



# ローカル5Gで 無線映像伝送やってみた

JANOG50 Day3 10:45 - 11:30

local5g

株式会社ミクシィ

開発本部CTO室インフラグループ

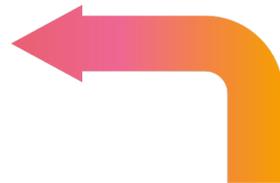
市野 真一 / Shinichi Ichino

仕事内容：映像配信・伝送的なこととペーパーワーク

⇒ TIPSTAR 映像伝送・動画配信

⇒ TIPSTAR スタジオ構築・運用

⇒ **PIST6 無線映像伝送**



※ローカル5G環境構築 と 小型車載カメラ開発 ← 今日のおはなしはコレ！！

JANOGGの発表 はじめて です

dkdk

インフラエンジニアなら避けたい！？

**無線**で**低遅延**かつ**安定**して

**映像**パケットを**伝送**したい！

**私たちの試行錯誤のお話になります**

※5GC自体のお話は一切しません。5GCは作っていませんmm

※開発物は サービスリリース前・開発中、です。。。

As of July 2022

Program

# AGENDA

1

## PIST6と車載カメラ

～ 短納期 Wi-Fi & sXGP での実装 ～

2

## ローカル5Gへのチャレンジ

～ 免許申請から構築。ローカル5Gの現実 ～

3

## ローカル5G小型カメラ開発

～ 小型 & 軽量を目指す。RaspberryPiでの挑戦 ～

4

## まとめ・議論

Program

# AGENDA

1

## PIST6と車載カメラ

～ 短納期 Wi-Fi & sXGP での実装 ～

2

## ローカル5Gへのチャレンジ

～ 免許申請から構築。ローカル5Gの現実 ～

3

## ローカル5G小型カメラ開発

～ 小型 & 軽量を目指す。RaspberryPiでの挑戦 ～

4

## まとめ・議論

**“PIST6” 知っていますか？**

**& TIPSTAR DOME CHIBA ?**

# 『 TIPSTAR DOME CHIBA 』

国内3か所目となる国際規格の木製バンク。KEIRIN競技にあわせて様々な演出も行われるドーム



ミクシィ は 映像技術・運営支援で携わっています



# PIST6開業と車載カメラ

2021年4月頃

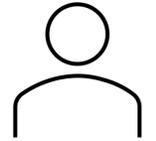


事業企画担当

新ケイリンの PIST6ってのをはじめるんだけど、  
見たことない映像だしたいの！車載カメラとか作れない？

面白そうですね！やりましょう！  
いつから始まるんですか？

6車全台から車載映像出したいの  
あと半年あるからヨロシク！



われわれ

Oh... OKっす。ガンバリまっす

FY22上期（4月～）

FY22下期（10月～）

車載カメラ構築

設計

発注

工事

試験

運用

⇒ 初出から免許申請が必要で構築までに時間のかかるローカル5Gは厳しい

⇒ 端末接続性も不明瞭であるため 免許不要な無線環境でシステム構築をはじめ

達成すべき課題

バンク内から **無線** で 複数同時に **映像伝送**

カメラとしては

**小型・軽量・バッテリー搭載** で **エンコード** 出来ること

⇒ 市販・量産 されているなかでは **小型スマホ** しかない

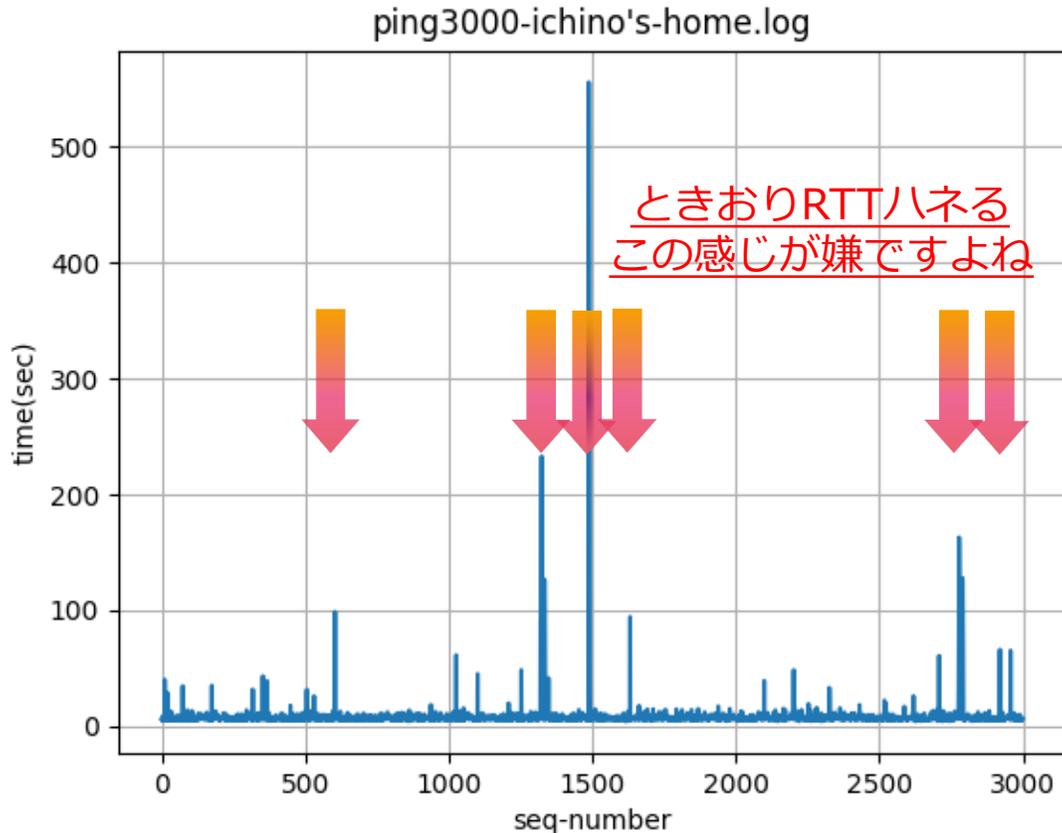
世界最小スマホ "Jelly2\_JP" を選択

※2021年8月時点



# そもそも、無線映像伝送を避ける理由

ひとことと言うと不安定だから。。具体的には・・・



3000 packets transmitted, 3000 packets received, 0.0% packet loss  
round-trip min/avg/max/stddev = 4.050/8.457/555.888/15.460 ms

## 障害物に弱い

- ⇒ アンテナまでの間で障壁があると通信性能低下
- ⇒ 反射した電波を拾うことがあります 通信性能低下

↑ "フェージング"と言います

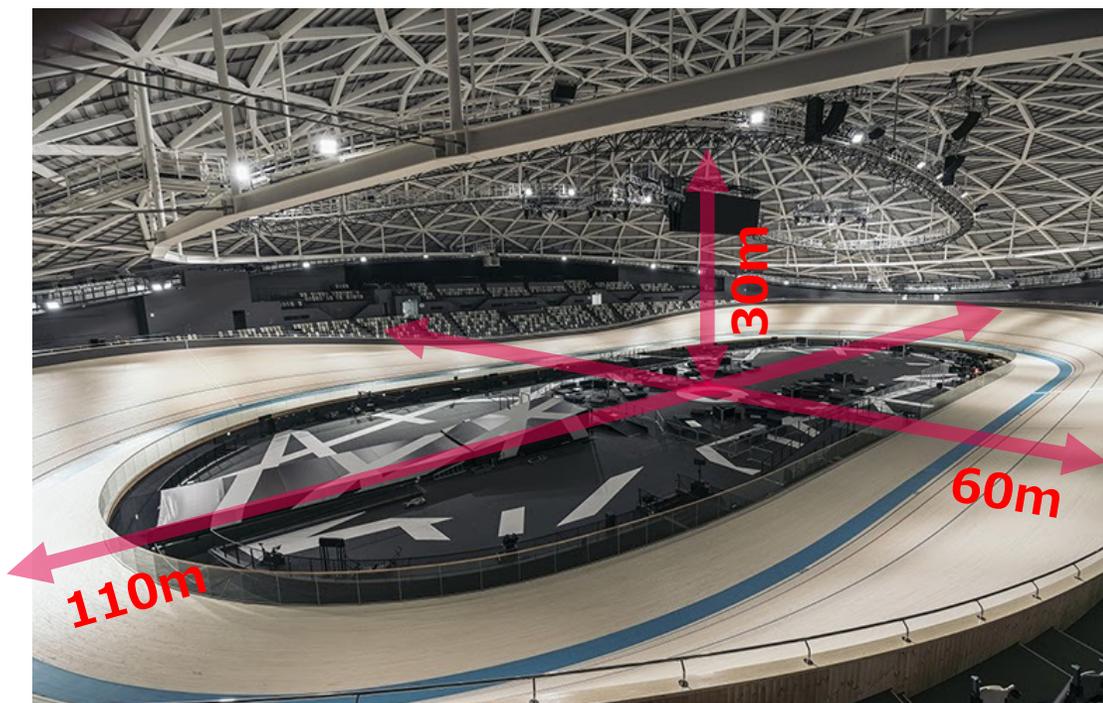
## 混信・電波干渉

- ⇒ 免許不要の周波数帯は自由に利用可能
- ⇒ 他のアクセスポイントと共存してしまう
- ⇒ 端末から見て同周波数が存在すると迷子状態

⇒ 結果として画・音のノイズにつながる

とある一般家庭のWi-Fi環境 200ms毎のping連打の結果

経験したことのない巨大建物。広大な空間に対しての電波放射・他の無線との共存



木製250mバンク。約2000名収容可能ドーム

## Point 01

これまでに経験のない広大な屋内空間

- ⇒ 約縦 60m × 横 110m × 高 30m の巨大空間
- ⇒ 柱等がなく遮蔽物のない環境での無線環境構築

## Point 02

他の無線システムとの共存

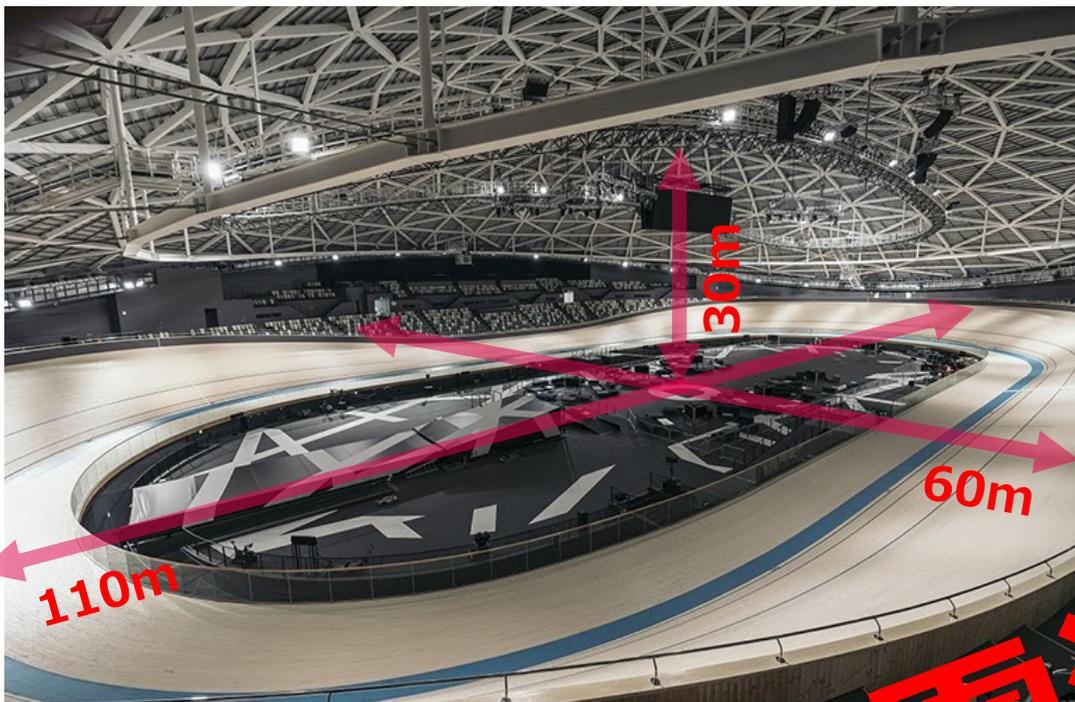
- ⇒ 放送・審判 etc... 他無線との電波共存
- ⇒ 観客席向けに別会社構築のWi-Fi設備がある

## Point 03

競技運営との共存

- ⇒ 放送・審判カメラの邪魔にならない
- ⇒ 演出で スモーク・ファイア とかできるらしい

経験したことのない巨大建物。広大な空間に対しての電波放射・他の無線との共存



木製250mバンク。約2000名収容可能ドーム

## Point 01

これまでに経験のない広大な屋内空間

⇒ 約縦 60m × 横 110m × 高 30m の巨大空間

⇒ 柱等がなく遮蔽物のない環境での無線構築

## Point 02

他の無線システムとの共存

⇒ 放送・審判カメラ…他無線との電波共存

⇒ 観客席向けに別会社構築のWi-Fi設備がある

## Point 03

競技運営との共存

⇒ 放送・審判カメラの邪魔にならない

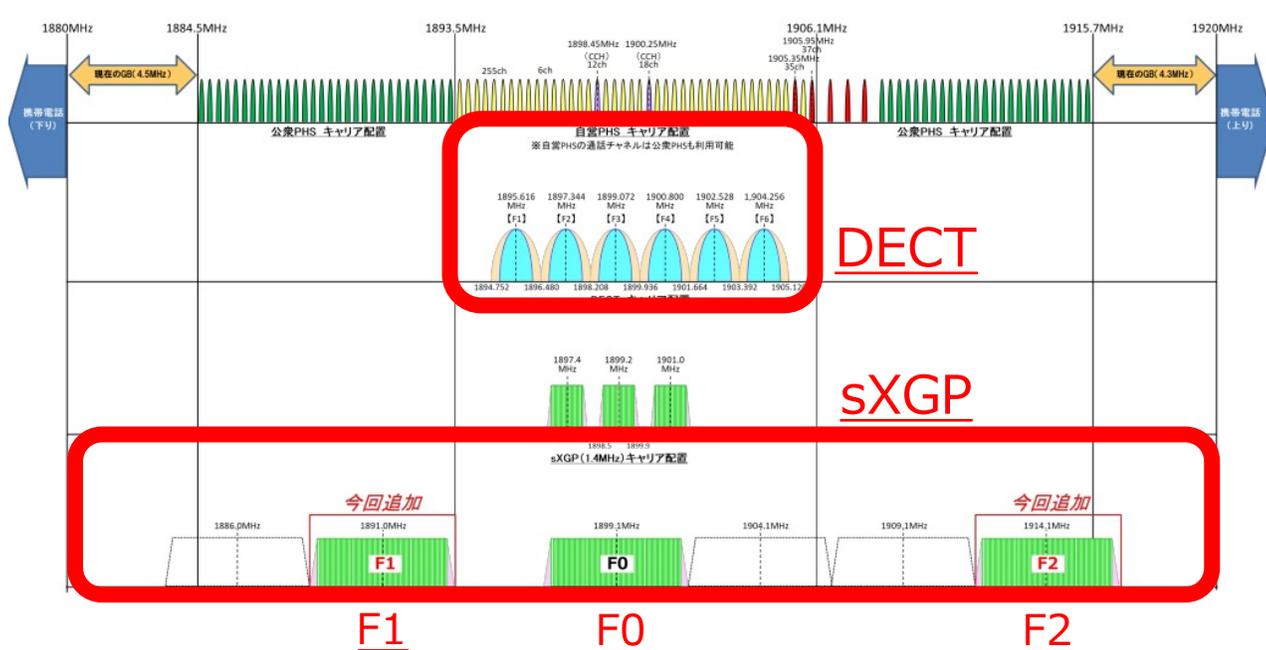
⇒ 演出で スモーク・ファイア とかできるらしい

混信

電波干渉要素満載

# 混信を避ける その1 … sXGP (プライベートLTE)

Wi-Fiとは違う周波数帯 1.9GHz帯。免許不要の sXGP (プライベートLTE) の導入。



引用:) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告 (案) 概要  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000675103.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000675103.pdf)

