

# ヘイローアンテナ解析報告

—クロスダイポールアンテナとの比較—

2010年7月23日

安島 巧

目次

1. はじめに .....	3
2. ヘイローアンテナとは .....	3
3. 本報告書の構成と概要 .....	4
4. アンテナモデルの定義と自由空間における両アンテナ特性の比較 .....	5
4-1 クロスDP (ダイポール) アンテナの定義.....	5
4-2 ヘイローアンテナの定義.....	6
4-3 指向性パターン .....	7
5. シミュレーションモデルと現物の違い.....	9
6. 大地の影響を加味した指向性 .....	10
7. 送信アンテナ高、受信アンテナ高、送受信間距離の関係.....	15
8. チルト特性.....	19
9. まとめ.....	28
10. 結論.....	30
11 謝辞.....	31

## 1. はじめに

「あっ あれは何だ！ フリスビー？ UFO？ いや、ヘイローアンテナだ！」

2010年6月12日に行われた長野大会(144MHz)では、送信アンテナにおいて新しい試みがなされました。

◇ ヘイローアンテナの採用

◇ 地上高2.5～3mに設置（通常の大会では1～1.5m程度が多い）

競技者の感想としてはいろいろあるようですが、概して「強かった」という意見が多かったと思います。しかも、2010年の全日本大会で同じアンテナおよび同じ設置条件が採用される可能性が大であることもあり、興味をもたれた方が多数いらっしゃいます。



このヘイローアンテナは、浦安市の古田さんの推奨で今回片桐さんが製作されたものだそうです。実際の設置状況は、まるで空中に浮かんでいるUFOのようでした。

浅学の私は、このヘイローアンテナは知りませんでした。「ヘイローとはいったい何者？」と思い、その特性が通常使われるクロスダイポールとどう違うのか知りたくなり、MMANAでシミュレーションしたのが、この報告書作成の背景であります。

なお、この報告書の内容は、あくまでシミュレーション結果であり、実際の条件と異なる部分があります。従いまして、本報告書の内容をどう扱うかは、読者の判断にゆだね、特に全日本大会の成績に対する責任を著者は全く負えませんので、よろしくお願ひします。

## 2. ヘイローアンテナとは

ヘイロー (HALO 発音記号[heilou]) とは円光、光輪、太陽や月の回りにできる輪の意味です。

ヘイローアンテナ (HALO ANTENNA)とは、半波長ダイポールを丸めて円にしたアンテナで、DPの端点同士は電氣的接続をしませんので、一部が切れた輪になります。



HPにある情報として

<http://www.kr1st.com/2mhalo.htm>

[http://www.k5.dion.ne.jp/~jh4eiy/halo\\_antenna\\_2.pdf](http://www.k5.dion.ne.jp/~jh4eiy/halo_antenna_2.pdf)

があります。

無指向性であるところはクロスDP（半波長ダイポール2本を十字型に組み合わせ、両エレメント間に

90度の位相差を付けて給電)と同じですが、形状が小さいという特徴があります。直径は半波長の約1/3程度(144MHzの場合約30cm)と小型です。

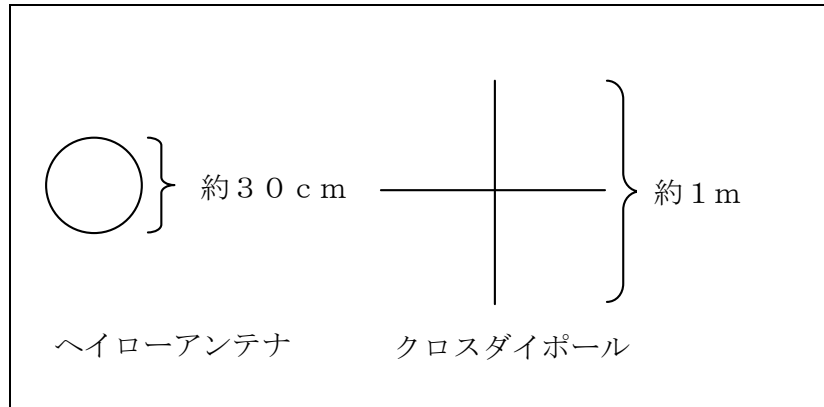


図 1 両アンテナの平面図 (144MHz帯)

### 3. 本報告書の構成と概要

本報告書では MMANA (アンテナシミュレーション) を用いて、ヘイローアンテナの基本特性をクロス DP との比較をしています。

#### ◇アンテナモデルの定義

シミュレーションモデルを定義します。ヘイローアンテナにしてもクロス DP にしても大地がない自由空間で 145.66MHz に共振するように寸法を定めました。また、シミュレーション上アンテナエレメントの曲線部分は複数の直線に分割しなければならないため、分割数の決定も検討しました。

さらにヘイローアンテナの輪のきれた部分 (=GAP) の長さについても検討しました。

結論としてヘイローアンテナの円部分は 20 角形近似として、GAP は 1 mm 以下とし、エレメントは直径 10 mm のアルミパイプとしました。

#### ◇自由空間における両アンテナ特性の比較

いわゆる両アンテナの裸の特性を比較します。主として指向性パターンです。

結論として、両アンテナとも完全な円ではなく歪んでおり、方向によるゲイン差としてはクロス DP の方が少ない結果となりました。しかし、両アンテナとも歪みの絶対値は小さく少なくとも耳で聞く限りは完全に無指向性であると言って良いといえます。

また、アンテナゲインとしては、ヘイローアンテナの方が若干高くなる結果となり、その理由を推定しました。しかしこの差も小さく、耳で判断できるものとは思えません。

#### ◇シミュレーションモデルと現物の違い

シミュレーションモデルはなるべく現物および実際の設置状況に近くなるようにしますが、明らかに違

う部分、サボった部分、無視した部分があり、それを列挙します。

#### ◇大地の影響を加味した指向性

実際のフィールドにおいては大地の影響があり、これを無視することはできません。特に ARDF のように送受信アンテナの地上高が取れない場合には極めて大きな影響があります。

自由空間においては両アンテナとも正面方向には垂直偏波成分は理論的に放射されませんが、大地がある場合は、垂直偏波成分が発生します。

#### ◇送信アンテナ高、受信アンテナ高、送受信間距離の関係

送信アンテナ・受信アンテナの地上高を変えたとき、送受信間距離を変えたときの影響を調べました。

#### ◇チルト特性

アンテナ面が傾いたときの特性変化を調べました。実際の設置方法によっては風などの影響でアンテナが傾いたりすることが考えられ、その影響を調べました。

クロス DP とヘイローは幾何学的に対称軸の本数が異なるので、クロス DP は 2 種、ヘイローは 3 種のチルトパターンを想定して、全て 30 度の傾きで計算しました。

#### ◇結論

結論のみをまとめたものです。お急ぎの方は、こちらを直接ごらんください。

## 4. アンテナモデルの定義と自由空間における両アンテナ特性の比較

### 4-1 クロス DP (ダイポール) アンテナの定義

クロス DP のアンテナモデルを図 2 に示します。2 本の半波長 DP を十字に配置したもので、給電点は各中央ですが、位相を 90 度ずらして給電します。上から見ると約 1 m の長さの十字です。共振周波数は 145.66 MHz です。またエレメントは直径 10 mm の完全導体とします。

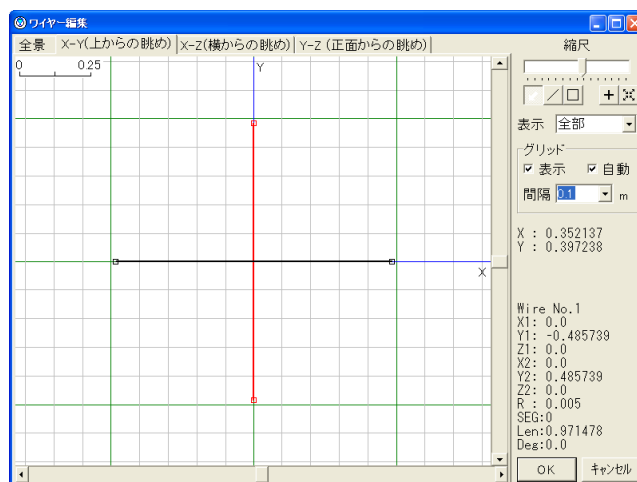


図 2 クロスダイポールアンテナモデル

#### 4-2 ヘイローアンテナの定義

ヘイローアンテナはGAPを有した円形であり、モデルとしては多角形で近似する必要があります。ここではGAPの長さと同多角形数の組み合わせ3種でモデルを作ります。図3は8角形でGAPの長さは1mm以下、図4は8角形でGAPは5cm、図5は20角形でGAPは1mm以下です。なお、全て共振周波数は145.66MHzです。またエレメントはまず直径10mmの完全導体とします。

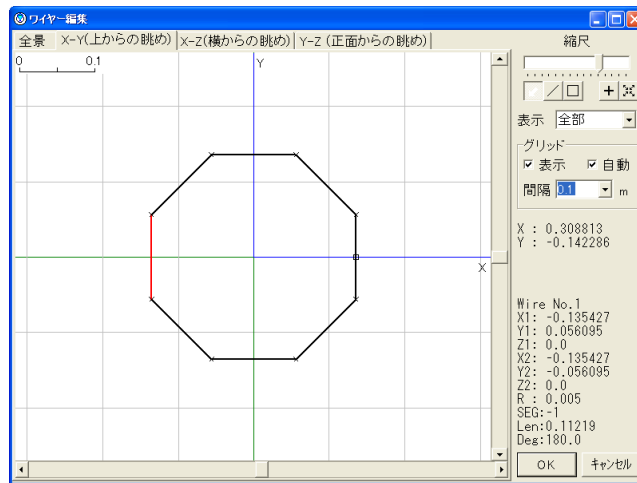


図 3 ヘイローアンテナモデル1 (8角形、GAP = 0.7 mm)

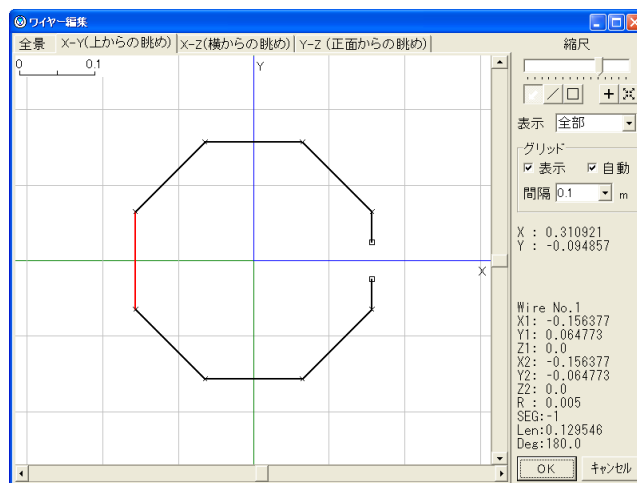


図 4 ヘイローアンテナモデル2 (8角形、GAP = 5 cm)

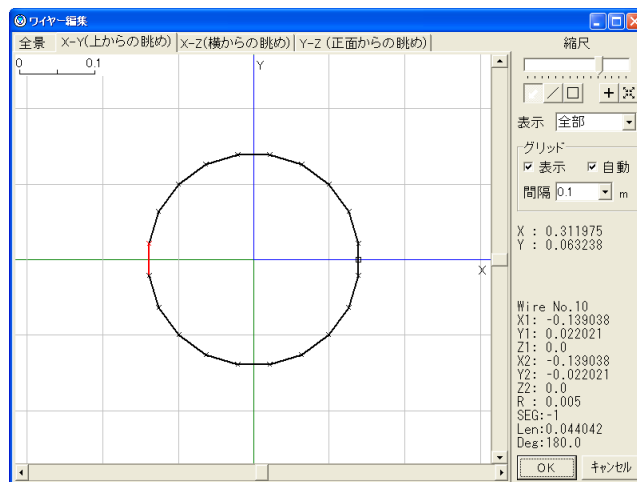


図 5 ヘイローアンテナ3 (20角形、GAP = 0.7 mm)

### 4-3 指向性パターン

図6にクロスDP、ヘイローの各指向性パターンを示します。おおむね全て無指向性であることがわかります。強いて言えば、黒色のクロスDPは四角形に近づく方向に円が歪み、3つのヘイローは小判型であることがわかります。ヘイローの中ではエンジ色のGAP 5 cmの指向性はひずみが大きいことがわかり、GAP 1 mmでは、六角形も20角形も違いがないことがわかります。よって、ヘイローのモデルとしては20角形GAP 1 mmを採用することにします。

