

車上・地上間での電流照合による 地絡検知手法の基礎検証

電力技術研究部 き電研究室

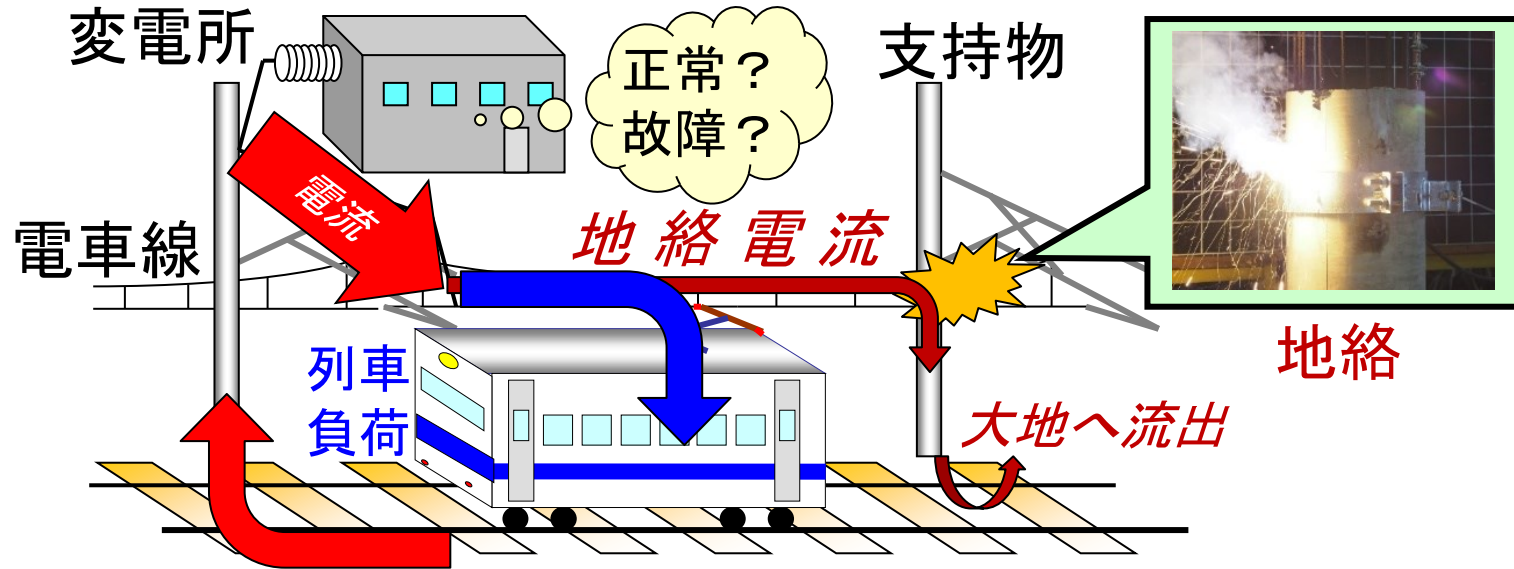
主任研究員 赤木 雅陽

本日の発表

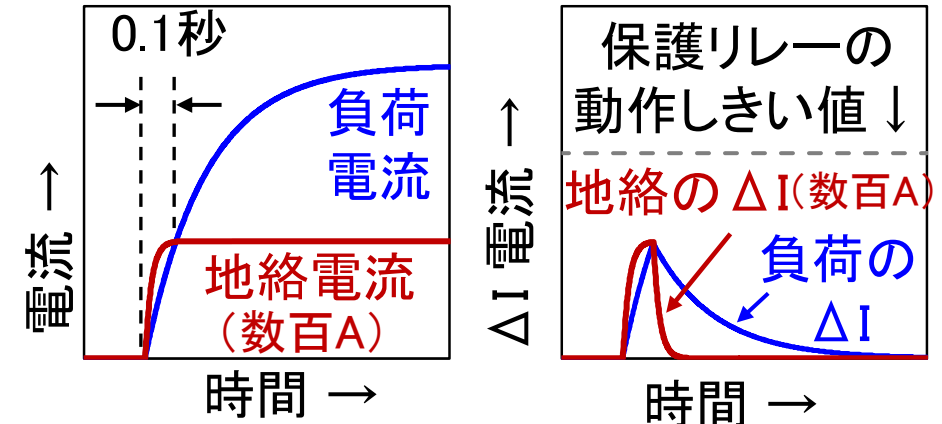
- ◆ 研究の背景
- ◆ 電力ネットワークモニタリングシステムの概要
- ◆ 電流照合に関する要素技術の検討
- ◆ モニタリングシステムの動作検証試験
- ◆ 地絡検知アプリの開発と動作検証試験
- ◆ まとめ
- ◆ 成果の活用

直流き電システムにおける地絡電流の特徴

直流き電システムにおける地絡発生時の電流経路



電車線と支持物が接触する故障(数百A程度の小電流)
→従来型の変電所保護リレーでは検知不可能



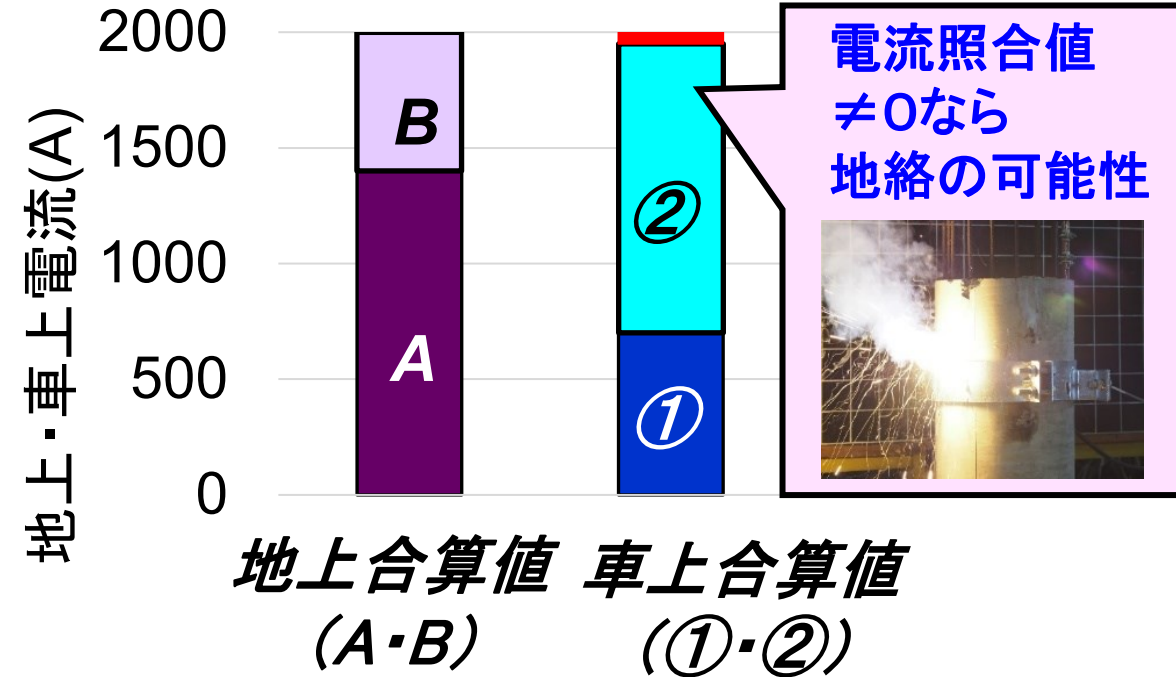
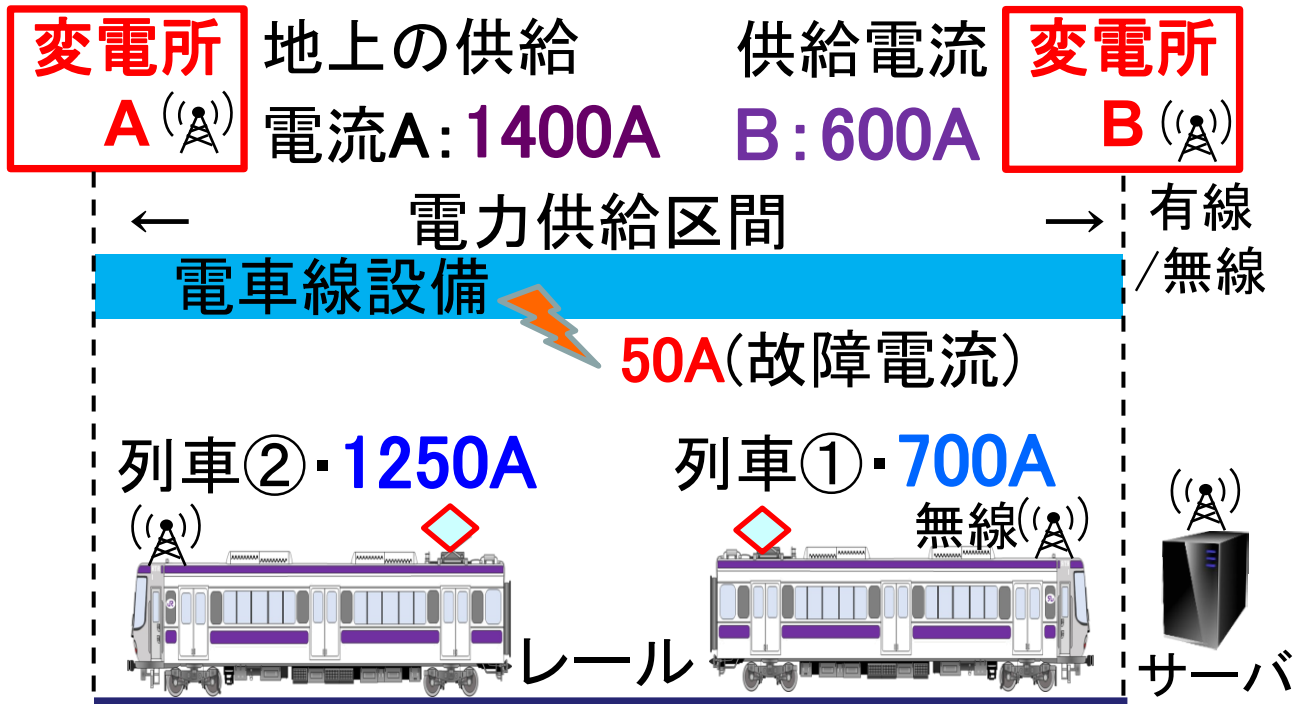
★0.1秒あたりの
電流増加量 ΔI : ほぼ同等

