

大電流のアークを伴う 直流高抵抗地絡の検出手法

電力技術研究部 き電研究室長

森本 大観



本日の発表

- ◆背景と目的
- ◆既存の対策手法と課題
- ◆事故事例における電流波形記録データとその分析
- ◆開発した検出手法とその検証
- ◆まとめ

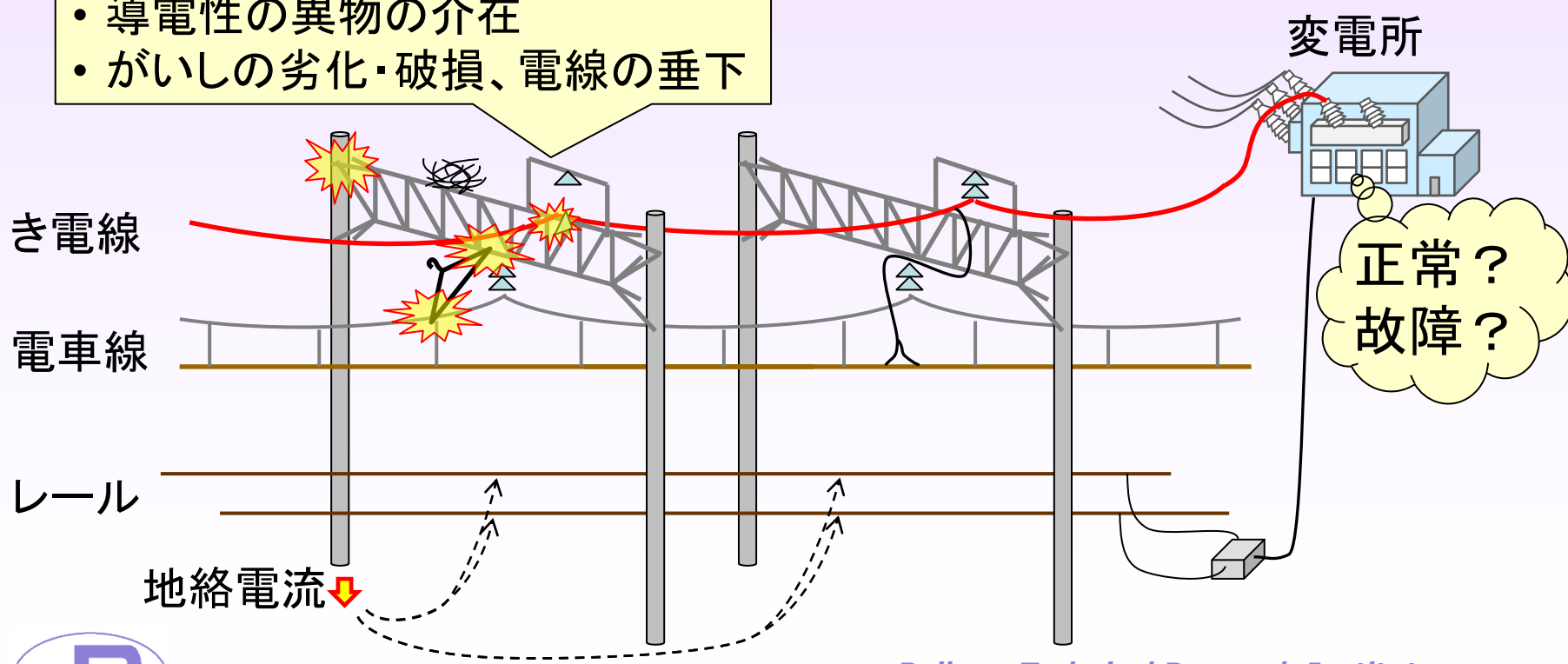
背景と目的

- ◆ 直流高抵抗地絡とは
 - ◆ 検出の困難性

背景と目的：直流高抵抗地絡とは

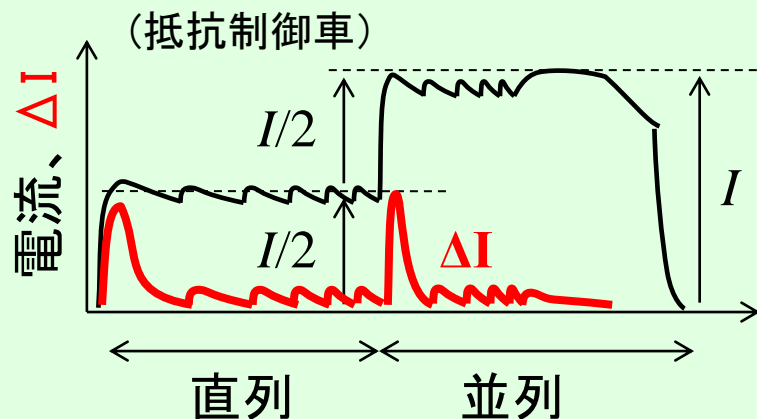
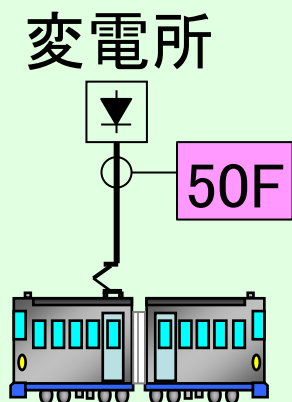
き電回路の充電部(電車線、き電線等)が何らかの理由で**大地上の構造物に接触・橋絡したとき(地絡)**に、
当該構造物の接地抵抗によって、地絡電流の大きさが電車・電気機関車の**通常走行に必要な電流より小さい場合**の故障現象

- 導電性の異物の介在
- がいしの劣化・破損、電線の垂下



背景と目的: 検出の困難性

例: 最大集電電流
4500A/編成と仮定
⇒ ΔI 形故障選択装置
(50F)の**設定2500A**
※機種により 2400A の場合有

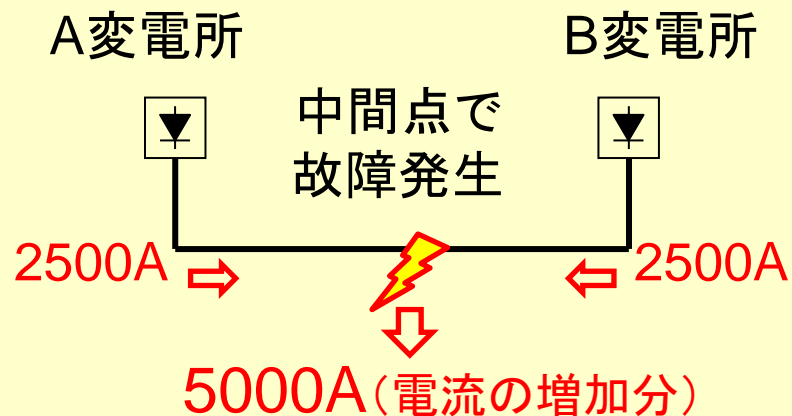


$2500 \times 2 = 5000A$
未満の電流増加(ΔI)の
場合が高抵抗地絡となる。

1500Vにおいては **0.3Ω**

($1500V \div 5000A$)

