

ジオデシック パラボラ アンテナ

Geodesic Parabolic Reflector Antenna

武安 義幸 / JA6XKQ

パラボラ・アンテナのフレーム構造を見直し、リブの折り曲げ加工を行うことなく組立てるだけで近似放物面が得られるアンテナを考案し、ジオデシック・パラボラ・アンテナと命名しました。考案の過程を紹介します。紙面の都合から、詳細な工作方法は末尾に記載の筆者のホームページを参照してください。

始まりは傘ボラ

2000年11月に打上げられたアマチュア無線衛星 AO-40 にアクセスしたいものの団地住まいの悲しさ、常設のアンテナを上げられず、その活路を移動運用に見出そうと考えたのが2001年。まずはSバンド・ダウンリンク用のパラボラ・アンテナの製作に着手しました。

移動運用時はもとより、普段の収納を考慮して折りたためるパラボラ・アンテナに着想し、インマルサット可搬局の傘型アンテナを模した「傘ボラ」を製作しました。傘ボラはストレス・ディッシュの一種と見なすことができ、棒状素材の一端を固定してもう一端に応力を与えると、変形が小さい範囲では形状が放物線に近似できるという原理を利用しています。製作にあたって考慮した点は、反射板としての面精度を「できるだけ良く」というものではなく、許容面精度を規定したうえで構造を単純化するというトレードオフの考え方です。そもそも構造の原理が近似であるため、到達点には初めから限界があります。

傘ボラのリブ(傘の骨)自体は上記の原理から放物線に近いのですが、リブとリブの間にできあがる面が平面であることは自明です。この平

面の放物面からの外れ具合をピーク値で $\lambda/10$ (λ は波長)まで許容すると、直径1mの傘ボラでは16本以上のリブを必要とする計算となりました。この計算の前提としては、リブの変形を小さい範囲に収める観点から、浅いディッシュ、すなわち $f/D = 0.5$ としています。

傘ボラから学んだこと

許容面精度を規定してリブ本数を算出し、アルミ蒸着シートで「傘張り」を始めてみると、なかなか思うような傘張りができません。シートをしわを少なくしようと、放物面を16分割したシートで傘張りを行なうと、当然ながら中心部分には16枚のシートが集中して始末が悪く、結果としてしわを生じてしまいます。シートの分割数を少なくすると、放物面の中心部分と周辺部分の曲率の違いから、どちらかにしわを生じる結果となります。普通の傘ではピンと張っているのは、生地に伸び縮みがあるからです。

このようにして生じたしわを解消しようとする、もっぱらリブの方向に放射状に引っ張ってしまうのですが、しわは一向に解消しません。放射状に引っ張るだけではなく、リブと直角方向に引っ張る力が必要なのです。つまり、両者の引っ張りを合成した斜め方向の力で引っ張らない

