

NEC2 Antenna Modeling by OpenSCAD Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

OpenSCAD による NEC2 モデル生成 武安義幸 / JA6XKQ

NEC2++ を用いて、対称型カセグレン・アンテナのシミュレーションを行った。[1] シミュレーション対象をオフセット型へ拡大するために、モデル生成方法の改善を図った。既存の三次元 CAD である OpenSCAD を用いることで、非対称形モデルも容易に生成することが可能となった。

はじめに

反射型アンテナとそのフィード・ホーンを NEC2++ でシミュレーションするには、Surface Patch [2] を専ら使用してきた。これまでのシミュレーション対象は軸対称の回転形であったので、自前の単純なモデル・ジェネレータで Surface Patch を配置できた。しかし、シミュレーション対象を非対称形であるオフセット型へ拡大するにはモデル・ジェネレータが複雑化し、自前で賅っていたのでは本来の特性シミュレーションに注力するのは難しそうである。

立体物を対象とした電磁界解析や構造解析では、対象物をメッシュ (Mesh = 網目) 状に分割するモデル化が常套手段であり、そのツールをメッシュ・ジェネレータと呼ぶ。既存のメッシュ・ジェネレータで流用できるものはないかと調査する過程で、本来の機能はメッシュ・ジェネレータではないが、三次元 CAD の出力ファイルを流用できることが分かった。

既存の三次元 CAD のうち、OpenSCAD [3] がオープンソースであり、使用事例と公開情報が多そうなことから流用することとした。

従来手法

従来手法ではシミュレーション対象が軸対称の回転形である特徴を生かして、回転形の基本部分を Surface Patch で記述するモデル・ジェネレータを GNU Octave で記述し、その基本部分を NEC2++ の GM (Coordinate Transformation) コマンド [2] で回転複製していた。

図-1 と 図-2 に回転形の基本部分を Surface Patch で記述した様子を示す。図-3 は 図-1 に示した基本部分を、GM コマンドで 14 個の回転複製を行った様子を示す。ここで

は図示の便宜上、14 個の回転複製を示したが、実際には Surface Patch の大きさに応じた複製個数で、360 度にわたっての回転複製を行う。

非対称形モデル - オフセット型

シミュレーション対象が対称型のアンテナについては従来手法で簡単にモデルを生成することができた。一方、オフセット型のカセグレン・アンテナやグレゴリアン・アンテナは非対称形モデルとなるので、単純に GM コマンドでの回転複製を用いることができない。

オフセット型アンテナは、対称型のサブ・リフレクタとメイン・リフレクタの一部を切り取ったものである。したがって、最初に対称型のサブ・リフレクタとメイン・リフレクタの全てを Surface Patch で生成し、次にフィードからのビームで照射される Surface Patch のみを選び出す (ビームで切り取る) というモデル生成手順が考えられる。

