

TR-O-0048

48

球面走査アンテナ近傍界測定におけるアライメント誤差の影響

大滝 幸夫

1992. 7.21

ATR光電波通信研究所

球面走査アンテナ近傍界測定におけるアライメント誤差の影響

(株)エイ・ティ・アール光電波通信研究所
無線通信第一研究室

大滝 幸夫

あらまし

平面や円筒面走査によるアンテナ近傍界測定では主にスキャナ装置の機械精度によって測定システムの性能が決定されるが、球面走査の場合には人手を介した測定装置の基準軸の調整(アライメント)により性能が決定されるので、アライメント誤差の評価・解析は重要である。このアライメントの際には個々の誤差量と遠方界測定精度との関係を定量的に明らかにし、遠方界測定精度に大きな影響を及ぼす誤差要因を把握することが必要となる。

本報告では、ペンシルビーム指向性及び広角指向性を持つ典型的な2つのアンテナを対象に測定系におけるアライメント誤差とアンテナの測定精度との関係を計算機シミュレーションにより検討している。

第1章では、本研究の背景について述べる。

第2章では、計算機シミュレーション乃モデルと方法について述べる。

第3章では、第2章で述べたモデルと方法により個々の誤差が生ずる場合の遠方界特性を求め、アンテナ測定精度を低下させる主要な誤差要因を示す。

第4章では、第3章の結果をもとにアライメント誤差量と指向性利得及び第1サイドローブの誤差量の関係を最小2乗法により求め、所望精度で遠方界特性を測定するためのアライメント誤差の許容値を算出している。また、X帯及びL帯での近傍界測定結果を用いて本シミュレーション結果の妥当性を示す。

第5章では、本研究のまとめとして、得られた結果を総括し、今後の課題を述べる。

球面走査アンテナ近傍界測定におけるアライメント誤差の影響

目次

第1章	まえがき	1
第2章	シミュレーションモデル及び方法	3
第3章	シミュレーション結果	8
第4章	アライメント誤差の許容範囲	25
第5章	まとめ	29
	謝辞	30
	文献	31

第1章 まえがき

アンテナ近傍界測定法は外乱の少ない電波暗室内で高精度にアンテナの性能を測定できるため、被測定アンテナの形態に応じて各種の近傍界測定装置が開発されている。この測定法は近傍電磁界を測定する面の取り方により平面、円筒面、及び球面走査型の3種類に大別でき、国内においては既に平面及び円筒面走査による近傍界測定システムが開発され、運用されている(1)-(5)。これらの近傍界測定の走査方式の中で、球面走査による測定法はアンテナ全体を取り囲む全球面上で測定を行うので、ペンシルビームのような指向性アンテナだけでなく、広角指向性を持つアンテナの測定もできるので、あらゆるタイプのアンテナの測定を行うことができる。特に、近年活発に研究がなされている移動体用アンテナの性能を評価する際には、広角にわたる指向性や、移動体がアンテナ特性に与える影響等を明らかにすることが要求されるため、この球面走査による測定法が有利となる。

実際の平面や円筒面走査型の近傍界測定においては、走査範囲が有限となること、測定用プローブの位置誤差等により求められる被測定アンテナの遠方界放射特性に誤差が生ずる。このような誤差と遠方界測定誤差との関係に関しては理論的解析(6)-(9)や、計算機シミュレーション(2),(10)-(14)により定量的な評価がなされており、またその補正方法も報告されている(15),(16)。これらの測定法においてプローブ位置誤差のような機械的な誤差は主にプローブスキャナ装置の機械精度に依存するので、通常、スキャナに高い位置決め精度が要求される(3),(17)。

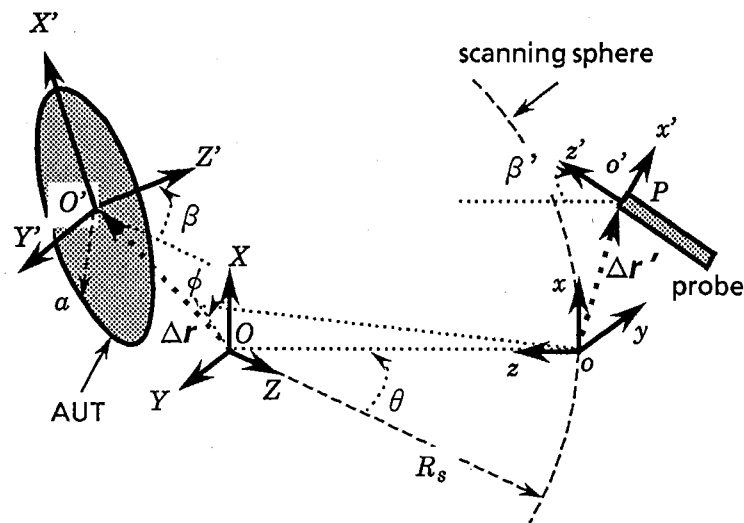
一方、球面走査による近傍界測定では直交する2軸を中心とした回転が必要となるので、回転機構を有する旋回台及び測定用プローブからなる測定装置の基準軸の軸合せを正確に行い、測定中は走査球面上の格子点において正確にプローブの位置決めを行うことが重要となる(18)。後者の精度は主に旋回台の回転精度によって決るが、前者に関しては人手を介した調整作業(アライメント)によって決るので、アライメント結果によってアンテナ測定精度が大きく左右されると言える。従って、測定装置に適するアライメント方法により精度良く基準軸のアライメントを行うことが必要となる。このような観点から球面走査による近傍界測定装置の開発にあたってはアライメント誤差に関する解析・評価が重要となる。測定装置の機械的誤差の影響に関しては、Jensenがアンテナ利得やサイドローブレベルを所定の精度で測定するための機械的な許容誤差を計算機シミュレーションにより算出している(19)。このシミュレーションでは近傍界測定装置に生ずる機械的及び電氣的な誤差を一括して評価しているが、個々の誤差要因に関する評価はなされてなく、その具体的な手法も明らかにされていない。また、彼は文献(18)で、近傍界測定装置に生ずる個々の誤差要因について同一の手法による計算機シミュレーションを行っているが、固定誤差量に対する評価しかなされていない。しかし、球面走査近傍界測定装置の開発にあたり、その装置に適するアライ

メント方法を確立し、精度良くアライメントを行うためには、個々のアライメント誤差量と遠方界測定精度との関係を定量的に明らかにし、遠方界測定精度に大きな影響を及ぼす誤差要因を把握することが必要となる。これまでに、この様な観点から球面走査によるアンテナ近傍界測定の精度に関して検討された例はないようである。

本稿では、高精度にアンテナの諸特性を測定・評価できる球面走査近傍界測定システムを開発することを目的として、ペンシルビーム指向性及び広角指向性を持つ典型的な2つのアンテナを対象に、測定系における個々のアライメント誤差とアンテナ放射特性の測定精度との関係を計算機シミュレーションにより検討している。まず、第2章においては、本シミュレーションのモデルとその方法について述べる。ここでは、平面走査近傍界測定法における走査範囲に関する計算機シミュレーションの手法(13)を拡張し、球面走査の場合の誤差評価に新たに適用している。次に、第3章ではアライメント誤差量と遠方界測定誤差の関係を明らかにし、アンテナ測定精度を低下させる主要な誤差要因を明らかにする。この結果をもとに、第4章では所望精度でアンテナの遠方界特性を測定するためのアライメント誤差の許容値を算出する。また、実際にX帯レーダアンテナ及びL帯標準ゲインホーンアンテナの近傍界測定を行った結果を用いて本シミュレーションの妥当性を示す。

第2章 シミュレーションモデル及び方法

図1に計算機シミュレーションに用いるモデルとその座標系を示す。ここでは、直交2軸を中心とした回転機構を有する旋回台に据えつけられた被測定アンテナ(AUT)と、固定位置にある測定用プローブからなるアンテナ測定系を考える。このプローブを半径 R_s の測定球面上で走査させるには、ひとつの軸を中心に一定角度だけ回転させた後、他方の軸を中心に一定角度間隔で 360° の回転をさせ、この操作を連続して行うことにより実現できる。ここでは、前者をステップ軸、後者をスキャン軸と呼ぶことにする。本シミュレーションではステップ軸及びスキャン軸をそれぞれ図1に示す X 軸、 Z 軸としている。また、プローブの偏波を z' 軸の回転で表すこととし、この軸をプローブ軸と呼ぶことにする。ここで、 O - XYZ は旋回台座標系、 O' - $X'Y'Z'$ はAUT座標系、 o - xyz はプローブ基準座標系、 o' - $x'y'z'$ はプローブ座標系である。図1ではAUT座標系の原点 O' の位置誤差 Δr 、 Z 軸に対するスキャン軸(Z 軸)の角度誤差 β が生じ、回転軸のアライメントが十分に取れていない状態を示しており、誤差がなければAUT座標系と旋回台座標系は一致する。また、プローブについても旋回台と同様にプローブの位置誤差 $\Delta r'$ 及び角度誤差 β' が生じ、アライメントが十分に取れていない状態を示しており、この誤差がなければプローブ座標系とプローブ基準座標系は一致する。このように表さ



O - XYZ : rotator coordinate system (step-axis : X)
 O' - $X'Y'Z'$: AUT coordinate system (scan-axis : Z')
 o - xyz : probe base coordinate system
 o' - $x'y'z'$: probe coordinate system (probe-axis : z')
 $\Delta r = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z), \Delta r' = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$

図1 シミュレーションモデルと座標系

れるアライメント誤差の中で主要なものを表1に示す。また、個々のアライメント誤差が生じているときの測定系を図2に示す。表1に示すアライメント誤差はAUT座標系及びプローブ座標系の原点の位置誤差と、スキャン軸及びプローブ軸の傾きによる角度誤差に大別でき、図1に示される測定系の状態は6つの誤差の組み合わせでアライメント誤差を表すことができる。

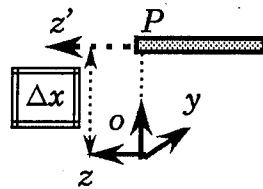
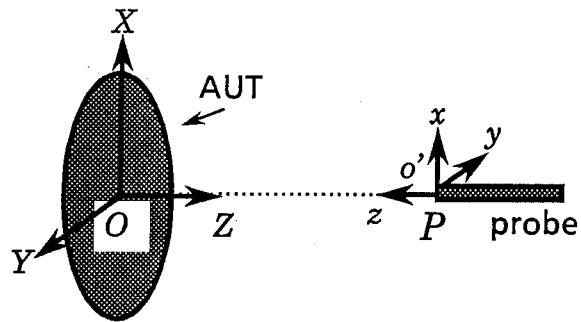
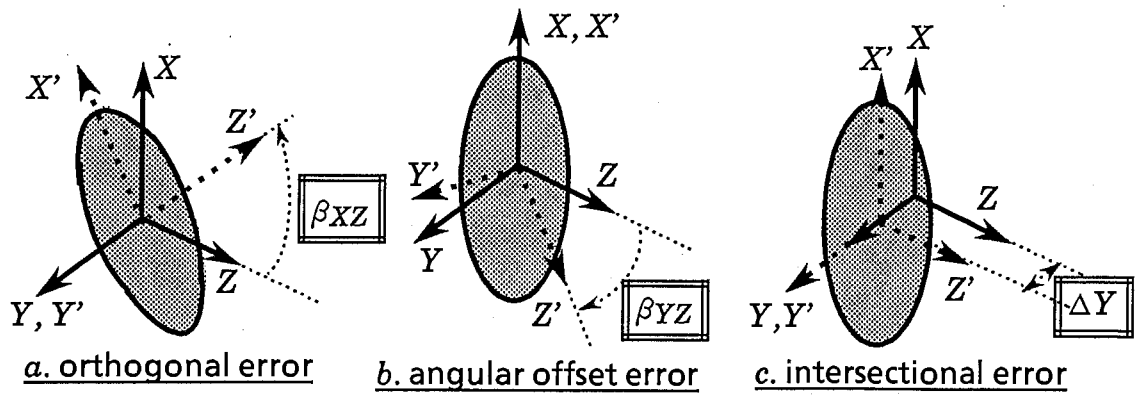
表1 アライメントにおける機械的な誤差

