

センサ内蔵開閉器を用いた 短絡点推定手法の一考察

産業技術総合研究所 児玉安広
葛尾創生電力株式会社 植村 篤

2026年3月13日
令和8年 電気学会 全国大会

NATIONAL INSTITUTE OF
ADVANCED
INDUSTRIAL
SCIENCE &
TECHNOLOGY

1. 目的
2. 短絡点推定に対する著者らの取り組み
3. 提案手法
4. シミュレーション条件
5. シミュレーション結果と考察
6. まとめと今後の課題

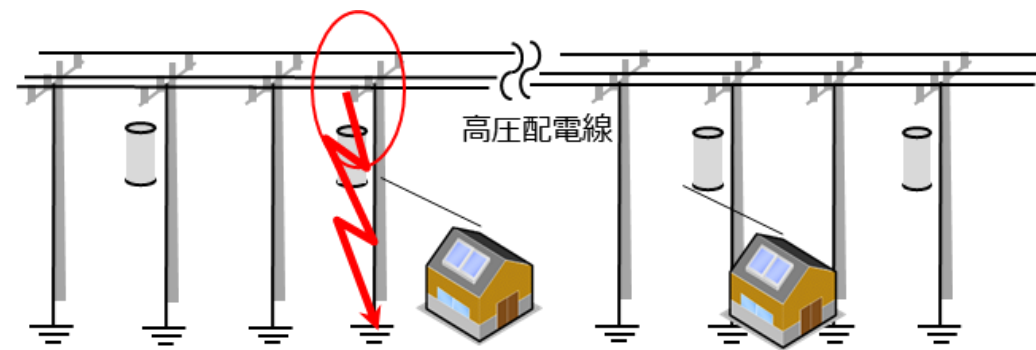
1

目的

● 配電線の故障モード

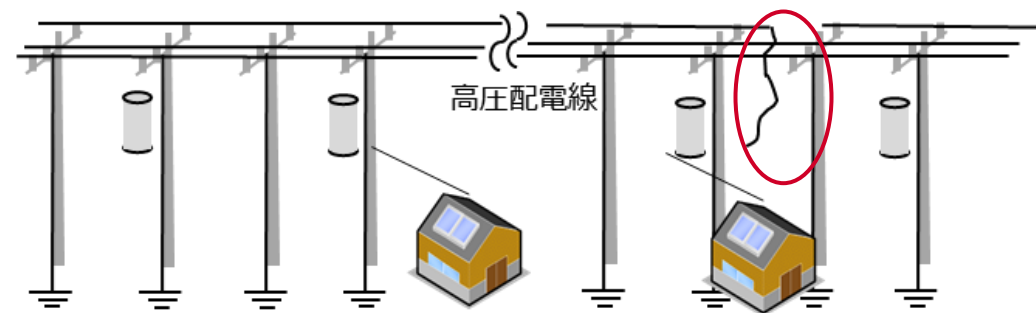
(1)地絡：電気が漏れる

- ・ 問題：公衆安全と機器の保護
- ・ 検出方法：地絡電流を配電用変電所で検出



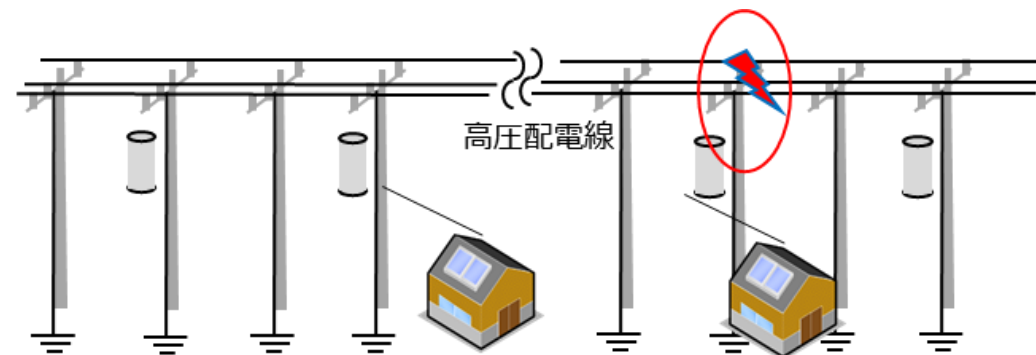
(2)断線：電線が切れる

- ・ 問題：公衆感電と電力の供給支障
- ・ 検出方法：センサ開閉器で電圧変化を検出



(3)短絡：電線同士が接続

- ・ 問題：大電流通過による配電機材の保護
- ・ 検出方法：配電用変電所で過電流を検出



● 現状の短絡点探査手法

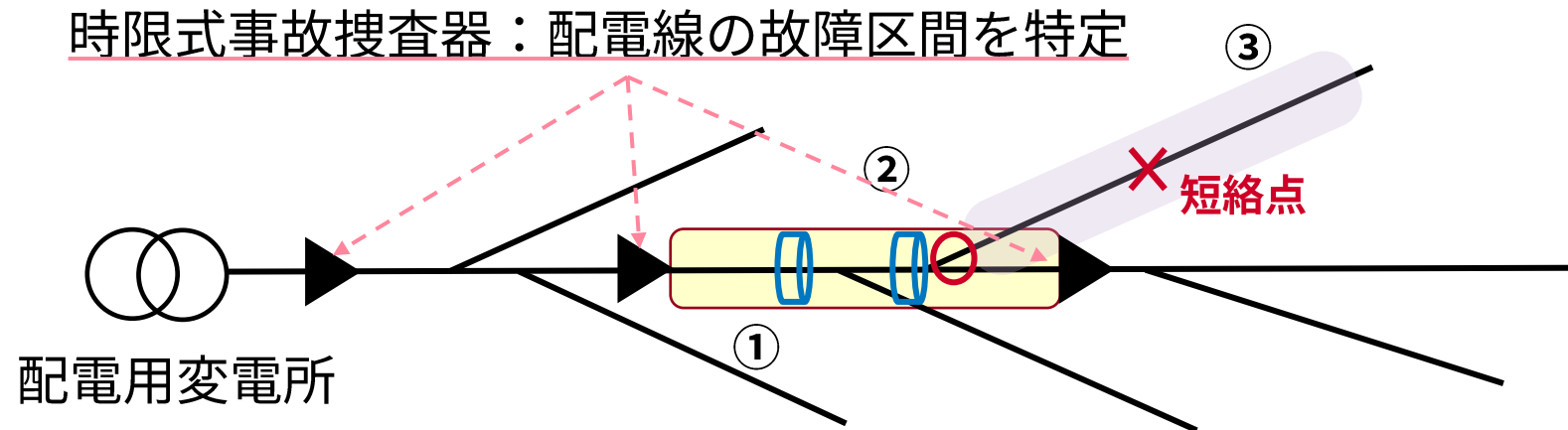


図 地絡点を特定するための手順

①自動化対応
時限式事故捜査器により
特定区間に絞り込み



②人的対応
過電流通過表示器 (SI) の
動作有無を確認し
範囲を絞り込み