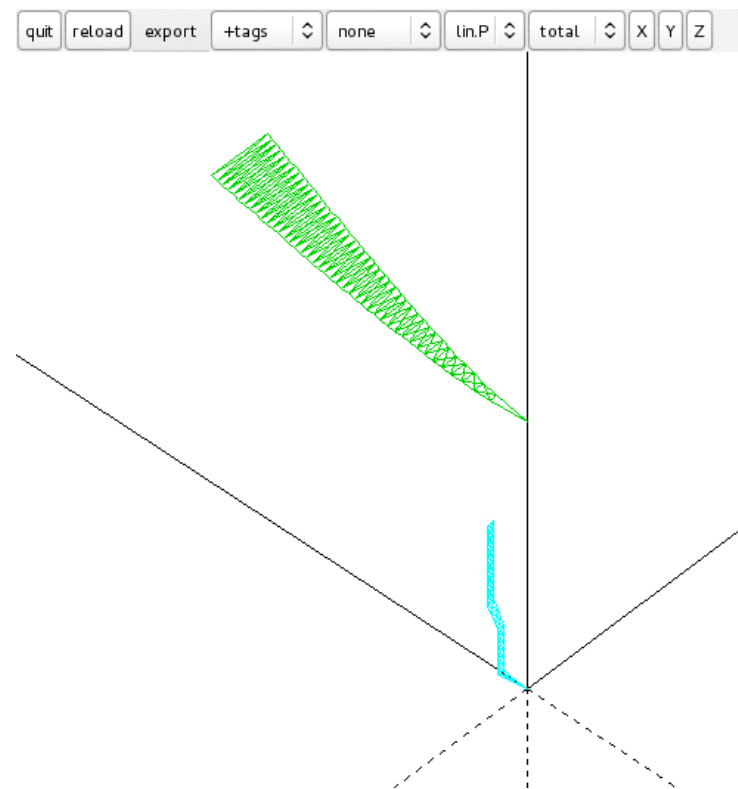


図-1 : Surface Patch で記述した基本部分 - ホーンとサブレフ

この手順の最初の部分は、GM コマンドに相当する回転複製を自前で GNU Octave でプログラムすることは経験済みで、簡単である。手順の二番目の部分は、立体曲面から切り取られる部分の二次元投影が楕円となる性質を用いてプログラミングできそうである。ただし、三角関数の羅列と計算繰り返し数でかなり面倒だろうと想像される。それでは、その概念を図示してみようと手書きではなく CAD を探すとともに、適用可能な既存のメッシュ・ジェネレータがないのかと探してみた。

OpenSCAD での概念図示

モデル生成の概念図示には 3D プリンタのモデル生成等に使用される OpenCAD [3] を用いた。図-4 はモデル生成の概念図であり、双曲面のサブ・リフレクタを、円錐で表現したフィード・ホーンからのビームが照射している様子を示している。円錐の頂点は、双曲面の虚焦点に位置している。

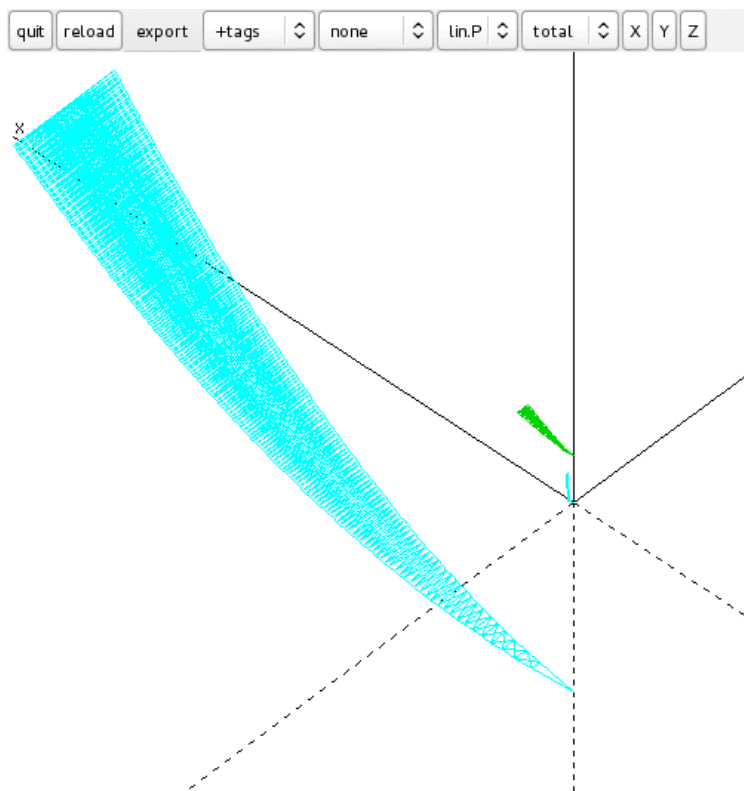


図-2 : Surface Patch で記述した基本部分 - ホーン、サブレフ、メインレフ

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

図-4 において、双曲面と円錐との交わる面が、求めるオフセット型カセグレン・アンテナでのサブ・リフレクタとなる。OpenSCAD が持つ立体オブジェクト間の演算子を用いて双曲面と円錐の交わる面を切り取った様子を、図-5 に示す。

OpenSCAD は、座標入力や演算操作をインタラクティブにマウスで行う CAD とは異なり、それらをプログラムのソースコードに記述することを特徴としている。この特徴がシミュレーションのモデル生成という目的に合致している。サブ・リフレクタの幾何学的パラメータのみで曲面を生成したいが、OpenSCAD が自動的に生成する基本的な立体は、立方体、球、円柱(円錐は円柱に含まれる)、三角形で構成される多面体等に限定される。そこで、曲面の幾何学的パラメータを用いて「三角形で構成される多面体」で目的の曲面を生成するプログラムを OpenSCAD で記述することになる。