## 1.9GHz帯周波数

- ⇒ 2020年12月 法改正で3波の利用が可能
- ⇒ LTEなのでSIMが必要。
- ⇒ 回り込み特性があり広範囲に届く

## DECTとの共存

- 同周波数帯でDECTという規格がある
- ⇒ DECT利用のインカムが存在していた・・・
- ⇒ 干渉を避けるため電波出力は 50% に制限。

## 端末の技適取得状況と帯域

- ⇒ 利用端末"Jelly2"はF0帯のみの技適取得であった。また、5MHz幅でアップロードは最大4Mbps
- ⇒ sXGPはWi-Fiの補助回線としての利用

地下鉄のトンネル内とかに敷設されているらしい、。Wi-Fiアクセスポイント用ケーブル状のアンテナ



## コース周回に沿って配線・配置

- ⇒ Wi-Fi 2.4GHz帯の対応のものを用意
- ⇒ アンテナ利得等を調整して利用する

## 電波

ケーブルから放射される電波が弱すぎた。  
バンク内全域をカバー出来なかった  
端末との相性もある可能性。PCは結構つながる  
2.4GHz帯オンリー利用は規格的に帯域が少ない

⇒ 漏えいケーブルはお蔵入りとなった

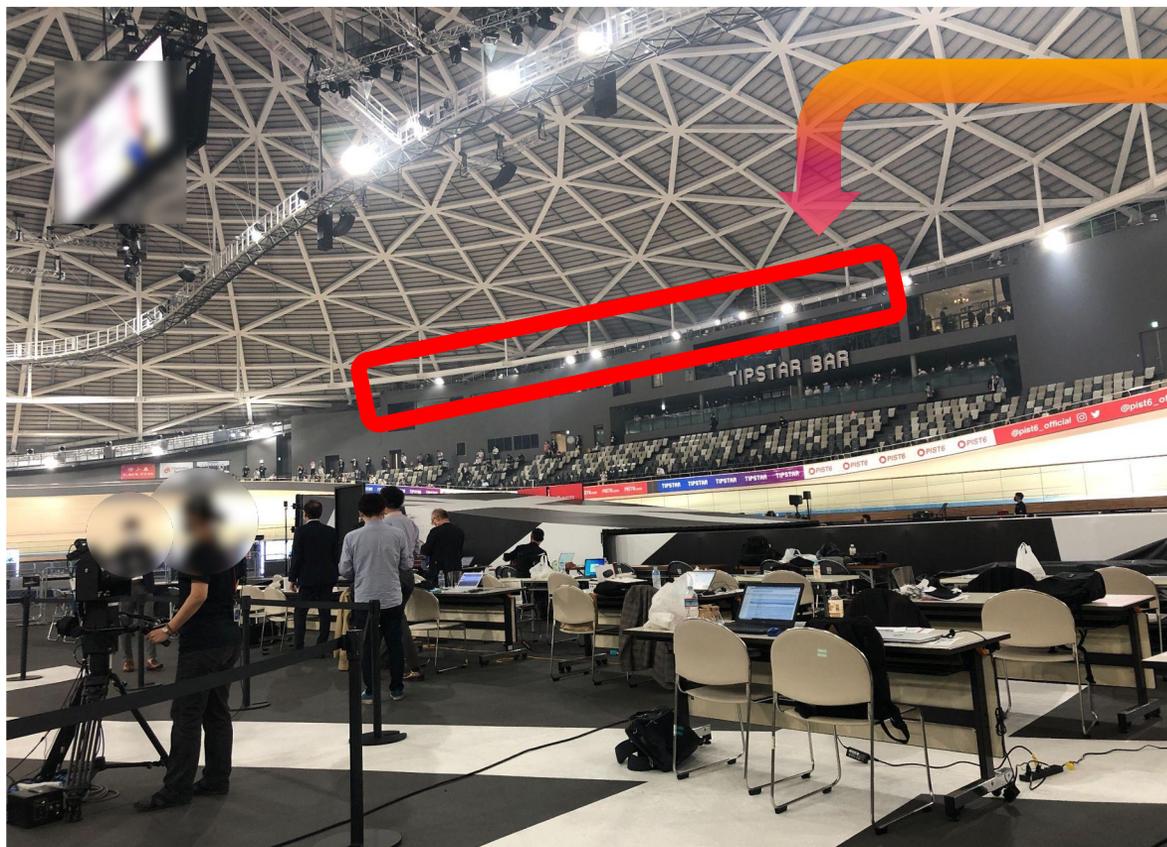
※良い製品だが使い所を誤った

# 最終的な物理構成

Wi-Fiアクセスポイント×3 スタンドアロン構成

広大な空間・障害物がないと意外と広範囲に電波がとどくということに気づいた。。

ドーム内が見渡せる場所に取り付ければ、バンク内で通信可能であった。 ※記載以外もイロイロはまった  
アクセスポイント間の距離・クラスタ構成の注意



車載カメラ用Wi-Fiアクセスポイント  
バンク内までの最大距離は85m程度

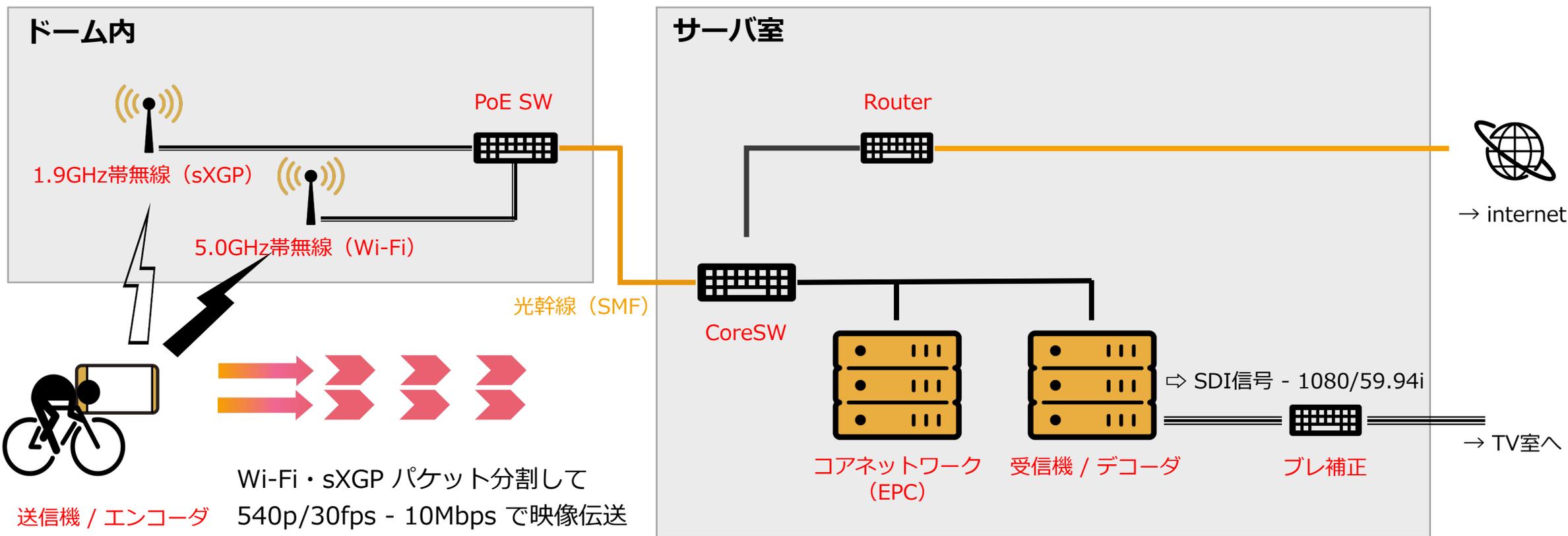
Wi-Fi アクセスポイントを屋上手摺に取り付け



# Wi-Fi & sXGP 車載カメラ ネットワーク構成

免許申請不要な無線設備をドーム内高所に設置。サーバ室でSDIに変換後にTV室へ

**Dejero** 社製のAndroidアプリ・受信サーバ と 小型スマホ を利用して 2 回線分割 IP映像伝送





良きなときのWi-Fi通信状況



ダメなときのWi-Fi通信状況



1

## 画質

エンコード540p -> デコード1080i  
アップコンバートしているため映像が粗い

2

## 安定性 = 帯域不足

混信・アンテナ電波出力弱め  
10Mbpsを安定的に伝送させるには難しい

3

## 遅延

製品を利用。映像出力のバッファが多い。  
1000ms程度の遅延（安全を優先した設計）

失敗・苦勞 もあったがなんとか納期には間に合った

**画質・遅延・安定性** の課題 はのこる  
現地スタッフの運用でカバー



**ローカル5G** への **挑戦**

「超高速/超低遅延」「大容量通信」「多数同時接続」への期待

Program

# AGENDA

1

PIST6と車載カメラ

～ 短納期 Wi-Fi & sXGP での実装 ～

2

ローカル5Gへのチャレンジ

～ 免許申請から構築。ローカル5Gの現実 ～

3

小型カメラ開発

～ 小型 & 軽量を目指す。RaspberryPiでの開発 ～

4

まとめ・議論

極端なはなし

# 有線に近い無線環境を作りたい

目指すのは

1080/30fps で 10frame (300ms) の伝送遅延

広範囲を無線網でカバーするため

ローカル5G Sub6帯4.8GHz SA方式

+ ハンドオーバー構成

※ 28GHz帯ミリ波は直進性が強いいため適さないという判断

# ローカル5G車載カメラ実装までの道（まだ途中デス



⇒ 必要書類かき集めの苦勞（ベンダーに支援いただいた）



⇒ 半導体不足で納期が厳しいかったが、ベンダー協力のもと回避



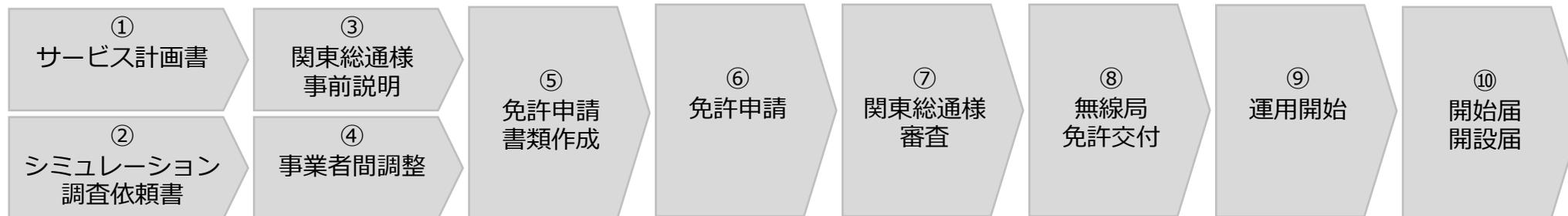
⇒ ないものは作る！試行錯誤の端末開発に着手

⇒ パケロス・映像ノイズがでまくる。無線の理解に苦しむ。

**いまココ**

# 備忘録：免許申請の流れと必要な書類たち

## 1 免許申請までの流れ



## 2 免許申請に必要な書類

- 1 サービス計画書 **ローカル5Gでなにやりたいのかまとめましょう**
- 2 ローカル5G構築依頼書
- 3 免許申請書（基地局・端末）
- 4 無線局事項書（基地局・端末）
- 5 工事設計書（基地局・端末）
- 6 サイバーセキュリティ対策を講じた電気通信設備の概要を記した資料登記
- 7 事項証明書
- 8 登記事項証明書 **建物管理者から取得しましょう**
- 9 履歴事項全部証明書
- 10 ローカル5G構築依頼書
- 11 無線従事者選任届 **第三級陸上特殊無線技士 以上をとりましょう**
- 12 開設無線局数届出書（端末）
- 13 無線局の運用開始等の届出（端末）

審査通過すると総務省より  
免許状が交付されます



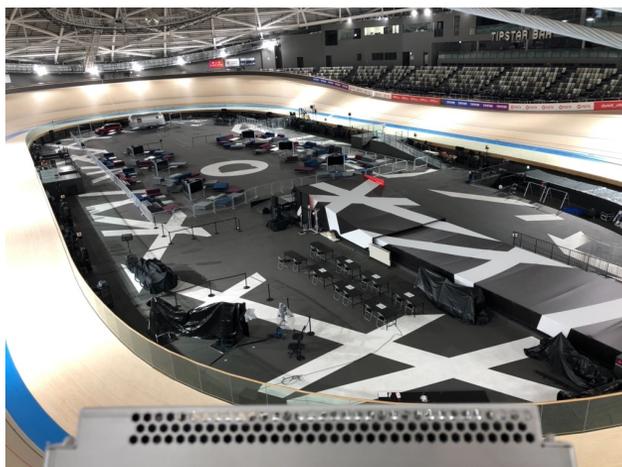
### 無線局免許状

免許人の 氏名又は名称	株式会社ミクシイ		
免許人の住所	東京都渋谷区渋谷2-24-12 渋谷スクランブルスクエア		
電波の型式、周波数及び空中線電力			
99M9X7W	4849.98 MHz	(注)	309 mW

