

# 有線回線における 電磁誘導・サージ予測手法

信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室

竹内 恵一



# 本日の発表

- ◆ 鉄道通信環境の電磁障害予測に関する取り組み
- ◆ 鉄道環境における電磁誘導予測手法
  - ✓ 鉄道環境における電磁誘導予測計算の特徴
  - ✓ 新しい鉄道向け電磁誘導障害シミュレータの開発
  - ✓ シミュレータを用いた計算例
- ◆ 鉄道通信設備における雷サージの影響予測・評価手法
  - ✓ 鉄道通信設備の雷サージ解析モデル
  - ✓ 雷サージによる影響評価手法
  - ✓ 評価手法による評価の試行例
- ◆ 予測手法の使い方
- ◆ 今後の展開とまとめ



# 鉄道通信環境の電磁障害予測に関する取り組み

## ● 鉄道通信環境シミュレータの開発

電磁誘導障害、サージ、無線通信、電波雑音を統合的に扱うことができる鉄道用通信環境シミュレータを開発中

➤ 個別に開発してきた各現象用のシミュレータを統合する予定

### ① 電磁誘導障害シミュレータ

(CSIRE)

### ② サージ解析モデル

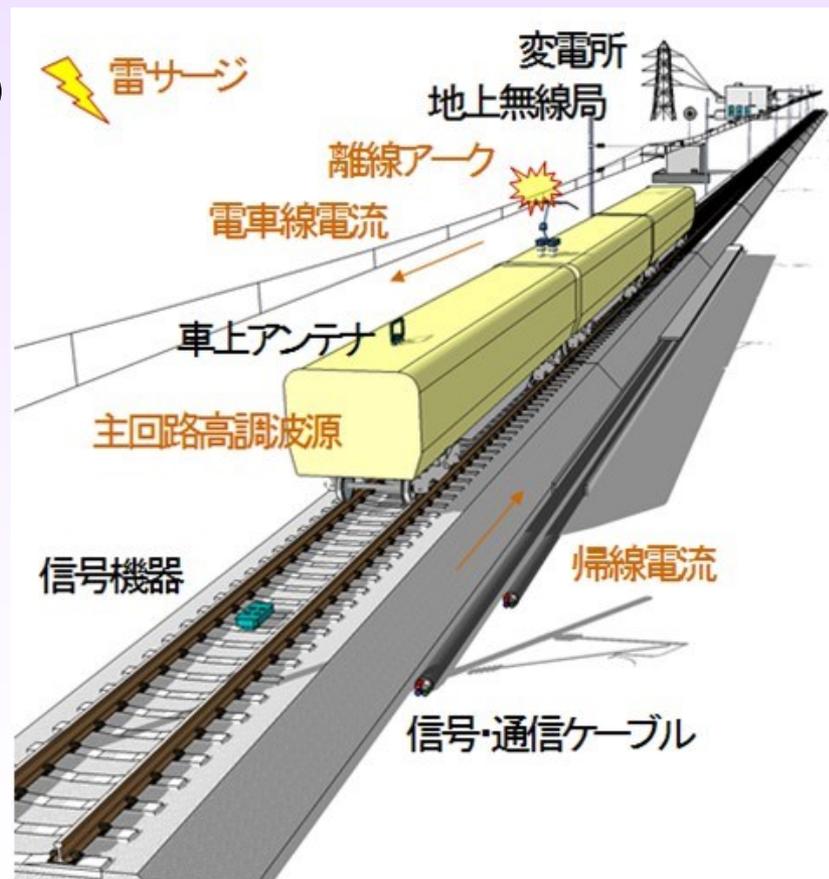
(雷サージ解析モデル)

### ③ 無線データ伝送回線シミュレータ

(RADTRACE)

### ④ 電波雑音シミュレータ

(RESORUTE)



