

## Noise Temperature and G/T of Yagi Antenna Array (Rev.2)

Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

### 八木アンテナ・アレイの等価雑音温度と G/T (Rev.2)

武安義幸 / JA6XKQ

八木アンテナ・アレイの等価雑音温度と G/T をシミュレーションで求め、最適なスタッキング間隔を検討する。

#### はじめに

VHF または UHF で衛星通信や月面反射通信 (EME) 等の宇宙通信で微弱信号を受信するには、八木アンテナをスタッキングでアレイ化することが常套手段だろう。八木アンテナのサイド・ローブやバック・ローブを押さえつつゲインを最大化する設計が連綿と研究されている。最適化設計された八木アンテナをアレイ化するにあたって、ユーザーが自由に設定できるパラメータはスタッキング間隔である。このスタッキング間隔を合理的に決定するには、アンテナ総合での等価雑音温度と G/T を計算することが必須である。

昨今の宇宙通信環境では、アンテナが天空の信号源を狙っていても、地上からの雑音(人工発生源からの電波放射)をアンテナのサイド・ローブとバック・ローブが拾い、微弱信号受信の支障となる。通信の S/N (信号対雑音比) を改善するには、劣化原因であるアンテナの指向特性を S/N の観点で評価し、改善することに尽きる。

本稿では既存のシミュレーション・ツールを使って等価雑音温度と G/T を計算し、運用環境と目的に応じたスタッキング間隔を決定することを目的とする。

#### 八木アンテナ・アレイのシミュレーション

スタッキングでアレイを構成する単体の八木アンテナとして、K1FO 設計の 25 エレメントを 13 エレメントに短縮(切断)したものを使う。シミュレータには NEC2++ [1] を使うので、既に NEC2 用に記述されたモデル・ファイルがあるのではないかとインターネットを検索すると、W8IO Antenna Site [2] に掲載されていたので、そのモデルを拝借する。

拝借したモデルを下記の点について変更する。

- 1 25 エレメントを 13 エレメントに短縮(切断)。
- 2 エレメント材質の導電率定義をせず、PEC (Perfect Electrical Conductor) とする。 - 導電率はエレメント毎に LD (Loading) コマンドで指定するので、アレイ化した時に 208 本分を指定するのが面倒。導電率指定有無でのゲイン計算値の差異は 0.01 dB と小さく、またラジエーション・パターンだけに着目する本件では無視できる。
- 3 Extended Thin Wire Kernel [3] を使用しない。 - セグメントの接合部や端部での電流のキャンセルが重要となるか所で、より正確な計算を行うことが目的である

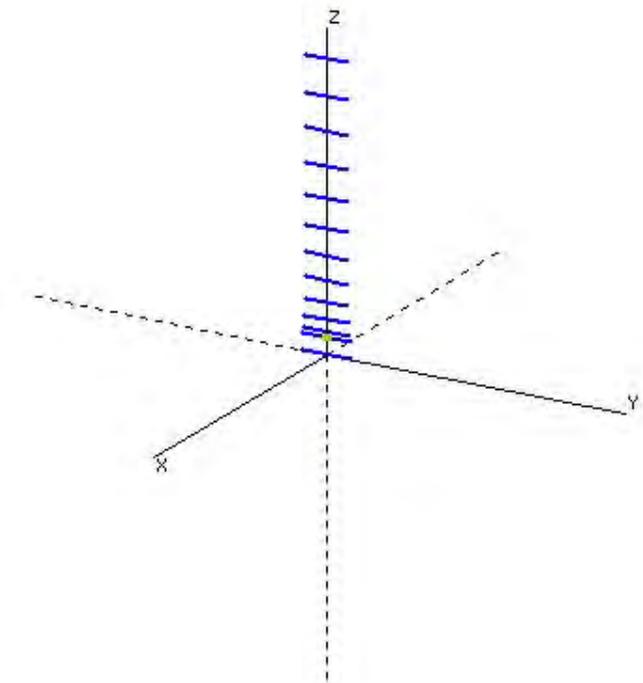
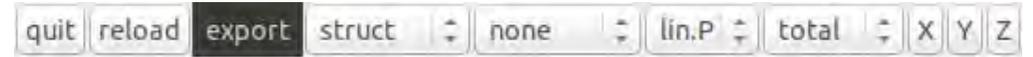


