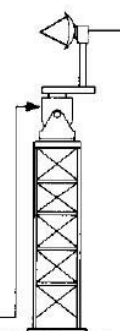
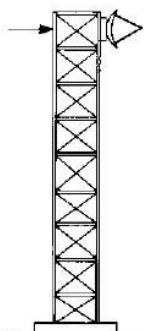


5.5. アンテナ測定の基礎と測定の効率化

アジレント・テクノロジー 株式会社
アプリケーション・エンジニアリング部
XT グループ
大沼 克己 氏

JAXA様 第9回試験技術ワークショップ

アンテナ測定の基礎と 測定の効率化



アジレント・テクノロジー(株)

アプリケーション・エンジニアリング部
XTグループ 大沼 克己

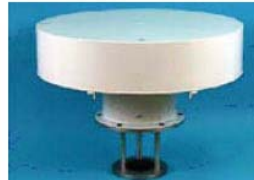
Page 1

Agilent Technologies

Antenna Measurement Basics
For JAXA Workshop
2011/11/03

現代のアンテナ測定

- 現代のアンテナはさらに高性能化し、
- フェイズドアレイ化など技術的な複雑さは増し、
- 品質や機能の要求もさらに厳しくなる
- 品質確保のために必要な測定項目も増えている



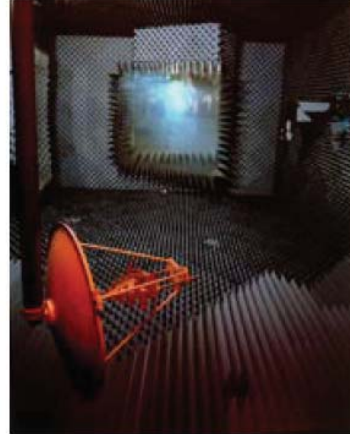
Page 2

Agilent Technologies

Antenna Measurement Basics
For JAXA Workshop
2011/11/03

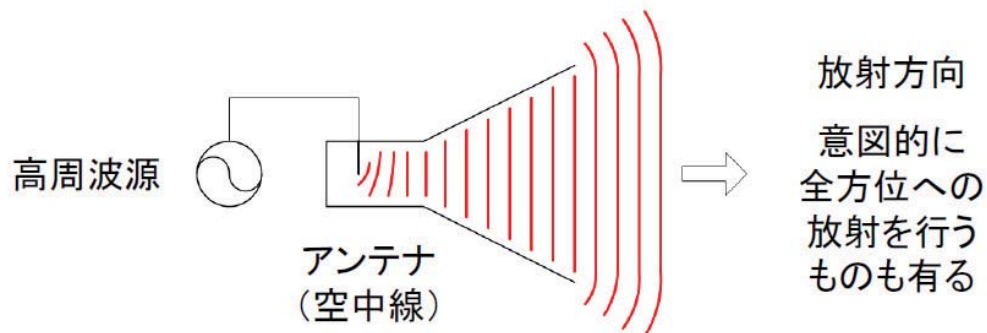
アンテナ測定レンジでの評価項目

- アンテナ放射パターン
 - ビーム幅
 - サイドローブ比
 - ヌル深さ、前後比 など
- 利得および周波数特性
- 交差偏波特性
- 積算送信電力(携帯電話など)
- VSWR(暗箱などでも測定可) など



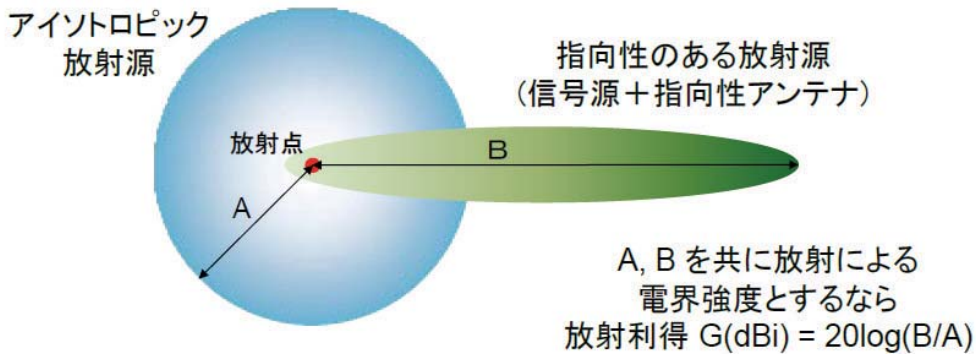
アンテナの機能

- 高周波電力を電磁波に変換して空間に放出する(またはその逆)
- 同軸線路／導波路と自由空間とのインピーダンス変換をする
- 電磁波のエネルギーを目的の方向に集中する
(または特定方向からだけ集める)



放射利得(dBi または dBd)

無損失、完全無指向性、大きさ0の点放射源を仮定する。これを**アイソトロピック**放射源と呼ぶ。これを基準にしてアンテナの指向方向正面(ボアサイト)でどのくらい強い放射が得られているか、その比を放射利得という。単位は dBi。低周波数ではダイポールアンテナ基準で定義されることもある(dBd)。

