

第14回
JICE 研究開発助成 成果報告会

テラヘルツ波方式によるエクストラード橋の 健全性診断に関する研究

東北大学 大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻
教授
小山 裕(おやま ゆたか)

成果の概要

エクストラード銅橋 外ケーブルと構造が酷似したポリエチレン被覆電線を模擬供試体として、内部素線の破断・腐蝕状態を可視化することが出来た。
絶縁被覆の外から、非破壊・安全に検査することが可能。

0.5mm～1mm以下のクラック断線検出可能
腐蝕状態を定量的に把握することが可能

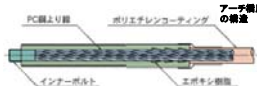
クラック・断線検出シミュレーション:幾何光学的シミュレーションにて、反射測定結果をシミュレート

エクストラード橋 外ケーブル 腐食・断線 非破壊健全診断
ポリエチレン被覆 金属撚り線 可視化



絶縁被覆電線
内部素線破断と可視化

アーチ橋用 吊りケーブル等も同様の構造



絶縁被覆電線の内部素線断線部検出

絶縁電線試料⇒外ケーブルと構造が酷似

側面図



内部素線 撚り線構造
PETフィルムで覆われている
最外素線は6本

断面図



被覆 ポリエチレン絶縁被覆

断線試料



①一度被覆を剥ぎ取る
(PETフィルムはそのまま)



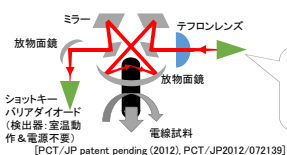
引張



③再び被覆を装着し、
断線試料とする

あける間隙の大きさを変えることで異なる断線状態を再現可能

サブテラヘルツ波反射イメージング測定装置



- 光源(室温で動作。消費電力10W程度)
Gunnダイオード
IMPATTダイオード
- 偏光方向: 鉛直方向

実験方法

一定間隔で試料を回転・移動させながら各位置にて反射強度測定
→ 反射イメージング像の作製

測定条件

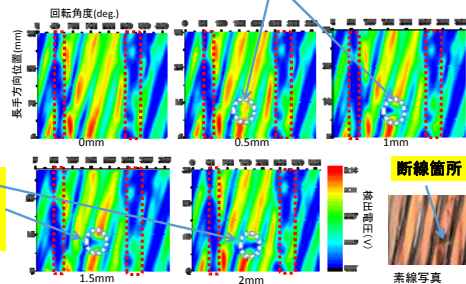
回転角度ステップ: 3.6°
長手方向ステップ: 0.2mm
長手方向測定範囲: 10mm

雰囲気: 室温
大気中

5

140GHz測定結果

➢ 絶縁被覆の外からイメージング



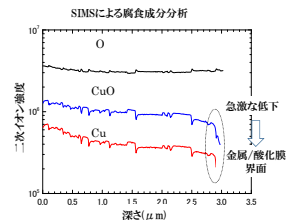
結論
断線は、被覆を被ったまま、1mm以下程度まで検出可能

絶縁被覆電線の内部素線 腐蝕度の非破壊判定

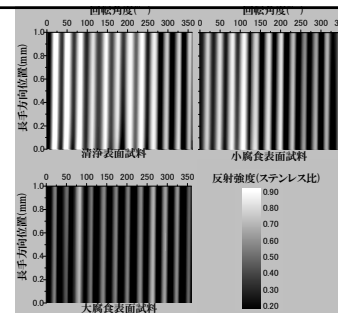


素線表面写真

* SIMS:
Secondary Ion Mass Spectroscopy
二次イオン質量分析計

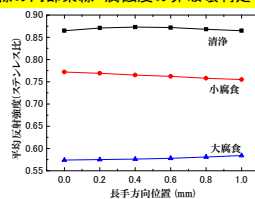


銅素線表面付近のSIMS分析プロファイル



テラヘルツ反射強度の銅素線腐蝕程度測定結果
腐蝕度の進行とともに、反射強度が低下する⇒腐蝕程度の定量検査が可能

絶縁被覆電線の内部素線 腐蝕度の非破壊判定



内部銅素線の腐蝕程度による、テラヘルツ反射強度の変化。
絶縁被覆付の状態にて測定された。
腐蝕の進行とともに、テラヘルツ反射強度が減少する
⇒腐蝕度の定量評価が可能。