# 鉄道環境における電磁誘導予測手法開発の背景

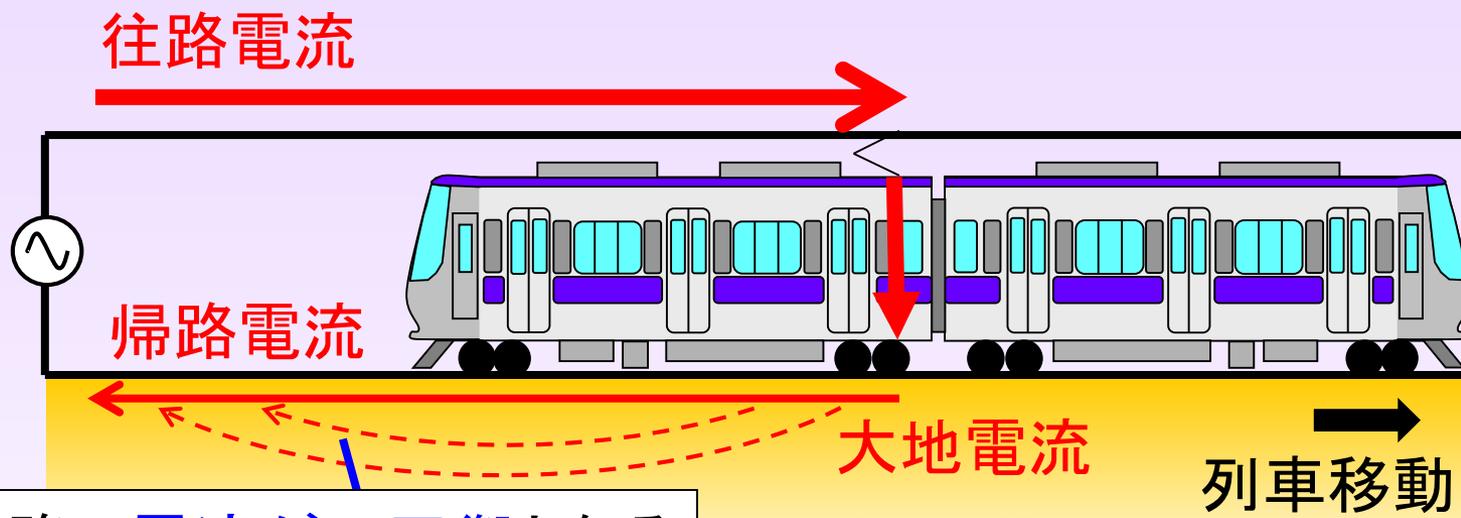
## ➤ 電気鉄道における電磁誘導障害

き電回路

トロッコ線

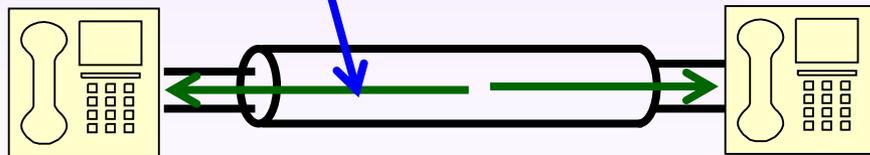
変電所

レール



往路と帰路で電流が不平衡となる

電磁誘導



沿線の導体(メタリック通信回線)に誘導電圧・誘導電流が発生する

✓ 新線建設時や設備改修時には事前に誘導予測計算を実施

1969年 鉄道用電磁誘導計算シミュレータABTACを開発  
⇒現在も使用されている



# 鉄道環境における電磁誘導予測手法開発の背景

## ○既存のシミュレータの課題

### ➤データ伝送周波数帯域への対応

- ✓ 近年は**高速データ伝送(xDSL等)**にも既設の通信線を使用

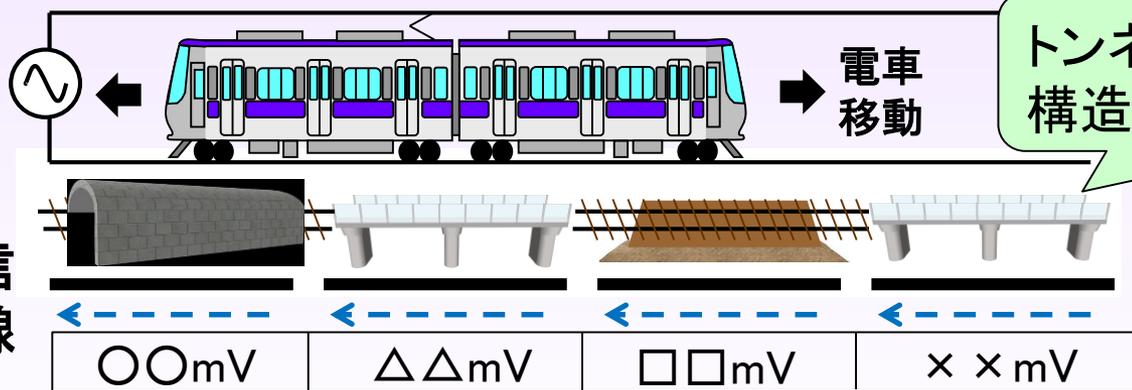
xDSL: 1MHz前後までの周波数帯域を使用

従来のシミュレータは  
計算可能な周波数帯域が  
**音声帯域(～4kHz)**に限定

データ伝送周波数帯域の予測計算を可能とし、回線設計に利用する

### ➤土木構造物による誘導低減効果の模擬

トロッコ線  
変電所  
レール



トンネル、高架、盛土など  
構造物の条件も考慮

通信  
回線

土木構造物中鉄筋等による影響の補正

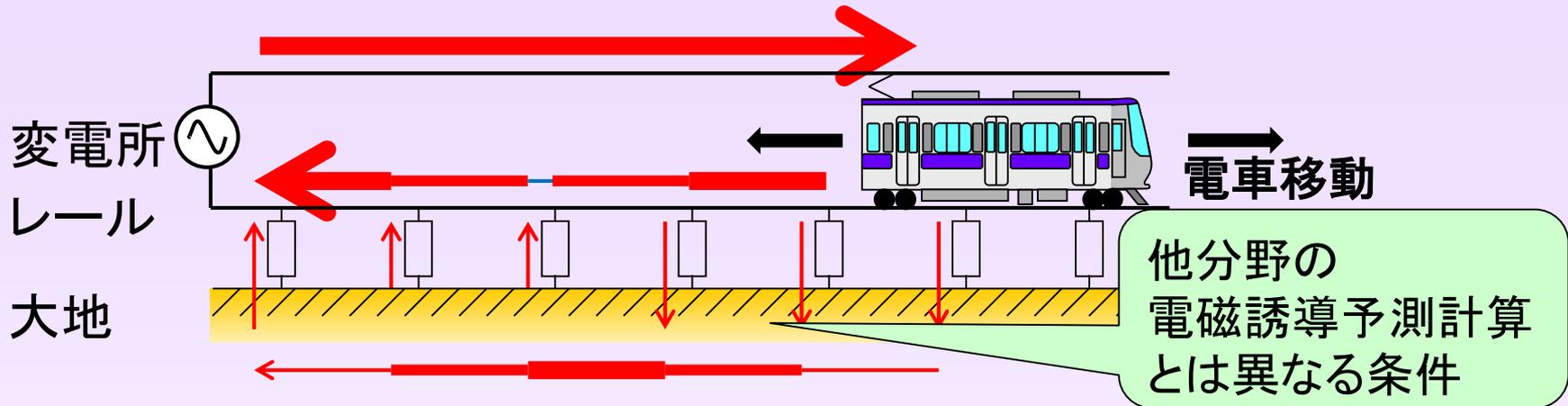
