

情報通信フロンティアセミナー

「へき地診療所における中核病院による遠隔診療・リハビリ指導等の実現」（総務省委託事業）

2021年6月29日

(株)エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 先端技術戦略ユニット 金田 賢

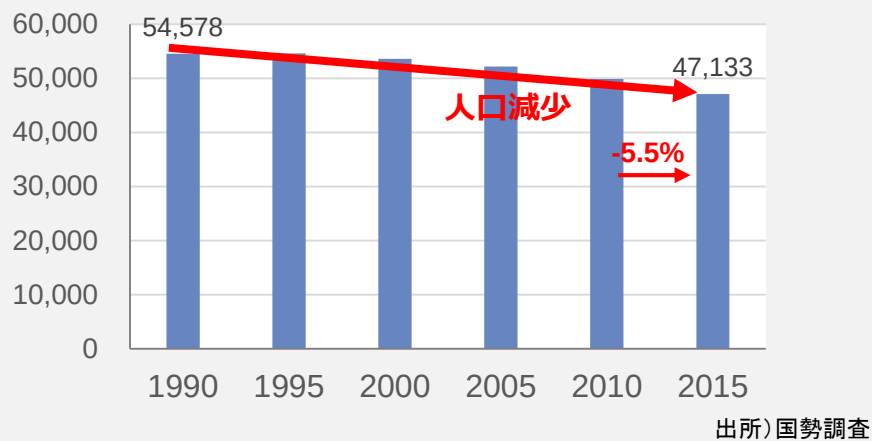
(株)NTTドコモ 法人ビジネス本部 第一法人営業部 中村 俊輔

遠隔診療・遠隔リハビリ指導の実現に向けた課題実証の概要と成果

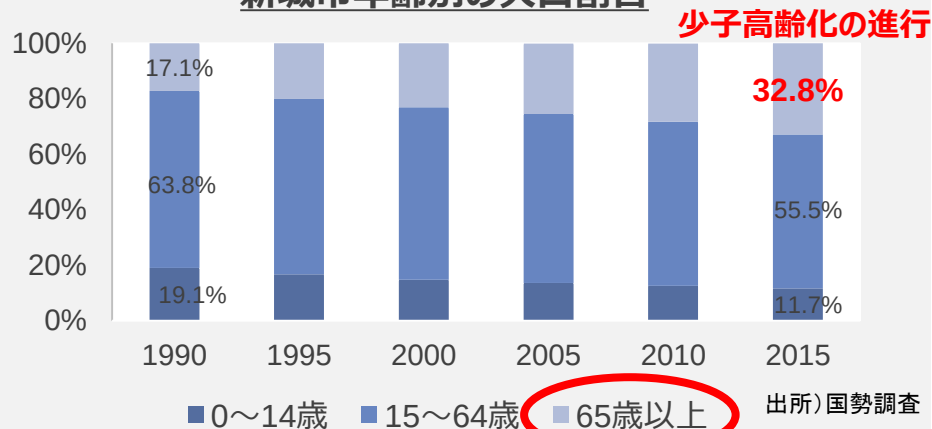
背景課題

- 愛知県新城市では、人口減少・過疎化・少子高齢化が進み、高齢者単独世帯も増加している。
- 限られた医療資源の中で、広範なエリア（県内2番目の面積）へ医療を提供しなければならない状況にある。

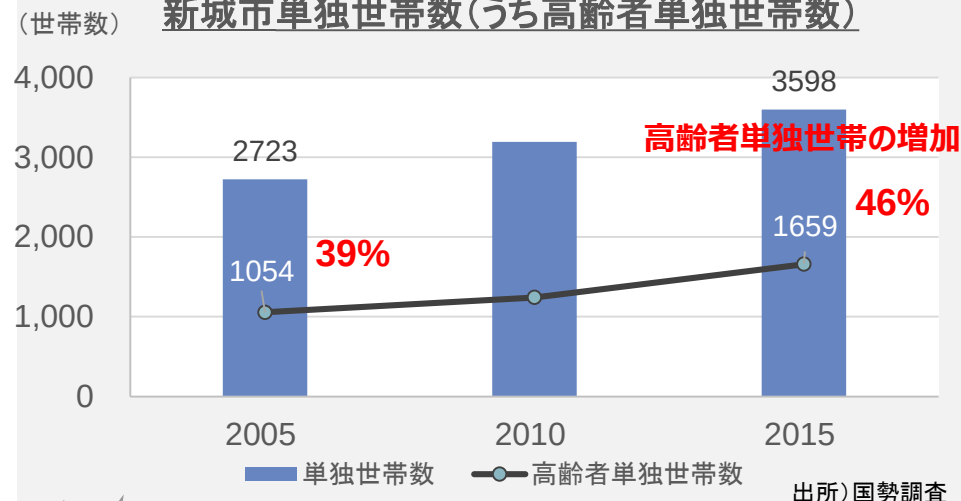
新城市の人口推移（人）



新城市年齢別の人口割合



新城市単独世帯数(うち高齢者単独世帯数)



✓ 新城市は県内2位の面積をもちながら、中核病院は“新城市民病院”のみ

✓ 限られた医療資源の中で、住民の健康異常を早期に検知し、予防医療等の提供を行うことが求められている。

課題解決の方針

- “遠隔”をテーマに健康増進・予防医療のための映像伝送・遠隔診療支援のためのプラットフォームを構築する。
- 遠隔においても医療サービスの質を担保すべく、“5G”×“4K映像”を活用する。

