

Simulation of Chaparral Horn Antenna using NEC2++ Yoshiyuki Takeyasu / 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 武安義幸 / JA6XKQ

NEC2++ を用いてホーン・アンテナのシミュレーションを行ってきた。これまでの例ではホーンを構成する筒が一つ、すなわち内側に反射面が一つであった。反射面が複数あるチョーク・リング型ホーン・アンテナにも従来手法が適用可能か疑問があり、そのモデル化について検討する。

はじめに

ホーン・アンテナを NEC2++ でシミュレーションするにあたっては、Surface Patch を専ら使用してきた。[1] [2] NEC2++ においては、Surface Patch は反射について表裏があること、閉じた面の記述のみに限られること等の制約があり、厳密にはホーン・アンテナのモデル化には適さない。しかし、制約を越えて Surface Patch を使用することに起因する結果の誤り/誤差は把握可能であり、Thin Wire で金属面をモデル化するよりも小さいモデル・サイズで有意な結果が得られることが経験則としてある。しかし、これまでの例ではホーンを構成する筒が一つ、すなわち内側に反射面が一つであった。反射面が複数あるチョーク・リング型ホーン・アンテナにも Surface Patch を用いたモデルが適用可能であろうか？

チョーク・リング型ホーン・アンテナのシミュレーションには、モーメント法 (Method of Moment) の NEC2 で Thin Wire モデルを解析した例 [3] と、有限積分法 (Finite Integration Method) の CST MWS で解析した例 [4] 等がある。本稿での検討結果をこれらの例と比較して、NEC2++ での Surface Patch モデルの有効性を判断する。

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

過去のシミュレーションにおいてホーン・アンテナを Surface Patch でモデル化する際、最初に参考としたのは文献 [5] であった。そこには、チョーク・リング型ホーン・アンテナとして VE4MA ホーン・アンテナが掲載されている。チョーク・リングは、Surface Patch の反射面が内側になるように記述されている。リングの数が 5 つである今回の例でも同様に、各リングの内側だけが反射面となるように Surface Patch を配置すれば良いのである

うか？あるいは、各リングの両面に Surface Patch を配置する必要があるだろうか？
二つのモデルを作成して、この疑問を確認する。

DL2LAC、E. G. Carstensen 氏提供の資料によると、5 チョーク・リング型ホーン・アンテナの寸法は次のとおりである。

• ホーン導波管内径/外径	: 19.85 / 22.15 mm
• 第一リング内径/外径	: 28.33 / 29.90 mm
• 第二リング内径/外径	: 36.57 / 38.23 mm
• 第三リング内径/外径	: 44.96 / 46.38 mm
• 第四リング内径/外径	: 54.42 / 55.52 mm
• 第五リング内径/外径	: 66.24 / 69.87 mm
• リング高さ	: 7 mm

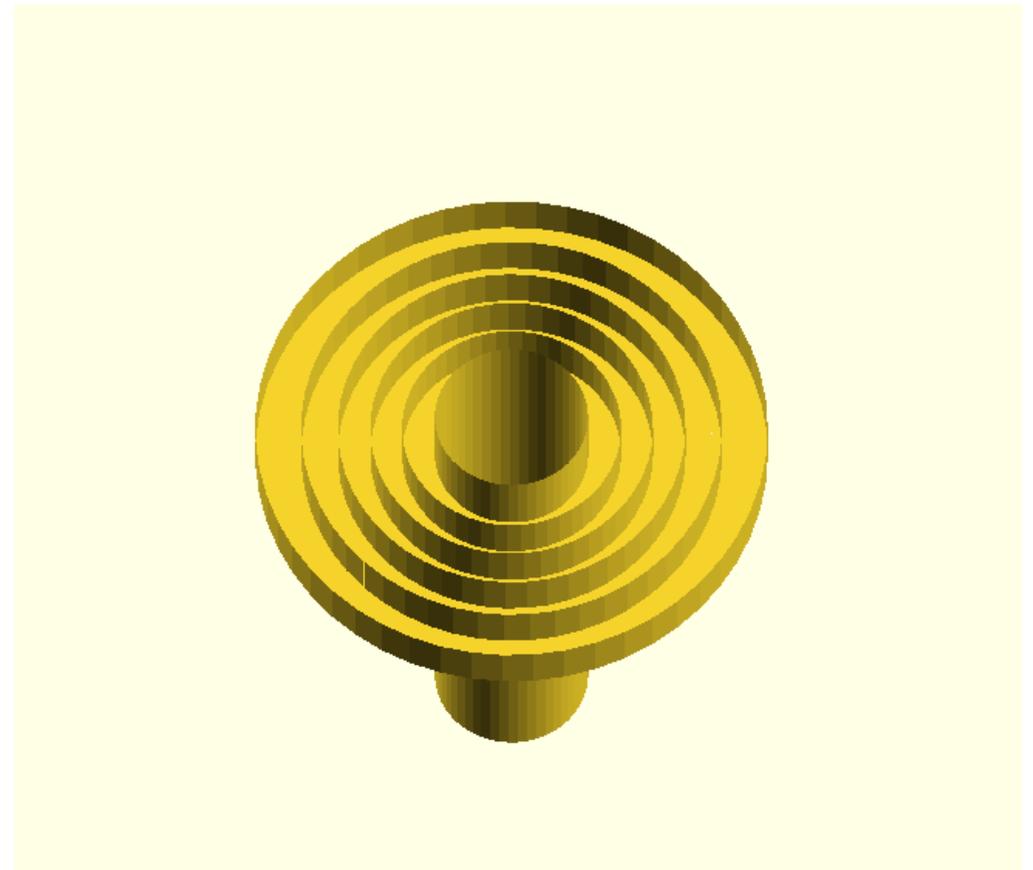


図-1 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ Thin Plate Model

- リング位置 : ホーン導波管開口から 3 mm 後方

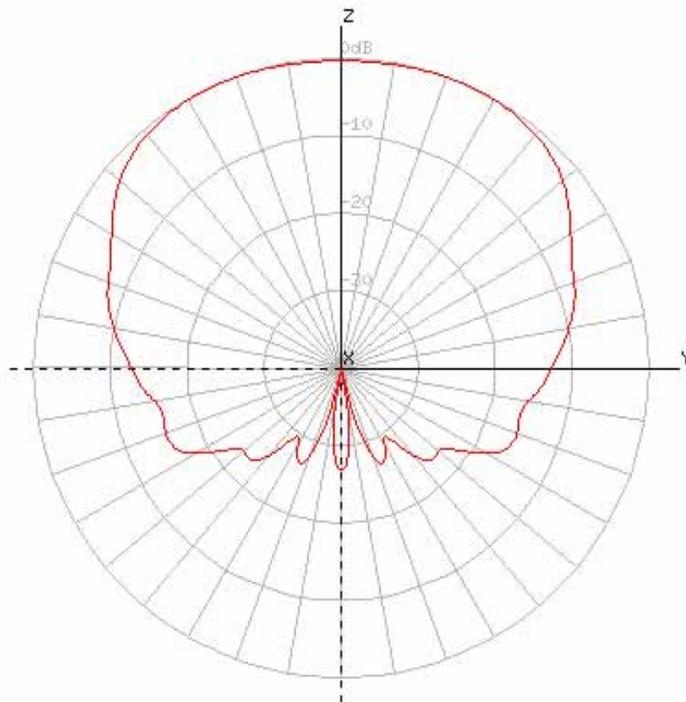
まず、各リングの内側と底面が反射面となるように Surface Patch を配置したモデルを、**図-1** に示す。Surface Patch のメッシュ・サイズは $1/9$ 波長である。金属面の厚みが無いので、このモデルを Thin Plate Model と称する。この Thin Plate Model の輻射パターンを **図-2** および **図-3** に示す。

