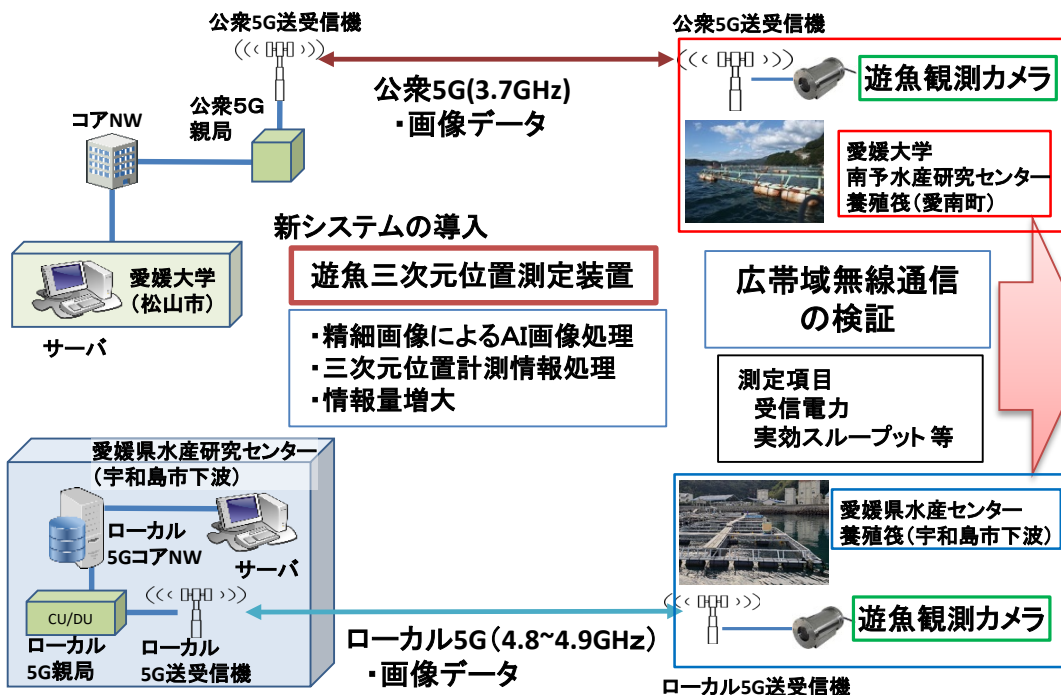


洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

提 案 者	国立大学法人 愛媛大学, 愛媛県, 株式会社NTTドコモ, 電気興業株式会社
実 施 地 域	愛媛県宇和島市, 愛媛県南宇和郡愛南町
事 業 概 要	水産業向けの洋上IoT利用における無線通信の可能性や可否を, スループット, 遅延, 可用性, 消費電力, 通信障害発生等の観点から判断する上で必要な知見を, 現行のIoTサービス環境, さらに, 今後要望されるサービス環境・条件の下で得ることに取り組む. 魚の活性や遊泳ベクトル測定, 魚数計測が行える遊魚三次元位置測定装置の洋上利用において, これまでに実用化を行った常時多深度海水温観測装置で利用する4Gでは, 通信速度の点から不十分である. そこで, 遊魚三次元位置測定装置に求められる広帯域を提供する5G(公衆, ローカル)の無線通信に対し, 海面反射, 波浪による乱反射や遮蔽, 濃霧の影響等, 電波伝搬特性等を計測し, 洋上IoTサービス展開時の効果的な電波利用を目指した, 周波数帯や通信方式の選択・判断に資する知見を得る.

実証内容



実証成果

電波伝搬に係る知見等

・電波伝搬特性に関する知見の獲得と公開

養殖魚の活性や遊泳(移動)ベクトルの測定, 魚数の計測が行える遊魚三次元位置測定装置に求められる, 精細画像の伝送の実現を目指し, 5G(公衆, ローカル)を対象に, 洋上に設置されたIoT端末装置からのデータ送信への適用を対象とした, 電波伝搬特性(電界強度, 実通信速度等)を知見として得る. 海面での反射, 波浪による乱反射や遮蔽, 濃霧による影響など, 洋上での常用的利用の観点から, 有効性や利用条件, 制約などを明らかにする.

IoTサービスの効果(KPI)

- ・視線ベクトルの交点誤差 達成基準: 0.3BL以下
- ・連続位置測定における移動距離 達成基準: 0.5BL以下
- ・洋上生簀からの通信速度 達成基準: 実効速度18Mbps以上

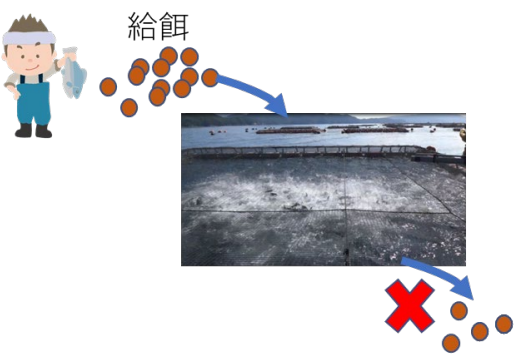
これらの達成により, 洋上生簀における魚数計数の実現(誤差4%以下), 魚の活性観測の実現, 魚病診断に必要な遊泳ベクトルの測定の実現が行える. その結果, 給餌量の適正化, 魚病による被害低減を養殖業にもたらす.

(注: BL (Body Length) は対象魚の体長)

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

養殖業者が抱える課題

- 1. 魚数・活性に応じた適切な給餌ができていない ⇒ 餌代はコストの6-7割
- 2. 受注可能な正確な尾数が把握できない
⇒ 予想より3%少で14%収入減. 一方, 予想より多いと残が発生
- 3. 魚病に罹患した魚の早期対策ができていない
⇒ 収益減, 斃死魚の処理費は, 養殖業者個人が負担している. (数億~数十億円/年)



残存した餌は漁場の汚染につながる

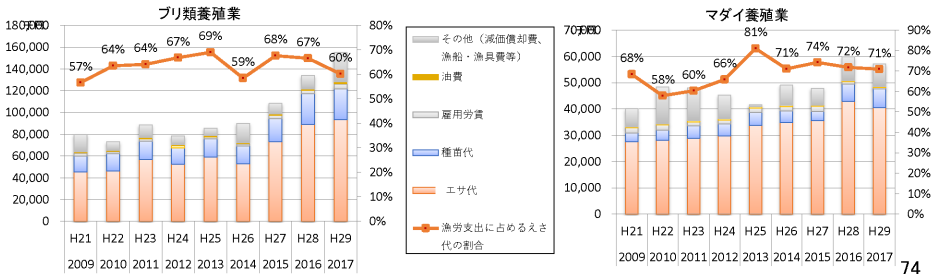
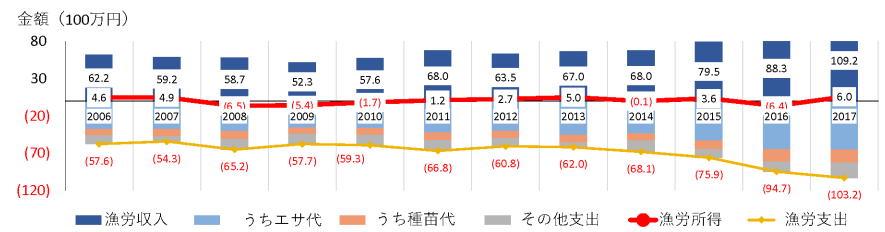
給餌の模式図:
餌が不足すると肥育が遅くなる.
餌が過剰となると, 環境中に放出され, 海洋汚染や赤潮の発生の原因になる.

