

開口面効率のシミュレーション
武安義幸 / JA6XKQ

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評価するにあたり、開口面効率をシミュレーションした。開口面効率の計算では、フィード・アンテナの対称な輻射パターンを前提とした計算プログラムが一般的である。本稿では、フィード群の影響を受けた非対称な輻射パターンについて開口面効率を求める。

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。前者の開口面効率の低下は、パラボラ反射板の F 値に適合したフィード・アンテナの輻射パターンが他バンドのフィード群の影響で歪み、パラボラ反射板への照射に変化をきたす可能性を検証した。

「パラボラ反射板の F 値に適合したフィード・アンテナ」を評価するには、フィード・アンテナの輻射パターンを元に、パラボラ反射板内側への照射（イルミネーション = illumination）とパラボラ反射板外側への漏れ/こぼれ落ち（スピルオーバー = spillover）を求め、両者の積である開口面効率（Aperture Efficiency）を用いる。[2] この開口面効率を、フィード・アンテナ単体の場合とフィード群を伴う場合の二例で比較することにより、フィード群に起因するパラボラ・アンテナの性能劣化を定量化する。

開口面効率の計算は輻射パターンの全領域について二重積分を行うので、計算量が多い。[2] そもそも、全領域にわたる輻射パターンを準備することも、シミュレーションあるいは実測を問わず大変である。開口面効率の計算と同様に輻射パターンについて二重積分を行うものとして、アンテナの等価雑音温度の計算がある。[2] PC リソースが（計算量に対して）貧弱であった時代には、輻射パターンに対称性を仮定する/近似することで計算時間の短縮を図っていた。[3] [4] [5] しかし、昨今の PC リソースを以ってすれば、輻射パターンをそのまま二重積分の定義式に適用して計算することも、“我慢できる”時間に収まる。

このような経緯のもと、本稿では非対称な輻射パターンについて開口面効率を求める。

シミュレーション対象の輻射パターン

開口面効率のシミュレーション対象となるフィード・アンテナは、図-1 に示す 10 GHz 帯の 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナと、その周りに他のバンドのセブタム・ポーラライザ型ホーン・アンテナが配置された図-2 に示す例である。図-1 に示す単体での輻射パターンを図-3 および図-4 に、図-2 に示すフィード群での輻射パターンを図-5 および図-6 に示す。フィード群の影響により、輻射パターンが非対称形に歪んでいる。

