

## Simulation of Cassegrain Antenna using NEC2++ Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

### NEC2++ を用いたカセグレン・アンテナのシミュレーション 武安義幸 / JA6XKQ

パラボラ・アンテナの設計と評価を行なうにあたり、フィード・ホーン・アンテナに始まり、次にサブ・リフレクタとの組み合わせをシミュレーションした。しかし、各要素ごとのシミュレーションだけではパラボラ・アンテナ総合の特性を推定し、各要素の設計パラメータを調整することは困難であるとの結論に至った。[1] パラボラ・アンテナ総合をシミュレーションすることは、これまで、アマチュアのコンピュータ・リソースの領域を越えたものであったが、NEC2++ がそれを可能とした。実測値との比較において、シミュレーションの有効性を確認することができた。

#### はじめに

パラボラ・アンテナを構成する要素ごとに段階的にシミュレーションを進めてきたが、要素ごとのシミュレーションだけではパラボラ・アンテナ総合の特性を推定することは困難であるとの結論に至った。[1] しかし、双曲面サブ・リフレクタのモデル生成とシミュレーションを、放物面メイン・リフレクタへ拡大適用可能であることが解ると、あとは力技での解決となった。「毒を食らわば皿まで」ではないが、「ホーンとサブレフを食らわば皿(メインレフ)まで」である。

NEC2++ での力技に至るには、ソフトウェアとしてのメモリ上限を実質的に取払い、数値演算ライブラリに Intel MKL を採用して計算時間を短縮することが不可欠であった。[2]

シミュレーションが可能となっても、その計算結果の有効性確認には実測値との比較が必須である。自分自身での実測はできない(それ故に電腦空間を漂うのであるが、...)が、幸いなことに JA4BLC 又賀 OM がカセグレン・アンテナの給電に関する詳細な実測と検証を公表されている [4] ので、その結果と比較検証させて頂くことにする。OM 自身としても、 $F = 0.5$  タイプと  $F = 0.7$  タイプのいずれの W2IMU ホーンが適しているのか、また、フィード・ホーンの最適位置(焦点合わせ)は何処であるのか計算値を参考にされたいとのことで、両者の思惑が一致した。

## モデル・ジェネレータ

サブ・リフレクタのシミュレーションで、GNU Octave で記述したホーン・アンテナのモデル生成プログラムに双曲面生成のルーチンを追加した。[1] ここでは、さらに放物面生成のルーチンを追加した。

ホーン・アンテナ、サブ・リフレクタ、そしてメイン・リフレクタのいずれも四角形(Quadrilateral)の Surface Patch で近似する。Surface Patch の「表裏」の向き

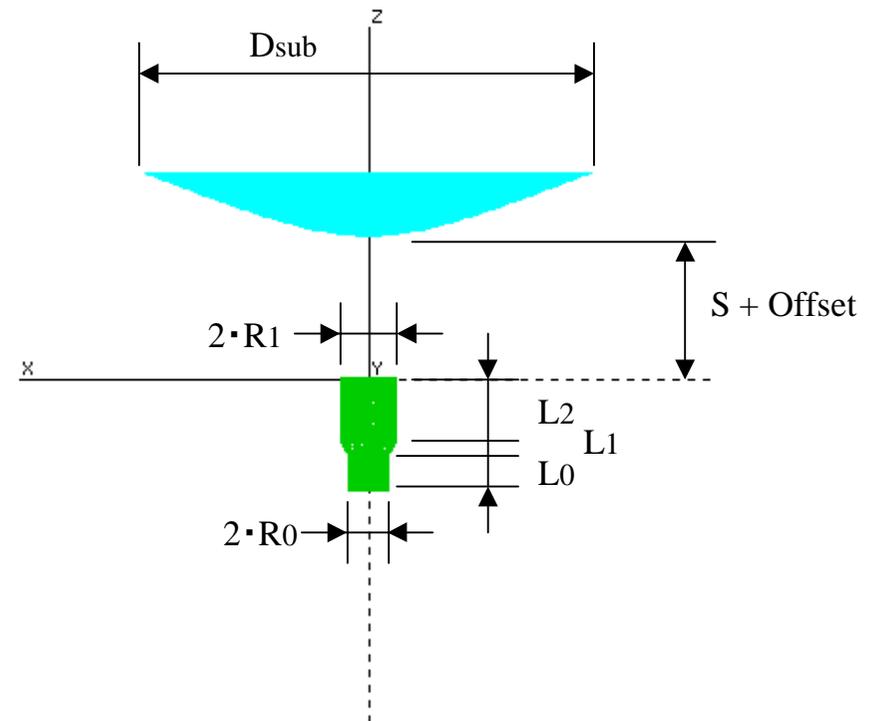
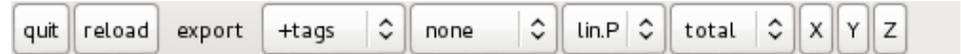


図-1 : フィード・ホーン・アンテナとサブリフレクタの関係

は、ホーン・アンテナの内側が反射する「表」、サブリフレクタの凸面が「表」、そしてメインリフレクタの凹面が「表」となるようにモデルを生成する。[1] ホーン・アンテナとサブ・リフレクタの関係を、図-1 に示す。メイン・リフレクタを Y 軸方向から見たものを、図-2 に示す。メイン・リフレクタが  $F = 0.25$  という深い「皿」であり、 $F = 0.25$  の場合、メイン・リフレクタの焦点が「皿」の縁と一致する形状となる。したがって、サブ・リフレクタの焦点とメイン・リフレクタの焦点を一致させるカセグレン・アンテナでは、

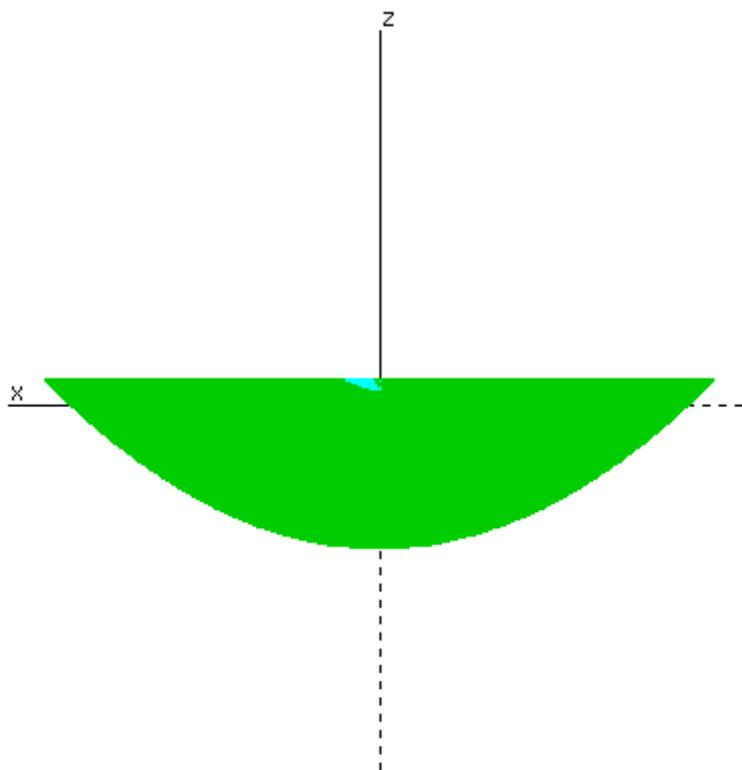


図-2 : メイン・リフレクタ

サブ・リフレクタとメイン・リフレクタの縁が一致し、図-2 ではフィード・ホーンとサブ・リフレクタがメイン・リフレクタに隠れている。つまり、図-2 の中に 図-1 が抱合されている。

シミュレーションでは、図-1 に示す Offset のみを変えて「焦点合わせ」の具合を検証する。カセグレン・アンテナの設計においては、上記のようにサブ・リフレクタとメイン・リフレクタのそれぞれの焦点を一致させ、フィード・ホーン・アンテナの位相中心をサブ・リフレクタの虚焦点に一致させる。前者は各リフレクタの幾何学的な寸法パラメータから自動的に決定されるが、後者の位相中心が幾何学的には決定できないので、Offset を可変して検証する次第である。

### アンテナの設計パラメータ

前述のように、シミュレーションの結果を実測値と比較検討したいので、計算例として JA4BLC 又賀 OM のカセグレン・アンテナの設計パラメータ [3] を借用する。如何なるフィード・アンテナ (W2IMU ホーン) が適しているのかを検討する目的から、 $F = 0.5$  タイプと  $F = 0.7$  タイプの二種類をシミュレーションする。周波数は 10.43 GHz とする。

フィード・アンテナである W2IMU ホーンの寸法パラメータは 表-1 のとおり。サブ・リフレクタの寸法パラメータを 表-2 に示す。メイン・リフレクタの直径は 3,000 mm で、 $F = 0.25$  である。

フィード・ホーン・アンテナの位相中心とサブ・リフレクタの焦点との位置調整具合を検証するために、図-1 に示す Offset を  $-1$  波長から  $+1$  波長にわたって  $1/8$

Dimension (mm)	Type : F = 0.5	Type : F = 0.7
R0	10.41	10.41
L0	23.6	23.6
R1	17.5	24.0
L1	9.54	27.01
L2	12.55	42.65

表-1 : W2IMU ホーン・アンテナの寸法パラメータ

波長刻みに変化させ、カセグレン・アンテナ総合でのゲインとラジエーション・パターンをシミュレーションする。負の Offset は、ホーン・アンテナの開口端がサブ・リフレクタの焦点位置 S よりもサブ・リフレクタに近いことを意味し、正の値ではサブ・リフレクタから遠ざかることを意味する。

## Surface Patch サイズの検証

当初、シミュレーション・モデルの Surface Patch の刻みサイズを 1/7 波長で計算したところ、F = 0.5 タイプと F = 0.7 タイプのホーンで、アンテナ総合ゲインに約 2 dB の違いを生じた。又賀 OM の実測経験からして、2 dB の差異は生じないであろうということで、シミュレーション・モデルへの疑義が浮上した。Surface Patch サイズによる計算結果の変動は、ホーン・アンテナ単体でのシミュレーションでも経験している。[4]

なお、ここで「Surface Patch の刻みサイズ」とは、フィード・ホーン・アンテナでの定義である。例えば 1/7 波長での刻みとは、ホーン・アンテナの開口端を円周方向に 1/7 波長刻みで分割し、また、Z 軸方向についても 1/7 波長刻みで分割することを意味する。一方、サブとメイン・リフレクタでは、円周方向の「分割数」はホーン・アンテナの円周方向の「分割数」と同じにするので、円周方向の「刻みサイズ」は半径に比例してホーン・アンテナのそれよりも大きなサイズとなる。メイン・リフレクタの Z 軸方向についてはホーン・アンテナの Z 軸と同じ「刻みサイズ」としたが、サブ・リフレクタについては試行錯誤の結果、ホーン・アンテナの「刻みサイズ」よりも 4 倍細かいものとした。

Sub-reflector Parameter	Dimension (mm)
<i>a</i>	26.825
<i>b</i>	63.339
<i>c</i>	68.785
Focal Length <i>f</i>	137.57
f0 to Vertex <i>S</i>	95.61
Diameter	300
Depth	41.96

表-2 : 双曲面サブリフレクタの寸法パラメータ

シミュレーション・モデルへの疑義のため、Surface Patch サイズに対するアンテナ総合ゲインの変化を検証した。図-3 に F = 0.5 タイプでのアンテナ総合ゲインを、図-4 に F = 0.7 タイプでのアンテナ総合ゲインをそれぞれ示す。いずれも、Surface Patch サイズは、1/7 波長から 1/13 波長まで可変している。