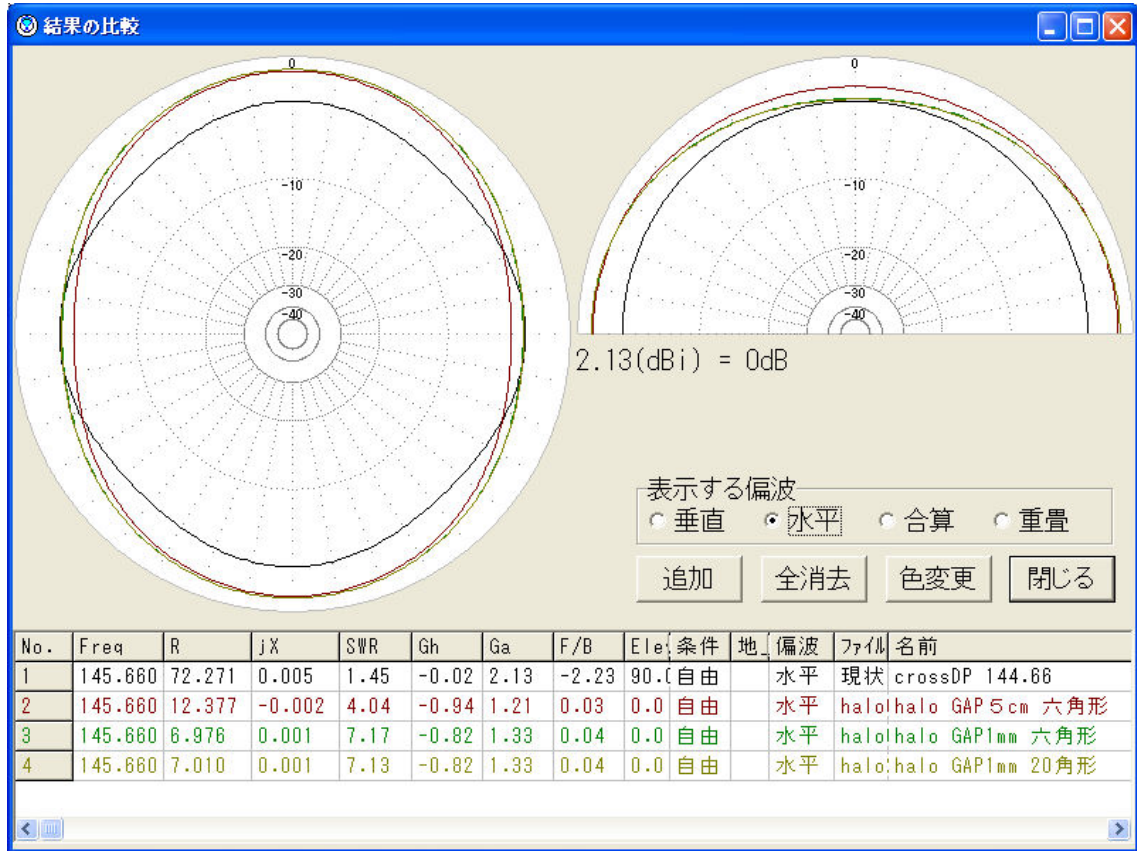


図 6 両アンテナの自由空間での指向性（水平偏波）

ここで疑問が生じます。比較においてはアンテナ入力を同じにしています。しかしながら、ヘイローとクロスDPを比較したときに、わずかではありますがヘイローのほうがトータルゲインが大きいのに見えます。図の下部にSWR = 1ではない表示がありますが、これは50Ω送信系をダイレクトに接続した場合のSWRのことで、実際にはインピーダンスマッチングをおこなってSWR = 1にすると仮定します。この場合は、アンテナに入力されるパワーは同一となり、放射されるパワーも同一となります。アンテナにより指向性パターンが違ってもトータルゲインは同一となるはずですが。

図6は水平偏波の指向性パターンでした。図7に垂直偏波の指向性パターンを示します。両アンテナとも水平方向の放射はほぼ0ですが、クロスDPでは上（上空）方向の放射があります。これより、クロスDPでは注入されたエネルギーの一部が上方向に垂直偏波放射で消費されるため、結果、水平偏波の出力に回る分のエネルギーが、ヘイローに比べて落ちているということが推定されます。

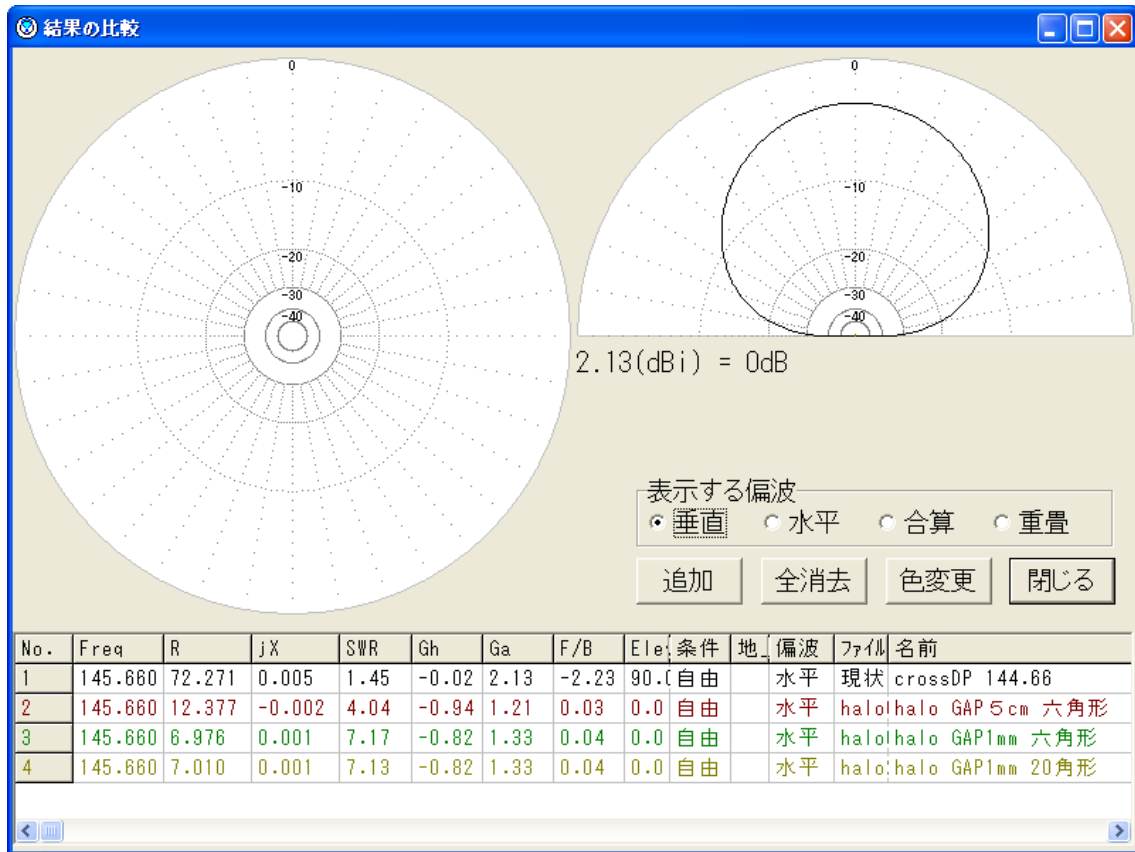


図 7 両アンテナの自由空間での指向性（垂直偏波）

次にアンテナインピーダンスに着目します。クロスDPは約72Ωですが、ヘイローは約7Ωと大変低くなっています。インピーダンスが低いアンテナのメリットは、低い電圧でパワーを注入できることです。電池駆動の送信機に対する親和性も高いし、部品の耐圧面でも有利です。一方デメリットは、アンテナエレメントの電気抵抗などの影響が相対的に大となることです。同じパワーを注入した場合でもインピーダンスの低いアンテナは電流がたくさん流れるので、純粋電気抵抗分でのパワー消費が大きくなるからです。

ここまでの検討ではエレメントは直径10mmの完全導体としてきましたが、ここでエレメントにアルミパイプを使用した場合も検討してみます。図8はヘイローアンテナでの両者の比較です。エレメントが完全導体の場合とアルミパイプの場合ではほとんど差がありません。144MHzではアンテナ自体の形状が小さいため、エレメントの電気抵抗が無視できるものと考えます。



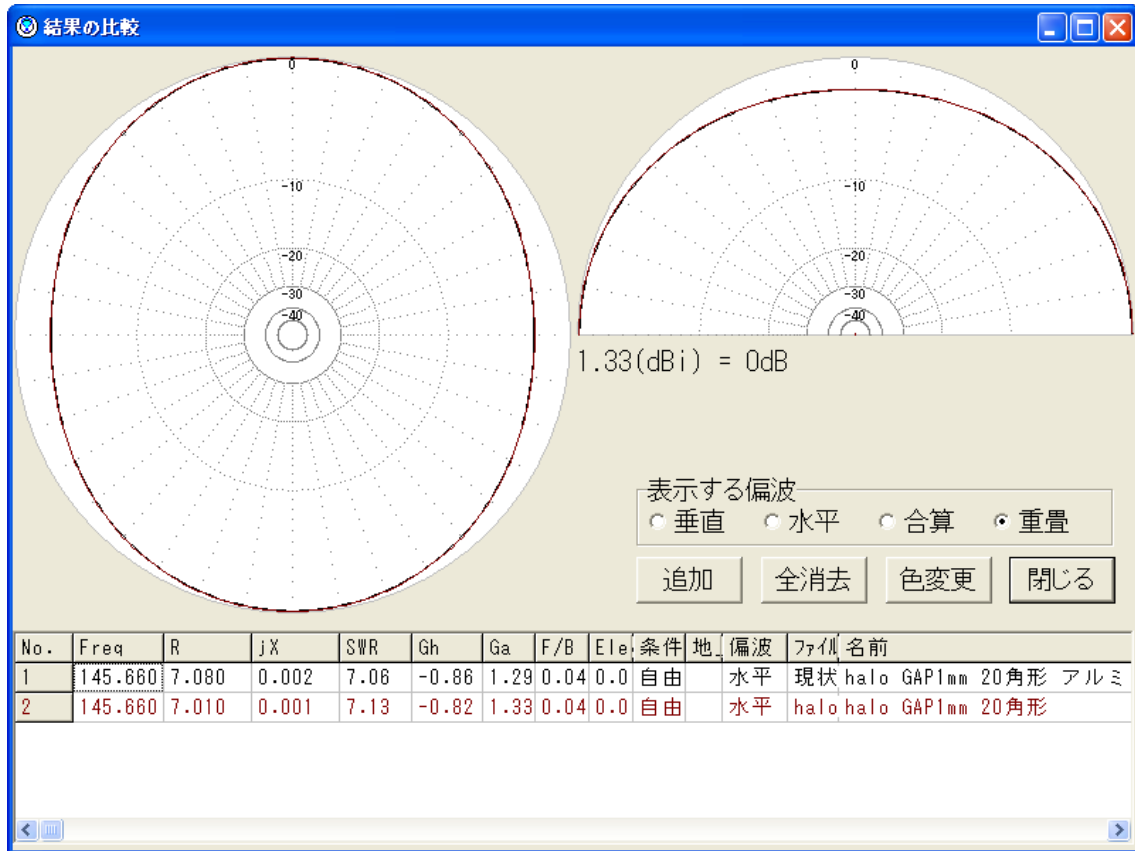


図 8 ヘイロー (エレメント=完全導体、アルミパイプ)

以上の結果から、この後の検討に使用するアンテナモデルについて次のように定義します。

◇両アンテナ共通

- ・共振周波数は自由空間において 1 4 5 . 6 6 MHz
- ・アンテナエレメントは直径 1 0 mm のアルミパイプ

◇ヘイローアンテナ

- ・20角形近似とし、GAPは1mm以下 (0.7mm)

## 5. シミュレーションモデルと現物の違い

◇製作上 (工作、調整) で発生する誤差

エレメントなどの寸法誤差、マッチング回路誤差

- ・ヘイローでは
  - 円形からのずれ、給電点をずらしてマッチングをとる場合の指向性の乱れ
- ・クロスDPでは
  - エレメントの曲がり、90度位相器の誤差

◇大地近似誤差

森林エリアを模擬した、非誘電率=1.3、導電率=5 [ms/m]を採用しているが、その実際との誤差  
また、大地は起伏なし

◇周辺環境

シミュレーションでは他の電波障害物はない。

◇計算誤差

## 6. 大地の影響を加味した指向性

これまでは自由空間におかれた状態での検討でしたが、実際のフィールドでは大地の影響を無視できません。この章では大地の影響を加味して検討をおこないます。具体的には、送信アンテナの地上高を2m、受信アンテナの地上高を2mとし、送受信間距離を1000mとします。

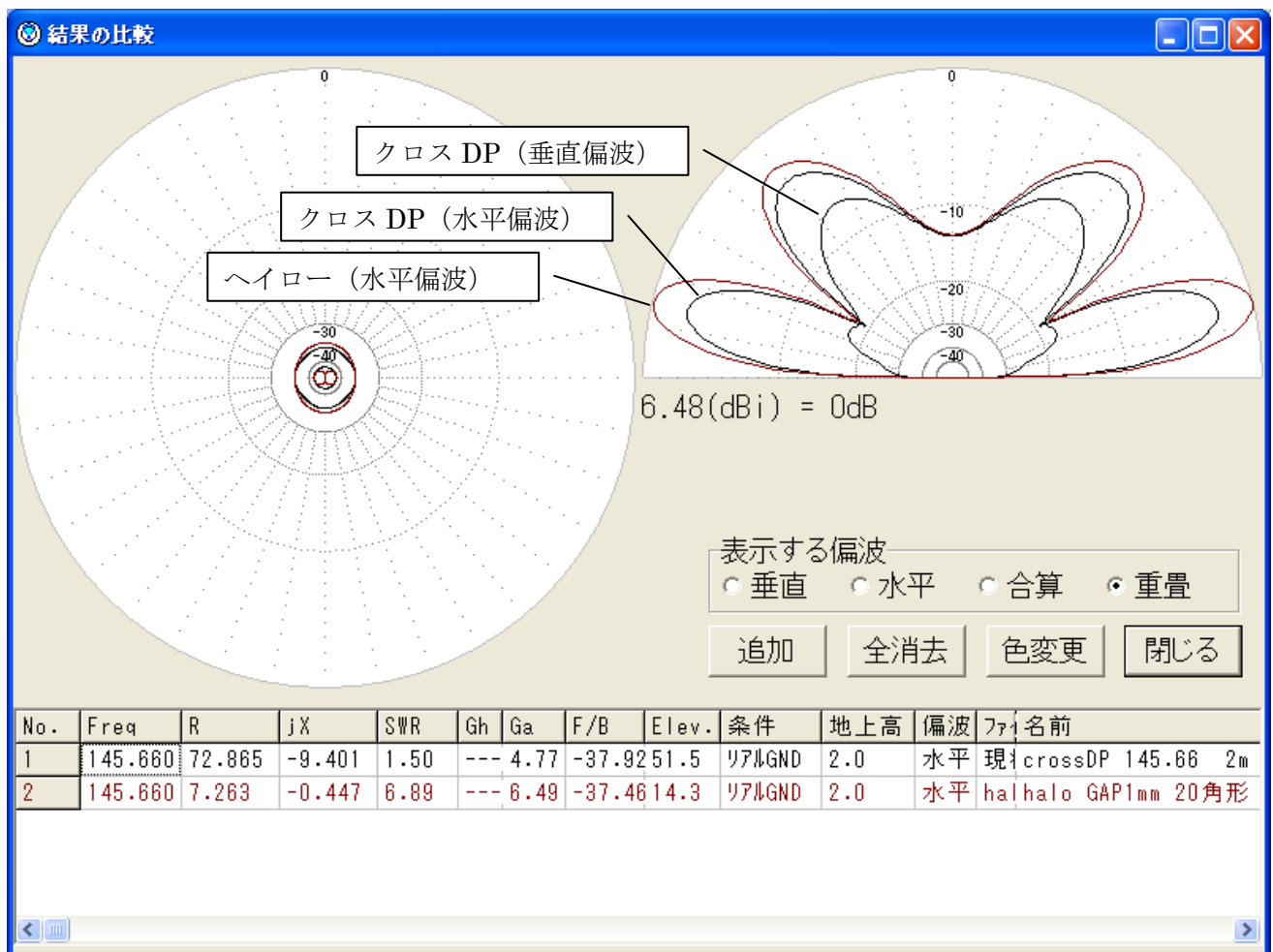


図 9 送受信アンテナ地上高2m、送受信間距離1000mでの指向性

図9は大地の影響を加味した指向性パターンです。MMANAの都合で、上記のような指向性分布を表示するためには、遠方界計算で、仰角を指定しなければなりません。1000m離れたところで地上高2mとすると、送信アンテナ直下の大地のポイントから受信アンテナ位置を見た仰角は、 $\arctan(2/1000) = 0.115[\text{deg}]$ であらわされます。両アンテナとも主放射仰角は10数[deg]方向ですが、0.115[deg]というのは大地表面に近く、電界強度はきわめて小さくなります。左側の指向性パターン図が小さくなっているのはそのためです。一方、右側の横から見た指向性パターンでは、仰角10数[deg]方向にメインローブがあり、仰角50[deg]方向にセカンドローブがあることがわかります。また、クロ