③人的対応
絞り込んだ範囲から
短絡点を目視や
事故捜査器で調査

● 故障点検出に要する時間

- ・ 地絡点探査時間：現場到着後、発生頻度の高い内部不良の発見に45分
→ **更なる地絡点探査時間の短縮が必要**

● 課題

- ・ 人的な労力を有す
 - ・ 停電時間の長期化
- } 故障点を発見する手法の開発が必要



- 短絡故障をターゲットとして、短絡点を推定する手法を検討
- 短絡発生時に異常検出線の配電用変電所（SS）側で測定される電圧の大きさから短絡点を推定する手法について検討
- 異常検出線で測定される電圧から短絡点を推定できる簡易な手法

2

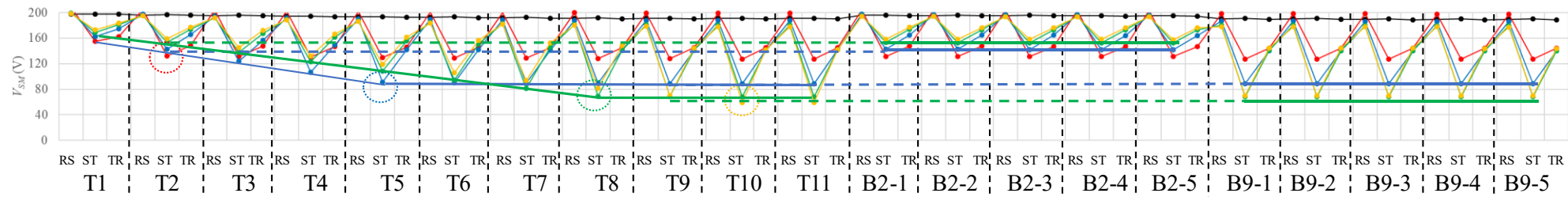
短絡点推定に対する著者らの取り組み

- 電圧変化：スマートメータで測定される電圧から短絡点を推定
- 異常検出線：異常検出線に誘起される電圧の大きさから短絡点を推定
- 線路リアクタンス：配電線の線間に交流電圧印加による短絡点推定手法
- センサ内蔵開閉器を用いた短絡点推定手法の一考察

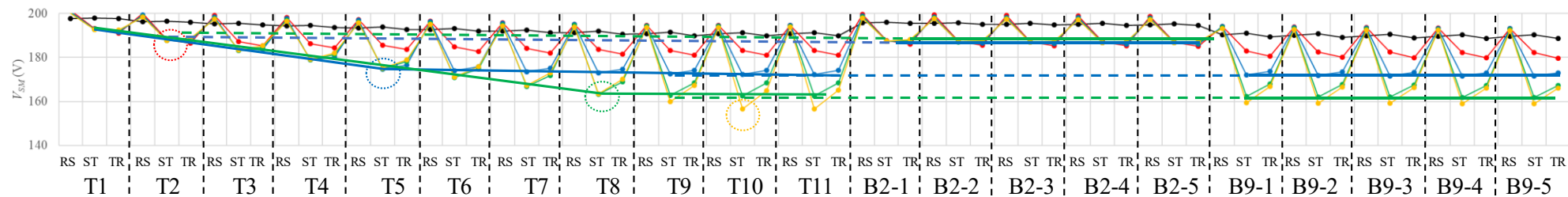
2.短絡点推定に対する著者らの取り組み

○スマートメータで測定される電圧から短絡点を推定

- ✓ 短絡電流発生時、短絡点に向かって大電流が配電用変電所から短絡点に流れ、高圧線に電圧降下が発生し、この電圧を低圧需要家のスマートメータで検出
- ✓ 配電用変電所から短絡点に向かって電圧が低下、短絡点よりも末端側は一定
⇒この変化点が短絡点（図の点線○に注目）



