Simulation of Dielectric-Rod Loaded Horn Antenna using openEMS Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## openEMS による誘電体装荷ホーン・アンテナのシミュレーション 武安義幸 / JA6XKQ

これまで、モーメント法による電磁界解析プログラム NEC2++ を用いて、フィード・ホーン・ アンテナのシミュレーションを行ってきた。 NEC2++ ではシミュレーションできない誘電体 装荷ホーン・アンテナを、FDTD 法(Finite Difference Time Domain Method)による電 磁界解析プログラム openEMS を用いてシミュレーションを行う。シミュレーション・ツー ルとしての openEMS の有効性と誘電体装荷の活用法が確認できた。

## はじめに

これまで、パラボラ・アンテナのフィード・ホーンについて 3 セクション・コニカル・ホーン、 W2IMU ホーン、そして Chaparral ホーン等のシミュレーションを NEC2++ を用いて行ってき た。[1] [2] [3] これらのホーン・アンテナは、フィードとして求められる放射パターンを整形 するために、導波管開口部の先にホーンやリングを装着している。

ー方では、近着の DUBUS 誌 に誘電体ロッドを導波管に装着して放射パターンを整形す る例が紹介されている。[4] 誘電体装荷による放射パターン整形は文献で知識は得てい たが、実例として馴染みが少ない。 電磁界シミュレーション・ツールとして openEMS [5] を 習熟中であり、誘電体取り扱いの練習問題として DUBUS 誌掲載例をシミュレーションす る。

#### ベンチマーク

シミュレーション結果の検証のために、まずは、既知の事例について openEMS のベンチ マークを行う。 既知の事例として、文献 [6] に掲載されているコニカル・ホーン・アンテナ に誘電体ロッドを装着した Profiled Dielectric Feed をシミュレーションする。

図-1 に寸法定義を、図-2 にアンテナ全体のシミュレーション・モデルを、図-3 に誘電体 ロッドのみのモデルを、それぞれ示す。なお、寸法定義は、原典において波長で正規化 された値を周波数 f0 = 10.48955 GHz へ換算した。図-2 では見えないが、円形導波管 内にダイポールを配置して、 TE11 相当の励振としている。誘電体ロッドの誘電率は、 εr=2.5 である。

**図-4** に openEMS による放射パターンを示す。 文献 [6] 掲載の放射パターン図 **図-5** (原典を参考に作成)と比較すると、メイン・ローブの形状は良い一致を示している。 し かし、サイド・ローブのエンベロープは両者で類似した形状となっているが、レベルに相違 がある。 また、バック・ローブのレベルが原典では -30dB であり、 openEMS のレベルが 若干高い結果となっている。

両者の相違の理由として、例えば openEMS でのモデル化手法の問題なのか、シミュレーション・パラメータに起因する精度の問題なのか等を追及できていないが、サイドとバック・ ローブの取扱いには注意すべきと判断される。 ベンチマークの結果を受けて、次項では メイン・ローブの評価に重きを置く。





### Simple dual band dish feed for Es' hail-2 / QO-100

DUBUS 誌掲載例 [4] は Es' hail-2 / QO-100 衛星に対応した地上局用アンテナであり、 アップリンク送信の 2.4 GHz 帯をパッチ・アンテナで、ダウンリンク受信の 10 GHz 帯を円 形導波管に誘電体ロッドを装着したホーン・アンテナで構成したデュアル・バンドー体型と なっている。ここでは、誘電体ロッド装荷ホーン・アンテナのみをシミュレーションする。

**図-6**(原典を参考にして作成)に寸法を、**図-7**にアンテナ全体のシミュレーション・モデルを、 **図-8**に誘電体ロッドのみのモデルを、それぞれ示す。 原典では誘電体ロッドを PolyAmide 6 で作成したとあるので、誘電率  $\varepsilon r = 2.5$ とする。 励振は前項のベンチマー クと同様に円形導波管内にダイポールを配置して、TE11 相当の励振とする。

2.4 GHz 帯パッチ・アンテナの影響と誘電体ロッドの効果を確認するために、パッチ・アン テナ無しの素の円形導波管、パッチ・アンテナ有りのホーン・アンテナ、そして誘電体ロッド を装着した最終形態の三種類について放射パターンをシミュレーションする。それぞれ の形態での放射パターンを、図-9、図-10 および 図-11 に示す。