※故障点アーク電圧を無視する場合



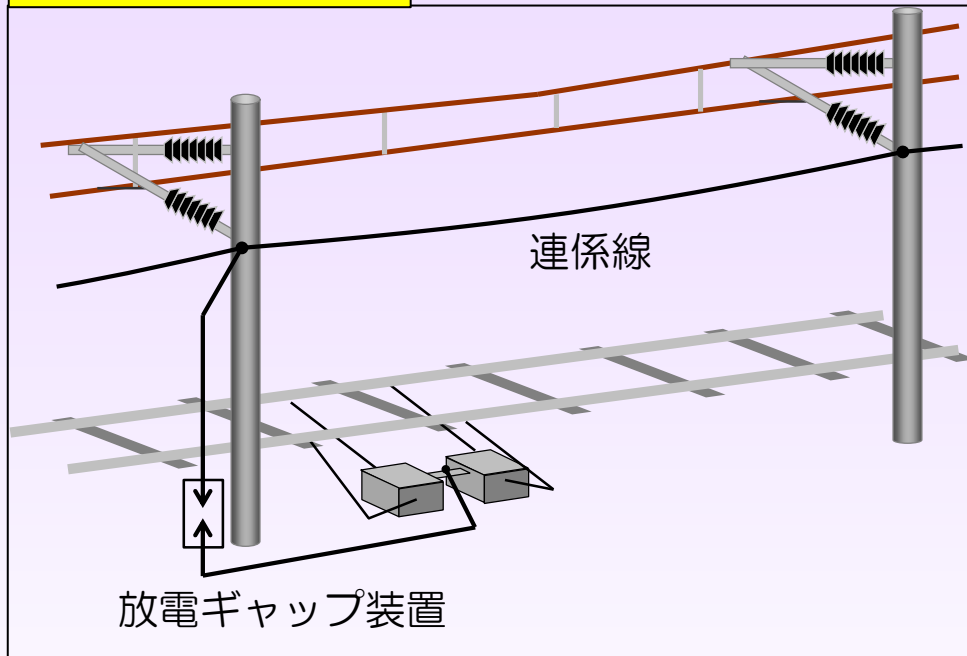
故障検出が求められているが、長年にわたり未解決の課題である

既存の対策手法と課題

- ◆ 電車線路への部品・部材の追加による方式
 - 放電装置方式(放電ギャップ方式)
 - 保護線方式
- ◆ 変電所での計測監視のみによる方式
 - 高調波電流注入方式
 - 回線電流方式
 - 電弧振動方式

既存の対策手法と課題 (1/2)

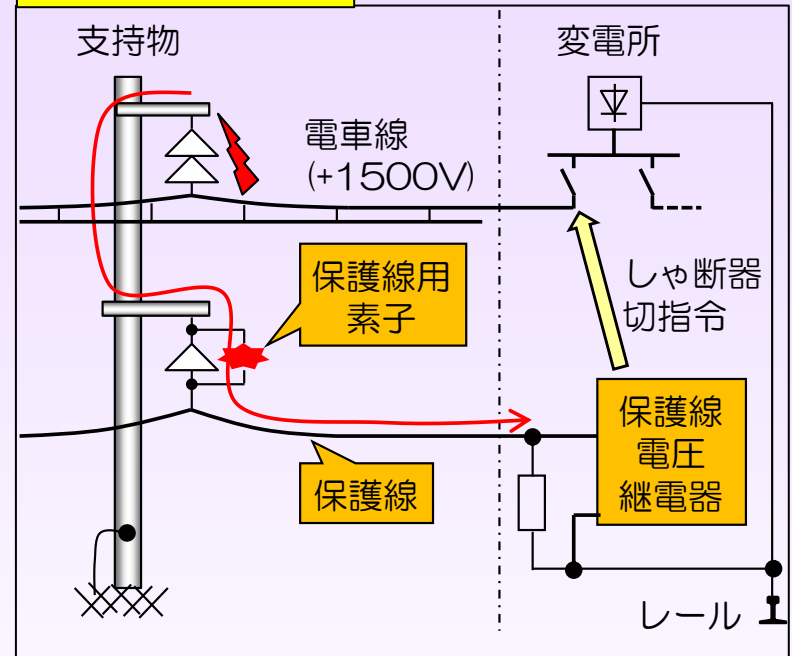
放電装置方式



- ◎変電所の改修不要
- ▲太い連係線(短絡電流に対応)が必要
- ▲放電ギャップ装置の敷設、保守

参考: 電圧制限装置(VLD-F)
EN 50526-2 ⇒ IEC 62848-2

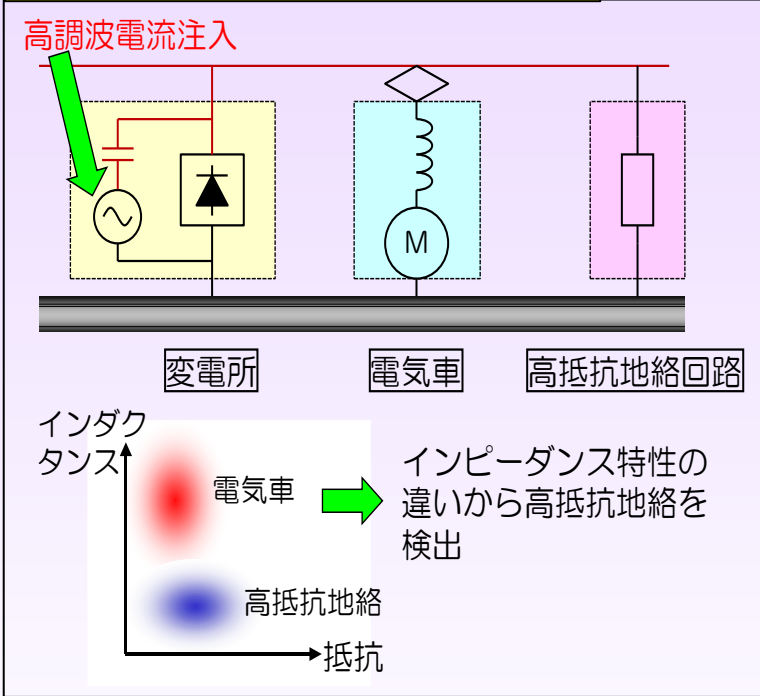
保護線方式



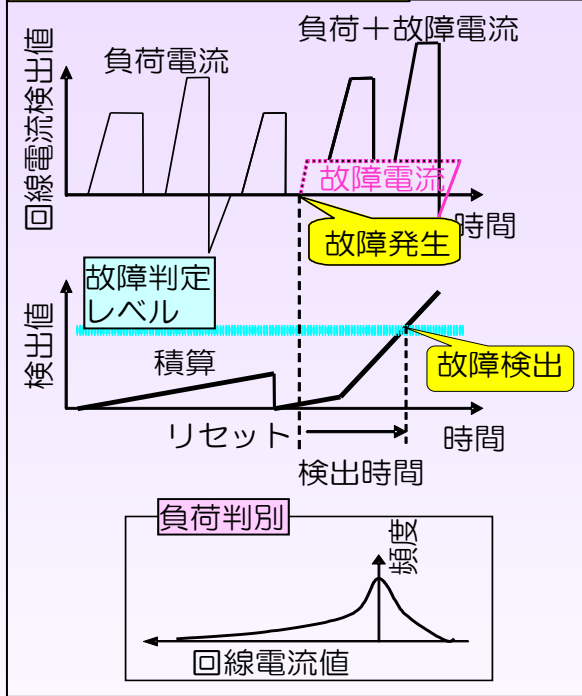
- ◎高速(0.2秒)、小電流(数A)
- 保護線は細い電線で良い
- ▲保護線の敷設、保守
- ▲保護線用素子の敷設、保守

