

電波利活用セミナー 2025
2025年 7月 24日

Beyond 5G/6G 時代に向けた テラヘルツ移動通信の屋外実証実験

ソフトバンク株式会社

先端技術研究所 6G準備室

矢吹 歩

自己紹介



◆ 名前

◆ 矢吹 歩（やぶき あゆむ）

◆ 経歴

- ◆ 2007年 WILLCOM新卒入社 → 2011年SBに吸収合併
- ◆ 次世代PHSの基地局・端末の受け入れ試験（デバッグ）
- ◆ AXGPネットワーク立ち上げ（実フィールドでの性能測定）
- ◆ MassiveMIMOの実証実験, 3.5GHz-LTEの実証実験
- ◆ Cloud-Gaming サービスの立ち上げ
- ◆ 2020年～: 6G通信の研究（テラヘルツ通信など）

◆ 主な専門分野

- ◆ 無線通信の物理層（MIMO, 電波伝搬）～L3まで

◆ 将来の夢

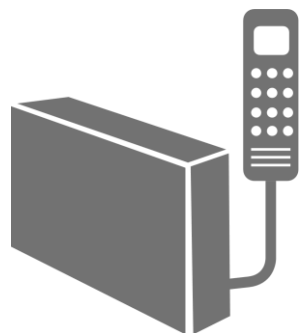
- ◆ 日本の社会・文化に変化を与えること。

本日の内容

- 6Gとテラヘルツについて
- ソフトバンクの考えるテラヘルツ通信
- 最近の取り組みについてご紹介

6Gとテラヘルツ

通信の "世代"



音声通話



SMS / テキスト



ケータイサイト



インターネット・動画



IoT・クラウド

1G

1980's

2G

1990's

3G

2000

4G

2010

5G

2020

約10年ごとに新しい通信方式が登場
技術革新に合わせて通信の用途が変化



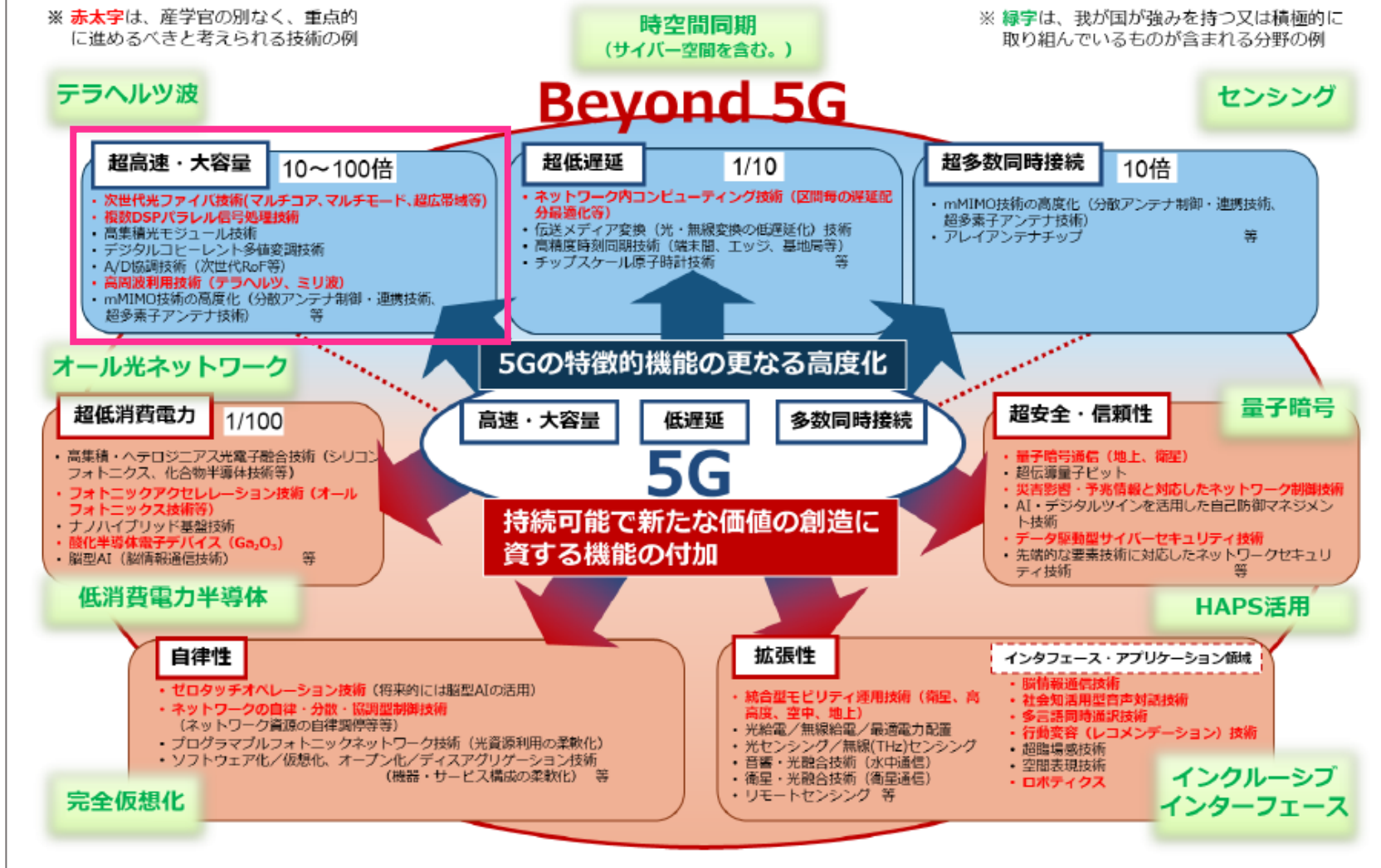
2030年ごろ 6Gの実用化

2020年 総務省「Beyond 5G推進戦略」

(図表4：重点的に研究開発等を進めるべきと考えられる技術例)

※ **赤字**は、産学官の別なく、重点的に進めるべきと考えられる技術の例

※ **赤字**は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例



2021年発表：Beyond5G／6Gに向けた12の挑戦

ベストエフォート
からの脱却

I SLA& 低遅延



モバイルのウェブ化

II Service Based
Architecture



エリアの拡張

V HAPS



周波数の拡張

VI テラヘルツ通信



周波数

IX 電波利用効率
最大化



超安全

X 量子暗号



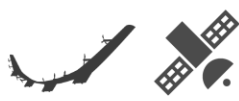
AI のネットワーク

III AI 機能



エリア 100%

IV NTN



電波利用の拡張

VII 電波による
センシング

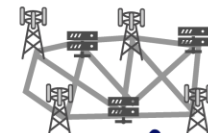


VIII 電波による
充電・給電



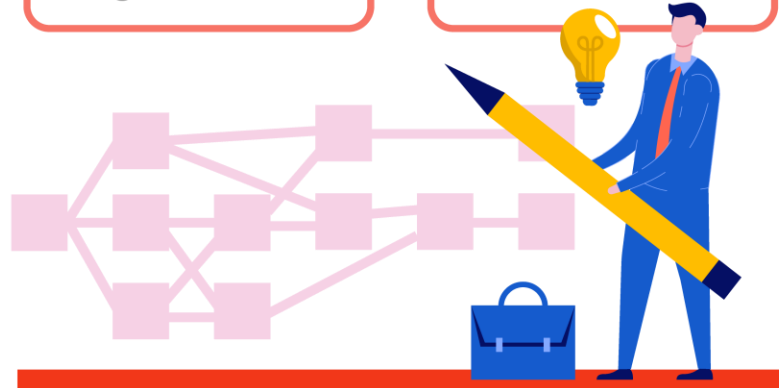
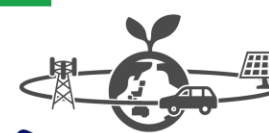
耐障害性