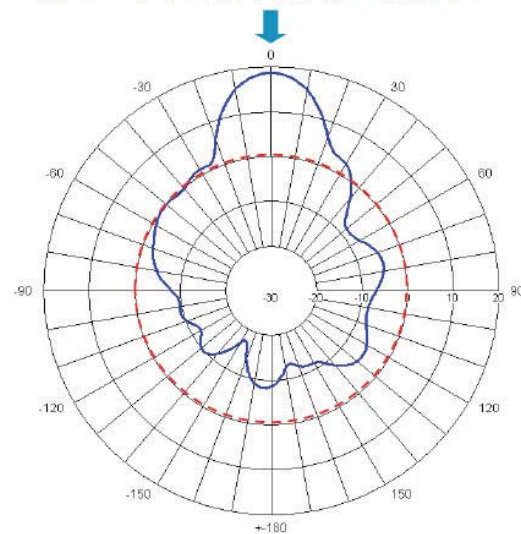


アンテナ放射パターン

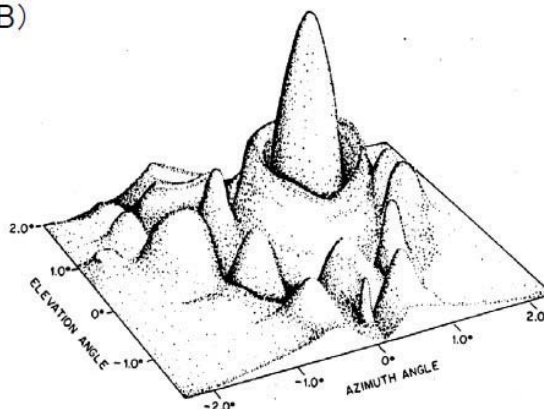
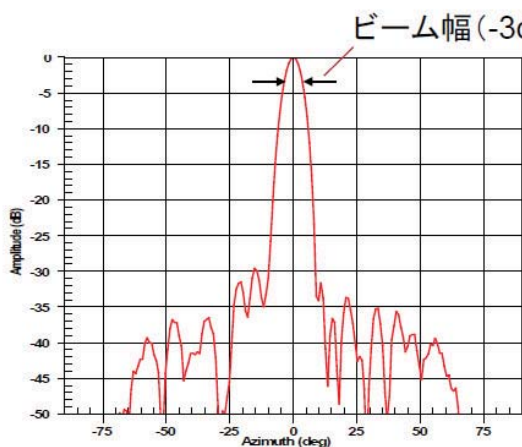
アンテナの方位角と放射された電界強度の関係を図にしたもの。被測定アンテナ(AUT)を回転台に載せて回し、回転角の関数として放射信号強度を測る。

通常は送受を逆にして測る。回転方向が地表と平行の場合を**アジマス面**、垂直の場合を**エレベーション面**と呼ぶ。

放射レベル(又は受信レベル)が最も高い方向を**ボアサイト**と称するが、無指向性アンテナには定義されない。



二次元／三次元の放射パターン表示

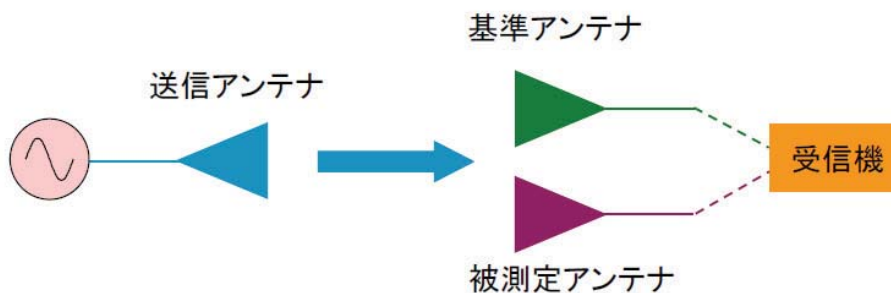


放射パターンの二次元(直交座標)表示。ビーム幅、ボアサイト方向、サイドローブ比、ヌル深さなどの様々なパラメータをここから読み取ることができる。

高利得アンテナのラスタースキャンによる三次元表示。上方向(Z軸)がレベル。Waterfall Plotの一種。視覚的な判り易さが主目的で、数値の読み取りには不向き。

放射利得の測定

基準とできるようなアイソトロピック放射源は実在しないので、利得の測定は利得が既知の基準アンテナとの比較で行われる。ネットワークアナライザのレスポンス校正に近いが、Thruが0dBではない。



稀に「方向性」の測定で代用されることもある。これはボアサイト方向の電界強度を、全方位の電界強度の平均値で割ったもので、被測定アンテナの内部損失が含まれない点が異なる。

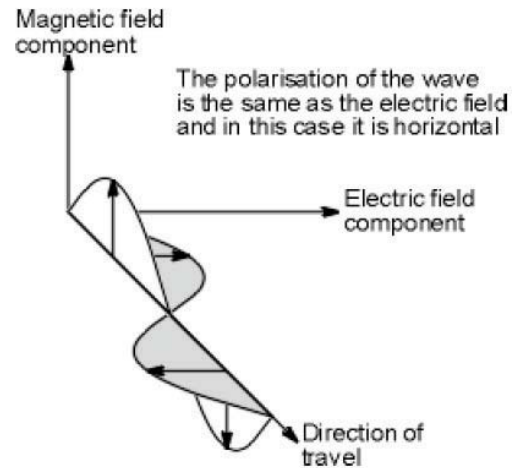
直線偏波と偏波面

放射される電磁波の電界面と磁界面は直交しているが、この電界面が向いている方向を偏波面という。

偏波面が固定している電磁波は直線偏波と呼ばれる。

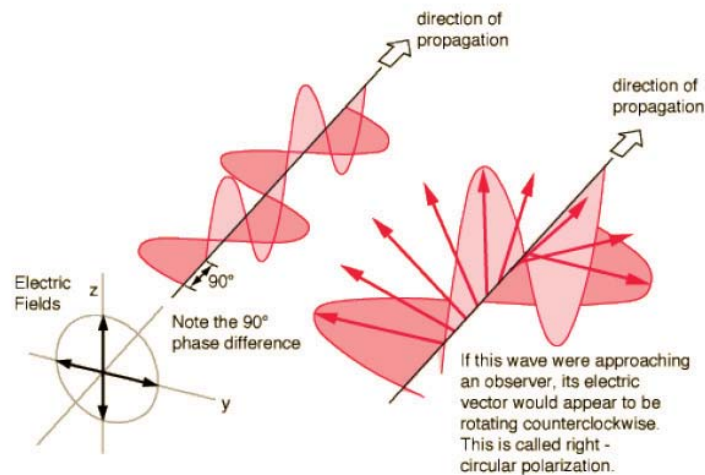
偏波面が大地に対して水平の場合は水平偏波、垂直の場合は垂直偏波という。

直線偏波のアンテナは、理想的には直交する偏波を受信しないので（実際は有限の除去比を持つ）、同一周波数に信号を多重化して、利用効率を上げることもできる。



出典: <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/basics/polarisation-polarization.php>

