



JAIA

作ろう！お手軽UHF アンテナ大研究

2019年8月31日
JAIA技術委員会



はじめに

本講演では、サイズが手頃な430MHz帯のシンプルなアンテナを自作してシミュレーション結果との比較を行います。

調整後の寸法データを公開します。
皆さん自作にチャレンジしてみませんか？

そして、このアンテナをアンテナアナライザーの簡単な使い方を説明しながら測定してみます。



講演メニュー

1. 430MHz帯パッチアンテナを自作しよう
2. 430MHz帯J型アンテナを自作しよう
3. アンテナアナライザーの機能説明と
同軸ケーブルの特性について



430MHz帯について

$1\lambda \doteq 690\text{mm}$ (435MHz)

$\lambda/2 \doteq 345\text{mm}$ (435MHz)

高利得を狙わなければ、アンテナを自作するにも
大きすぎず手頃なサイズになります。

レピーターやD-STARもあり、楽しめるバンドです。

まずは、自作する2つのアンテナから、
1つ目のパッチアンテナの概要を説明します。

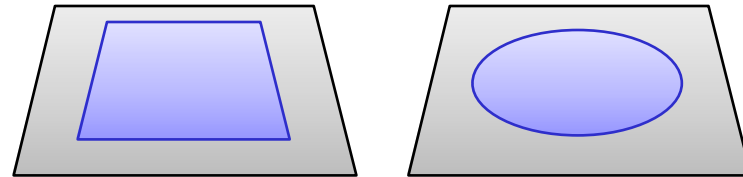


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

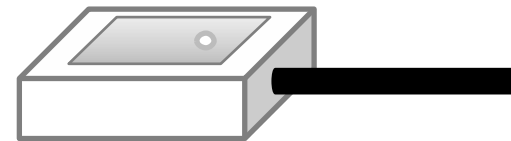
パッチアンテナとは？

金属地板(グラウンド)のすぐ上に
円形または四角形の放射板を設定して給電するアンテナ

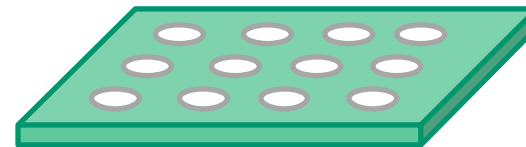
→ 指向性に優れ、高利得



セラミックで超小型化したものは、
GPSアンテナとしてナビゲーション
システム等で使用されています。

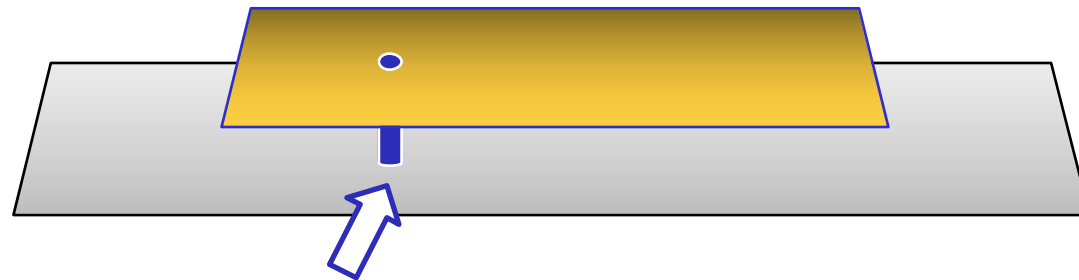


また、基板でアレーにしたものは、
ETCのシステム(料金所の上に設置)
に使われています。



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

本講演で紹介するパッチアンテナは、基板等を使わず、金属部品の加工のみで製作できるシンプルな構造です。



センターからオフセット

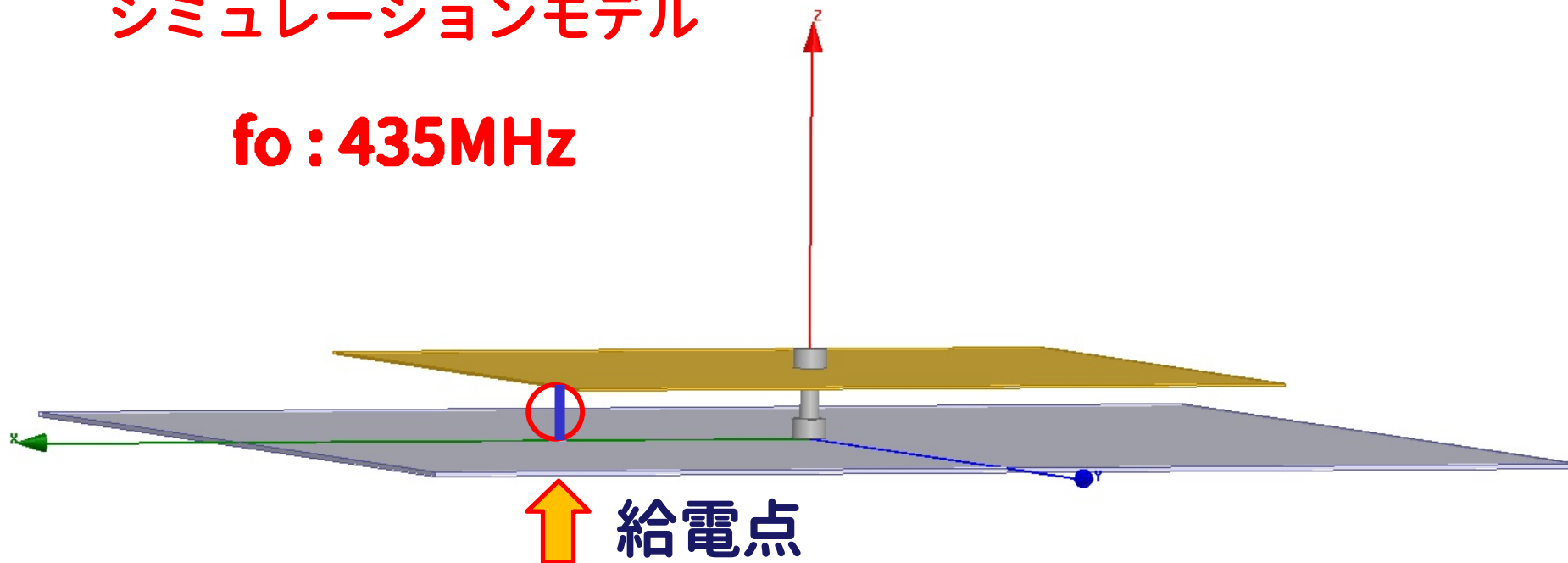
パッチアンテナのインピーダンスマッチングは、給電位置をセンターからオフセットすることで整合できます。