XI 網とサーバー



Net0

XII カーボンフリー



アーキテクチャーの挑戦



技術の挑戦



社会の挑戦

2021年発表：Beyond5G／6Gに向けた12の挑戦

エリアの拡張

V

HAPS



周波数の拡張

VI

テラヘルツ通信



電波利用の拡張

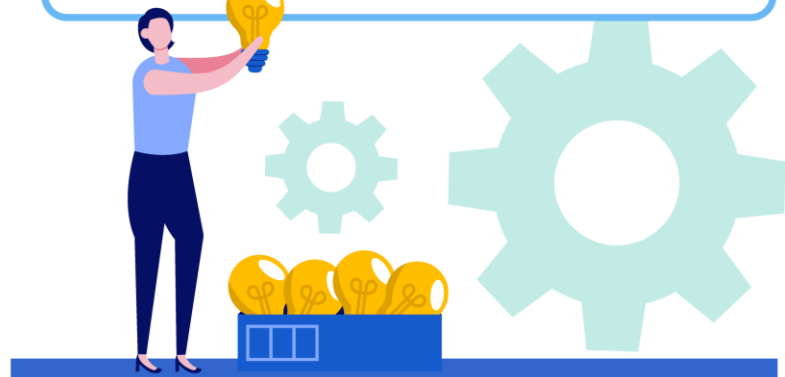
VII

電波による
センシング



VIII

電波による
充電・給電



技術の挑戦

■ エリアの拡張

■ 周波数の拡張

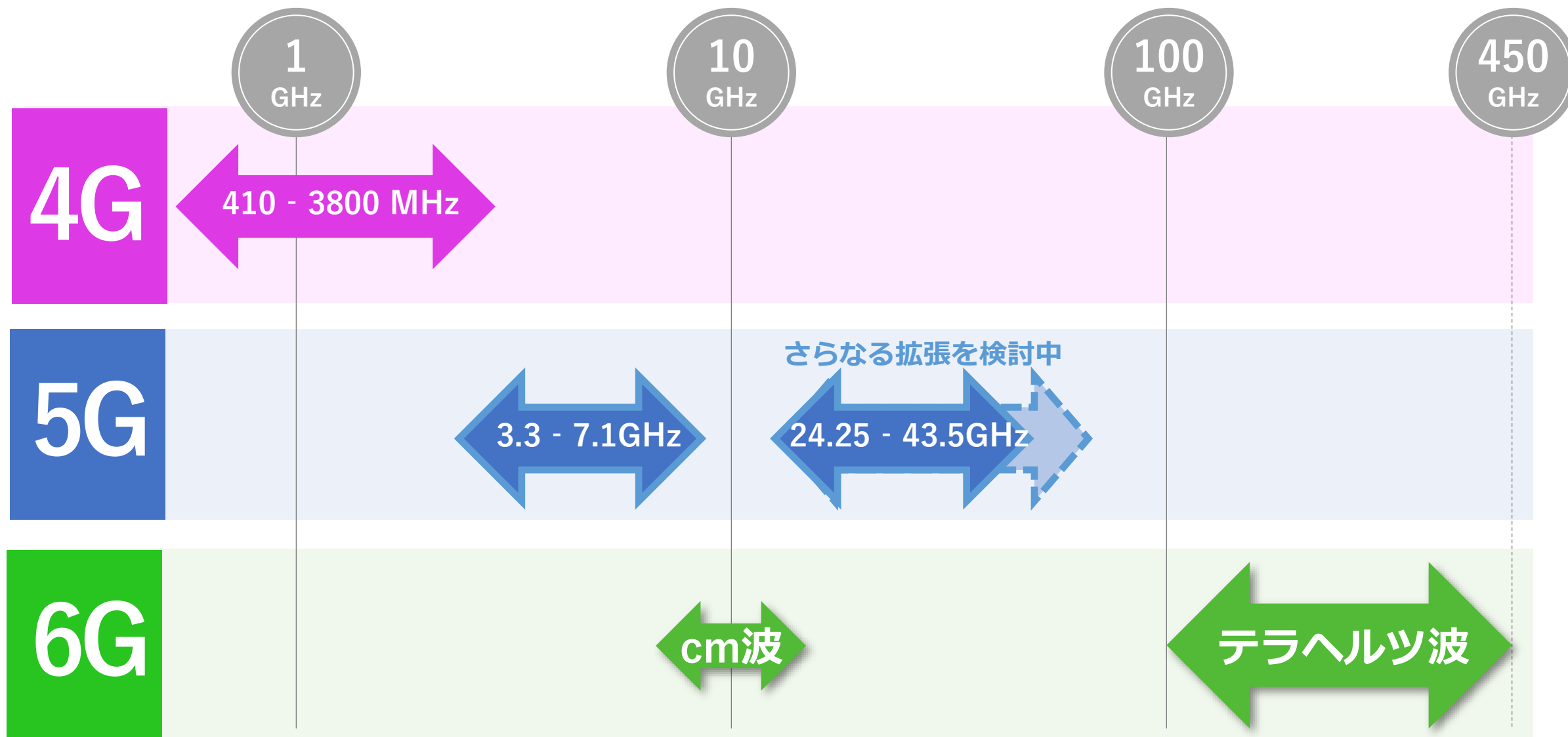
■ 電波利用の拡張

周波数の拡張

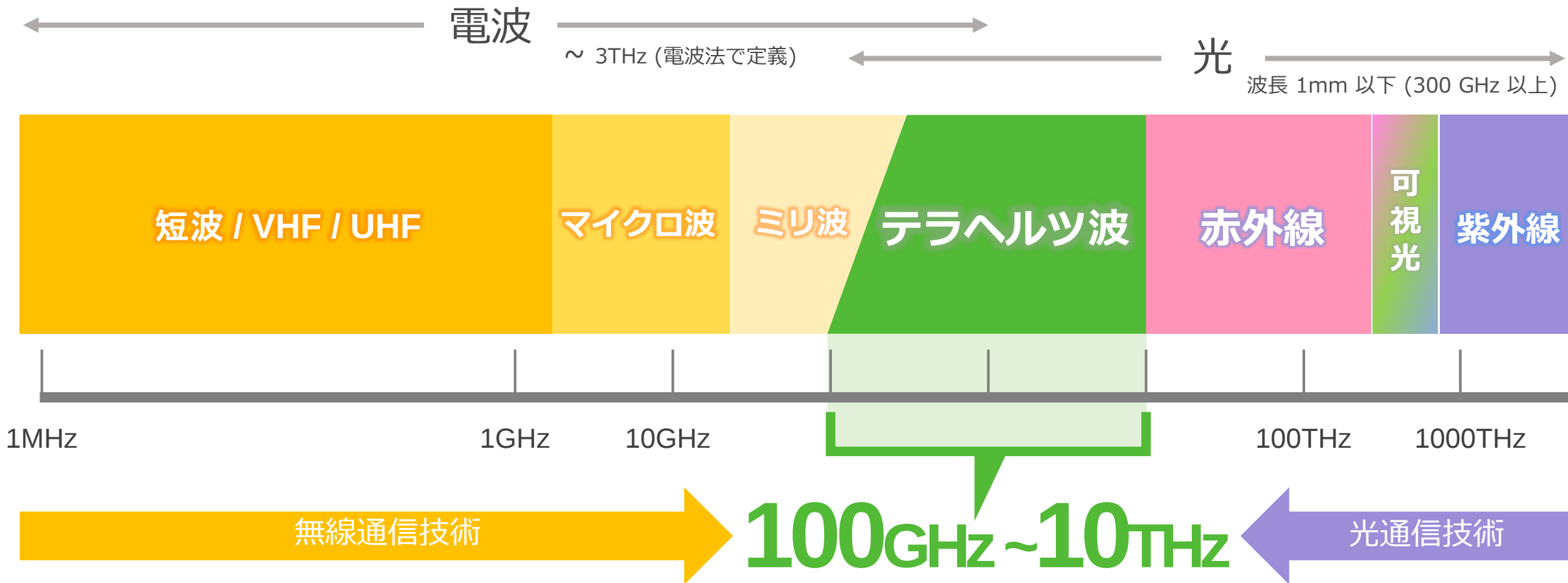
VI テラヘルツ通信



6G向けの新しい周波数、テラヘルツ



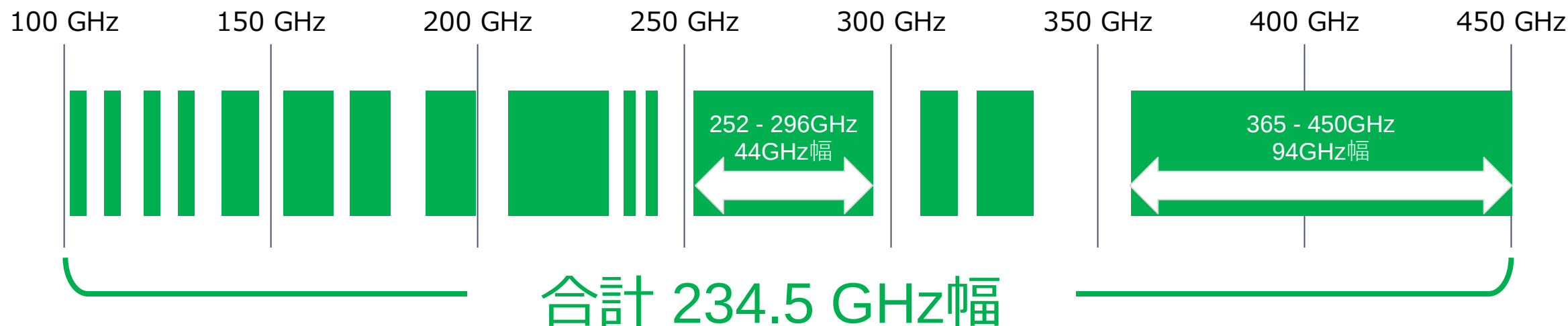
「テラヘルツ」とは



周波数の広さに注目

WRC-19にて、移動通信・固定通信に向けた、275GHz以上 450GHzまでの**周波数が特定**

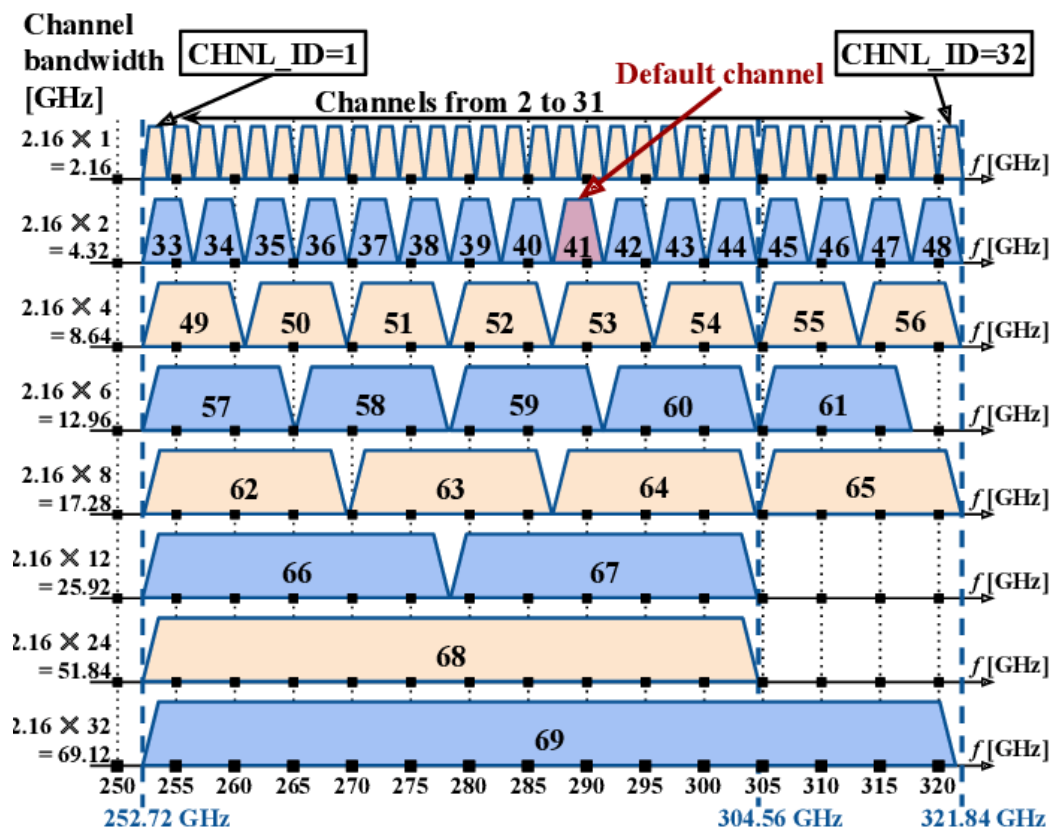
通信4社の割当て周波数（合計 3GHz幅）の
約80倍の周波数幅に注目



※ WRC (世界無線通信会議)で固定/移動通信向けに特定されている周波数マップ

テラヘルツ帯の通信規格

IEEE 802.15.3d (2017)