そのようなプログラム例を検索すると、Chris Wallace 氏による poly_surface.scad [4] がヒットした。図-4 と 図-5 は poly_surface.scad を改変して作図したものである。なお、poly_surface.scad の実行には、OpenSCAD の最新版 2015.03 が必要である。また、

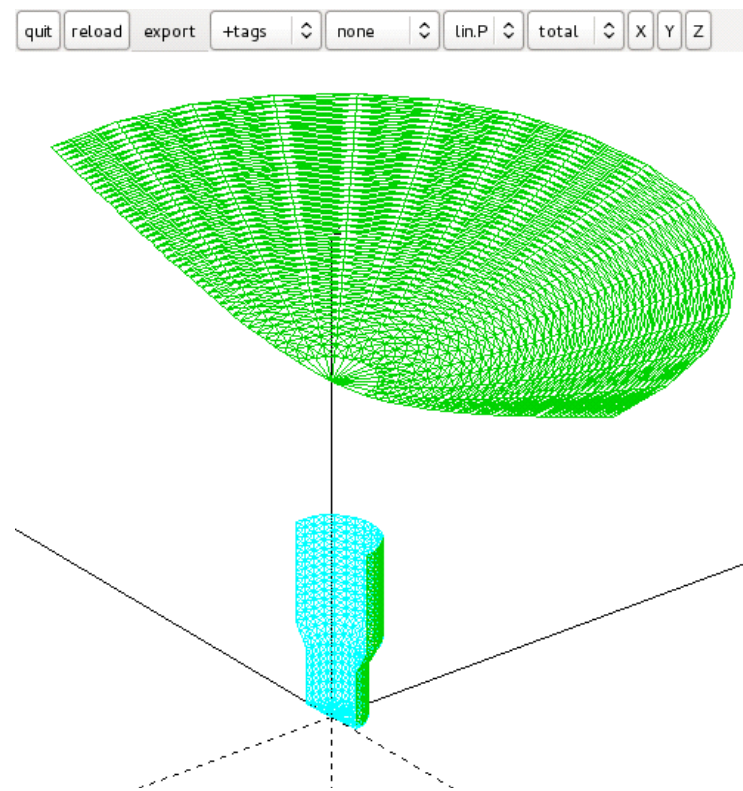


図-3 : GM コマンドによる回転複製 - ホーンとサブレフ

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

poly_surface.scad には軸対称に曲面を生成する部分にバグがあるので修整を要した。

NEC2++ 入力ファイルへの変換

図-5 に示される曲面は陰影の具合から、「三角形で構成される多面体」であることが見て取れる。つまり、OpenSCAD はシミュレーションのモデル生成に必要とするメッシュ・ジェネレータである。OpenSCAD は 3D プリンタのモデル生成に使用されるので、モデルのメッシュ情報を数値として出力する機能を有している。

OpenSCAD の出力機能のうち、ここでは STL フォーマットを用いる。STL フォーマットは、3D Systems Inc. 社の stereolithography CAD を起源とするもので、下記のフォーマットで記述されている。[5]

```
facet normal  $n_i n_j n_k$ 
  outer loop
    vertex  $v1_x v1_y v1_z$ 
    vertex  $v2_x v2_y v2_z$ 
    vertex  $v3_x v3_y v3_z$ 
  endloop
endfacet
```

このフォーマットは「三角形で構成される多面体」の一つの三角形メッシュを示したもので、出力ファイルには、このフォーマットが繰り返して記述される。“facet normal” は三角形メッシュの法線ベクトルを示す。続く“vertex” は三角形メッシュの頂点座標を示す。法線ベクトルと頂点座標が右手座標系に基づいている点は、NEC2++ の Surface Patch でモデルを記述する際に注意が必要である。[6]

NEC2++ の入力ファイルでは三角形メッシュを SP と SC コマンドを使って Surface Patch で記述するので、上記の STL フォーマットからの変換が必要である。上記の STL フォー