アライメントにおける誤差要因	$[\Delta r, \beta], [\Delta r', \beta']$
a. 回転軸の直交性誤差	$[(0, 0, 0), \beta_{XZ}]$ ¹⁾
b. 回転軸の水平面内角度オフセット誤差	$[(0, 0, 0), \beta_{YZ}]$
c. 回転軸の交差性誤差	$[(0, \Delta Y, 0), 0]$
d. プローブの垂直方向の位置誤差	$[(\Delta x, 0, 0), 0]$
e. プローブの水平方向の位置誤差	$[(0, \Delta y, 0), 0]$
f. プローブの傾き	$[(0, 0, 0), \beta'_{xz}]$, or $[(0, 0, 0), \beta'_{yz}]$ ²⁾

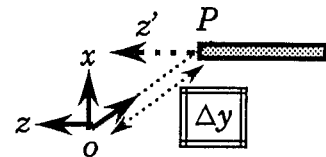
1) β_{XZ} : XZ平面内のZ軸の傾斜角

2) β'_{xz} : xz平面内のz軸の傾斜角

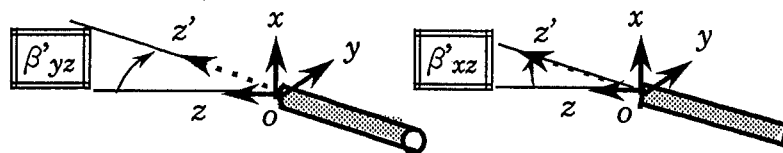
$\Delta r = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z), \Delta r' = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$



d. vertical probe-position error



e. horizontal probe-position error



f. probe inclination

図2 回転軸とプローブ軸のアライメント誤差

図3にシミュレーションの手順を示す。ここでは、平面走査近傍界測定法における走査範囲に関する計算機シミュレーションの手法(13)を拡張し、球面走査の場合の誤差評価に新たに適用している。このシミュレーションでは、被測定アンテナより放射される界をプローブを用いて受信する測定系を想定する。まず、表1に示す個々の誤差 $[\Delta r, \beta]$, 又は $[\Delta r', \beta']$ によりアライメントが不完全となった測定系において、ステップ軸(X軸)及びスキャン軸(Z軸)を中心に被測定アンテナを回転させ、走査球面に沿って移動する点Pでの近傍界を計算する。被測定アンテナが円形開口であり、回転対称な開口面分布 $E_a(r)$ で励振されているとし、開口面上の分布が一方向の直線状に偏波していると仮定するとスカラー近似が成立つ。このとき測定点Pにおける近傍界 $E'_n(P)$ は次式により求められる(20)。

$$E'_n(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S E_a(r) [(jk+1/R)n \cdot r_0 + jk] e^{-jkR/R} dS \quad (1)$$

ここで、 R は開口面上の点と測定点Pの間の距離、 r_0 はその方向の単位ベクトル、 \mathbf{n} は開口面の単位法線ベクトル、 $k(=2\pi/\lambda, \lambda: \text{自由空間波長})$ は波数である。また、積分は被測定アンテナの開口面Sに沿って行うものとする。開口面分布 $E_a(r)$ をオフセットを持つ指数分布とすると、次式で与えられる。

$$E_a(r) = c + (1-c) [1 - (\frac{r}{a})^2]^m \quad (2)$$

式(1)で求められる近傍界 $E'_n(P)$ から遠方界に変換するには1つの測定点において直交する2つの偏波成分(球座標系における θ, ϕ 成分)が必要である。本シミュレーションでは式(3)の直交座標/球座標変換により近傍界 $E'_n(P)$ を変換し、直交2偏波成分($E'_{n\theta}(P), E'_{n\phi}(P)$)を求めている。

$$E'_{n\theta}(P) = \cos(\phi) \cos(\theta) E'_n(P) \quad (3)$$

$$E'_{n\phi}(P) = \sin(\phi) E'_n(P)$$

次に、求められた近傍界の直交2偏波成分を用いて遠方界 E'_f への変換を行う。一方、アライメント誤差がない場合の遠方界 E_f を $[\Delta r, \beta]=[0, 0]$ 及び $[\Delta r', \beta']=[0, 0]$ として同様に求める。最後に、 E_f と E'_f の比較を行う。ここでは、指向性利得及び第1サイドロープレベルを比較対象としている。なお、プローブの受信特性の影響をなくすためにプローブは微小ダイポールアンテナとし、表1に示す誤差要因aからeに関してシミュレーションを行っている。

本シミュレーションでは典型的な2つのアンテナとしてペンシルビーム指向性、及び衛星通信用の移動局アンテナとして使われる利得15dB程度の広角指向性のアンテナを対象としており、それぞれ式(1), (2)において次のようにパラメータを設定した。

(ペンシルビーム指向性)

$$a = 6\lambda, R_s = 10\lambda,$$

$$c=0.1, m=0\sim 6$$

(広角指向性)

$$a=1.25\lambda, R_s=5\lambda,$$

$$c=0, m=0\sim 2$$

このとき、指向性利得、ビーム幅及び第1サイドロープレベルはそれぞれ次のように変化する。

(ペンシルビーム指向性)

指向性利得 : 31.6 ~ 25.7 dB

ビーム幅 : 4.8 ~ 9.9°

第1サイドロープレベル : -17.7 ~ -50.8 dB

(広角指向性)

指向性利得 : 18.4 ~ 15.6 dB

ビーム幅 : 23.3 ~ 33.1°

第1サイドロープレベル : -18.5 ~ -33.3 dB

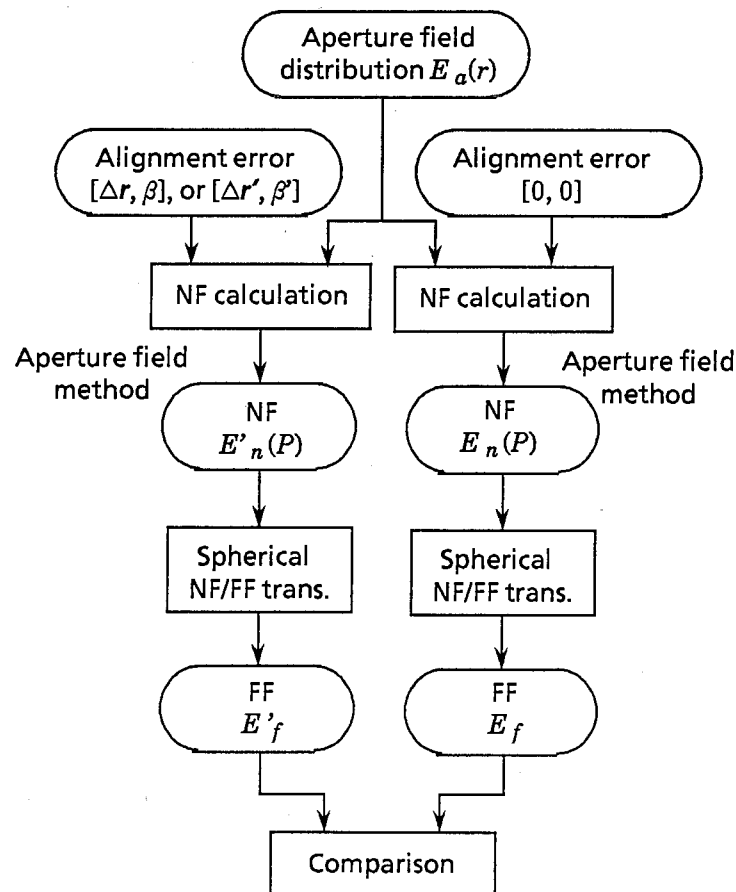


図3 シミュレーションのフローチャート

第3章 シミュレーション結果

図4から図11に前述の2種類の指向性を有するアンテナにおいて個々のアライメント誤差を変化させた場合に得られる放射パターン及びその誤差が生じている場合のプロープの走査軌跡を示す。プロープの走査軌跡に示される矢印は個々の誤差がある場合の測定点の位置誤差を示し、その長さが誤差量を示している。

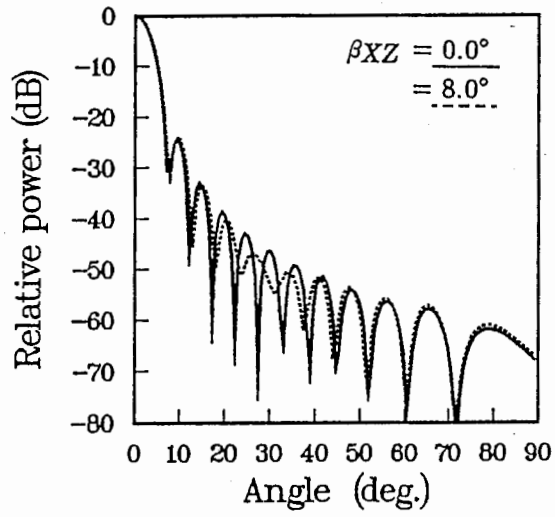
図4から図11において放射パターンの第1サイドローブに注目すると、表1の誤差要因の中でレベル誤差が大きくなる要因は、 β 又は β' に関しては角度オフセット誤差(β_{YZ})、 Δr 又は $\Delta r'$ に関しては交差性誤差(ΔY)、プロープの水平方向の位置誤差(Δy)であることが分かる。また、プロープの走査軌跡からこれらの誤差はいずれもステップ軸の回転面(YZ 面)と同一面内において生じていることが分かる。即ち、これら3つの誤差は被測定アンテナに対し回転対称となるように生ずるので、誤差の影響も回転対称に現れる。従って、回転対称のパターンを持つアンテナの第1サイドローブのレベル誤差を無くするためには、前述の3つの誤差を無くするようなアライメントが必要になる。

図12から図19に表1に示すa.からe.のアライメント誤差に対して指向性利得誤差及び第1サイドローブのレベル誤差を求めた結果を示す。利得誤差 ΔG 及び第1サイドローブのレベル誤差 ΔL_s は次式により計算している(13)。

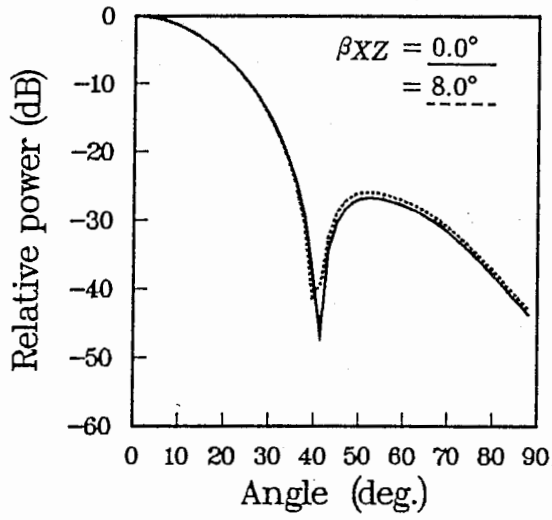
$$\Delta G = 10 \log(|E_0 + \Delta E_0|^2 / |E_0|^2) \quad (dB) \quad (4)$$

$$\Delta L_s = 10 \log(|E_s + \Delta E_s|^2 / |E_0 + \Delta E_0|^2) - 10 \log(|E_s|^2 / |E_0|^2) \quad (dB)$$

