

12. プリントアンテナレーダの送電線検出性能

機上等技術領域 米本 成人 山本 憲夫 山田 公男
IHI エアロスペース 安井 英己

仏国電子アンテナ通信研究所 Claire Migliaccio Jean-Yves Dauvignac Christian Pichot

1. はじめに

ヘリコプタは有視界飛行で低高度を飛ぶことが多く、しばしば送電線や索道など目視で発見しづらい障害物に衝突することがある。このような事故の危険を減らす必要性は世界的に認識されており、これまで様々な研究開発がなされている。これらは軍用、もしくは基礎研究段階のものも多く、民間で使用するためには解決すべき課題が多いのが現状である。

電子航法研究所では、ヘリコプタや小型機に適した障害物探知・衝突警報システム実現のため研究を進めてきた。送電線等の長く、細い障害物を800mの範囲で検出するため、赤外線カメラを使用し、画像中の障害物を抽出する方式を研究した。また、障害物までの距離測定にミリ波レーダを利用することとし、実験用低出力レーダ、ヘリコプタ搭載型高出力レーダの開発を行った。また、センサからの情報をリアルタイムで解析し、衝突警報を表示できる処理プログラムを開発した。そしてこれらの技術を活用したヘリコプタ搭載障害物探知・衝突警報システムを開発し、検証実験を行い、目標とする800mの範囲でのシステムの有効性を示した⁽¹⁾。

本稿では、本研究の主要課題の一つであるレーダシステムの小型化の可能性に焦点を当てる。レーダ全体に占める従来の反射型アンテナの体積は非常に大きく、搭載型レーダにはできるだけ少ない体積、重量であることが好ましい。そこで、プリント反射板アンテナに着目した。数値解析による設計および試作アンテナで理論の有効性を確認した。また搭載用アンテナを試作してレーダに組み込み、飛行

実験で検証した結果を報告する。

2. プリント反射板アンテナ

図1に平面波が入射してくる場合の半波長ゾーンを有する平板プリント反射板の動作原理を示す。

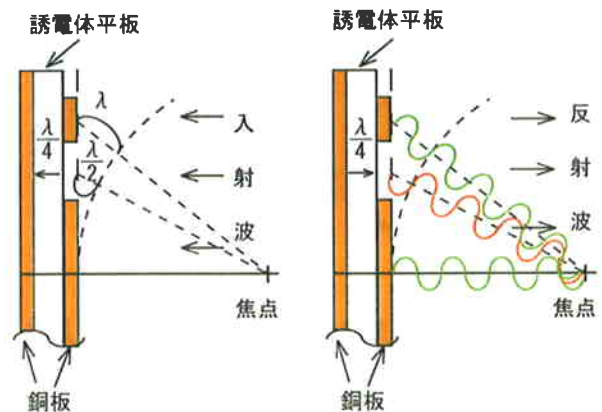


図1 半波長ゾーン反射板の原理

ここで誘電体平板はその内部の短縮波長に対し1/4波長分の厚みとし、焦点側の銅板は波長と比較して無視できるほど薄いものとする。焦点側表面に銅板がある場合、平板に垂直に入射する電波は、その銅板で反射されるため、焦点中心部と同じ位相で反射する。図1左のように焦点までの距離（行程差）が半波長長くなる部分にゾーンを設け、エッチングにて空隙を設定する。これにより、入射波は誘電体平板に進入し、裏側の銅板にて反射される。このとき、誘電体平板の厚みに応じた位相遅れが生じるため、丁度180度移相（位相変化）された反射波となる。すべての反射波はホイヘンスの原理に従い全方位に伝わり、焦点では各ゾーンからの反射波の位相がすべて揃うため、レンズ効果を得ることができる。