既存の対策手法と課題 (2/2)

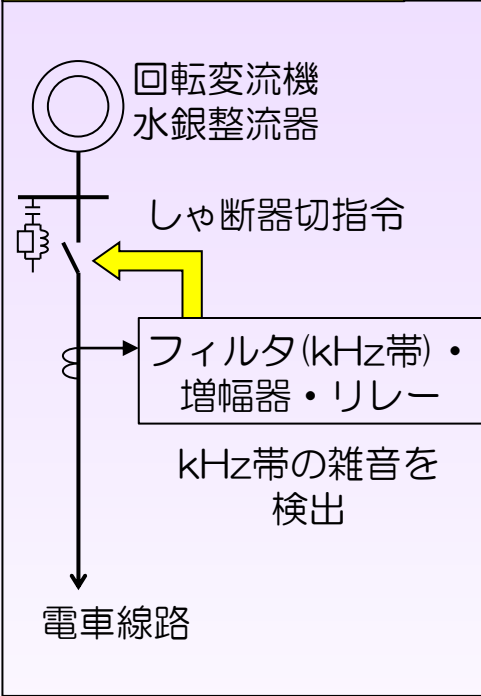
高調波電流注入方式



回線電流方式



電弧振動方式



◎電車線路への設備追加が不要 ※変電所の改修は必要

- ▲検出信頼度が低い
- ▲車両の内部の主回路定数が検出感度に影響する

- ▲検出時間が長い
- ▲臨時列車に弱い

- ▲S/N不足
- ▲不要動作、不動作



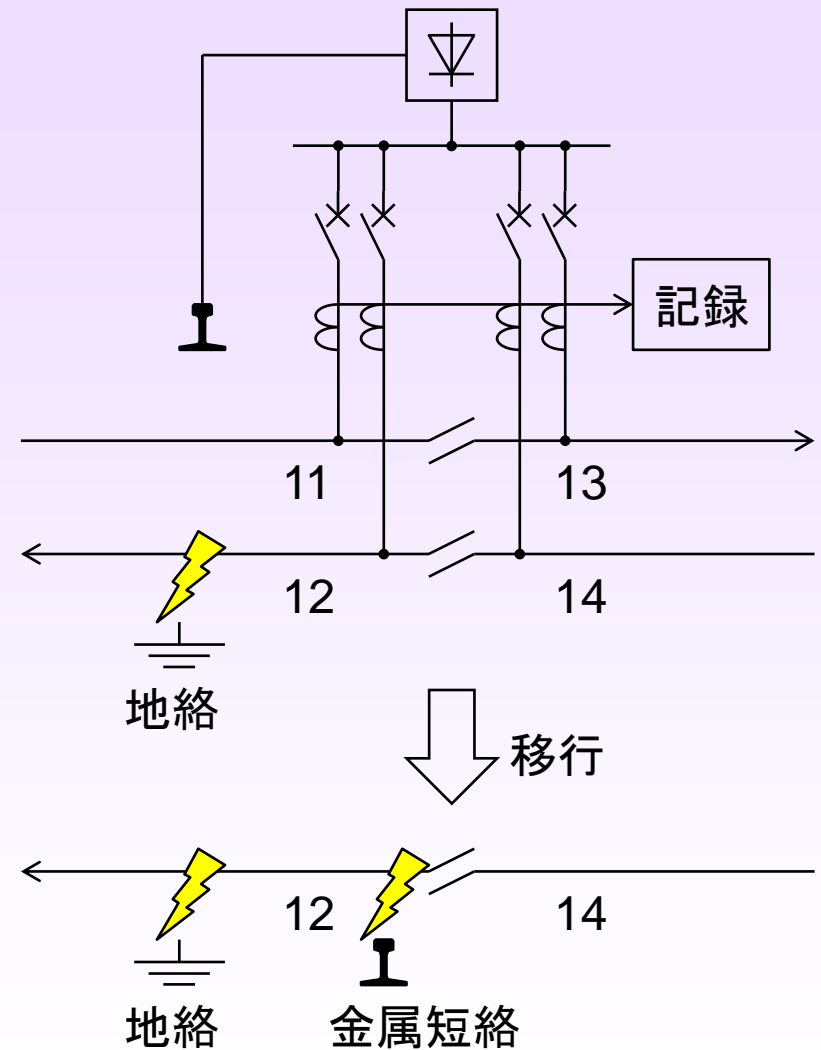