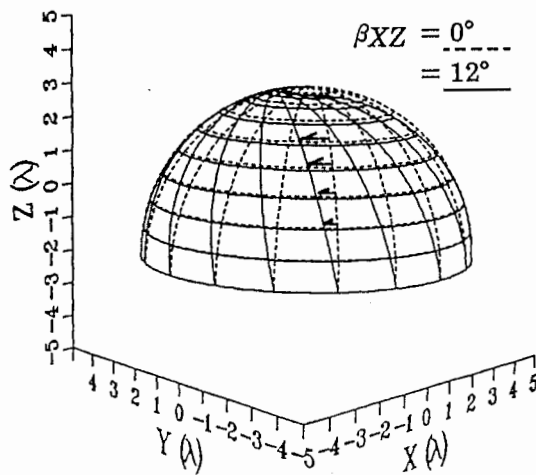
ここで、 E_s は誤差がない場合のサイドローブ位置での遠方界の電界値、 E_0 は誤差がない場合の遠方界のピーク電界値、 ΔE_s 、 ΔE_0 はアライメント誤差がある場合のそれぞれの遠方界の電界値の差である。基準軸に対する角度誤差(表1の要因a., b.)について指向性利得誤差及び第1サイドローブのレベル誤差を比較すると(図12～14)、明らかに角度オフセット誤差の場合に遠方界での誤差が大きくなっていることが分かる。これは、先に述べたように、角度オフセット誤差が被測定アンテナに対し回転対称となるように生ずるので、回転対称のアンテナパターンにはその影響も回転対称に現れることによる。また、基準軸に対する位置誤差(表1の要因c., d., e.)について指向性利得誤差を比較すると(図15～19)、交差性誤差の場合に誤差が大きくなっていることが分かる。これは、図4から図11の各図(c)に示されるプロープの走査軌跡からも分かるように、交差性誤差の大きさに応じて走査球面が他の誤差と比較して狭くなり(負の交差性誤差では、広くなり)、相対的に受信電力が増加して(減少して)いるためである。一方、第1サイドローブのレベル誤差に関してはプロープの水平方向の位置誤差 Δy において誤差が大きくなることが分かる。これは、プロープの水平方向の位置誤差がスキャン方向に一様に生ずるために、サイドローブの位置及びその大きさが交差性誤差の場合と比較して大きく変化することによる。



(a) ペンシルビーム指向性

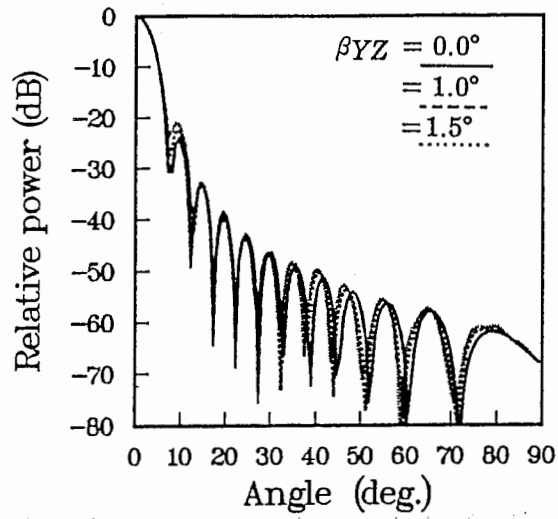


(b) 広角指向性

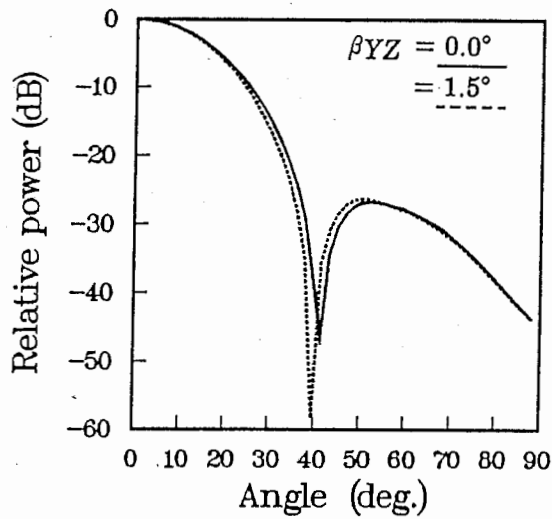


(c) プロブの走査軌跡

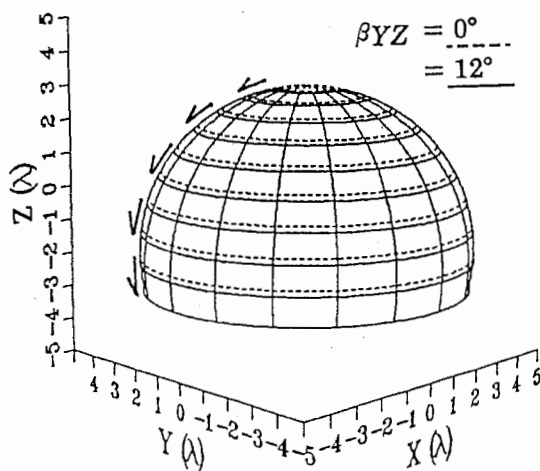
図4 アンテナ放射特性とプロブ走査特性(直交性誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

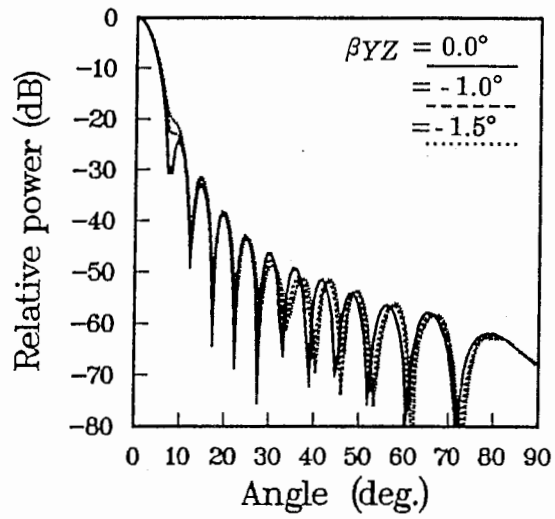


(b) 広角指向性

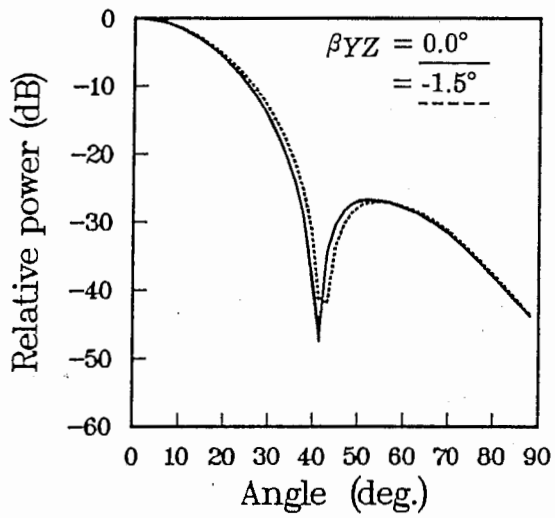


(c) プローブの走査軌跡

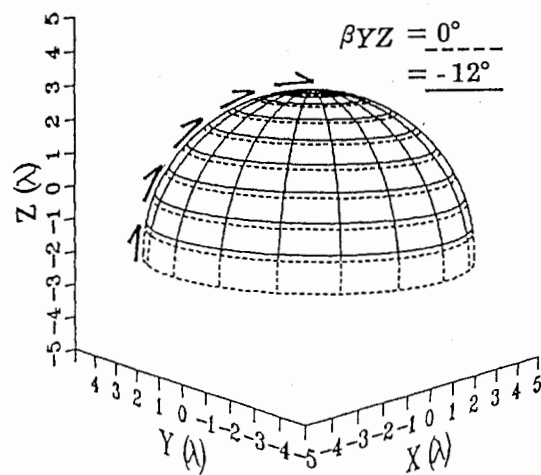
図5 アンテナ放射特性とプローブ走査特性(正の角度オフセット誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

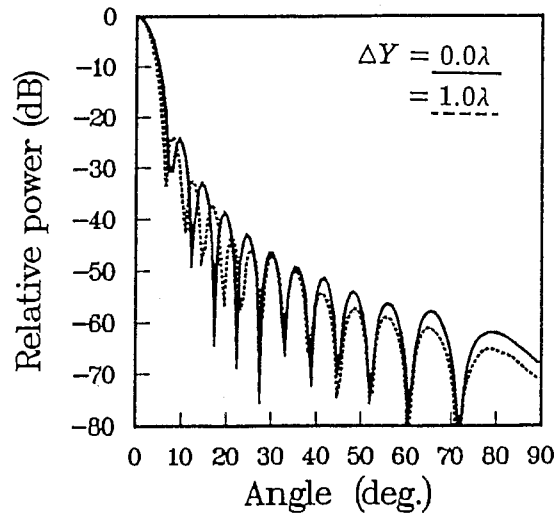


(b) 広角指向性

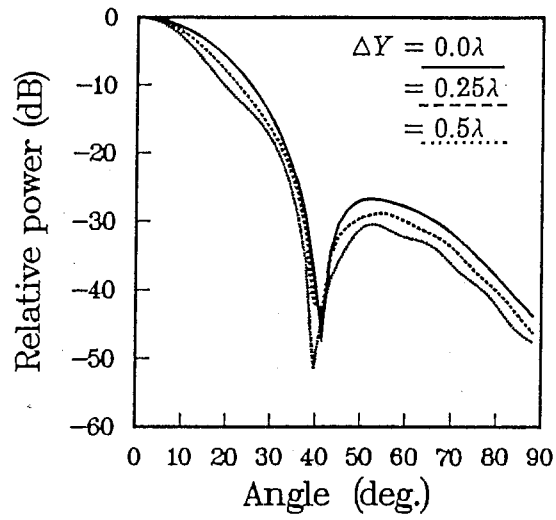


(c) プローブの走査軌跡

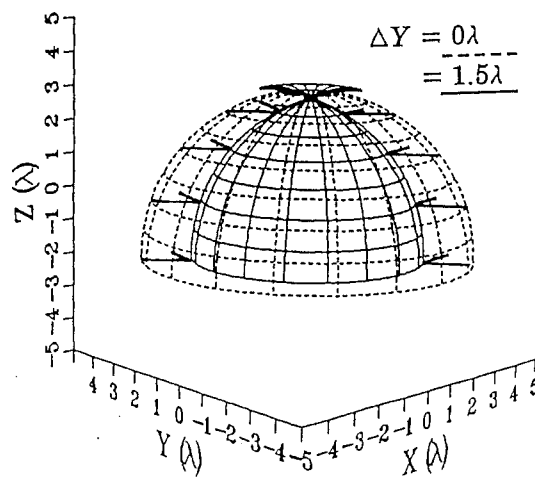
図6 アンテナ放射特性とプローブ走査特性(負の角度オフセット誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