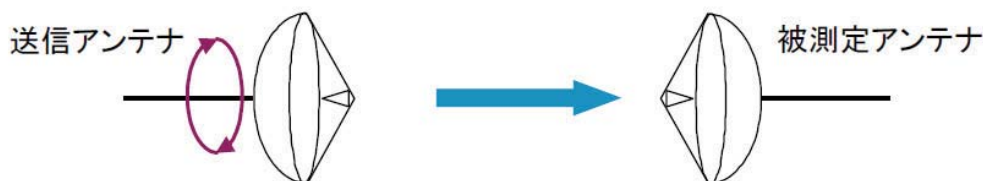
円偏波



直線偏波の電磁波を二つ合成し、偏波面が直交、かつ電界強度が等しい場合を仮定する。更にこの二つの波の位相を90度ずらすと、合成ベクトルは常に円を描いて回転する。これを円偏波という（楕円偏波の特殊な場合）。合成する位相差の符号で回転方向が変わり、進行方向に対して右回転を右旋偏波、左回転を左旋偏波と呼ぶ。円偏波用アンテナは、やはり逆回転の偏波を持つ電波は理論的には受信しない。

偏波測定

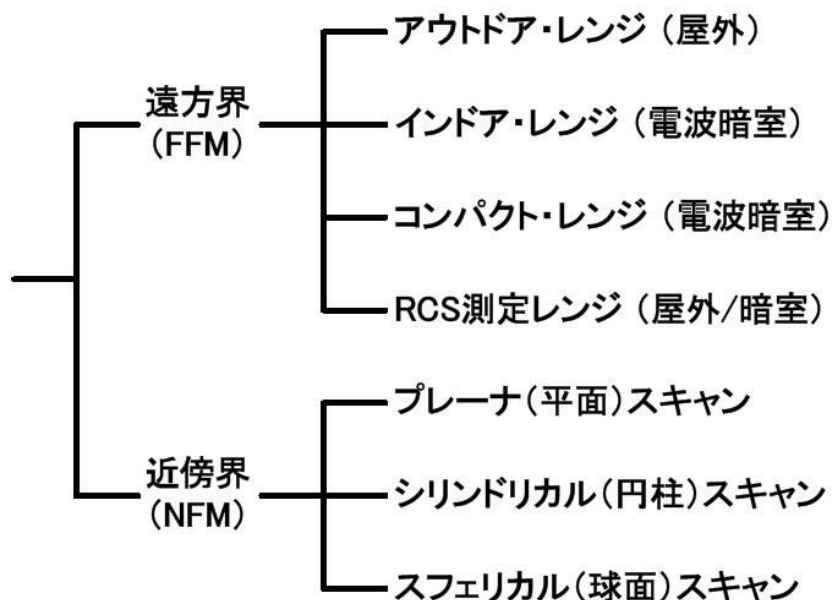
直線偏波のアンテナは、理想的には直交する偏波を受信しないが、実際は有限の除去比を持つ(交差偏波特性)。右旋/左旋の両円偏波にも同様の測定が有る。



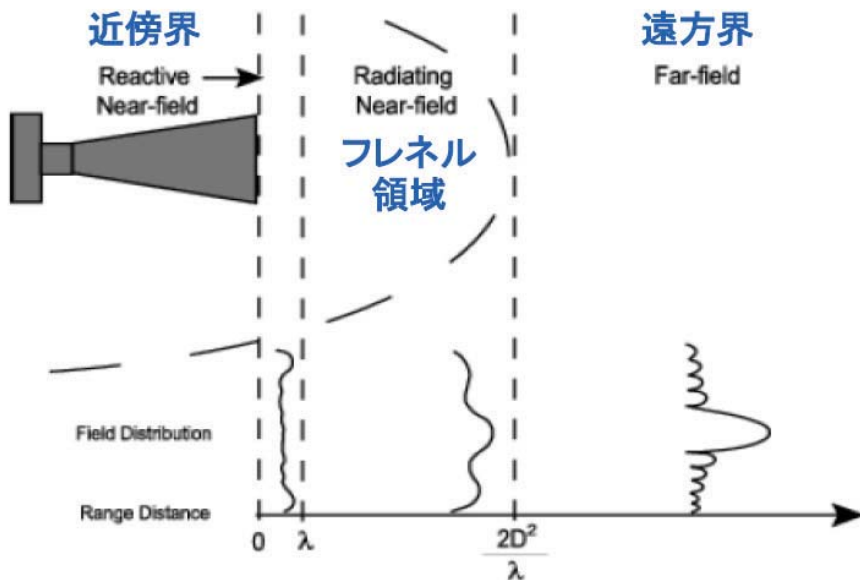
回転台の複雑化を避けるため、通常は送信アンテナを回転させたり、切り替えたりして偏波面を変えながら測定する。

送信アンテナを高速に回転させながら被測定アンテナは水平に回転させ、各方位の偏波特性を一挙に測ってしまう方法も有る。

アンテナ測定レンジの分類

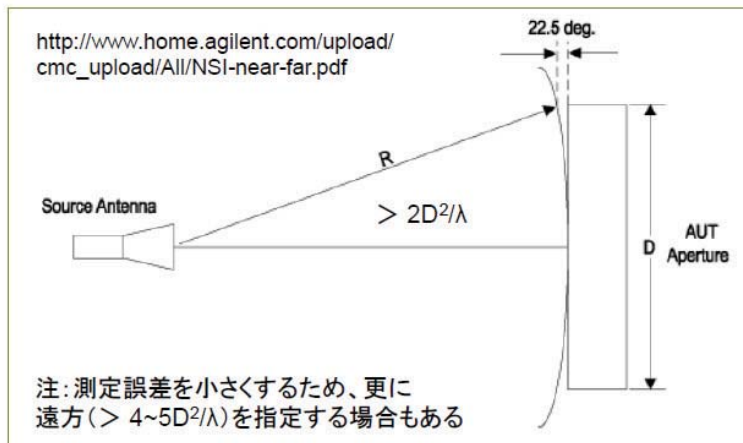


アンテナ放射領域の分類



http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/NSI-near-far.pdf

遠方界条件の決め方



The mathematical expression for determining the minimum separation distance is: $R < 2D^2/\lambda$

Where:

R = Range length (separation distance between transmit and receive antennas)