我が国の魚類養殖業者の収支・資金繰り (1)

○ポイント

- ◆ 魚類養殖業は支出に占める生産資材代 (特にエサ代) の割合が6~7割を占め, 漁労収支がほぼ均衡 (または漁労所得がわずかに計上) する状態。収入増加又はコスト削減が実現出来ない限り、この状態が継続。
- ◆ 漁労所得が小さいため、事業改善に必要な投資を自己資金で実施することは困難な状況。

○養殖業者の収支の状況

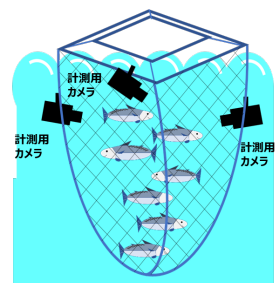


病気に罹患した魚
(京都府農林水産技術センター海洋センターHPより)

資料: 農林水産省漁業経営調査報告 (個人経営体調査-海面養殖業部門別) ※ブリ類: 統計及び集計データ上ブリ、カンパチ、ヒラマサなどを含むもの

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

洋上養殖生簀

遊魚三次元位置
測定装置
(複数カメラ使用)

ソリューション

IoT機器利用の課題
高画質画像の伝送
(高速通信が必要)5G通信
(ローカル, 公衆)
※公衆5G, ローカル5G
それぞれの特性を評価複数方向から
撮影した
魚の映像を伝送生簀内の
魚数計測原理：静止画に対する画像
認識と、視線ベクトルに基
づき、三次元位置の測定効果
給餌量の最適化
肥育促進
魚の品質向上不十分
な対応結果
餌代の損失
肥育遅延
環境負荷

情報処理サーバ



魚の活性の測定

原理：連続撮像に基づく個体識別
を行い、魚の遊泳ベクトル測定効果
斃死の抑制早期検出
・ 魚病罹患
・ 赤潮による衰弱

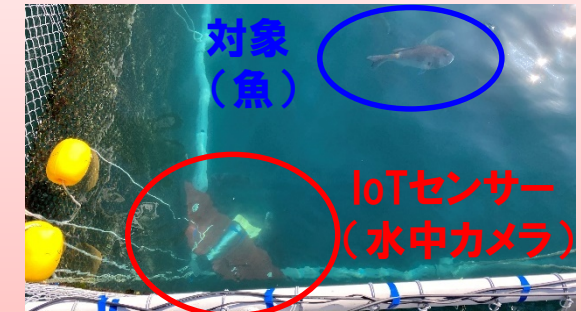
放置・対応遅れ

斃死の発生

結果
売上減少
処分費用負担損失低減
売上向上

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

10/16(金)～10/19(月) 水中カメラ1台の評価(愛媛県農林水産研究所水産研究センター)

10/20(火) 愛媛大学南予水産研究センター
中浦実験場の現場視察11/4(水)～11/5(木) 遊魚三次元位置測定装置(水中カメラ4台)の設置
11/5(木)～12/18(金)まで観測実施
(愛媛県農林水産研究所水産研究センター)【その他水中カメラ映像サンプル】 <http://pbl.jp/201109/>

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

11/9(月)～11/27(金), 12/14(月)～12/18(金) **ローカル5G伝搬試験**
(愛媛県農林水産研究所水産研究センター)

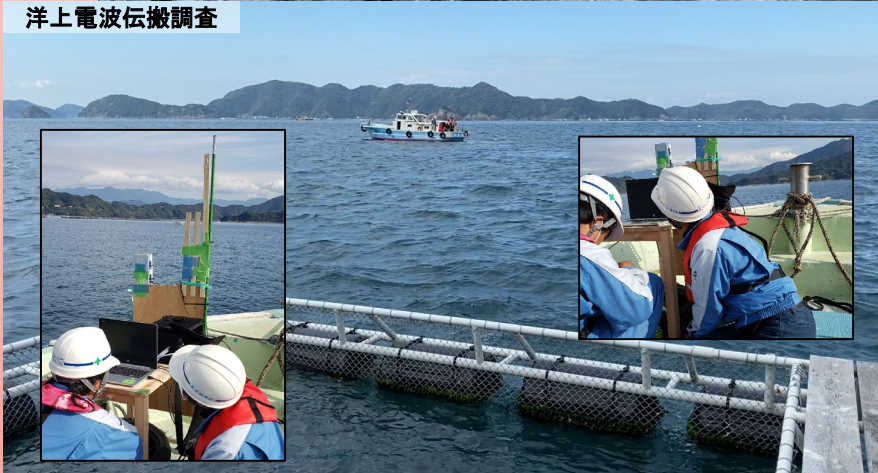
ローカル5G基地局アンテナ



現地視察会



洋上電波伝搬調査



1/12(火)～1/15(金) **公衆5G伝搬試験**
(愛媛大学南予水産研究センター中浦実験場)

公衆5G基地局アンテナ



遊魚三次元位置測定装置(水中)



公衆5G伝搬試験



洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ IoTサービス実証における成果

1. 視線ベクトルの交点誤差 達成基準:0.3BL以下 (注:BL(Body Length)は対象魚の体長)

Before:陸上の稚魚育成水槽においては、視線ベクトルの交点誤差0.3BL以下を達成し、魚数計数4%誤差を実現

After:洋上の養殖生簀内において、2020年11月26日の5秒間のデータで交点検出の条件を視線ベクトル間距離0.3BL以下として判定したときに、魚の位置の測定が連続的に行えていることを確認。また、魚の位置検出時に、視線ベクトル間の距離分布が0.290BL以下であることを確認。このことから交点誤差0.3BL以下を達成していることが言えた(図1)。

2. 連続位置測定における移動距離 達成基準:0.5BL以下

Before:非連続・離散的に撮影された映像を用いた、遊魚の三次元位置測定が行える。

After:2020年11月26日の5秒間のデータで6匹の魚が検出され、いずれの魚に対しても、連続するフレームにおいて、検出漏れなく、連続して位置計測が行えた。

最も離れていたときで0.107BLとなっており、達成基準0.5BLを十分に達成した(図2, 3)