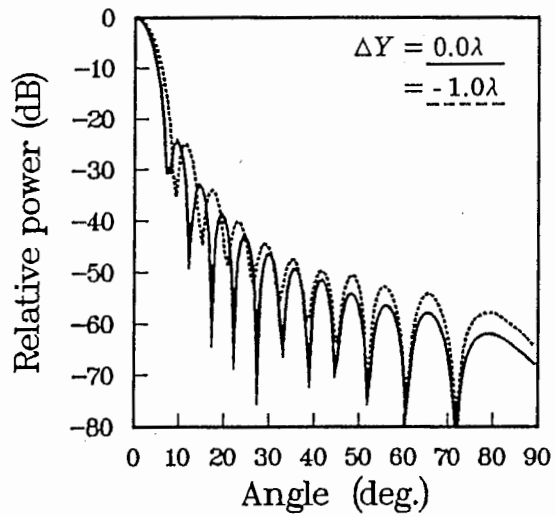


(b) 広角指向性

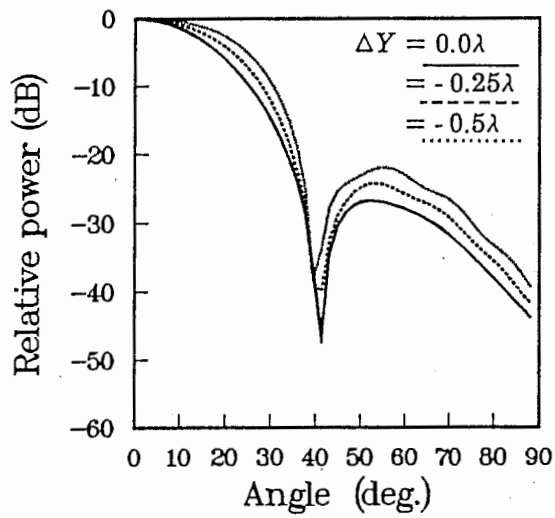


(c) プロブの走査軌跡

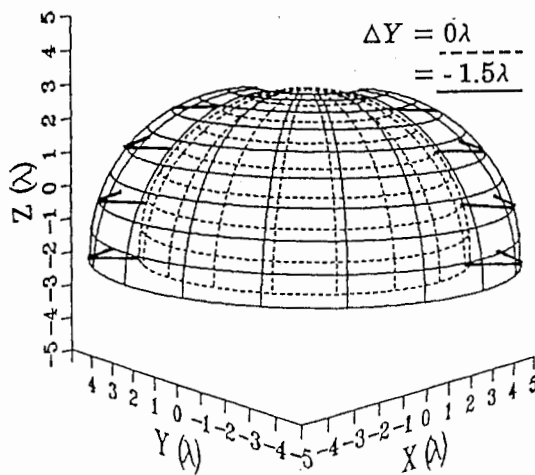
図7 アンテナ放射特性とプロブ走査特性(正の交差性誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

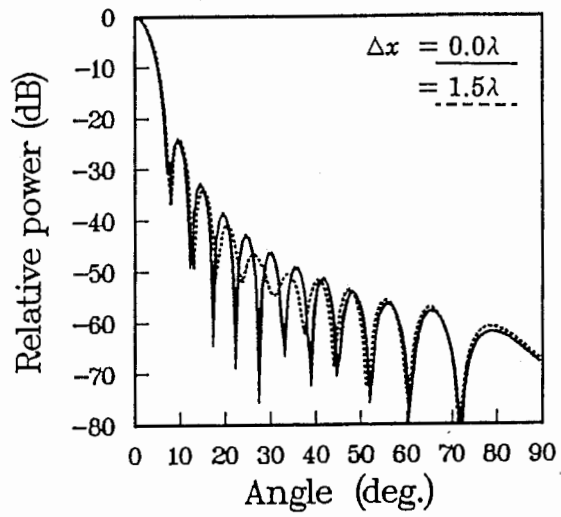


(b) 広角指向性

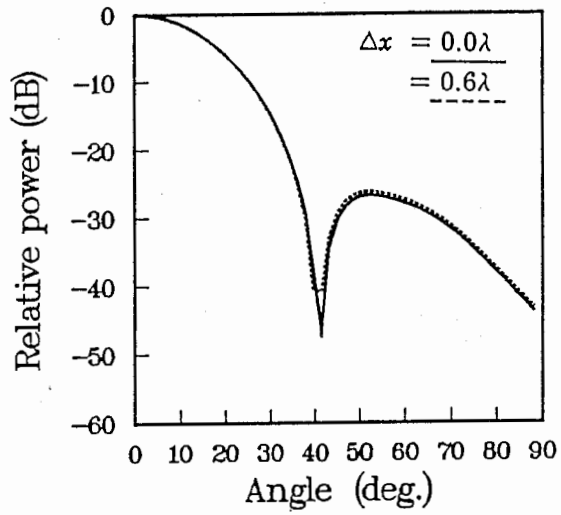


(c) プロブの走査軌跡

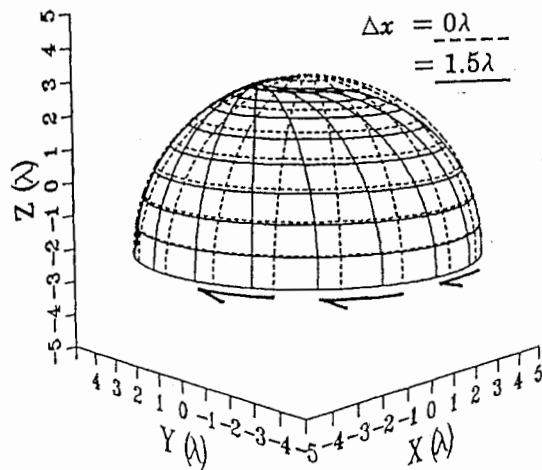
図8 アンテナ放射特性とプロブ走査特性(負の交差性誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

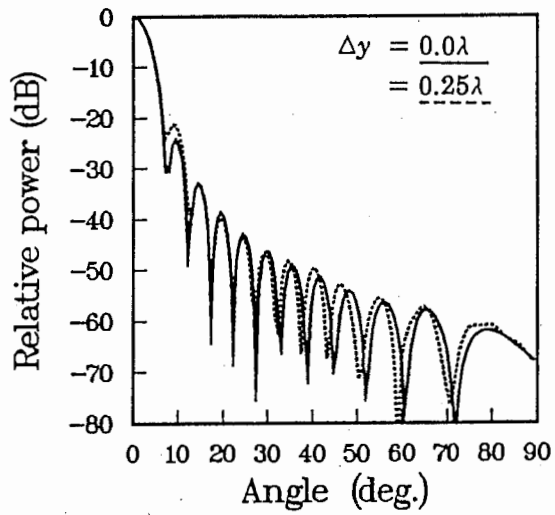


(b) 広角指向性

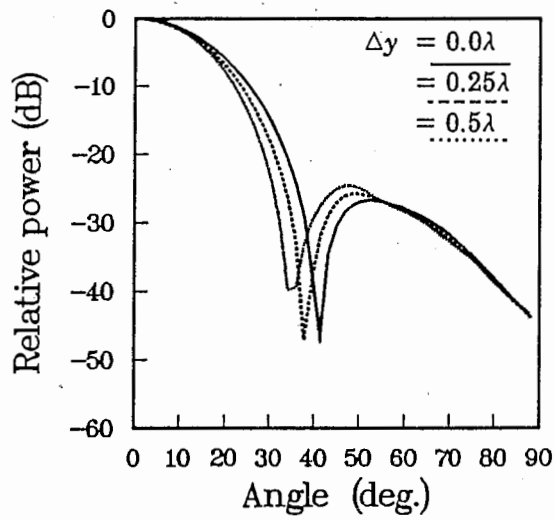


(c) プロブの走査軌跡

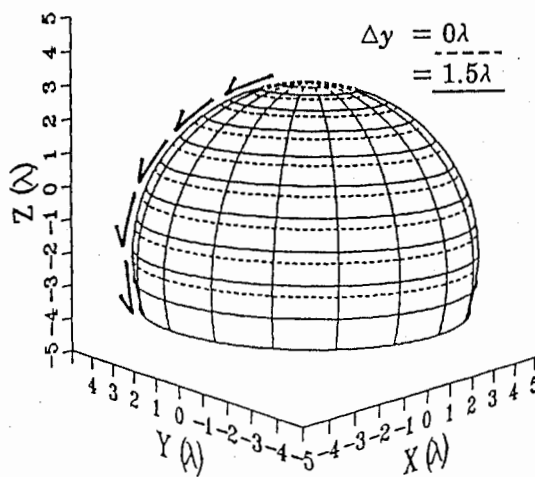
図9 アンテナ放射特性とプロブ走査特性(垂直方向のプロブ位置誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

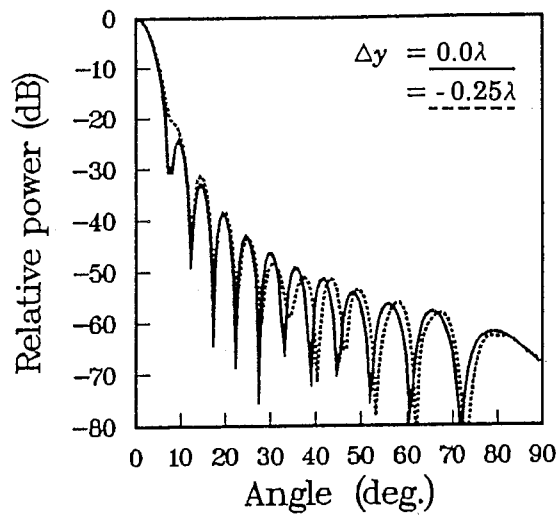


(b) 広角指向性

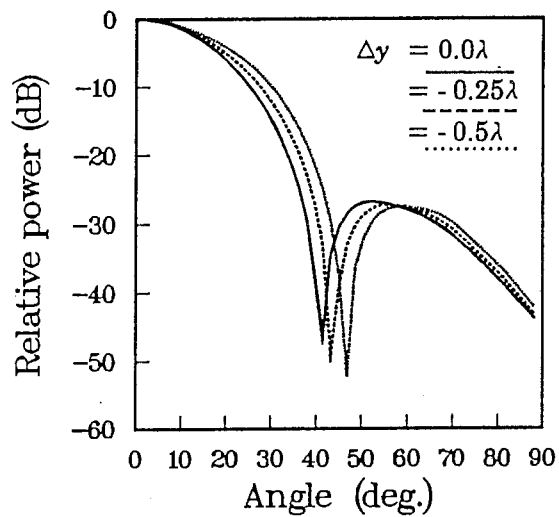


(c) プローブの走査軌跡

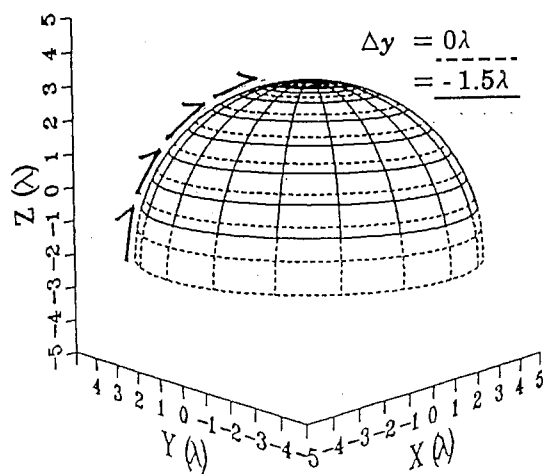
図10 アンテナ放射特性とプローブ走査特性(正の水平方向のプローブ位置誤差の場合)



(a) ペンシルビーム指向性

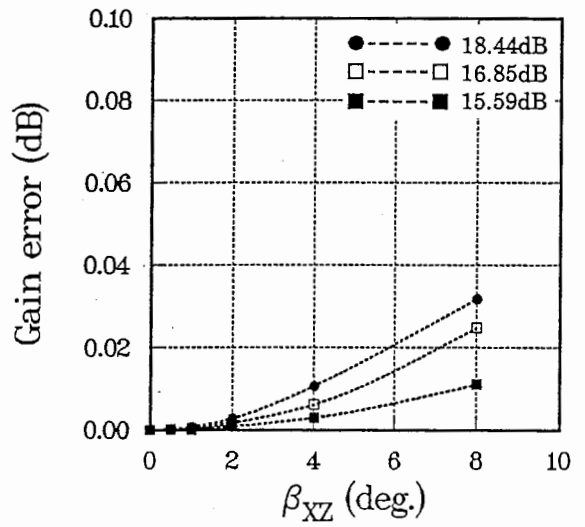
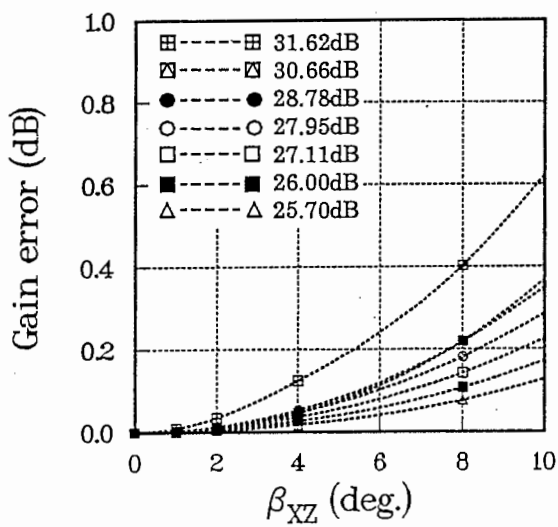