**図-9** に示す円形導波管だけでの放射パターンは、メイン・ローブが広く、サイドとバック・ ローブのレベルが高いものとなっている。 原典では f/D = 0.6 のオフセット・ディッシュに 装着するフィードが目的である。 f/D = 0.6 の場合、フィードとして整合した -10 dB 照射 角度は約 ±45 度であり、円形導波管だけではフィードとして整合していないことが解る。 照射角度をオフセット・ディッシュに整合させるためには、フレアをつけたホーンが常套手 段であるが、パッチ・アンテナの特性に影響を与える。 したがって、パッチ・アンテナ特性 への影響を避けて照射角度を整合させるために、誘電体ロッドを装着する訳である。

ー方、パッチ・アンテナがホーン・アンテナに与える影響は、如何なるものだろうか? 円 形導波管にパッチ・アンテナを組み合わせた形態での放射パターン 図-10 では、H 面の メイン・ローブが幾分鋭くなり、また、サイドとバック・ローブのレベルが下がり、フィードとし ては幾らか良い方向に影響を与えている。しかし、E 面についてはメイン・ローブ内の照 射エネルギーが下がり、E/H 面の対称性が損なわれている。



図-2 : Profiled Dielectric Feed のシミュレーション・モデル

(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



図-3 : Profiled Dielectric Feed の誘電体ロッド

(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

誘電体ロッドを装着した最終形態では、 図-11 に示されるように、メインローブが鋭くな り、-10 dB 照射角度が約 ±50 度と f/D = 0.6 のオフセット・ディッシュにかなり整合した ものとなっている。 また、メイン・ローブの E/H 面の対象性も改善されている。 サイドと バック・ローブのレベルも下がり、フィードしての性能向上が見て取れる。

### まとめ

FDTD 法によるオープンソースの openEMS を用いて誘電体装荷ホーン・アンテナをシミュ レーションした。 既知のシミュレーション結果と比較して、概ね良好な相関性が得られた。 製作実例についてのシミュレーションでは、誘電体ロッドによる放射パターンの改善が確 認できた。 フレアを付けたコニカル・ホーンと比較して、誘電体ロッドには大きさの観点で 優位性があるので、製作実例のようなマルチ・バンド化フィードでの活用が期待される。 ただし、設計段階ではシミュレーションが不可欠と思われ、アマチュアでも利用できる openEMS はツールとして非常に有難い存在である。



図-4 : openEMS による Profiled Dielectric Feed の放射パターン

#### 参考文献

[1] 武安義幸, JA6XKQ, "アンテナ雑音温度 - 評価ツール," Jan. 10. 2011. http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/AntNoiseTemp 2.pdf

[2] 武安義幸, JA6XKQ, "NEC2++ によるホーン・アンテナのシミュレーション," Jan. 24. 2011.

http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2pp3SecHorn.pdf

[3] 武安義幸, JA6XKQ, "NEC2++ によるチョーク・リング型ホーン・アンテナのシミュレーション," 2018. http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/ChaparralHorn 1.pdf

[4] Mike Willis, G0MJW, Remco den Besten, PA3FYM, Paul Marsh, M0EYT, "Simple dual band dish feed for Es' hail-2 / QO-100," DUBUS, 2/2019



図-5 : Profiled Dielectric Feed の放射パターン(文献 [6] を参考に作成)

<sup>(</sup>C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

**[5]** Thorsten Liebig, openEMS – Open Electromagnetic Field Solver, General and Theoretical Electrical Engineering (ATE), University of Duisburg-Essen <u>https://www.openEMS.de</u>

[6] A. David Olver, P. J. B. Clarricoats, L. Shafai, A. A. Kishk, "Microwave Horns and Feeds." London : New York :IEE ; IEEE Press, 1994.



図-6 : Simple dual band dish feed の寸法定義(文献 [5] を参考に作成)



図-7 : Simple dual band dish feed のシミュレーション・モデル

(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ





(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



# 図-9 : Simple dual band dish feed の放射パターン( 導波管のみ )

(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



図-10 : Simple dual band dish feed の放射パターン(パッチ・アンテナ付き)





(C) 2019, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