図-1 : 単体八木アンテナのシミュレーション・モデル

Extended Thin-wire Kernel は、直径が波長と比較して非常に小さい直線状のエレメントで構成される八木アンテナでは適用する必要はない。

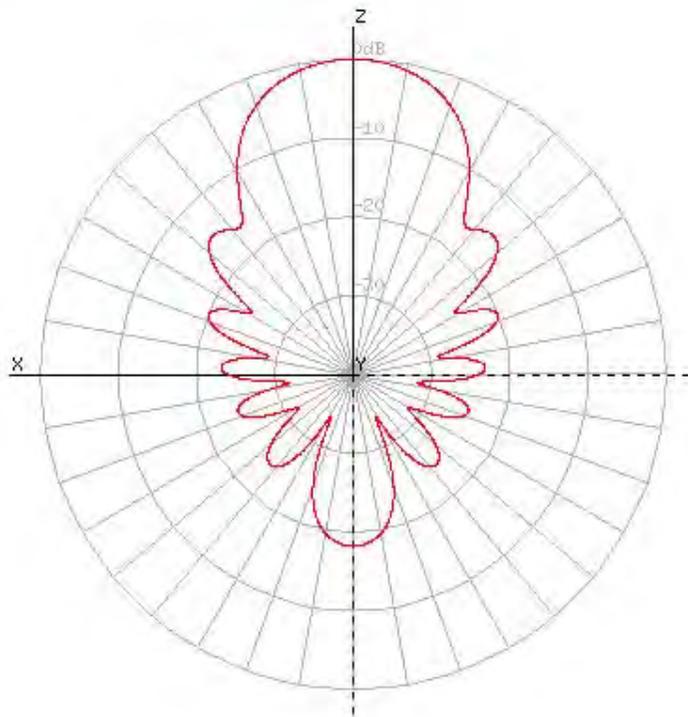
- 4 計算する周波数は 432 MHz の一点のみ。
- 5 Theta / Phi 角度は 1 度刻み。

13 エレメントの単体八木アンテナのシミュレーション・モデルを 図-1 に、計算結果のラジエーション・パターンを 図-2 および 図-3 に示す。

次に、単体八木アンテナを 4×4 列のアレイとする。モデルの生成は、上述の単体モデル

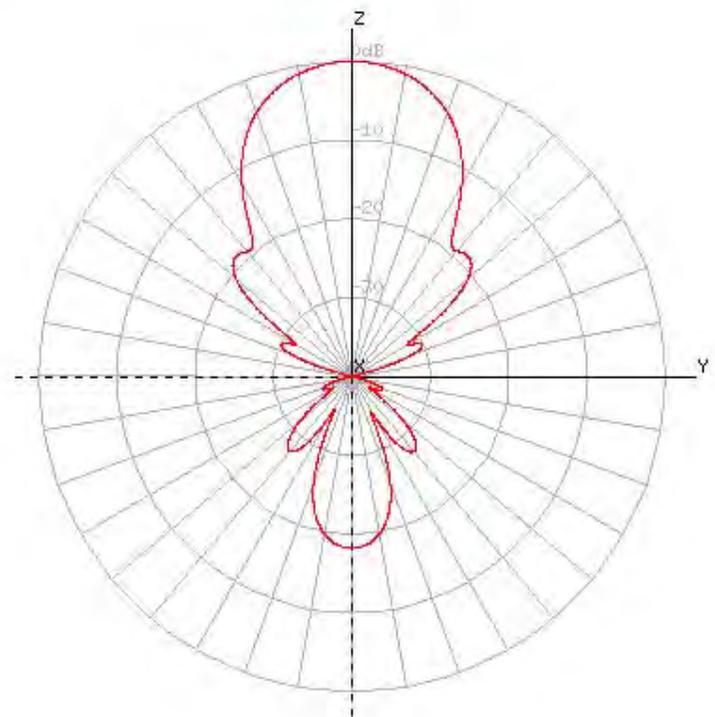
を NEC2++ の GM (Coordinate Translation) コマンドをカスケードに使い、2×1 列、2×2 列、4×2 列、4×4 列と、コピー&ペーストの要領でアレイ化する。GM コマンドを用いることで、エレメントの長さとポジションのモデル記述を単体分だけで済ませることができる。