(b) 広角指向性

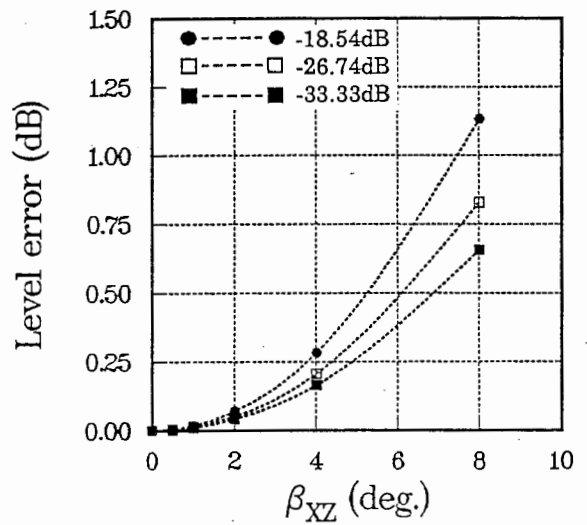
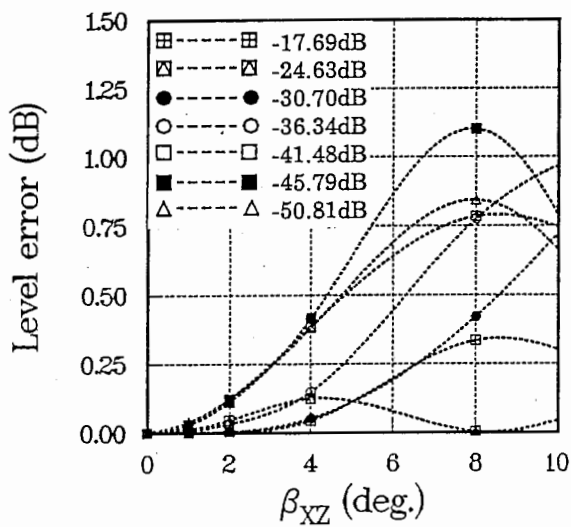


(c) プローブの走査軌跡

図11 アンテナ放射特性とプローブ走査特性(負の水平方向のプローブ位置誤差の場合)

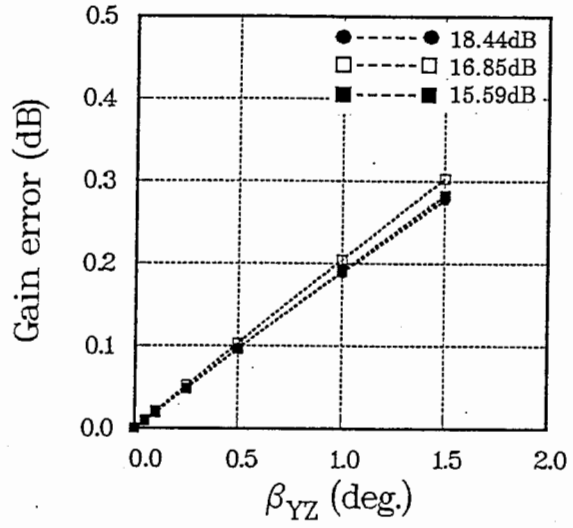
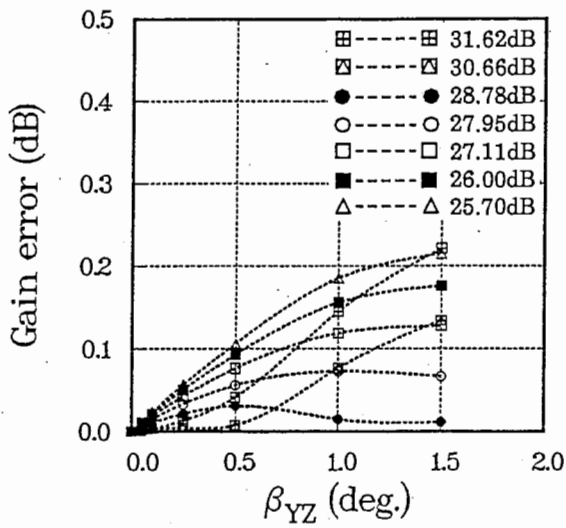


(a) 指向性利得誤差

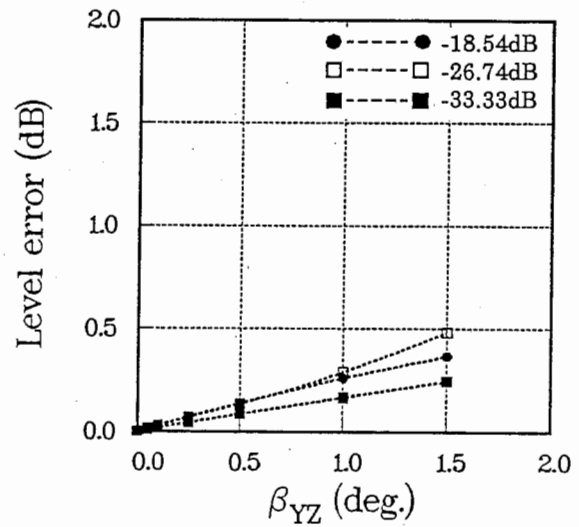
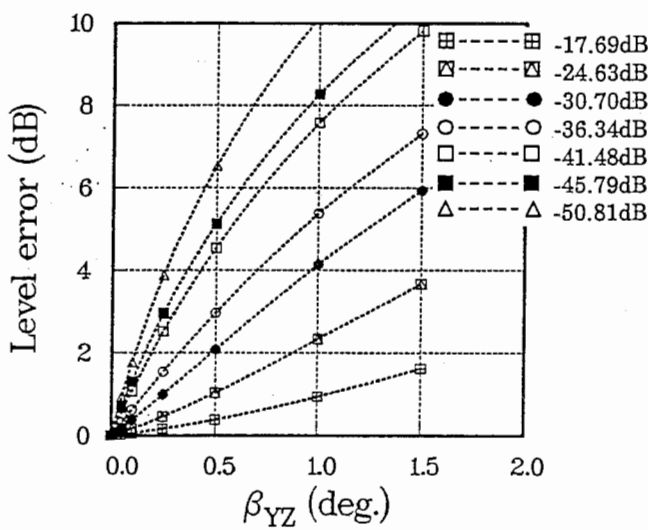


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図12 直交性誤差と遠方界誤差との関係

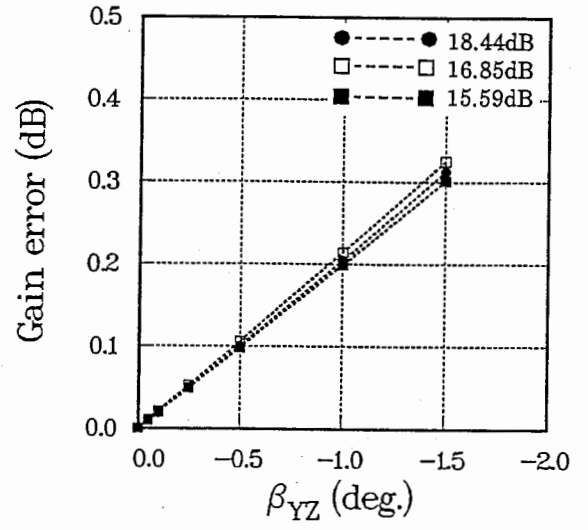
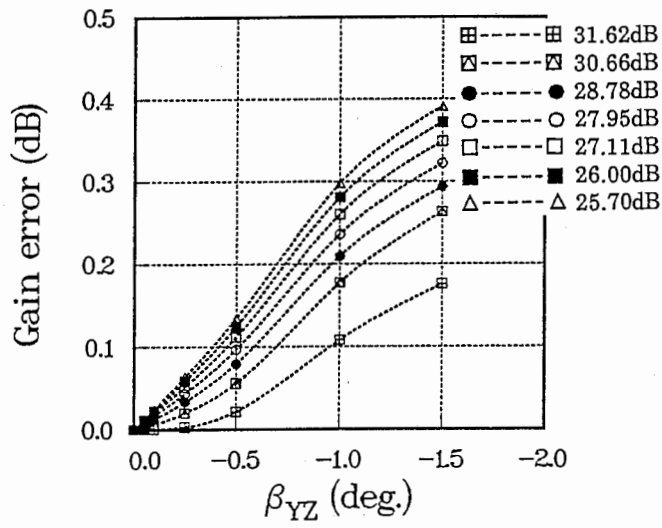


(a) 指向性利得誤差

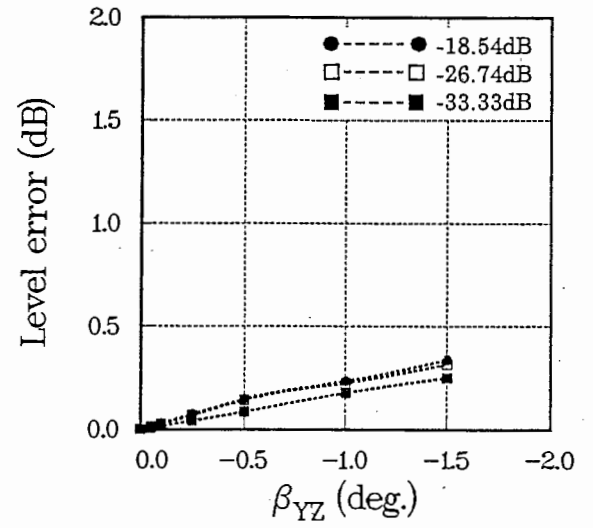
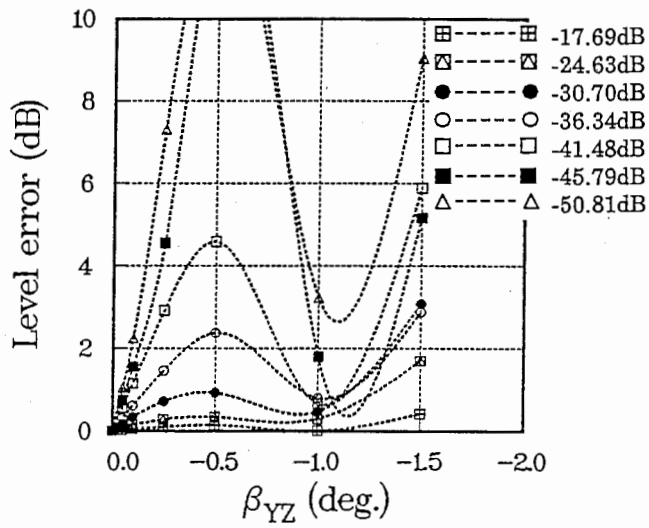


