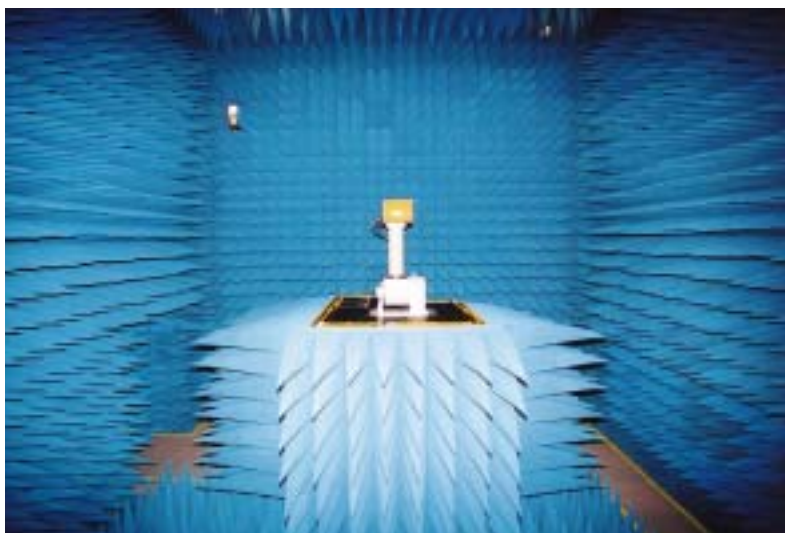


6面電波暗室の構築とアンテナ評価技術

Six-sided Anechoic Chamber and Antenna Evaluation Technology

荻野 和滋 *Kazushige Ogino*
板津 恵造 *Keizo Itazu*
稲村 重昭 *Shigeaki Inamura*
田中 国次 *Kunitsugu Tanaka*



要 旨

移動体通信の市場は国別規制の枠を越えて広がっており、近年では衛星携帯電話の登場などグローバルスタンダードが身近なものとなってきた。自動車業界においても移動体通信の技術を駆使した交通情報システムの確立、世界標準化をめぐる動きがあるなど開発競争に拍車がかかっている。

移動体通信に欠くことの出来ない重要なアイテムの1つにアンテナがある。当社では長年培った技術・ノウハウを基に次世代の新しい車載アンテナ開発を進めており、それに伴ない新たな評価技術・設備が必要となってきた。

この度当社中津川テクノセンター内にFM放送波～ミリ波に渡る幅広い周波数帯に対応した、国内でも有数の規模を誇るアンテナ評価用電波暗室（6面電波暗室）を構築した。構築にあたり抽出した課題と課題解決の手段として導入された技術につき、社内製品の評価事例を交えて紹介する。

Abstract

The recent introduction of portable satellite telephones brought global communications standards to consumers, demonstrating the way mobile communications markets are expanding beyond the capacity of individual nations to regulate them. In the automobile industry, manufacturers are researching and developing traffic information systems based on the mobile communications technology. Thus, auto makers are also working towards establishing international standards.

One of the essential components of mobile communications equipment is the antenna. Fujitsu Ten is developing next-generation car antennas by maximizing technological expertise accumulated over many years. These advanced R&D activities, in turn, have created a need for a new antenna evaluation technology — and a cutting-edge facility in which to apply it.

To further our antenna R&D activities, we have constructed an anechoic chamber (six-sided dead room) in the Nakatsugawa Techno Center. This facility is among the largest anechoic chambers of its kind in Japan. It enables the assessment of antenna performance using a broad frequency spectrum, ranging from FM broadcasting frequencies to millimeter waves.

Issues Fujitsu Ten has encountered in the anechoic chamber construction project and the technologies used to deal with them are described in the following synopsis, which also introduces examples of our product evaluations.