4x4 列アレイのシミュレーション・モデルを 図-4 に、計算結果のラジエーション・パターンを 図-5 および 図-6 に示す。なお、図はいずれも、スタッキング水平間隔 = 1.2 m、垂直間隔 = 1.2 m の例である。



f = 432 MHz maxgain = 14.88 dBi vgain = -inf dBi

図-2 : 単体八木アンテナのラジエーション・パターン (水平偏波の EL 方向)



f = 432 MHz maxgain = 14.88 dBi vgain = -156.248 dBi

図-3 : 単体八木アンテナのラジエーション・パターン (水平偏波の AZ 方向)

## 等価雑音温度と G/T の計算

等価雑音温度の計算には、ANTC - Antenna Noise Temperature Calculator [4] を使用する。これまでも ANTC をパラボラ・アンテナの等価雑音温度の評価・検討に使用してきた [5] [6]。ANTC での計算に必要なデータはアンテナのラジエーション・パターンと環境雑音温度分布である。前者のデータは前述の NEC2++ によるラジエーション・パターンを使い、後者のデータは ANTC が内蔵している ITU ドキュメントの CCIR Report 720-2 [7] の雑音分布を使用する。ラジエーション・パターンについては、NEC2++ が出力する NEC2 フォーマットを ANTC が受け付ける CST Microwave Studio , または FEKO の

