

マイクロ波帯アンテナの各種特性測定技術と 標準供給に関する調査研究

余元峰*

(平成 27 年 4 月 24 日受理)

Survey on the measurement methods and standards for antennas in the microwave bands

Yuanfeng SHE

Abstract

This report surveys both of the latest and the conventional measurement methods of the antenna characteristics and their standards, such as the reflection, the gain, the radiation pattern and the polarization as well as the electric field strength in the microwave bands. The conventional measurement methods have been developed in higher frequency bands. On the other hand, the new technologies have been applied in the measurements and the standards to meet the increasing demand in the high speed and high accuracy communication in the microwave bands.

1. はじめに

日本の電波法では 3 THz 以下の電磁波と定義されている。図 1 に示しているように、学術中心の IEEE 学会 (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) と産業中心の国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) の周波数毎の定義は少し異なっている。マイクロ波 (Microwave) は明確な定義されている用語ではなく、より狭い範囲やより広い範囲に対して用いられることもある (一般的には波長 1 m から 100 μ m, 周波数 300 MHz から 3 THz の電波)。ITU は波長毎にそれぞれ, UHF (Ultra High Frequency) (300-3000 MHz); SHF (Super High Frequency) (3-30 GHz); EHF (Extra High Frequency) (30-300 GHz); THF (Tremendously High Frequency) (300-3000 GHz), と定義している¹⁾。日本の総務省は ITU の定義をそのまま用いている²⁾。ここで、SHF の波長は 1 cm-10 cm のため、センチメートル波

およびセンチ波と呼ばれていたこともある³⁾。本報告書では、UHF, SHF, EHF, THF すべて範囲の電波を「マイクロ波」として用いることとする。

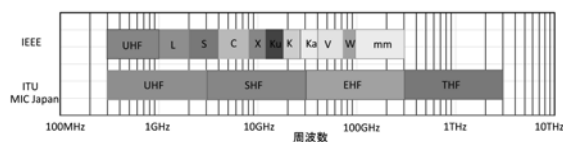


図 1 300 MHz ~ 3 THz 電波の周波数割当

UHF の波長は、10 cm - 1 m で、波長 1 m - 10 m の超短波に比べて直進性が更に強くなるが、多少の山や建物の陰には回り込んで伝わることもできる。伝送できる情報量が多く、小型のアンテナと送受信設備を用いて通信に用いることができることから、携帯電話や業務用無線を初めとした多種多様な移動通信システムを中心に、地上波デジタルTV、空港監視レーダー、電子タグ、電子レンジ等幅広く利用されている。

SHF の波長は、1 cm - 10 cm で、直進性が強い性質

* 物理計測標準研究部門 電磁界標準研究グループ

を持つため、特定の方向に向けて放射するのに適している。伝送できる情報量が非常に多いことから、主に放送の送信所間を結ぶ固定の中継回線、衛星通信、衛星放送や無線 LAN に利用されている。その他、レーダーも SHF の直進性を活用した利用システムのひとつで、気象レーダーや船舶用レーダー等に利用されている。

EHF の波長は、 $1\text{ mm} \sim 10\text{ mm}$ で、マイクロ波と同様に強い直進性があり、非常に多い情報量を伝送することができるが、雨や霧による影響を強く受けて減衰し、あまり遠くへ伝わることができない。このため、比較的短距離の無線アクセス通信や画像伝送システム、簡易無線、自動車衝突防止レーダー等に利用されている他、電波望遠鏡による天文観測が行われている。

サブミリ波の波長は、 $0.1\text{ mm} \sim 1\text{ mm}$ で、光に近い性質を持った電波である。これから様々な新しい応用開発が期待されている。

本報告では、マイクロ波帯アンテナの各種特性測定技術と標準供給に関する調査研究結果を報告する。第 2 章では、マイクロ波技術の社会ニーズ動向と我が国における標準整備状況について述べる。第 3 章では、アンテナ標準の校正量の定義を説明し、アンテナの放射特性の各種測定方法を比較しながら、その原理や測定方法の利点と欠点を述べる。第 4 章では、高周波電界標準の測定方法について概説し、海外の標準研究所の電界標準整備状況、NMIJ が実施する電界標準測定方法、光電界センサを用いた電界標準測定方法について述べる。第 5 章では、海外の標準研究所の最新の研究開発動向の調査結果を述べる。最後に第 6 章で、本報告の結論を述べる。