1. はじめに

近年、新しい車載アンテナに対するニーズが高まってきているが、それと同時に要求されるスペックは厳しくなる一方である。

当社では従来より車載アンテナの開発・評価を行なっているが、多様化する顧客ニーズに応えたアンテナ製品のタイムリーな開発には定量的な評価が不可欠であるとの認識から6面電波暗室を導入した。

本論文では電波暗室を導入するに至った車載アンテナの市場動向、当社の現状、導入にあたり検討した広帯域化・測定精度の向上への対応、構築時の品質管理、安全対策について述べる。

2. 電波暗室導入の背景

ラジオ放送の受信を主な目的に開発された車載用アンテナは、自動車が単なる交通手段から便利で快適な移動空間へと変革を遂げる中、TV放送受信、自動車電話など時代のニーズに応じた製品が開発されてきた。

さらに移動体通信のインフラ多様化が進んだ現代ではナビゲーションやVICSなど新しいシステムが確立しており、車載アンテナは急激な変化を遂げている。

また、来たるべきITS時代の一翼を担う衝突防止用ミリ波レーダの普及、あるいは地上波や衛星波を利用したデジタル放送の本格化などアンテナに対するニーズは多様化する傾向にあり、多様化するニーズに応じた新しい車載アンテナの開発は急務である。

一方、ニーズの多様化に伴ないこれらのアンテナに要求されるスペックは高度化・複雑化する傾向にある。

当社では従来よりアンテナの評価を実施してきたが、精度・効率面において将来のこのようなアンテナ開発を推進していくには不十分であった。

当社独自のアンテナのタイムリーな開発・製品化を推し進め、さらなる評価における精度・効率の向上を図る目的で、当社の電波関連技術の研究拠点である中津川テクノセンターにアンテナ評価用電波暗室を導入することとなった。

3. 電波暗室および評価設備の仕様

3.1 暗室および評価設備の概要

電波暗室とは別名電波無響室と称し、その天井、床、側壁などの内面に電波吸収体を張り、電波の反射をなく

した室である。

これにより自由空間と同等の空間を形成することができる。また、部屋は全て鋼板で覆い電磁シールド層を設けることにより、外部からの不要な電波の侵入を防いでいる。

本電波暗室に設置している電波吸収体は発泡ウレタンにカーボンを含浸させピラミッド状に成形したものである。(図-1)

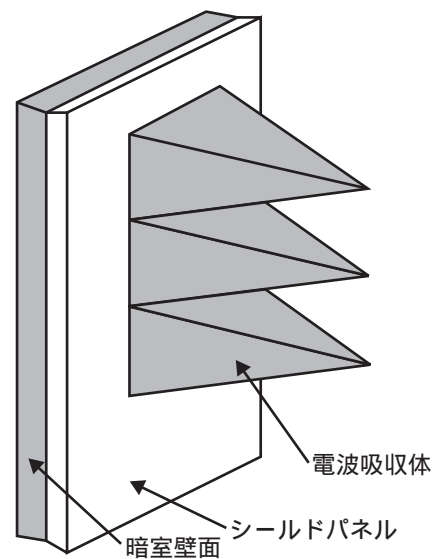


図-1 電波暗室の内部壁面構造
Fig.1 Inner wall structure of anechoic chamber

電波暗室の内部には測定電波放射アンテナ設置用の台座と、供試アンテナあるいは測定基準アンテナ設置用の台座を設け、それぞれの台座にはアンテナを取付、回転させるためのポジションを設置している。このポジションは暗室外の自動測定コントローラに接続されており、コントローラからの制御により所望の状態に回転可能なものである。(図-2)

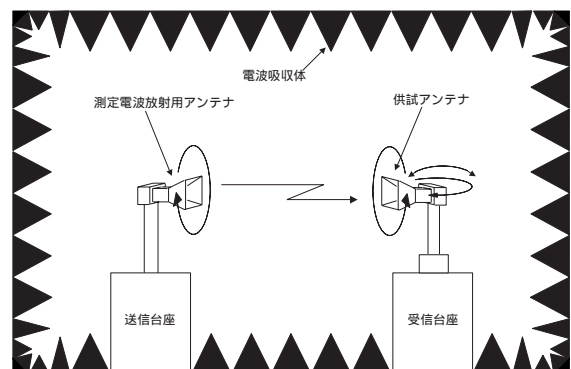


図-2 電波暗室の構造
Fig.2 Structure of anechoic chamber

アンテナ評価の際は、測定電波放射アンテナより測定用の電波を放射し、他方の台座上に設置した供試アンテナの受信電圧を、予め同条件で計測しておいた基準アンテナのそれと計測比較することで供試アンテナの性能を測定する。