F = 0.5 タイプのホーンと組合わせた 図-3 の場合、Surface Patch サイズが 1/7 波長、1/8 波長および 1/9 波長では他の計算結果と乖離が大きいことが読取れる。また、F = 0.7 タイプのホーンと組合わせた 図-4 の場合、Surface Patch サイズが 1/7 波長および 1/8 波長では他の計算結果と乖離が大きい。いずれの場合も、Surface Patch サイズが 1/10 波長から 1/13 波長の計算結果は良い一致を示している。

そこで、Surface Patch サイズへの依存度を軽減するために、1/10 波長から 1/13 波長サイズの計算結果を平均して比較することとした。その結果を、図-5 に示す。

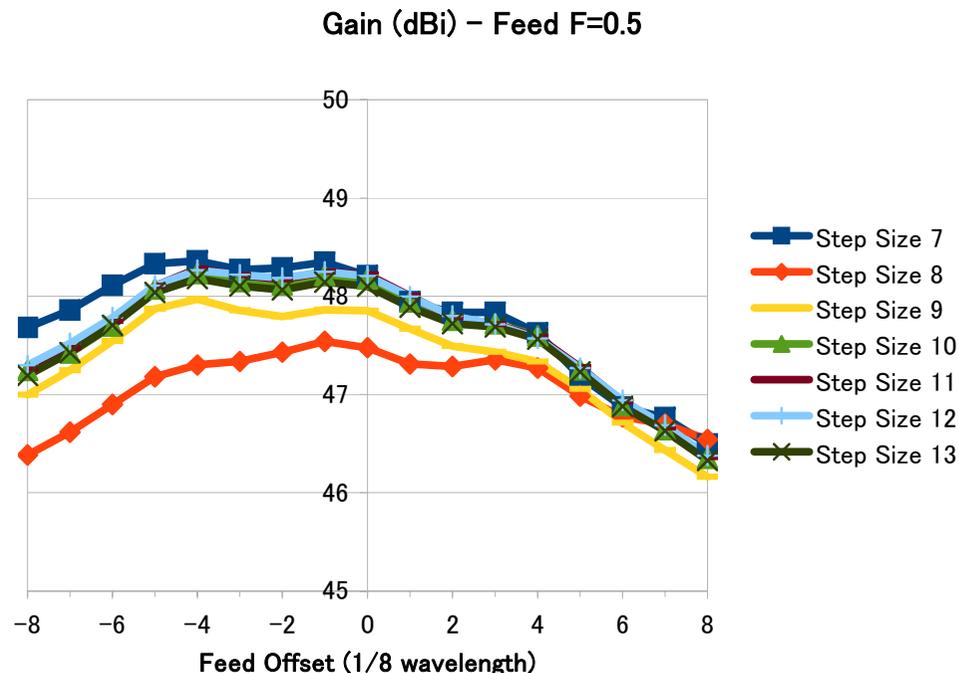


図-3 : Surface Patch サイズに対するアンテナ総合ゲインの変化

## 焦点合わせと総合ゲイン

Offset に対する総合ゲインの変化を示した 図-5 から、F = 0.7 タイプのホーンが Offset = -2/8 波長において最も高い総合ゲインとなることが判る。F = 0.5 タイプおよび F = 0.7 タイプのいずれにおいても、Offset に対する総合ゲインの変化が単調ではなく、周期的に変化している様子が見て取れる。この様子は、又賀 OM の実測データ [3] にも見られるもので、シミュレーションと実測が一致している点で興味深い。先に行なったフィード・ホーン・アンテナとサブ・リフレクタでのシミュレーションにおいても、サブ・リフレクタからのラジエーション・パターンが Offset の変化に対して周期的に変動していたことと関連するだろう。[1] フィード・ホーン・アンテナの位相中心が不明な状況において「焦点合わせ」を行なう際には、ローカル・ピークに陥らないように、一波長程度は位置調整を行なうべきことを示唆する。

## 焦点合わせとラジエーション・パターン

Offset に対するラジエーション・パターンの変化、いわゆる「焦点合わせ」の様子を 図-6 から 図-39 に示す。図-6 から 図-22 が F = 0.5 タイプ、図-23 から 図-39 が F = 0.7 タイプである。

これらの図から、メイン・ローブが鋭く尖る一方でサイド・ローブが下がる、いわゆる「焦点合わせ」の様子が見て取れる。総合ゲインだけではなく、サイド・ローブの観点からも、F = 0.7 タイプの Offset = -2/8 波長がベストであると判断される。

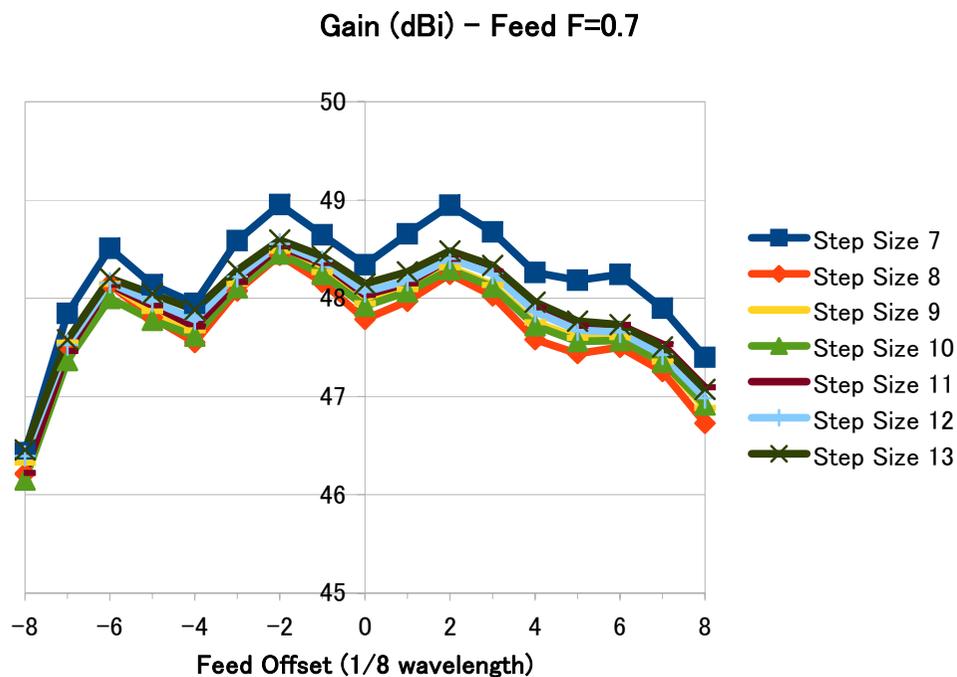


図-4 : Surface Patch サイズに対するアンテナ総合ゲインの変化

(C) 2015, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

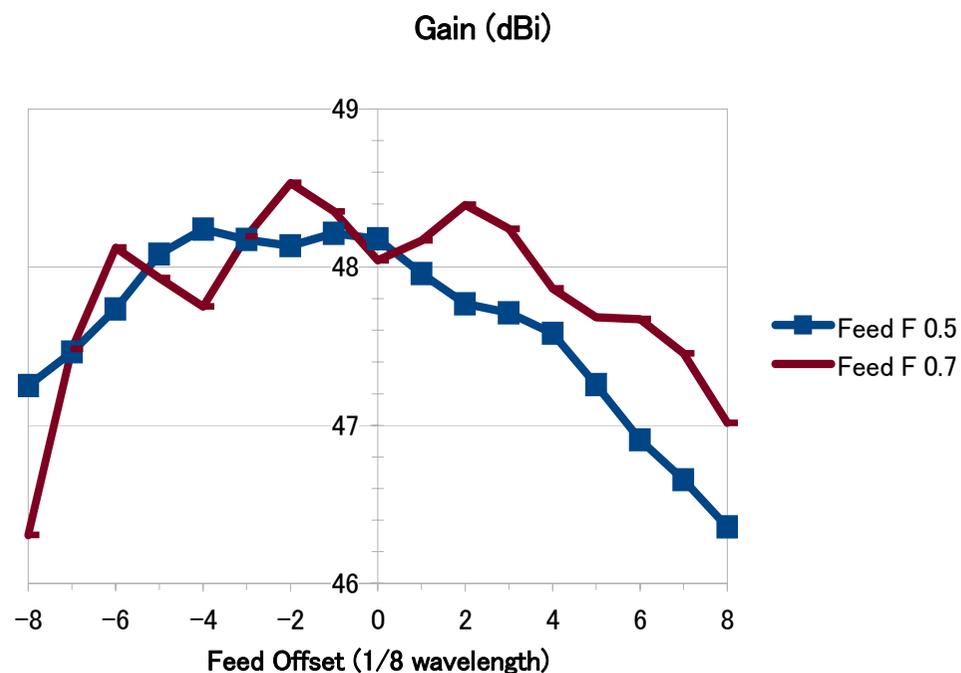


図-5 : Feed Offset に対するアンテナ総合ゲインの変化

(C) 2015, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## まとめ

フィード・ホーン・アンテナ単体、次にフィード・ホーン・アンテナとサブ・リフレクタの組合わせでシミュレーションしてきたこれまでの成果に基づいて、メイン・リフレクタを含んだカセグレン・アンテナ総合でのシミュレーションを行なった。カセグレン・アンテナにおいては、如何なるフィード・アンテナが適しているのか、また、フィード・アンテナのいわゆる「焦点合わせ」がどの位置であるのかが関心事であるので、二種類のフィード・ホーン・アンテナを用いて「焦点合わせ」での総合ゲインとラジエーション・パターンを算出した。

シミュレーションの結果、計算事例では  $F = 0.7$  タイプ W2IMU ホーンが  $F = 0.5$  タイプよりも優位性を持つとの結論を得た。そして、「焦点合わせ」には単調なピークではなく、周期的に変化する局所的なピークが存在することが判明した。この局所的なピークの存在は JA4BLC 又賀 OM の実測結果とも類似することが確認できた。

アンテナ総合でのシミュレーションを行なった結果、「焦点合わせ」に関連して、フィード・ホーン・アンテナ単体の位相中心 (Phase Center) を検証する必要性を感じたので、今後の課題としたい。

カセグレン・アンテナの設計パラメータと実測データを提供して頂き、さらに今回のシミュレーション結果について助言を頂いた JA4BLC 又賀 OM に深謝申し上げます。

