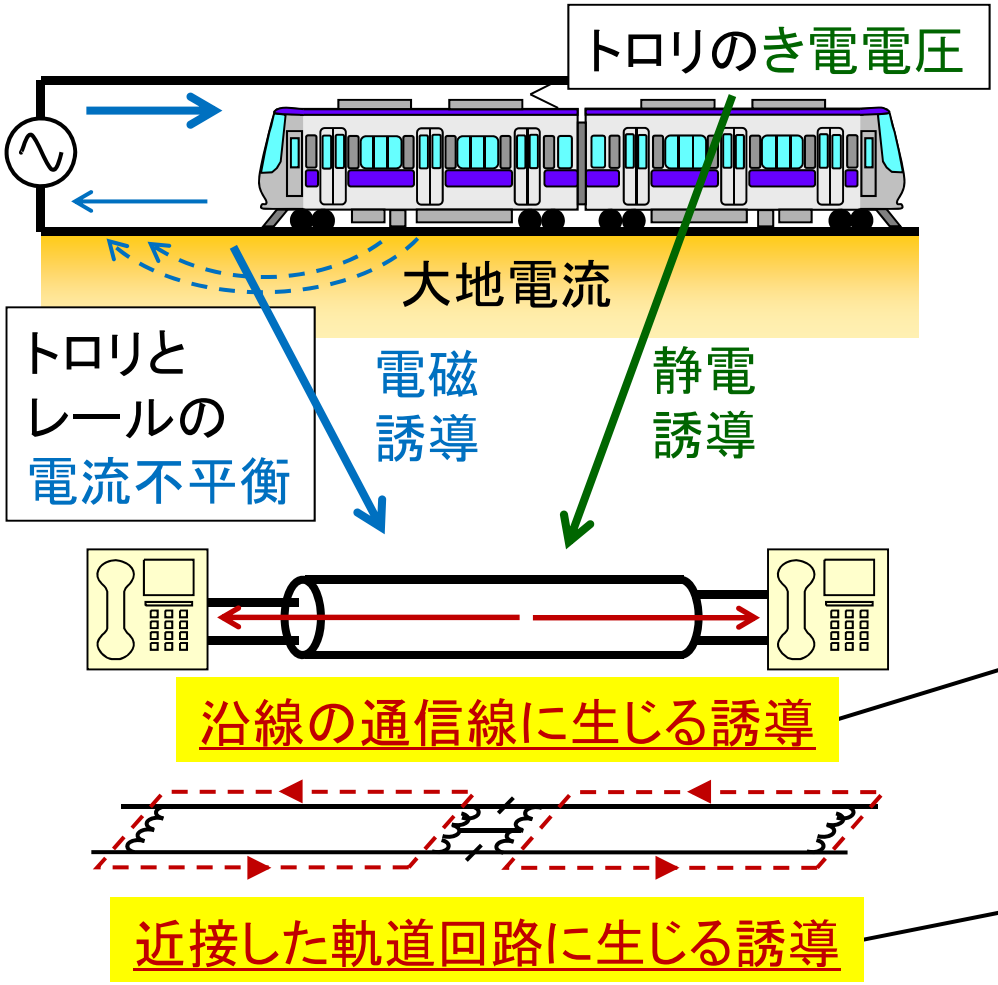
電磁誘導予測シミュレータによる
誘導障害対策の評価方法

信号・情報技術研究部
（ネットワーク・通信）
研究員　山口 大介

対象とする電磁誘導妨害現象

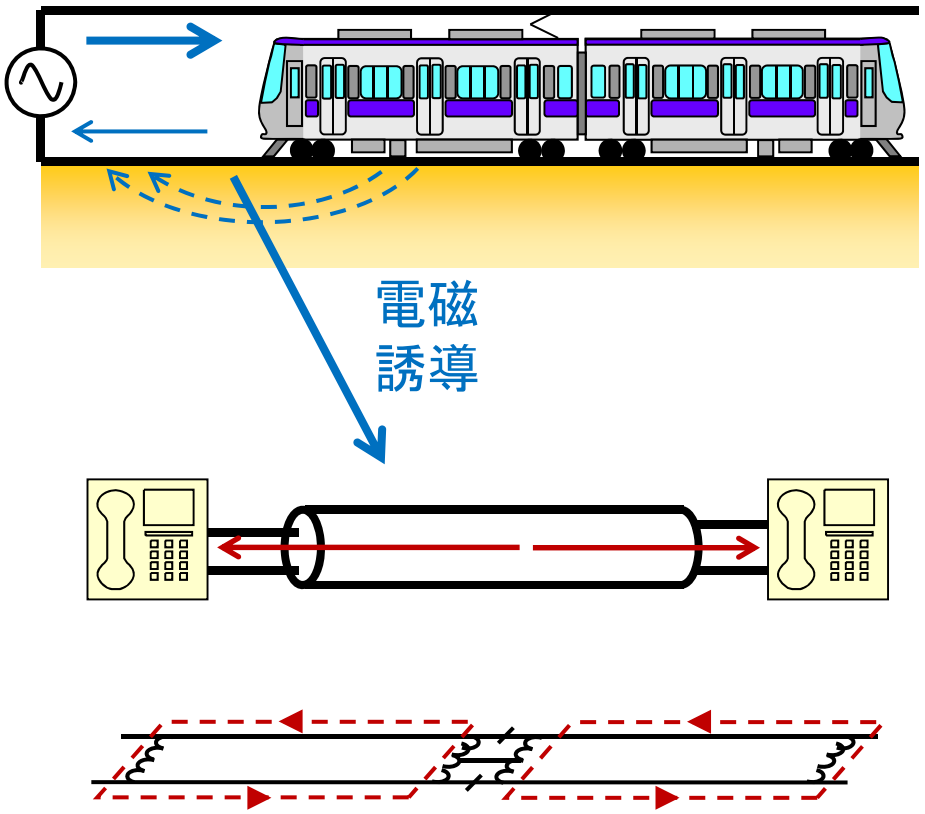


発生源
- 交流き電回路
- 帰線電流高調波

現状対策
- アルミシースケーブル
- 誘導軽減器
- 接地

現状対策
- 分倍周軌道回路

電磁誘導妨害の評価指標



想定条件

- 常時
- 異常時（き電トリップ時）

評価項目

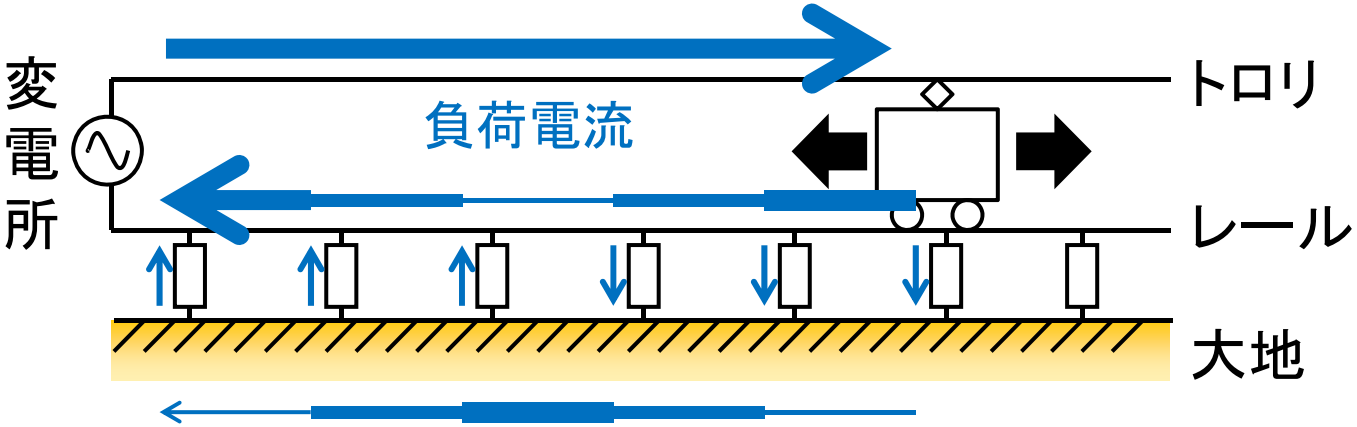
通信線

- 常時誘導電圧（対地）
- 異常時誘導電圧（対地）
- 誘導雑音電圧（線間）
  （音声通話帯域で重みづけ）