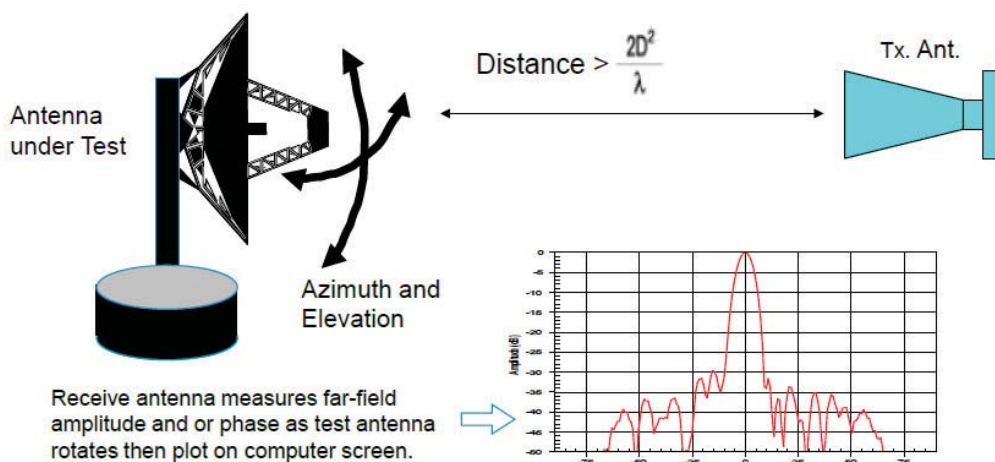
D = Aperture of antenna under test

λ = Measurement wavelength (shortest of the ones tested)

遠方界測定

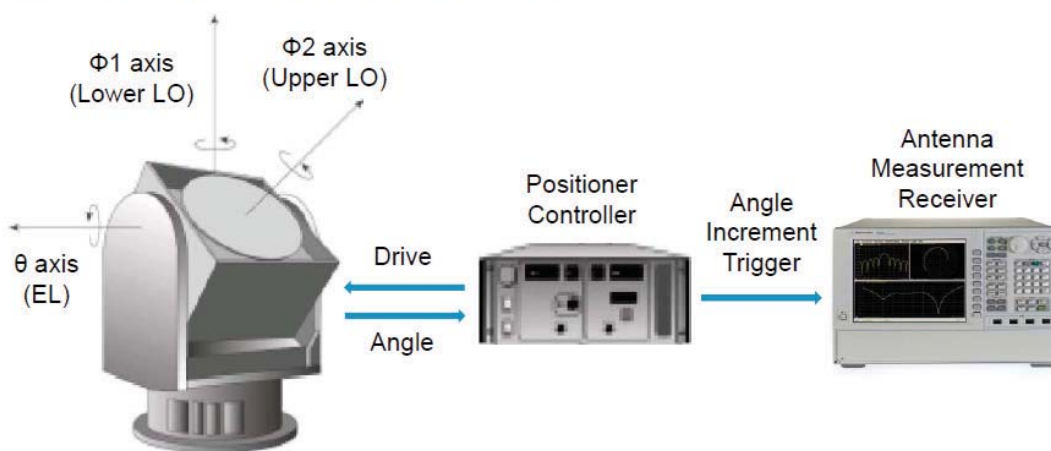
基本概念：

- ・ 被測定アンテナをアジマス軸ないしエレベーション軸で回転させる
- ・ 遠方界で測定したデータを PC 上に記録する



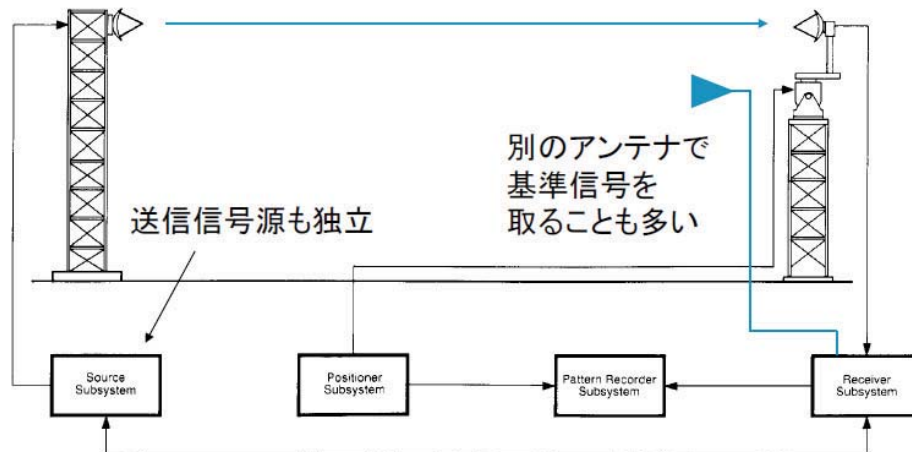
アンテナ回転台

AUTを載せて回転させる台。軸数、耐荷重、角度精度などによって多くのバリエーションや製品グレードが存在する(衛星用途では 1/1000 度分解能のものも使われる)。回転角と受信機の同期をどのように取るかで、測定速度が変わる。角度増分トリガが使えると速い。



アウトドア・レンジ(遠方界)

屋外に設置された測定レンジ。測定周波数が高く、かつ被測定アンテナが大型の場合に用いられる。送受信サイトは一般に独立しており、間に高周波ケーブルは引けないことが多い。

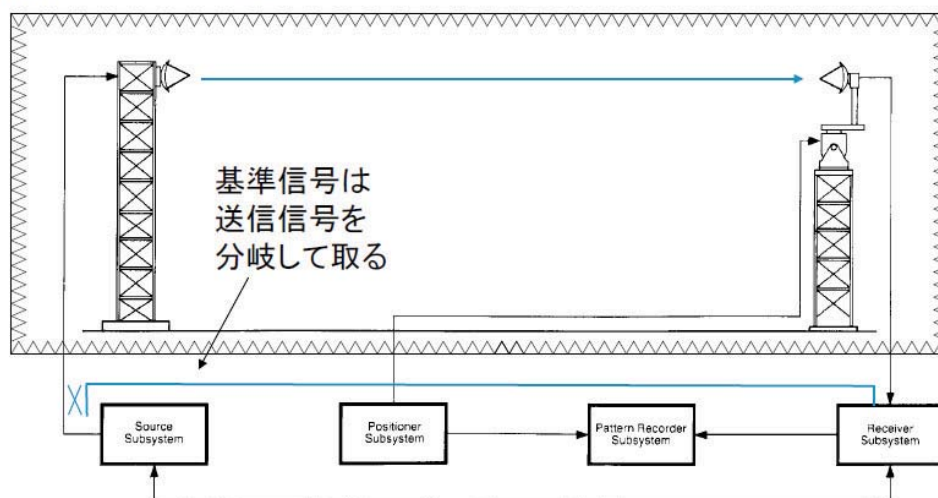


Page 17

 Antenna Measurement Basics
 For JAXA Workshop
 2011/11/03

インドア・レンジ(遠方界)