地絡電流が負荷電流より小さい

↓
地絡電流の ΔI は
保護リレーのしきい値未満

これまで、変電所にて短時間(数十秒以内)で地絡検知可能な手法は存在せず

地上・車上間での電流照合による地絡検知



ある電力供給区間における電流分布

地上・車上の電流合算値を比較・照合

- 電車線における数百A程度の地絡故障⇒検知が難しく長年の課題
- 上記は電気学会(1995年)での提言以来、約30年間夢の検知システム

本日の発表

- ◆ 研究の背景
- ◆ 電力ネットワークモニタリングシステムの概要
- ◆ 電流照合に関する要素技術の検討
- ◆ モニタリングシステムの動作検証試験
- ◆ 地絡検知アプリの開発と動作検証試験
- ◆ まとめ
- ◆ 成果の活用

電流照合による地絡検知手法における技術開発要素

- ①異なる系統間のデータから差分演算⇒**データを一元化する手段が必要**
- ②電流の照合、差分演算⇒各電流計測箇所での**時刻を整合する手段が必要**
(※キルヒホッフの電流則を直流き電回路での地絡電流演算に適用)
- ③車上から地上へのデータ伝送⇒**接続安定性の高い無線通信手段が必要**

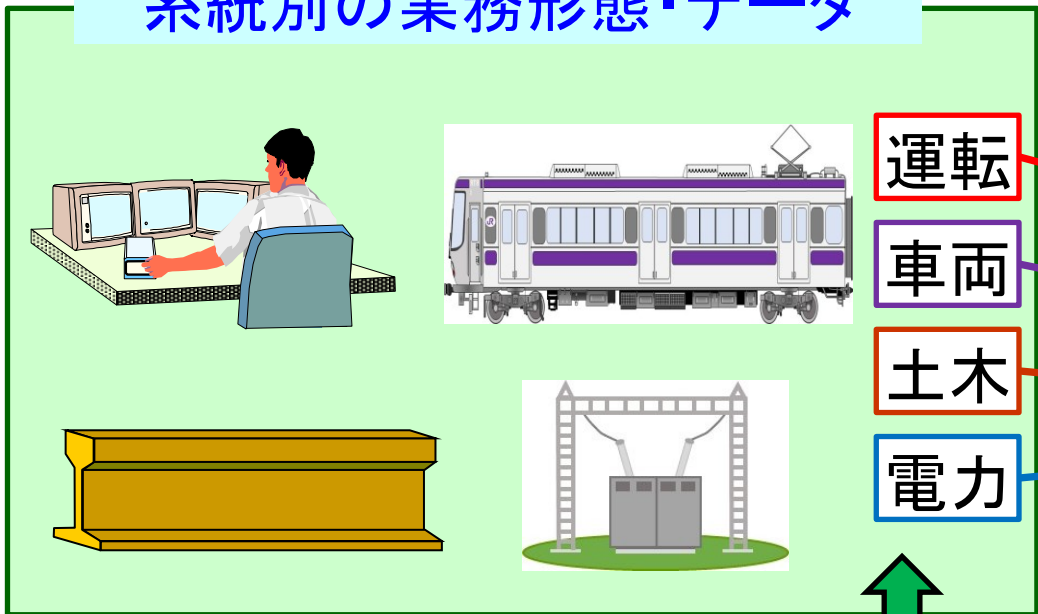
右記に
より解決



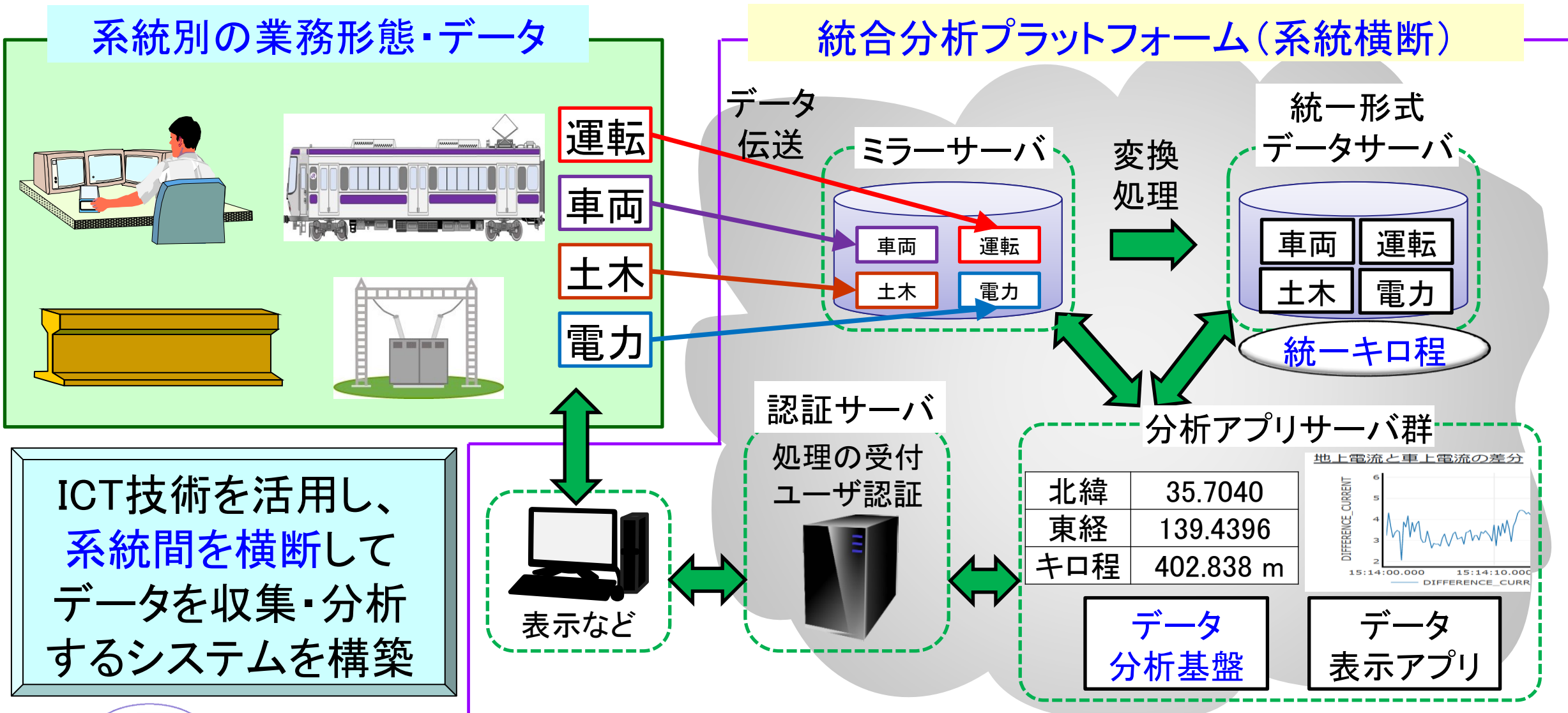
- ①複数系統間のデータを一元管理できる