//  
☆

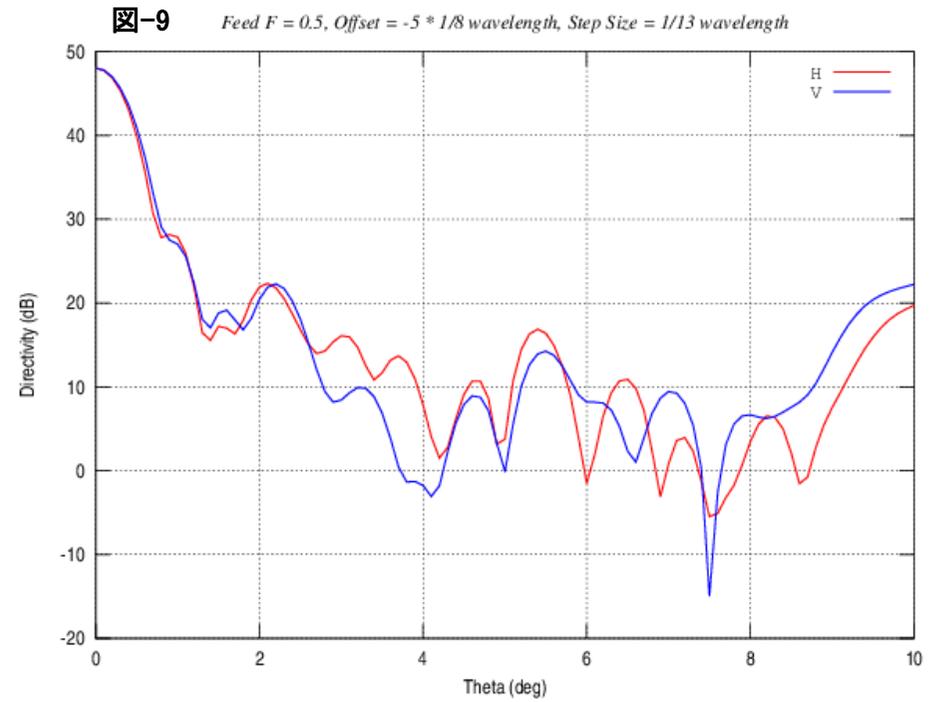
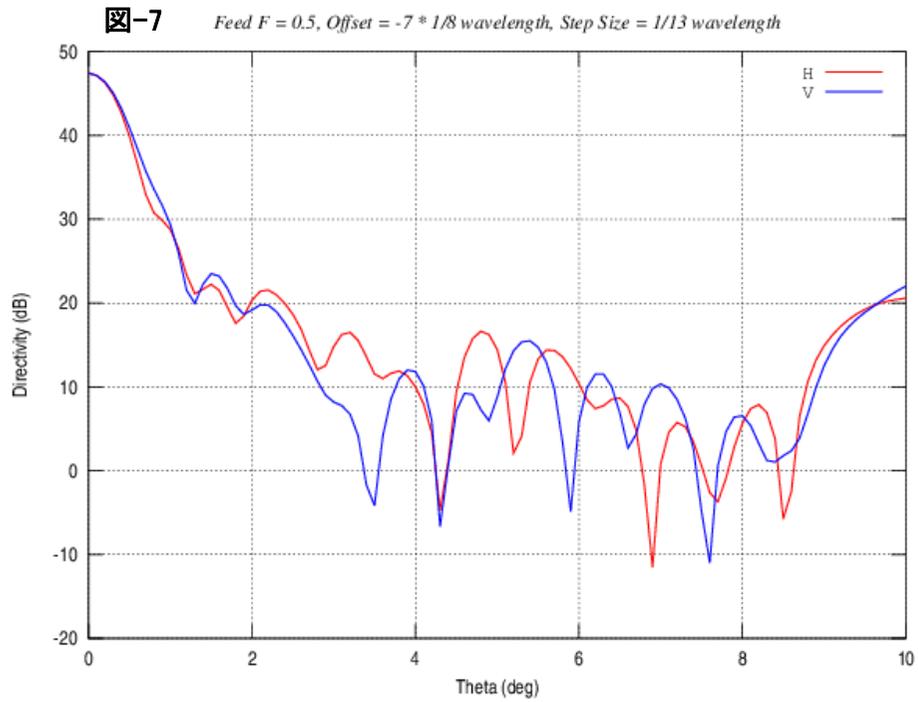
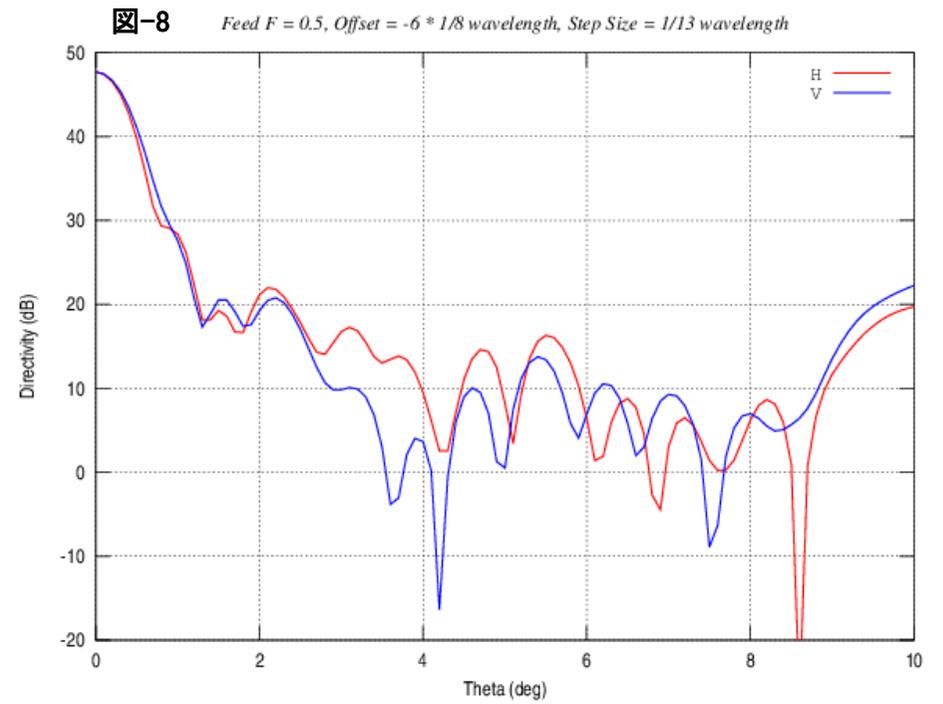
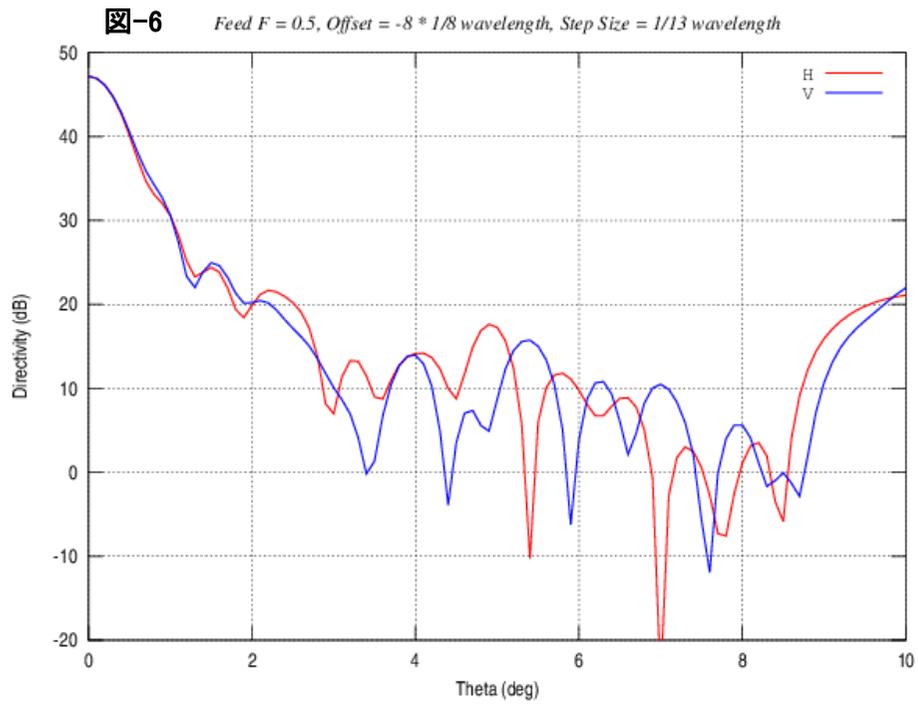
## 参考文献