課題解決の要諦

早期検知・介入

高齢者の健康異常を早期に“検知”できること

遠隔

物理的距離に関わらず医療を提供できること

質の担保

医療の質を担保するため、“高解像度な映像”を“リアルタイム”に伝送できること

実証テーマ

1

プレゼンティーズム調査

- プレゼンティーズム評価指標をもとに地域住民の健康状態を可視化し、住民の健康意識の醸成と自治体による健康異常の早期検知を実現する。

2

遠隔リハビリテーション等

- ①に対して、早期介入・機能維持のために、遠隔診療支援システムを用いた遠隔でのリハビリ指導や健康指導を行う。
- 従来移動時間により失われていた熟練のリハビリ専門職の生産性向上、さらに通院困難な患者へも質の高いリハビリを提供できる。

3

遠隔超音波画像検査

- ①に対して、検査が必要と認められる住民へ、遠隔から超音波画像検査を行う。
- 医師が遠隔からエコー検査の指示を行うことで、移動による住民・医師双方の負担を軽減できる。

技術的な革新性

5G

大容量の高精細映像をリアルタイムに伝送可能に

4K映像

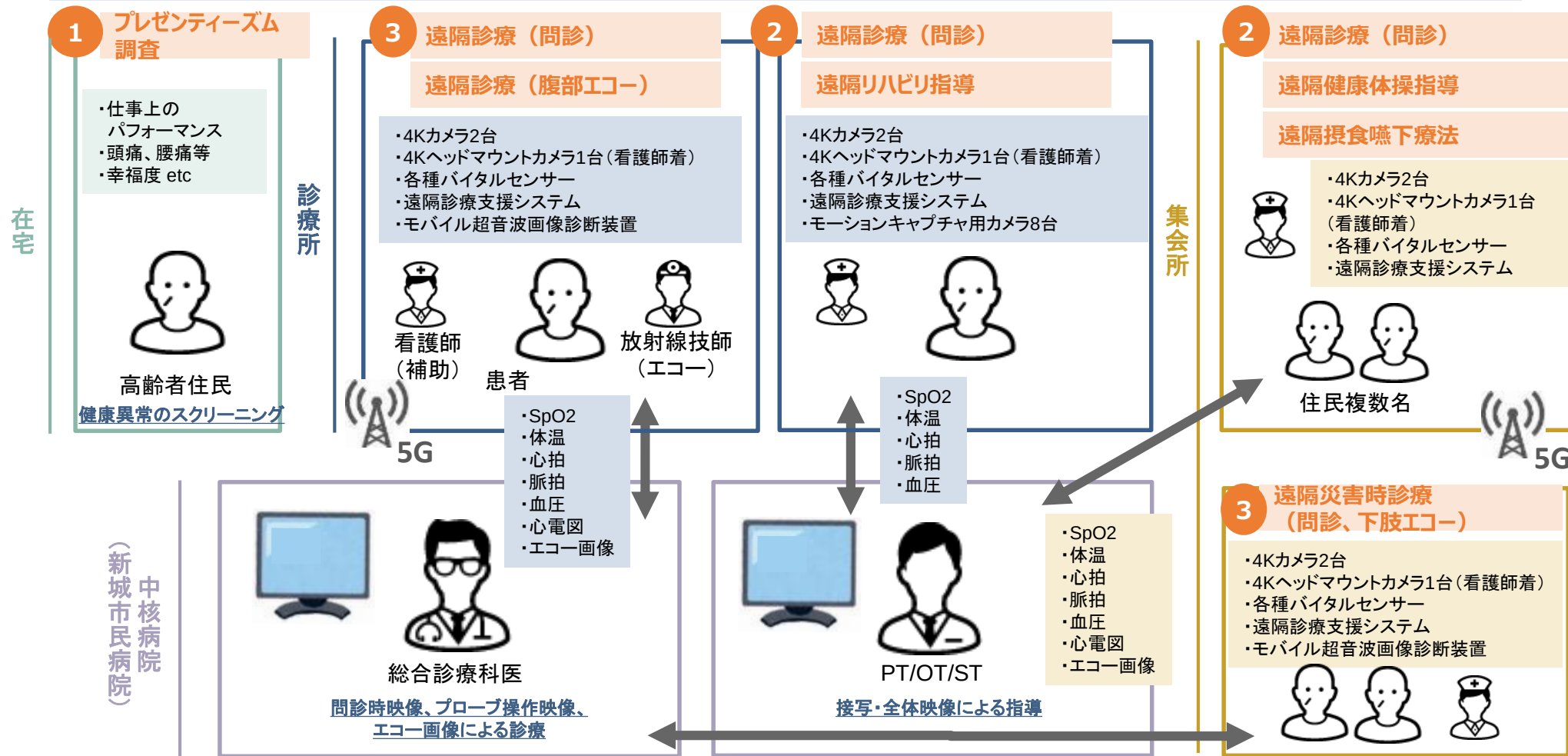
遠隔でも運動器の細部を評価することが可能に

マーカス
モーションキャプチャ

リハビリ介入による機能改善を定量的に評価可能に

実証の全体像

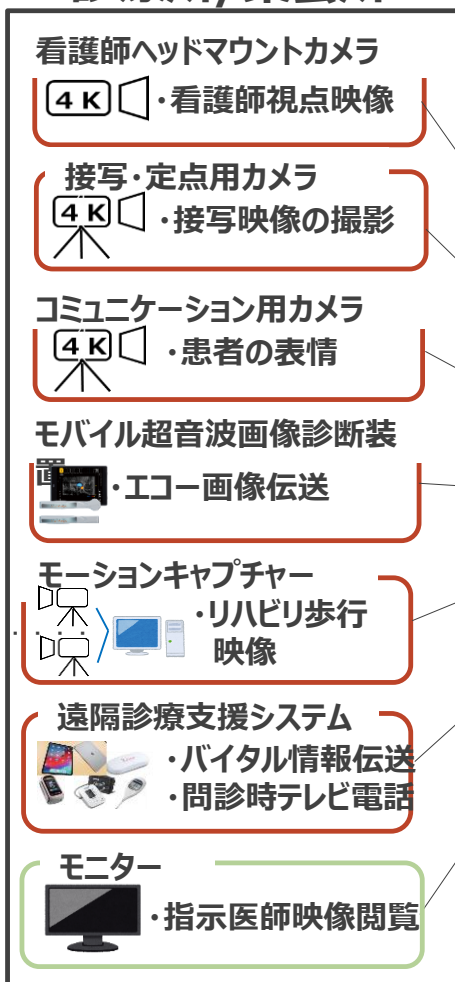
- 遠隔の診療所/集会所と中核病院との間で、映像・バイタル・エコー画像を伝送し、中核病院医療従事者の指示・指導のもと、診療やリハビリを行う。



映像・データ伝送のためのシステム構成

- 機密性の求められる医療データを扱うことからクローズドなネットワーク構成を採用
- 診療所→中核病院方向（上り）の伝送速度を重視したネットワーク構成

診療所/集会所



»5G
docomo
4.7GHz帯

上り

＜高速大容量・低遅延＞
セキュア・クローズドネットワーク

NTTドコモクラウドサービス

docomo