quit reload **export** struct none lin.P total X Y Z

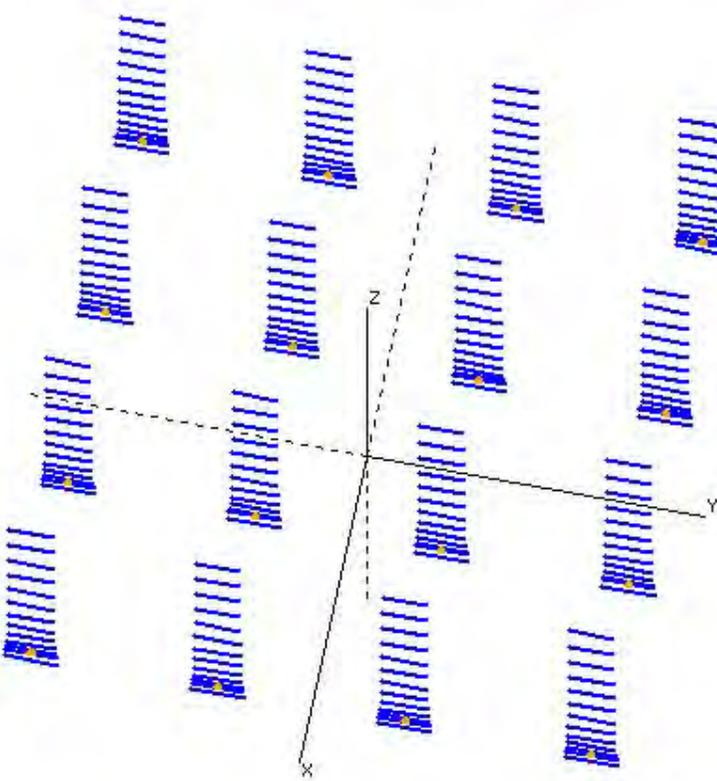


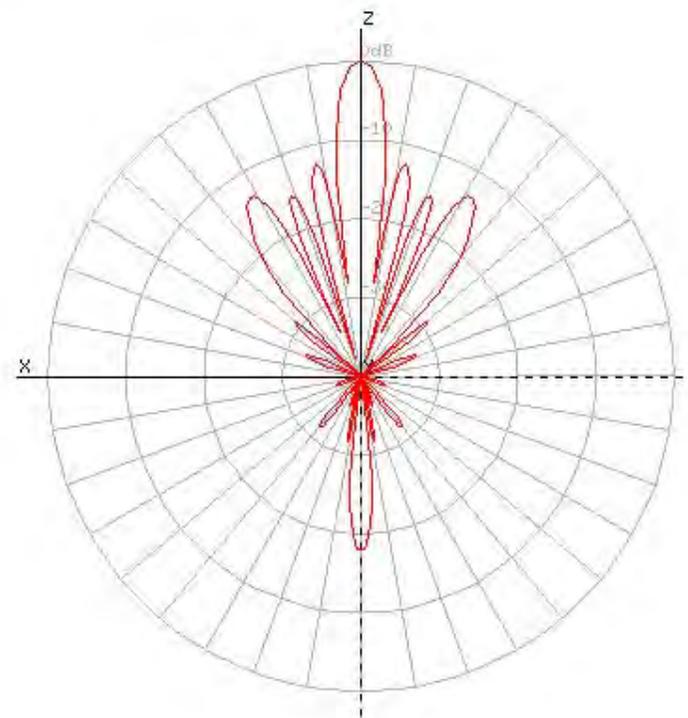
図-4 : 4x4 列アレイのシミュレーション・モデル

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

フォーマットへ変換しておく。

入力されたデータを使って ANTC がアンテナの仰角に対する等価雑音温度と G/T を計算し、結果をグラフで表示する。しかし、ここではスタッキング間隔に対する等価雑音温度と G/T の変化を比較したいので、計算結果の数値をファイルとして保存しておく。その数値から作成したグラフを図-7 および 図-8 に示す。図-7 は仰角に対する水平偏波での変化を、図-8 は垂直偏波での変化を示している。

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



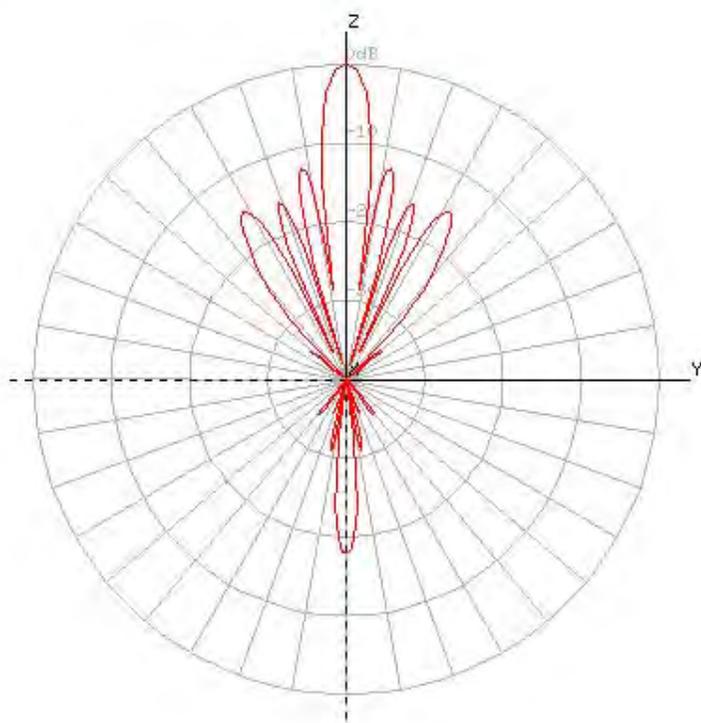
f = 432 MHz maxgain = 26.95 dBi vgain = -inf dBi

図-5: 4x4 列アレイのラジエーション・パターン (D = 1.2m / 水平偏波の EL 方向)

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## 考察

スタッキング間隔に対する等価雑音温度と G/T の変化をプロットした 図-7 および 図-8 では、仰角が 5 度から 40 度の領域で等価雑音温度に顕著な違いがある。この仰角の領域は、図-5 のラジエーション・パターンでの第 1 から第 3 のサイドローブが地上の雑音(大地の熱雑音)を拾う領域である。サイドローブの比較のために、等価雑音温度が一番低いスタッキング間隔 = 1.0m のラジエーション・パターンを 図-9 および 図-10 に示す。



f = 432 MHz maxgain = 26.95 dBi vgain = -171.218 dBi

図-6: 4x4 列アレイのラジエーション・パターン (D = 1.2m / 水平偏波の AZ 方向)