軌道回路　：　受信側の妨害電圧（電流）

妨害最大値を評価する必要

鉄道環境の特徴



（1）列車負荷の移動

（2）路面状態の変化

（1）列車負荷の移動

- 妨害発生源である列車負荷が複数あり、移動してしまう
- 速度、ノッチが変化し、負荷電流が最大となる条件の持続は困難

（2）路面状態の変化

- 路面状態（乾燥 or 湿潤）によるレール－大地間漏れ抵抗の変化

実測のみで妨害最大値を評価することは困難

誘導妨害対策の評価

施工前
予測計算による検討

→

対策の要／不要を判定
必要であれば対策を施工

→

施工後
実測による検証

誘導予測計算の活用

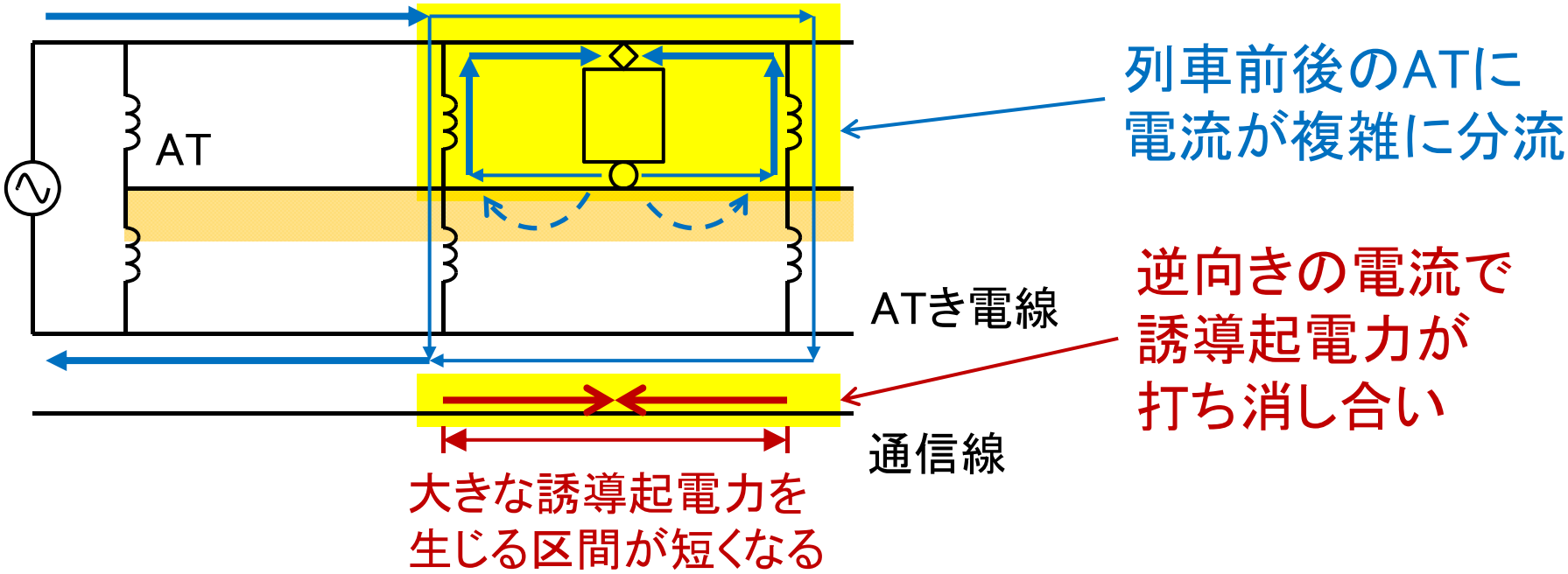
- 施工前：妨害最大値の予測、
  対策の要／不要の判定
- 施工後：妨害量の大小に応じた
  実測箇所の優先順位付け