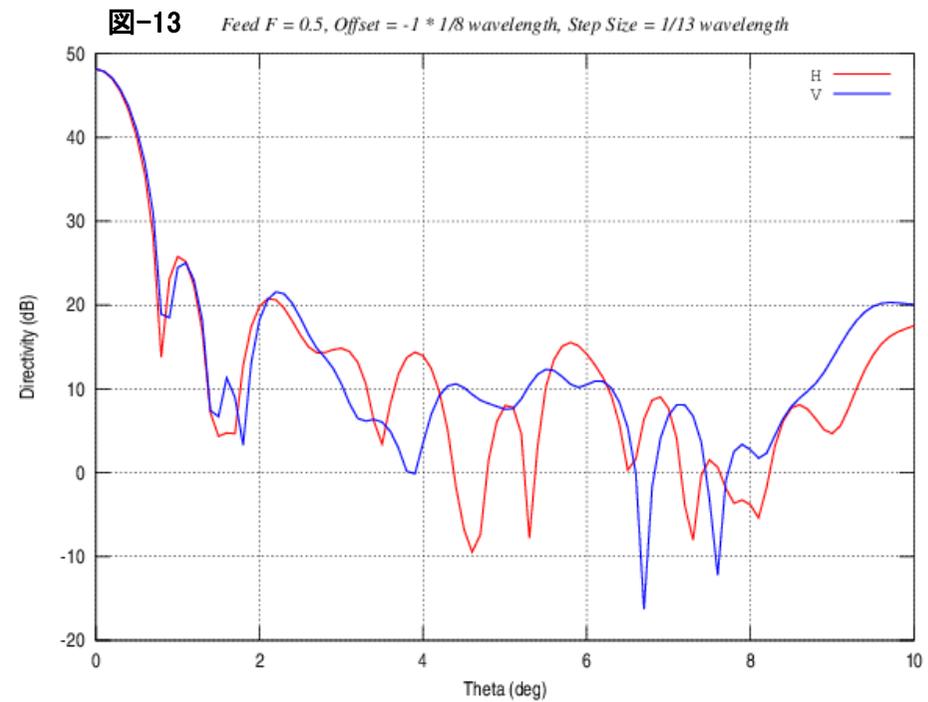
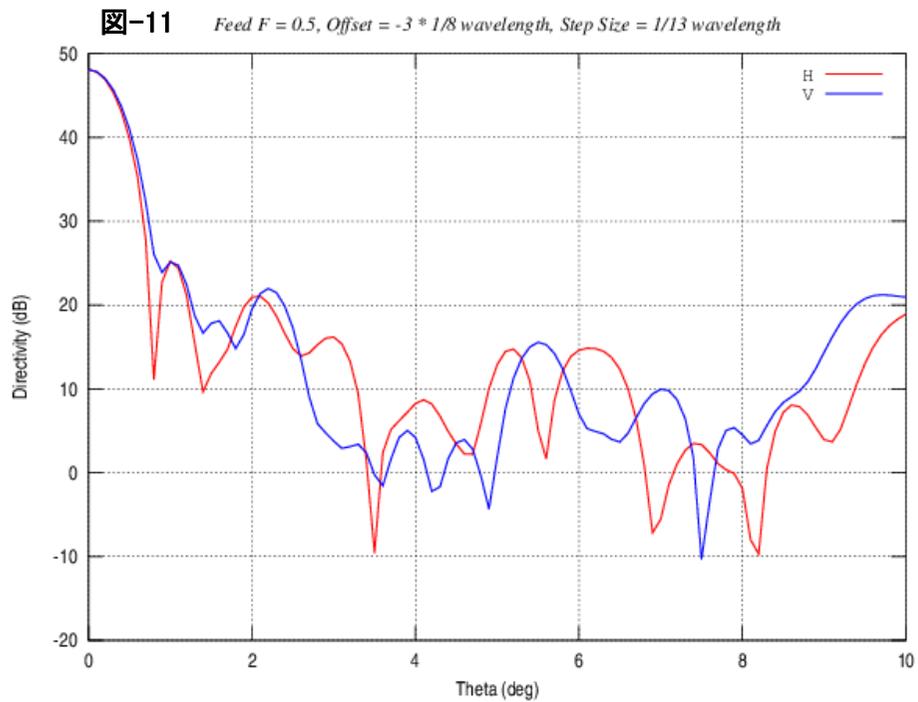
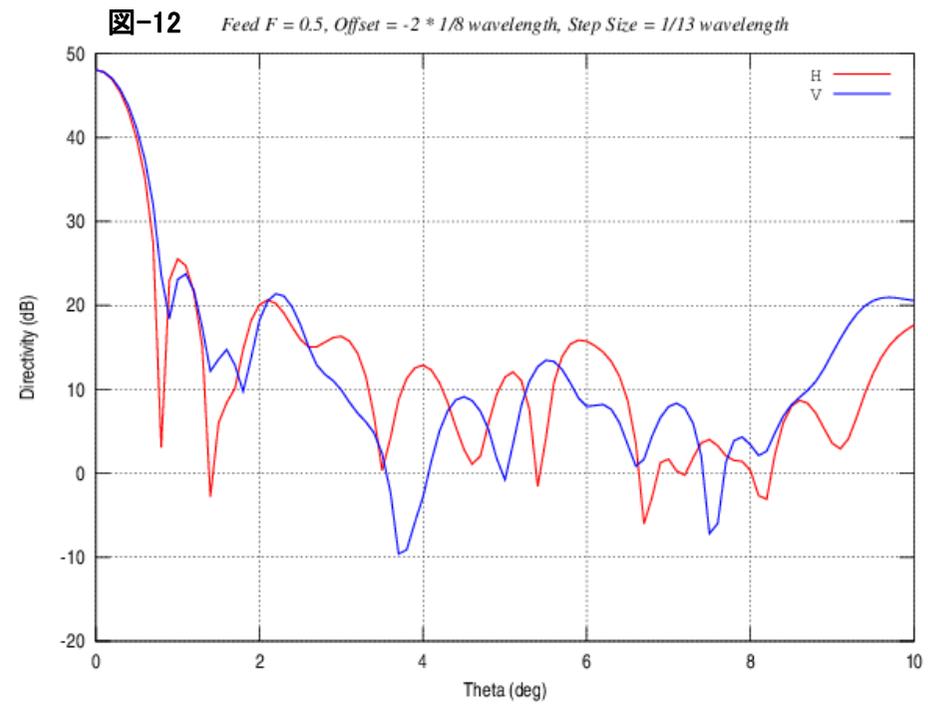
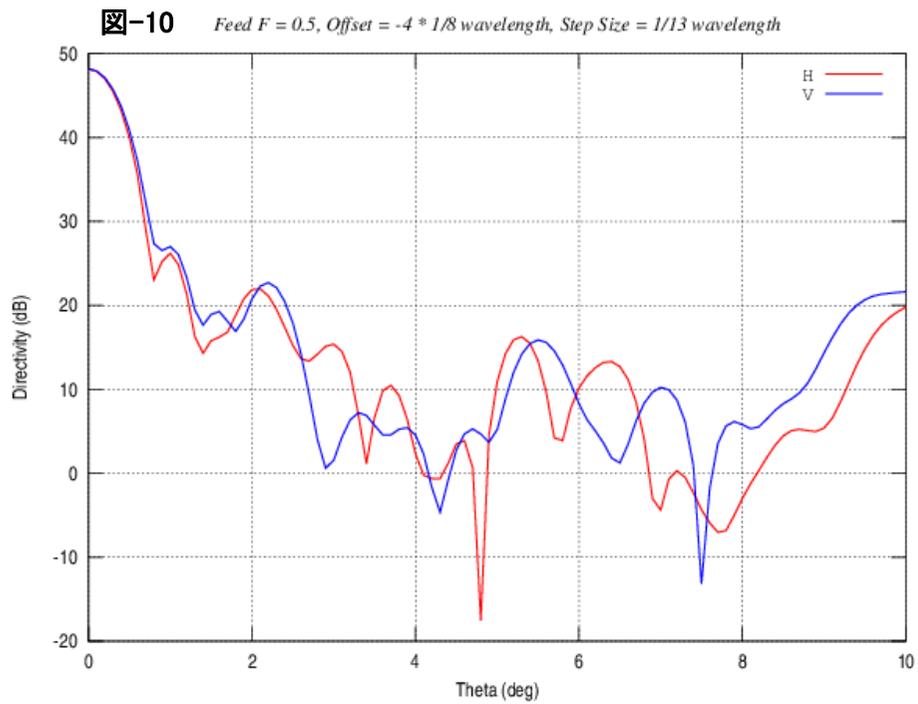
[1] 武安義幸, JA6XKQ, “サブリフレクタからの放射パターン,” 2015.  
[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppSubRef\\_2.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppSubRef_2.pdf)

[2] 武安義幸, JA6XKQ, “NEG2++ アンテナファームの拡張,” 2014.  
[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMKL\\_2.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMKL_2.pdf)

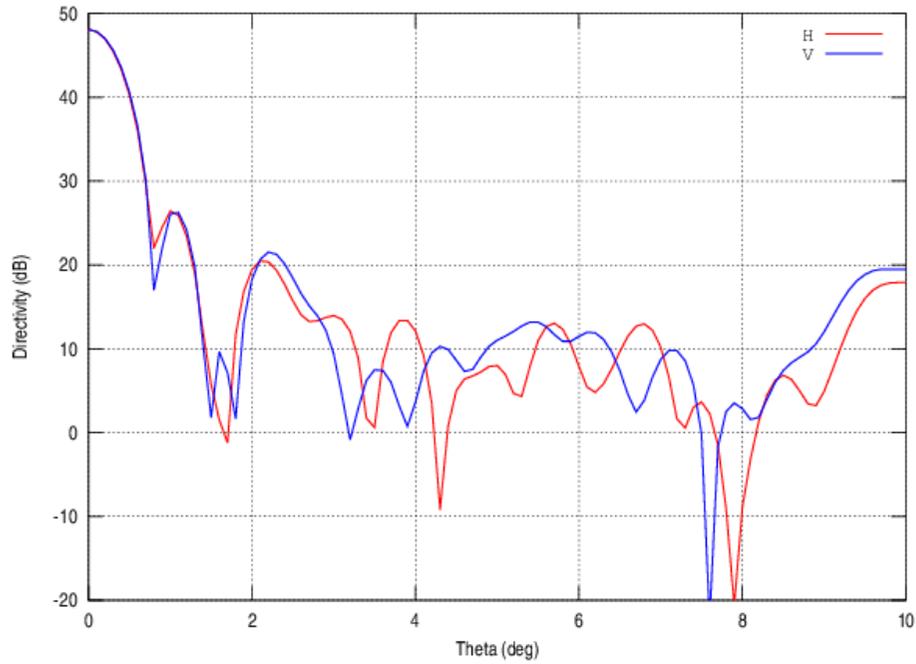
[3] 又賀義郎, JA4BLC, “カセグレン給電の実験その 1 (10GHz),” マイクロウェーブ プロGRESS レポート, 2012.  
[http://www.microwavemeeting.org/2012progressreport\\_web.pdf](http://www.microwavemeeting.org/2012progressreport_web.pdf)

[4] 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,” 2011.  
<http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2pp3SecHorn.pdf>

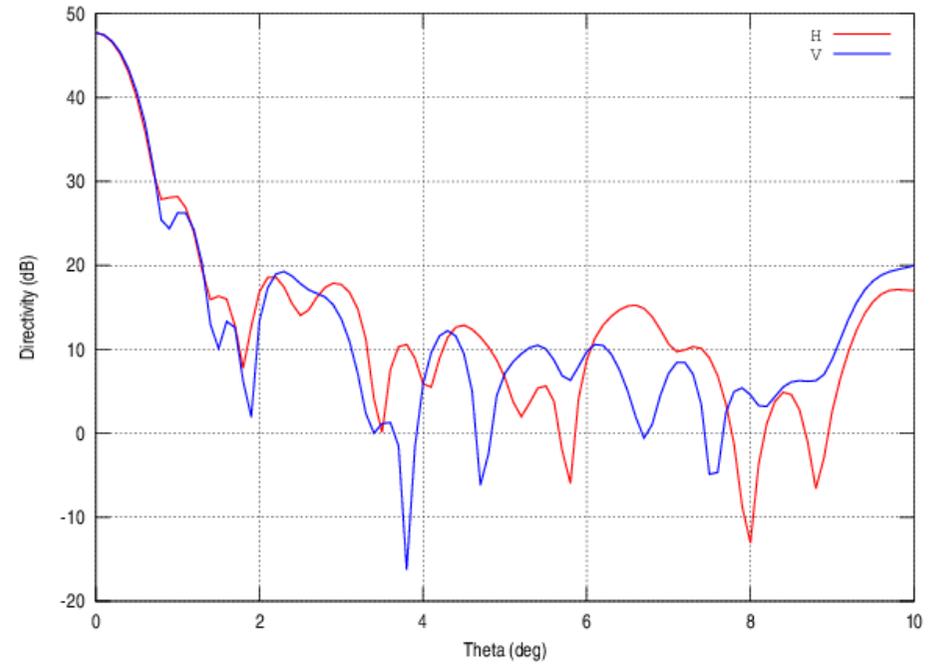




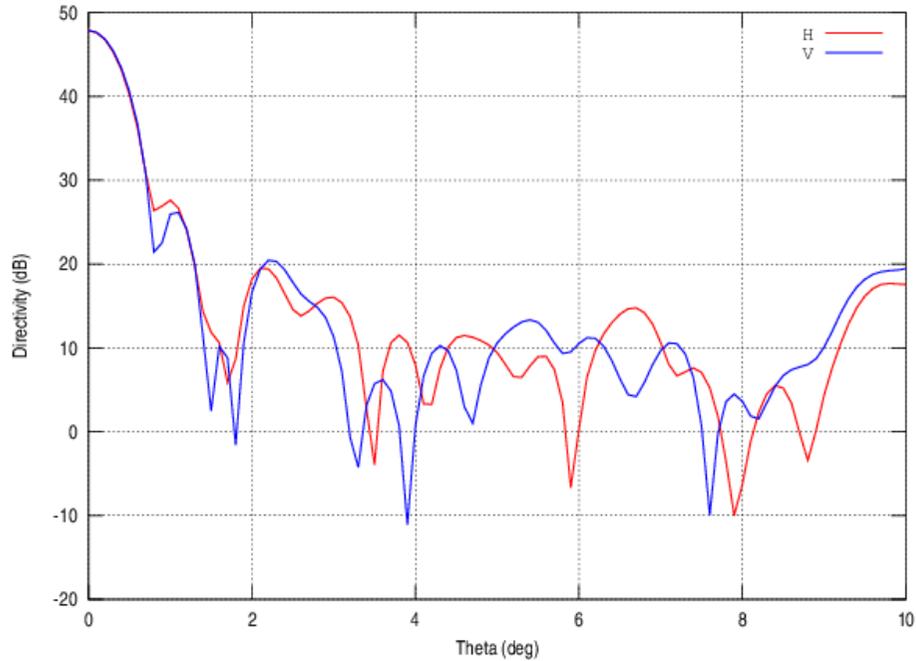
**☒-14** Feed  $F = 0.5$ , Offset =  $0 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength



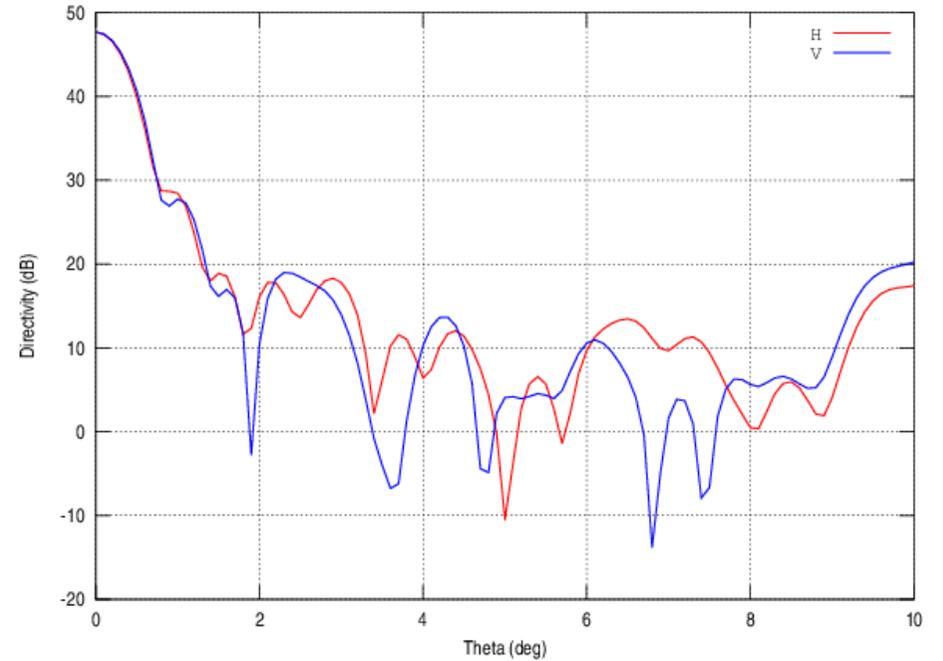
**☒-16** Feed  $F = 0.5$ , Offset =  $2 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength

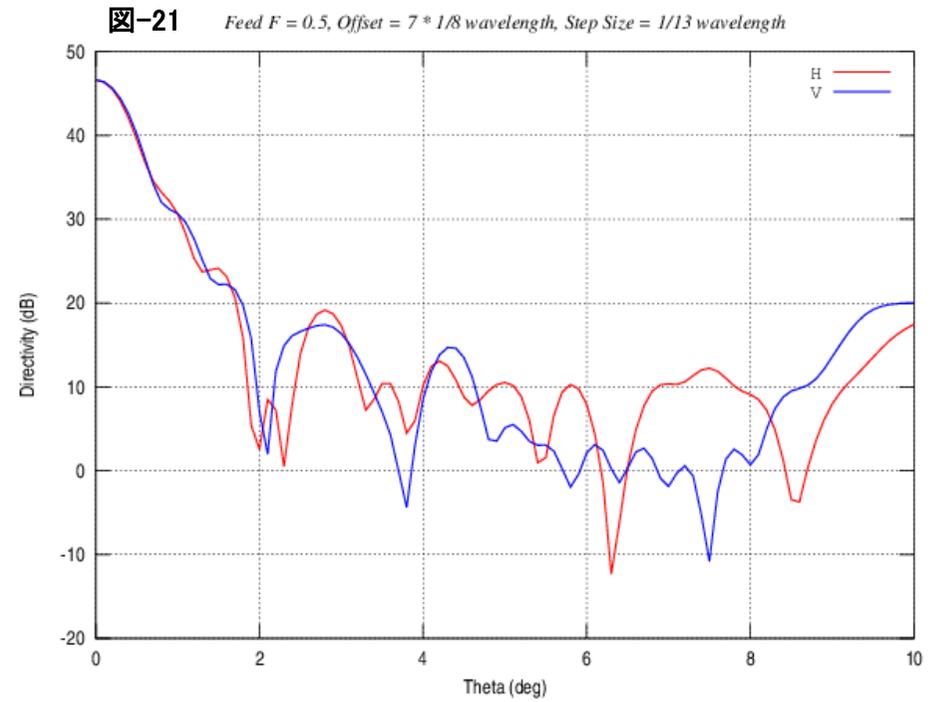
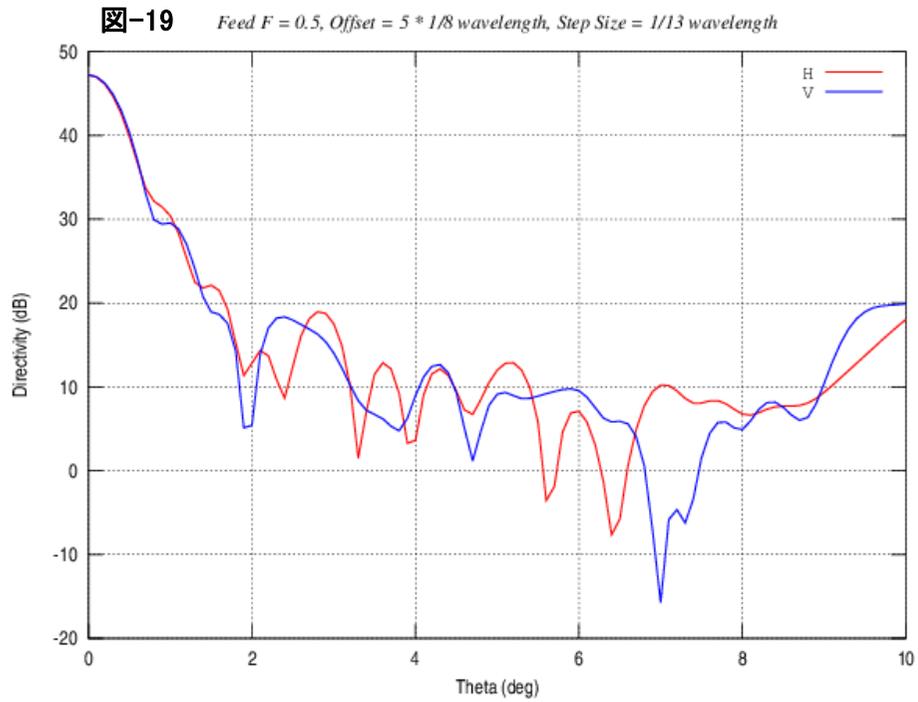
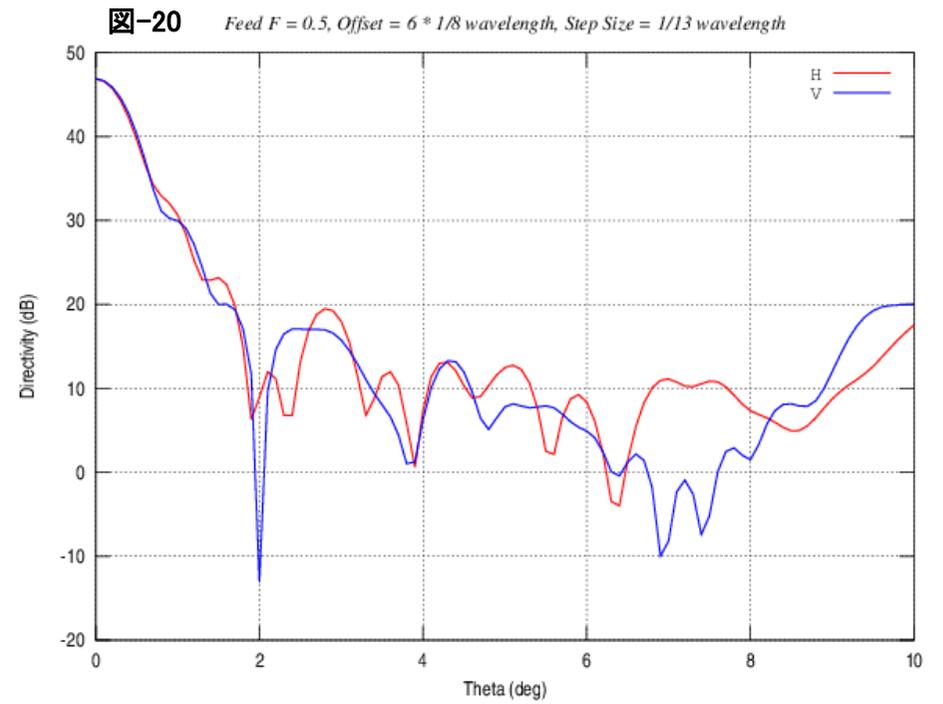
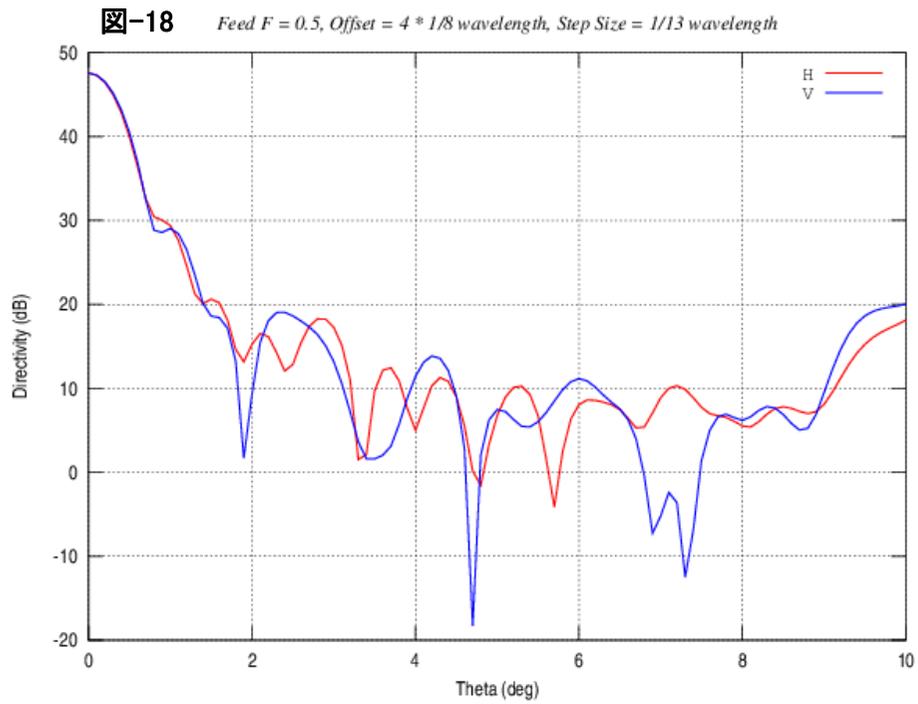