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図13 正の角度オフセット誤差と遠方界誤差との関係

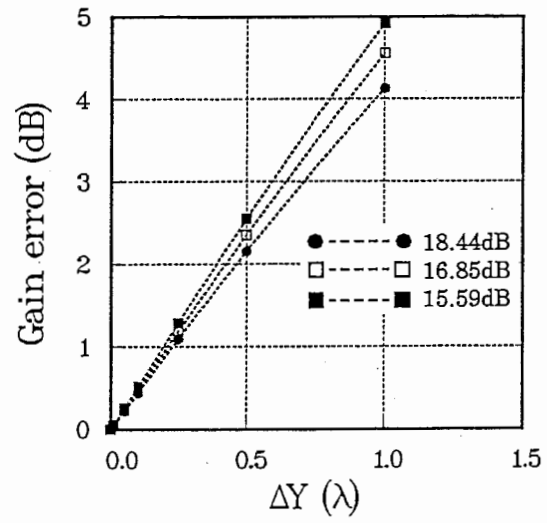
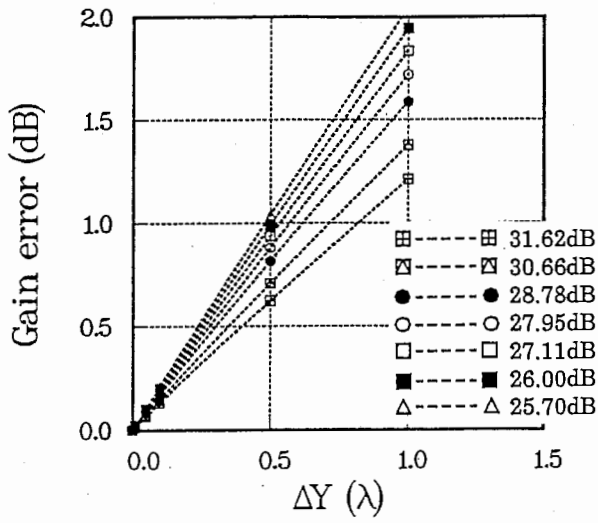


(a) 指向性利得誤差

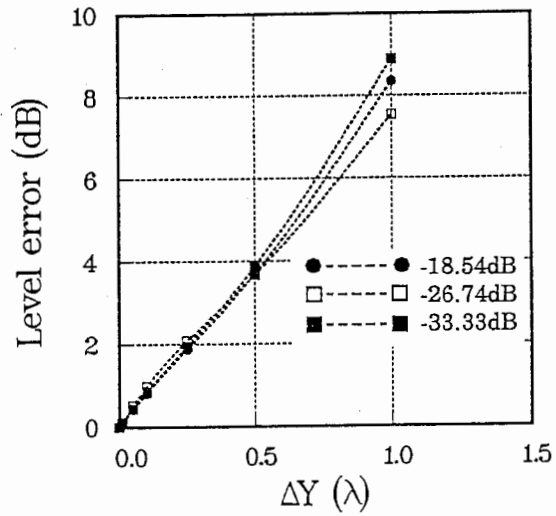
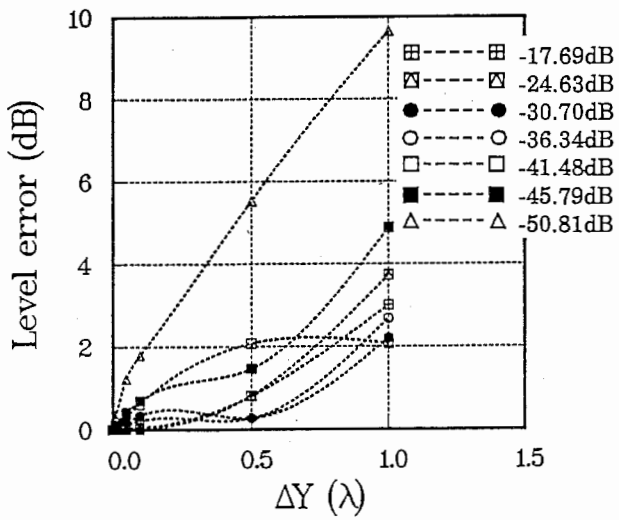


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図14 負の角度オフセット誤差と遠方界誤差との関係

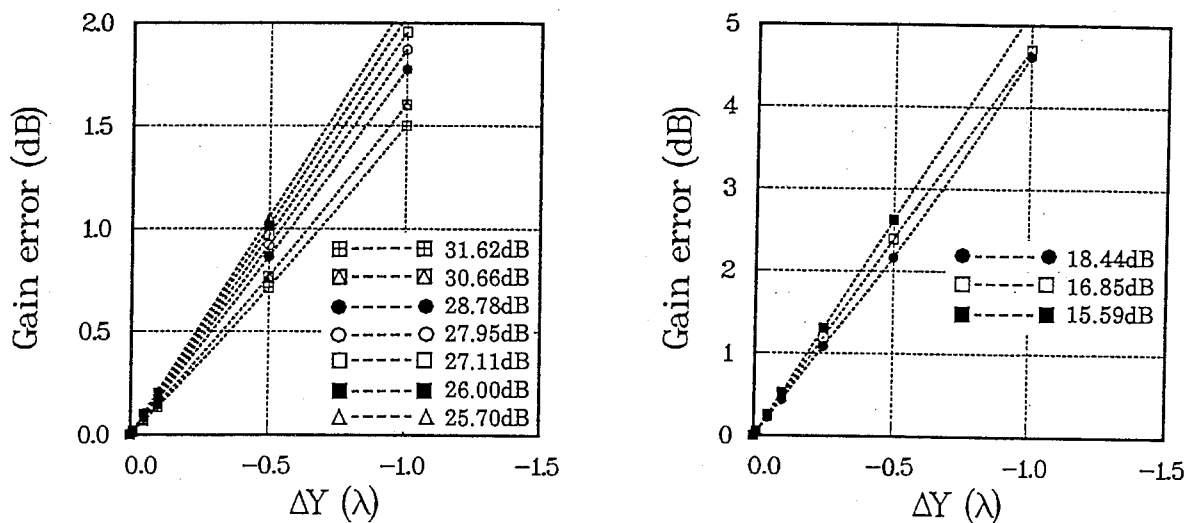


(a) 指向性利得誤差

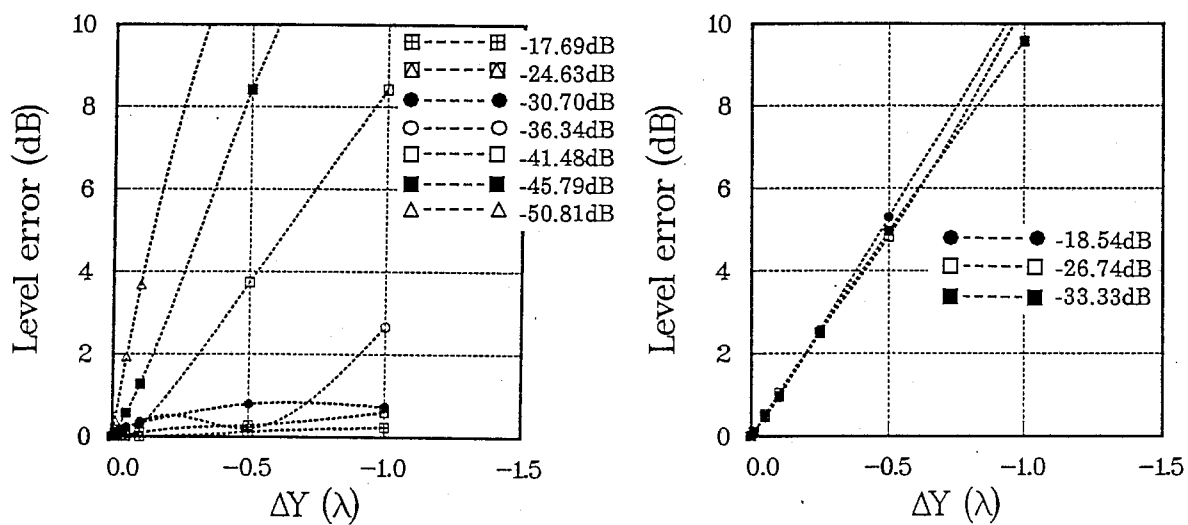


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図15 正の交差性誤差と遠方界誤差との関係

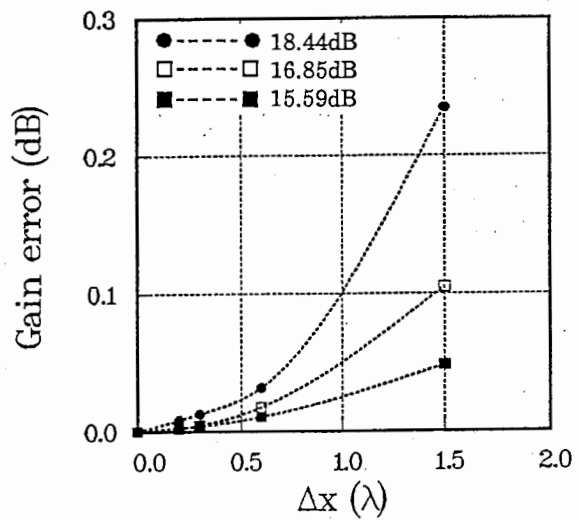
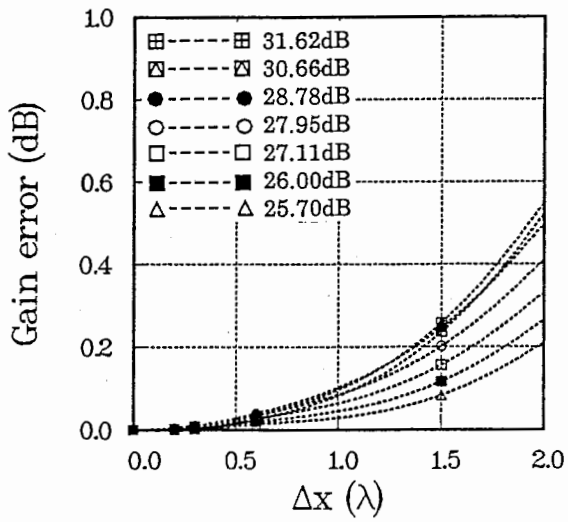


(a) 指向性利得誤差

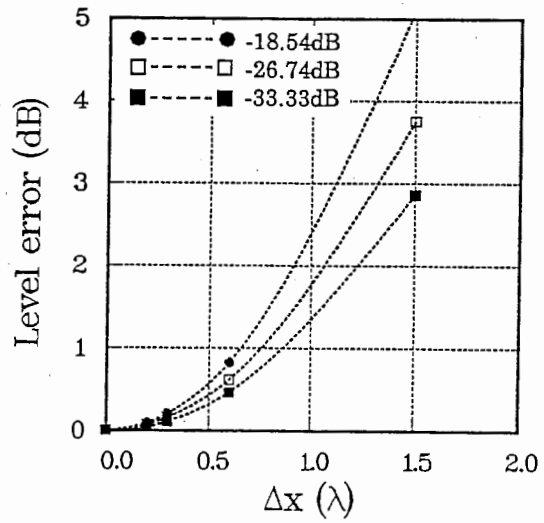
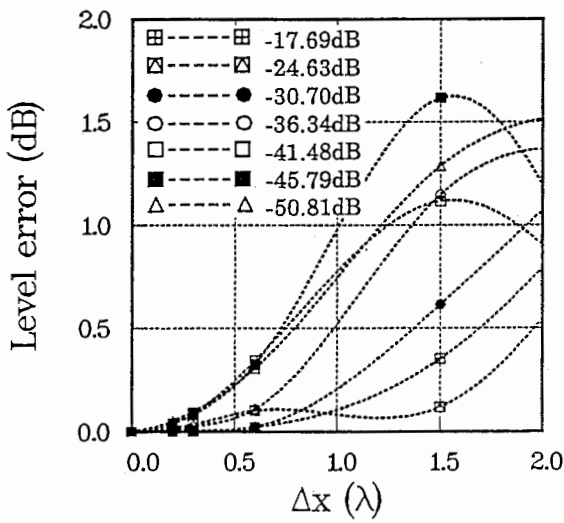