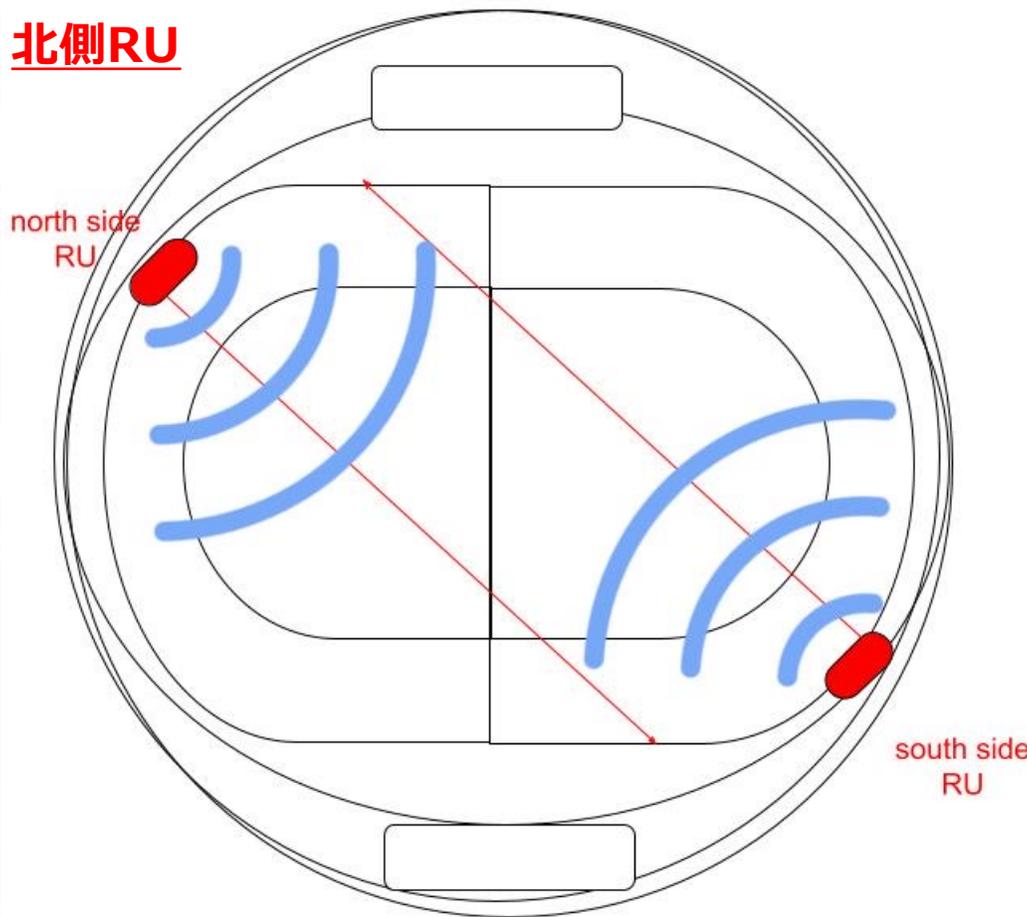
ローカル5G免許状（一部抜粋）

# TIPSTAR DOME CHIBA内での電波放射

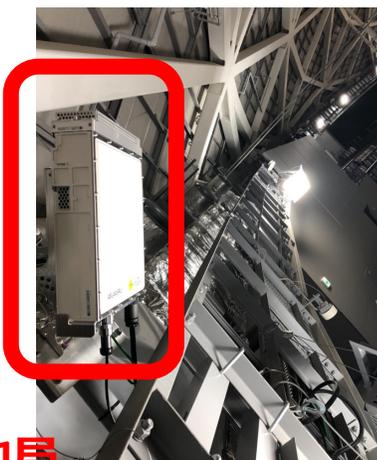
バンク内すべてをカバーするため基地局（アンテナ/RU）は、2台設置してハンドオーバー構成とした



**北側RU**



**南側RU**



**富士通社製  
RU**

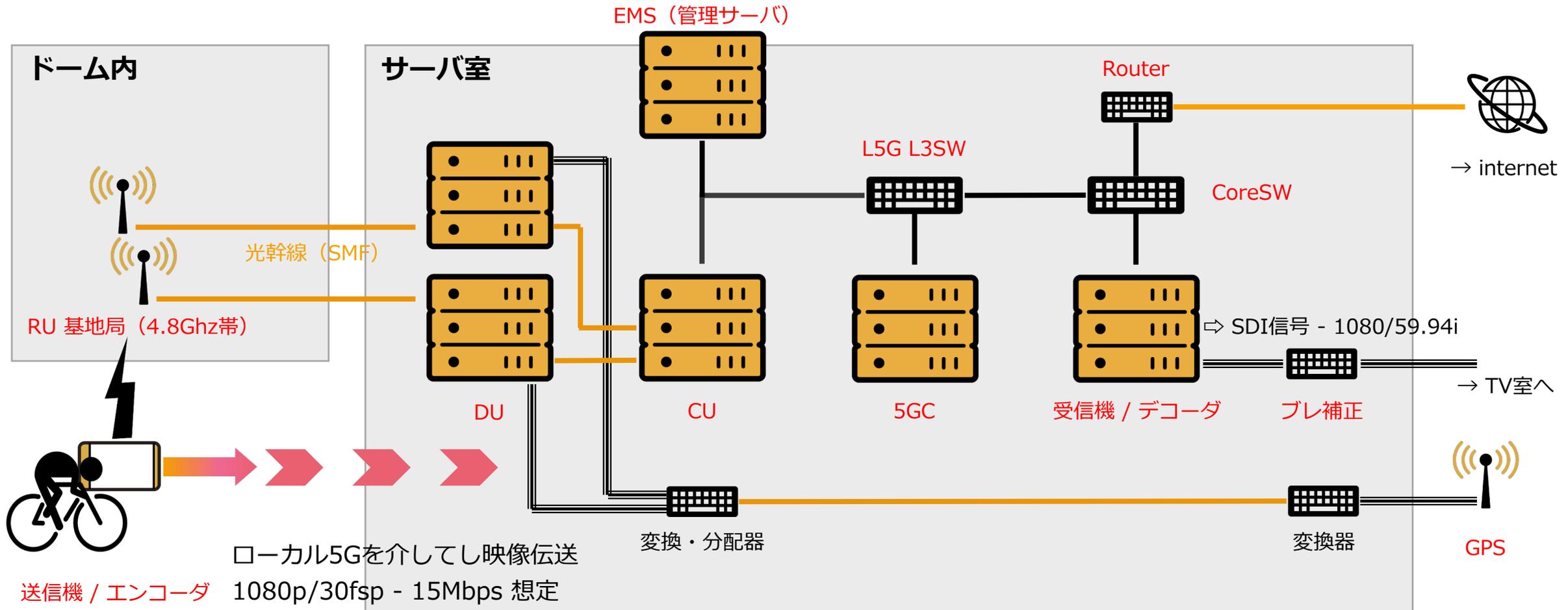
**ローカル5G基地局**

ドーム内にRU設置

南北のRUは対角状に設置してあるが電波の正面衝突を防ぐため微妙に角度をズラしている

# ローカル5G 車載カメラ ネットワーク構成

ローカル5G 基地局を無線設備のドーム内高所に設置。サーバ室でSDIに変換後にTV室へ  
ミクシィ 社製の 送信機・受信サーバ を利用して IP映像伝送



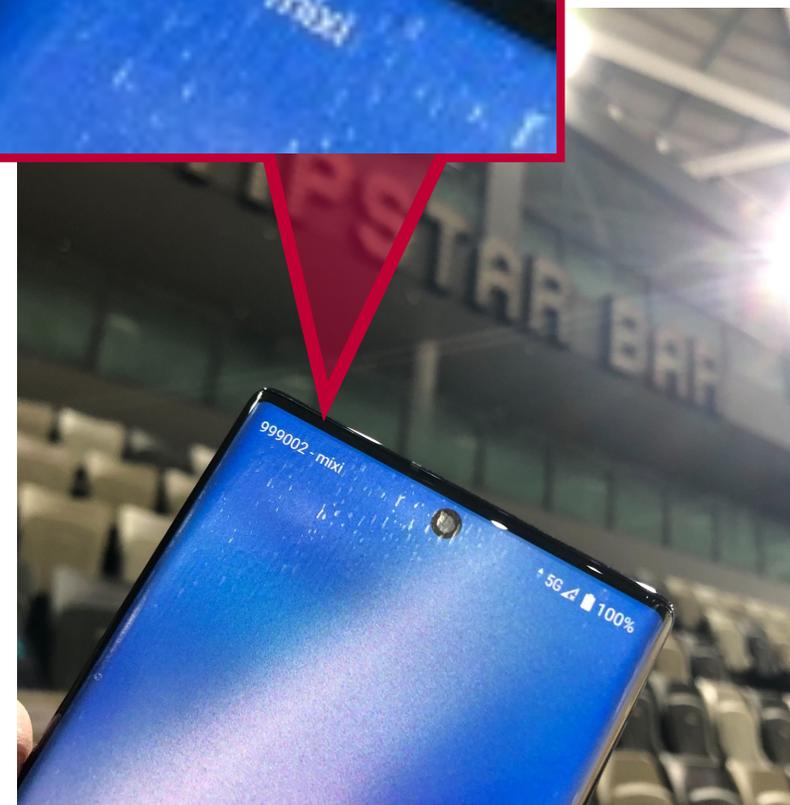
mixi SIM ⇨

工事完了・SIM・免許取得！

## まずなにをする

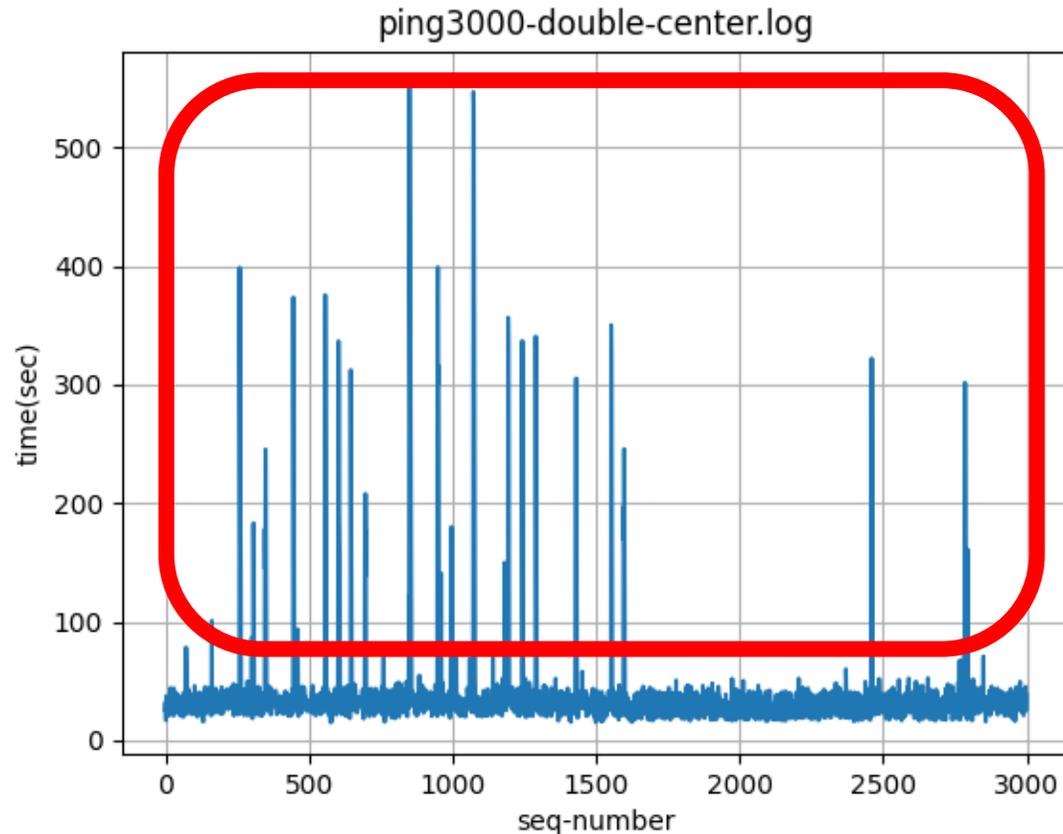
とりあえず **ping** 撃ちます

あと **iperf** もしときましょ



# ローカル5G (Sub6 SA) のパフォーマンス

ドーム内の中央 (基地局 2 台の間での icmp/ping 64Bytes パケット測定結果)



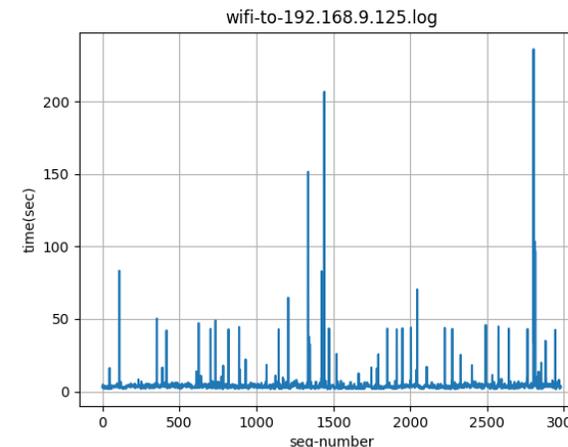
3000 packets transmitted, 3000 packets received, 0.0% packet loss  
round-trip min/avg/max/stddev = 15.130/37.581/554.545/41.770 ms

**ローカル5G**

端末から受信サーバまでのRTT結果。

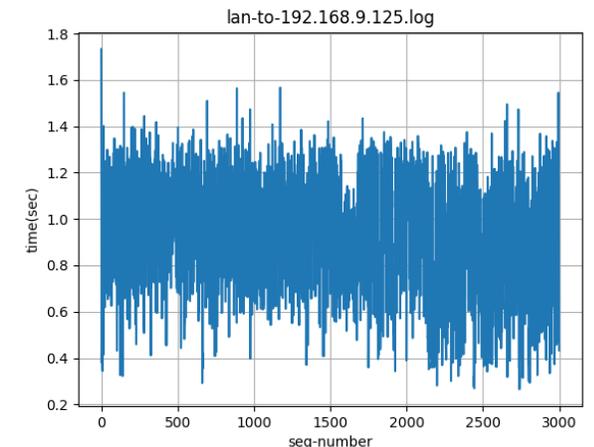
RTT (NW遅延) は 30ms前後、ではある・・・

参考。現地 Wi-Fiと有線経路で同一サーバまで



3000 packets transmitted, 2981 packets received, 0.6% packet loss  
round-trip min/avg/max/stddev = 1.543/4.470/236.123/9.076 ms

**Wi-Fi**



3000 packets transmitted, 3000 packets received, 0.0% packet loss  
round-trip min/avg/max/stddev = 0.265/0.953/1.733/0.254 ms

