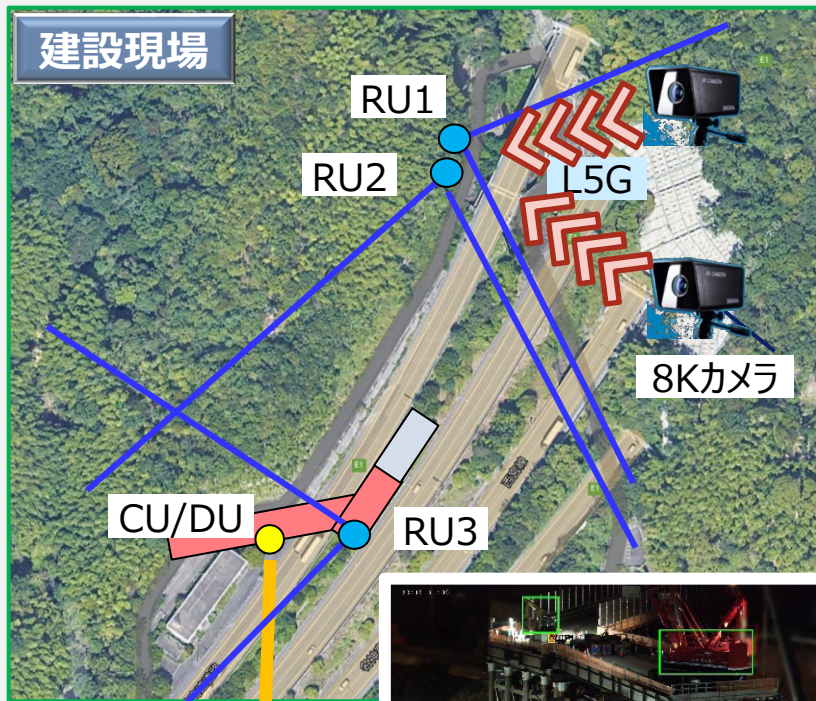
国土交通省によるインフラ分野のDXの推進

- ・ 新型コロナウイルス感染症対策を契機とした非接触・リモート型の働き方への転換と抜本的な生産性や安全性向上を図るため、5G等基幹テクノロジーを活用したインフラ分野DXを強力に推進。
- ・ 現場、研究所と連携した推進体制を構築し、DX推進のための環境整備や実験フィールド整備等を行い、3次元データ等を活用した新技術の開発や導入促進、これらを活用する人材育成を実施。



実証の概要

- 高速道路上空の土木建設現場にローカル5G環境を構築し、8Kカメラによる超高精細映像を活用したリアルタイムモニタリング技術により、建設現場におけるリスク発見・回避の早期化・遠隔化を実証



- [技術実証]
- ・ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定
 - ・電波伝搬モデルの精緻化
 - ・準同期TDD追加パターン開発

- [課題実証]
- ・8K超高精細映像伝送(8K30fps)
 - ・8K映像リアルタイムAI検出+誘目表示
 - ・複数端末への同時映像配信(2K)

8K映像配信

サーバー

8K映像配信・解析PF



AIリアルタイム解析

人や建設機械の注目領域に誘目
同時にアクセス、各所望領域を監視

切り出し映像 (2K)

- ・モニターの指定領域
- ・AIによる選択領域(群衆など)
- ・全体範囲

遠隔地
(事務所、現場など)