事故事例における 電流波形記録データとその分析

◆事故概況

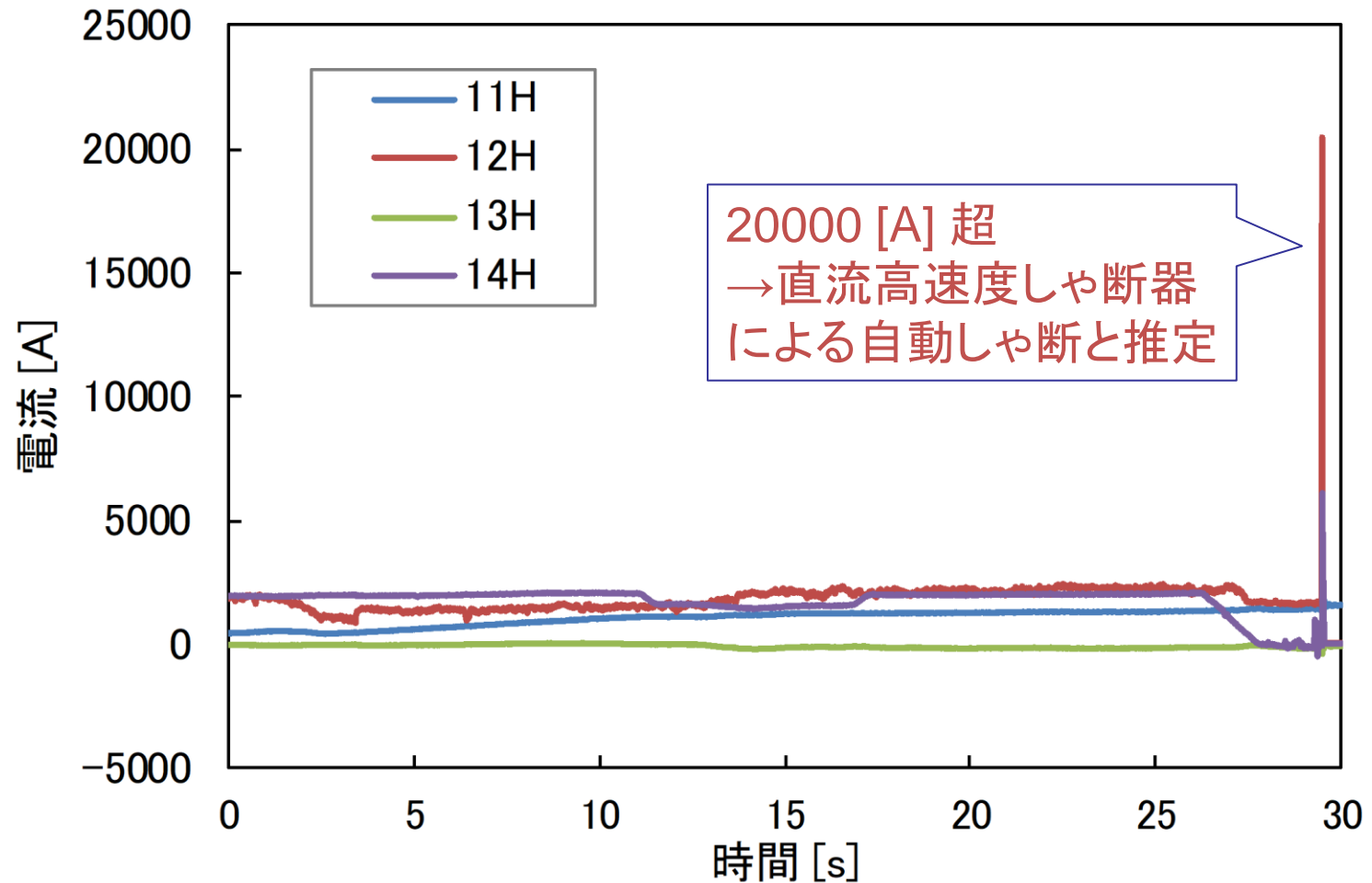
◆記録された事故電流波形とその分析

事故概況

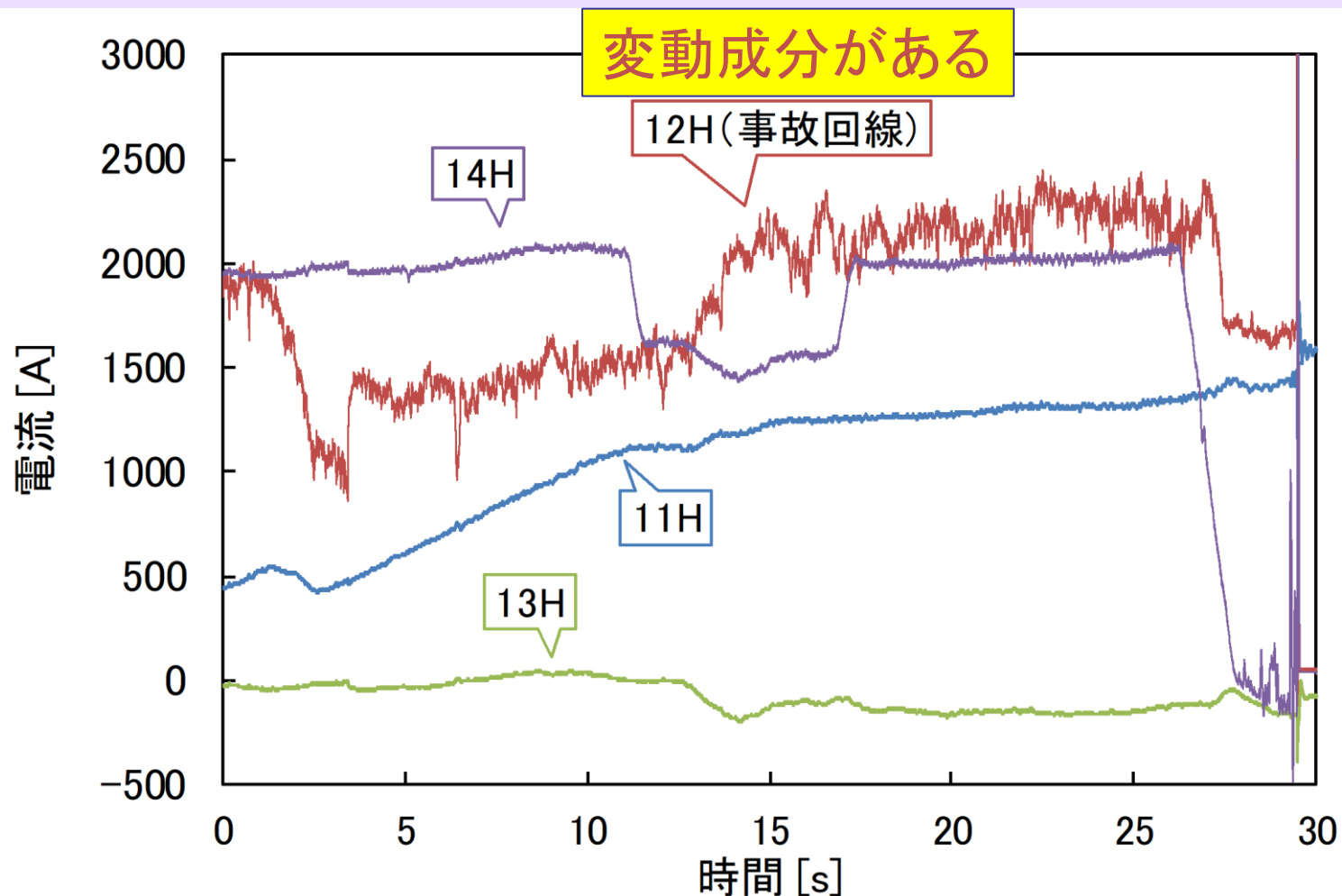
- まず地絡が発生
 - 電柱バンド、近傍諸設備から、激しいアーク
 - 30秒以上の継続
- 次いで金属短絡に移行
 - 12回線の直流高速度しゃ断器が自動しゃ断



事故電流波形(全体)