幾何光学計算による断線素線からの反射強度変化

計算モデル

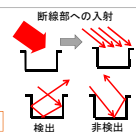
直方体断線素線モデル



入射波中心は常に素線中央線上

計算方法

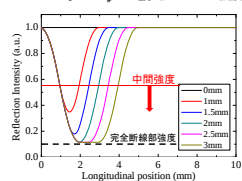
入射波を多数の波の集合と考え、各入射波要素についてそれぞれ幾何光学的に反射波が検出されるかを計算(断線部の側面、下面の素線による反射率は1と仮定)
⇒ 検出される入射波要素の反射強度を足し合わせにより、その時の入射波の反射強度を計算
照射位置を長手方向に移動させ、各位置で計算を行う



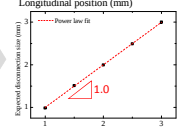
計算条件

入射波 → 平行ビーム、入射角20°、ガウス分布ビーム強度($\propto \exp(-x^2)$)
測定範囲 → ビーム端が断線部に当たる位置から長手方向に10mm

ビーム幅2mmの場合(140GHz-波長2.1mm)



両対数プロット



実験結果においても、140GHzでは1mm以上の断線を検出可能であった

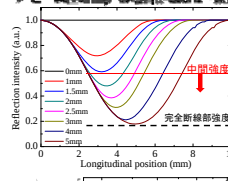
非断線部での反射強度を1として規格化
断線部で反射強度の低下
断線が大きいほど低反射強度部分が広がる

断線2mm以上の計算結果→最低強度が横ばい
⇒完全に断線部へのみ照射
断線サイズに対して十分に集光

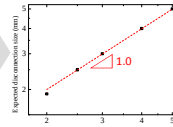
非断線部(断線0mm)での強度=1.0と完全断線部(最低強度)との中間強度以下の範囲
⇒計算結果による断線の大きさと仮定

1mm以上の断線に対して
設定した断線の大きさに1.0に比例
1mm以上の断線の定量的検出可能性

ビーム幅3mmの場合(60GHz-波長4.9mm)



両対数プロット



断線部で反射強度の低下
断線が大きいほど低反射強度部分が広がる
同様の特徴

中間強度以下として仮定した断線の大きさ
設定した断線の大きさ

両対数プロット
2mm以上の断線: 傾き1.0
2mm以上の断線については定量的検出の可能性

60GHzの実験結果では、3mm程度の断線からは検出可能
実験において、集光が十分にされていない可能性

結論

絶縁被覆電線(外ケーブル構造の模擬供試体)の内部素線状態

0.5mm～1mm以下のクラック断線検出可能
腐蝕状態を定量的に把握することが可能

クラック・断線検出シミュレーション:幾何光学的シミュレーションにて、
反射測定結果をシミュレート

外部発表

【論文2件】

テラヘルツ波の非破壊検査応用
[日本工業出版 検査技術,18(5), (2013), 1-5]
高橋星也、小山裕

Observation of damage in insulated copper cables by THz imaging.
[NDT&E International,61,(2014),75-79]
Seiya Takahashi, Tomoyuki Hamano, Kaori Nakajima, Tadao Tanabe, Yutaka Oyama, 10.1016/j.ndteint.2013.10.004

【学会発表4件】

第74回応用物理学会秋季大会 同志社大学京田辺キャンパス 2013.9.16～9.20
テラヘルツ方式による絶縁被覆電線の素線断線可視化技術 ポスター
中村悠太、高橋星也、小山裕

第163回日本金属学会 金沢大学角間キャンパス 2013.9.17
テラヘルツ波方式による絶縁被覆電線の素線断線可視化技術 ポスター
高橋星也、中村悠太、小山裕、田邊直生、浜野智之、中嶋かおり

第68回応用物理学会東北支部会 山形大学工学部キャンパス 2013.12.5～12.6
テラヘルツ波方式による絶縁被覆電線の素線断線可視化技術 Oral
高橋星也、中村悠太、田邊直生、前田健作、浜野智之、中嶋かおり、小山裕

電子情報通信学会・電子デバイス研究会 東北大学電気通信研究所 2013.12.16～2013.12.17
テラヘルツ波方式による絶縁被覆電線の素線断線可視化技術 Oral
高橋星也、中村悠太、田邊直生、前田健作、中嶋かおり、浜野智之、小山裕