

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 19 日現在

機関番号：31101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420380

研究課題名(和文) 反射波遮蔽フェンスによるローカライザの積雪障害の抑制に関する研究

研究課題名(英文) Study on the suppression of snow cover failure of the localizer by the reflected wave shielding fence

研究代表者

中田 和一 (NAKATA, WAICHI)

青森大学・薬学部・教授

研究者番号：00244898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：ローカライザ(LOC)スケールモデルアンテナを用いた実験によって、運用現場において確認されていた積雪による問題事象が再現された。さらに、物理光学法を用いた解析結果と実験結果との照合から、LOC前方の積雪状況とディレクショナル系とサイドバンド系放射電界特性変動の関係について明らかにした。また、反射波遮蔽フェンスを用いた積雪面反射波によるDDM値の変動を抑制する可能性について、電磁界解析から検証を行った。

研究成果の概要(英文)：By experiments using the localizer (LOC) scale model antenna, event problems due to snow cover that had been identified in the operation site has been reproduced. In addition, from the verification of the analytical results using the physical optics method and the experimental results, it was to clarify the relationship of the LOC front of the snow situation and the directional system and a side band system radiation field characteristic variation. Moreover, the possibility to suppress the variation of the DDM value by snow surface reflected wave with the reflected wave shielding fences, was verified from the electromagnetic field analysis.

研究分野：工学

キーワード：ILS ローカライザ DDM 積雪誘電率 遮蔽フェンス 物理光学近似法

1. 研究開始当初の背景

航空機を安全に着陸誘導す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) では、方位角方向に誘導する、ローカライザ (以下 LOC) と呼ばれる 7 素子対数周期型ダイポールアンテナ (以下 LPD) を 24 基 (または 14 基) 配列したシステムが配置され、110MHz 帯の航法用電波が利用されている。

豪雪地域の空港では、大地積雪による反射波変動の影響と考えられる、進入コースを形成する放射電波の異常が検知され、運用が度々停止される障害が発生している。主な要因としては、LOC アレイ前方の積雪表面の横断勾配や、内部誘電率プロファイルの横断方向での差によって、積雪面電波反射係数に非対称性が生じ、反射波指向特性に変動が生じていることが指摘されていた。

大がかりな除雪作業を伴わずに、積雪面反射波の影響を軽減する方策として、反射波遮蔽フェンスをアレイ前方に設置する事が検討され、詳しい電磁界解析とモデル実験に基づいて降雪状態と誘導コース変動の関係や、具体的なフェンス構造 (高さ、幅、格子間隔等)・設置位置等、設計指針の確立が急がれていた。

2. 研究の目的

(1) LOC スケールモデルシステムを用いた実験による、従来の運用現場で確認されている問題事象の再現と、具体的な LOC 前方模擬積雪状況とディレクショナル (Car) 系とサイドバンド (Sb) 系の放射電界特性変動の関係について、実験データおよび電磁界解析との照合からメカニズムを明らかにする。

(2) 反射波遮蔽フェンスを用いた反射波変動の軽減の可能性について、電磁界解析とモデル実験によって最適構造の設計と実験を通じた検証を行う。

3. 研究の方法

(1) X 帯 (9.6GHz) で、LOC モデルアンテナ、模擬積雪モデル、ならびに方位方向と垂直方向の電界強度測定システムを構築する。

(2) LOC 前方の様々な積雪状況を模擬し、その時の Car 系及び Sb 系の水平・垂直方向放射電界特性変動を測定し、モデル実験結果と最も照合する電磁界解析手法を決定し、電磁界解析から積雪状況による放射電界の変動メカニズムを明らかにしていく。

(3) 運用 LOC を想定し、確立された電磁界解析を用いて、報告されている障害事例について検証する。

(4) 反射波変動を軽減する遮蔽フェンスの可能性を、電磁界解析とモデル実験で検証・確認する。

4. 研究成果

(1) 構築した LOC スケールモデルを用い、LOC 前方に模擬積雪 (寸法 0.9m×2.1m の硬質塩化ビニル板、誘電率 $\epsilon = 3.2 - j0.06$) を横断方向で左右対称となるよう敷設したときの、距離 4.18m における仰角 3 度水平軸方向 Car および Sb 受信電界の測定値と物理光学法近似法による理論値の結果を図 1-1、1-2 に示す。●が測定値、実線が計算値である。誘電体板厚さは 5mm と 10mm の 2 種類である。誘電体厚さ変化に伴う受信電界のレベル特性の測定結果は、解析値ともよく一致している。誘電体層の厚さとともに、表面反射係数が変動 (主として位相変化) することで、仰角 3 度方向の電界レベルが ± 4 (dB) 近く増減する現象が確認され、LOC 前方領域の積雪層の積雪深、積雪面反射係数の条件によって、あたかも水平ビームが仰角方向で上下に周期移動する現象が確認された。

