Simulation of 1420 MHz Loop Feed converted from the OM6AA's 1296 MHz version Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

1420 MHz ループ·フィードのシミュレーション OM6AA 1296 MHz バージョンからの寸法変換 武安義幸 / JA6XKQ

1420 MHz 帯ジオデシック・パラボラ・アンテナに整合したフィード・アンテナとしてループ・ フィードを試すにあたり, OM6AA の 1296 MHz バージョンからの寸法変換をシミュレー ションで検討した. 寸法変換での要所について知見が得られた.

はじめに

2003年にジオデシック・パラボラ・アンテナ [1] を発表して以来, いくつかの製作事例のレ ポートを頂いてきた [2] . 製作事例はアマチュア無線とアマチュア電波天文の二分野に 分類される. アマチュア無線では, アンテナ製作は QSO の手段であると共に、製作自体 を楽しむという目的でもある. 一方, アマチュア電波天文ではアンテナ製作は目的である 観測の手段であり,製作は簡単に済ませたい事柄であろう. この観点から,製作が簡単な ジオデシック・パラボラ・アンテナがアマチュア電波天文で受け入れられていると理解する. しかし, "パラボラ反射板"は比較的簡単に製作することができても, それに適したフィー ド・アンテナの選定と製作は, アマチュア電波天文では幾らか障壁であるように見受けられ る.

今般,アマチュア電波天文のためにジオデシックk・パラボラ・アンテナを製作したいが,材料選定は如何に?との質問をオーストリア在住の方から頂いた. 一連のやり取りの中でフィード・アンテナの選定と製作が話題になり,OM6AA のループ・フィード [3] を試してみよう,との流れになった. そこで,製作着手前に FDTD 法による openEMS [4] を用いて,シミュレーションにより寸法変換を検討することにした.

本稿では, 寸法変換の要所についてまとめる. 寸法変換は単純な周波数比での縮小を 基本とする. 寸法パラメータの変化に対する特性変化をシミュレーションで明らかにする ことで. 製作時に入手可能な部品材料に依存する寸法パラメータへの対応を検討する,

ループ・フィードの外観 (シミュレーション・モデル)を 図-1 に示す.







図-2 : 寸法の定義(断面図)

OM6AA s 1296 MHz Loop Feed

OM6AA が f/D=0.4 の "パラボラ反射板 " に適合するループ・フィードについて文献 [3] にてシミュレーションと実測で論じている. 本稿では,1296 MHz の実例を基にして 1420 MHz への変換をシミュレーションで検討する. 本稿のシミュレーションの妥当性を担保す るために,まず, OM6AA の 1296 MHz ループ・フィードをトレースする. なお,このルー プ・フィードの寸法は,後述の 表-2 の 1296 MHz の欄に示される値である.

s11 特性を 図-3 に, ラジエーション・パターンを 図-4 に示す. 表-1 は, ラジエーション 特性において"パラボラ反射板"との適合性の指標となる"-10 dB 照射角度"を文献 [3] と比較している.

図-3の s11 特性が 1296 MHz 帯で良好なマッチングを示していること,および, 表-1 の 照射角度の比較においてオリジナルと良い一致を示してことから,本稿でのシミュレーショ ンは妥当であると判断される. ラジエーション・パターンに見られるリップルが,文献 [3] にある実測値に近いことが興味深い.



図-3 : s11 特性



図-4 : ラジエーション・パターン

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKO

Model	OM6AA 1296 MHz	Simulation
E-plane angle (deg.) @ -10 dB	133.2	134
H-plane angle (deg.) @ -10 dB	143	149

表-1 : -10 dB 照射角度の比較

周波数比での変換

一般的にアンテナは周波数比で寸法を変換可能(いわゆる Scaling Law)なので,
1296 MHz で設計されているループ・フィードの寸法を1420 MHz へ変換し,その特性をシミュレーションで確認する. 表-2 にループ・フィードの寸法を示す. 変換比率 1296 /
1420 = 0.9127 倍でオリジナル寸法を縮小する(ただし,同軸構造は除く). 寸法の定義を図-2 に示す.