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

等価雑音温度は“自然発生源からの電波放射(radio emission from natural sources)” [7] を基に計算しているが、昨今の無線通信環境で問題となる“人工発生源からの電波放射”，例えば携帯基地局等の影響を評価する際に、この等価雑音温度が重要な指標となる。一方では、アンテナのゲインは無線通信での主要パラメータであり、そもそも、八木アンテナをアレイ化する主要目的はゲインの増強である。アレイ化での等価雑音温度とゲインを総合的に評価する指標が G/T である。図-7 と 図-8 からいずれのスタッキング間隔が最適かを、等価雑音温度と G/T から一義的に判断するのは難しい。地上からの人工雑音が厳しい環境では、仰角 5 度から 40 度の領域で等価雑音温度が低く、G/T も他二例と同等な 1.1 m のスタッキング間隔が適していると考えられる。オールラウンドに優れているものを選ぶとすれば、総合的な性能指標である G/T を使い、更に仰角に対する G/T の平均値から選定することが合理的と考えられる。仰角に対する G/T の平均値は

4x4 FO-13 Yagi array (H-Pol)

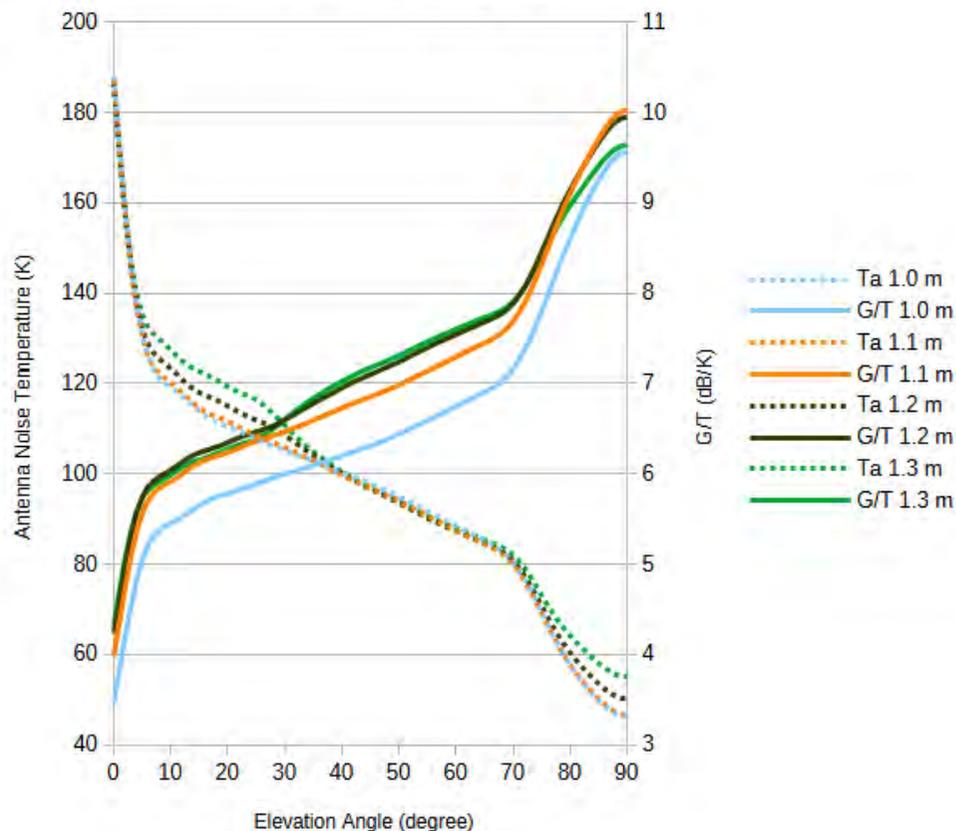


図-7 : スタッキング間隔に対する等価雑音温度と G/T の変化 (水平偏波)

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

下表のとおり.