Open Innovation Cloud™

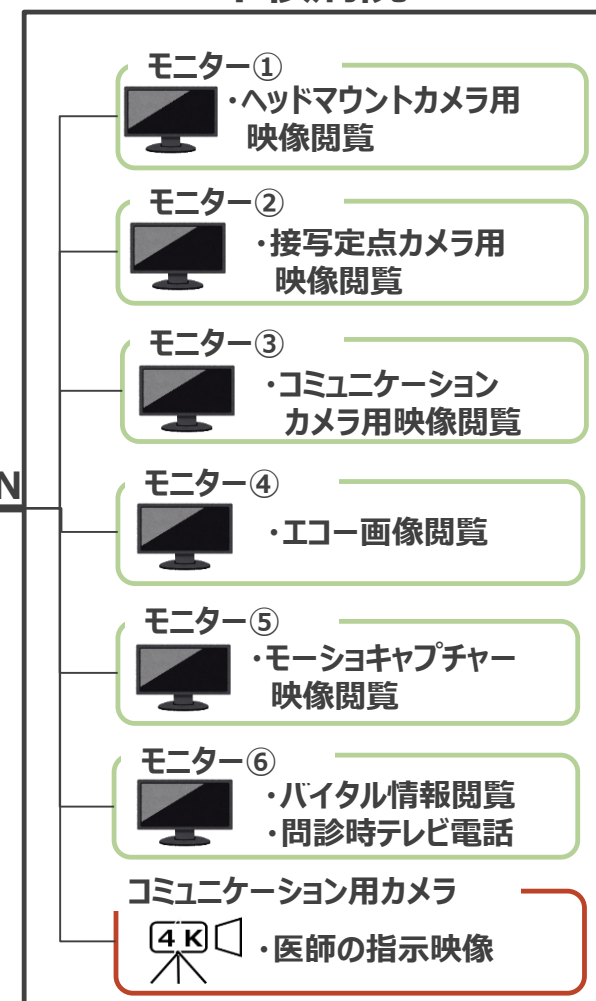
光回線・VPN

光回線・VPN

遠隔診療支援システムサーバー

※モーションキャプチャーは診療所にのみ設置

中核病院



出所：NTTドコモ東海

実証体制

- 産官学コンソーシアムを形成し、社会実装を見据えた実証体制を構築



実証の様子

遠隔リハビリ指導

遠隔問診

遠隔超音波画像診断

5G

遠隔健康指導

中核病院

遠隔摂食嚥下療法

(写真はすべてNTTデータ経営研究所にて撮影)

実証の成果 – 医療としての有効性評価 –

➤ LTE×HD映像と比較して、5G×4K映像を用いた場合に実臨床現場での有効性が高いとの評価結果が得られた。

接続拠点	実証テーマ	5G×4K	LTE×HD	医療従事者の評価コメント（抜粋）
集会所 ↓ 中核病院	遠隔診療（問診）	◎	◎	5GとLTEのどちらも問題ない
	遠隔診療（下肢エコー）	○	△	5Gであれば概ね問題ないが、同一画面で当てる部位とエコー画像が見られるとよい - LTEの場合、のカクツキがあり診療は難しい
	遠隔摂食嚥下	◎	○	5Gにおいて喉頭挙上や口腔内を視認できた - LTEの場合、解像度が低くなるが指導は可能 - 患者の側面アップの画角が必須
	遠隔健康体操	○	△	5Gであれば概ね問題ないが、作業療法時に触診ができないため、対面より分かりにくさはある - LTEの場合、解像度・滑らかさが低下するため、足指の評価やスピードテストはできない可能性がある
診療所 ↓ 中核病院	遠隔診療（問診）	◎	◎	5GとLTEのどちらも問題ない
	遠隔リハビリ指導	○	△	5Gであれば問題ないが、息遣いまではわからず負荷量を把握することに関してはやや不安 - LTEの場合、粗大運動の評価に限定される（手や足の細かな動きは見れない）
	腹部エコー	○	△	5Gであれば概ね問題ないが、エコー画質の安定性に懸念あり - LTEの場合、エコー画像のカクツキがあり診療は難しい