2. マイクロ波技術の社会ニーズ動向と日本における標準整備

UHF は、ラジオ、テレビ放送、RF-ID (radio frequency identifier) などに利用され、ギガヘルツ帯 (周波数は 1 GHz 以上) は衛星放送、GPS (全地球測位システム: Global Positioning System)、電子レンジ、携帯電話、レーダーなど、様々な分野で実用化が進んでいる。さらに高い周波数帯のミリ波からテラヘルツ波 (周波数 1 THz 以上) の電磁波は大容量・長距離の伝送を可能とする技術や無線装置の小型化・低価格化等、利用促進に向けた技術の研究開発が行われている。より高い周波数を用いた大容量無線通信実現のためにはアンテナ利得、放射パターン、偏波特性等の標準供給が必要である。

ここ数十年間にわたって、移動体通信は世界の経済と社会の発展に大きく寄与しており、今日では世界中の多くの

人々にとって既に日常生活に必要なものとなっている。また、将来の情報化社会においては、あらゆる人とモノが無線でインターネットに繋がり、移動通信がライフラインとしてより必要不可欠なものになっていくことが予想される。

特に総務省では、2020 年までに通信量が現在の 200 倍以上になると予測し、電波利用の需要拡大などを目的として、平成 17 年より「電波資源拡大のための研究開発」事業を推進しており、平成 27 年度には年間 70 億円以上を投じて研究開発を支援している⁴⁾。2020 年開催予定の東京オリンピックに向けて、高精細画像の無線伝送等大容量無線通信のニーズが高まっていることもあり、ミリ波、テラヘルツ波を利用する無線通信システム開発等の研究開発、第 5 世代携帯電話通信 (5G) サービス開始に向けた研究開発が活発に行われており、80 GHz 程度までの周波数の利用が検討されている⁵⁾。5G サービスでは、現在サービスが実施されている第 4 世代携帯電話通信 (4G) サービスである LTE (Long term evolution)、LTE Advanced サービスと異なる通信方式として、携帯電話基地局と携帯端末間の通信方式に MIMO (Multiple Input Multiple Output) 方式の採用などにより、NTT ドコモでは、これまでの 1000 倍の大容量化、同時接続端末数 100 倍を目指す⁵⁾ とともに、各種標準化活動も実施している^{6)・7)}。

一方、インターネットやパーソナルコンピュータ、携帯電話などの普及に伴って、電波を放射する機器が氾濫している。このため、電子機器を開発する際、常に検討しなくてはならない問題に EMC (Electro-Magnetic Compatibility, 電磁環境両立性) 問題がある⁸⁾。EMC 問題は、妨害電磁波問題 (EMI: Electromagnetic Interference) と電磁耐性問題 (EMS: Electromagnetic Susceptibility) の二つに分けられる。電子機器からは、意図するかしないかに関わらず一定量の電磁波が放射されており、電子から放射された電磁波が空中を伝搬して、他の電子機器に印加された場合、電子機器が誤作動する原因となり得る。実際に、図書館の防犯ゲートシステムが心臓ペースメーカーに誤作動を与える現象などが報告されており、携帯電話や RF-ID が心臓ペースメーカーに与える影響について詳細な検討が行われている⁹⁾。このように電磁波を発する電子機器が無数に存在する状況下において、電子機器同士が適切に動作することを EMC と呼び、機器メーカーが日々対応を行っている。日常生活にますます多くの電子機器が入り込み、電波 (による無線通信) の利用機会も拡大しており、電磁環境下での人体の防護指針が示されている。また、半導体チップは小型化、微細化、小電力化が進み、チップそのものの電磁耐性は低下している。家電や、車を輸入する際にも、電磁波干渉の安全性を証明するために、EMC テストが必要である。こ

うした背景から、不要放射の抑制という観点からも耐性という観点からも EMC への関心は高まっている。

米国、欧州、アジア、オーストラリアなどの多くの地域で CISPR (シスプル) (国際無線障害特別委員会: Comité international Spécial des Perturbations Radioélectriques: International Special Committee on Radio Interference) 規格が参照され、国内規格として採用されている。EMC 規制で測定法が標準化されている周波数は現在のところ 18 GHz までであるが、今後の電子機器の利用周波数の高周波化や、無線機器における三倍またはそれ以上の次数の高調波計測の義務化によって、将来的にはミリ波やサブミリ波を含むすべての周波数 (数十 Hz - 3 THz まで) において、何らかの規制が求められるようになるのは避けられない状況である。