G/T (dB/K)	スタッキング間隔 (m)			
偏波	1.0	1.1	1.2	1.3
水平	6.58	7.09	7.25	7.22
垂直	6.57	7.07	7.23	7.20

この表から、スタッキング間隔 = 1.2 m がオールラウンドに最適と考えられる.

以上の考察を得た時点で、スタッキング方法を更に最適化できるのではないか、との疑問を生じた。前述のスタッキングでは全ての間隔を等しく設定したが、4列4段の列間隔と段間隔を不等間隔としたケースを、前述と同じ手法で G/T の平均値を計算してみた。4列4段の中央部分の間隔を Inner Distance, 外側の間隔を Outer Distance と定義する。Inner Distance = 1.3 m, Outer Distance = 1.0 m のシミュレーション・モデルを 図-11 に示す。各ケース(水平偏波)での G/T の平均値は下表のとおり.

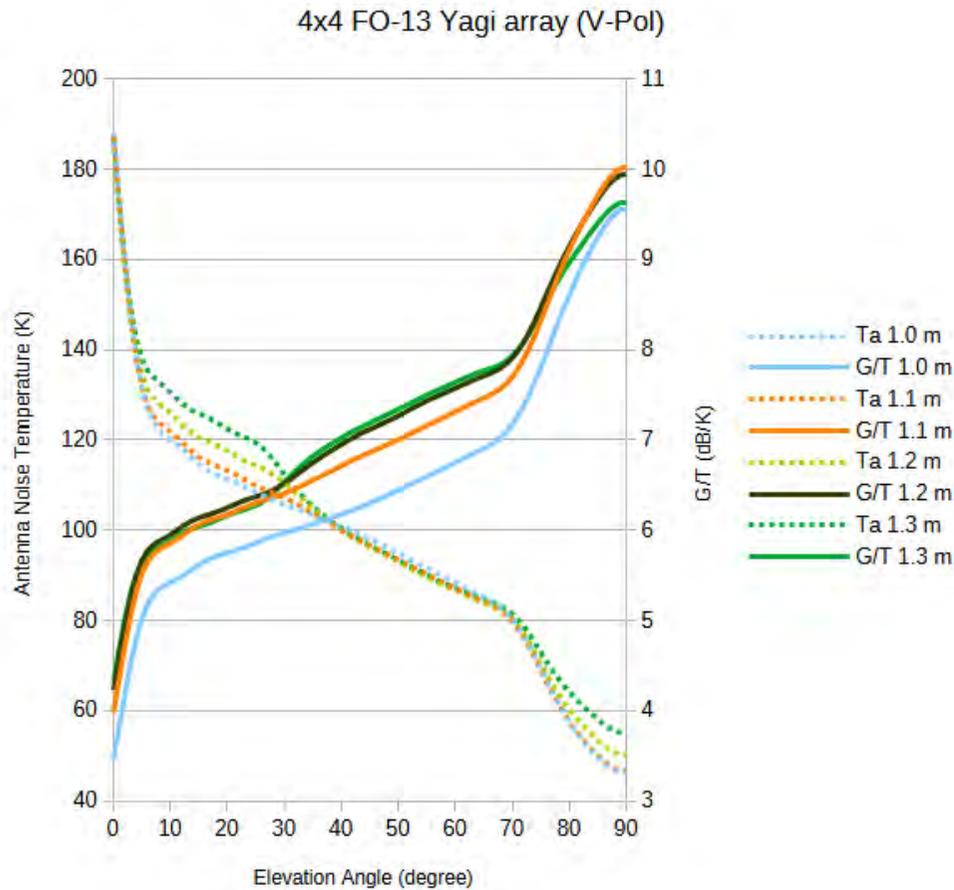
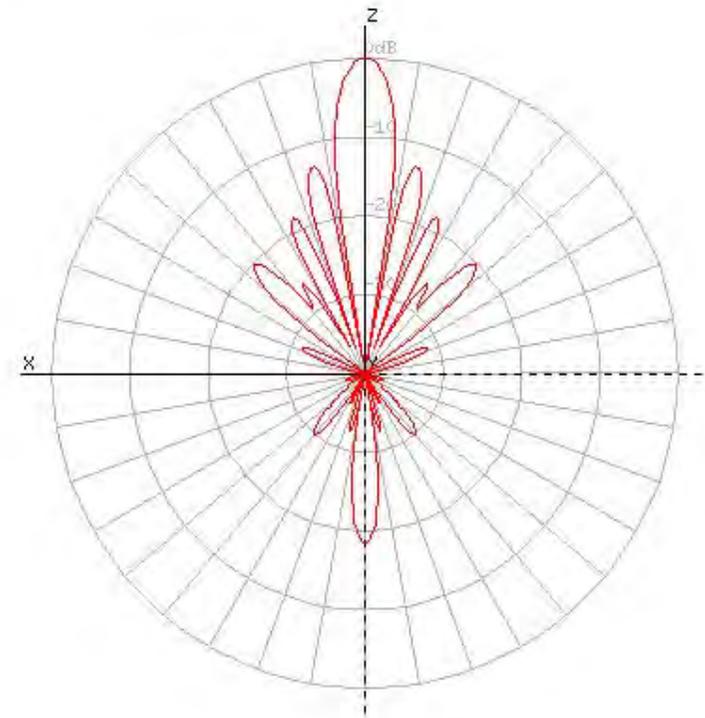


