

NEC2++ による RCS のシミュレーション 武安義幸 / JA6XKQ

パラボラ・アンテナのフィード群による遮蔽損失を評価するにあたって、フィード群の RCS (Radar Cross Section) をシミュレーションした。 NEC2++ を使ったこれまでのシミュレーションは、アンテナの輻射パターンの計算が主たる目的であった。 RCS をシミュレーションするには、これまでとは異なった観点でのモデル生成が必要であり、モデル生成とモデルの有効性について検討する。

はじめに

マルチバンドのフィード群を備えたパラボラ・アンテナにおいて、フィード群による性能劣化を検証した。 [1] 性能劣化の要因として、フィード群による開口面効率の低下と遮蔽損失が考えられる。 後者の遮蔽損失は、フィード群の RCS (Radar Cross Section = レーダー断面積) を用いることで評価可能と考え、 NEC2++ を用いてシミュレーションを行った。

NEC2++ を用いたこれまでのシミュレーションはアンテナの輻射パターンの計算が主たる目的であったが、今回は、 NEC2++ が備える入射波に対する物体からの散乱パターン (= RCS) を計算する機能を用いる。 [2]

金属面で構成されるアンテナ、例えばホーン・アンテナの輻射パターンをシミュレーションする際には、モデル・サイズの大きさと計算結果の精度のバランスが良いので、 Surface Patch を用いてきた。 [3] Surface Patch はモデルとして反射について表裏があり、 MFIE (Magnetic Field Integral Equation) による解法では閉じた面に限定されるので [2]、反射/散乱パターンをとりあつかう RCS での Surface Patch によるモデル生成の有効性について検討する。

RCS 計算

NEC2++ で RCS を計算するには、コントロール・カード EX (Excitation) を次のように指定する。 [2]

EX 1 1 1 0 30.0 0.0 -90.0

- 第 1 項 : 1 = 入射平面波、直線偏波
- 第 2 項 : 1 = 入射平面波の 角度の数
- 第 3 項 : 1 = 入射平面波の 角度の数
- 第 4 項 : 0 = 未適用 (アドミッタンス・マトリックスの非対称性)
- 第 5 項 : 30.0 = 角度 (度)
- 第 6 項 : 0.0 = 角度 (度)
- 第 7 項 : -90.0 = 偏波 角度 (度)