寸法を周波数比で変換したループ・フィードの特性は、**図-5** に示すように s11 の共振周 波数が 1421 MHz, **図-6** に示すように -10 dB 照射角度が E / H = 134 / 149 deg. とな り, オリジナルの 1296 MHz バージョンに対して Scaling Law が成立していることが確認で きる.

部品入手と材料加工について **表-2** に掲げる寸法を忠実に再現できる場合は,検討はここで終了である. しかし,現実的には入手可能な既存のワイヤやチョーク・リングへ転用可能な材料(例えば,ケーキの焼き型 Cake Pan)を使用するので,寸法変化に対する特性変化を次に検討する.



図-5: s11 特性

Center frequency (MHz)	1296	1420
Loop diameter (mm)	70.6	64.4
Loop height (mm)	28.7	26.2
Wire diameter (mm)	3.58	3.27
Choke ring ID (mm)	140.0	127.8
Choke ring depth (mm)	30.0	27.4
Choke ring thickness (mm)	2.0	1.8
Bottom plate thickness (mm)	5.0	4.6
Connector height (mm)	22.7	20.7

表-2: 周波数比で変換した寸法

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



図-6 : ラジエーション・パターン

寸法変化に対する特性変化 #1 ワイヤ径

ループのワイヤ径を変えた時の特性をシミュレーションする. ワイヤ径以外の寸法は **表-2** と同一とし,寸法の一覧を **表-3** に示す. ワイヤ径は AWG (American Wire Gauge) の #9 (2.906 mm), #10 (2.588 mm) および #11 (2.304 mm) とする. 周波数比で縮小したワイヤ径は 3.27 mm で, AWG#8 の 3.264 mm が相当する.

ワイヤ径の変化に対する s11 特性の変化を 図-7 に, -10 dB 照射角度の変化を図-8 に示す. ワイヤ径が細くなるにしたがい共振周波数は若干下がり, -10 dB 照射角度に 変化は見られない. なお,細い AWG#11 の例において,低域周波数での s11 が振動的に なり正の値となっているのは,この領域でシミュレーションが破綻しているようである.



図-7 : s11 特性の変化

Angle for -10 dB Loop dia. = 64.4 mm, Loop height = 26.2 mm



図-8 : -10 dB 照射角度の変化

Center frequency (MHz)	1420
Loop diameter (mm)	64.4
Loop height (mm)	26.2
Wire diameter (mm)	3.27, 2.906, 2.588, 2.304
Choke ring ID (mm)	127.8
Choke ring depth (mm)	27.4
Choke ring thickness (mm)	1.8
Bottom plate thickness (mm)	4.6
Connector height (mm)	20.7

表-3: ワイヤ径を変更

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

寸法変化に対する特性変化 #2 チョーク・リング内径

製作において既存品を部品として転用する際,寸法の制約を受けるのはチョーク・リングの 内径であろう.転用可能な既存品としてケーキ焼き型(Cake Pan)を思いつく.直径は 5 インチか 6 インチで,深さは目的サイズに切断加工して対応する.5 インチや 6 インチ という直径は製品の公称値であり,実際の直径は抜き型としてのテーパーやリム折り曲げ があることから若干異なった直径寸法と想定される.ここでは 表-4 に示すように,125.0 mm と 152.0 mm を想定する.

s11 の最良点は **図-9** に示すように,チョーク・リングの内径が小さくなるにつれて 1428 MHz から 1420 MHz へ周波数がわずかに下がる. -10 dB 照射角度は **図-10** に示すよ うに,チョーク・リングの内径が小さくなるにつれて E 面, H 面ともに照射角度が広くなる.