なお、“Thin Plate Model” および次に述べる “Thick Plate Model” なる用語は NEC2/NEC2++ において定義されている用語あるいは概念ではなく、ここで独自に定義したものである。NEC2 には “Thin Wire Kernel” という用語があるが [6]、本稿での “Thin /

Thick” との関連はない。

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

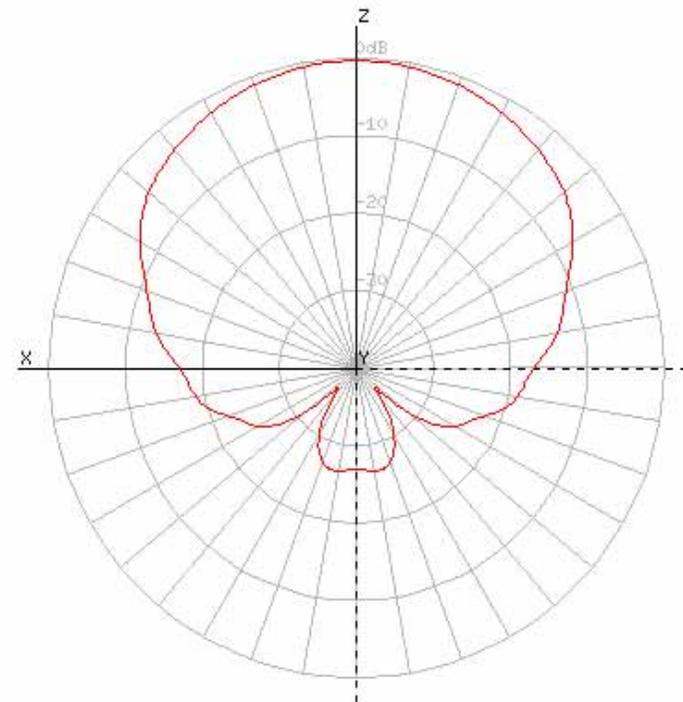
次に、ホーンとチョーク・リングの金属面の両面に Surface Patch を配置したモデルを Thick Plate Model と称して、**図-4** に示す。Surface Patch が閉じた面となるように、金属面の厚みに相当する面にも Surface Patch が配置されている。**図-4** は、実物の金属面の厚みを忠実に再現したモデルである。なお、**図-1**、**図-4** および後述する **図-7** は、



f = 10368 MHz maxgain = 6.27 dBi vgain = -10.69 dBi

図-2 : X 軸輻射パターン Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



f = 10368 MHz maxgain = 6.27 dBi vgain = -6.31 dBi

図-3 : Y 軸輻射パターン Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ホーンの開口面の内径が凡そ同じサイズで表示されるように図示の縮尺を調整している。各図において全体サイズが異なって見えるのは、金属面の厚みのモデル化の違いによる。図-4 に示すモデルの輻射パターンを図-5 および 図-6 に示す。

図-5 および 図-6 の輻射パターンが期待する輻射パターンと大きく異なるので、モデルを変えてみる。Surface Patch は微小なサイズで直角に折れ曲がった曲面をモデル化することが苦手なので、金属面厚みを変えたモデルを試す。ホーン・アンテナの全体サイズと金属面厚みのバランスを考慮して、金属面厚みを $1/10$ 波長 = 3 mm とする。この Thick Plate Model とその輻射パターンを、図-7、図-8 および 図-9 に示す。

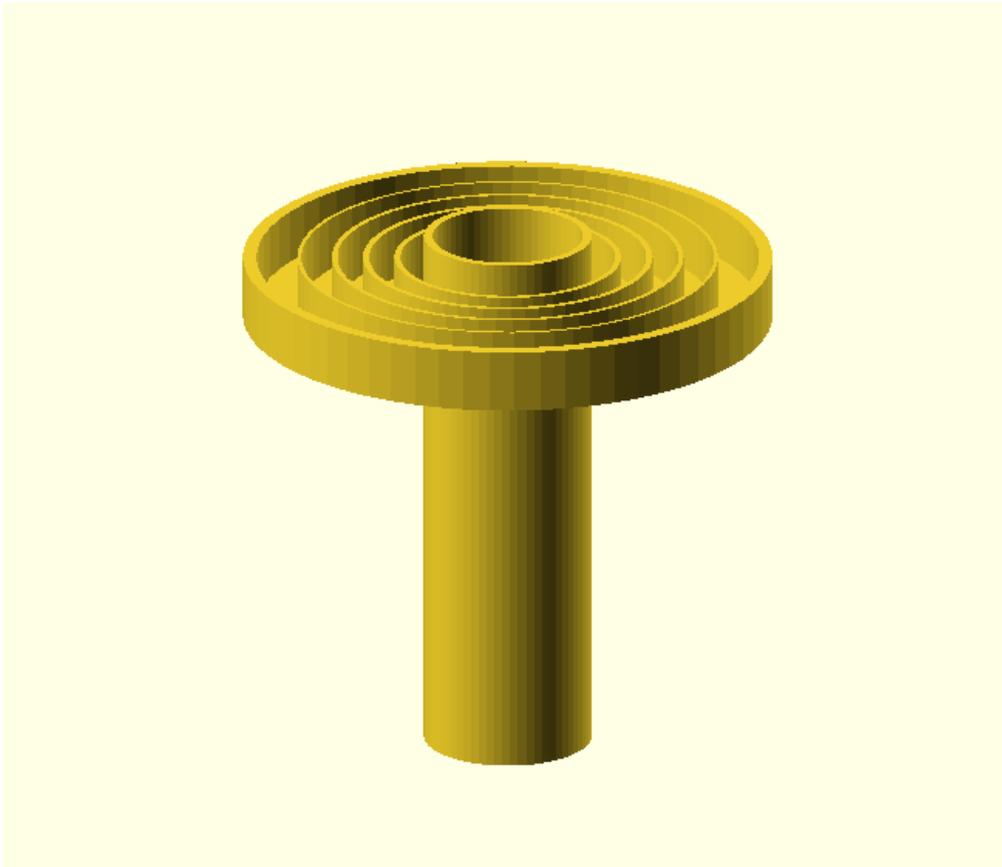
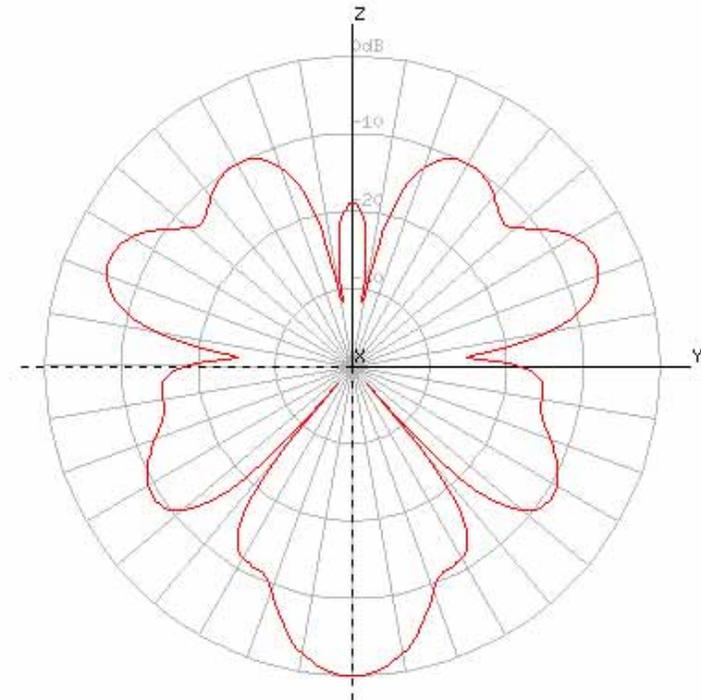