**LAN**

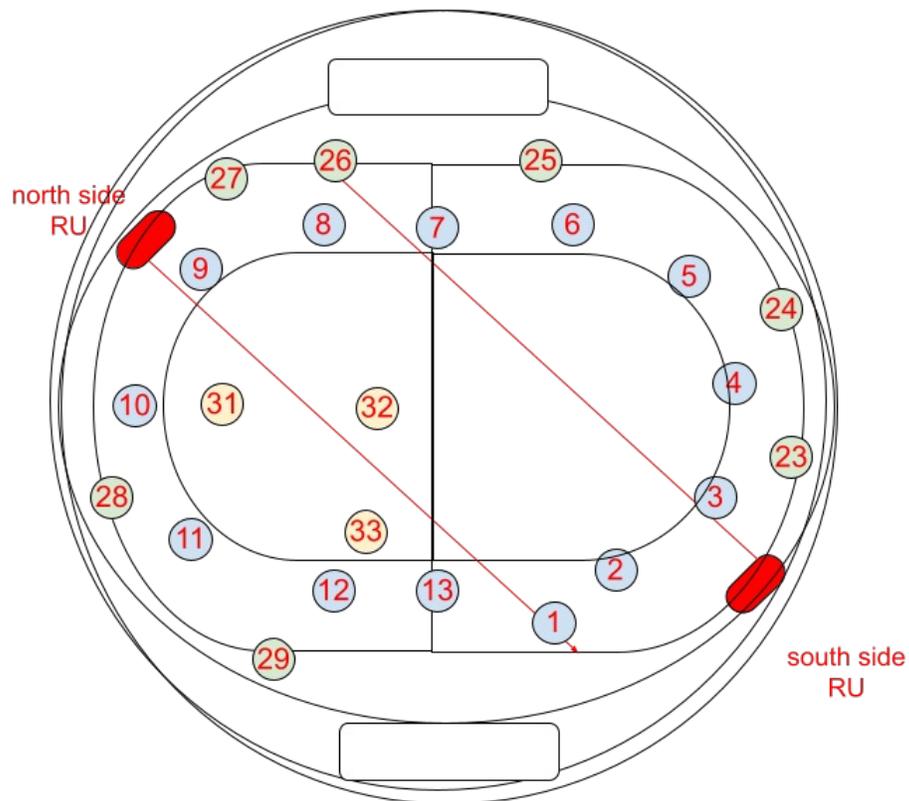
んー？。。。  
あれ、。想像と違う

数msくらいで安定したRTTじゃないの・・・

無線なのに loss がないのは素敵！、、。でも、ジッターありすぎ。これだと **映像ノイズ** につながる。

エラー訂正（FEC：RTP etc..）・再送要求（ARQ：SRT, QUIC etc..）でもカバーしきれない予感。

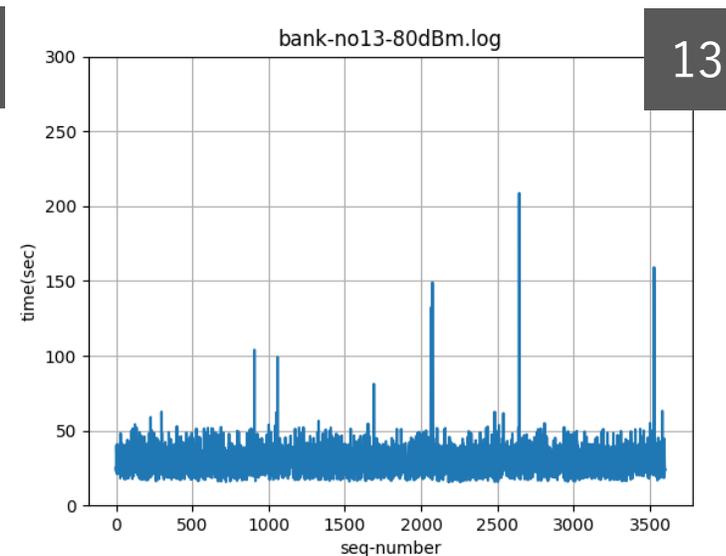
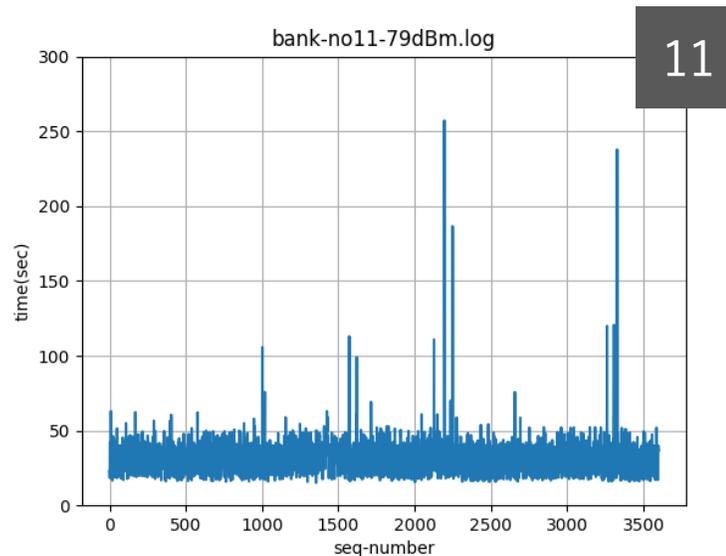
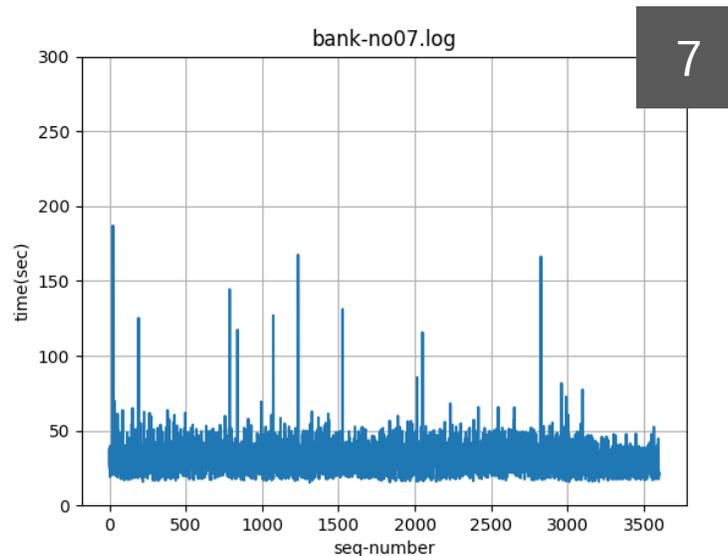
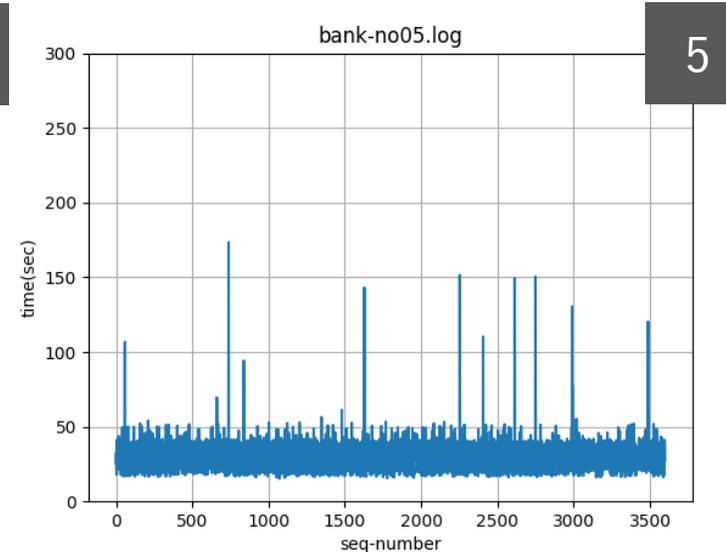
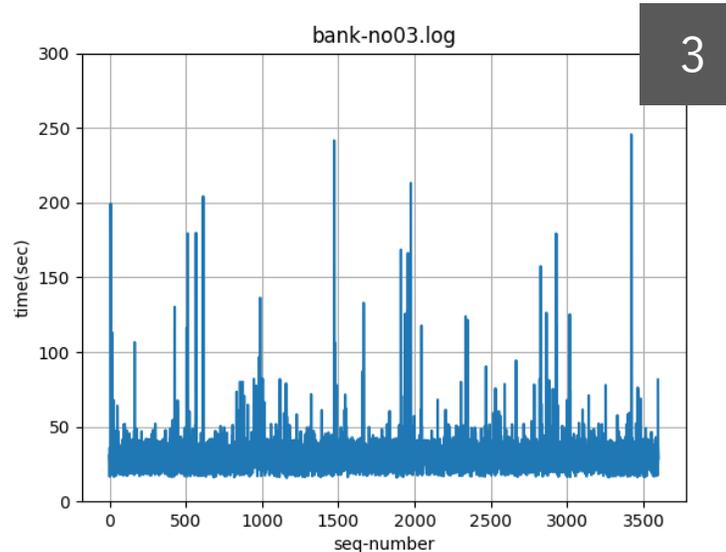
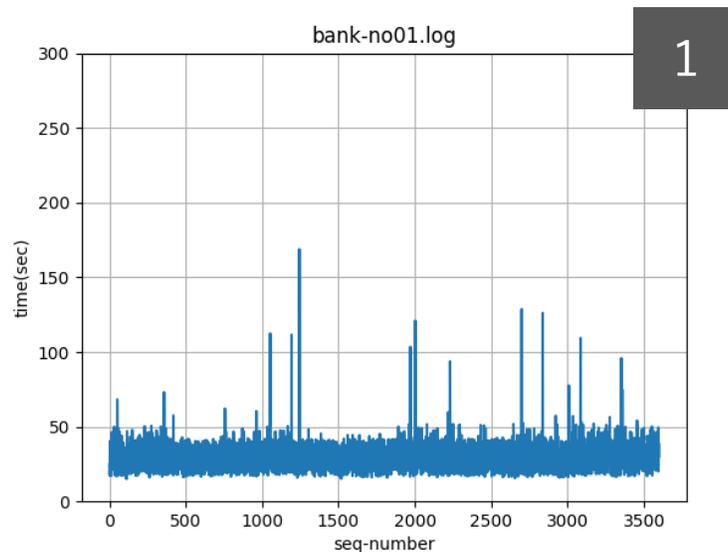
アンテナと端末の距離・角度と通信環境の計測のため、ドーム内各地点でデータ取得することにした



ドーム内各ポイントで計測

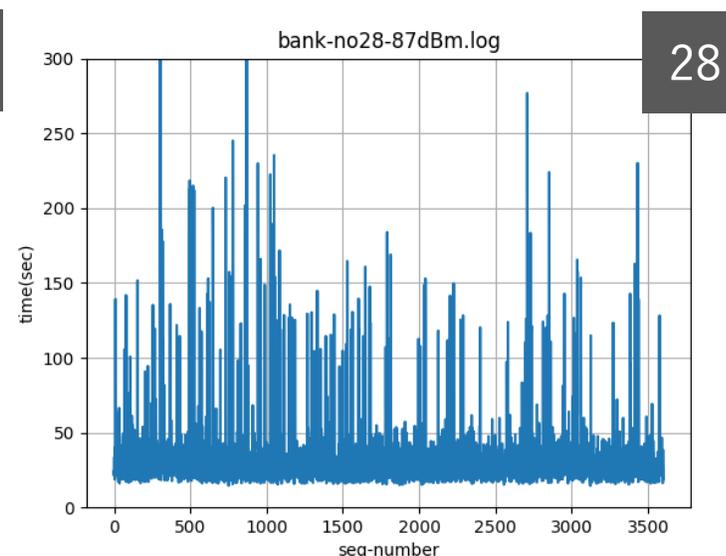
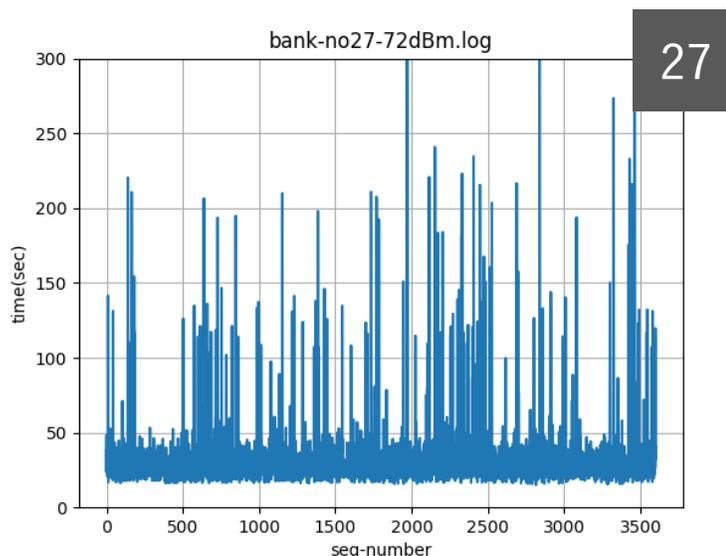
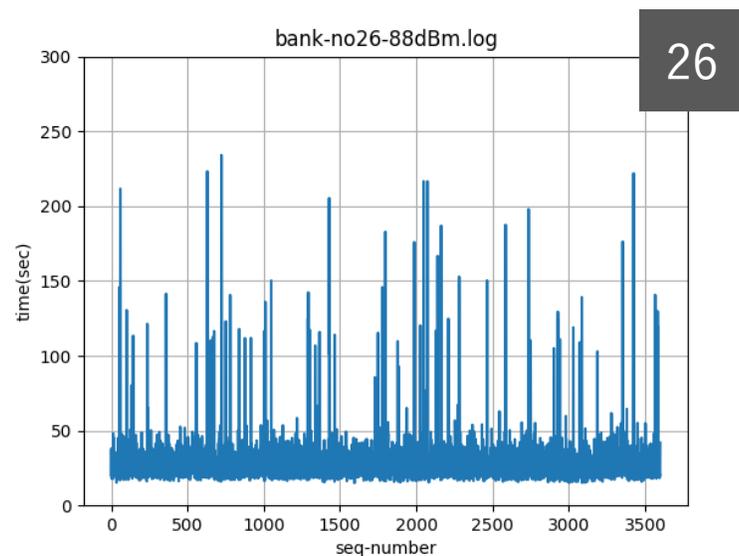
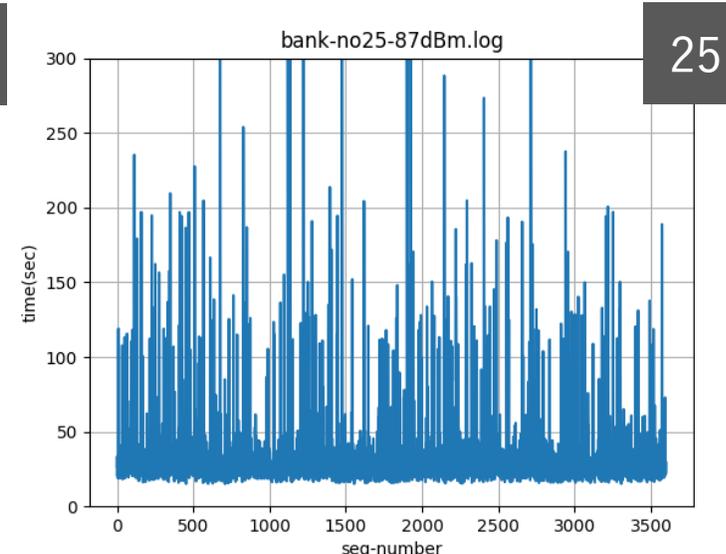
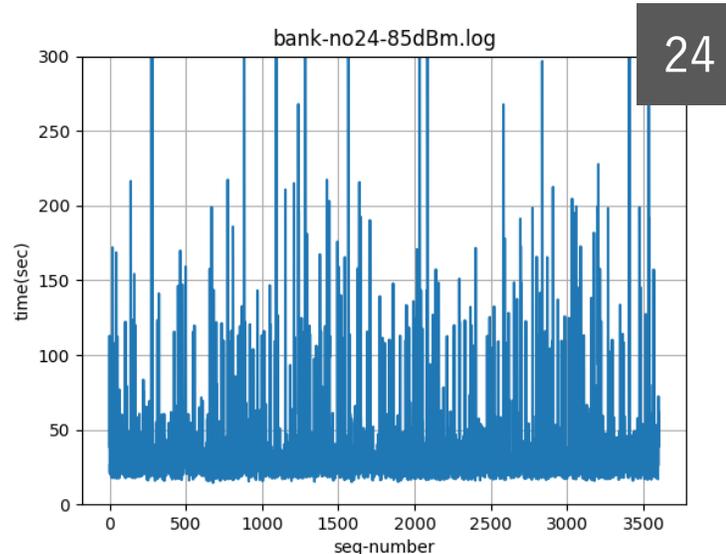
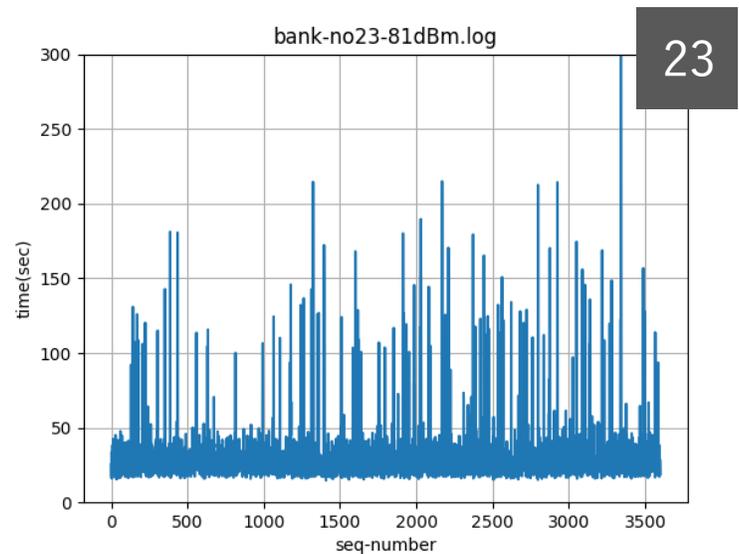
- 1 バンク内インコース 低い位置 [1 - 13] 計測  
バンク傾斜の低い位置でicmp/ping 計測
- 2 バンク内アウトコース 高い位置 [23 - 29] 計測  
バンク傾斜の高い位置で icmp/ping 計測