さらに細かい行程差（例えば1/4, 1/8

波長) 毎にゾーンを設定し, その行程差分を補償するように移相することで開口面効率を向上させることができる。そのための移相器として, 誘電体表面に円形, もしくは環形の銅板パターン(パッチ)を設置した。一例として図2に厚さ0.508mmの比誘電率2.2の誘電体基板上に縦横1.8mm間隔の正方形行列状にパッチをおいた場合の移相量の変化を示す。

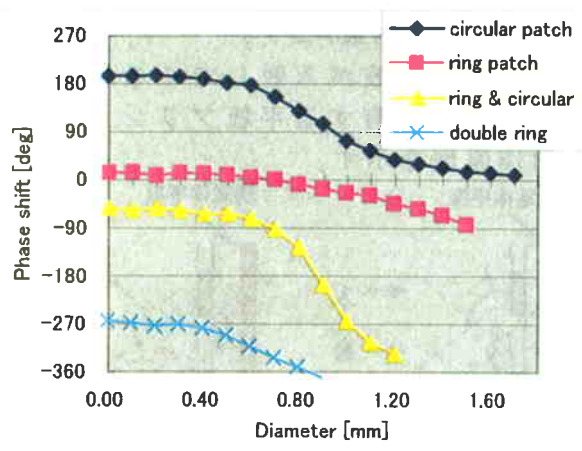


図2 厚さ0.508mmの誘電体基板上に設置したパッチによる移相量変化

縦軸は表面全体を金属板で覆った場合の位相値と比較した移相量であり, 横軸は様々なパッチ形状のパラメータとなる直径である。パッチは円形, 環形, およびそれらの組み合わせの全4種である。

図中青線の直径の異なる円形パッチの場合であり, 直径0mmは空隙を設定した場合に相当する。この時, 約180度の移相量となる。パッチの直径を増やすと0.8mm付近までほとんど変化が見られないが, 直径1.1mm付近で移相量が急激にマイナス方向へ変化し, 表面を金属板で覆った時の位相値へと近づいていく傾向となった。

次に, 図中ピンクの線は, 外径が1.6mmで一定で, 内径の異なる環形パッチの特性である。全体的になだらかな右下がりの移相量変化となった。

また, 図中黄色線は外側に外径1.6mm, 内径1.3mmの環形パッチを置き, その中

心部に直径の異なる円形パッチを付加した例である。単体円形パッチ同様, 1.1mm付近で急激な移相量の変化となった。

更に, 図中水色線は外側に外形1.6mm内径1.3mmの環形パッチ, 外形1mmに対し異なる内径を有する環形パッチの場合で, 一重に比べて移相量が大きくなる右肩下がり傾向が見られた。

このように, 円形もしくは環形パッチ,

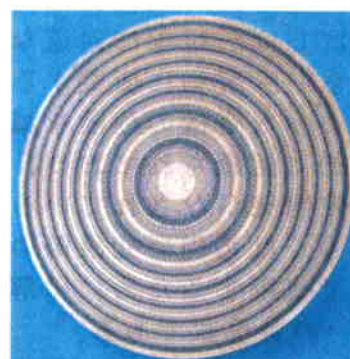


図3 試作した高開口面効率プリント反射板アンテナ

およびそれらを同心円状に組み合わせることで, 360度を超える移相量が得られ, 所望の移相器が設計できることが示された。

図3に仏国電子アンテナ通信研究所にて開発されたプリント反射板アンテナ

を示す。この場合, 中心部は1/8, 外周部は1/4波長毎にゾーンを設けた。中心部では電波無響室内の測定では約39%の開口面効率となり, 従来のカセグレンアンテナ(約42%)と同等の性能を得ることができた。

