

無線データ伝送回線シミュレータ RADTRACEによる設計支援

信号・情報技術研究部(ネットワーク・通信)
川崎 邦弘



発表内容

◆ 無線通信システムの構成と設計

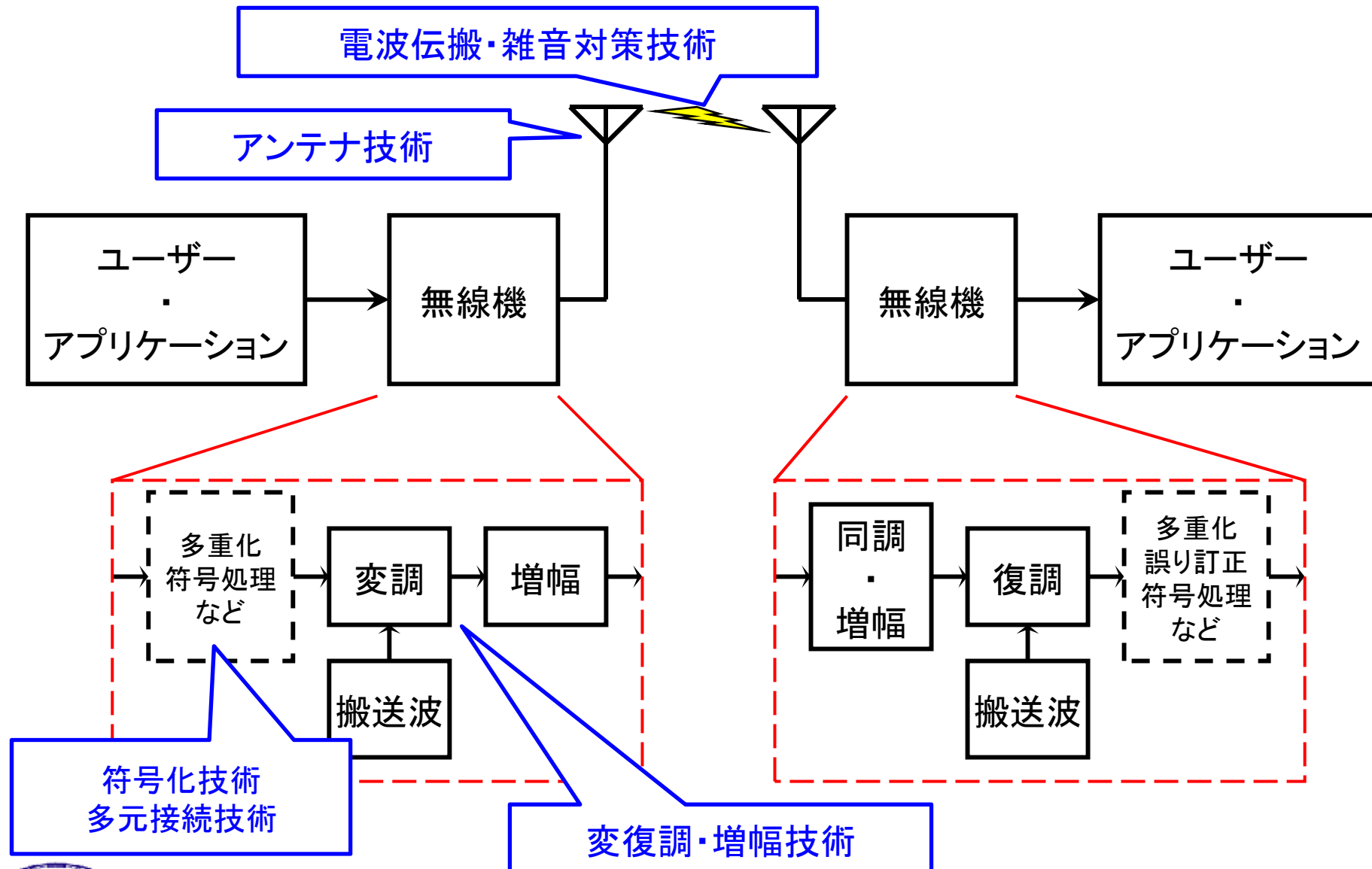
- 無線通信システムを支える技術
- 導入までのステップと無線回線設計

◆ 鉄道用無線データ伝送回線シミュレータの概要

- RADTRACEの目的と特徴
- 入出力パラメータとシミュレーション結果例
- RADTRACEによる設計支援手順の例
- 今後の展開



無線通信システムの構成



無線通信を支える技術

◆ 多くの情報を如何に効率よく高い品質で伝送するか

➤ 符号化技術

- 送りたい情報をできるだけ少ない量のデータ列に変換する
- 誤りを検知、訂正できるような情報を付加する

➤ 変復調技術

- できるだけたくさんの情報(符号)を効率よく電波に乗せる

➤ アンテナ技術

- 電波を効率よく空間に送出し、空間から受信する

➤ 電波伝搬による劣化、雑音、干渉の対策技術

- 伝搬路で発生する誤りの原因となる現象を防ぐ

➤ 多元接続技術

- 限られた伝送路をできるだけ多くのユーザーで共有する
- 移動する局を追跡して確実に接続する

鉄道特有の課題が多い



無線利用時に考慮すべき事項

◆ 伝送媒体の物理的な特性

➤ 伝送距離

- 電波がどこまで届くか、どのように変動するか
 - 受信レベル変動、誤り率への影響...

➤ 干渉妨害

- 受信帯域内に入ってくる干渉波
 - 隣接する他ch波
 - 隣接ゾーン・送信機からの同一ch波

➤ 電磁妨害

- 帯域外の電磁波による妨害
 - アンテナ、電源線、入出力信号線からの侵入

➤ 使用環境

- 機器が置かれる環境に耐えられるか
 - 振動・衝撃・温度・湿度・風・雨・雪...



