

TDK-CS50 型パラボラ用 10 / 24GHz2 バンドフィードホーンの実験

JA1EPK 大日方 悟朗

使用するバンドが増える度に専用のパラボラを上げるのは一番確実な方法ですが、そのためのスペースの確保と風当たりが大きくなる事を考えるといつも悩みの種です

これを一つのパラボラで2バンドに兼用できれば色んな意味でメリットが有るので以前から2バンド用のフィードホーンを試作してきましたが何れも調整が難しかったり、ゲインが少なかったり、バンド毎に位相中心がずれていたりして納得行く物が出来ず思うような物が出来ず其の儘に為っていました、ところが最近 TDK 製の CS-50 型と言うカセグレン型のパラボラのコンバーターを取り外しそこに 10GHz や 24GHz の同軸導波管変換器を取り付けて使っていると事を聞き、何とか 10GHz と 24GHz の2バンド用に出来るのではないかと考え早速購入して見ました

このアンテナは F/D 比が 0.3 位の直径 50cm のパラボラと 70mm 径の副反射器で構成するカセグレン型ですが、内径 18mm のパイプの先端に取り付けられた黒色のプラスチック製のお椀で副反射器を支持している為、副反射器のプロフィールやホーン先端がどうなっているのか分かりません

フィードホーンを覗いてみる

分からないとなれば見たくするのが人情で、メーカーがどんな設計をしているのか知りたくてお椀の一部に金鋸で切り込みを入れて覗いて見る事にしました、切り込みからドライバーを入れると思いの外簡単に副反射器を外す事が出来ました、写真及び第1図のホーン詳細図にこの状態を示しました、副反射器の周りには接着剤が周囲から 5mm 程はみ出して金属面が狭くなっています、またお椀の厚さは 1mm 程ですが此等が効率を悪くする事が無いのか疑問です

副反射器の直径は 70mm で凸面の高さは約 6.5mm でした、これを元に仮想パラボラの F/D 比を計算すると 0.5、開口角は 106 度となりました、これを照射するホーンは先端部分が内径の 18mm から外径の 25mm まで長さにして 4mm 程広がっているのみで、此れで完全に照射出来るのか疑問が出てきました

今一つの疑問点はこのパラボラの焦点からフィードホーン先端を結んだ線とパラボラ面との交点は直径約 130mm の円になります、この円内に入って来た電波はフィードホーンにブロックされて受信出来ません、この為 50cm のパラボラですが約 7% の面積が減った計算になります

通常副反射器でブロックされる面積(この場合 70mm 径)とこのフィードホーンでブロックされる面積を同じにするとこの事ですので此れから見ると副反射器の直径はもっと大きくするか F/D 比を大きく取ると良いのではないかと考えられます
副反射器の直径は少なくとも 5 波長以上は欲しいと言われていますが 12GHz の波長は 25mm ですから 3 波長にもならない事になります、此れを 5 波長の 125mm に取ればフィードホーンはもっと下がってホーンによるブロックも少なくなる筈です

試しにこの副反射器に最適なホーンの形を PCAAAD でシミュレーションして見たのが第 2 図です、これから見るとかなり大きな物になりとてもこのお椀には納まりません、その上ホーンでブロックされる面積は直径 190mm にもなりこれも問題です、それやこれやで疑問だらけですがそれでもこのアンテナはれっきとしたメーカーの設計ですから、私の知らないノウハウが有るのかも知れません何方かご存知の方はお教え頂けると幸いです

10GHz 用給電部の製作

理屈はともかくこの内径 18mm のパイプに 10.24GHz のエネルギーをほうり込む為の同軸導波管変換器を作る事にしました、これは第 3 図の様にフィードホーンを取り付けるコンバーター金具からコンバーター部分を切り離し、代わりに内径 18mm のパイプの側面に SMA 型コネクタを取り付け、センターピンを管内に約 1/4 波長出る様にした物をフランジで取り付け、更に調整の為にパイプ内を移動できるようにした 18mm 径のバックショートの組み合わせで構成しています、これでまず 10GHz での SWR の測定から始めました