実証の成果 – 各種アプリケーションの通信性能評価 –

➤ 実証時のスループットは上り（診療所⇒病院）で約17Mbps、遅延時間はE2Eで約0.4秒

4Kカメラ及び各アプリケーションの同時接続時のスループット・遅延時間

No	試験対象	パラメータ※	平均スループット (診療所⇒病院 送信/受信)[Mbps]	平均スループット (病院⇒診療所 送信/受信)[Mbps]	平均往復遅延 (Ping) [msec]	診療所⇒病院 平均遅延 (End-to-End)[msec]
1	4 Kカメラ1台	TCP/5G/15Mbps/4K	16.94/16.58	17.09/16.79	77.30	350.56
2	4 Kカメラ3台同時	TCP/5G/15Mbps/4K	16.95/16.67	17.08/16.79	87.16	353.27
3	4 Kカメラ3台同時+ モバイル超音波画像診断装置	TCP/5G/15Mbps/4K	17.06/16.92	6.10/6.08	89.86	未測定
4	4 Kカメラ3台同時+ 遠隔診療支援システム	TCP/5G/15Mbps/4K	17.08/16.93	6.11/6.09	80.37	未測定
5	4 Kカメラ3台同時+ モーションキャプチャーシステム	TCP/5G/15Mbps/4K	17.13/16.85	6.06/6.04	206.78	未測定

No.2 or 5 遠隔リハビリ指導



No.3 遠隔超音波画像診断



No.4 遠隔問診



※パラメータ設定
 プロトコル：UDP/TCP
 通信：5G/LTE
 ビットレート：30Mbps/15Mbps/5Mbps
 解像度：4K/フルHD/HD

実証の成果 – 映像伝送システムの性能評価 –

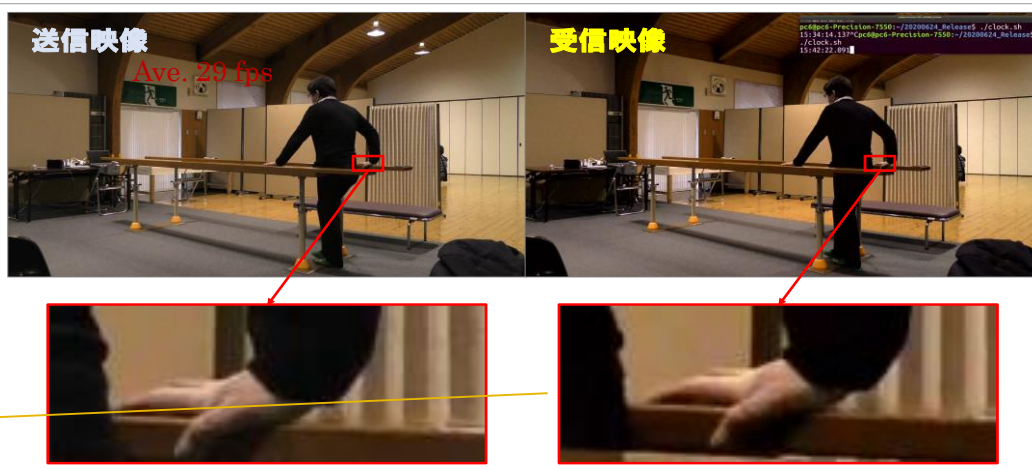
- 4KとHDで受信側の映像品質を比較、リハビリにおいて身体細部を観察するためには4Kが理想的であることを確認