および は球面座標で定義されており、 は Z 軸からの角度、 は X 軸からの角度となる。

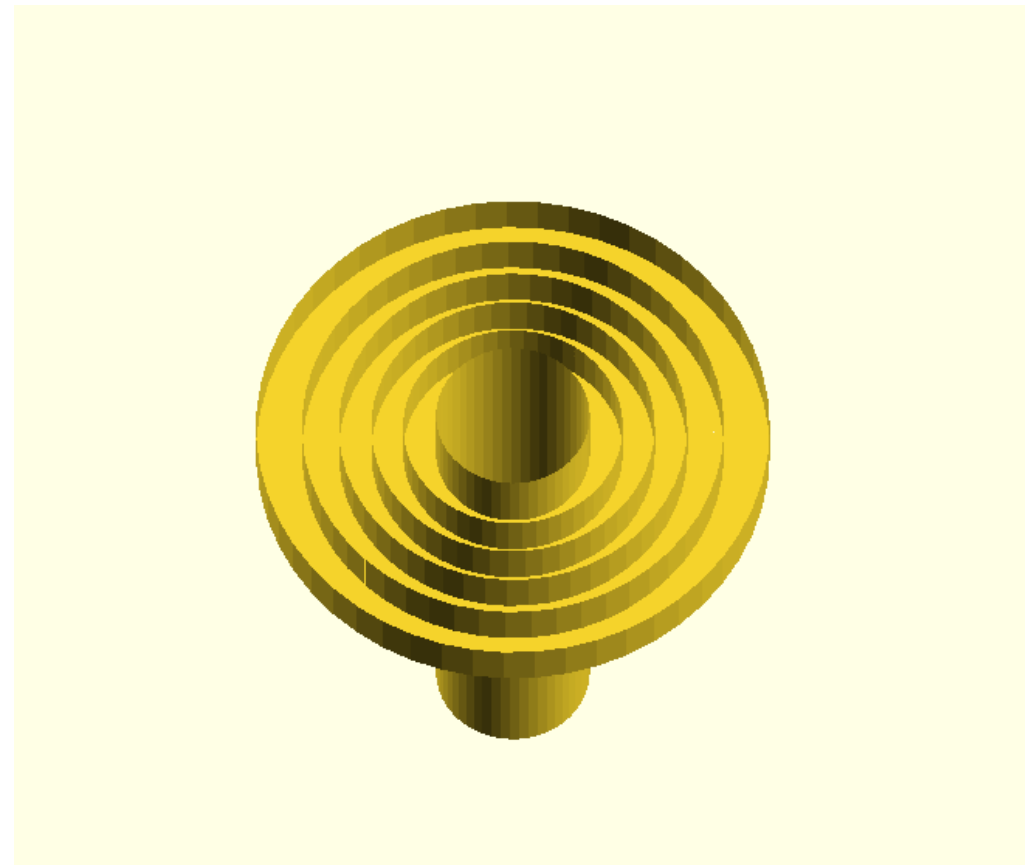


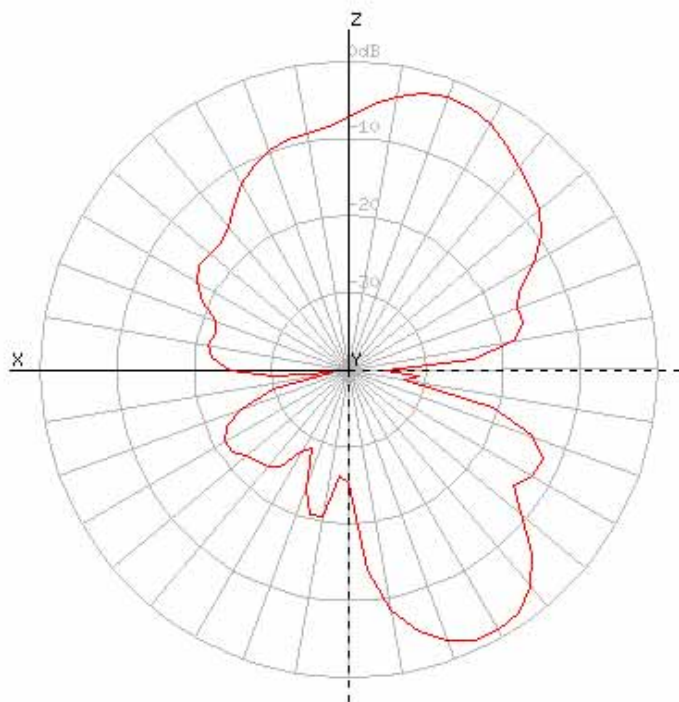
図-1 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ Thin Plate Model

5 チョーク・リング型ホーン・アンテナのモデル - Thin Plate Model

ホーン・アンテナの輻射パターンを求める時に使用した Thin Plate Model に垂直偏波の平面波を入射して RCS を求めてみる。Thin Plate Model とは、ホーン・アンテナの金属面の片側のみを Surface Patch で覆うモデルで、金属面の厚みを無視したモデルである。Surface Patch の定義により、金属面の片側のみが反射して、その裏面は反射しないモデルとなる。

Thin Plate Model による 5 チョーク・リング型ホーン・アンテナを 図-1 に示す。ホーンと

quit reload export none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 24.26 dBi vgain = -3.87 dBi

図-2 : Y 軸 RCS パターン Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

チョーク・リングの内側が Surface Patch の反射面であり、開口部とチョーク・リングに厚みが無いことを示している。このモデルに、開口面の正面斜め 30 度から垂直偏波の平面波を入射した時の Bistatic RCS を 図-2 に示す。正面からの入射ではホーンとチョーク・リングの垂直な金属面が反射面として作用しないので、正面斜め 30 度からの入射波とする。なお、図-2 に表示されている“maxgain”はアンテナとしての利得ではなく、RCS (断面積) を λ^2 (波長の二乗 = 面積) で正規化した値をデシベル表示している。