→ **誘導発生量を大きく見込む安全側予測**

過剰設計による  
対策コスト増大

設備条件を詳細に考慮することで、コスト増大を抑制



# 鉄道環境における電磁誘導予測計算の特徴

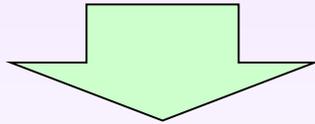


- **レールが分布接地** ➡ **計算モデルが大きくなる**
  - ✓ レールから大地に電流が漏れ、複雑な電流分布
    - 長大なき電回路を細かく分割して計算する
- **パラメータ変動** ➡ **多数回の計算**
  - ✓ 複数列車の移動に応じ、回路構成が変化
  - ✓ 路面状態に応じ、レールの接地抵抗が変化する

鉄道向けの専用シミュレータで解析を行う必要

# 新しい鉄道向け電磁誘導障害シミュレータの開発

- ▶ 鉄道における電磁誘導予測計算の特徴を反映
  - ✓ 鉄道向けの専用シミュレータの開発が必要
- ▶ 既存のシミュレータの課題を解決する機能
  - ✓ データ伝送周波数帯域への対応
  - ✓ 土木構造物による誘導低減効果の模擬



計算手法を検討し、  
新しい鉄道向け電磁誘導障害シミュレータを開発

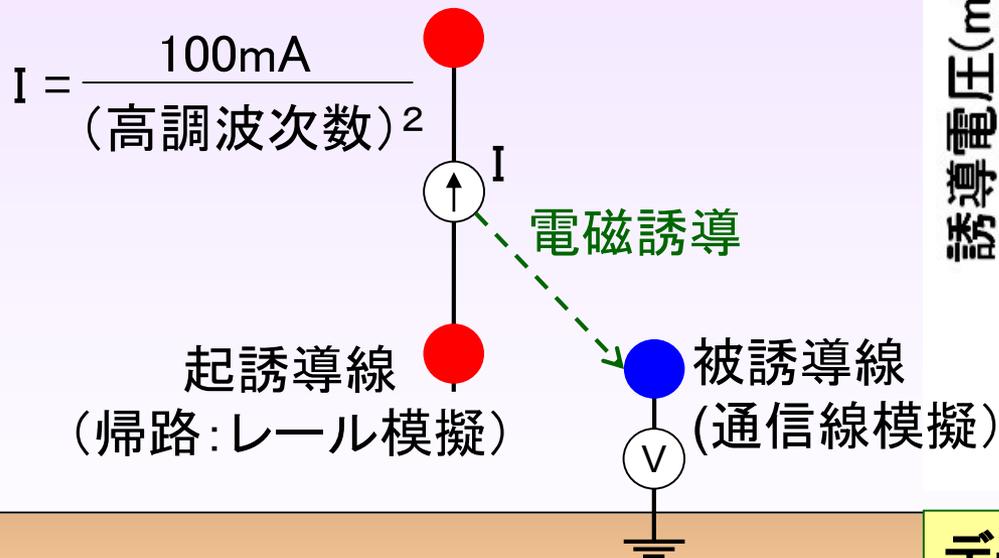
**CSIRE** : **C**ircuit **S**imulator for prediction of electromagnetic  
Induction in **R**ailway **E**nvironment



