

ミリ波帯送信器の開発と測定技術の検討

鶴田 誠、臼井 亮（電子技術部 電磁環境グループ）

1. はじめに

近年、ミリ波帯の電磁波を活用した研究開発が活発化してきている。ミリ波は、波長が1mmから10mmの電磁波であり、30GHzから300GHzである。波長が短くて、周波数帯域幅が広いという特徴を活かして、車載レーダー・非接触のバイタルセンサー・高速データ伝送・非破壊のイメージングなど幅広い分野の応用が期待されている。

ところで、EMC (Electro-Magnetic Compatibility: 電磁両立性)/EMI(Electro Magnetic Interference: 電磁波妨害)規制は、1960年代からテレビ・自動車の普及に伴って始まった。近年では、2010年代からミリ波帯の製品の研究開発が加速し、EMC/EMIのミリ波帯の評価が広く求められるようになってきた。

また、ミリ波帯の一般的な計測環境を整備した場合には、現時点でも、少なくとも数千万円程度の予算規模が必要となる。しかしながら、ミリ波帯の需要増加に伴って廉価な部品も入手可能な情勢となってきている。そこで、本報告では、所内の既存の測定系を拡張して廉価なミリ波帯の周波数変換器(送信側)を検討した結果を報告する。

2. 廉価なミリ波帯の測定系の構築

一般的に、ミリ波帯の特性評価として、次の3点の制限を加えることにより、大幅なコストダウンを図ることが可能となる。

- ① COTS(Commercial Off-The-Shelf: 商用オフザシェルフ)の活用
- ② 帯域幅の条件の緩和
- ③ デジタル信号処理の活用

COTS製品は、流通性が高いことから廉価なミリ波帯の部品を調達できる。次に、アンテナ等の基本的な指標であるビームパターン・利得・偏波などの測定においては、CW(Continuous Wave: 連続波/無変調波)を利用すれば測定できる。OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing: 直交周波数分割多重方式)信号のサブキャリア数を限定することにより、狭帯域であっても基本的な伝送評価も可能となる。加えて、デジタル信号処理を適用することにより、ミリ波帯のRF(Radio Frequency:無線周波数)領域の性能向上を図ることができる。更に、ソフトウェア無線機の技術を適用することにより、デジタル通信・レーダーシステムなどの評価も可能となる。最後に、自由空間法による材料定数測定等に適用できる。

2. 1 ミリ波帯の測定系の構成方法

図1に示すミリ波帯の測定系は、所内の既存設備（送信側の信号発生器及び受信側のスペアナ）を活用する構成で

ある。図1の構成では、信号発生器及びスペアナ間に送受信のミキサ及びアンテナを追加することで、ミリ波帯の基本的な測定系が構成できる。この図1の構成により、ビームパターン及び利得等のミリ波帯の測定が可能となる。

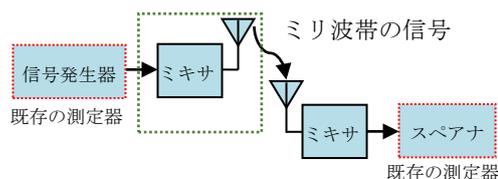


図1 測定系の構成例1 (測定器を使用する場合)

ところで、RF部品が廉価であるが故に、ダイナミックレンジなどの高周波特性とコスト間でのトレードオフが発生する。そのために、中級から高級なミリ波帯の測定系の高周波特性に近づけるために、デジタル信号処理技術を活用し、高周波特性を改善する。

加えて、無線システム並びにレーダーシステム等の評価、材料定数測定等のためのSパラメータの評価なども可能になる。これを廉価に解決する方法は、図2のソフトウェア無線技術を適用した測定系の構成例2になる。