電波暗室内に設置された測定レンジ。広く汎用に使われている。アンテナ間距離が長いと、システム設計はアウトドア・レンジと類似のものになる。



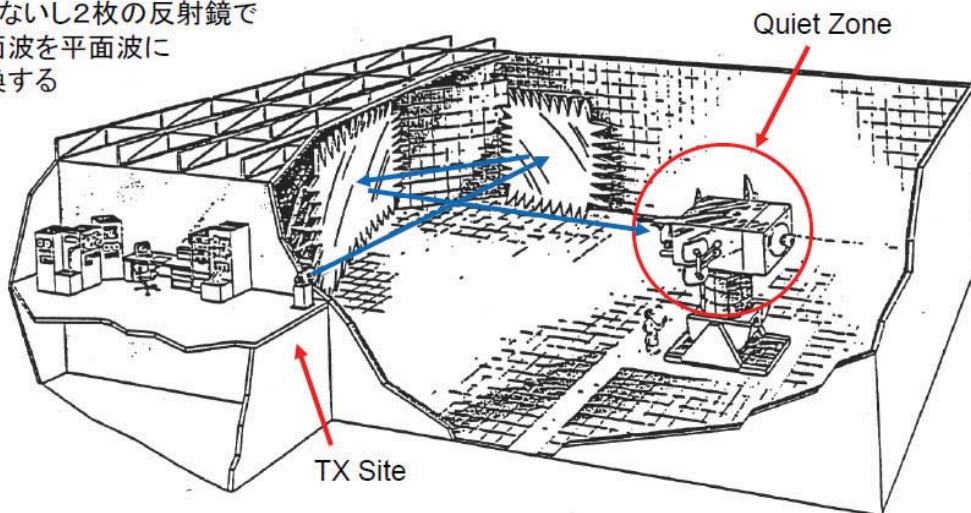
Page 18

 Antenna Measurement Basics
 For JAXA Workshop
 2011/11/03

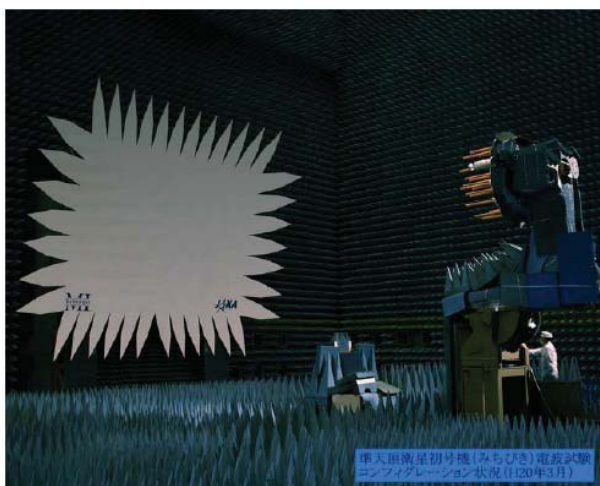
コンパクト・レンジ

反射鏡を用いて比較的短距離のインドア・レンジで遠方界条件を満たすもの。衛星用途などで使われるがコストが掛かる。

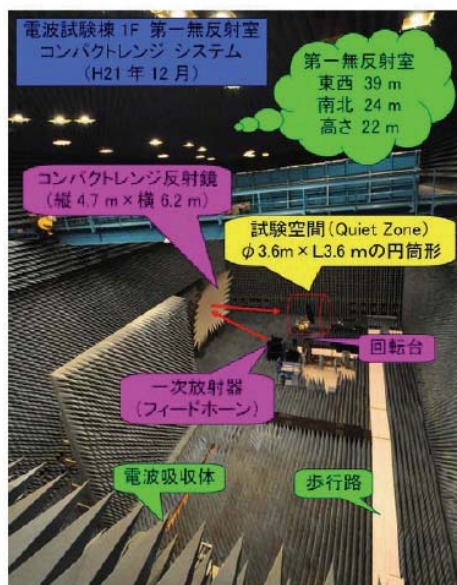
1枚ないし2枚の反射鏡で
球面波を平面波に
変換する



JAXA(TKSC) 電波試験設備の コンパクトレンジシステム



車天頂衛星切り機(みちびき)電波試験
コンフィデレーション状況(120年3月)