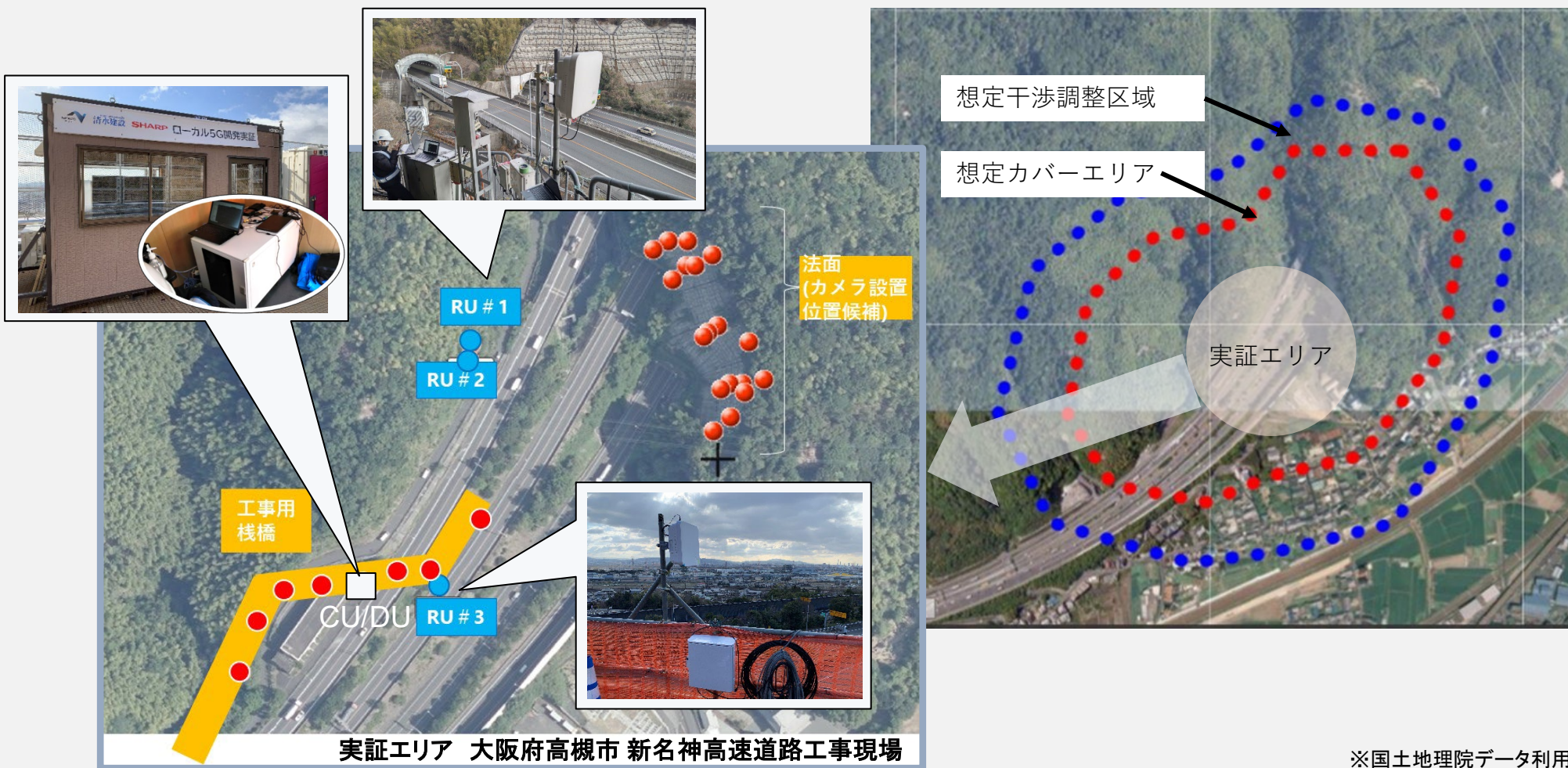
モニタリング端末

図：全体システムイメージ

実証環境の構築

実施環境

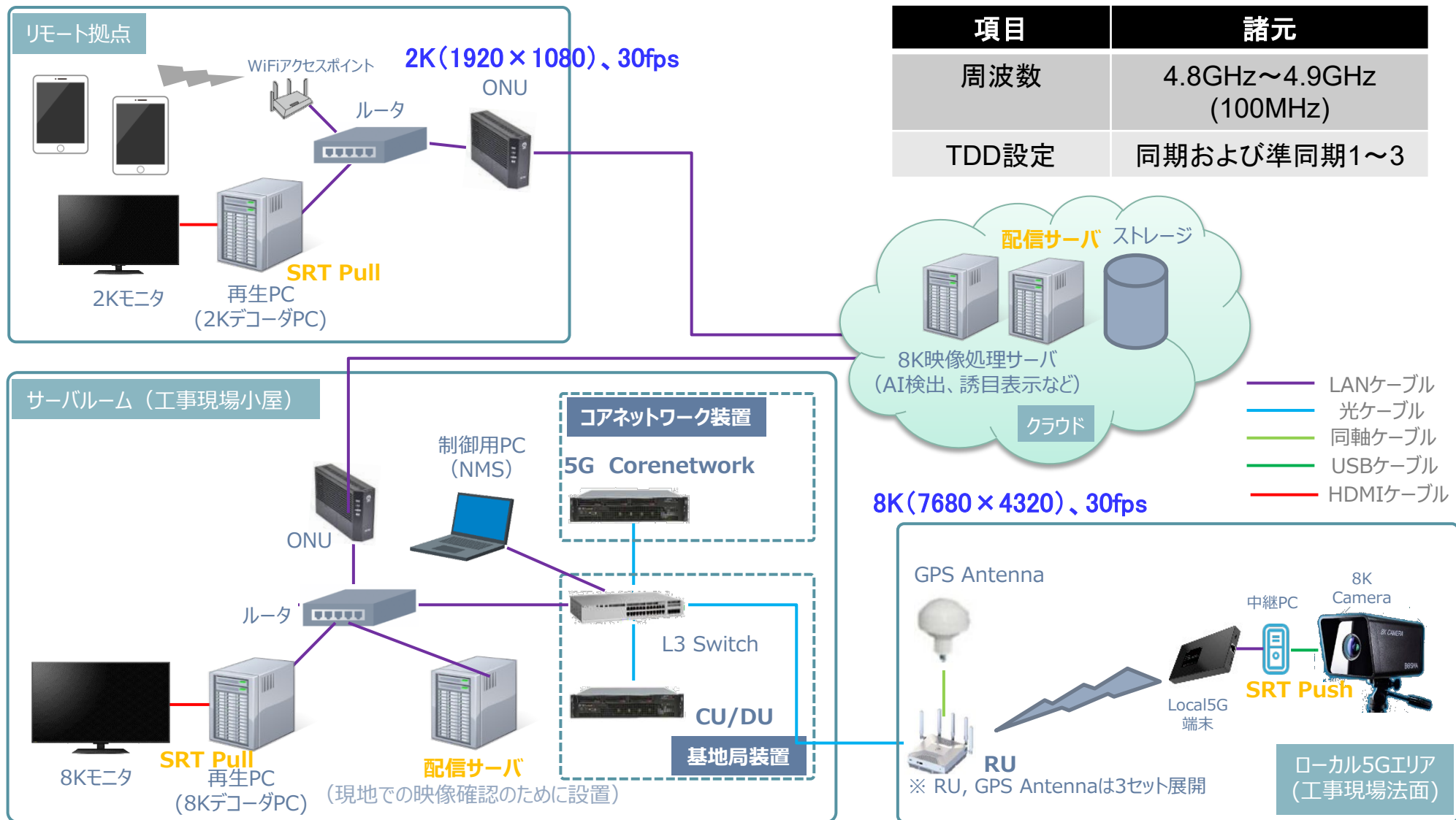
工事現場を俯瞰撮影する超高精細カメラの設置位置に柔軟性を持たせるため、3つのRUを設置し、広い通信エリアを構築



※国土地理院データ利用

図：実証通信エリア

ネットワーク・システム構成



図：ネットワーク・システム構成

ネットワーク装置(ベースバンドユニット(CU/DU))

表： ベースバンドユニット諸元

項目	諸元
製造ベンダ	シャープ(試作機)
台数	1台
設置場所	屋外
同期/準同期	同期/準同期
周波数帯	4.7GHz 帯
対応仕様	3GPP Release 15
SA/NSA	5G SA (Standalone)
チャンネル帯域幅	100MHz (DL/UL)
中心周波数	4.85GHz (DL/UL)
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2
TDD 設定	同期対応 (DDDSUUDDDD) 準同期対応 (DDDSUUUDSUU) 準同期 2(DDSUUUDSUU) 準同期 3(DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
変調方式	AMC(最大 256QAM)
遅延	10ms 以下
RAN 方式	1BBU に 3RU 接続(3セル化)可能
接続ユーザ数	384 / 1BBU (128 / RU)
ハンドオーバー	RU 間サポート (Intra frequency HO) *Inter frequency HO については非サポート
優先制御	5GQI 2, 9 に対応
インタフェース	バックホール : NG フロントホール : O RAN 標準規格(option 7.2)
外形寸法	約 446(W) x 711(D)x 87(H) mm
重量	約 30kg

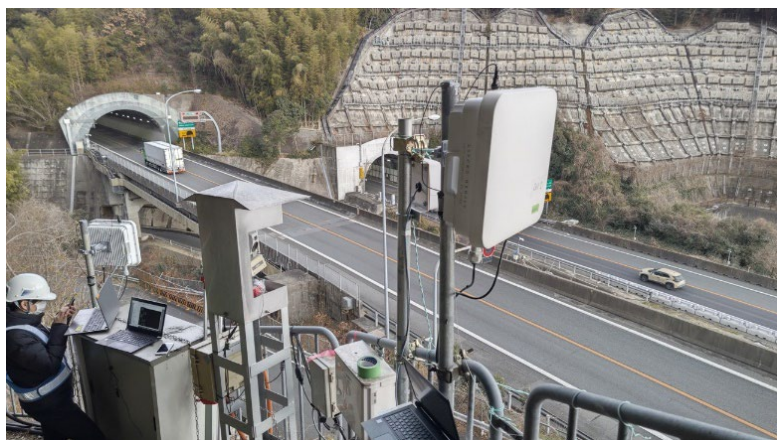


図： ベースバンドユニットの設置状況

ネットワーク装置(RUおよび端末装置)

表： RU諸元

項目	諸元
製造ベンダ	シャープ(試作機)
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
対応バンド	N79 (4.8 - 4.9GHz)
使用周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2 (8T8R)
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
最大空中線電力	24dBm/port
最大 EIRP	44dBm
接続ユーザ数	128
フロントホール	O RAN 標準規格(option 7.2)
時刻同期方法	PTP (IEEE1588v2)
外形寸法	約 389.6(W) x 389.6(D) x 134.9(H) mm
重量	約 12kg



図： RUの設置状況

表： 端末諸元

項目	諸元
製造ベンダ	シャープ(試作機)
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone) / NSA (Non standalone)
対応周波数帯	n79 (4.6 - 4.9GHz) :NSA, SA n257 (28.2 - 29.1GHz) :NSA
チャンネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	n79:下り 4×4 / 上り 1×1 n257:下り 2×2 / 上り 2×2
変調方式	n79 : 下り 256QAM / 上り 256QAM n257: 下り 64QAM / 上り 64QAM
通信速度	下り最大約 3Gbps / 上り最大約 600Mbps
最大空中線電力	23dBm
TDD 設定(n79)	同期対応 / 準同期対応
入出力端子	2.5G BASE T ×1 / USB 3.0(Type C) ×1
外形寸法	約 157 × 84 × 16mm
重量	約 270g



図： 端末装置

無線局免許

表：ローカル5G実験試験局(基地局相当)

無線局の種別	実験試験局	免許の番号	近実第 4857号 ~ 近実第 4859号
免許の年月日	令 3.12.17	免許の有効期間	令 4.10.31まで
無線局の目的	実験試験用	運用許容時間	常時
通信事項	実験、試験又は調査に関する事項(アルゴスシステムデータ伝送に関する事項、教育に関する事項を除く。)		
通信の相手方	免許人所属の実験試験局		
無線設備の設置場所又は移動範囲			
常置場所	大阪府高槻市神内 新名神高速道路梶原トンネル工事現場 高槻高架橋		
移動範囲	大阪府高槻市内 新名神高速道路梶原トンネル工事現場 高槻高架橋及びその周辺 千葉県千葉市美浜区中瀬1-9-2 シャープ幕張事業所構内(屋内)		
電波の型式、周波数及び空中戦電力			
99M7X7W 4849.86 MHz			

表：ローカル5G実験試験局(陸上移動局相当)