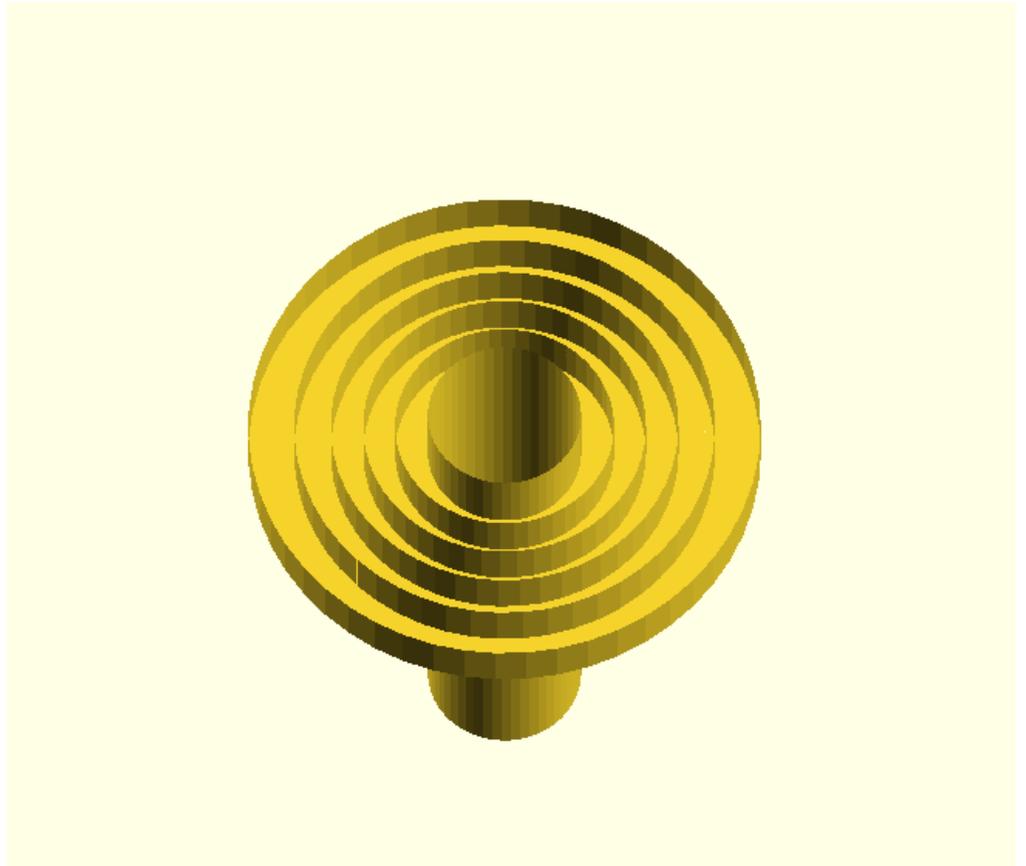


図-1 : 5 リング・チョーク型ホーン・アンテナ

開口面効率の定義

参考文献 [2] によると、開口面効率 η は照射についての ATL (Amplitude Taper Loss) とスピルオーバーについての SPL (Spilled-over Loss) の積で与えられる。

$$\eta = ATL \cdot SPL$$

$$ATL = \frac{\left[\int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi d\phi \right]^2}{\pi \tan^2(\psi_0/2) \int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi}$$

$$SPL = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi}$$

ここで、 $E(\psi, \phi)$ はフィード・アンテナの輻射パターンの電界、 ψ_0 はフィード・アンテナがパラボラ反射板の焦点から反射板エッジを見込む角度である。

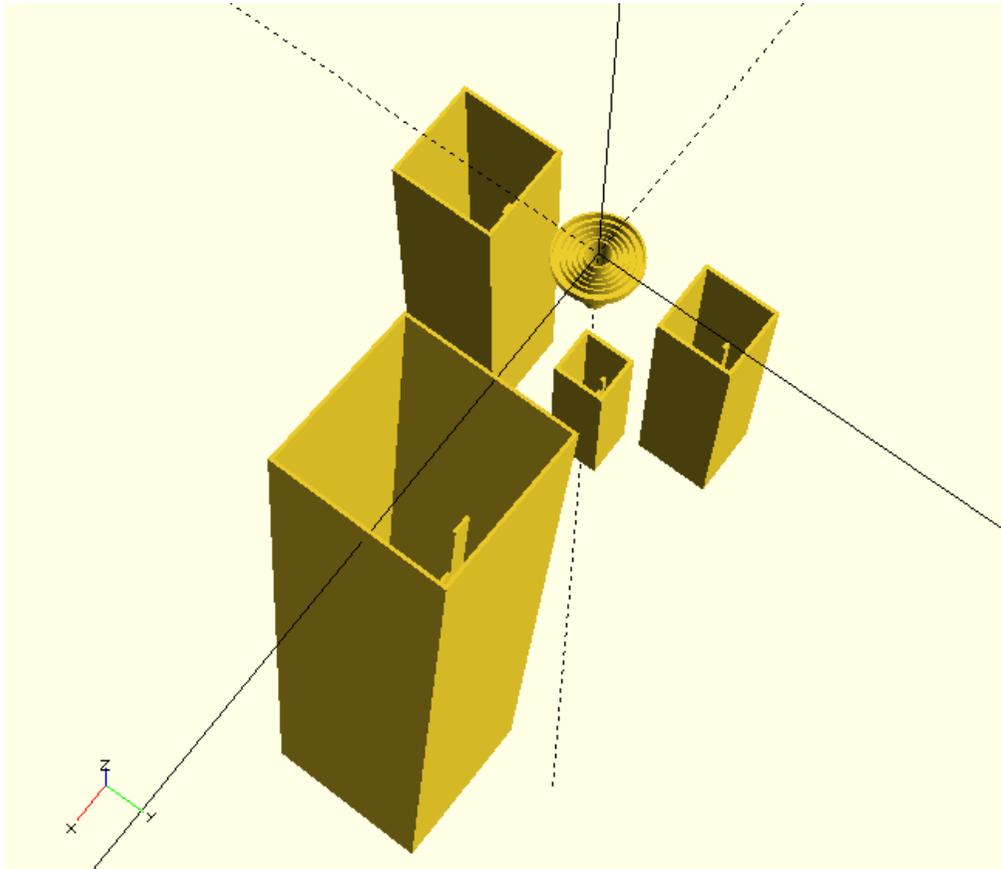
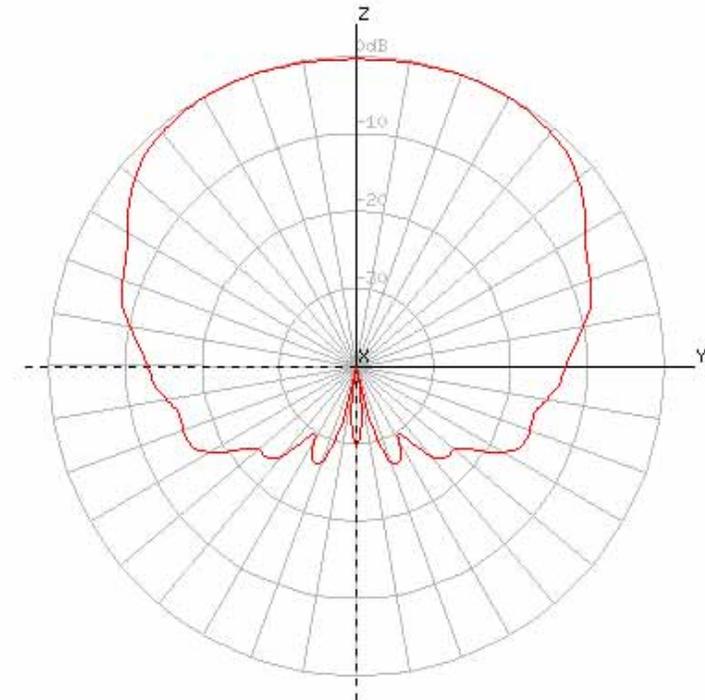


