

# Practical Measurement of Phase Center フェーズ・センタの実践的測定 武安義幸 / JA6XKQ

災い転じて、、、？

パッチ・フィードの輻射パターン測定での失敗からフェーズ・センタ(Phase Center : 位相中心)の実測方法を思いつきました。Paul Wade / W1GHZ のシミュレーションを用いた解説等でフェーズ・センタの概念は理解しているつもり、、、しかし、それを実測するなど思いもよりませんでした。というのも、フェーズ・セ

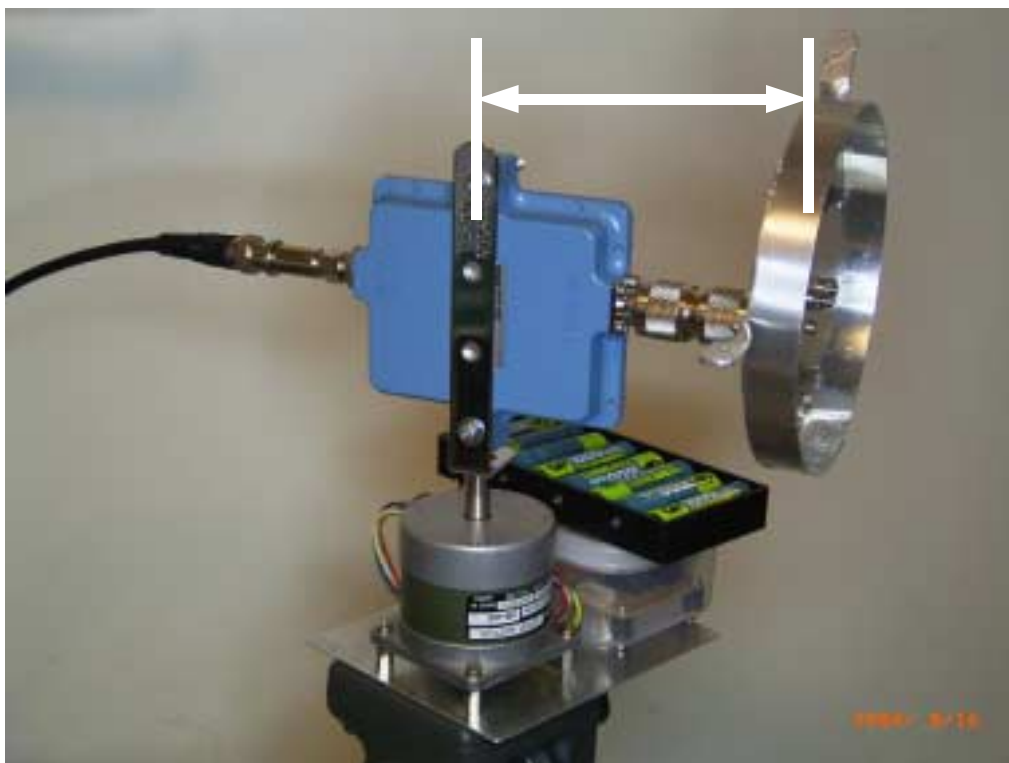


写真-1 : オフセットつけて、アンテナをまわす

(C) 2004 Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ンタに関する文献を調べてみると、プロフェッショナルな世界では、ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA) を用いて直接的に位相を測定することでフェーズ・センタを決定しており、測定器に限りのあるアマチュアには実測は無縁と思っていました。最近では VNA を所有するアマチュアも増えてきましたが、フィードのフェーズ・センタを実測したというのは寡聞にして知りません。パラボラ・アンテナの焦点調整の結果から、間接的にフィードのフェーズ・センタを推定しているのが専らであり、また、本来の目的からしても、それで十分です。(ここでは、パラボラ・アンテナの各要素を分析して、その積み上げで総合特性を評価したいという好奇心でドライブされていますので、本末転倒な部分があります)

パッチ・フィードの輻射パターン測定での失敗を分析すると、回転軸からフェーズ・センタがオフセットしているために、測定の主波と反射波の合成がアンテナの回転とともに変化して、輻射パターンにノッチを生じることが判りました。これを逆手にとって、フェーズ・センタの位置を間接的に測定しようというのが、本稿によるアイデアです。