JAXA(TKSC) 電波試験設備の遠方界システム

受信サイト、この中に回転台が有ります



©JAXA

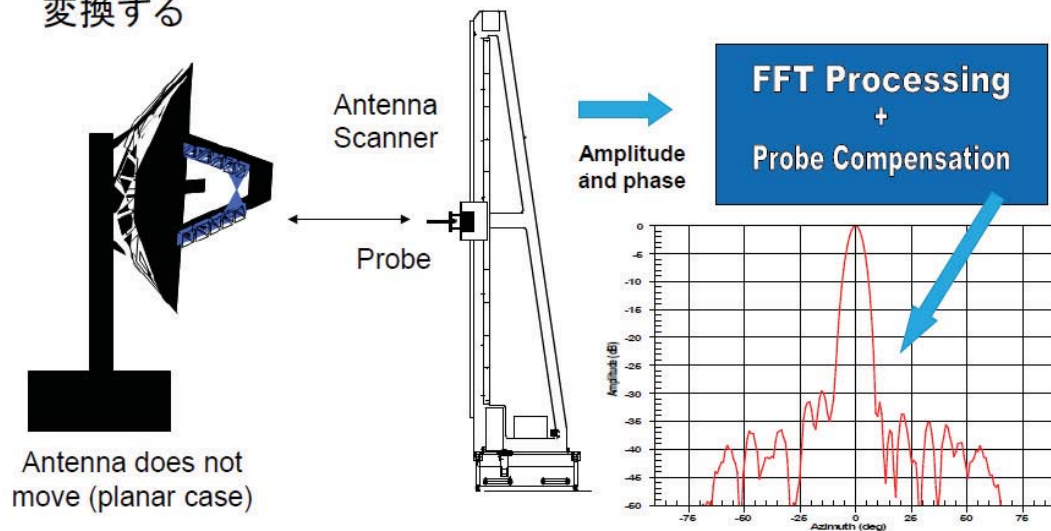
Page 21

Agilent Technologies

Antenna Measurement Basics
For JAXA Workshop
2011/11/03

近傍界測定

近傍界で測定した放射パターンを数値演算で遠方界パターンに変換する



Page 22

Agilent Technologies

Antenna Measurement Basics
For JAXA Workshop
2011/11/03

近傍界測定が必要とされる場合

- 遠方界距離が非常に長い場合
 - アンテナサイズが大きい
 - 使用周波数が高い
 - 衛星搭載用、ミリ波用アンテナ等
- 定期的な点検が必要な場合
 - 固定設置のアレイアンテナなど



ALOS-2 © JAXA

- 平面度、位置精度の非常に高いスキャナが必要
- プローブの放射パターンやケーブルの位相変動などの補正にノウハウを要する
- 信頼できるシステムを供給できるベンダは限定される

近傍界スキャンの種類

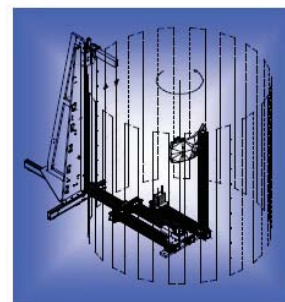
プレーナ(平面)スキャン

- Directional antennas
- Gain > 15 dBi
- Max angle < $\pm 70^\circ$

プレーナ



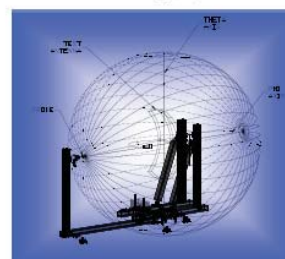
シリンダリカル



シリンダリカル(円筒)スキャン

- Fan beam antennas
- Wide side or back lobes

スフェリカル



スフェリカル(球面)スキャン

- Low gain antennas
- Wide or omni-directional patterns on any antennas

http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/NSI-near-far.pdf

(参考)コンパクトレンジ vs. 近傍界測定

レンジ種別	長所	短所
コンパクトレンジ	<ul style="list-style-type: none"> 電波暗室内で超遠方界測定ができる 標準ゲインホーンとの比較により利得測定が容易にできる 360度の全周測定が容易にでき、サイドロープを見付け易い 衛星構体や太陽電池パドル等、周辺物体の影響評価もできる 寸法がQZ以内に収まればエンドファイヤ型のヘリカルANT等、近傍界領域を外れる供試体でも問題なく測定できる 	<ul style="list-style-type: none"> 巨大な電波暗室と面精度の高いパラボリック反射鏡を必要とする QZの大きさは反射鏡サイズの制約を受けてしまう 基本的に得られる結果は放射パターン測定のみとなってしまう 一枚鏡方式では交差偏波特性の限界がある(-30dB程度と云われる) 二枚鏡方式はさらに巨大な設備規模となり、設備費や面精度維持の負担が大きい
近傍界測定	<ul style="list-style-type: none"> 巨大な電波暗室を必要としない スキャナの面積に応じて広いQZを構築できる 電磁界シミュレーション結果との親和性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 全測定箇所のデータを取得し、FFT処理をしないと何も結果が得られない 利得の絶対値は別途遠方界等での評価が必要となる 基本的にアンテナ単体での試験になる。衛星構体やパドル等、周辺の影響評価は苦手 基本的に平面アレイアンテナや開口面アンテナ以外には適応できない 試験周波数が高くなるとスキャナやプローブの精度要件が厳しくなる

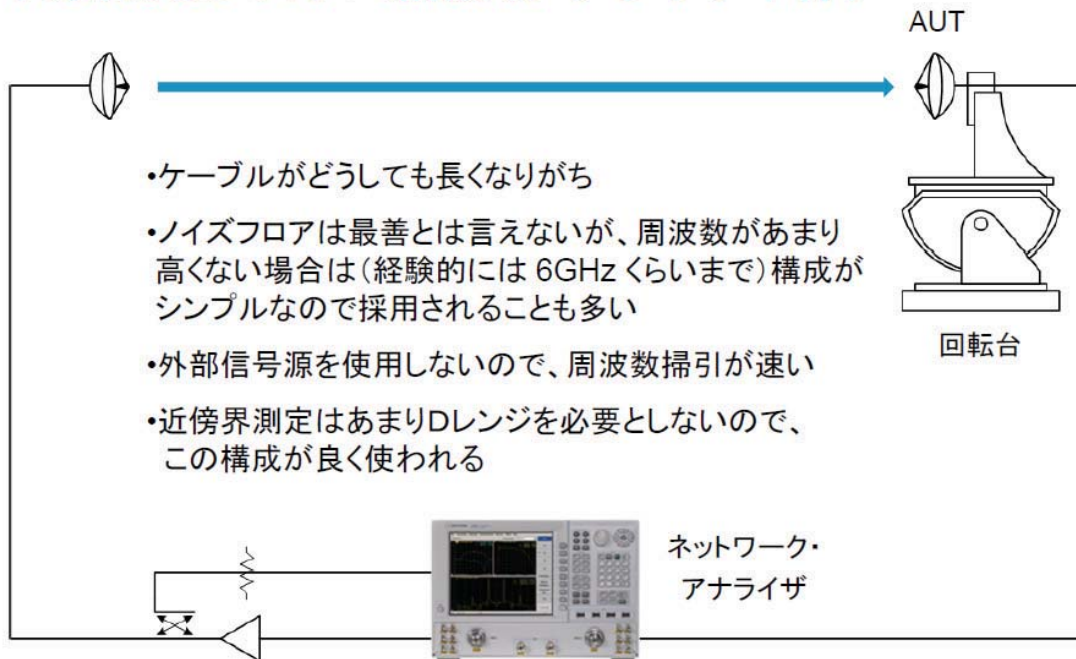
JAXA 武石 啓 様作成の資料から抜粋

Page 25

 Agilent Technologies

 Antenna Measurement Basics
 For JAXA Workshop
 2011/11/03

代表的なシステム構成(アナライザ単体)