図-2 : 5リング・チョーク型ホーン・アンテナとフィード群

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



f = 10368 MHz maxgain = 6.07985 dBi wgain = -inf dBi

図-3 : 5リング・チョーク型ホーン・アンテナの輻射パターン H 偏波 / X 軸

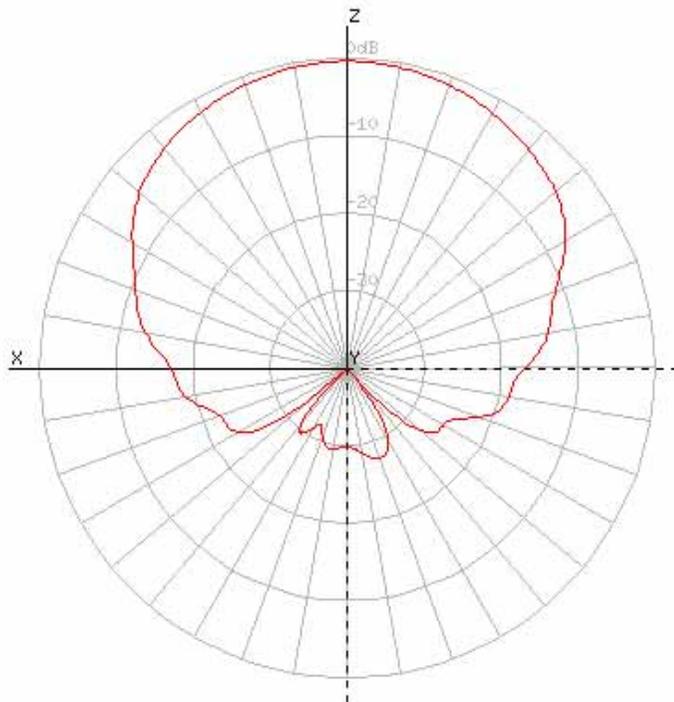
(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

開口面効率の計算プログラム

前述の定義式を計算プログラムで記述するには、“for”文の二重ループを使うことが常套手段であろう。しかし、GNU Octave や MATLAB 等の配列を基にしたプログラム言語では、配列での演算が簡潔なプログラムとなり、計算速度も“for”文よりも速くなる。このような事例として Petra Galuscakova によるソフトウェア ANTC Antenna Noise Temperature Calculator [6] [7] があり、ここでもプログラミングの参考とした。

プログラムを擬似的なコードで記述すると、ATL の分子は、

quit reload **export** none slice log vert. X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 5.69 dBi vgain = -38.7263 dBi