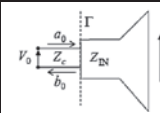
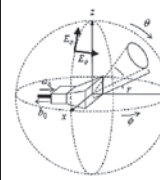
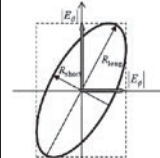
計量標準総合センター (NMIJ: National Metrology Institute of Japan) が現在供給しているアンテナ標準校正は、主にアンテナ利得、アンテナ係数、電界磁界強度である。アンテナは、伝送線路中の電磁エネルギーを空間中の電磁エネルギーに変換するデバイス、もしくは空間中の電磁エネルギーを伝送線路中の電磁エネルギーに変換するデバイスとして定義される。用途・周波数によって様々な形状のアンテナが存在するが、現在、物理計測標準研究部門電磁界標準研究グループで標準供給を行っているアンテナはループアンテナ、ダイポールアンテナ、EMI 測定用広帯域アンテナ、ホーンアンテナである。それぞれのアンテナは対応する周波数が異なっており、ループアンテナは 20 Hz - 30 MHz、ダイポールアンテナは 30 MHz - 2 GHz、ログペリオディックアンテナは 300 MHz - 1 GHz、バイコニカルアンテナは 30 MHz - 300 MHz、ホーンアンテナは 1 GHz - 110 GHz の周波数範囲での標準供給を実施している。

3. アンテナ標準における測定方法

3.1 アンテナ標準における校正量

アンテナ標準における校正量を表 1 でまとめて示す。

表 1 校正量の定義

校正量	模式図	定義
反射係数 Γ		$\Gamma = \frac{b_0}{a_0}$
利得 G		$G(\theta, \phi) = \frac{U_{\text{rad}}(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{in}}}{4\pi}}$
偏波分離度 ρ と軸比 AR		$\rho(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}(r, \theta, \phi)}{E_{\phi}(r, \theta, \phi)}$ $AR = \frac{R_{\text{long}}}{R_{\text{short}}}$

3.1.1 反射係数

アンテナの反射係数 Γ は、伝送線路とアンテナの接続面における入射電圧 a_0 と反射電圧 b_0 の比で表される。伝送線路の特性インピーダンスを Z_c 、アンテナの入力インピーダンスを Z_{IN} とすると、反射係数は $\Gamma = \frac{Z_{\text{IN}} - Z_c}{Z_{\text{IN}} + Z_c}$ の形式で書くことができ、 $Z_c = Z_{\text{IN}}$ のとき、反射係数は 0 となる^{10), 11)}。

3.1.2 アンテナ利得とパターン

アンテナ利得 G は、アンテナへの入力電力 P_{in} が等方的に放射された時 (無指向性) の放射強度 $P_{\text{in}} / 4\pi$ を基準として、実際の放射パターンで放射される特定方向における放射強度 U_{rad} の比として定義される。

$$G(\theta, \phi) = \frac{U_{\text{rad}}(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{in}}}{4\pi}} = \frac{4\pi Z_c [|E_{\theta}(r, \theta, \phi)|^2 + |E_{\phi}(r, \theta, \phi)|^2]}{\eta_0 (1 - |\Gamma|^2) |a_0|^2} r^2$$

E_{θ} および E_{ϕ} は遠方における電界の θ 方向成分および ϕ 方向成分、 r はアンテナからの距離、 η_0 は自由空間中の波動インピーダンスを表している。(表 1 模式図参照)。

アンテナから放射される電界は空間的な分布を持つ。このうち、電界の振幅あるいは電力密度の空間的な分布を放射パターンという、 360° の利得振幅分布である。

まだ電界の位相および偏波の空間的な分布を位相パターンおよび偏波パターンという。直線偏波アンテナの電界の360°方向2次元面をE面(E plane), その直交方法の360°方向2次元面をH面(H plane)という。

表2は例として、各アンテナの放射パターンを表示している。アンテナ放射パターンの測定はアンテナ放射特性評価に必要であり、高信頼化のために、アンテナパターン校正の必要がある。

表2 一般的なアンテナの種類と放射パターン特性

種類	ダイポール アレー	パラボラ	ホーン
写真			
放射 パター ン			
周波数	700 MHz ~2.0 GHz	1~150 GHz	1 GHz 以上
特徴	アンテナが 長細い形	狭いビーム, 一点に集中	構造簡易
応用例	無線基地局 船の通信レ ーダー	衛星通信	利得校正

3.1.3 偏波分離度 (polarization) と軸比 (Axial Ratio)

特定方向 (θ, ϕ) に放射される電界を考えた場合、 E_θ および E_ϕ の位相は必ずしも一致しないため、 E_θ と E_ϕ の合成電界を時間の関数として表すと、楕円軌道を描く。