統合分析プラットフォームを適用
- ②高精度な時刻同期手法を適用、GPS衛星由来の
高精度なタイムスタンプ情報を電流データに付与
- ③**4.9GHz帯無線アクセスシステム(登録制)**を適用

統合分析プラットフォームの全体概要

系統別の業務形態・データ



統合分析プラットフォーム(系統横断)



ICT技術を活用し、
系統間を横断して
データを収集・分析
するシステムを構築

統合分析プラットフォームの機能と活用方法

■ 分析基盤上の処理モジュール例

・四則演算機能

抽出したデータの加減乗除計算

・時間軸・距離軸変換機能

時間サンプリングと距離サンプリングを相互に変換

・補間機能

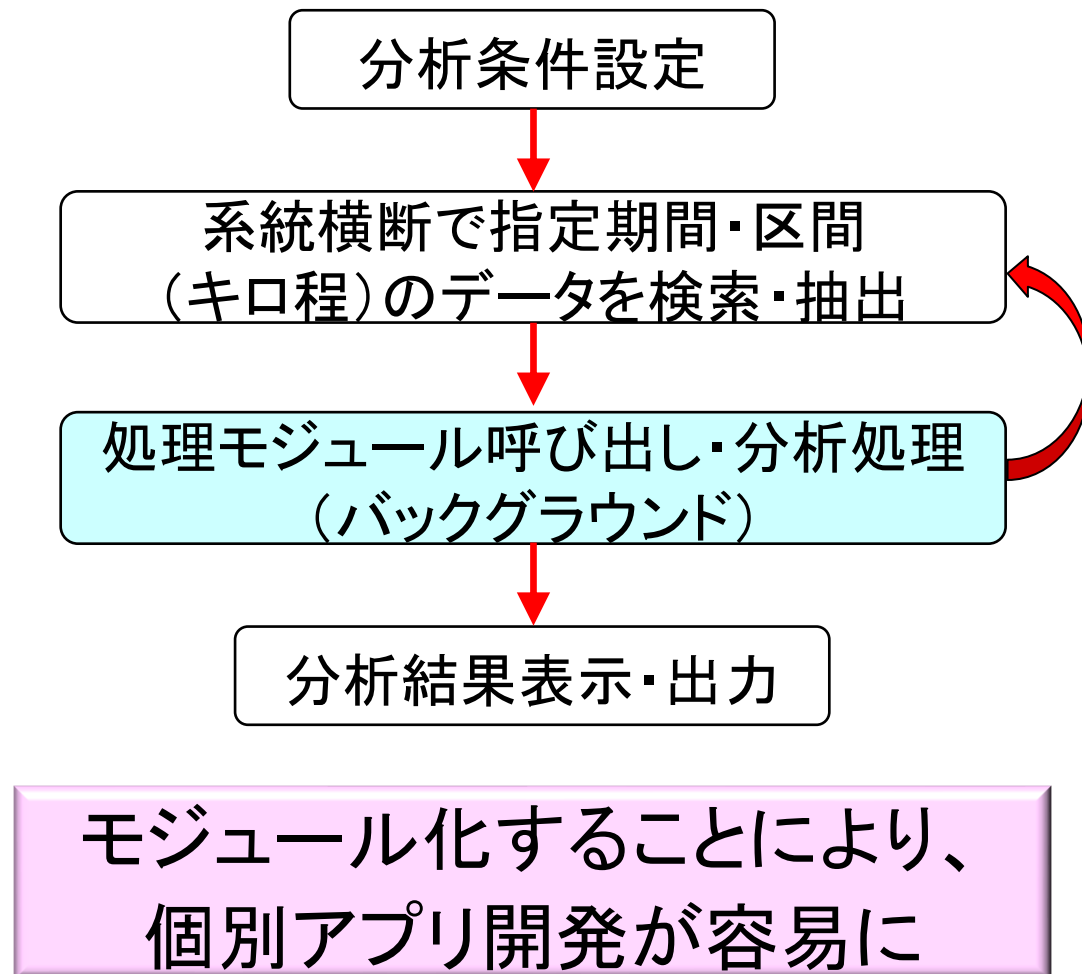
欠損値の補間、サンプリング間隔統一

■ データ表示アプリの機能例

・描画機能

波形グラフ表示(元データ、演算データ)
線路図などへの演算・判定結果の投影

■ データ活用フローの例



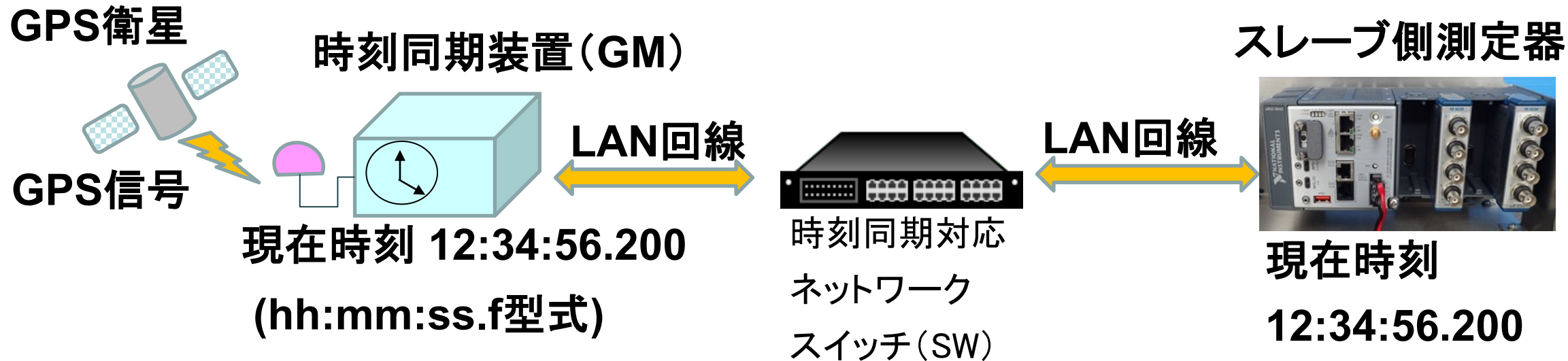
本日の発表

- ◆ 研究の背景
- ◆ 電力ネットワークモニタリングシステムの概要
- ◆ 電流照合に関する要素技術の検討
- ◆ モニタリングシステムの動作検証試験
- ◆ 地絡検知アプリの開発と動作検証試験
- ◆ まとめ
- ◆ 成果の活用