Reflection coefficient s11 Loop dia. = 64.4 mm, Loop height = 26.2 mm, Choke ring height = 27.4 mm



図-9 : s11 特性の変化

Angle for -10 dB Loop dia. = 64.4 mm, Loop height = 26.2 mm, Choke ring height = 27.4 mm



図-10 : -10 dB 照射角度の変化

Center frequency (MHz)	1420
Loop diameter (mm)	64.4
Loop height (mm)	26.2
Wire diameter (mm)	3.27
Choke ring ID (mm)	127.8, 125.0, 152.0
U	, ,
Choke ring depth (mm)	27.4
Choke ring depth (mm) Choke ring thickness (mm)	27.4 1.8
Choke ring depth (mm) Choke ring thickness (mm) Bottom plate thickness (mm)	27.4 1.8 4.6

表-4 : チョーク・リング内径を変更

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

寸法変化に対する特性変化 #3 チョーク・リング深さ

チョーク・リング内径が転用する材料で決定される一方で、チョーク・リング深さは特性の調整代として利用することになる. 周波数比での変換である 27.4 mm を中心として、 25.4 mm と 29.4 mm についてシミュレーションする. 寸法の一覧を **表-5** に示す

s11 の最良点は **図-11** に示すように, チョーク・リング深さ 25.4 mm と 29.4 mm のいずれ も 27.4 mm での 1421 MHz よりも低い 1409 MHz となっている. チョーク・リング深さと単 純な比例関係にはない. -10 dB 照射角度は **図-12** に示すように,チョーク・リングの深さ が浅くなるにつれて E 面の照射角度が狭くなる. H 面の照射角度は若干狭くなる.



図-11 : s11 特性の変化

Angle for -10 dB Loop dia. = 64.4 mm, Loop height = 26.2 mm, Choke ring ID = 127.8 mm



図-12 : -10 dB 照射角度の変化

Center frequency (MHz)	1420
Loop diameter (mm)	64.4
Loop height (mm)	26.2
Wire diameter (mm)	3.27
Choke ring ID (mm)	127.8
Choke ring depth (mm)	25.4, 27.4, 29.4
Choke ring thickness (mm)	1.8
Bottom plate thickness (mm)	4.6

表-5 : チョーク・リング深さを変更

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

寸法変化に対する特性変化 #4 ループ高さ

ループ高さを 25.2 mm , 26.2 mm , 27.2 mm ,そして,更に 29.2 mm と変化させる. 寸法の一覧を **表-6** に示す.

s11 の最良点は **図-13** に示すように, ループ高さと単純な比例関係にはない. チョーク・ リング深さと相対的な関係にあるように見える. これは, ループ・エレメントとチョーク・リン グとの間隔が変化するのでループのインピーダンスが変化すること,また, ループ・エレメン トのインピーダンスは 50 ではないので, ループ高さと等しい 50 同軸線路の長さの 変化でマッチング状況も変化することが理由だと考えられる.

-10 dB 照射角度は 図-14 に示すように, ループ高さがチョーク・リング深さと同等以下では変化は無く, ループがチョーク・リングを越えると照射角度が狭くなっている.



図-13 : s11 特性の変化

Center frequency (MHz)	1420
Loop diameter (mm)	64.4
Loop height (mm)	25.2, 26.2, 27.2, 29.2
Wire diameter (mm)	3.27
Choke ring ID (mm)	127.8
Choke ring depth (mm)	27.4
Choke ring thickness (mm)	1.8
Bottom plate thickness (mm)	4.6
Connector height (mm)	20.7

Angle for -10 dB Loop dia. = 64.4 mm, Choke ring ID = 127.8 mm, Choke ring depth = 27.4 mm



図-14 : -10 dB 照射角度の変化

表-6	:	ループ高さを変更
-----	---	----------

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

寸法変化に対する特性変化 #5 ループ直径

ループ長は基本的に1波長であるが、ループのワイヤ径、ループ高さ、および、チョーク・リ ングの影響(直径,深さ)で正確に1波長とはならない、ループの長さが変わった時の 特性変化をシミュレーションする。製作においてワイヤを切り出す際には長さで示す方が 便利だが、シミュレーションではモデル生成の観点でループ直径の方が便利なので、ここで はループ直径でパラメータを示す。

