

各種のフィードホーンの得失について

JA1EPK 大日方 悟朗

マイクロウェーブで使われるアンテナはパラボラ型アンテナが殆どですが、其れに電波を吹き付けるフィードホーンとしては円筒を切っただけの簡単な物（茶筒形）や此れにメガホンの様に広がりを持たせた円錐型の物、チョークリングを付けた物、または矩形導波管の先を広げたピラミッド型が有り、また最近良く耳にするデュアルモード ホーン等が有ります

これらのホーンにはそれぞれ適応するパラボラの F/D 比が決まっているのですが良く知られていない様で、組み合わせを間違ふと思った程のゲインが得られない事になりますので、ホーンの形と其れに対応するパラボラの F/D 比について書いて見ました

ここで引用した各種のデータは殆ど Paul Wade W1GHZ (ex-N1BWT) の Online Microwave Antenna Book から引用した物である事をお断りしておきます、W1GHZ は各種のアンテナについて非常に詳しく解析をしていますので興味のある方は是非お読みになる事をお勧めします、この中でホーンの水平、垂直放射パターンを NEC や Physical Optics というソフトを使ってシュミレーションしています、また Dish Feed や Feed Pat 等のプログラムを使って最適な F/D 比を算出しています、更に彼はホーン、デイッシュ、レンズアンテナ設計の為の HDL-ANT というプログラムをアップロードしていますのでダウンロードする事をお勧めします

始めに

フィードホーンから出た電波はパラボラ面を一様な強さで照射する事が理想ですが、実際には中心部に比べて外周（エッジ）へ行く電波は色々な理由で弱くなります、また外周を外れた電波はロスになります（スプilloーバー）、エッジへ行く電波が強くなる様なホーンを使うと此のロスも多くなりますのでフィードホーンを設計する時、ホーンの放射パターンはパラボラのエッジで中心より 10dB 下がる様に設定します、以下各種ホーンに就いて述べてみます

1 コーヒー缶型フィードホーン

コーヒー缶型フィードホーンとはお茶筒の様に一方が塞がった円筒型か円形導波管の開口面からパラボラに電波を照射する物で、放射器としてはもっとも簡単に自作出来るので多くのアマチュアに愛用されています

このフィードの放射角は円筒の直径によって決まります、良く使われる直径が 0.75 の物は F/D 比が 0.35 前後のパラボラにマッチすると言われていています、このホーンの位相中心はほぼ開口面に有りますのでパラボラの焦点に開口面が来るように設置します

F/D 比に適合するホーンの直径を計算する為にはホーンの放射パターンを知らなければなりません、この形のホーンでは垂直面と水平面のパターンがかなり違う為確実なデータが有りません

只円形導波管の性質から標準モードの TE₁₁ モードでは直径が 0.59 以下はカットオフになって使用できません、幾つかの実験結果からカットオフに近い 0.6 のホーンは F/D 比が 0.25 から 0.3 のパラボラにマッチします

また 0.76 以上になると次のモードである TE₀₁ モードが発生しますが、此れに近い 0.86 では F/D 比が 0.4 にマッチします、更にこれ以上の 0.95 のホーンでは垂直面の指向性が中心から外れて大きく効率を悪化させています

従ってこれらの実験結果からこのタイプのホーンは直径が 0.6 から 0.9 の範囲で使用出来、F/D 比では 0.25 から 0.4 までのパラボラで使うのが良い事が分かります

ホーンの長さはクリチカルでは有りませんが、プローブから放射された電波の位相が揃って放射される為には少なくとも管内波長で 1 波長は必要です、この管内波長は周波数が同じでもホーンの直径によって違いますので注意が必要です

プローブの位置と長さはホーンまたは導波管のインピーダンスが直径と長さによって変わる為計算で出す事は難しく SWR を測定して実験的に決めなければなりません

このホーンの欠点は前に書いた様に垂直面と水平面の位相中心が異なる事で、同じホーンを使っても垂直偏波で使うか水平偏波で使うかによって焦点からの位置が違ってきます、また開口面の縁を回って外に漏れ出す電波の為フロントバック比が悪く 15dB 又はそれ以下にもなります、更にサイドローブも大きく全体として効率を下げています

