

TR-O-0049

47

4m ϕ 大型球面走査アンテナ近傍界測定システムの開発と
その評価

大滝 幸夫

1992. 7.21

ATR光電波通信研究所

4m ϕ 大型球面走査アンテナ近傍界測定システムの
開発とその評価

(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

球面走査によるアンテナ近傍界測定では、測定装置の基準軸調整(アライメント)での誤差により、求められる遠方界特性の精度が大きく劣化するので、高精度のアライメントが必要である。従来のアライメントでは、特別にタワーを設置したりアライメントの基準を複数個規定することが必要であり、所望精度を得るまでの手順が煩雑であった。

本報告では、比較的簡便な手順で精度よくアライメントが行える手法として、1基準軸・1タワー式の手法を提示した。この手法ではアライメントの各段階で用いられる基準軸が1つで済む他、光源を有するミラーを用いることによりアライメントの基準点(ターゲット)の確認を容易にし、アライメントの効率化を図っている。また、この手法を採用した球面走査近傍界測定システムを開発し、X帯低サイドローブアンテナ及びL帯広角指向性アンテナ(直線偏波及び円偏波アンテナ)を用いてシステムの測定性能を評価した。その結果、高精度アンテナ測定に必要なアライメント精度を実現する手法として本アライメント手法が有効であることが実験的に明らかになった。また、遠方界測定により得られた放射パターンとの比較により、球面走査近傍界測定で求められたパターンはピーク利得から-40dBのレベルまでよく一致することを確認した。特に、広角指向性アンテナにおいては $\pm 120^\circ$ までの広角にわたり一致するパターンが得られた。

4m ϕ 大型球面走査アンテナ近傍界測定システムの 開発とその評価

目次

第1章	まえがき	1
第2章	測定装置のアライメント手法	3
2.1	従来のアライメント手法	3
2.2	提案するアライメント手法	5
第3章	球面走査近傍界測定システムの構成	9
第4章	測定システムの性能評価	13
4.1	低サイドローブアンテナの測定	15
4.2	広角指向性のアンテナの測定	20
第5章	むすび	26
謝辞		27
文献		28

第1章 まえがき

アンテナ放射特性を高精度に測定する方法に、アンテナ近傍の適当な面内において電磁界を測定し電磁界の変換理論に基づきアンテナ特性を求めるという、近傍界測定法がある。この測定方法によると遠方界領域のアンテナ放射特性が求められるだけでなく、アンテナの励振分布の推定も可能となるので、アンテナの製作・調整に利用することもできる。近傍界測定法は測定用プローブが走査する面の形状により、平面、円筒面、および球面走査近傍界測定法の3種類に大別され、国内では既に平面およ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)。上記の走査方式の中で、球面走査による測定法は被測定アンテナを中心とした全立体角における測定を行うので、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にわたり指向性を有するアンテナの測定もできる。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開発・評価においては、移動体がアンテナ特性に与える影響などを広角にわたり明らかにすることが要求されるため、球面走査による測定法が有利となる。

上記の走査方式の中で、実際に平面及び円筒面走査により近傍界測定を行うときには、走査範囲が有限となることや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。通常、これらの測定法ではプローブの位置誤差のような機械的な誤差を低減させるために、プローブスキャナに高い位置決め精度が要求される(2),(3),(6)。

一方、球面走査による近傍界測定では直交2軸を中心とする回転が必要となるため、回転機構を有する旋回台と測定用プローブで構成される測定装置の基準軸を厳密に規定し、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(7)。後者の精度は主に旋回台の回転精度によって決まるが、前者に関しては人手を介した回転軸とプローブ軸の調整作業(アライメント)によって決まる。アライメントでの誤差は求められる遠方界放射特性の精度を大きく劣化させるので(7)-(9)、測定装置に適した精度良い基準軸のアライメント手法の確立が重要となる。代表的なアライメント手法として、サイエンティフィック-アトランタ社の方式(Scientific Atlanta、以下SA方式)(10),(11)とデンマーク工科大学の方式(Technical University of Denmark、以下TUD方式)(7)が知られてる。両方式共にセオドライトやターゲット付きミラー等の光学機器を用いて精度良くアライメントを行う手法である。SA方式によると、アライメント用のタワーを旋回台、プローブタワーとは別に設置することが必要であり、測定室に設置上の制約がある場合には用いることができない。一方、TUD方式ではセオドライトをプローブタワー上に設置してアライメントを行う1タワー式であるのでSA方式にみられる場所的な制約はないが、アライメントの基準となるミラー以外に水準器等の測定器を併用して調整を行うので回転軸やプローブ軸に対して平行な基準軸を別途規定しなければならない。更に、両方式共にアライメン

トの基準として用いるターゲットが印刷によりミラー面上に形成されているので比較的暗所な測定室内ではターゲットの確認が困難となるという問題点がある。

当所では、従来のアライメント手法の問題を解決するために、比較的簡便な手順でアライメントが行える手法を検討し、1基準軸・1タワー式のアライメント手法を開発した。この方式ではアライメントの各段階で用いられる基準軸が1つで済み、又、光源を有するミラーを用いることによりターゲットの確認を容易にし、アライメントの効率化を図ったことが特徴である。アライメント手法の開発と併せて、球面走査による近傍界測定に必要なハードウェア(送受信機、旋回台、プローブ及びそのタワー、アライメント装置等)、ソフトウェア(測定システム制御プログラム、近傍界/遠方界変換プログラム)の開発、導入を行った。この結果、1基準軸・1タワー式のアライメント手法を採用した球面走査近傍界測定システムを完成させた。

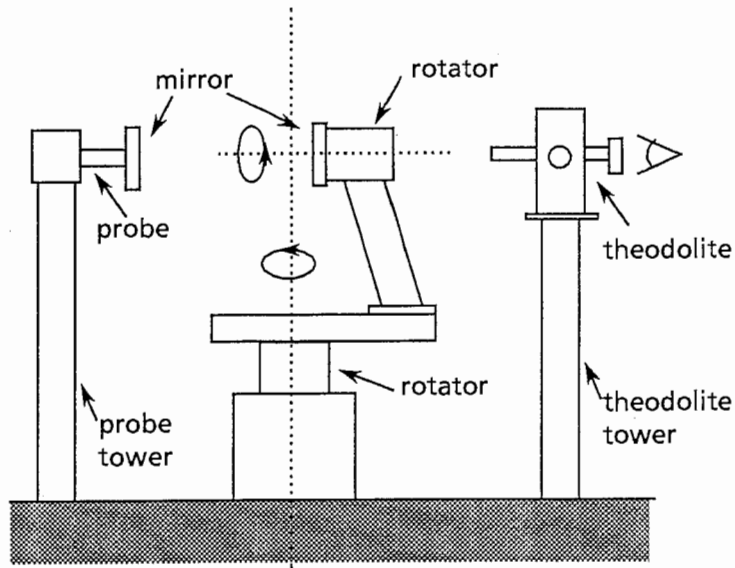
本稿では、移動体用アンテナのように広角にわたり指向性を有するアンテナの測定・評価を精度良く行うことを目的に、球面走査による近傍界測定システムを開発し、その性能を評価した結果を述べる。まず、第2章では新たに開発した1基準軸・1タワー式アライメント手法について述べ、第3章ではこの手法を採用した球面走査近傍界測定システムの構成を述べる。第4章では測定システムの性能評価として、X帯低サイドローブアンテナ、及び広角にわたり指向性を有するL帯直線偏波及び円偏波アンテナの近傍界測定を行った結果を述べる。これらの評価では、第2章に示す手法によるアライメントの実現性を述べると共に、遠方界測定法により得られた遠方界パターンとの比較を行い(X帯低サイドローブアンテナでは平面走査近傍界測定法との比較も行う)、当所の球面走査近傍界測定システムにより得られた結果の有効性を示す。