ス DP では垂直偏波も上空方向に放射されているのが確認できます。

図 9 では水平方向の指向性がわかりにくいので、拡大して図 1 0 に表示します（水平偏波のみ）。

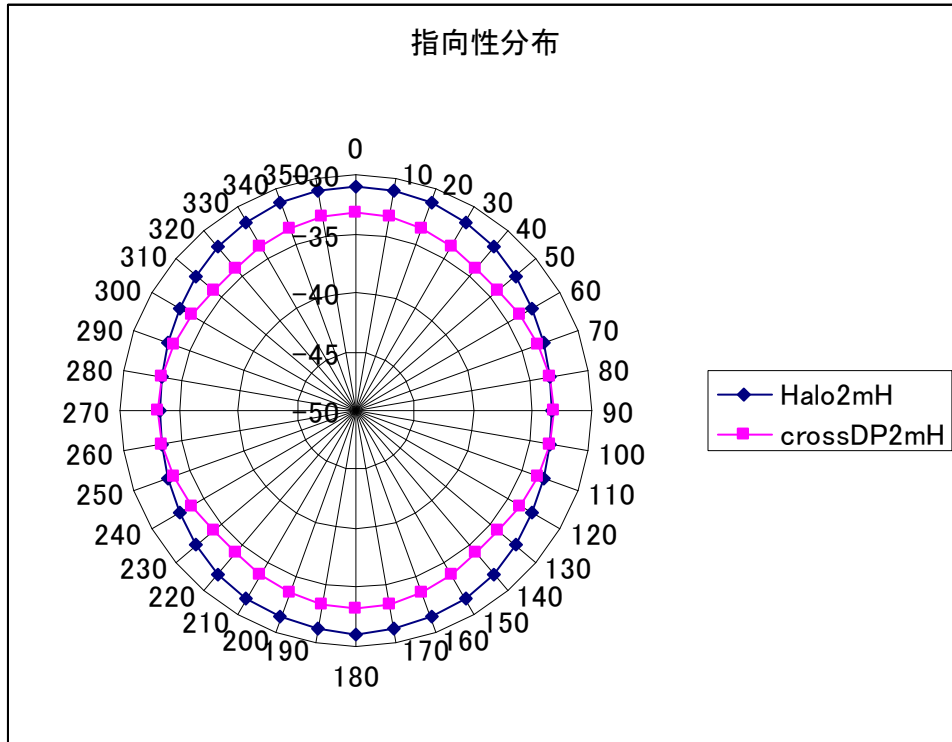


図 1 0 水平面指向性分布拡大

自由空間のときと同じように、クロス DP は円と四角形の間形状を、ヘイローは小判型の形状を持ち、平均ゲインはヘイローの方が高いことがわかります。

ここで少し脱線します。

図 1 0 の半径軸をみると  $-50$  [dBi]  $\sim -30$  [dBi] となっており、円の中心は  $0$  ではありません。これは dB 表示、すなわち対数表示となっているからです。受信信号レベルが  $0$  の場合の対数表示は  $-\infty$  となるため、このようなレーダーチャートでは表現できないのです。つまり対数表示のレーダーチャートでは、円の中心であってもある程度の受信信号レベルがあるということです。

ここで、円の中心が受信信号レベル  $0$  となるような表示を考えてみます。最も単純なのは対数表示ではなくリニア表示です。すなわち受信信号レベルそのもの、換言すれば受信アンテナ地点での電界強度をそのまま表現してみます（図 1 1）。

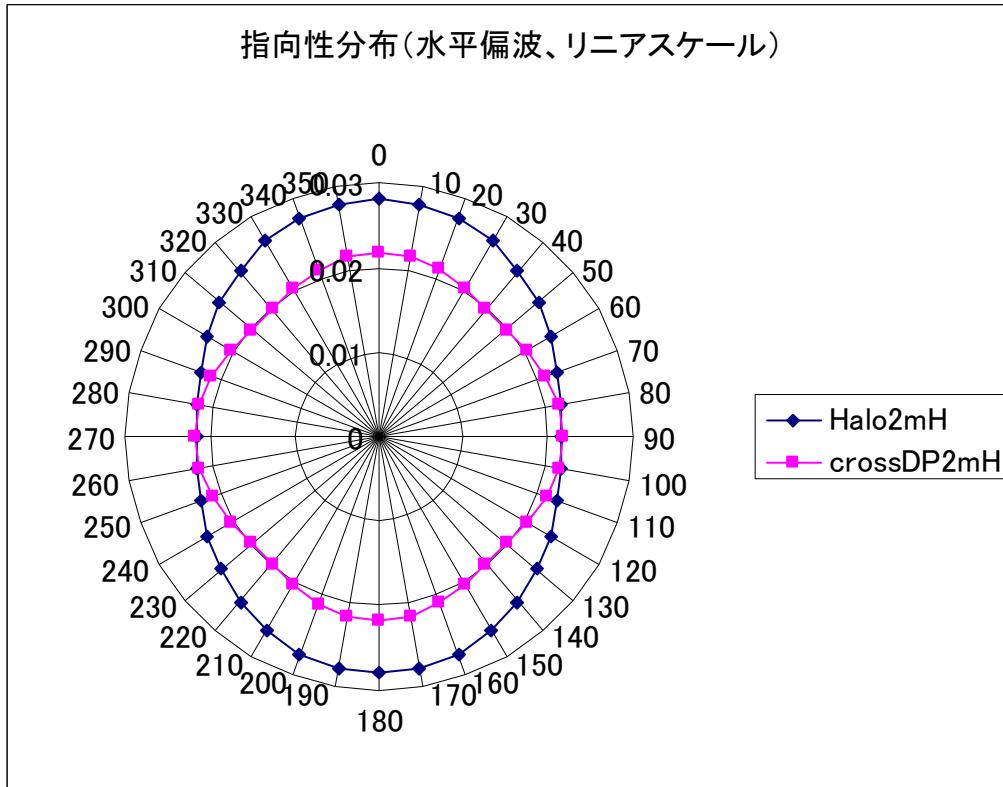


図 1 1 指向性分布比較 (リニアスケール)

どうですか。ちょっとびっくりでしょう。クロス DP の指向性は四角に近く、ヘイローは完全に小判型で正面とサイドでは数十%も信号レベルが違います。「こりゃ嘘だろう。だいいちこれじゃゲームにならない」と思われるかもしれませんね。

実は人間の耳で聞く限り、ほとんど問題にならないのです。

あなたは音の大きさを何段階で識別できますか？ 大中小の3段階は確実ですよ。でも10段階を超えて識別できる人はほとんどいないと思います。一方、人間が聞こえる範囲を図12に示します。

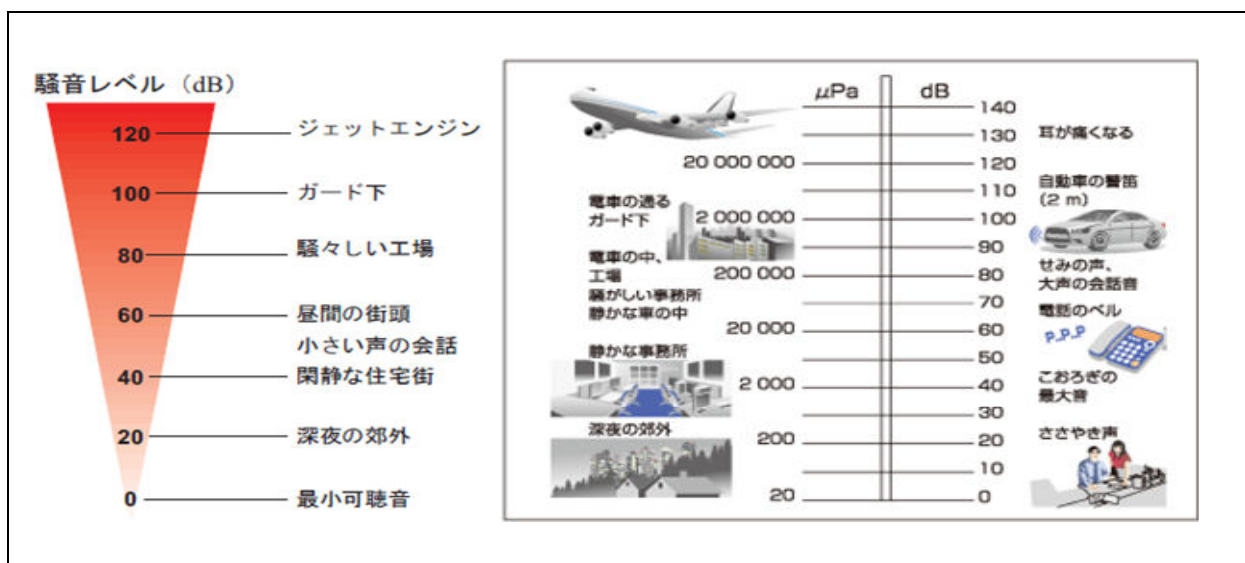


図 1 2 人間の可聴範囲

この騒音レベル(dB)はかつて「ホン」とか「ホーン」と呼ばれていた単位です。人間の耳は対数特性であることも同時に良く表しています。ジェットエンジンの騒音はガード下の騒音の10倍。ガード下の騒音は騒々しい工場の騒音の10倍あります。可聴域の最大最小の差は、120dB程度あり、リニアな音圧レベル[ $\mu\text{Pa}$ ]で表現すると実に100万倍の関係にあります。100万倍ですよ。

2倍とか3倍とかが完全に誤差範囲に入っているのがよくわかると思います。

アマチュア無線家の場合は、Sメータを考えてみるのも良いでしょう。信号レベルSの1から9は本来人間が感覚で決めるものですが、Sメータが出現してからSメータを読むようになってしまいました。それゆえ、「Sは0です。」とか「Sは9オーバーです。」とか「Sは7.5です。」とか、本来の定義からするとおかしい表現をしています。これらのSメータでは1目盛が3dB（パワー換算だと6dB）となるように設計されているようです。すなわち受信信号レベルが2倍になると目盛が一つ増えるという関係です。みなさんは信号音を聞いただけで、Sの数値が一つ増えたという認識をされるでしょうか。もちろんAGCの影響もあるとは思いますが、ほとんどの方は、Sメータの値が1違ったことを簡単には認識できないでしょう。

さて、話をアンテナ比較に戻します。さらに数値を定量的に掴むために横軸を水平方向角度、縦軸を受信アンテナ地点方向のアンテナ利得 (dbi) でプロットしなおしてみます。図13がそれです。仰角0.115度というのは、送信アンテナ直下の地面から、1000m先の地上高2mの受信アンテナを見上げた角度です。

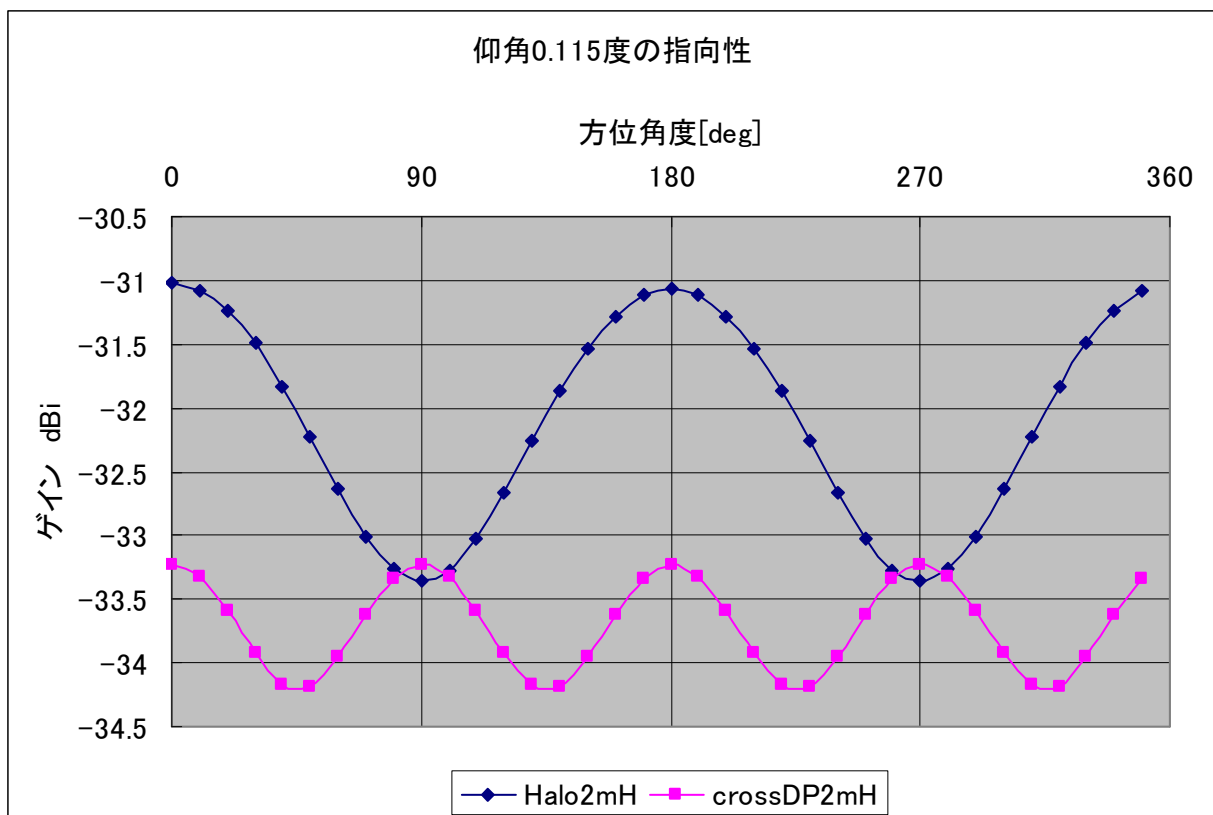


図 13 送受アンテナ地上高 2 m、送受間距離 1 0 0 0 mでの指向性

両アンテナとも、ゲインが変動しています。すなわち指向性が正確な円ではないことがわかります。ク

ロスダイポールの方が変動幅は小さい（指向性が円に近い）ですが、平均ゲインがヘイローよりも小さいです。

また、ヘイローが180度周期で変動しているのに対して、クロス DP は90度周期で変動しています。これはシミュレーション計算をしなくとも、アンテナ形状から容易に推定できます。平面図を見た場合に、ヘイロー（GAP が微小の場合）の対称軸は0度、90度の2本ですが、クロス DP は0度、45度、90度、135度と4本あるからです。