無線局の種別	実験試験局	免許の番号	近実第 4860号 ~ 近実第 4864号
免許の年月日	令 3.12.17	免許の有効期間	令 4.10.31まで
無線局の目的	実験試験用	運用許容時間	常時
通信事項	実験、試験又は調査に関する事項(アルゴスシステムデータ伝送に関する事項、教育に関する事項を除く。)		
通信の相手方	免許人所属の実験試験局		
無線設備の設置場所又は移動範囲			
常置場所	大阪府高槻市神内 新名神高速道路梶原トンネル工事現場 高槻高架橋		
移動範囲	大阪府高槻市内 新名神高速道路梶原トンネル工事現場 高槻高架橋及びその周辺 千葉県千葉市美浜区中瀬1-9-2 シャープ幕張事業所構内(屋内)		
電波の型式、周波数及び空中戦電力			
99M7D1A, 99M7D1B, 99M7D1C 99M7D1D, 99M7D1F, 99M7D1X, 99M7D1W, 99M7G1A, 99M7G1B, 99M7G1C, 99M7G1D, 99M7G1F, 99M7G1X, 99M7G7W 4849.86 MHz 200mW			

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 (1/2)

実証目標: 建設現場における上りリンクでの超高精細映像伝送の実現の確認

表: ソリューション所要品質

想定ソリューション	所要品質
超高精細8K解像度の 超高精細映像伝送	所要最大スループット: 120Mbps (上りリンク/アプリケーションレイヤ) 所要遅延時間: 200ms (上りリンク/通信区間)

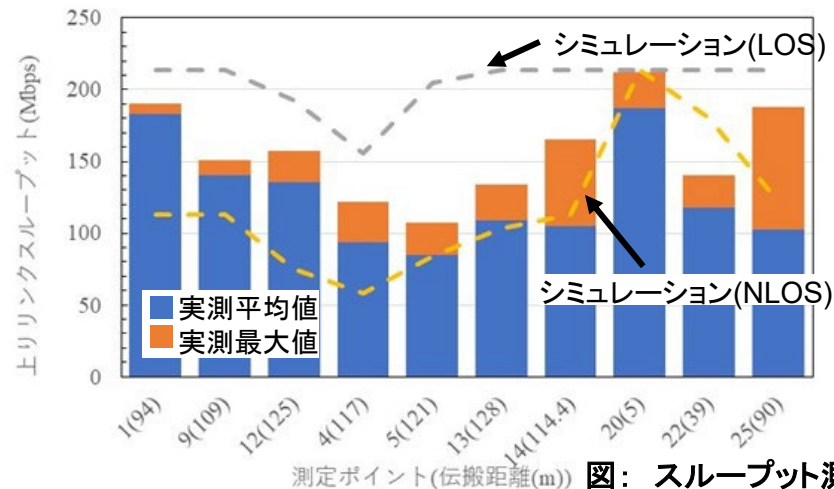


図: スループット測定結果

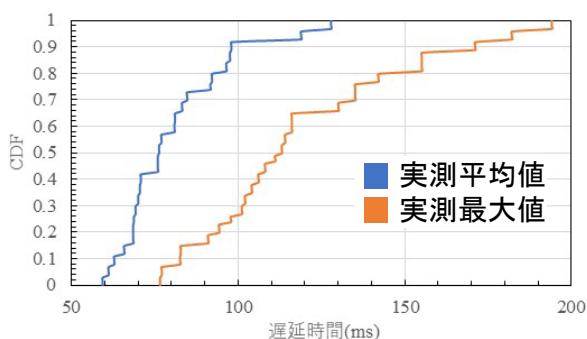
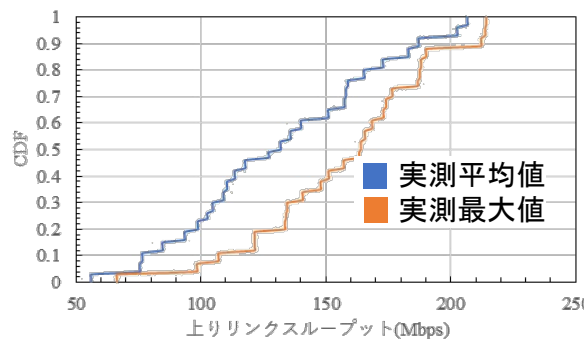
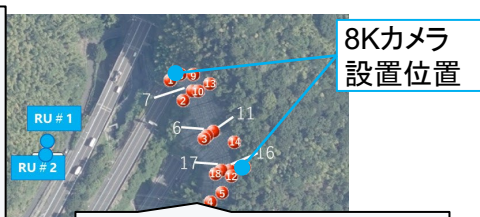


図: 累積分布の様子



8Kカメラ
設置位置



図: 測定の様子



図: 現地での8K映像伝送の様子

- 8Kカメラ設置位置を中心に、通信エリア内の約80%の領域にて、平均100Mbpsおよび最大120Mbpsの上りリンクスループットの達成を確認 → 受信電界強度に比して選択される変調方式が低い地点があり、100%の達成にはリンクアダプテーションのアルゴリズム改良が必要
- 遅延時間については、全測定ポイントにおいて通信区間で200ms未満を確認

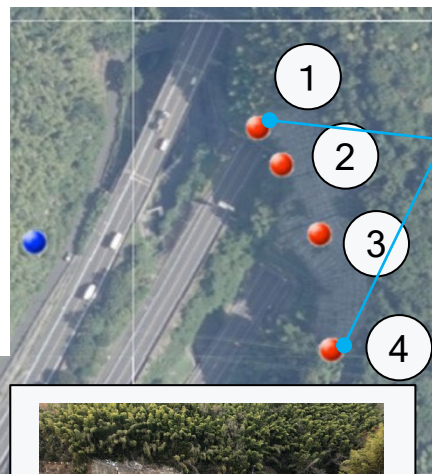
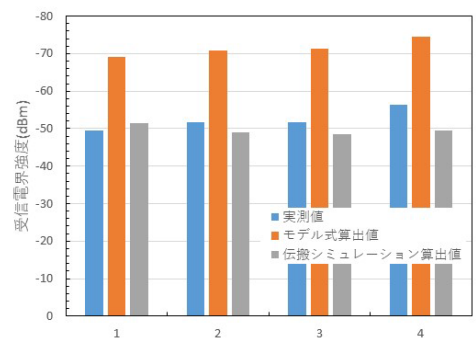
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 (2/2)

実証目標①

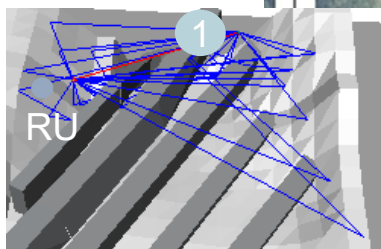
- ・建設現場における電波伝搬特性を明確にし、ソリューション実現の問題点を明確にする。
- ・周辺丘陵や重機などの影響により、受信電界強度が低下する可能性が考えられる
 - ・カメラ設置付近は見通しの伝搬路環境となり、比較的安定した受信電界強度が得られる結果となった
 - ・一方、栈橋エリアにおいては、重機・車両の影響は確認されたが、極端な品質低下は発生しない結果となった
 - ・3RUによっていわゆる不感地帯は発生していない

実証目標②

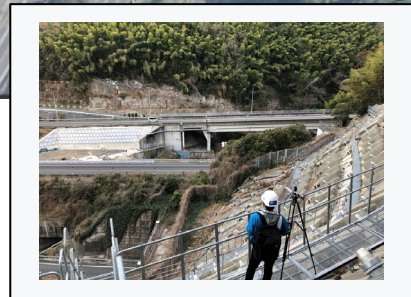
- ・モデル式によるカバーエリア端の実測を行ない、モデル式の妥当性を確認するとともに、乖離がある場合には、実測によるカバーエリアを確認し、乖離原因を明らかとする
 - ・当初想定カバーエリアに対して、実測されたカバーエリアには乖離が存在することを確認
 - ・試験現場と周辺エリアとで30m以上の標高差が存在していることが原因と推定される
 - 精緻化検討において本内容も検討



