

# 鉄道におけるミリ波活用

信号・情報技術研究部(ネットワーク・通信)

中村 一城



Railway Technical Research Institute

## 発表内容

- ◆対列車通信システムの現状と課題
- ◆ミリ波の概要
- ◆鉄道総研における取り組み
  - ・ 40GHz帯 対列車通信システム
  - ・ 90GHz帯 線路内監視システム
  - ・ 90GHz帯 対列車通信システム
- ◆まとめ



Railway Technical Research Institute

## 対列車通信システムの現状と課題

### ・ 現状

- － 保安通信用: 列車の安全・安定運行のための指令伝達
  - ・ アナログの音声、数kbpsのデータ伝送: 「迅速・確実に伝送」
- － 旅客サービス用: 旅客への情報通信サービスの提供
  - ・ 数Mbps程度のデータ伝送: 「列車内の数百の端末に効率よく伝送」

### ・ 対列車通信システムに対する大容量化の要求

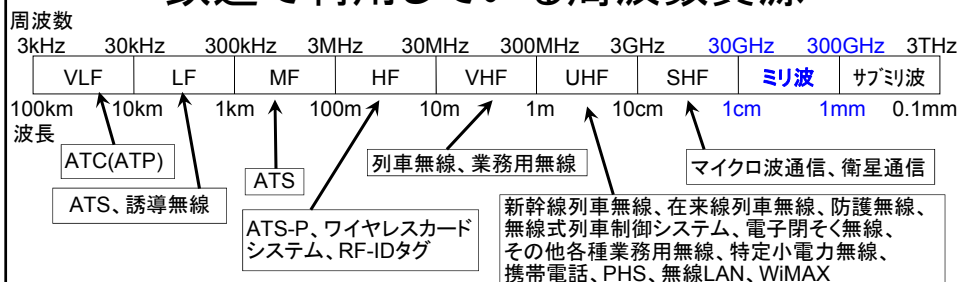
- － 無線による列車の制御、鉄道設備・車両の状態監視など、より多くの情報を伝送したい
- － 列車内の旅客により多くの通信リソース・情報を提供したい



Railway Technical Research Institute

3

## 鉄道で利用している周波数資源



➤ 今後の対列車通信システムで実現したい機能を満足するためには、  
帯域幅が不足

新たな周波数資源の獲得が必要 ➡ ミリ波帯に着目

### ◆ ミリ波帯の特徴

#### ① 直進性が強い

➤ サービスエリアが直線状に長い鉄道に適している

#### ② 利用できる周波数幅が広い

➤ 1chあたり数MHz～数GHzの周波数範囲を利用可能



Railway Technical Research Institute

4

## 鉄道におけるミリ波の活用状況

| 用途   |                    | 利用場所   | 周波数    |
|------|--------------------|--------|--------|
| 通信   | ワンマン運転時のホーム監視画像の伝送 | 駅      | 40GHz帯 |
|      | 車内広告情報の更新          | 駅、車両基地 | 60GHz帯 |
|      | 車両基地内における入換作業支援    | 車両基地   |        |
| レーダー | 支障物の検知             | 踏切     |        |



