

移動用三次元レーダー開発プロジェクトに参画

従来のレーダーの多くは、送信管に発振管であるマグネットロンを用い、垂直面が広く、水平面を絞ったファンビームアンテナを回転させる航空機管制用レーダーに関しては幾多の経験を持っており、その改良も行われていた。

1965(昭和 40)年頃から、防衛目的にレーダーシステムを高度化する要求が高まり、個別開発を進め、受注に成功した。
の主な開発テーマは、

1. ペンシルビームを高速角度走査するフェーズドアレイアンテナを用い、仰角を測定し目標の三次元位置を計測する。
2. パルス圧縮により距離分解能を維持し、ピーク電力を抑え広いパルス送信によりシステム利得を高める。
3. パルス圧縮信号を送信するため、増幅型送信機を用いる。
4. 移動目標検出(MTI)を改良。 大型水晶遅延線を省き、どの速度の移動目標も検出できるデジタル方式とした。

などの当時としてはいずれも大変斬新な技術テーマだった。さらに

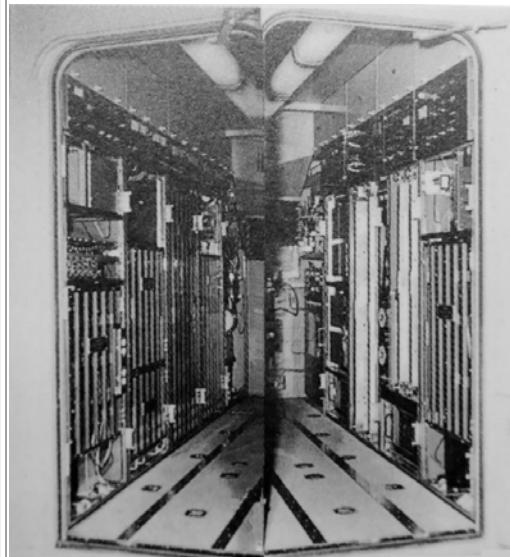
5. ヘリコプターで運搬するために、軽量化を図る必要があり、構造設計から、部品の重量管理を徹底した。
送信機の架を見た、ベテラン技術者はまるで受信機の架のようだと感想を漏らされたほどであった。
6. トラックとヘリコプターで運搬でき、かつ展開すると大きい空間を確保するため空気を吹き込み文字通り膨らむ管制室。

私もこの開発プロジェクトの一員として参画し 2番3番の開発を担当した。当時のプロジェクト記録は社内誌などに発表されており、このレーダーも役目を終えていることもあり、その関連資料や手持ちの写真を用い紹介したい。

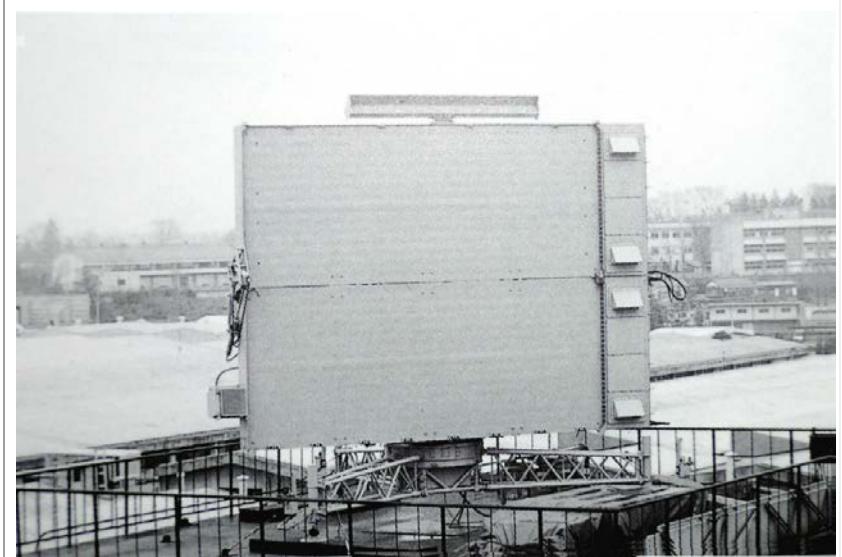
この時期は、内之浦宇宙空間観測所向けの精測レーダーの開発ならびに日本初の人工衛星「おおすみ」も成功し、軌道観測のための追尾受信機の開発が一段落し、ほっとした時期であった。