この様にこの形のホーンは構造が簡単なので良く使われますがパラボラの持つ効率を最大に発揮させるには今一つ物足りません

2 チョークフランジ付きコーヒャ型ホーン (WA9HUV)

この欠点を除く為に WA9HUV は 0.76 のホーンの外側に直径 2 のチョークフランジを開口面から 0.27 下がった所に取付けました

この結果垂直面と水平面の特性は略同じ様になり、効率も 10% 程改善されました

3 VE4MA 型チョークリング付きフィードホーン

更にこの点を改良した物に Kumar が発表したチョークリング付きフィードホーンが有ります、此れは円筒形ホーンの開口面の外側に漏れ出す電波を阻止する為にチョークフランジの代わりにトラップリングを付けた物で、其の大きさは約 1/2 幅、1/2 深さに取られています、このリングは Q が小さくチョークフランジよりもクリチカルでは有りません、VE4ME のデータによるとホーンの開口面からリングの底までの距離を変えるだけで F/D 比が 0.3 から 0.5 と広い範囲のパラボラに一つの内径のホーンで対応出来る事や、最大ゲインの位置や最良の S/N を得る位置を選べる事も大きな特徴です、このホーンは多くのアマチュアによって色々な周波数にスケールアップ又はスケールダウンされて使われています、このチョークリング付きホーンは多くのマイクロウエーブ EME 局にも愛用されています

一例としてチョークリングの先端を開口面から 0.1 に置いた時 F/D 比 0.33 にマッチしていましたが、又開口面と同じ位置に置いた時は 0.42 に、更に開口面から 0.025 突き出し

た時はF/D比0.5のパラボラにマッチすると言う実験データが有ります、この他にも色々な報告が有りますので其れを参考にして下さい

4 Chaparral フィードホーン

前述の一つのチョークリングの代わりに幾つかのリングを重ねて取り付けしたホーンが Wohlleben によって発表されました、このリングの間隔はクリチカルでは有りませんが、深さは1/4 より僅かに長く取られます、このホーンはCバンドやXバンド TVRO 用として Chaparral によって使われた為 Chaprral Feed と呼ばれています

日本でもジャンクで見かけられますがアマチュアバンドで使うには仕様が分からないので敬遠されている様です、一例として内径0.76 のホーンの開口面から0.26 後に取り付けた物はF/D比が0.35から0.4にマッチし、開口面と同一面に置いた物は更にゲインが上昇し0.45 にマッチしていると言うデータが有ります、更にこのバリエーションに就いて前述の Antenna Book に幾つかの報告が有りますので詳しくは其れを見て下さい

5 コニカル(円錐型) フィードホーン

1で述べた円錐導波管や茶筒型フィードホーンは比較的小さなF/Dのパラボラにマッチしますが、大きなF/D比のパラボラに合わせる為に円筒の内径を大きくするとTE₁₁以外の不要なモードが発生して放射パターンを歪ませます

内径をメガホンの様に次第に広げて行き円錐型のホーンとすると、この不要なモードの発生を押えて綺麗なパターンにする事が出来ます

この円錐の開口面の大きさ(直径)と軸方向の長さ(円錐の頂点迄の高さ)によって垂直面、水平面のパターンが決まります、この場合円錐型アンテナと違う所はゲインを問題にするのでなく、前に書いた様にパラボラの外周における強さが中心部より-10dBになるような寸法を選ぶ事に有ります

この寸法を計算する為には NEC ではかなりの時間が必要なようで W1GHZ はここでは Physical Optics 使ってシュミレーションしています

例として開口面直径が1.88 で広がり角が58度のホーンはF/D比が0.7から0.8のパラボラにマッチします、同様に1.33、30度では0.6に、1.3、120度では0.4から0.6に、1.3、45度では0.6に、同じく1.3、60度が0.58に、1.3、90度で0.55にマッチしています