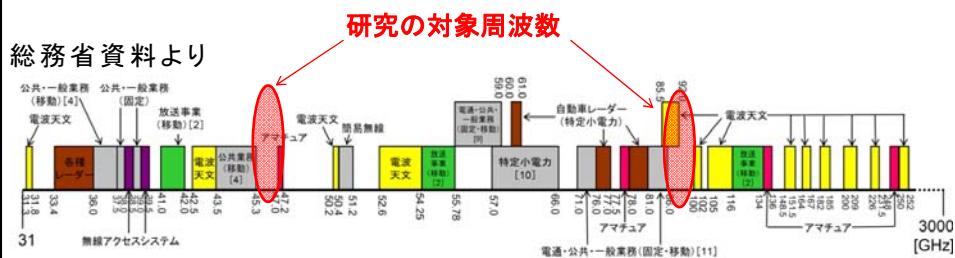
走行する列車と地上間で通信を行う  
対列車通信システムへの利用例はない



Railway Technical Research Institute

5

## 鉄道総研におけるミリ波利用に関する研究



### ◆40GHz帯

- ・対列車通信システム

### ◆90GHz帯・・・世の中でまだ利用が少ない帯域

- ・線路内監視システム
- ↓
- ・対列車通信システム



Railway Technical Research Institute

6

## なぜ今ミリ波に注目しているのか

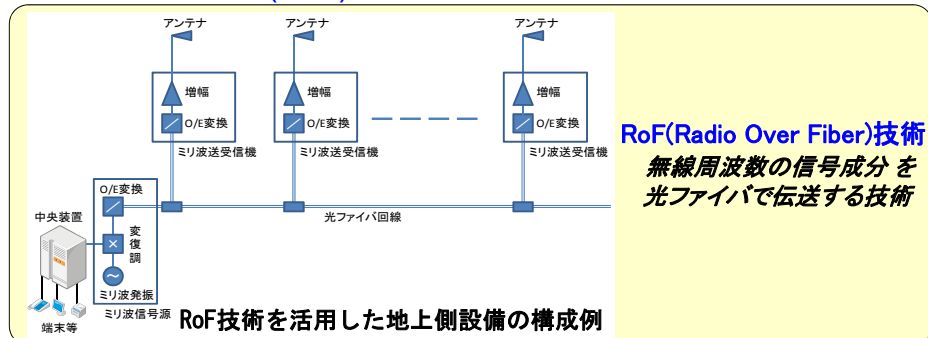
### ◆これまで普及が進んでいない理由

- ・デバイスが高価
- ・サービスエリアをカバーするには多数の無線局が必要

コスト大

- 免許不要な60GHz帯無線システムの開発
- 光ファイバ無線(RoF)技術の開発と広帯域化

低コスト化



Railway Technical Research Institute

7

## 40GHz帯による対列車通信システムの研究

- ◆ 平成24年10月改訂版「周波数再編アクションプラン」にて、  
列車無線の高度化・ブロードバンド化のための周波数として40GHz帯を候補とする旨が明記された。
- ◆ 総務省が技術基準策定に向けて平成22-24年度に開催した「40GHz帯を用いた移動体通信システムの周波数有効利用技術に関する検討会」において、技術基準案がまとめられた。

### 技術基準案

|       | 40GHz帯 対列車通信     | (参考) LCX方式新幹線列車無線     |
|-------|------------------|-----------------------|
| 周波数帯  | 44~47GHz         | 0.4GHz                |
| 占有帯域幅 | 100Mbps : 40MHz  | 業務用 約0.7Mbps : 0.6MHz |
|       | 700Mbps : 280MHz | インターネット用 約2Mbps:2MHz  |
| 送信出力  | 10mW以下           | 3W以下                  |

- 旅客サービス向けサービスが主なターゲット



### 鉄道業務へ活用するための検討

- ・シミュレーションを活用した回線設計手法の提案
- ・システム構成例の提案



Railway Technical Research Institute

8

## 回線設計に影響する要素の検討

無線回線設計に影響を与える要素

| 要素    | 条件                                                                                |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 線形    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 直線区間</li> <li>・ 曲線区間</li> </ul>          |
| 環境    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 明かり (防音壁の有無)</li> <li>・ トンネル</li> </ul>  |
| 軌道の構造 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ バラスト</li> <li>・ スラブ</li> </ul>           |
| 降雨    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 降水量 (mm/h)</li> </ul>                    |
| 着雪    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 着雪量 (mm)</li> <li>・ 雪の含水率 (%)</li> </ul> |

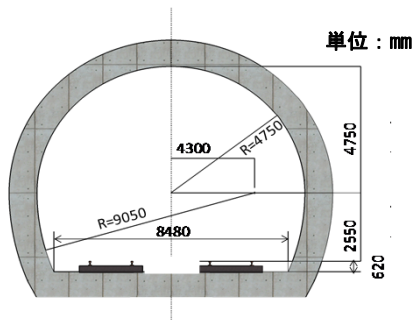


Railway Technical Research Institute

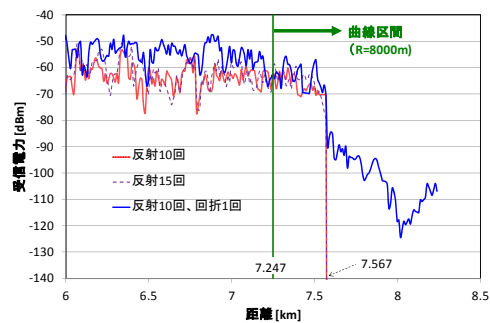
9

## 40GHz帯ミリ波の伝搬特性の検討(トンネル)

▶ レイトレーシング法(レイラウンチング法)



トンネルモデル



回折の影響を考慮した検討結果

曲線部を含むトンネル内のシミュレーションでは、回折の考慮が必要



実測やシミュレーションより回線設計に必要な要素を整理し、線形、環境などの条件ごとに標準無線回線設計表を提案



Railway Technical Research Institute

10

## 90GHz帯の活用

- 40GHz帯の将来的な容量不足の懸念
  - ✓旅客サービスまで含めると容量が不足する可能性
  - ✓運行制御用通信システムとしての展開の可能性

### ➡ 他の周波数帯域を開拓する必要性

- 広い帯域の利用が期待できる90GHz帯が候補

### ◆これまで鉄道で利用したことのない周波数帯

- 対列車通信システムへ適用する前に、90GHz帯ミリ波の鉄道環境における特性を把握する必要がある
  - まずは、単体で動作し、90GHz帯のメリットが生かせるレーダーシステムへの活用を目指す
  - 鉄道環境での特性をある程度特性を把握できた後、対列車通信システムの開発に取り組む