図-4 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ Thick Plate Model

考察

チョーク・リングのモデル化について三種類のシミュレーションを行った。各リングの内側だけが反射面となるように Surface Patch を配置した Thin Plate Model である 図-1 の輻射パターン 図-2 および 図-3 は、文献 [3] および [4] に示されている輻射パターンに類似している。一方、Thick Plate Model の輻射パターンは大きく乖離している。特に、図-5 の Thick Plate Model ではメインローブが消失しており、ホーン・アンテナの輻射パターンには成っていない。金属面の厚みを 3 mm に増したモデルの輻射パターン 図-8 および 図-9 では、メインローブにナル (Null) を生じて細くなっており、また、バックローブも大

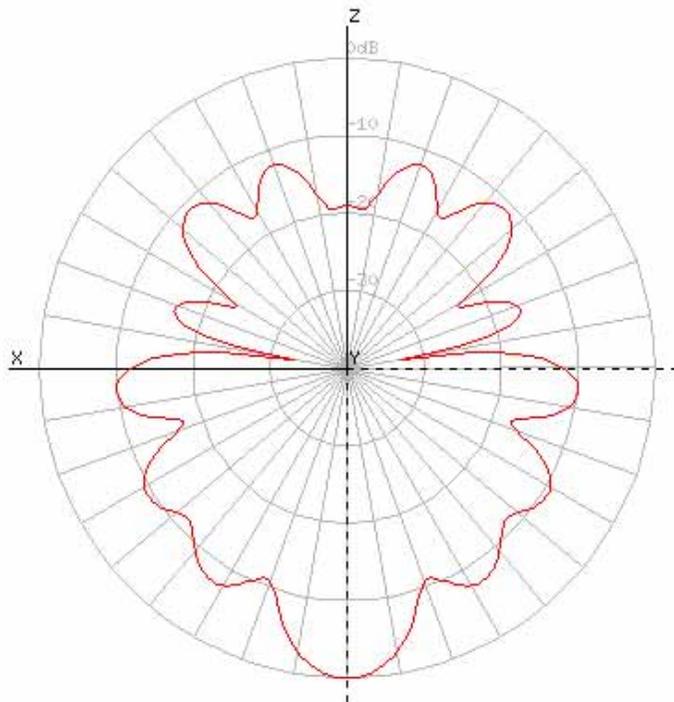


f = 10368 MHz maxgain = 15.8 dBi vgain = 4.03 dBi

図-5 : X 軸輻射パターン Thick Plate Model

きい。Thin Plate Model と Thick Plate Model でのシミュレーションの相異を探るために、Surface Patch の電流を検証する。

NEC2++ での計算結果に Surface Patch の電流を含ませるには、コントロール・コマンド PT を使用する。Surface Patch の電流値のうち、チョーク・リング前面の Y 軸上に並ぶ Surface Patch の電流値 (X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分) を、**図-11**、**図-13** および **図-15** に示す。各図の横軸は、**図-10**、**図-12** および **図-14** に示す Y 軸上に並ぶ Surface Patch の位置番号に対応している。三つのモデルの電流分布を比較すると、**図-11** ではチョーク・リング上の電流は小さく、**図-15** ではチョーク・リングの外周へ行くほど電流が減少している。しかし、**図-13** ではそれらの規則性は見られない。



f = 10368 MHz maxgain = 15.8 dBi vgain = -2.45 dBi

図-6 : X 軸輻射パターン Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

チョーク・リングは文字通り電流を阻止 (choke) する Soft Surface [6] であり、**図-11** と **図-15** からその作用が見てとれる。チョーク・リングの作用を直接的に可視化するために、近傍電界 (Near Field) を **図-16**、**図-17** および **図-18** に示す。Thin Plate Model の **図-16** ではチョーク・リングの前面で電界が高く、背面では電界が低い。一方、Thick Plate Model の **図-17** ではチョーク・リングの前面よりも背面の方が電界が高い。金属面の厚みを 3 mm とした Thick Plate Model の **図-18** では、前者二例の中間的な電界分布を示している。

チョーク・リングが電流を阻止し、金属表面の伝播を阻止するという先見的知識を以って Surface Patch の電流とそれが生成する近傍電界を解釈すると、Thin Plate Model の妥当性が認められる。チョーク・リングが電流を阻止する性能は現実的には有限であって、チョーク・リング背面の金属面 (の Surface Patch) にも電流が誘起されるはずである。

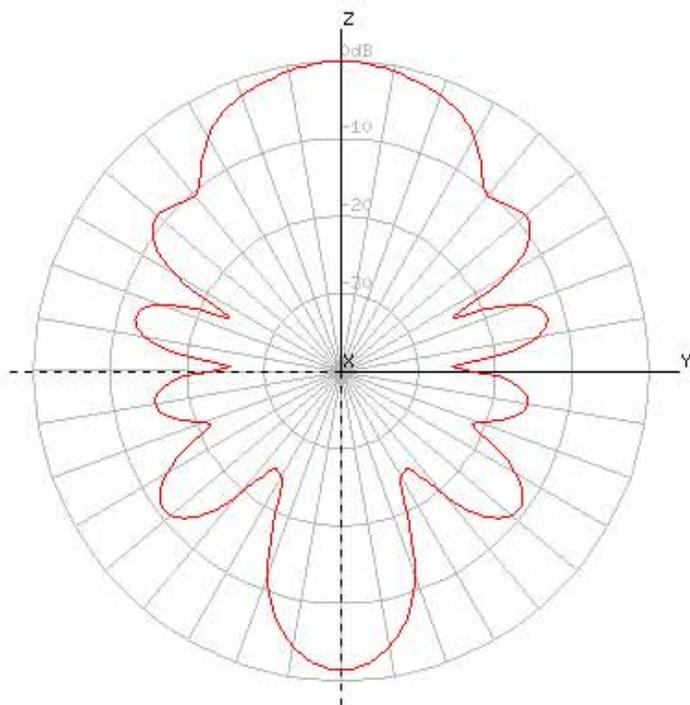


図-7 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ Thick Plate Model (t = 3 mm)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

NEC2++ において Surface Patch を用いて複雑な形状をモデル化してシミュレーションするにはエラーの発生が避けられない。チョーク・リングの電流阻止性能を上手くシミュレーションできない状況において、エラー要素の一つであるチョーク・リング背面の金属面をモデルにそもそも含まない Thin Plate Model が、シミュレーション・モデルとして「筋が良い」と言えるのかもしれない。

では、モデルとしての正確さでは優れていると思われる Thick Plate Model のエラー/誤差は軽減可能だろうか？ これまでのモデル作成の経験から、Surface Patch の刻みの大きさを小さくしてみる。いくつか段階的に刻みを小さくすることを試したが、ここでは途中経過を省略して、1/32 波長の結果を示す。モデル外観は 図-4 と同じなので省略し、輻



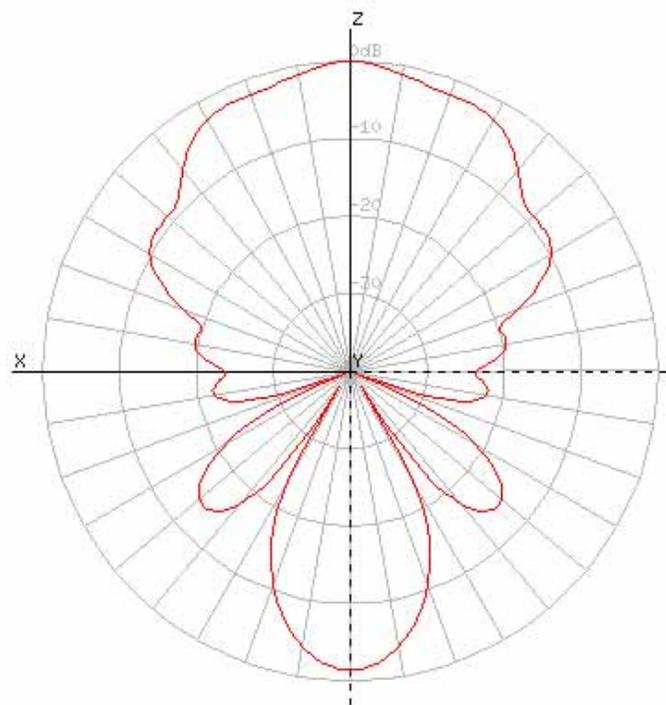
f = 10368 MHz maxgain = 13.38 dBi vqgain = -10.25 dBi