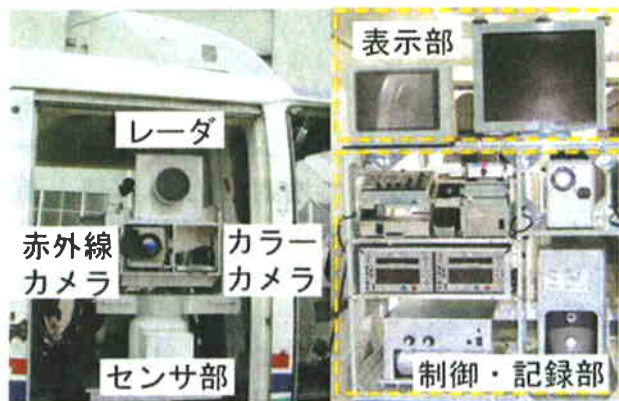
図4に機上搭載型プリント反射板アンテナとそれを装着したレーダを示す。比較のために従来のカセグレンアンテナも示す。口径は従来(約25cm)の約半分の130mmであり, 搭載型反射板は中心部に1/4波長, 外周部に半波長毎のゾーンを設定した。既存レーダとの勘合部, フィーダ部, パッケージ等により付帯構造物があるが, 反射板自身の厚み, 重量などを大幅に減らすことができた。また, アンテナの口径, ゾーニングや搭載のための周辺構造物の影響により若干利得が小さくなり, カセグレンアンテナの利得44dBiに対し, 約36dBiとなった。地上試験で確認した所, 受信電力比で約16dBの低下となった。



図4 搭載型プリント反射板アンテナ
レーダとカセグレンアンテナ

3. 搭載システムと飛行実験

図5に障害物探知・衝突警報システムの概要を示す。これは大きく分けて、センサ部、制御部、そして表示部からなる。センサとして、赤外線カメラ、カラーカメラ、ミリ波レーダを用いた。



(a)側面ドア (b)室内装置
図5 搭載システムの概要

飛行試験は川崎重工業のご協力を得て、岐阜県中部の山間部にて実施された。すべての測定は、上空でホバーリング、もしくは送電線に沿って低速で前進しながら実施した。センサは常に室内から進行方向に右側に向けており、GPSナビゲーションにより送電線までの距離を200m、400m、600m、800mと変えてデータを取得した。また、フライト毎にカセグレンアンテナとプリント反射板アンテナとを交換して測定し、結果を比較した。図6に

近距離時、および図7に遠距離時のシステムの表示例を示す。



図6 近距離時の警告システム表示例

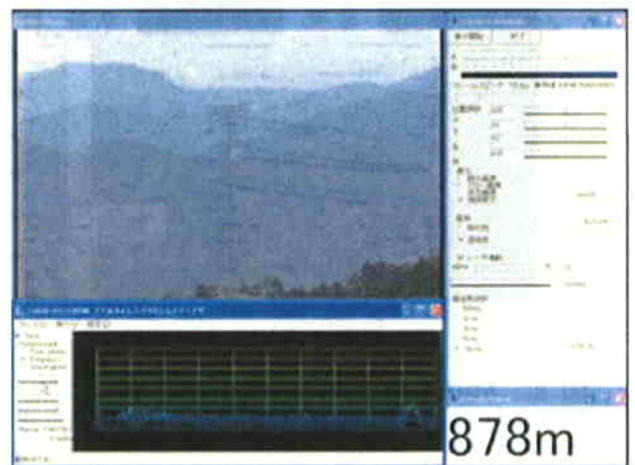


図7 遠距離時の警告システム表示例

障害物を自動で検知するため、レーダ出力に閾値を設定し、それを越えた時に警告のための融合画像と障害物までの距離を表示することとした。レーダ構造に起因する低周波域のノイズを避けるため、閾値は-35dBm前後に設定した。融合画像は障害物までの距離に対し、色調を赤-黄色-緑-水色-青と変化させることで、直感的に距離を認識できることが示された。カセグレンアンテナ使用時には800m地点でも十分に自動検知できたが、プリント反射板アンテナ使用時には、遠方では十分な信号強度が得られず、自動検知機能が十分に動作しなかった。