第2章 測定装置のアライメント手法

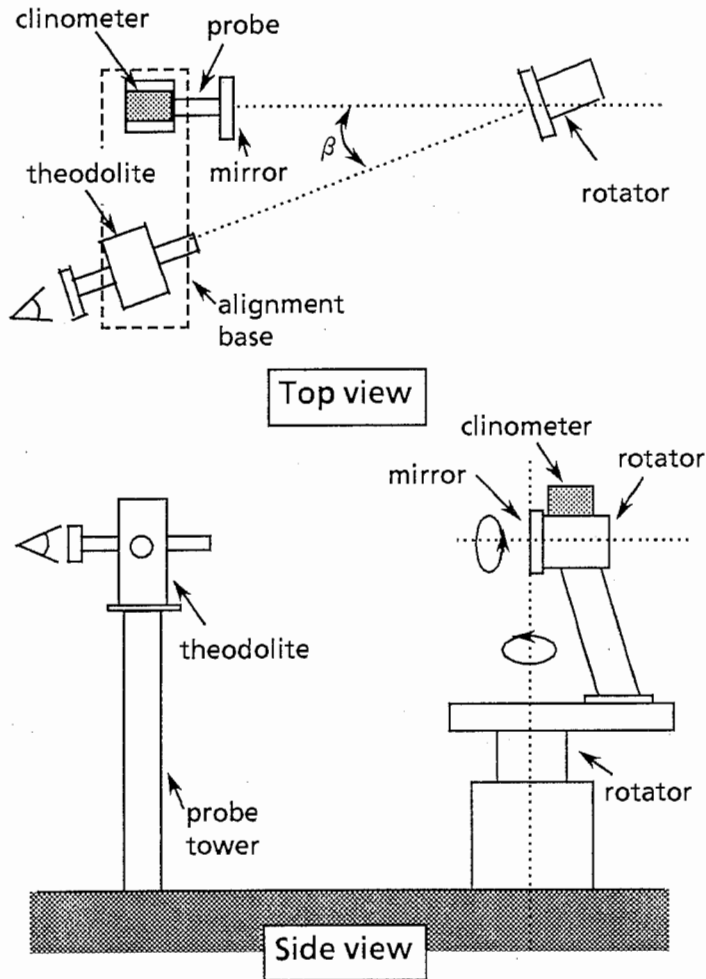
2.1 従来のアライメント手法

球面走査による近傍界測定装置の代表的なアライメント手法としてSA方式(10),(11)とTUD方式(7)が知られている。図1に両方式によるアライメントの概略を示す。これらの手法はいずれもセオドライトやミラー等の光学機器を用いて正確にアライメントを行う手法である。SA方式では、旋回台後方(プローブタワーとは反対側)にセオドライトを設置し、上部回転軸とプローブ軸上に正確に据え付けられたミラーのみを用いて回転軸の直交性(2つの回転軸が互いに直角をなしていること)、交差性(2つの回転軸が1点で交差していること)のアライメント及びプローブ軸のアライメント(プローブの中心軸が旋回台の回転中心を通ること)を行う。ここで、上部回転機構の中心部分は中空となっており、これを利用して旋回台側ミラー(上部回転軸)とのアライメントを行う。また、プローブ軸に対しては下部回転軸を中心に旋回台を 90° 回転させるか、又は旋回台側ミラーを取外してアライメントを行う。この方式ではアライメントの各段階での基準はミラーのみで済む(1基準軸方式)。しかし、旋回台、プローブタワー以外に別途セオドライト用のタワーを設置することが必要となるため、その設置場所に制約がある場合には用いることができない。

一方、TUD方式によるアライメント(図1(b))ではSA方式と同様にミラーを設置し、まずセオドライト-旋回台間で回転軸のアライメントを行う。この際には水準器等を併用してアライメントが行われる。次に、下部回転軸を中心に $\beta/2$ だけプローブ側に回転させ、旋回台側ミラーの反射を利用して旋回台側の調整と同様の方法でプローブ軸とのアライメントを行う。この方式はセオドライトをプローブタワー上に設置して行う1タワー方式であるので、SA方式にみられるタワーの設置上の制約はない。しかし、回転軸の直交性のアライメントではミラー以外に上部回転機構上に設置した水準器を併用して調整を行うので、ミラーを基準とした軸(上部回転軸)以外に水準器を基準とした軸が必要である(2基準軸方式)。プローブ軸のポインティングのアライメントに関しても同様である。また、回転軸の交差性のアライメントではミラーの中心点以外の基準点(固定点)のずれを観測して調整を行うので、厳密に規定された2つの基準点が必要である。更に、SA方式及びTUD方式で用いられるミラーにおいてその中心を規定するターゲットが印刷により形成されているので、比較的暗所な測定室内ではターゲットの確認が困難となる。



(a) SA-type technique



(b) TUD-type technique

図1 SA方式とTUD方式によるアライメント

2.2 提案するアライメント手法

2.1に述べたような従来のアライメント手法の煩雑さや難しさの問題を解決するために、当所ではミラーのみをアライメントの基準として使用し、セオドライトとプローブを1つのタワーに設置して調整を行う1基準軸・1タワー式のアライメント手法を開発した。また、ミラー上のターゲットの構成方法の改善を図った。

図2に1基準軸・1タワー式によるアライメントのフローチャートを示す。ここで、破線で囲まれる部分はTUD方式によるアライメントのフローを示す。また、個々のアライメントにおいて主に使用される光学測定装置を括弧内に示す。Ⅰ～Ⅲは旋回台のアライメントであり、回転軸の直交性、交差性の調整を行う。また、Ⅳはプローブのアライメントであり、プローブ軸の位置およびポインティングの調整を行う。図から分かるように、各段階での基準が1つであるのでアライメントでの測定装置も1つで済む。これらの中で、Ⅱ及びⅢの回転軸の直交性と交差性の調整が難しく、アライメントでは特に注意を要する。

図3に1基準軸・1タワー式による回転軸のアライメント手法の概略を示す。図3(a)に示す直交性の調整では、まずセオドライトの望遠鏡を水平に設定する。セオドライトの垂直方向の移動と上部回転軸の傾きの調整により、望遠鏡の十字線とミラーから反射して返ってくる十字線の中心がミラーターゲットの中心で一致すると上部回転軸と下部回転軸は直交し、セオドライトの光軸とも一致する。一致しない場合、角度 α が直交性誤差となり許容範囲内となるまで調整が繰り返される。この方法によると、TUD方式のようにミラー以外の基準を設定する必要がなく、また反射した十字線をセオドライトの視野から外すことなくアライメントが行える。

図3(b)に示す交差性の調整においては、Ⅱの調整後下部回転軸を中心に $\pm\beta_0$ だけ回転させる。このときミラーターゲットの中心までの角度をセオドライトを使用して読み(β_1, β_2 とする)、 $|\beta_1|=|\beta_2|$ であれば2つの回転軸は1点で交差し、 $|\beta_1|\neq|\beta_2|$ であればその差に比例した交差性誤差が生じていることになる。この誤差が所定の許容値となるまで上部回転機構を水平方向に微動させて調整する。TUD方式による交差性のアライメントでは、上部回転軸(ミラーターゲットの中心)以外の旋回台上の基準点(固定点)を用いて交差性のアライメントを行うのに対し、ここではミラーターゲットの中心を用いるので上部回転軸に対し直接アライメントを行うものである。また、後述のミラーを用いるとターゲットの確認が容易となる。

図4に当所のアライメントで用いるミラーの構成を示す。本アライメントで使用するミラーは、反射面の中心に透過型のクロスヘアラインが形成され、その背面からLEDで照射させることによりターゲットとなるクロスヘアラインを浮かび上がらせることが特徴である。従って、比較的暗所である電波暗室内で大がかりな照明器具を使用しなくても容易にターゲットを確認することができる。

なお、図2におけるIVのプローブ軸のアライメントは、水準器を使用しないことを除けばTUD方式と同様である(7)。

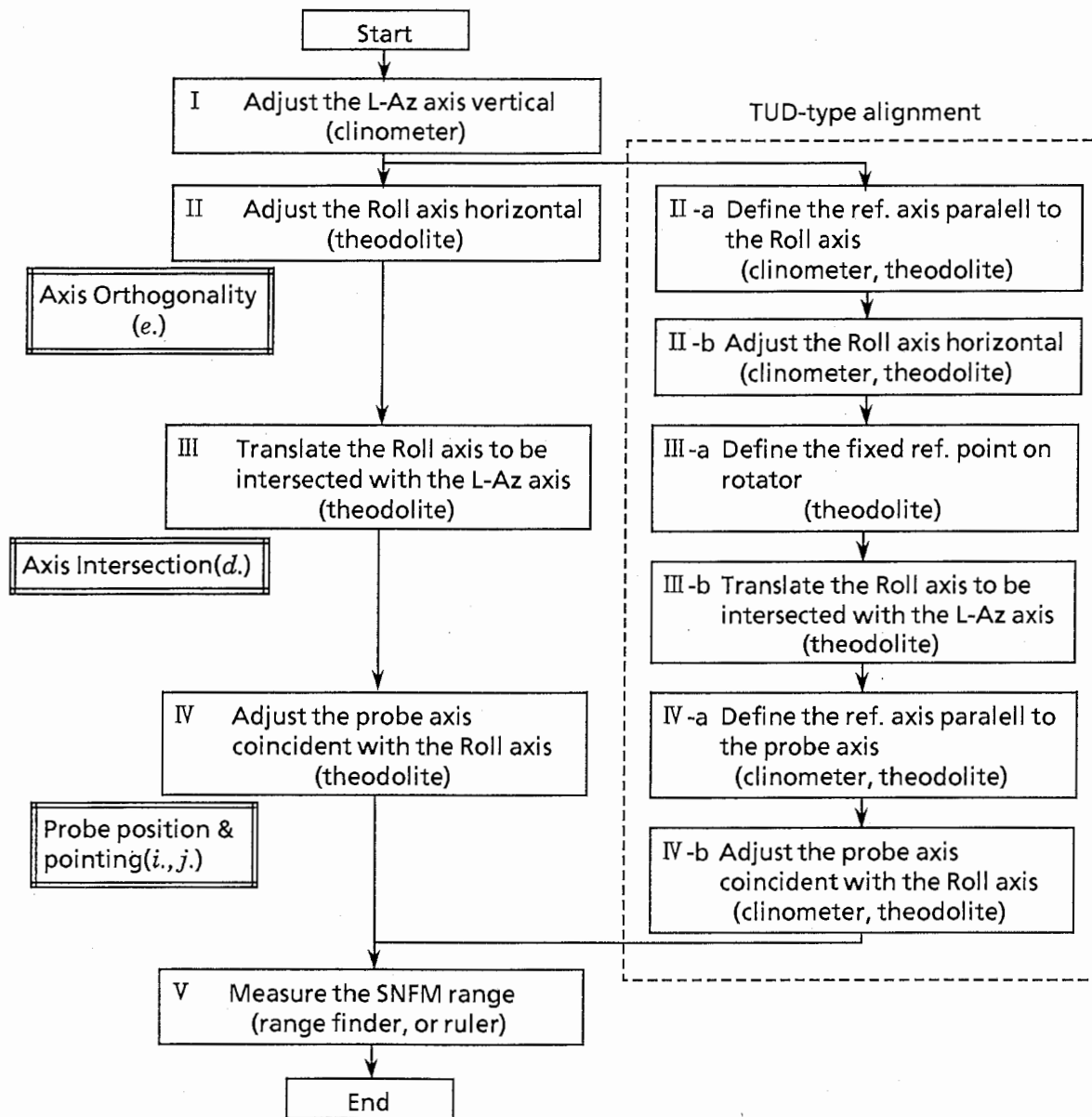
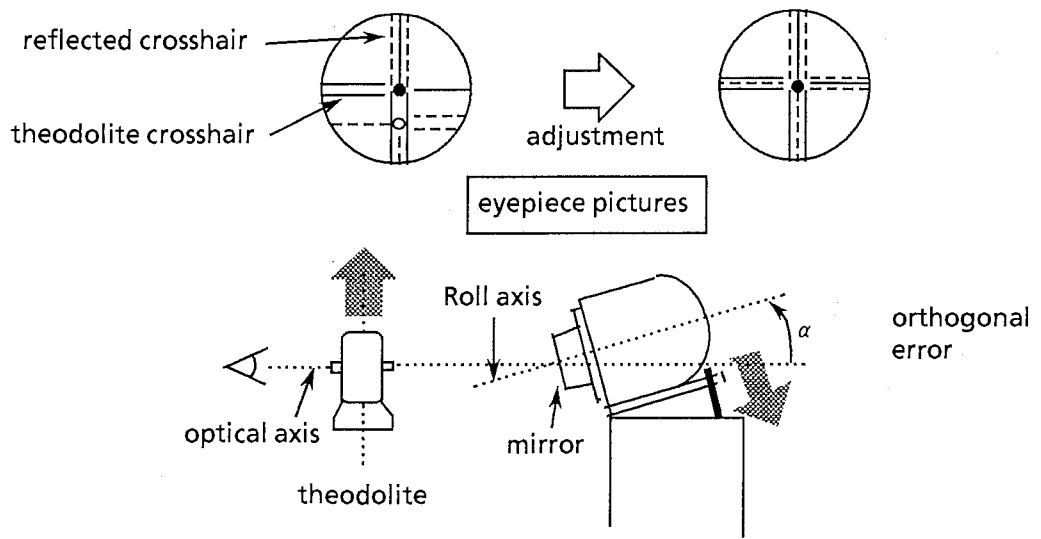
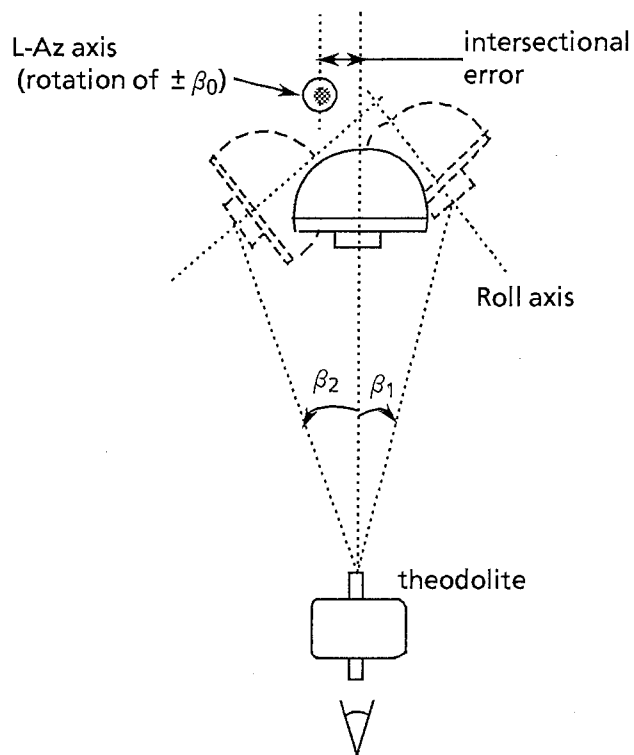


