

Vバンド（60GHz帯）における材料定数測定に関する 基礎的な検討結果について

鶴田 誠(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、ミリ波利用の拡大に伴い、車載レーダーの樹脂カバー（レドーム）や自動車用ガラスなど各種素材のミリ波帯における電波透過特性や材料定数（誘電率、誘電正接など）測定の必要性が高まっているが、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（Vバンド；60GHz帯）の電波透過測定システムを構築することで、材料定数の算出に必要な高精度な位相測定について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. 測定系の構成

本報告で検討した材料定数測定のための電波透過測定系の概要を図1に示す。評価する試料に60GHz帯のミリ波を照射して透過したミリ波を受信して、振幅と位相の周波数特性を測定する。

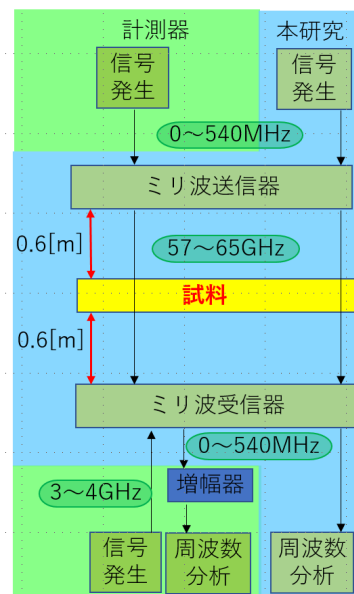


図1 ミリ波帯の電波透過測定系

2.2. 測定系の課題

ミリ波帯の評価では極めて廉価なCOTS製品を活用した実験系を構築している。この主たる目的は、ミリ波帯のコスト面の参入障壁の解消が必要と考える。

一般的なミリ波帯における送受信アンテナを1本で構成するSISO(single-input single-output)を考える。この場合は、高周波領域の位相が定まらない課題が内在する。このために、振幅・位相の測定を実現することがSISO構成では、原理的に不可能であることが、昨年までの検討で明らかになっていた(COTS製品固有の特性であり、位相制御が不可能である)。昨年度までの検討では、振幅の測定の技術的な見込みまでは得られていた。

この課題を解決するために、図2のミリ波帯のSIMO(Single-input and multiple-output)構成を導入する。このSIMO構成であるならば、前述の位相の曖昧性を解消することが可能となると考えられる。

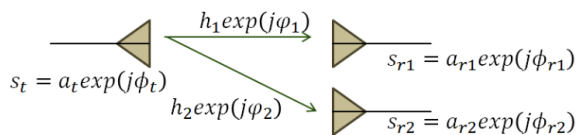


図 2 ミリ波帯の SIMO 構成

なぜならば、経路における未確定の位相情報を SIMO 構成とすることにより、相対的な位相情報として取り扱うことが可能になるからである。

3. 実験結果

測定周波数は、61.02[GHz]である。本検討では、SIMO 構成及び SIMO 構成による位相特性を実測した結果を図 3 に示す。従来方式の 1 と 2(SIMO 構成)は、青色と赤色の点で示している。他方、提案方式(SIMO 構成)は黄色い実線で示している。この両者を比較すれば、SIMO 構成の提案方式の位相安定度は、100 回の試行で明らかに改善していることが確認できる。