遠隔リハビリ指導



5G×4K映像伝送の場合、送信側の映像品質が受信側においても保たれている

5G/4K/30Mbpsの映像伝送サンプル



5G/HD/5Mbpsの映像伝送サンプル

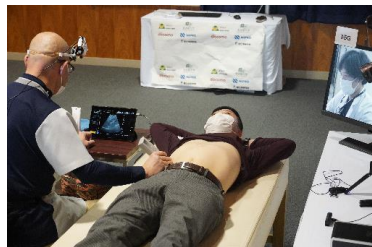


5G×HD映像伝送の場合、受信側の映像品質に劣化が見られる

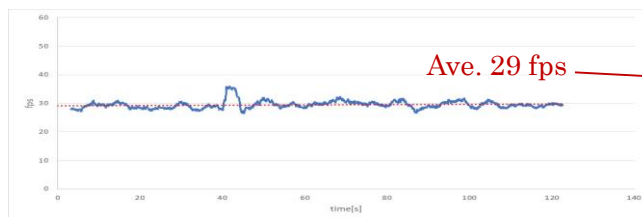
実証の成果 – モバイル超音波画像診断装置の性能評価 –

- 5G通信下で映像品質に若干の低下が見れるものの、フレームレートとしては製品基準値をクリアしていることを確認

遠隔超音波画像診断

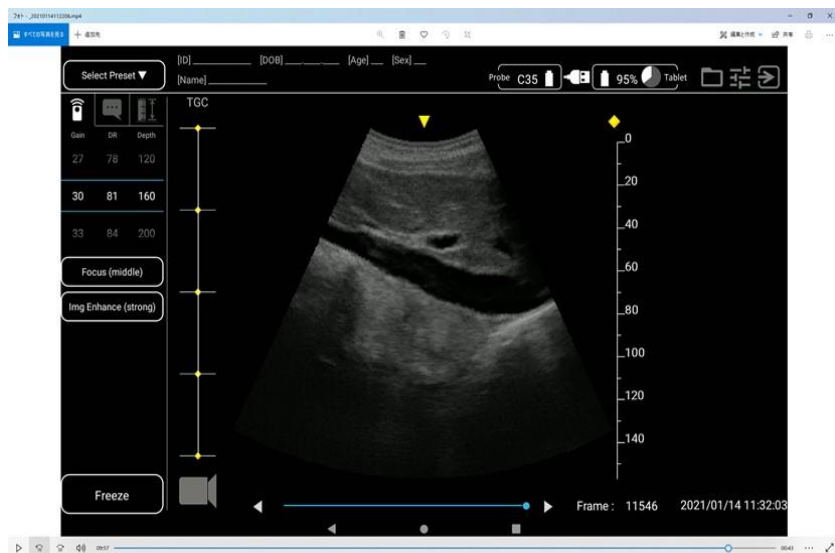


受信側（中核病院）のフレームレート

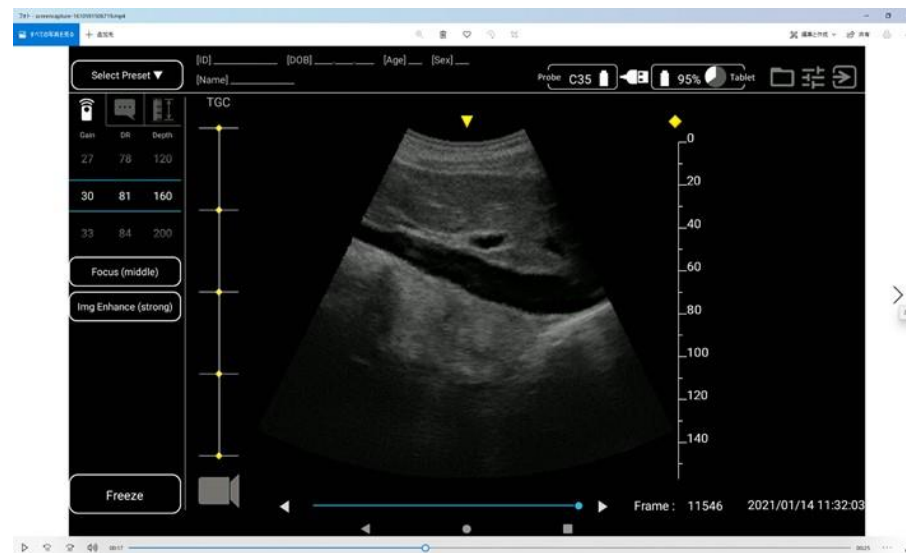


製品をスタンドアロンで使用している際のタブレット端末上の最大フレームレート（Linear 25 fps、Convex 18fps）を上回っている

送信側（診療所/集会所）のエコー画像



受信側（中核病院）のエコー画像



ワーストケースでも遅延時間2秒未満

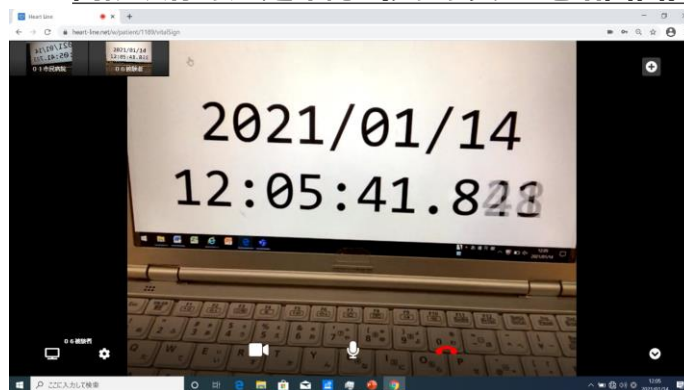
実証の成果 – 遠隔診療支援システムの性能評価 –

- 5G通信下では問診時の映像遅延が軽減され、バイタルデータの欠損も生じていないことを確認

遠隔問診



問診映像の遅延確認（アプリテレビ電話画面）



5G通信下での問診映像の遅延時間は0.05s～0.1s
⇒LTE通信下と比較して0.25s～0.3s遅延が小さくなっていることを確認

バイタルデータの欠損有無

	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目	
日時	2021/1/13 13:25		2021/1/13 13:26		2021/1/13 13:28		2021/1/13 13:30		2021/1/13 13:32	
場所	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院
SpO2	98	98	96	96	100	100	96	96	97	97
血圧(上)	124	124	124	124	119	119	123	123	119	119
血圧(下)	90	90	83	83	93	93	52	52	81	81
脈拍数	93	93	83	83	87	87	82	82	81	81
体温	34.9	34.9	35	35	35.9	35.9	36	36	36	36
	6回目		7回目		8回目		9回目		10回目	
日時	2021/1/13 13:34		2021/1/13 13:35		2021/1/13 13:37		2021/1/13 13:39		2021/1/13 13:41	
場所	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院	診療所	中核病院
SpO2	96	96	96	96	96	96	95	95	96	96
血圧(上)	136	136	128	128	122	122	124	124	121	121
血圧(下)	88	88	91	91	83	83	73	73	74	74
脈拍数	72	72	74	74	75	75	92	92	89	89
体温	36	36	36.5	36.5	36.7	36.7	35	35	36.1	36.1

送信元デバイスと受信側PCで、バイタルデータの欠損は無いことを確認
(バイタル⇒SpO2,血圧,脈拍,体温)

ローカル 5 G の性能評価等技術実証 の概要と成果

技術実証実施内容

- ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等
 - 山間部の診療所等での遠隔診療・リハビリ指導というユースケースを前提とし、エリア形成の観点と高精細映像伝送に耐えうる品質を評価する。

- ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等
 - 総務省提供のエリア算出法と実測値に基づき、ローカル5Gのカバーエリア及び、調整対象エリアを評価する。
 - 実測結果とエリア設計値を比較検証することで、ローカル5Gエリア構築等に関する課題、対策等を考察する。

- その他ローカル5Gに関する技術実証
 - 隣接周波数帯において、同期運用するキャリア5Gと準同期運用するローカル5Gの共用検討(机上検討)を行い、所要改善量、所要離隔距離等を評価する。

ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

■ 計測指標

- 電波伝搬環境について、実測した下り受信電力値を用いてエリア形成およびサービス提供品質について評価

- エリア形成は、総務省審査基準で定められているカバーエリア端レベル(-84.6dBm)で評価を行う。
- サービス提供品質は、課題実証と同じ目標値である、UL伝送スループット60Mbpsを達成できているかの観点で評価を行う。

■ 評価・検証方法

- 基地局周辺にある屋内外、20箇所程度の測定地点において測定※した。

※ 一般的に5G NRのエリア指標として用いられているSS-RSRP及びSS-RSRQについて実測した。伝送スループット及びRTTについては、受信電力と合わせた評価を実施するため同じ測定点で実測した。



診療所屋外局周辺での測定場所
(合計41地点で測定)



集会所屋外局周辺での測定場所
(合計31地点で測定)



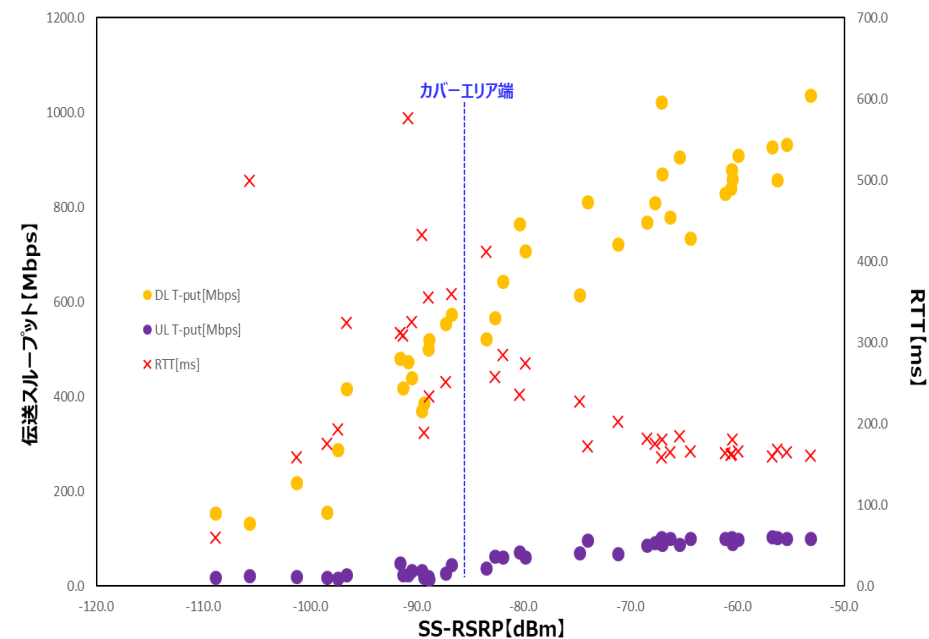
集会所屋内局周辺での測定場所
(合計20地点で測定)

山間部に存在する診療所等の環境におけるローカル5Gの性能評価

- エリア形成の観点では、想定通りにエリア形成できているが、北東方向の自己土地外へも強めの漏洩電力がある
- ターゲットエリア内では、良好な性能(総合平均: 896.0Mbps/DL平均808.2Mbps/UL平均87.8Mbps)を達成し、ユースケースにおける要求条件を満足している
- 建物全体で利用するためには複数のアンテナユニットや反射板を利用することが考えられる。
- 伝送スループットは、概ね下り受信電力に比例していることが確認できており、ローカル5G性能を最大限に発揮するにはエリア最適化が必要である



下り受信電力(SS-RSRP)から評価した想定エリア

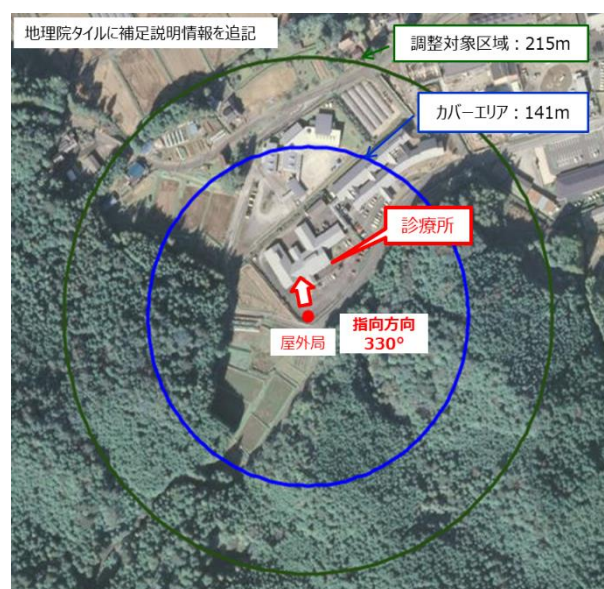


診療所屋外局周辺における下り受信電力に対する伝送スループット、RTT

エリア算定式との比較検証

- 診療所屋外局においては、左図に示す通りエリア算定式によるエリア端距離は、カバーエリア端141m、調整対象区域端215mである。
- 中央図に示す実測値から推定したエリアはカバーエリア端130m、調整対象区域端180m程度であり、概ね一致している。
- 右図に示す、レイトレース法によるエリア設計値と、実測値から推定したエリアは、基地局近傍ではよく一致しているが、北東方向(診療所を超えたあたり)においては、実測値では、矢印で示す地点に置いてカバーエリア端レベル以上の受信電力が測定されている※。