通信ケーブルに接続した測定器

誘導妨害対策の検討・実施を支援

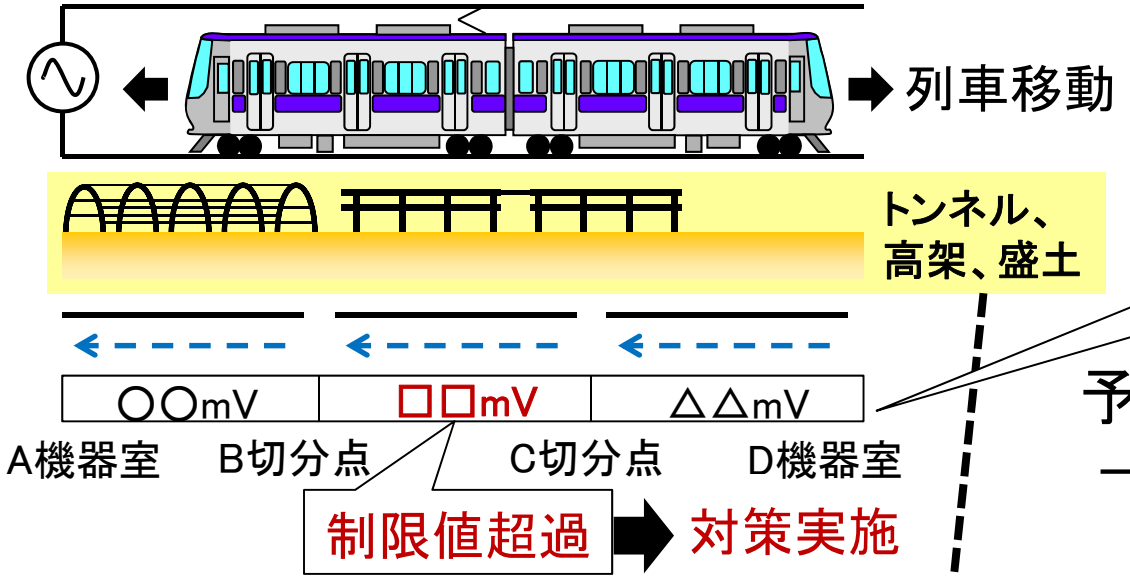
標準のATき電回路

単巻変圧器（Auto-Transformer）でATき電線に帰路電流をレールから吸い上げる
→大地電流が流れる区間を制限（列車～両側AT）



現象が複雑であり、予測では数値計算による解析が必要

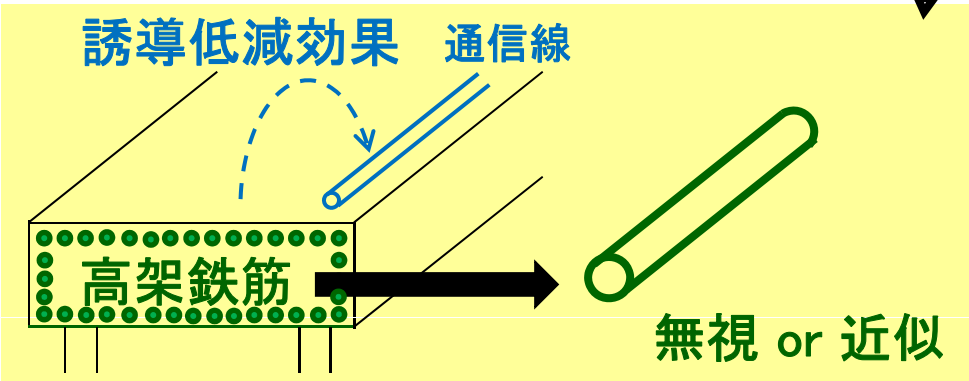
誘導予測計算の現状



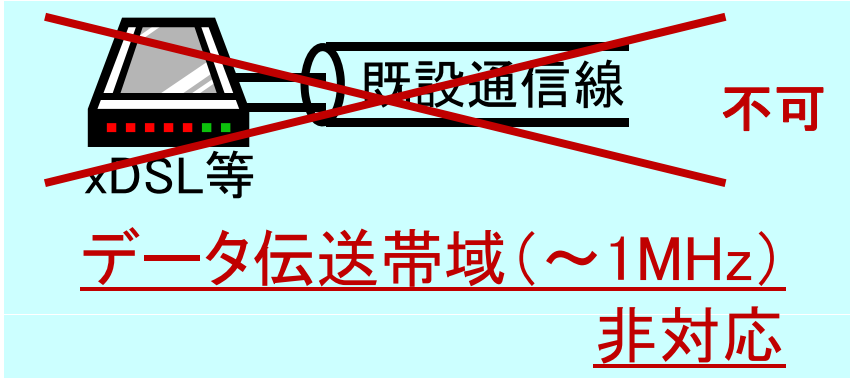
通信線の区間毎に
誘導電圧最大値を予測

予測計算プログラム：ABTAC
→ 1969年開発、現在も使用
（技術水準が当時のまま）

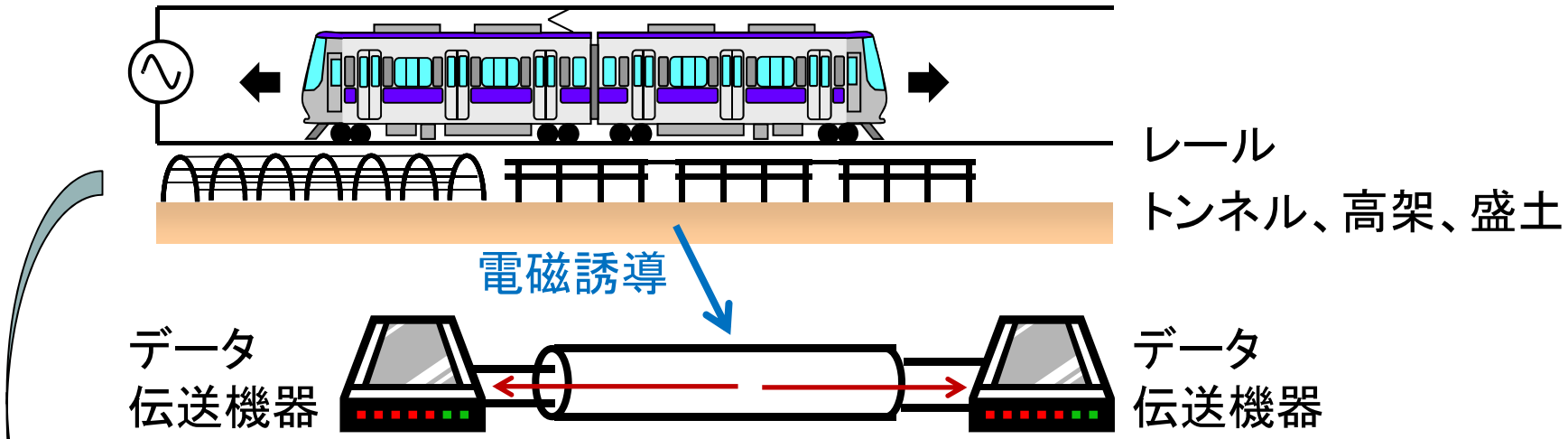