3.2 広帯域化への対応

当社で取り扱うアンテナはAM/FMラジオ用から衝突防止用ミリ波レーダーまで非常に広い周波数帯に渡っている。(図-3)

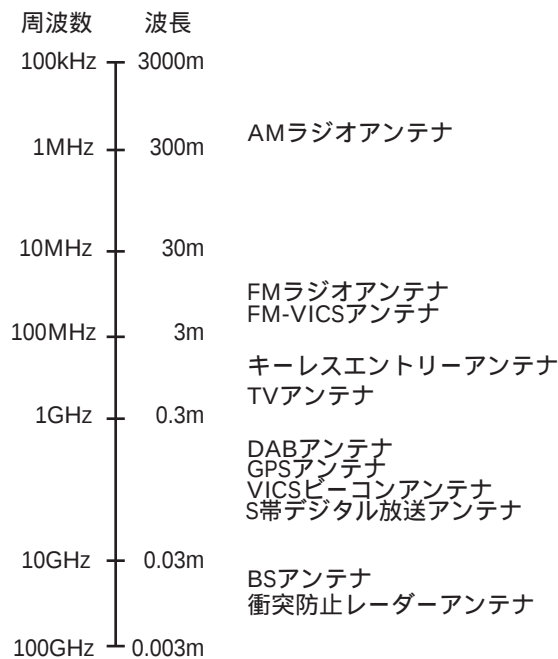


図-3 当社主要アンテナ群
Fig.3 Fujitsu Ten's main antenna line

本電波暗室では、波長が長く電波暗室の実現が難しいAMラジオ放送の周波数帯を除き、これら全てのアンテナ群に対応できる電波暗室の構築を目指した。

1) アンテナ間距離の決定

使用する最低周波数においてアンテナから放射される電界成分のうち、準静電界成分および誘導電界成分（その大きさはそれぞれ送受信アンテナ間距離の3乗および2乗に反比例する）が、放射電界成分（その大きさは送受信アンテナ間距離に反比例する）より十分小さくなるよう送受信アンテナ間距離を確保することが必要である。

本電波暗室では最低周波数76MHzにおいて準静電界成分と誘導電界成分が、放射電界比 - 20dBとなる様に送受信アンテナ間距離を8mと定めた。

また、上述の送受信アンテナ間距離決定に際し、アンテナ間の距離と、供試アンテナの開口面積や試験電波の波長などとの関係により、送信アンテナから放射された

試験電波の等位相面の平坦度や振幅の平坦度など、アンテナ利得や指向性に影響を及ぼす要因についても十分に検討を行なった。

2) 電波暗室の容量設計

電波暗室の容量は前述のアンテナ間距離と必要なクワイエットゾーンのサイズにより決定される。

クワイエットゾーンとは反射波（注1）を極力抑えた電界変動の少ない領域であり、この領域内にアンテナを設置する。(図-4)

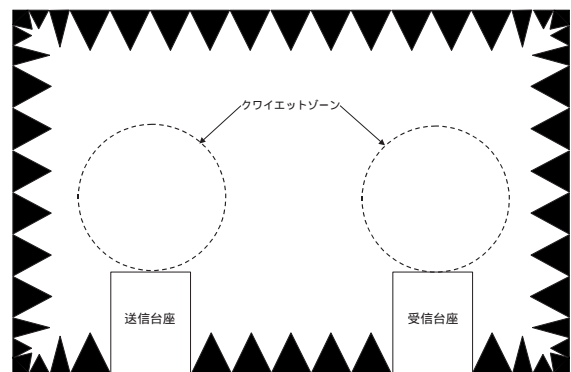


図-4 クワイエットゾーン
Fig.4 Quiet zone

必要なクワイエットゾーンのサイズは、使用するアンテナが指向性測定等でポジションにより回転しても、その領域内に収まるサイズにて設定し、これにアンテナ間必要距離を加えて、暗室サイズを13m × 7m × 7m（暗室内有効寸法）と決定した。