ここで、思いつくことですが、ヘイローの形状を故意に円からずらすことにより、指向性パターンを円に近づけられる可能性があるかもしれません。すなわち、GAP—給電点間距離を伸ばす方向にヘイローを引っ張り、楕円にするのです。これにより0度、180度から見たアンテナが小さくなり、90度、270度から見たアンテナが大きくなるため、ゲインが補正される可能性があるということです。

話を戻して、指向性にまつわる数値を整理しておきます（表1）。ヘイローはクロス DP に比べて、平均ゲインが1.5 [dBi]高いですが、ゲイン変動が1.1 [dBi]大きくなっています。

表 1 両アンテナゲイン比較

	ゲイン変動[dBi]	平均ゲイン[dBi]	平均ゲイン差
ヘイロー	±1.6	-32.2	1.5
クロス DP	±0.5	-33.7	

ゲイン変動幅にしても平均ゲイン差にしても、先に述べたように S 目盛の違いで表したときの差は S の数値で1目盛もありません。S メータで言えば、針2・3本の違い程度ということでしょうか。

この章の結果をまとめます。

大地の影響を加味した両アンテナの比較を次の条件でおこないました。

送信アンテナ地上高 = 2 m

受信アンテナ地上高 = 2 m

送受信間距離 = 1000 m

クロス DP に比べてヘイローアンテナは、方向によるゲイン変動が大きい(指向性パターンが真円からずれている)ですが、平均ゲインは大きいという特徴があります。しかしながら、その差は3 dBにも満たず、少なくとも ARDF 競技においては、ほとんどその差は影響ありません。

## 7. 送信アンテナ高、受信アンテナ高、送受信間距離の関係

送・受信アンテナを高くしたり、送受信間距離を短くすると、受信信号レベルは当然のことながら上がります。これらの関係を調べます。

まず、送受信アンテナの地上高を変化させたときのアンテナ利得を計算します。受信アンテナ高は先の計算と同じように、受信アンテナを見上げたときの仰角を変化させます。

図 1 4 は送信アンテナ地上高を 1 m としたときの、両アンテナの指向性パターン(水平偏波と垂直偏波)を、受信アンテナ高を 1, 2, 3 m と変化させたときを重ねて表示したものです。また、図 1 5 は同様に送信アンテナ地上高を 3 m としたときの様子です。

太線の水平偏波をみると、送信アンテナ地上高が異なる場合、信号のレベルには差があるにしても、両アンテナとも指向性パターンの形状は変わらないことがわかります。つまりレベルのみに注目すればよいことがいえます。

細線の垂直偏波を見ると、送信アンテナ地上高が 1 m の時は、水平偏波のレベルに近くなっていることがわかります。クロス DP にしてもヘイローにしても何故垂直偏波成分がでてくるのでしょうか。これは大地の反射を考えればすぐにわかります。大地が鏡面になっていることを想像してみてください。大地には送信アンテナの下面が映っているはずですが、ヘイローならば楕円状に写っているでしょう。ヘイローを正面から見ると横一直線なので垂直偏波は出ませんが、大地に写っているヘイローは楕円なので、垂直成分が出るのです。しかし、たとえ楕円に見えたとしても、ヘイローの給電点と GAP を結ぶ線方向では、左右の円弧エレメントが打ち消しあうので垂直偏波成分は発生しません。図の指向性パターンで上下にヌルがありますが、このことを表しています。

垂直偏波成分をさらに詳細に見るために、拡大図を図 1 6、1 7 に示します。

受信アンテナ高の変化によってレベル変化があるのに、送信アンテナ高による影響がないのが不思議なところです。また、クロス DP は水平偏波と同じ円を四角くした形ですが、ヘイローの垂直偏波は 8 の字の指向性を有しています。

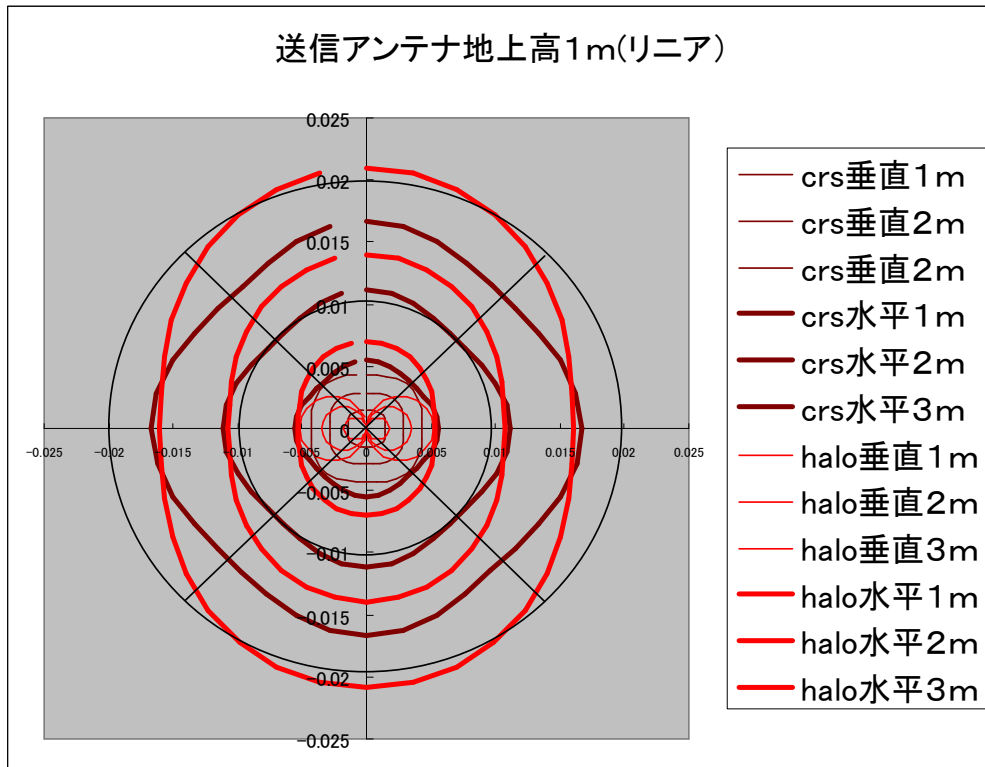


図 1 4 送信アンテナ地上高1m

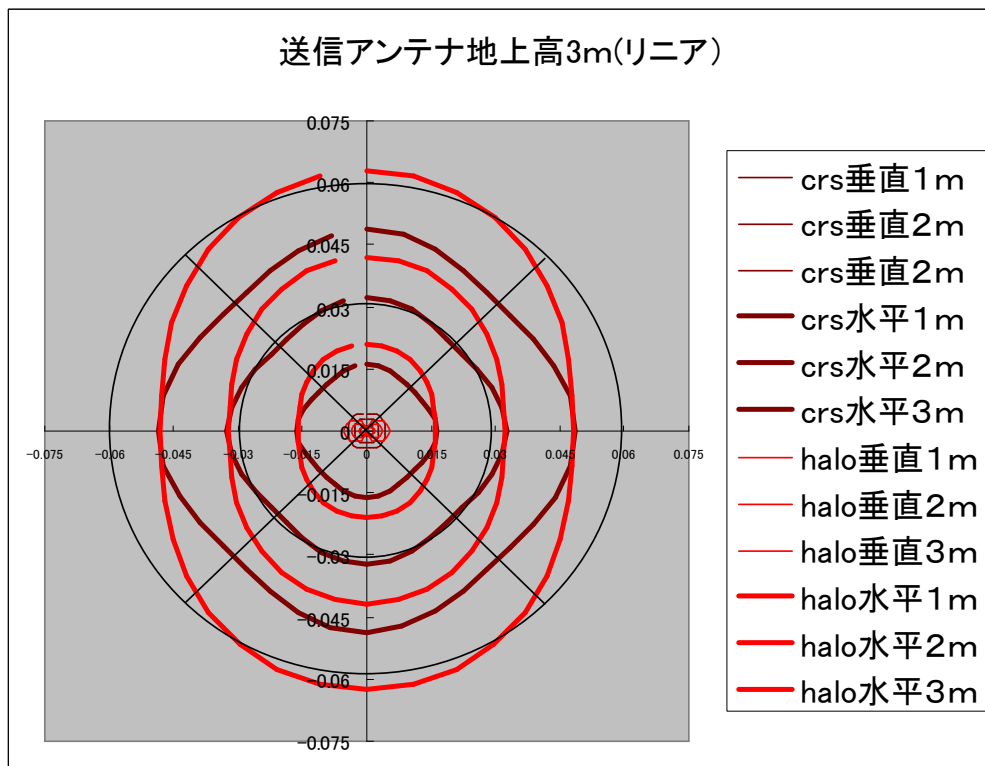


図 1 5 送信アンテナ地上高3m



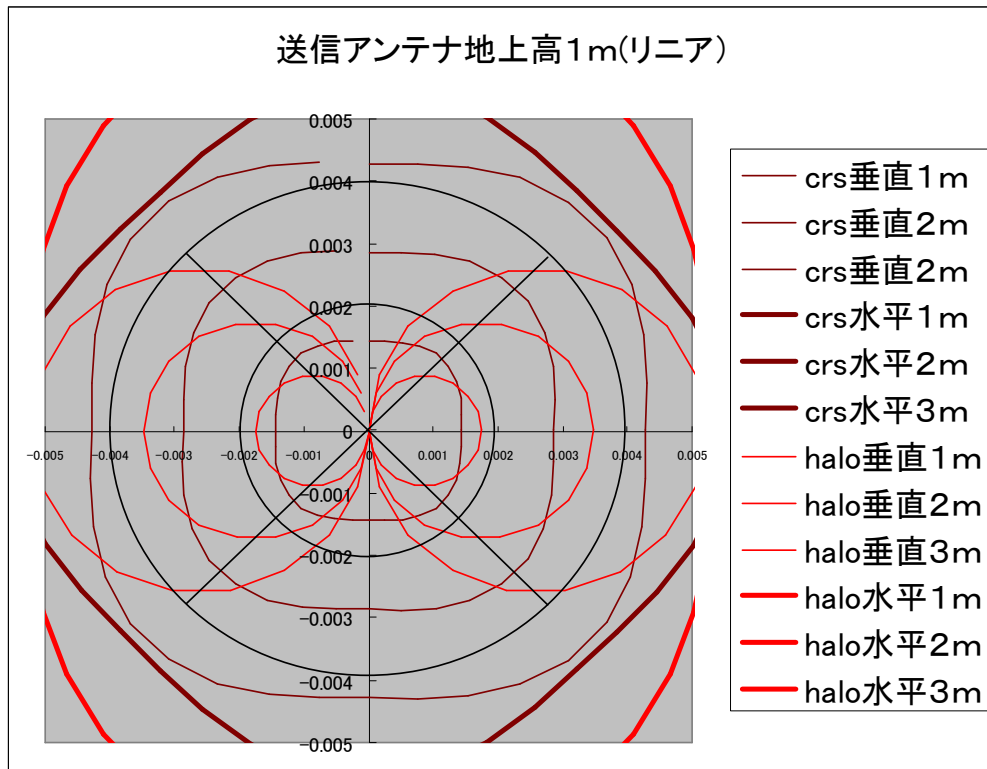


図 1 6 送信アンテナ地上高1m (スケール拡大)