➢ 当時の計算機性能による制約



➢ 音声帯域（～4kHz）限定



新しいシミュレータの開発目標



近年利用されるデータ伝送帯域でも予測可能

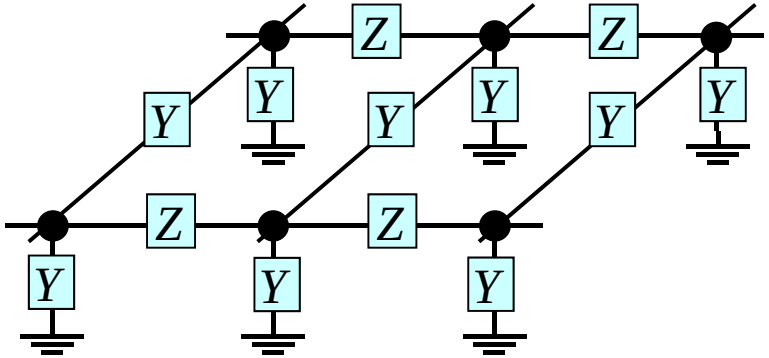
土木構造物中鉄筋等による影響

(従来)誘導発生量を大きく見込む安全側補正 ➡ 過剰設計による対策コスト増大

(新規)詳細なモデルによる予測計算

設備条件を詳細に考慮することで、コスト増大を抑制

誘導予測計算手法の検討



回路網でモデル化

・計算導体数の増加
・計算区間数が増加

目標：高周波数帯域への対応

大地の影響や導体の
表皮効果を考慮した定数が
高周波で計算不可

目標：土木構造物中鉄筋等の考慮

計算導体数、区間数の増加による
大規模モデルの計算手法

➡これまでの予測計算や実測の経験に基づく近似式を適用