# バンク内インコース = 低い位置の icmp/ping



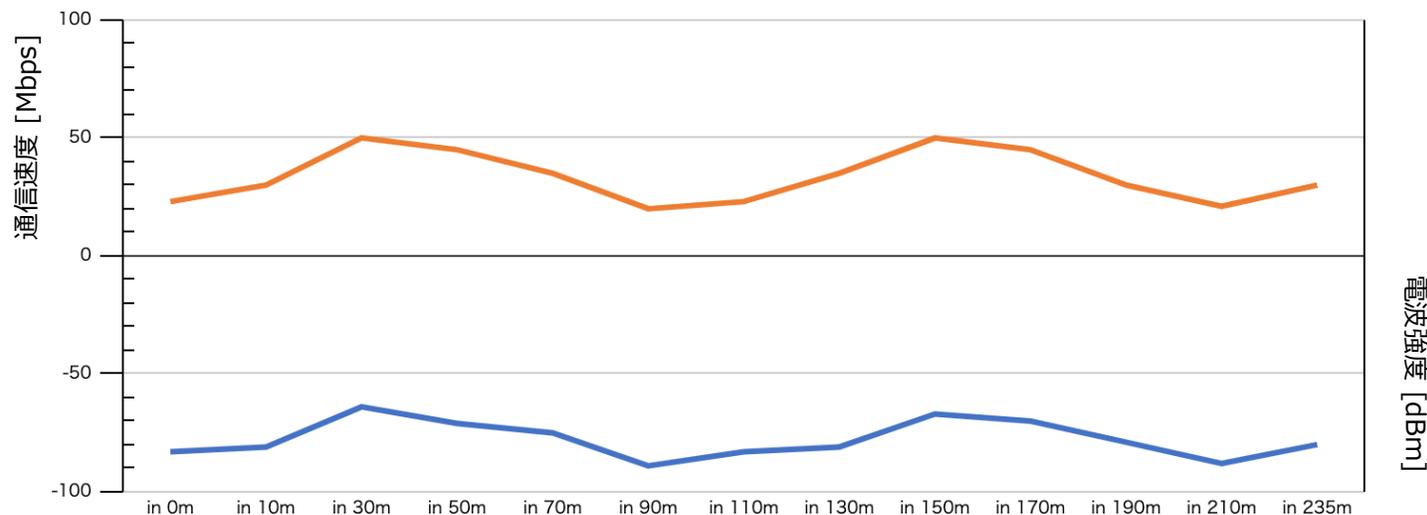
※インコース側は数が多いので奇数番号のみ掲載

# バンク内アウトコース = 高い位置の icmp/ping



# 受信強度 [dBm] と スループット [Mbps]

No	地点	電波強度 [dBm]	上り通信速度 [Mbps]
1	in 0m	-83	23
2	in 10m	-81	30
3	in 30m	-64	50
4	in 50m	-71	45
5	in 70m	-75	35
6	in 90m	-89	20
7	in 110m	-83	23
8	in 130m	-81	35
9	in 150m	-67	50
10	in 170m	-70	45
11	in 190m	-79	30
12	in 210m	-88	21
13	in 235m	-80	30
23	out 40m	-81	30
24	out 60m	-85	22
25	out 95m	-87	21
26	out 125m	-88	21
27	out 145m	-72	47
28	out 180m	-87	22
31	半地下	-75	35
32	選手入場口	-80	30
33	バンク入口	-78	33



測定時の通信端末は APAL 5G dongle を利用



ローカル5G抜けた自社サーバまでの計測結果

※端末 (MIMO状態) ・5G設備により数値は異なります。参考の結果です

ローカル5Gジッター悪い・・・XY方向以外、Z方向よってもジッター特性がことなる

基礎知識がない・基礎データもない

**総務省実証実験報告書** を読み漁った

報告書から学んだ **フェージング・ハンドオーバー**

**2台のRUから電波放射で反射が悪さしているのを疑う**

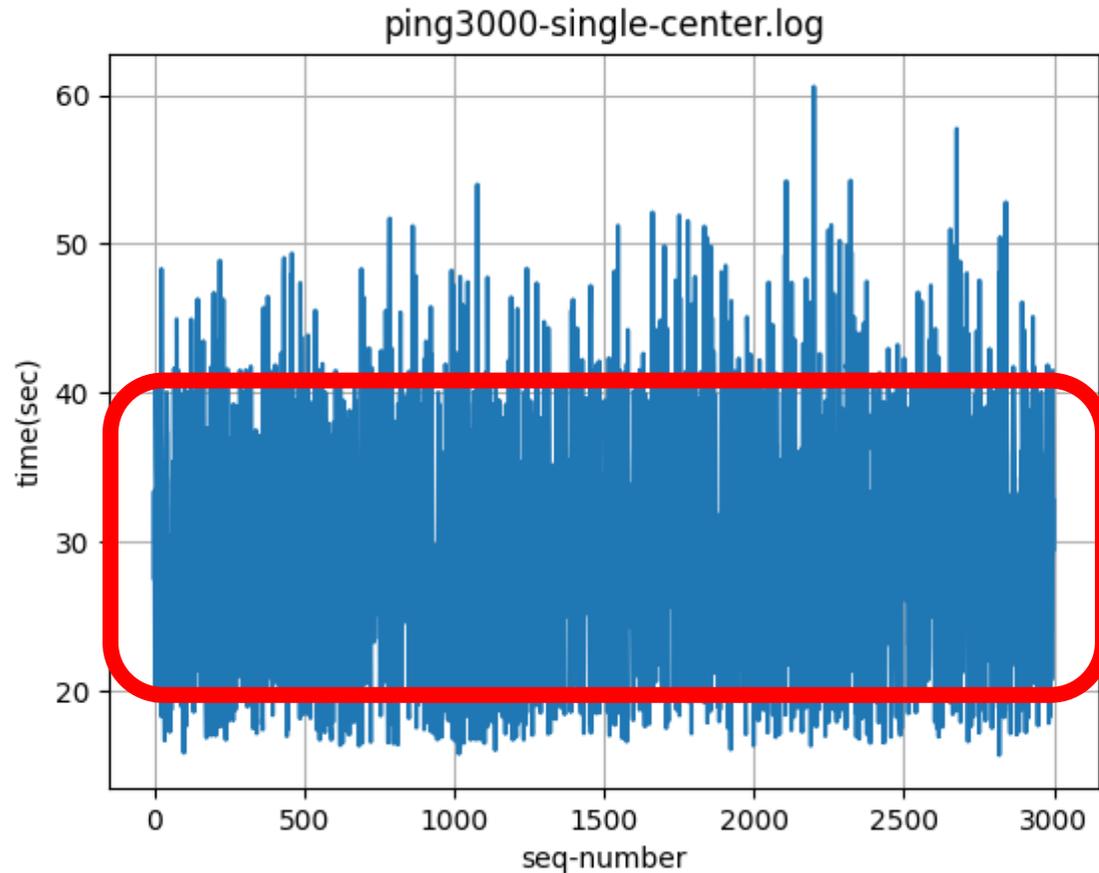


**2台RUから1台RUへ 片方 停波**

※電波操作には無線技士免許が必要です。電波法違反にならぬよう注意しましょう

# ジッター改善！たいぶ落ち着いた

南側RUを停波した状態で icmp/ping 64Bytes パケット計測結果



3000 packets transmitted, 3000 packets received, 0.0% packet loss  
round-trip min/avg/max/stddev = 15.685/30.086/60.563/7.897 ms

**スパイクしなくなった**

RTT 20 - 40ms で安定。平均30ms。

RU同士の電波干渉の可能性

ベンダーに相談も同見解

**カバーエリア**

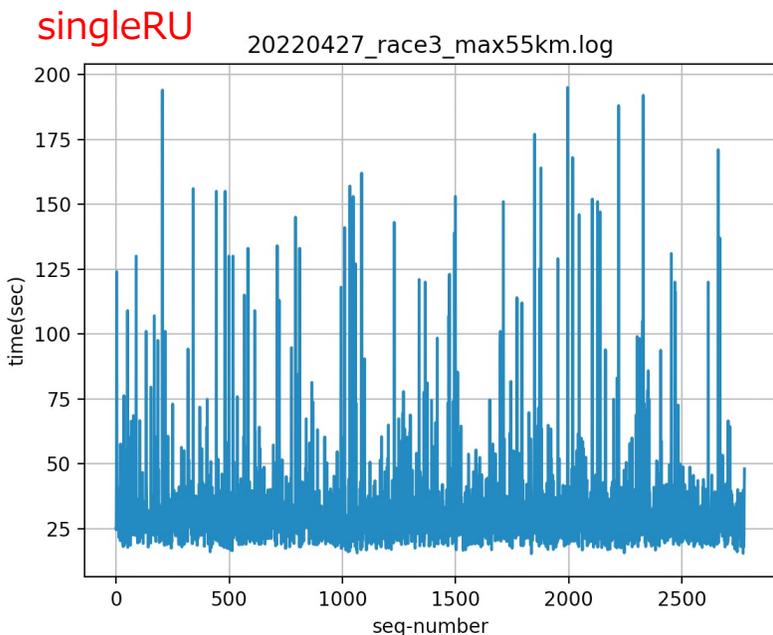
受信レベルは低くなるが 1周しても

途切れることなく通信は可能

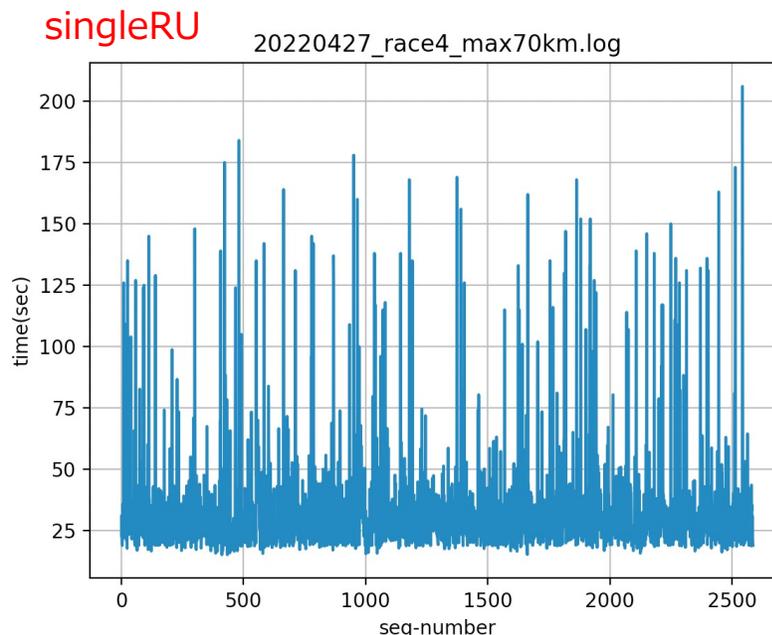
RUから一番遠い場所でも -90dBm 程度

# 参考。高速移動中（30-70km/h）のRTT

自転車走行中に icmp/ping 64Bytes パケット計測結果（10Mbps程度で映像伝送しながら）



2777 packets transmitted, 2777 received, 0% packet loss, time 557429ms  
rtt min/avg/max/mdev = 15.305/32.702/194.819/18.986 ms

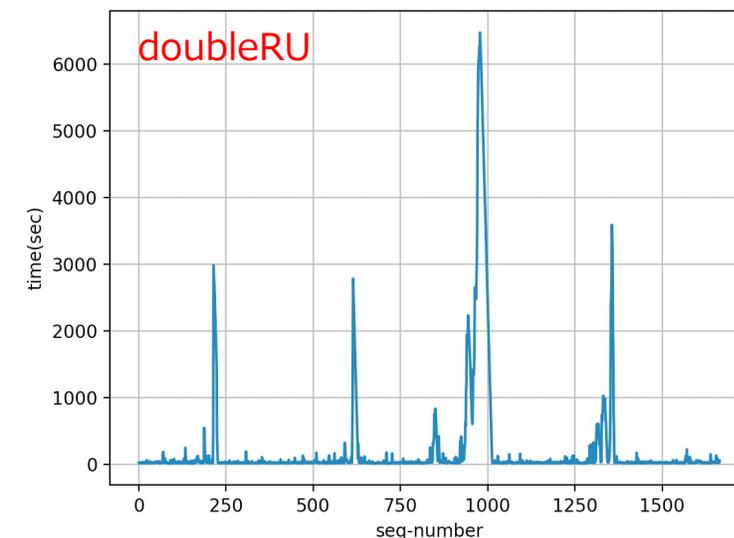


2587 packets transmitted, 2587 received, 0% packet loss, time 519275ms  
rtt min/avg/max/mdev = 15.221/33.462/206.392/20.941 ms

参考：)