と傘張りのしわは解消しないのです。

この傘ボラから学んだことは次の点です。

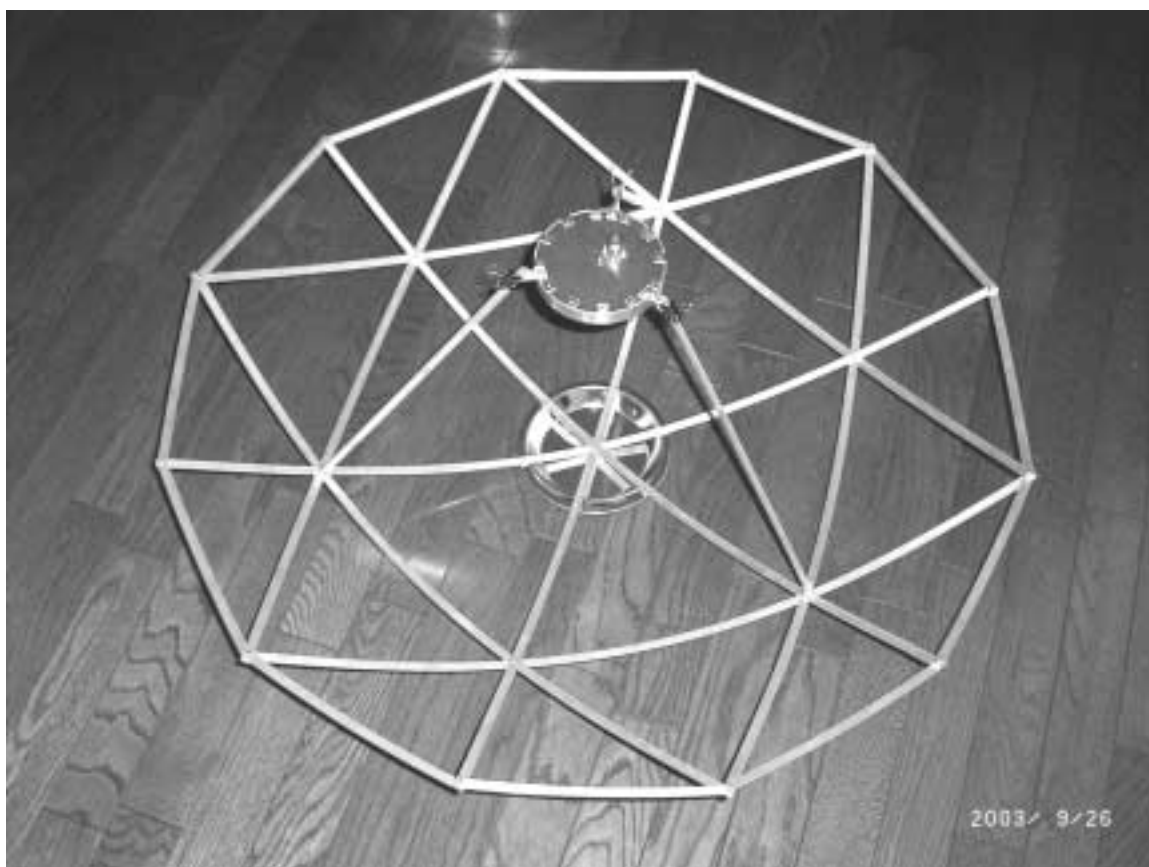
- ◆ 面精度を上げようと放射状のリブ本数を増やしても中心部と周辺部ではリブの密度が異なり、本質的な解決にはなり得ない。周辺部のみリブ本数を増やす等の対策が必要。
- ◆ 放物面を作るシートや金網のしわを取るには縦と横の二つの引っ張りが同時に必要。
- ◆ 縦と横の引っ張りを作るには放射状のリブと同心円のリブでフレーム構成するのが一般的であるが、フレームの基本構造が台形であり、引っ張りの結果変形を生じやすい。台形の対角方向に更にリブを入れる等の対策が必要。

- ◆ 縦と横に引っ張ればしわが解消するのは、傘ボラでは凸面にシートを貼るから。凹面でのしわ取りは至難。
- ◆ ストレスト・ディッシュの原理は、リブを曲げる加工が不要であり、大きな魅力。
- ◆ ストレスト・ディッシュの原理にこだわった浅いディッシュではトップヘビーとなってバランスの観点で取扱が悪い。

三つのキーワード

傘ボラを完成しても何か釈然としない思いがあり、傘ボラを発展させることはできないか漠然と考える期間が一年ほどありました。漠然とした考えの中にも、傘ボラから学んだことから次のような三つのキーワードがありました。

- ◆ 放物面を平面で近似
- ◆ 密度が均一なフレーム構成。



◆ 凸面に網張り

キーワードの「曲面を平面で近似し」、「密度が均一なフレーム構造」として有名なものにバックミンスター・フラーが考案したジオデシック・ドームがあります。富士山頂に設置されていた気象レーダのドームが馴染みのある例でしょう。しかし、本考案のフレーム構造は最初からジオデシック・ドームをヒントにした訳ではありません。結果として同様な構造にたどり着いたというもので、「車輪の再発明」の類でしょう。そこには、二つのキーワードを突き詰めるとたどり着くという必然性、自然の理があるのです。

従来のフレームの基本構造(放射状と円形リブの組合せ)は台形であり、補強のために対角にリブを入れるということは、結局、三角形の基本構造を採用すれば良いこととなります。そこでアイデア・スケッチとして描いた図が下図の左側のもの。このフレームを実現するには交点を点接触にするために、丸パイプを使う必要があります。丸パイプを用いたのでは、凸面に網張りを行った時のフレームの出っ張りが気に