➡ 連立方程式求解の部分について
・計算手法の改良
・並列処理の導入

★処理の流れとシミュレータ構成

回路モデル作成 ➡ 連立方程式生成 ➡ 連立方程式求解

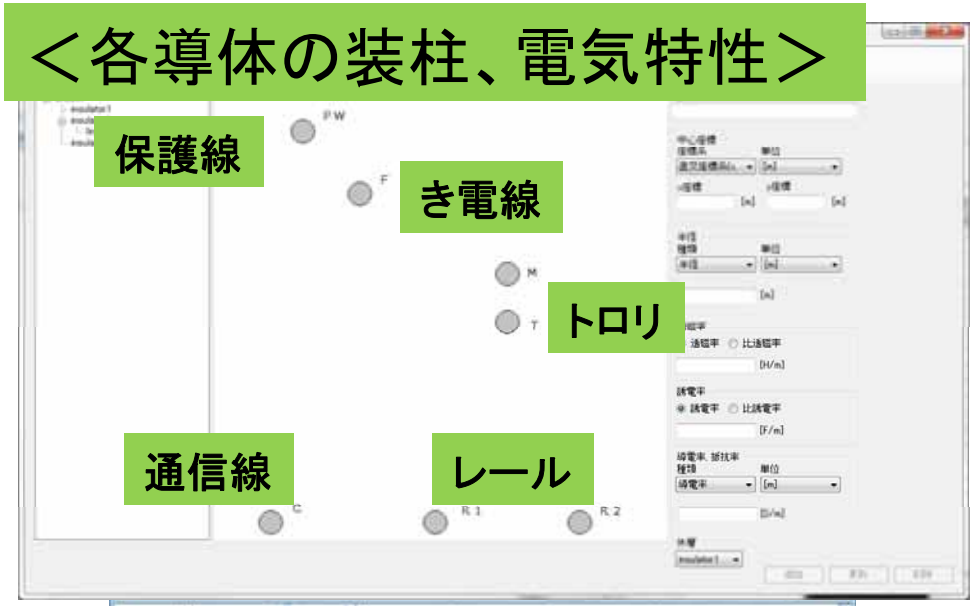
総研にて開発

適切なソルバ選定

開発したシミュレータの概要

計算モデルをGUIとテキストで入力

＜各導体の装柱、電気特性＞



＜各設備のキロ程、電気特性＞

テキストファイル

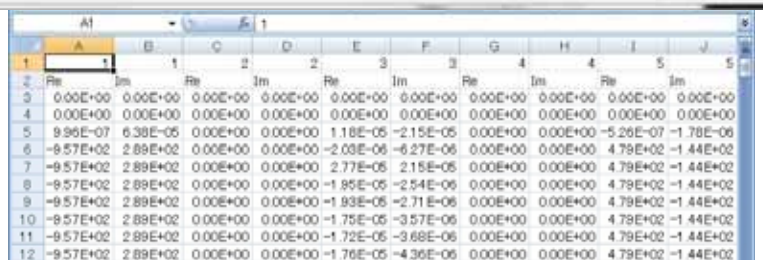
```
SS,0,1,2,0.018 4.68
AT,0,1,2,3,0.0283,0.
AT,10,1,2,3,0.0283,0
AT,20,1,2,3,0.0283,0
G,5,4,5.0,0.0
G,15,4,5.0,0.0
・・・
```