これから先は私の実験記録として書きましたので結果が最良と言う訳では有りません、其の為回りくどい所も有ると思います、斜めに読んで結論のみを見て頂ければ結構です

測定システムとしては方向性結合器と 10.24GHz マーカー発振器の組み合わせで始めましたが大きな反射が有る様でどうも思うように SWR が落ちてくれません、今まで幾つかのフィードホーンを作って来た経験から太さや長さの違うプローブを何本か用意すればリターンロスの良いプローブとバックショートの位置を見つける事は簡単に出来ると思っていたのですが今回はどうも様子が違いました

どのプローブを使ってもマッチングが取れません、そこでいま少し具体的に測定する為 HP 8441 という古いベクトルネットワークアナライザーを引っ張り出しました

これでの測定結果を第 4 図のスミスチャート上に示しました、チャートの中心は 50 で外側に行くに従って SWR が大きくなり外周では全反射となります、プローブの長さを変えてもチャートの外周近くにいて中心へ入って来ません

この原因はどうもホーンと副反射器が近すぎるのでは無いかと考えたのですが、コンバーター本体のプローブ部分は同じ様な構造なのに 12GHz では良くて 10GHz でこんなに悪くなるというのも納得できません (12GHz での測定はしていません)

10GHz 3 スタブ型マッチングセクションの実験

スタブを 1/8 波長間隔に 3 本立てればチャート内の何処からでもマッチングがとれますので、今度の様に反射の大きい場合でも上手く行く事は確実で、其の為給電部の寸法もクリチカルではなくなります、ただこのスタブが 24GHz でどんな影響が出るか分かりませんが取りあえず 10GHz をクリアする為にフィードホーンの途中にスタブを立てて実験してみました (第 5 図)

内径 18mm パイプの 10GHz の管内波長を計算すると約 140mm ですのでスタブの間隔は 17.5mm に取りました、スタブの位置は何処でも良いのですが今回はホーンの出口に近くに置きました

結果は予想どおりプローブの長さやバックショート的位置に関係なく簡単にマッチングを取る事が出来ました、ただ3本ともかなり深くパイプの中に入っていますのでやはりQは高くSWRの値は10.24GHz + - 5MHzで1.5、+ - 10MHzで2になりました、試しに周波数を変えて見ると10.45GHzでは+ - 10MHzで1.5、+ - 20MHzで2.5と言う結果です

これから見ると200MHz高くなっただけでSWRが1.5以内の幅が2倍になっているのは矢張り内径の18mmがカットオフに近い事が効いているようです、ちなみに10.45GHzの管内波長は80mmでした、これが本来の仕様周波数の12.5GHzになると40mmですから結構幅が取れているのかも知れません

24GHzでのテスト

この状態でバックショート WRJ220の導波管に変えて24GHzでのテストをして見ました、残念な事に24GHzは私のベクトルネットワークの測定範囲外ですので今回は方向性結合器による反射波のみの測定しか出来ませんでした、測定に使った物は10GHzの信号源が24GHzスイーパーに変わったのと、バックショートが導波管フランジを18mm径に丸くした物になっただけです、なお10GHzポートのSMAはオープンにして置きます

結果は思ったほど悪くなくSWRで2ぐらいの感じでしたが、フイードホーンの開口面に手を当てても余り変化が無く電波が上手く放射されていない様です、構造から考えても3本のスタブが24GHzで無関係とは思えずこれこれを含めて更にマッチングセクションを増やすのも考え物なのでそれ以上の追求は止めました、10GHz専用ならばこれで実用になります

キャピテーターによる10GHzマッチングセクション

3スタブ型が24GHzではNGなのは分かりましたがスタブを使わないでマッチングを取る方法が分からず困っていました、所が実験中副反射器のパイプを回して行くとSWRが下がって行き、ある位置で50になる所がありました、プローブの長さの違う物を使っても下がる位置は変わりますが同じ様にマッチングが取れます