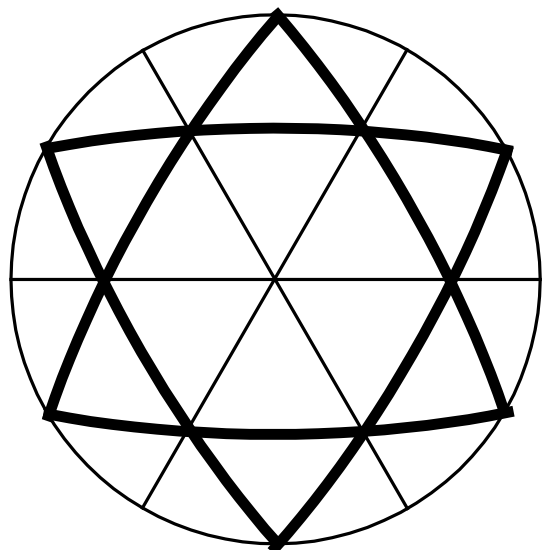
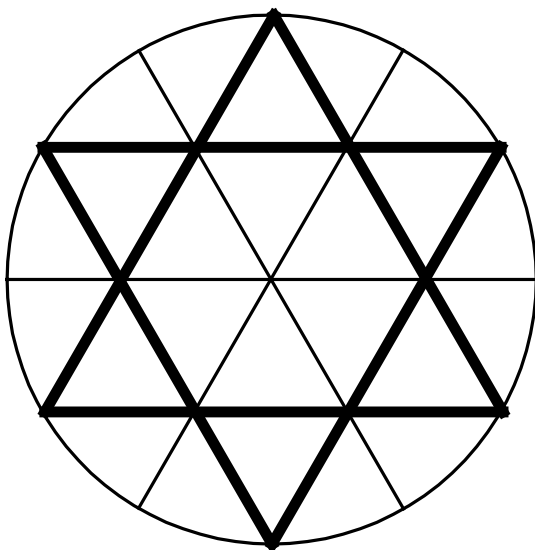
なります。

左図のフレームを、平板リブでは実現できないのです。それは、交点が面接触とならないからです。その事実気付くにはしばらくの時間を要しました。曲面を平面に投影した図であることを見落としていたからです。左図において、円に内接する三角形(太い線)の辺は放物面上の二点間を最短距離では結んでいません。HFのDX'erにお馴染みの大圏コースを教えてください。球面の二点間を最短で結んだ線が大圏コース(測地線 = Geodesic Line)です。

それを図にすると、下図の右側のもの。二つの図の違いに気付いたのは、突然の「あっ、そうか！」だけ。正しい投影図に気付くと、それが平板リブで実現できることと、設計/計算方法が同時に、かつ明確にイメージできました。

合理的な手抜き

放物面を平面で近似すること、凸面に網を張ること、いずれも手抜きなのです、合理的な。製



作においても手抜きを行いました。パラボラ・アンテナの設計においては、通常、直径を先に決めてフレームの寸法を算出しますが、ここでは、入手できる材料の定尺寸法からフレームの設計を行い、パラボラの直径はできあがった結果(先に計算可能)という次第。つまり、リブの長さが定尺の 1m になるように設計した訳です。そうすれば、材料を有効利用できるし、また、工作も簡単になります。

そして、その切出したリブを組み合わせると、材料自身が持つ特性で近似放物面ができあがるという手抜き。

手抜きの合理性

手抜きの結果、特性がどのようになっているかを数値で押さえておく必要があるでしょう。放物面を平面で近似した結果、理想的なパラボラ・アンテナからの特性劣化は如何程か？

面精度との関係でもっとも気になる特性は、やはり利得。面精度の指標としては、放物面からの偏差(ピーク値:0-p)とその周期です。これらの関係については、文献[1]に波長で正規化されたグラフで示されています。例えば、偏差が $\lambda/10$ の場合、周期が $\lambda/6$ で約0.6dB、周期が $\lambda/3$ で約1.3dB、周期が λ 以上で約3.4dBの劣化となっています。偏差が $\lambda/20$ であると、それぞれの周期に対して、約0.1dB、約0.4dB、約0.7dBの劣化という具合です。注意すべき点は、偏差とその周期、すなわち凸凹の具合が反射板全体で一様であると仮定していることです。

製作例においては、偏差が約10mm(p-p)=約

5mm(0-p)、その周期が約200mmとなっています。2.4GHzでの波長 $\lambda=125\text{mm}$ で正規化すると、それぞれ $\lambda/25$ と 1.6λ 。文献[1]のグラフから推定すると、1dB以下の劣化には収まっているのではないかと考えられます。製作例では中央部分の三角形セグメントの中心で偏差が前述の値であり、その他の部分では、それより小さいものとなっています。この点を考慮しての推定値です。

このフレーム構造で面精度を上げるには、金網のメッシュを(反射効率との兼ね合いで)太く、大きなものにして、金網自体を三角セグメント内で曲面に修正するという手法が良いと考えます。

最後に

本文を執筆時点ではアンテナ特性の測定を完了しきれず、実データを示すことができない点が残念です。今後もデータ取得を継続して筆者ホームページで公開する予定です。筆者ホームページのURLは、

<http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/>

参考文献

- [1] EVANS & JESSOP, VHF-UHF MANUAL (3rd edition), RADIO SOCIETY OF GREAT BRITAIN, 1976
- [2] ジェイ・ポールドウイン著、梶川泰司訳、バックミンスター・フラーの世界、美術出版社、2001年