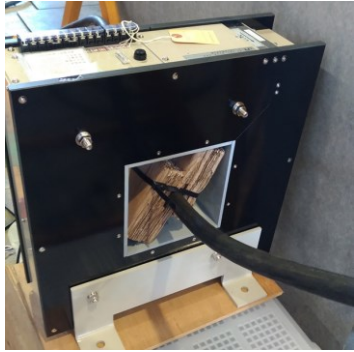
時刻同期手法の検討

IEEE 1588 -V2 (2008) 規格による時刻同期用通信プロトコルを活用

- 時刻同期装置(GM: マスター) から**正確なタイムスタンプ**をLAN回線経由で授受可能
- μ 秒オーダー**の時刻同期精度
- GPS信号欠落時にも内蔵時計により**タイムスタンプ配信を継続**可能

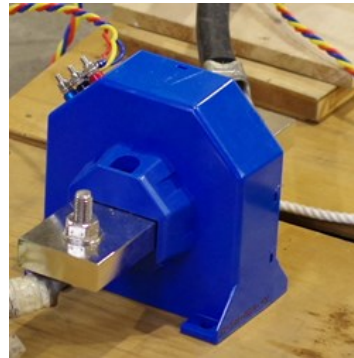


電流センサの特性把握



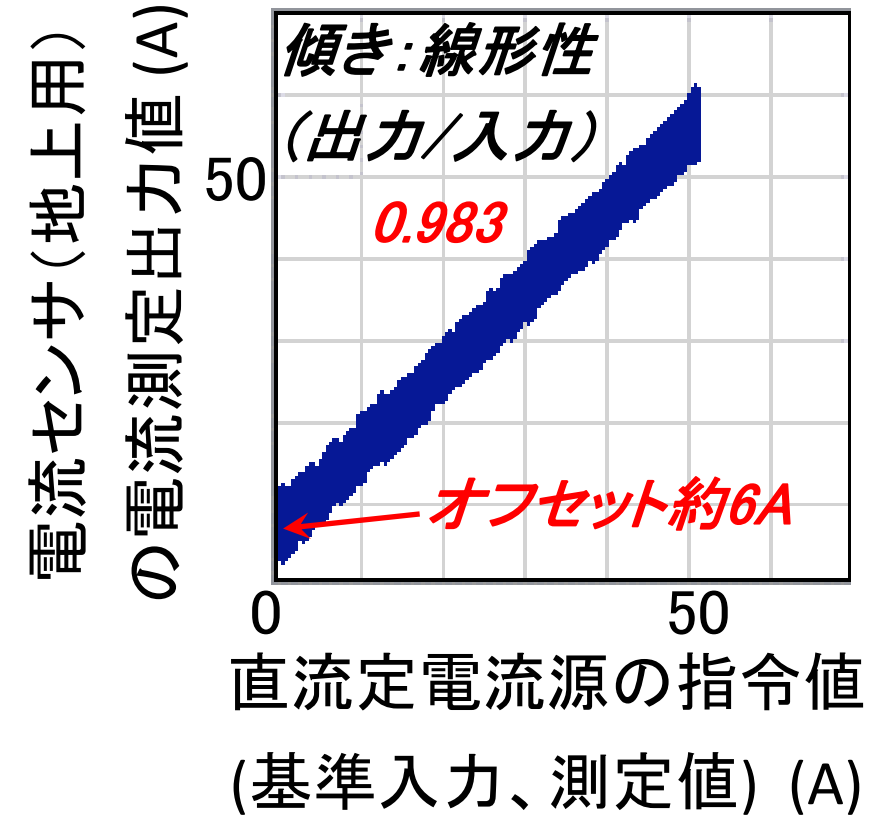
開ループホール式電流センサ

- ・地上(変電所)で現用
- ・定格20kA(故障電流に対応)
- ・車上用に比べ線形性等がやや劣る



閉ループホール式電流センサ

- ・欧州で車上用として普及(電気代精算)
- ・定格2000A(故障電流はNG)
- ・線形性がよく、オフセット出力も少ない



地上用の電流センサ⇒オフセットの除去及び線形性の補正が望ましい
(負荷電流が数千A程度の場合)

電流データのサーバへの収集・格納方法

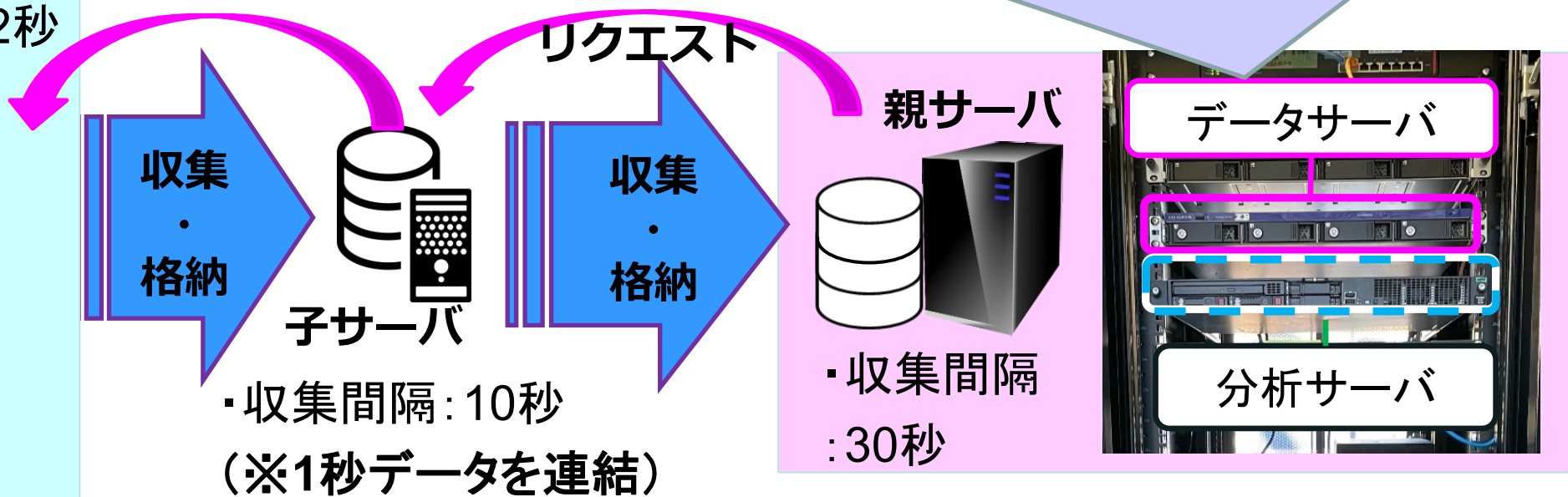
C_MEASUREMENT_DATETIME	C_ORIGINAL_POSITION1	TRACTION_CURRENT[A]
2022-12-08 13:15:00.000000	0.496505	3.23296