図-8 : スタッキング間隔に対する等価雑音温度と G/T の変化 (垂直偏波)



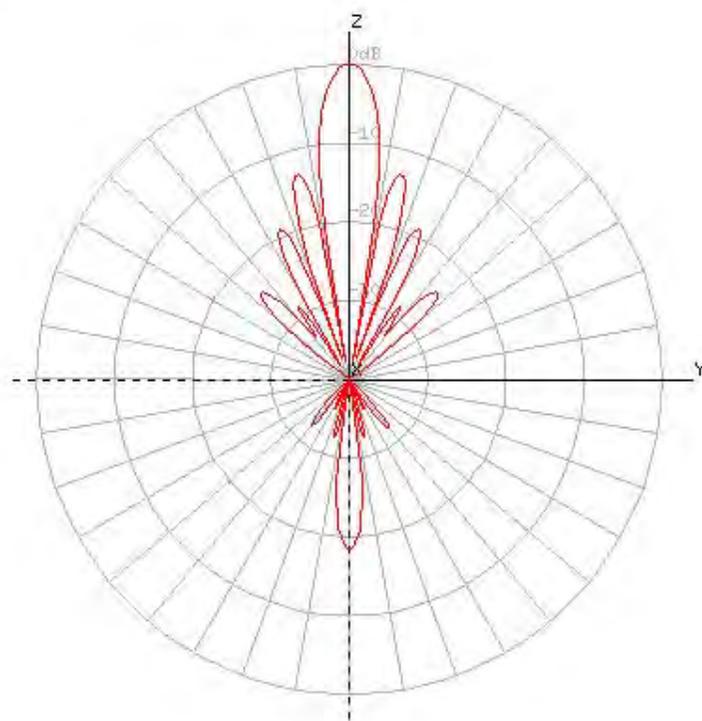
f = 432 MHz maxgain = 26.21 dBi vgain = -inf dBi

図-9: 4x4 列アレイのラジエーション・パターン (D = 1.0m / 水平偏波の EL 方向)

G/T (dB/K)		Inner Distance (m)			
		1.0	1.1	1.2	1.3
Outer Distance (m)	1.0	6.58	6.89	6.88	6.75
	1.1	6.64	7.09	7.15	7.05
	1.2	6.43	7.05	<u>7.25</u>	7.20
	1.3	6.09	6.82	7.20	7.22

16通りの組合せにおいて、1.2m x 1.2m の等間隔のケースが最高の G/T = 7.25 (dB/K) となる結果が得られた。

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



f = 432 MHz maxgain = 26.21 dBi vgain = -162.458 dBi

図-10: 4x4 列アレイのラジエーション・パターン (D = 1.0m / 水平偏波のAZ方向)