IEEE 802.15.3e を300GHz帯に適用

チャネルボンディング（複数チャネルの結合）をすることによって、4.32GHz, 8.64GHz…
最大69.12 GHz幅が規定されている。

最大通信速度は**100 Gbps**を超える

通信技術：電波と光

無線通信技術 の応用

LTE / 5G NRなど



特徴

- ✓ 基地局－端末の構成で、複数ユーザーが同時に通信可能
- ✓ 多値変調や、MIMO技術などの導入で周波数効率が高い
- ✓ ベースバンドの変調装置が比較的大きい

光通信技術 の応用

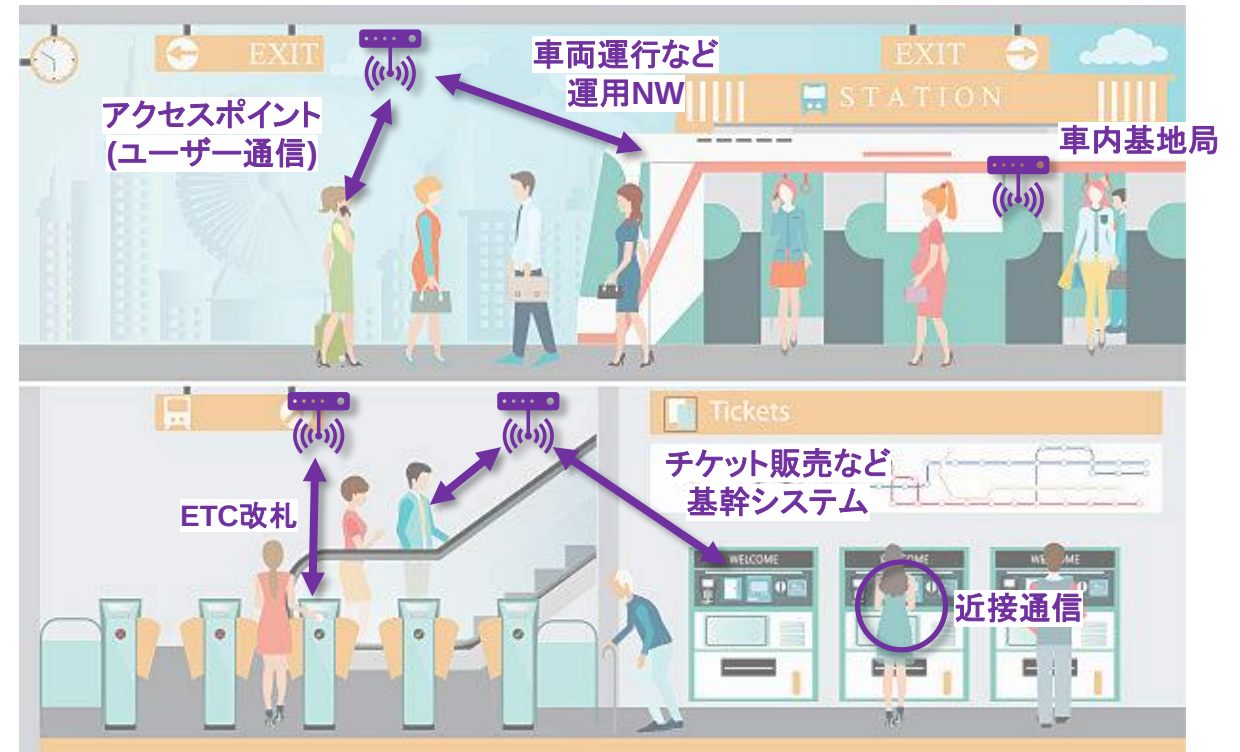
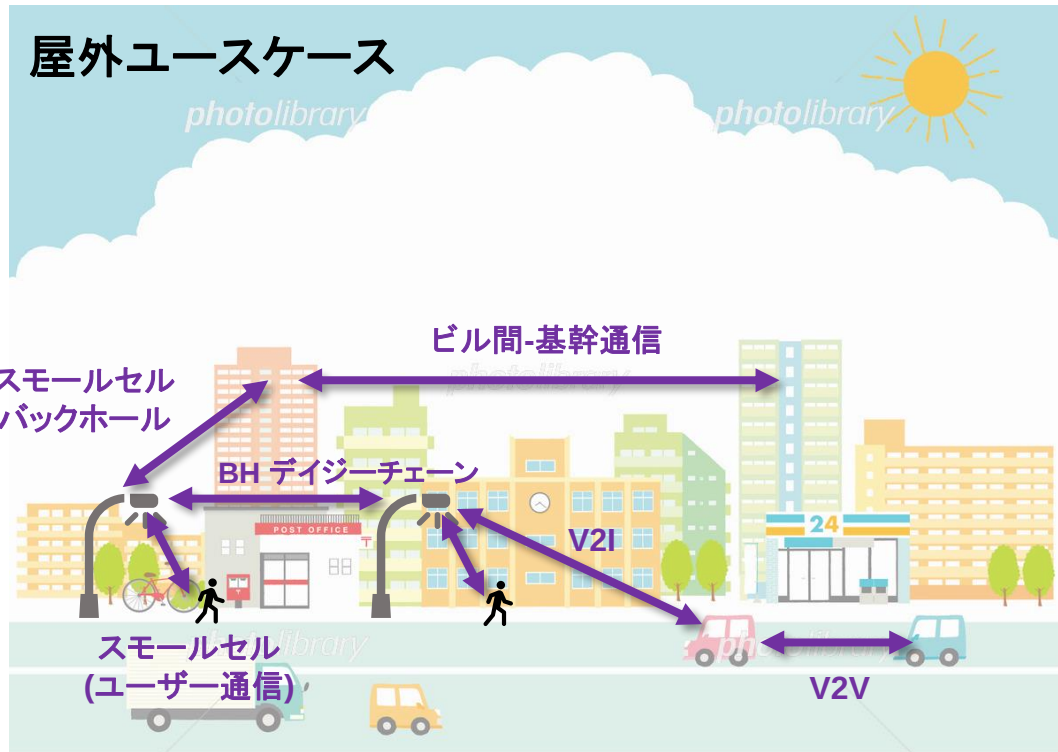
光ファイバー通信など



特徴

- ✓ Point to Point通信に特化
- ✓ 広い帯域を専有でき、1Tbpsを超える高速通信規格が存在
- ✓ 小型モジュール化されており、消費電力が比較的低い