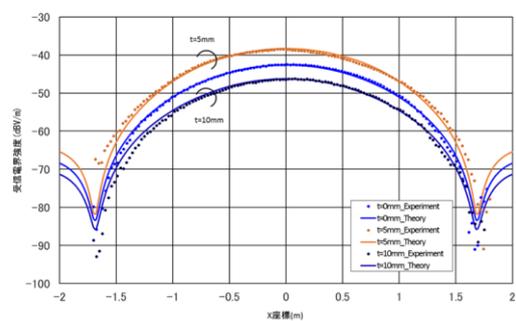


図 1-1 模擬積雪深と Car 水平電界変化

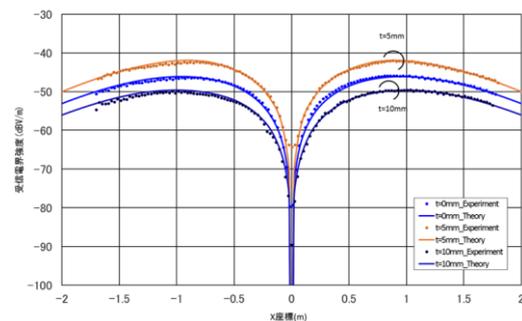


図 1-2 模擬積雪深と Sb 水平電界変化

厚さ 5 mm の誘電体を、LOC 前方に向かい左領域のみに非対称で置き、敷設面積を増大させた場合の水平電界特性の変化を図 2-1、2-2 に示す。誘電体領域が増大するに伴い敷設された側の電界強度が徐々に上昇し、電界特性の非対称性が強まっている。解析結果は、実験結果の傾向とよく一致し、LOC 前方の積雪表面の横断勾配や積雪誘電率プロファイルの非対称性、積雪領域面積による反射波変動が、LOC 直接波と合成され、最終的に受信 DDM (変調度差) に影響していることが予想され、特に Sb のヌル特性の変動による影響が大きいことが推測された。

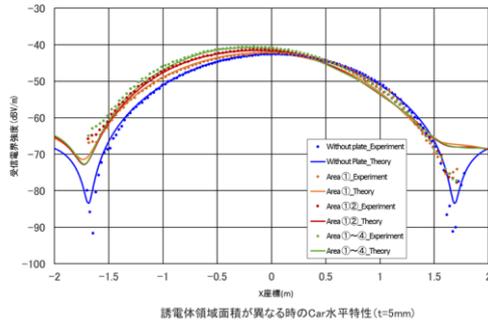


図 2-1 模擬積雪深と Car 水平電界変化
(左領域のみに誘電体を配置)

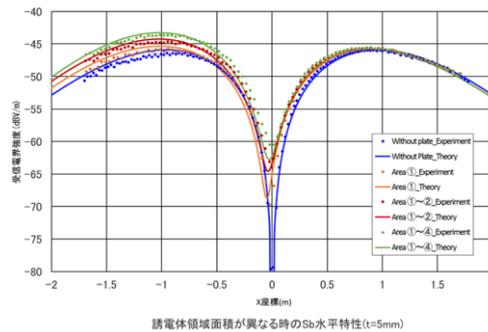


図 2-2 模擬積雪深と Sb 水平電界変化
(左領域のみに誘電体を配置)

(2) 24 基 2 周波 LPD アレイからなる青森空港の LOC (LPD 高さ $h=3.6\text{m}$) を想定し、その前方に幅 120(m)、距離 170(m)の積雪領域が、横断方向に積雪面勾配を伴って存在した時の遠方 DDM 特性 (進入コース上では $DDM=0\mu\text{A}$ が理想状態) を、物理光学近似法によって解析した。大地誘電率は、実部 15.0、導電率は $2.0 \times 10^{-3} (\text{S/m})$ である。一例として横断勾配が -0.4% 時の結果を図 3 に示す。解析結果から、次の考察がなされた。

- ① 積雪深の増加で、DDM は上昇し、ある積雪深を境界に負値に反転し、再び上昇する。新雪のように誘電率が小さい積雪ほど、DDM の極大・極小値の絶対値は大きく、DDM が反転する積雪深も深い。横断勾配が + (正) の場合は、図曲線を上下反転した特性となる。横断勾配が大きいほど DDM の極大・極小値の絶対値が大きくなるが、DDM が反転する積雪深は大きく変わらない。
- ② 降雪した雪が堆積し、短時間で積雪深が自然増加する場合は、積雪誘電率は比較的小さい状態にある。例えば図中の、誘電率が $\epsilon = 1.5 - j0.003$ の曲線では、積雪深 1.0(m) で $DDM \approx +10 (\mu\text{A})$ になる。仮に DDM 改善の目的でこの積雪を圧雪除雪し、誘電率が $\epsilon = 2.0 - j0.003$ 、積雪深が 0.8 (m) の状態にされると、横断勾配が変