図-4 : 5リング・チョーク型ホーン・アンテナの輻射パターン V 偏波 / Y 軸

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

$$|E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi = \text{電界配列}[0 \sim 2\pi, 0 \sim \psi_0] \cdot \tan(\psi/2 \text{ 配列}) \cdot \psi \text{ 刻み幅}$$

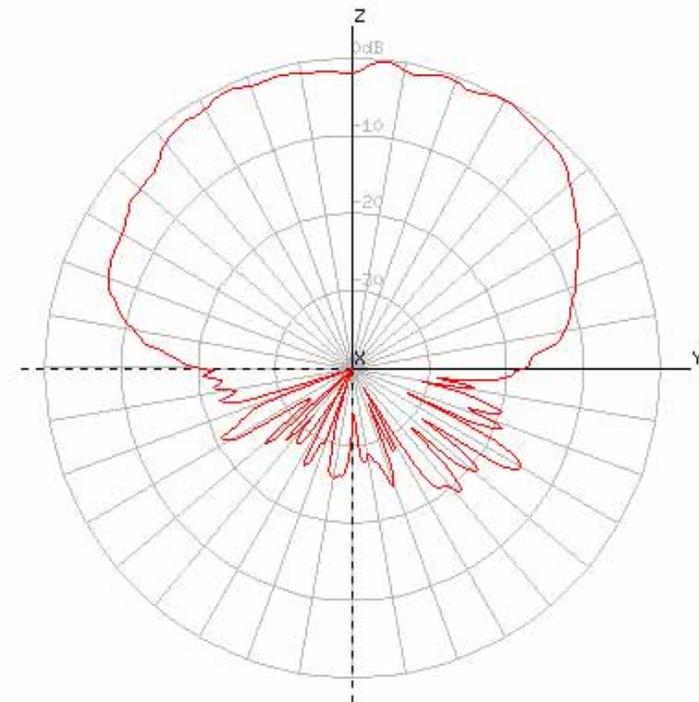
$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi = \text{sum}(|E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi)$$

$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi d\phi = \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi \cdot \phi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi d\phi = \text{sum}\left(\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)| \tan(\psi/2) d\psi d\phi\right)$$

を二乗した値となる。ここで、“.”は配列の要素毎の掛け算である。次に ATL の分母は、

quit reload **export** none slice log hor. X Y Z



f = 10368 MHz maxgain = 7.04383 dBi vgain = -21.8084 dBi

図-5 : フィード群有りでの輻射パターン H 偏波 / X 軸

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

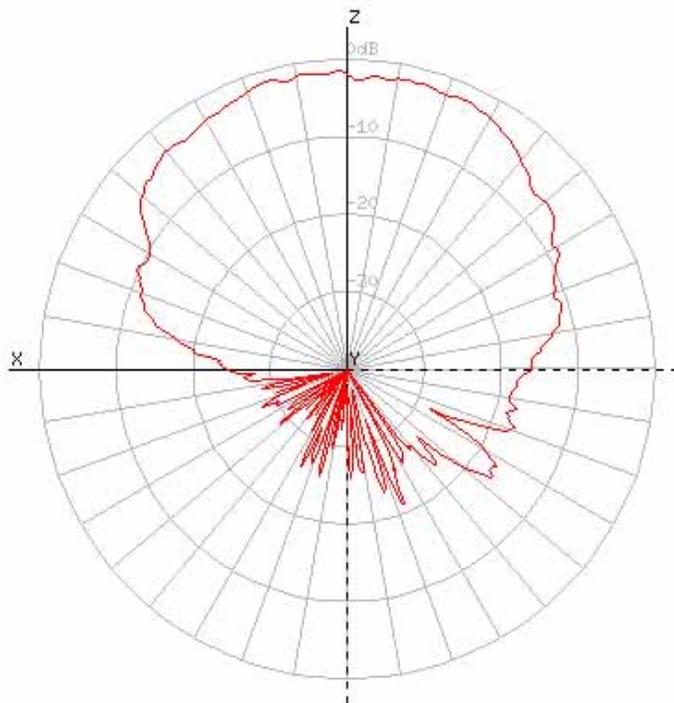
$$|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = |\text{電界配列}[0 \sim 2\pi, 0 \sim \psi_0]|^2 * \sin(\psi \text{ 配列}) * \psi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = \text{sum}(|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi)$$

$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi * \phi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \text{sum}(\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi)$$