図2 アライメントのフローチャート

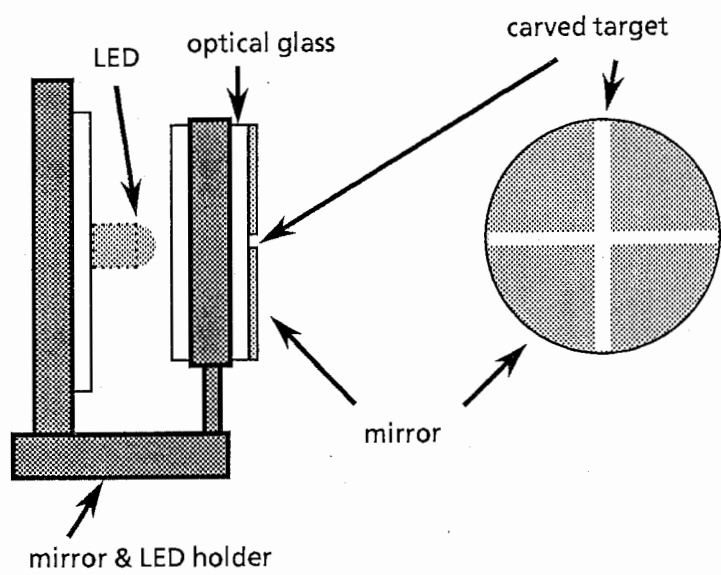


(a) alignment of axis orthogonality



(b) alignment of axis intersection

図3 回転軸のアライメント方法



(a) Side view

(b) Front view

図4 アライメント用ミラーの構成

第3章 球面走査近傍界測定システムの構成

図5に本測定システムの構成、表1に本測定システムの主要な仕様を示す。このシステムは大型電波暗室(高さ12.0m、幅14.5m、長さ25.5m)内にアンテナ旋回台、プローブタワー、送信機が、また隣接する計測室内に受信機、旋回台制御装置、システム制御コンピュータ等が設置されている。これらの装置はGP-IBを介してシステム制御コンピュータにより制御される構成となっている。本測定システムでは、測定用プローブは固定とし、旋回台に設置された被測定アンテナをRoll軸とLower-Azimuth軸の2軸を中心に回転させることによりプローブが球面上を走査する。被測定アンテナとしては最大4mφのアンテナを測定することが可能である。図6に第2章に示したアライメント手法で用いられる光学測定装置及びプローブの設置状態を示す。これらの装置はプローブタワー上部の微動台に設置されており、直線及び円弧状(但し、プローブのみ)の微動が可能である。プローブ側のミラーも旋回台側と同様に図4の構成を持つものである。受信機で測定された近傍界の振幅及び位相情報はデジタル化され、測定格子点の位置情報(回転角度)と共にハードディスクドライブに蓄えられる。データ処理は全ての走査が終了した後にオフラインで行われる。近傍界/遠方界変換ソフトウェアは、Hansenの球面近傍界変換理論(7)を基にプログラムされており、システム制御コンピュータだけでなく、当所の汎用コンピュータ上においても実行が可能である。

測定装置の機械的な仕様を既に発表されている球面走査近傍界測定システム(12)、(13)と比較した例を表2に示す。当所の測定装置では回転軸の直交性、及び交差性の精度において他の高精度測定システムと同程度となっている。被測定アンテナの最大重量は20~50kg程度軽量であるが、測定レンジ長を可変できるシステムとしては世界でも最大級の機械仕様となっている。本測定システムではガイドレール上のプローブタワーを移動させて設置することにより(図7参照)、測定レンジ長を1.4~8.6mの範囲で設定することが可能である。

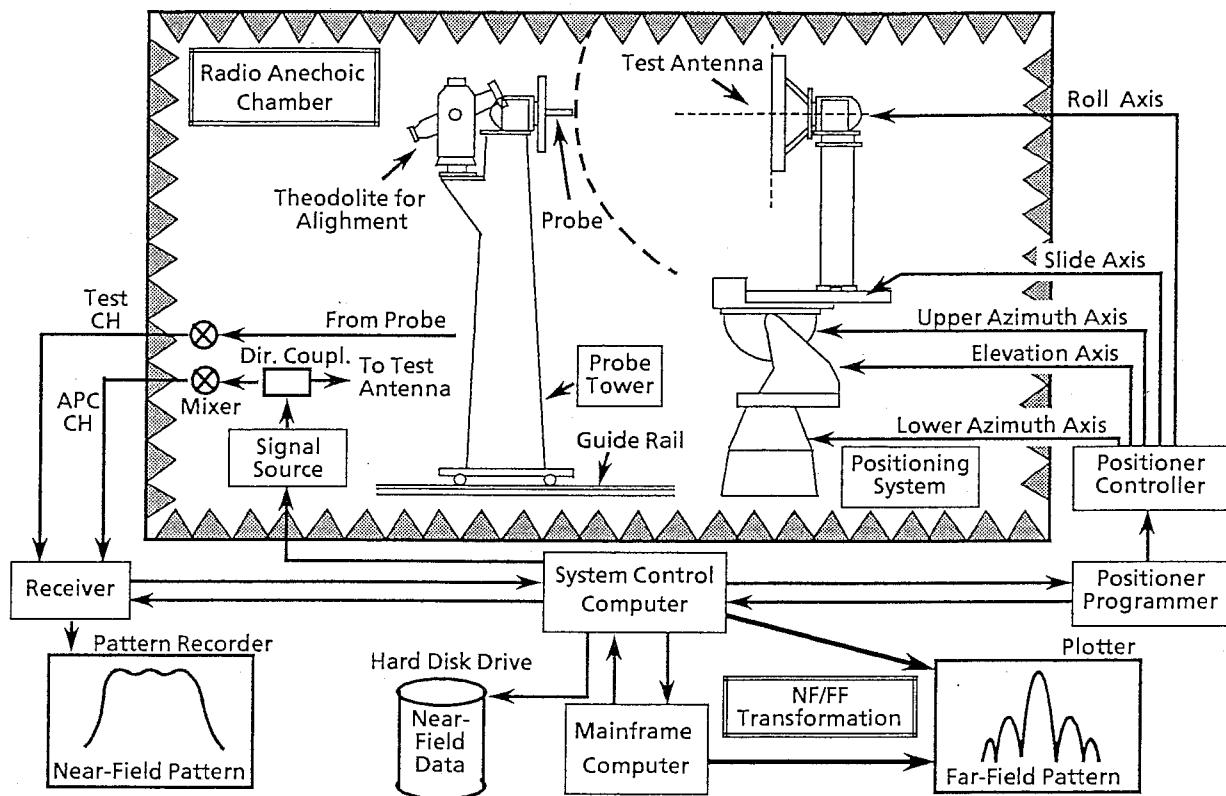


図5 球面走査近傍界測定システムの構成

表1 球面走査近傍界測定システムの主要性能

a. 走査方式	2軸 (Roll/Lower Azimuth) 回転の球面走査
b. 測定レンジ	1.4 ~ 8.6m
c. 被測定アンテナ寸法	直径4m以下
d. 回転軸の交差精度	± 0.5mm以下
e. 回転軸の直交精度	± 36" (0.01°)以下
f. 使用可能周波数	500MHz ~ 40GHz
g. 回転精度	Roll軸 : ± 3.6" (0.001°)以下, Lower Azimuth軸 : ± 14.4" (0.004°)以下
h. 回転速度	Roll軸 : 3rpm以下, Lower Azimuth軸 : 0.5rpm以下
i. プローブの位置精度	± 0.05mm以下
j. プローブのポインティング精度	± 40" (0.011°)以下