2RU構成時の走行時計測データ  
ハンドオーバー時に

RTTが大幅に増加・映像ノイズ発生



1681 packets transmitted, 1666 received, 0.892326% packet loss, time 338223ms  
rtt min/avg/max/mdev = 15.193/227.076/6469.711/771.101 ms

高速移動中はやはりRTTが増加

パケットロスは発生しない = sub6 専有周波数帯の恩恵

ただし、5G dongle のバッファ性能の影響もある

本日直前まで RUは2つ があるとジッター安定しないと考えていました  
5GCはソフトウェアです。当然バージョンアップしていきます。

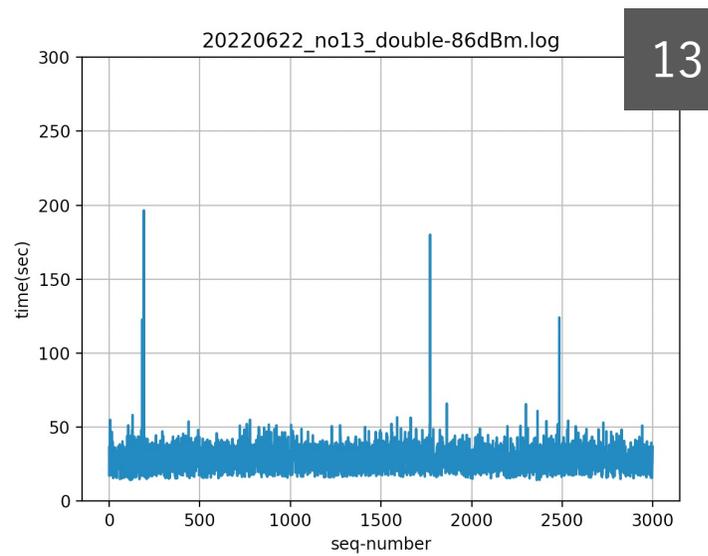
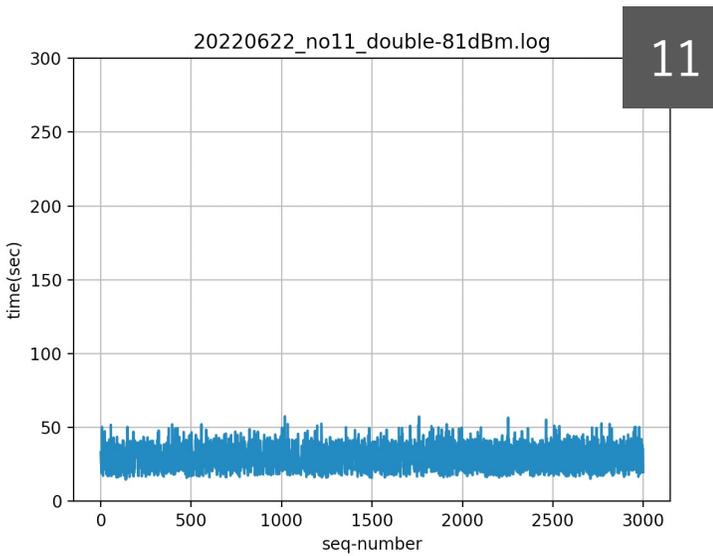
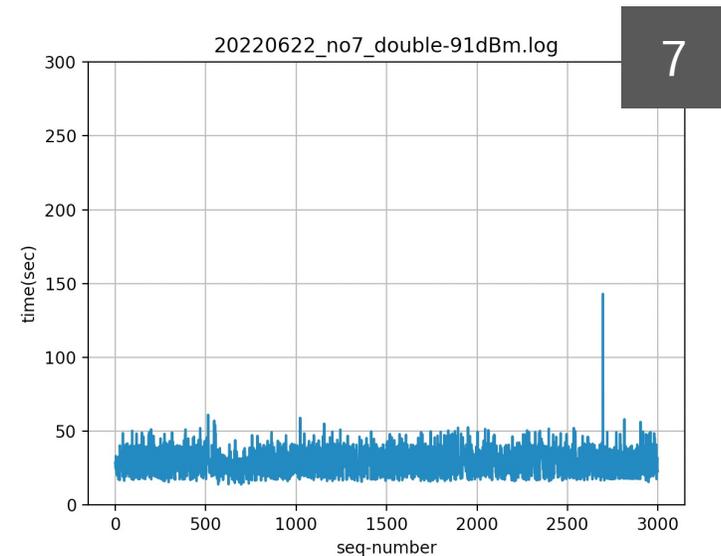
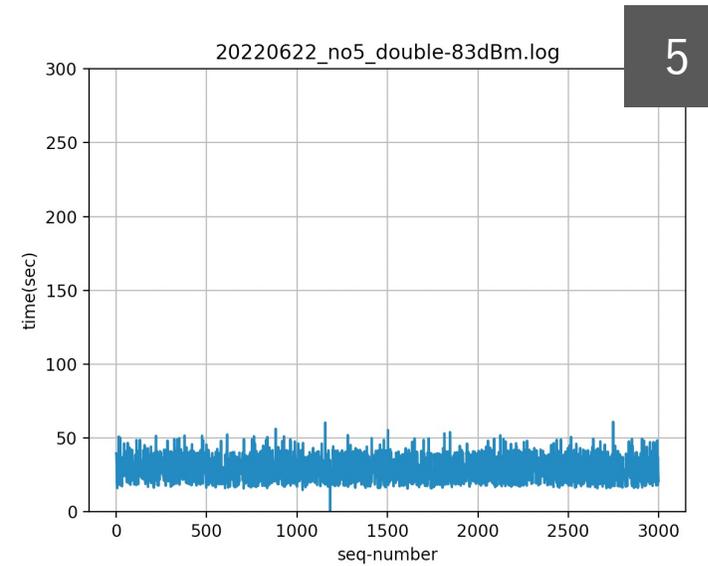
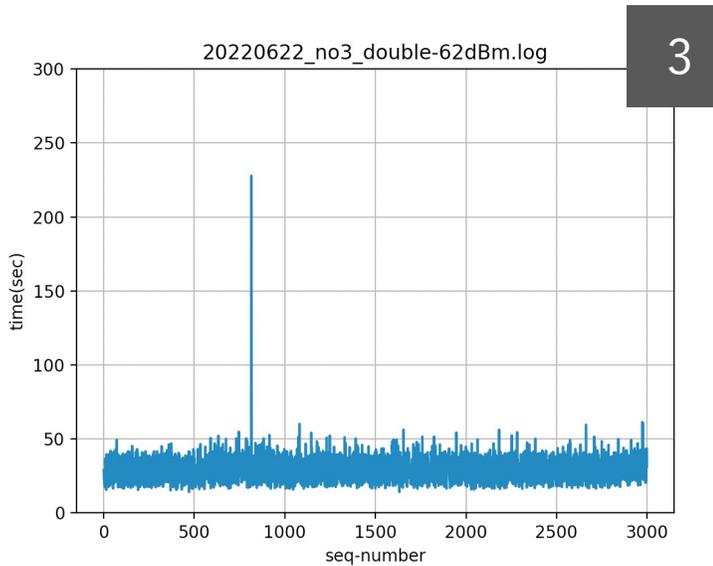
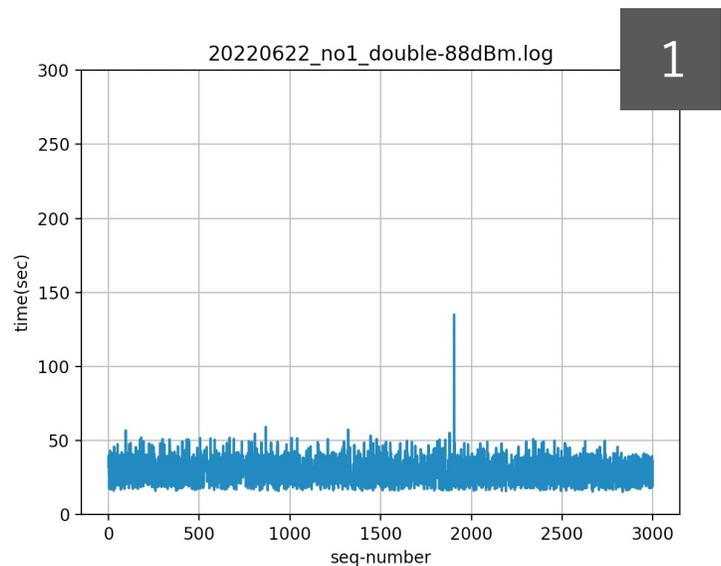
バージョンアップ後 **改めてデータ計測** してみた  
しばらく止めていたRUの電波を発射



**1台RUから2台RUへ** 再度 **ハンドオーバー構成**

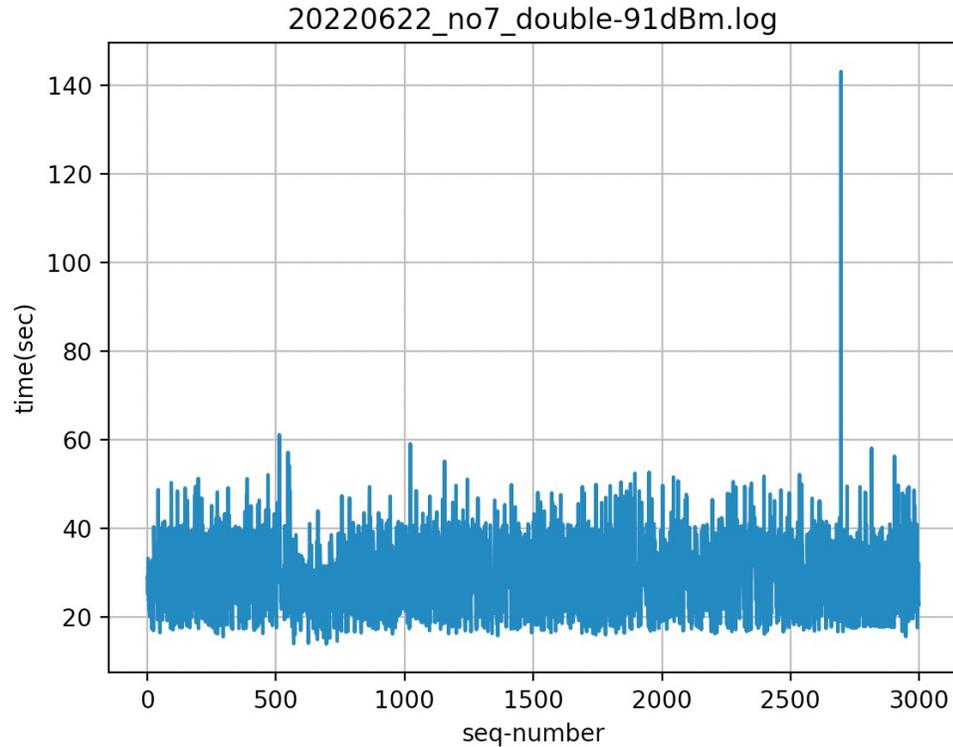
※バンク内インコース 低い位置 [1 - 13] 計測 30頁と同条件

# バンク内インコース = 低い位置の icmp/ping

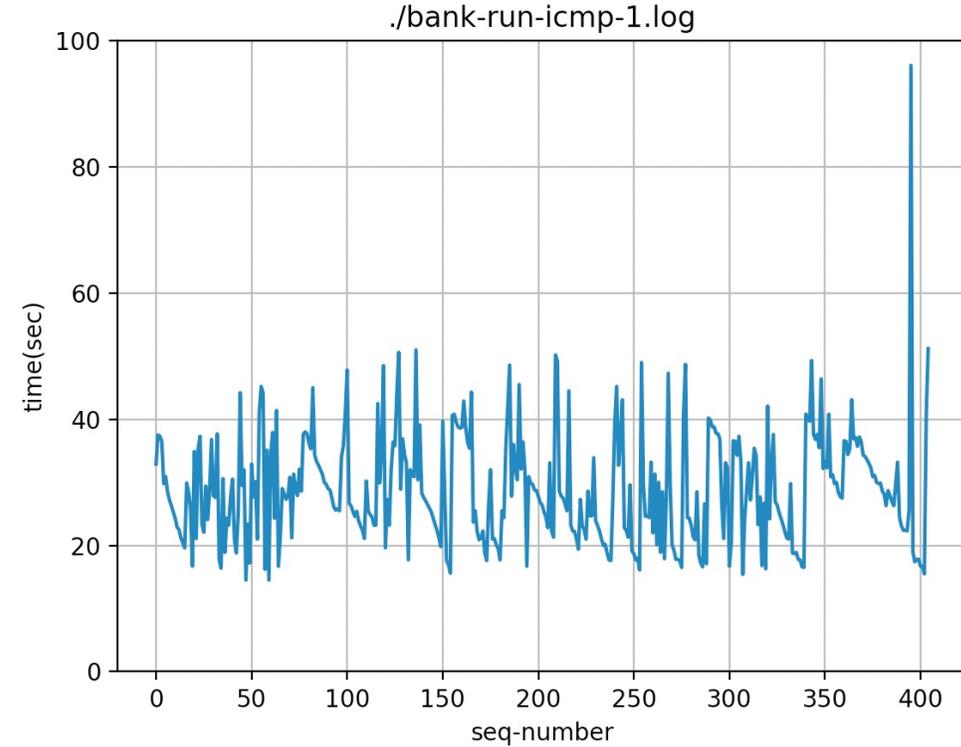


# あれ、、。めっさ安定する・・・なぜだ（現在進行形

VerUp後の doubleRU 定点計測



VerUp後の doubleRU 走行時計測



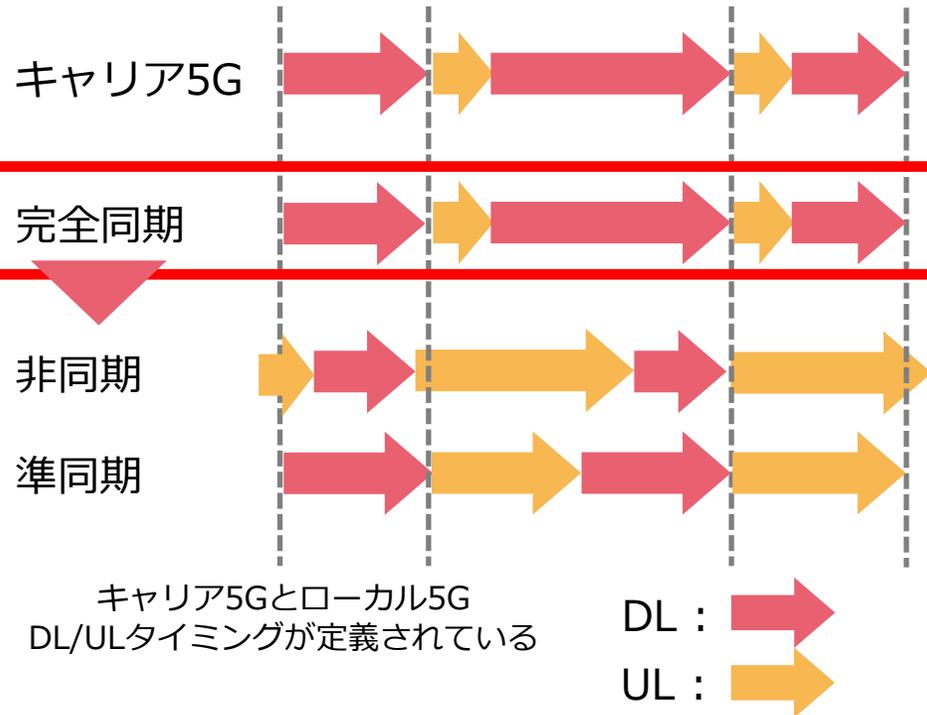
**電波** むずかしいです。現状どのような状態なのか **把握・可視化** が課題

**RU, DU, CU, 5GC** 内がどのようなになっているか把握も課題

# ローカル5Gの実測データと電波特性

現時点ではコレといった考察がないのですが、ローカル5Gは まだまだ発展途上と感じています。

実際の現場でのデータを有益に使いながら、ベンダー・メーカーと連携してアップデートしていきたい



1

帯域は、DL : 400Mbps, UL : 50Mbps TDD完全同期 (UL:DL = 1:4)

※ローカル5Gは、TDD (時分割複信) でのパケット送信

非同期・準同期 (DL:UL 比率調整) への期待

TDD準同期 (4.5:5.5) になれば、UL : 200Mbps 程度 (推定値)

2

RTT (NW遅延) は、20-30ms前後。現場・環境によって違うかも  
電波を反射・吸収する人間の体。現場の人数によっても変化 ?