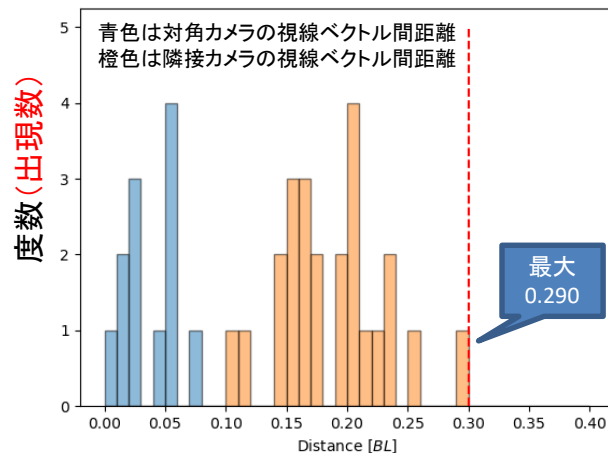


図1:視線ベクトル間の距離の出現度数分布
(区間刻み幅は0.01BL)

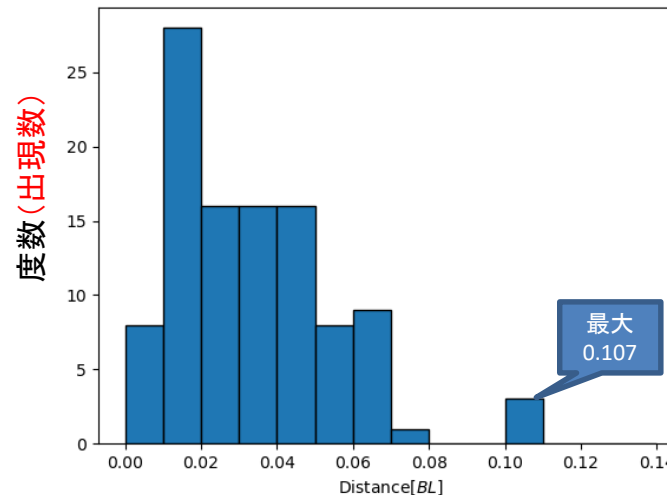


図2:フレーム間での魚の座標間距離(移動距離)の
出現度数分布(区間刻み幅は0.01BL)

Frame	軌跡 1	
	座標(BL)	距離(BL)
68	[0.726, 0.805, 0.758]	0.013
69	[0.716, 0.797, 0.760]	0.011
70	[0.717, 0.787, 0.761]	0.064
71	[0.737, 0.727, 0.751]	0.051
72	[0.757, 0.68, 0.743]	0.017
73	[0.761, 0.663, 0.743]	0.029
74	[0.772, 0.637, 0.741]	0.031
75	[0.801, 0.627, 0.742]	0.023
76	[0.811, 0.610, 0.729]	0.035
77	[0.779, 0.597, 0.738]	

図3:連続的(1/30間隔)な
遊魚位置計測結果

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ IoTサービス実証における成果

3. 洋上生簀からの通信速度 達成基準: 実効速度18Mbps以上

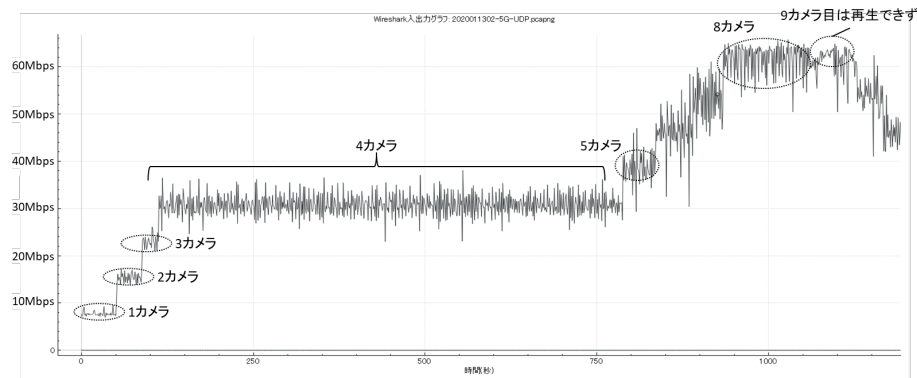
Before: 三次元位置観測に必要なカメラ一台の通信速度(上り: 6~36Mbps)をLTEは満たしておらず, 洋上利用ができない

After:

■ 公衆5G

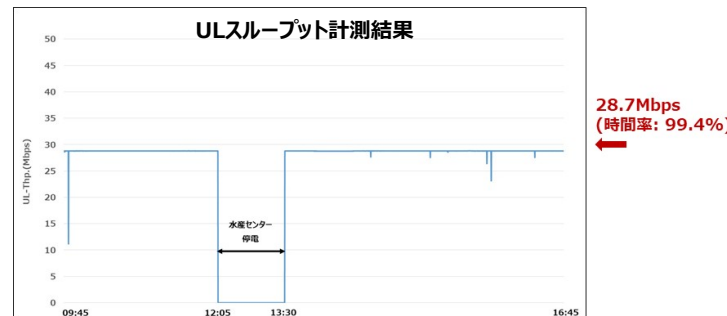
安定して約32Mbpsのスループットを確保していることを確認。

また, 負荷試験において, 最大で7台分のカメラから問題なく伝送できることを確認。18Mbps以上を十分に満たした。



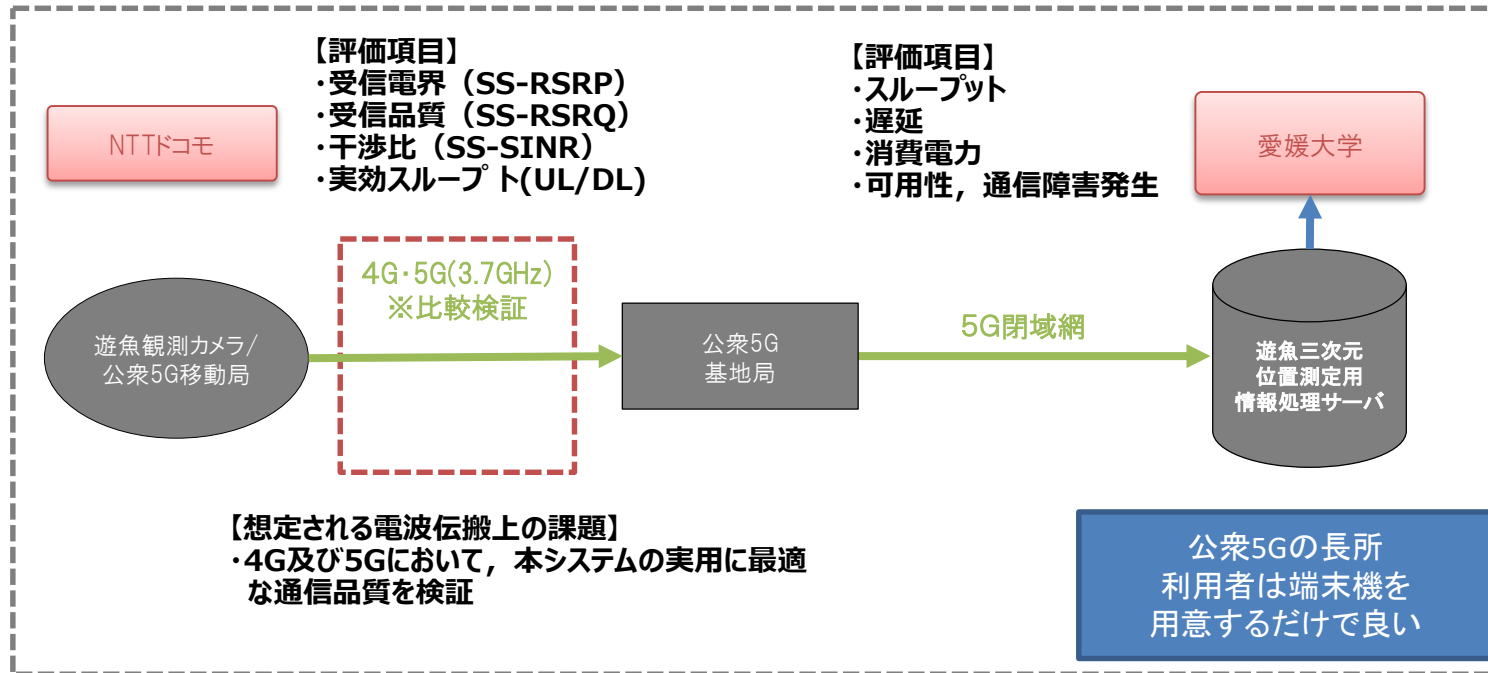
■ ローカル5G

安定して28.7Mbpsのスループットを確保していることを確認。18Mbps以上を十分に満たした。



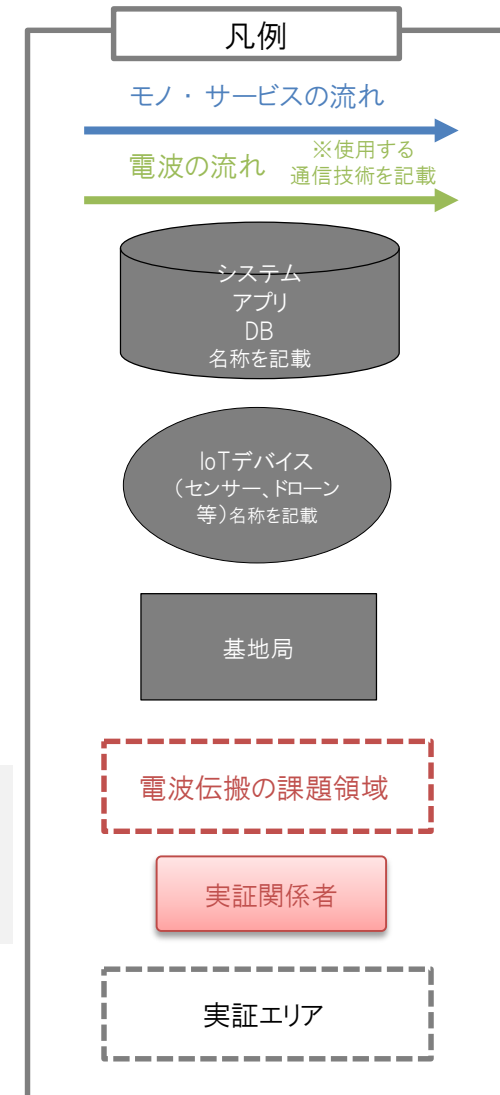
洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ 本実証における電波伝搬上の課題(公衆5G)



■ 本実証から得られる知見等(公衆5G)

- ◆遊魚三次元位置測定装置の洋上での実用化に向け, 公衆網(4G及び5G)での受信電界, データ伝送速度等の比較から知見を得る。(数日間の実証実験の中で, 時間帯, 天候による変動なども調査予定)



洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ 電波伝搬に係る検証結果(公衆5G)

実証実験場は、愛媛大学南予水産研究センターの中浦実験場を使用し、4日間(2021/1/12-15)にわたり検証を行った。また、5G仮設基地局の設置状況や実験の模様については、以下のとおりである。



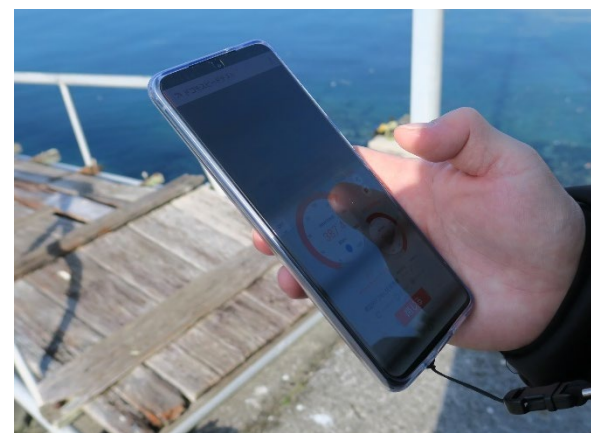
中浦実験場



5G仮設基地局



測定機器



実効スループット調査：ドコモスピードテスト

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ 電波伝搬に係る検証結果（公衆5G）

実証実験場付近の実際のスループット（DL/UL）は以下のとおりである。全部で15か所の測定ポイントについて、電波強度や実際のスループットを測定した。生け簀をターゲットに、5G仮設基地局の設計を行った。

基地局の見通し 見通しあり：①, ⑥(一部樹木による遮り), ⑦, ⑧, ⑨, ⑩, A, B, C 見通しなし：②, ③, ④, ⑤, ⑪, D(樹木による遮り)