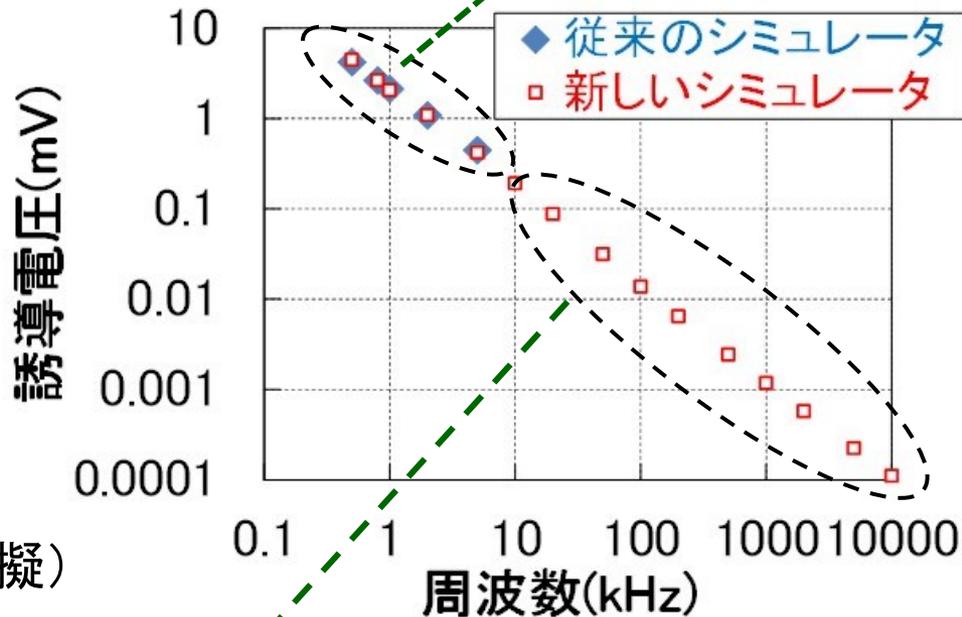
# 計算例①：データ伝送周波数帯域への対応

## ➤ 計算条件

- ✓ トロリ線とレールを模擬した起誘導線、通信線をも期した被誘導線からなる計算モデル
- ✓ レール方向のモデル長を5mとし、100区間に分割
- ✓ 起誘導線に高調波電流を流す  
起誘導線(往路:トロリ線模擬)