親サーバ(統合分析サーバ)での時刻・列車位置・電流データの格納状況

- ・データサンプリング:0.2秒
- ・CSVファイル
生成間隔:1秒



データ収集装置



- 親サーバから子サーバ、子サーバからデータ収集装置へ逐次リクエスト
- リクエストに備え通信途絶の少ない安定したデータ伝送手段が必要

直流き電システムにおける通信用途と要求事項

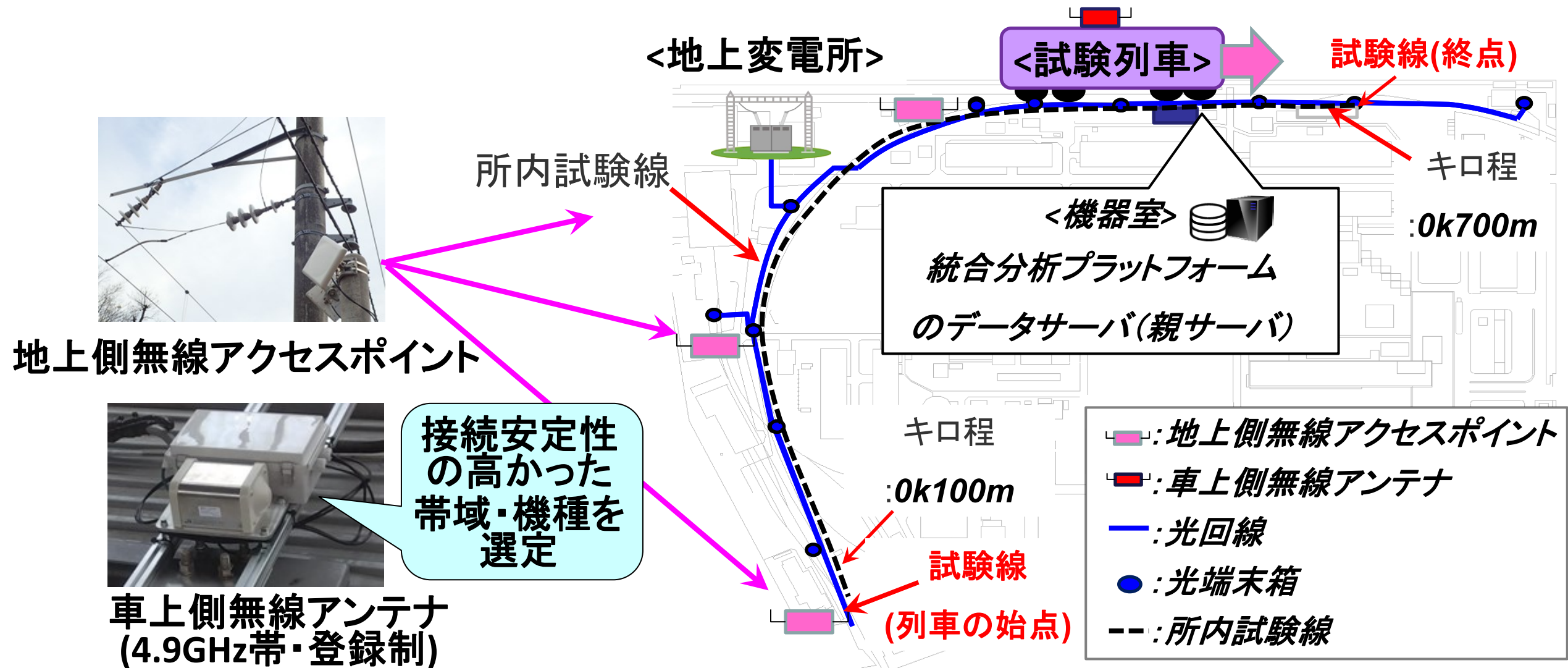
通信の用途（例）	送受信方向	リクエストの頻度	通信の遅延	通信路構成例
①変電所設備の保護	変電所内部 (例：保護リレー ⇒しゃ断器)	故障発生時のみ	不可(数十ミリ秒以内)	有線（光/メタル） 通信回線
②地絡検知用 電流値・ 列車位置データ	変電所・列車 の測定器 ⇒データサーバ	10秒程度の頻度で 常時	数秒以内 が限度	有線/移動体 通信回線
③変電所電力量の 記録データ	変電所内の測定器 ⇒データサーバ	数十分毎程度	遅延は 許容される	有線/移動体 通信回線

- 地絡検知を行う場合：通信が常時確立されていることが望ましい
⇒無線LANなど一時的に数十秒途絶する可能性のあるシステムは不向き

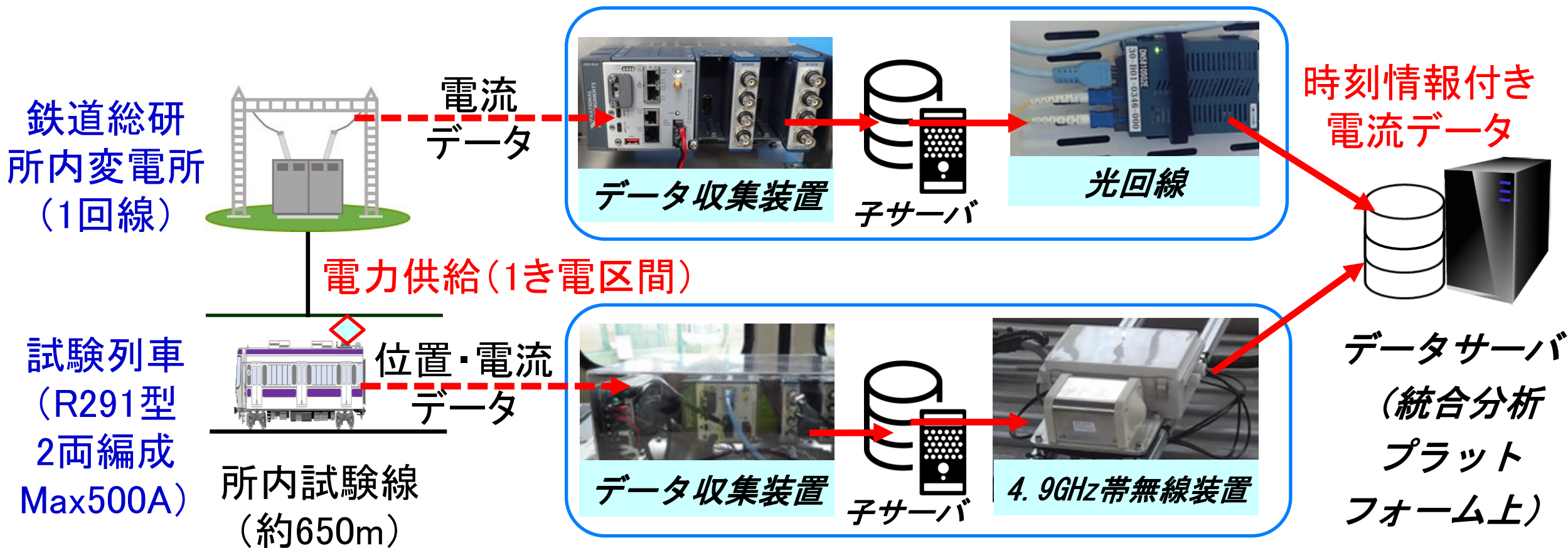
本日の発表

- ◆ 研究の背景
- ◆ 電力ネットワークモニタリングシステムの概要
- ◆ 電流照合に関する要素技術の検討
- ◆ モニタリングシステムの動作検証試験
- ◆ 地絡検知アプリの開発と動作検証試験
- ◆ まとめ
- ◆ 成果の活用