このとき偏波分離度 ρ の定義は $\rho(\theta, \phi) = \frac{E_\theta(r, \theta, \phi)}{E_\phi(r, \theta, \phi)}$

また、位相差 $\text{Arg}(\rho) = n\pi$ ($n=0,1,2,3,\dots$) のとき直線偏波、 $\text{Arg}(\rho) = \pm(1/2+n)\pi$ ($n=0,1,2,3,\dots$) のとき円偏波となる。また楕円偏波の長軸と短軸の比を軸比 AR (Axial Ratio) と呼ぶ。軸比は1から ∞ までの値をとり、直線偏波のとき $\text{AR} = \infty$ 、円偏波の時 $\text{AR} = 1$ となる。

3.2 絶対校正と比較校正

三アンテナ法：三アンテナ法は特性が未知である3個のアンテナを用いて、3本の連立方程式を解くことによって、それぞれのアンテナ特性を測定する。各国の計量標準研究機関で多く用いられている¹²⁾。

置換法：利得が未知である被測定アンテナ (AUT: Antenna Under Test) の受信電力に対する、利得が既知である利得標準アンテナ (gain-standard antenna) の受信電力と比から、AUT の利得を求める利得測定法。1.5 GHz よりも低い周波数では標準ダイポールアンテナが利用され、1.5 GHz よりも高い周波数では標準ホーンアンテナが使用される。

3.3 遠方界測定 (Far field method)

アンテナの放射特性の測定は、理想的には、送信アンテナから照射された電磁波が被測定アンテナ (AUT) に平面波として入射することが望ましい¹³⁾。このため、遠方界条件を満たすように送信アンテナおよび AUT を離す必要がある。具体的には、送信アンテナおよび AUT の最大径を D とするとき、2つのアンテナ間の距離 R を

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda_0}$$

を満足するように選ぶ。ただし、 λ_0 は自由空間における波長である。寸法が大きい大規模アンテナの放射特性測定に対しては、必要な距離が大きくなるので、屋外で測定を行う必要がある。この場合、周囲からの反射波および散乱波の影響を避けるために、高い建物の上にアンテナを設置して測定する方法、送受信アンテナ間に谷を設計する方法などの送信アンテナおよび AUT の配置方法が考案されている。アレーアンテナなどの大規模アンテナに対しては、壁からの反射を抑圧できる電波暗室内に反射鏡を設置し、送信アンテナから反射鏡に電磁波を照射し、反射鏡より平面波を近距離で再現する compact range が実用化されている。これに対して、小型アンテナおよび中規模アンテナの放射特性の測定は、電波暗室内で実施される。しかしながら、ミリ波帯では安定な高出力信号を得ることが難しく、距離を離すと信号レベルが減少するため計測が困難になると同時に、遠方界条件をみたすためには十分な距離が必要であるため、ミリ波帯のアンテナ校正において遠方界法を用いることは現実的には困難である¹⁴⁾。

3.4 近傍界測定 (近傍界-遠方界変換測定)

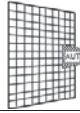
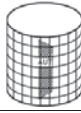
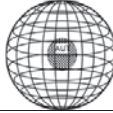
遠方界測定は直接的にアンテナの特性を測定できるが、大きい実験場が必要で、設備のセットアップも困難である。また屋外測定の場合は、周囲地面環境や天候の影響は大きい。それに対して、電波暗室で行う近傍界測定では、近傍界で測定した結果から遠方界での測定結果を計算で算出するため、測定に必要なスペースが小さく、

周囲の影響も小さい。本節では外挿法と近傍界走査法を例として説明する。

外挿法 (Extrapolation method) : アンテナ間の距離を変化させながらアンテナ間伝送特性を計測し、無限遠における特性を外挿によって算出する。最も精度が高いが、正面方向利得しか推定できず、放射パターンの推定はできない。

近傍界走査法 (Near-field method) : 被測定アンテナから一定距離離れた曲面に沿って受信アンテナを2次的に走査させ、そのときのアンテナ間の伝送特性を、フーリエ変換やその他の変換をすることによりアンテナパターンを算出する。表3で各走査方法を比較した。精度の高いパターン計測を実現するためには、近傍界測定が有効である¹⁵⁾。