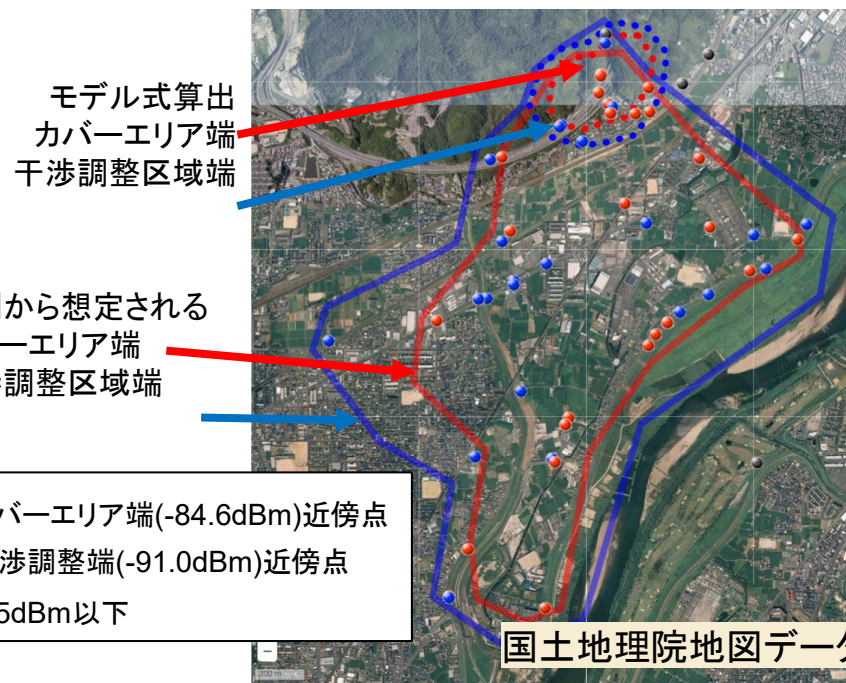
8Kカメラ
設置位置



測定ポイント1のレイトレースの様子



図：測定結果(一部抜粋)



図：カバーエリア端と干渉調整区域端

技術実証I: 電波伝搬モデルの精緻化

実証目標: 実証試験における丘陵・植生・重機・建造物の影響を踏まえ、精緻化対象パラメータSの選択基準の詳細化およびパラメータKの定量化を行なう

実証前仮説:

- ・遮蔽物の影響によりKは-5dB程度
- ・Sは開放地よりは若干郊外地寄りの値
 - ・重機/植生の影響によりKは-8dB程度、一方で、Sは開放地相当が妥当(伝搬損失式の誤差は1.3dB程度(中央値))
 - ・基地局アンテナ高や移動局位置が比較的高い位置に設定されたためと考えられる。アンテナ位置と影響物との高度差に注意する必要があると考えられる



図: 測定風景

表: パラメータK, Sの影響要因と条件

影響要因	条件	K [dB]
重機・植生	測定点周辺に散在する状況	-8

影響要因	条件	S [dB]
開放地	周辺は郊外地と考えられる地方都市の環境であっても、基地局アンテナ高や移動局位置が重機・植生等の遮蔽物よりも比較的高い位置に設置される場合	32.5

本試験環境が周辺エリアに対して標高が高く、その影響を考慮した精緻化についても検討を実施

→アンテナ設置位置と、測定位置とで標高差が大きい場合、アンテナ地上高が高い場合と同等の利得が発生する。この影響をSで考慮すると57.1dB程度が妥当という結論。本事象のSによる補償の妥当性については、同等環境での評価がさらに必要

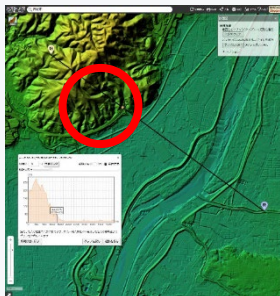


図: 試験環境周辺の標高差の様子

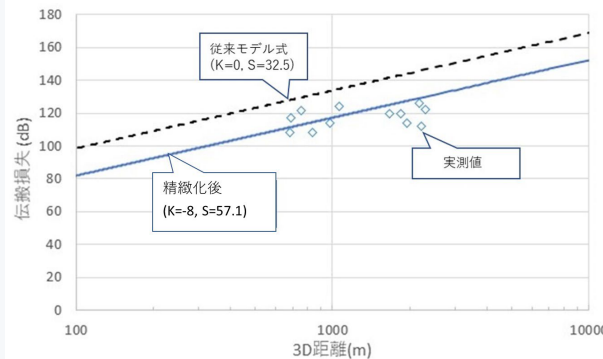


図: 精緻化の検討

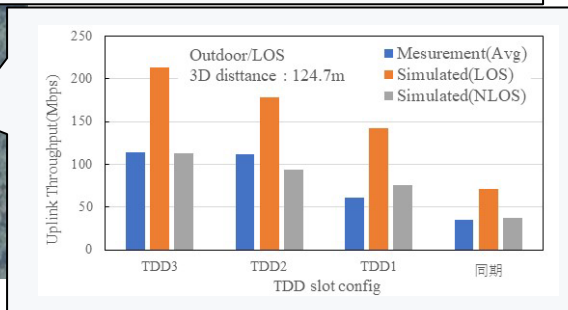
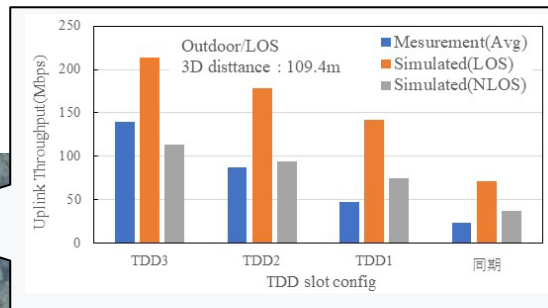
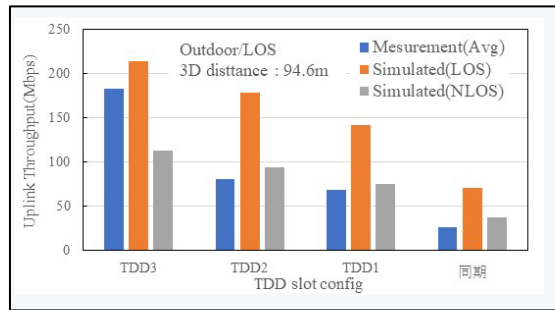
表: パラメータSの影響要因と条件

影響要因	条件	S[dB]
標高	通信エリアと通信エリア外(離隔距離500m以上)において、標高差が30m以上ある場合	57.1

→精緻化後の伝搬損失式の誤差は3.45dB(中央値)

技術実証III：準同期TDDの追加パターンの開発

実証目標①：追加TDDパターンによる、上りリンクスループットの改善効果の実機による確認



TDD追加パターンの導入が上りリンクスループット改善に直接寄与することを確認



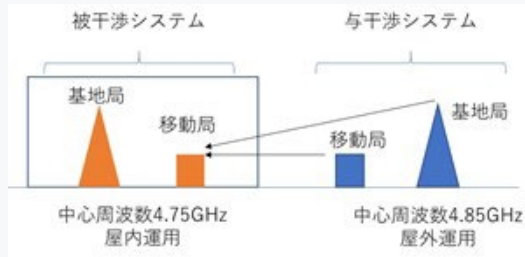
映像伝送をベースとするソリューションの実現にTDD追加パターンの制度化は極めて有効

図：各TDDパターンのスループット測定結果

実際のカメラ設置位置が含まれる法面において実測を実施

実証目標②：キャリア5G/ローカル5Gとのシミュレーションに基づいた共用検討条件を明確化

→建設現場においては、伝搬損失が増加することから、共用条件は緩やかとなることを想定



図：評価シナリオ一例

表：共用検討結果(シミュレーション計算値)

モデル	帯域内干渉			帯域外干渉		
	与干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)	所要離隔距離 (m)	与干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)	所要離隔距離 (m)
基地局 → 移動局	-110.32	0.67	12	-57.3	-17.32	-
移動局 → 移動局	-108.31	2.68	1.37	-55.3	-15.31	-

精緻化後モデル式(標高差は考慮しない)においても、所要離隔距離が発生し、移動局⇄移動局の与干渉の影響が大きい。基地局のアンテナ向き等の設計対策に加えて、移動局運用エリアの制限のような運用上の対策が必要となる可能性がある