電波を使う際の重要なキーワード

◆使う場所、時間、周波数で使いわけ

- 複数のアプリ(ユーザー)間で相互に妨害を受けずに共有するためには、どれか1つでも重ならなければよい
- 多重化方式、干渉回避の基本

◆伝送品質はCNR(またはCINR)で決まる

- 電波の強さ(C)だけ強くても、干渉波(I)・雑音(N)も強ければ伝送品質は劣化する

無線利用時に考慮すべき事項

◆ 伝送プロトコル、フレーム構成

- 誤り制御の能力 ⇔ 伝送効率
 - ・ 誤り検知、誤り訂正、再送制御...など

◆ ネットワーク構成

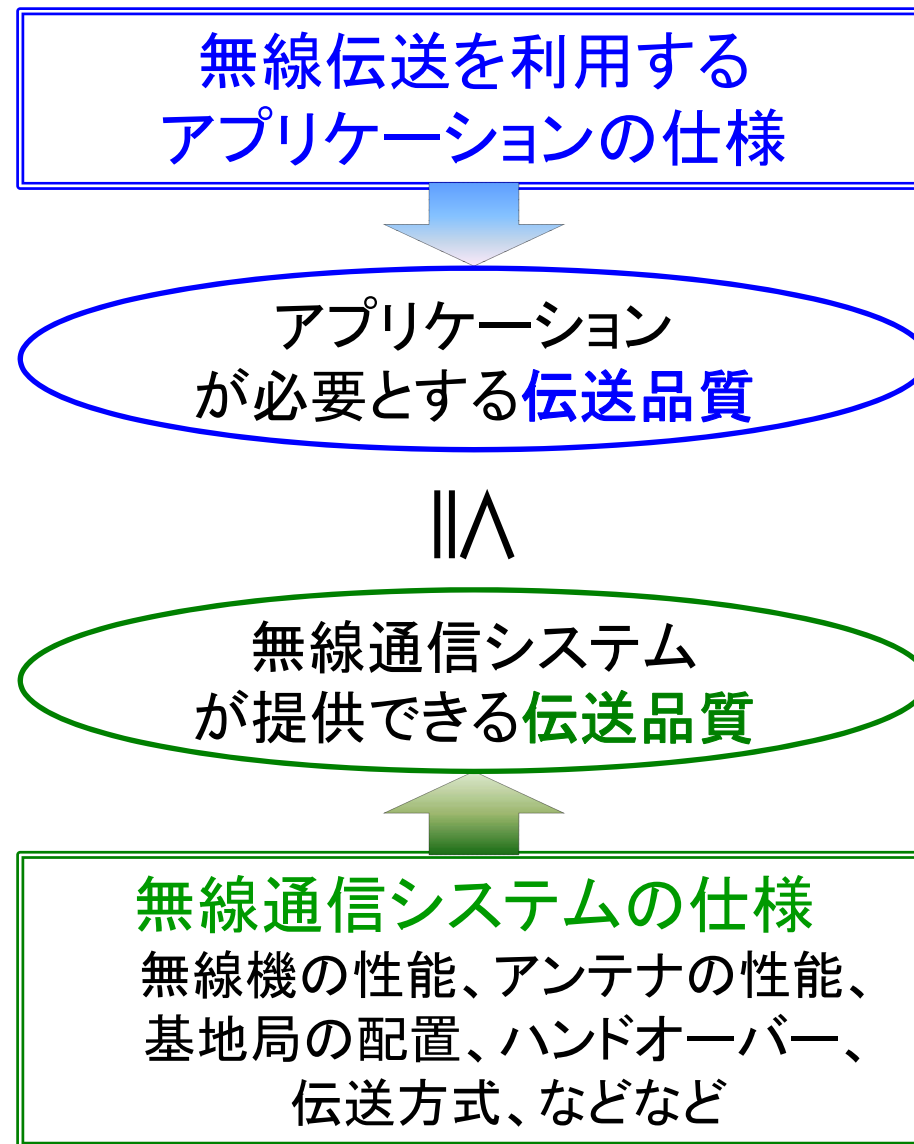
- トラフィック量、輻輳
 - ・ データの衝突、損失、伝送遅延（速度低下）
- 経路制御
 - ・ リンク確立までの時間、伝送遅延とそのゆらぎ
- セキュリティ
 - ・ 不正なアクセス、誤ったアクセス、情報の漏えい

