

ILS GP近傍モニタの 積雪特性の改善

電子航法研究所
監視通信領域 田嶋 裕久

本発表内容は、機上等技術領域でH20-22年に行った、電波特性の監視に関する研究(田嶋裕久 横山尚志 金田直樹、客員研究員 中田和一)の内容の一部である

1

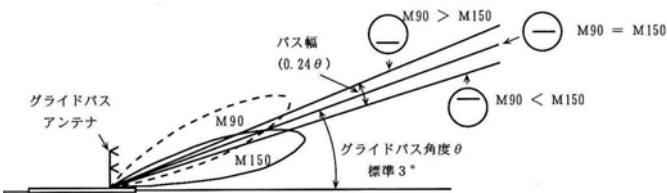
背景

- 航空機の着陸誘導には現在主にILS (Instrument Landing System: 計器着陸システム)を使用
- 今後GBAS(Ground Based Augmentation System)が導入されても、移行には数十年かかる
- 着陸誘導の信頼性を保証するため、ILS GPでは近傍モニタにより、送信電波をモニタ
- 実際に航空機が使用する遠方域での電波状況と違いがあるが、Locのような遠方モニタは不可能
- 近傍域の電波状況は積雪等の自然環境の変化による遠方域の電波状況の変化に比べ過敏に変化することが知られており、不要な装置シャットダウンを引き起こす要因



2

ILS GP原理



(川田輝雄、航空無線工学概論より)

CDI(Course Deviation Indicator)の指示

DDM(Difference in the Depth of Modulation)を表示

3

近傍においてパス幅は反転

CDI(Course Deviation Indicator)の指示

DDM(Difference in the Depth of Modulation)を表示

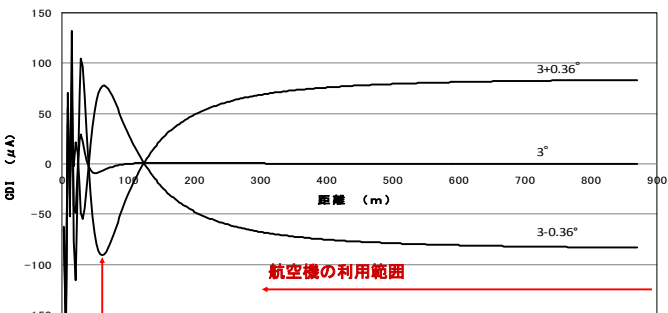


図 ILS GPの距離に対する表示感度の計算例

4

モニタと遠方特性との 高い相関性が必要

CAT II、IIIでは

- 完全性(Integrity, $1-0.5 \times 10^{-9}$)
異常電波の見逃しは
 2×10^9 回の着陸あたり1回未満
(毎年10,000回の飛行試験をしても
200,000年かかり、実証はできない)
- 継続性($1-2 \times 10^{-6}$)
平均2,000時間以上連続して運用
誤検出による不要なシャットダウンを減らす

5

送信素子の信号の推定

$$s = C\sqrt{T} \sum_{i=1}^n R_i \sqrt{G_{ri} G_{ti}} \frac{e^{jkd_i}}{d_i} a_i$$

s は受信アンテナにおける電圧
 C は定数、 T は送信電力
 n は送信アンテナの素子数
 a_i は*i*番送信素子の電圧の複素係数
 d_i は素子と受信点までの経路長
 R_i は実際の素子では1でイメージ素子の場合は地面の反射係数
 G_{ri}, G_{ti} は送信と受信の素子の電力利得

$$s = Fa$$

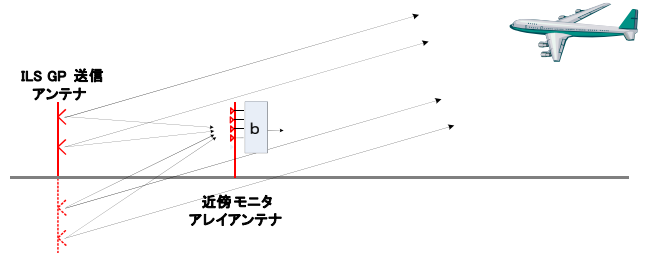
$$f_{ij} = C\sqrt{T} R_{ij} \sqrt{G_{ri} G_{tj}} \frac{e^{jkd_{ij}}}{d_{ij}}$$