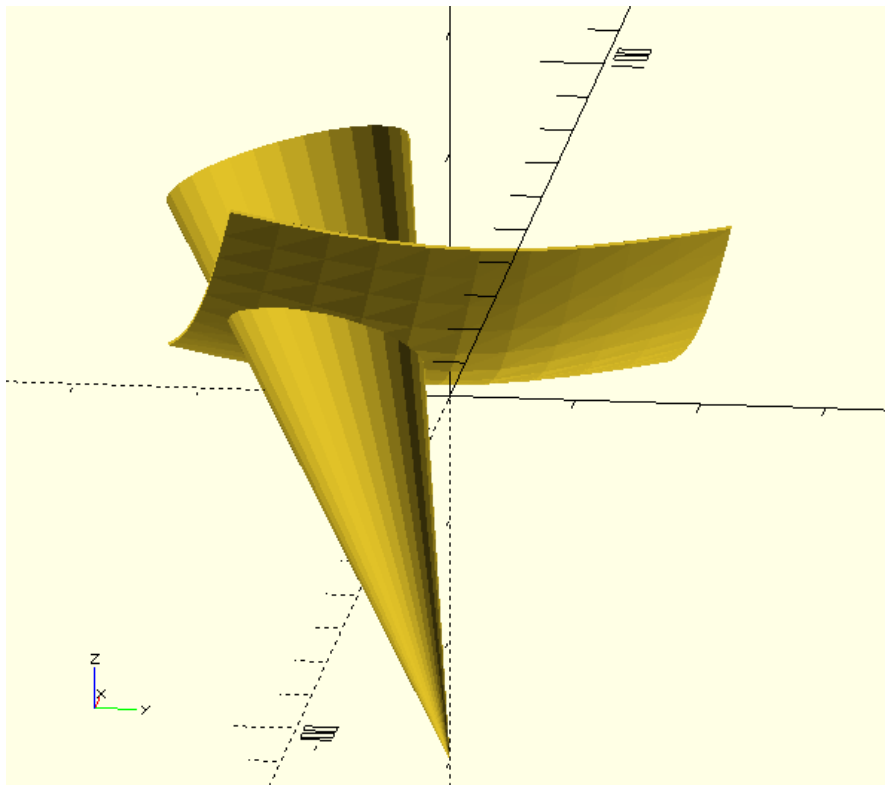


図-4 : OpenSCAD によるモデル生成の概念図示

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

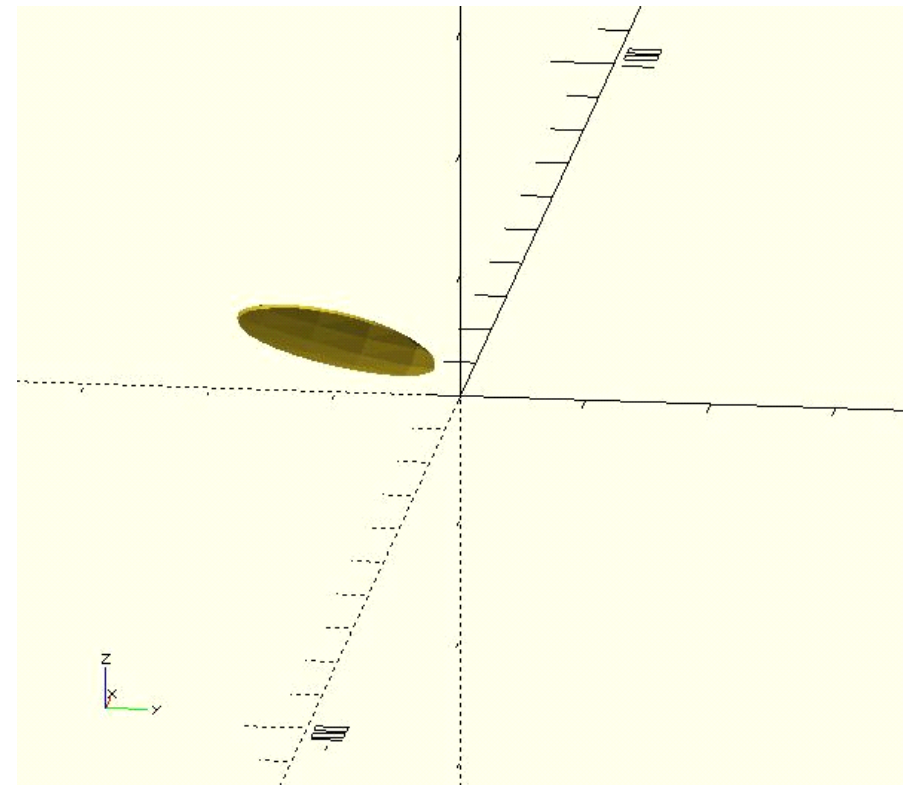


図-5 : 生成されたオフセット型カセグレン・アンテナのサブ・リフレクタ

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

マットの値を用いて SP と SC コマンドで記述すると下記ようになる。

```
SP 0 2 v1_x v1_y v1_z v2_x v2_y v2_z  
SC 0 2 v3_x v3_y v3_z
```