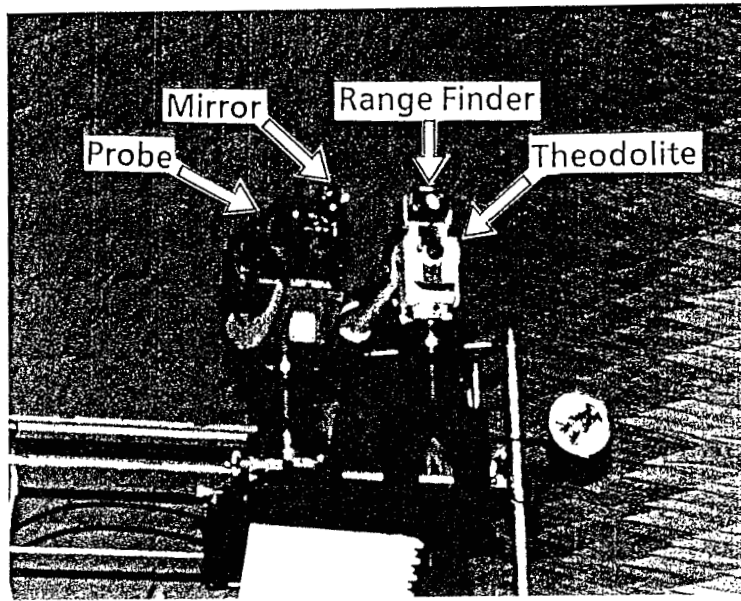


図6 光学アライメント装置

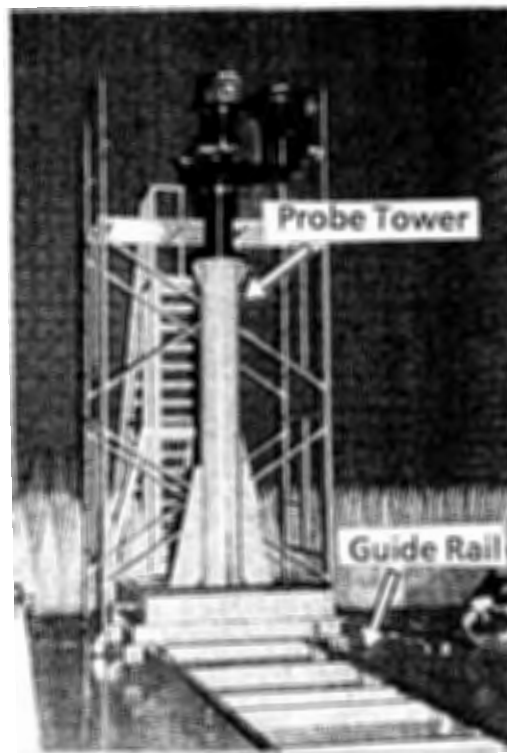


図7 プロブタワーとレールシステム

表2 主要球面走査近傍界測定装置の機械性能

	Aerospatale	Ericsson Radar	TUD	UPM	ATR
a.被測定アンテナの大きさ 最大重量/最大アンテナ径	— / —	300Kg/4mΦ	250Kg/4.3mΦ	50Kg/3mΦ	230Kg/4mΦ
b.測定レンジ長	9.3m(固定)	2.5m(固定)	1.5~5.0m	4m(固定)	1.4~8.6m
c.回転軸の直交性精度 /交差性精度	±72" (0.02°) /±0.5mm	±36" (0.01°) /±0.5mm	±36" (0.01°) /±0.05mm	±3' (0.05°) /±0.1mm	±36" (0.01°) /±0.5mm
d.備考	部分球面走査	完全球面走査 (部分球面走査 装置も有り)	完全球面走査	完全球面走査	完全球面走査

TUD : Technical University of Denmark
UPM : Polytechnic University of Madrid

第4章 測定システムの性能評価

ここでは第2章、第3章で述べた球面走査近傍界測定システムの測定性能を評価するため、低サイドローブアンテナ、広角指向性を有する直線偏波及び円偏波アンテナの測定を行った結果を述べる。上記3つのアンテナの測定パラメータを表3に示す。また、第2章で示した手法によりアライメントを行った結果と、プローブのポインティングを除くアライメント誤差が、求められる遠方界特性に与える影響を計算機シミュレーションにより評価した結果(9)を表4に示す。プローブのアライメントにおいて一部測定システムの機械仕様を満足しないものがあるが、回転軸のアライメントに関しては他の高精度測定システムと比較しても同等の精度が得られていることが分かる。計算機シミュレーションによると、そのアライメント誤差の影響は指向性利得で $\pm 0.03\text{dB}$ 以内、第1サイドローブレベルで $\pm 0.2\text{dB}$ 以内と推定される。3つのアンテナ共に近傍界から遠方界に変換する際にはプローブ放射パターンの実測値をもとにプローブ補正を行っている。なお、プローブ放射パターンの計算値をもとにプローブ補正を行った場合との比較によりプローブ補正の効果について述べる。

表3 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	平面アレーの測定
測定周波数	9.41GHz ($\lambda_0 = 32\text{mm}$)	1.54GHz ($\lambda_0 = 195\text{mm}$)	1.54GHz ($\lambda_0 = 195\text{mm}$)
アンテナ長	2250mm ($70.3\lambda_0$)	691mm ($3.6\lambda_0$)	$\phi 515\text{mm}$ ($\phi 2.65\lambda_0$)
サンプル間隔 $\Delta\theta \times \Delta\phi$	$0.625^\circ \times 1.25^\circ$	$2.0^\circ \times 2.0^\circ$	$2.0^\circ \times 2.0^\circ$
サンプル点数 $N_\theta \times N_\phi$	289×288	91×180	91×180
測定レンジ長 (Rm)	2972mm ($93.3\lambda_0$)	1977mm ($10.2\lambda_0$)	1622mm ($8.3\lambda_0$)
プローブ (プローブ長:Rp)	WRJ-10 (225mm, $7\lambda_0$)	WRJ-1.4 (640mm, $3.3\lambda_0$)	WRJ-1.4 (640mm, $3.3\lambda_0$)

表4 近傍界測定装置のアライメント結果

	仕様値	レーダアンテナ測定時	標準ゲインホーン測定時	平面アレー測定時
回転軸の交差精度	< ±0.5mm	±0.46mm	±0.46mm	±0.27mm
回転軸の直交精度	< ±36"	±33"	±33"	±24"
プローブの位置精度	< ±0.05mm	±0.06mm	±0.30mm	±0.34mm
プローブのポインティング精度	< ±40"	±4"	±8"	±74"
誤差評価結果	指向性利得誤差 (基準指向性利得)	±0.023dB (31.6dB)	±0.017dB (16.85dB)	±0.013dB (15.59dB)
	第1サイドローブレベルの誤差 (基準第1サイドローブレベル)	±0.131dB (-30.7dB)	±0.035dB (-18.54dB)	±0.041dB (-18.54dB)

4.1 低サイドローブアンテナの測定

低サイドローブアンテナとしてはX帯船舶用レーダアンテナを使用した。図8に測定座標系を示す。このアンテナはファンビームの指向性を有する直線偏波のアンテナである。電界面(E面)が低サイドローブ指向性となり(14)、実際の運用状態での方位角方向である(図8における $\phi=0^\circ$ の面に対応)。測定レンジ長は旋回台の回転中心からプローブ開口面までの距離であり、プローブからレーダアンテナを見込む角度が $\pm 30^\circ$ 以内(7)となるように設定した。本測定では、プローブより電波を送信し、プローブの1偏波に対して表3に示すサンプル間隔で全球面の走査(直交2偏波に対し計2回の全球面走査)を行った。

図9に球面走査近傍界測定法(SNFM)により得られたE面遠方界パターンを、主ビーム近傍において遠方界測定法(FFM)及び平面走査近傍界測定法(PNFM)により得られたE面遠方界パターン(14)と比較した結果を示す。横軸は最大放射方向(図8における $\phi=0^\circ$ 面内の $\theta=4.6^\circ$ 方向)を基準とした相対角度である。FFMによる放射パターンと比較するとSNFMではピーク利得から-40dBのレベルまで良く一致しており、本測定システムを用いて精度よく低サイドローブ指向性を測定できることが分かる。PNFMとの比較(図9(b))からもこの測定結果の妥当性が分かる。特に、主ビーム近傍のサイドローブに注目すると、PNFMよりはSNFMの方がFFMによるパターンと一致することが分かる。