本稿では実測の前準備として、アイデアの有効性と測定に要するパラメータの検討を行ないます。

## 測定原理

測定原理についてキーワードを挙げると、「二波干渉」や「干渉計」となるでしょう。あるいは、光学的なアナロジーでは、「ハルトマン・マスク(Hartmann Mask)を用いた望遠鏡の焦点合わせ

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

(Focusing)」。光学的なアナロジーについては後述します。

フィードの輻射パターン測定での「二波干渉」の様子を 図-1 に示します。フェーズ・センタが回転軸からずれているため、主波と反射波の経路長が、被測定アンテナの回転に伴って変化します。このため、主波と反射波間の位相が変化して、合成値、すなわち受信レベルが(被測定アンテナ自身の指向特性とは別要素として)変化します。この様子を 図-2 に示します。主波と反射波が逆相になると、合成波は最小となります。この最小となる回転角度は、フェーズ・センタのオフセット量の(反射体の位置が固定で、既知であれば)関数となります。

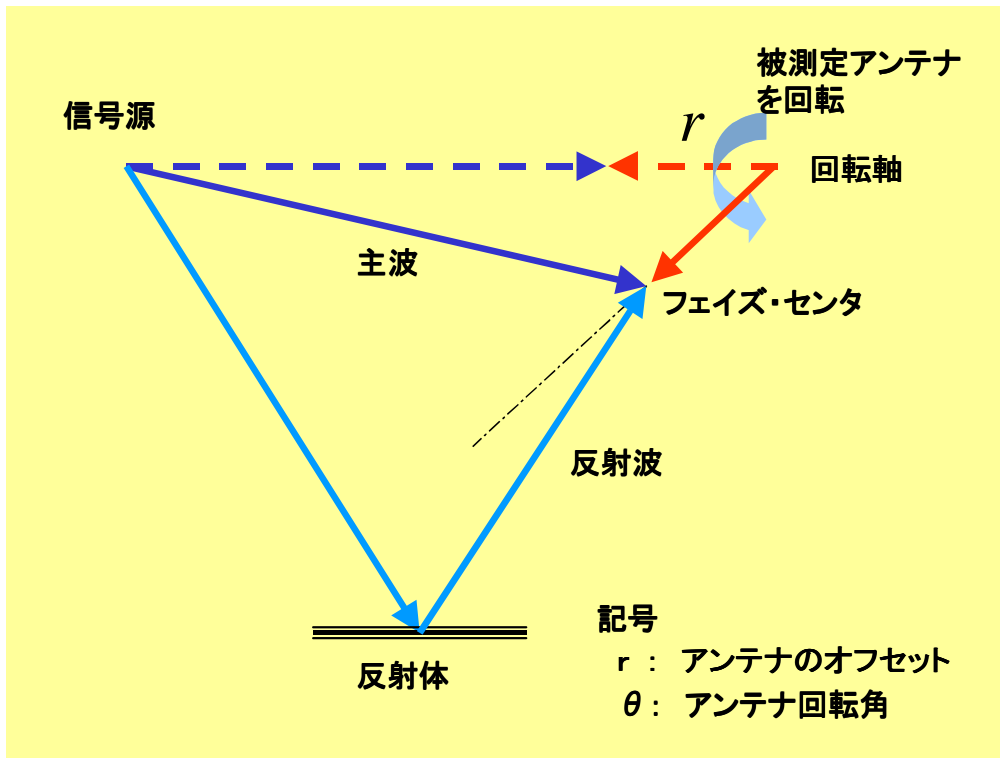


図-1 : 輻射パターン測定における「二波干渉」

(C) 2004 Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

この関係を逆手に取り、合成波レベルが最小となる角度からオフセット量を算出し、フェーズ・センタを決定しようというのが本稿のアイデアです。

図-1 では反射体とそれによる反射波という不確定要素を含んでいましたので、それを既知の信号源に置換したものが、図-3 に示す測定のセットアップです。

図-3 において、点 A と点 B には一つの信号源から同相分配された無指向性のアンテナ(2台)を、 $2b$  の間隔をもって設置します。点 E は被測定アンテナの回転軸であり、CE 間のオフセット(これが求める未知量)が付いています。信号源と回転軸間の距離を  $a$  とします。図-3 は、被測定アンテナと信号源が正対した状態から角度  $\theta$  だけ回転した状態を示しており、 $a$ 、 $b$  及び  $\theta$  が既知量です。