Railway Technical Research Institute

11

## 90GHz帯による線路内監視システムの研究

- 90GHz帯ミリ波はこれまで鉄道で利用されたことがない
  - 鉄道環境における電波伝搬特性が未知
- 航空分野(滑走路監視)が先行して90GHz帯ミリ波レーダーによる障害物検知の研究を実施
  - 鉄道環境では電波を反射する物体が多数存在するため、滑走路向けのままでは利用できない
- 既存の線路内を監視するシステムは、ピンポイントもしくは区間単位など、限られたエリアのみ監視
  - 複数のシステムが混在



総務省「電波資源拡大のための研究開発」

### “90GHz帯リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発”

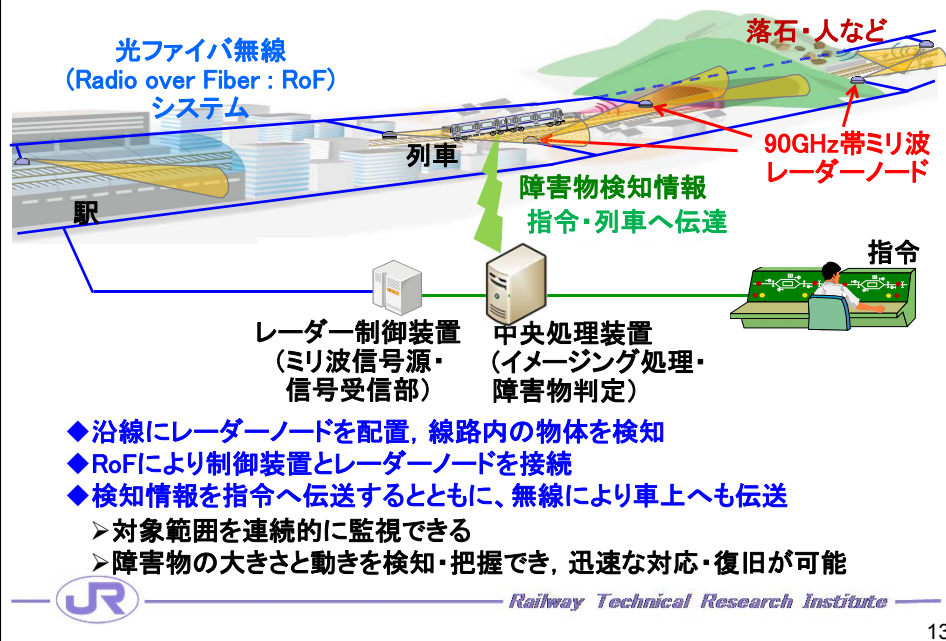
- 90GHz帯ミリ波の鉄道環境での伝搬特性を把握
- プロトタイプシステムによる適用可能性の検証



Railway Technical Research Institute

12

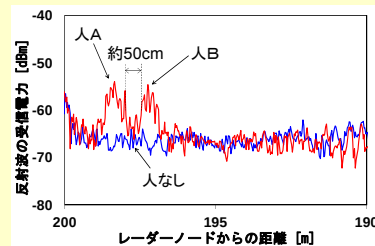
## 提案する線路内監視システムの構成イメージ



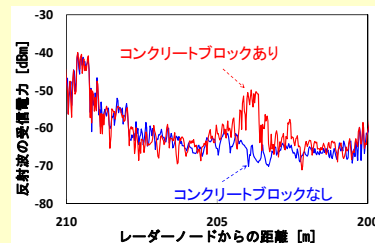
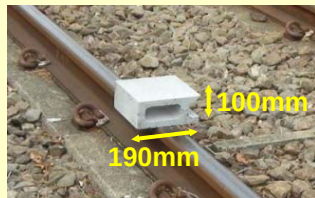
13