テラヘルツで通信を無線化



電波が飛ばない・帯域が広いということは、「干渉を回避できる」ということ。

様々な事業者やシステムを同一周波数で混在して使うことも可能

ユースケースに合わせて技術を選択

ソフトバンクの考える テラヘルツ通信

これまでの取り組み

2017
年度

NICTとの共同研究開始
暗室内で、実験系を構築

2020
年度

超小型アンテナ開発
回転反射鏡アンテナ開発

2022
年度～

屋外伝搬実験
移動機追従試験

2018
年度

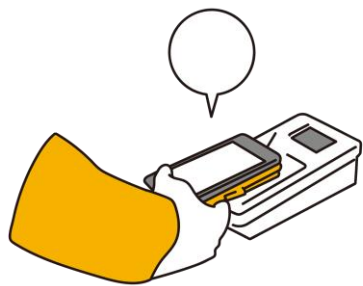
11月：産学連携 NICT・岐阜大学との共同研究>>1月:無線で変調実験を実施

2021
年度

超小型誘電体アンテナの通信実験



我々の目指すもの

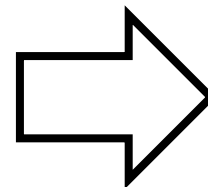


超高速・近接通信

「モバイルでの利用」を目指して
研究開発を実施



超高速な固定無線通信



「モバイルで利用する」とは

**範囲を持った
通信エリアでの利用**



- ✓ 移動しても通信ができること
- ✓ エリア間でハンドオーバー可能なこと
- ※ 通信事業者は、通信エリアが命

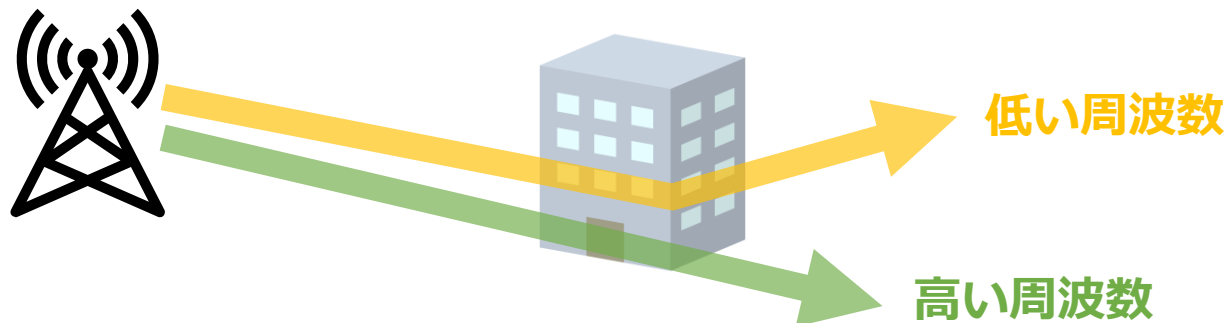
モバイル端末で利用



- ✓ 持ち運びできる大きさであること
- ✓ 電池持ちが良いこと（省電力）
- ✓ どんな向きでも使えること（オムニ指向性）

テラヘルツの通信エリア構築

電波の直進性が高い



マクロ局（ビルの上など）
での展開が難しい。



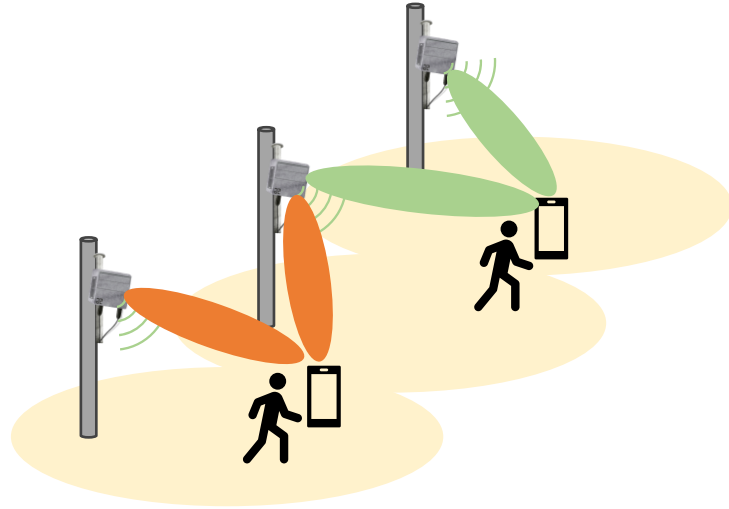
電波の届く距離が短い



※ 自由空間伝搬減衰から求めた到達距離

スモールセルでの展開が有力

テラヘルツ x スモールセルを考察



前提

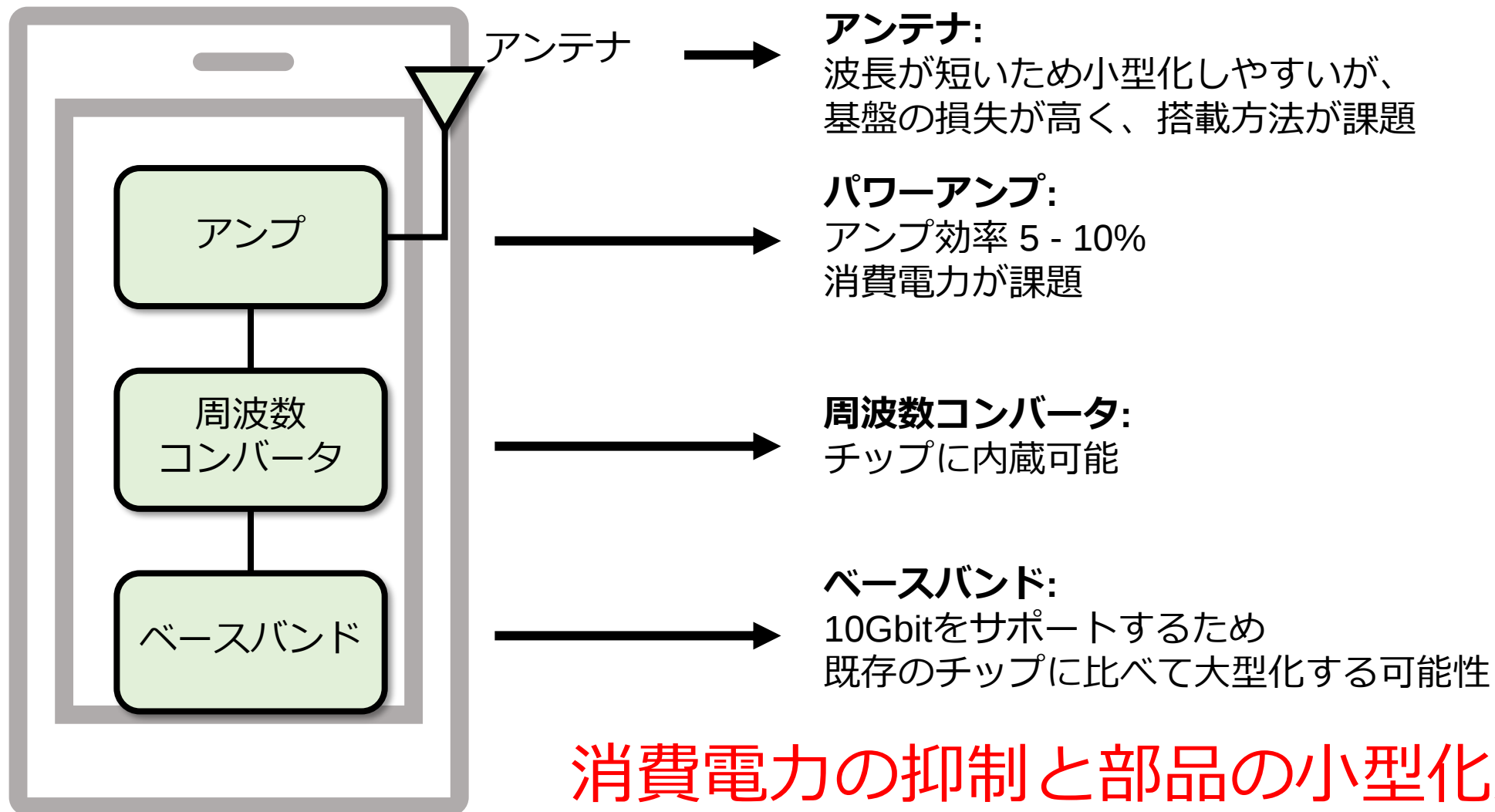
- 各電柱にテラヘルツのスモールセルを設置し、連続して通信できるエリアを構築することを目的
- テラヘルツの減衰を補うため、利得が高い（指向性が強い）アンテナを採用

予想される課題

- 設置場所（電柱など）の不足（ケーブルの地下埋設）
- 見通しが確保しにくい
 - 街路樹による遮蔽などが課題になる。
- 精度の高いビームフォーミング / 端末追従技術が必要
- 端末の姿勢制御
 - 端末のアンテナの向き次第で通信品質が劣化する