表3 近傍界走査測定方法¹⁶⁾

測定方法	平面走査法	円筒面走査法	球面走査法
プローブ走査方法			
高利得	◎	◎	◎
低利得	△	○	◎
固定	◎	△	△
測定速度	◎	○	△
Alignment	◎	○	△
データ処理	◎	○	△
コスト	○	◎	△
適用例	平面アンテナ、ホーンアンテナ	基地局アンテナ、レダー、ホーン	不規則パターンアンテナ、無指向性アンテナ、微小アンテナ

3.5 アンテナ標準供給

ホーンアンテナは構造が簡単で、標準アンテナとして一番良く使われている。ホーンアンテナのパターンに対して、平面走査法または円筒面走査法が一番良く適用される。

表4にアメリカ国立標準技術研究所 (NIST: National Institute of Standards and Technology) の CMC (Calibration and Measurement Capability) リストを示す¹⁷⁾。NISTはアンテナ校正の整備が最も進んでおり、放射パターン、偏波分離度校正については唯一 NIST が CMC リストに掲載している。日本国内では標準ホーンアンテナの標準整備が急務であり、110 GHz までの利得校正の整備が完了しているが、パターンの標準は国内

では、ほぼ未整備の状況にあり、アンテナパターン校正サービスを早急に提供することが必要である。図2に NMIJ におけるミリ波アンテナ利得校正システムを示す。図3は当該システムによる小型アンテナの 60 GHz の放射パターンの測定結果である¹⁸⁾。

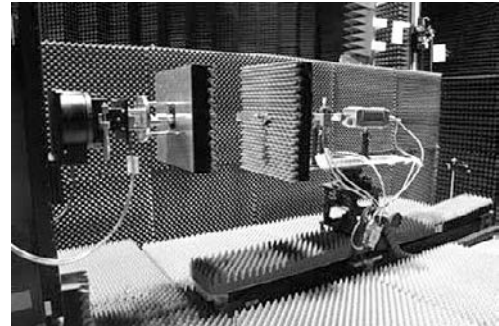


図2 NMIJ のミリ波測定システム (外挿法)

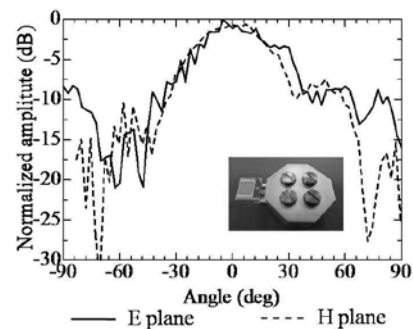


図3 小型 60 GHz アンテナの放射パターン測定例 (産総研 - 東工大の共同研究)

表4 NIST のアンテナ標準整備状況 (CMC リストによる)

Freq. 周波数	Method 測定方法	Parameter パラメータ	Uncertainty 不確かさ
2-30 GHz	Extrapolation	Gain (0-35 dB)	0.07 dB
30-75 GHz	Extrapolation	Gain (0-35 dB)	0.1 dB
2-75 GHz	Near-field	Gain (20-60 dB)	0.13 dB
2-75 GHz	Far-field	Pattern (-60-0 dB)	0.03 dB
2-75 GHz	Near-field	Polarization (-60-0 dB)	0.07 dB
2-75 GHz	Extrapolation	Polarization (-60-0 dB)	0.03 dB

4. 高周波電界標準

表5 1 GHz における電界標準測定設備と整備状況 (2014 年 10 月現在)

Country 国	Method 測定法	Frequency 周波数帯	Field 電界強度	Uncertainty 不確かさ
UK (NPL)	TEM cell Anechoic Chamber	50 k - 2.44 GHz 0.25 - 40 GHz 43.5 - 45.5 GHz	0.05 - 1000 V/m 0.05 - 600 V/m 15 - 140 V/m	0.68-0.80 dB 0.35 - 0.65 dB 0.35 dB
USA (NIST)	Anechoic Chamber	450 M - 40 GHz	1 - 200 V/m	1 dB
Czech (CMI)	TEM, Anechoic Chamber	50 k - 18 GHz	0.01 - 200 V/m	0.4 - 1dB
Korea (KRISS)	Anechoic Chamber	0.2-1.1 GHz 0.4 -18 GHz	1 - 60 V/m 1 - 30 V/m	1 dB 1 dB
Switzerland (METAS)	GTEM, Anechoic Chamber	50 k - 18 GHz	0.1 - 60 V/m	1.1-2.0 dB
Sweden (SP)	Micro TEM Horn Antenna	50 M - 1 GHz 1.14-2, 2-8, 8-12.5 GHz 12.5-18 GHz	1 - 65 V/m 1 - 200 V/m 1 - 200 V/m	1.0 dB 0.9 dB 1.0 dB
Netherlands (VSL)	GTEM TEM	0.6 - 3 GHz 1 M - 1.3 GHz	1 - 30 V/m 1 - 100 V/m	0.05-0.10 dB 0.02-0.03 dB
China (NIM)	GTEM μTEM	10 M-1 GHz 10 M-1 GHz	10 - 60 V/m 10 - 60 V/m	1.1 dB 0.35 dB
Germany (PTB)	TEM	10 k-1 GHz	1 - 200 V/m	5-12 %
Italy (INRIM)	G-TEM	200 M-1 GHz	10 - 50 V/m	0.2 dB
Russia (VNIIFTRI)	E-field generator	300 M to 1 GHz	1 - 20 V/m	0.04-0.06 dB