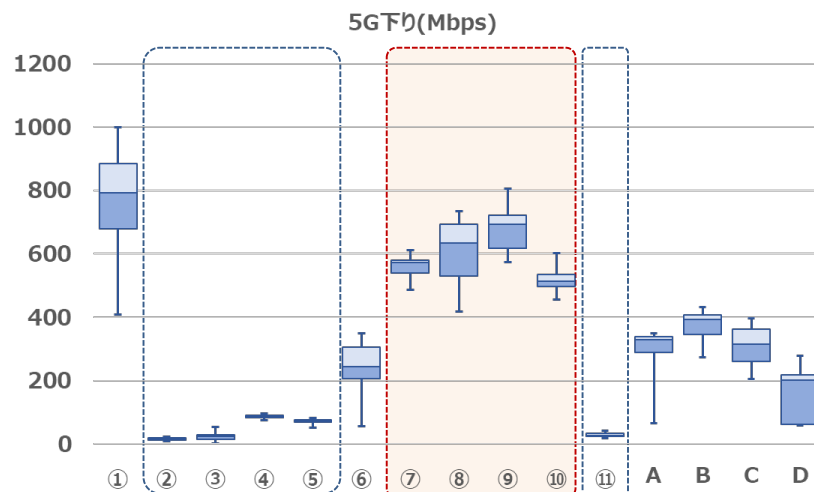
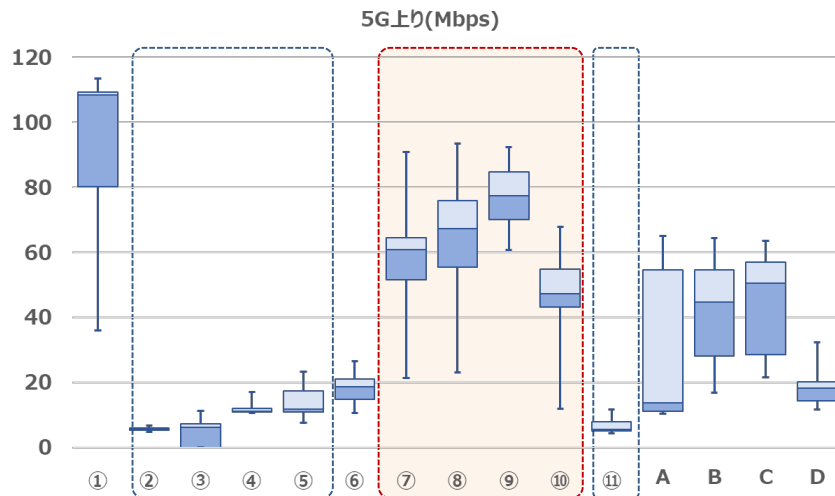
中浦実験場及び測定ポイント別スループット平均値



※本測定値は、あくまで測定結果であり、このスループットを保証するものではありません。

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

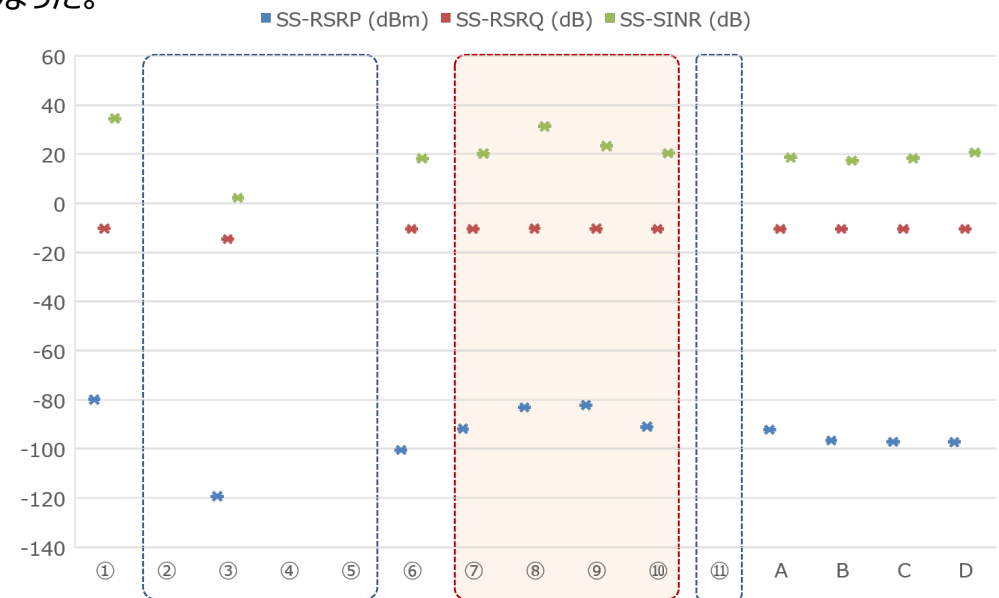
■ 電波伝搬に係る検証結果（公衆5G）



測定ポイント別実行スループット

【電波強度・速度等測定結果について】

- ・公衆5G実証においては、測定ポイントから5G基地局の「見通し」が最も重要であることが分かった。
- ・②の地点など、100m以内の近距離であっても、基地局までの見通しがない測定ポイントでは、5G電波を受信できなかった。
- ・逆に500mを超える地点(⑧~⑩)であっても、見通しが良い測定ポイントでは、下り：600Mbps以上、上り：60Mbps以上を計測できるポイントも複数確認された。
- ・実証実験場付近のA~D地点では、5G基地局が測定ポイントからみて手前の樹木によって遮られており、特に上りで不安定な結果となった。



測定ポイント別電波強度

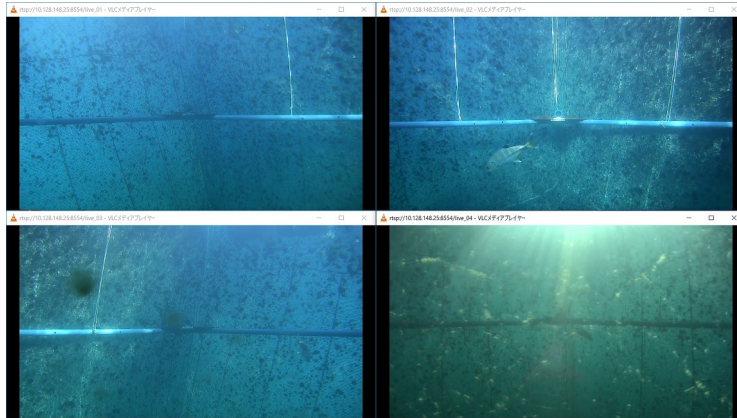
見通し:なし、通信:不可

見通し:あり、通信:安定

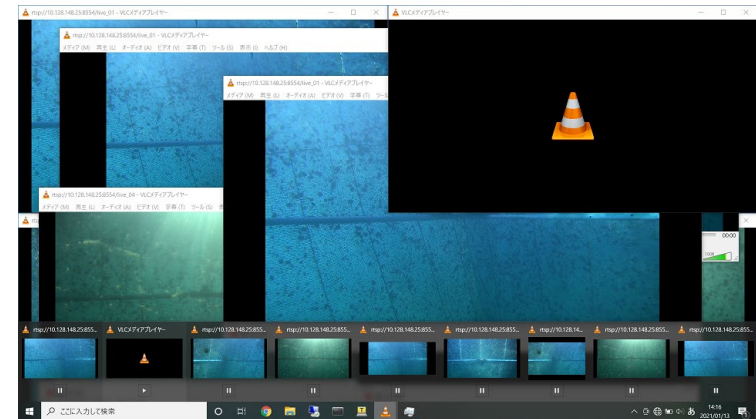
洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ 電波伝搬に係る検証結果(公衆5G)