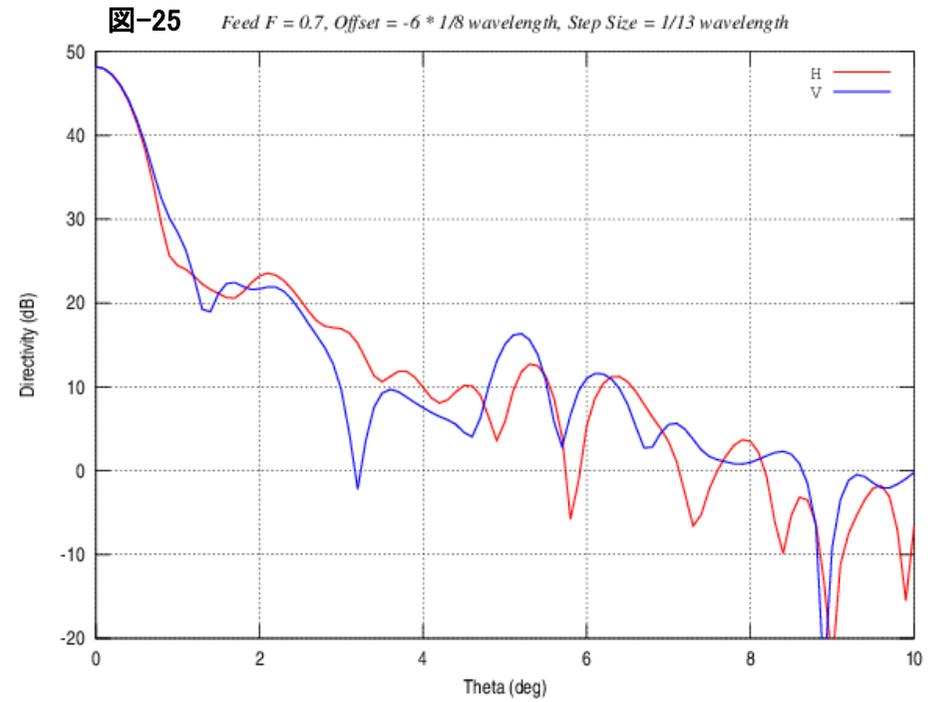
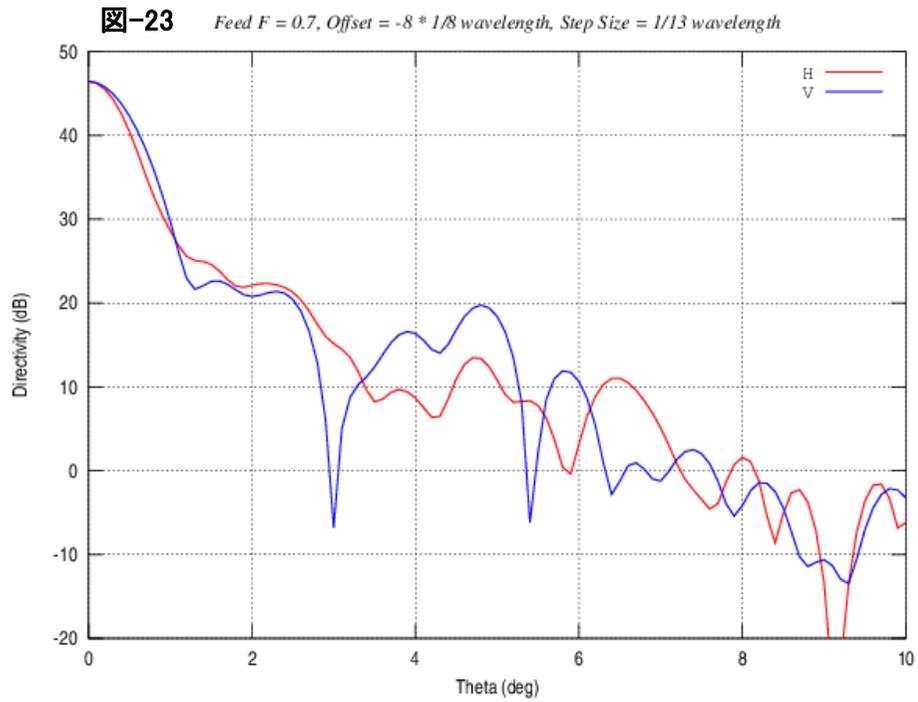
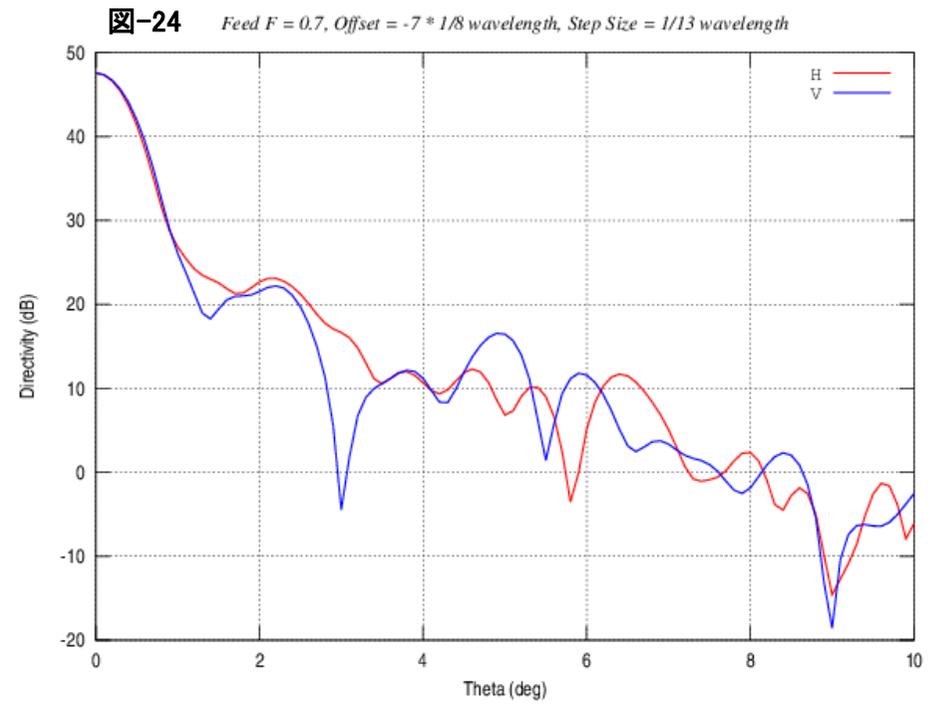
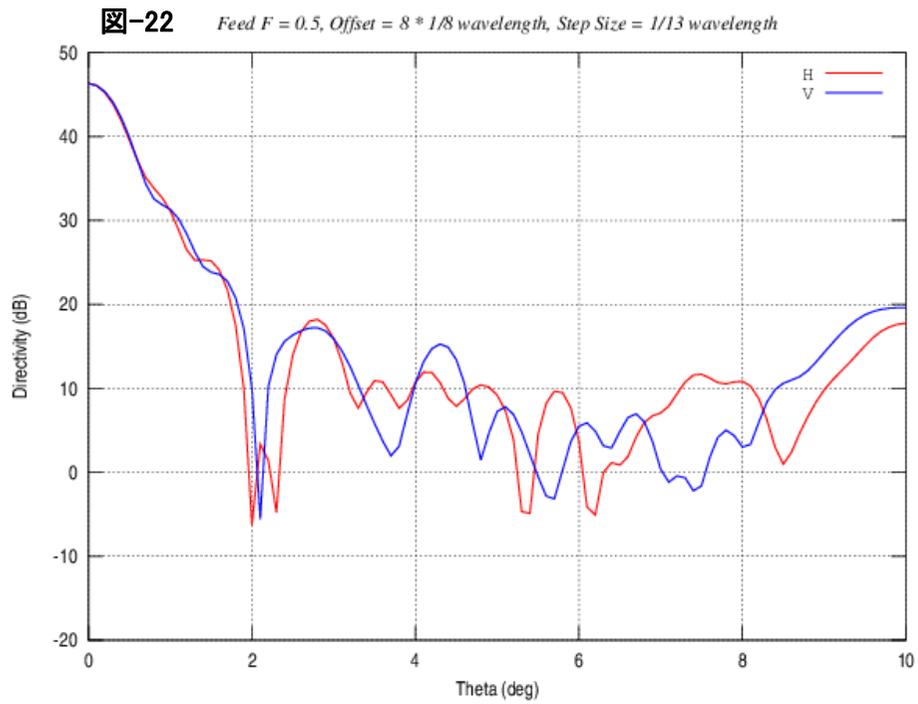
**☒-15** Feed  $F = 0.5$ , Offset =  $1 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength

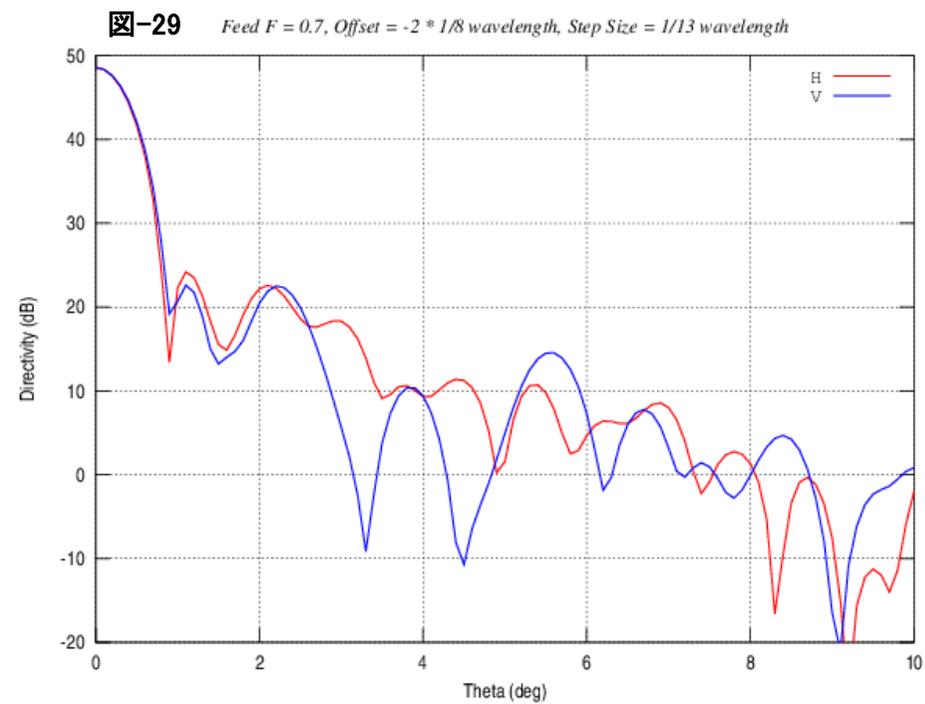
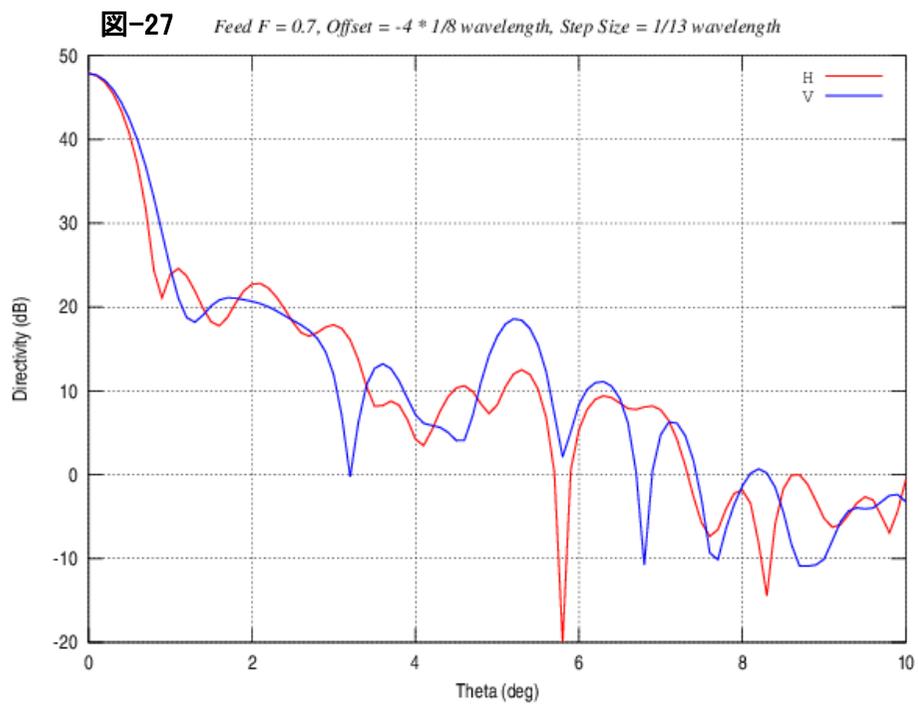
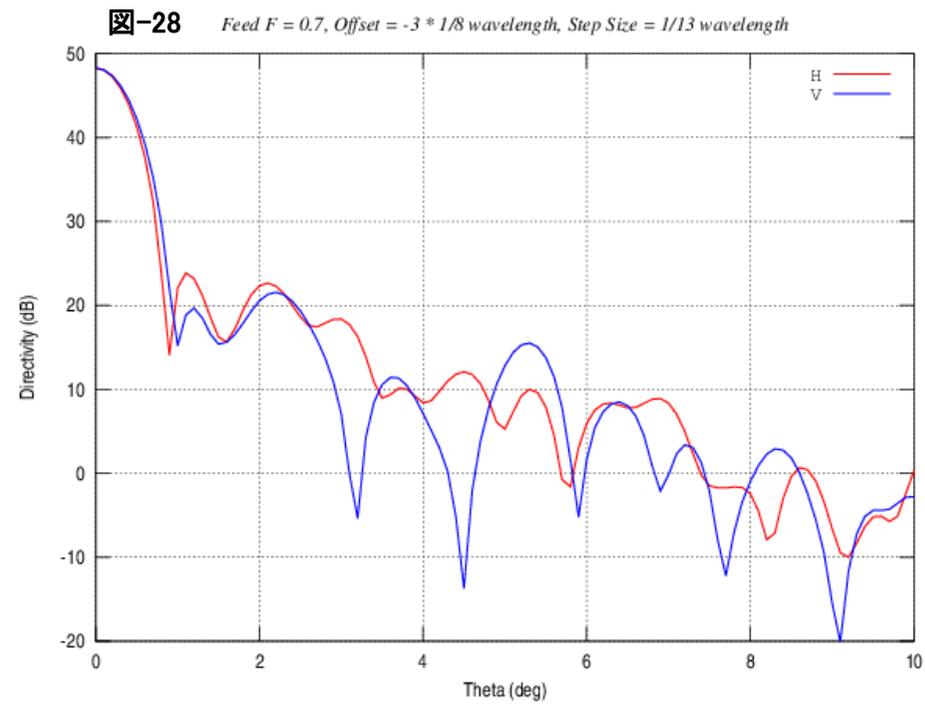
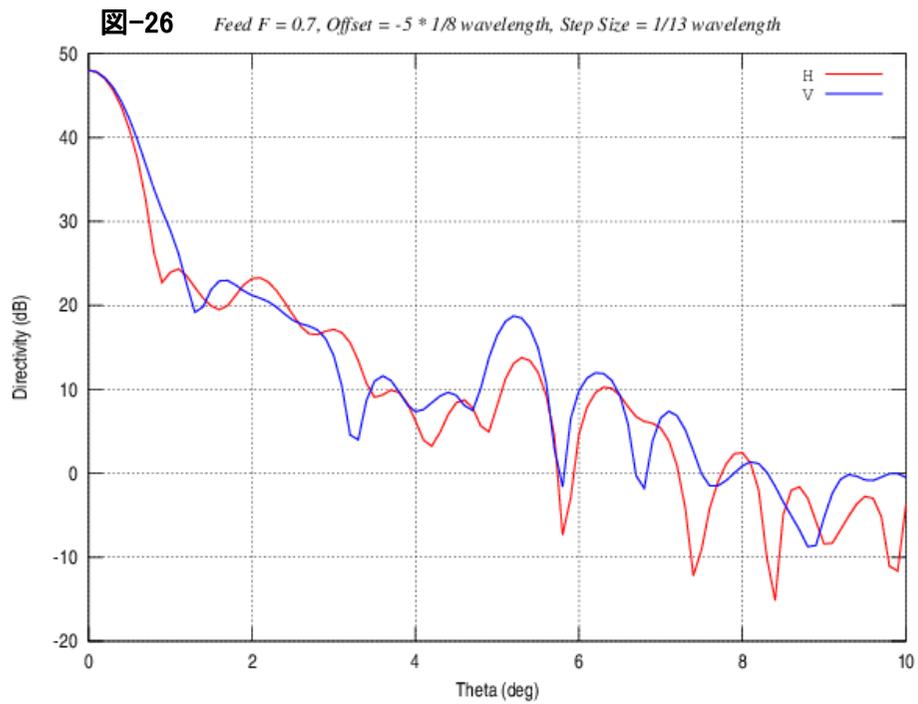