図-2 において左斜め上から入射した平面波が、右斜め上への反射と右斜め下への透過/散乱を生じていると解釈できる。

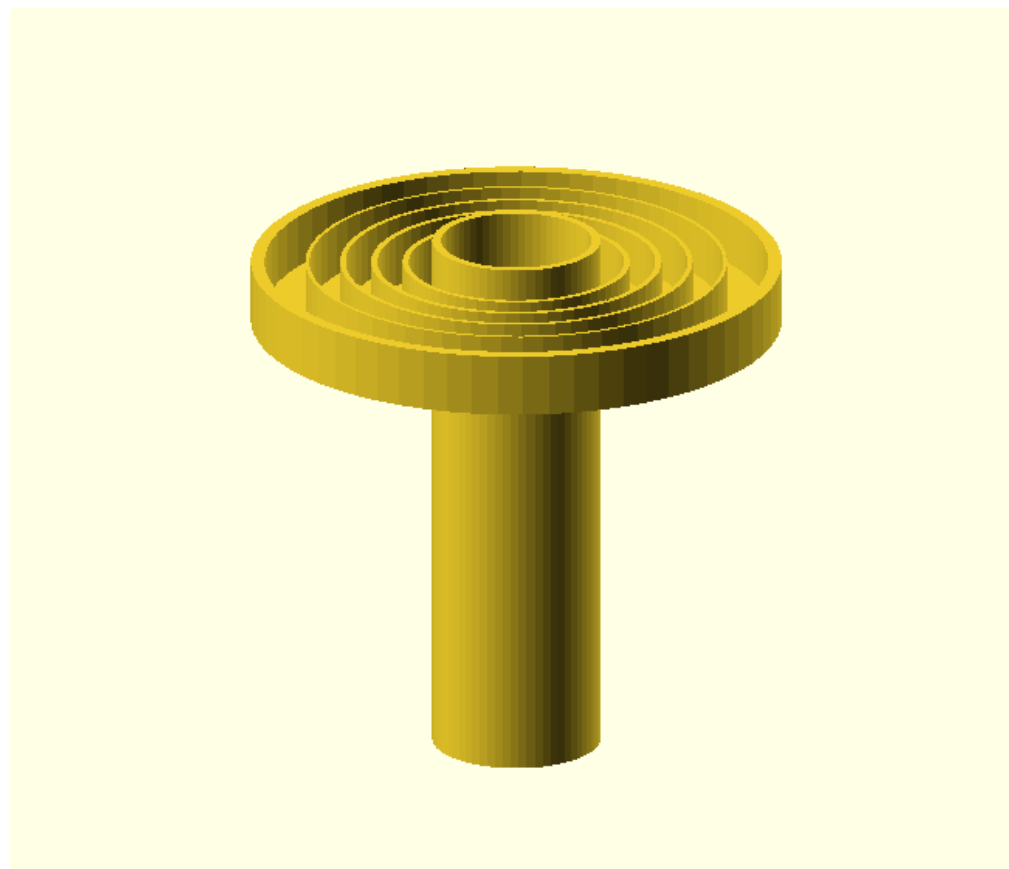


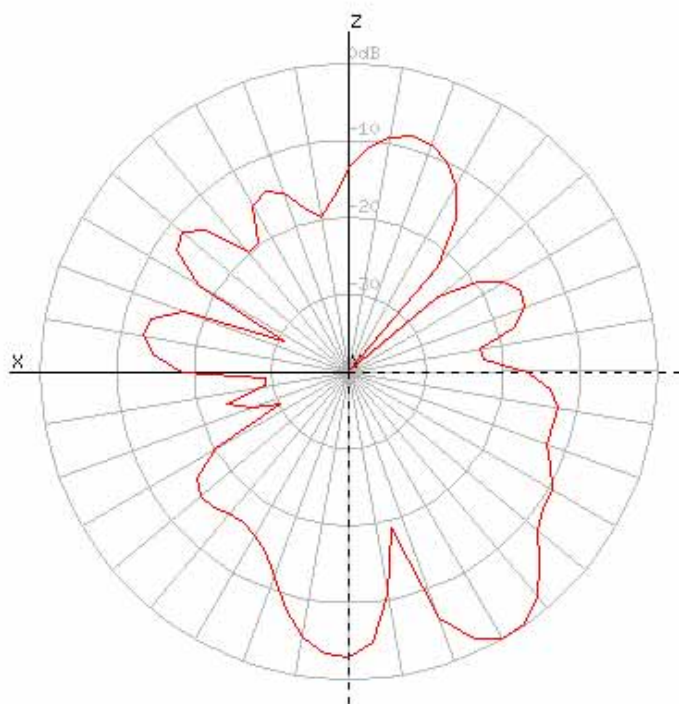
図-3 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

5 チョーク・リング型ホーン・アンテナのモデル - Thick Plate Model

次に、ホーンとチョーク・リングの金属面の両面に Surface Patch を配置したモデルを Thick Plate Model と称して、**図-3** に示す。Surface Patch が閉じた面となるように、金属面の厚みに相当する面にも Surface Patch が配置されている。**図-4** は、実物の金属面の厚みを忠実に再現したモデルである。このモデルに、開口面の正面斜め 30 度から垂直偏波の平面波を入射した時の Bistatic RCS を **図-4** に示す。

quit reload **export** none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 22.01 dBi vgain = 0.54 dBi

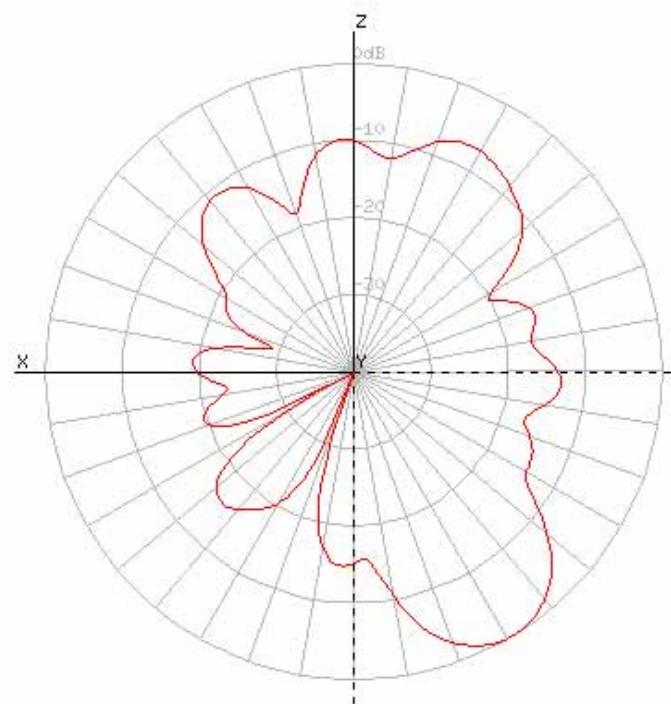
図-4 : Y 軸 RCS パターン Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