化しなければ $DDM \approx -11 (\mu\text{A})$ となる。積雪深が 0.6(m) においても $DDM \approx +10 (\mu\text{A})$ となることから、圧雪除雪だけでは DDM は符合が反転するものの改善されないことになる。圧雪除雪する場合、DDM の改善には積雪表面の勾配をできるだけ平坦な状態に戻すことが重要となる。青森空港で、過去、圧雪除雪によっても直接、DDM 改善効果をもたらさなかった事例は、この現象に対応するものと思われる。

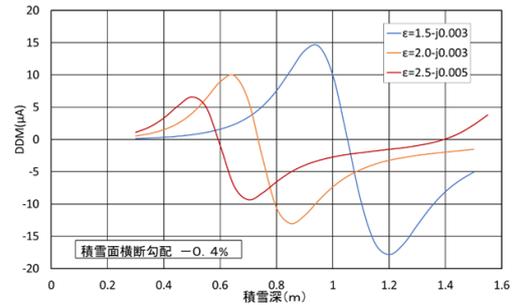


図 3 横断勾配のある積雪の深さによる DDM の変化

(3) 積雪領域前方 (滑走路側) に積雪面反射波の影響を軽減する目的で、積雪領域終端位置に遮蔽フェンスを設置した場合の、フェンス高さに対する遠方進入コース上の DDM 改善効果について物理光学法を用いて解析した。フェンスの幅は 40(m)、積雪誘電率は $\epsilon = 2.0 - j0.005$ (圧雪状態の乾雪相当)、中央の積雪深が 0.6(m) で、横断勾配 -0.4% の積雪領域は、幅 120(m)、距離 $Y=80, 100, 120\text{(m)}$ の場合について示されている。

積雪領域の拡大とともに、DDM も徐々に上昇し、遮蔽フェンス高が 0(m) から高くなるに伴い僅かであるが、いずれも DDM が上昇する傾向にある。フェンス高が LOC アンテナ高 ($h=3.6\text{m}$) を超える付近から、DDM 値が低下し、遮蔽効果が確認できるが、DDM 変動を十分に抑制するには、LOC アンテナ高を超えて、ほぼ 2 倍近いフェンス高にしないと効果が得られないことが分かる。その場合、進入コース方向の RF レベルの低下、またフェンス面からの反射波による LOC 後方への散乱強度が増大するという課題も生じることになる。

本解析法は、フェンス上辺エッジ回折を考慮していないため、フェンス背面領域の散乱界の誤差が、GTD (幾何光学回折理論) や UTD (一様漸近回折理論) と比較して大きく、PTD (物理光学回折理論) に拡張し、改めて解析結果を考察することが必要と考える。そのうえで、フェンス高を抑えた DDM 変動を効果的に抑制できる遮蔽構造についてさらに検討を加えながら、スケールモデルを用いた DDM 測定が可能な実験系での検証が必要である。

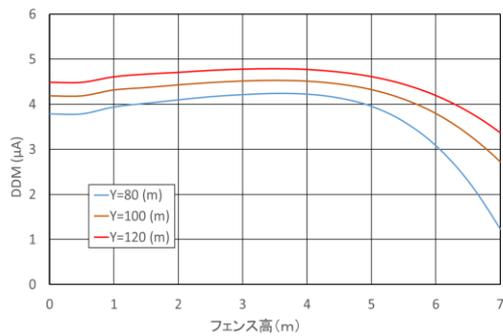


図4 遮蔽フェンス高とDDMの変化 ($\epsilon = 1.5 - j0.003$)

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)

田嶋裕久、二ツ森俊一、中田和一：ILS LOC積雪障害の遮蔽フェンスによる改善、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、115(155)、2015、P35-38

〔学会発表〕(計 1 件)

田嶋裕久、二ツ森俊一、中田和一：ILS LOCの積雪障害の遮蔽フェンスによる改善法、電子情報通信学会総合大会、2014年、3月4日、新潟大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 和一 (NAKATA WAICHI)

青森大学・薬学部薬学科・教授

研究者番号：00244898

(2) 研究分担者

田嶋 裕久 (TAJIMA HIROHISA)

電子航法研究所・研究員

研究者番号：10392763

(3) 連携研究者

二ツ森 俊一 (FUTATUMORI SYUNICHI)

電子航法研究所・研究員

研究者番号：20551211