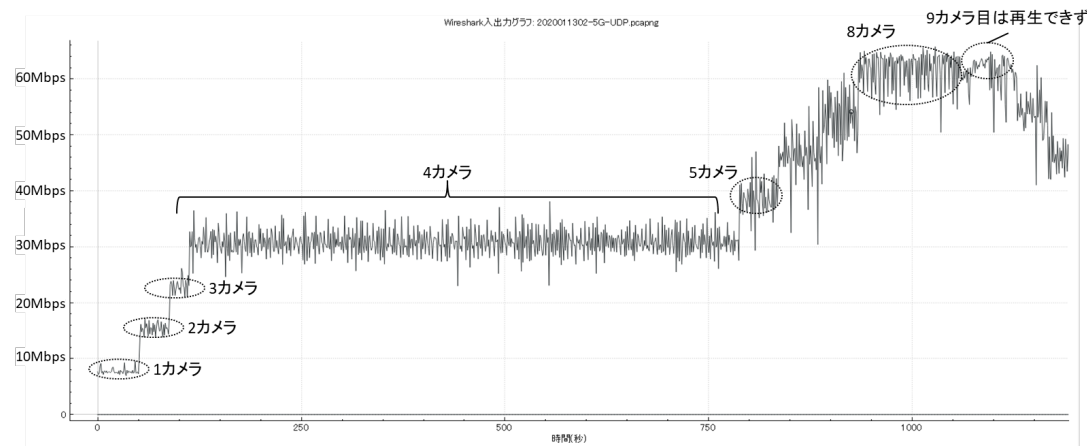
カメラ4台分 (FullHD: 約7Mbps以上×4台) の実効速度が必要であったが、鮮明な画像が伝送できた。また、負荷試験においては、**7台分の映像まで伝送できるなど、達成基準18Mbps以上を十分に満たしており**、遊魚三次元位置測定装置の洋上利用に必要な実効速度を、公衆5Gでは**安定的に通信可能**であることが実証できた。



映像伝送映像(4台分)



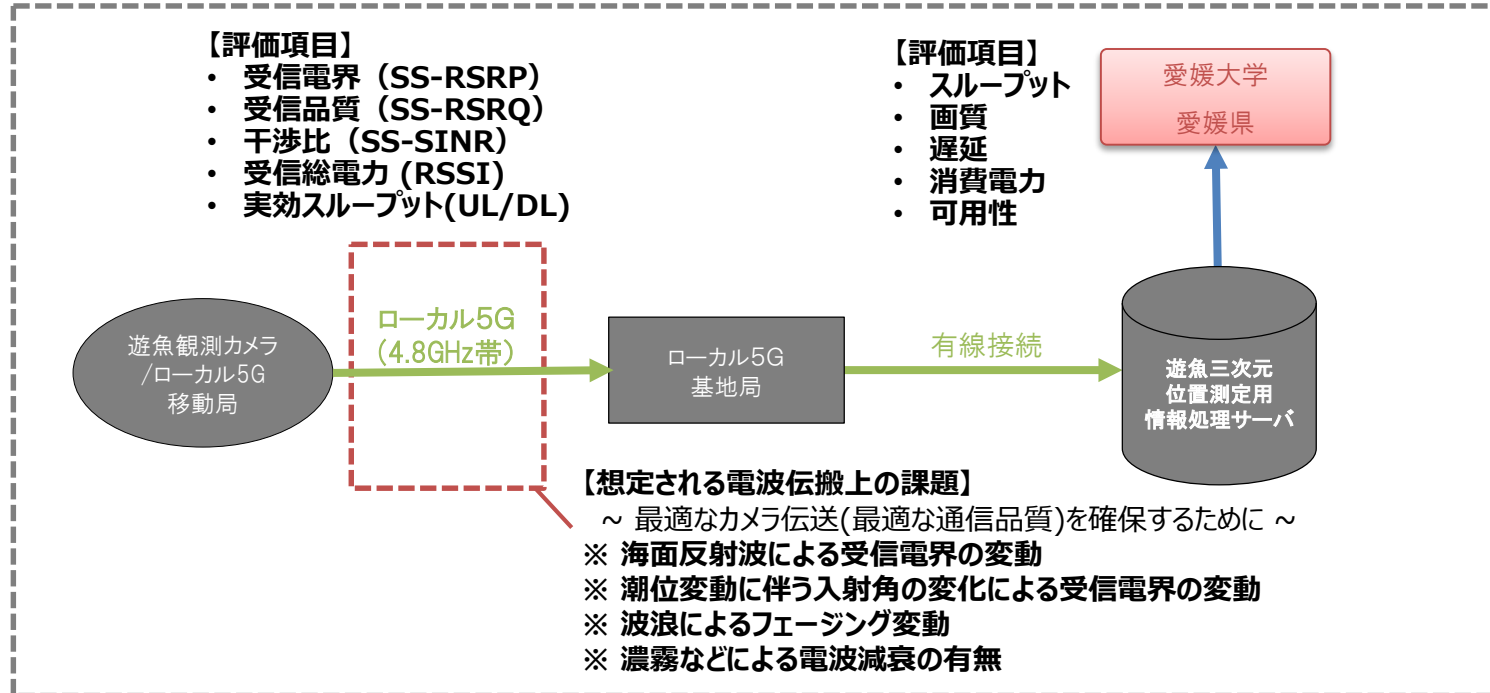
映像伝送映像：負荷試験(8台分)



映像伝送時のトラフィック遷移

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

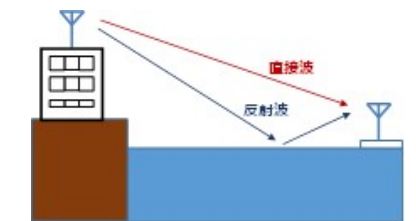
■ 本実証における電波伝搬上の課題(ローカル5G)



ローカル5Gの長所

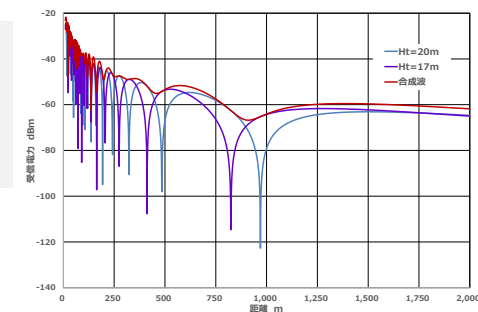
- ・ 基地局の最適配置が可能
- ・ 無線リンクの調整*が可能

* : 使用するアンテナの仕様変更、
アンテナの方位/チルト角変更、
アンテナ高/端末高変更、
RF出力変更など



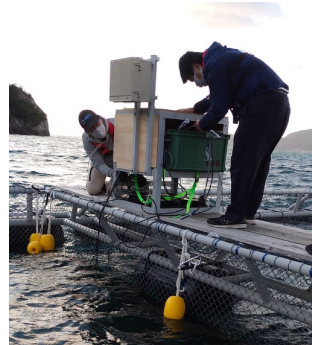
■ 本実証から得られる知見等(ローカル5G)

- ◆ 時間帯, 天候, 基地局からの距離・場所の違いによる, 受信電界, データ伝送速度の変動の知見を得る.
- ◆ アンテナの偏波面の違いによる, 上記変動の違いの知見を得る.



洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

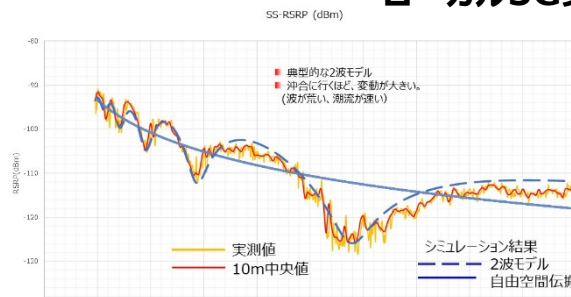
■ 電波伝搬に係る検証結果（ローカル5G まとめ）



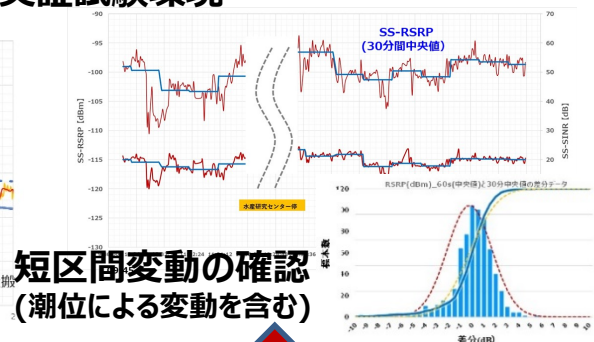
画像 ©2020 Google、

画像 ©2020 Maxar Technologies、Planet.com、地図データ ©2020

ローカル5G実証試験環境



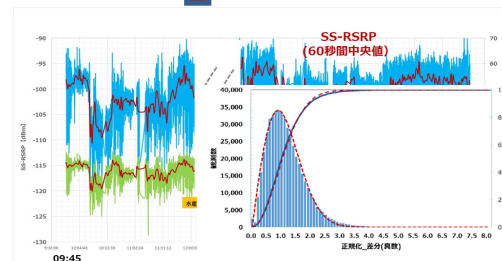
長区間変動の確認(2波モデル)



短区間変動の確認 (潮位による変動を含む)



長時間観測結果



瞬時変動の確認

【想定される電波伝搬上の課題】

- ※ 海面反射波による受信電界の変動
- ※ 潮位変動に伴う入射角の変化による受信電界の変動
- ※ 波浪によるフェージング変動



【実証実験結果】

上記の課題が以下の変動として独立に現れることを確認

- ① 長区間変動(距離特性)
 - ・垂直偏波が有効であることを確認 (反射係数小)
- ② 瞬時変動(レイリーフェージング)
- ③ 短区間変動(緩やかな変動)

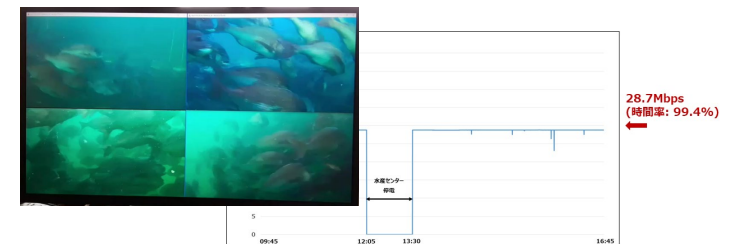


【解決策】

- ・垂直偏波アンテナを選択
- ・2波モデル、変動成分(幅)をマージンとして加えたRF回線設計実施(最低スループットの算出)
- ・端末の設置位置の調整 など



【結果】

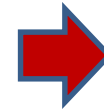


洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

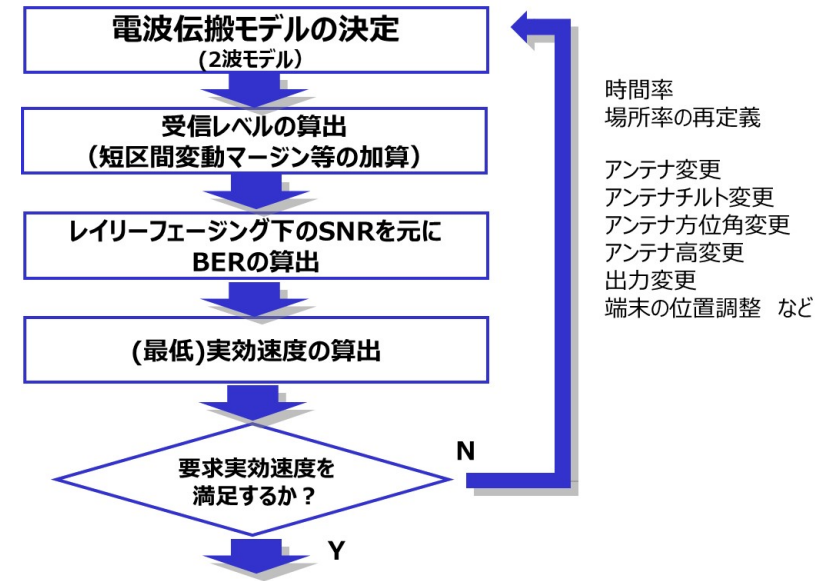
■ 電波伝搬に係る検証結果（ローカル5G 測定結果）

陸上移動通信との比較

ファクタ	陸上移動通信	洋上移動通信
長区間変動	- 距離特性(変動) - 伝搬モデル(計算式) ✓ 秦式 など (市街地の状況等により異なる。)	- 距離特性(変動) - 伝搬モデル ✓ 2波モデル・潮位 (鏡面反射)
短区間変動 (緩やかな変動)	- 場所的変動 - 変動要因: 建物や地形の遮蔽 等 - 対数(dB)正規分布	- 場所的変動 - 変動要因: 生質自体の揺らぎ (上下・左右・前後) - 対数(dB)正規分布
瞬時変動 (激しい変動)	- マルチパスフェージング (レイリーフェージング) - 変動要因: 建物、移動体などの 反射・回折 - レイリー分布	- マルチパスフェージング (ライス/レイリーフェージング) - 変動要因: (激しい)波動 (粗面反射) - レイリー分布



RF回線設計の実施



✓ 陸上移動体通信と同じRF回線設計手法の使用可能と判断する。

$$P_r(d, t) = \eta_0 \times \eta_1(d) \times \eta_2(t) \times \eta_3(t) \times P_t(t)$$

$P_r(d, t)$: 送信電力 $P_t(t)$: 受信電力 d : 基地局(アンテナ)と端末間の距離

η_0 : 電波伝搬特性以外の要因で決まるファクタ (アンテナゲイン, アンテナチルト角 など)