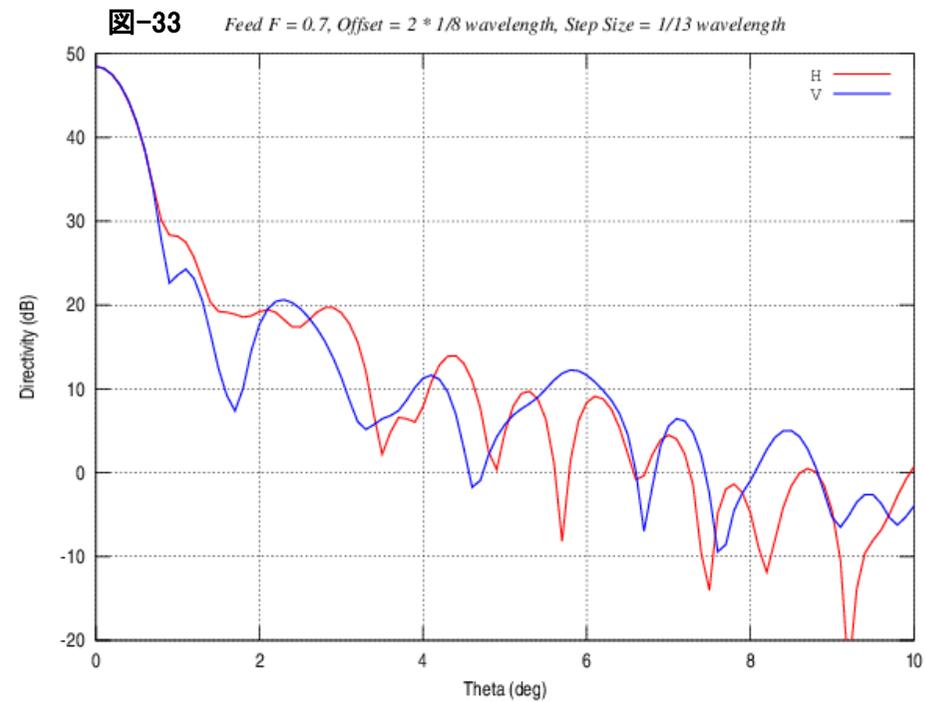
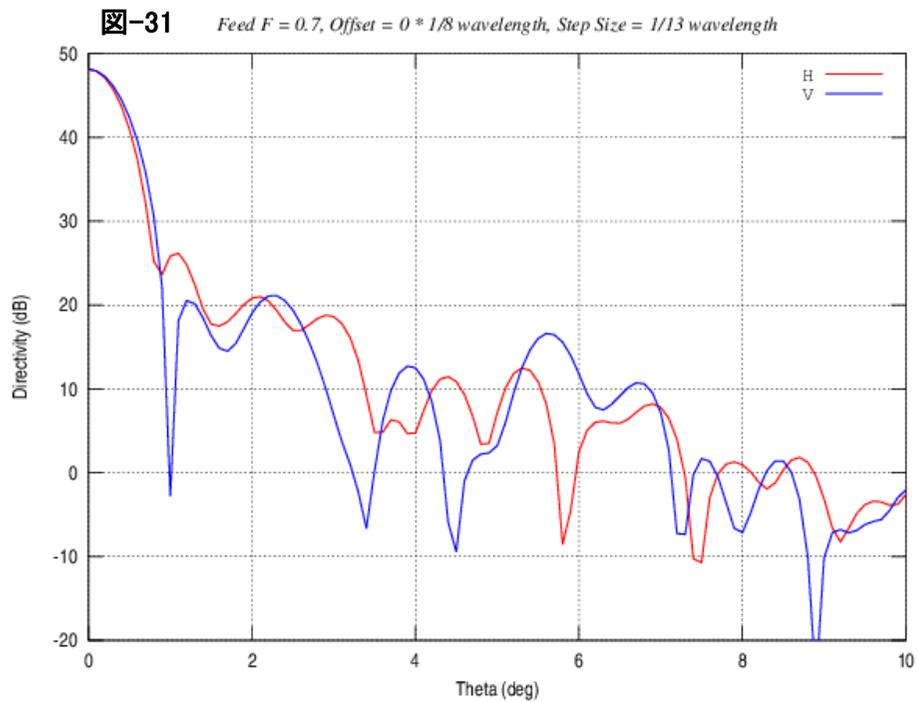
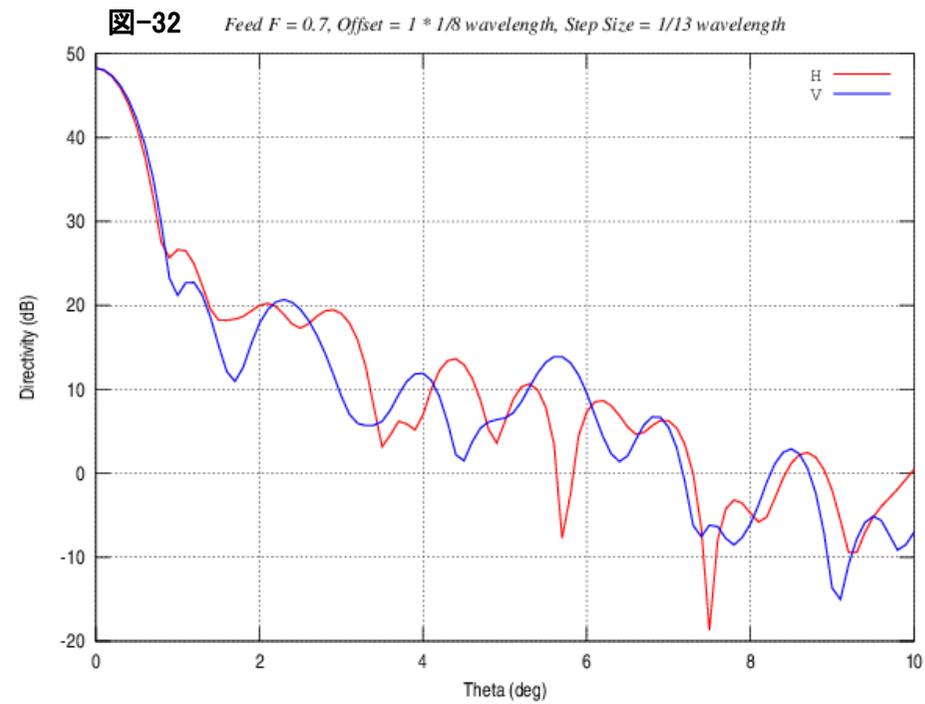
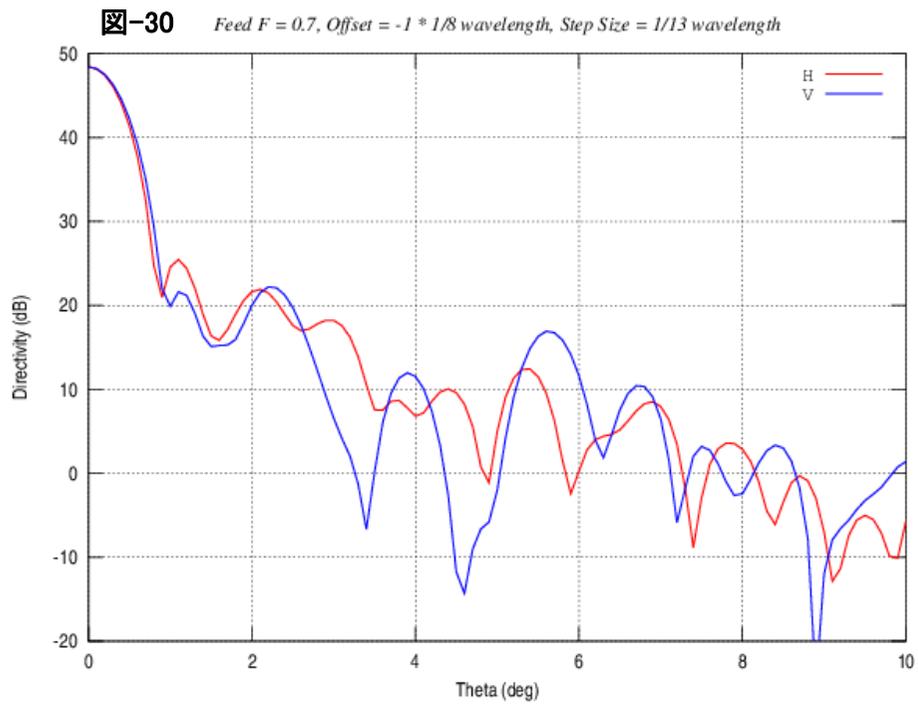
**☒-17** Feed  $F = 0.5$ , Offset =  $3 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength

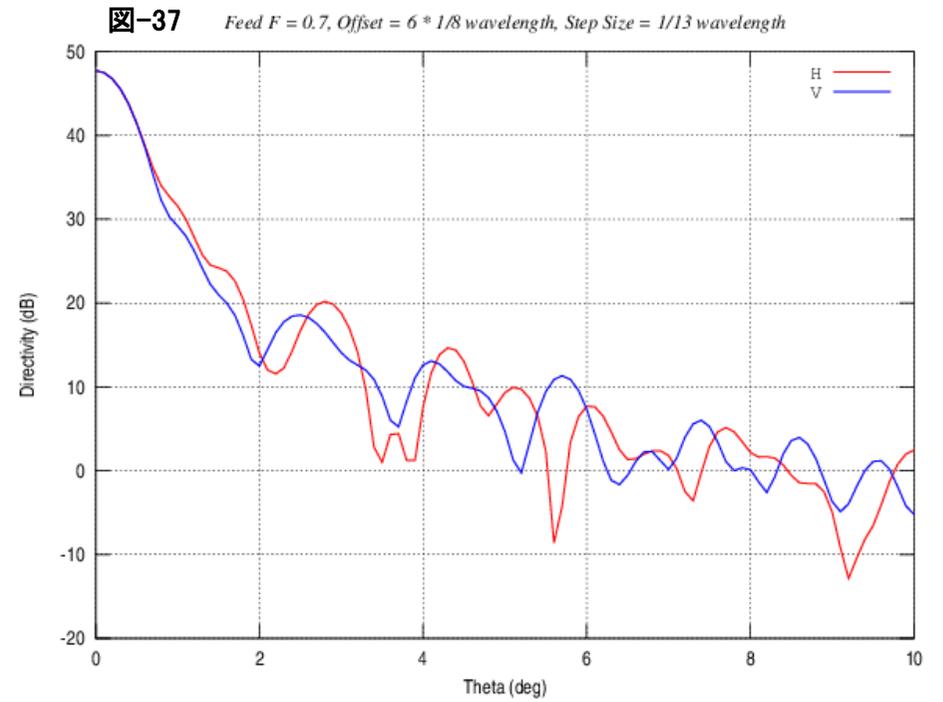
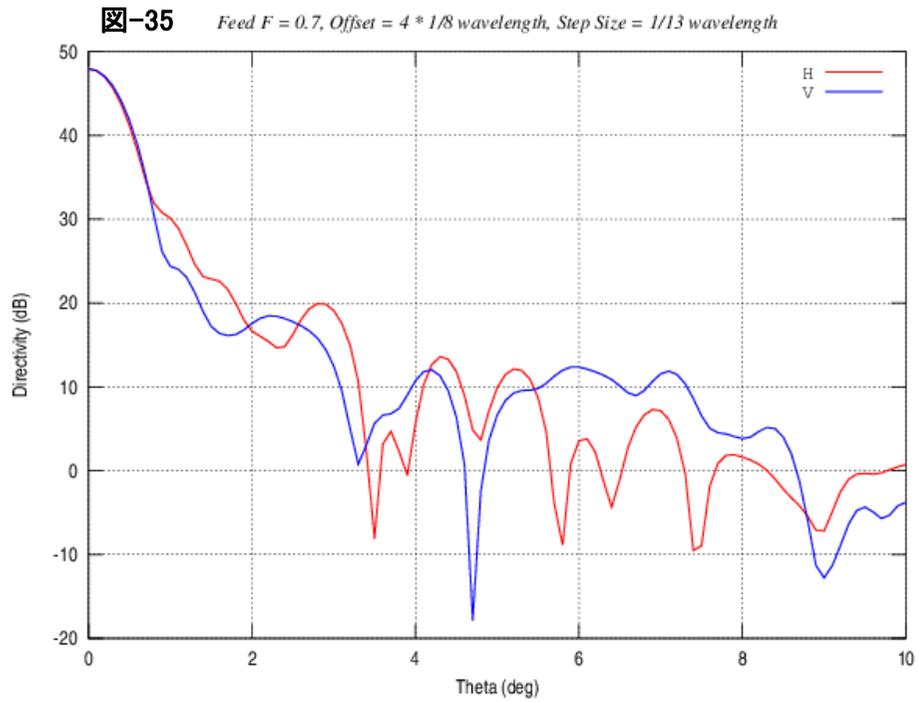
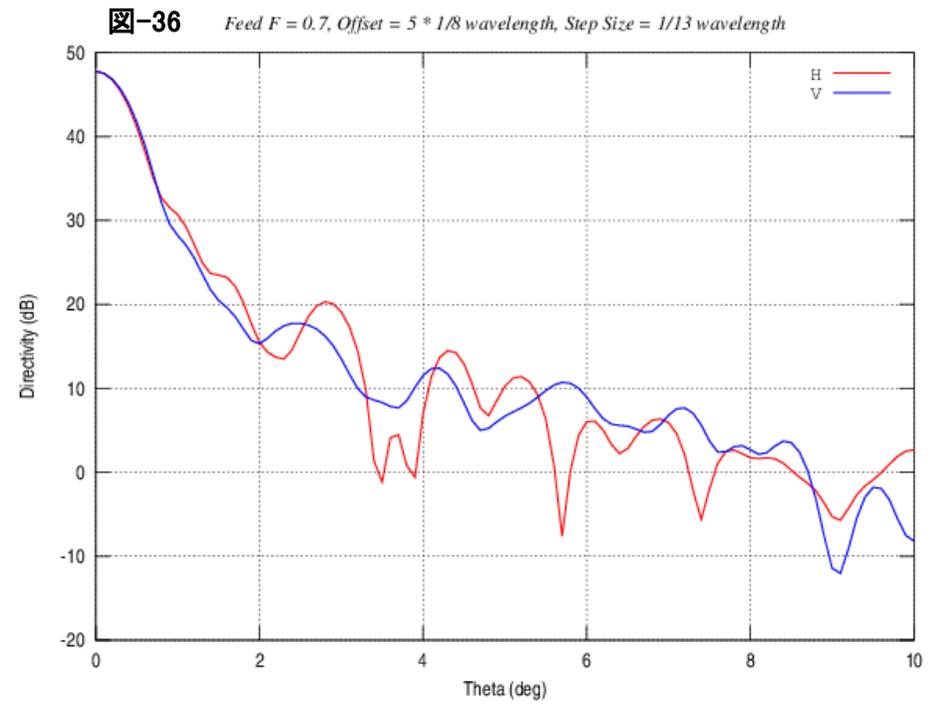
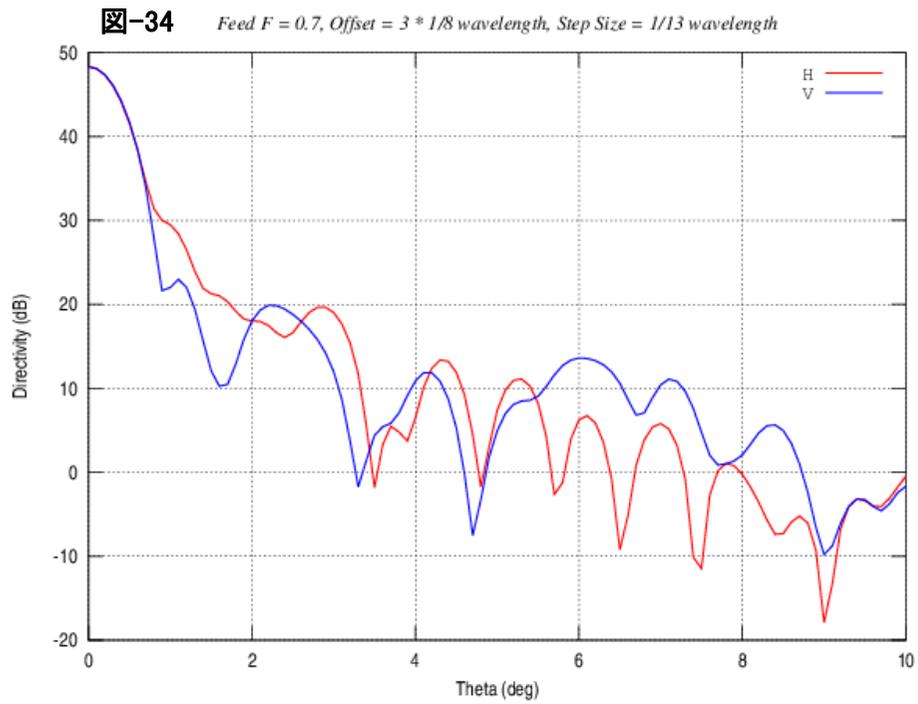




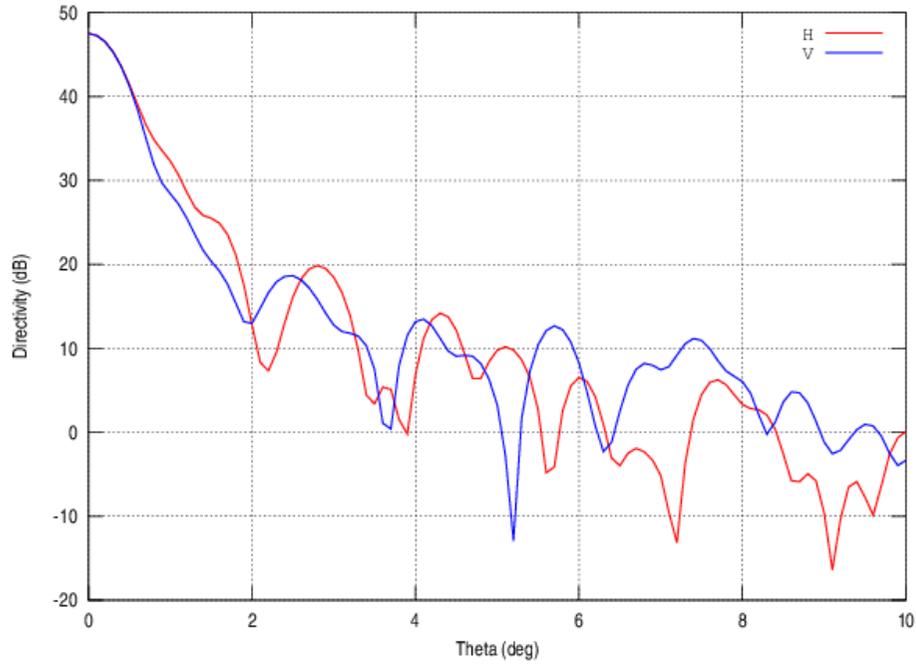








**Figure -38** Feed  $F = 0.7$ , Offset =  $7 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength



**Figure -39** Feed  $F = 0.7$ , Offset =  $8 * 1/8$  wavelength, Step Size =  $1/13$  wavelength