◆ 法令遵守, 規格との整合性

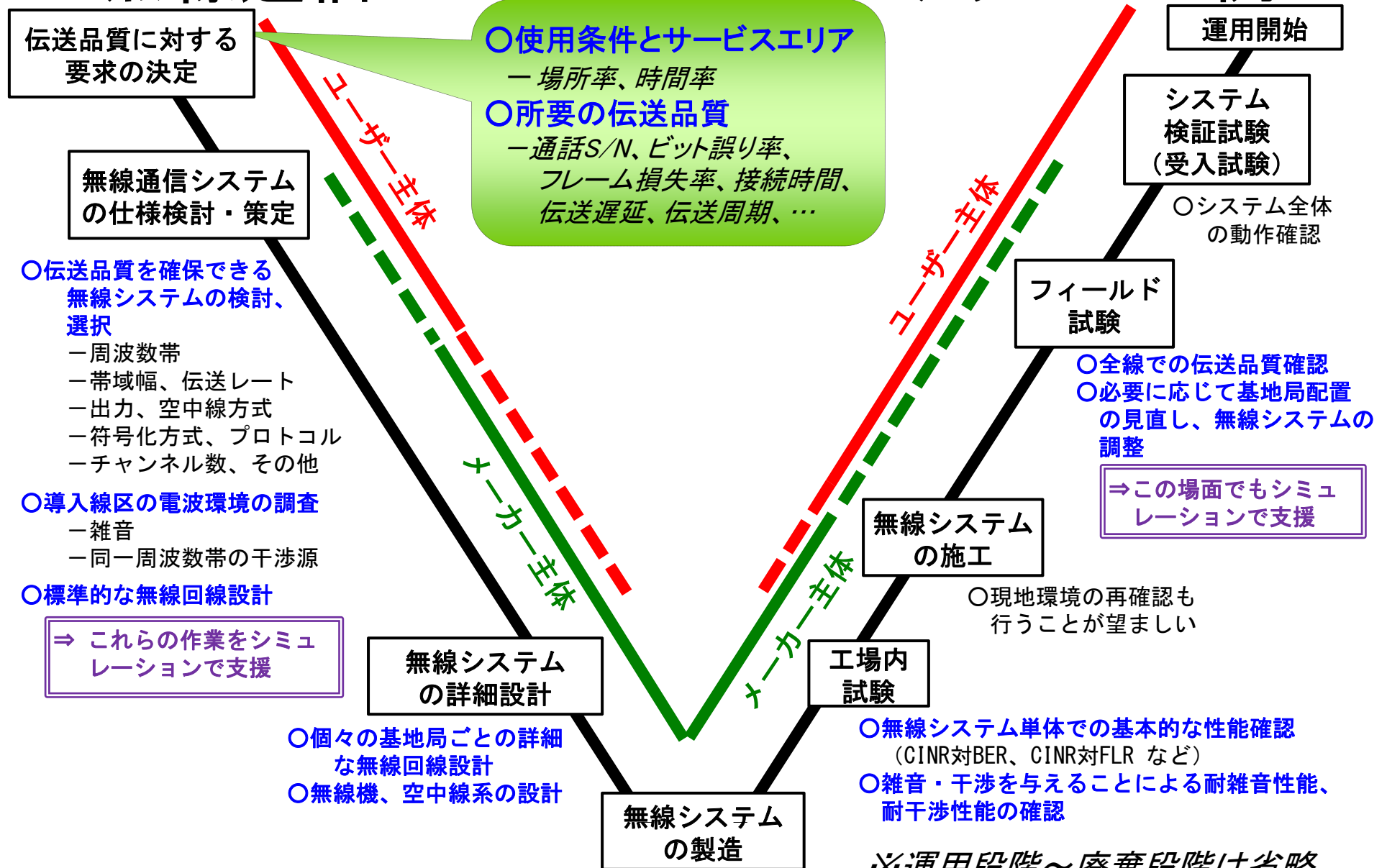
- 免許・許可・届出の要否
- 汎用品・市販品を適用する際の条件



無線通信システムの設計の考え方



無線通信システムの導入ステップの一例



無線回線設計の概要と課題

◆ 無線回線設計

- － 無線通信回線を使おうとするシステムが要求する伝送品質を提供できるよう、**無線装置の仕様**を設計する作業

◆ 無線回線設計を行う場面

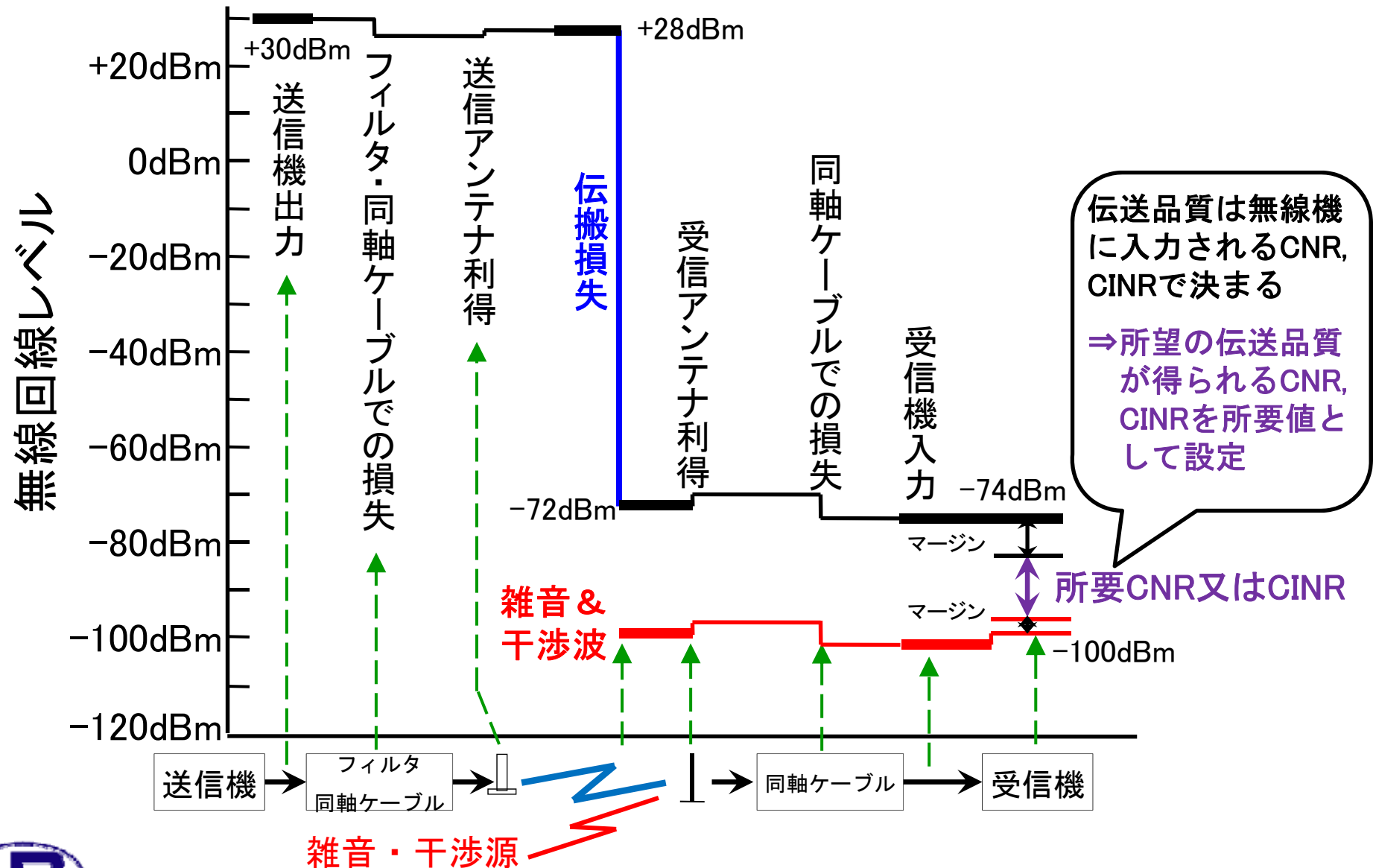
- 無線利用システムを**新規開発・改良**する場合
→ **採用する技術・方式、適切な周波数と帯域幅**の検討
- 無線利用システムを実際に**導入・展開・運用**する場合
→ **基地局の配置**の検討、**周囲環境の変化**への対応、など