車上⇒地上データサーバへの無線通信手段

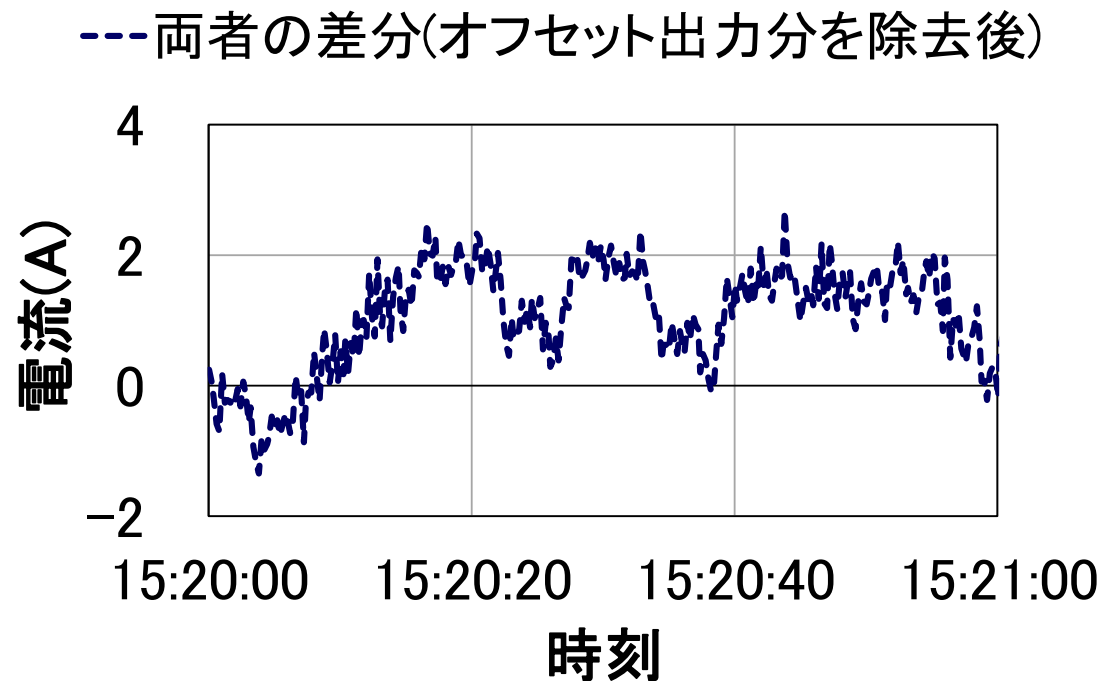
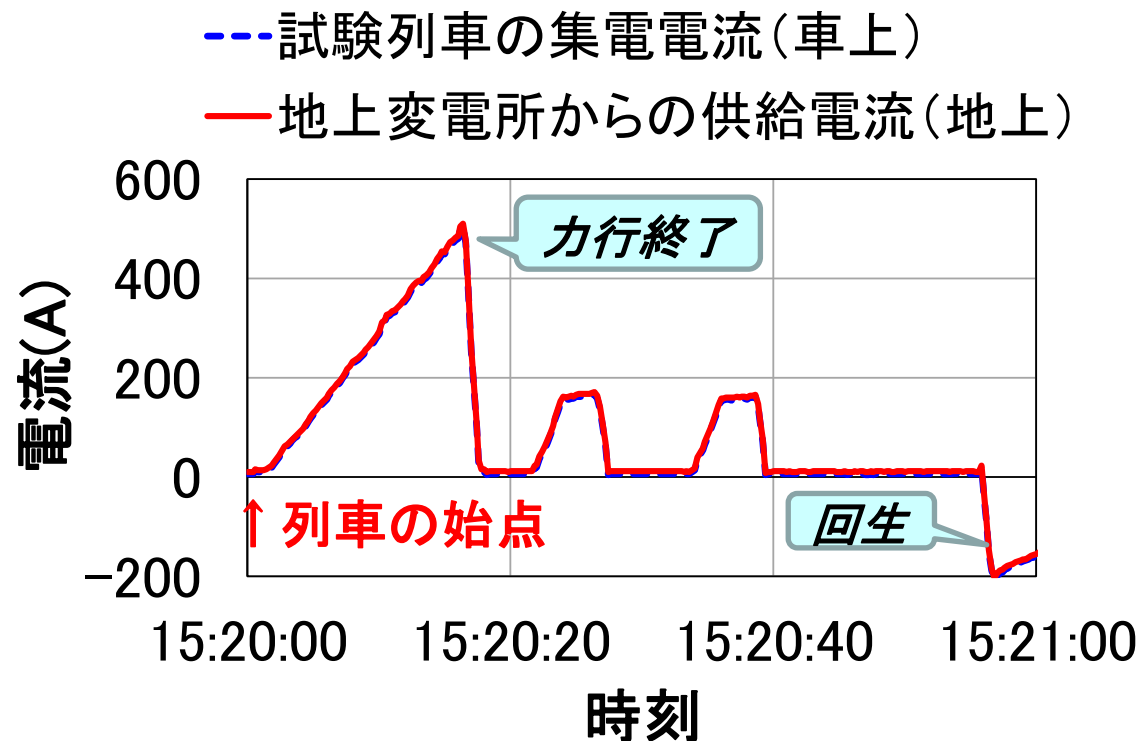


モニタリングシステムの動作検証試験



- 1列車・1変電所・1き電区間という基礎的条件でのデータ収集能力を検証
- 通常走行試験(Max40km/h)及び列車走行中の電車線地絡を模擬した試験

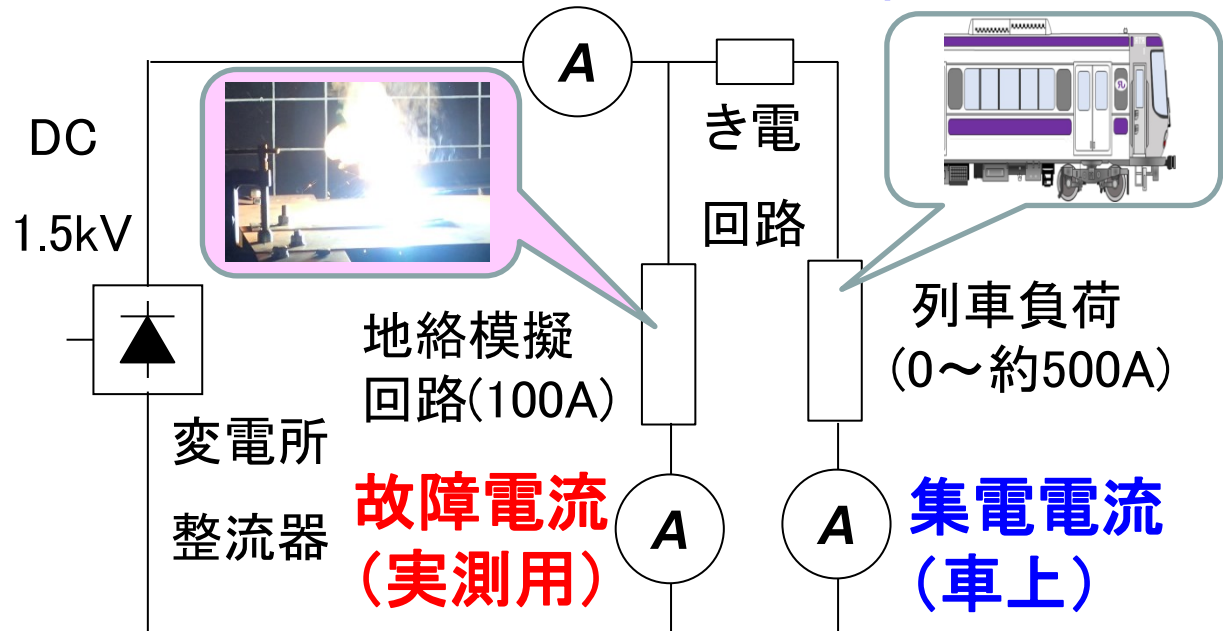
モニタリングシステムの動作検証結果(設備健全時)



- 親サーバ内の格納データをオフラインで分析
⇒ 地上・車上電流は**良く一致**(オフセット出力分を除去後)

モニタリングシステムの動作検証結果(模擬故障時)