図-8 : X 軸輻射パターン Thick Plate Model (t = 3 mm)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

射パターンを 図-19 および 図-20 に、Surface Patch の電流を 図-21 に、近傍電界を 図-22 にそれぞれ示す。

図-19 および 図-20 の輻射パターンでは、本来の特性よりもメインローブが若干狭く、バックローブは大きいようである。図-21 および 図-22 からは、チョーク・リングの特性を定性的には良く再現していると言える。これまでのモデル作成の経験と同様に、Surface Patch の刻みを小さくすることでモデルの誤差を小さくできるようである。なお、本モデルではチョークリング背面の角の近傍電界が高く、その値(最高値)で正規化して近傍電界を表示する XnecView では他の部分の近傍電界の詳細が解りづらいので、図-22 ではチョーク・リング背面の角部分の近傍電界を省略した。Surface Patch の刻みの限界を



f = 10368 MHz maxgain = 13.38 dBi vqgain = -9.59 dBi

図-9 : Y 軸輻射パターン Thick Plate Model (t = 3 mm)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

試すために、チョーク・リング部分のみを 1/60 波長の刻みとしたモデルでシミュレーションしてみたが、1/32 波長のモデルと有意な違いは認められなかったため、ここでは結果の掲載は省略する。

1/32 波長刻みの Thick Plate Model で 10 GHz から 11 GHz まで 100 MHz ステップで周波数を変えてシミュレーションを行うと、10.2 GHz でバックローブが最小となる結果が得られた。1/4 波長深さの溝で構成されるチョーク・リングの所謂トラップとしての周波数特性に対応したシミュレーションができていようである。しかし、その精度については、更なる評価を必要とする。

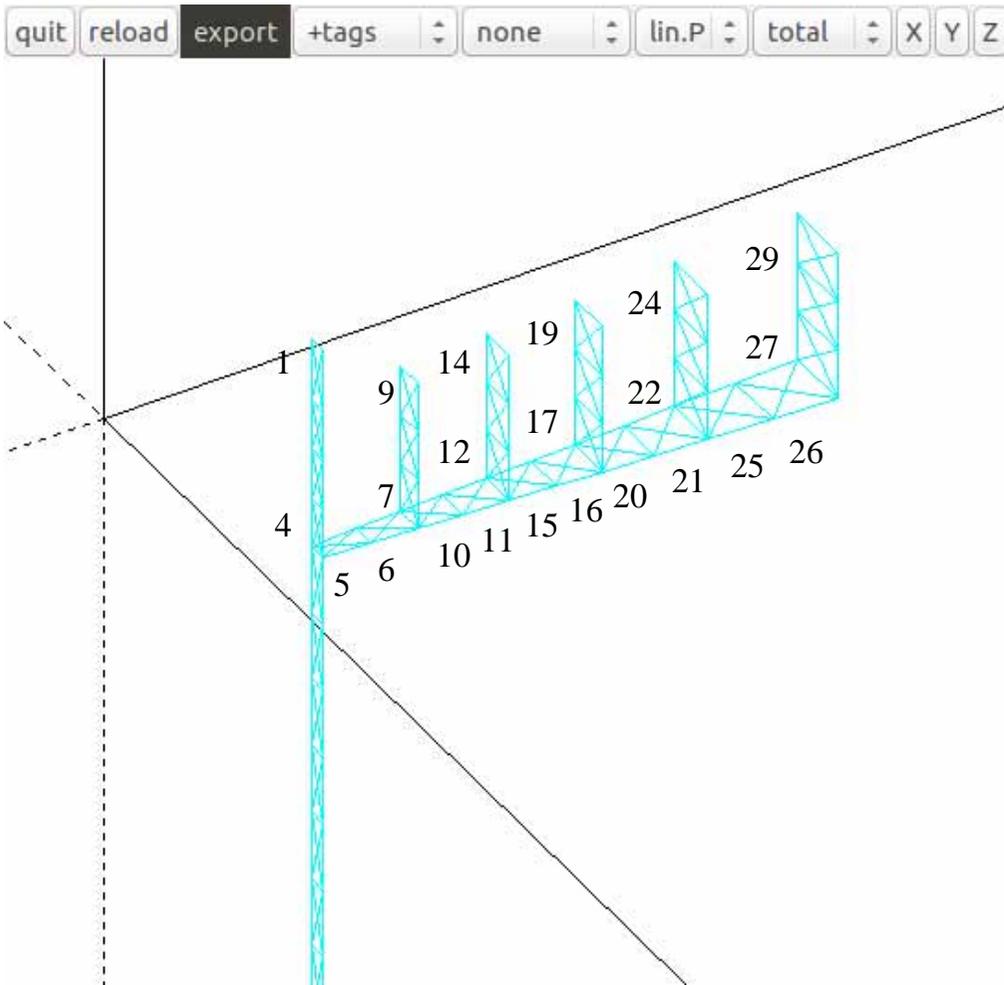


図-10 : Surface Patch 位置番号 Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

まとめ

チョーク・リング型ホーン・アンテナの NEC2++ でのシミュレーション・モデルについて Thin Plate Model と Thick Plate Model の二種類を検討した。Thin Plate Model は Thick Plate Model に比較して、Surface Patch の刻みが大きい、すなわち小規模モデルでも有意なシミュレーション結果が得られることが確認できた。一方、Thick Plate Model においては、Thin Plate Model と同等の Surface Patch の刻みではシミュレーションのエラーが大きく、ホーン・アンテナの特性シミュレーションに用いるには注意を要する。モデル・サイズとモデル精度の観点から、Thin Plate Model はバランス良いモデル化手法と言える。

//

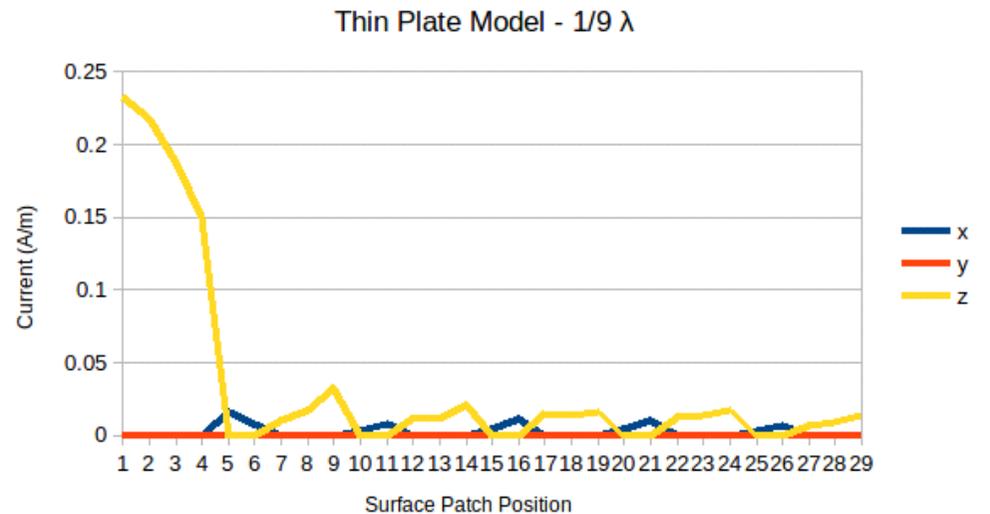


図-11 : Surface Patch 電流 Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

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] Antoniazzi, Paolo-IW2ACD; Arecco, Marco-IK2WAQ, “Chaparral Style 10 GHz Feed Simulation” DUBUS, 2/2005.