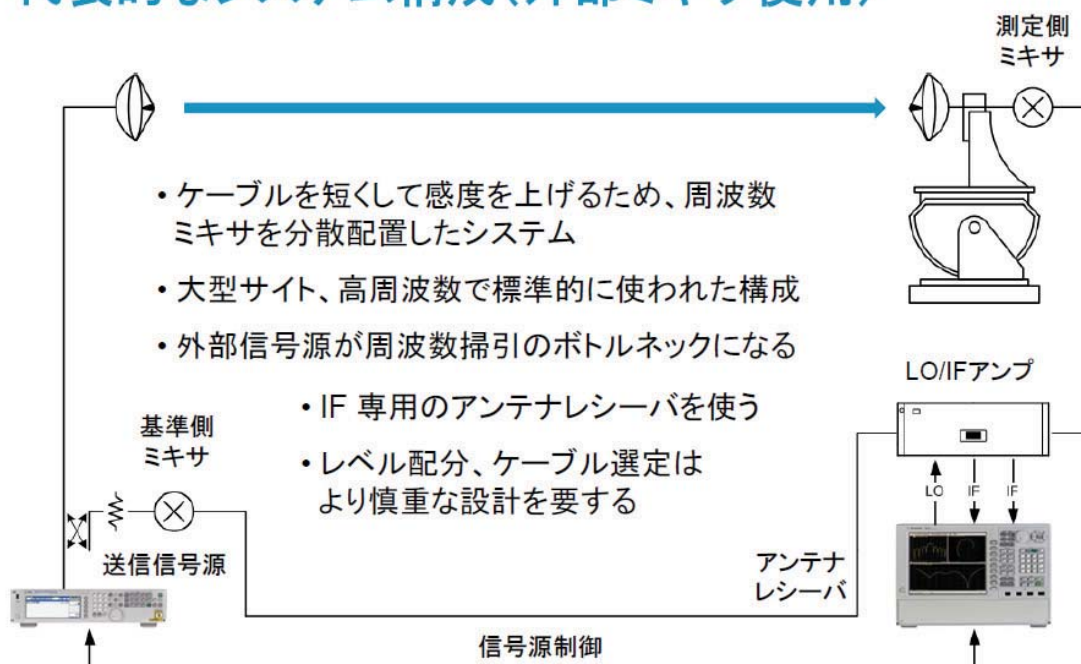


Page 26

 Agilent Technologies

 Antenna Measurement Basics
 For JAXA Workshop
 2011/11/03

代表的なシステム構成(外部ミキサ使用)



測定速度の最適化 - 測定を多重化する

放射パターン測定のパラメータは多岐に渡るが、これらを多重化して測定すると、トータルの測定時間をかなり減らすことができる。

ネストする際はパラメータ変更が速い順に内側にする。回転台の角度は一般に最も低速なので、これを外側にする。



最新機器の導入による測定速度の向上



Agilent 8530A :
5,000 points/sec
Only one parameter
at one time



Agilent 83620B :
15 – 50ms for
frequency switching

多ch化



Agilent N5264A :
400,000 points/sec
Up to four parameters at same time
COM programming available



Agilent MXG :
Less than 1ms
for switching

周波数切替の
高速化



Internal source of
Agilent PNA-X :
~100us for
frequency switching

遠方界測定における測定時間比較

旧来の 8530A をベースとしたシステムより 5倍以上速くなる
(IFBW = 10 KHz, MXG 信号源使用時の比較)

Number of test ports	3	3	3	3	3	3
Polarizations	1	1	1	1	1	2
Electronic beam states	1	64	64	128	256	256
Frequencies	1	1	5	5	10	20
Theta movement: ±30° in 1° inc						
Elevation steps: ±30° in 1° inc	11163	714432	3572160	7144320	28577280	114309120
N5264A total measurement time	6.33 min	6.33 min	7.04 min	10.88 min	34.12 min	1.60 hr
Positioner velocity (RPM)	3.000	3.000	2.475	1.269	0.321	0.108
Avg. data acq. Time (usec/pt.)	34041.0	531.9	118.3	91.4	71.6	50.4
85301B/C total measurement time	6.33 min	9.74 min	36.72 min	1.12 hr	4.25 hr	16.12 hr
Positioner velocity (RPM)	3.000	1.483	0.297	0.155	0.040	0.010