これは18mmの円形導波管の外側に切っただけあるネジ部と取付金具との間に出来る空間が一種のマッチングセクションとして働いた為の様です、試しにこの空間を埋める為にギャップ長と同じ長さの内径18mmのカラーを入れて見ましたが結果はNGでした

そこでこのギャップに相当する内径21mm長さ7mm程のリングを同軸導波管変換器とコンバーター金具との間に挿入すると今度は副反射器は元の位置で50にマッチングを取る事が出来ました、このリングの大きさはクリチカルではなく多少の違いはプローブの長さやバックショート的位置を変えてSWRを下げる事が出来ます、この状態を第6図のスミスチャートに示しました

周波数によるSWRの変化

今までは10.24GHzのみの測定でしたが、周波数を変えてSWRの変化を見たのが第7図です、SWRが1.5以内の範囲は前回よりも良く10.23~10.25GHzの20MHzでした、未だ改善の余地が有ると思いますが10GHzでの実験はこの位にして24GHzへ進む事にしました

24GHz での実験

24GHz のトランスバーターの出口が WRJ220 の導波管になっているので同軸変換器を使わず直接導波管のフランジから 18mm のパイプに電波を送り込む事にしました、従って 10GHz のバックショート的位置に WRJ220 のフランジが来ることになります、10GHz の電波はカットオフ周波数以下なので導波管には入り込まずバックショートとしての作用は完全です

24GHz の波長は 12.5mm ですので波長に比べて直径の大きなパイプ内では導波管内の TE10 モード以外に他のモードの発生が考えられます、又それが効率にどんな影響を与えるかも不明ですので比較の為にこの副反射器に対応した第 8 図の様な 24GHz 専用のホーンを作る事にしました、このホーンのパイプの内径は 8.6mm ですので WRJ220 の TE10 モードは素直に円形導波管の TE11 モードに変わって行き他のモードの発生は有りません、計算では 24GHz で TE11 モードのみを伝えるパイプの内径は 7.3mm ~ 9.5mm となります

24GHz での反射波の測定

これでバックショートを動かしてみると反射波のなくなる点が 2 ヶ所ありました、10GHz で苦労した事から見ると呆気ない位でした、次に 24GHz が 10GHz ポートに出てくるのを測定する為に SMA コネクタにパワーメーターを接続して見ました、結果は反射の少なくなる位置は少し変わるだけでしたが、アイソレーションは以外に悪くバックショートと SMA コネクタの間隔によって最大で入力 30% の 24GHz が現れました、試しに SMA コネクタを外してみると反射波が大きく変わります、明らかに SMA コネクタの影響が出ています

これは無視する事は出来ません、対策として 10GHz を通し 24GHz はストップする第 8 図の様なローパスフィルターを SMA コネクタに接続する事にしました、このローパスフィルターの寸法は Super Star というソフトを使ってシュミレーションした物を元にしてカットアンドトライで決定しました (第 9 図)

このローパスフィルターのお陰で入力側の SMA コネクタをオープンにしてもショートしても反射の下がる位置は変わらなくなりました

総合テスト

今まではホーン単体での実験でしたがこれで大体 10/24GHz で見えそうな見当がついてきましたので実際にパラボラに組み込んでテストしてみる事にしました

と言ってもゲインやパターンを測定するとなるとそれなりの場所と設備が必要になり、また一人では思うに任せません、其の前に 10GHz での SWR の最良点と 24GHz でのそれが違っているので重ね合う所を見つけたり妥協点を探す仕事が残っています、幸いフィードホーンとパラボラの関係は固定されていますので多少の誤差は有ってもこの実験は近距離で出来ます

10GHz では 10mW のガン発振器と 17dB のホーンの組み合わせ、24GHz では 5mW のガンと 23dB のホーンを組み合わせで信号源としました、受信強度の測定は HP の 435 型パワーメーターを使い両方の距離は 5 ~ 10m です