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図16 負の交差性誤差と遠方界誤差との関係

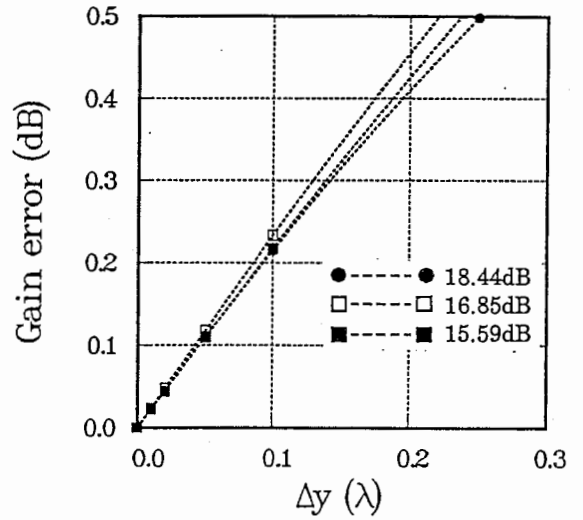
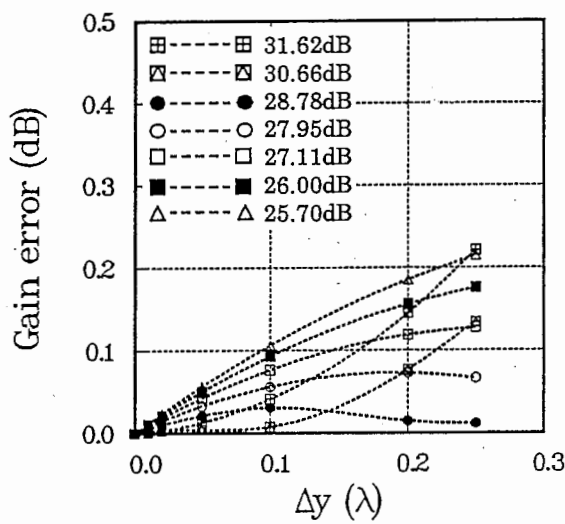


(a) 指向性利得誤差

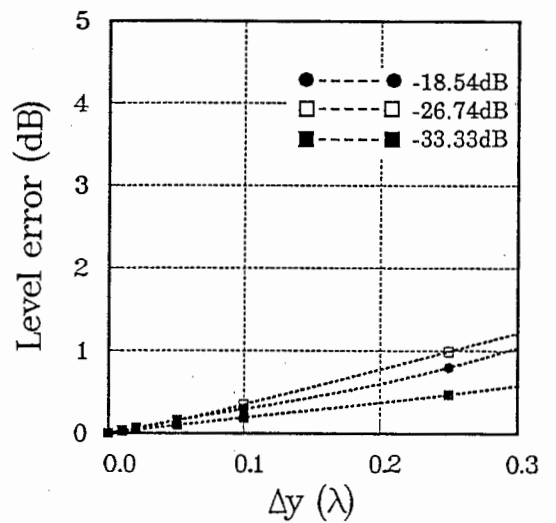
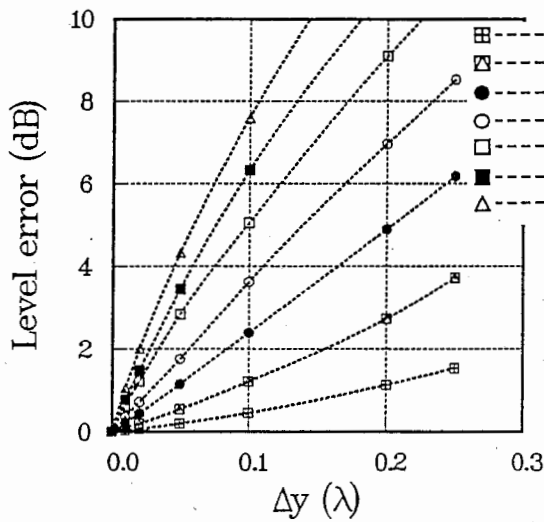


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図17 垂直方向のプロープ位置誤差と遠方界誤差との関係

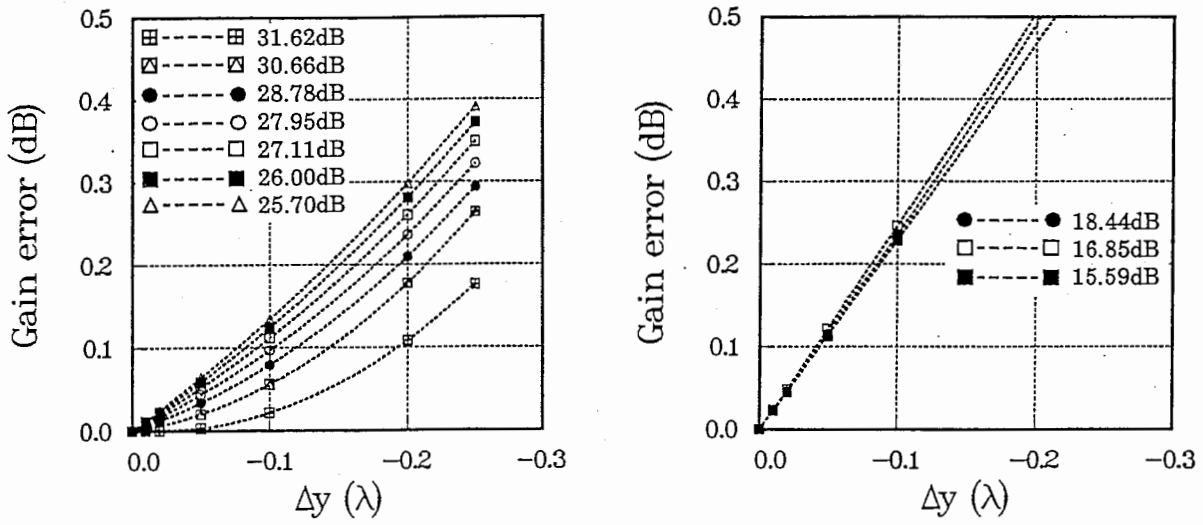


(a) 指向性利得誤差

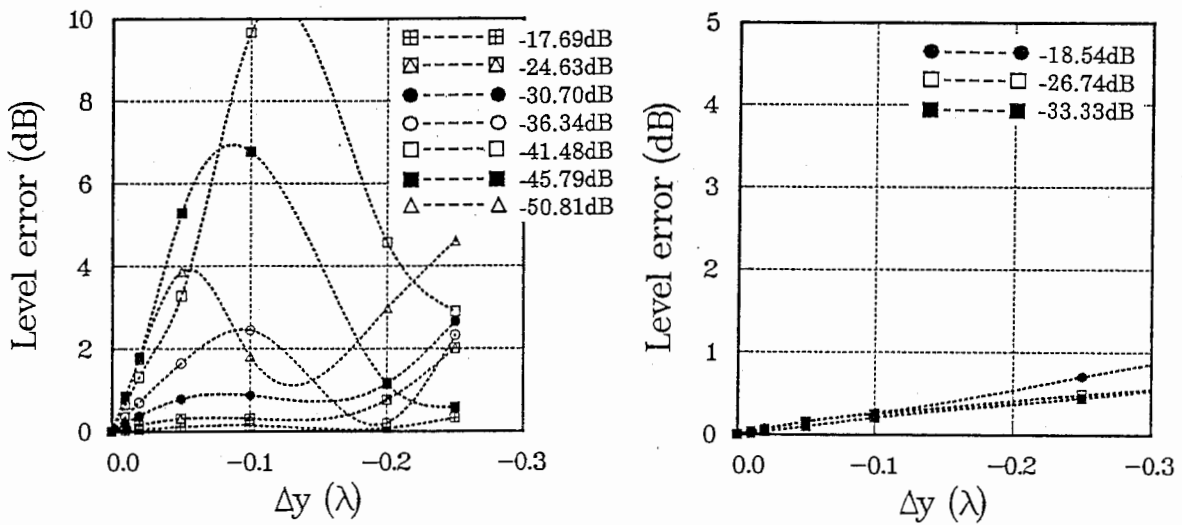


(b) 第1サイドローブレベル誤差

図18 正の水平方向のプロープ位置誤差と遠方界誤差との関係



(a) 指向性利得誤差



(b) 第1サイドローブレベル誤差

図19 負の水平方向のプローブ位置誤差と遠方界誤差との関係

第4章 アライメント誤差の許容範囲

ここでは、第3章で得られたアライメント誤差と指向性利得誤差及び第1サイドロープのレベル誤差との関係を用いて、所望精度の遠方界特性を得るためのアライメント誤差の許容値を求める。具体的には、図12から14に示されるような関係に最小2乗法を適用して個々のアライメント誤差の許容値を算出している。表1に示すa.~e.の誤差が個々に生じている場合の許容値を表2及び3に示す。ここでは、Jensenが計算機シミュレーションに用いたアンテナ特性の許容値(19)、及び実際の球面走査近傍界測定装置で実現が可能とされているアンテナ特性の精度(21),(22)を参考として、ペンシルビーム指向性においては指向性利得誤差を $\pm 0.1\text{dB}$ 、第1サイドロープのレベル誤差を $\pm 0.5\text{dB}$ (第1サイドロープレベルが -30dB 以上の場合)、 $\pm 1.0\text{dB}$ (第1サイドロープレベルが -30dB 以下の場合)としてアライメント誤差の許容値を算出した。同様に、広角指向性においては指向性利得誤差を $\pm 0.5\text{dB}$ 、第1サイドロープのレベル誤差を $\pm 0.5\text{dB}$ として許容値を算出した。このときひとつの誤差要因に関して指向性利得誤差と第1サイドロープのレベル誤差の許容値が個々に求まり、更に誤差要因b.,c.及びe.に関しては誤差の符号を変えた2つの許容値が求まるが、表には小さい方の値を示してある。この結果より、ペンシルビーム及び広角指向性共に3つの主要な誤差要因b.,c.,e.に対す

表2 アライメントに必要な精度(ペンシルビーム指向性、個々の誤差のみが生ずる場合)

指向性利得 (dB)	第1サイド ロープ(dB)	誤差要因				
		a.	b.	c.	d.	e.
31.62 ± 0.1	-17.69 ± 0.5	$< 7.78^\circ$	$< 0.545^\circ$	$< 0.076 \lambda$	$< 1.427 \lambda$	$< 0.108 \lambda$
30.66 ± 0.1	-24.63 ± 0.5	< 9.03	< 0.274	< 0.068	< 1.590	< 0.047
28.78 ± 0.1	-30.70 ± 1.0	< 5.45	< 0.248	< 0.059	< 0.997	< 0.043
27.95 ± 0.1	-36.34 ± 1.0	< 5.99	< 0.163	< 0.055	< 1.094	< 0.032
27.11 ± 0.1	-41.48 ± 1.0	< 6.76	< 0.091	< 0.053	< 1.247	< 0.028
26.00 ± 0.1	-45.79 ± 1.0	< 3.59	< 0.082	< 0.050	< 1.091	< 0.014
25.70 ± 0.1	-50.81 ± 1.0	< 5.71	< 0.052	< 0.048	< 1.019	< 0.010

表3 アライメントに必要な精度(広角指向性、個々の誤差のみが生ずる場合)

指向性利得 (dB)	第1サイド ロープ(dB)	誤差要因				
		a.	b.	c.	d.	e.
18.44 ± 0.5	-18.54 ± 0.5	$< 5.31^\circ$	$< 2.000^\circ$	$< 0.049 \lambda$	$< 0.467 \lambda$	$< 0.166 \lambda$
16.85 ± 0.5	-26.74 ± 0.5	< 6.21	< 1.537	< 0.041	< 0.538	< 0.139
15.59 ± 0.5	-33.33 ± 1.0	< 9.88	< 2.440	< 0.096	< 0.874	< 0.213

る許容量は他の許容量よりも1桁小さくする必要があることが分かる。例えば、ペンシルビーム指向性において指向性利得 $28.78 \pm 0.1 \text{ dB}$ 、第1サイドローブレベル $-30.7 \pm 1.0 \text{ dB}$ でアンテナの測定を行うには、直交性誤差(誤差要因 $a.$) 5.45° に対し角度オフセット誤差(同 $b.$) 0.248° 、プローブの垂直方向の位置誤差(同 $d.$)が約1波長となるのに対し交差性誤差(同 $c.$)、プローブの水平方向の位置誤差(同 $e.$)には0.06波長以下という極めて小さな許容量となる。