前述の"周波数比での変換"で述べた"Scaling Law"の観点から, ループ直径と共振 周波数が比例関係にあると予想される. そこで, 64.4 mm について ±1%の 63.8 mm と 65.0 mm をシミュレーションする. 寸法の一覧を 表-7 に示す.

s11 の最良点は 図-15 に示すように, それぞれ 1408 MHz , 1421 MHz , 1434 MHz であ り, 1421 MHz に対して ±1%の比例関係となっている. ループ直径が変化した時の -10 dB 照射角度の変化を 図-16 に示す。 ループ直径の変化に対する照射角度の変化は小 さい.



図-15 : s11 特性の変化

Angle for -10 dB Loop height = 26.2 mm, Choke ring ID = 127.8 mm, Choke ring depth = 27.4 mm



図-16 : -10 dB 照射角度の変化

Center frequency (MHz)	1420
Loop diameter (mm)	63.8, 64.4, 65.0
Loop height (mm)	26.2
Wire diameter (mm)	3.27
Choke ring ID (mm)	127.8
Choke ring depth (mm)	27.4
Choke ring thickness (mm)	1.8
Bottom plate thickness (mm)	4.6
Connector height (mm)	20.7

表-7: ループ直径を変更

(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKO

寸法変化に対する特性変化のシミュレーション結果を **表-8** にまとめる. 表は各寸法パラ メータを大きくした時の s11 最良周波数と照射角度の変化を示す. 表中の"-"は変化 無し,または,単純な比例関係にないことを示す.

s11 の最良値は,寸法を変化させた範囲内では -20 dB よりも良い値を示しており,製作調整においてマッチングを主要目標とする必要はないであろう.一方,照射角度はフィードの特性として主要目標であり,入手可能な材料を用いて調整しなくてはならない.チョーク・リング内径が与件となり,チョーク・リング深さとループ高さに調整の自由度がある.それらを調整した結果,s11 の最良周波数が目的の 1420 MHz となるようにループ直径を調整すればよい. 表-8 が示すように,ループ直径の調整は照射角度に影響しない.

設計例

寸法パラメータを決定する設計例として、5"ケーキ焼き型をチョーク・リングとして転用するケースをシミュレーションする.

前述のシミュレーションにより,5"ケーキ焼き型をチョーク・リングとして転用する場合,す なわち,チョーク・リング内径が125.0 mmの場合,照射角度が目標とするE/H=134/ 149 deg.よりも若干広くなることが判明した.対応策として,チョーク・リング深さを調整し てみる.**表-8**にまとめた前述のシミュレーション結果から,照射角度を狭くするにはチョー ク・リングの深さを浅くすればよいことが分かる.

チョーク・リング深さとして周波数比変換の 27.4 mm を 26.0 mm としてシミュレーションした 結果を 図-17 および 図-18 に示す. 表-9 に示すように,照射角度は目標値に近づいた が, s11 の最良周波数が 1441.6 MHz と,目標とする中心周波数 1420 MHz よりも高くなっ

Dimensional parameter	s11 best frequency	angle @ -10 dB
Loop diameter	down	-
Loop height	-	narrower
Wire diameter	-	-
Choke ring ID	-	narrower
Choke ring depth	-	wider

表-8 : 寸法変化に対する特性変化

前述のシミュレーション結果に基づき,ループ直径を変えることで照射角度に影響せずに s11 最良周波数を調整することを試みる. ループ直径と周波数は反比例なので,64.4 × 1441.6 / 1420 = 65.4 mm を試す. 結果は,1418.8 MHz となった. 再度の修整として, 65.4 × 1418.8 / 1420 = 65.3 mm を試すと,1421.2 MHz が得られたので修整を終了する. これらの結果を 表-9 の Case #2 と #3 にまとめる. ループ直径を修整した Case #2 と #3 での 1420 MHz との差異 ± 1.2 MHz はシミュレーションでの周波数分解能であり,これ を考慮すると,中心周波数 1420 MHz となるループ直径は 65.35 mm と計算される. しか し,工作精度とシミュレーションの誤差を考慮すると,0.05 mm の差異は無視できる. した がって,表-9 の Case #3 を設計例の最終値とする. 最終値の Case #3 の特性を 図-19 および 図-20 に示す.