また、金属板の間は誘電体がある状態よりも、空気(誘電率 ≈ 1)のほうが、より高利得になります。

430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

シミュレーションモデル

$f_0 : 435\text{MHz}$



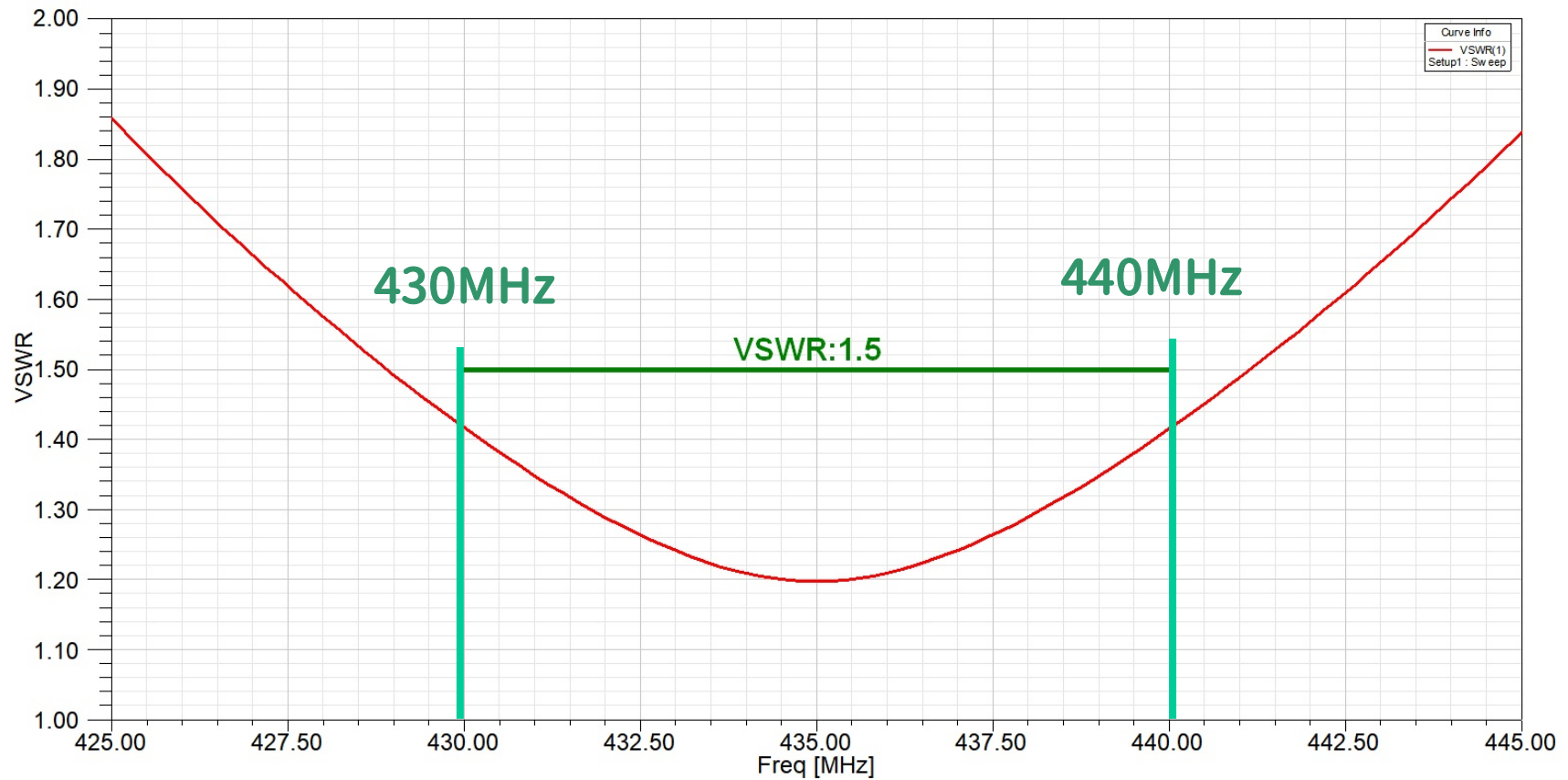
まずはシミュレーションで寸法を追い込みます。

放射器の形状は、自作する場合を考慮して、加工しやすい四角形を選択します。



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

VSWRのシミュレーション結果

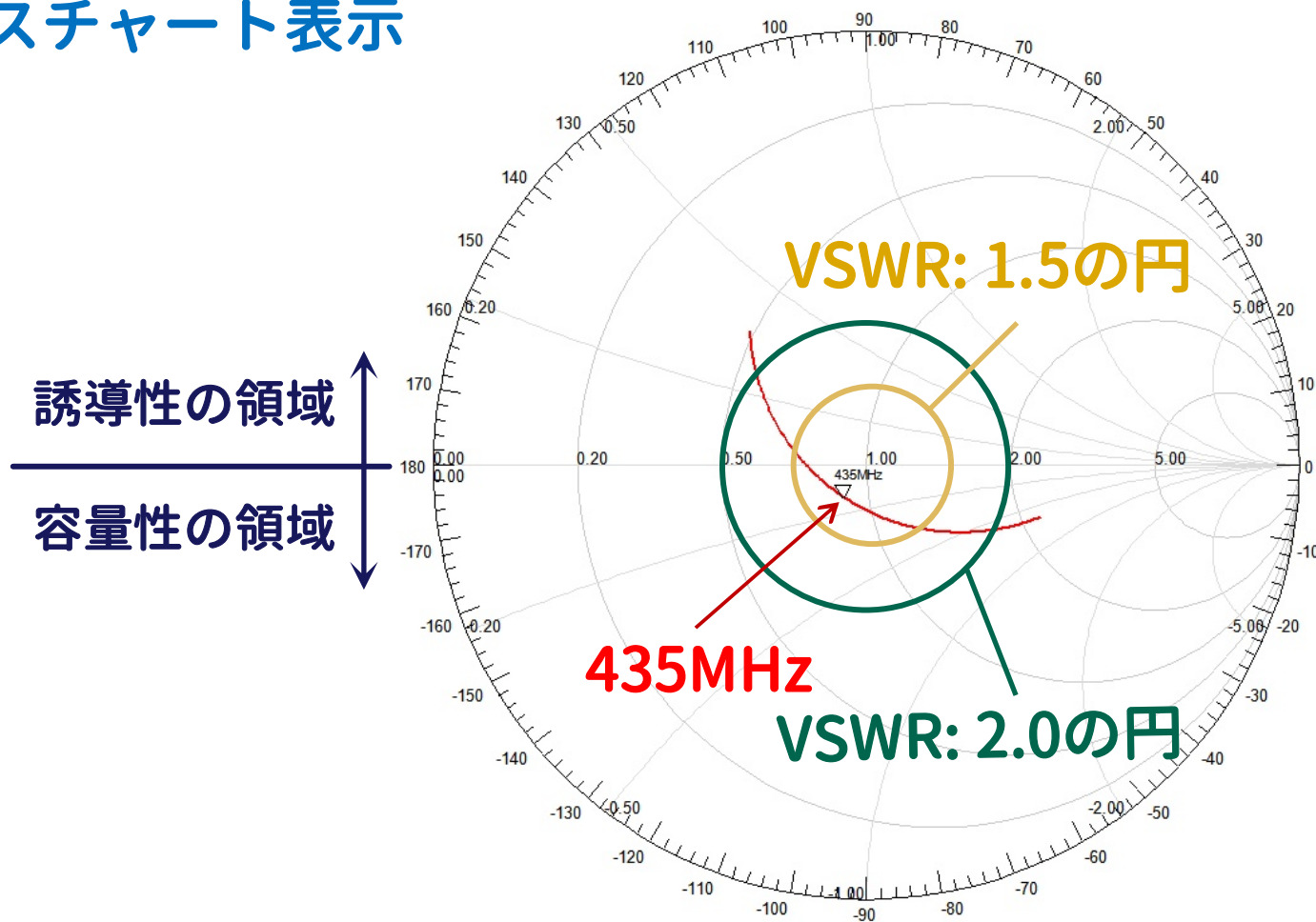


VSWRは帯域内で1.5に収まっています。



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

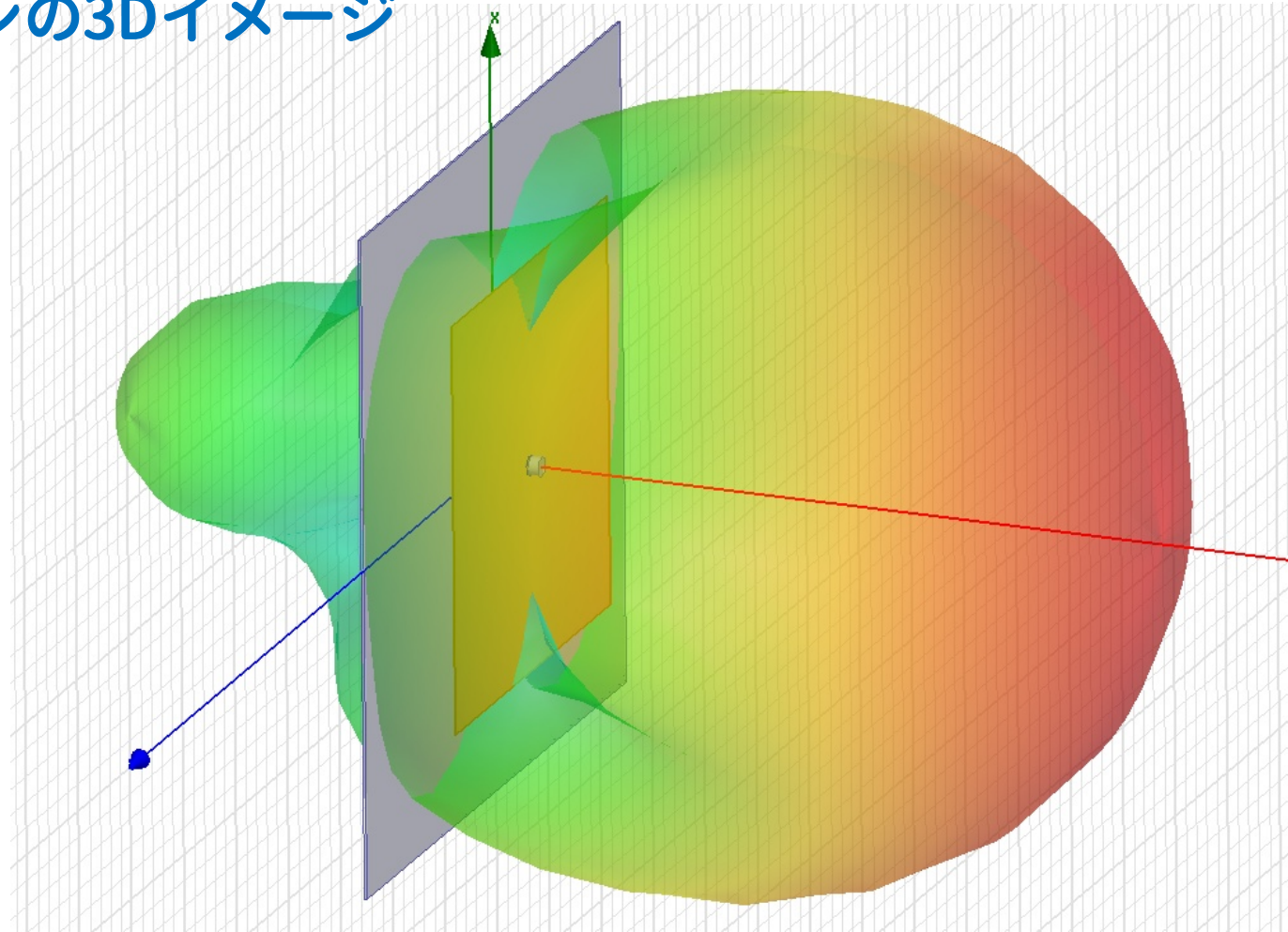
スミスチャート表示





430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

放射パターンの3Dイメージ



鋭い指向性です。



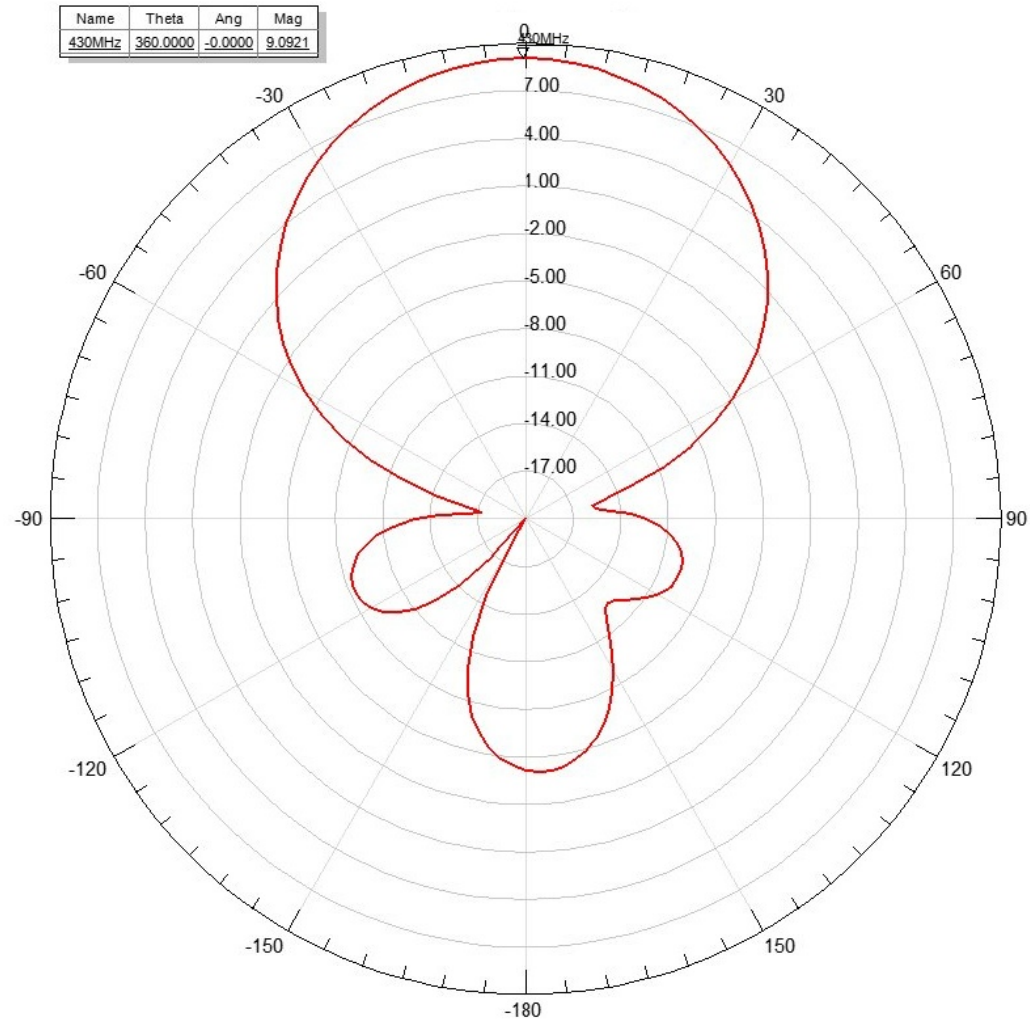
430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

放射パターン

メインビーム利得は
約 9.0 dBi

→ 4素子の八木アンテナ
と同等な利得です。

F/B(前後)比は 約 13 dB





430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

自作するために用意する部品



真鍮板

厚さ1mm程度

300mm

311mm

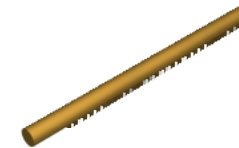


アルミ板

厚さ2mm程度

500mm

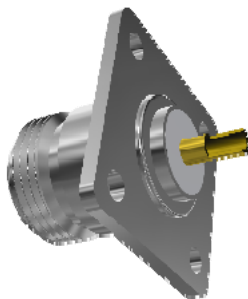
500mm



真鍮棒

(またはパイプ)

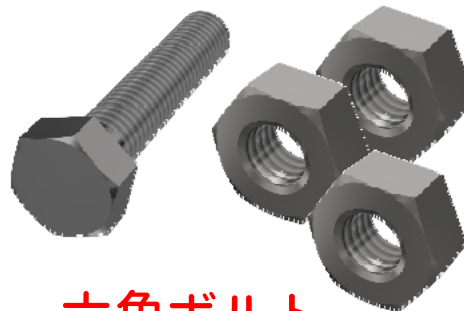
Φ2×35mm



N-Jレセプタクル

※M-Jのレセプタクル

でも可

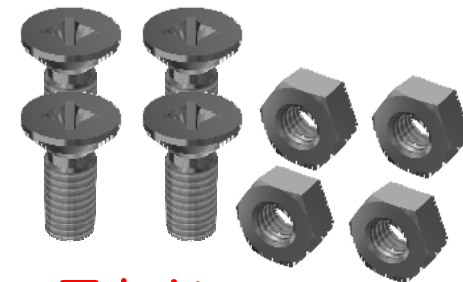


六角ボルト

M8×45 … 1本

六角ナット

M8 … 3個



皿ねじ

M3×10 … 4本

六角ナット

M3 … 4個



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

金属板はどう用意すればいいの？

きりいた.com

<https://www.kiriita.com/>

フリーカットで購入可能です。

※無料の会員登録が必要

値段は？ (2019年8月上旬現在)

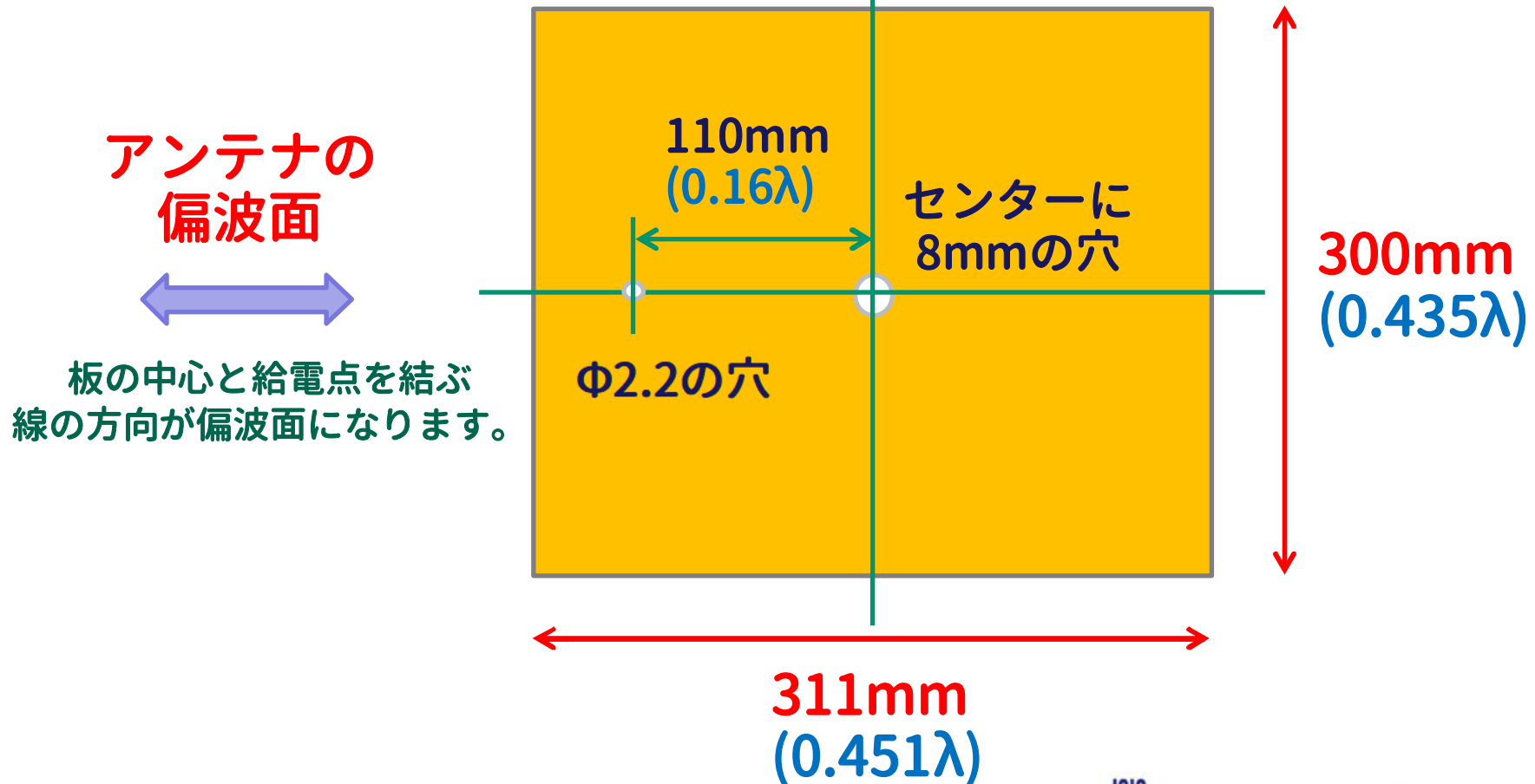
真鍮板 : ￥3,500程度

アルミ板 : ￥8,000程度 (アルミの値段が高騰しています)