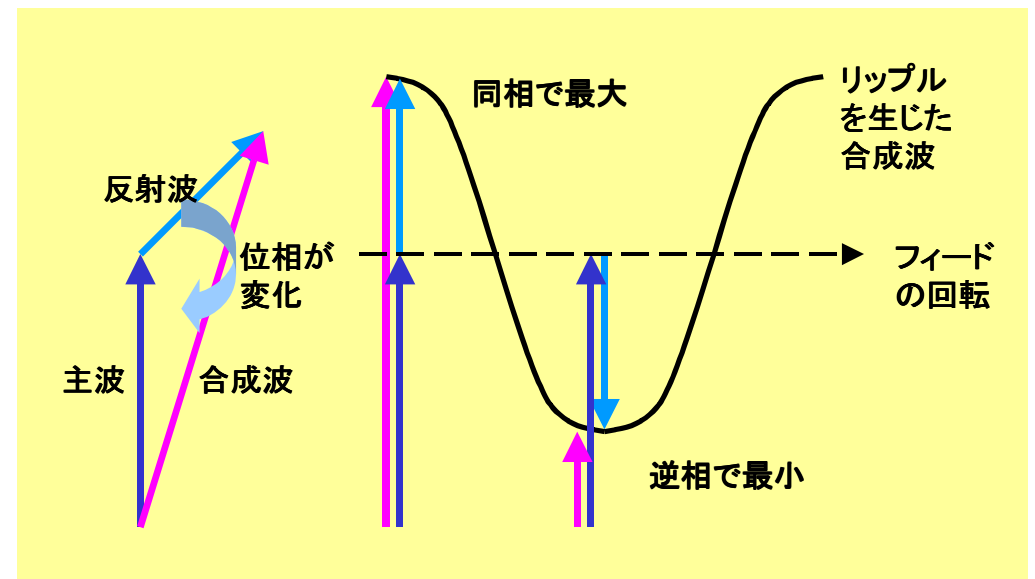


図-2 : 「二波干渉」の合成波

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

まずは、被測定アンテナを回転させると合成波のレベルがどのように変化するのかを計算してみます。計算の過程は次のようになります。

- ◆ 信号源  $A$  と  $B$  からフェーズ・センタ  $C$  までの距離  $R1$  と  $R2$  を求める
- ◆  $R1$  と  $R2$  の経路差を求め、位相差  $\phi$  に換算する
- ◆ 位相差  $\phi$  の二つの信号を合成する