4.1 EMC 分野における高周波電界標準の必要性

EMI 試験は電子機器が発する電磁波が一定レベル以上の電磁妨害波を放射していないかを確認する試験である。一方、EMS 試験は電磁波による、電子機器の自身の動作が阻害されない電磁感受性を確認する試験である。EMI 試験では正しい電界強度を測定するために、受信アンテナのアンテナ係数は校正されなくてはならない。また、EMS 試験では規定レベルの電界強度が照射されているかを確認するために、試験の前に、電界強度の測定が必要であり、校正された電界センサーが必要である。

4.2 高周波電界標準の校正量と校正設備概要

4.2.1 アンテナ係数

アンテナ係数 AF は、アンテナに入射する電界強度 E の平面電磁波と、アンテナ端子の出力電圧 V_0 の比である¹⁹⁾。

$$AF = \frac{E}{V_0}$$

また、アンテナ利得 G が一定の場合、アンテナ係数は波長 λ に反比例する。 μ_0 は真空の透磁率である。

$$AF = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{4\pi\mu_0}{Z_c G}}$$

4.2.2 電界強度

電界強度 E は、アンテナとセンサーの距離 r において、利得 G_t の送信アンテナを使って、アンテナへの送信電力 P_t を測定し、次式から計算できる。

$$E = \frac{1}{r} \sqrt{30P_t G_t}$$

4.2.3 電界標準測定設備と整備状況

表5に2014年10月現在の1GHzにおける電界測定校正の能力を国際度量衡局(BIPM)のKCDB(The BIPM key comparison database)で登録されているCMCリストから抜粋する。11ヶ国が既に整備済みであり、全世界的にニーズが高い。

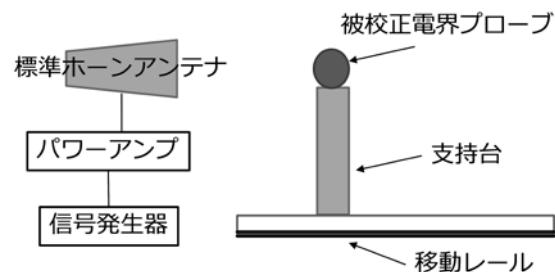


図4 電波暗室に設置された測定系の外観図

図4はNMIJの電波暗室に設置された測定系の外観図である。2.45 GHzの電界強度標準を開発し、2015年度4月から供給開始となった。2.45 GHz以上の周波数帯に関しては、今後の開発課題である。

4.2.4 電界センサーを使った電界強度の測定例

図5はNMIJで開発された光電界センサー(LiNbO₃光学結晶を用いて作成された電界センサー)を用いた電界計測システムである。光電界センサーは一般的な電界

センサーより電界分布の影響は少なくなり、低周波では導波管プローブが不要となり、光電界センサーの放射パターンは微小ダイポールと同じであるため、導波管プローブで必要な放射パターン補正（プローブ校正）が不要になる点に特徴がある²⁰⁾。



図 5.a 極近傍で測定する様子の写真

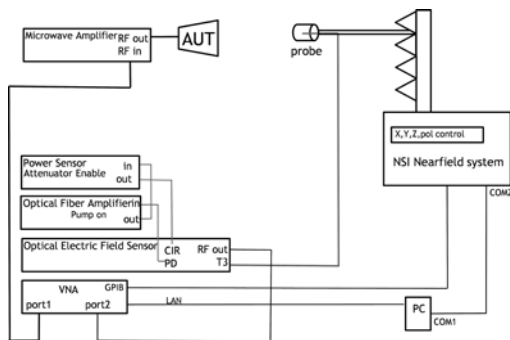


図 5.b 電界強度測定システムの回路図

図 5 NMIJ の光電界センサーを用いた電界校正システム

図 6 はダブルリジットホーンアンテナの距離 10 cm における周波数 2.5 GHz の電界分布の測定結果である。図上段はアンテナを床面に対して垂直に設置した場合、下段は水平に設置した場合の測定結果である。アンテナ近傍の電界分布は配置に影響されないことが確認できた。