に、



f = 10368 MHz maxgain = 5.77118 dBi vgain = -23.8235 dBi

図-6 : フィード群有りでの輻射パターン V 偏波 / Y 軸

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

$$\pi \tan^2(\psi_0 / 2)$$

を掛けた値となる。ATL は上記の分子を分母で割った値となる。

SPL の分子は、

$$|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = |\text{電界配列}[0 \sim 2\pi, 0 \sim \psi_0]|^2 * \sin(\psi \text{ 配列}) * \psi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = \text{sum}(|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi)$$

$$\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi * \phi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \text{sum}(\int_0^{\psi_0} |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi)$$

となる。次に SPL の分母は、上記の分子の計算において ψ_0 を $\pi/2$ に置換したもので、

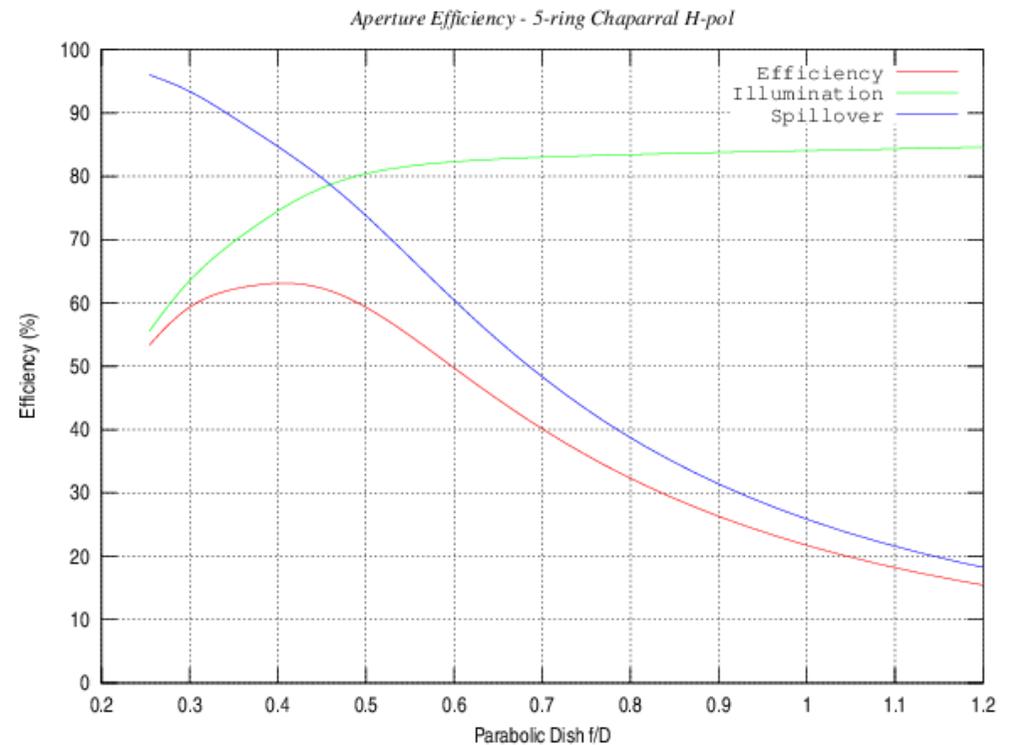


図-7 : チョーク・リング型ホーン・アンテナの開口面効率 H 偏波

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

$$|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = |\text{電界配列}[0 \sim 2\pi, 0 \sim \pi]^2 \cdot \sin(\psi \text{ 配列}) * \psi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^\pi |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi = \text{sum}(|E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi)$$

$$\int_0^\pi |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \int_0^\pi |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi * \phi \text{ 刻み幅}$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi = \text{sum}\left(\int_0^\pi |E(\psi, \phi)|^2 \sin \psi d\psi d\phi\right)$$