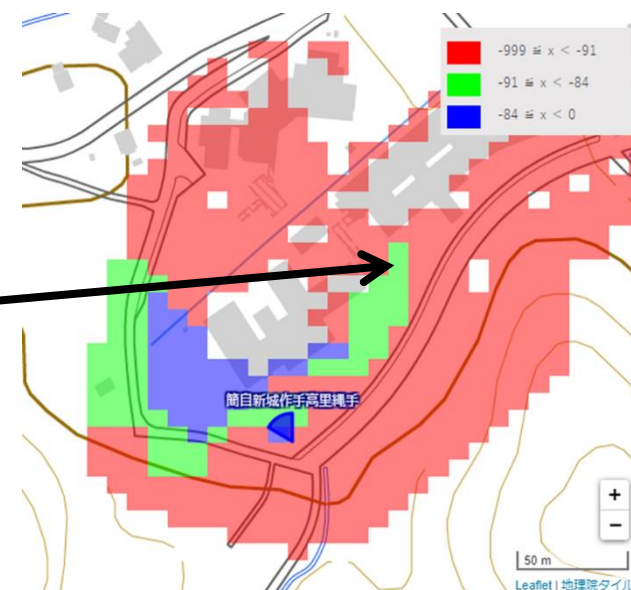
※ 図中に赤線で示す場所にコンクリート壁が存在したため、基地局送信波が反射、回折したためと推定される。レイトレースによる計算でも壁による影響を見込んでいるが、壁等の影響による減衰量は、壁の材質や形状により区々であるため、定量的に一致させることは難しい。



診療所屋外局の
カバーエリア、調整対象区域図



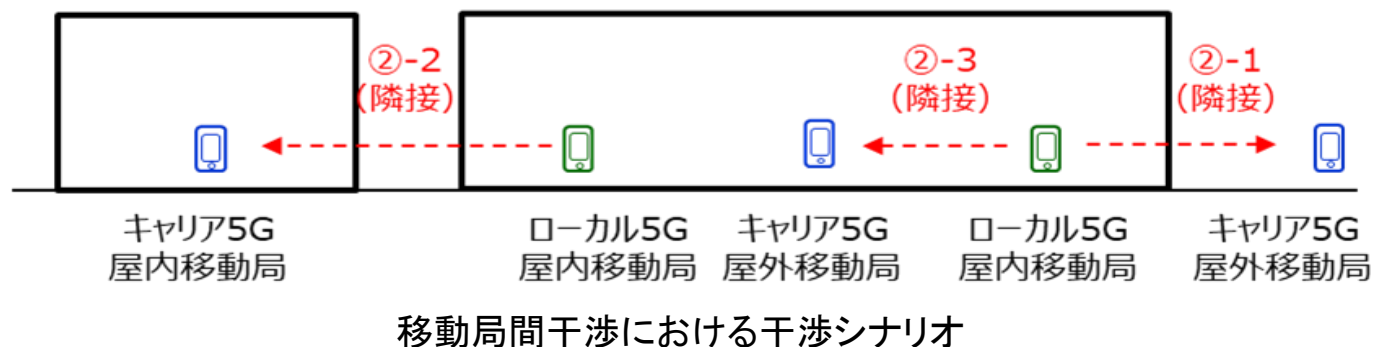
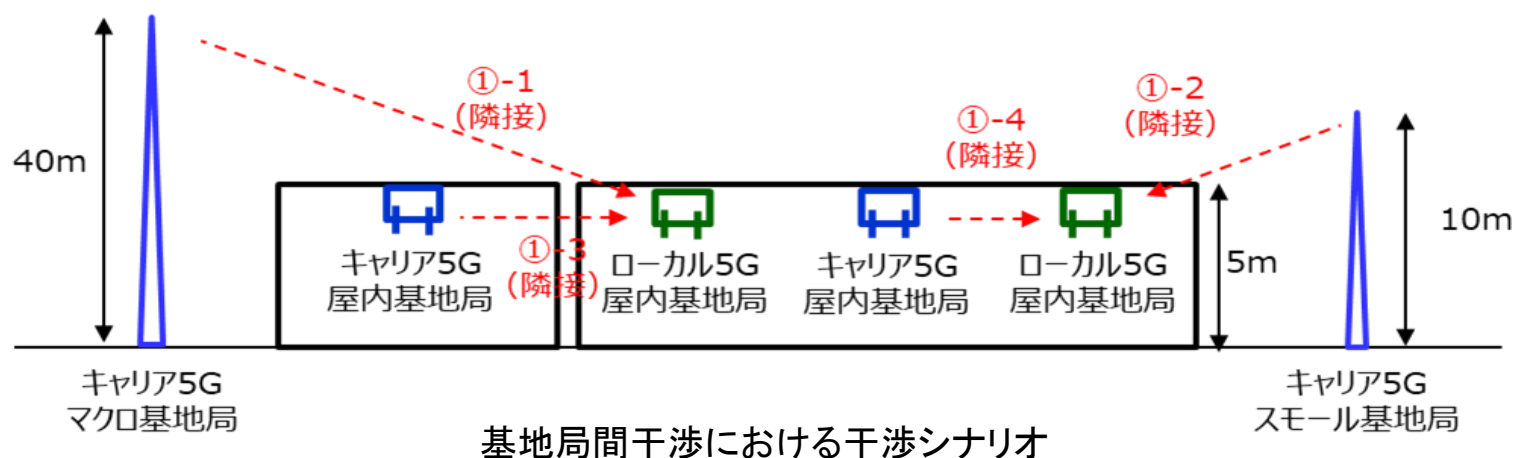
下り受信電力(SS-RSRP)から
評価した想定エリア(診療所屋外含む)



屋外エリア設計図

ローカル5G(準同期)とキャリア5G(同期)との共用検討

- 隣接周波数帯において、準同期運用するローカル5G(4.6～4.7GHz)と、同期運用するキャリア5G(4.5～4.6GHz)との共用検討(机上検討)を行い、所要改善量、所要離隔距離等をフィールドで測定したスプリアス値などを用いてシミュレーションにより評価した。
- 検証した干渉シナリオは、基地局-基地局間干渉および移動局-移動局干渉。