(a)短絡抵抗：1 Ω

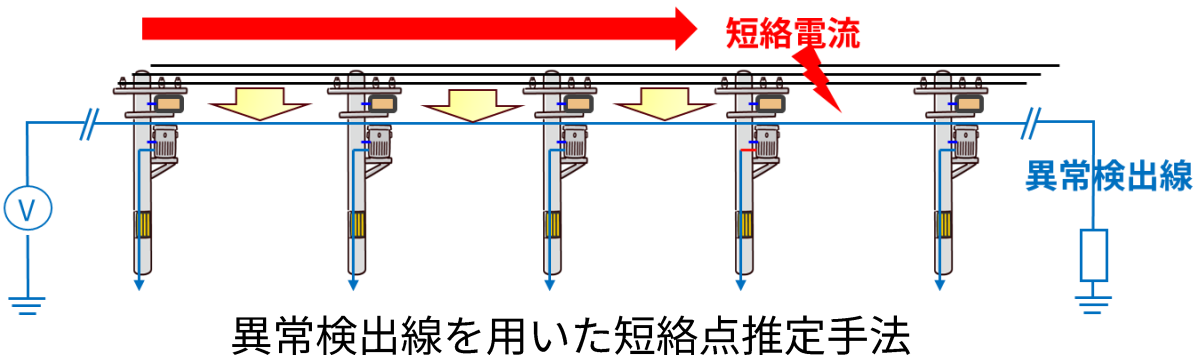


(b)短絡抵抗：8 Ω

2.短絡点推定に対する著者らの取り組み

○異常検出線に誘起される電圧の大きさから短絡点を推定

- ✓ 高圧線下に故障が発生した際に故障電流を検出するための「異常検出線」を施設
- ✓ 短絡発生時に高圧線に流れる電流を起因とする「電磁誘導電圧」が異常検出線に発生
⇒異常検出線の大きさから短絡点を推定

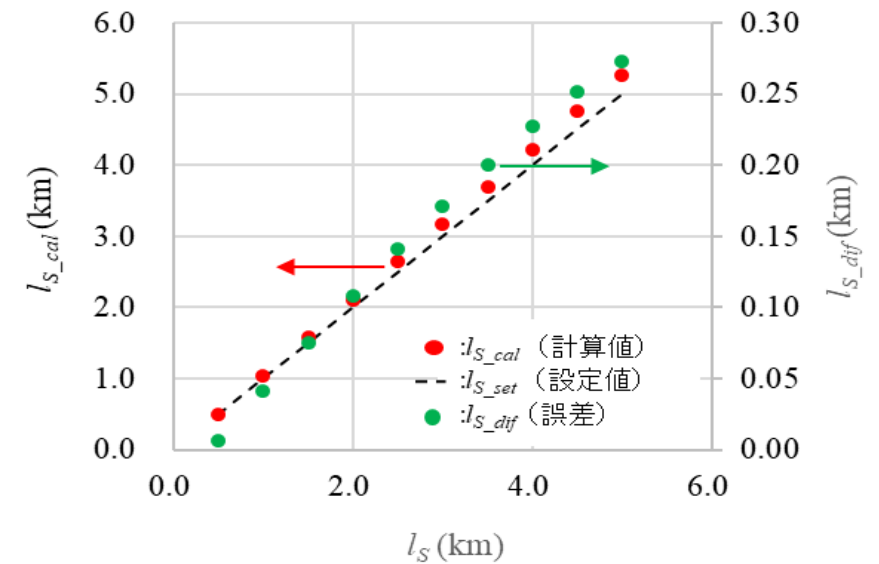


- 地絡発生後：各相に流れる短絡電流を起因
⇒電磁誘導電圧が異常検出線に発生

$$V_M = 2\pi f \times (M_R I_{S_R} + M_S I_{S_S} + M_T I_{S_T}) \times l_S \dots (1)$$

- 地絡発生後の l_S の推定：(1)式と(2)式から l_S の算出式

$$l_S = \frac{V_{R1_A} - V_{R1_B}}{2\pi f \times (M_R I_{S_R} + M_S I_{S_S} + M_T I_{S_T})} \dots (2)$$

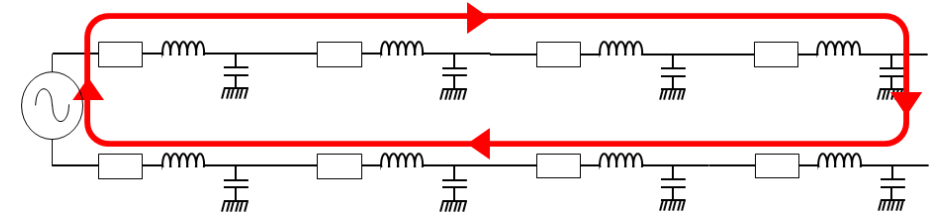


- (2) 式を用いて、短絡点距離を推定
→ M_R M_S M_T を用いてある程度の誤差範囲内（最大250 m）で短絡点を推定できることを示唆

2.短絡点推定に対する著者らの取り組み

○短絡発生時のインダクタンスを活用

- ✓ 短絡発生後の停電状態で本手法を適用
- ✓ 交流電源を印加し、電力と電圧、電流から力率を計算
- ✓ インピーダンスと力率を利用して、リアクタンスを算出
⇒単位長さ当たりのリアクタンスで除し短絡点距離を推定