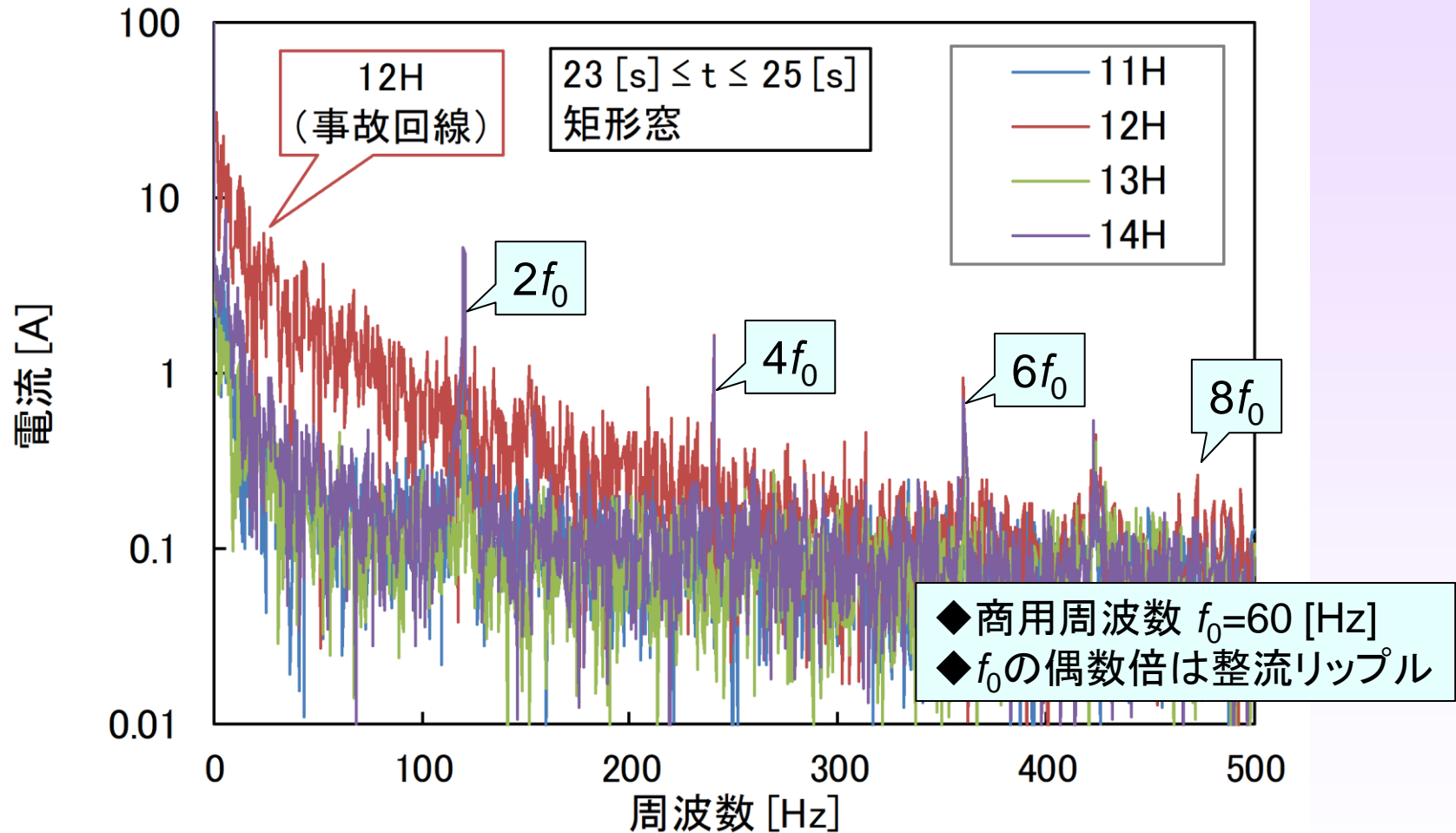


事故電流波形（縦軸拡大）



※事故通電中の12回線電流に電気車の電流が含まれていたかどうかは不明。

周波数分析

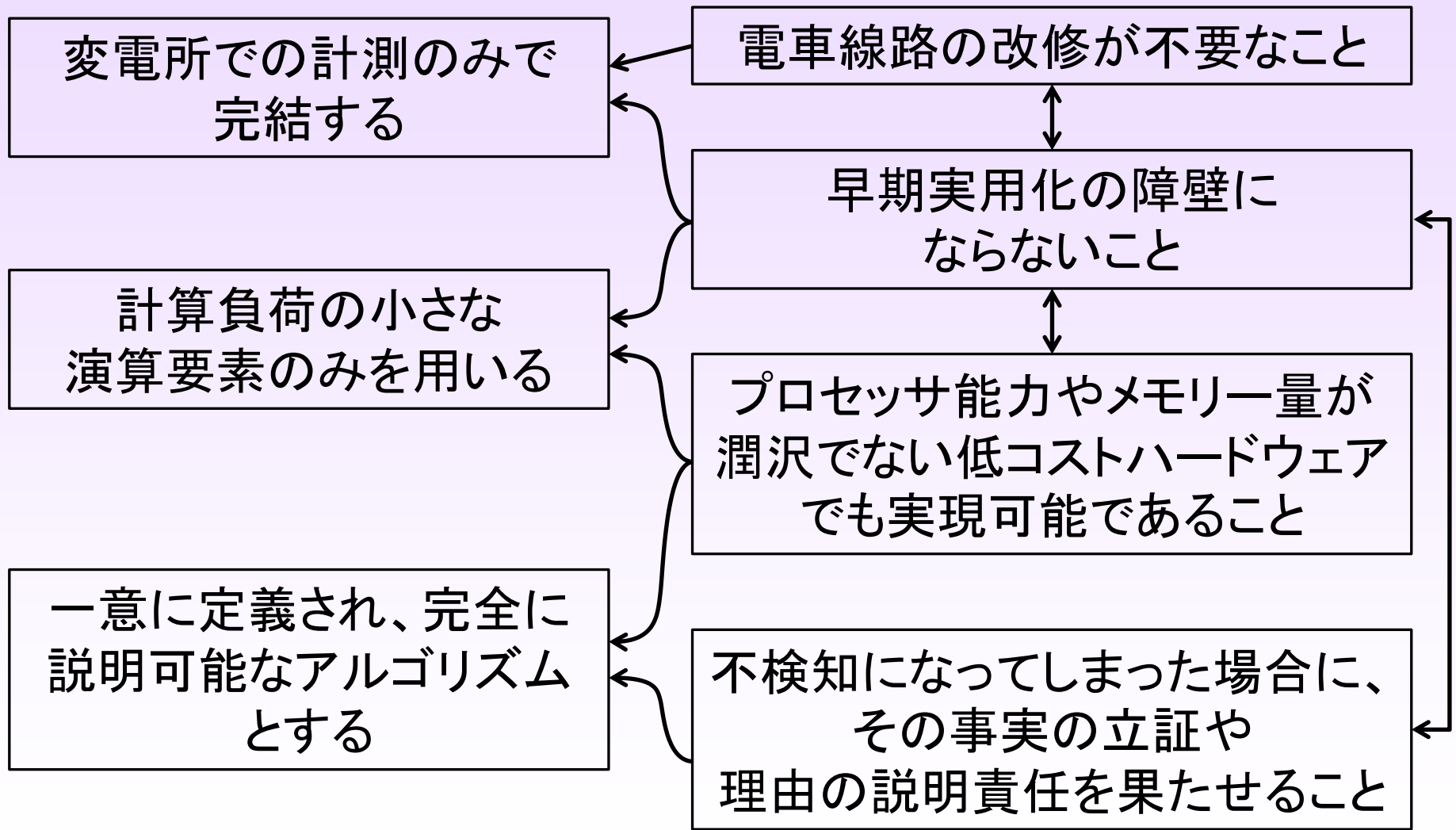


事故回線の変動成分は、低周波帯に不規則な揺らぎを多く含む