$\eta_1(d)$: 長区間変動 (距離特性)

$\eta_2(t)$: 短区間変動 (緩やかな変動)

$\eta_3(t)$: 瞬時変動 (激しい変動, レイリー/ライスフェージング)

* $\eta_2(t)$, $\eta_3(t)$ は統計処理により求めた変動値幅(マージン)

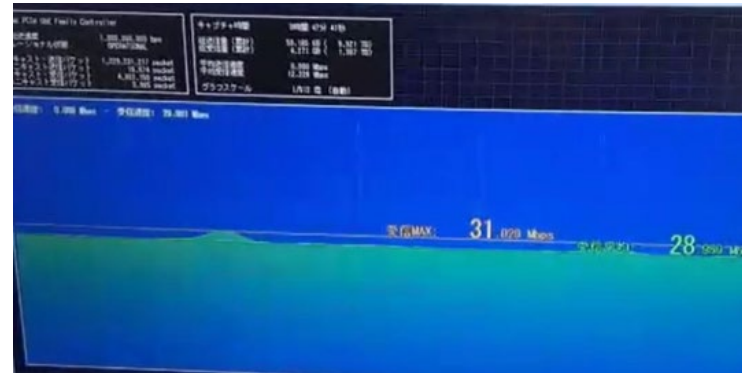
洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ 電波伝搬に係る検証結果（ローカル5G 結果）

- ✓ 垂直偏波アンテナを選択、得られた知見を加味してRF回線再設計し、スループットを28.7Mbpsに決定
- ✓ 端末の設置位置等の調整を実施

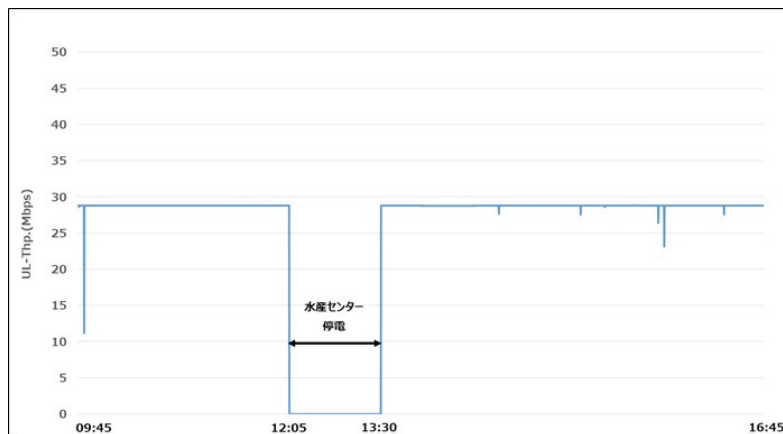


映像伝送映像(4台分)



映像伝送映像(4台分)のスループット

平均: 28Mbps



*スループット遷移観測結果

28.7Mbps
(時間率: 99.4%)

- ✓ カメラ4台分:28Mbps (FullHD : 約7Mbps×4台) の実行速度が必要であったが、鮮明な画像が伝送できた。
- ✓ 長期間に渡り、達成基準18Mbps以上を十分に満たしており、安定的に通信可能であることが実証できた。

*: 映像伝送試験の前日に計測

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ IoT利用環境構築事業の策定に向けた整理

①電波伝搬上の課題がIoTサービスに与えた影響

- ・実証実験を通じて、今まで十分に把握できていなかった洋上における大容量伝送の電波伝搬特性が明らかになった。
特に、基地局から近距離においては、鏡面反射波や粗面反射波の影響などを十分に考慮したRF回線設計を通じて、実用に供するIoTサービスの展開が可能であることが分かった。
- ・公衆5Gの実証では、既存の基地局に5Gアンテナを仮設し、NSA方式で運用するなど、実環境に近い設置を行った。実験場の生け簀をターゲットにエリア設計を行ったが、生け簀周辺の測定ポイントにおいて、基地局付近の樹木で5Gアンテナが遮蔽されることで、特に上りのスループットが不安定になる場合があった。
また、基地局からの見通しがなければ、近距離でも5G通信ができなかったが、基地局からの見通しがあれば、設計したエリア以遠の場所においても、安定した5G通信が確保できた。こうした結果から、5Gは4Gに比べ、特に見通しが重要である。
- ・想定していた電波伝搬上の課題が電界強度・SNRの変動として現れることを確認し、これらの変動がスループットの変動につながり、カメラ映像の品質に影響を与えることが分かった。

②本実証で得られたIoT利用環境の適正な運用及び整備に資する知見

- ・本実証では、ローカル5G・公衆5Gともに漁業（養殖生け簀）用に性能面で特別な仕様対応を行っておらず、テスト用もしくは一般的な仕様の基地局（設備）・端末（移動局）を使ったが、双方ともに性能面での仮説が実証できたため、今後漁業における商用の可能性が確認できた。
- ・今後、5Gの活用が進む中で、今回のように5G通信の特長である「高速・大容量」を生かした高画質映像の伝送などの事例も多くなってくることが想定されるが、その際に重要となるのが上りの通信速度の確保であり、新たな産業創出や社会課題解決に資するエリア展開を行っていく際には、こうした点がエリア構築の参考になる。
- ・電波伝搬上の課題で得た知見をもとに、変動マージンを加えたRF回線の再設計を行うことで、長時間安定したカメラ映像の伝送に成功した。
- ・24時間/365日運用や、台風などの荒天時を考えた場合、更なる変動特性の把握・深耕が必要である。
- ・特定の用途に応じ最適化が可能なローカル5Gだけでなく、広域なネットワーク展開を行う公衆5Gにおいても魚数カウント・魚病把握が可能であることを実証できたのは成果のひとつである。

洋上を現場とするIoT機器・サービス実現のための電波特性試験調査

■ IoT利用環境構築事業の策定に向けた整理

③今後も検証等の必要があると思われる課題

- ・今回は、設置場所の関係でローカル5Gと別々の場所で実証実験を行ったが、
公衆5Gとローカル5Gが同一エリアにある環境下において、
電波干渉や非同期運用を行った場合の影響などの検証は引き続き必要である。
- ・技術面の課題として、電波伝搬上の特性(変動)の多くが海面反射波に起因するものであることを確認。
より安定・向上した通信品質を得るためには、海面反射波の影響を軽減する必要がある。
今後の技術動向を見ながら、方策を見出して行く必要がある。

④IoT利用環境の適正な運用及び整備のあり方、必要な政策面での支援

- ・今回の実証実験におけるローカル5Gは「実験試験局」の扱いであり、自己土地利用・他者土地利用の制約が無かったが、今後実用化についてを進めていくにあたっては商用免許の申請となり、土地利用の制約が生じることが予想される。
- ・洋上を始め様々な場面でのローカル5G活用を進めていくにあたっては、洋上利用や上空利用に関するルール整備や、自己土地利用の要件引き続き検討を要する。