☆ 無線回線設計作業に望まれる改善点

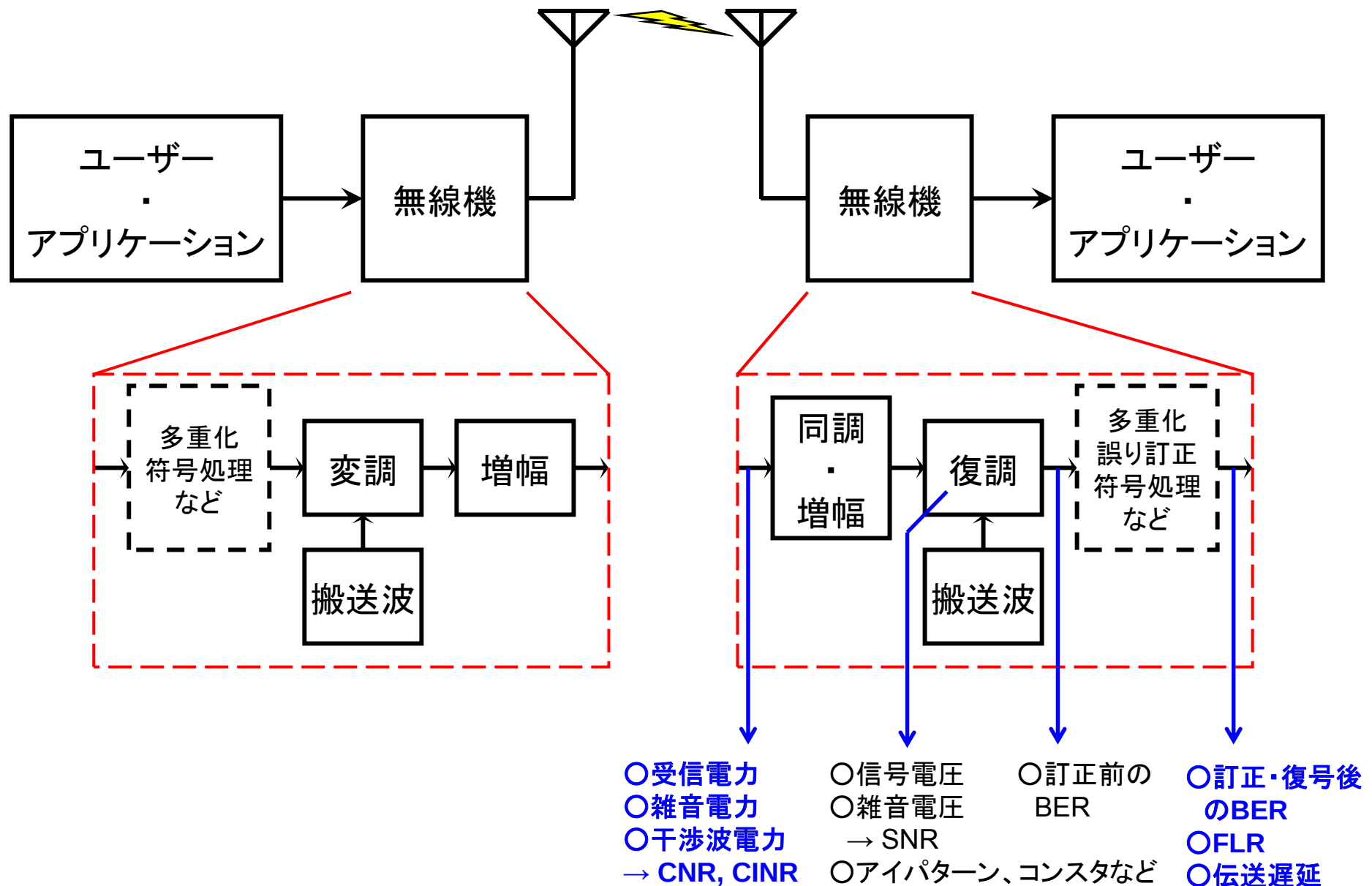
- **精度の向上**
- **労力の低減**
- **通信システム全体としての設計の最適化**