一方、計測システム設計の観点では8mもの送受信距離は、ミリ波帯における自由空間損失が大きくなることが予想され、この対策としてアンテナ直下にダウンコンバータを配置することで損失を最小限に抑え、ダイナミックレンジの劣化を防止した。その際、暗室内へ配置した機器類は完全に電波吸収体で覆い、不要反射が発生しないようにした。

（注1）電波暗室内壁などからの反射および反射波はその電波が平面波でない等の理由により、通常「散乱」および「散乱波」と呼ぶが、本論文では便宜上「反射」および「反射波」と記述する。

3) 電波吸収体

ピラミッド型電波吸収体は原理的に高い周波数になるに従い吸収能力が高くなる。従って、電波吸収体の設定では使用する最低周波数（76MHz）における吸収性能を考慮し、高さ1.5mの大型の電波吸収体を採用することにより、広い周波数帯域に対応可能とした。

また、電波吸収体には加水分解による強度劣化の少ないエーテル系ウレタン材のものを採用した。

3.3 測定精度の向上

電波暗室でのアンテナ測定の際の誤差発生要因としては以下のものがある。

電波暗室内壁などからの反射による誤差

測定システムの測定精度に起因する誤差

放射電波の準静電界成分、および誘導電界成分による誤差

利得測定の基準として使用する標準アンテナの利得精度による誤差

アンテナの設置位置、測定のための動作（注2）等に起因する誤差

（注2）指向性測定において、送信アンテナとの相対位置が変化することなど。

その何れもが測定周波数・使用アンテナ等の条件により変化するため、アンテナ利得測定においてはその都度誤差を把握しておくべきである。

本項では電波暗室の構築に際して重要な項目である、
、について述べる。

1) 反射波による誤差

アンテナ測定に理想的な電波環境は、供試アンテナに到来する試験電波が送信アンテナから安定して放射された直接波のみの環境である。

電波暗室はそれを可能な限り実現した空間であるが、実際には送信アンテナから放射されて直接受信アンテナに到達する直接波の他、壁面等で反射をして受信アンテナに到達する反射波が存在しており、その反射波が供試アンテナ（受信アンテナ）位置において受信直接波と合成されることにより直接波のみ受信時の受信電圧と差が発生し、これが測定誤差となり測定精度に悪影響を及ぼす。

この反射波の大きさを直接波との比であらわした数値を反射波レベルと呼び、暗室の性能を判断する最も重要な特性である。

本電波暗室では、この特性を反射波レベル特性として電波暗室仕様に盛り込み、全周波数帯について構築時に評価を行なった。その結果と測定した反射波により発生する誤差を示す。（表-1）

反射波レベルの測定は空間定在波法により実施した。さらに、試験用受信アンテナとして2アンテナを設置して用いる方法を採用することで、高精度な測定を行った。空間定在波法による測定方法の概要は以下の通りである。

表-1 反射波レベル

周波数	反射波レベル		反射波により発生する最大値誤差
	目標値	実測値	
76MHz	-20dB以下	-21dB	0.82dB
200MHz	-20dB以下	-30dB	0.28dB
500MHz	-20dB以下	-31dB	0.25dB
1GHz	-30dB以下	-33dB	0.20dB
3GHz	-35dB以下	-37dB	0.13dB
10GHz	-40dB以下	-45dB	0.05dB
30GHz	-40dB以下	-49dB	0.04dB
100GHz	-40dB以下	-43dB	0.07dB