終段増幅管 CFA 打合せに社を訪問。左より 3 人目



狭いシェルター内の送信機架



周波数位相複合走査アンテナ

1. 増幅型送信機の開発

日本には本格的レーダー増幅管ではなく、米国ボストン近郊の Raytheon 社から購入することとなり、初の海外出張でもあり乏しい英語力を振り絞った思い出深い旅となった。

この CFA と呼ぶ増幅管はマグネットロンによく似た構造を持ち、利得は低く、前段には別の CFA が必要であり、その前段には進行波管 TWT その前段迄は自社の半導体増幅器が用いられた。送信信号を送信周波数に変換してから TWT、CFA、CFA と三段の増幅管が並ぶ 送信機が必要であった。

CFA は、電圧を掛けないと単なる導波管として動作し前段の出力をそのまま送信することができた。

数十 μ s のリップルの少ない広いパルス幅で、従来の 0.1% の duty cycle を%オーダーに上げる必要があり、これらラインタイプ変調機も開発項目であった。

しかも、パルス間隔の変化に伴う電力変動を抑える必要もあった。

前段の CFA は new Jersey 州の SFD 社、TWT は Los Angels 近郊の Varian 社であり、期せずして米国各地を訪問する機会に恵まれ、「習うより慣れろ。」の諺通り必要に迫られ、これを契機に英語力向上の機会ともなった。

1-1 軽量化アルミ導波管

軽量化のためアルミ合金が用いられたが、ピーク電力と平均電力共に大きく導波管接合部などでホットスポットが生じ火花の発生が見られ、特殊ガスの封入により回避する必要があった。

1-2 ペンシルビームで如何に垂直覆域を得るか

仰角の低いところでは最大電力を低い PRF で送信し、MTI も行うためヒット数を最小限増し、中仰角から高仰角に掛けては必要な距離に合わせて高仰角に行くに従い高 PRF とすることで仰角覆域を確保した。このビデオを一つの PPI に表示した。従来の垂直整形ビームレーダーとは趣を異にしていたが、完成してみると違和感なく垂直覆域が形成されていることが実感された。間隣るビームの受信振幅の比較により仰角を測定し距離から高度が計算された。

1-3 仰角走査アンテナ開発の苦労

直接の担当ではなかったが、我が国初のフェーズドアレイアンテナであり、しかも周波数と位相走査の組み合わせであり、フェライト材料の開発は材料調合割合を僅かの変更を繰り返し、さながら近代鍊金術の様相を呈していた。導波管内に 22.5 度単位の 4 ビット位相器を構成し損失を如何に抑えるかが最大の関心事であった。送信損失と制御駆動電流による発熱も地味な課題であった。

2. パルス圧縮方式の採用

数十 μs のパルス幅の直線周波数変調(chirp)パルスを送信し、受信後にパルスを μs 台に圧縮することで、従来にないレーダーシステム利得を望むものである。chirp パルスは IF 帯で磁歪遅延線(magnet strict delay line)を用いて発生させた。送信時には上側波帯を送信し受信時に下側波を同様 delay line を通すことで達成できた。

一方、一定振幅の受信波が圧縮されると圧縮パルスには time sidelobe が発生する。距離分解能を落とさずサイドローブを効果的に落とすため weighting filter を用いた。受信機の構成は、周波数、位相走査を組み合わせたペンシルビームアンテナに供給するためチャネル数は複数となった。

3. ディジタル MTI への挑戦

当時の半導体 IC は揺籃期であり、処理速度には不満があった。社内の最高技術を糾合し開発に挑戦した。今から見ればパルス幅の時間分割数も必要最小限であった。この開発実績は以後のより高度なディジタル信号処理技術の先駆けとなった。



“M3D”の展示会を終え ホッとしている電波応用事業部の皆さん
左奥は膨らませた管制室、右奥は送受信シェルター

右端が筆者↑

このページご覧の方で、ご希望の方に この写真を差し上げます。
tkoshio@mtd.biglobe.ne.jp まで住所氏名をご連絡下さい。お知り合いの方にもお伝え下さい。

主要参考資料

- 1) **12年の歩み** 昭和42~52年報告書 電波応用事業部 1981(昭和56)年1月
- 2) 電波応用事業部 **技術史** 1996(平成8年)3月31日
- 3) 府中事業所25周年記念 **府中語り部物語** p57~p64「移動三次元レーダーの開発」小塩立吉分担執筆

(2017年04月06日。06月19日改訂)