など

モバイル端末への適用



スマホ x テラヘルツの課題

**アンテナの
実装方法**

**半導体の
小型化**

**消費電力の
抑制**

実用化に向けて基礎研究が進んでいる

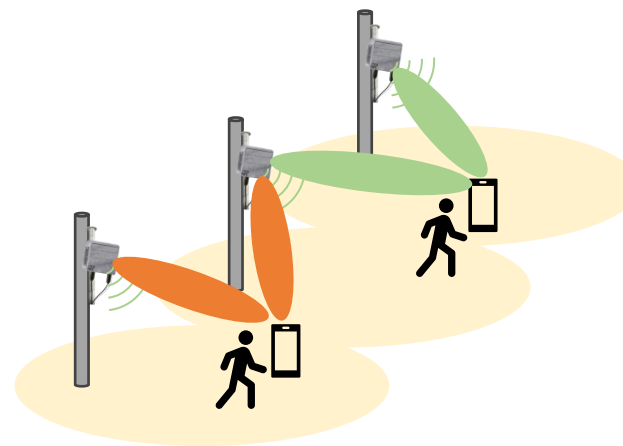
**初期のテラヘルツユースケースは
スマートフォンではないかもしれない**

発想の転換：車両向けの通信

従来のユースケース

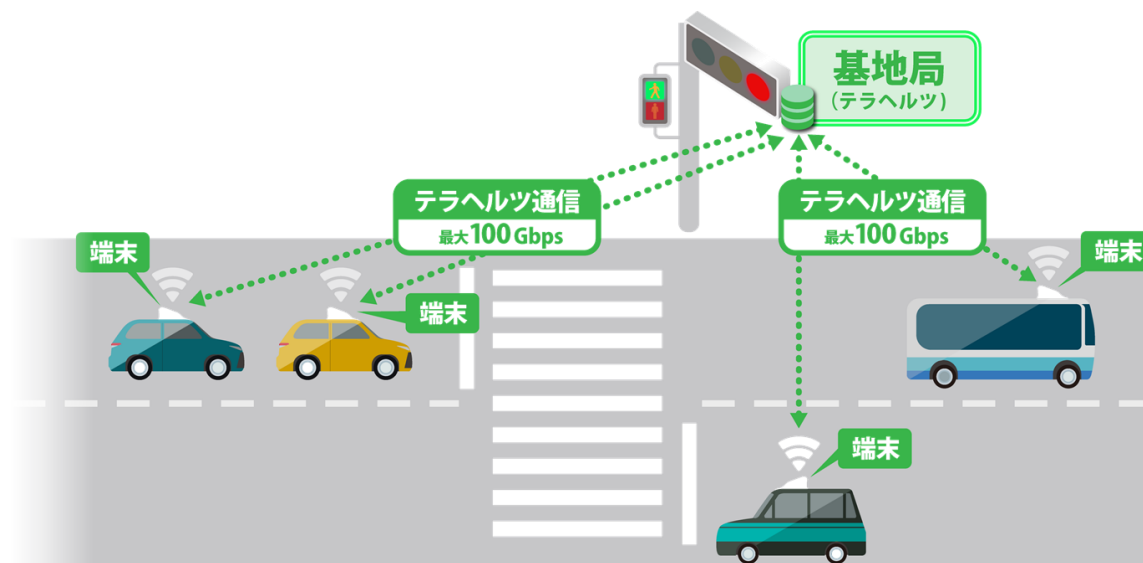
スマホ向けの通信

スマホサイズの小型化、省電力化
などが課題



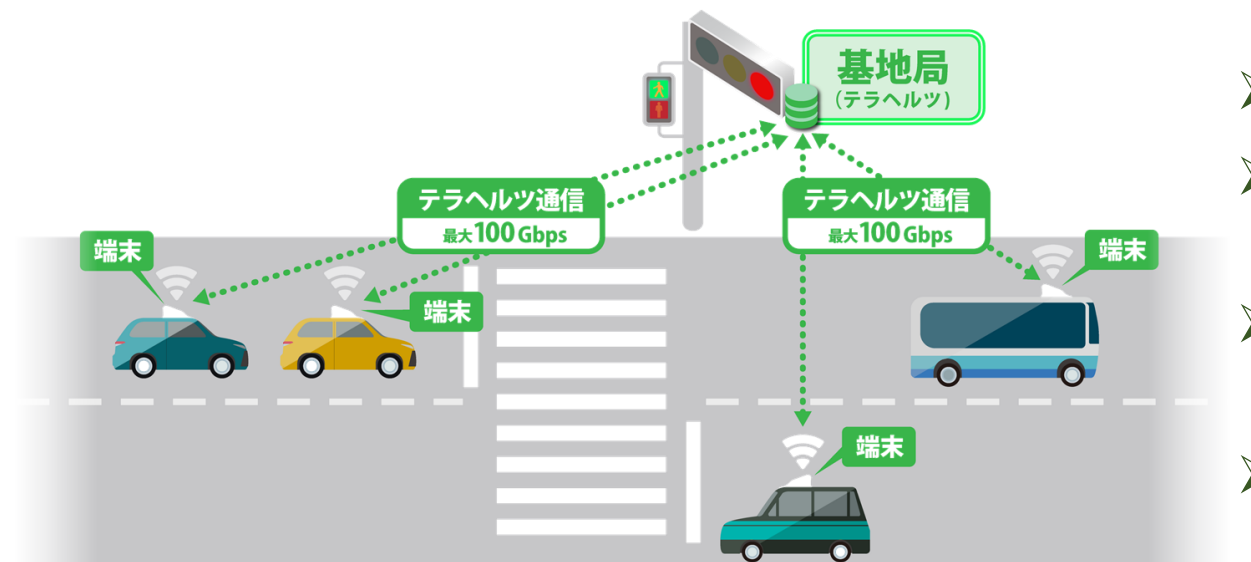
新しいユースケース

車両向け



ユースケースの狙いとメリット

車両向けのテラヘルツエリアの構築



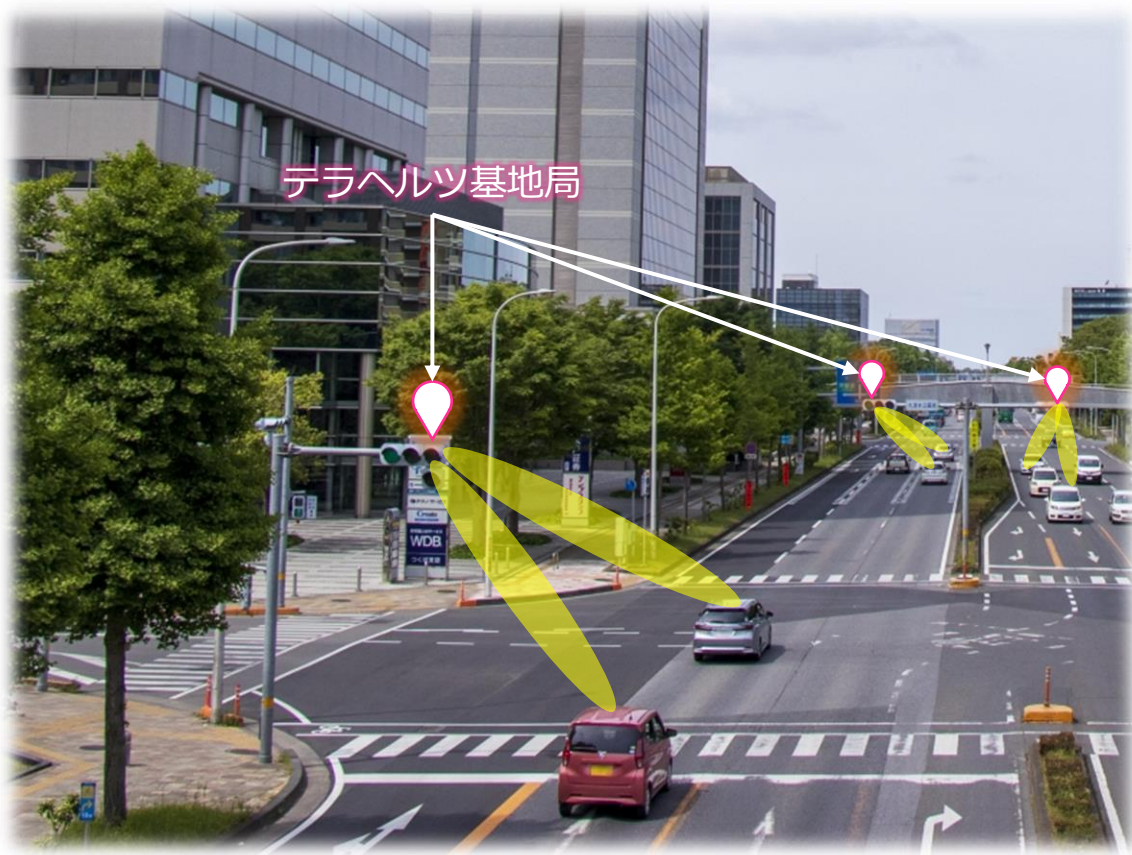
- 車が通信主体のユースケースが増えてくると予想
- 信号・看板などに設置したテラヘルツ基地局とコネクテッドカーの間で高速通信を提供
- 走行中に車両に溜まった大量のデータを、数秒でクラウドにアップロード
- アップリンクの通信ボトルネック問題を解決

車両向けに限定することで

- ・ 信号機は道路上にせり出しているため、**見通し通信が確保しやすい**
 - ・ 走行する方向や、走行する場所が道路上に限定できるため、**指向性アンテナを使いやすい**
- などといった特徴があり、スマートフォンに比べて通信を提供しやすい。

ソフトバンクの最近の取り組み

新しいユースケース “車両向け通信”

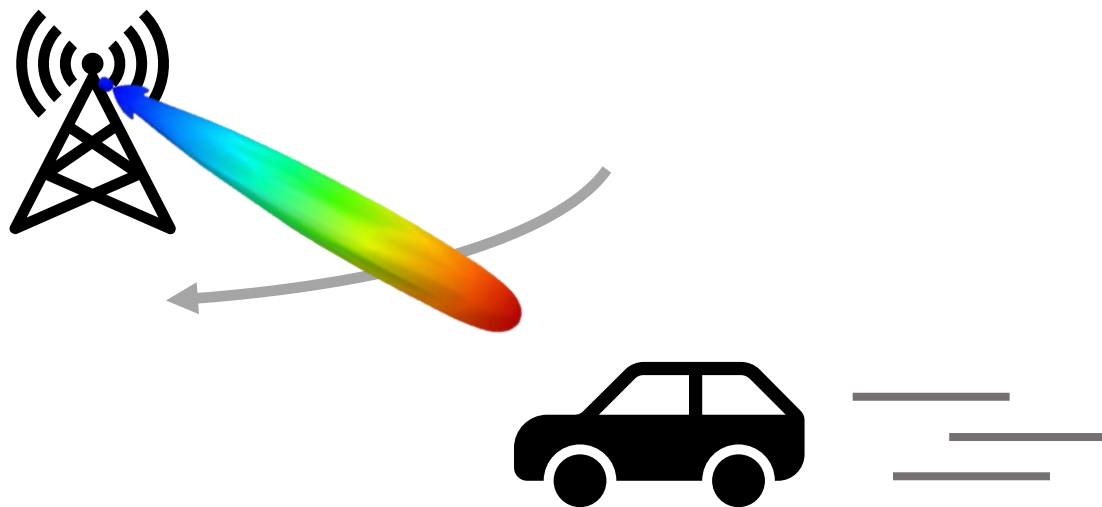


- 車が通信主体のユースケースが増えてくると予想
- 信号・看板などに設置したテラヘルツ基地局とコネクテッドカーの間で高速通信を提供
- 走行中に車両に溜まった大量のデータを、数秒でクラウドにアップロード
- アップリンクの通信ボトルネック問題を解決