[4] Rastislav Galuscak - OM6AA, Pavel Hazdra, “Prime-focus circular waveguide feed with septum polarization transformer,” DUBUS, 1/2007.

[5] Paul Wade, W1GHZ, “Chapter 12, Pattern Calculation and Phase Analysis,” The W1GHZ Online Microwave Antenna Book.
<http://www.w1ghz.org/antbook/chap12.pdf>

[6] Per-Simon Kildal, “FOUNDATIONS of ANTENNA ENGINEERING A Unified Approach for Line-Of-Sight And Multipath,” Kildal Antenna AB, 2015.
<http://www.kildal.se/downloads/>

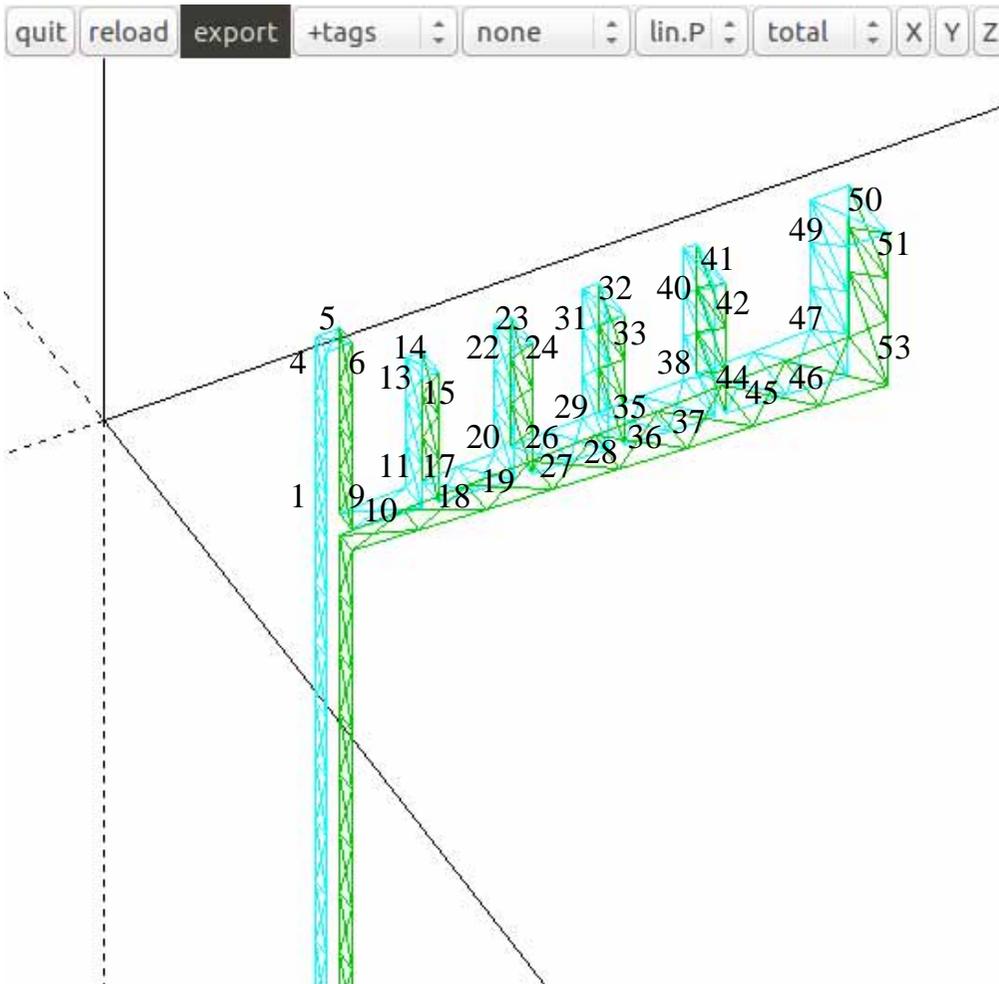


図-12 : Surface Patch 位置番号 Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

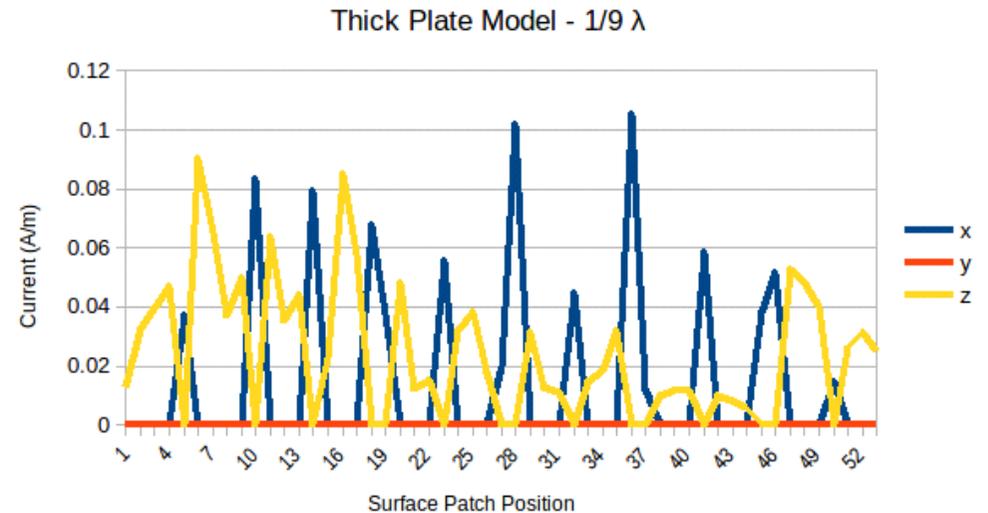


図-13 : Surface Patch 電流 Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

付録

Model	Surface Patch Size ()	# of Surface Patch	Run Time (sec)
Thin Plate	1/9	3,315	12
Thick Plate	1/9	6,825	41
Thick Plate (t=3 mm)	1/9	10,545	101
Thick Plate	1/32	73,227	18,898