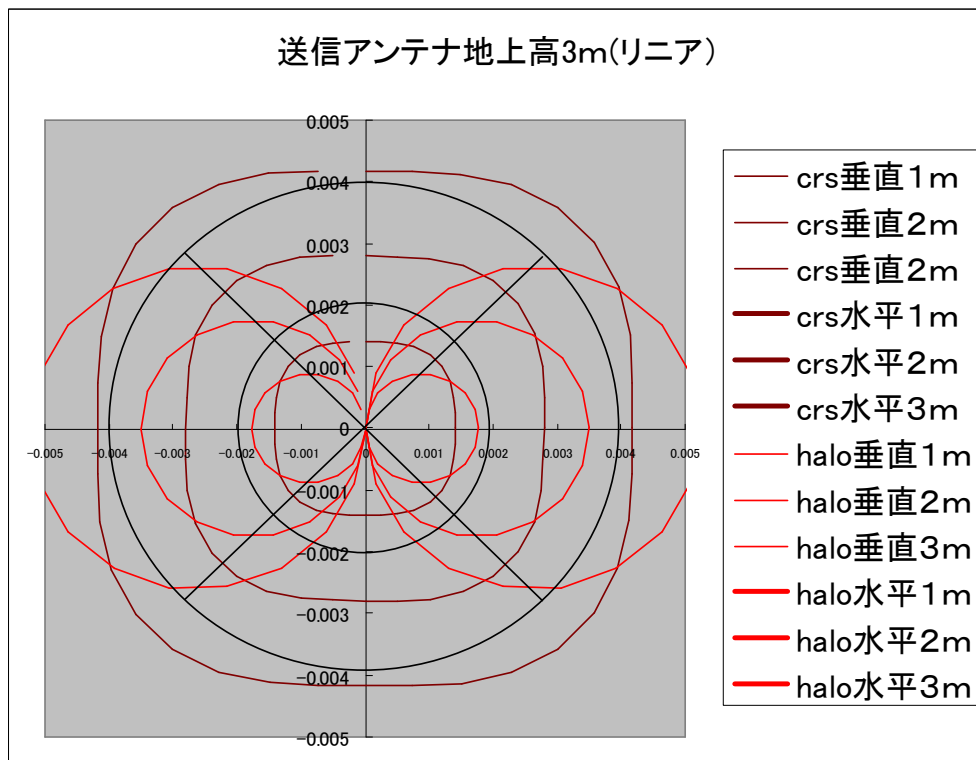


図 1 7 送信アンテナ地上高3m (スケール拡大)

次に送受信間距離の影響をヘイローアンテナで見てみましょう。

図 1 8 に計算結果を示します。受信アンテナ地点での電界強度を計算しています。S1R2 は送信アンテナ地上高が 1 m、受信アンテナ地上高が 2 m を意味しています。両対数グラフにするとほぼ直線（少なくとも 1 0 0 m 以上では）になっていることがわかります。

図 1 8 では縦軸を電界電力強度として dB 表示しています。一目盛りが 6 dB です。S(メーター)目盛に相当します。すなわち、

送信（受信）アンテナ地上高を 2 倍にすると S が 1 増加する。

送信（受信）アンテナ地上高を 1/2 倍にすると S が 1 減少する。

送受信間距離が 2 倍になると、S が 2 増加する。

送受信間距離が 1/2 倍になると、S が 2 減少する。

大変わかりやすい結果となりました。

なお、クロス DP の場合もこれについては大差無いと推定されます。

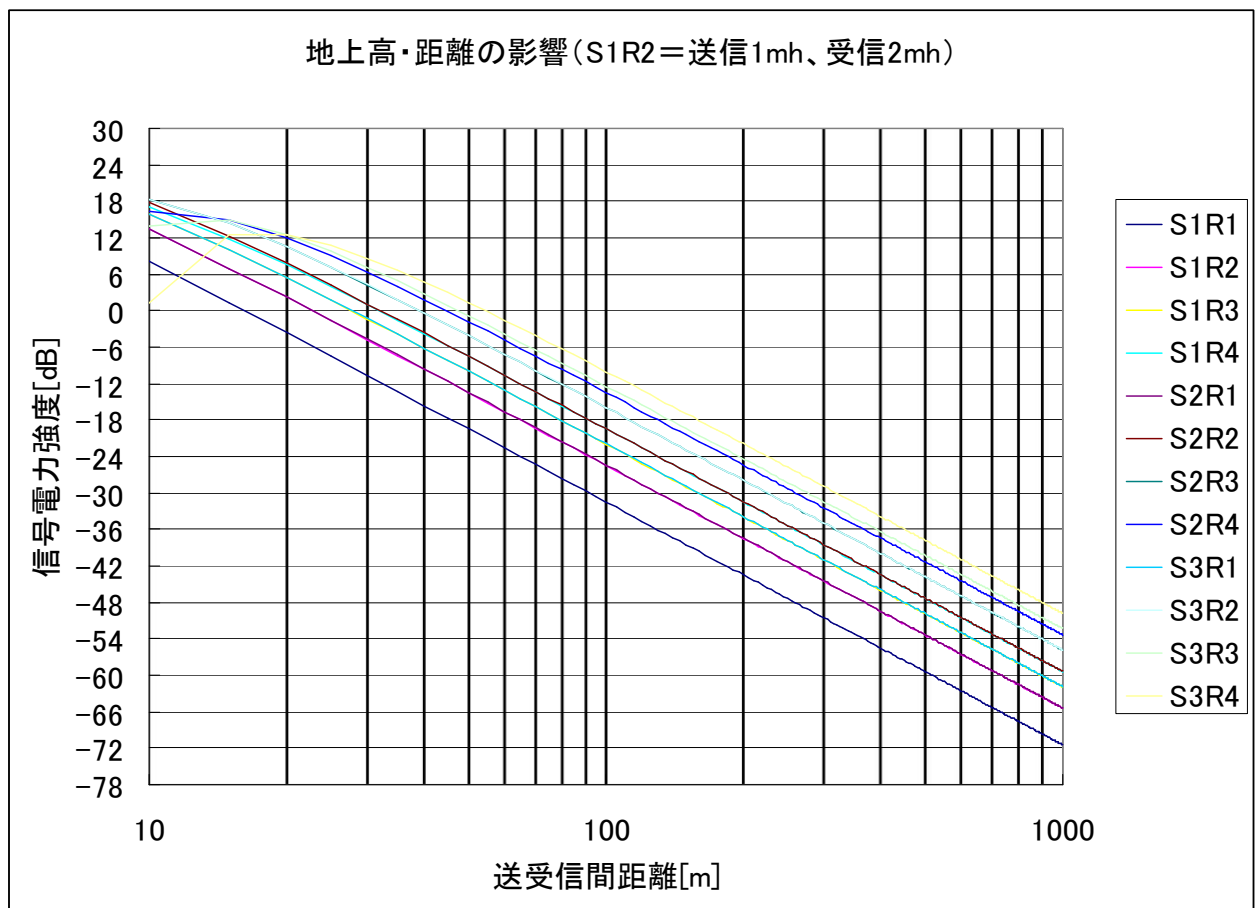


図 1 8 地上高・距離の影響

## 8. チルト特性

ヘイローとクロス DP の基本的な特性の差はわかりました。実際の設置を考えてみると、地上高以外にチルトすなわちアンテナの傾きがあります。チルトの影響が両アンテナでどう違うのかを見てみます。特にヘイローの場合は形状が小さいため、設置が容易である半面、傾きがわかりにくく、円盤を取り付けた場合には風の影響を受けやすいからです。

まずチルトのパターンを定義します。クロス DP は 2 種、ヘイローは 3 種あります。これは対称軸の本数に差があるからです。

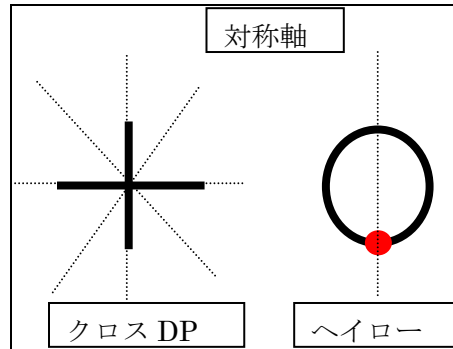


図 19

図 20, 21 にクロス DP のチルトパターンを示します。また、図 22, 23, 24 にヘイローの散るとパターンを示します。

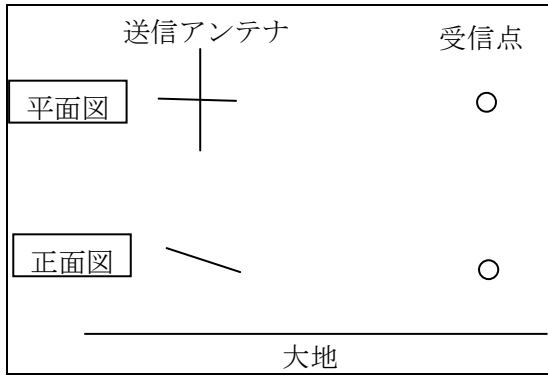


図 20 クロス DP チルト 1

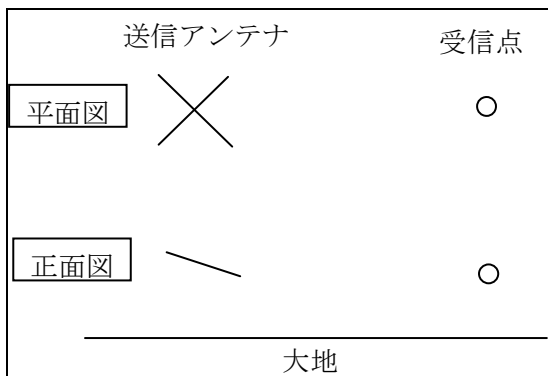


図 21 クロス DP チルト 2

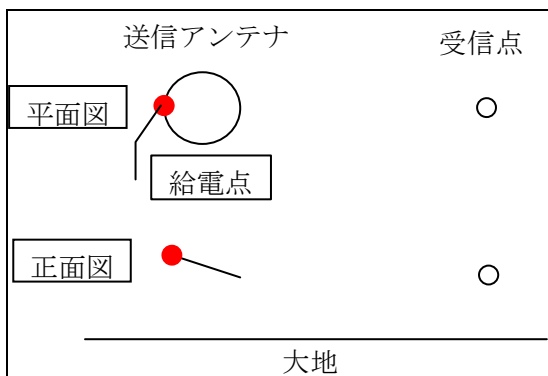


図 22 ヘイローチルト 1

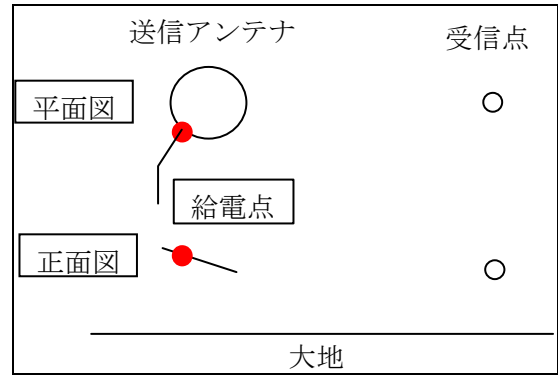


図 23 ヘイローチルト 2

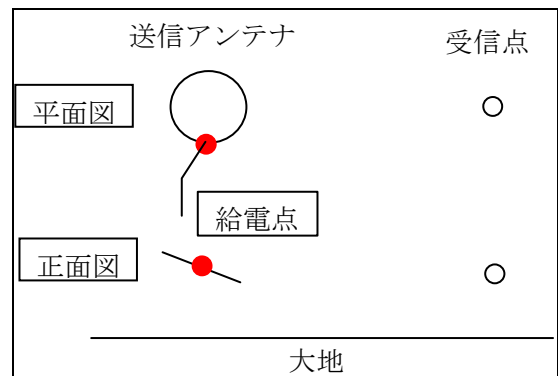


図 24 ヘイローチルト 3

これらのチルトパターンとチルトさせない状態のアンテナの指向特性を比較します。

比較パターンをまとめると表 2 のようになります。

表 2 チルト記号説明

記号 (XX は偏波面)	意味
クロスチルト 0XX	クロス DP チルトなし
クロスチルト 1XX	クロス DP チルト 1 (30度)
クロスチルト 2XX	クロス DP チルト 2 (30度)
ハローチルト 0XX	ヘイローチルトなし
ハローチルト 1XX	ヘイローチルト 1 (30度)
ハローチルト 2XX	ヘイローチルト 2 (30度)
ハローチルト 3XX	ヘイローチルト 3 (30度)