図10にSNFMによるH面遠方界パターンをPNFMによる遠方界パターンと比較した結果を示す。但し、FFMによる本アンテナのH面放射パターンは測定されていない。SNFMによる測定において、アンテナビームがE面において 4.6° だけチルトしているためにH面遠方界パターンを求めるカット面は走査球面の ϕ カット面と一致しなくなる。ここでは、求められた遠方界を所望のカット面に沿って補間することによりH面遠方界パターンを求めている。図から広角指向性に対してはPNFMと比較してピーク利得から-50dBのレベルまで良く一致することが分かる。

次に、SNFMにおけるプローブ補正の効果について述べる。図11にYaghjianの計算式により求めた切り放し方形導波管の放射パターン(15)を用いてプローブ補正を行った結果との比較を示す。Yaghjianの計算式では切り放し方形導波管単体の放射パターンが求められるが、プローブに付属するフランジやプローブの位置決め装置等の影響は考慮されないため補正後の放射特性は異なるものと思われる。しかし、図においてはE面、H面共にほぼ同じ遠方界パターンとなっており、実測パターンを用いてプローブ補正を行った場合との差異は認められなかった。これは、SNFMによる測定ではプローブは常に被測定アンテナの方向に向いていること、又、被測定アンテナがプローブのボアサイトから $\pm 30^\circ$ 以内にあることから、周囲の影響を受け易いプローブ後方の放射特性はプローブ補正においてあまり重要とならないためと考えられる。

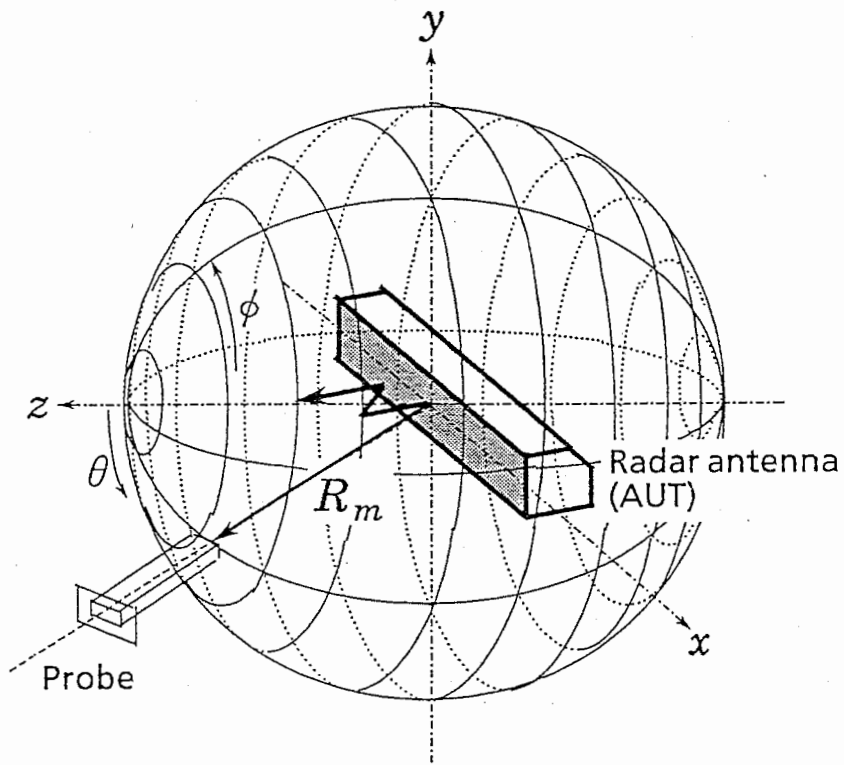
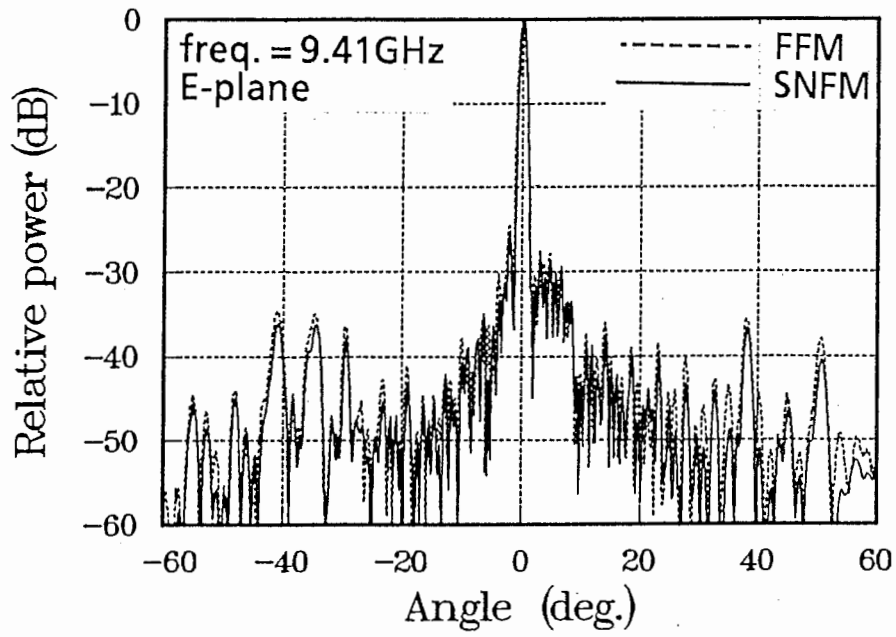
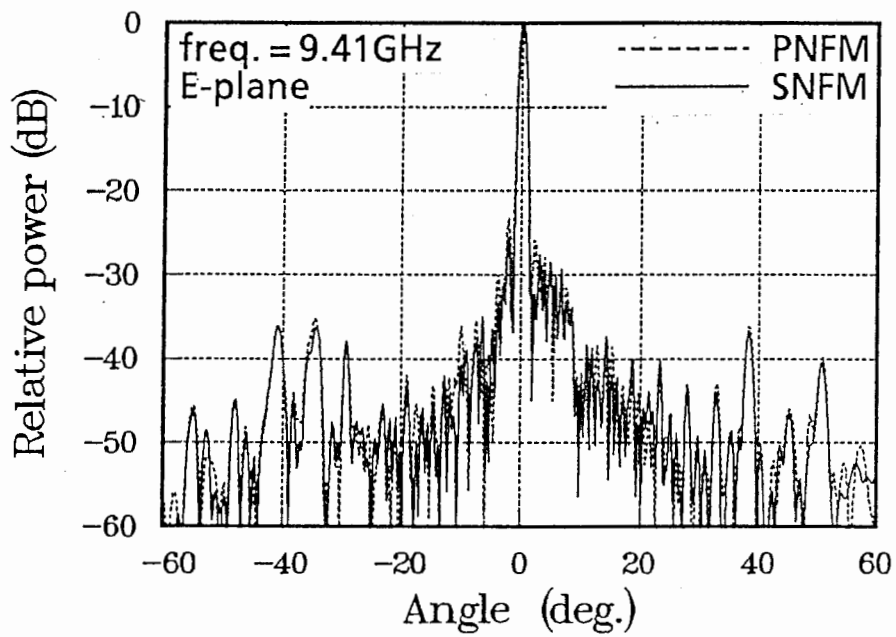