短絡発生時の等価回路

- $\cos\theta$ を算出：電力Pと V_{rms} 、 I_{rms} から $\cos\theta$ を算出

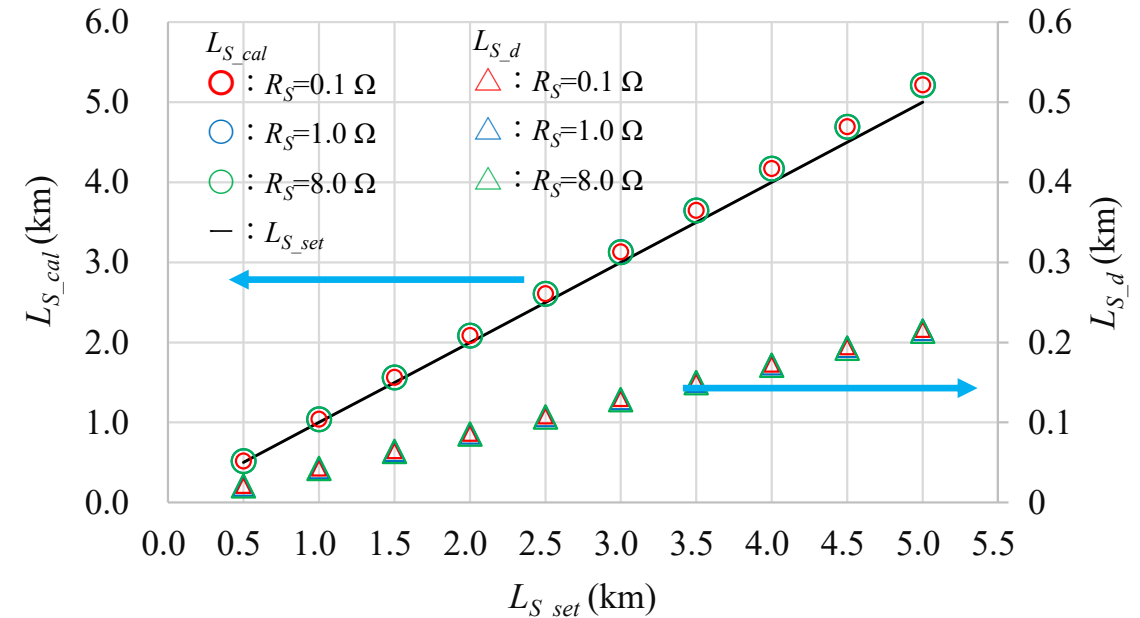
$$P_{rms} = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos\theta \dots (1)$$

- リアクタンス X_S を算出： Z_S と $\sin\theta$ から X_S を算出

$$Z_S = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} (\cos\theta + j\sin\theta) = R_S + jX_S \dots (2)$$

- 短絡点距離 L_S ： X_S を単位長さ当たりのリアクタンス X_u で除す

$$L_S = X_S / X_u \dots (3)$$



3

提案手法

3.提案手法

○短絡発生時にセンサ内蔵開閉器に流れる電圧と電流の位相差から短絡点を推定

- ✓ 短絡発生時の電圧 V_{SC} と電流の I_{SC} 波形を測定し、これらの位相差 $\cos\theta$ を計算
- ✓ インピーダンスと $\cos\theta$ を利用して、リアクタンス L_{SC_l} を算出
⇒ 単位長さ当たりのリアクタンス L_0 で除し短絡点距離を推定

- $\cos\theta$ を算出：電力 P_{SC} と V_{SC} 、 I_{SC} から $\cos\theta$ を算出

$$P_{SC} = V_{SC} \times I_{SC} \times \cos\theta \dots (1)$$

- リアクタンス X_S を算出： Z_S と $\sin\theta$ から X_S を算出

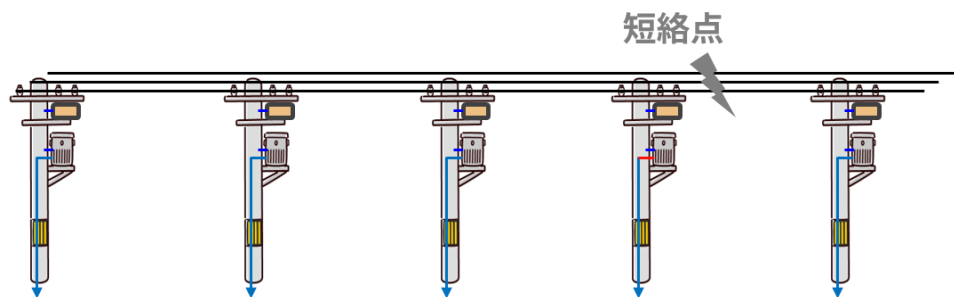
$$Z_{SC} = \frac{V_{SC_max}}{I_{SC_max}} \times (\cos\theta + j\sin\theta) = R_{SC_l} + j\omega L_{SC_l} \dots (2)$$

- 短絡点距離 l_{SC} ： L_{SC_l} を単位長さ当たりのリアクタンス L_0 で除す

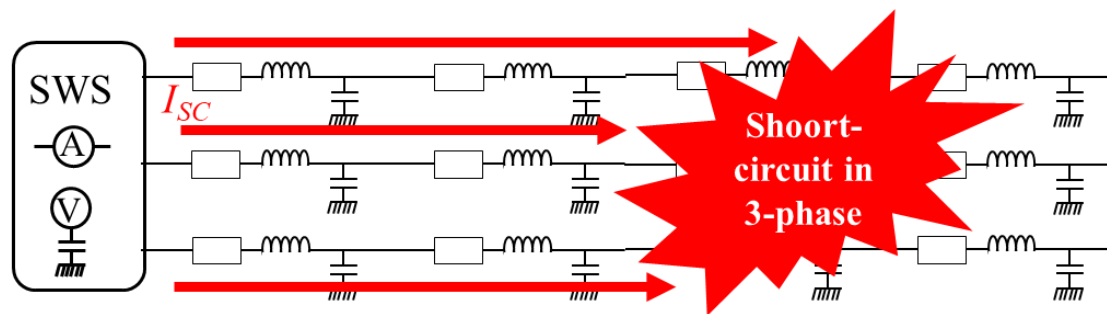
$$l_{SC} = (L_{SC_l} - L_{SS}) / L_0 \dots (3) \quad L_{SS} : \text{配電用変電所のリアクタンス}$$