無線通信システムと無線回線設計



伝送品質の主な評価指標



鉄道用無線データ伝送回線シミュレータ RADTRACEの概要

13

◆RADTRACEの開発目的

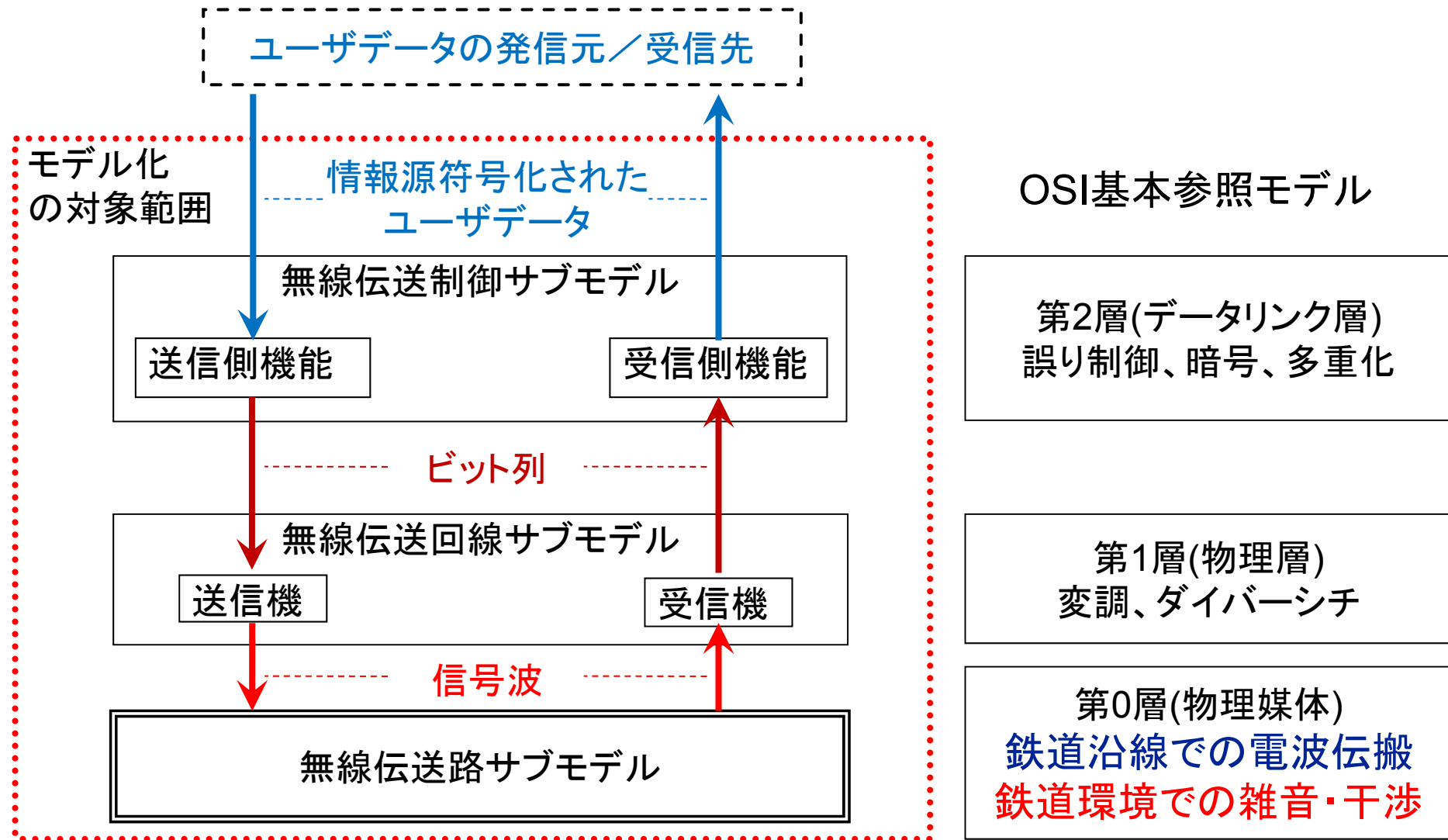
- 伝搬環境や基地局の位置、無線機の仕様の変更などが伝送品質(電文の損失率、遅延等)に与える影響をシミュレーションによって予測
 - ✓ 鉄道用無線通信システムの設計作業の効率化
 - ✓ 試験等の性能評価作業にかかるコストの低減

◆RADTRACEの特徴

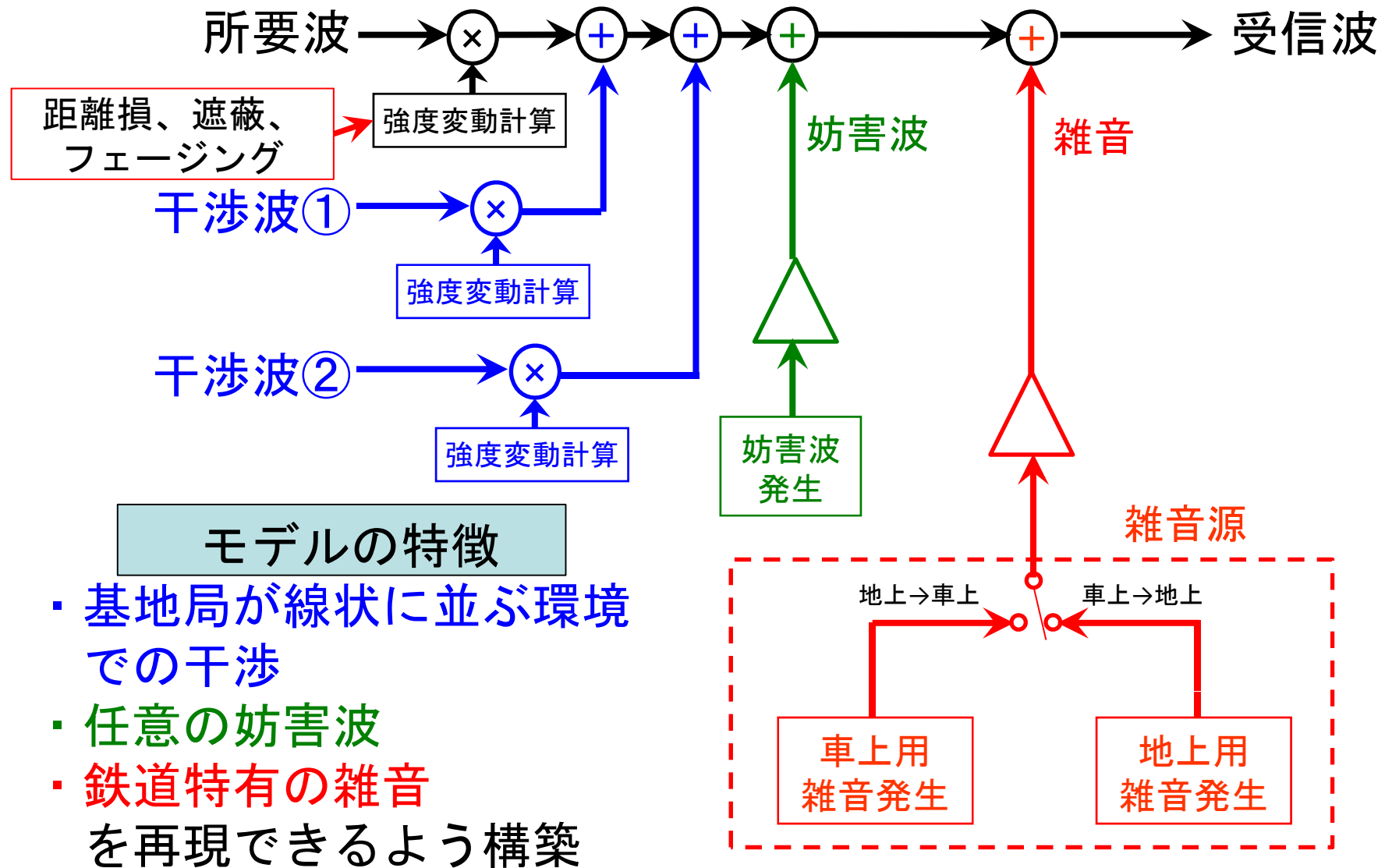
- 電文の符号化、変復調、伝搬路上での干渉・雑音混入などの伝送過程をできるだけ忠実にトレース
- 鉄道特有の雑音特性や、直線状のサービスエリアを考慮してシミュレーション