誤差 = $20 \times \log (1 \pm 10^{A/20})$ A: 反射波レベル

送受信ポジションナそれぞれに試験アンテナを設置し、受信側アンテナを送信アンテナ方向より角度をオフセットさせ、クワイエットゾーン内で移動させて受信レベルの変動を測定する。（図-5）

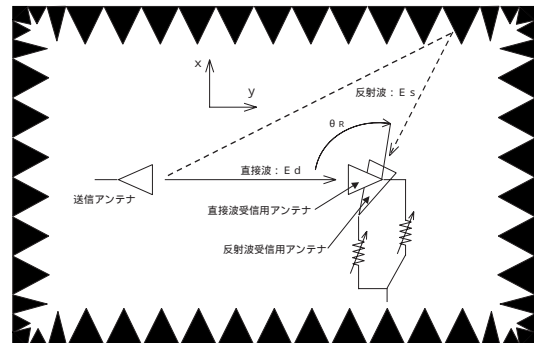


図-5 2アンテナによる反射波レベル測定法

Fig.5 Measurement of reflected wave level with two antennas

壁面等からの反射波がある場合は空間に定在波が発生し、受信レベルはアンテナの移動に応じて極大と極小を繰り返す。極大値の包絡線と極小値の包絡線の差Lより反射波レベルは下記の通り求めることができる。（図-6）

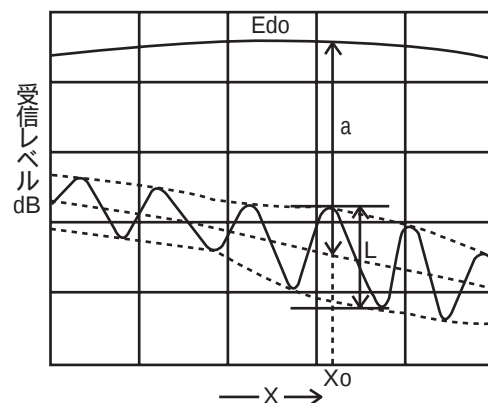


図-6 反射波レベル測定例

Fig.6 Example of reflected wave level measurement

$$Es/Ed[dB]=20 \cdot \text{Log}((10^{L/20}-1)/(10^{L/20}+1))-a [dB]$$

Es/Ed：反射波レベル

a：オフピーク量（受信アンテナを送信アンテナに向けたときの直接波の受信レベルと上記極大値と極小値の平均値との差）

以上の方策により、FM放送周波数からミリ波までの非常に幅広い周波数にわたり良好な特性をもった電波暗室の構築ができた。

電波暗室の仕様を（表-2）に示す。

表-2 電波暗室 設備仕様

仕様項目	仕様詳細
形式	シールドパネル工法電波無響室
用途	アンテナ評価用
構造寸法	室内寸法 16m(L) × 10m(W) × 10m(H) 有効寸法 13m(L) × 7m(W) × 7m(H)
電気特性	- 反射波レベル(クワイエットゾーン内) 76MHz ~ 1GHz 20dB以下 1GHz ~ 10GHz 30dB以下 10GHz ~ 100GHz 40dB以下 - 電界振幅変動レベル(クワイエットゾーン内) 76MHz ~ 1GHz 0.75dB以下 1GHz ~ 10GHz 0.25dB以下 10GHz ~ 100GHz 0.10dB以下
測定システム	HP8530Aマイクロ波レシーバースystem
付属装置	- 送信台座1軸ボジショナ（ポラライゼーション） - 受信台座2軸+1軸ボジショナ（アジマス/エレベーション+ポラライゼーション）
評価項目	- アンテナ利用特性 - アンテナ指向性（アジマス/エレベーション） - 交差偏波識別度
その他	- 監視カメラ - LAN回線

2) 測定システムによる誤差

本電波暗室の測定システムにはベクトルネットワークアナライザを採用した。

送信側信号源より発振された測定用電波は増幅器を経由してアンテナ手前直下に設置された分配器に入力され、アンテナへのテスト信号とベクトルネットワークアナライザに送られる基準信号に分配される。これによりベクトルネットワークアナライザは、アンテナを経由したテスト信号と基準信号の電圧比較を行ない、送信出力の変動など測定誤差要因をキャンセルさせ、測定精度を向上させている。（図-7）