- 線路抵抗やインダクタンスと $\cos\theta$ の関係

$$\cos\theta = (R_{SC_l} + R_{SC}) / \sqrt{(R_{SC_l} + R_{SC})^2 + (\omega L_{SC_l})^2} \dots (4)$$



短絡発生後の停電状態⇒交流電圧を印加



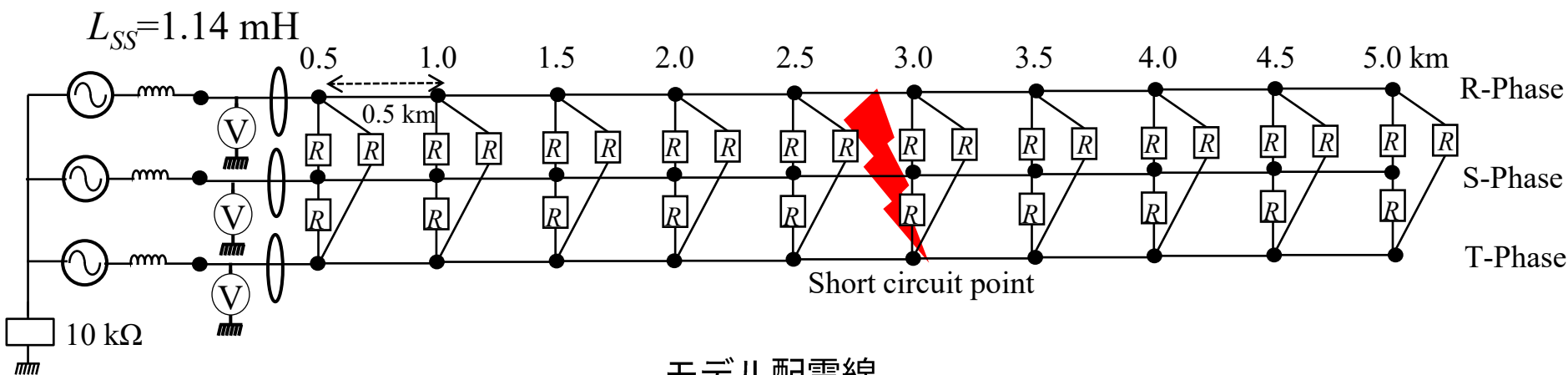
短絡発生時の等価回路

4

シミュレーション条件

● モデル配線

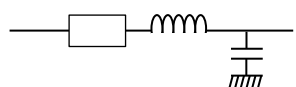
- 電圧線間：6.6 kV、亘長：5km、負荷：0.5 km毎（T1からT10）に各線間に500 Ωの三相負荷を設置
- 短絡抵抗値：0.1、8.0 Ω



高圧線の線路定数

High-Voltage Line	
$R_S (\Omega/\text{km})$	$X_S (\Omega/\text{km})$
1.24×10^{-1}	2.91×10^{-1}

モデル配電線



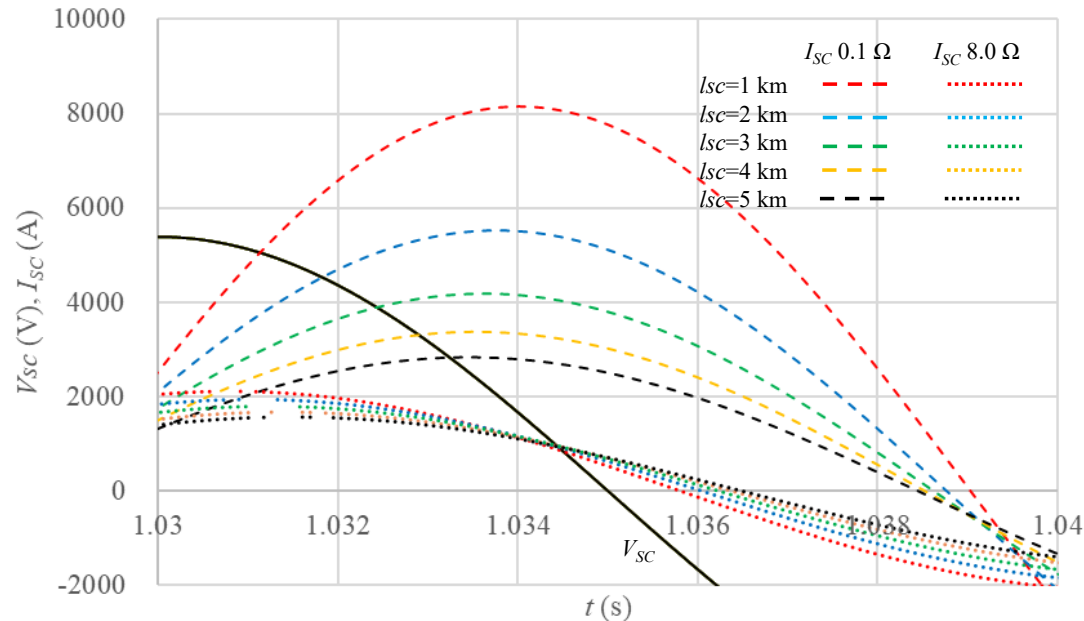
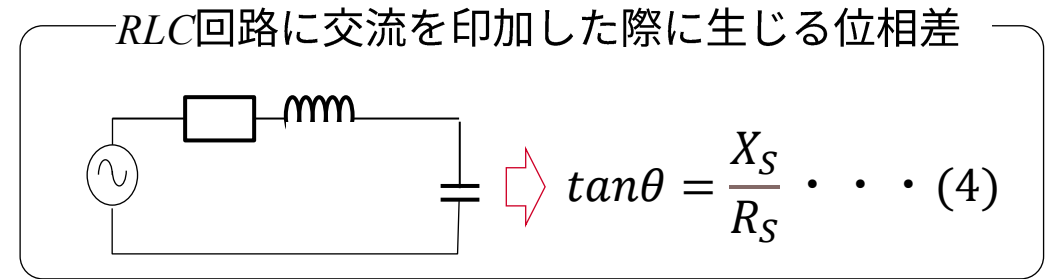
:配電線路の模擬：抵抗、リアクタンス、キャパシタンスで模擬。キャパシタンスは抵抗とリアクタンスと比較して十分大きいいため考慮しない