距離  $R1$  と  $R2$  は、三角形  $ACD$  と  $BCD$  に着目して求めます。

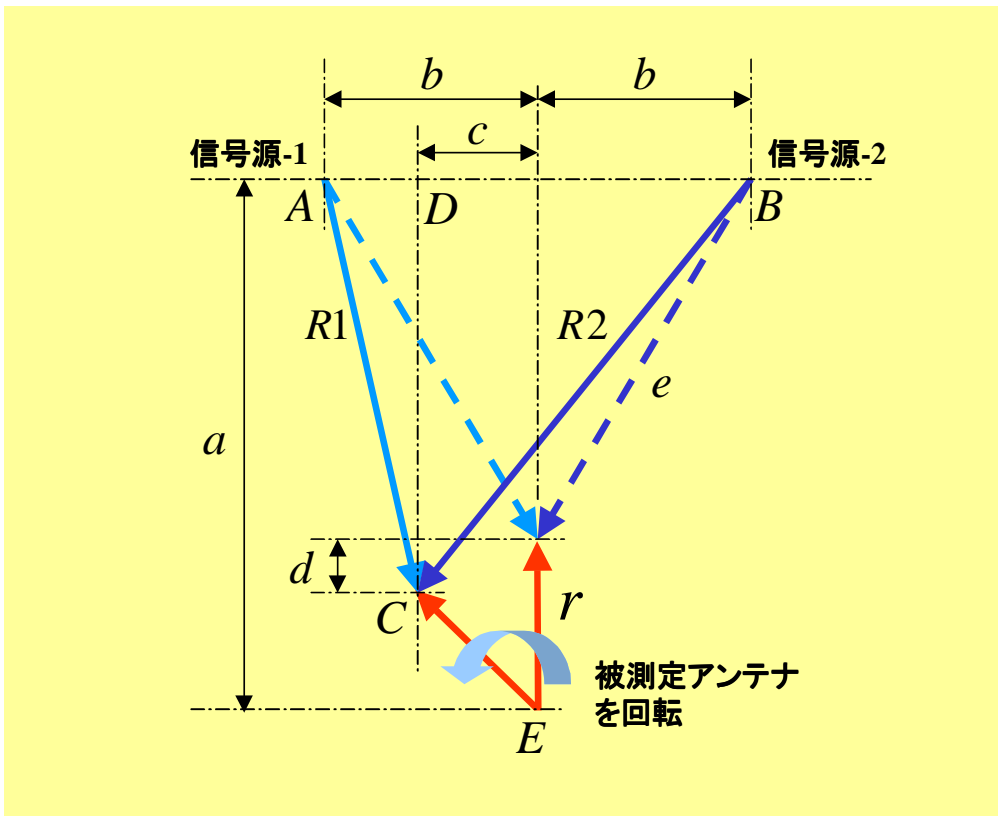


図-3 : 測定セットアップ

$$R1 = \sqrt{(b - c)^2 + (a - r + d)^2}$$

$$R2 = \sqrt{(b + c)^2 + (a - r + d)^2}$$

ここで、

$$c = r \cdot \sin \theta$$

$$d = r - r \cdot \cos \theta$$

したがって、 $R1$  と  $R2$  の経路差  $\Delta R$  は、

$$\Delta R = R2 - R1$$

この経路差を位相差  $\phi$  に換算すると、波長を  $\lambda$  として、

$$\phi = \frac{\Delta R}{\lambda} \times 360$$

位相差が  $\phi$  の二つのベクトルの合成値  $S$  は、余弦定理を用いて、

$$S = \sqrt{\left(\frac{e}{R1}\right)^4 + \left(\frac{e}{R2}\right)^4 - 2 \cdot \left(\frac{e}{R1}\right)^2 \left(\frac{e}{R2}\right)^2 \cos(180 - \phi)}$$

各ベクトルの大きさは被測定アンテナが二つの信号源に正対しているときの距離  $e$  を基準(距離の二乗に反比例)にしています。

## 試算

前述の式に数値を代入して、アンテナの回転  $\theta$  とともに合成値  $S$  がどのように変化するかを試算してみます。

例えば、

周波数 = 2400 MHz ( $\lambda = 125$  mm)