実証実験で検証

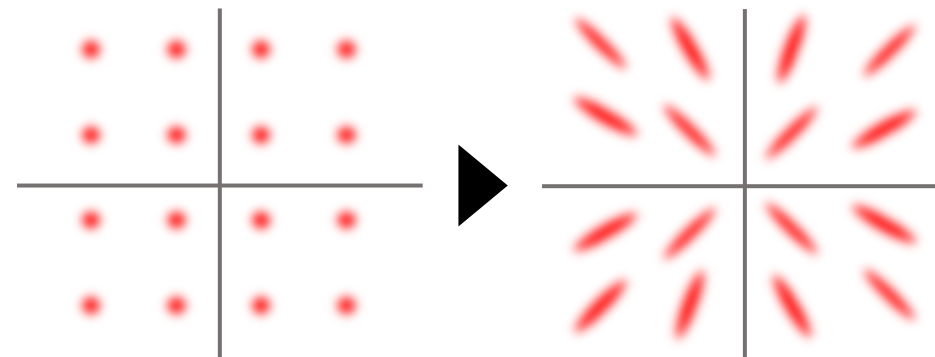
ビームの追従問題



通信の品質を向上させるため、鋭いビームを使うとビームの追従が課題となる。

広帯域を使った通信では、ビームを追従するための計算量も多く、計算速度が車の速度に追いつかない可能性がある

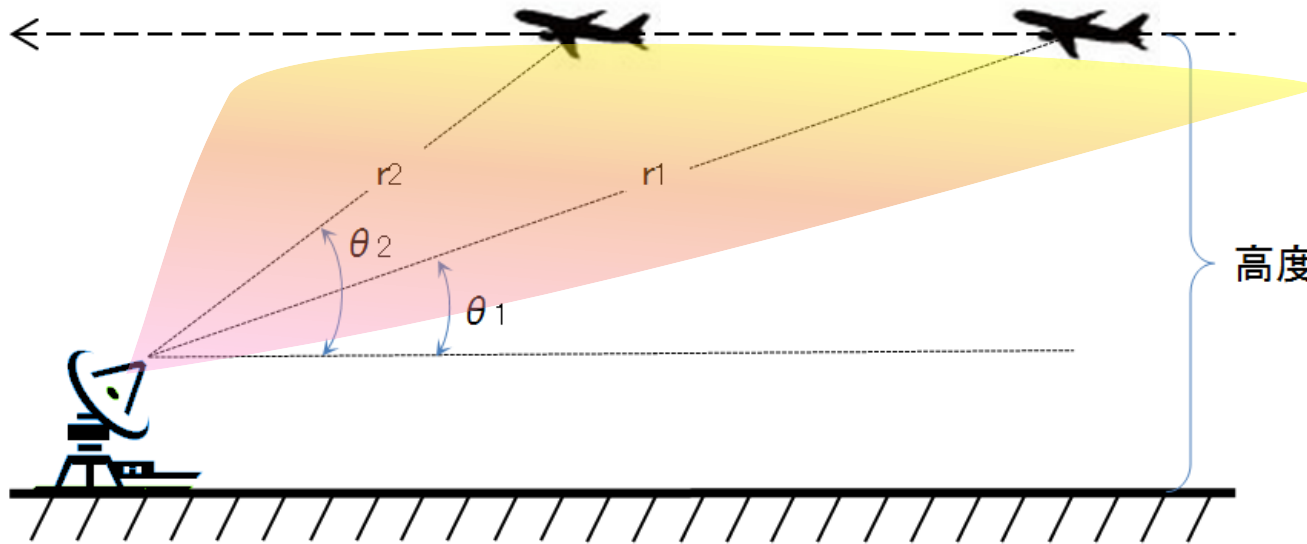
16QAM コンスタレーション



ビームの追従精度が悪いと
急激なレベルの変動
(信号品質の劣化) 要因になる。

ビームフォーミングによる追従を行わず、かつ、受信電力はなるべく一定に保ちたい

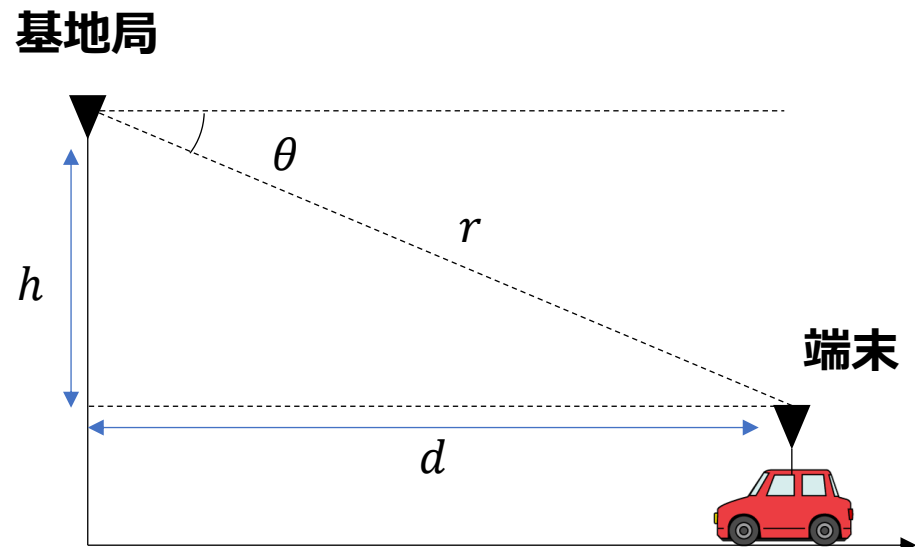
コセカント2乗ビームアンテナ



基地局のアンテナの垂直面パターンを“コセカント2乗”特性のビームにすることで、距離の伝搬損失を打ち消し受信レベルを一定に保つことができるアンテナ。

※ コセカント = サインの逆数

コセカント2乗特性の原理



フリスの伝達公式

$$P_R = P_T G_R(\theta) G_T(\theta) \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

P_R : 端末の受信電力
 P_T : 基地局の送信電力(一定)
 $G_R(\theta)$: 端末のアンテナ利得
 $G_T(\theta)$: 基地局のアンテナ利得

▶ 直線で離れる場合、距離の2乗に比例して受信電力が弱くなる。

基地局と端末に高低差がある場合

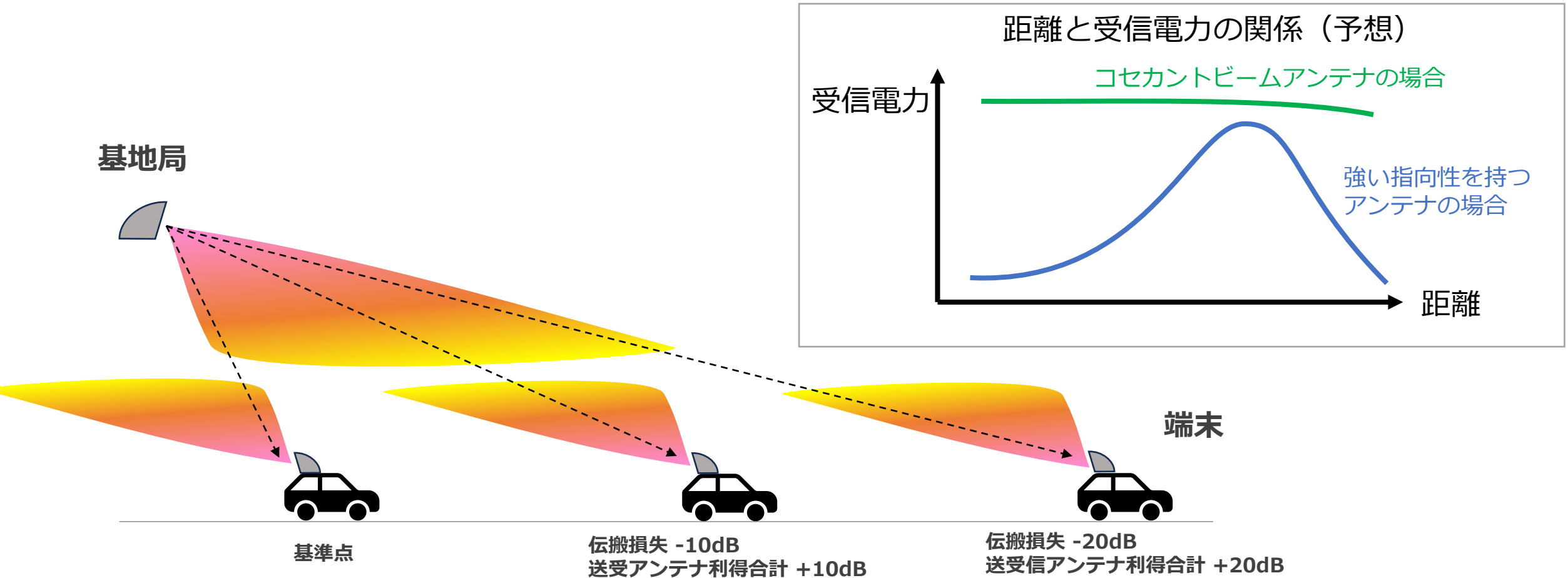
基地局から端末までの距離 $r = \frac{h}{\sin \theta} = h \operatorname{cosec} \theta$

$$P_R = P_T G_R(\theta) G_T(\theta) \left(\frac{\lambda}{4\pi h \operatorname{cosec} \theta} \right)^2$$

▶ コセカント θ の2乗に比例して受信電力が弱くなる。

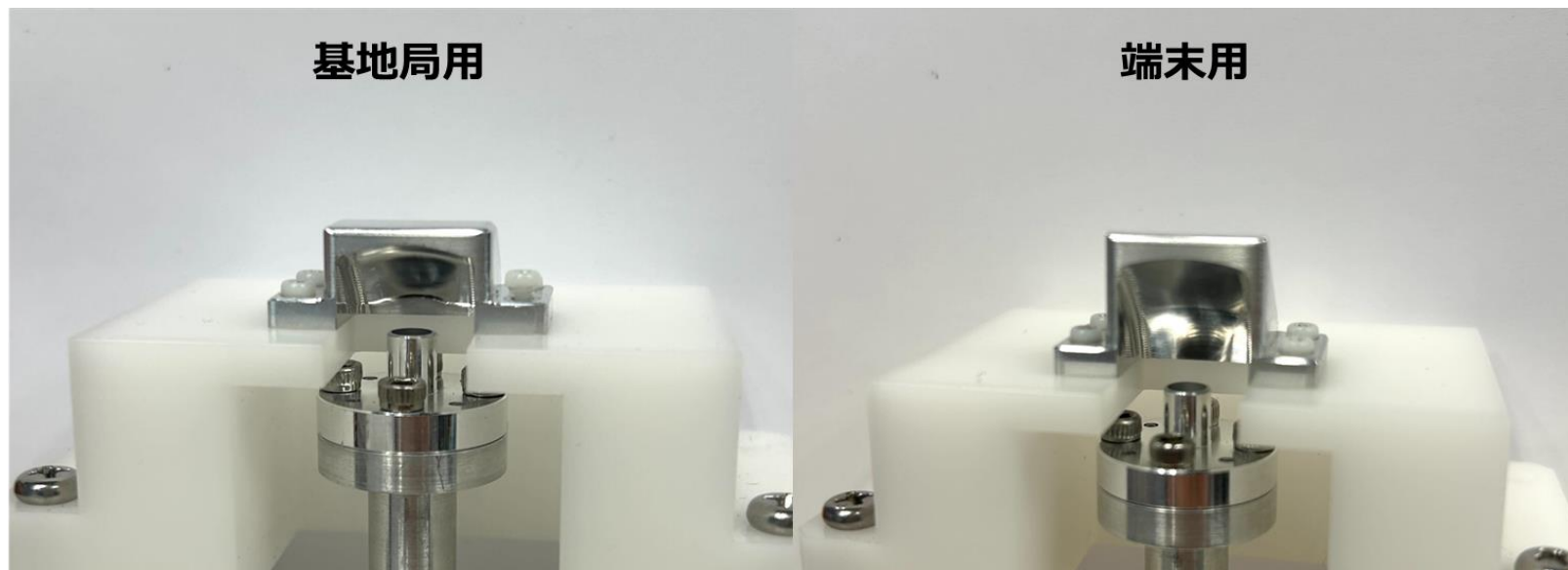
▶ $G_R(\theta) G_T(\theta) = \operatorname{cosec}^2 \theta$ のとき、
 端末の受信電力 P_R は距離 d に関わらず一定になる。
 (コセカント2乗特性)