5

シミュレーション結果と考察

○シミュレーション結果

- ✓ 短絡点が電源から遠くなると電圧と電流のゼロクロス点の時間差は大きくなる
⇒(4)式からリアクタンスが大きくなるため



$R_{SC}=0.1、8.0 \Omega$ における短絡点距離と電圧と電流の位相

$R_{SC}=0.1 \Omega$

- l_{sc} が長くなる⇒ V_{SC} と I_{SC} の位相差は小さく
力率が良くなる

$R_{SC}=8.0 \Omega$

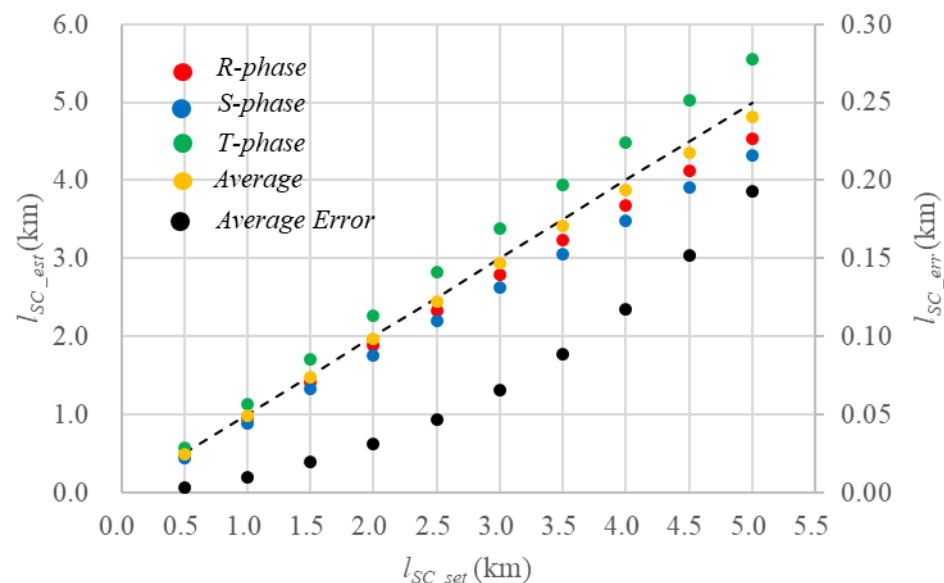
- l_{sc} が長くなる⇒ V_{SC} と I_{SC} の位相差は大きく
力率が悪くなる

各相から l_{sc} を算出

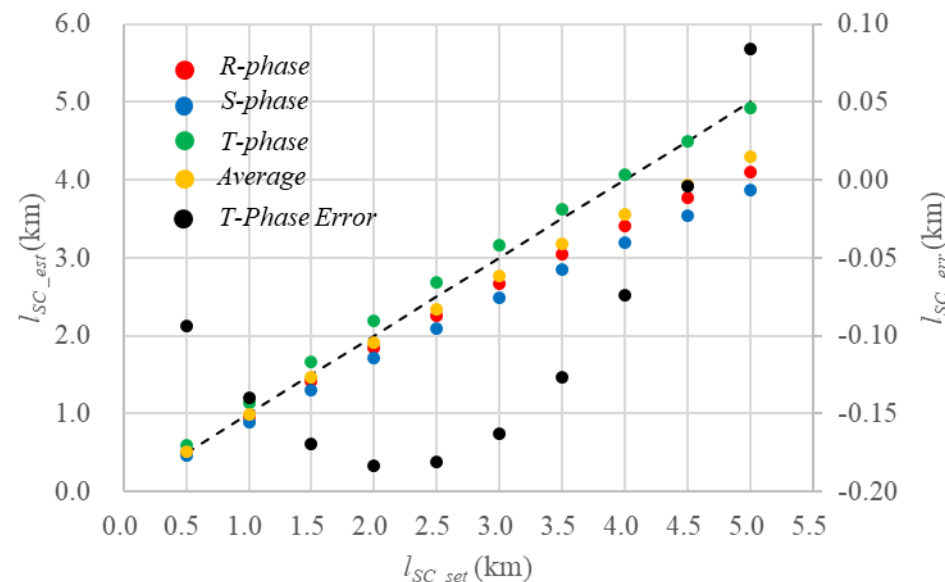
- ➔実現現場での運用を加味し、0.2km以下の誤差を目標

○短絡点推定結果

- ✓ $R_{SC}=0.1 \Omega$: 三相平均値の算出結果が最も誤差少なく l_{sc} を推定
- ✓ $R_{SC}=8.0 \Omega$: T相の算出結果が最も誤差少なく l_{sc} を推定