$a = 1000$  mm

$b = 500$  mm

$r = 125$  mm、 $122$  mm、 $119$  mm

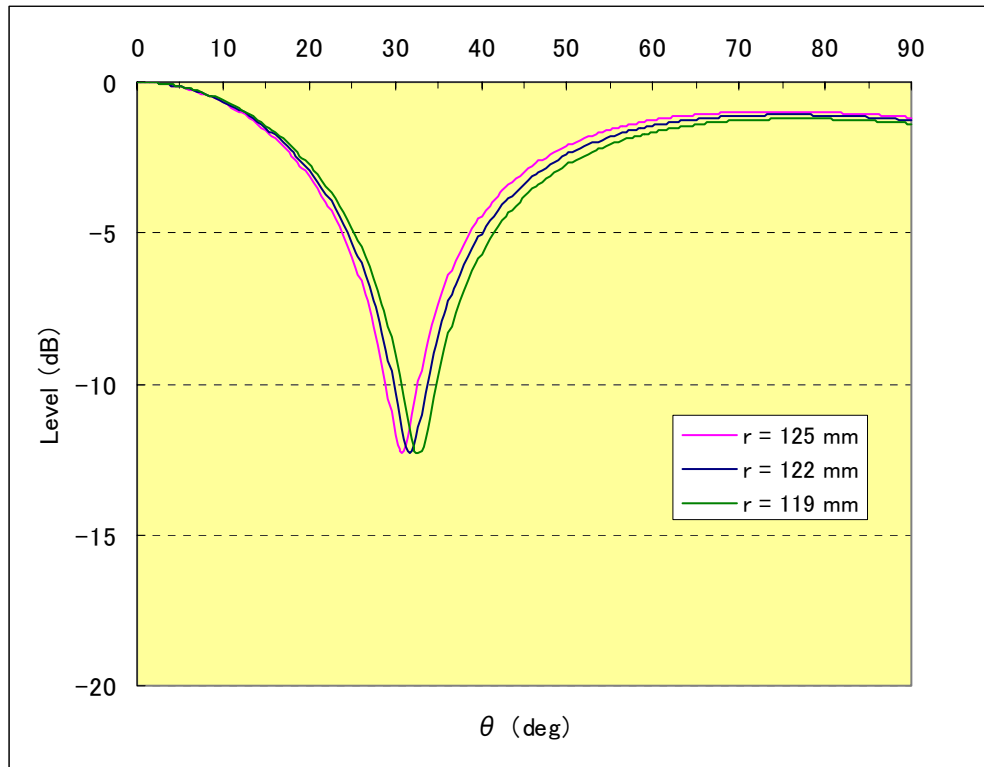


図-4 : 測定原理のシミュレーション

で計算したものを 図-4 に示します。なお、図-4 においては、被測定アンテナ自身の輻射パターン特性は考慮されていません。

図-4 が示すところは、フェーズ・センタの位置が変わると合成値のノッチの角度が変化するという事です。つまり、ノッチの角度からフェーズ・センタの位置(回転軸からのオフセット量)を求めることが可能であるということです。

フェーズ・センタのオフセット量に対する分解能を見るため、三種の値を試してみました。この結果、1 m のアンテナ間隔では、角度分解能を 1 度とすると、フェーズ・センタ位置の分解能は 3 mm となります。

フェーズ・センタの位置分解能を上げるには、角度分解能を上げることはもとより、信号源アンテナの間隔、すなわち干渉計でいうところのベースライン(基線長)を大きくすることが有効的です。どこまで精密にフェーズ・センタ位置を求めるのか?と、実際のセットアップの作り(取扱い易さ)とのトレードオフになります。

## 測定セットアップ

被測定アンテナを回転させて信号レベルを読取る仕掛けは、これまでに用いた輻射パターンの測定セットアップが流用できます。

一方、信号源側に工夫が必要です。一つの信号発生器の出力

を二分配して、二本の無指向性アンテナに供給する必要があります。

もし、安定した、定量的に取扱うことが可能な反射体(具体的には直ぐに思いつきませんが、、、)があれば、それを利用した二つの信号源という手段もあるかもしれません。

また、さらに高い周波数においては、光学的なアナログを用いて、二つの穴が開いた金属板の後方から一つの信号源を輻射することで、回折を利用して二つの点源(信号源)を作ることが可能でしょう。(穴が開いた金属板 = ハルトマン・マスク)

いずれにおいても、二つの信号源に位相差があると測定誤差を生じるため、位相の絶対値は不要ですが、相対的に同相を確保することに配慮が必要です。信号源間の位相誤差と、フェーズ・センタ位置の測定誤差を評価しておきましょう。

## まとめ

「二波干渉」の原理を用い、位相差検出をレベル検出(ノッチ検出)に置換することで、被測定アンテナのフェーズ・センタ位置を求めるアイデアを検証しました。信号源側の拡張により、これまでの測定セットアップが使用可能であり、誤差評価と実測に向けての作業を進める予定です。