→今回試験環境では他システムと近接状態ではないため、共用可能。

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)

実証概要

本実証において、L5Gを用いた土木建設現場に要求される
超高精細映像伝送システムを開発

土木建設現場における映像伝送システムへの要望

- ・リアルタイムモニタリングによる共時空間性の確保
- ・低遅延、超高精細映像による、ストレスフリーな遠隔安全臨場
(新三現主義)の確立
- ・個人とハザードの関係を常時デジタル評価し、リスクレベル
の低減を促す自律型支援システムの確立

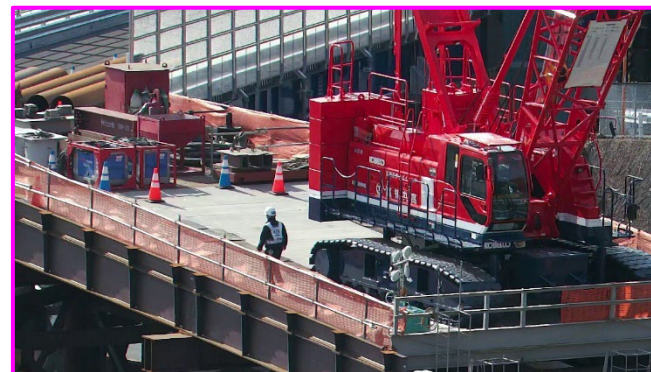
<土木建設現場への「8K+L5G」適用によるメリット>

8K超高精細・広範囲の撮影映像伝送

- ・少ないカメラ台数で広範囲をリアルタイムに監視
- ・切り出し映像配信により、複数の監視者それぞれが所望の
領域を同時に監視
- ・超高精細映像に基づくAI検出処理・誘目表示

L5Gによる高速・大容量通信

- ・商用5Gエリア外の山間部でも安定的な映像伝送
- ・工事進捗に合わせたフレキシブルなカメラ配置・レイアウト



図：切り出した部分拡大映像(2K)



図：8K超高精細カメラによる広範囲映像



8K

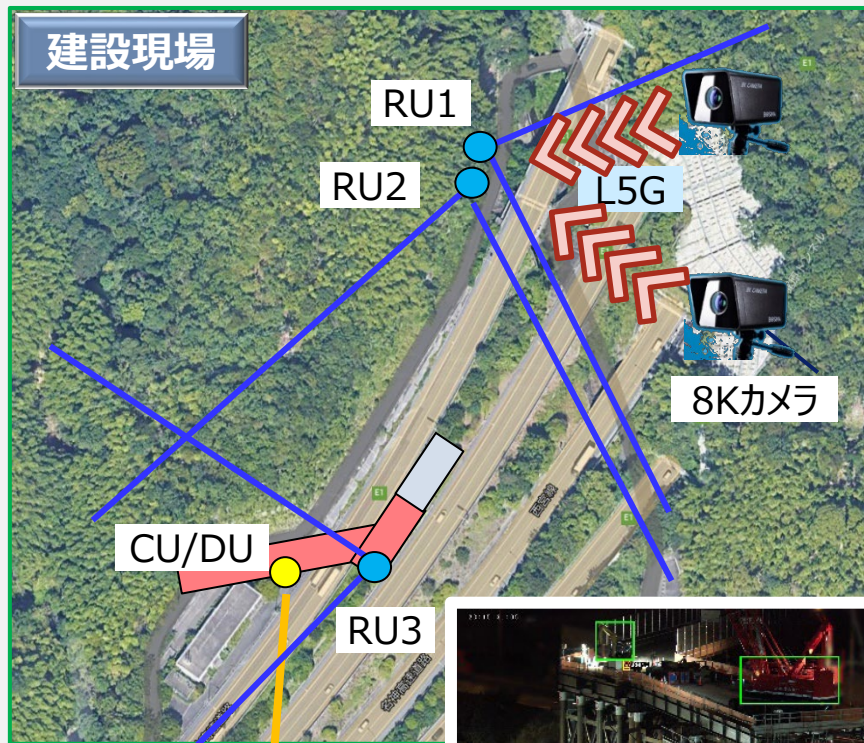
4K

2K

図：広範囲(同一範囲)を各解像度で撮影した場合の比較

背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

遠隔から監視可能な超高精細映像伝送システムを開発し、現場関係者による効果検証を実施



目標設定したシステム要件

- ・8K超高精細映像伝送 (8K30fps)
- ・8K映像リアルタイムAI検出+誘目表示
- ・広範囲撮影映像から切り出しによる所望領域の監視
- ・複数端末への同時映像配信 (2K)



切り出し映像 (2K)

映像配信 (2K)

- ・切り出し範囲
- ・全体範囲

同時にアクセス、各所望領域を監視

遠隔地(事務所、現場など)



モニタリング端末

サーバー



8K映像配信・解析PF

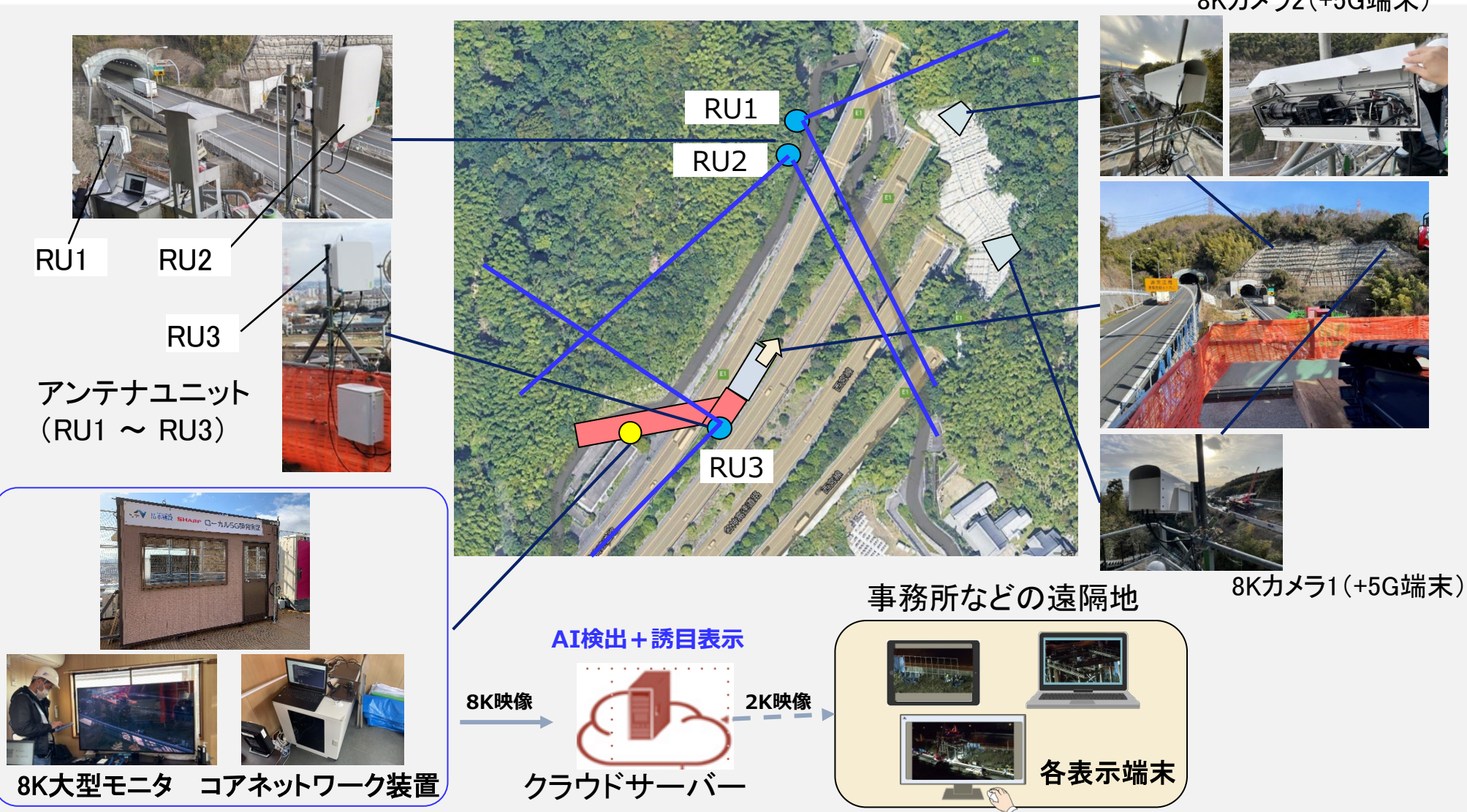


AIリアルタイム解析 (8K)