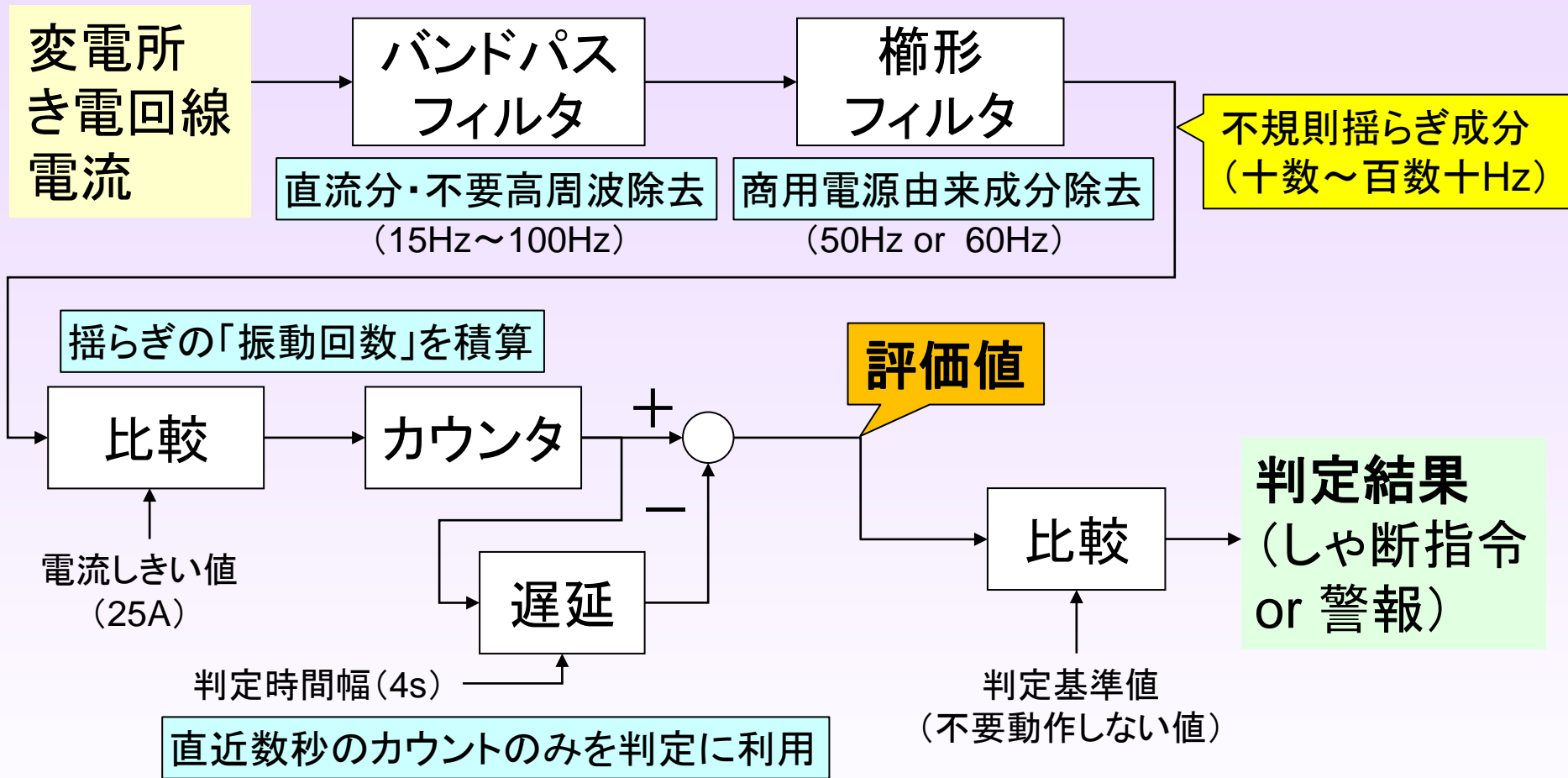
開発した検出手法とその検証

- ◆ 検出アルゴリズムの検討方針
 - ◆ 開発した検出アルゴリズム
- ◆ 実事故電流波形データによる検証
 - ◆ 不要動作可能性の検討
 - ◆ 現地模擬人工故障試験
- ◆ 検出アルゴリズムの適用範囲