Thin Plate Model と Thick Plate Model の比較

図-2 と **図-4** に示す RCS について、チョーク・リングが反射を抑圧するという先見的知識を以て比較すると、パターンの上半分の違いは、Thick Plate Model がチョーク・リングの特性をより良くシミュレーションしていると考えられる。また、パターン下半分の違いは、Thin Plate Model ではホーンとチョーク・リングの外側に反射面を持たないので、そもそも反射 (= 誘起された電流による再輻射) を生じないことに起因すると考えられる。いずれのパターンにも強く発生している右斜め下方向のローブは、左斜め上方向からの入射波がアンテナを素通りしている様子を示している。反射板として機能するには 10 波

quit reload **export** none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 24.06 dBi vgain = 0.83 dBi

図-5 : Y 軸 RCS パターン Thick Plate Model (Surface Patch = 1/ 32)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

長以上の直径が必要と一般的に言われているので、この素通りにはチョーク・リングの機能よりも大きさが支配的であろう。

全体が反射面である金属面で構成されたアンテナをモデル化するには、そもそも Thin Plate Model は不適切である。一方、Thick Plate Model においては、複雑な形状のアンテナを如何に正確にモデル化できているかの検証が必要であろう。Surface Patch によるモデル化では、その大きさがモデル化の精度に寄与するので、大きさを変えてシミュレーションを試してみる。図-2 および 図-4 の Surface Patch の大きさは 1/7 であるところ、図-5 では 1/32 でモデル化を行った。解析的な値、あるいは参考となる類似例に知見が無いので、ここでは、Surface Patch の大きさが RCS が変化する度合いを見るにとどめる。シミュレーションを行う PC のリソースと計算時間が許す限り、できるだけ細かく Surface Patch でモデル化する、というのが現実解かもしれない。

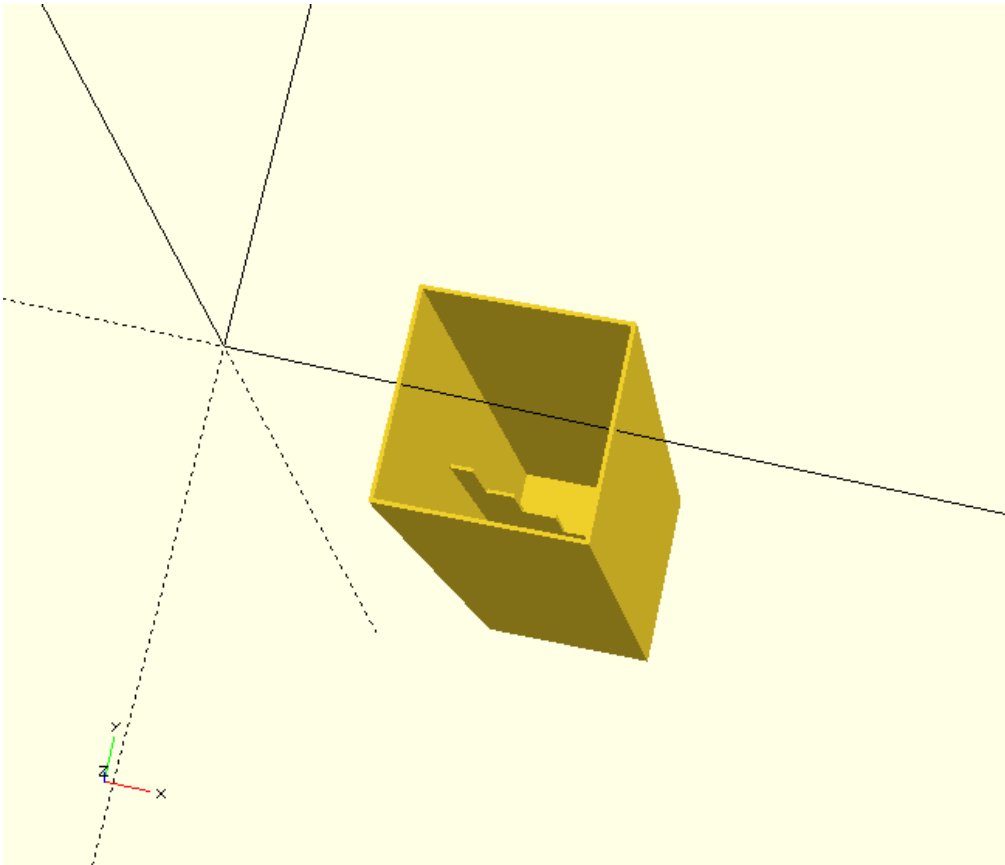
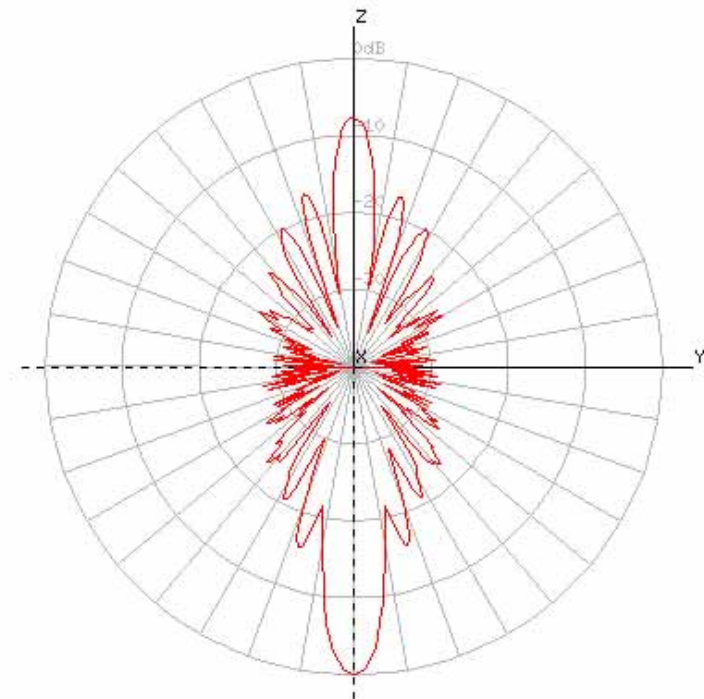