図3にCOTS製品を活用したミリ波帯の測定系の構築の考え方をまとめた。

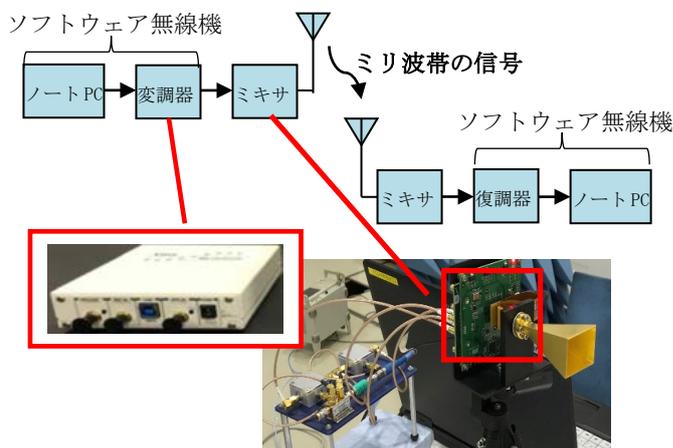


図2 測定系の構成例2 (測定器を使用しない場合)

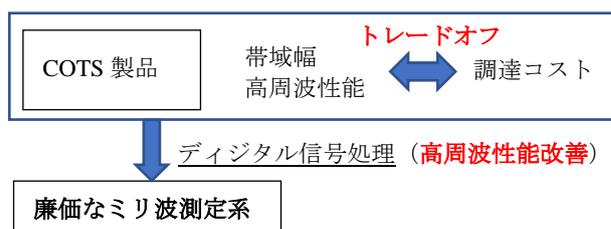


図3 COTS製品を活用した高性能ミリ波帯測定系の構築

2. 2 測定系の構成

本報告における測定系の構成例1及び構成例2の具体的な機材配置を図4に示す。なお、材料定数測定時には、図4の中央部に測定対象の試料を設置する。ビームパターン・利得などの測定などの無線の評価時には、試料は設置しない。構成例1及び構成例2による測定結果の比較は、3.2節に示す。



図4 ミリ波帯の構成例1及び構成例2の測定系

3. 測定結果

本報告では、ダイナミックレンジ及び透過損失量の測定結果について報告する。

3.1 ダイナミックレンジの評価

図4の測定系で57.24GHzのCW信号の送受信した場合の測定結果を図5に示す。図5は、CW信号をアルミニウム板で非遮蔽(0秒から12秒まで)とCW信号をアルミニウム板で遮蔽(12秒から20秒)した結果である。非遮蔽のスペクトラムのピークを注視すると僅かであるがドップラが生じていることも合わせて確認することができる。

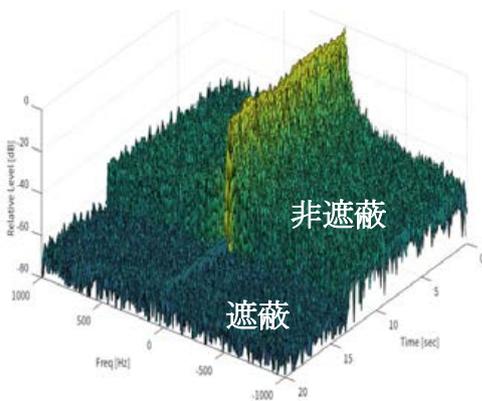


図5 60GHzのCW波形のウォータフォール

図5の測定結果を時間軸方向に平均化した周波数スペクトラムを図6に示す。この周波数スペクトラム(中心周波数57.24GHz)のアルミニウム板で遮蔽/非遮蔽の差が、約62dBとなった。この結果から材料の透過損失の測定に活用できるダイナミックレンジを有することが確認された。

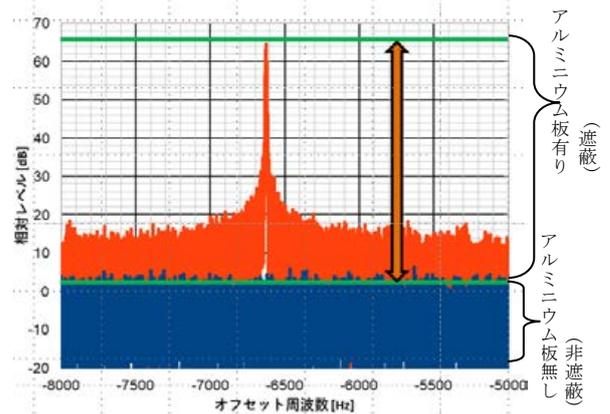


図6 57.24GHzのCW波形の周波数スペクトラム

3.2 狭帯域な材料定数測定(透過損失量)