音声周波数帯域では良好に一致



データ伝送周波数帯域での予測も可能

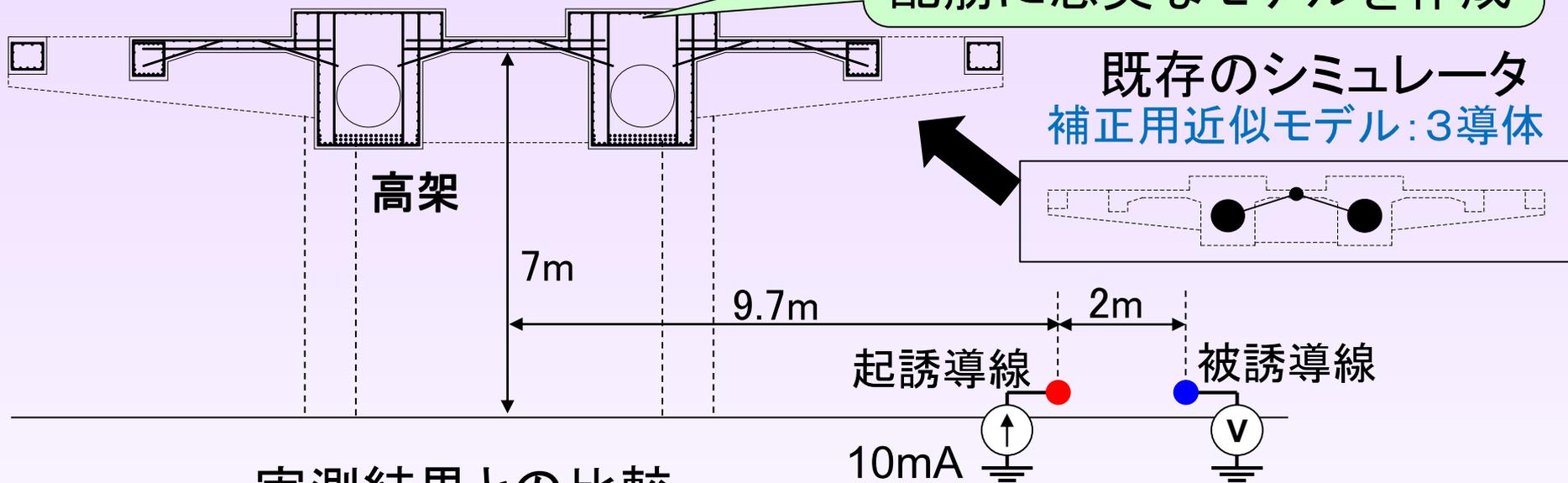
データ伝送周波数帯域への対応



# 計算例②：土木構造物による誘導低減効果

開発したシミュレータ  
高架橋の鉄筋を詳細に模擬したモデル

総導体数：238導体  
配筋に忠実なモデルを作成



実測結果との比較

実測値	3.77mV
従来のシミュレータ	4.95mV (+31%)
開発したシミュレータ	4.50mV (+19%)