図-6 : セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナ Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナのモデル - Thick Plate Model

所期の目的であるフィード群によるパラボラ・アンテナの性能劣化を検証するにあたっては、チョーク・リング型ホーン・アンテナの他にセプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナもモデル化しなくてはならない。チョーク・リング型ホーン・アンテナでの検討を踏まえて、セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナでもホーンの内面および外面の両方、そして平板の端面の全てを Surface Patch で覆った Thick Plate Model を用いる。ホーン内部中央のセプタムも両面と端面が Surface Patch で覆われている。Thick Plate Model によるセプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナを 図-6 に示す。図-6 は 1.2 GHz 帯のもので、



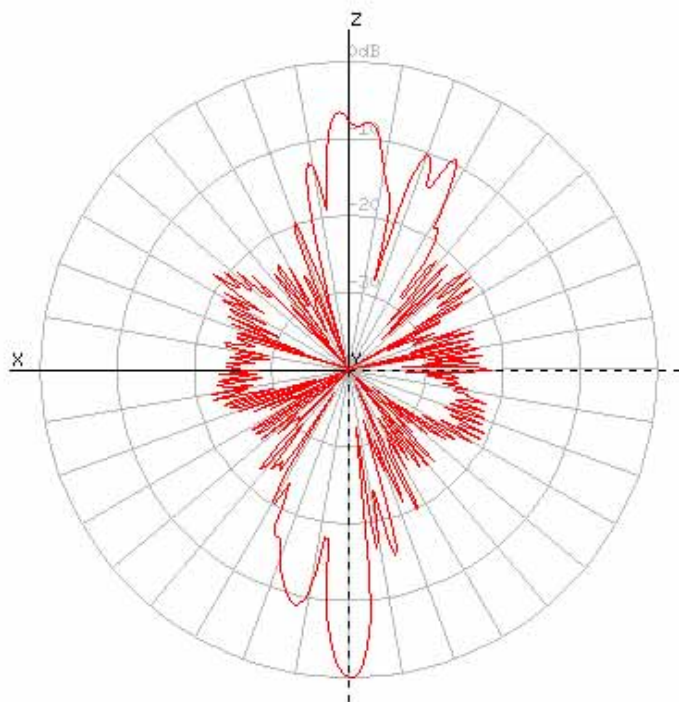
f = 10368 MHz maxgain = 44.26 dBi vgain = 17.58 dBi

図-7 : X 軸 RCS パターン セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナ

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ここでの Surface Patch の大きさは 10 GHz で 1/7 である。1.2 GHz 帯、2.4 GHz 帯、3.4 GHz 帯、5.7 GHz 帯 および 10 GHz 帯で構成されるフィード群の中で形状が最大であり、また、Z 軸と平行に配置されていないためホーンの側面も反射面として寄与するので、検討例として取り上げる。

図-6 のモデルはパラボラ反射板の焦点から X 軸方向にオフセットして、更に Z 軸から 7.36 度傾けることでパラボラ反射板の中央を指向するように配置されている。このモデルに対して Z 軸方向から平面波を入射した時の RCS を 図-7 および 図-8 に示す。X 軸での RCS は、ほぼ対称形であるが、Y 軸での RCS では Z 軸から傾斜して配置されている影響が非対称性に読みとれる。



f = 10368 MHz maxgain = 44.26 dBi vgain = 5.43 dBi

図-8 : Y 軸 RCS パターン セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナ

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナのモデル - Cuboid Model

セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナを Thick Plate Model でモデル化すると、1.2 GHz 帯の例ではシミュレーションに約 173 GB のメモリを消費する。5 バンドのフィード群全体だけでも約 510 GB のメモリを消費し、パラボラ反射板と組み合わせたの総合特性をシミュレーションするには PC のリソースで賄えない。そこで、モデルのサイズを縮小するために、ホーンの開口部を閉じた直方体へと単純化することを試す。直方体へ単純化したモデルを Cuboid Model と称して、図-9 に示す。図-9 の Cuboid Model でのメモリ消費量は約 46 GB で、フィード群全体では約 154 GB となり、パラボラ反射板と組み合わせたの総合特性のシミュレーションも可能となった。[1]

