

表面波モードに着目した漏洩同軸ケーブルによる降雨量検知のための電磁波理論の展開

東京大学 学生会員 ○水谷 司
 フェロー 藤野 陽三
 正会員 長山 智則
 正会員 西川 貴文
 三菱電機(株) 猪又 憲治
 仲嶋 一
 辻田 亘

1. 研究背景と目的

局所的集中豪雨による災害のリスクを軽減するために、即時的な降雨量同定による警報発令などの措置が必要となるが、既存のシステムでこれを達成するには、精度・コストの面での制約上困難である。そのような中、既設の漏洩同軸ケーブル(LCX: Leaky Coaxial cable)を用いた物体検知システムが注目を集めている。LCXは、図1に示すように同軸ケーブルの外部導体表面に周期的に設けられたスロットから電磁波を放射する機構をもち、周波数により“放射モード”と“表面波モード^[1]”の2つの漏洩電磁界のモードを形成することができるVHF・UHF帯用アンテナである。物体検知システムは、このLCXを送受信用に2本平行に配置し、放射した電磁波の物体による散乱を、受信信号の変動で検知し、その位置を一次元的に同定するものである^[2]。従って、降雨量と受信信号との相関を定量的に把握することができれば、本システムを降雨量とその位置を同定するシステムに応用できると期待されている。そのため、300MHzで放射モードを形成した状態で過去様々な降雨実験が行われてきたが、壁面での放射波の反射などの影響で受信信号の挙動が複雑となり、降雨量の同定までには至らなかった^[3]。以上のような背景のもと、本研究では表面波のみで構成される表面波モードの降雨時の状態に着目して降雨量同定原理を提案し、その妥当性を理論的に検証することを目的とした。

2. 表面波モードの崩れを用いた降雨量同定原理の提案

図1のLCXの場合、周波数が約140MHzを下回ったときに、LCXの各スロットから均一に放射された電磁波が全方向において減殺的干渉を引き起こすことで、LCX表面から動径の増大に従い指数関数的に電界エネルギーが減衰し、表面波モードが形成される。しかし、もしスロット表面の水膜がその放射レベルに影響を与えるならば、降雨時にLCX表面に付着する水膜が不均一であるために、スロット間の放射レベルに分散が生じ、表面波モードが崩れ、減殺的干渉が乱れると考えられる。その結果、一部エネルギーの放射が生じ、漏洩電界強度の増大が見込まれるので、この増大量を観測することで、降雨量を同定できると予想した。

3. FDTD法による水膜の放射レベルへの影響分析

水膜がスロットの放射レベルに与える影響を定量的に評価するため、三次元1スロットLCXモデルに厚さ0.5~5.0mmの均一水膜を付着させ、電界分布の変化をFDTD法(Finite Difference Time Domain法)によりシミュレーションし調べた。吸収境界条件には2次のMurを使用し、伝送周波数は100MHzとした。シミュレーション結果の一例として、水膜厚さ0.5mmにおける動径断面の電界強度分布を図2に示す。そして、乾燥状態を基準にして、各水膜厚さにおけるスロット直上10.0mmの電界強度の変化量をプロットし線形回帰した結果が図3である。本結果より、水膜厚さの増大に従い単調に放射レベルが低下することが確認できる。

4. 解析解による表面波モードの崩れシミュレーション

次に、FDTD法による解析の結果得られた1スロットの放射レベル変化を複数スロットの漏洩電磁界の解析解に反映させ、降雨時の漏洩電界分布を仮想的に求めることにした。LCX表面におけるスロットの放射レ

キーワード 漏洩同軸ケーブル, 表面波モードの崩れ, 降雨量同定, FDTD法, シミュレーション

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1(東京大学内) TEL 03-5841-6099

ベル分布は、図4に示すように仮想的降雨量が増大するにつれ、ケース～の順に平均値が低下し分散が上昇すると予想した。平均値の低下量は、与えた各平均水膜厚さを図3の回帰曲線に代入し求めた。以上、図4の放射レベル分布を解析解のLCX表面上の電界分布の条件とし、動径 $r=0.2\text{m}$ におけるLCX長軸方向の漏洩電界分布を計算した。例として乾燥状態、ケースI、について計算した結果を図5に示す。注目すべきは、乾燥状態と比較して、仮想降雨時はスロットの放射レベルが平均的に低いにもかかわらず電界強度の高い点があることで、これは原理の提案で述べた通り、表面波モードの崩れにより一部エネルギーが放射したことが原因であると言える。さらに、図5のように各仮想降雨時の電界強度の最大値を抽出し、乾燥状態の値との差をプロットしたものを図6に示す。この図より、仮想的降雨量の増大に伴い電界強度の最大値が増大していることが読み取れる。以上より、現実にも降雨量の増大に伴いスロットの放射レベル分布の分散上昇が認められれば、図6の関係を用いて降雨量を同定できるので、今回提案した原理は妥当であるといえる。

