

機関番号：31101

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560364

研究課題名 (和文) 積雪空港におけるローカライザ アンテナの着雪・積雪問題に関する研究

研究課題名 (英文) A study on the effect of snow on Localizer Antenna in snowy region Airport

研究代表者

中田 和一 (NAKATA WAICHI)

青森大学経営学部経営学科・教授

研究者番号：00244898

研究成果の概要 (和文)：積雪空港のローカライザアンテナへの着雪の影響についてスケールモデルを用いた実験と FDTD 法による解析を行い、着雪時の LPDA アンテナ特性をシミュレーションによって評価できることを確認した。また、降雪状況や地形を考慮することでコース特性を解析するシミュレータの開発を行い、青森空港での積雪時のコース変動事例を評価できることが確認された。

研究成果の概要 (英文)：To investigate the effect of snow on Localizer Antenna in snowy region airport, the field experiments using a scale model LPDA (Log Periodic Dipole Antenna) and analysis based on FDTD method were conducted. From the comparison between the results of experiment and analysis, the effectiveness of FDTD simulation of LPDA covered with snow was confirmed. New simulator for analyzing the course characteristic of localizer system considering snow and ground conditions (snow depth, snow dielectric properties, ground slope, runway slope etc.) was developed and confirmed to be available for evaluating a course variation case in Aomori Airport.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信ネットワーク工学

キーワード：ILS、ローカライザ、LPDA、積雪誘電率、FDTD、コース偏位

1. 研究開始当初の背景

航空機を安全着陸させる電波航法システムである ILS (Instrument Landing System: 計器着陸誘導システム) において、方位角方向で誘導を行うローカライザ (以下 LOC) では、横断方向で 14 ないし 24 基で配列された対数周期型アンテナ (LPDA) から誘導電波を放射している。降雪地域の空港では、アンテナ

への着雪や大地への降雪による影響と考えられる、アンテナからの放射電波が形成するコース特性に変動が生じていることが度々報告されていたが、原因を明確に解明する研究が十分に行われてこなかった。そのため、現場での対処法としては、非常時に備えて頻繁に除雪を行う予防的対策が強いられており、発生メカニズムを明らかにした上で

の抜本的な対策・改善策が求められていた。

2. 研究の目的

(1) LPDA アンテナ着雪状況がアンテナ特性へ与える影響を検証するフィールド実験を実施する。

(2) 着雪状態のLPDA アンテナ特性（入力インピーダンス、放射指向特性、利得）をシミュレーションする解析技術を確認し、積雪誘電率と着雪量、アンテナ着雪部位によるアンテナ特性の変動について考察する。

(3) 降雪状況や地形を考慮した空港ローカライザにおけるコース変動について調査し、地形構造、積雪状態、滑走路勾配などを考慮したより精度の高い解析シミュレーション技術を確認する。

3. 研究の方法

(1) LPDA の着雪による影響を調査するため、1/2 のスケールモデルアンテナを試作し、着雪によるアンテナ入力特性（インピーダンス、反射特性）の長期測定を行う計測システムを構築しフィールド実験によるデータ取得を行った。また、LPDA の着雪による特性変動を解析するシミュレーション技術を確認し、フィールド実験との比較を行った。

(2) 積雪空港のLLZ について降雪時コース変動の事例を調査し、大地上の降雪によるコース特性への影響をシミュレーションする技術を確認した。

4. 研究成果

(1) FDTD（有限差分時間領域）法に基づくLPDA の解析を行った。試作 LPDA の入力特性（反射損失、入力インピーダンス）の測定結果は解析結果とよく一致しており、エレメントへの着雪効果についてシミュレーションが可能となった。図 1-a に、無着雪 LPDA の 1/2 スケールモデルの入力反射特性の FDTD 解析結果と測定結果、および直径 26mm の素子レドームに湿雪（厚さ 5cm）が一様に着雪すると想定した FDTD 解析結果を示す。新雪の着雪（誘電率実部 $\epsilon' = 1.1 \sim 1.2$ ）の場合には顕著な影響は確認されないが、図のように融雪によって着雪の複素誘電率が上昇し湿雪状態（ $\epsilon' = 3 - j0.01$ ）になると、帯域全体が低周波側にシフトしていく。これは着雪の誘電特性により、ダイポール素子電流分布に波長短縮が生じているためと考えられる。図 1-b には、湿雪の着雪による LPDA の入力インピーダンス変動の解析結果を示す。無着雪時