となる。SPL は上記の分子を分母で割った値となる。

上記のプログラムによる ATL、SPL および開口面効率を 図-7 から 図-10 に示す。

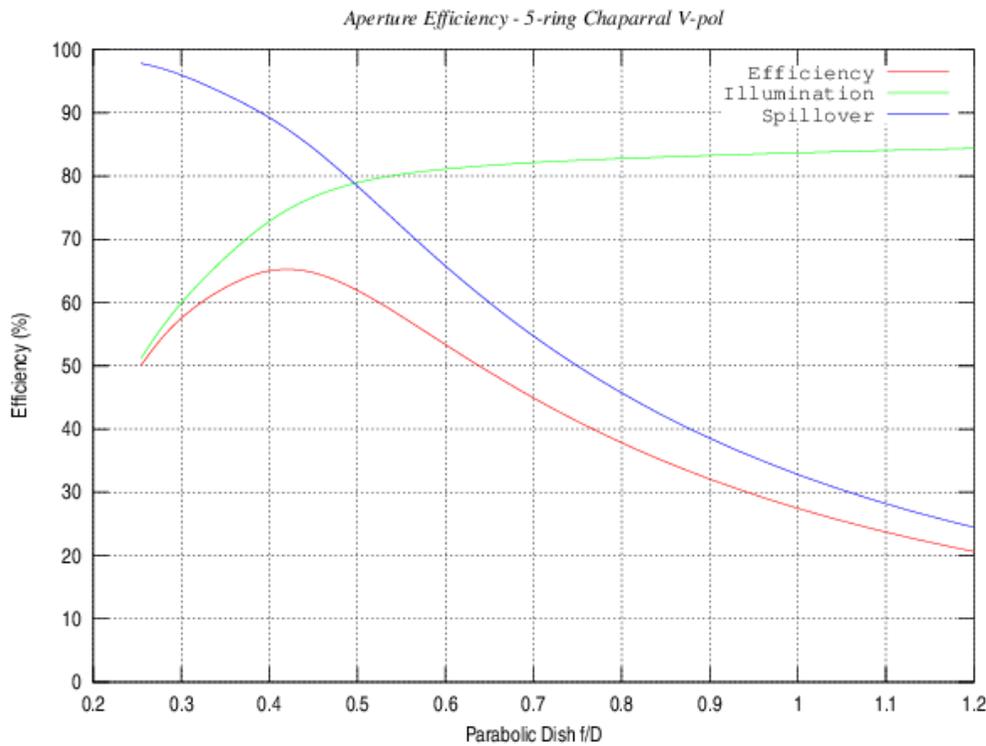


図-8 : チョーク・リング型ホーン・アンテナの開口面効率 V 偏波

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

まとめ

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評価するにあたり、開口面効率をシミュレーションした。開口面効率の計算では、フィード・アンテナの対称な輻射パターンを前提とした計算プログラムが一般的である。しかし、フィード群の影響を受けた非対称な輻射パターンの開口面効率の計算には、既存の計算プログラムが使えないため、本稿では、独自に計算プログラムを作成した。作成においては、プログラム言語である GNU Octave の特徴である配列演算を用いることでプログラムを簡潔に書き下すことができ、また、実用的な処理速度を得ることができた。