鉄筋等の誘導低減効果を再現

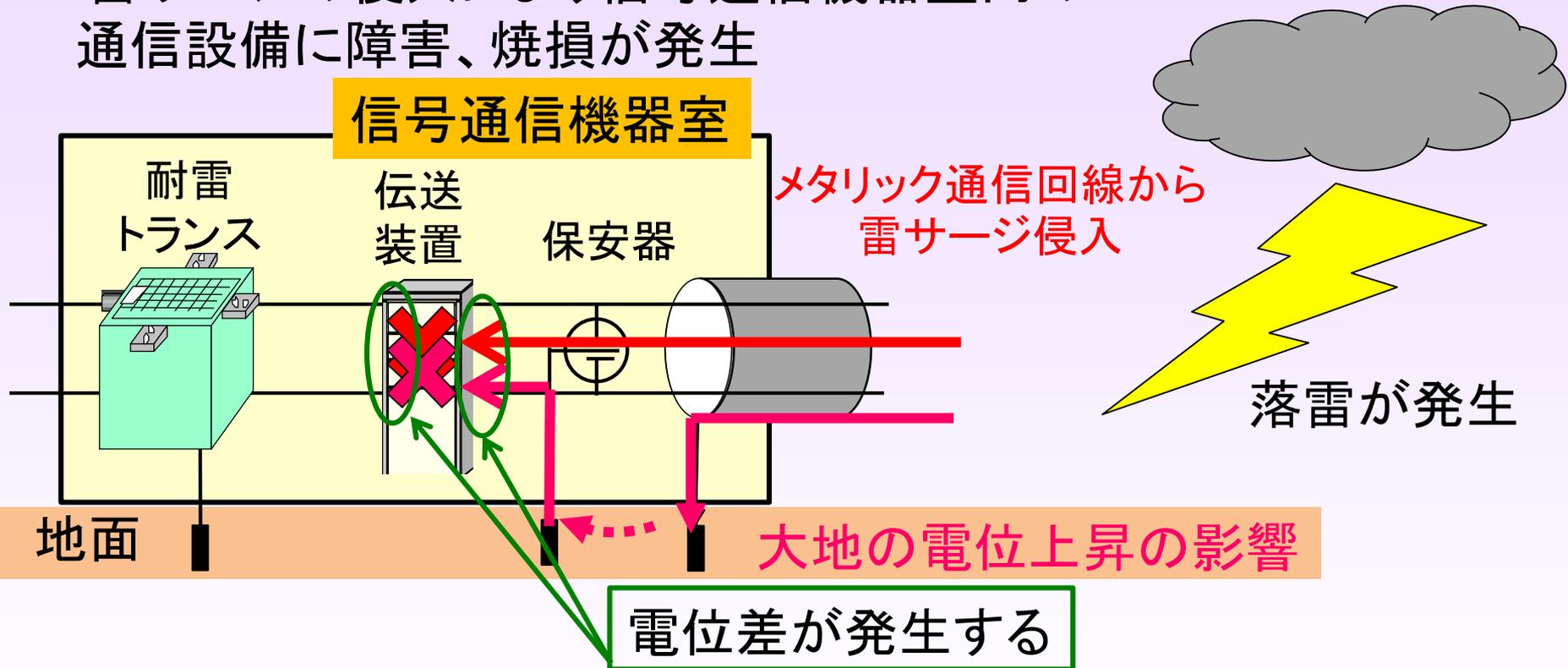
土木構造物による誘導低減効果を考慮した予測が可能



# 雷サージの影響予測・評価手法開発の背景

## ● 鉄道沿線で落雷が発生

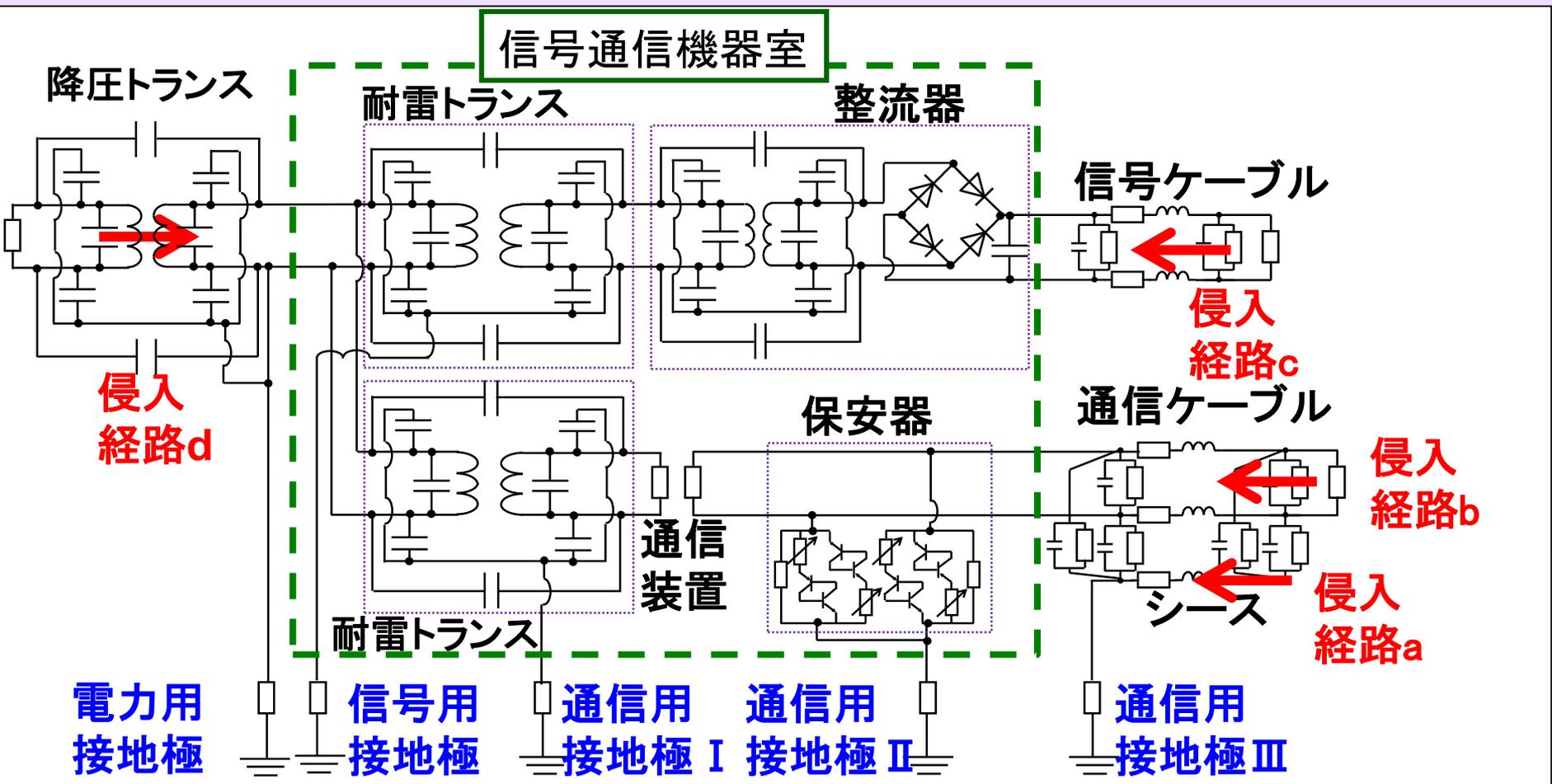
- 雷サージの侵入により信号通信機器室内の通信設備に障害、焼損が発生



メタリック通信ケーブルから雷サージが侵入した際に通信設備に印加される電圧・電流を予測・評価する手法

# 鉄道通信設備の雷サージ解析モデル

●信号・通信機器が設置されている信号通信機器室を想定