図8 レーダアンテナの測定座標系



(a) SNFM vs. FFM



(b) SNFM vs. PNFM

図9 レーダアンテナのE面遠方界パターンの比較

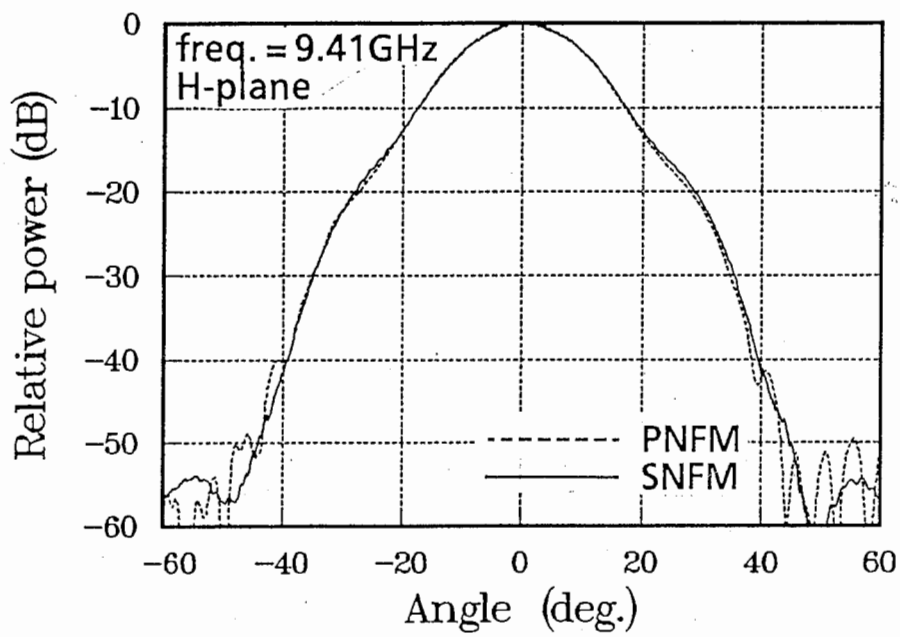
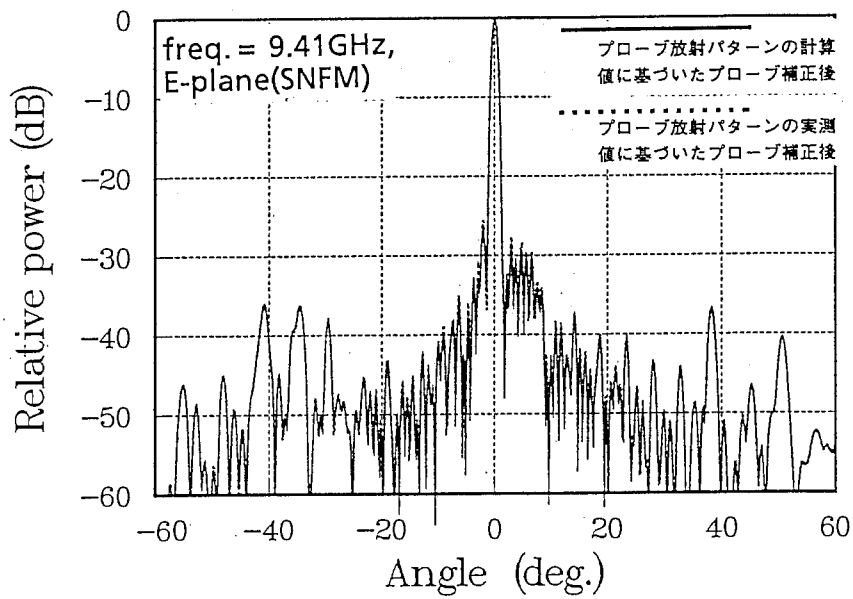
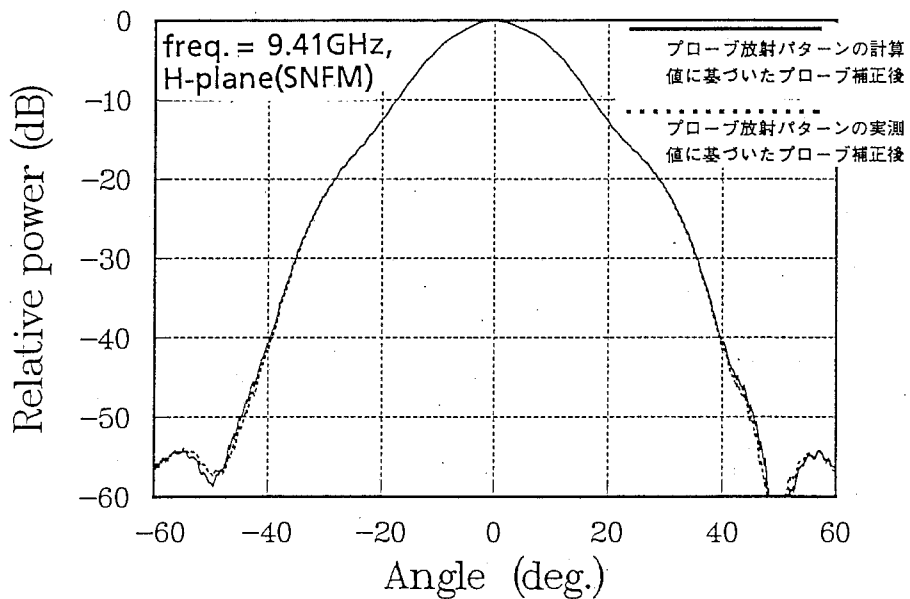


図10 レーダアンテナのH面遠方界パターンの比較



(a) E plane



(b) H plane

図11 実測と計算によるプローブ補正後の遠方界パターンの比較
(レーダアンテナの場合)

4.2 広角指向性のアンテナの測定

直線偏波の被測定アンテナとしては開口面寸法:55.7cm×41.3cmのL帯標準ゲインホーンアンテナを使用した(図12参照)。測定では、4.1のレーダアンテナと同様に測定レンジ長を設定し、プローブより電波を送信して2回の全球面走査を行った。

図13にSNFMにより得られた放射パターンとFFMにより得られた放射パターン(ともにE面およびH面放射パターン)を比較した結果を示す。FFMによる放射パターンは当所の遠方界測定レンジ(測定レンジ長:18m)にて測定したものである。この図より本近傍界測定により、 $\pm 120^\circ$ の角度範囲で遠方界測定による放射パターンとピーク利得から-40dBのレベルまで一致した指向性が得られていることが分かる。この結果から、本測定システムによると4.1に述べた低サイドローブアンテナだけでなく、広角にわたり指向性を有するアンテナの特性も精度よく測定できることが分かる。図14にYaghjianの計算式により求めた切り放し方形導波管の放射パターンを用いてプローブ補正を行った結果との比較を示す。4.1で述べた低サイドローブアンテナの場合と同様に、広角指向性のアンテナに対しても実測パターンを用いてプローブ補正を行った場合との差異がないことが分かる。

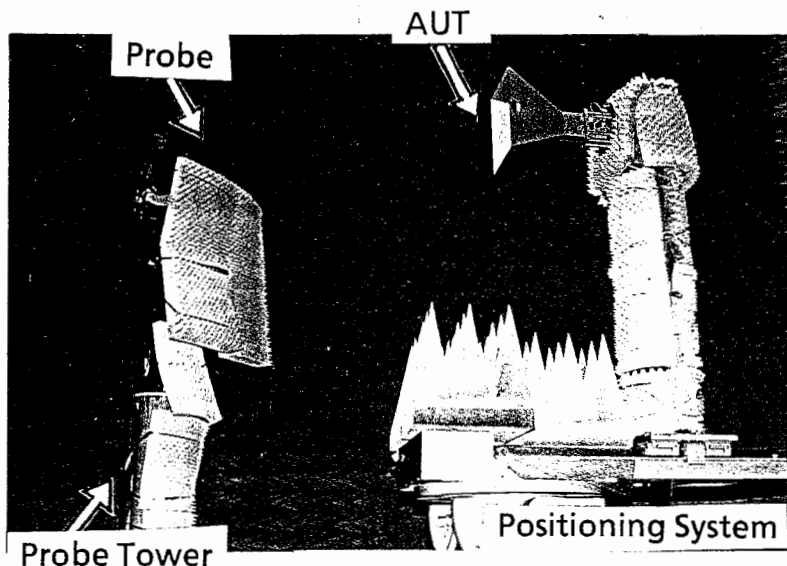


図12 球面走査近傍界測定装置における標準ゲインホーンアンテナの設置状態

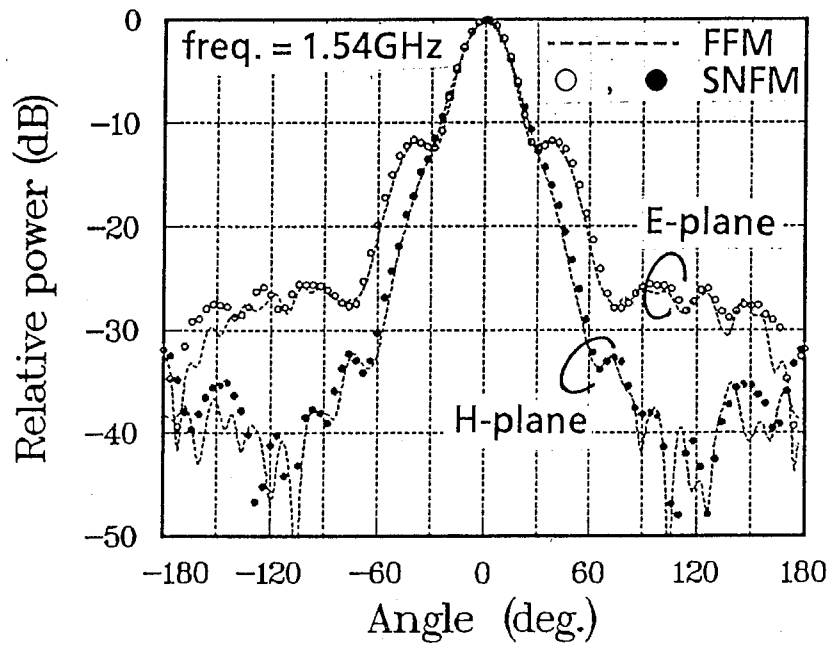


図13 標準ゲインホーンアンテナの遠方界パターンの比較

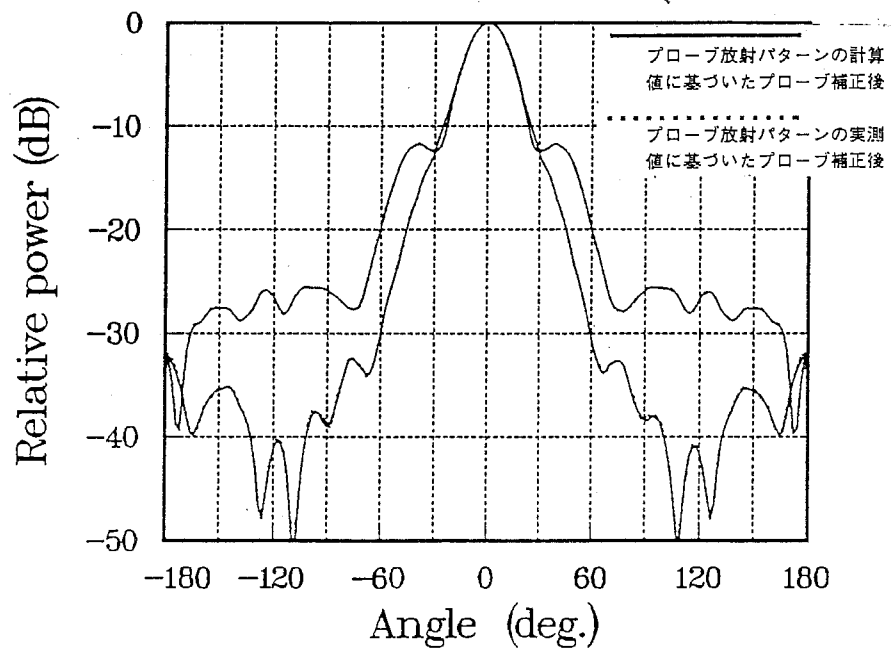


図14 実測と計算によるプローブ補正後の遠方界パターンの比較
(標準ゲインホーンアンテナの場合)