RADTRACEの計算モデル



鉄道の伝搬環境を考慮した計算モデル



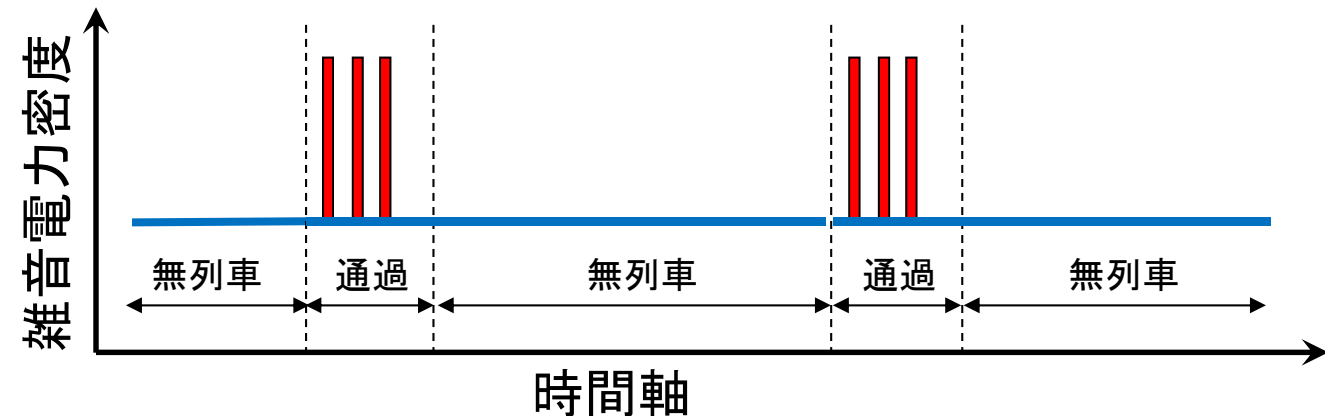
- モデルの特徴**
- ・ 基地局が線状に並ぶ環境での干渉
 - ・ 任意の妨害波
 - ・ 鉄道特有の雑音を再現できるよう構築

雑音モデル

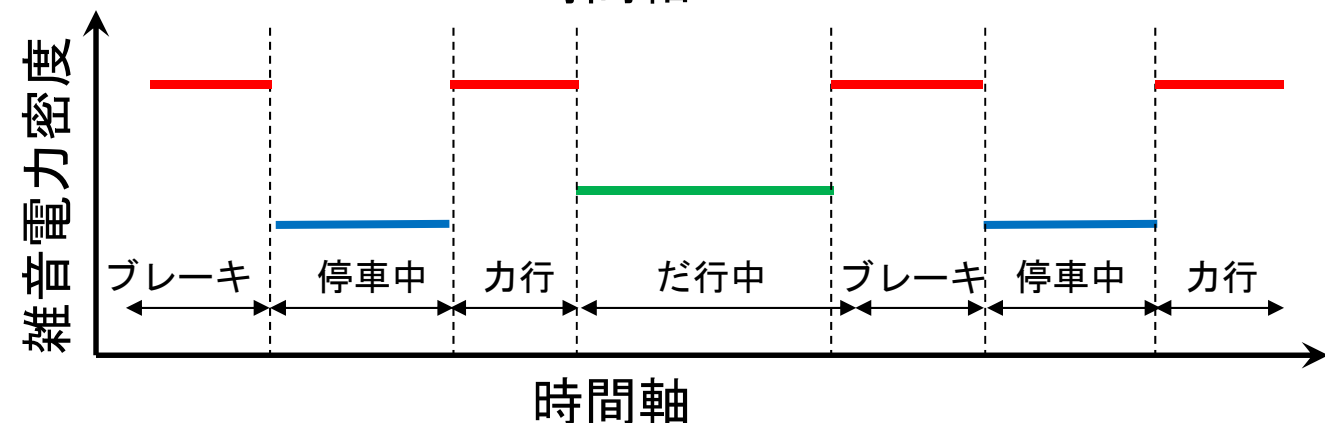
◆2つのモデルから選択して計算

- ガウス雑音モデル: 常時一定電力の雑音が印加されるモデル
- 鉄道雑音モデル: 周囲の環境条件と運転状況に応じて雑音電力が変化するモデル(実測ベース)

地上受信
の場合



車上受信
の場合



鉄道用無線データ伝送回線シミュレータへの入力データ¹⁷

無線機仕様 (全局共通)

- ・フレームフォーマット
- ・符号化方式(CRC, RS)
- ・変復調方式(1次・2次)
- ・伝送速度
- ・占有帯域幅, フィルタ特性
- ・受信部のNFと温度

車上局データ

- ・アンテナの位置(高さ、先頭からの距離)
- ・送信出力、高周波部の損失(送受別に設定)
- ・ダイバーシチありの場合はアンテナ間の相関
- ・雑音電力密度、遅延プロファイル

