

上海局向け6.7GHz帯多モードホーンの開発

氏原秀樹 (Nict)、本間稀樹 (国立天文台)、木村公洋、小川英夫、松本浩平、黒岩宏一 (大阪府立大学)、三谷友彦 (京大)

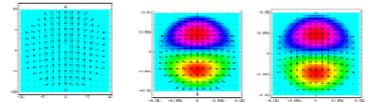
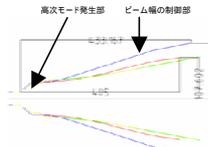


図1 導波管内の電界分布の例。左はTE11モード、基本モードであり、円錐ホーンでの開口面電界分布中はTE11モード、一つ目の高次モードで、これとTE11モードをうまく合成すると、右図のような電界分布となり、交差偏波成分が減少する。ビーム幅は開口面付近のテーパで調整。

1. 多モードホーンの開発

- 通常のコンニカルホーン、コルゲートホーンは基本モードのみで動振。
- 多モードホーンでは管内のテーパ角の変化部で高次モードを発生させて開口面で合成し、望ましいビーム形状、偏波特性を得る(図1)。形状が複雑になるので設計パラメータが多いが、コルゲートホーンよりも加工は容易。
- コルゲートホーンに比べると比帯域は狭いが、内壁に溝がないので外形が小さい。



- GFRP等の軽量で断熱性の良い素材で外装を作るのが容易になる->VSOP2 22GHz,43GHz.
- 多段テーパ構造を利用して軸長削減が可能である->VSOP2 8GHz,VERA 6.7GHz.
- コルゲートホーンよりも安い->上海6.7GHz.

2. VERA6.7GHz帯用(図2.3)

建設当時、6.7GHz帯は想定されておらず、通常のホーンを受信機プラットホームに置くとフィードムを突き破ってしまう。そこでVSOP2用設計を元に、軸長450mmの制限下で極力光学系にあわせてビームを絞った多モードホーンを設計した。理想的なコルゲートホーンよりも性能は低いが、軸長制限を満たせた3本をGRASPで評価した(図5)。形状比較を図4に示す。

初期試作(図3)では、隣接する22GHz帯ホーンのビームを乱してしまった。新デザインでは細身になったので、ビームの変形は改善されると期待する。副鏡照射電力は、見込み角10度では前回試作(r2.4)より4%減少したが、新デザイン(r4.2.9.3)では照射電力の分布は平坦に近づいたため、計算上のアンテナ開口効率では60%から65%へ向上し、軸長は433.3mmから405.0mm、口径は290.0mmから215.2mmへ縮小された。METLABで近傍界測定を行ったが、8GHz帯でも交差偏波特性はさほど悪くない(図2。測定は松本、黒岩、木村、フロントエンド全体は隣のポスト)。

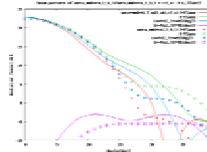


図2a. VERA用6.7GHz帯ホーンの特性。CHAMPでのシミュレーション、実線は旧デザイン、点線は平坦化した新デザイン。

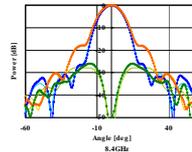


図2b. VERA用6.7GHz帯新ホーンの数値値(sim)と測定値との比較

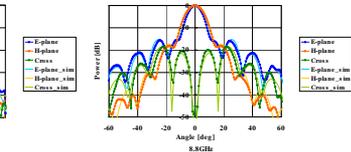


図2c. VERA用8.4GHz帯新ホーンの数値値(sim)と測定値との比較

3. 上海局用6.7GHz帯(図4.5.6)

3.1. 寸法・光学仕様

- 既存のビーム伝送光学系は8.4度方向で-18dB度を要求、非常に鋭いビームが必要。
- ビームを絞るためのレンズつきで長さ1.7mの5GHzのコルゲートホーンが設置済、寸法制限は極めてゆるい。

3.2. 提案

- 16度で-18dBとビームが広いが、レンズと組み合わせて用いる3モードホーン。
- エッジレベルの仕様を満たすが長さ1.2mの7モードホーンを提案、シンプルな7モードホーンが選択され、大阪府大で製作された。
- アンテナパラメータは渡されてないので、光学系組み込み後の開口効率是不明。

3.3. 広帯域化

ホーンを6分割して開口面から4個目まで製作したところで上海天文台から下限周波数を6GHzまでほしいと言われた。ビーム形状はどうしようもなかったが、全く未製作だった一番根元の角を丸めることで電力反射率を6GHzでの25%から10%に低減させた。

3.4. 測定結果

8月末に完成し、京大METLABでの近傍界で測定が行われた。その測定結果と初期設計(角丸めなし)との比較、およびリターンロスの測定値を示す(図、松本ら)。設計周波数の6.7GHzではシミュレーションとよく一致しているが、帯域端ではビーム幅がずれる。