図7にテフロン及びベークライトの透過損失量を測定した結果とシミュレーション結果を示す(ベークライトの黒色の黒色実線はシミュレーション結果、実測の破線は測定系の構成例1で測定した結果、実測の実線は測定系の構成例2で測定した結果)。この結果から測定器とソフトウェア無線機による測定結果には、大きな差異は確認されなかった。ベークライトの実測とシミュレーションは、よい一致を示した。

この結果から、廉価なソフトウェア無線機によるミリ波の測定系(図2の測定系の構成例2)は、十分な測定が可能であることの見込みが得られた。

ところで、450MHz幅において透過損失量の変動が2から3dB程度ある。この変動要因を確認するために周波数幅を広げて、ベークライト(10mm)について広帯域な測定結果を図8に示す。

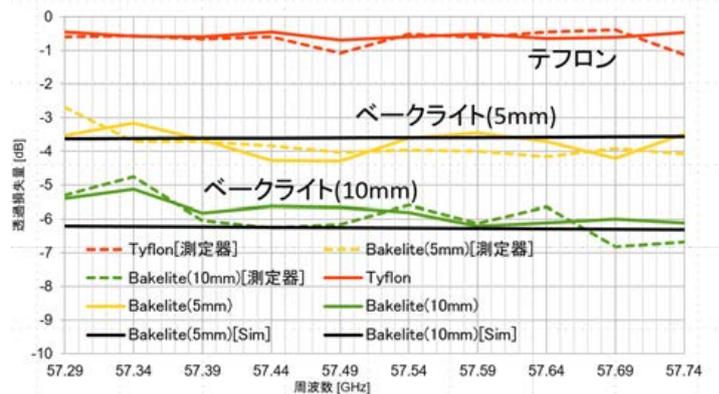


図7 透過損失量の測定例(狭帯域)

3.3 広帯域な材料定数測定(透過損失量)

図8の実測結果は、周波数方向に対して周期的に変動をしている。この変動は、図4の測定系内で信号が反射していることが原因であると考えられる。これは廉価なRF部品で構成しているが為に、透過損失量に対して周波数方向に変動が生じている。この反射波を抑圧する信号処理を施した結果とシミュレーション結果は、よい一致をしている。この結果から、信号処理を適用することにより、透過損失

量の測定に適用できる。

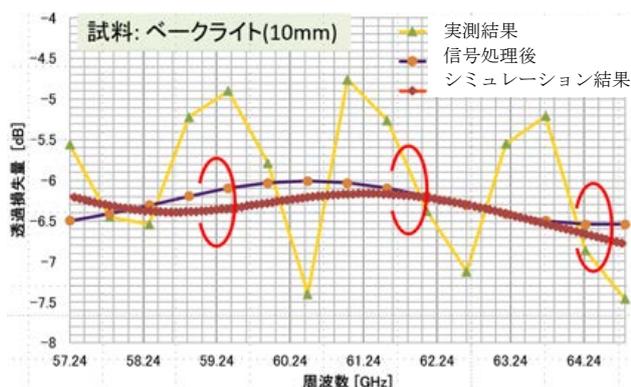


図 8 透過損失量の測定例(広帯域)

4. 考察及び今後の展開

廉価なミリ波帯の測定系を用いた測定技術に関する基礎的な実験・シミュレーション結果から、キャリブレーション技術を活用することにより、期待される測定精度を確保できる見込みが得られた。

廉価なソフトウェア無線機による測定が、既存の測定器との差異が少ない点についても、合わせて確認された。

また、ソフトウェア無線機をベースとした測定系であり、無線機の開発等への活用が期待される。

【外部発表】 口頭発表 1 件