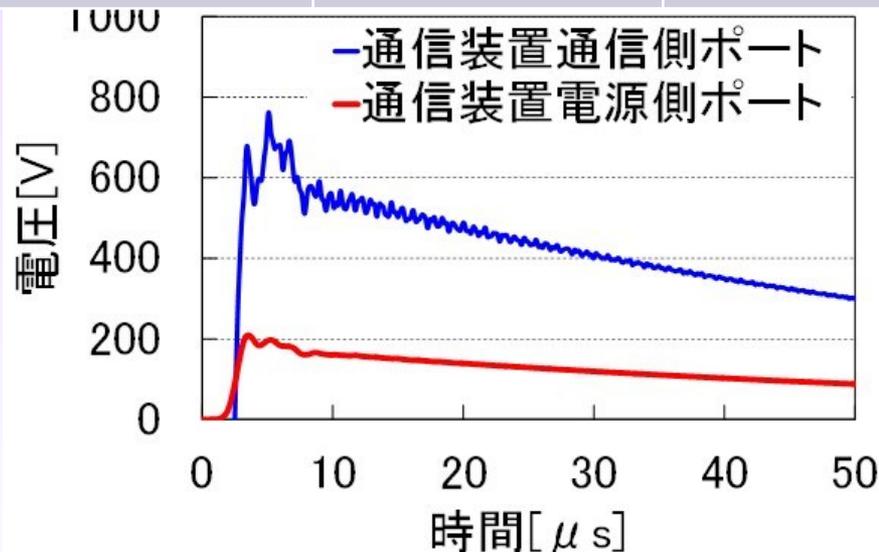
IEC61000-4-5雷サージインパルス試験波形を侵入経路に注入



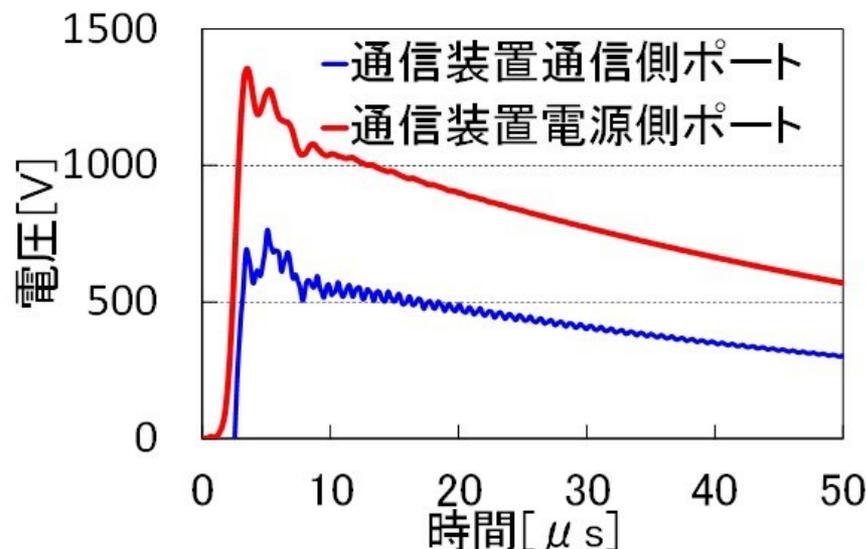
# 解析モデルを用いた予測計算結果の例

- 通信ケーブルのシース(侵入経路a)に雷サージが侵入
  - ✓ 通信装置の電源側ポート、通信側ポートに発生する対地電圧

電力用接地極	信号用接地極	通信用接地極 I	通信用接地極 II	通信用接地極 III
30Ω	100Ω	100Ω	50Ω	50Ω



現状の接地  
(各系統独立接地)



接地パターンを変更  
(全て共通接接地:接地抵抗値50Ω)