検出アルゴリズムの検討方針



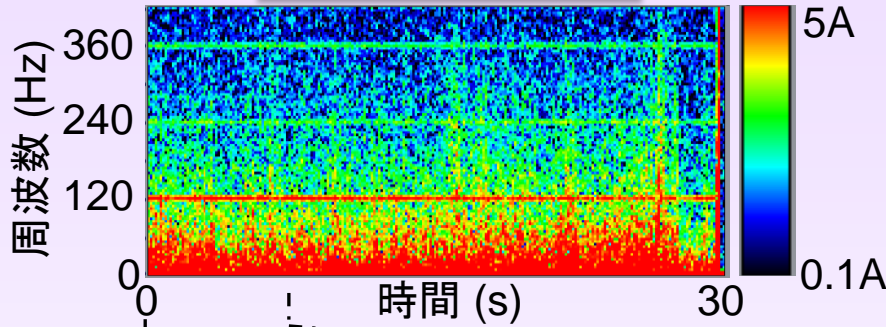
開発した検出アルゴリズム



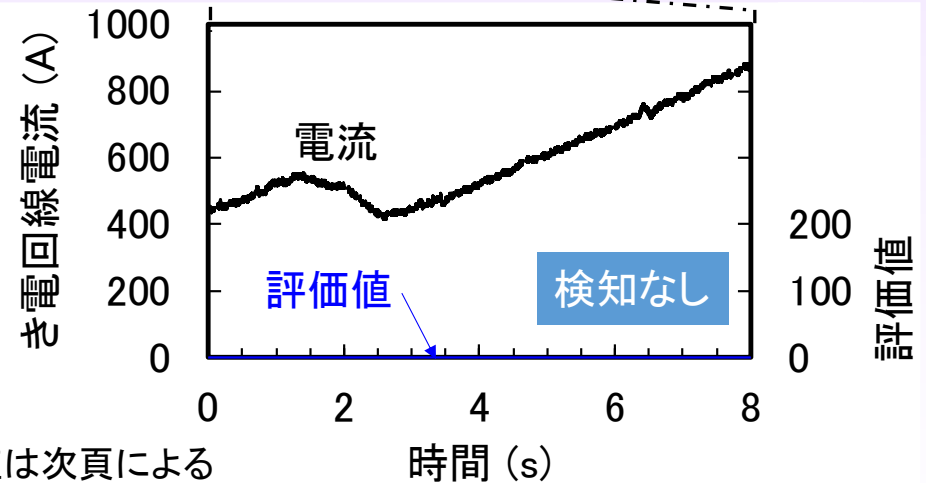
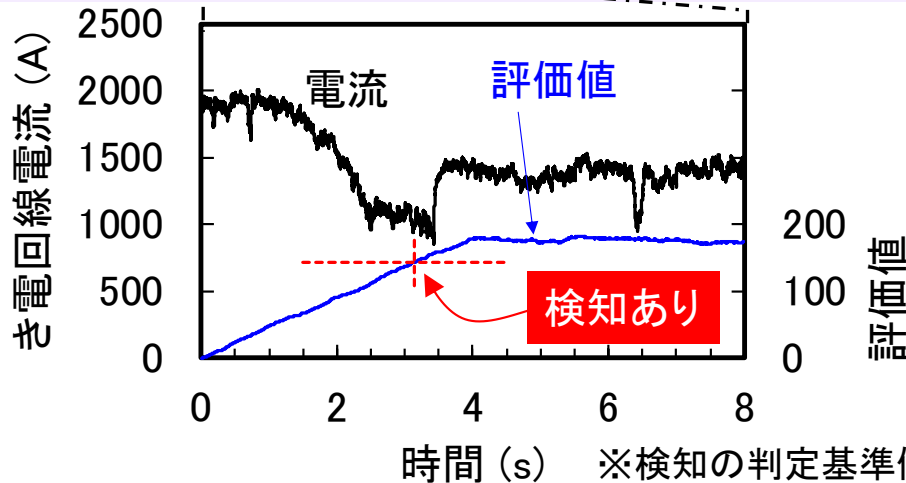
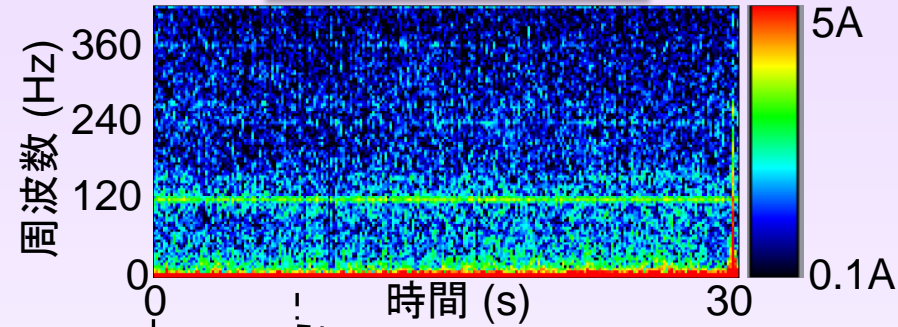
- ◆ 計算負荷が小さい汎用要素のみで構成
- ◆ 説明可能性の担保…事故の事後検証必要性も考慮

実事故電流波形データによる検証

事故回線(12H)



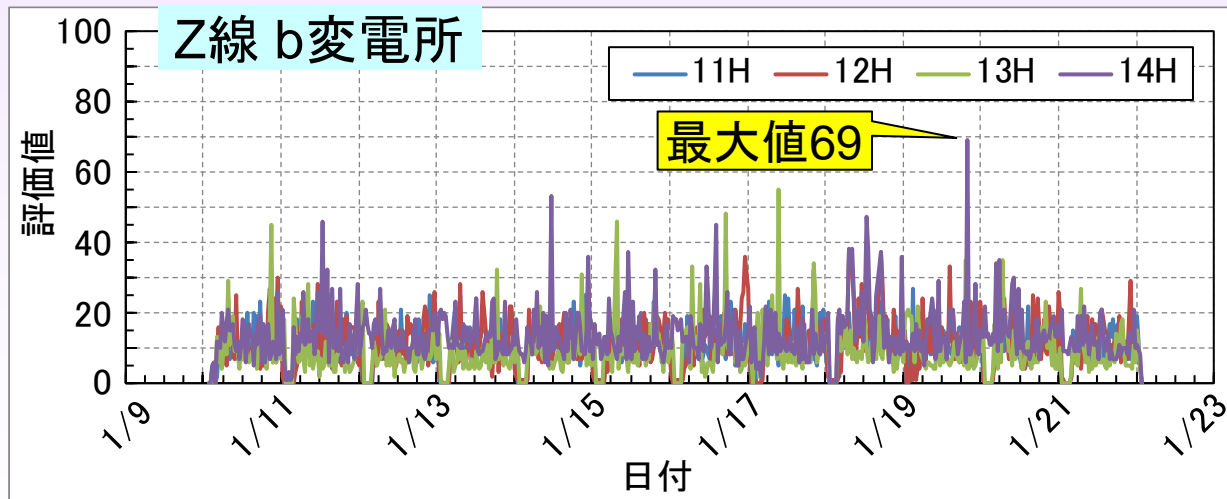
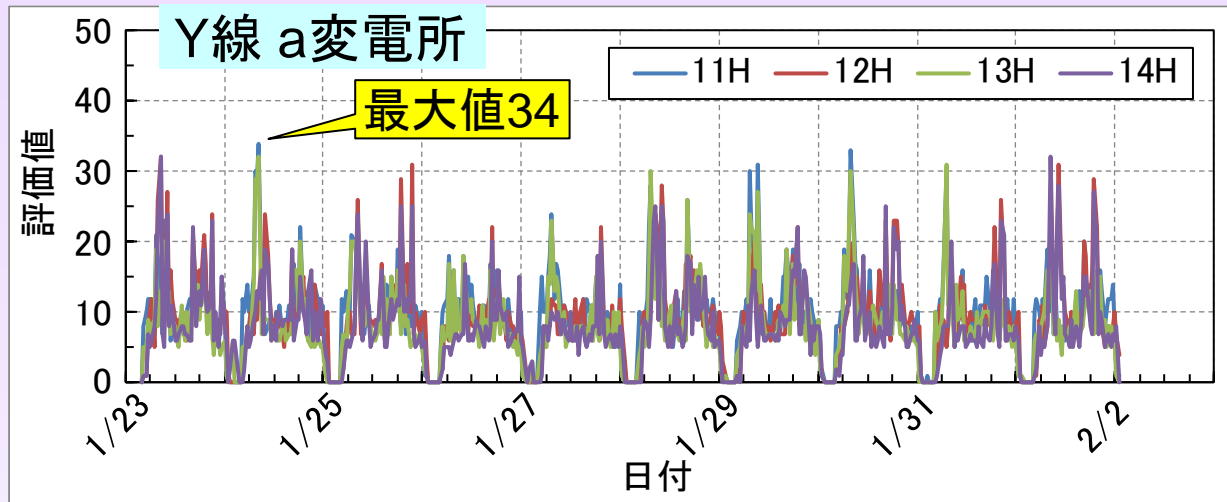
正常回線(11H)