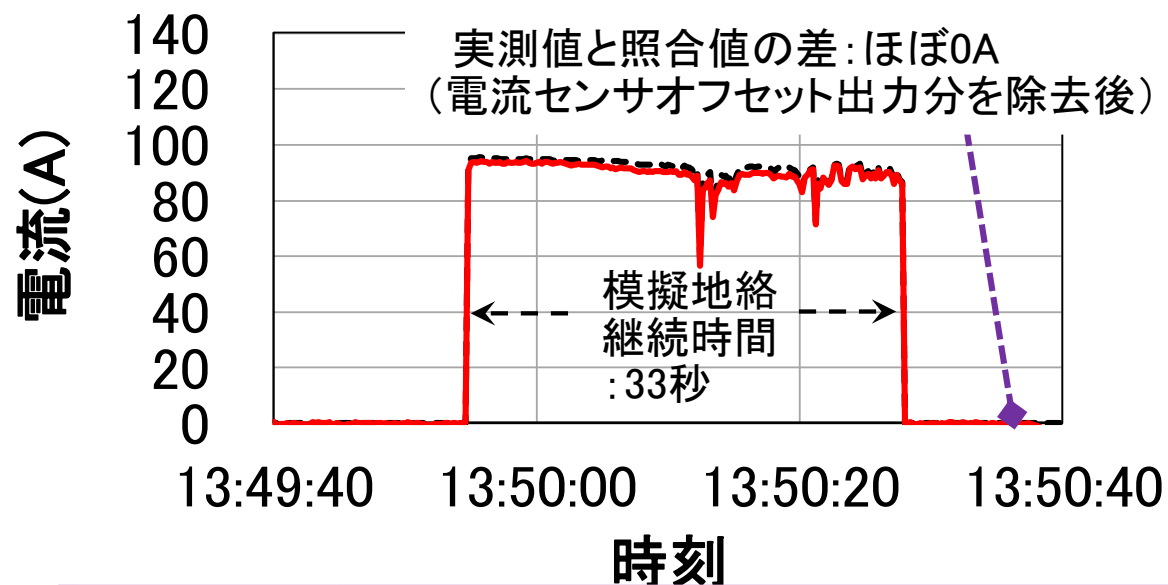
供給電流(地上:0~約600A)



電車線の模擬故障試験回路

---故障電流(実測値)

—供給電流と集電電流の差分(分析値)



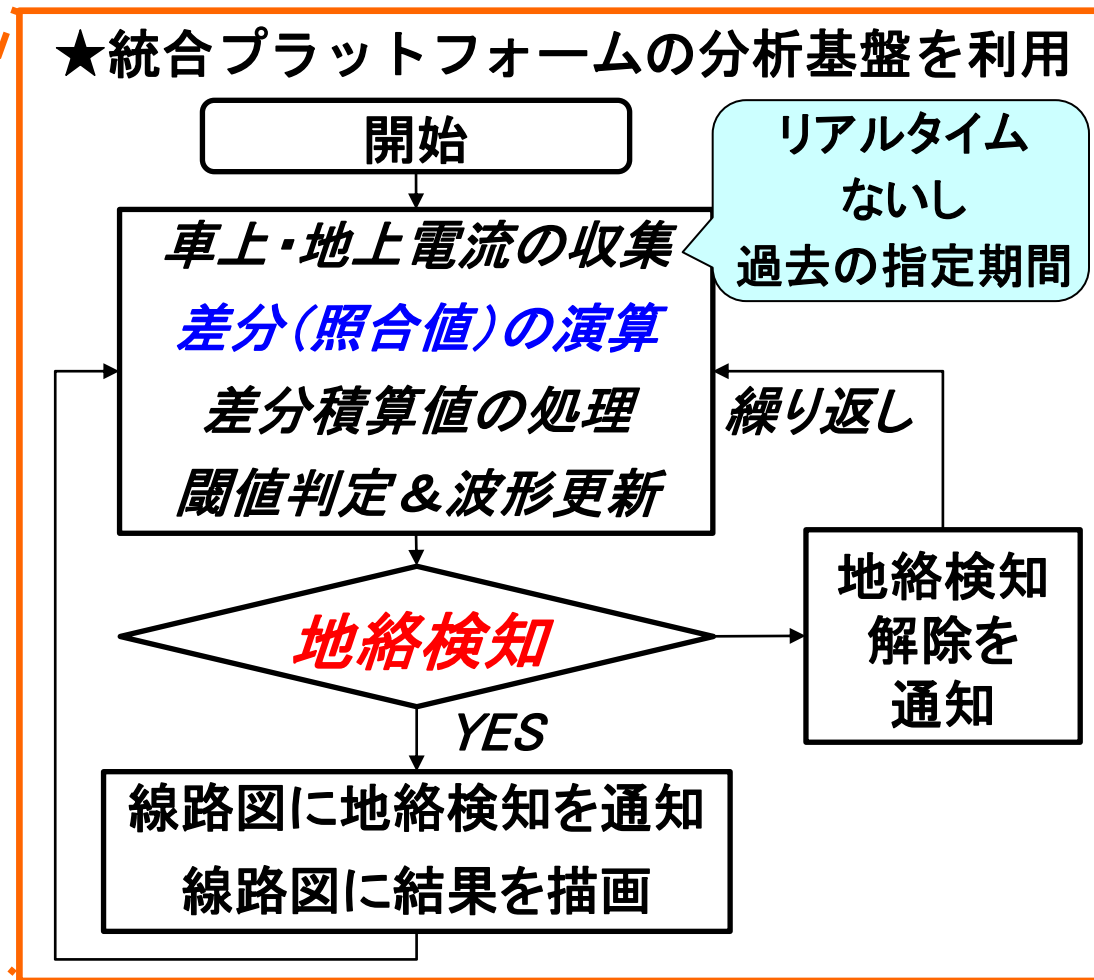
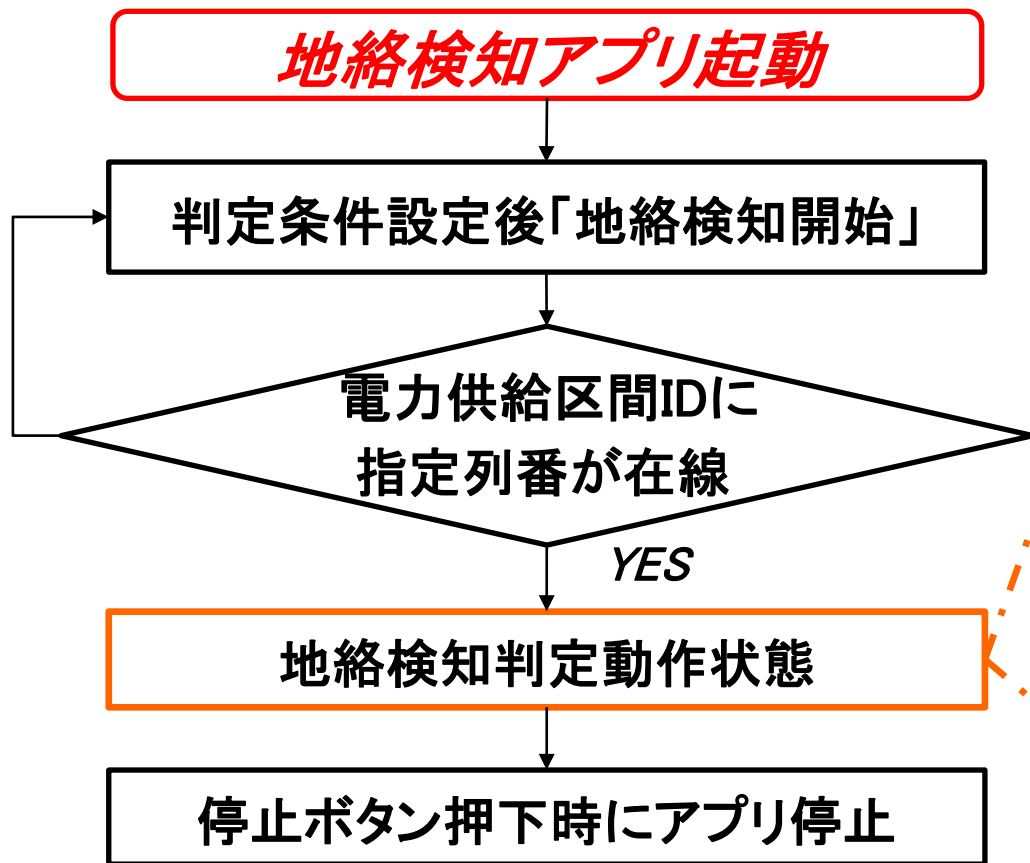
故障電流グラフ(実測・分析比較)