F は伝達係数を表す複素係数行列

$$a = F^{-1}s$$

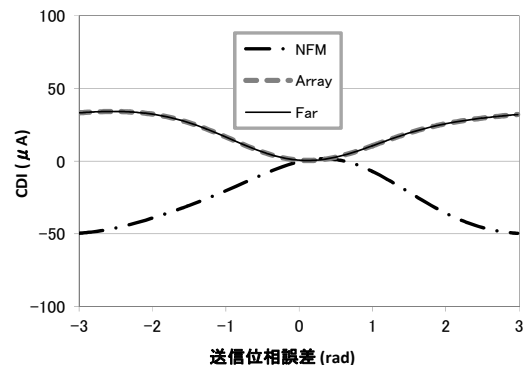
6

アレイアンテナにすることによって モニタ特性の改善が可能



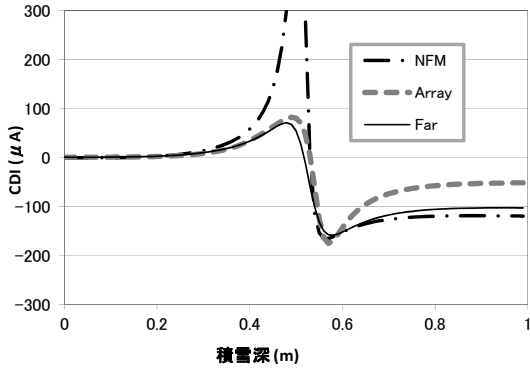
7

アンテナ位相誤差とモニタ特性



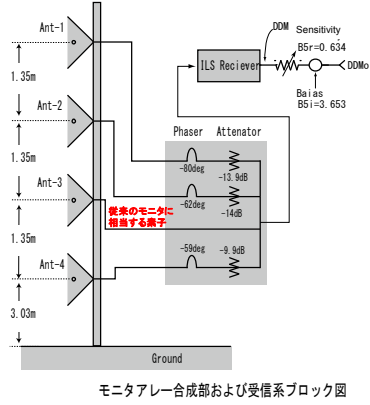
8

アンテナ位相誤差とモニタ特性



9

従来の近傍モニタを基にした改善

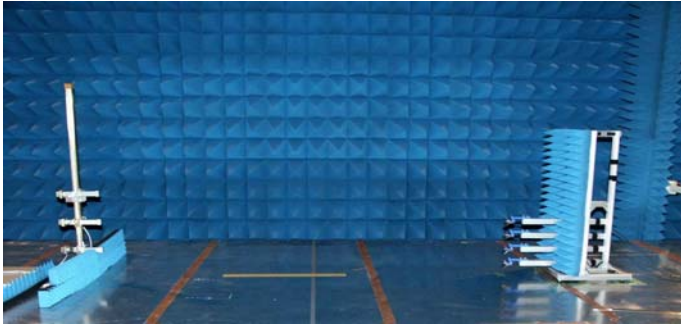


左図では従来のNFM(近傍モニタ)を、アレイの下から2番目の素子に対応させ、他の素子の信号を適度に合成している。DDM出力の調整もパラメータとして利用可能。

モニタアレイ合成部および受信系ブロック図

13

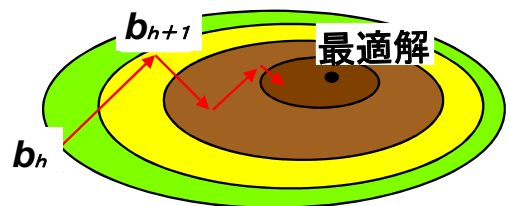
電波無響室における縮尺モデル実験



GPアンテナ(左)とモニタアンテナ(右)

10

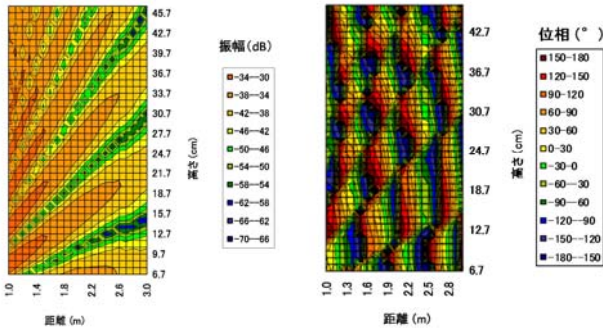
最急降下法の原理



ベクトル b の空間を平面で表す
評価関数を高さで表す

14

送信アンテナ前方の垂直面内の電界実測値



(a)垂直面振幅分布 (b)垂直面位相分布

11

モニタ信号合成係数の最適化

モニタ出力 $V = b^T F a$

受信アレイの中の1素子を従来のモニタを初期状態
最急降下法で合成係数 b を補正

評価関数
$$E(b) = \sum_{s=1}^m (DDM_{Ns} - DDM_{Fs})^2$$

近傍 遠方

b を変化させてアンテナの性能を表す評価関数 $E(b)$ が小さくなるように改善

探索方向ベクトル $d = \nabla E(b)$

極小値方向に探索 $E(b_{h+1}) = \min_{u_h > 0} \{E(b_h + u_h d_h)\}$

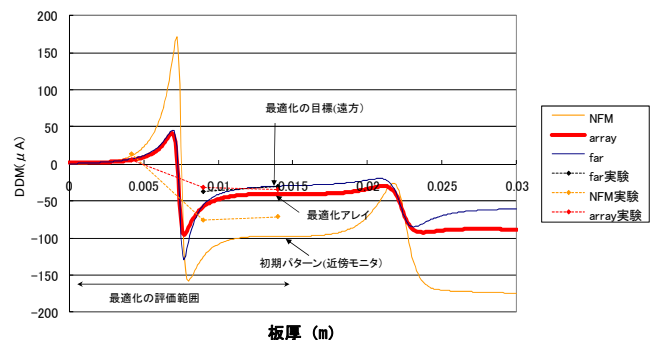
15

連立方程式による方法の問題

- アンテナ素子の位置誤差や信号合成器の誤差もあり、モニタ設置の際に信号合成器の位相振幅パラメータの調整が不可欠である
- 実験を行ってみると連立方程式によるモニタは原理的に従来のモニタと特性が大きく異なり高さ調整でゼロ調整ができず、基本的な設置状態におけるゼロ調整も困難であることが分かった
- 積雪の状態の変化などにより誤差が生ずる