t-

ー連のシミュレーションにおいて, Bottom plate thickness と Connector height は各表に 示す周波数比で決定した寸法を使用した. 製作においては,ケーキ焼き型を転用する場 合,Bottom plate thickness は Choke ring thickness と同様に 1.8 mm か,それ以下の厚 みとなるであろう. また,Connector height は,例えば SMA コネクタを使用する場合,9.4 mm となる. いずれもシミュレーションとは異なる寸法となる. Bottom plate thickness と Connector height の寸法変化についてシミュレーションした結果,同軸線路長の一部であ る Loop height を設計通りに維持している限り,これらの寸法変化は s11 特性に影響しな いことが判明した.

Case No.	#1	#2	#3
Loop diameter (mm)	64.4	65.4	65.3
Loop height (mm)	26.2	26.2	26.2
Wire diameter (mm)	3.26 (AWG#8)	3.26 (AWG#8)	3.26 (AWG#8)
Choke ring ID (mm)	125.0	125.0	125.0
Choke ring depth (mm)	26.0	26.0	26.0
Choke ring thickness (mm)	1.8	1.8	1.8
Bottom plate thickness (mm)	4.6	4.6	4.6
Connector height (mm)	20.7	20.7	20.7
Best s11 freq. (MHz)	1441.6	1418.8	1421.2
E / H angle (deg.) @ -10 dB	132 / 149	132 / 149	132 / 149

表-9:設計例 #3 が最終値







(C) 2025, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ



図-19 : s11 特性 Case #3



図-20 : ラジエーション・パターン Case #3

位相中心

完成したループ・フィードをパラボラ反射板の焦点に配置するが,ループ・フィードの位相 中心 (Phase Center) と反射板の焦点とを合致させなくてはならない. 位相中心は ループ・フィードの寸法から一意的に決定されないので,実測またはシミュレーションを必 要とする. 前述の一連のシミュレーションのうち,ループ高さとチョーク・リング深さを変え たケースのラジエーション・パターンから位相情報を抽出して位相中心を計算した. その 計算結果を,ループ高さとチョーク・リング深さの差分 (Loop height Choke ring depth)をパラメータとして 図-21 に示す. 位相中心の位置はループの位置を基準とし ており,負の値はループよりも背後 (チョーク・リング底面に近い) であることを,正の値 はループよりも前面であることをそれぞれ示している.

結論として,前述の設計例 Case #3 の場合,位相中心は -10 mm である. また,周波数 比変換の場合,位相中心は 8 mm である.



アマチュア電波天文で使用する f/D = 0.4 のジオデシック・パラボラ・アンテナ用として OM6AA の 1296 MHz ループ・フィードを 1420 MHz へ寸法変換した. 各要素寸法の変化 に対する特性変化を openEMS を用いてシミュレーションし,製作可能な実寸法を決定した.

有益な議論を頂いた Gary Dyck 氏に深謝申し上げる.

17

参考文献

まとめ

[1] 武安義幸, JA6XKQ, "ジオデシック パラボラ アンテナ," 2003 http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/GeoParaAnt_4.pdf

[2] トランジスタ芸術 .Photo Gallery http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/PhotoGallery.html

[3] Rastislav Galuscak, OM6AA. "Loop Feed With Enhanced Performance." http://www.om6aa.eu/Loop_Feed_with_enhanced_performance.pdf

[4] Thorsten Liebig, openEMS - Open Electromagnetic Field Solver, General and Theoretical Electrical Engineering (ATE), University of Duisburg-Essen https://www.openEMS.de