(a) $R_{SC}=0.1 \Omega$



(b) $R_{SC}=0.8 \Omega$

l_{sc_set} と各相とその平均値から求めた l_{sc_est} 、 l_{sc_err} の関係

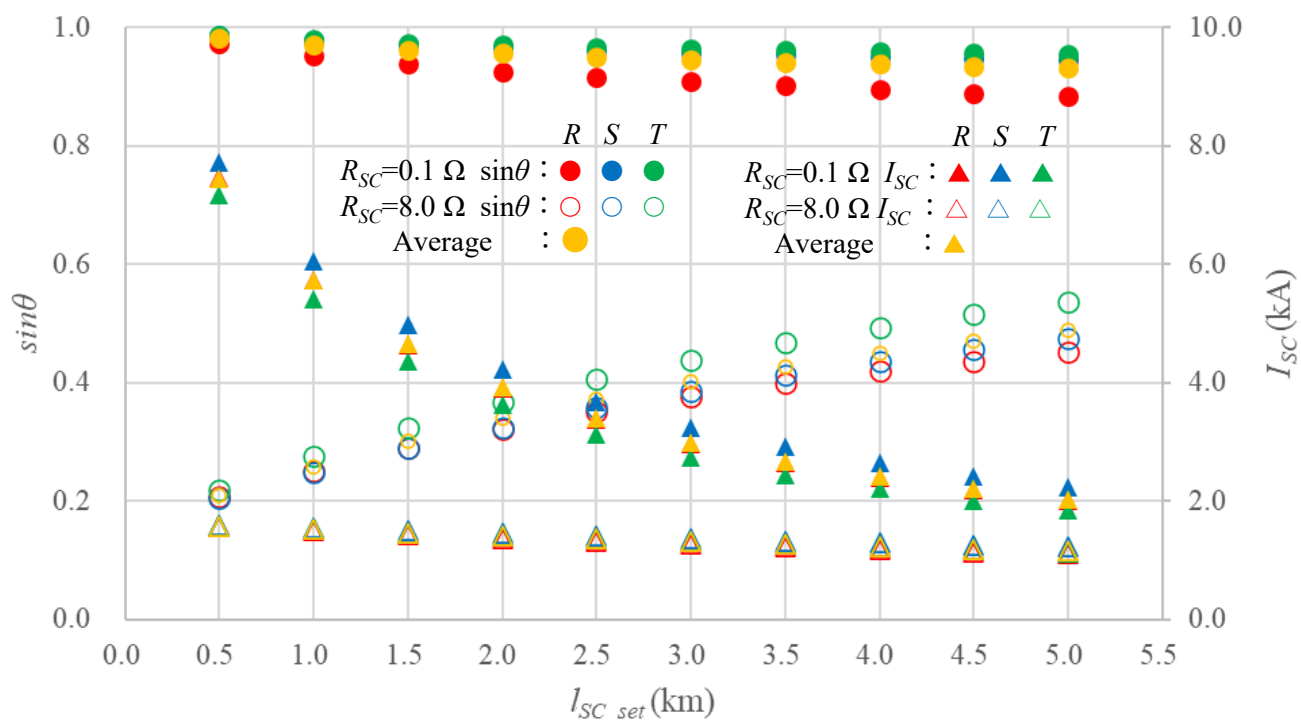
- l_{sc_set} に対し、T相は長く、R,S相は短く推定
⇔ 推定結果にばらつきがある
- 平均値が最もよい ⇒ l_{sc_err} 最大で 0.20 km
- l_{sc_set} に対し、T相は精度良く推定、R,S相は短く推定
⇒ T相が精度よく推定でいる要因？
- T相が最もよい ⇒ l_{sc_err} 最大で -0.18 km

○短絡点推定結果

- ✓ $R_{SC}=0.1 \Omega$: 三相平均値の算出結果が最も誤差少なく l_{sc} を推定
- ✓ $R_{SC}=8.0 \Omega$: T相の算出結果が最も誤差少なく l_{sc} を推定

各相の線路インダクタンス

	X_{SC_l} (km)
R	3.02E-01
S	3.10E-01
T	2.86E-01



l_{SC_set} と $\sin\theta$ 、 I_{SC} の関係

○ $R_{SC}=0.1 \Omega$

- l_{sc} : 各相のばらつきがある
 ⇨ 高圧線各相間の作用インダクタンスの影響
- l_{sc} の算出 : ばらつきの均平化が必要
 ➔ I_{SC} のばらつきが影響

○ $R_{SC}=8.0 \Omega$

- l_{sc} : T相が最もよい条件を検討
- R_{SC} が大きいいため、リアクタンスが影響を受ける
- l_{sc} の算出 : インダクタンスを最も大きくなる条件が必要