また、通常よりもさらに高精度な測定が必要となった場合、あるいは供試アンテナにより暗室内へ不要反射物

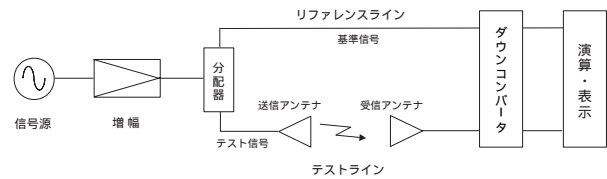


図-7 ベクトルネットワークアナライザでのアンテナ測定
Fig.7 Antenna performance measurement with vector network analyzer

である治具等の一時的な設置が避けられない場合には、ベクトルネットワークアナライザのタイムドメインゲート機能により、反射波をキャンセルする演算を行ない、更に高精度な測定を可能としている。

3. 4 評価の効率化

今回導入した電波暗室では測定精度確保の他、評価の効率化にも検討を加えた。

従来の社外評価に対し、社内設備で評価を実施することで一元的な評価データの確保が可能となり、評価の効率化を図ることが出来る。

当測定システムの特長は以下の通りである。

測定作業の大半を占める、測定システムの操作をパソコンによる一括制御とした

パソコンには当社で扱うアンテナ評価を确实・効率的に実施する為のオリジナル評価ソフトを内蔵した。

評価ソフトは簡単な対話形式により設定が可能であり、設定の要所ごとに音声案内が行なわれる。（図-8）

ボジショナの回転速度を可変させることができ、必要に応じた詳細な試験データの入手が可能である。

計測室のシールド特性を考慮して光ファイバを用いたLAN回線を引き込んでおり、測定結果をリアルタイムで神戸本社等へ転送し、データの共有化を行なえる。



図-8 自動測定設定画面
Fig.8 Automatic measurement setting screen

3. 5 電波暗室構築時の品質管理

電波暗室の性能は構築時の品質管理でほとんど決定されるため、構築時の各工程における品質管理は重要である。

当暗室の品質管理には10m法電波暗室構築時の手法を導入しており、これは品質管理を電波暗室メーカーに一任するのではなく、工事開始前に電波暗室メーカーとの間で品質管理フローを明記した要領書を取り交わし、要領書で指定された工事ステップが終了するごとに検査を行ない、仕様を満たさないと次の工事へと進めないこととした。

シールド特性、反射波レベル特性など特に重要な特性については検査を当社立ち会いにて行ない、検査合格まで次工程に進めないようにした。

また、工程毎の検査結果も報告書にまとめた上で取り交わしを行ない、品質記録が残る様にした。(図-9)

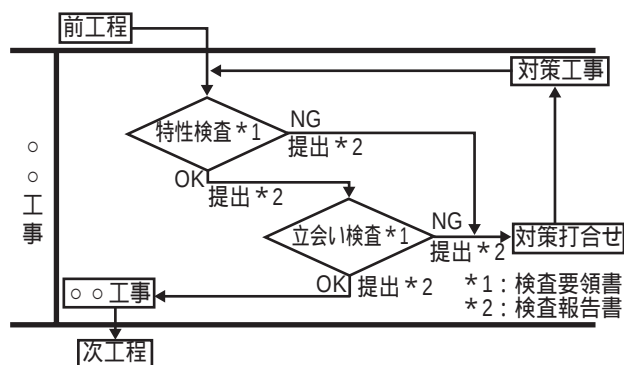


図-9 電波暗室品質管理フォロー

Fig.9 Quality control follow-up using anechoic chamber

3. 6 安全対策

暗室使用時の作業者立ち入り場所として、ウォークウェイ、台座およびその階段がある。それらは全て床面より、約1m～3.8mの高さにあり、転落防止チェーン等による安全対策を行なった。