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

放射器となる真鍮板
できるだけ正確に穴加工します。



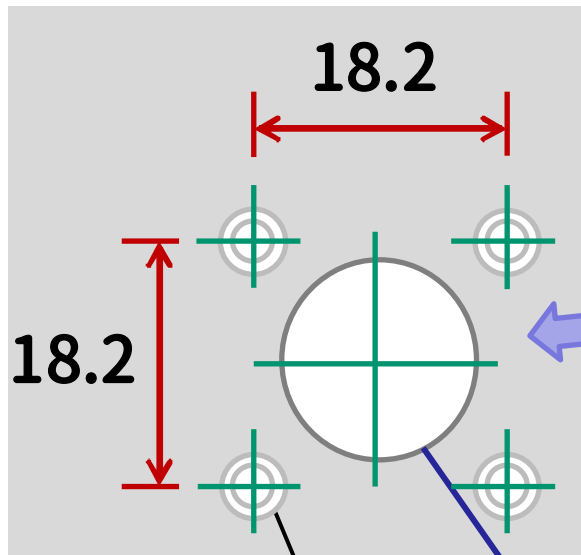


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

地板となるアルミ板
できるだけ正確に穴加工します。

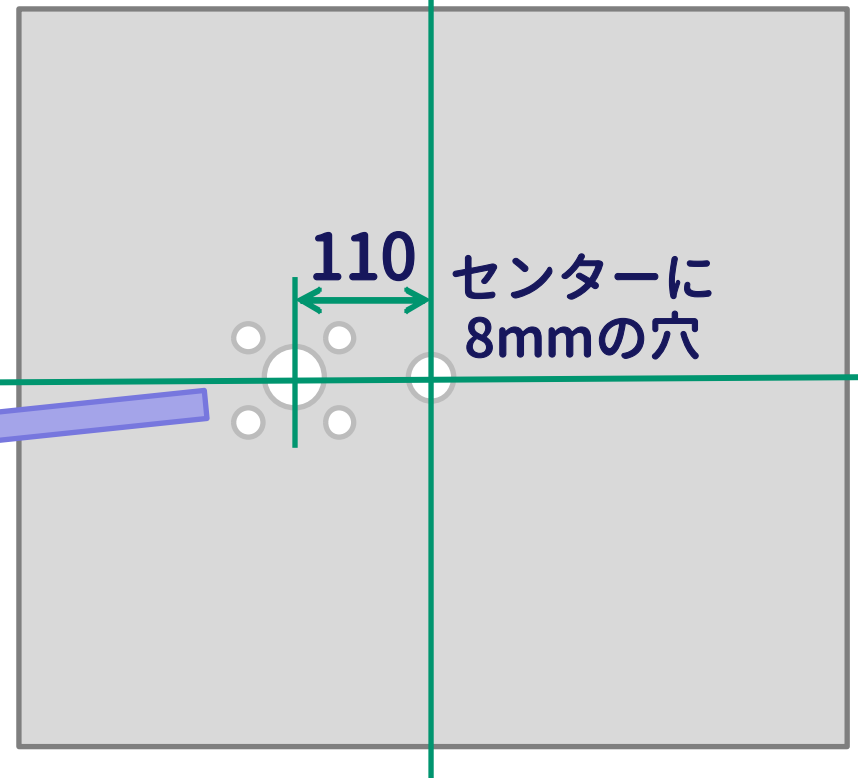
サイズ
500×500mm
450×450mm以上を推奨

コネクタを固定するための穴



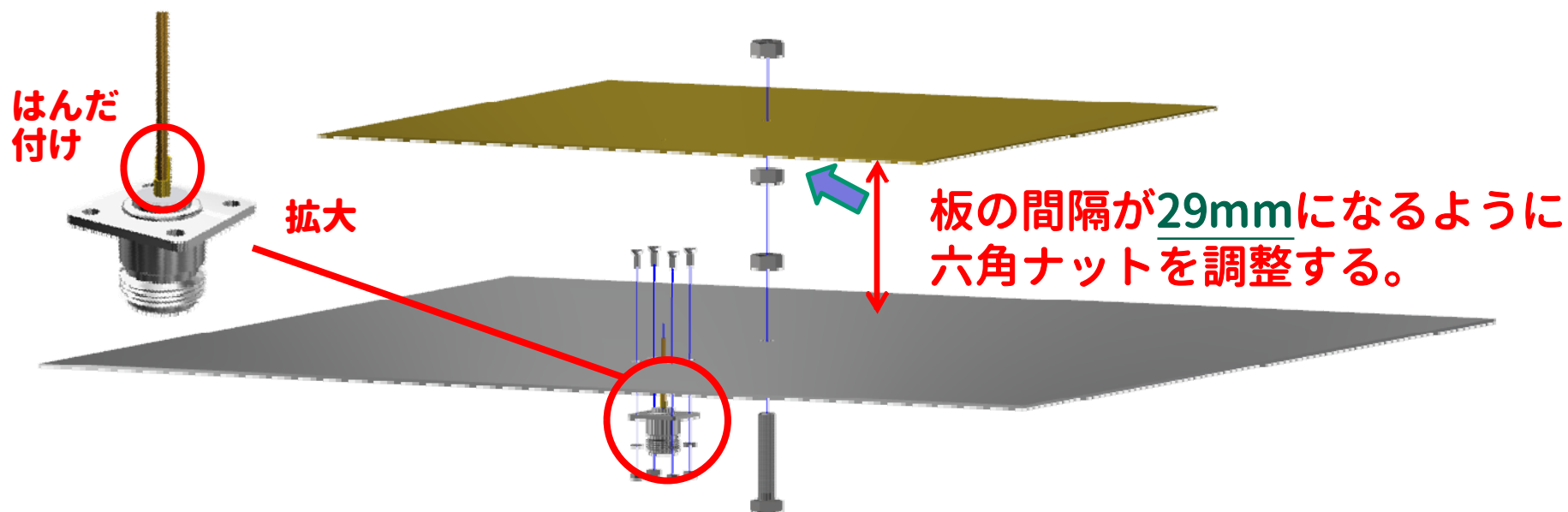
詳細

4× $\Phi 3.5$ $\Phi 15$
皿もみ



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

穴を開けたら、あとは組み立てるのみです。
図のような構成で組み立てます。



六角ナットと各ねじ部はしっかり締め付けて固定します。

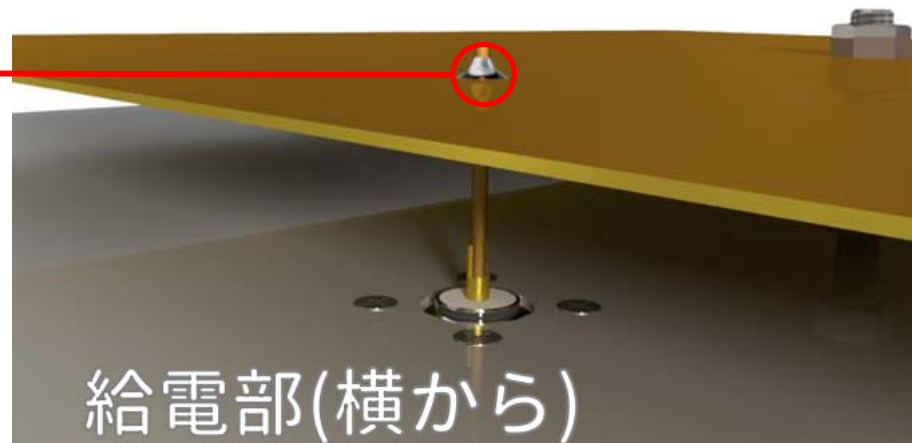


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

完成したアンテナ(斜め上から)



はんだ付け

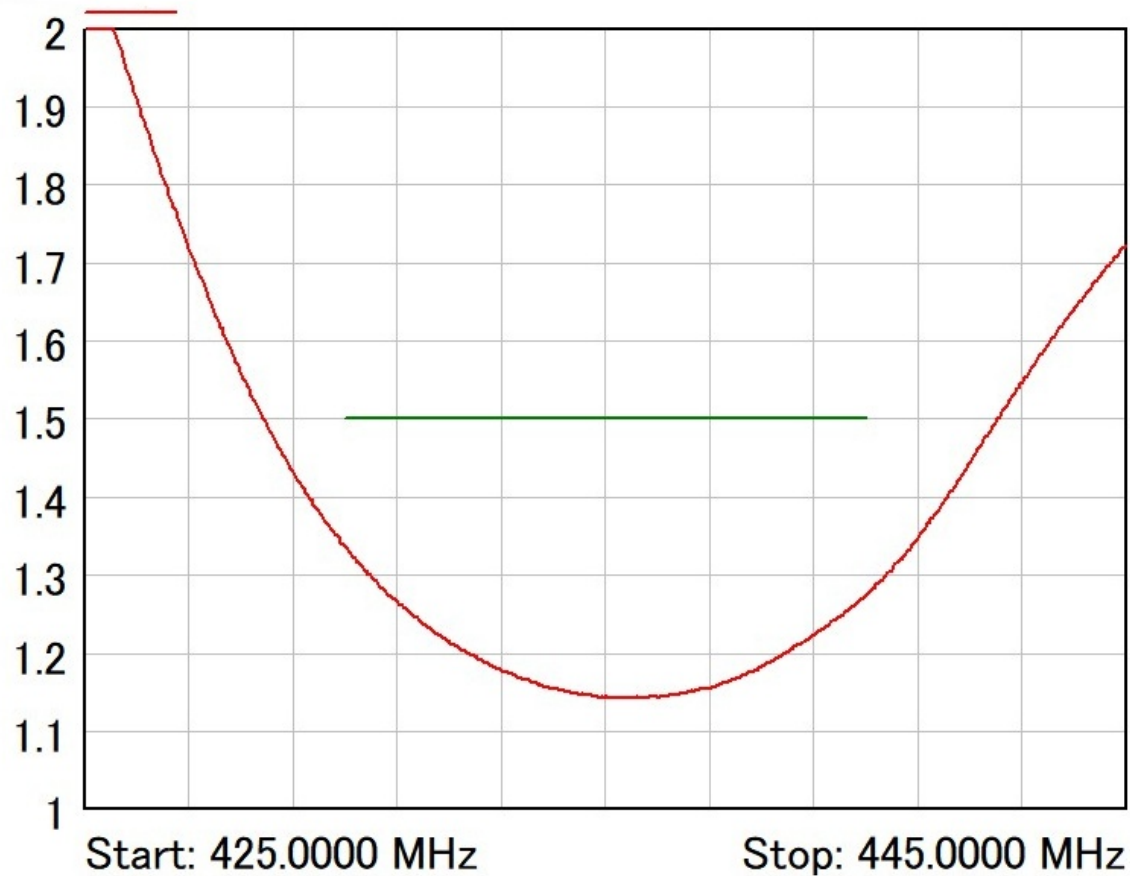


給電部(横から)