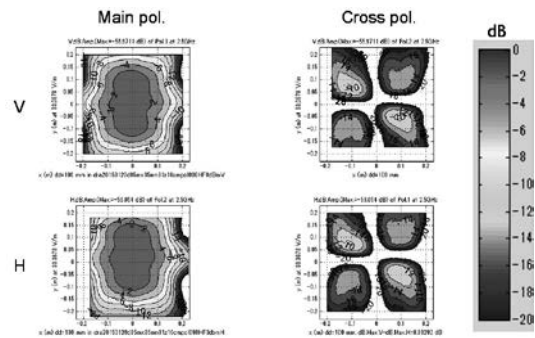


図 6 距離 10 cm, 周波数 2.5 GHz の電界分布 (産総研-JEITA の共同研究)

5. 海外の標準研究所の最新測定設備

海外の標準研究所の整備状況を概観し、最新測定設備を調査するため、2014 年 10 月にアメリカ合衆国のボルダーにある NIST、2015 年 3 月に韓国の大田市にある韓国標準科学研究院 (KRISS) を訪問して施設を見学した。

5.1 ロボットを用いた 6DOF (degree of freedom) 測定システム



図 7 NIST の 6DOF ロボット CROMMA

NIST は 2014 年に国際学会 AMTA2014 (Antenna Measurement Techniques Association) で、6 自由度 (DOF) のロボットを使って、高精度で、トレーサビリティが確保された測定システムを発表した²¹⁾。NIST 訪問により、実物の CROMMA (Configurable Robotic

Millimeter-Wave Antenna) を見学した。図 7 に示すように、このシステムは、数 m^3 範囲内で x, y, z 方向の RMS 誤差が $25 \mu m$ 以下、roll, pitch, yaw は 0.01 度の精度が実現できる。NIST はこのシステムを近傍界測定法に用い、標準ホーンアンテナと導波管プローブのプローブ校正を実施する予定である²²⁾。また、プローブ校正に限らず、様々な校正が可能であり、自由度の高い測定システムである。

5.2 KRIS のミリ波測定システム

2015 年 3 月に韓国 KRIS を訪問し、アンテナ校正設備の見学を実施した。

KRIS では、周波数によって、18 GHz までのマイクロ波暗室、2 GHz -110 GHz の周波数帯のアンテナ校正専用の電波暗室で、ミリ波帯高周波校正システムを用いて、周波数帯域を 4 つに分けて校正を実施している^{23), 24)}。

2 GHz -110 GHz の周波数帯のアンテナ校正を、専用の電波暗室 (10 m × 7 m × 6 m) で実施しており、利得校正のための外挿法測定だけでなく、放射パターン校正のための平面走査近傍界測定、円筒面走査近傍界測定、球面走査近傍界測定のすべてを、1 つのシステムで実施できる点に特徴がある。18 GHz までのマイクロ波暗室は自動開閉レールを用いて、測定中にアンテナの位置に追従して、アンテナが移動しても常に吸収体がレールを覆うことができ、レールの影響を最低限に抑えることができる。図 8 に示した KRIS のミリ波外挿法アンテナ校正システムは Linear motor を使って、バックラッシュの影響をなくし、より安定性の高いシステムを実現している。

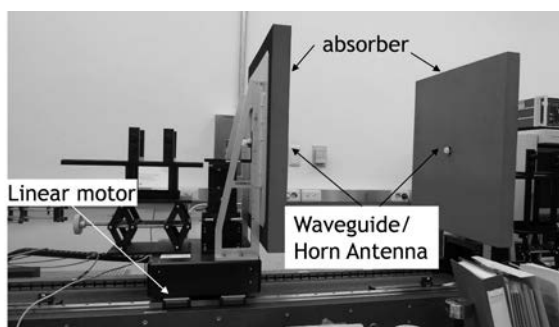


図 8 KRIS のミリ波外挿法校正システム (W-band)