ローカル5G(準同期)とキャリア5G(同期)との共用検討結果

■ キャリア5G屋外基地局との共用

- ローカル5G基地局屋内運用場所の周囲約170m以内に、キャリア5Gマクロ局が存在する場合(①-1)、もしくは周囲約30m以内に、キャリア5Gの小セル局が存在する場合(①-2)はキャリア5G基地局のアンテナパターンによっては、ローカル5G基地局(屋内)への干渉影響が発生する可能性がある。

■ キャリア5G屋内基地局との共用検討結果

- ローカル5G基地局(屋内)と同一屋内に設置されていたとしても、大きな問題は発生しないと考えられる(①-3&4)。

基地局間干渉シナリオにおける共用計算結果(1対1対向モデル)

シナリオ番号	ANTパターン※1	不要輻射レベル	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]
①-1	平均※2	情通審	-110.1	-0.1	-	-58.1	-11.3	-
		実測値	-124.1	-14.1	-	-58.1	-11.3	-
	最大※3	情通審	-94.0	16.0	173.0	-42.0	5.0	119.0
		実測値	-108.1	2.0	105.0	-42.0	5.0	119.0
①-2	平均	情通審	-110.7	-0.7	-	-69.6	-22.6	-
		実測値	-135.5	-25.5	-	-69.6	-22.6	-
	最大	情通審	-98.2	11.8	30.0	-57.2	-10.2	-
		実測値	-123.0	-13.0	-	-57.2	-10.2	-
①-3	無指向	情通審	-149.5	-39.5	-	-108.5	-61.5	-
		実測値	-174.3	-64.3	-	-108.5	-61.5	-
①-4	無指向	情通審	-117.5	-7.5	-	-76.5	-29.5	-
		実測値	-142.3	-32.3	-	-76.5	-29.5	-

※1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
委員会報告(2020年7月14日)第4.4.2章(P128-133)

※2平均 任意の方向の空中線利得の平均値
※3最大 任意の方向の空中線利得の最大値(包絡線)

ローカル5G(準同期)とキャリア5G(同期)との共用検討結果

■ キャリア5G屋外移動局との共用検討結果

- ローカル5G移動局が屋内、キャリア5G移動局が屋外で運用している場合、1.5mの離隔距離が必要となるが、建物の屋内外の状況であれば、特段の対策をしなくても確保できる程度である(②-1)。
- 確率計算においては、現実的にはあり得ない移動局台数にならないと影響が出ないため、実質的には問題ないことがわかる。

■ キャリア5G屋内移動局との共用検討結果

- ローカル5G移動局が運用している建物とは異なる建物内においてキャリア5G移動局が運用している時には全く問題が無い(②-2)。
- ローカル5G移動局が場所と同一の屋内でキャリア5G移動局が運用している場合、1対1対向モデルでは、約9mの離隔距離が必要となる。また、確率計算モデルでは、ローカル5G移動局数が16台になると、干渉影響が出る可能性がある(②-3)。

⇒キャリア5G端末の持ち込み制限や概ねL5G移動局は10台程度の運用台数の制限が必要

移動局間干渉シナリオにおける共用計算結果
(1対1対向モデル)

シナリオ 番号	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]
②-1	-107.8	3.2	1.5	-54.8	-14.8	-
②-2	-124.0	-13.0	-	-71.0	-31.0	-
②-3	-91.8	19.2	9.1	-38.8	1.2	1.2

移動局間干渉シナリオにおける共用検討結果
(確率計算モデル)

シナリオ 番号	移動局1台の時の 所要改善量[dB](97%値)	所要改善量がプラスになる (影響が出る) 移動局台数
②-1	-28.8	600
②-2	-45.2	24,000
②-3	-12.3	16

- へき地医療現場において、5Gおよび4K高精細映像を用いた遠隔診療および遠隔リハビリ指導の実証を実施
- 遠隔診療・遠隔リハビリ指導の実証の結果、以下のことが明らかになった。
 - 遠隔リハビリ指導において、4K×5Gを用いた場合には基本的なメニュー（歩行・起立等）であれば遠隔でも指導が可能であることが確認された。
 - 遠隔リハビリ指導の際に4Kカメラ3台による高精細映像をリアルタイムに伝送できることを確認した。（1カメラ当たり平均で、上り17Mbps,遅延0.4s程度で送信）
 - 遠隔問診時のバイタルや映像、さらにモバイル超音波画像診断装置の映像をリアルタイムに伝送できることを確認した。（エコー画像データの受信側フレームレート29fps（通常使用下での最大フレームレート以上）,遅延約1s程度で送信）
 - 遠隔診療（超音波画像検査）においては、アプリケーション側の5G対応やプローブ操作時のコミュニケーションといった課題が残るが、4K映像による遠隔でのリハビリ指導、遠隔診療支援システムおよびモバイル超音波画像診断装置の有用性が確認された。
- ローカル5Gの普及促進に向けて、以下の技術的知見が得られた。
 - 伝送スループットは概ね下り受信電力に比例しており、利用エリアを特定してエリア設計を行えば十分な性能が発揮できる。施設内全体でローカル5Gの十分な性能を発揮するためには複数のアンテナユニットや反射板を利用したエリア最適化が必要である。
 - ローカル5G移動局が屋内、キャリア5G移動局が屋外で運用している場合には、干渉に関して特段の対策を行う必要はないと考えられる。
 - 同一屋内でローカル5G移動局とキャリア5G移動局を運用している場合、約9mの離隔距離や運用台数の制限が必要になると考えられる。