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

quit reload **export** struct none lin.P total X Y Z

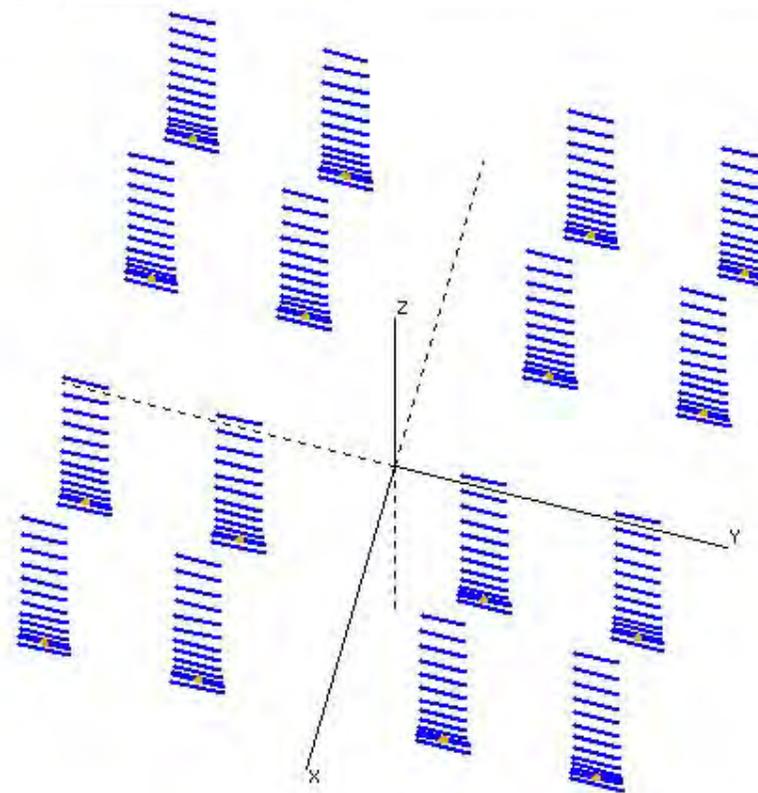


図-11 : 不等間隔のシミュレーション・モデル

(C) 2026, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## まとめ

既存のシミュレーション・ツールである NEC2++ と ANTC を用いて八木アンテナ・アレイの等価雑音温度と G/T を計算した。宇宙通信において“人工発生源からの電波放射”が問題となる環境での最適なスタッキング間隔を等価雑音温度と G/T を用いて検討し、決定した。



Rev.1 : 2026年2月8日 初版

Rev.2 : 2026年2月10日 訂正版 - 図-6, 図-10 の誤記訂正

(誤) 図-6 : 垂直偏波の AZ 方向

(誤) 図-10 : 水平偏波の EL 方向

(正) 水平偏波の AZ 方向

## 参考文献

[1] Timothy C.A. Molteno, “NEC2++: An NEC-2 compatible Numerical Electromagnetics Code,” Electronics Technical Reports No. 2014-3, ISSN 1172-496X, October 2014.

<https://github.com/tmolteno/necpp>

[2] The W8IO Antenna Site, “VHF-UHF Long Boom, Very High Performance Antenna Designs.”

<https://www.w8io.com/VHF-antennas.htm>

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

[https://www.nec2.org/part\\_3/secii.html](https://www.nec2.org/part_3/secii.html)

[4] Petra Galuscakova, OM6AA, Antenna Noise Temperature Calculator.

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

[5] 武安義幸, JA6XKQ, “アンテナ雑音温度 - 評価ツール,” 2011.

[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/AntNoiseTemp\\_2.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/AntNoiseTemp_2.pdf)

[6] 武安義幸, JA6XKQ, “ホーン・アンテナの等価雑音温度,” 2011.

[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/NoiseTemp\\_HornAnt\\_2.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/NoiseTemp_HornAnt_2.pdf)

[7] Recommendations and Reports of the CCIR, “Radio emission from natural sources in the frequency range above about 50 MHz ,” XVIth Plenary Assembly, Report 720-2, 1986.

<https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.282.43.en.1006.pdf>