12

1素子近傍モニタを初期値とした最適化



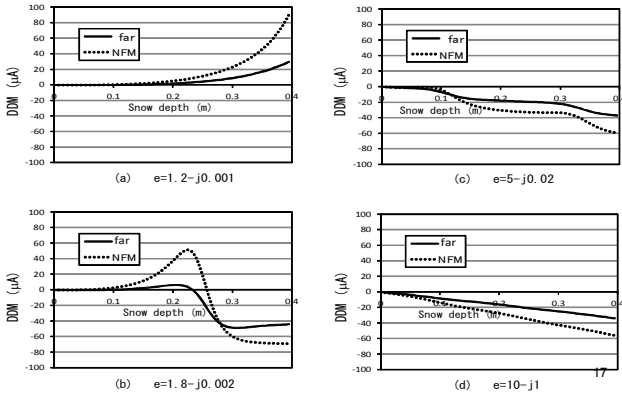
スケールモデル実験 ペニヤ板厚とモニタ特性

16

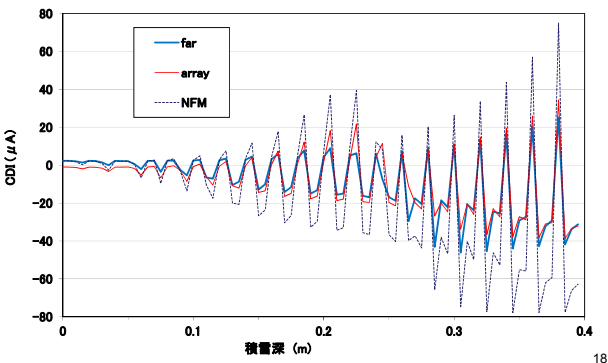


従来のモニタ(左)とアレイ(右)のアンテナ
航空保安大教育用ILSを使用

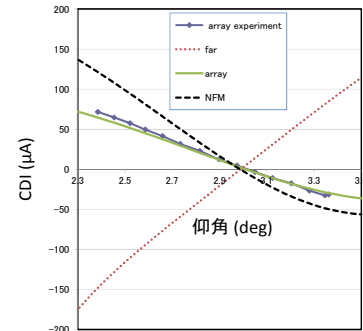
積雪の誘電率によるCDI特性の違い



4種類の雪を考慮した最適化

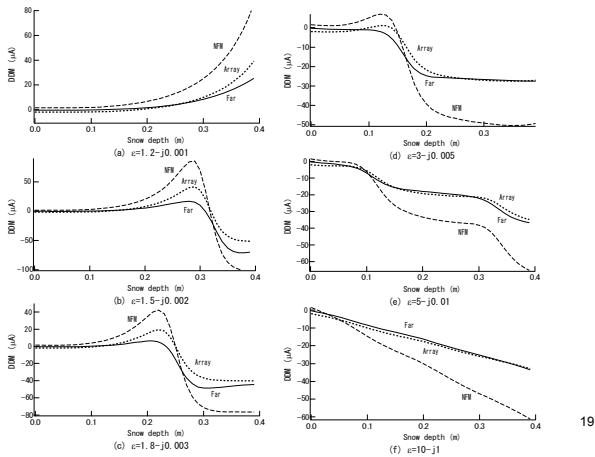


GPモニタのハイトパターン



- 通常のGPのハイトパターンとなり, 従来の1素子のモニタと同様に調整可能

各種誘電率における積雪特性



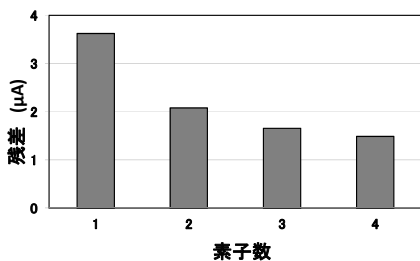
まとめ

- ILS GPの近傍モニタの遠方界との相関を向上するため, アレイモニタを開発
- 当初試みた, 信号合成器で連立方程式を解き, 遠方界の推定は理論的には可能であるが, 誤差等の問題のため実用的でない
- アレイの1素子を従来のモニタとした状態を基に拡張し, モニタ誤差を最小とするように最急降下法により最適化
- 積雪の誘電率の変化を考慮した最適化も可能であることを示した
- モニタ素子数は柔軟に対応可能

モニタアンテナ素子数に対する遠方特性と最適化モニタの残差

従来の近傍モニタの誤差は

$$RSS(\text{Root Sum Square}) = 18\mu\text{A}$$



1素子の結果から, 従来の近傍モニタアンテナのままでも, モニタゲインの調整で改善可能