次に、円偏波アンテナに対する近傍界測定結果を示す。被測定アンテナとしては4角配列のL帯16素子平面アレー(素子アンテナ:円環パッチ、素子間隔:半波長)を使用し、測定では中心の2×4素子を同相で円偏波励振(右旋円偏波)した。本平面アレーアンテナの測定においても、4.1に述べたレーダアンテナの測定と同様に測定レンジ長を設定すればよい。この場合、測定レンジ長は1.3m(6.7λ₀)あれば十分となるが、測定装置の構成上、最短の1.6m(8.2λ₀、但しL帯の測定の場合)とした。本測定においてもプローブより電波を送信し、2回の全球面走査を行った。

図15にSNFMで得られた8素子アレーの正旋円偏波成分(右旋円偏波成分;RHCP)及び逆旋円偏波成分(左旋円偏波成分;LHCP)の3次元遠方界パターンを、図16にφ=0°、45°、及び90°面においてFFMにより得られた放射パターンと比較した結果を示す。ここで、遠方界の正旋円偏波成分及び逆旋円偏波成分は、測定された近傍界のθ成分及びφ成分を遠方界に変換し、両者の振幅と位相を用いて求めたものである。

図15から分かるように、全方位にわたり本平面アレーの広角指向性がSNFMにより得られている。図16から、±90°の角度範囲でピーク利得から-40dBのレベルまで良く一致した遠方界パターンが得られていることが分かる。角度範囲が±90°以上の広角方向のパターンはFFMによる放射パターンと必ずしも一致していない。特に、-40dB以下となる頻度が高いφ=0°、90°面の遠方界パターンにおいてその差が大きくなっていることから、-40dB以下の低レベル領域における測定誤差によるものと考えられる。また、逆旋円偏波成分に関しても必ずしも一致するパターンにはなっていないが、主ビーム方向の逆旋円偏波成分のレベルではFFMと比較して0.72dB以内で求められている。図16にYaghjianの計算式により求めた切り放し方形導波管の放射パターンを用いてプローブ補正を行った結果との比較を示す。標準ゲインホーンアンテナの場合と同様に、本平面アレーに対しても実測パターンを用いてプローブ補正を行った場合との差異ないことが分かる。Yaghjianの計算式により求めた切り放し方形導波管の放射パターンを用いてプローブ補正を行っても実用上は問題ないことが分かる。

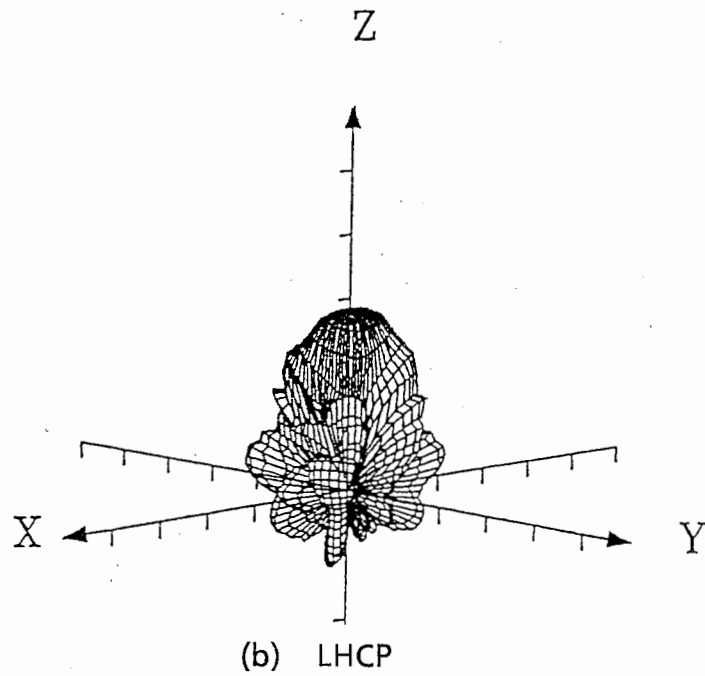
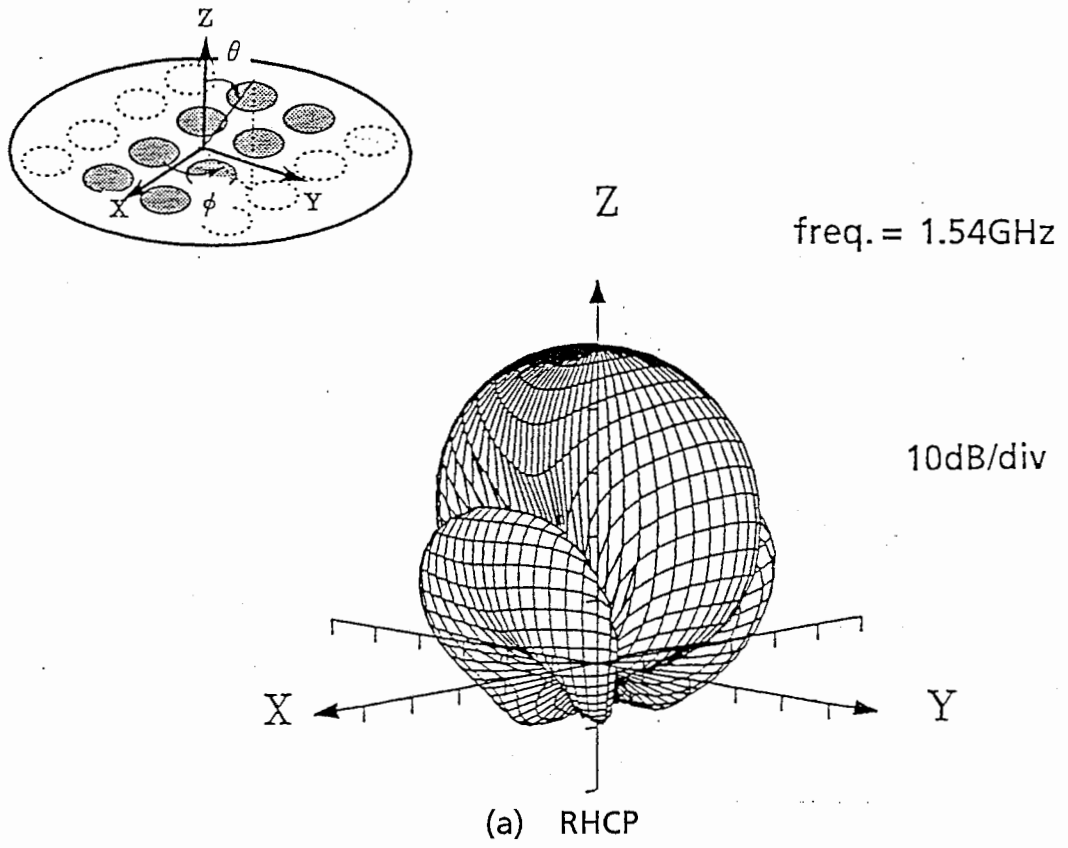
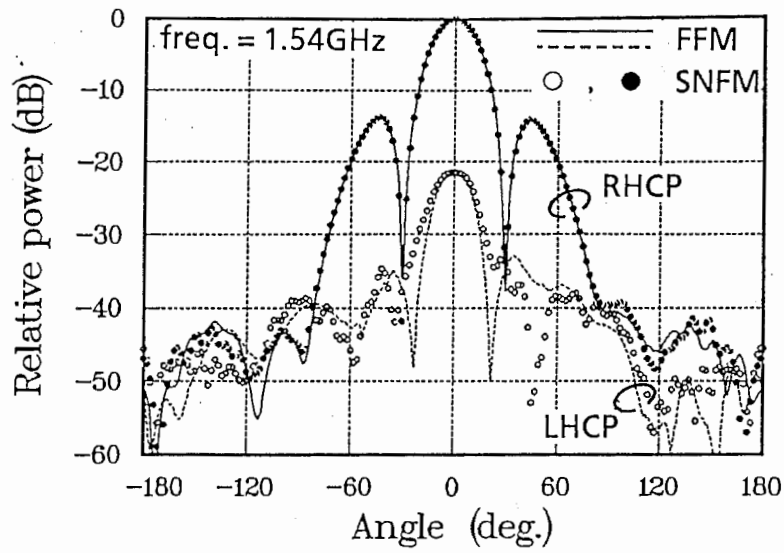
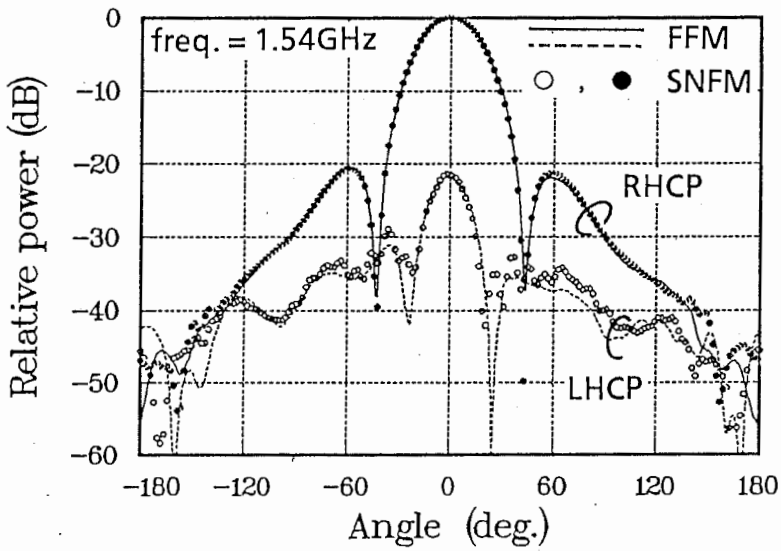