5. 結論

今回は、表面波モードの崩れを用いた降雨量同定原理を提案し、その理論的検証を行った。その結果、降雨時のスロットの放射レベル分布についての予想の元、仮想的降雨量と漏洩電界強度との間に相関が見出されたため、提案した原理は理論的に妥当であるといえる。今後、本原理の現実の降雨への適用が期待される。

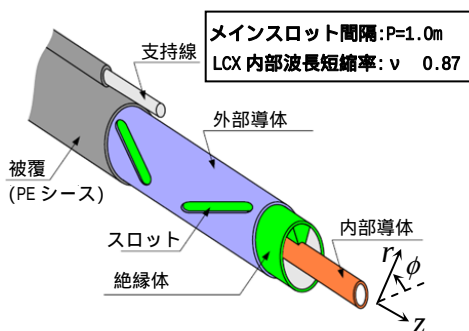


図1: LCXの構造

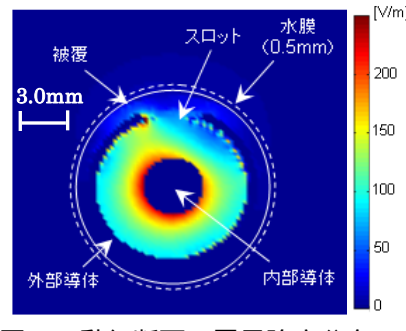


図2: 動径断面の電界強度分布

(水膜厚さ: 0.5mm, 周波数: 100MHz)

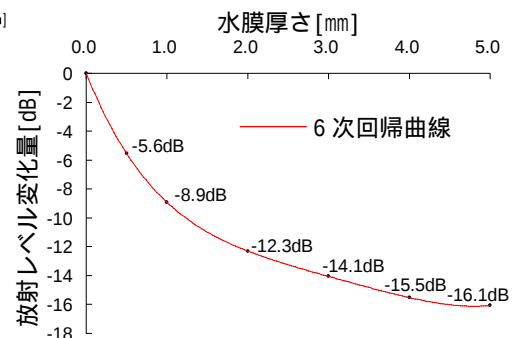


図3: 水膜の放射レベルへの影響

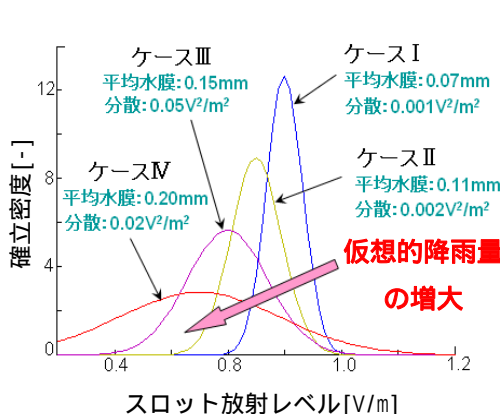


図4: スロット放射レベル分布

(乾燥状態の放射レベルを 1V/m とする。)

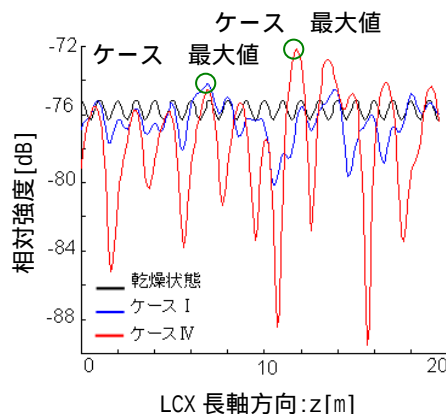


図5: $r=0.2\text{m}$ における z 方向電界分布

(周波数: 100MHz)

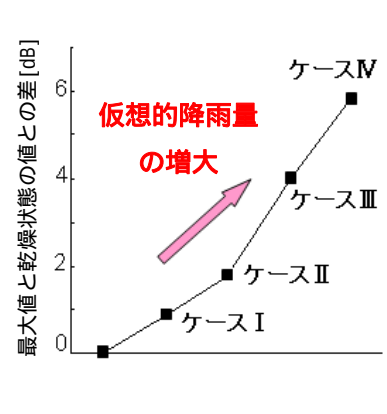


図6: 仮想的降雨量の増大に対する最大値の変化

参考文献

- [1] K. Inomata, T. Hirai, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, "Target Detection with Surface and Radiation Mode of Leaky Coaxial Cable," ISAP2007, vol. 2D4-3, pp. 510-513, Aug.2007.
- [2] K. Inomata, T. Hirai, K. Sumi, and K. Tanaka, "Wide-area Surveillance Sensor with Leaky Coaxial Cables," SICE-ICASE2006, pp. 959-963, Oct.2006.
- [3] T. Mizutani, Y. Fuke, Y. Fujino, and T. Nagayama, "An Experimental Study on Precipitation Measurements using Leaky Coaxial Cables," proceedings of EASEC-11 in Taipei, Nov.2008.