コセカント1乗ビームアンテナ



基地局と端末アンテナの垂直面パターンをコセカント(1乗)のビームにすることで、距離の伝搬損失を打ち消す特性を実現

試作したアンテナ

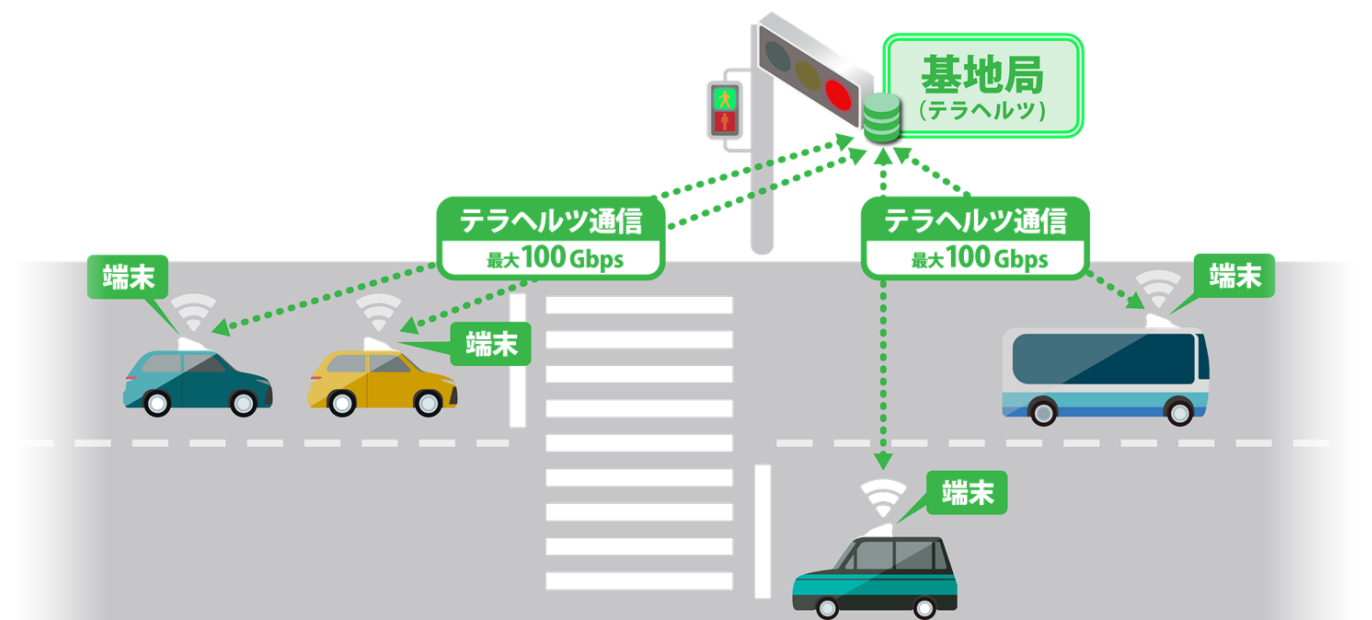


テラヘルツ帯であれば、
開口アンテナも手のひらサイズの大きさで作成できる。

実証実験

屋外実証実験の概要

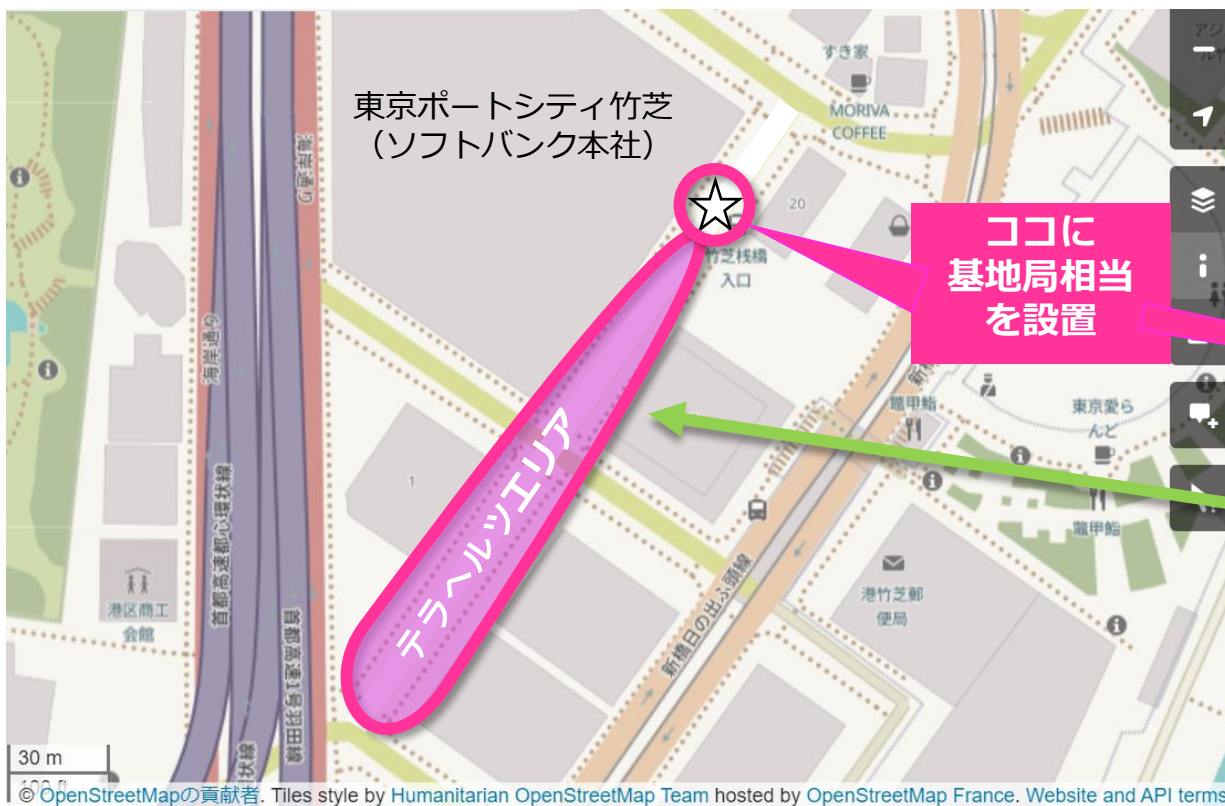
目的： テラヘルツを用いて、車両向けの通信エリアを構築
実際に信号の高さに基地局相当の無線機を立ててエリアの広さを検証する



基地局1局、車1台で
左図の環境を模擬し
通信エリアの構築を行う

屋外実証実験の概要

実験場所： 東京都港区海岸1丁目（ソフトバンク本社前の直線道路）
無線諸元： 後述

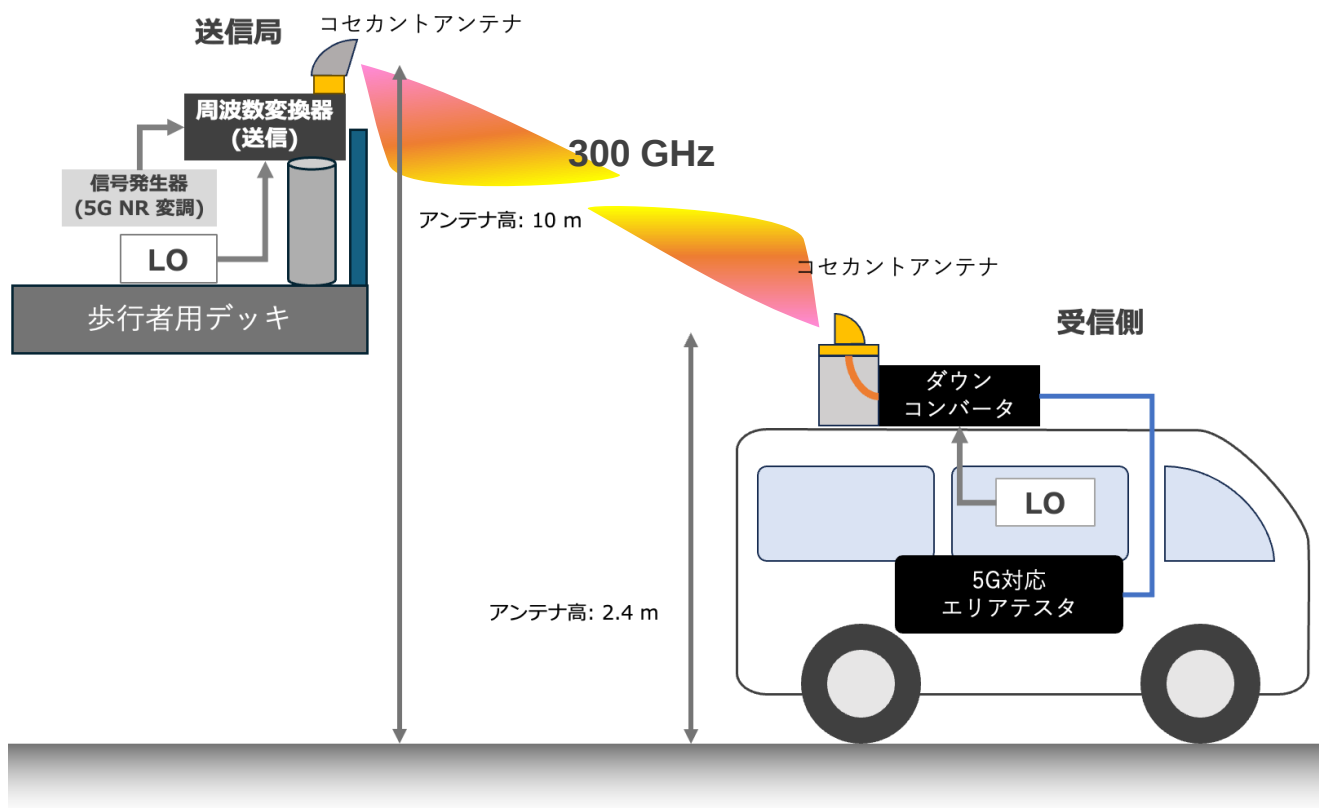


歩行者用デッキに基地局相当の無線機を設置し、
汎用の5Gエリア測定器を搭載した車で道路を走行

移動しながら5G信号を受信し、エリアの広さを検証



実験の構成



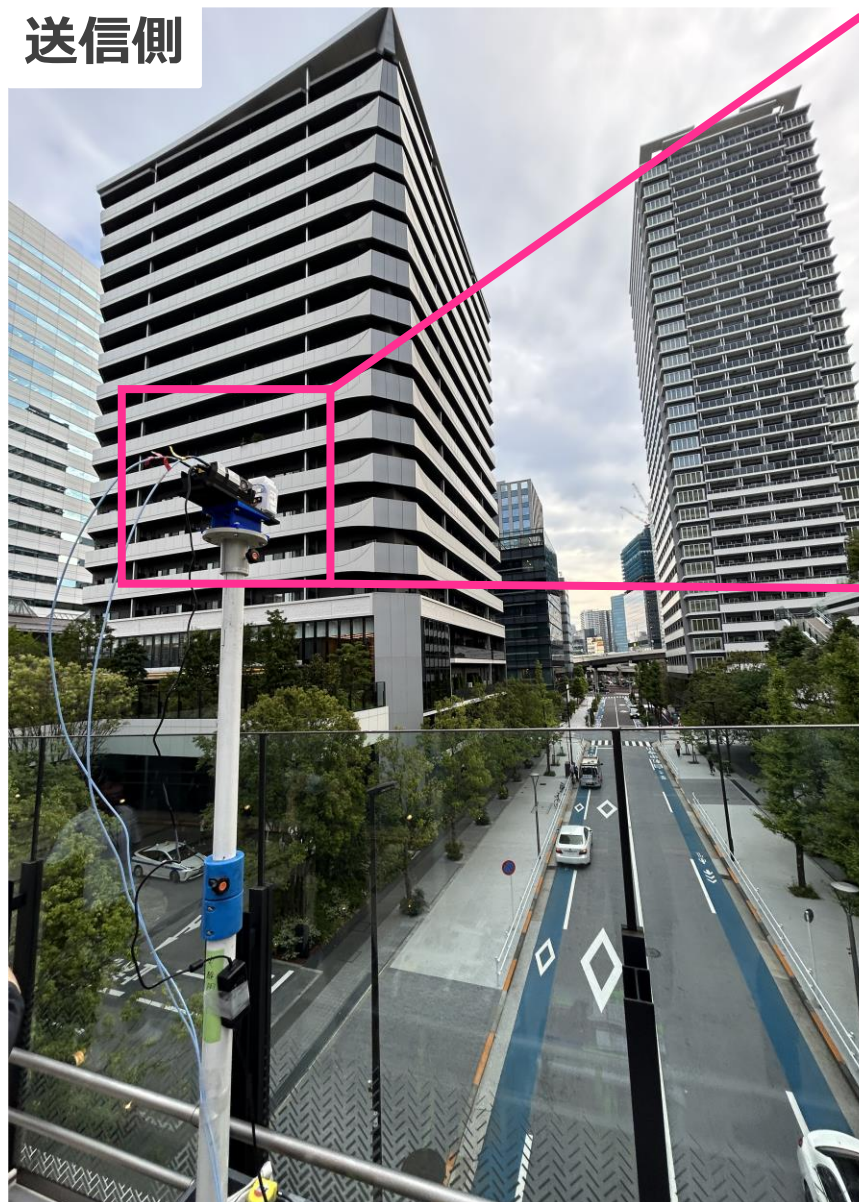
無線諸元	
無線周波数	300 GHz
通信方式	5G NR
基地局ID	25
送信電力 (EIRP)	0 dBm (20 dBm)
受信アンテナ利得	20 dBi
走行速度	0 ~ 約30km/h