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

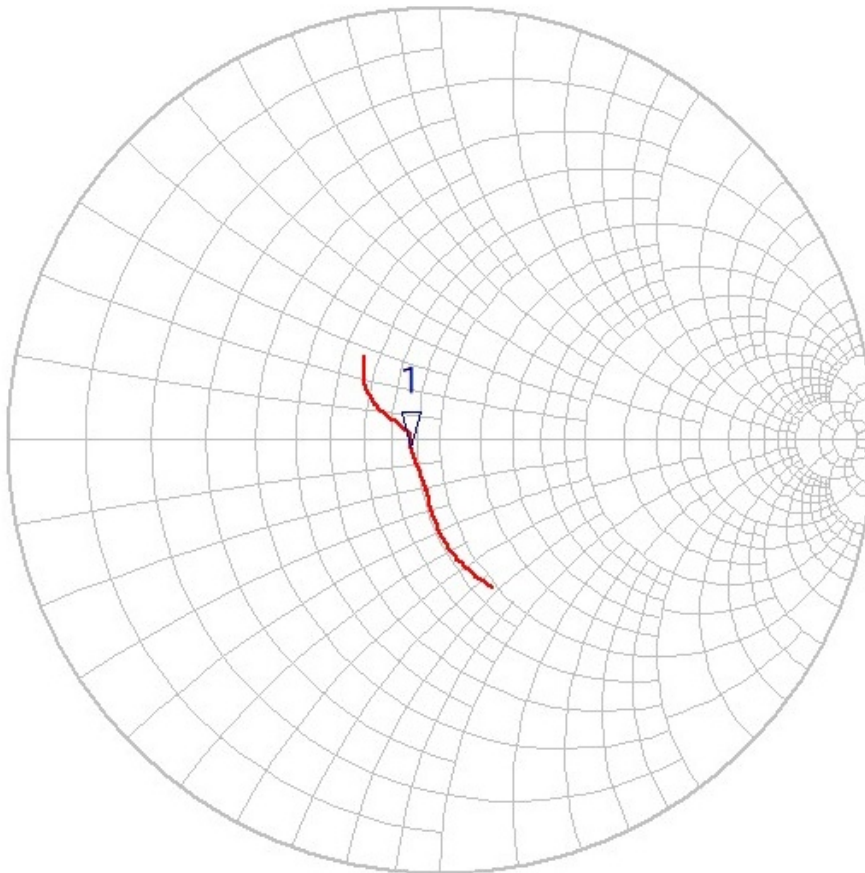
実測したVSWR



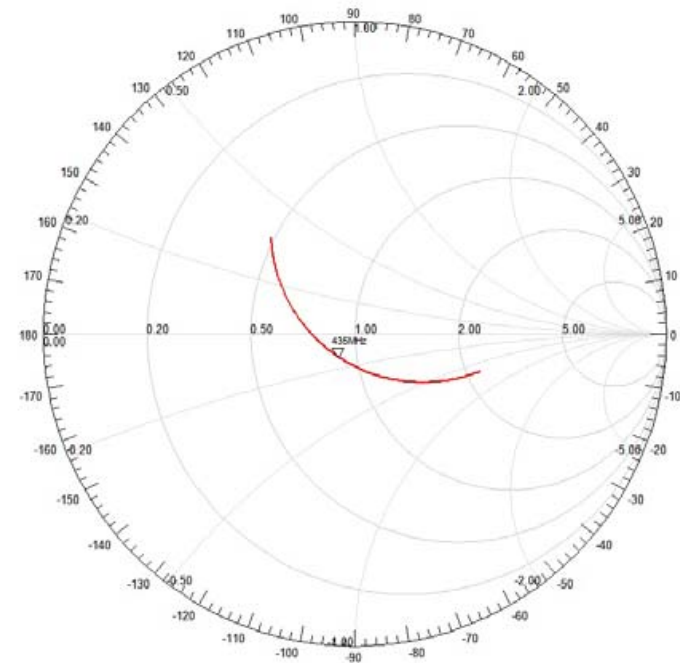


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

実測したスミスチャート



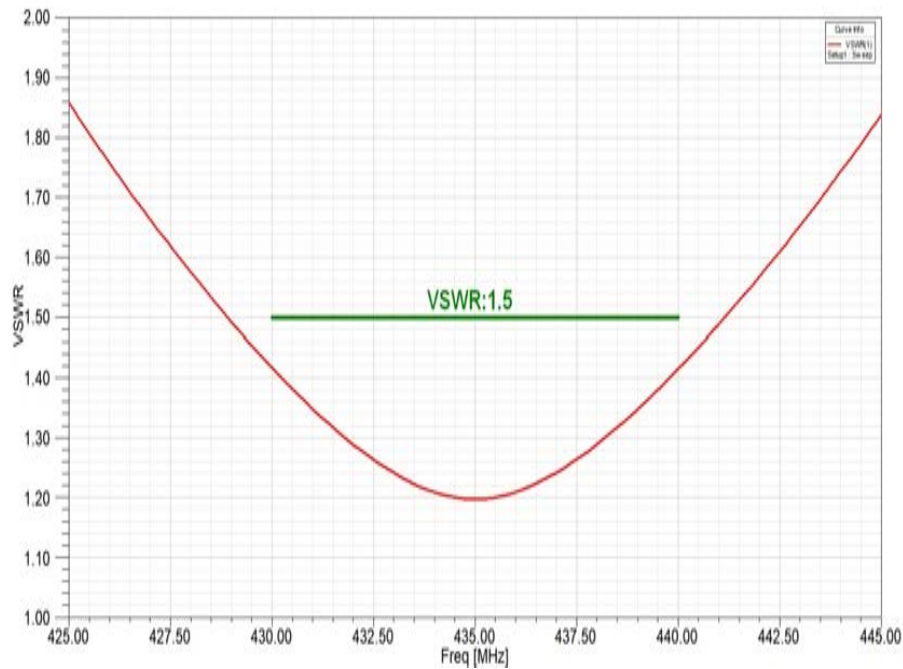
シミュレーション結果



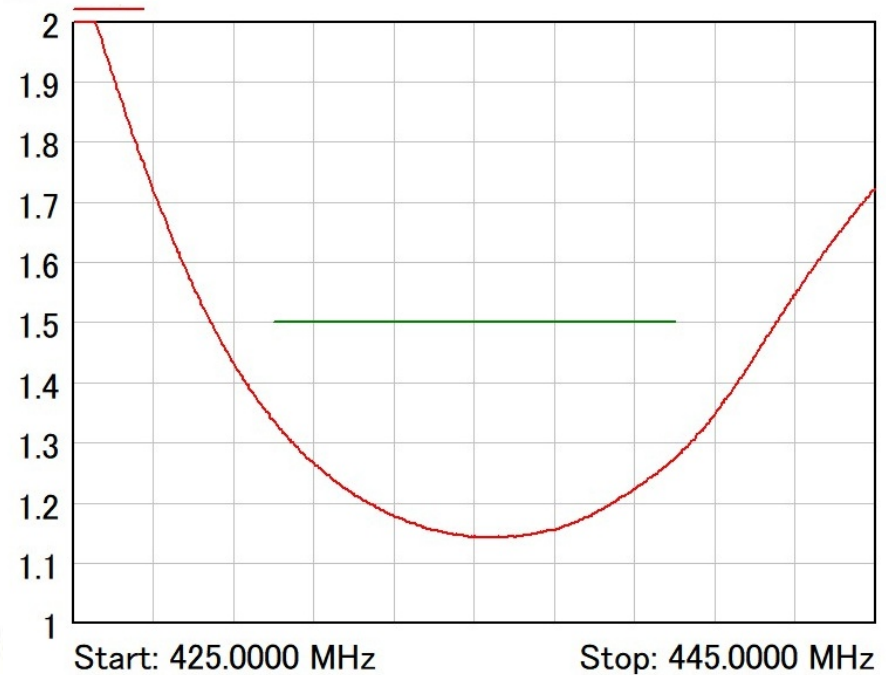


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

シミュレーションと実測値の比較



シミュレーション



実測値



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

シミュレーションで算出した寸法値で製作したところ、VSWR特性の計算値と実測値は非常に近い結果になりました。

シンプルな構造のアンテナですが、高利得なアンテナになっているのがわかると思います。



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

今回、アルミ板と真鍮板の間隔を29mm
としましたが、これを1mm増やして30mmに
すると、 f_0 が1.3MHzほど低めに移動します。

逆に間隔を28mmにすると、 f_0 が1.3MHzほど
高めに移動します。

自作調整時の参考にしてください。

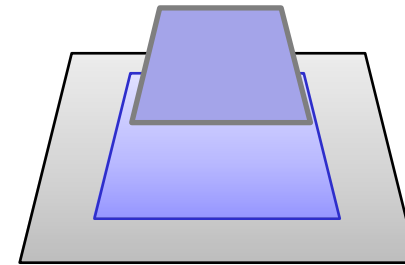


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

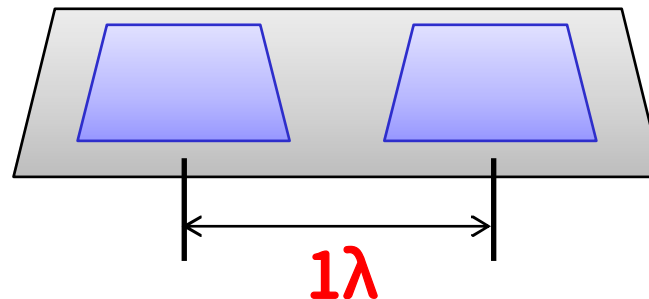
◆もっと利得を上げられる？

×利得向上には効果無し

八木アンテナのように導波器となるような板を上方に設置しても、大して利得は上がりません。



この形式で利得を上げたい場合は、同じアンテナをスタック(1波長の間隔で並べる)にして分配給電する必要があります。



○スタックにする

●受風面積が広いので、設置には風の影響を考慮しなくてはなりません。

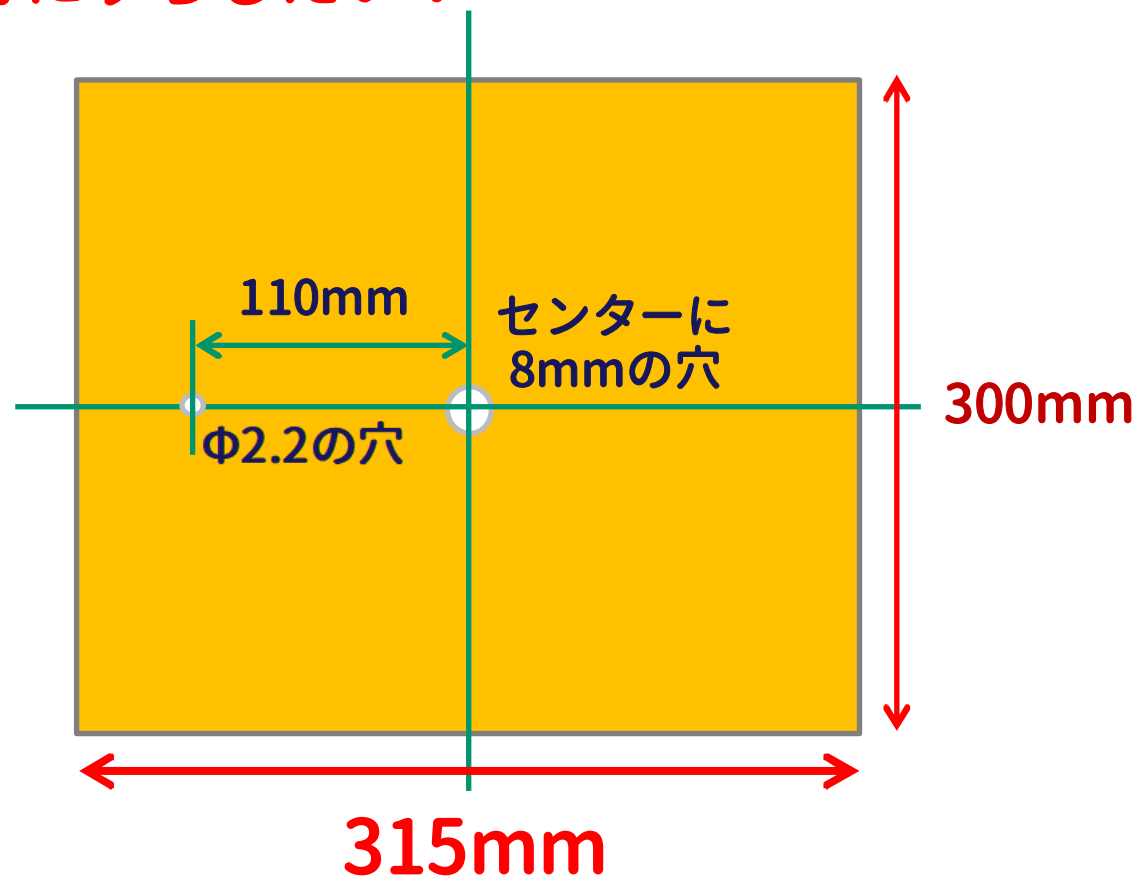


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