SS

AT

接地

コマンドラインで実行

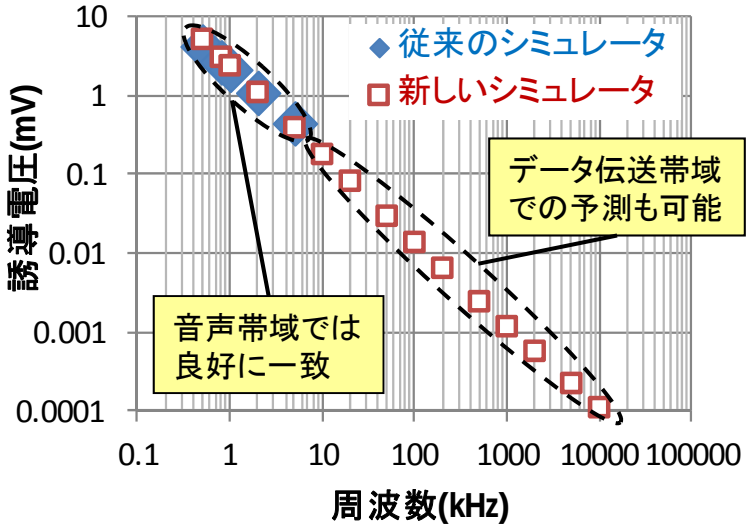


電圧・電流がテキスト（CSV）で出力

開発したシミュレータによる計算（1）

●対応周波数拡大

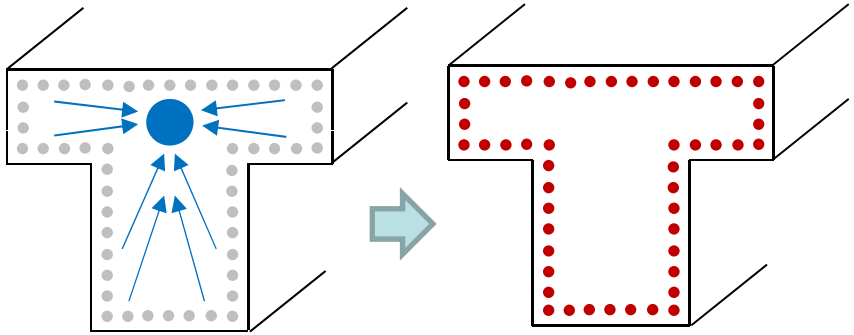
データ伝送で使用される
1MHz以上の帯域まで対応



●精度向上

設備条件を詳細に考慮し
予測値が10%程度実測に近づく

	誘導電圧	精度
実測値	3.77mV	—
従来のシミュレータ	4.95mV	+31%
新しいシミュレータ	4.50mV	+19%



補正用近似モデル（従来）　詳細モデル（新規）

今後、実測等によりさらなる検証を予定

開発したシミュレータによる計算（2）

●実用的な計算規模と計算時間

計算導体数と区間数が増加(計算規模で約90倍)
計算時間は60%に短縮

計算可能導体数、計算時間の比較

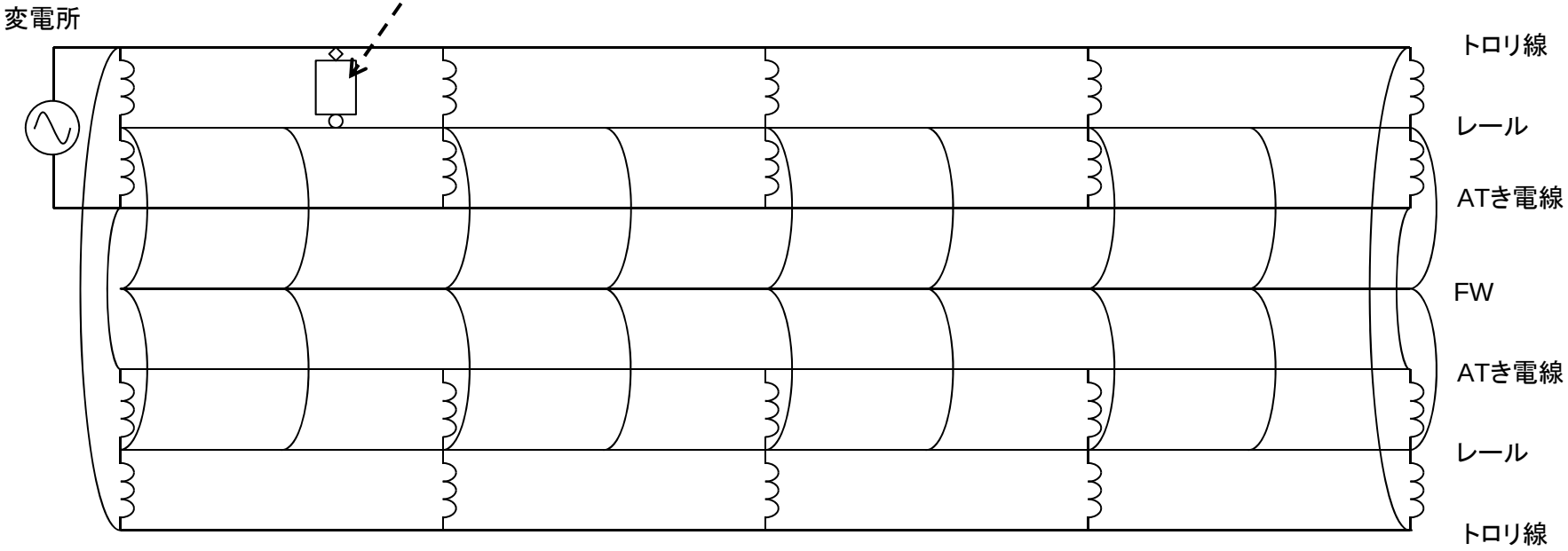
	導体数×区間数の制約	計算時間（1パターン）		
		5導体	80導体	240導体
従来のシミュレータ	固定（80導体×1,500区間） （計算式の係数約2,800万個）	0.1秒	25.6秒	不可
新しいシミュレータ	可変（例：240導体×8,000区間） （計算式の係数約20億個）	0.06秒	15.8秒	142秒