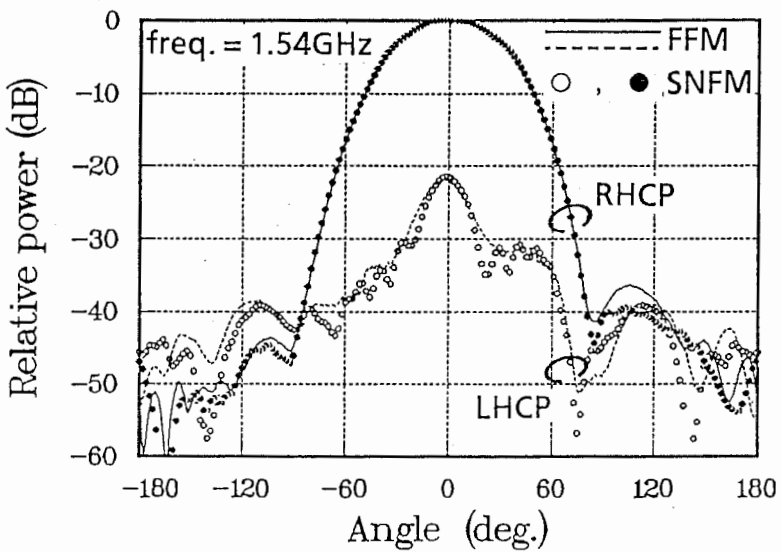
図15 SNFMによる平面アレーの3次元遠方界パターン



(a) $\phi = 0^\circ$

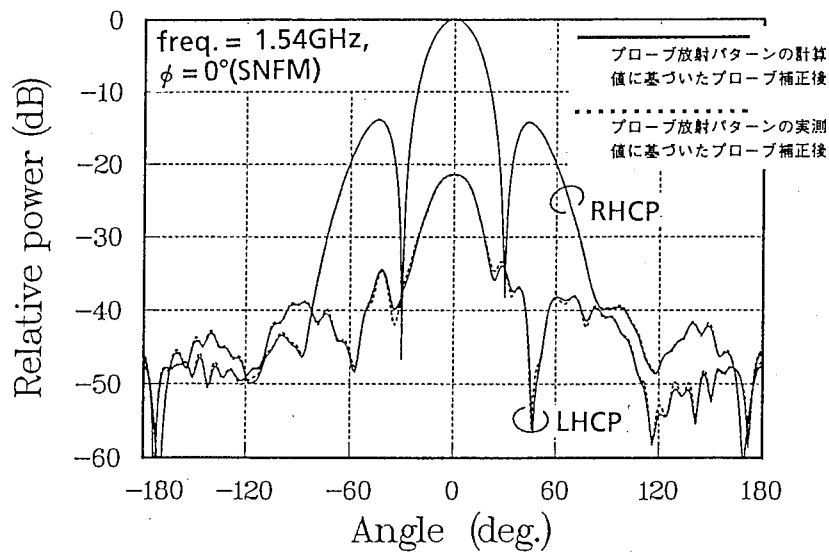


(b) $\phi = 45^\circ$

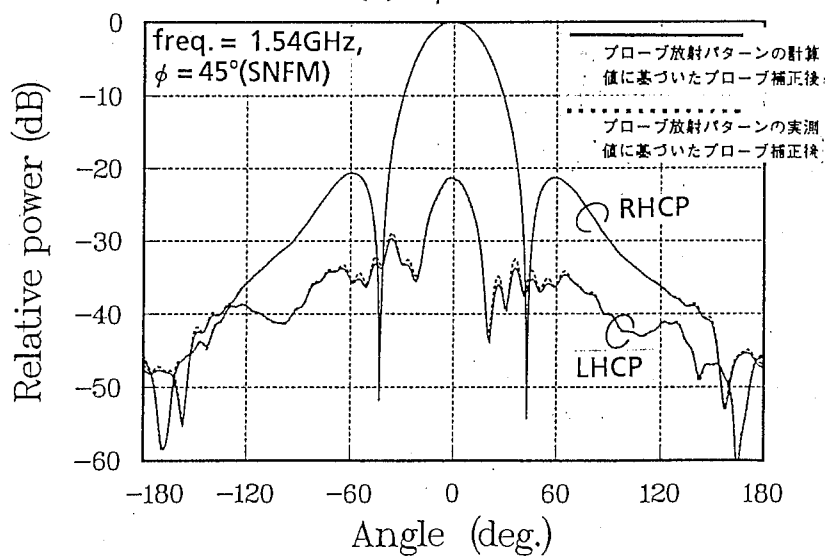


(c) $\phi = 90^\circ$

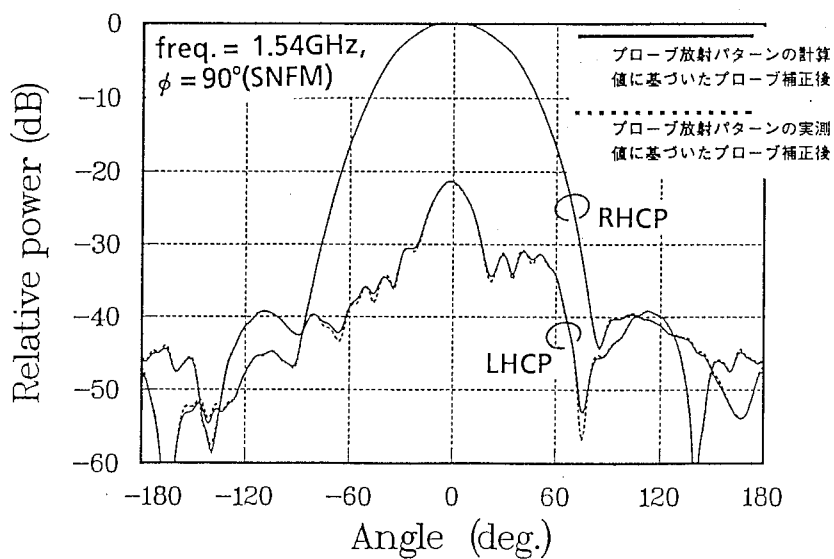
図16 FFMとSNFMによる平面アレーの遠方界パターンの比較



(a) $\phi = 0^\circ$



(b) $\phi = 45^\circ$



(c) $\phi = 90^\circ$

図17 実測と計算によるプローブ補正後の遠方界パターンの比較
(8素子平面アレーの場合)

第5章 むすび

本稿では、移動体用アンテナのように広角にわたり指向性を有するアンテナを精度良く測定することを目的に、大型球面走査近傍界測定システムを開発し、X帯低サイドローブアンテナ及びL帯広角指向性アンテナを用いた近傍界測定によりその測定性能の評価を行った。測定システムの性能を決める上で重要となるアライメント手法として、アライメントの各段階において1つの基準軸のみを使用し、又アライメント用測定器とプローブを同一のタワーに設置して調整を行う、1基準軸・1タワー式の手法を提示した。光源を有する透過型ターゲット付きミラーを用いる本手法によると、所望精度で効率良くアライメントが行える。この手法により実現される機械精度、測定可能なアンテナ寸法において、本測定システムは測定レンジ可変型の装置としては世界でも最大級である。このシステムの性能評価を行った結果、提案するアライメント手法は高精度近傍界測定に必要なアライメント精度を実現する手法として有効となることが実験的に明らかになった。また、求められた遠方界パターンを遠方界測定法により得られたパターンと比較した結果、低サイドローブ指向性及び広角指向性アンテナ共にピーク利得から-40dBのレベルまでよく一致する遠方界パターンが得られた。特に、広角指向性アンテナでは、 $\pm 120^\circ$ の角度範囲で一致した遠方界パターンを得ることができ、広角指向性を有するアンテナも良好な精度で測定できることを確認した。また、Yaghjianの式による切り放し方形導波管の放射パターンの計算値を用いたプローブ補正を行っても実用上十分な精度で遠方界パターンが求められることを確認した。今後、この近傍界測定によりアンテナ開口面分布を求める手法を確立し、実際の移動体用アンテナの測定等へ本測定システムの運用を行っていく予定である。

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”、'92信学春季大、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) 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
- (7) Hansen J. E.(Ed.), “Spherical near-field antenna measurements”, *Peter Peregrinus*, 1988
- (8) Jensen F., “Design of spherical near-field test facility”, *Proc. ISAP'78*, B-1-2, 1978
- (9) 大滝幸夫、小西善彦、中條 渉、藤瀬雅行:“球面走査近傍界測定におけるアライメント誤差と遠方界指向性誤差との関係”、信学技報、A・P90-28 (1990-06)
- (10) Zieg S. W., “A precision optical range alignment technique”, *AMTA Meeting*, Oct.1988
- (11) Hess D. W, Jones J. R., Green C., Melson B., and Proctor J., “Spherical near-field antenna measurements improve through expanded software features”, *Mircowave Systems News*, vol.15, no.3, pp.64-83(Mar. 1985)
- (12) European Space Agency, *Proc. 11th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Measurements*, Jun. 1988
- (13) Hansen J. E., “The ESA-TUD spherical near-field antenna test facility”, European Space Agency, ESA BR-19(Apr. 1984)
- (14) 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)
- (15) Yaghjian A. D., “Approximate formulas for the far field and gain of open-ended rectangular waveguide”, *IEEE Trans. Antennas and Propagat*, vol. AP-32,no.4, pp.378-384, Apr. 1984