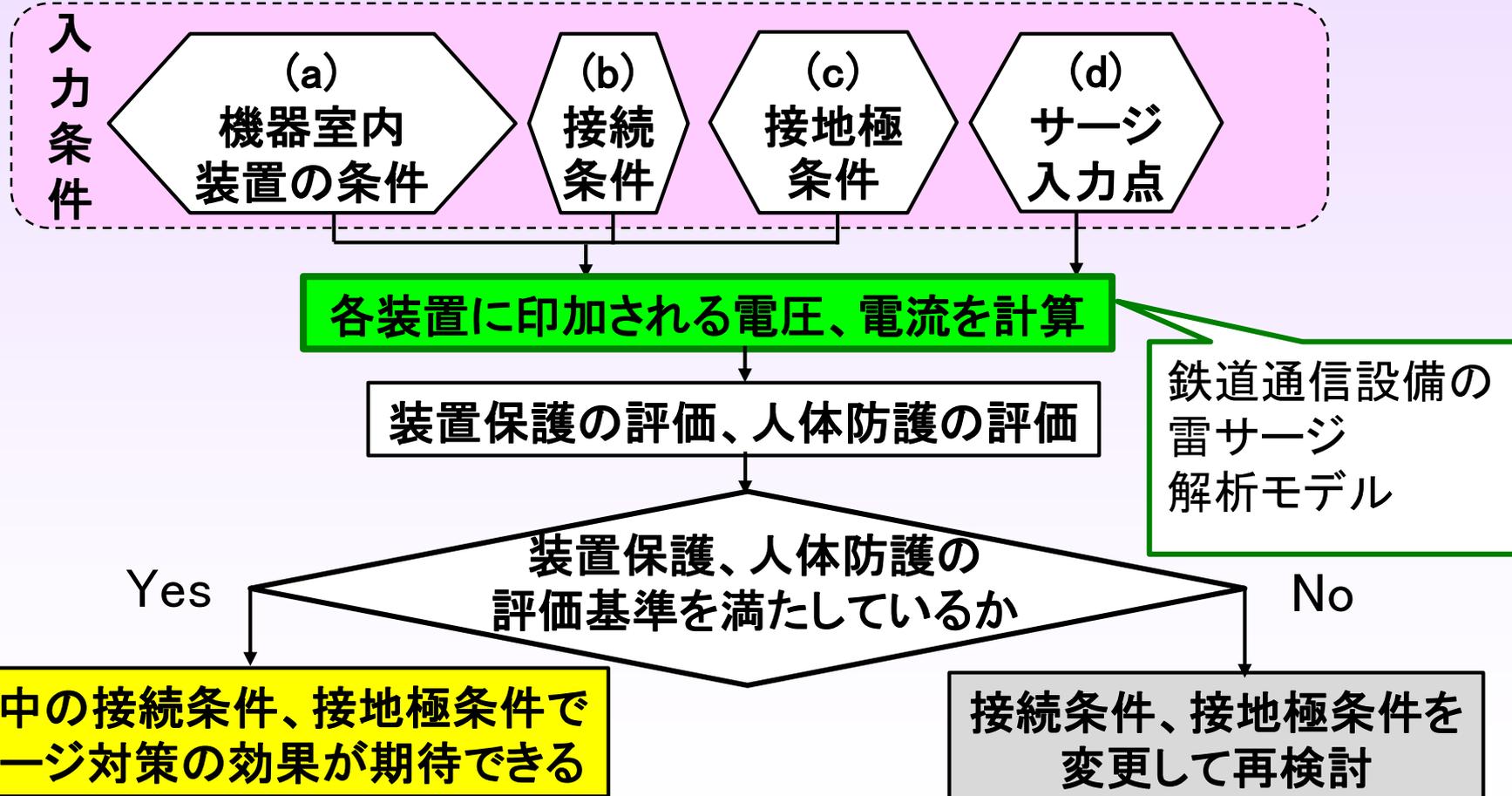
雷サージ侵入時に通信設備に印加される  
電圧・電流の予測計算が可能



# 雷サージによる影響評価手法

## ➤ 解析モデルによる計算結果に基づく影響評価手法

- 人体防護、装置保護について評価する手法を提案
- 接地抵抗値の変更、接地パターンの変更による評価に対応



# 評価手法による評価の試行例

## ● 提案手法による雷サージの影響評価の試行結果の例

接地パターン	共通接地時の 接地抵抗値	サージ侵入経路			
		a	b	c	d
各系統独立接地	—	○	○	○	○
通信 共通接地	50Ω	×	○	○	○
	5Ω	○	○	○	○
信号・通信 共通接地	50Ω	×	○	○	○
	5Ω	○	○	○	○
電力・信号・通信 共通接地	50Ω	×	○	○	○
	5Ω	○	○	○	○

- 提案した手法により、雷サージ解析モデルによる計算結果を用いて通信設備への雷サージの影響を評価することが可能
- 接地抵抗値や接地パターンの変更(共通接地)の検討も実施可能



# 予測手法の使い方

## ➤ 有線回線における電磁誘導予測手法

- ✓ き電設備や電車の条件、通信ケーブルの位置、誘導障害対策などの条件をご提示いただく

⇒ 鉄道総研でシミュレータ(CSIRE)を使用して予測計算を実行

- 新線建設・き電回路の構成変更等の計画時に、有線回線における電磁誘導電圧値の予測と制限値に対する評価
- ケーブルの変更や遮蔽線による誘導対策効果の予測・評価

## ➤ 有線回線における雷サージ影響予測・評価手法

- ✓ 通信ケーブルと機器室内の設備の接続、機器室内の電源系統、接地抵抗値などの条件をご提示いただく

⇒ 鉄道総研で解析モデルを使用して予測計算を実行

- 接地抵抗値の変更による通信設備に対する雷サージの影響の予測・評価
- 共通接地時に通信設備に対する雷サージ対策の効果の予測



# 今後の展開とまとめ

## ●今後の展開

- 地絡故障時のサージ解析モデルは今年度末に開発予定
- 電磁誘導、サージ解析モデルを統合した有線回線における電磁的障害予測シミュレータを2020年度末に開発予定

## ●まとめ

- 有線回線における電磁誘導予測手法
- ✓ 予測手法を実装した電磁誘導障害シミュレータ(CSIRE)の開発
  - データ伝送で使用される1MHz以上の帯域まで誘導予測計算
  - 設備条件を詳細に考慮した誘導予測計算
- 有線回線における雷サージによる影響予測・評価手法
- ✓ 通信設備における雷サージ解析モデルと影響評価手法の開発
  - 雷サージによる通信設備への影響を予測
  - 接地抵抗値や接地パターンを変更した場合の予測