中心周波数 f_0 を低い方にずらしたい！

f_0 : 430MHz

穴位置は変えずに
放射器の311mm側を
両端2mm(合計4mm)
延長した板で製作
するとぴったりです。



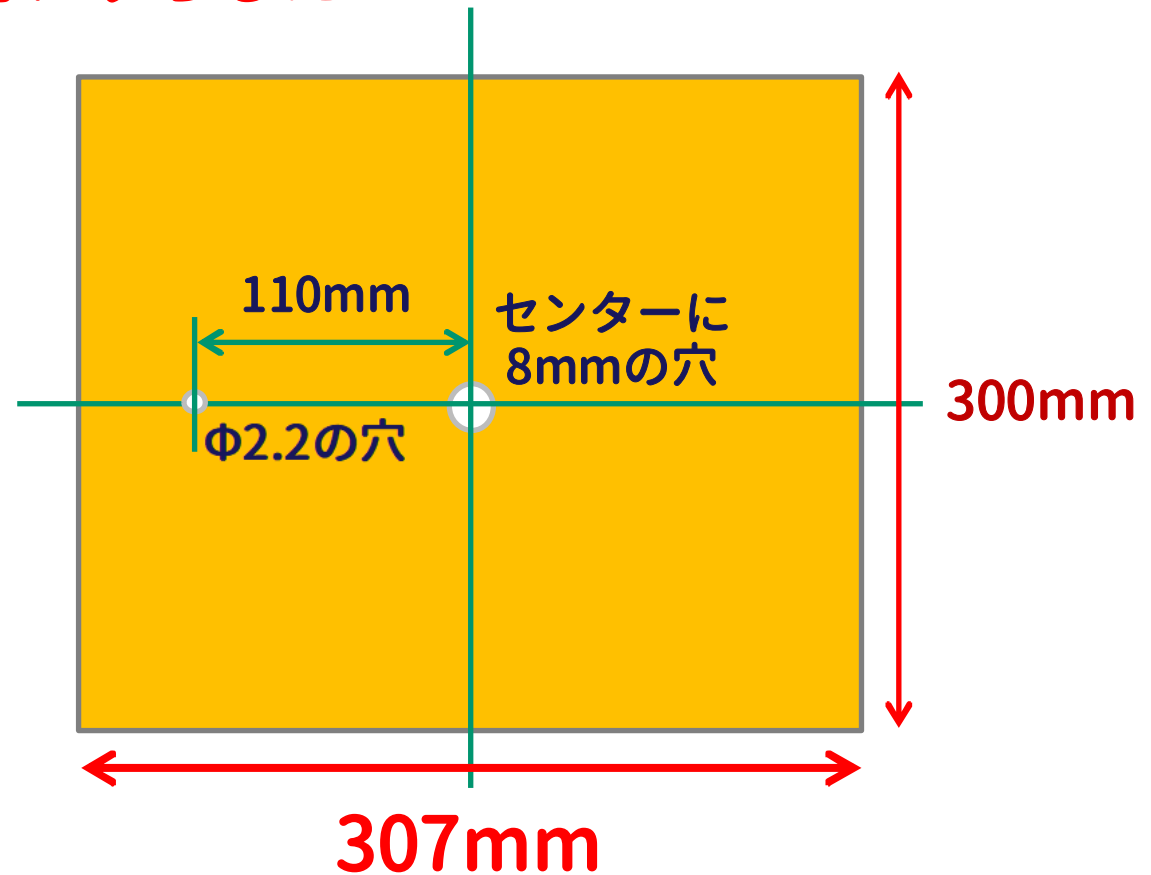


430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

中心周波数 f_0 を高い方にずらしたい！

f_0 : 440MHz

穴位置は変えずに
放射器の311mm側を
両端2mm(合計4mm)
短縮した板で製作
するとぴったりです。



430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

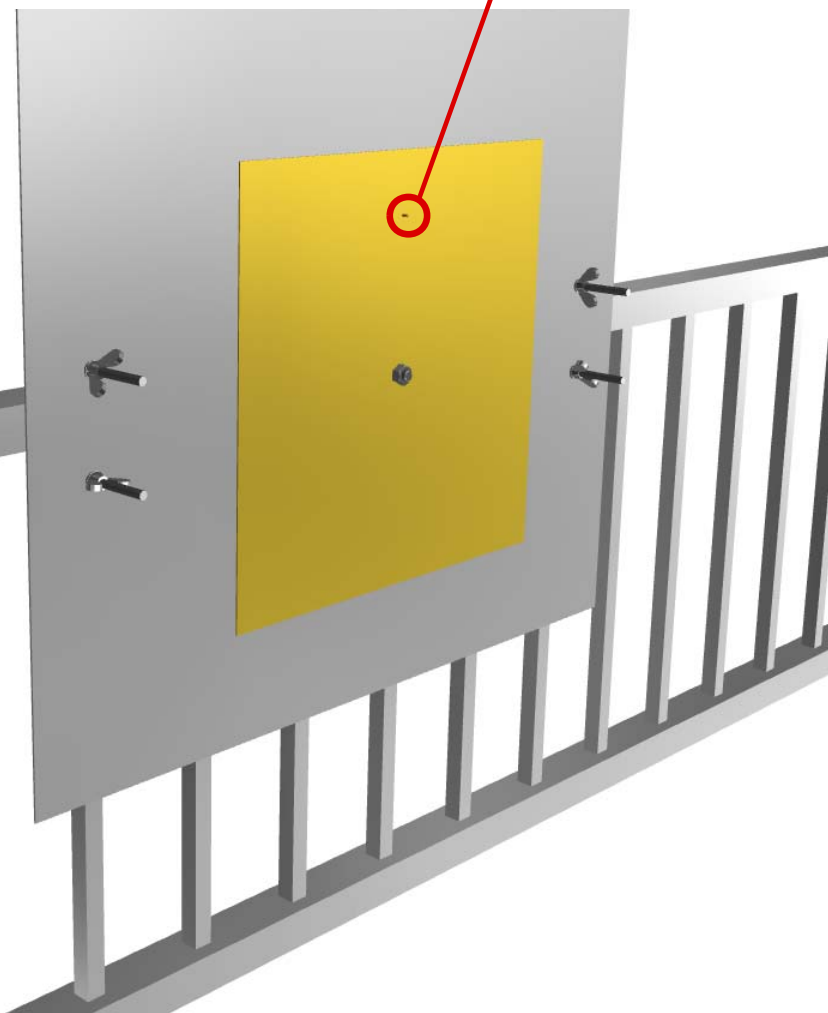
設置のための金具位置スペース

このままだと設置するための金具スペースがありません。

提案例

左右に広めの長方形地板
横600mm×縦500mmに
取付金具2式を使って
ベランダ手すりに取り付けた
イメージです。

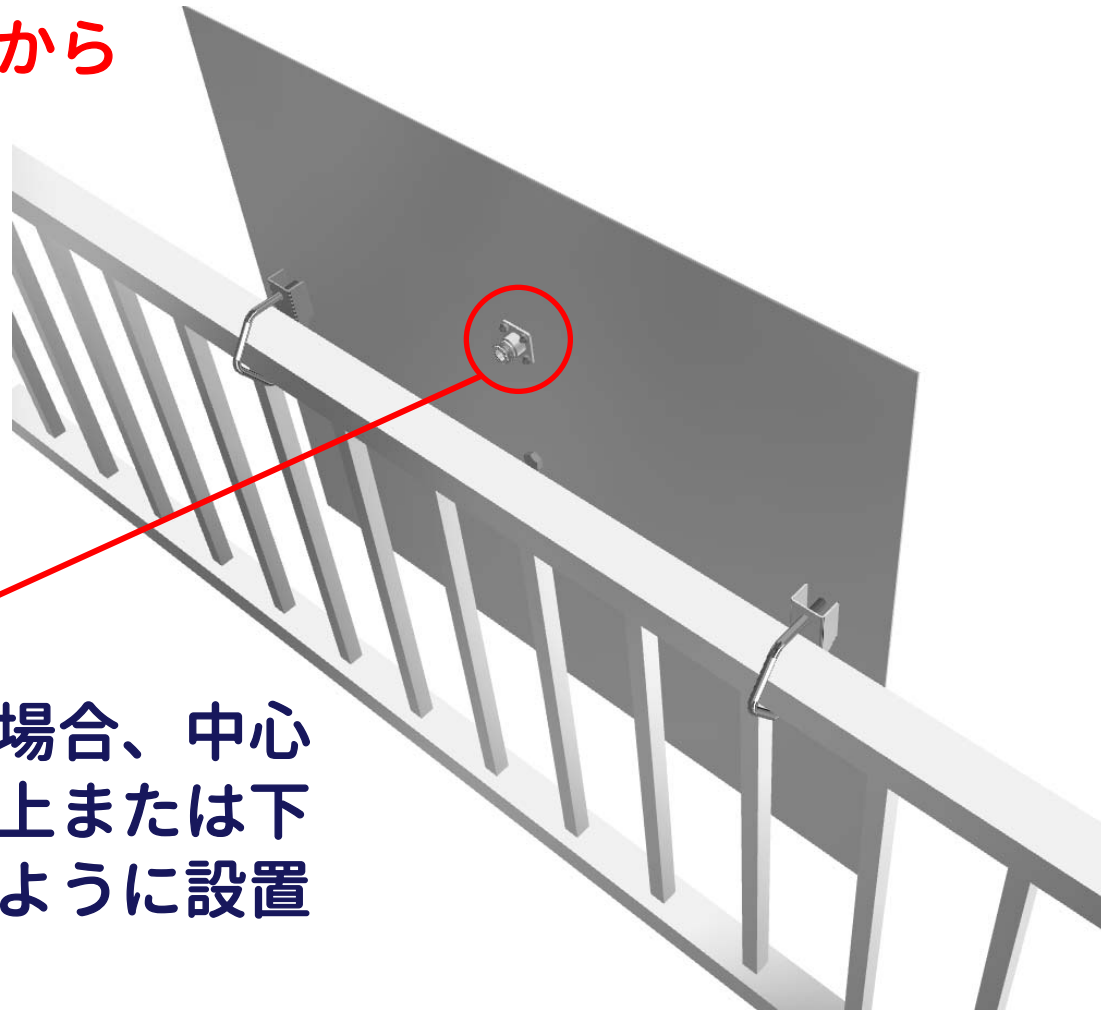
給電点





430MHz帯パッチアンテナを自作しよう！

裏面のコネクター側から
見たイメージです。



垂直偏波で使用する場合、中心のボルトに対して、上または下にコネクターがくるように設置します。



430MHz帯のアンテナを自作しよう！

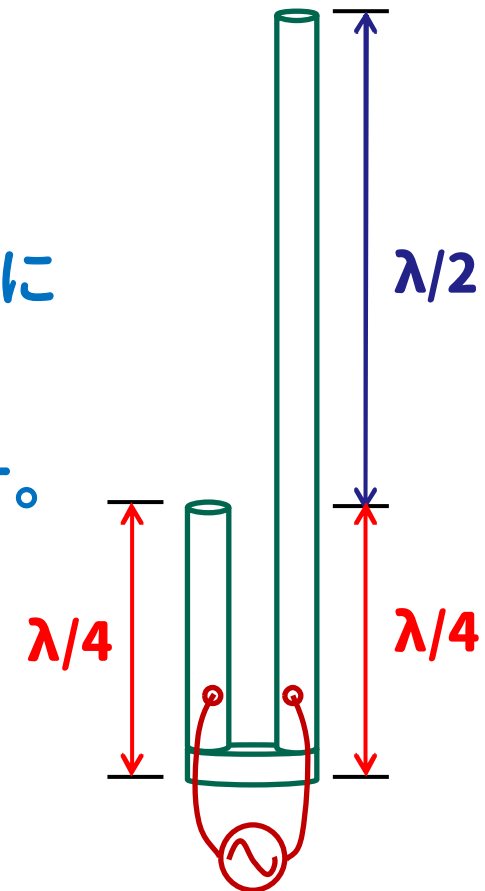
もう一つ、シンプルな構造の
J型アンテナを作ってみましょう！

430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

J型アンテナとは？

$\lambda/2 + \lambda/4$ の素子と $\lambda/4$ のトラップをJの字型に配置し、右図のような給電をすることでマッチングがとれる、シンプルなアンテナ。

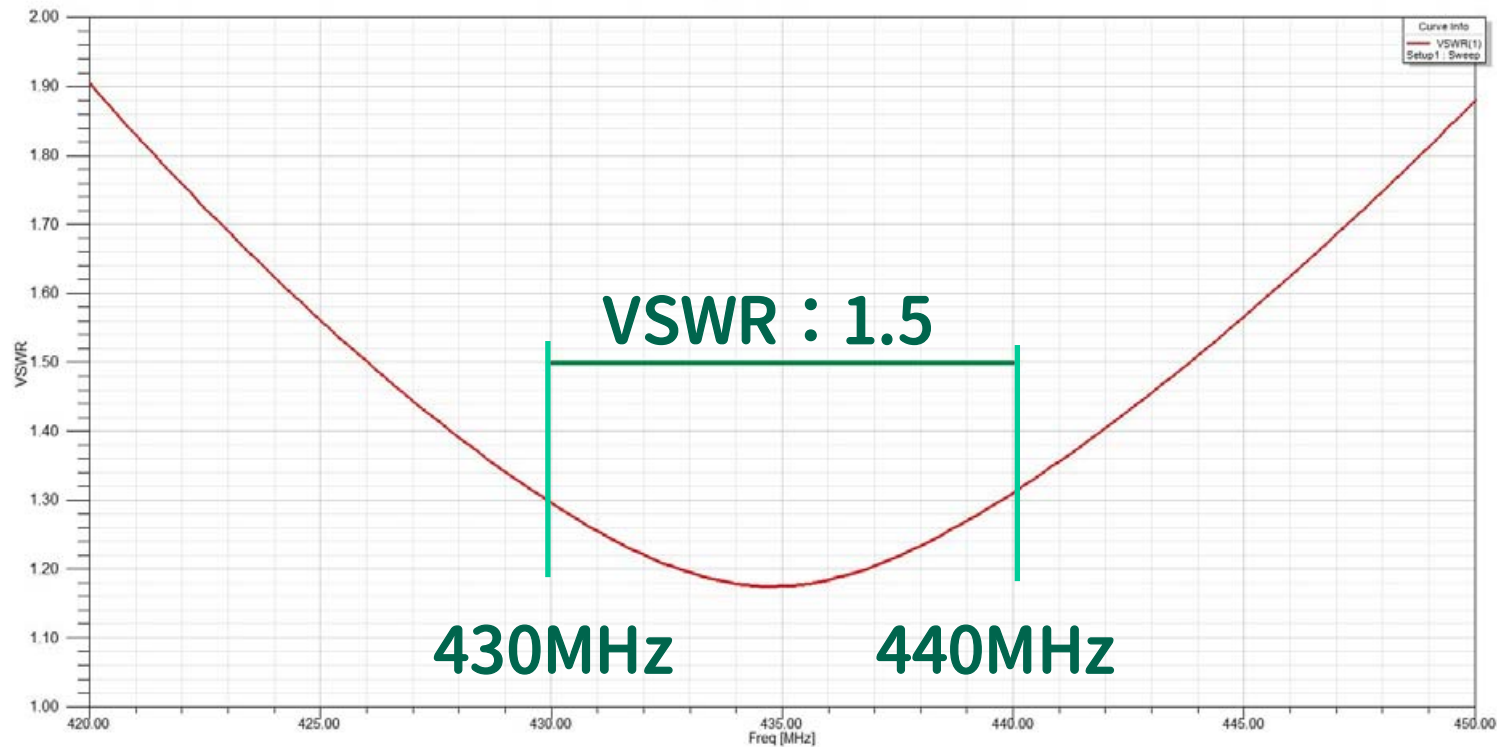
ある程度長さが合っていれば
広帯域なVSWR性能が得られ、
LCマッチング回路が不要なアンテナです。





430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

VSWRのシミュレーション結果



広帯域なVSWR特性です。



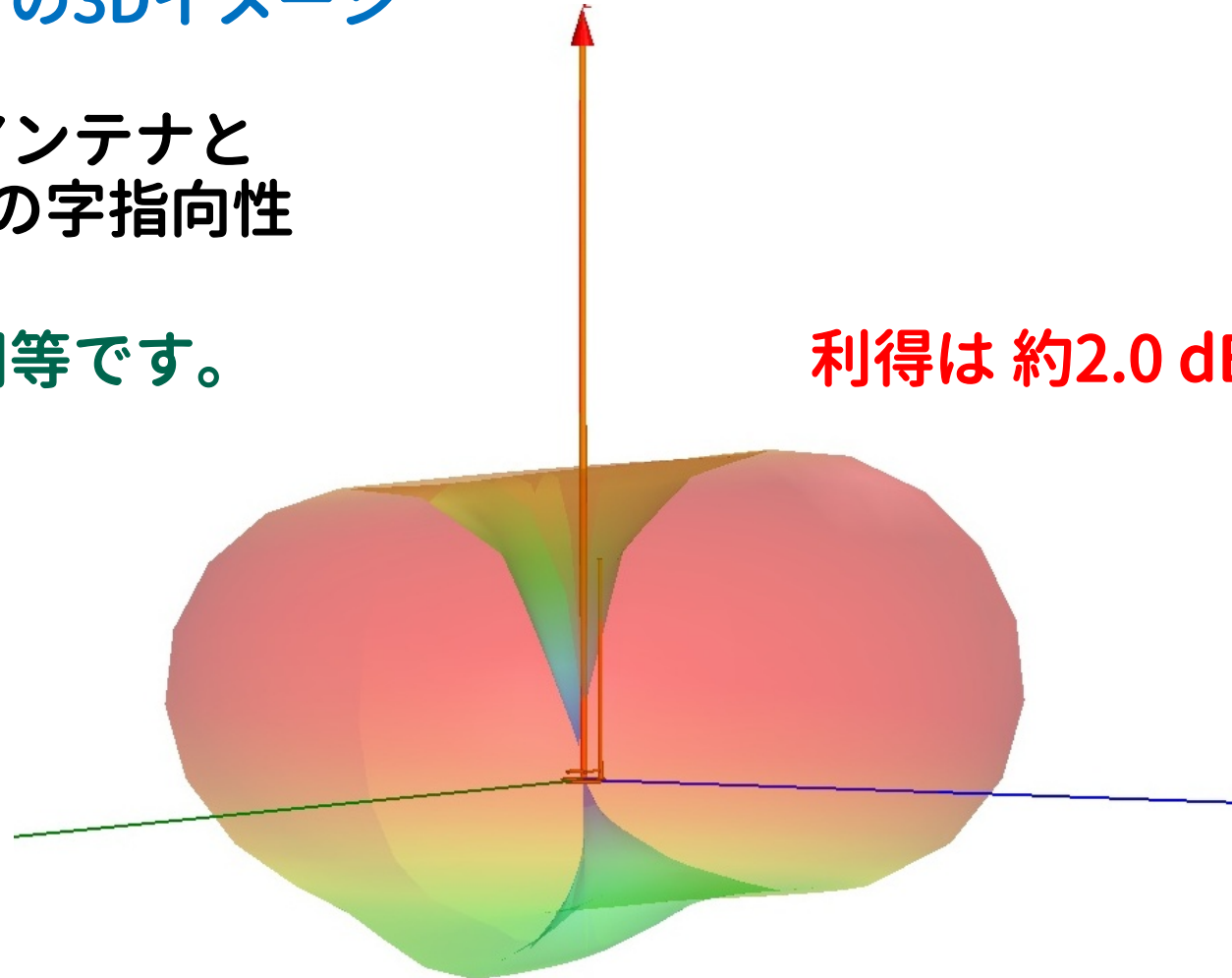
430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