6 ピラミッド型(矩形形) フィードホーン

矩形形導波管は其の優れたローロス特性の為に古くからマイクロウエーブで使われて来ましたのでC-バンドやX-バンドのジャンクは何処でも見かけられる様です

円筒型と同様に最も簡単なホーンは矩形導波管を切りっぱなしにした物です、W1GHZ が Physical Optics を使ったシュミレーションによるとF/D比では0.25から0.3くらいの深いパラボラにマッチしますが、垂直面特性と水平面特性は非常にかけ離れている上に貧弱なF/B比の為に効率が悪くなっています

此れに1.3 角の開口面を持つスカートを付けた所0.6から0.75のF/D比にマッチする

様になりましたが、垂直面と水平面特性にまだ差が有りこれを調整しなければなりません

G3PHE は 1975 年 3 月号の Radio Communication 誌に F/D 比に応じたピラミッド型フィードホーンのチャートを発表しました、このデータは F/D 比が 0.3 から 1.1 迄のパラボラに対応するホーンの寸法を見つける事が出来ます、W1GHZ も彼の HDL-ANT の中でこのデータを元にして計算をしています

MWACANT のカセグレンアンテナの項ではこのデータに基づいて各部の寸法が算出出来ます

7 デュアルモード フィードホーン

今まで述べてきた様にホーンの要素として挙げた垂直面と水平面のパターンの同一性や、開口面の縁から漏れ出す電波を最小にする事を考えて設計しなければなりません、これをモードと位相の異なる二つの電波を一つのホーンに共存させる事によってクリアした物にデュアルモード ホーンが有ります

このホーンは 1967 年に W2IMU R.H.Turrin が IEEE に「Dual Mode Small Aperture Antennas」と言う論文で発表した物ですがその後 1296MHz での具体例を QST に掲載したのが始めてで W2IMU ホーンとも言われています、以後色々な周波数にスケールダウンして使われています

このホーンはコニカルホーンの先に更に円筒を付けた様な形をしています、小さい方の円筒は円形導波管の基本モードである TE₁₁ モードのみが伝わる様に内径が選ばれています、また大きい方の内径は TM₁₁ モードが伝わる様に 0.92 から 1.915 の間に選ばれます、この大きい方の円筒には TM₁₁ モードだけではなく元の TE₁₁ モードの電波も同時に伝わりますが、両者の大きさを適当な配分が出来る様に円錐部分が設けられています

TM₁₁ モードの電波はこの円錐と大きい円筒の接続点に発生し、其の点で TE₁₁ モードの電波と 90 度の位相差が有ります、この二つの電波は管内波長が違う為夫々の速度で円筒内を進みますからある点で位相が一致する所が出てきます、大きい円筒の長さは丁度この長さになっていますからこの位相を持った電波がパラボラに吹き付けられる事になります

この電波は円筒の中心部分に集まっています、円筒の外周には殆ど存在しません、この為円筒の縁を回って外側に流れ出す電波が有りません、また垂直面と水平面のパターンが殆ど同じになって効率を上げている特徴も有ります

この様に色々な点で優れているフィードホーンですが、W2IMU ホーンは発表されたデータの内大きい方の内径が 1.31 の物でこれはパラボラの開口角が 90 度、F/D 比で 0.6 近辺にしか適用できません、しかし W2IMU の今一つのデータは内径が 1.86 の物でこれは開口角 70 度、F/D 比で 0.8 のパラボラにマッチします、W1GHZ は彼のアンテナブックの中でこのホーンの計算式を発表していますので其れを使えば F/D 比で 0.5 から 0.8 位迄のホーンの計算が出来ます、ちなみに HDL-ANT の最新版ではこの計算が出来るようになりました

終わりに

これらのホーンの内円筒型ホーンやピラミッド型ホーンの計算は MWACANT で出来ませんが
コニカルホーンやデュアルモードホーン、VE4MA 型ホーンについてもウインドウズ上で計
算出来るプログラム (HORNCALCU.EXE) を作りましたので興味のある方はご連絡下さい

以上