- ▶ 列車走行中に約100アンペアの地絡模擬故障を発生させ、電流データを分析
⇒故障電流実測値と電流照合値(車上・地上の電流差分値)は**良く一致**

本日の発表

- ◆ 研究の背景
- ◆ 電力ネットワークモニタリングシステムの概要
- ◆ 電流照合に関する要素技術の検討
- ◆ モニタリングシステムの動作検証試験
- ◆ 地絡検知アプリの開発と動作検証試験
- ◆ まとめ
- ◆ 成果の活用

地絡検知アプリの判定アルゴリズム

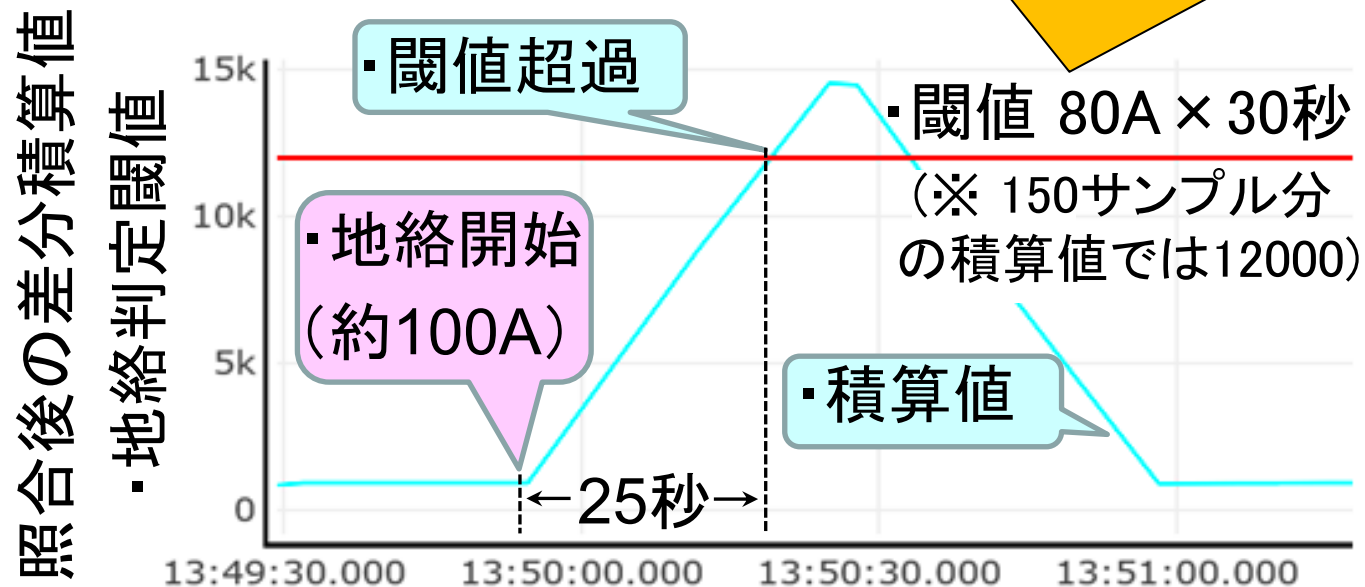
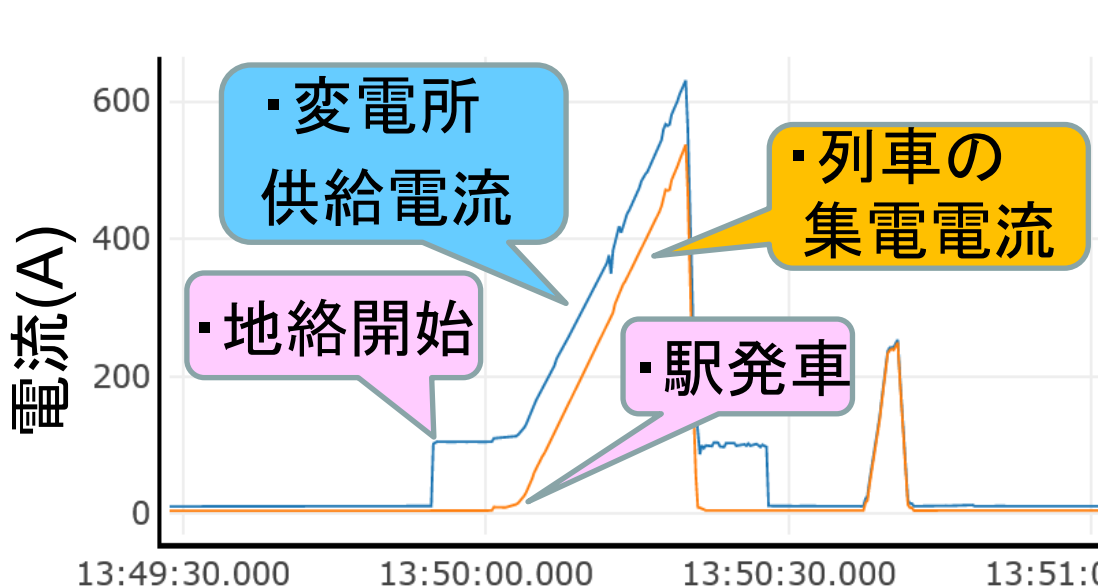


➤ 分析基盤の演算機能と連携し、電流データの照合(加減演算)等を実行

地絡検知アプリの動作検証試験

- 前述の模擬地絡試験電流データを地絡検知アプリに入力⇒電流照合・差分演算の機能確認

閾値		
電流差分値 [A]	80	・アプリの閾値設定画面
秒数[s]	30	



- 1列車・1変電所という基礎的条件にてアプリの地絡判定動作を確認
- 設備健全時の走行試験(オンライン)ではアプリの不要な地絡検知なし

まとめ

- 変電所・車上で時刻同期を取りながら、故障電流の演算に必要な各設備の電流データを取得したい
⇒高精度時刻付与機能を具備した**データ収集装置**を試作
- 車上から地上へデータを逐次伝送しつつ、異なる系統間のデータをサーバで一元化したい
⇒伝送遅延の少ない無線(4.9GHz帯・登録制)を活用し、所内試験線に**電力モニタリングシステム**のプロトタイプを構築
- 電流値の監視と直流き電回路の地絡検知をリアルタイムに行いたい
⇒統合分析プラットフォーム上に地絡検知アプリを開発、1列車・1変電所相当の基礎模擬試験で、100A程度の故障を**数十秒オーダー**で検知可能

成果の活用

- 今後の取り組み: 後継テーマ(～2024年度)において、複数列車・複数変電所を想定した電力モニタリングシステムの改良を実施
 - ⇒エアセクション通過による電力供給区間の遷移など、営業線を念頭に置いたデータ処理アルゴリズムを構築
 - ⇒複数列車・複数変電所条件においても数十秒オーダーでの地絡故障検知を目指す
- 成果の活用: データ収集装置や地絡検知判定アルゴリズムでの測定データ処理設計などのノウハウ
 - ⇒鉄道事業者の皆様へ展開、標準化を目指す

参考文献

1. 森本大観: 直流き電回路の高抵抗地絡保護への取り組みと課題, JREA, Vol.60, No.10, pp.15-19, 2017
2. [森本大観, 他: 大電流のアークを伴う直流高抵抗地絡の検出手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.41-46, 2020](#)
3. 電気学会直流電気鉄道における保護技術調査専門委員会: 直流電気鉄道における保護および保護協調に関する調査, 電気学会技術報告, No. 542, 1995
4. [流王智子, 他: 分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.51-56, 2022](#)
5. 赤木雅陽, 他: 高精度時間プロトコルに対応した直流電流計測システムの実証試験, 令和5年電気学会全国大会, 5-187, 2023