quit reload export +tags none lin.P total X Y Z

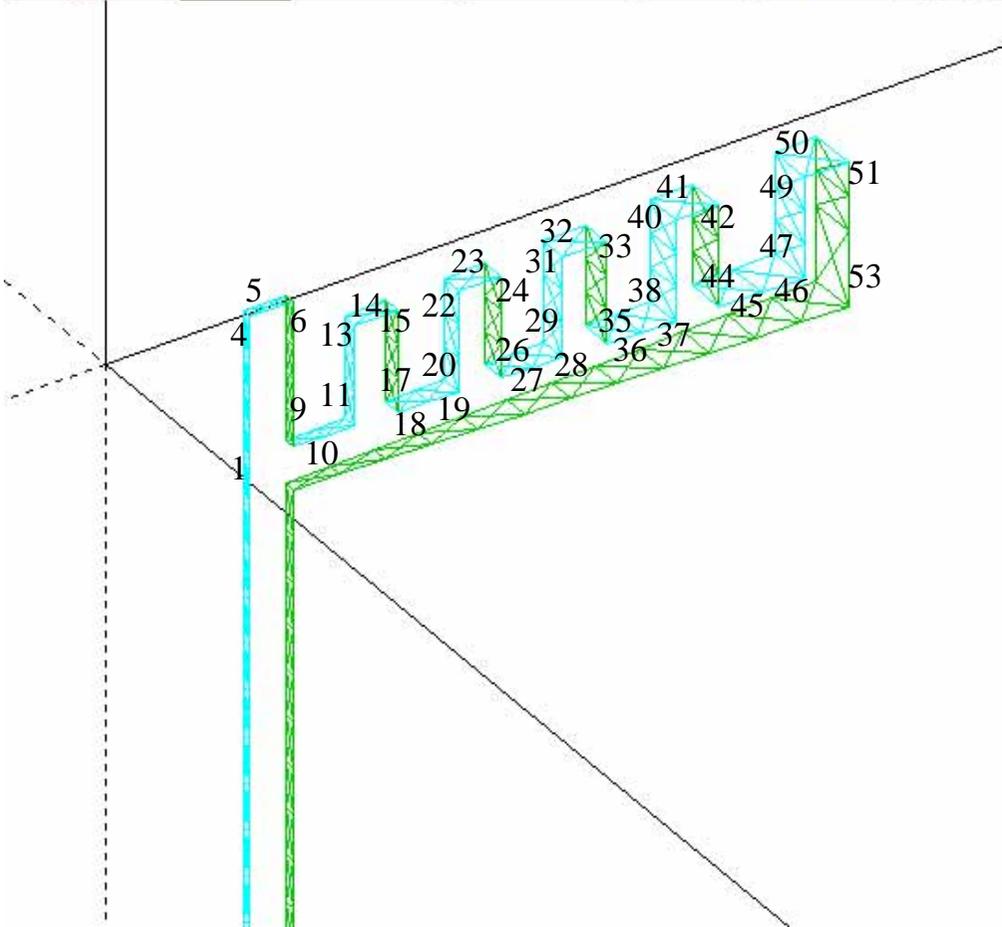


図-14 : Surface Patch 位置番号 Thick Plate Model (t = 3 mm)

Thick Plate Model - 1/9 λ, t=3 mm

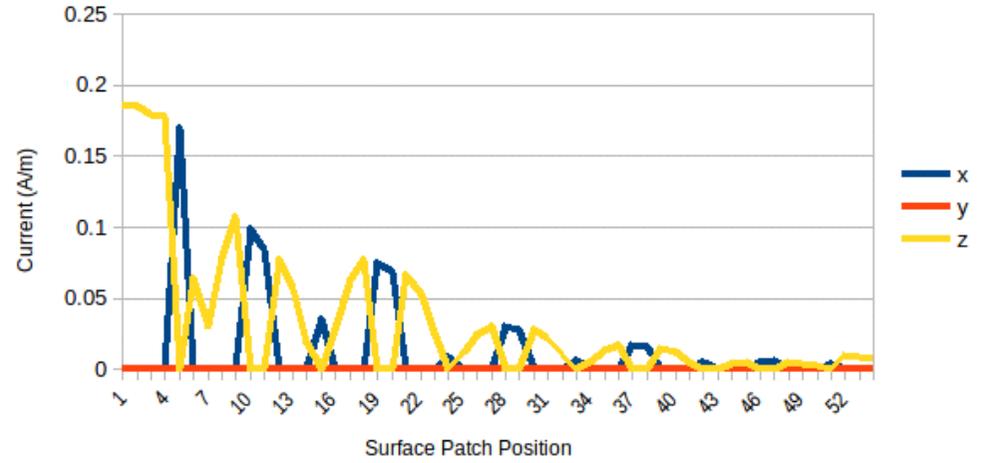


図-15 : Surface Patch 電流 Thick Plate Model (t = 3 mm)

Thick Plate Model - 1/32 λ

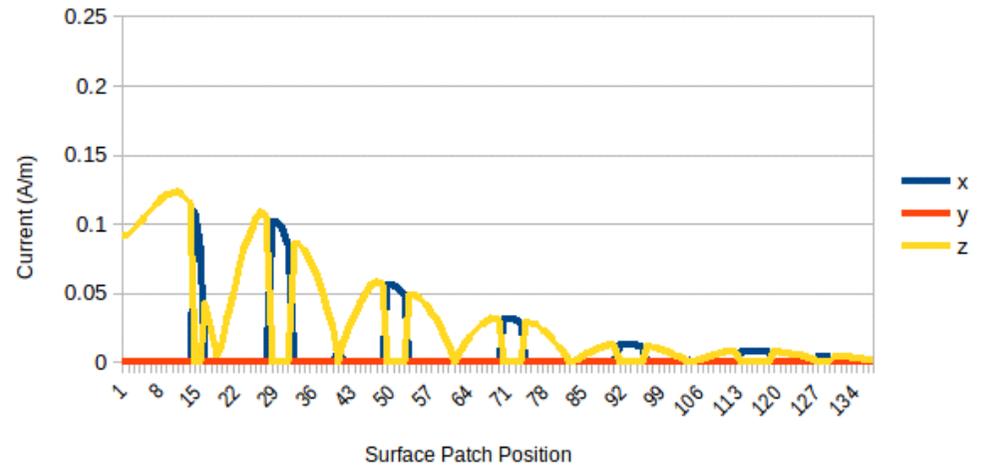


図-21 : Surface Patch 電流 Thick Plate Model (Surface Patch = 1/32)