図：課題実証ソリューション概要

実証環境

対象とする高速道路上の建設現場周辺に実証システムを構築

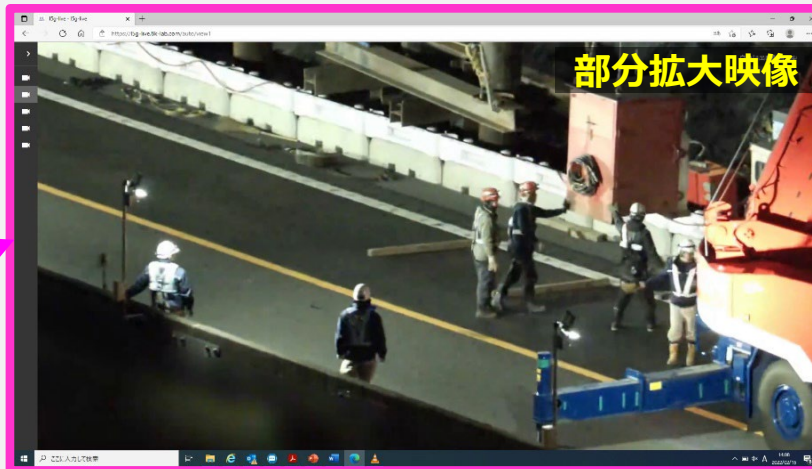


図： 機器設置構成

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

クラウドサーバーから建設現場の広範囲映像や部分拡大映像を配信して検証(配信映像は2K)

クラウドサーバーには表示端末からWebブラウザでアクセス



①ユーザ指定箇所切り出し ②AI検出に基づく自動切り出し

AI検出の対象

- ・作業員(人)
- ・建設機械
 - クレーン本体部
 - 大型トラック
 - 油圧ショベル



建設現場の撮影画像から
学習モデルを作成

AI検出 + 誘目表示例

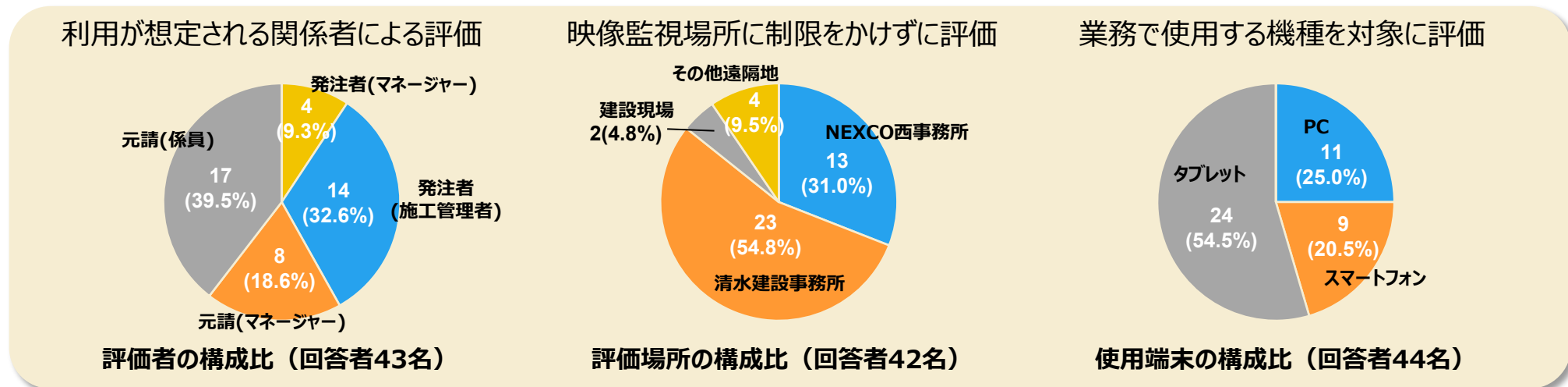


人と建設機械の位置が近い場合には警告表示

図: ソリューションの有効性の説明

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

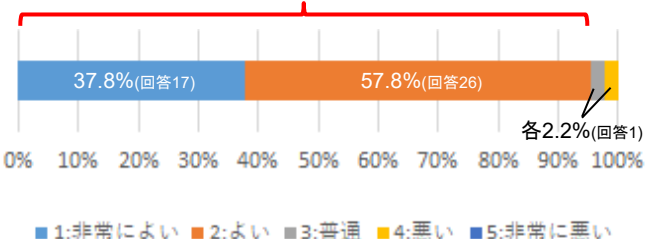
実際の運用に近い環境にて、建設現場関係者の主観評価によってソリューションの有効性を検証



図： 評価環境

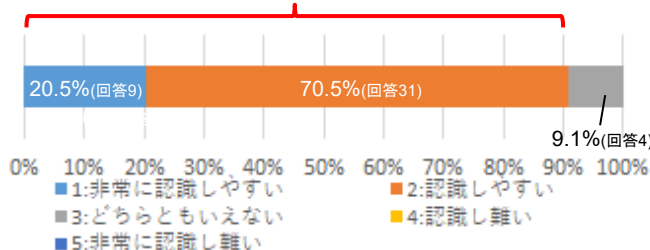
任意領域の部分拡大表示機能
(回答者45名)

96%が所望領域を確認できてよい



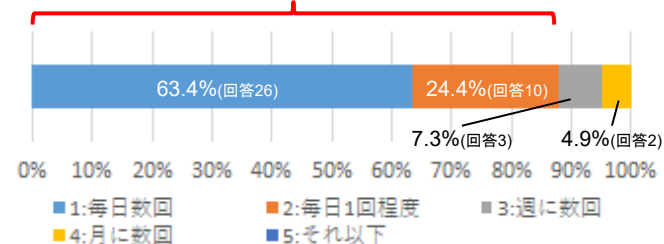
AI検出による誘目表示
(回答者44名)

91%が作業状況を認識しやすい



本ソリューションを導入した場合の利用頻度
(回答者41名)

88%が毎日利用したい



図： 主要機能や今後の活用に関する主観評価結果の例

(評価結果は未回答は含まない)

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

表示機能、映像品質、用途、操作性など多岐に渡る項目で評価し、有効性を検証

表：評価項目の分類

No.	主観評価の分類	設定した評価項目
1	広範囲映像表示品質	・広範囲映像の範囲 ・鮮明さや明るさ ・動きの滑らかさ
2	広範囲映像表示操作性	・使用時の操作性
3	広範囲映像のAI検出と誘目表示	・作業員や建設機械のAI検出精度 ・誘目表示の効果
4	部分拡大映像表示品質	・部分拡大表示の範囲 ・利用用途 ・用途における映像品質(満足度) ・鮮明さや明るさ ・動きの滑らかさ
5	部分拡大映像表示操作性	・使用時の操作性
6	システム全体の効果、有効性課題	・任意箇所の部分拡大表示の効果 ・導入時の用途や利用頻度、要望・課題

さらに改善が要望される項目

- ・映像品質
夜間撮影における部分拡大映像の品質向上
- ・AI検出精度
作業員の検出精度向上(検出漏れや誤検出の改善)
- ・操作性
クラウドサーバーアクセス時や部分拡大映像表示の切替え時の応答性向上

本ソリューションの有効性に関する評価者コメント

- <安全管理強化>
 - ・安全面の管理を強化することができる
 - ・多くの目で現場をフォローできる
 - ・目線と異なる角度から俯瞰的に確認できる
- <管理業務効率化>
 - ・巡視頻度の削減、業務の効率化ができる
 - ・事務所から現場の進捗状況を把握できる
 - ・事務所から経験ある社員が指示や確認ができる
- <緊急時の対応>
 - ・第三者(車両)の侵入を早期に気づくことができる
 - ・トラブル時(事故、第三者の侵入等)の検証ができる