放射パターンの3Dイメージ

ダイポールアンテナと
同じような8の字指向性

利得もほぼ同等です。

利得は約2.0 dBi



430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

実際に作ってみました！

Φ5×厚み1mmの真鍮管 長さ515mm

コネクタの芯線に接続



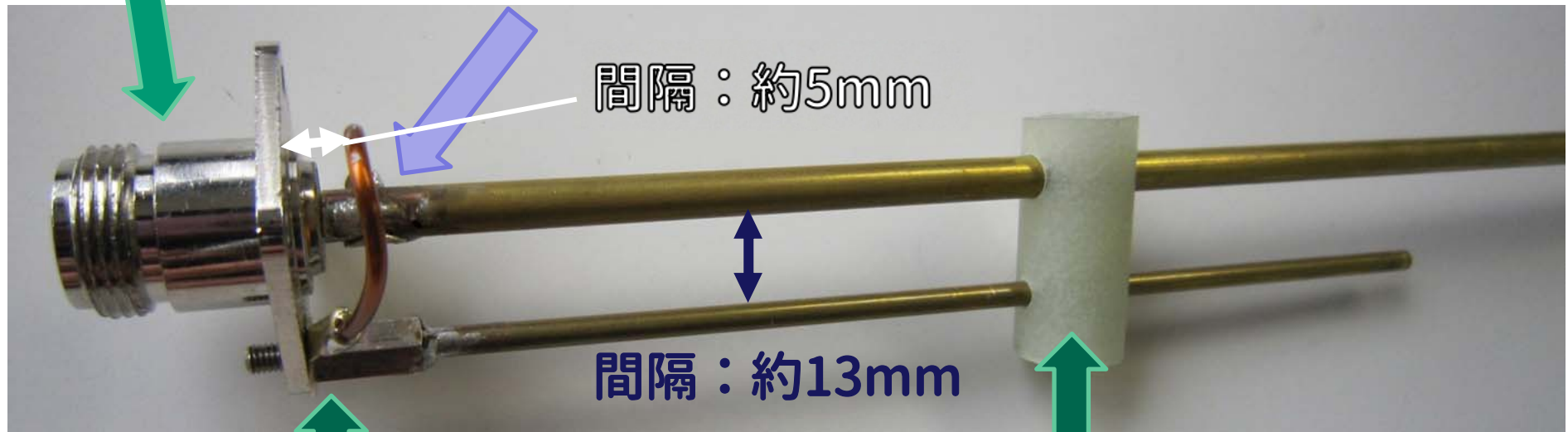
Φ3×厚み0.5mmの真鍮管
+真鍮の六角スペーサー 合計144mm

コネクタのフランジ部(GND)に
直結

430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

パッチアンテナでも使用したN-Jレセプタクル

できるだけフランジ面に近い位置で2本の棒をショートします。
今回は全長55mmのホルマル線の両端にラグ端子を使用しました。



ラグ端子は六角スペーサーと
フランジの間に入れて挟み込む

2本のパイプを平行に保つために、
FRP管に穴を開けて通しました。



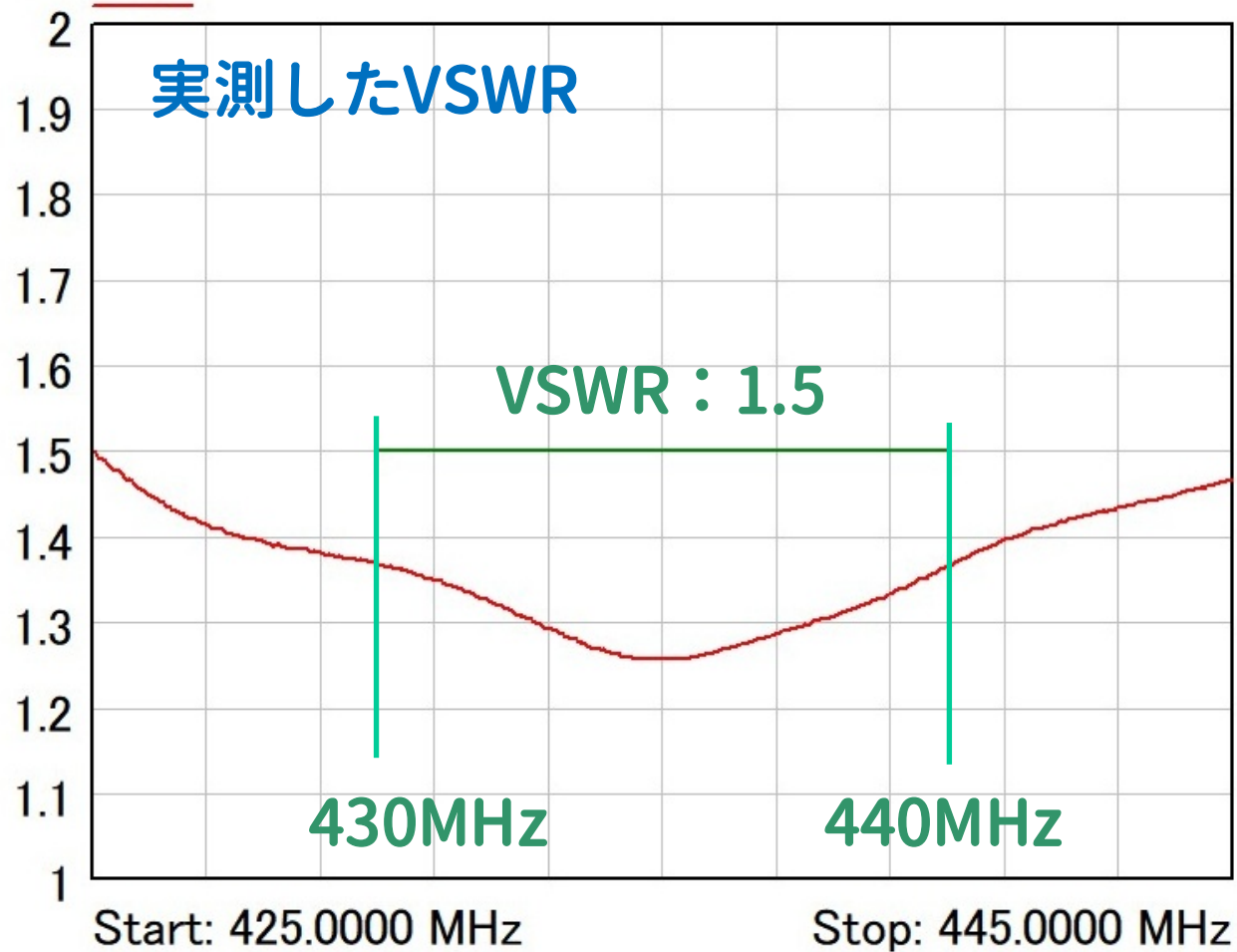
430MHz帯J型アンテナを自作しよう！



ホルマル線を軽くループさせて
芯線側の管につなぎます。

裏側ではんだ付けしています。

430MHz帯J型アンテナを自作しよう！



実測値もかなりの広帯域特性を示しています。

430MHz帯J型アンテナを自作しよう！

設置方法の提案

コネクタを下向きにしている
ので、このような曲げ板金具を
作って設置してみました。

試作してみたところ、金具の大きさ
によって特性値が変化します。

同軸ケーブルにフェライトコアを通
したりして、SWRを安定させた方が
良さそうです。





アンテナアナライザーの機能説明と 試作したアンテナの測定



アンテナアナライザーで測定してみよう！

今度は、この製作したアンテナをアンテナアナライザーで測定してみます。

アンテナアナライザーで何ができるのか？

測定系(アンテナやフィルター等)のSWRとインピーダンスを測定できる

自作したアンテナを手早く測定できるツールです。



コメット(株) 製
CAA-500 MarkII



アンテナアナライザーで測定してみよう！

通過型SWR計との違い・特長

| | 通過型SWR計 | アンテナ アナライザー |
|---------|----------------------------|---|
| 測定できる項目 | 入力電力・反射電力 SWR | SWR インピーダンス |
| 周波数範囲 | 1.8～200MHz 140～500MHz 等 | 1.8～500MHz (連続) 帯域内であれば業務用 無線の周波数にも対応 |
| 持ち運び | 大変(無線機とペアが必須) | 単独で持ち運び可能 |
| 運用中の確認 | つなぎ直さずにリアル タイムで確認可能 | 確認後に切り離す必要が あるのでリアルタイム確 認ができない |



アンテナアナライザーで測定してみよう！

測定の方法

- ①アンテナまたは接続されている同軸ケーブルのコネクターにつなげる。
- ②測定したい周波数帯周辺をスイープさせて、SWRの値を見る。

というのが主な使い方です。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

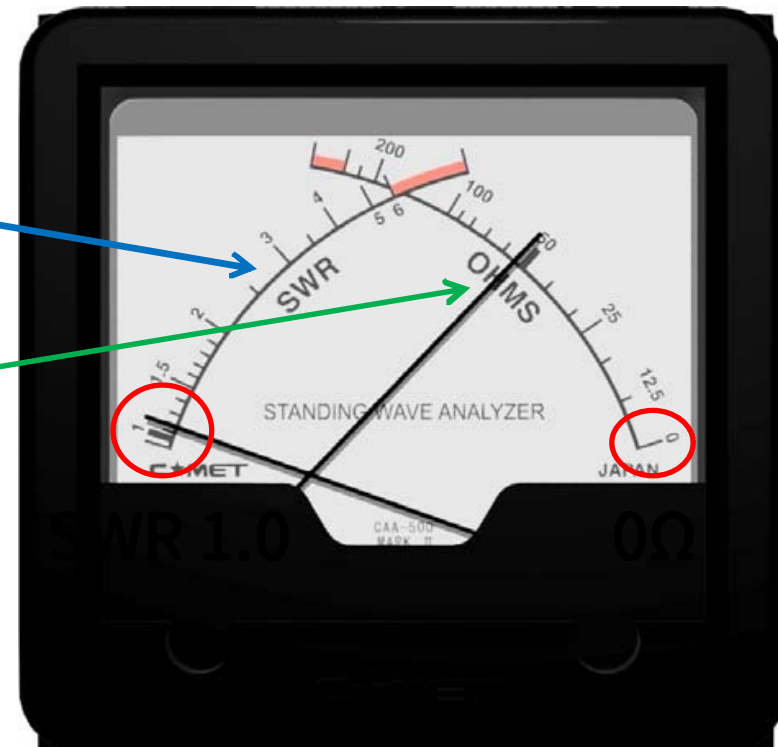
クロスメーターの見方

左がSWR

左下がSWR 1.0
右上がSWR 6以上

右がインピーダンス
を指します。

右下が 0Ω
左上が 200Ω 以上



きちんと整合されたアンテナを
共振周波数で測定するとSWR=1、 50Ω 付近を指します。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

※UHF帯では、回路内の測定点からコネクターまでの線路長の影響や浮遊容量の影響でSWRが1.0まで下がらないことがあります。

アンテナによっては、 50Ω を指しているにもかかわらず、SWRが悪い場合があります。





アンテナアナライザーで測定してみよう！

インピーダンスが50Ωを指していてもSWRが悪いのはなぜ？

インピーダンスの絶対値 $|Z|$ の式は

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

R : 抵抗
X : リアクタンス

のため、リアクタンス成分があっても50Ωになる場合があります。

リアクタンス成分が多いとSWRは良くなりません。

SWRを1.0に近づけるには、レジスタンスRを50Ω、リアクタンスXを0Ωに近づける必要があります。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

アンテナを測定するときは、アナライザーはどの測定点がいいの？

● GPアンテナ系

アンテナ直下が理想的。

理由：ケーブル込みで測定して数値が良くない場合、アンテナなのか同軸ケーブルの影響なのかの見極めが難しいため。

ただし、信頼性の高い同軸ケーブルを使用している場合は、ケーブル込みでも許容できます。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

アンテナを測定するときは、アナライザーはどの測定点がいいの？

■ モービルアンテナ系

ケーブルを配線して、運用形態に近い状態を推奨。

→ ケーブルの特性込みの値になってしまうが、接地が必要なアンテナが多いため

◆ ハンディーアンテナ系

筐体の影響によって特性値が変化するので、あくまで参考程度とする。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

同軸ケーブルによる影響について

同軸ケーブルの特性インピーダンスは3D-2V, 5D-FB等で50Ωとされていますが、同軸コネクタの精度やケーブルアセンブリの正確性で誤差が生じると、周波数が高くなるにつれて50Ωからどんどんずれてくる特性となります。