この記述を三角形メッシュの数だけ繰り返す。この変換を GNU Octave でプログラムする。OpenSCAD で作成した STL フォーマットから NEC2++ 入力ファイルへ変換した結果を、Xnecview を用いて 図-6 に示す。なお、図-4 から 図-6 に示すものは、Surface Patch のサイズがシミュレーションとして有効か否かを検証したのではなく、シミュレーション・モデル生成の手順に主眼を置いたものである。図-6 に示すように、Surface Patch サイズをあえて大きくして、メッシュ生成の様子を判りやすくした。メッシュ・サイズを小さく、すなわちメッシュ数を大きくすると OpenSCAD と STL/NEC2++ フォーマット変換プログラムの実行に時間を要するので、デバッグ効率の観点からもメッシュ・サイズを大きくしている。

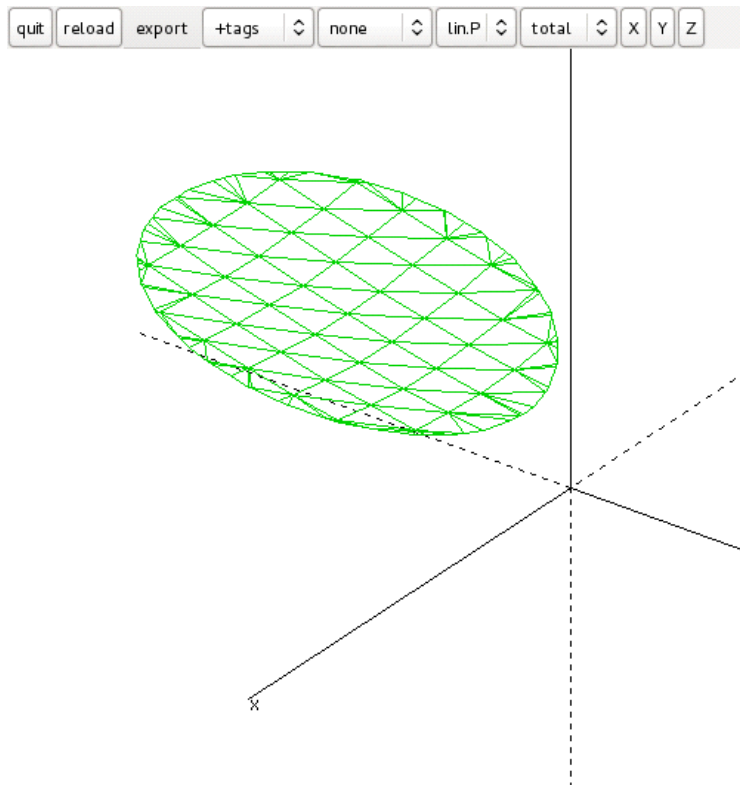


図-6 : NEC2++ 入力ファイルへ変換されたサブ・リフレクタ

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

OpenSCAD を使う際の注意点

NEC2++ での Surface Patch は厚みの無い完全導体として定義されたものである。一方、OpenSCAD は立体を記述する CAD であり、厚みの無い曲面を記述しようとする、

WARNING: Object may not be a valid 2-manifold and may need repair!

なる警告が出る。しかし、目的とするメッシュは生成されるので、この警告は無視している。厚みの無い曲面を記述するには、前述の poly_surface.scd がオリジナルでは立体の上面/下面/側面を生成するところ、上面のみのルーチンを利用している。

厚みの無い双曲面を OpenSCAD で生成して、図-4 と 図-5 に示すように OpenSCAD の intersection 演算子を用いて円錐で切り取った結果の STL ファイルには、厚みの無い双曲面の表と裏の二面分のメッシュ情報が含まれる。これは、OpenSCAD の仕様を超えた使い方なので、使う側での対応が必要となる。すなわち、STL フォーマットから NEC2++ 入