目的である、部分拡大映像によって所望の領域を監視できること以外にも、**広範囲映像から建設現場全体の進捗状況を監視できる**という評価も多い結果(広範囲映像の鮮明さについて84%が満足の評価)



遠隔から**“広範囲”**と**“部分拡大範囲”**の両方が監視できることの効果は高いと考えられる

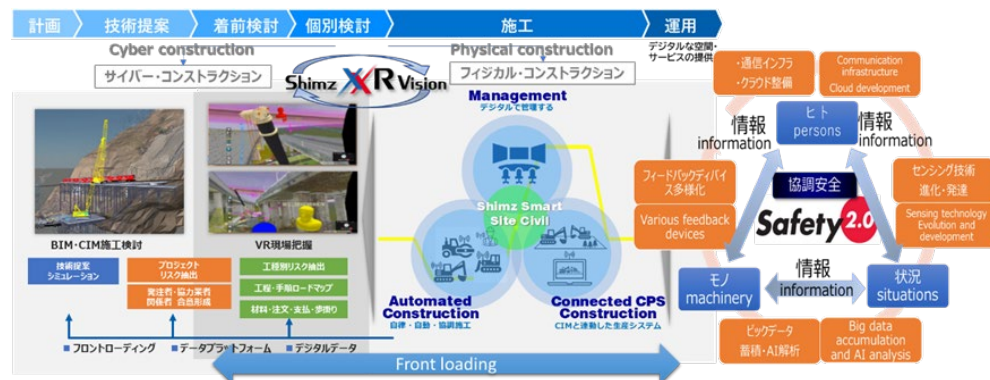
ローカル5Gを用いたソリューションの実装性等に関する検証

■ ソリューション機能

- 本実証で検証した機能(映像上での作業員・建設機械の検出・誘目表示)に加え、作業員・建設機械・揚重物等の位置情報から安全リスクを判定し、作業員へリスク回避を促すシステムといった従来、工事管理者が現場巡回時に行う安全管理を支援する機能への拡張が求められる。
- BIM/CIMモデル空間にて施工をフロントローディングし、リスク抽出と対策工検討を工事関係者全員で情報共有、VR教育訓練等を活用した建設生産システム(下図)実現の基盤となる多目的、多種類、大容量、高速通信を担う安定した通信環境は、建設DXにおいて必須条件である。

■ 普及展開

- 通信環境の整備は僻地環境での事業が多い水力発電や風力発電などのエネルギー事業者においても、重要な課題の一つとなっており、建設工事監督者NEXCO西日本の意見・評価に加え、(一社)日本建設業連合会や国土交通省i-Constructionでの活動を通じて、建設業界へ広く情報公開を実施する。
- 本実証のソリューションの一部または全てを継続的に利活用、あるいは他のユーザ企業等への普及展開も視野に入れて実装性に関する検証を継続する予定。



図：建設生産システムの近い将来像

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

■ 技術的な課題

- 課題: 夜間工事を対象とした遠隔映像監視の場合は、監視内容・用途に応じて夜間の映像品質確保が必要
- 解決策: 撮影機材の内部設定の調整や監視対象周辺の照明環境の最適化、撮影映像の品質に影響のないような照明設備やカメラの配置調整
- 課題: 建設現場特有の特徴的な監視対象物を高精度にAI検出するために必要なオープンデータが不足
- 解決策: 導入環境に応じた学習モデルの構築を円滑に実施可能な仕組みづくり、学習モデルの汎用化に向けた改善、環境変化による検出精度の検証

■ 導入効果・機能の課題

- 課題: 監視業務自体の大幅な効率化には至らず、システム導入の費用対効果が限定的
- 解決策: システムコストを抑えるため、映像処理の高機能化を目指すことによる費用対効果の改善

■ 運用面の課題

- 課題: 建設段階から竣工引渡し、以降の利用まで、エリアを限定した長期的なシステム運用は想定していない。建設業者にはローカル5Gの高度な専門知識を持つ人材は極めて少なく、建設現場での導入と運用が困難
- 解決策: 建設現場の環境に即したローカル5Gシステムのロバスト性や取り扱いの容易さ、設備設定値の余裕度合い、24時間の技術的サポートや免許申請・変更等の事務代行サービスの拡充

■ 普及に関する課題

- 課題: 高額な導入コストは長くても数年間での現地生産という特性の建設分野に不向き
- 解決策: システム本格導入前に現地にて試用できる制度の整備、短期間でのレンタルまたはリースとしてシステムを利用できる仕組み(サプライチェーン)の構築

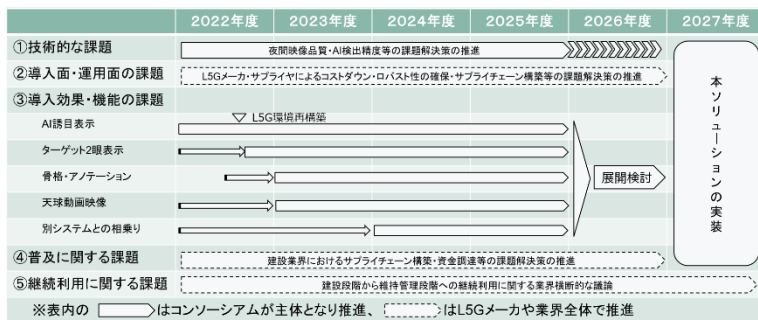
継続利用・実装計画

■ 本検証の振り返り

➤ 実質2ヶ月程度の実証期間において、建設現場特有の事象としての検証目的であった、①実際の工事進捗に合わせた電波環境や②映像取得要求の変化に対する運用面での課題について検証ができなかった。

■ 本実証終了後5年間における課題解決策の実行計画

➤ 今後も同一現場で検証を継続し、予想している電波伝搬環境の変化の確認(技術実証の継続的な確認)や、工事進捗に対応した、映像取得位置の変更と解析・安全管理ソリューションの継続更新(課題実証の継続的な確認)での課題確認を実施する予定。さらには、映像解析による安全ソリューションの高度化に取り組む予定



図：安全ソリューションの課題解決の実行計画



図：目的対象物の検出例と数的解析例

■ 収支計画

➤ 課題解決策を実行した場合、全く採算が取れない想定
 ➤ 収支改善にはシステムコストの低価格化が必須条件
 ➤ ローカル5G活用モデルの業界横断的な普及拡大により、多様なソリューションの展開・高度化に発展し、建設分野の安全性・生産性向上効果の増大に期待

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	合計
費用						12,800万円
導入費				5,000万円		5,000万円
運用費	400万円	400万円	400万円	800万円	800万円	2,800万円
システム改良費	機能高度化・追加機能の検証 5,000万円					5,000万円
収入						6,800万円
国の助成金	5,000万円 × 1件					5,000万円
導入現場の利用料				600万円	1,200万円	1,800万円

図：収支計画

ローカル5Gを用いたソリューションの高度化に関する実証

- **実施概要:** L5Gを用いた8K超高精細映像伝送の安定化の検証
- **課題:** L5Gアップリンクではスループットの時間変化が激しく、安定した8K超高精細映像伝送が困難
- **実証目標:** L5Gアップリンクを用いた8K超高精細映像の安定した伝送の実現
- **実証内容**
 - **提案方式1:** 輻輳制御に優れたTCPベースのMPEG-DASH方式を実装してパケットロス、再送軽減を図り、UDPベースのSRT方式(従来方式)と比較
 - **提案方式2:** 方式1に加え、複数のL5G端末に映像トラフィックを分散することで、5G環境におけるスループット低下の一因と考えられるパケ詰まりの影響軽減を図る
- **実証環境:** 下記のシステム構成にて実証を実施