## 障害物検出機能の実証

### 人の検出・分離例



### コンクリートの検出例



約200m遠方から線路内の人や非金属物を検出

14



## 障害物検出機能の実証



線路内に侵入する人  
を検出するとともに、  
その動きを追跡できる  
ことを検証



線路内に人が侵入し  
て非金属物を設置し  
た際に、警報を発する  
ことが可能であることを  
検証

→ 90GHz帯ミリ波が鉄道環境で活用できることを実証



Railway Technical Research Institute

15

## 90GHz帯による対列車通信システムの研究

### ◆ 線路内監視システムの研究において

- 90GHz帯の基本的な電波伝搬特性を把握
- 90GHz帯が鉄道環境で活用できることを実証
  - 90GHz帯ミリ波による対列車通信システムの検討

総務省「電波資源拡大のための研究開発」

### “ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発”

### ◆ 高速走行する列車と地上間でGbpsオーダーの伝送容量を実現

- システム全体構成の検討、所要要件の定義、鉄道環境試験技術
  - 高速移動体に対応できる伝送品質の評価手法と無線回線設計手法の確立
    - 90GHz帯向け対高速移動体無線データ伝送回線シミュレータの開発
    - シミュレーションと実験による対高速移動体伝送特性の把握

1列車あたりのデータレートを、数Mbpsから  
1Gbpsに増加させるための基盤技術の確立



16



## 主な課題と対応策

- ミリ波発振・増幅・信号処理のためのデバイス
  - 高安定、高出力、低ノイズ
- 伝搬特性
  - 減衰(トンネル／明かり、雨、ガラス...)、干渉、ドップラ
- チャネル配置と変復調方式
  - 8GHzの幅をどのように区切って使うか？
- 光回線切り替え
  - 高速、低ひずみ
- 列車追跡
  - 路線局切り替えと基地局間ハンドオーバー
- 既存システムとの共存あるいは切り替え方法



Railway Technical Research Institute

## 今後の取り組み

- 無線機の開発
  - ミリ波信号源、変復調装置、RFユニット、アンテナ
- シミュレータの開発
  - ハードウェアによるフェージングシミュレータ
- 電波伝搬、伝送品質の測定試験
  - 無線機の性能確認、シミュレータの検証
- 地上のRoFシステムの開発
- 車内での配信システムの開発
- システム統合と実証実験
  - 試験線、在来線、新幹線での実現性の証明



Railway Technical Research Institute

18

## まとめ

### ◆鉄道総研におけるミリ波に関する研究開発を紹介

#### ➤40GHz帯 対列車通信システム

- ・実用化に向けて必要なシミュレーションを活用した無線回線設計手法の提案に向けた取り組みを紹介

#### ➤90GHz帯 線路内監視システム

- ・プロトタイプシステムにより、線路内へ侵入した人や非金属物の検出例を紹介

→これまで鉄道で使われていない90GHz帯ミリ波の電波資源を鉄道環境で活用できることを実証

#### ➤90GHz帯 対列車通信システム

- ・高速鉄道向け対列車通信システムの提案に向けた課題、実施事項等を紹介



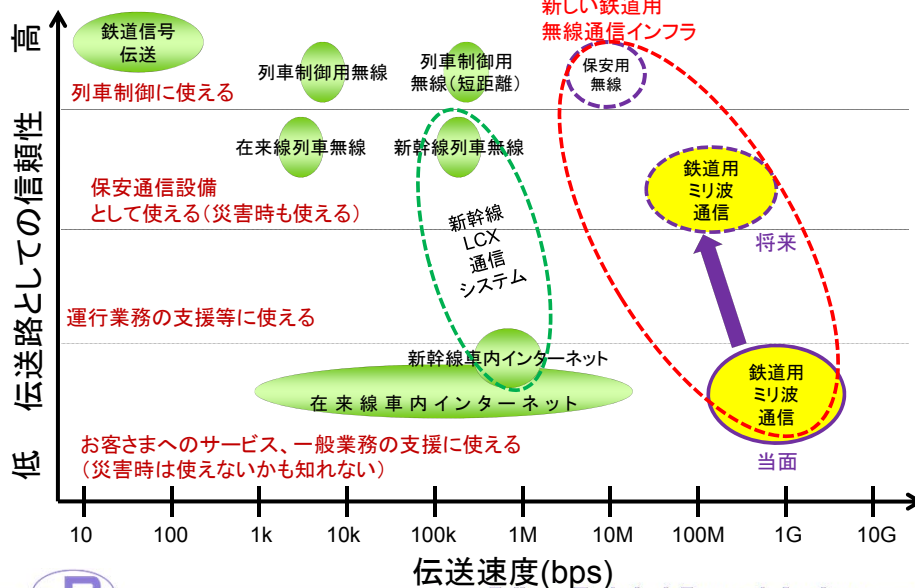
鉄道における新たな周波数資源の獲得



Railway Technical Research Institute

19

## 鉄道における無線通信の今後



20

## 御清聴ありがとうございました

本発表で紹介した研究開発の一部は、総務省殿における  
「電波資源拡大のための研究開発」として実施したものです。



*Railway Technical Research Institute*

21