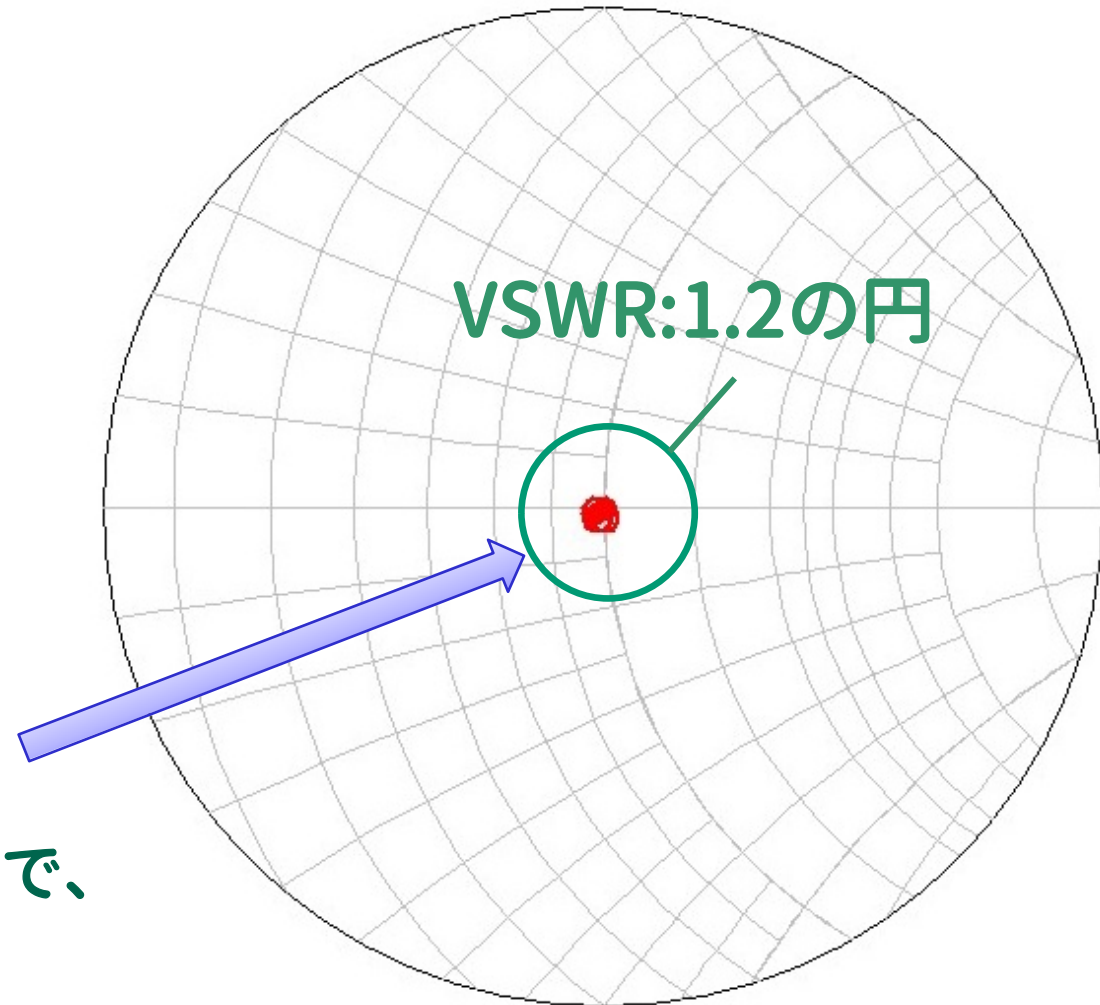
アンテナアナライザーで測定してみよう！

高品質なコネクタと
同軸ケーブルの特性

例：5D-2W + N-P × 2

測定帯域：
500kHz～1GHz

スミスチャートの中心
50+j0 [Ω]の点付近で
小さくまとまっているので、
VSWRが広帯域で良好





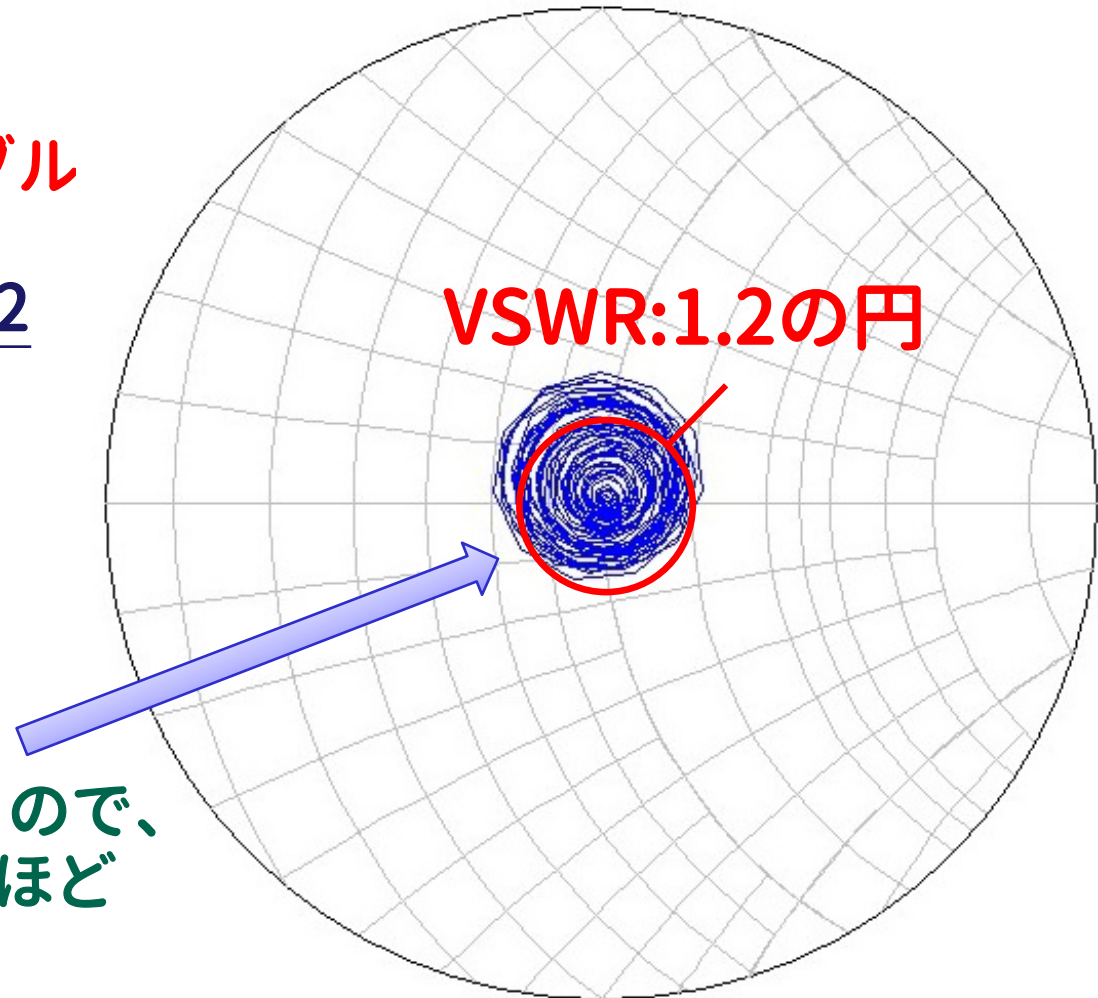
アンテナアナライザーで測定してみよう！

精度が低い
コネクタと同軸ケーブル

例：RG-58A/U+ ML-J ×2

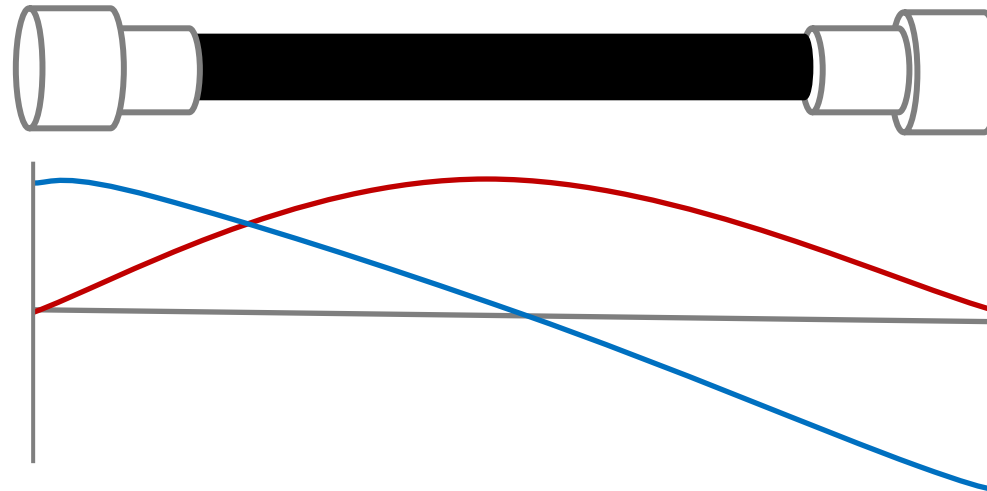
測定帯域：
500kHz～1GHz

スミスチャートの中心
50+j0 [Ω]の点付近から
渦巻き状に広がっていくので、
VSWRが高周波帯になるほど
悪化する



アンテナアナライザーで測定してみよう！

測定するケーブルの長さは好きな長さでいいの？
理想的なのは、 $\lambda/2$ の整数倍($\lambda/2$ 、 1λ 、 $3\lambda/2$ 、 \dots)の長さ



$\lambda/2$ 波の同軸ケーブルの電流・電圧分布例

$\lambda/2$ の整数倍($\lambda/2$ 、 1λ 、 $3\lambda/2$ 、 2λ 、 \dots)だと両端のインピーダンスがほぼ同じになり、ケーブルによるインピーダンスの変化・影響をかなり取り除くことができます。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

実際にケーブルを作ってみました。

435MHz $3\lambda/2$ (約700mm) 3D-2V 両端NP-NP





アンテナアナライザーで測定してみよう！

同軸ケーブルでは、芯線の外側にポリエチレン等の絶縁体があるため、 1λ の長さが空気中と異なります。

この同軸ケーブルでの波長を「電気長」といい、同軸ケーブルの構造によって決まる「波長短縮率」を掛けることによって同軸ケーブルでの 1λ が決まります。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

■例えば、3D-2Vの波長短縮率は約67%ですので、

1λの電気長は $300/435 \times 1000 \times 0.67 = 462.1\text{mm}$

3λ/2の電気長は $300/435 \times 1000 \times 0.67 \times 1.5 = \underline{693.1\text{mm}}$

という計算になります。

※5D-FB, 8D-FBの波長短縮率は約80%なので注意してください。

●144MHz帯は、430MHz帯のほぼ3倍の波長に当たるため、

1.4m の長さで同軸ケーブルを用意すると、

144MHz帯 : 1λ , 430MHz帯 : 3λ のケーブルとなり、

両方のバンドで測定するのに役立ちます。



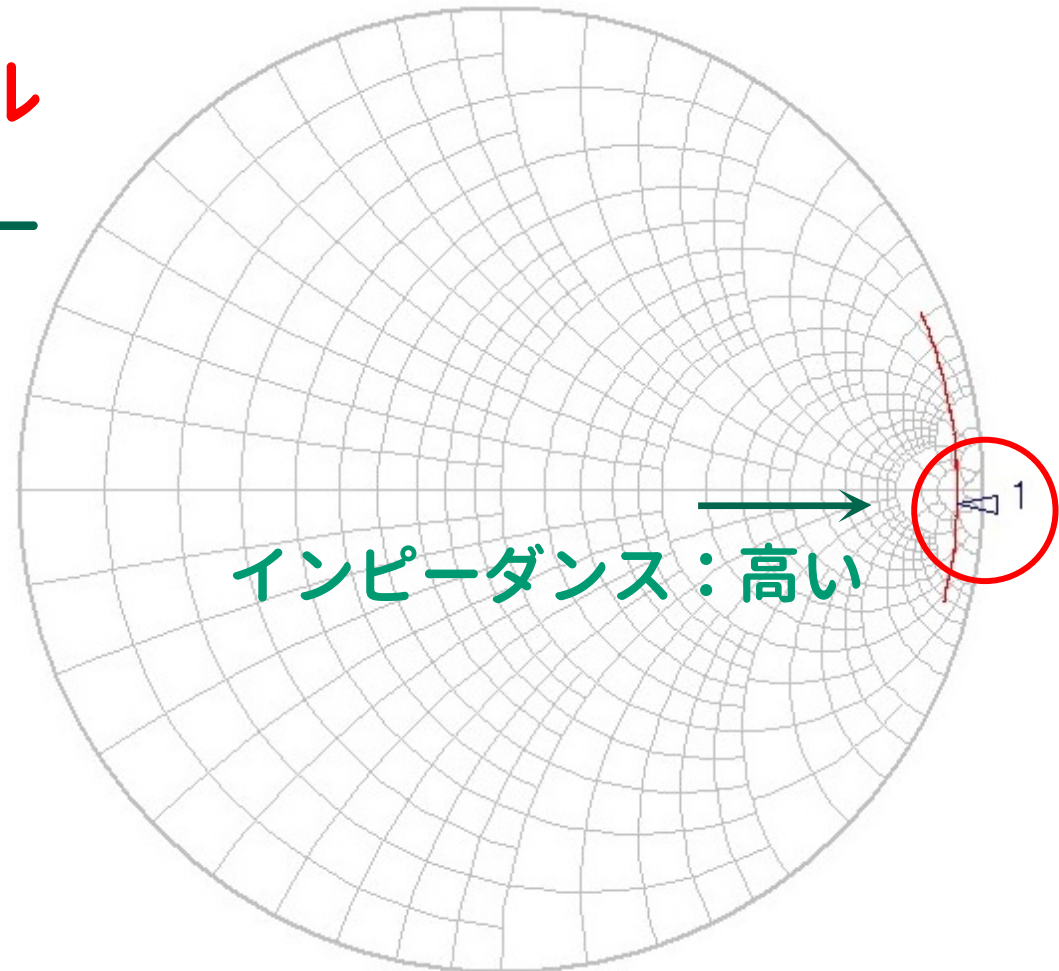
アンテナアナライザーで測定してみよう！

435MHz 3λ/2 ケーブル

ネットワークアナライザー
でスミスチャート測定

終端開放状態で見ると、
インピーダンスが
非常に高い状態です。

(理想に近い状態)