誘導予測計算の出力例

ATき電回路（40km）

列車移動

き電回路の電流分布（A∠deg）



通信線（10km）

対地電磁誘導電圧（V∠deg）

最大値＜制限電圧　⇒対策不要

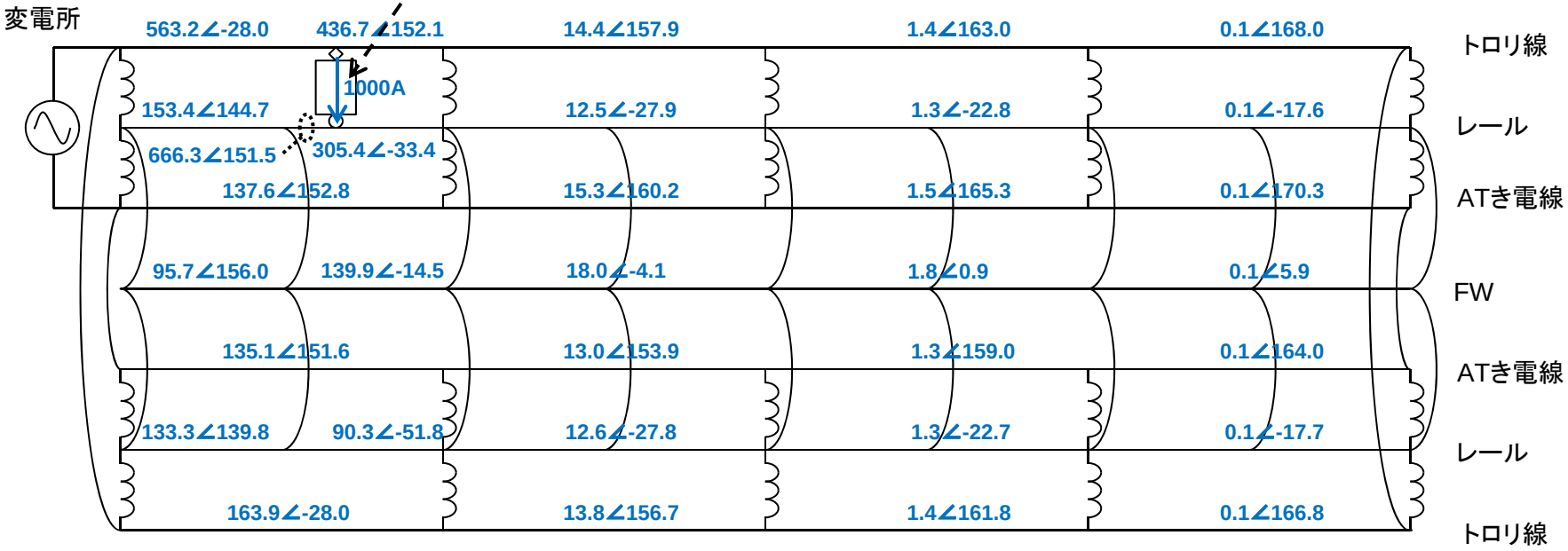
最大値＞制限電圧　⇒対策必要

誘導予測計算の出力例

ATき電回路（40km）

列車移動

き電回路の電流分布（A∠deg）



通信線（10km）

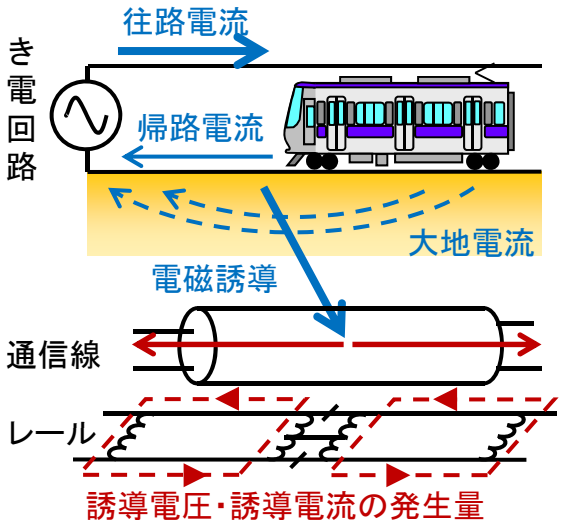
61.4∠-129.4

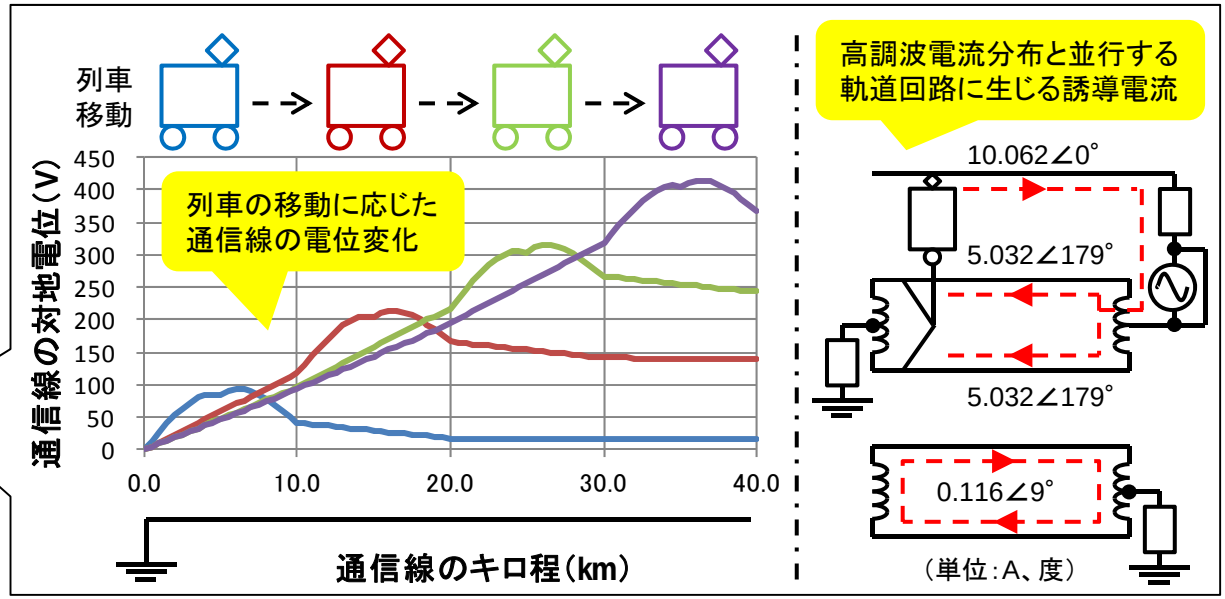
対地電磁誘導電圧（V∠deg）

最大値＜制限電圧　⇒対策不要

最大値＞制限電圧　⇒対策必要

誘導予測計算の出力例と利用





出力結果

列車位置やレール対地漏れ抵抗に応じ

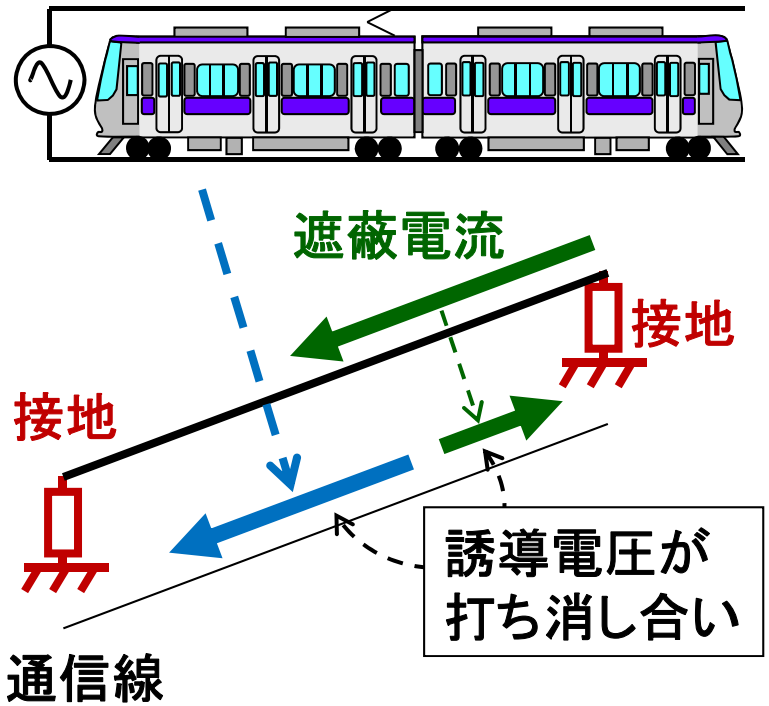