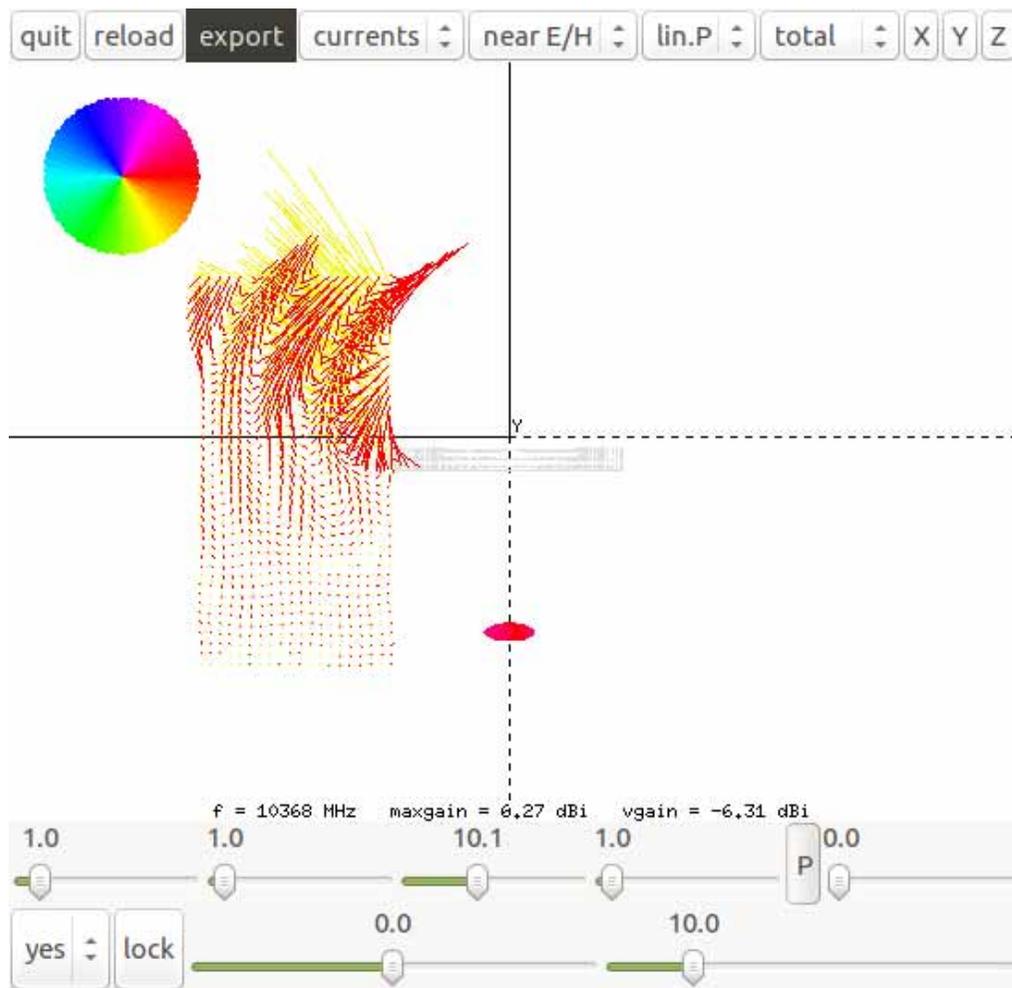


図-16 : 近傍電界 Thin Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

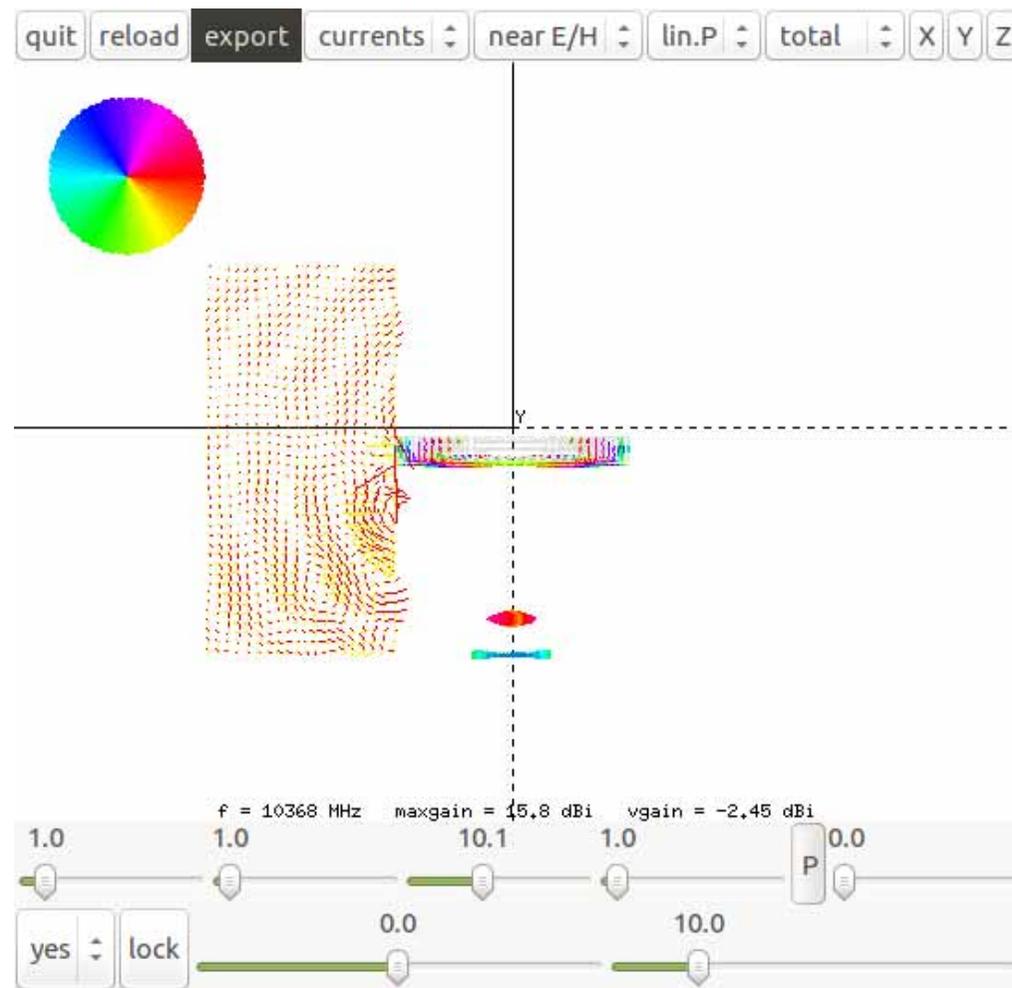


図-17 : 近傍電界 Thick Plate Model

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

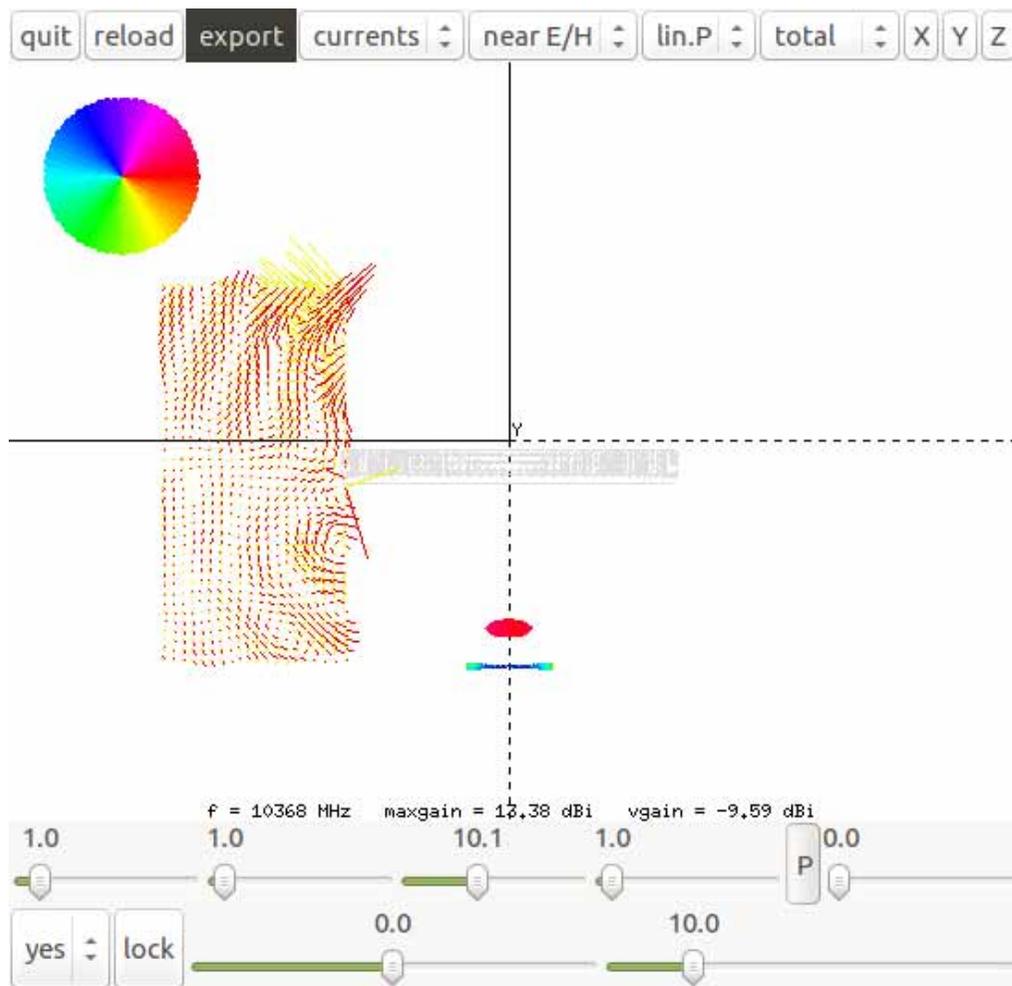


図-18 : 近傍電界 Thick Plate Model ($t = 3 \text{ mm}$)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