//

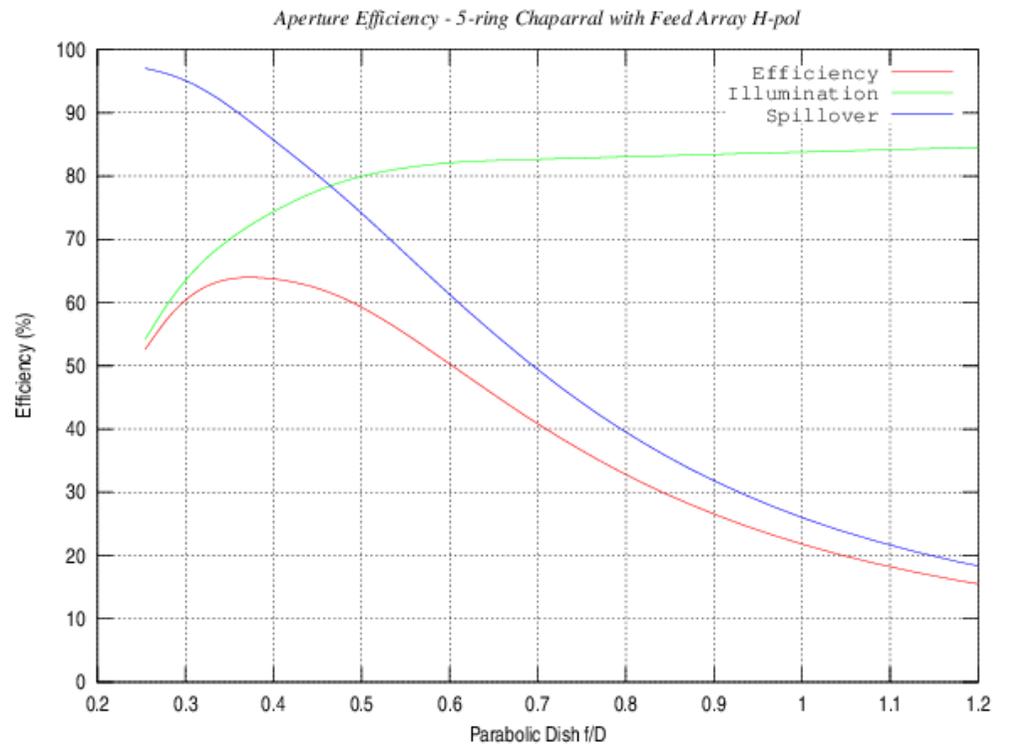


図-9 : ホーン群有りでの開口面効率 H 偏波

(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] T. A. Milligan, “Modern antenna design,” John Wiley & Sons, INC, 2005.

[3] 加藤雄大, JM1MCF, “ロング八木の解析と最適化研究,” HAM Journal, No.65, 1990.

[4] B. Larkin, W7PUA, “Dipole-Reflector Parabolic Dish Feeds for f/D of 0.2-0.4,” QEX, February 1996.

[5] Paul Wade, W1GHZ, “The W1GHZ Online Microwave Antenna Book Chapter 6, Feeds for Parabolic Dish Antennas, Section 6.1 Phase and Phase Center,” 1998-1999.

<http://www.w1ghz.org/antbook/chap6-1a.pdf>

[6] Antenna Noise Temperature Software Tools
Petra Galuscakova, et.al
DUBUS 3/2009

<http://www.om6aa.eu/antc.php>

[7] Antenna Noise Temperature Calculator
User Documentation
Petra Galuscakova

<http://www.om6aa.eu/antc.php>

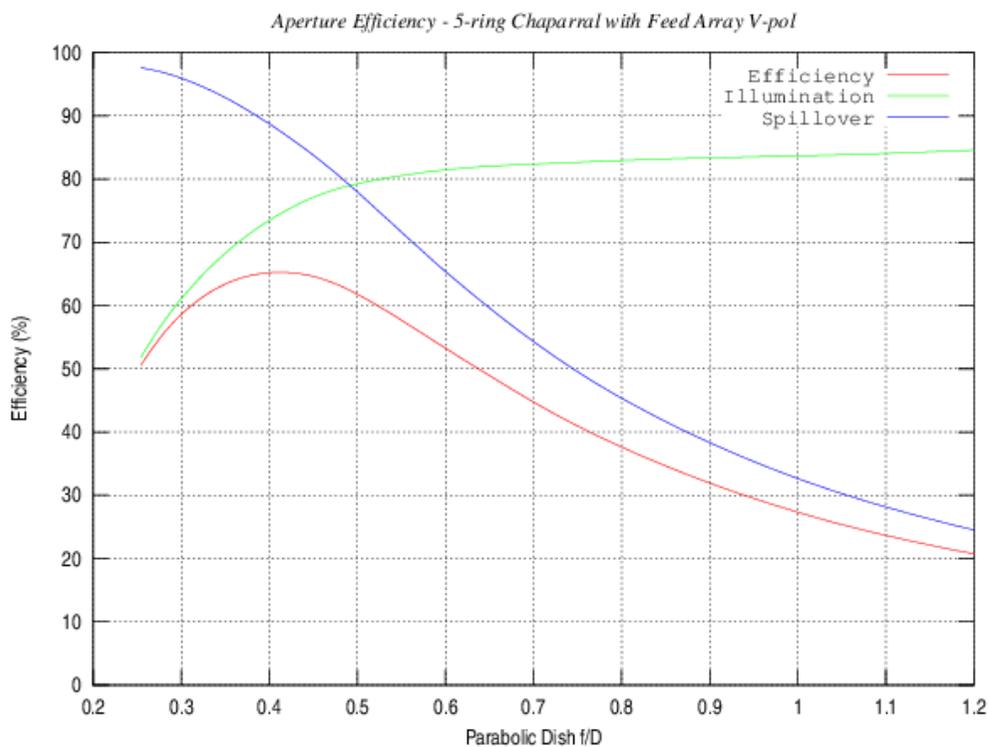


図-10 : ホーン群有りでの開口面効率 V 偏波