ここで、3つの主要な誤差要因 $b., c., e.$ について、表2, 3に示されるアライメントの実現性を具体的な測定システムの例を用いて検討する。対象としたシステムはEuropean Space Agency(ESA)とTUDにより開発された測定システムであり、現在ではほぼ標準化が計られたシステムである(21)。表4にその機械仕様の一部を示す。この表から、角度オフセット誤差(同 $b.$)に関しては表2, 3に示される許容値は十分満足することができ表中の精度でのアンテナ特性の測定ができることが分かる。また、交差性誤差(同 $c.$)及びプローブの水平方向の位置誤差(同 $e.$)については、それらの最小許容値(それぞれ $0.041\lambda, 0.01\lambda$)で考えてもKa帯(例えば 40 GHz , $\lambda = 7.5 \text{ mm}$)では仕様値を満足することができ、個々のアライメント誤差で考える限りは、表2, 3に示される精度でのアンテナ特性は十分測定できることが分かる。

表4 球面走査近傍界測定システムの仕様(TUD)

機械精度	仕様値
回転軸の直交精度 (直交/角度オフセット)	$\pm 0.01^\circ$ (36 arc sec)
回転軸の交差精度	$\pm 0.05 \text{ mm}$
プローブの位置精度	$\pm 0.01 \text{ mm}$

表5 近傍界測定パラメータ

	レーダアンテナ の測定	標準ゲインホー ンの測定
測定周波数	9.41GHz ($\lambda_0 = 32 \text{ mm}$)	1.54GHz ($\lambda_0 = 195 \text{ mm}$)
アンテナ長	2250mm ($70.3\lambda_0$)	557×413mm ($2.9 \times 2.1\lambda_0$)
サンプル間隔 $\Delta\theta \times \Delta\phi$	$0.625^\circ \times 1.25^\circ$	$2.0^\circ \times 2.0^\circ$
サンプル点数 $N_\theta \times N_\phi$	289×288	91×180
測定レンジ長	2972mm ($93.3\lambda_0$)	1977mm ($10.2\lambda_0$)
プローブ (プローブ長)	WRJ-10 (225mm, $7\lambda_0$)	WRJ-1.4 (640mm, $3.3\lambda_0$)

次に、球面走査近傍界測定法(SNFM)により実際に得られた結果を用いて本シミュレーション結果の妥当性を調べる。表5に近傍界測定パラメータを、表6にその測定前に行ったアライメント結果を示す(23), (24)。測定には当所の4mφ大型球面走査近傍界測定システムを用いており、これは本シミュレーションで取扱ったプローブ固定型の走査方式により近傍界を測定するものである。被測定アンテナはファンビーム指向性を有するX帯船舶用レーダアンテナと広角指向性を有するL帯標準ゲインホーンアンテナである。本シミュレーション結果との比較には表中に示す面内において遠方界測定法(FFM)により測定された遠方界特性を用いており、特にレーダアンテナに関しては平面走査近傍界測定法によっても遠方界特性が求められている(25)ので、この結果も併せて示しておく。

表7に、SNFMにより求められた指向性利得と第1サイドローブレベルを基準に他の測定法により求められた値を比較した結果を示す。また、アライメント誤差がある場合に本シミュレーションにより推定された誤差範囲も併せて示す。この結果より、実測によるレーダアンテナの指向性利得の差が0.04dBに対しシミュレーションによる推定値では±0.023dB以内、また標準ゲインホーンアンテナの第1サイドローブに関しては実測値では0.17dB以下に対しシミュレーションによる推定値は±0.038dB以内という良好な推定値が得られている。一方、レーダアンテナの第1サイドローブレベルに関しては、1点を除いて実測値では約3dB以内に対し推定値が±0.131dB以内と、推定誤差量よりやや大きな値となっている。この原因として、スキャナやポジショナ等アンテナ以外の構造物、周囲環境からの反射成分が混入しているためと考えられる。

表6 アライメント結果

機械精度	レーダアンテナ測定時	標準ゲインホーン測定時
回転軸の交差精度	±0.46mm	±0.46mm
回転軸の直交精度	±31"	±33"
プローブの位置精度	±0.06mm	±0.30mm
プローブのポインティング精度	±4"	±8"

表7 指向性利得と第1サイドローブレベルの誤差比較

AUT	評価方法	指向性利得	第1サイドローブ($\phi = 0^\circ$ 面)	第1サイドローブ($\phi = 180^\circ$ 面)
X帯 レーダ アンテナ (E面)	FFM	/	+1.59 dB (-24.59 dB)	+3.4 dB (-30.42 dB)
	PNFM	+0.04dB (32.8 dB)	+2.92 dB (-23.26 dB)	+7.97 dB (-25.85 dB)
	SNFM	(32.76 dB)	(-26.18 dB)	(-33.82 dB)
	Simulation	±0.023 (31.62 dB)	±0.025 dB (-24.63 dB)	±0.131 dB (-30.70 dB)
L帯標準 ゲイン ホーン アンテナ(H面)	FFM	/	+0.17 dB (-32.26 dB)	+0.09 dB (-32.59 dB)
	SNFM	(16.76 dB)	(-32.43 dB)	(-32.68 dB)
	Simulation	±0.017 dB (16.85 dB)	±0.038 (-33.33 dB)	±0.038 (-33.33 dB)

FFM : Far-Field Measurement

PNFM : Planar Near-Field Measurement

SNFM : Spherical Near-Field Measurement

注); ()内の数値はその評価方法による指向性利得又は第1サイドローブレベルを示す

第5章 まとめ

球面走査近傍界測定における測定装置のアライメント誤差が遠方界特性に与える影響に関して計算機シミュレーションを行い、主要なアライメント誤差を明らかにした。また、この結果を基にして、所望精度の遠方界特性を得るために必要なアライメント誤差の許容範囲を明らかにした。その結果、回転対称のパターンを持つアンテナでは、旋回台のステップ軸面内に生ずる角度オフセット誤差、交差性誤差、及びプローブの水平方向の位置誤差がアンテナの遠方界特性に与える主要な要因であることが分った。また、アライメント誤差の許容量を算出した結果、例えば、ペンシルビーム指向性のアンテナで指向性利得 $28.78 \pm 0.1 \text{dB}$ 、第1サイドローブレベル $-30.7 \pm 1.0 \text{dB}$ で測定を行う場合、角度オフセット誤差 0.248° 、交差性誤差、プローブの水平方向の位置誤差には 0.06 波長以下という極めて小さな許容量となり、他の誤差要因と比較して1桁程度精度の良いアライメントが必要となることが分った。標準的な球面走査近傍界測定システムを想定して、これらの許容範囲での測定の実現性を調べた結果、個々のアライメント誤差が生ずる場合には、**Ka**帯のアンテナを許容範囲内で測定できることを示した。また、球面走査近傍界測定その他、2つの測定方法による**X**帯レーダ(低サイドローブ指向性)及び**L**帯標準ゲインホーンアンテナ(広角指向性)の測定結果を用いてシミュレーション結果の妥当性を調べた結果、レーダアンテナのサイドローブの推定には差があるものの、この点を除いた指向性利得及び第1サイドローブレベルに対しては良好な誤差推定となることを示した。今後、本稿で得られたデータを基に、精度の良いアライメント方法を確立し、種々のアンテナに対する測定性能を調べる必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり御指導、御討論頂いた古濱社長、藤瀬無線通信第一研究室長に深謝いたします。また、日頃御討論いただき、近傍界測定に際しても多大な御協力をいただきました中條主任研究員、小西元研究員を始め当研究所の諸氏に感謝いたします。レーダアンテナの近傍界測定に際しては郵政省通信総合研究所 堀 義明氏に御協力頂きました。ここでお礼申し上げます。

文献

- (1) 堀 義明、小室英雄、伊藤猛男、中條 渉、田中正人、大久保 茂、手代木 扶：“大型平面近傍界測定システムの開発-測定システムの構成-”、昭61信学総全大、652
- (2) 岩崎久雄、三国良彦：“近傍電界測定装置の評価”、信学技報、A・P84-26(1984-06)
- (3) 宇田川重雄、春山鉄男、青木俊彦、折目晋啓、片木孝至：“アンテナの近傍界測定システムの構成-12.7m×8mスキャナ装置-”、1988信学秋季全大、B-73
- (4) 花山英治、高野 忠：“極平面走査形近傍界測定装置”、信学'92春季大、B-75
- (5) 飯草恭一、堀 義明、藤田正晴、大久保 茂、手代木 扶：“円筒面走査アンテナ近傍界測定システムの開発”、1989信学春季全大、B-114
- (6) Yaghjian A. D., “Upper-bound errors in far-field antenna parameters determined from planar near-field measurements : Part- I analysis”, *NBS Technical Note 667*(Oct. 1975)
- (7) 岩崎久雄、三国良彦：“近傍界測定における測定誤差と遠方界指向性誤差との関係”、信学技報、A・P85-26(1985-07)
- (8) Muth L. A., “Displacement errors in antenna near-field measurements and their effect on the far field”, *IEEE Trans. Antennas & Propag.*, AP-36, 5, pp.581-591(May 1988)
- (9) 飯草恭一、手代木 扶：“円筒面走査近傍界測定における回転軸のアライメント誤差による影響”、信学技報、A・P88-17(1988-06)
- (10) Newell A. C., “Upper-bound errors in far-field antenna parameters determined from planar near-field measurements : Part-II analysis and computer simulation”, *NBS Short Course Notes*(Jul. 1975)
- (11) Newell A. C., “Error analysis techniques for planar near-field measurements”, *IEEE Trans. Antennas & Propag.*, AP-36, 6, pp.754-768(Jun. 1988)
- (12) Newell A. C. and Stubenrauch C. F., “Effect of random errors in planar near-field measurements”, *IEEE Trans. Antennas & Propag.*, AP-36, 6, pp.769-773(Jun. 1988)
- (13) 堀 義明、伊藤猛男、手代木 扶：“アンテナの平面近傍界測定における有限走査範囲による誤差”、昭60信学総全大、728
- (14) 山崎正純、新井宏之：“近傍電磁界測定システムの誤差評価”、信学'92春季大、B-77
- (15) 岩崎久雄、三国良彦：“近傍界測定におけるプローブ位置誤差補正法”、昭58信学総全大、773

- (16) Bucci O. M., Schirinzi G., and Leone G., "A compensation technique for positioning errors in planar near-field measurements", *IEEE Trans. Antennas & Propag.*, AP-36, 8, pp.1167-1172(Aug. 1988)
- (17) 伊藤猛男、小室英雄、大久保 茂、堀 義明、手代木 扶：“大型平面近傍界測定システムの開発-4mスキャナの機械的性能-”、昭61信学総全大、653
- (18) Hansen J. E.(Ed.), "Spherical near-field antenna measurements", *Peter Peregrinus*(1988)
- (19) Jensen F., "Design of spherical near-field test facility", *Proc. ISAP'78*, B-1-2, 1978
- (20) Silver S., "Microwave antenna theory and design", *McGraw-Hill*, 1949
- (21) Hansen J. E., "The TUD-ESA spherical near-field antenna test facility", *European Space Agency*, ESA BR-19(Apr. 1984)
- (22) Molker A., "The Ericsson-ESA near-field antenna test facility", *European Space Agency*, ESA BR-38(May 1988)
- (23) 大滝幸夫、小西良彦、中條 渉、藤瀬雅行：“4m Φ 大型球面走査近傍界測定システムの評価[II]”、信学技報、A-P91-107(1992-01)
- (24) 大滝幸夫、小西良彦、中條 渉、藤瀬雅行：“4m Φ 大型球面走査近傍界測定システムの評価”、信学技報、A-P90-77(1990-10)
- (25) 堀 義明、飯草恭一、市野芳明、鈴木 晃：“船舶用レーダアンテナの近傍界測定 -平面走査と円筒面走査による測定の比較-”、信学技報、A-P89-110(1990-02)