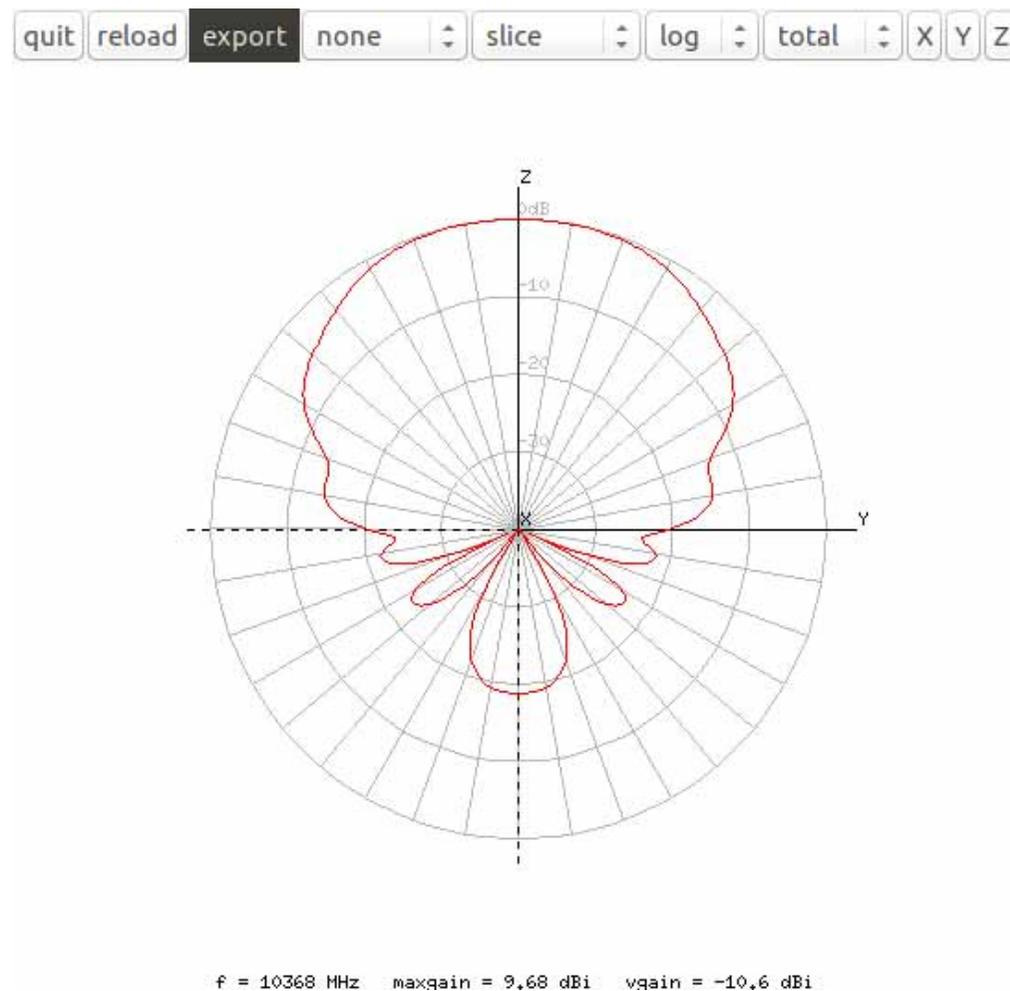
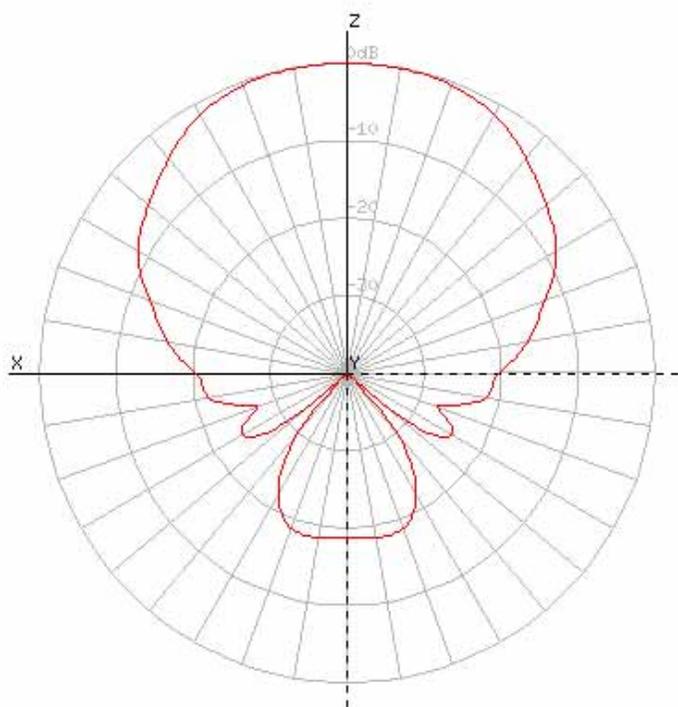


図-19 : X 軸輻射パターン Thick Plate Model (Surface Patch = 1/32)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

quit reload export none slice log total X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 9.68 dBi vgain = -10.76 dBi

図-20 : Y 軸輻射パターン Thick Plate Model (Surface Patch = 1/32)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

quit reload export currents near E/H lin.P total X Y Z

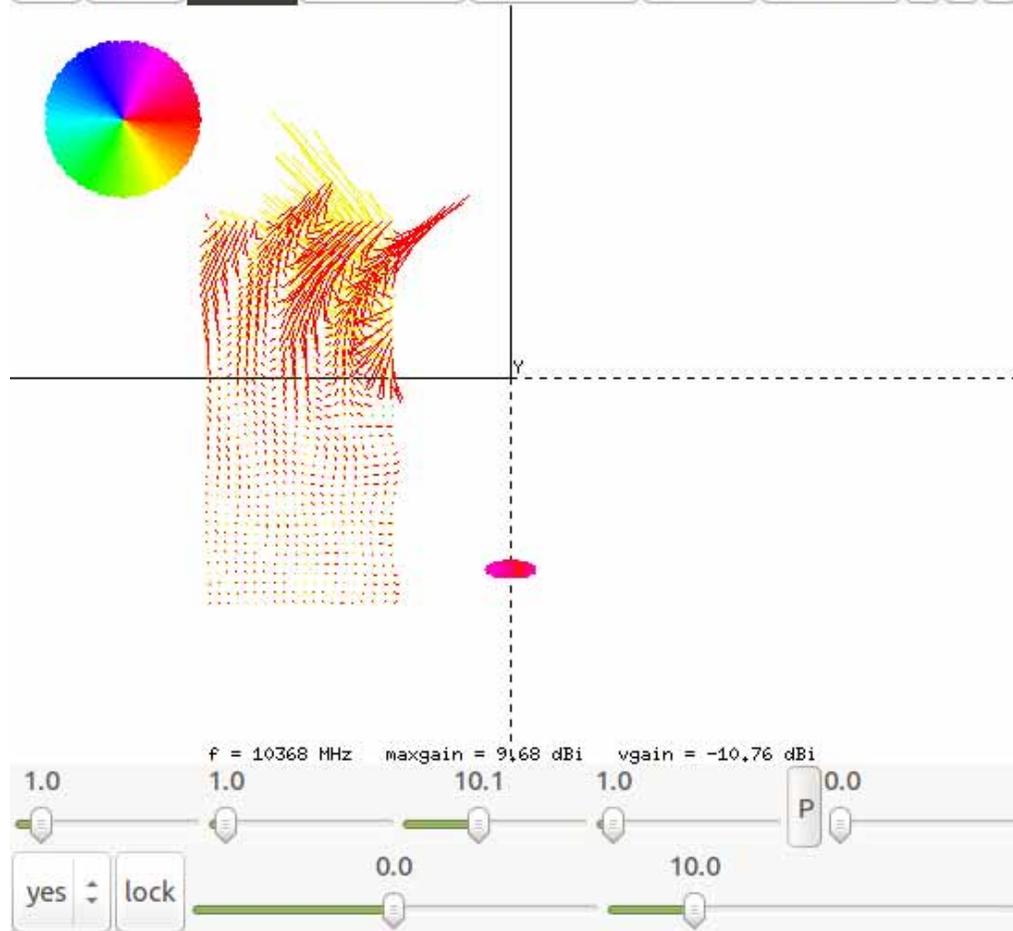


図-22 : 近傍電界 Thick Plate Model (Surface Patch = 1/32)

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