キャリア5G / ローカル5G TDD 同期・非同期・準同期 イメージ図

Program

# AGENDA

1

PIST6と車載カメラ

～ 短納期 Wi-Fi & sXGP での実装 ～

2

ローカル5Gへのチャレンジ

～ 免許申請から構築。ローカル5Gの現実 ～

3

小型カメラ開発

～ 小型 & 軽量を目指す。RaspberryPiでの開発 ～

4

まとめ・議論

# カメラ開発 まだまだ 途中です

今日は

RaspberryPi to RaspberryPi 映像伝送のお話



ローカル5Gで適した端末がなかった ※ 2021年12月時点

**受信感度が弱い・SIM認識しない** etc...

問題は **大きさ・形状**

**適合するものがないなら、、自分たちで作るしかない！**



**端末開発** にも **挑戦**

Point

01

## 製造と言っても最短期間での実装を目指す

- ⇒ 量産品（市販されているもの）の組み合わせで実施
- ⇒ 時間を要する技適取得は避ける。製造カスタムパーツは最小にする

Point

02

## 余計なI/Fはカット、軽量でコンパクト

- ⇒ カメラ・ON/OFFスイッチだけついでいけばよい
- ⇒ 充電ポートだけあればよい。また、バッテリーは15分持てば良い

Point

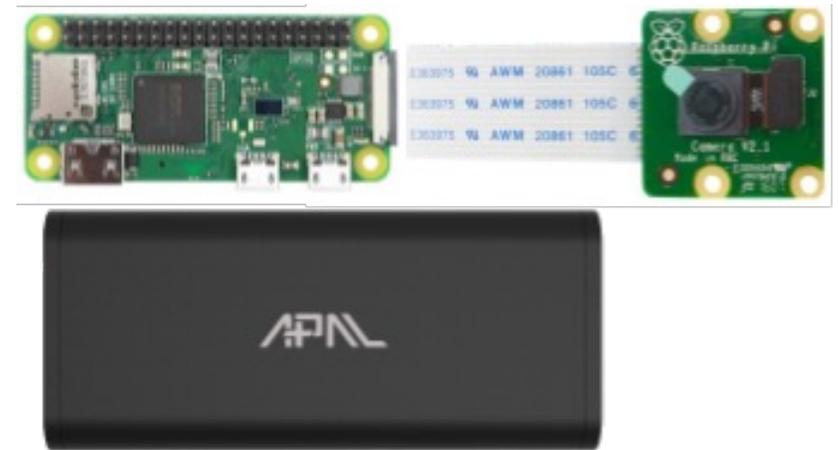
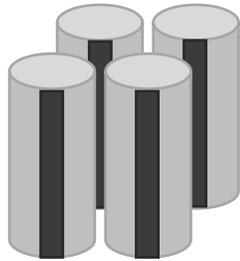
03

## 送信側を作るということは受信側も作る

- ⇒ 最終的には SDI信号（1080/59.94i）に出力する必要がある
- ⇒ エンコード・デコードの遅延を可能な限りすくなく、かつ省電力で実現させる

# 自作カメラのハード構成概要

- 1 RaspberryPi Zero (省電力 & HWエンコードを利用)
- 2 RaspberryPi 標準カメラ v2
- 3 APAL 5G dongle (技適取得済 n79通信可能 USB 5G dongle)
- 4 バッテリー + 中継基板 (ここゼロ実装する)



スーパーキャパシタ

※充電時間・安全面でリチウムイオン電池より優秀

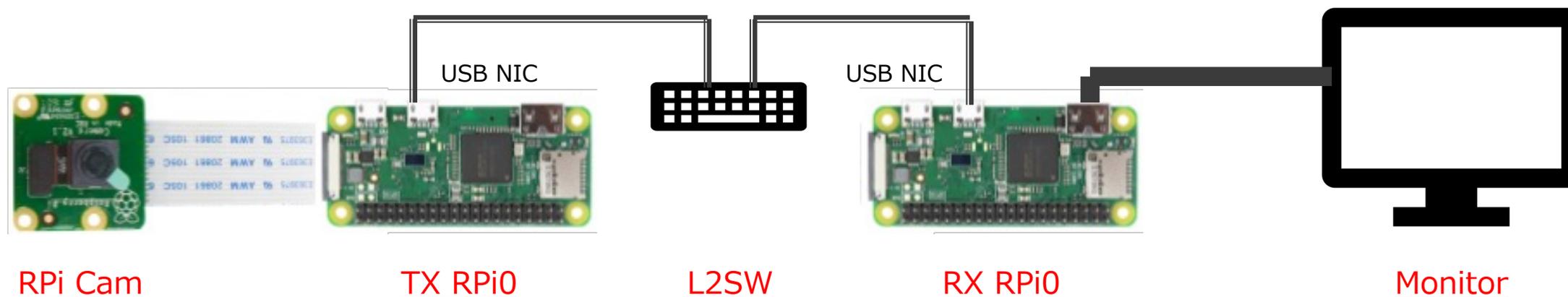
自作回路 (中継基盤)

量産品

RaspberryPi Zero + Camera + 5G dongle

## 1 開発環境の構築

Wi-Fiのように手軽に開発環境構築が出来ない。L2SW/有線で開発を実施



## なぜ RPi0 to RPi0 なのか

※RPiコミュニティで開発されたMMAL/DRMを利用

⇒ RPi0 に 搭載の SoC BCM2835 HWエンコード/デコード がコスパよいと考えたため。

⇒ annex-b format stream を爆速でデコードできるコスパがよい

※消費電力に対するコストパフォーマンス

## 2 とりあえずUDPで送るコマンド打つ

```
$ raspivid -a 12 -t 0 -w {xxx} -h {yyy} -hf -ih -fps 30 -o udp://#:5000 (:例
```

でもこのままだと、360pまでしかまともに伝送できません。

# パケット関連処理が最適化 されていないから

「シングルコア + DDR2 512MB」 怠け者のプログラマ天国 ではない

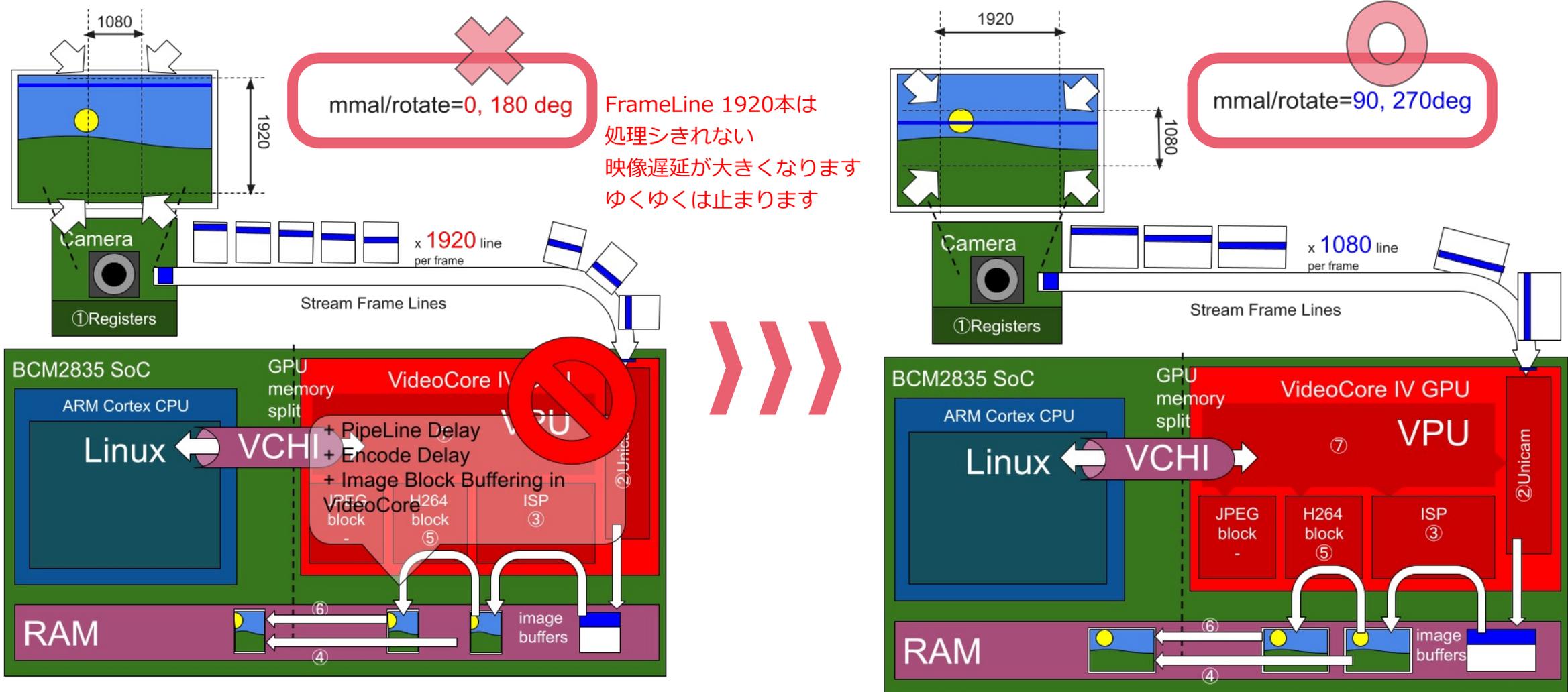
※ネットワーク環境にあわせてMTUサイズを調整してあげるコードを書きましょう  
バッファ、メモリコピーを最小限にしL2Cacheをできるだけ綺麗に保ちましょう  
ドーム内のローカル5G環境は MTUサイズ1500 なので 1500 にあわせる



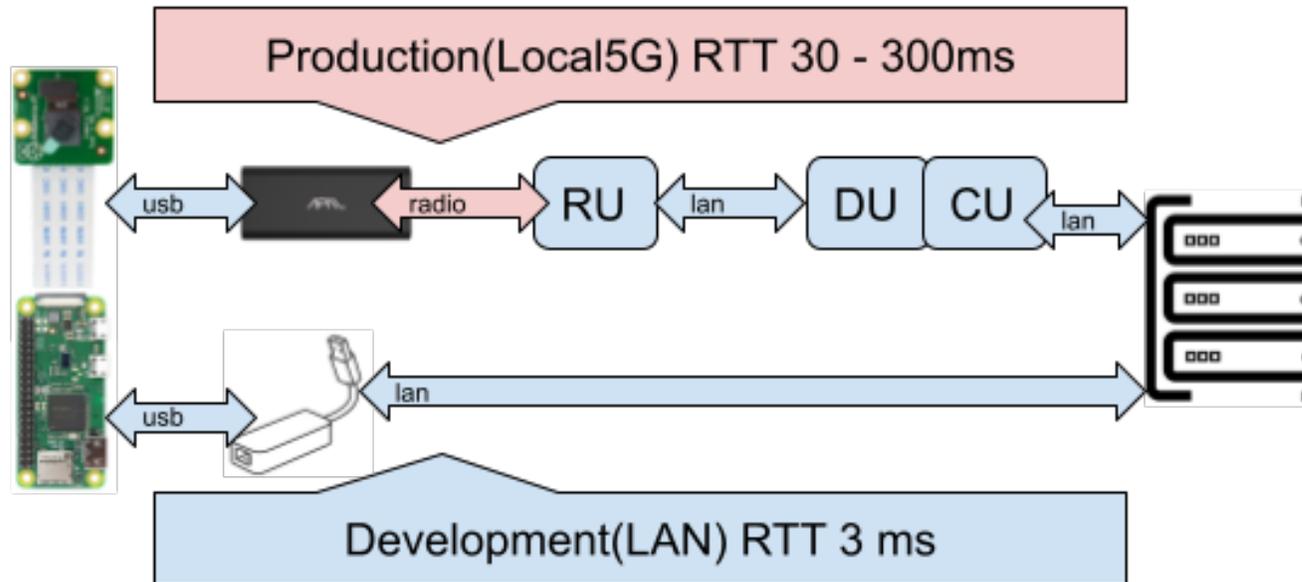
※有線LAN・L2SW内での数値デス

## 結果、1080p/30fps を 200ms の伝送遅延に到達

## 3 RPi0 + RPiCam + MMAL ではトリミング高さと、回転が重要！



## 4 ローカル5G網での映像伝送



ローカル5G経路だとノイズが発生



LANとローカル5Gの差分はRTTのみ。。？

受信側でパケットキャプチャして全パケット届いてることは確認

※UDPヘッダーに独自の番号（オレオレヘッダー）を埋め込んで確認してます

### ローカル5Gの通信方式TDD（時分割複信）が関連している可能性を疑う

## TDDの送信タイミングで適切なパケット量を送れてない可能性

ローカル5Gで映像伝送時、send(2) 処理コストが増加 する

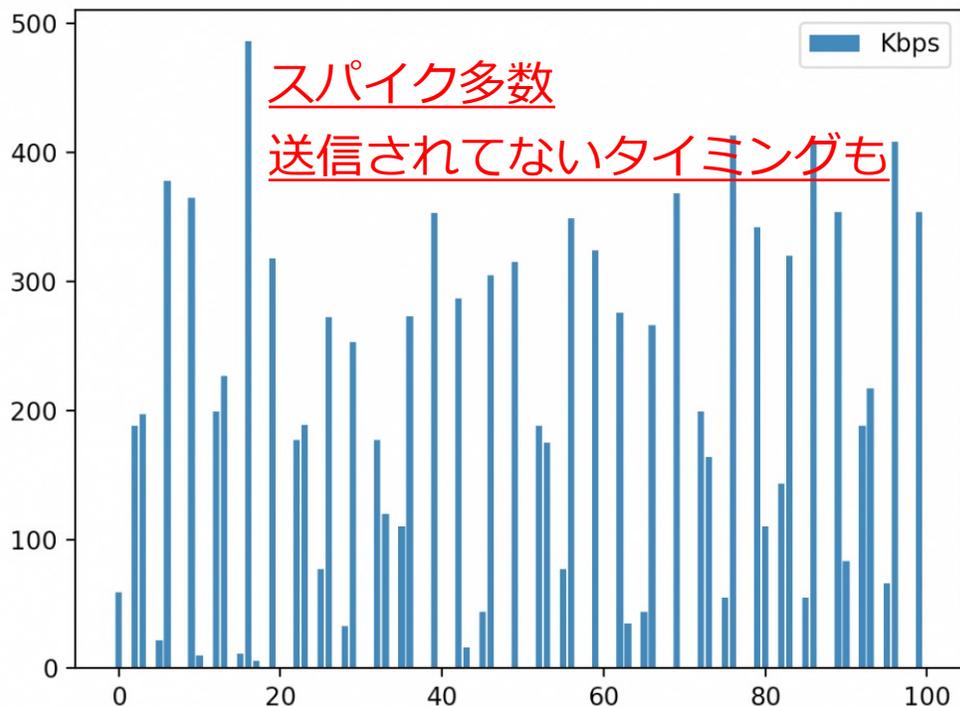
h.264エンコード時の **複数のPフレーム** がまとめてコールバックされることによって  
映像ノイズ が発生してしまうのではないかと推測