実験の構成

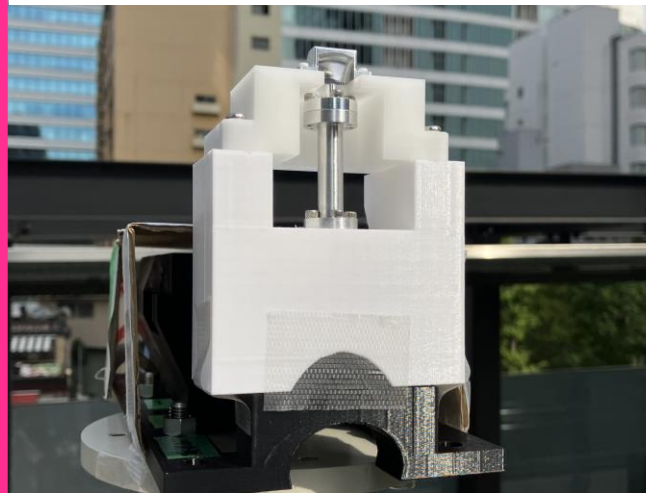
1. 信号発生器にて 5G NR信号を生成
2. 信号を3.9 GHzから300 GHzに変換
3. 受信側で5G周波数(3.9 GHz)に変換
4. 商用の測定器で5G信号として復調
5. 受信電力を記録

実験風景

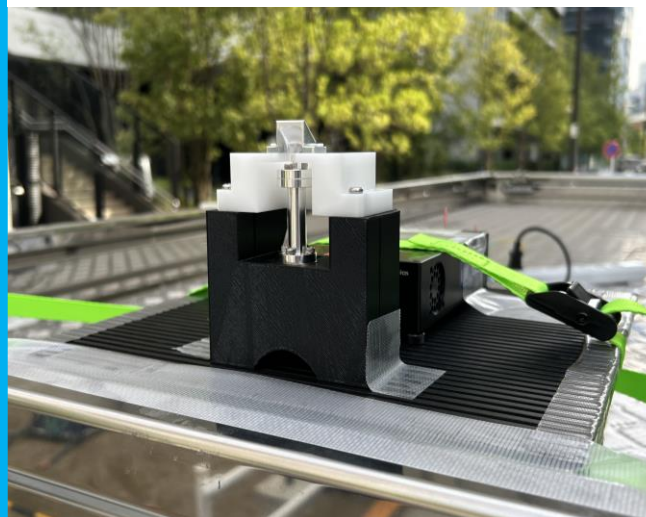
送信側



基地局用コセカントアンテナ



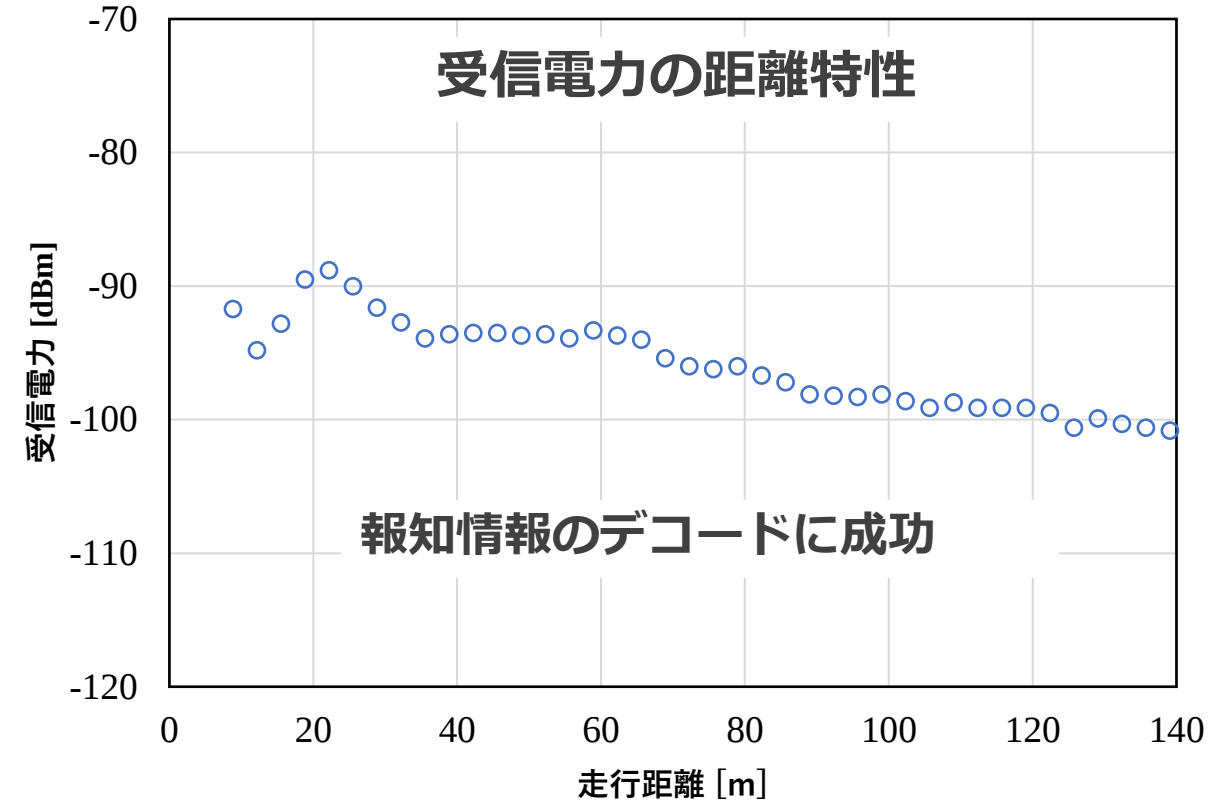
端末用コセカントアンテナ



受信側



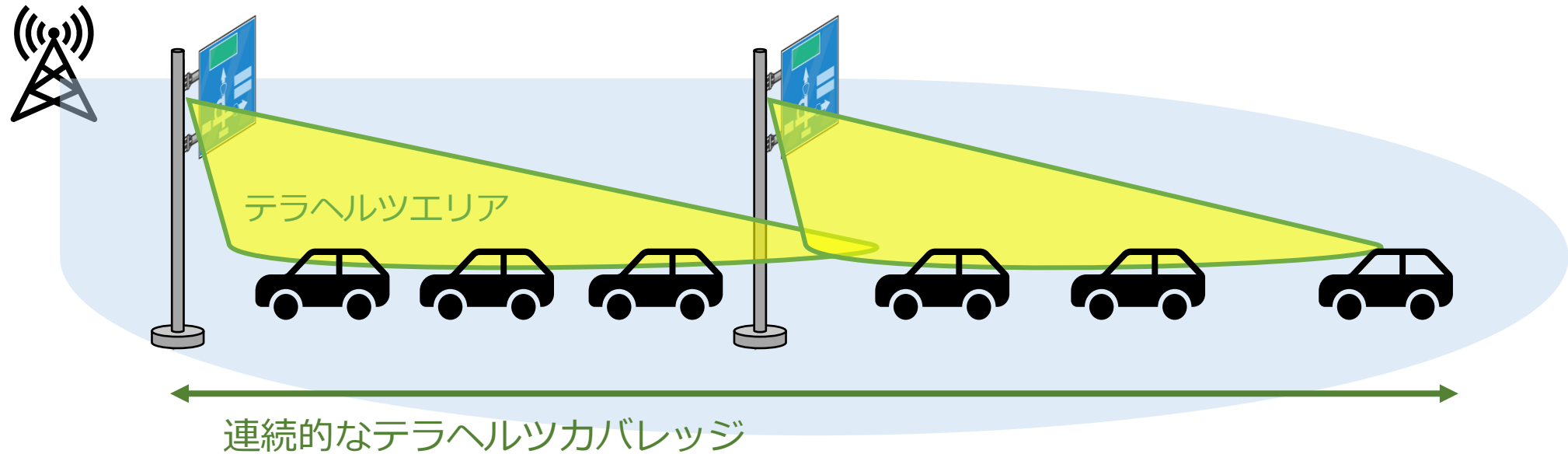




- 10 – 140 mで300 GHz基地局の報知信号の復調に成功
- 35mから82mの区間、89mから140mの区間の受信電力変化は3dB以内

将来展望

既存周波数による広域カバレッジ



- 連続的なテラヘルツエリアを構築
- スポットエリアになっても、既存の通信エリア（既存周波数）との協調・連携により、切れない通信を提供
- 高速道路などの高速走行中や、渋滞中でも高速通信を提供

まとめ

- ✓ソフトバンクでは、テラヘルツ通信の「モバイル利用」に焦点をあてて研究開発を行っている。
- ✓車両向けにテラヘルツ通信を提供するというユースケースを考案し、実際に屋外実証実験を行い実現の可能性を示した。
- ✓電力の変化が通信品質に影響を与えるが、受信電力の変動が少ないアンテナを開発し、走行試験でその特性を示した。
- ✓将来的に、更に高速走行での実験も検討中。