線形データ

- ・線形(緯度, 経度, RL)
- ・各点ごとの伝搬条件(遮蔽、フェージング)

妨害源データ (基地局と同じ様式)

基地局データ(1局毎に個別設定)

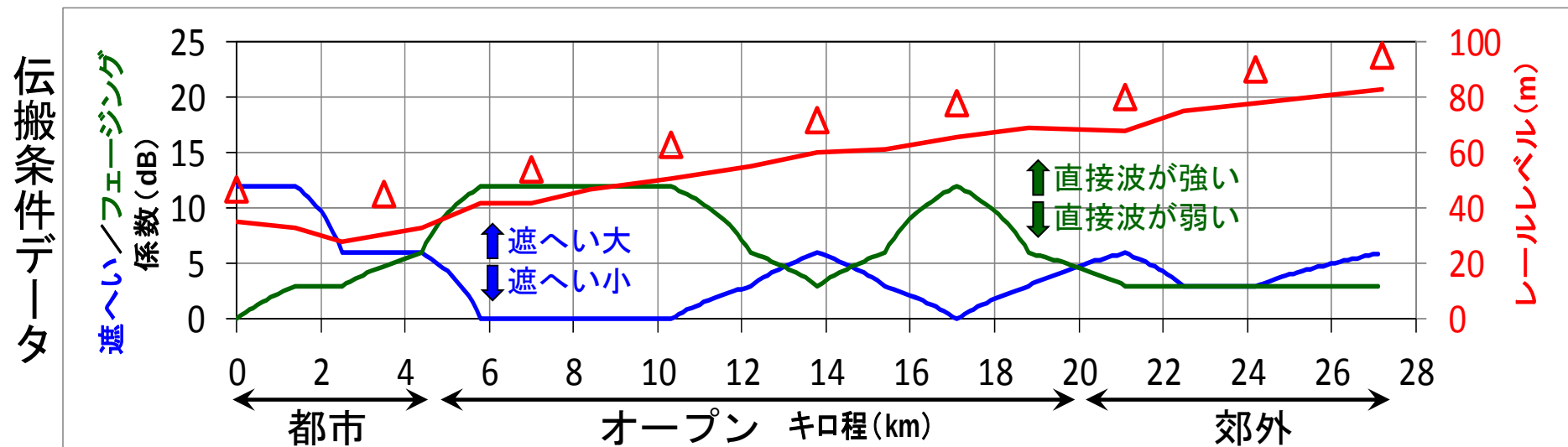
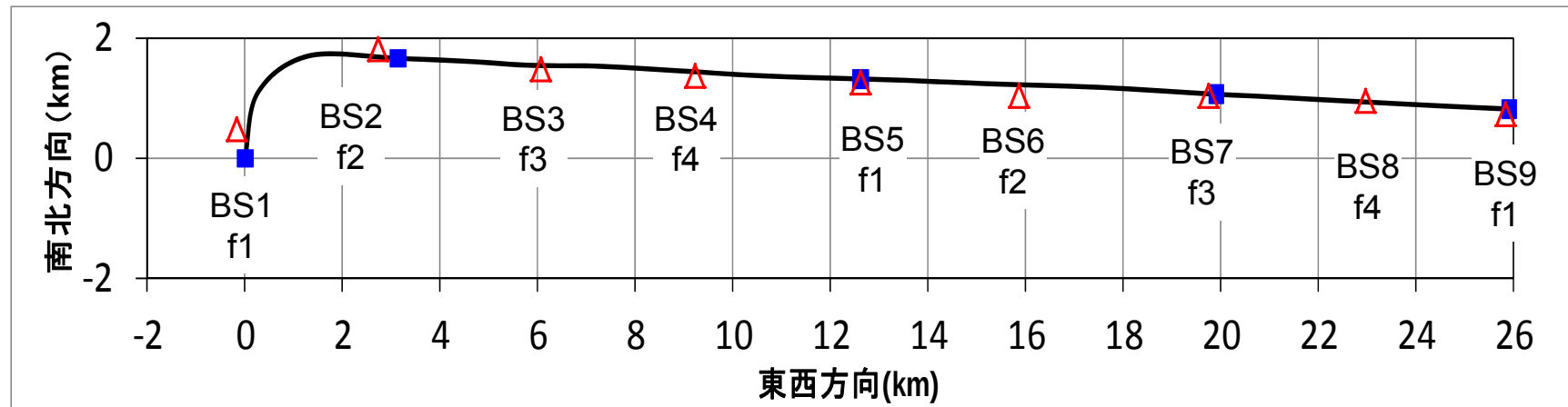
- ・アンテナの位置(キロ程, 緯度, 経度, アンテナ高)
- ・ハンドオーバー方式(ゾーン固定, レベル判定)
- ・アンテナの種類、指向方向(上り方・下り方別に設定)
- ・送信周波数、受信周波数
- ・送信出力、高周波部の損失(送受別に設定)
- ・ダイバーシチありの場合はアンテナ間の相関係数
- ・雑音電力密度、遅延プロファイル