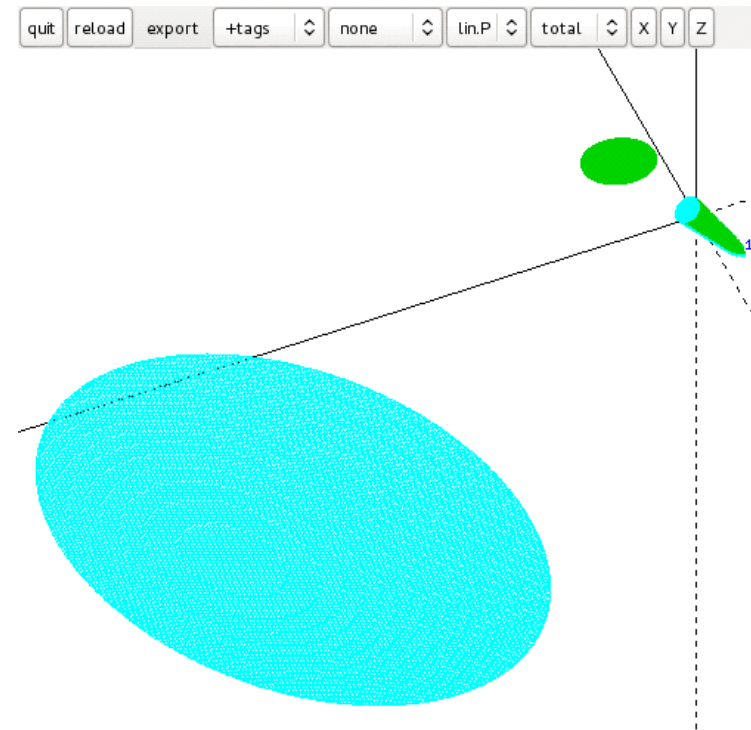


図-7 : OpenSCAD で生成したオフセット型カセグレン・アンテナのモデル

(C) 2016, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

カファイルへ変換する際に STL フォーマットの “facet normal” が示す法線ベクトルを用いて双曲面の表裏を判断し、必要とする面のみを NEC2++ 入力ファイルへ変換する。

モデル生成例

前述の手順で OpenSCAD を用いて生成したオフセット型カセグレン・アンテナのモデルを 図-7 に示す。アンテナの設計パラメータと NEC2++ でのシミュレーション結果は別稿にて記載するが、ここではモデルの全体像を示すにとどめる。拡大率が小さいため、図-7 では個々のメッシュを識別できないが、各リフレクタは細かい三角メッシュで構成されている。

サブ・リフレクタの虚焦点を、モデル全体の座標系の原点としている。フィード・ホーン、サブ・リフレクタ、そしてメイン・リフレクタの三つの部分毎に NEC2++ 入力ファイルを作成して、最後に三つのファイルをつなぎ合わせて一つの入力ファイルを作成する手順とした。フィード・ホーン単体は軸対称の回転体なので、モデルは従来手法を用いる。NEC2++ の GM (Coordinate Transformation) コマンドを用いてフィード・ホーンを傾けている。サブ・リフレクタは前述の例のとおり。メイン・リフレクタは母体となるパラボラ曲面を、主放射軸から見た円で切り抜いてモデルを生成している。

まとめ

OpenSCAD を用いることで、非対称型モデルを容易に生成することができた。OpenSCAD のプログラムではアンテナの設計パラメータで各リフレクタの反射曲面を記述すれば良く、オフセット型での非対称なリム形状を直接的に記述する必要が無い点は、ひじょうに大きな利点である。このようなオープン・ソースとその応用例を公開されている先達に感謝する。

//

参考文献

- [1] 武安義幸, JA6XKQ, “NEC2++ を用いたカセグレン・アンテナのシミュレーション,” 2015. http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMainRef_1.pdf
- [2] Burke, B. J., and Poggio, A. J., “NUMERICAL ELECTROMAGNETICS CODE (NEC) METHOD OF MOMENTS, PART III: USER S GUIDE,” 1981.
- [3] OpenSCAD, The Programmers Solid 3D CAD Modeller <http://www.openscad.org>
- [4] Chris Wallace, “computed surface construction,” 24 Feb 2015. https://github.com/KitWallace/openscad/blob/master/poly_surface.scad
- [5] WIKIPEDIA, “STL(file format),” 19 November 2015. [https://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))
- [6] 武安義幸, JA6XKQ, “サブリフレクタからの放射パターン,” 2015. http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppSubRef_2.pdf