- 通信線の誘導電圧(対地電位)
- レールの誘導電流

出力結果の利用

妨害最大値と制限値、許容値を比較

- 電磁誘導対策の要／不要
- 電磁誘導の対策手法

電磁誘導の対策手法検討



従来の踏襲ではなく
現状に合わせて新たに検討

<u>アルミシースケーブル</u>
<u>沿線に張られた遮蔽線</u>

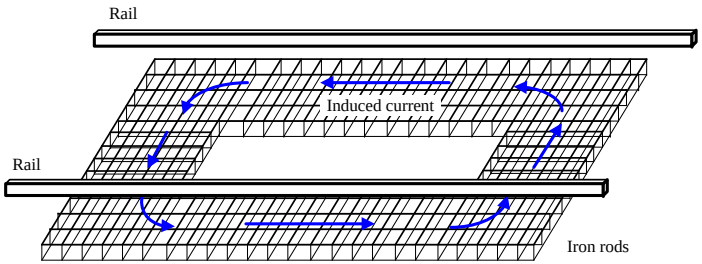
- 接地抵抗値
- 接地共用

➡ 接地の抵抗値緩和や
極数削減による<u>コスト低減</u>

予測計算による検討 ➡ <u>施工標準や設備設計の見直しに寄与</u>

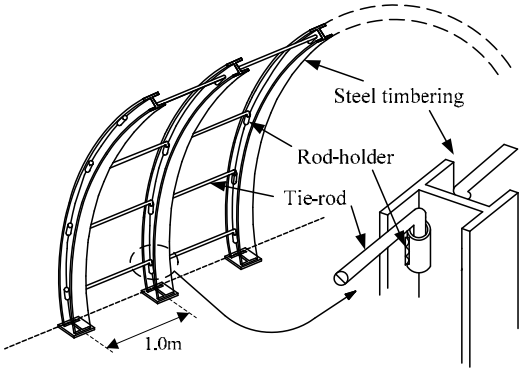
土木構造物による誘導低減効果

軌道スラブ板



高架橋

トンネル



鉄筋等を流れる誘導電流による
電磁遮蔽（誘導低減効果）の考慮

➡

誘導予測値のマージンの過剰分が減少
過剰対策によるコスト増大を抑制