北緯
↑
WGS84系
→ 東経

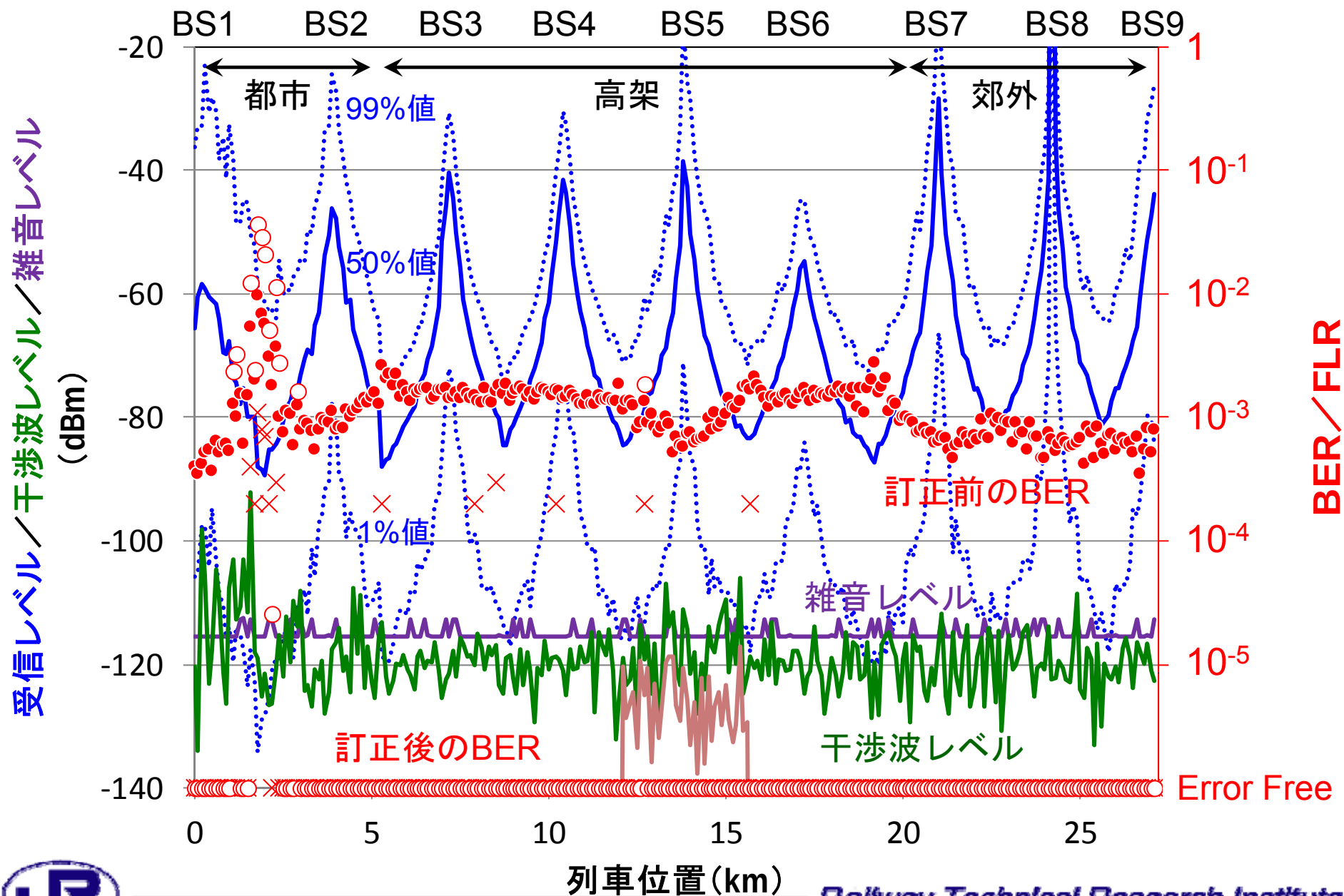


シミュレーション例

300MHz帯・狭帯域デジタル無線を仮想的な線区に導入した場合の例



シミュレーション例



RADTRACEの用途とシミュレーション手順²⁰

◆ 主な用途

- 無線回線設計で最も手間がかかる以下の作業の支援
 - ✓ 基地局の配置の評価・検討
 - ✓ 無線機の性能、アンテナの特性などの評価・検討
 - ✓ 沿線の伝搬・雑音環境の変化による影響の予測評価
 - ✓ 妨害発生時や故障時の影響の評価・検討
- 実験前に様々な条件下で試行を行うことにより、試験条件の絞り込みも可能

◆ 実行手順

- ① シミュレーション条件・シナリオの設定（線区条件、所要品質、干渉妨害の想定など）
- ② 無線機に関するパラメータのチューニング（無線機の性能の再現）
- ③ 沿線の伝搬環境に関するパラメータのチューニング（沿線の電波伝搬・雑音の再現）
- ④ シミュレーションの実施
- ⑤ シミュレーション結果の評価



RADTRACEの利用パターン

- ◆ 鉄道総研がパラメータ作成と計算を請け負う
 - 対象線区の条件、シミュレーションで変えたい
パラメータをご指定頂く(最もラクにご利用頂けるパターン)
- ◆ ご要望に合わせてシミュレータをカスタマイズし、
専用のユーザーインターフェースを作成して提供
 - 使用する無線システムの仕様、シミュレータの
使い方をご指定頂く
(ある特定の無線通信システムを多数利用する場合に有利)
- ◆ シミュレータのコアをプログラムライブラリとして
パッケージ化して提供
 - 必要な機能をご指定頂く(自由度が最も高いパターン)



現在の取り組みと今後の展開

- ◆ 計算精度の確認と向上、計算時間の向上
 - 実務で活用しつつ、モデルの修正とプログラムの効率化を行う
- ◆ ミリ波通信、広帯域通信 (SS, OFDM) への対応
 - IEEE 802.11系にも一部対応可
 - ミリ波による対列車通信システムへの応用にも着手
- ◆ GUIによるシミュレーション条件の入力と結果表示
 - モデル作成に要する時間の短縮
- ◆ 音声通信など様々な無線システムへの対応
 - アナログ列車無線にも対応できるように改修済
- ◆ 基地局の自動配置、チャンネル配置の最適化
 - 伝送品質とコスト等の制約条件を入力として適切な配置案を数理的に求めて提案するプログラムを開発中

鉄道用無線通信システムの設計支援に活用できる
総合的な通信環境シミュレータの実現



まとめ

◆無線通信システムの概要と無線回線設計

- 伝送品質は、所要波強度・雑音・干渉で決まる。
- 無線回線設計の目的は「要求品質」≤「提供品質」の実現。
- 干渉回避は、場所・時間・周波数のどれかをずらす。

◆シミュレーション技術の活用による設計支援

- 確率事象を利用する無線通信システムの設計においては、シミュレーションは有効なツールの一つ
- RADTRACEにより、様々な試行が可能
- シミュレーション＋試験による実証が重要
 - ✓ シミュレーションでしかできないこと
 - ✓ 現地試験でしか出来ないこと