ヘイローアンテナ解析報告

指向性は数値をわかりやすくするために、レーダーチャートではなく、横軸を方位（0～360度）とした折れ線グラフとしました。縦軸は電界強度のリニア表示です。

また、送信アンテナ地上高は1, 2, 3 m、受信アンテナ地上高も1, 2, 3 mで計算しました。送受信間距離は1000 mです。

以下、計算結果を示しますが、図中の表題記号は送信・受信アンテナの地上高を表します。例えば S2R3 は送信アンテナが2 m、受信アンテナが3 mという意味です。

水平偏波の指向性です。

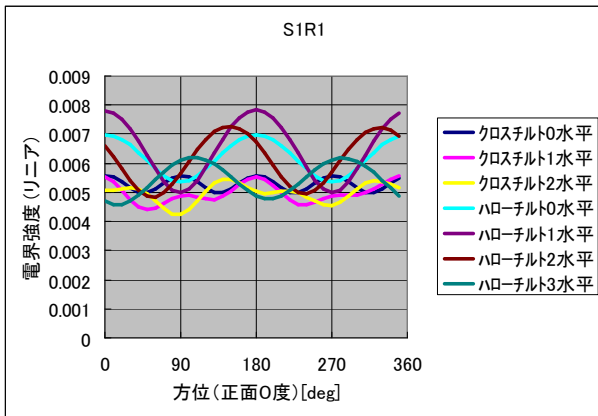


図 25

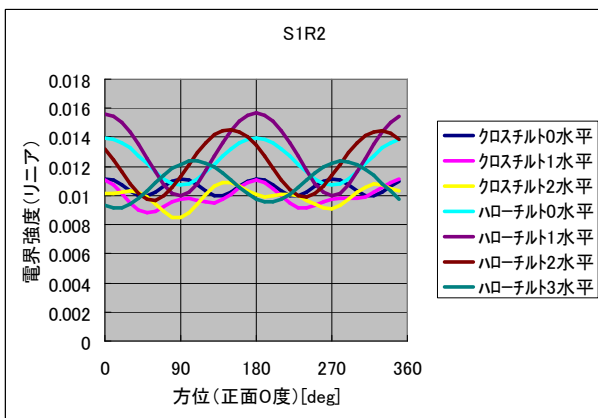


図 26

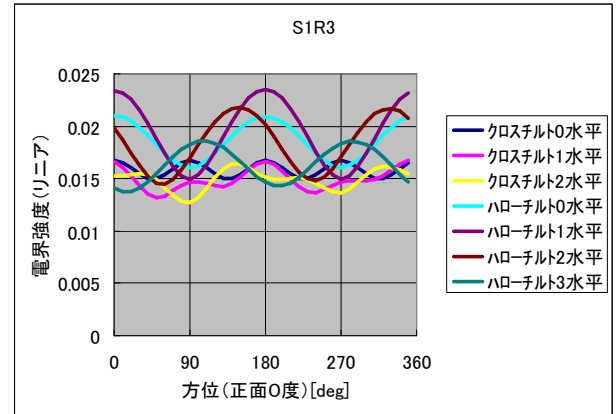


図 27

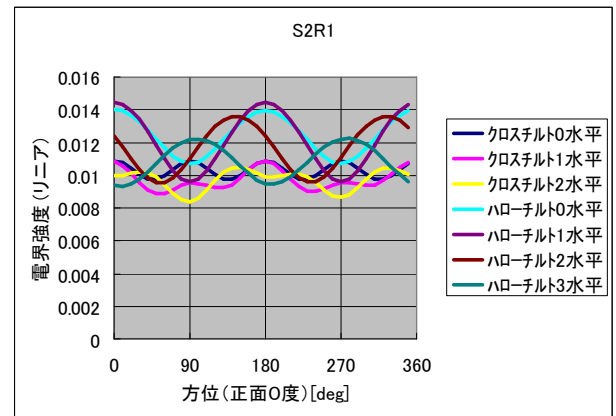


図 28

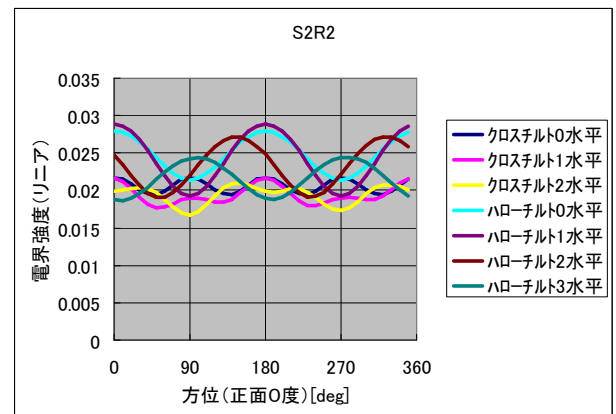


図 29

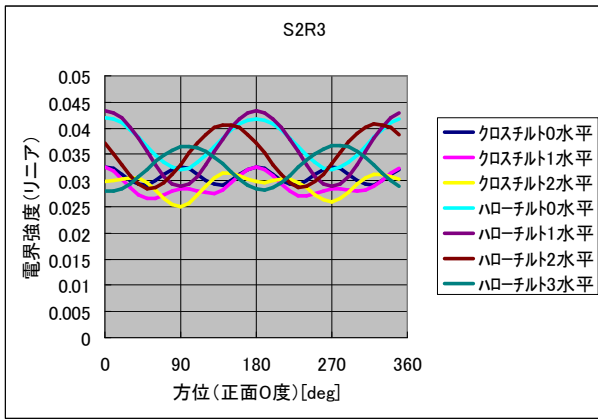


図 30

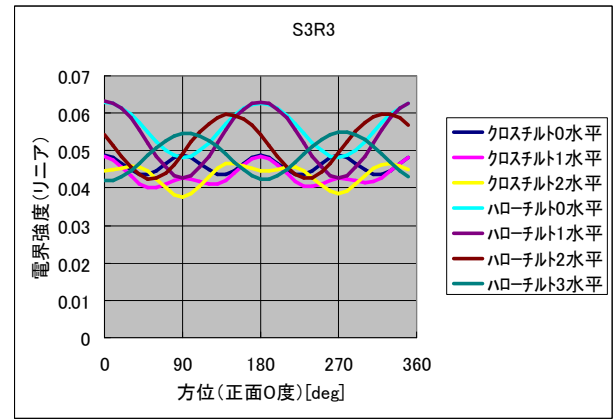


図 33

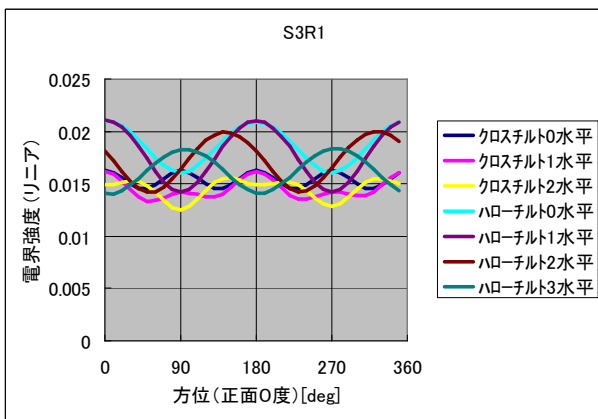


図 31

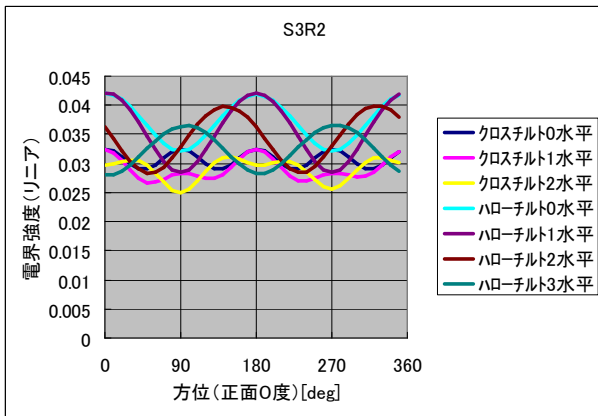


図 32

これらから次のことが言えます。

- ◇ 平均的にハイローの方がゲインが高い。
- ◇ クロス DPの方が無指向性に近い。
- ◇ 指向パターンは、クロス DPは45度周期だが、ハイローは180度周期である。
- ◇ チルトがあると平均ゲインは若干下がる方向。
- ◇ クロス DPの場合は45度回転した方向にチルトするクロスチルト2のパターンが一番厳しい
- ◇ ハイローの場合は、給電点とGAPを結ぶ線を軸にチルトするハイローチルト3のパターンが一番厳しい。
- ◇ ハイローの場合は給電点とGAPを結ぶ線がチルトするハイローチルト1のパターンではゲインが上がる部分もある。
- ◇ 送受信アンテナの地上高が変わった場合、絶対的なレベルは変わるが、相対的な指向性パターンはほとんど変わらない。

次に垂直偏波の指向性です。

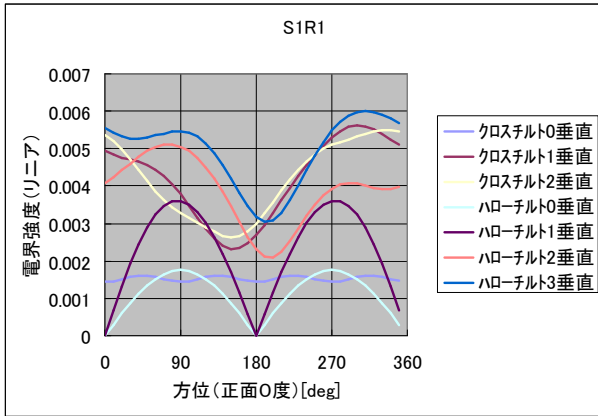


図 3 4

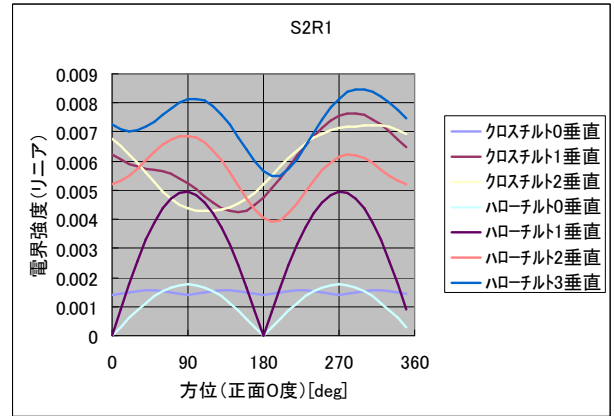


図 3 7

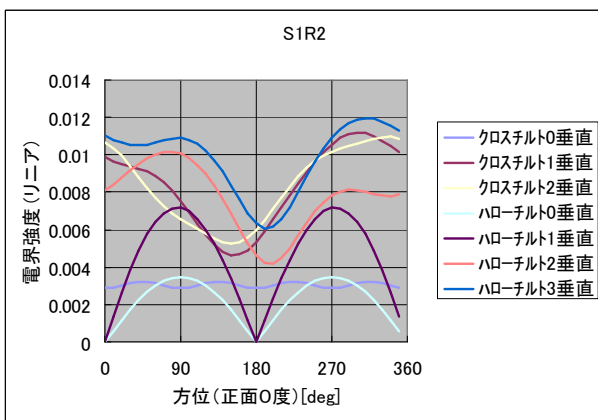


図 3 5

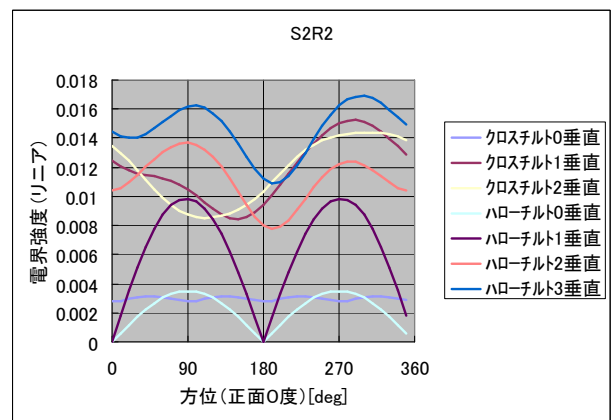


図 3 8

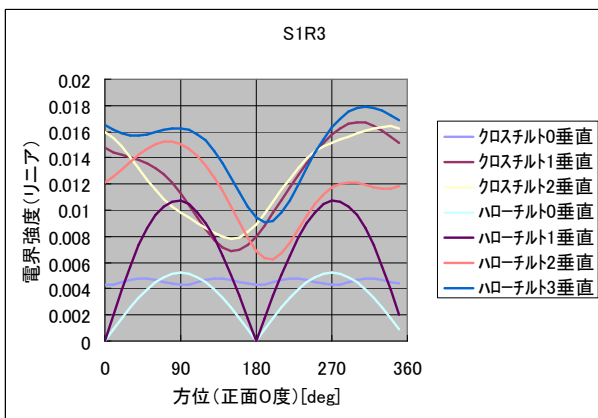


図 3 6

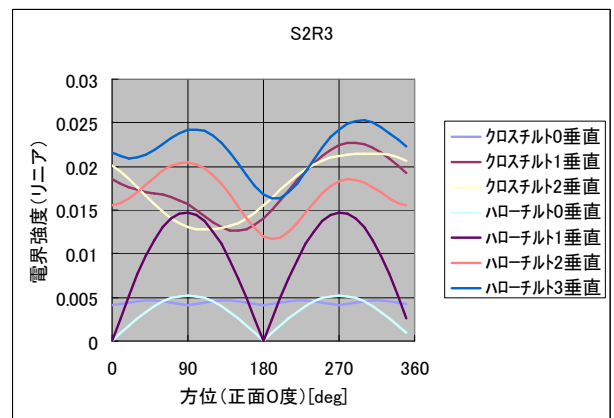


図 3 9

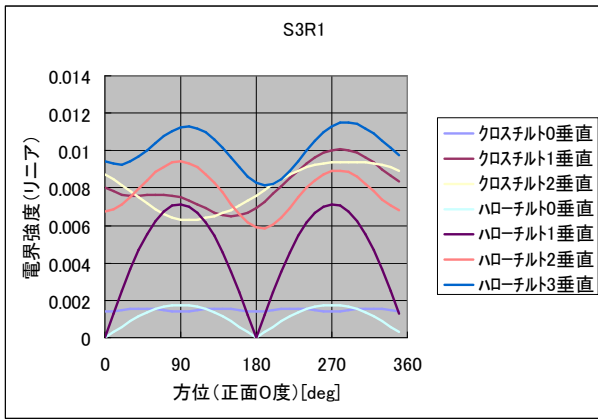


図 4 0

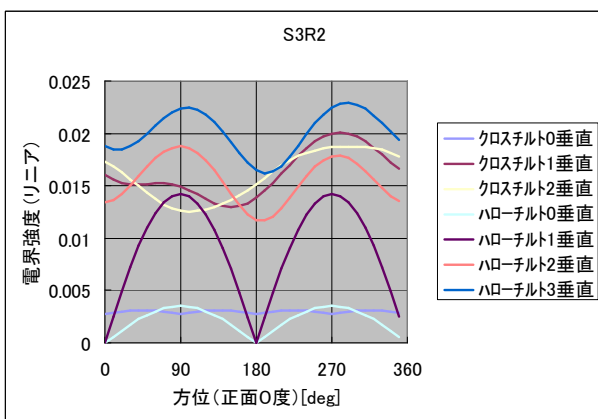


図 4 1

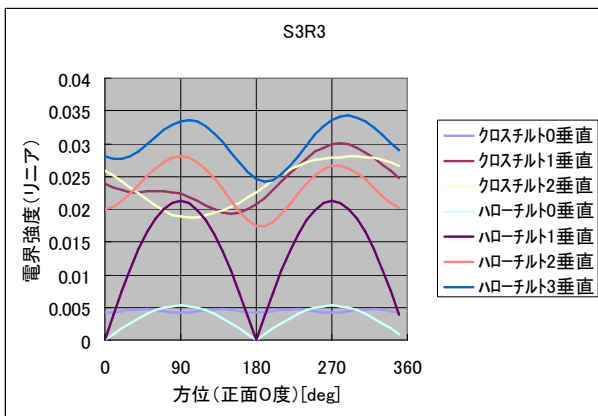


図 4 2

垂直偏波の指向性パターンから次のことが言える。

- ◇ヘイローにはヌル点がある。ただし、チルト方向によっては消滅する。
- ◇ 両アンテナともチルトにより垂直偏波成分が増加する。

次に少しまとめてみましょう。

全方位 (360度) の平均と変動幅を求めます。チルトパターンは両アンテナで複数ありますが、これもまとめてしまいます。

図 4 3 ~ 図 5 1 に示します。送受信アンテナの地上高によりレベルが上下しますが、全体的な傾向は同じであることがわかります。

水平偏波は、ヘイローの方がクロス DP より若干レベルが高く、両方ともチルトにより若干レベルが下がります。チルトの影響は非常に小さいといえます。

垂直偏波は、水平偏波よりレベルはかなり小さいですが、チルトにより大幅にレベルが増大します。場合によっては、水平偏波レベルに肉薄します。

指向性によるレベル変動は、両アンテナとも基本的に小さいですが、チルトにより増大します。なおヘイローアンテナではヌル点があるため、変動幅下限は意味を持たない部分もあります。