転落防止チェーンおよびその支柱など安全対策設備の暗室内への設置は、不要な反射波が発生して測定精度を悪化させる可能性が高い。そのため、安全対策設備は測定時には電波吸収体に覆われ、反射波を発生させない位置に収納できるような方式で設置し、安全確保と測定精度の維持を両立させた。(図-10)

また、重量アンテナ等の設置作業においては荷物昇降用機器(ホイスト)を設置し、作業者の安全を確保した。これらの安全対策機器の取り扱いについては、運用ルールを定め危険のない様に万全を期した。

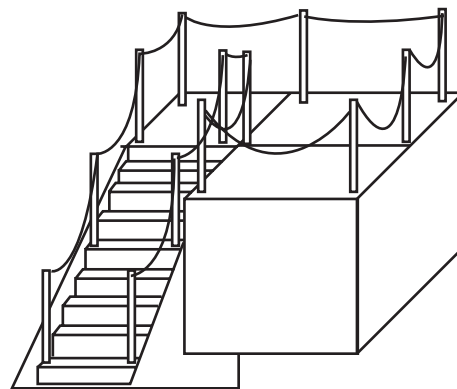


図-10 転落防止チェーン

Fig.10 Tie-down chain

4. アンテナ評価事例

本電波暗室で評価を行った2GHz帯域用パッチアンテナの指向性を示す。測定結果は所望の結果が得られていることを確認できた。(図-11)

また本例の測定では、社外委託では約5日間必要であった評価を1.5日で完了でき、当暗室の導入により評価の大幅なスピードアップが図られた。

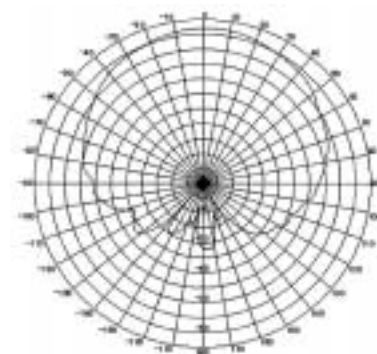


図-11 2GHz帯パッチアンテナ指向性 測定例

Fig.11 Example of measurement of 2-GHz band patch antenna directivity

5. おわりに

今回の6面電波暗室導入は社内でも初の試みであり、構築時には多くの課題を抱えていた。

電波暗室といった視点ではEMC電波暗室に続いて2度目との解釈も出来るが、アンテナ評価とEMC評価は考えが異なっており、10m電波暗室の例をそのまま反映させることが出来ず、課題に対しては暗室メーカーとの連携

によりアンテナ評価のあるべき姿から最善の策を選択する手法を採った。

その結果、当初からの要求仕様を満たした国内有数の設備となり、これは暗室メーカーの技術と当社の蓄積してきたアンテナ評価技術が実を結んだ成果である。

今後とも、6面電波暗室を活用しながらノウハウの蓄積を図り、来たるべく21世紀へ向けた車載アンテナの新規ビジネス獲得を支援すべく、評価技術の更なる向上を目指す所存である。

<参考文献>

戸川,他 “ 電波暗室の散乱波の評価 ” (EMCJ90-44,PP.9 ~ 14)

電子情報通信学会編「アンテナ工学ハンドブック」

オーム社

新井宏之著「新アンテナ工学」総合電子出版社

筆者紹介



荻野 和滋(おぎの かずしげ)

「1989年入社。以来アンテナ及び関連機器の開発に従事。現在、AVC)要素技術部ADプロジェクト在籍」



板津 恵造(いたづ けいぞう)

1992年入社。カーオーディオの回路設計を経て、ライン純正オーディオ製品の営業支援業務に従事。現在、中津川テクノセンターEMC技術課在籍。



稲村 重昭(いなむら しげあき)

「1982年入社。以来アンテナ及び関連機器の開発に従事。現在、AVC)品質管理部 品質企画課長」



田中 国次(たなか くにづく)

1963年入社。以来放送中継器、移動無線の開発に従事。1996年6月より中津川テクノセンター設立を準備。現在中津川テクノセンター次長。