Cuboid Model の RCS を 図-10 および 図-11 に示す。モデルにおいてホーンの開口部

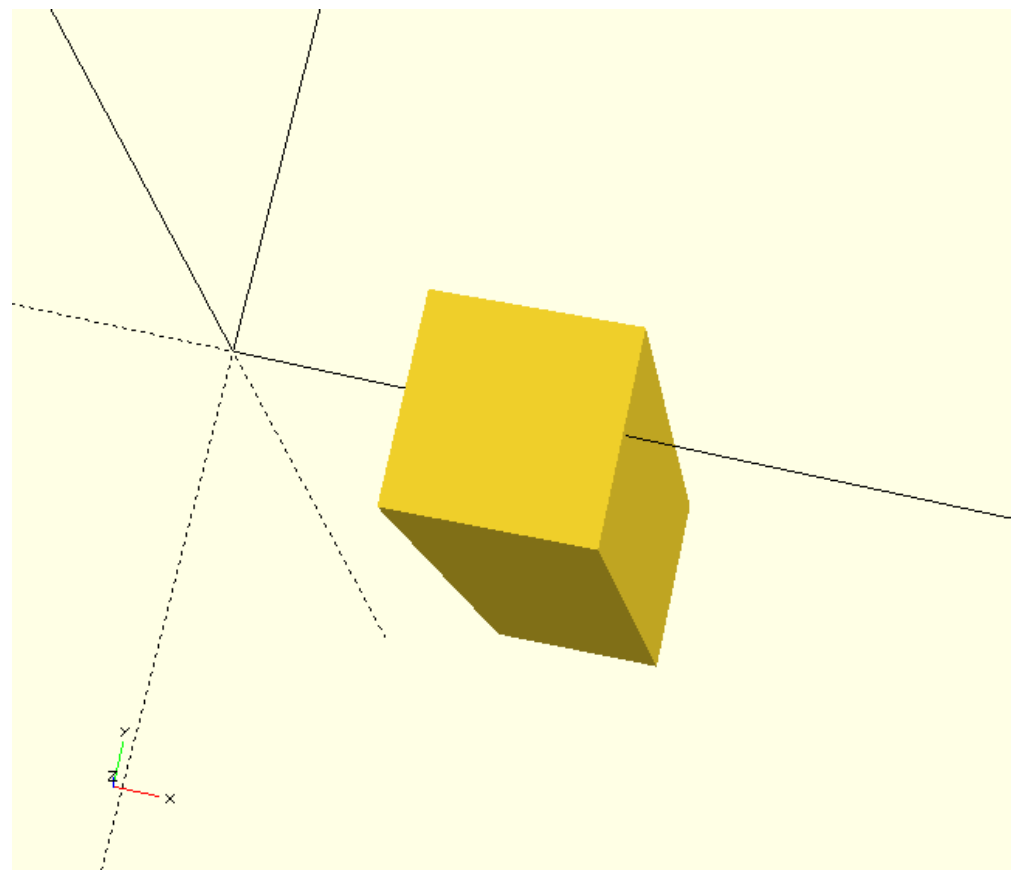


図-9 : セプタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナ Cuboid Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

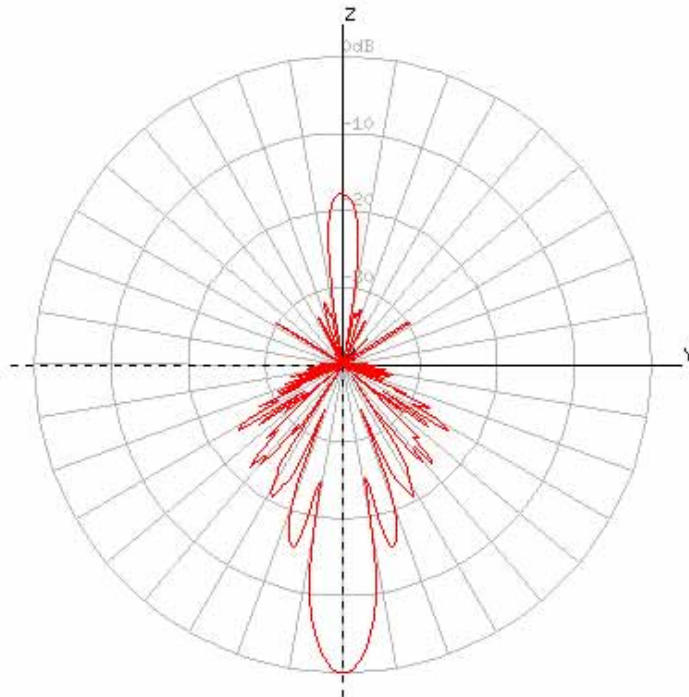
を閉じた観点から 図-7 および 図-8 と比較すると、入射方向への RCS が 図-10 および 図-11 において減少していること、また、 図-11 において Z 軸から約 15 度 (= 7.36 度の二倍) の RCS が顕著であることが読みとれる。入射方向への RCS の比較から、Thick Plate Model のセブタム・ポーライザ型ホーン・アンテナでは、入射波がホーン内部から再放射 (= 反射) されていると考えられる。また、入射波の偏波方向と合致する開口端面が良い反射ラインとして作用していると考えられる。一方、Cuboid Model では、閉じた開口部相当の面が反射板として作用している。いずれのモデルにおいても入射方向と逆の、ホーンにとっては後方への RCS が最大であり、それぞれの値は 44.26 dB/°² と 43.69 dB/°² である。両者の差異は小さいと言える。