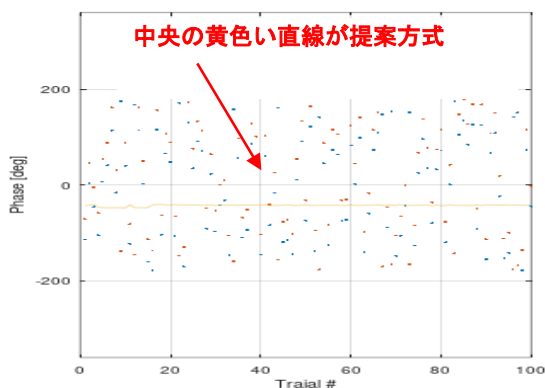


図 3 SIMO 構成による位相の実測結果

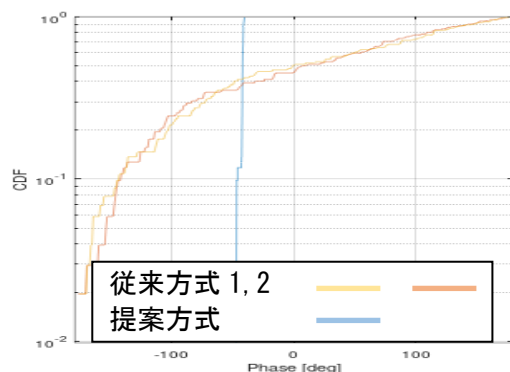


図 4 位相測定結果(CDF)

図 3 の位相測定結果を整理して、CDF(cumulative distribution function)を図 4 に示す。従来方式は、両結果ともに広く位相が分布している。他方、提案方式は、位相分布が局所的であり、ほとんど垂直にグラフが立上っている。この CDF から SIMO 構成により、位相の曖昧性を解消で

きることが確認できた。

つまり、SIMO 構成とすることで、位相分布は、3 度未満を達成可能であることが確認された。この 3 度未満は、測定誤差ではなくて測定時の位相分布である。つまり、推定位相に対する位相誤差は、一般に、3 度よりも遥かに小さな値となる。従って、SIMO 構成による位相測定は、廉価なミリ帯の COTS 製品を活用した場合においても技術的に可能となったと考えられる。

4. 材料定数の測定の基礎検討

4.1. 測定対象の材料の設定

SIMO 構成による材料定数の測定方法の基礎検討について説明する。基本的には、測定対象の材料を図 5 の緑色の四角の領域に設置する。2 本の受信アンテナの受信された IQ(In-Phase/Quadrature-Phase)信号を解析することで、材料定数を推定することが可能となる。

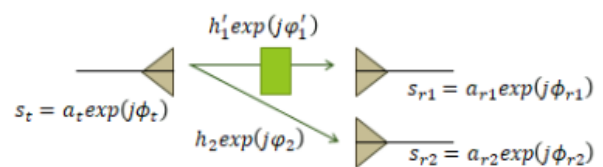


図 5 材料定数の測定の概念図

4.2. 外部環境要因

ミリ波の領域では波長が短くなるために、波長が長い領域に比較して外部環境要因に関する広い検討が必要になる。

代表的な外部環境要因に関して触れる。ドップラ周波数は波長が短いために、大きなドップラ周波数が発生する。このドップラ周波数に関しては、実験系の局所的なエリアを想定した場合には、SIMO 構成とすれば解消することができる。この結果として、実験系における室内の風の流れを大きな誤差要因として排除することが可能となる。

次に、材料測定における測定する材料の設置に関しては、電磁波の入射角と密接に関係している。そのために、設置及び設置後の重力等の外部環境の影響を考慮した再現性のよい環境が必要になる。この外部環境要因は、再現性を補償する上で極めて大切なポイントとなる。

このように外部環境要因を 2 種類上げるだけでも、影響の有無が異なることが理解できる。

5. 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結果から、材料定数測定における位相測定においては、SISO 構成でなく SIMO 構成による測定が必要であることが明らかになった。これにより、振幅と位相を用いて材料定数(誘電率及び誘電正接)の算出が可能となる。

今後は、位相誤差の更なる改善方法の検討・重力・大気等の外部環境要因の影響などを含めて測定方法等の検討を含めて前進させていきたい。

【電子技術部】

ミリ波帯の応用は、レーダー・通信が応用として、一般に想像されるが、これ以外の応用も多く考えることができる。このように新領域の電磁波の応用を活発に議論・検討することにより、ミリ波の応用がより広がりを見せるものと期待される。

なお、本技術は、ソフトウェア無線技術等のソフトウェアベースの装置であり、広い業種業態・幅広い職種において導入障壁(参入障壁)が小さい技術である。