## トラヒックを微分してみた

⇒ TX RPi0 と RX RPi0 の間に 中継マシンを置いて10ms毎に到達受信パケットサイズ出力

## 5 10ms毎の転送量 (開発環境LANで確認)

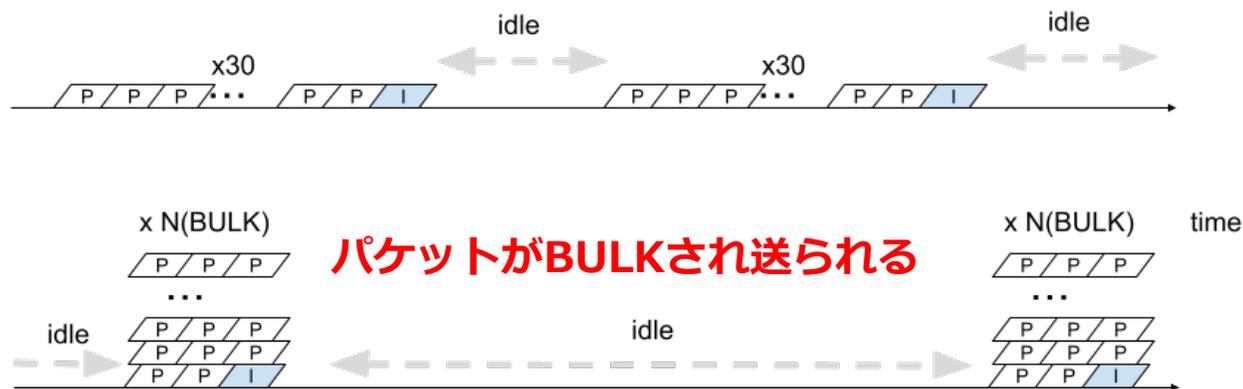


縦軸は、通信量：Kbps で、横軸は 1000ms を 10ms に区切った時間区間  
1秒間にどのタイミングで映像パケットが何バイト到着したかのグラフ

### ローカル5G、パケット送信タイミング

映像のUDP/IPパケットを送信する際、可能な限りはやく送信する  
実装していた → 結果、BULK送信してしまっていた

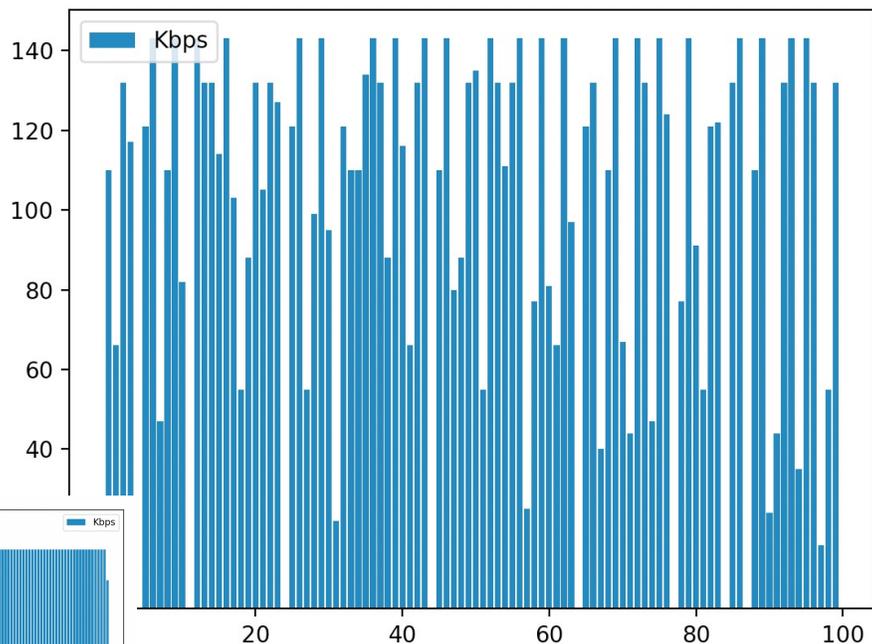
無線のジッターをあわせると映像出力ループ内にパケットを送りきれない



RPi0+MMALではCBRエンコードできないため限界はあるが  
可能な限り平準的にパケットを送信したい

スパイクトラヒックは可能な限り防ぐ = **shaping 対応**

## 6 shaping = 映像パケットを送信する毎に、送信処理に遅延を挟んだ



使っていない時間にもパケットを送信するように  
トラフィックをならす ≡ タイムスライス方式  
受信側 また モバイルネットワーク経路全体に対しての  
スパイクを防止



結果として、同時に複数台の端末から映像配信するとき、無線チャネルのタイムスライス効率が良くなります、そのため通信状況がより安定すると考えています。

とあるアプリケーションエンコーダは綺麗にパケット生成・送信 (流石)

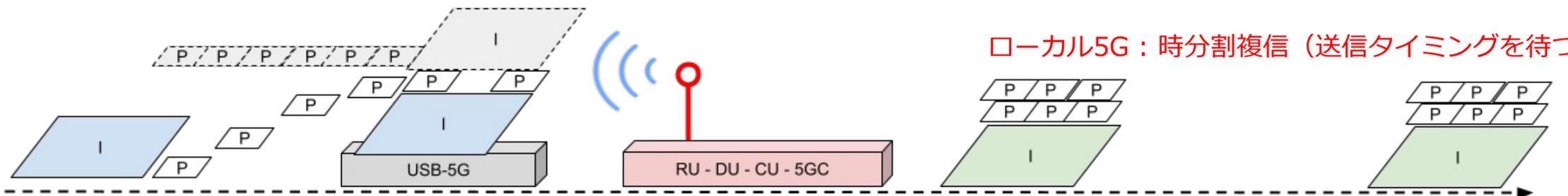
**無線伝送でも映像パケットを送ることができ映像出力されるようになった  
しかし、。**

## 7 映像ノイズは解消された、が、コマ落ち（フレーム更新落ち）が発生

有線LAN：全二重（常にパケットを送信できる）

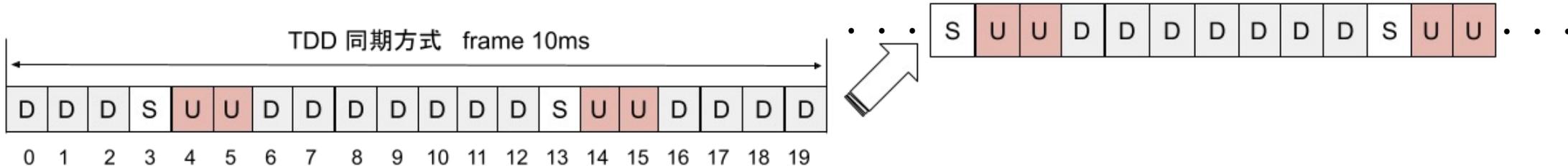


ローカル5G：時分割複信（送信タイミングを待つ）



TDD 同期方式 frame 10ms

フレーム構成  
スロット番号



※Relayサーバを経由して少しバッファさせRPI0に転送 etc...

BULK化された [I/P] フレームを、5GC通過後にフレーム毎にシェーピングが必要。

RPI0 ではハードウェアリソースが少なすぎて（主にメモリ）、

BULK化された状態のフレームをまとめてバッファリングできなかった、。

厳しいハードウェアリソースでの伝送開発を経験した結果、見えたこと



無線区間の **ジッター** と **送信タイミング** と向き合う

安定した無線映像伝送を実現するには、

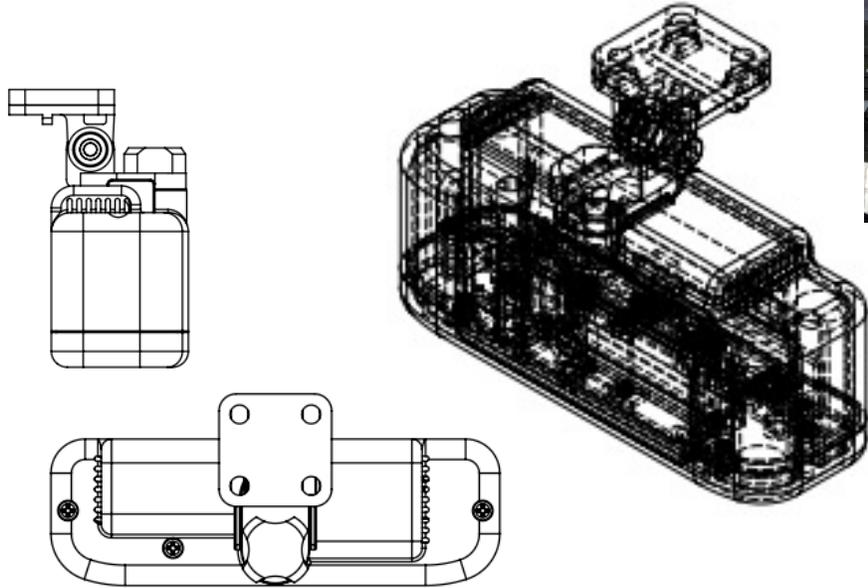
NWジッターを最小限にしつつ、ソフト側でどう受け止めるか  
どこかしらでほんの少しバッファさせる必要はある

電源・ハードウェアリソースが確保できれば考えることは少なくなるかも

※少しでも良い画を！ われわれの最終実装はマダ試行錯誤中です・・・

## 8 とにかく中身の隙間をなくす。結果、こうなる予定です

型番：[m5gvc0004-250](#)



RaspberryPi Zero + RaspiCam + 5G dongle + ケーブル  
スーパーキャパシタ + 中継基板 (自作回路)



3Dプリントしたモック機  
商用機は樹脂系素材で製造



正面から m5gvc0004-250 と iphone12mini の比較

※2022年7月現在。開発中のモノです

## ローカル5Gカメラ と Wi-Fiカメラ 比較映像

ローカル5Gをエンタメ×スポーツでどう活かす？現場の開発エンジニアに聞いてみた。

<https://mixil.mixi.co.jp/product/14561>



時速20km/hくらいの走行  
800ms程度の差がある

あくまでソフトの遅延差に依存  
ネットワーク遅延差は軽微  
ローカル5G = 低遅延とはならない

Program

# AGENDA

1

PIST6と車載カメラ

～ 短納期 Wi-Fi & sXGP での実装 ～

2

ローカル5Gへのチャレンジ

～ 免許申請から構築。ローカル5Gの現実 ～

3

小型カメラ開発

～ 小型 & 軽量を目指す。RaspberryPiでの開発 ～

4

まとめ・議論

## Point ローカル5Gは夢の世界ではない

01

- ⇒ 送受信合計スループット450Mbps・ネットワーク遅延 30ms前後 でした。
- ⇒ 混信・電波干渉しない周波数帯だとしても、不安定な部分（ジッター）は必ず発生する

## Point 無線映像伝送

02

- ⇒ 遅延の支配的な部分は ENC/DEC
- ⇒ 時分割（TDD）方式だと送信可能なタイミングがあるため、考慮が必要となる
- ⇒ ジッターをカバーするためにはソフト側の実装と実行するためのハードウェアリソースが必要

## Point 今後への期待

03

- ⇒ 光ファイバには遠く及ばない。が、現実的な事業貢献には使える
- ⇒ 無線区間のパフォーマンス向上、準同期、非同期 にも期待しつつ今後の拡張は期待

## Point ローカル5Gの環境

01

⇒ パフォーマンスは有線（メタル・光ファイバ）には遠く及ばない。

無線通信ローカル5Gをなにに使っていますか。なにに使いたいと考えていますか？

⇒ 環境構築に免許申請が必要 = 開発・検証環境を作りにくい。どのような工夫してますか。

## Point 無線区間遅延・電波干渉の対策

02

⇒ 無線区間の安定性向上のためどのような工夫してありますか？可視化・監視の工夫ありますか？

⇒ 広範囲で低遅延・ジッタ安定した無線環境の作り方（プロの無線技師の方、ご意見ください

## Point 無線映像伝送実装

03

⇒ 安定した低遅延を無線映像伝送を実現するために、どのようなアプローチしてありますか

⇒ ソフト・ハード・無線網・電波 の扱い、様々な視点でご意見いただけると嬉しいです

End  
Thank you

サービスリリースまでもう少しです。が、  
まだまだ 開発中・苦戦中 です！！

- 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告（案）概要

[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000675103.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000675103.pdf)

- 「ローカル5G」今さら聞けない「準同期」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）

<https://www.ctc-g.co.jp/report/column/local-5g/vol07.html>

- ローカル5G開発実証成果報告書

<https://go5g.go.jp/carrier/l5g/>

- 遠隔巡回・遠隔監視等による警備力向上に資する新たなモデルの構築

[https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/05/令和2年度L5G開発実証成果報告書\\_No15\\_遠隔巡回-遠隔監視等による警備力向上に資する新たなモデルの構築.pdf](https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/05/令和2年度L5G開発実証成果報告書_No15_遠隔巡回-遠隔監視等による警備力向上に資する新たなモデルの構築.pdf)

- インターフェース（CQ出版）

# Disclaimer

- 1 画像・写真・映像は許可を得て使用しております。  
また、本発表は事業利益を目的したものではありません。
- 2 本発表で紹介する事柄は、すべてが発表者（市野）本人の  
発想・成果に基づくものではなく、発表者の組織・同僚及び  
関連企業・協力会社により支えられたものです。
- 3 議論・質疑応答にて、今後の展開・技術観点を議論できれ  
幸いです。発表者により満足のいく回答できるものでは  
ないことを事前にご理解いただければと思います。

心もつなごう。 **MIXI**