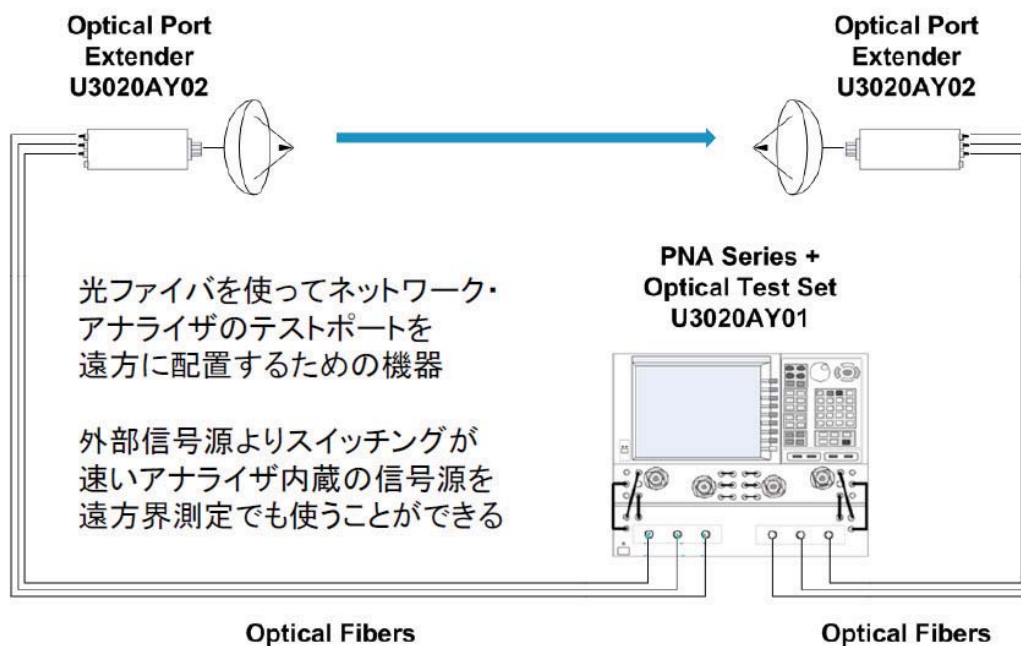
近傍界測定における測定時間比較

旧来の 8530A をベースとしたシステムより 20倍以上速くなる場合も

Number of test ports	3	3	3	3	3	3
Polarizations	1	2	1	2	1	2
Electronic beam states	64	64	128	128	256	256
Frequencies	5	5	10	10	20	20
Sampling grid: 101 x 101; Total # of points	9792960	19585920	39171840	78343680	156687360	313374720
PNA-X total measurement time	12.21 min	12.21 min	33.51 min	33.51 min	1.98 hr	1.98 hr
Average data acq. Time (usec/pts)	74.8	37.4	51.3	25.7	45.4	22.7
PNA total measurement time	32.24 min	32.24 min	62.64 min	62.64 min	3.07 hr	3.07 hr
Average data acq. Time (usec/pts)	197.5	98.8	95.9	48.0	70.5	35.2
85301B/C total measurement time	1.68 hr	3.04 hr	6.17 hr	11.61 hr	23.86 hr	45.63 hr
Average data acq. Time (usec/pts)	616.4	558.2	567.1	533.6	548.3	524.1



測定の高速度化 - 光エクステンダの利用

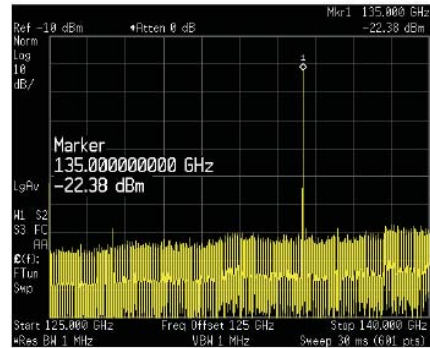


将来構想: 110GHz超のアンテナ測定

Fバンド用の二倍波ミキサを使った周波数コンバータの例。

LO 信号経路には二通倍器を二個使用しており、20GHz 以下の安価な信号源がLO源として使用できる。

従来は変換次数の大きい高調波ミキサを使っていたため、感度が十分ではなかった。



測定系の雑音指数は約 30dB と推測される。従来の高調波ミキサより 30dB 以上高感度なので、110GHz超の帯域においてもダイナミック・レンジの大きい測定系を構築できる。

ご参加ありがとうございました

Q&A

質疑応答

質問者①

計測系システムのスピードが従来に比べて10倍・20倍となっていると伺いました。実際スピードが速くなったのは、計測系のみが速くなったのか、駆動系も含めたシステム全体が速くなったのか、教えていただけないでしょうか。

発表者

駆動系を含めたスピードです。従来システムでは、回転台1回転の間に測定パラメータを多重化しても速くなりません。1パラメータを測るために一々回転台が1回転しているという前提で表(プレゼン p30, 31 表下部)を書いています。それをまとめて全てのパラメータをもし1回転中に測れたらどれくらい速く測れるかということを示したのがこの表(プレゼン p30, 31 表上部)です。ゆえに、この表にも駆動系がどれくらい速く回れるか、つまり回転速度(大きな回転台の場合は1周1分以上)や、計測の関係でそんなに遅く回れないなどの制限も考慮した回転速度等の駆動系の性能も考慮された計算結果になっています。

質問者①

この計算の前提として、測定は往復で行っているのでしょうか、片道で行っているのでしょうか。

発表者

全て片道で測定しているという前提です。

質問者②

回転台のバックラッシュが測定の問題点だということがありました。バックラッシュの量が測定精度にどの程度効いてくるのか教えていただけませんか。

発表者

一般的に1, 2トン級の回転台では、バックラッシュは、0.05度くらいはあるというのが経験則です。0.05度は一般的な測定では問題にはなりません。宇宙機・マイクロ波のアンテナ測定では問題になってきます。この場合、一つのコツは一方向にしか回さないということです。往復で回してしまうと（行きと帰りでボアサイトがずれるため）周波数によってボアサイトがずれるということが起きます。また、ステップ動作もさせない方が良いでしょう。ちょっと回して止めるとギアが遊ぶので0.0数度はずれてしまいます。一方向に一定速度でずっと回して同じ力をかけながら回すのがコツです。本当はエンコーダと回転台が完全に繋がってれば、バックラッシュは測定上問題にはなりません。しかし、実際にはエンコーダと回転軸との間に必ずわずかなバックラッシュがあるので、これをどう防ぐかが運用上の重要なポイントとなります。

質問者③

近年衛星のアンテナも使用周波数がどんどん上がってきています。環境試験技術センターでは、そういったアンテナに対してどういった方法でアンテナパターンを取っていくかを将来構想として検討しています。ファーフールドにすると利得がとりにくくなってしまい、ニアフィールドにするとスキヤナの構造的な精度が問題となってきます。どのような方法を選定していくかは難しい問題であると思いますが、大沼様のご見解をお聞かせ下さい。

発表者

どうしてもケースバイケースになってしまいます。ただし、絶対利得を測るには、ファーフールドつまりコンパクトレンジに頼らざるを得ません。近傍界は絶対利得を求めるのに向いていません。またニアフィールド測定は得意な周波数があり、数G~30GHzがもっとも得意なレンジです。それ以上になるとスキヤナの平面度の問題が表面化してきます。理想を言えばコンパクトレンジだと思います。コンパクトレンジは大型の宇宙機を扱うには大型の反射鏡が必要で非常にコストがかかります。我々がお勧めできるものではありませんが、可能であればより望ましいと思います。特に30~40Gの周波数で測るのであれば、コンパクトレンジがよいのではないのでしょうか。