10GHz での測定結果は思ったより変化が少なくバックショート的位置は極端にプローブ

に近づく限り何処に置いても 0.5dB 以下の変化に納まっていました、この辺は予備実験の成果が出たようです

24GHz ではハッキリと最大点が出てきます、やはり SWR 最良点で信号が最大になる事が分かって前の測定が間違っていない事が確認出来ました、ただ調整はちょっとしたガタで測定値が変わるのでかなりクリチカルです、全体として 24GHz にポイントを置いて調整すれば良い事が分かったのは大きな収穫でした

ここで比較の為に先に作って置いた 24GHz 専用のホーンを取付金具に挿入して前後に動かし信号が最大になる点を探して見ました、しかしこのホーンは最良点にセットする事が難しく調整はクリチカルでした、調整の為に長めに作ったので取付金具の後部の 18mm の穴とホーンの 9mm パイプの隙間からの漏れが影響している様でこれをアルミ箔で覆うと変わります、どうも大きな反射が有るようですので専用ホーン単体の SWR を計ることにしました

今回は 24GHz の測定にスロットラインを使いました、やはりかなり大きく SWR が立っています、原因がホーンが小さい為に空気とのマッチングが不十分なのか WRJ260 導波管と 8.6mm のパイプとの継ぎ目に有るのか分かりませんが導波管に 2mm のビスでスタブを立てる事で SWR を 1.1 にまで落とす事が出来ました

取付金具にこのホーンを挿入して SWR を測定して見ると今度は隙間からの漏れはない様に素直に SWR の落ちる点は有りますが、設計した位置とは違っていています、原因は副反射器とホーンが近い(15mm)ので反射器からの反射がホーンへ入り込む為の様です

この対策として一次反射鏡の中心に 6mm のネジ穴を貫通させ外側からビスを挿入し、其の長さを調整して反射波をキャンセルする所謂頂点整合を取って見ました、結果は上々で設計位置の付近で SWR1.1 にまで落とす事が出来ました、次にデュアルバンドホーンの 24GHz の SWR を計ってみました、ここでも頂点整合のビスは其の効果を発揮してバックショート的位置に関わらず SWR を落とす事が出来ました

次に 10GHz でこのビスの影響を調べましたが 10GHz では殆ど作用しません、この原因はビスの径が 6mm では小さいのではないかと思います

新取付け金具による実験

以上の実験から取付金具の寸法が出てきましたので改めて作り直して本実験に掛りました(第 10 図に取付金具の寸法を示しました)

ネットワークアナライザーで 10.24GHz の測定をして見ました、バックショート的位置は固定されたので SWR の落ちるプローブの長さを調整して行きます、結果は 3 で 9mm 長となり前の実験より 1.5mm 程長くなりました

此のキャビティー型と 3 スタブ型との 10.24GHz での受信強度の比較では 3 スタブ型が -9.4dBm に対してキャビティー型は -8.0dBm と 1.4dB 程良い結果が出ています、この差は僅かながら全体の Q の違いが出た様です、なお此れに 7 セクションのローパスフィルターを付けた時は 0.4dB 悪くなりました

24GHz での受信測定では 24GHz 専用ホーンを基準として、10GHz プローブ無しで - 1dB、
でしたが此れに 9mm 長のプローブを付けると - 10dB となり、更にフィルターを付けて - 6dB
と言う結果でした、確かにフィルターによる改善は有りますが全体として此れは一寸大き
すぎます

試しに 7.5mm のプローブに交換するとプローブのみで - 2dB、フィルター付きで - 1dB の
結果でした、此れならば何とか我慢できるますが、今度は 10GHz での SWR が悪くなります

10GHzSWR の再調整

プローブ長 7.5mm + フィルターをネットワークにかけて見ると純抵抗 100 の近くに有
ります、此れならば 70 の Q マッチセクションを入れるだけでマッチングが取れそうです、
計算して見るとフィルターの内径が 7mm なので 2.2mm のラインを 7.5mm ほど追加すれば良
い筈です、早速エレメントを作ってみるとドンピシャリで 50 にすることが出来ました、
この時のフィルターの図を第 11 図に示しました