の抵抗成分とリアクタンス成分の測定値は、解析結果ともよく一致し、湿雪が着雪した場合には、抵抗成分 R とリアクタンス成分 X の帯域特性が、反射特性と同様、共に低周波数側に移行していくことが解析から推定された。

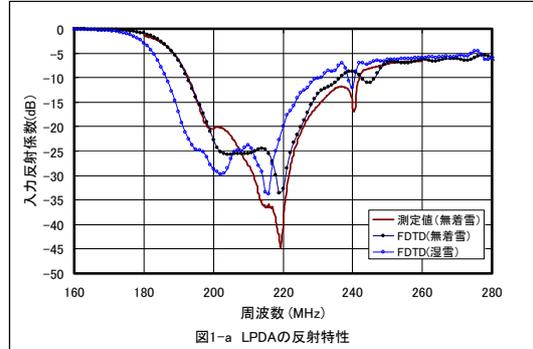


図1-a LPDAの反射特性

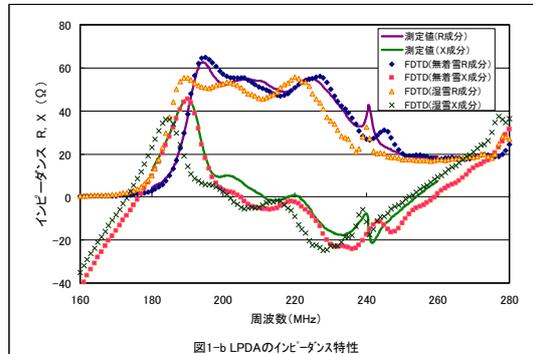
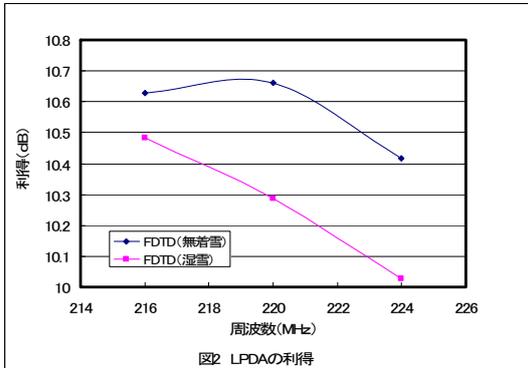


図1-b LPDAの入力インピーダンス特性

平成 22 年 2~3 月に行ったフィールド実験において、反射特性については、こうした事例に相応する大きい変動を示したデータは確認されていないが、日中の気温が上昇する場合に含水率の上昇により低周波数側へ移行する傾向が観測されている。LPDA の入力反射係数の帯域仕様は -20.8dB 以下となっているが、融雪時には、これを逸脱する可能性が示唆された。

図 2 に、LPDA の標準帯域（1/2 スケールモデルで 216~224MHz）における利得変動の解析結果を示す。湿雪の場合、複素誘電率の虚数部に伴った誘電損失による電力利得の低下（0.15~0.39 dB）が生じている。LPDA 単体でのこうした利得低下が、14 ないし 24 基の LPDA をアレイ化した LOC システムでランダムに発生した場合、全体としてコース変動に及ぼす影響がどの程度になるかは、別途、解析が必要となるが、解析空間が極めて大規模となるため FDTD 法は適していない。従って、例えば、着雪効果をアンテナの素子エレメントが誘電体皮膜で被覆された近似モデルによって等価的に表し、アンテナ間相互結合や大地の電気定数を考慮するモーメント法解析による手法が有効である。着雪量

と等価皮膜厚の関係は、FDTD法とモーメント法を併用・比較しながら適切な皮膜モデルを作成することで推定が可能と考えられる。



(2) 青森空港におけるコース変動を監視しているFFM (Far Field Monitor) 遠方界モニタに関する調査において、LLZ 前方から滑走路終端手前までの自然大地が横断勾配を有しており、横断方向での積雪深や積雪誘電率プロファイル計測の結果、LPDA アンテナからの放射電波に対する積雪面反射特性が方位角方向で対称性に差異が生じる可能性が見出された。さらに、滑走路縦断方向での勾配が変動していることから、滑走路路面からの反射特性についても縦断方向勾配を考慮したコース特性や、FFM の指示値変動を予測する解析技術の確立が求められた。そこで、大地誘電率、積雪誘電率プロファイル、大地の横断・縦断勾配と滑走路縦断勾配等を考慮する汎用の航空機進入コース特性シミュレータの開発を行った。図3に積雪誘電率の測定地点およびプロファイル、図4には伝播路の縦断勾配と、LOC コース偏位 DDM 指示値 (コース中心では $0 \mu A$ となる) の解析結果を示す。