時間 (s) ※検知の判定基準値は次頁による

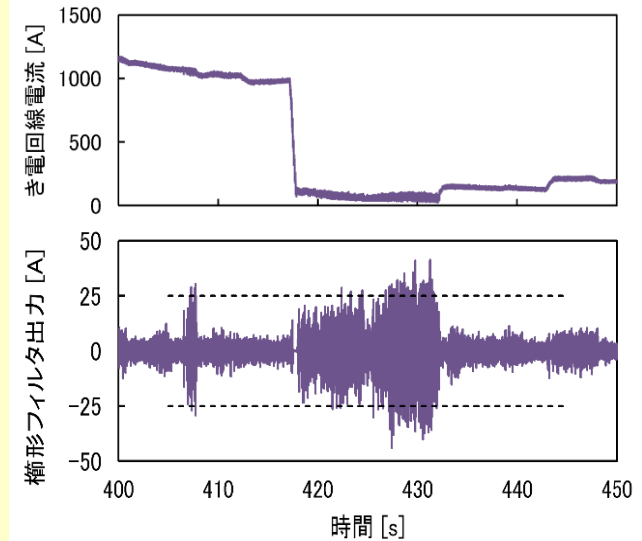
事故回線と正常回線には有意差、アークを伴う1000A以上の地絡では妥当

不要動作可能性の検討



実故障データの半分程度の評価値。
⇒不要動作の可能性は低い。

最大値69発生時状況



列車が惰行中に揺らぎ発生
 実用化のためには、このような
 事象を知るために、ある程度
 のモニターランなどが必要。
 (50F整定・54F目盛値策定に
 おける負荷管理と類似)

現地模擬人工故障試験(約100A)

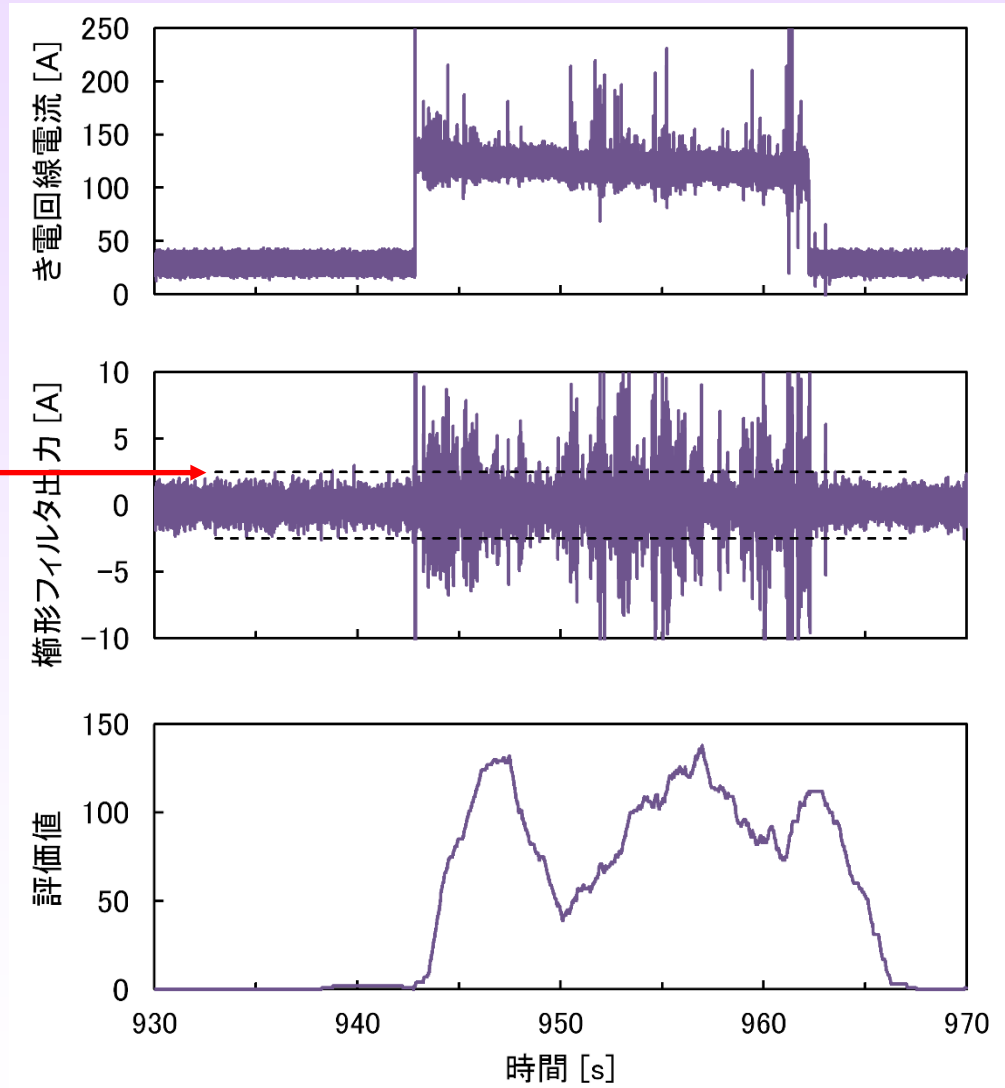


電流しきい値を **2.5A** に変更
※不要動作しない値(**25A**)の10分の1

感度を極端に高めれば、原理的には検出可能。

しかし、この設定では**平常営業時に不要動作**する。

⇒**100A程度の小電流**の高抵抗地絡故障の検出と、**定時・安定輸送との両立**は、本方式では難しい。



検出アルゴリズムの適用範囲

適用不可
(実用的でない)

検出は不可能ではないが
不要動作とのトレードオフ

検出可(今回成果)
ただし、激しい**大気中**
アークが生じる場合に限る

高抵抗地絡としての検出は不要
現行の故障選択装置(ΔI 形)で検出可

500A程度

1000A

3000A

回線電流

コンクリート柱上のカラス営巣

橋上駅舎、ホーム上屋鉄骨など
大きな接地構造物への地絡

万能ではないが、現行の ΔI 方式ではカバーできない領域の一部を補完し、短時間での検知で事故被害の軽減が可能。

※現時点では直流1500V方式、4~8両編成の旅客路線でのみ検証

Railway Technical Research Institute



まとめ

- 大電流の大気中アークを伴う直流高抵抗地絡を検出するアルゴリズムを提案。
 - 1000A程度以上、検知まで5秒程度
 - 不要動作の可能性は低い。
- 変電所での計測で完結。
 - 電車線路は現状設備のままよい。
- ただし、万能ではない。
 - 小電流の地絡(100A程度)は、平常時の定時・安定輸送とのかねあい上、検出できない。
 - 車両の特性の影響を受ける。

成果の活用

- 直流高抵抗地絡の検知が、部分的ながらも可能となる。
 - 1000A以上、大気中アークを伴うことが条件。
- 地絡事故時に、沿線機器・設備の大規模な焼損といった被害の軽減が期待できる。

参考文献

森本大観、樋口靖展、赤木雅陽：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