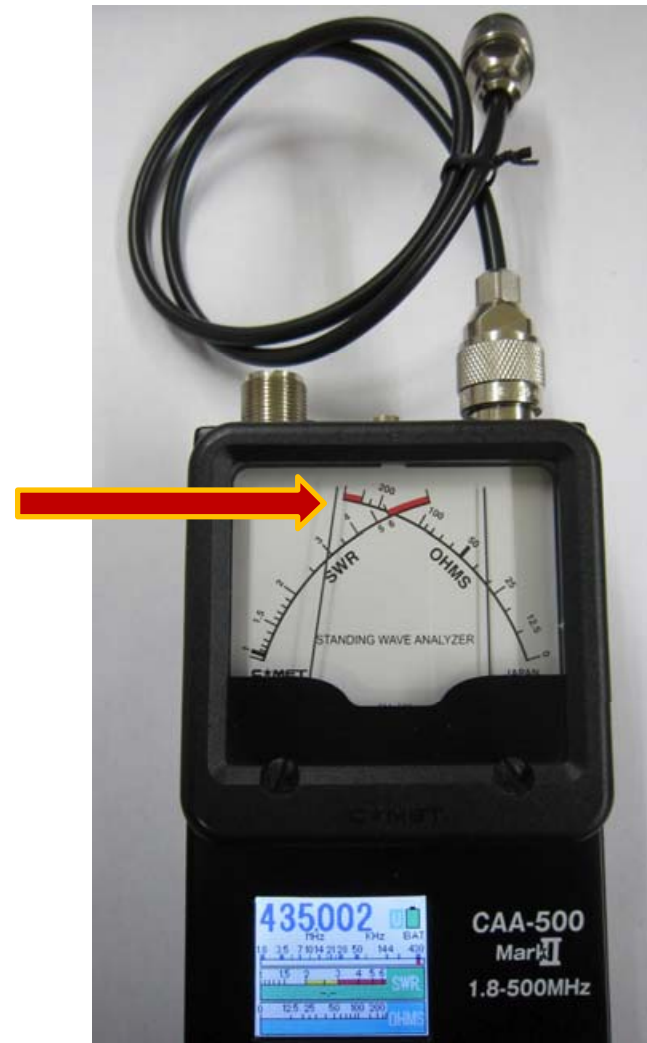




アンテナアナライザーで測定してみよう！

435MHz 3λ/2 ケーブル

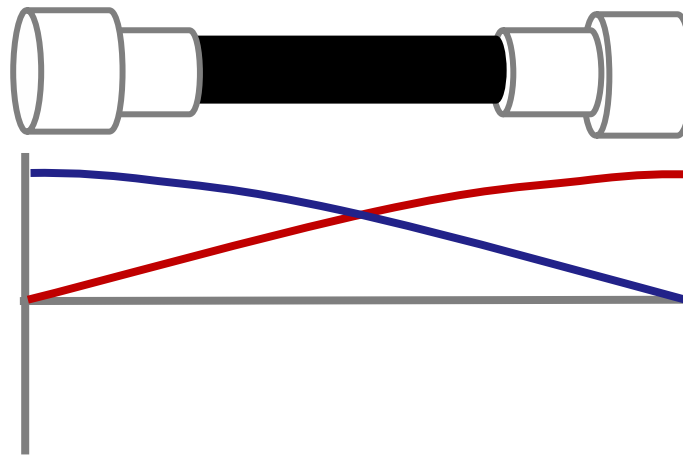
アナライザーに同じく終端開放で接続すると、インピーダンス表示は **300Ω** を超えて振り切れた高い値を示しています。





アンテナアナライザーで測定してみよう！

$\lambda/4$ の同軸ケーブルの電流・電圧分布例



電流と電圧の腹が両端で入れ替わるため、両端でのインピーダンスは異なる値を示します。

$\lambda/4$ の奇数倍 ($\lambda/4$ 、 $3\lambda/4$ 、 $5\lambda/4$ 、 $7\lambda/4$ …)周期でこの状態になる



アンテナアナライザーで測定してみよう！

実際にケーブルを作ってみました。

435MHz $7\lambda/4$ (約810mm) 3D-2V 両端NP-NP



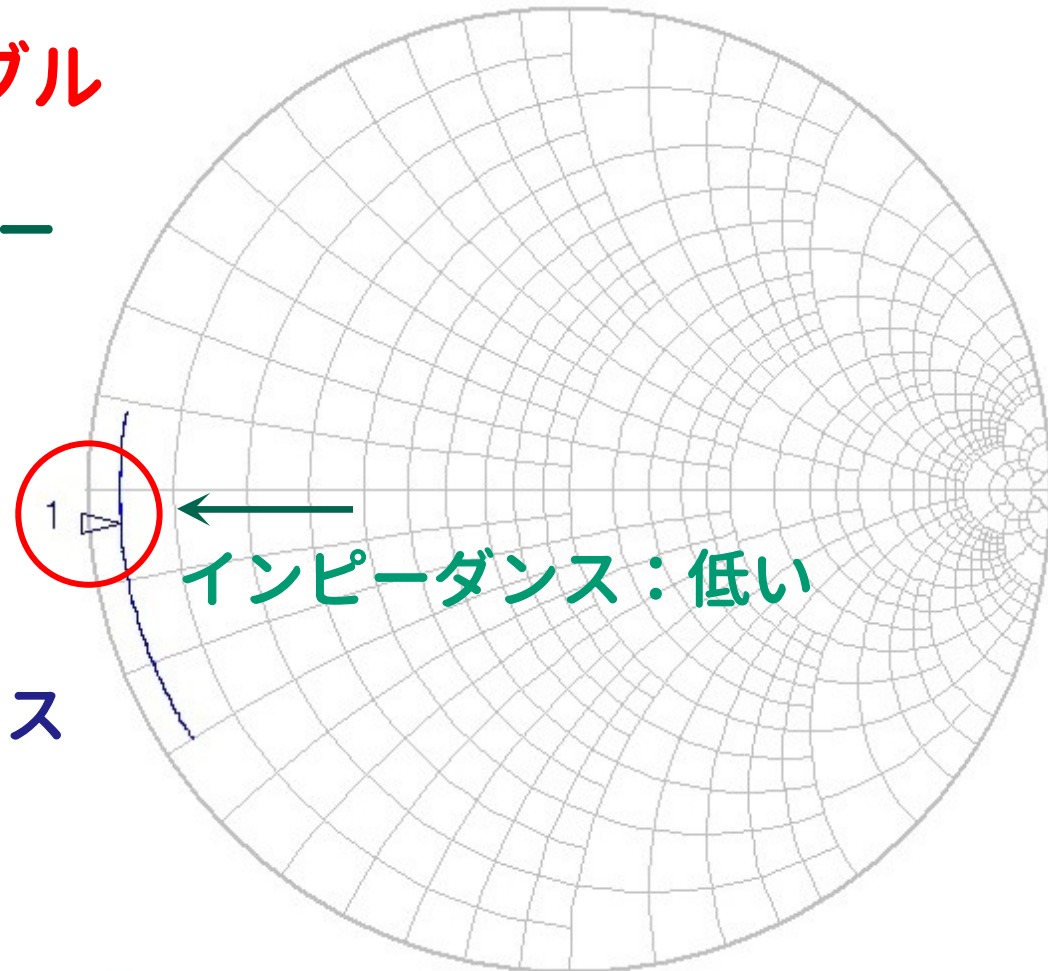


アンテナアナライザーで測定してみよう！

435MHz 7λ/4 ケーブル

ネットワークアナライザー
でスミスチャート測定

終端開放状態で見ると、
左側の低いインピーダンス
方向にきています。

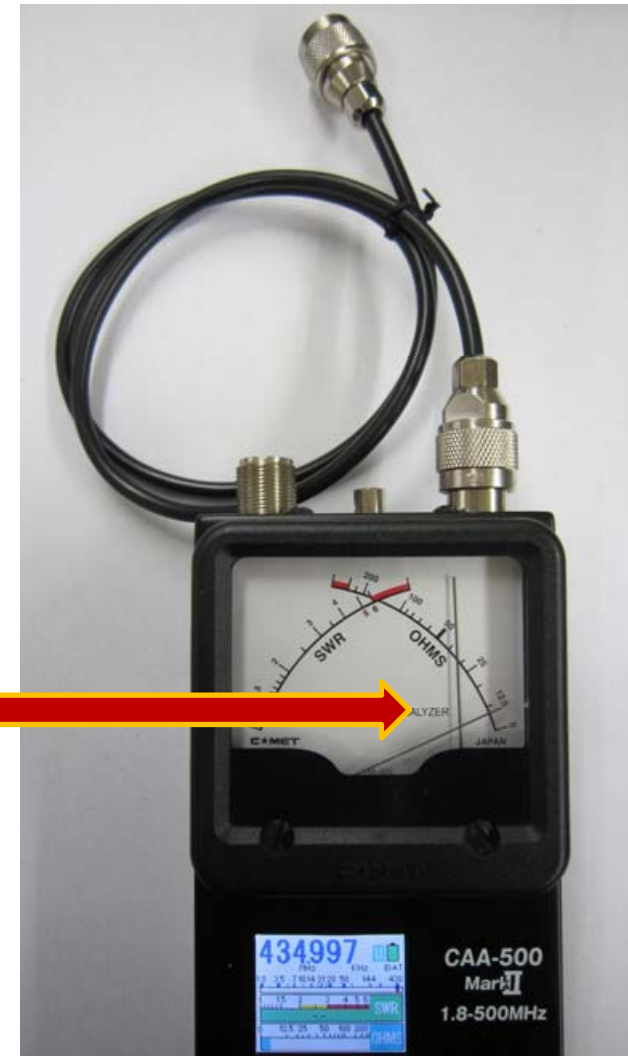




アンテナアナライザーで測定してみよう！

435MHz 7λ/4 ケーブル

アナライザーに同じく終端開放で接続すると、インピーダンス表示は **0Ω** に近い値を示しています。

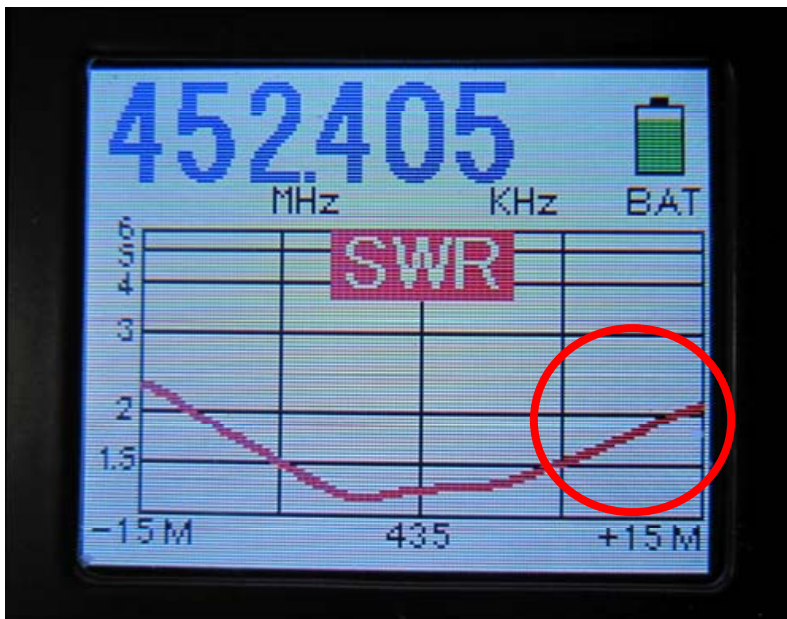




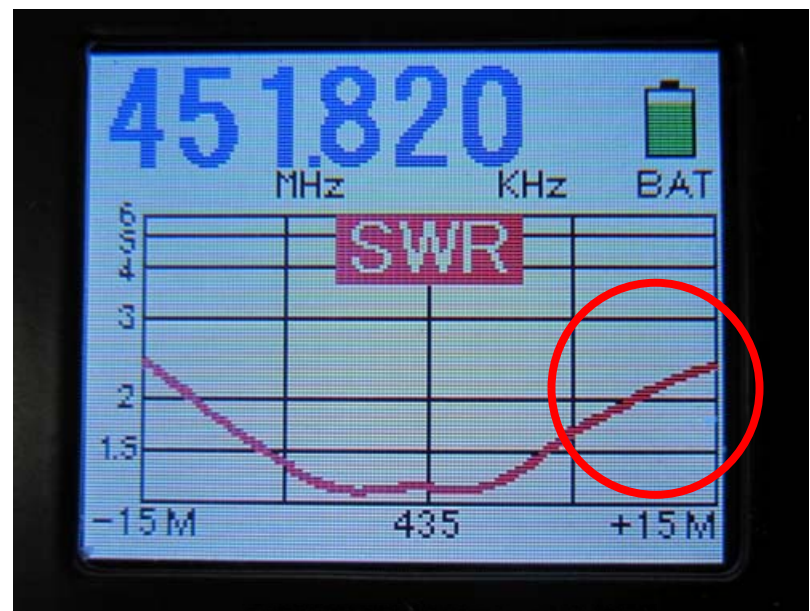
アンテナアナライザーで測定してみよう！

両方のケーブルで試作したパッチアンテナを測定してみます。

アナライザーの自動スイープ機能を使った波形です



7λ/4 ケーブル



3λ/2 ケーブル

高めの周波数帯で波形に違いが生じています。

アンテナアナライザーで測定してみよう！

foより少し高い周波数での違いを見てみます。



7λ/4 ケーブル
439.5MHz



3λ/2 ケーブル
439.5MHz

VSWRの値に大きな違いは無いですが、インピーダンスが異なっています。

アンテナアナライザーで測定してみよう！

両方のケーブルでJ型アンテナを測定してみます。

7λ/4
ケーブル



3λ/2
ケーブル



パッチアンテナと同様に、VSWRの値に大きな違いは無いですが、インピーダンスが異なります。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

この結果から、VSWRが1.0に近いアンテナを測定した場合は $\lambda/4$ 長でもあまり気にせずに測定ができそうですが、例えばVSWRが少し悪い周波数帯で、 $Z1: 75\Omega$ を表示しているアンテナを $\lambda/4$ 長のケーブルで測定すると、 $Z2: 33.3\Omega$ を示すことになり、これは大きな誤差になります。

計算式 $Z2 = 50^2 / Z1 = 33.3[\Omega]$

こういったアンテナを測定する場合は、ケーブル長に配慮する必要があります。



アンテナアナライザーで測定してみよう！

今回紹介したアンテナにはL,Cのマッチング回路がありませんが、L,Cのマッチング回路がある場合、ケーブル長によるインピーダンスの変化によってリアクタンスが誘導性か容量性かがわかりにくくなり、調整を難しくさせる可能性があります。

ケーブルが $\lambda/2$ の整数倍かどうかを簡易的に確認する方法として、先に示したようにアナライザーに終端開放で接続し、インピーダンスの値を確認することをおすすめします。



まとめ1

シンプルな構造かつ手に入れやすい材料で
430MHz帯のアンテナを作ってみました。

今回紹介したアンテナは簡易的な作り方で紹介しましたが、しっかり強度を持たせて作れば、移動運用やアパマン運用でも使えそうなアンテナだと思います。



まとめ2

アンテナアナライザーは、こういった自作時にSWRの確認が容易になって便利です。

試行錯誤することで完成したアンテナは、より愛着がわいたものになるかも？

ケーブルの長さで周期的に特性が変化することを理解していると、より理想に近い状態で測定できると思います。



最後に



加工する際は、バリやエッジで怪我を
しないよう、十分注意して作業しましょう。

今回公開したアンテナの寸法値は、あくまで参考値
です。寸法値通りに製作したときの性能を保証する
ものではありませんのでご了承ください。



おしまい

JAIA

ご清聴ありがとうございました。