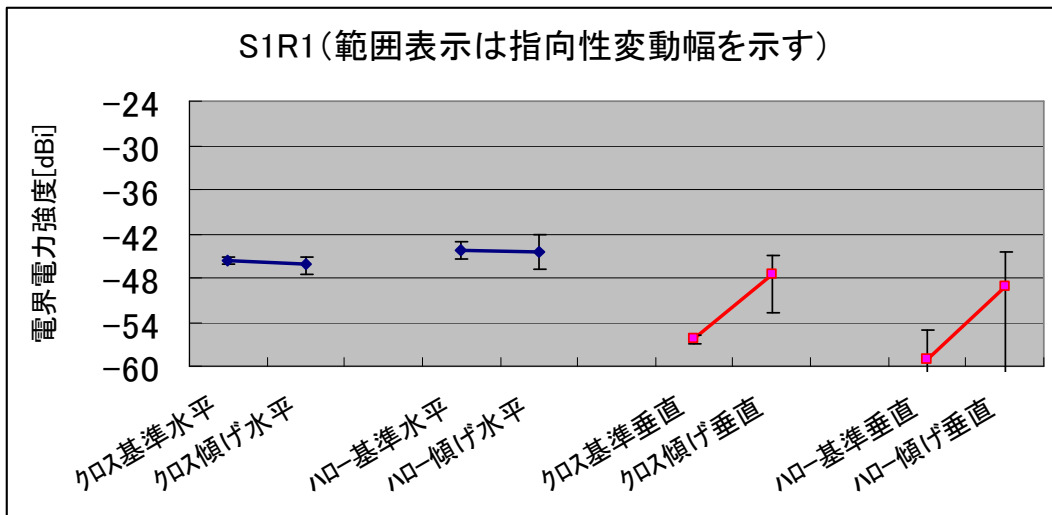


図 4 3

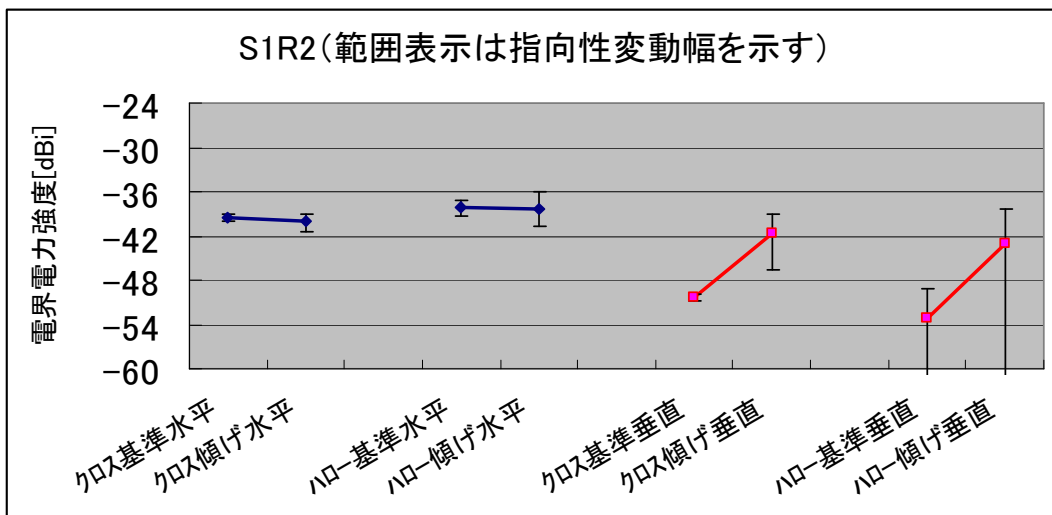


図 4 4

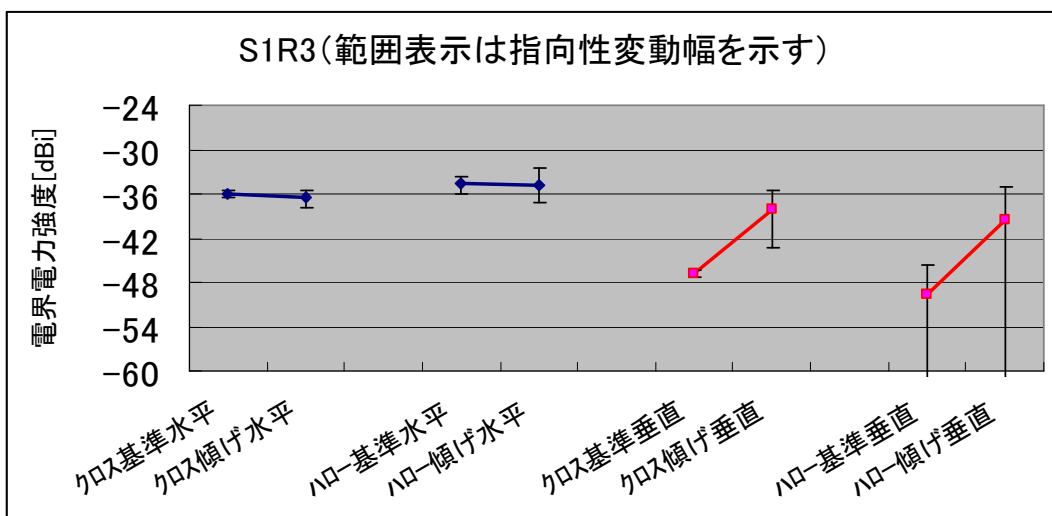


図 4 5

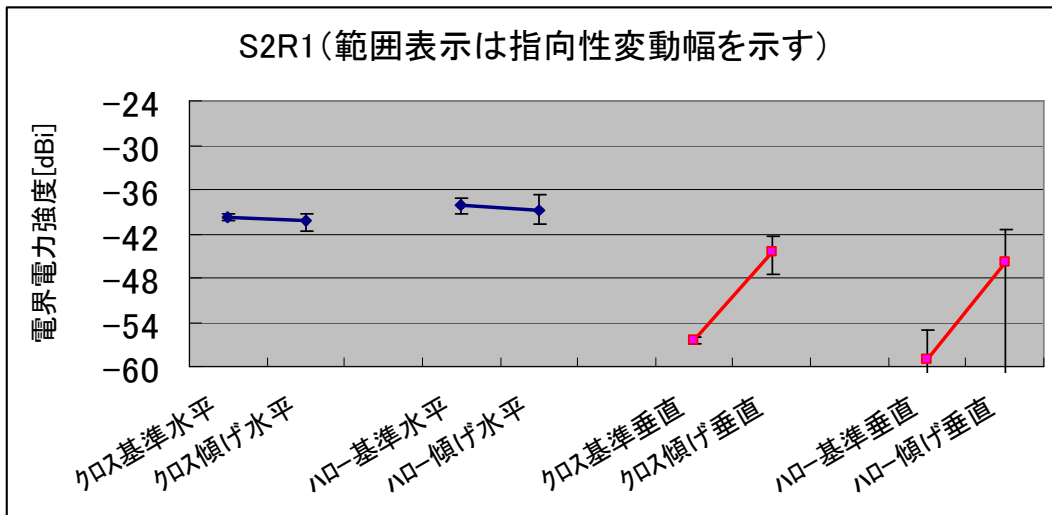


図 4 6

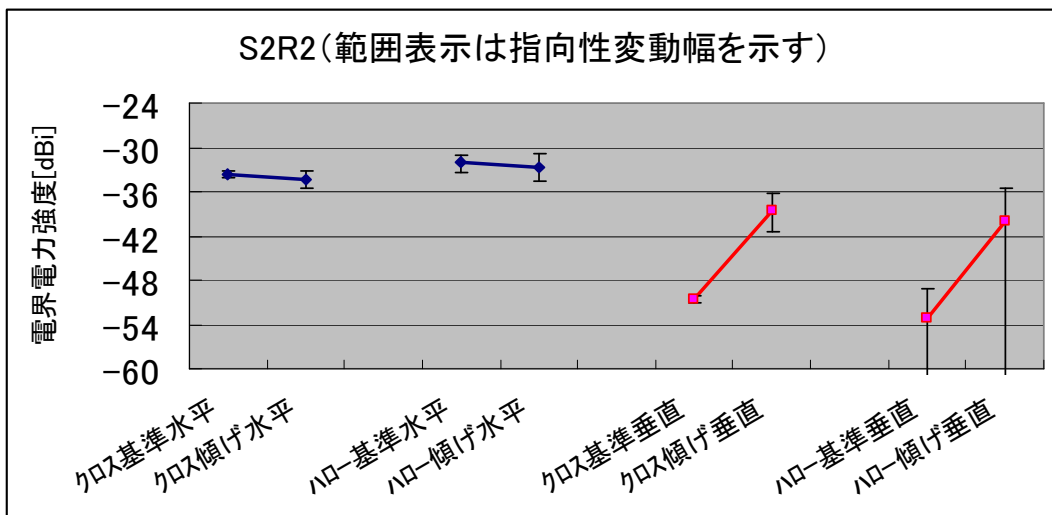


図 4 7

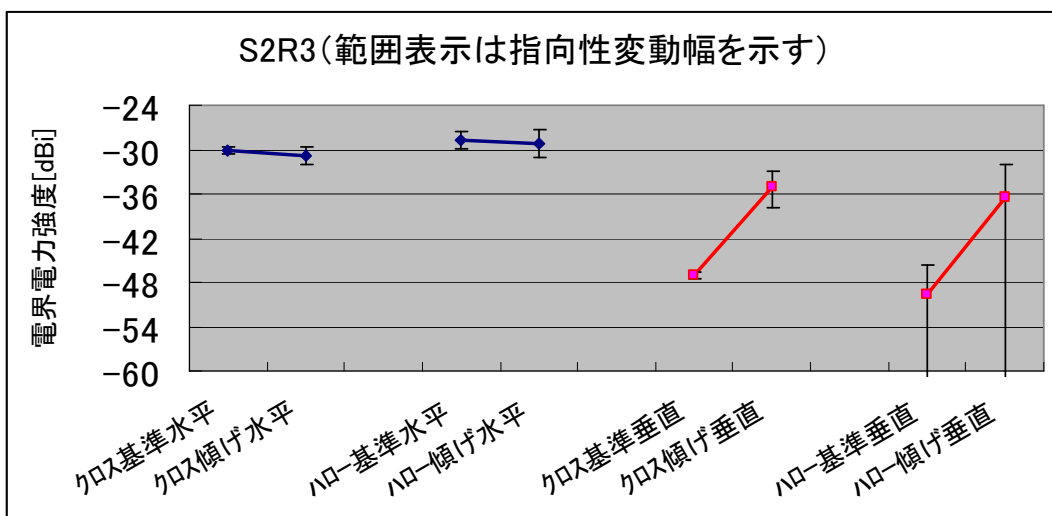


図 4 8

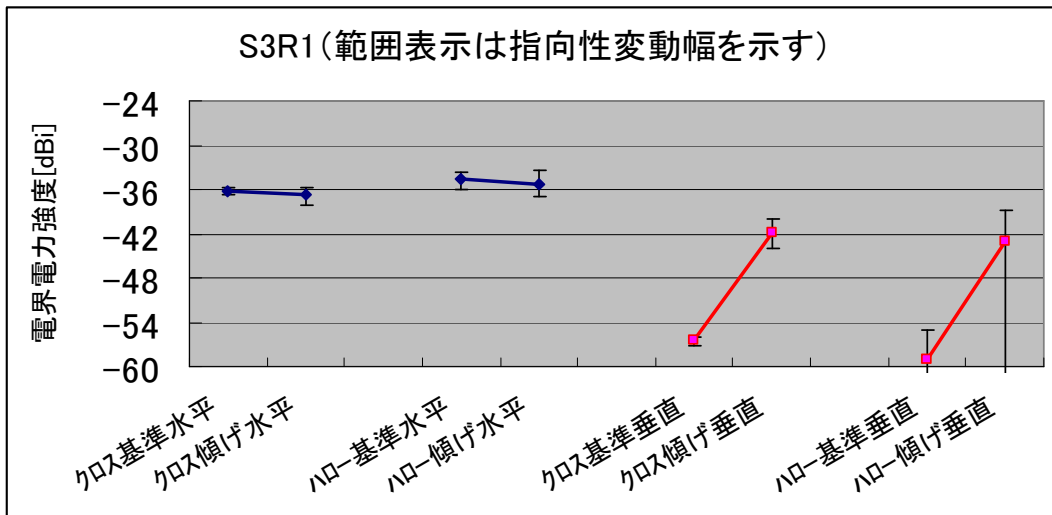


図 4 9

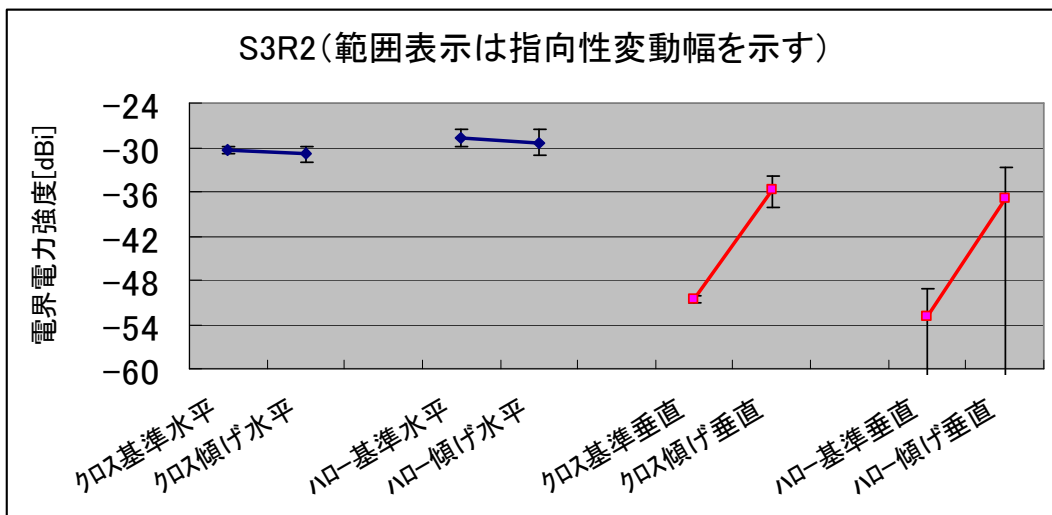


図 5 0

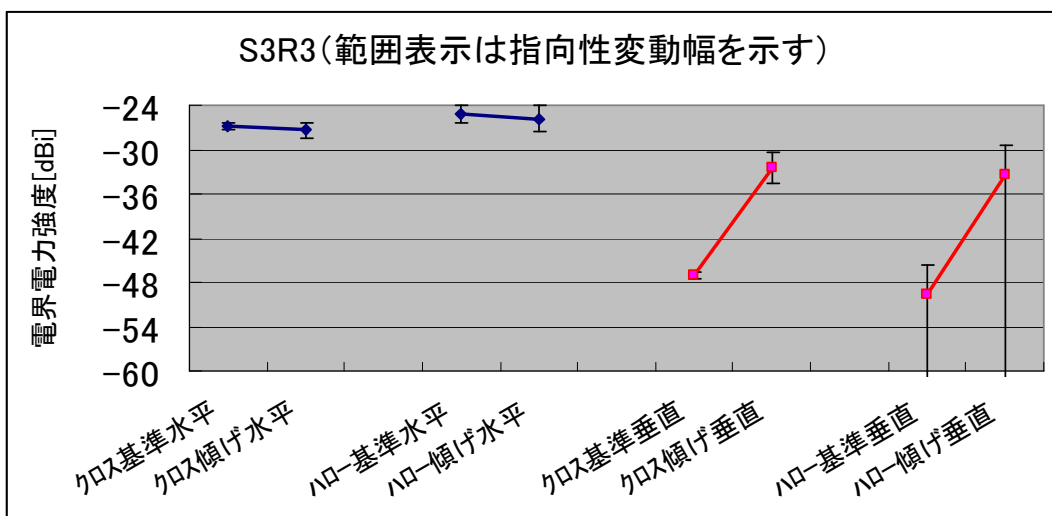


図 5 1

アンテナ地上高による差に比べて、指向性変動幅（方位による変動）はきわめて小さいことがわかりましたので、その分を無視することにより9枚の図をまとめ図5 2を作成しました。図中の記号でS2R1 などというのがありますが、送信アンテナと受信アンテナの高さを意味しています。

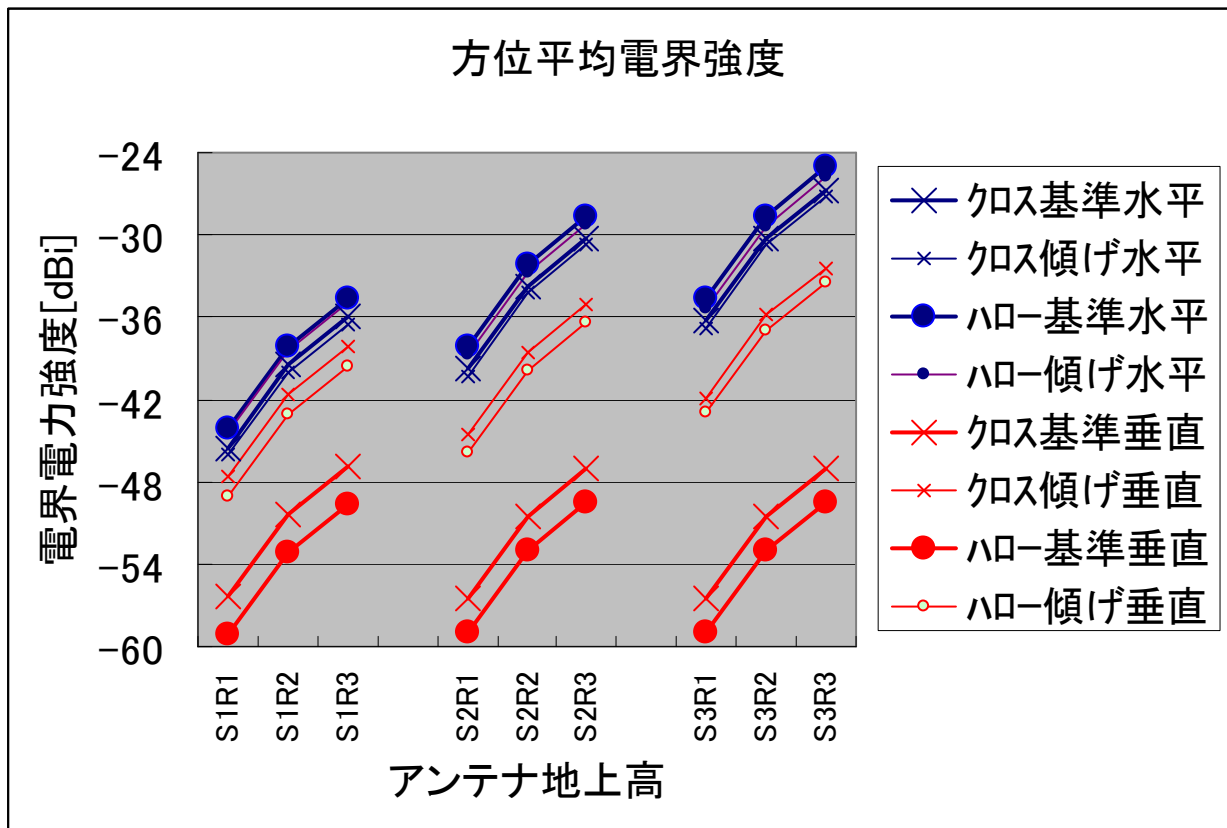


図 5 2 方位平均電界強度の比較

クロス DP もヘイローも、チルトのあるなしも、水平偏波も垂直偏波も、受信アンテナが 1 m→2 m になることにより 6 dB 上昇し、2 m→3 m になることにより 3 dB ほど増加していることがわかります。

また、垂直偏波に関しては送信アンテナ地上高の影響を受けにくく、特にチルトなし（図中では基準と表示）では、ほぼ影響は 0 です。このことについては前章でも触れました。

水平偏波では、S1R2=S1R2、S1R3=S3R1、S2R3=S3R2 であることもいえます

ここでチルトの影響についてまとめます。

◇両アンテナとも、水平偏波に対するチルトの影響は微小である。

◇両アンテナとも、垂直偏波に対するチルトの影響は大であり、特に送信アンテナの地上高が低い場合は、水平偏波電界に肉薄する。

## 9. まとめ

送受信間距離と送信アンテナ地上高とアンテナ種別での比較を総合しておこないます。ここでは受信アンテナ地上高を 1 m、チルトなし、指向性の乱れはなしとしました。結果を図 5 3 に示します。また、わかりやすいように S 目盛りを参考に記載しました。（-12 dB を S9 とした）

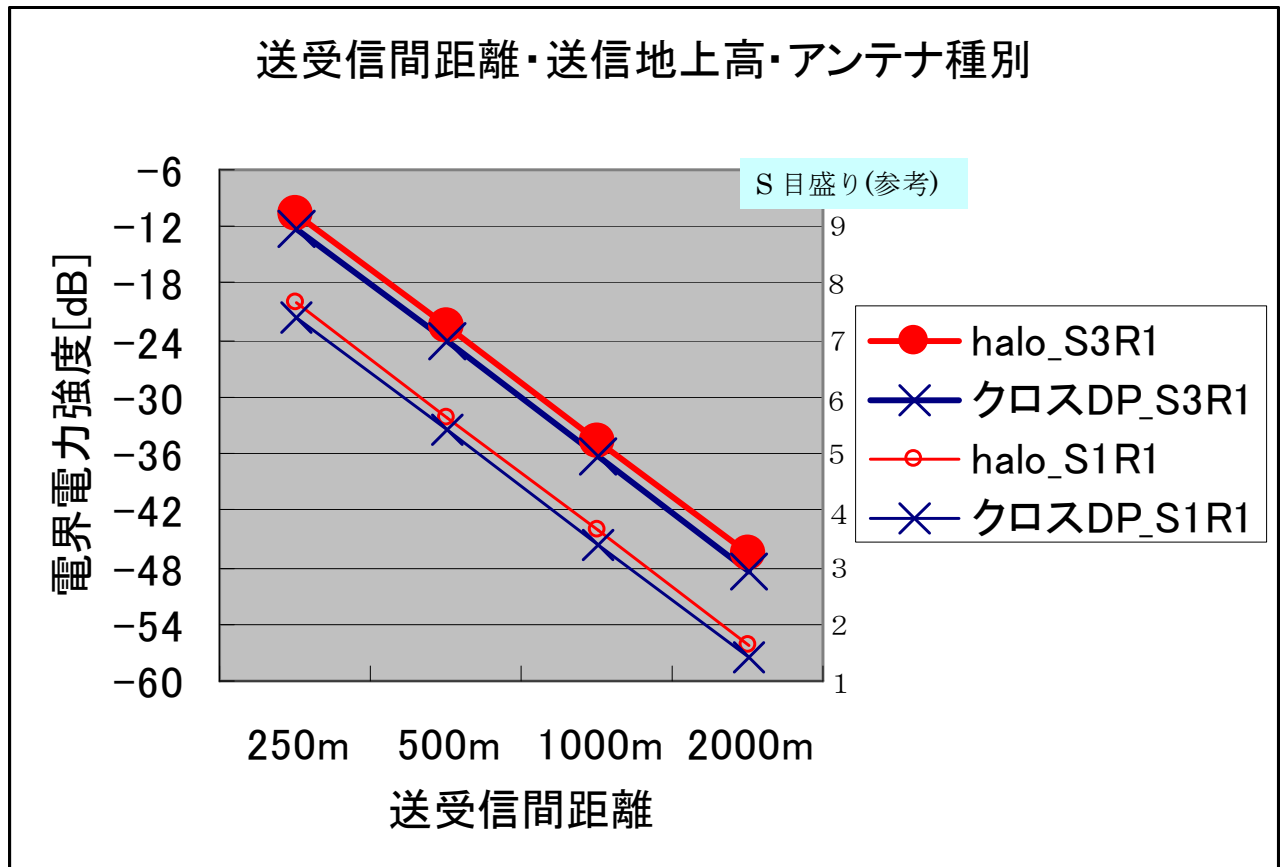


図 5.3 送受信間距離、送信地上高、アンテナ種別の影響

これからわかることは以下のとおりです。

- ◇ ヘイローとクロス DP ではほとんど差がない。
- ◇ 送信アンテナ地上高が 1 m から 3 m になると、S 目盛が 1.5 程度増加する。
- ◇ 送受信間距離が半分になると S 目盛が 2 増加する。