6

まとめと今後の課題

●まとめ

- 短絡発生時に配電線に設置されているセンサ内蔵開閉器を活用し、計測される電圧と電流の位相差から短絡点を推定する検討を実施
- 既存の設備を利用して短絡点を効率的に推定できる手法
- 短絡抵抗が小さい時は、算出した各相短絡点距離の平均値
- 短絡抵抗が大きい時は、電圧と電流の位相差が最も小さい値を用いて短絡点距離を算出することで推定精度を向上

●今後の検討事項

- 実用化に向けた検討を行うために0.1から8.0 Ωの間の短絡抵抗における検討を実施
- 誤差の要因を明確にするための検討の深堀を実施

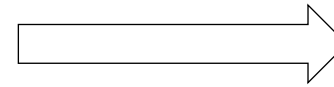
謝 辞

本研究は、福島国際研究教育機構(F-REI)の委託研究費 (JPFR2507113) により実施した。

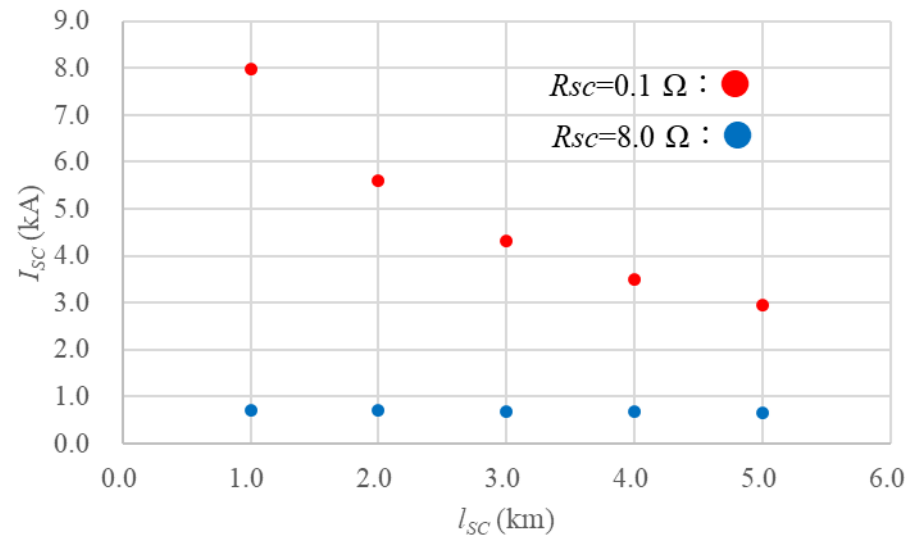
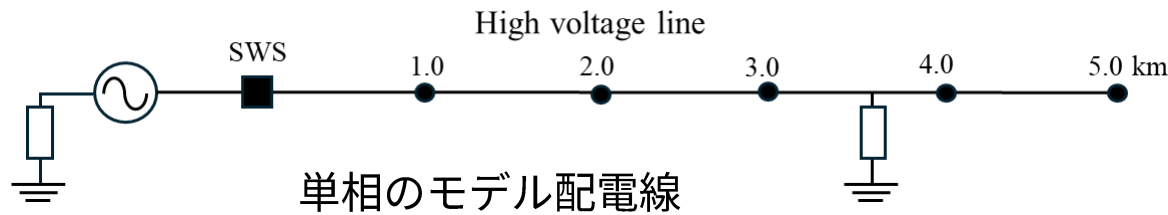
4.シミュレーション結果と考察

○単相回路にを用いた検証

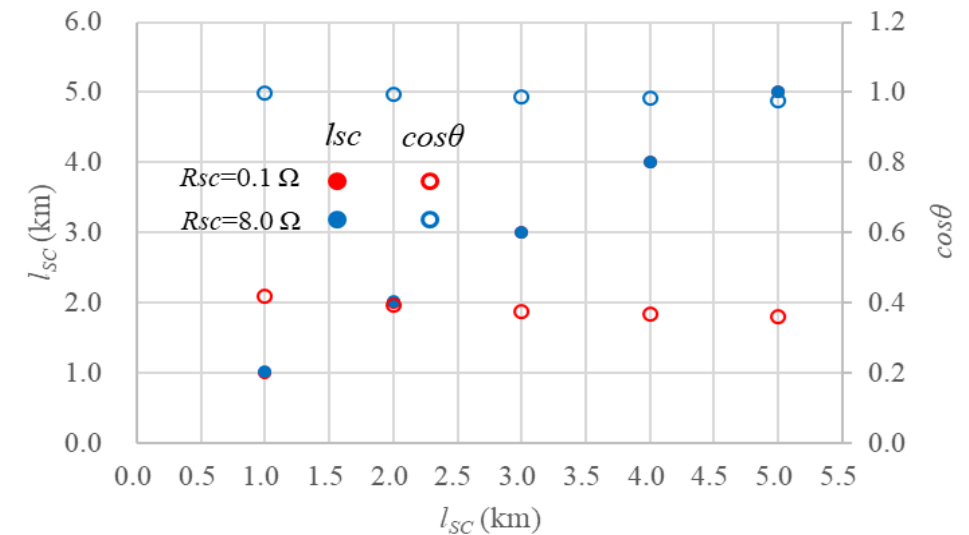
- ✓ R_{SC} が大きくなる $\Rightarrow \cos\theta$ は1に近づく
- ✓ l_{SC} が大きくなる $\Rightarrow \cos\theta$ はわずかに減少
- ✓ $\cos\theta$ を用いて $\Rightarrow l_{SC}$ を精度よく推定可能



提案手法により**短絡点推定**が可能



l_{SC} に対する I_{SC}



l_{SC} に対する $\cos\theta$ と l_{SC}