地面の縦断・横断勾配を考慮すると FFM の受信電界は、

$$E_{FFM} = E_{dir} + E_{ref1} + E_{ref2} + E_{ref3} + E_{dif1}$$

で求められ、 E_{dir} は直接波、 E_{ref1} は積雪面からの反射波、 E_{ref2} は前方滑走路からの反射波、 E_{ref3} は後方滑走路からの反射波、 E_{dif1} は滑走路の凸形状エッジからの回折波である。このように、大地の横断断面の積雪誘電率プロファイルのデータや滑走路の縦断プロファイルのデータを用いた解析結果から、図のようなコース偏位が生じ、FFM 地点では $DDM=2.7 (\mu A)$ のとなること推定された。実測された FFM の値は $DDM=2.0 \sim 2.4 (\mu A)$ を示しており (平成 21 年 2 月 20 日のデータ)、解析方法の有効性が確認された。

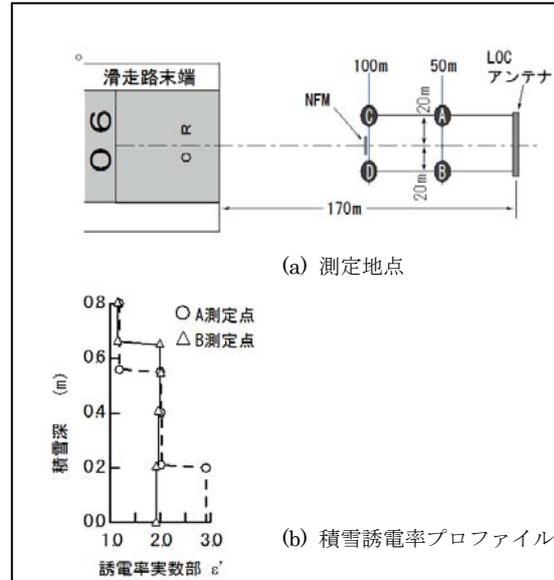


図3 青森空港のLOCにおける積雪誘電率の測定地点と積雪誘電率プロファイル

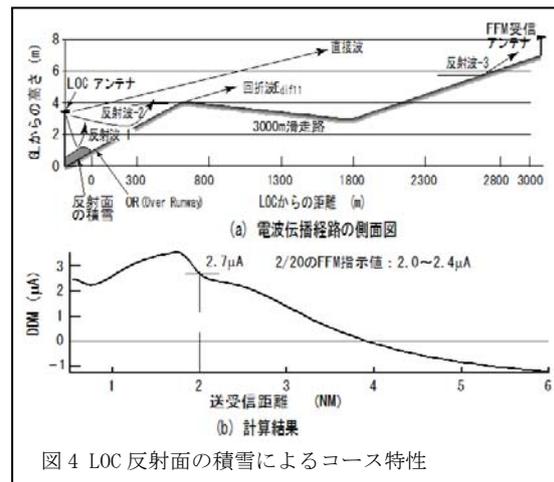


図4 LOC 反射面の積雪によるコース特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

横山尚志、田嶋裕久、中田和一 : ILS GPの近傍モニタによる遠方特性推定、電子情報通信学会論文誌(B)、査読有、Vol. J94-B No. 1、P65-67

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① 中田和一、横山尚志、田嶋裕久：UHF帯複素比誘電率測定用矩形同軸キャビティアンテナ、電気関係学会東北支部連合大会、2010年8月27日、八戸工業大学

- ② 横山尚志、田嶋裕久、中田和一：ILS LOC 反射面の積雪によるコース偏位、電子情報通信学会総合大会、2010年、3月2日、東北大学

- ③ 横山尚志、田嶋裕久、中田和一：ILS GP 近傍モーターアンテナ最適化による遠方特性推定、電子情報通信学会総合大会、2010年、3月2日、東北大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 和一 (NAKATA WAICHI)
青森大学・経営学部経営学科・教授
研究者番号：00244898

(2) 研究分担者

横山 尚志 (YOKOYAMA HISASHI)
電子航法研究所・研究員
研究者番号：40392774