4. 考察

飛行中にPCで記録したレーダの信号からスペクトログラムを作成した。図8に600m地点におけるカセグレンアンテナレーダの出力，図9に同じ測定条件におけるプリント反射板アンテナレーダの出力を示す。ここで縦軸は時間軸，横軸はレーダ信号の周波数から求めた距離，グラフ上の色は信号のレベル[dBm]を表している。図9は-30dBmから-50dBmの範囲を拡大して表示した。また，両図中180m

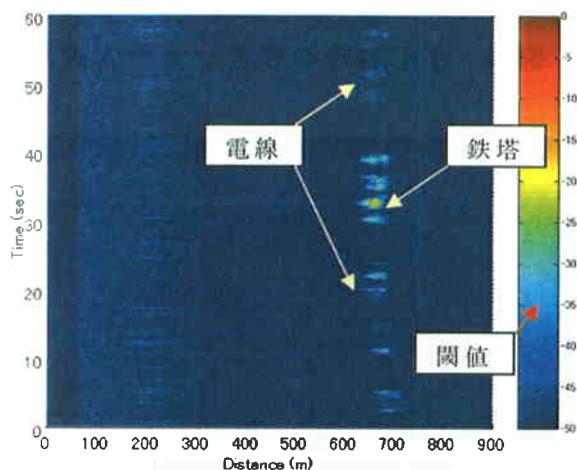


図8 600m地点におけるカセグレンアンテナ使用時のレーダ出力

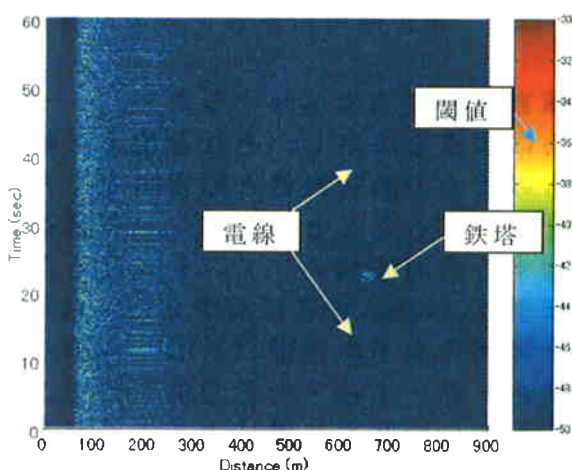


図9 600m地点におけるプリント反射板アンテナ使用時のレーダ出力と750m付近に見られる垂線状の信号は実験中に混入したADコンバータの高調

波ノイズである。両図中には2本の平行な筋のような送電線からの反射信号が見られ，また大きな円のような鉄塔からの比較的強い反射信号が見られる。

両図を比較することでカセグレンアンテナの場合には検出閾値を超える値が多く見られるが，プリント反射板アンテナの場合閾値を超える値はなかった。図9より，鉄塔からの信号の最高値は約-32dBm，電線部分から信号値の最高値は約-43dBmであった。このとき付近の周波数帯域におけるノイズは約-50dBmであり，電線に対して約7dBのS/N比が得られた。

800m地点におけるスペクトログラムでは，鉄塔以外の顕著な信号は見られなかった。

この結果，プリント反射板アンテナレーダは600mの電線検出まで可能といえる。さらに利得の高いプリント反射板アンテナを導入することで更なる覆域の拡大が期待される。

5. まとめ

本稿では，ヘリコプタのための障害物探知・衝突警報システム用レーダシステムの小型化について検討した。体積，重量を少なくするためにプリント反射板アンテナレーダを設計，製作し，実証飛行実験を行った。

実験室用アンテナでは1/8，1/4波長ゾーンを用いることで開口面効率を従来のカセグレンアンテナと同等にすることができた。

また，飛行実験用アンテナを開発し，実証試験を行った結果，約600mの送電線検出に成功した。更に大きな利得のプリント反射板アンテナを製作すれば，覆域の拡大が見込めることが分かった。

文献

- [1] 山本他、"ヘリコプタ用障害物探知システムの性能"平成17年度（第5回）電子航法研究所研究発表会講演概要、pp31-34、平成17年6月