フィード群のモデル - Thick Plate Model

ここまでの検討を踏まえて、フィード群を Thick Plate Model でモデル化し、RCS をシミュレーションする。モデルを 図-12 に、RCS を 図-13 および 図-14 に示す。

ここで得られた RCS を用いて、パラボラ・アンテナでのフィード群による遮蔽損失を求めた。[1] 入射方向とは逆のフィード群後方への RCS が最大である点は、フィード群が「反射体」としての効率が低く、遮蔽損失が小さいことを示唆している。

quit reload export none slice log total X Y Z

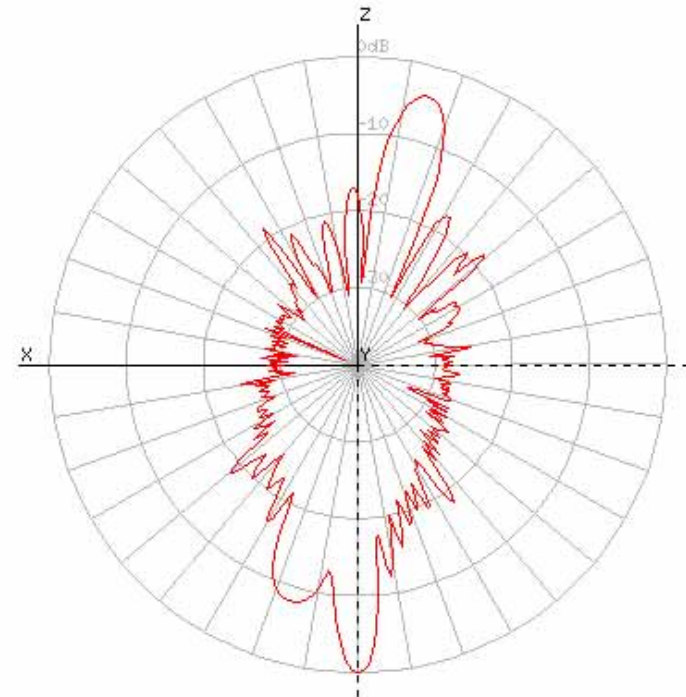


f = 10368 MHz maxgain = 43.69 dBi vgain = 13.19 dBi

図-10 : X 軸 RCS パターン Cuboid Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

quit reload export none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 43.69 dBi vgain = 4.56 dBi

図-11 : Y 軸 RCS パターン Cuboid Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

まとめ

NEC2++ による RCS のシミュレーションにおいて、Surface Patch を用いたモデルの生成とその有効性について検討した。アンテナの輻射パターンのシミュレーションでは、Surface Patch の適用制限を越えて開放端のある平面にも Surface Patch を用いてモデル化を行った。しかし、RCS のシミュレーションでは、その目的から全ての露出面を Surface Patch で覆う必要がある。そこで、開放端のある平面について、平面の両面および端面を Surface Patch で覆うことで閉じた面を構成する Thick Plate Model を採用した。シミュレーションとして計算に破綻をきたすことはないが、薄い端面部分を介しての平面両面の表面電流を適切にシミュレーションできているかは、他のシミュレーション手法との比較を行うなど、更なる検討を必要とする。また、Surface Patch の大きさとシミュレーションの誤差との関係を明らかにすることも、Surface Patch を用いる際に常に付随する課題であ