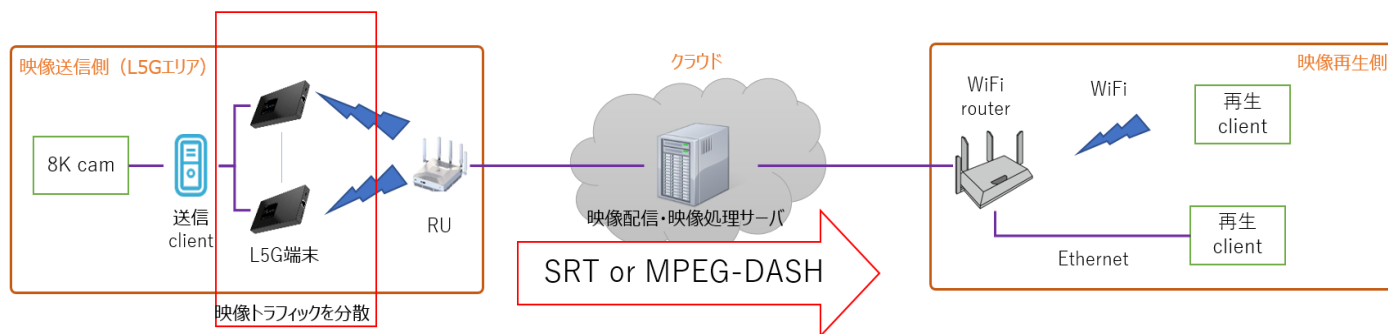
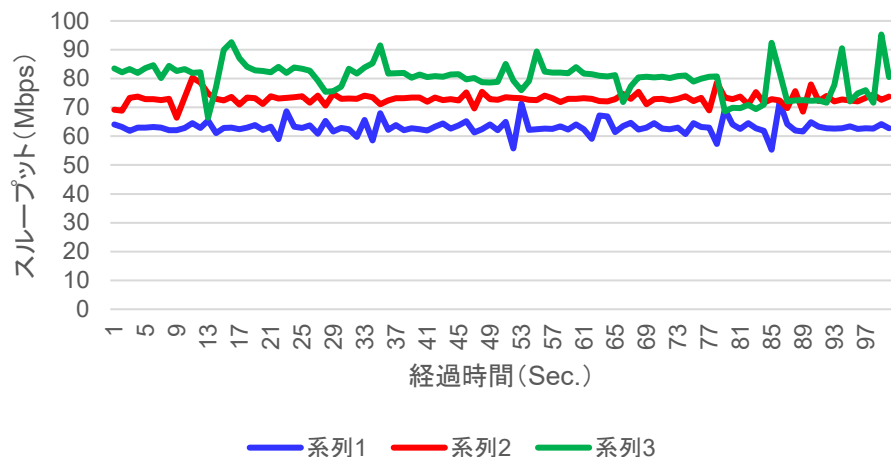


図: 配信システムの構成図

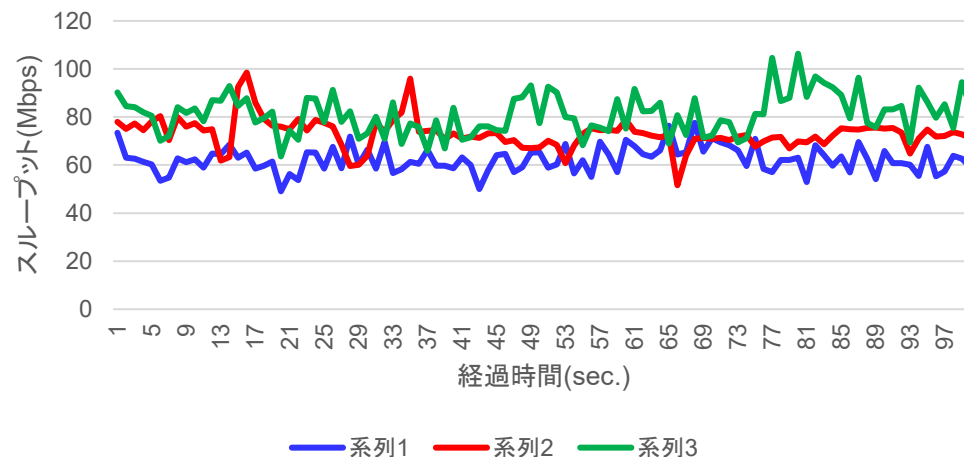
ローカル5Gを用いたソリューションの高度化に関する実証

■ 実証結果(提案方針1)

- 従来方式のSRTはスループット変動に弱く、安定した映像伝送および再生が、60Mbpsまでしか行えなかったのに対し、提案方式1では、スループット変動の影響を吸収する適切な再生遅延時間(バッファ時間)を設定することで、80Mbpsまで向上させられることを確認
- しかしながらスループット変動の激しいL5G環境では、長い再生遅延(10秒以上)が必要であることも確認



図： 従来方式の映像伝送結果

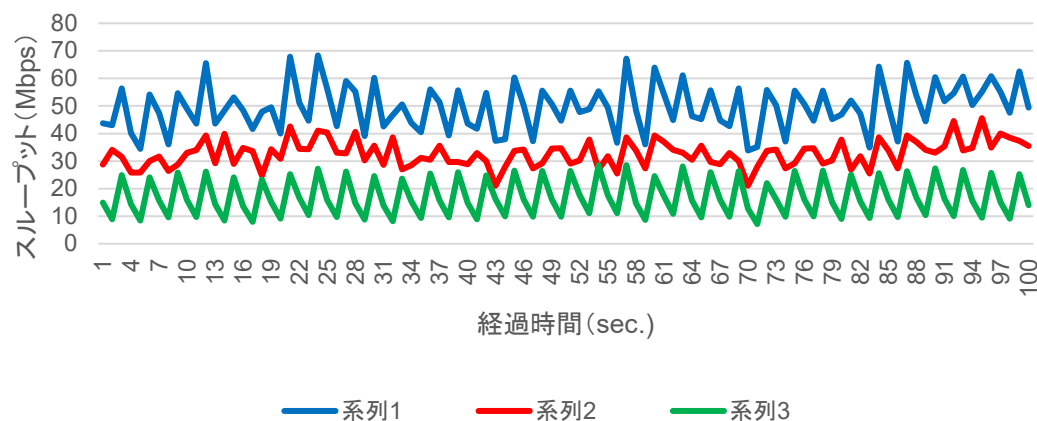


図： 提案手法1の映像伝送結果

ローカル5Gを用いたソリューションの高度化に関する実証

■ 実証結果(提案方針2)

- 従来方式においても安定した映像伝送が可能な60Mbpsをターゲットとした場合でも、実効スループットがターゲットレートを大きく下回り、正常な再生を実現することができなかった
- 2台のローカル5G端末(UE1,UE2)それぞれのスループットのバラつきが想定より大きく、5G端末間の映像伝送スケジューリングが効率的に行えなかったためと考えられる



図： 提案手法2の映像伝送結果

■ 今後の展望

- L5G環境下で、高スループットと低遅延を両立するためには、伝送方式だけでなくスループット変動に素早く適応可能な映像符号化制御技術の改良も合わせて検討

まとめ

まとめ

■ 技術実証

➤ ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

- アプリレイヤにおける平均100Mbpsの上りリンクスループット目標は約80%のエリアで達成した。100%の達成にはリンクアダプテーションの改良が必要

➤ 電波伝搬モデルの精緻化

- 精緻化により試験エリア内においてはモデル式は妥当な値(誤差1.3dB)を示す。周辺エリアとの標高差の考慮に必要な $S=57.1\text{dB}$ という値は現在基準と大きく異なり、妥当性についてはさらなる検討が必要

➤ 準同期TDDの追加パターンの開発

- 準同期パターン3の導入は、上りリンクスループット改善に直接的に貢献できることを確認、一方、所定の離隔距離が必要となり、共用時においては移動局の移動範囲について注意が必要となる可能性がある

■ 課題実証

➤ 8K超高精細映像伝送(8K30fps)のリアルタイムモニタリングシステムを開発し、有効性を確認 夜間の映像品質や環境変化に対応した検出精度、操作性の向上については今後も検討が必要

- 任意領域の部分拡大映像による多人数同時監視機能について88%が高評価
- 作業員や建設機械のAI検出(誘目表示)による作業状況把握の効果について91%が高評価
- 広範囲映像の鮮明さについて84%が高評価であり、工事の進捗状況が確認できる効果を確認

■ ローカル5Gの実装展開

➤ ローカル5Gは次世代の建設生産システムに必須となる安定した通信技術として期待が高いが、現場実装に向けてはコストダウンやロバスト性確保、サプライチェーン構築等を産学官連携により推進することが重要