また、指向性の乱れについては、変動幅が S 目盛で 0.5 程度しかなく、チルト（30 度）をさせた場合の変動も微小であるので、誤差範囲と考えてよいでしょう。

垂直偏波成分については、両アンテナの差はほとんどありません。しかしどちらのアンテナにしても、チルトがあると大幅に増加し、送信アンテナ地上高が低い（例えば 1 m）場合ほど、水平偏波成分のレベルに近づきます。

## 10. 結論

2010長野大会で使用された144MHz帯アンテナには次のような特徴があり、2010全日本大会でも同様なアンテナ及び設置方法になるといわれています。

- ◇ ヘイローアンテナ採用（一般的にはクロスDPがよく用いられている）
- ◇ 設置地上高が2.5m～3m（一般的には1mくらい）

競技者からの感想としては、

- ◇ 信号が強かった
  - ◇ 信号が素直だった
  - ◇ 傾きに対して弱いのではないか（これは主として設置方法とアンテナ形状から機械的に傾きやすいということであるが、本報告では同じ角度傾いたときの電波状況を比較する）
- などがありました。

そこでアンテナシミュレータであるMMANAを利用して、計算にて通常の送信アンテナと比較をおこなった結果、次のことがわかりました。（断りがない限り、水平偏波での話です）

- 「受信機での信号出力を耳で聞いて信号レベルを判断する」という、通常のARDF競技に使用することを前提として、ヘイローアンテナとクロスダイポールアンテナを比較した結果
- ◇ 両アンテナの差はないと考えてよい
    - 利得や指向特性についての両アンテナ間の差は微小。
    - どちらも無指向性アンテナとして考えてよい。
    - アンテナをチルトさせたときの性能変化は両アンテナで同程度
  - ◇ 電波が強かったのは、送信アンテナの地上高が高くなったことが支配的

また、あわせて次のことがわかりました

- ◇ 送受信間距離
  - 送受信間距離が1/2になると、S目盛が2増加する。
  - 送受信間距離が1/4になると、S目盛が4増加する。
  - 送受信間距離が1/8になると、S目盛が6増加する。
  - 送受信間距離が2倍になると、S目盛が2減少する。
  - 送受信間距離が4倍になると、S目盛が4減少する。
  - 送受信間距離が8倍になると、S目盛が6減少する。

◇ 送受信アンテナ地上高 (送信 1 m、受信 1 mを基準とした場合)

送信 1 m、受信 2 mでは、S 目盛が 1 増加する

送信 2 m、受信 1 mでは、S 目盛が 1 増加する

送信 1 m、受信 3 mでは、S 目盛が 1.5 増加する

送信 3 m、受信 1 mでは、S 目盛が 1.5 増加する

送信 2 m、受信 2 mでは、S 目盛が 2 増加する

送信 2 m、受信 3 mでは、S 目盛が 2.5 増加する

送信 3 m、受信 2 mでは、S 目盛が 2.5 増加する

送信 3 m、受信 3 mでは、S 目盛が 3 増加する

◇ その他

30 度傾け、指向性パターン変動、両アンテナの差は、S 目盛換算でせいぜい 0.2 程度

## 1 1 謝辞

ヘイローアンテナ検討いきさつ情報を提供いただいた浦安市の古田さん、ヘイローアンテナに関する一般情報を提供いただいた関係諸氏に感謝します。