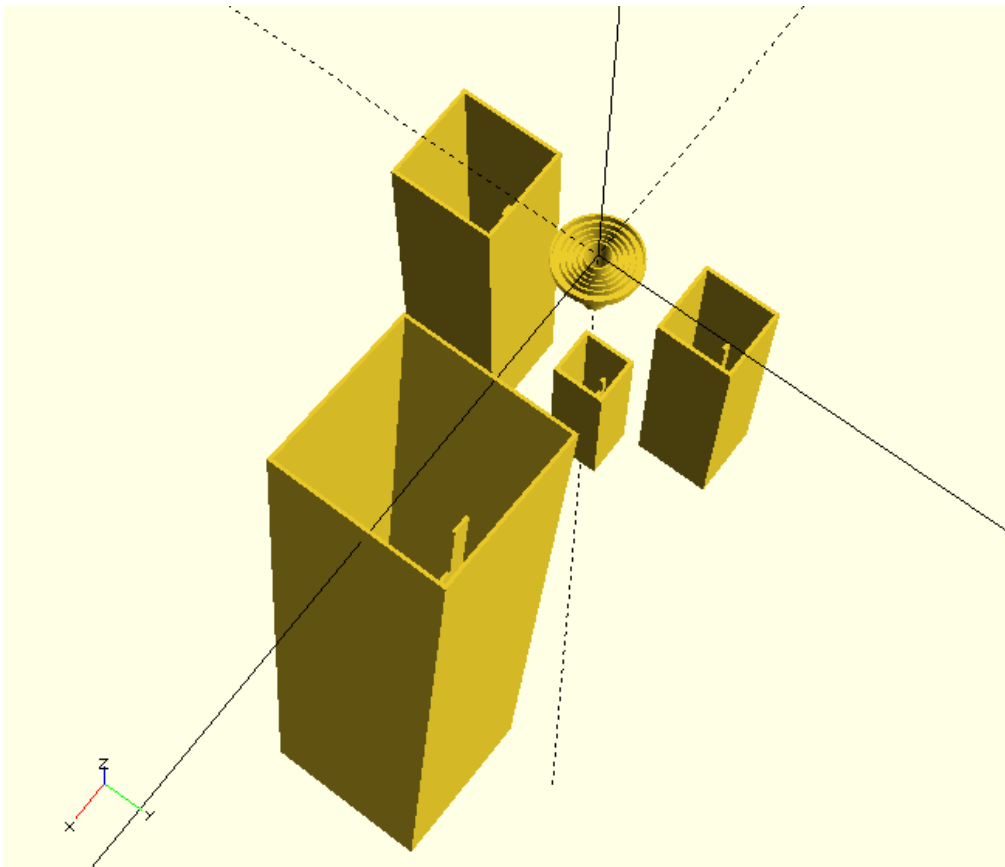
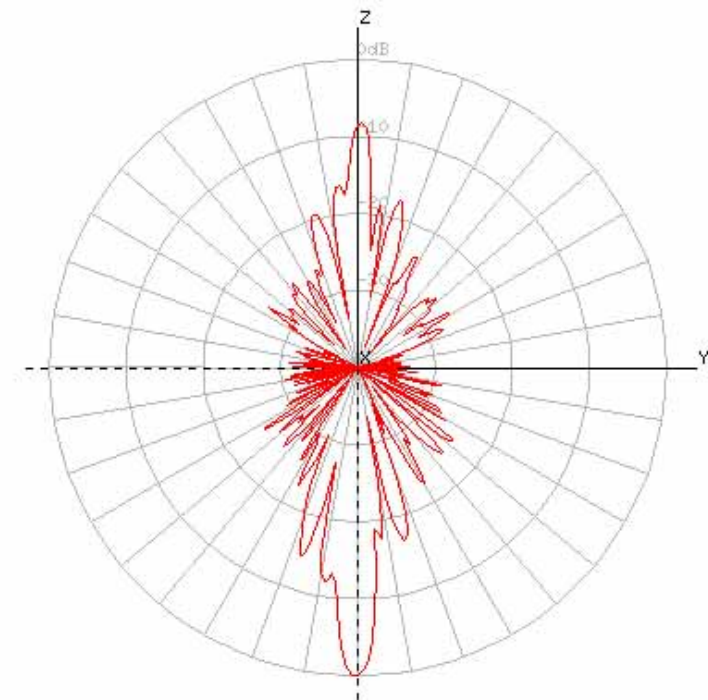


図-12 : フィード群 Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

る。これらの課題があるものの、シミュレーション対象物の定性的な特徴を示す結果が得られた点では、平板で構成された幾らか複雑な形状を Thick Plate Model を用いてモデル化することの有効性が確認できた。

//



f = 10368 MHz maxgain = 49 dBi vgain = 15.58 dBi

図-13 : X 軸 RCS パターン フィード群

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

参考文献

[1] 武安義幸, JA6XKQ, “フィード・ホーン群による遮蔽損失,” Sep. 16. 2018.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/BlockageLoss_2.pdf

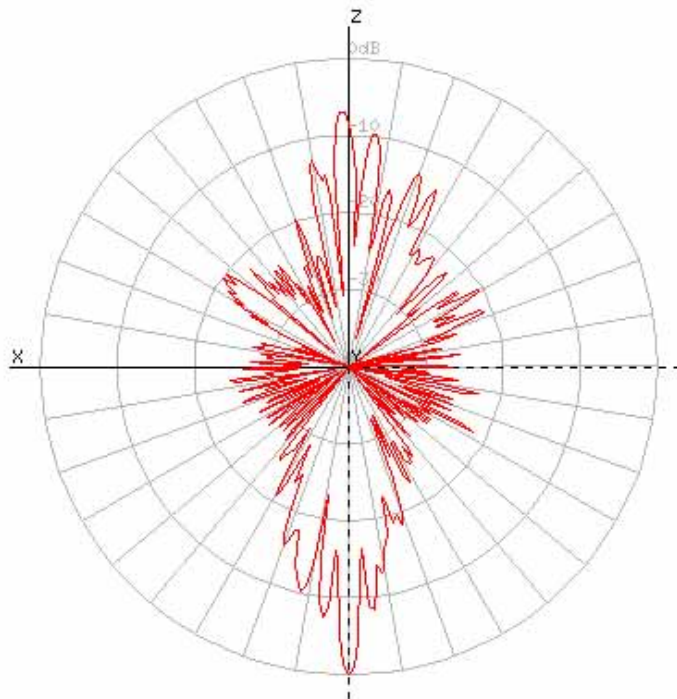
[2] Burke, B. J., and Poggio, A. J., “NUMERICAL ELECTROMAGNETICS CODE (NEC) METHOD OF MOMENTS, PART III: USER S GUIDE,” 1981.

[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シ

ョン,” Sep. 23. 2018.

http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/ChaparralHorn_3.pdf

quit reload export none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 49 dBi vgain = 12.42 dBi

図-14 : Y 軸 RCS パターン フィード群