6. まとめ

本報告では、マイクロ波帯アンテナ標準に関する調査

研究と題して、アンテナ標準・高周波電界標準の校正量の定義、アンテナ校正手法の原理ならびに海外の標準研におけるアンテナ校正の整備状況を紹介した。日本でも世界に比肩するマイクロ波帯電磁波計測の基盤をいち早く確立することにより、国内におけるマイクロ波帯電磁波応用分野の産業競争力の維持・発展に貢献することが求められている。ミリ波帯で、利得校正は 110 GHz まで整備を完了しているが、放射パターンの標準は国内では、ほぼ未整備の状況にあり、アンテナパターン校正サービスを早急に提供することが必要である。また、EMC 電界強度計測のトレーサビリティの確保のために、ギガヘルツ帯の電界強度の校正サービスのさらなる周波数拡張が必要である。

謝辞

本調査研究を行うにあたり、ご指導・ご助言を頂きました電磁界標準研究グループ黒川悟グループ長、鈴木隆主任研究員、廣瀬雅信主任研究員、物理計測標準研究部門山田善郎首席研究員、ならびに電磁界標準研究グループの皆様へ深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ITU Radio Regulations Edition of 2012, p.27, 2012
- 2) 総務省：周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴、<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/>
- 3) アンテナ工学ハンドブック (第 2 版), 電子情報通信学会編, オーム社発行, 2008 年 7 月
- 4) 総務省：電波資源拡大のための研究開発の実施 <http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>
- 5) ドコモ 5G ホワイトペーパー 2020 年以降の 5G 無線アクセスにおける要求条件と技術コンセプト, 株式会社 NTT ドコモ, 2014
- 6) METIS (Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society) プロジェクト : <https://www.metis2020.com/>
- 7) NGMN (Next Generation Mobile Networks) アライアンス : <https://www.ngmn.org/>
- 8) ITU-R: Recommendation ITU-R SM.329-10

- Unwanted emissions in the spurious domain, 1-40, 2003
- 9) 総務省：電波の医用機器への影響に関する調査結果, 2005
- 10) C. A. Balanis: Antenna theory analysis and design, 3rd edition, Wiley-interscience, 2005
- 11) 鮎谷充隆：ミリ波帯アンテナ標準に関する調査研究, 産総研計量標準報告, vol. 8, no. 1, pp. 97 - 107, Aug. 2012
- 12) IEEE Standard Test Procedures for Antennas, ANIS/IEEE std 149-1979, IEEE, 1979
- 13) E. S. Gillespie: Measurement of antenna radiation characteristics on far-field range, Antenna Handbook, pp 2083-2173, 1988
- 14) A. Lehto and P. Vainikainen: Antenna measurements, Antennas for all applications, 3rd edition, McGraw-Hill, Ch24, 2001
- 15) D. Slater: Near-Field Antenna Measurements, Artech House, 1991
- 16) IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements, IEEE std 1720-2012, IEEE, 2012
- 17) CMC: <http://kcdb.bipm.org/appendixc/>
- 18) Y. She, M. Ameya, S. Kurokawa, J. Hirokawa, R. Suga, Y. Hirachi and S. Sasaki: Analysis of the Reasons of Uncertainty in 60 GHz Small Antenna Design and Measurement, iWAT2015 proceeding, pp.243-244, Mar. 2015
- 19) R. R. Bowman: Field strength above 1 GHz: Measurement procedures for standard antennas, Proc. IEEE, vol.55, no.6, pp. 981-990, June 1967
- 20) M. Hirose, S. Kurokawa and K. Komiyama: Antenna Measurements by One-Path Two-Port Calibration Using Radio-on-Fiber Extended Port Without Power Supply, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 56, no.2, pp.397-400, Apr. 2007
- 21) J. A. Gordon, D. R. Novotny, M. Francis, R. Wittmann, M. Butler and J. R. Guerrieri: The CROMMA Facility at NIST Boulder: A Unified Coordinated Metrology Space for Millimeter-Wave Antenna Characterization, AMTA2014 proceeding, pp.351-356, Oct. 2014
- 22) J. A. Gordon, D. R. Novotny, M. H. Francis, R. C. Wittmann, M. L. Butler, A. E. Curtin and J. R. Guerrieri: Millimeter-Wave Near-Field Measurements Using Coordinated Robotics, IEEE Trans. Antennas Propag., vol.63, no.12, pp. 5351 - 5362, Dec. 2015
- 23) J. Kang, N. Kang, M. Francis, and K. MacReynolds: Bi-lateral comparison of V-band antenna gain between KRISS and NIST, CPEM 2008 Digest, pp.646-647, June 2008
- 24) J. H. Kim and H. K. Choi: Antenna Radiation Pattern Measurement at a Reduced Distance, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.54, no.2, pp. 673 - 675, Apr. 2005