図4. 6.7GHz帯多モードホーン上の写真の左はVERA用の旧デザイン、右は新デザイン下の写真は上海局用。開口径が約400mm、長さ1.2m。

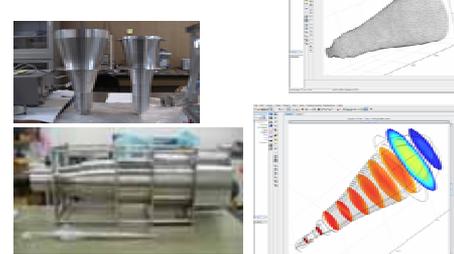
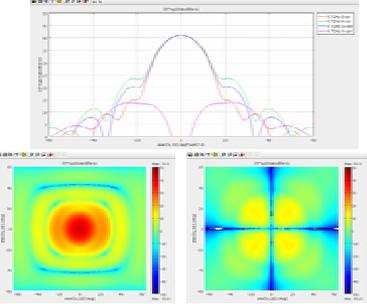


図3. COMSOLでの電磁界解析例(VERA新デザイン)

左上図は計算モデル、左下図は内部電磁界、右下はビームパターン。



COMSOLで計算したVERA用新ホーンの二次元ビームパターン(6.7GHz)。左は主偏波、右は交差偏波

4. 検討課題

- 現設計プログラムは角を全部、同じ丸めとしてるので、角ごとに任意に設定できるように改良して、測定値と比較する。
- モード数を増やすと広帯域化が難しい印象、VSOP2やVERAの経験があればこそで、いきなりこんな作れと言われても...
- 開口直径が大きくなってきて、そろそろCHAMP(Ver.8)の計算限界、このバージョンはソースコードがあるので、容易に改造できますが、仕様変更は早めに!!

6.7GHz帯と8.4GHz帯の共用はホーンはギリギリ、ポーライザは届かない。

6GHz帯と6.7GHz帯の共用はホーンが厳しかった。

今後も地道に改良を重ねていきたい。

メモリを48GBに増強し、CHAMPでは計算できない矩形リジッドホーンなど非軸対称ホーンの解析がCOMSOLで可能になった。

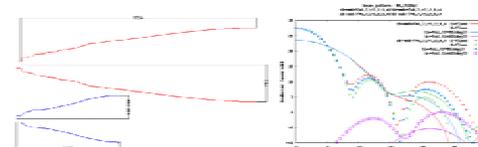


図5. 上海局用に提案したホーン的设计とビームパターン、近傍界測定風景

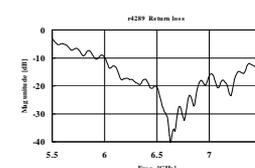


図6a. 上海局用ホーン単体でのリターンロス

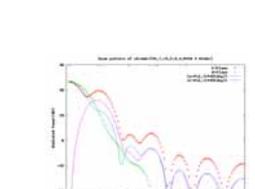


図6b. 上海局用多モードホーンのビームパターンの計算値、角は全てR=20mm



図7. 上海向け多モードホーンの製作図面と写真。

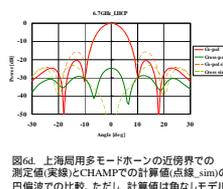


図6d. 上海局用多モードホーン近傍界での測定値(実線)とCHAMPでの計算値(点線、sim)の円偏波での比較。ただし、計算値は角なしモデル。

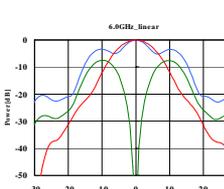
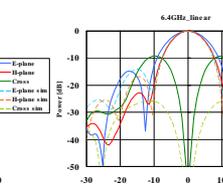
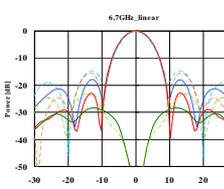
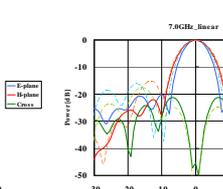


図6c. 上海局用多モードホーン近傍界での測定値(実線)とCHAMPでの計算値(点線、sim)の直線偏波での比較。ただし、計算値は角なしモデル。



(多モードホーンのための参考文献)
 [1] "一般的な伝送方式を用いたフレア形マルチモード円すいホーン解析" 出口博之ほか 電子情報通信学会論文誌 VOL.J79-B-II.No.1,pp.33-41
 [2] "高効率モードホーンアンテナ" 蛭井 貴、片木 孝至 電子情報通信学会論文誌.1982, Vol.J65-B-II, No.5, pp.664-665
 [3] "電波天文用多モードホーンの開発" 氏原秀樹ほか 信学技報 SPS2007-26(2008-03)
 [4] "電波天文用多モードホーンの開発(その2)" 氏原秀樹ほか 信学技報 SPS2008-23(2009-03)