

# 近傍界用ノイズ抑制シートの伝送減衰率 $R_{tp}$ 測定用フィクスチャの作製

林 達郎<sup>\*1)</sup>

## Fixture for Transmission Attenuation Power Ratio $R_{tp}$ Measurement of Noise Suppression Sheet

HAYASHI Tatsuro<sup>\*1)</sup>

電子基板や部品から発生する電磁的なノイズの対策に、近傍界用のノイズ抑制シートが利用されている。

本研究では、近傍界用ノイズ抑制シートの伝送減衰率  $R_{tp}$  の測定に使用できるフィクスチャの作製を目的に、ガラスエポキシ (FR-4) 両面基板を用いたマイクロストリップラインを構成し、フィクスチャとして求められる特性を測定した。結果として、作製したフィクスチャは、ノイズ抑制シートを装着しない単体の状態で、測定対象周波数 0.1 GHz~3 GHz において、片側端を  $50\ \Omega$  で終端したときの電圧定在波比  $VSWR$  が 1.5 より小さく、また、終端を取り外して測定した透過損失  $S_{21}$  の値が、無視できる程度に小さいことから、国際規格 IEC62333-2 に準ずる  $R_{tp}$  の測定に使用できることを確認した。

### 1. 緒言

近傍界用ノイズ抑制シートは、電子基板や部品、ケーブルなどに貼り付けるなど近接して装着することで、電磁的なノイズを抑制できるため、回路、基板の設計変更を行わずに EMC 対策が行える選択肢として利用されている。

国際規格 IEC62333-2<sup>1)</sup>には、近傍界用ノイズ抑制シートの性能指標として、内部減結合率  $R_{da}$ 、相互減結合率  $R_{dc}$ 、伝送減衰率  $R_{tp}$ 、輻射抑制率  $R_{rs}$  が規定されているが、なかでも  $R_{tp}$  は、ノイズ抑制シートの装着によって減衰するノイズ量を直接的に示すことから、シートの代表的な特性値として扱われることが多い。

本研究では、測定対象周波数 0.1 GHz~3 GHz において、近傍界用ノイズ抑制シートの  $R_{tp}$  測定に使用できるフィクスチャの作製を目的に、入手しやすい低周波用のガラスエポキシ (FR-4) 両面基板を用いたマイクロストリップラインを構成し、フィクスチャに求められる特性を満足するか検討した。

### 2. フィクスチャの設計

#### 2.1 $R_{tp}$ 測定の概要

前述のとおり、電子基板上を伝導するノイズが、ノイズ抑制シートの装着によって減衰する量は  $R_{tp}$  で示される。

$R_{tp}$  は、図 1 に示す測定系により、フィクスチャにノイズ抑制シートを装着した際に得られる反射係数  $S_{11}$  と透過係数  $S_{21}$  の測定値  $S_{11M}$ 、 $S_{21M}$  から、次式により求めることができる。

$$R_{tp} = -10 \log \left\{ 10^{\frac{S_{21M}}{10}} / \left( 1 - 10^{\frac{S_{11M}}{10}} \right) \right\} \quad (\text{dB})$$

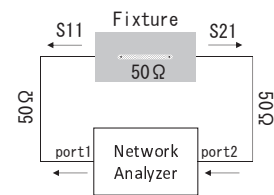


図 1  $R_{tp}$  の測定系

#### 2.2 フィクスチャの構成

フィクスチャは、図 2 に示すように、電子基板上のノイズ伝導ルートをマイクロストリップラインで疑似的に構成するもので、表面の導電パターンの両端裏側に高周波用の SMA コネクタを設けて、ネットワークアナライザとの接続に使用する。

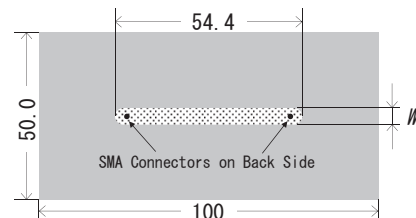


図 2 フィクスチャの形状 (単位 mm)

また、ノイズ抑制シートを装着しない状態で、片側端を  $50\ \Omega$  で終端したときの電圧定在波比  $VSWR$  が、測定対象周波数において 1.5 より小さいことが、規格で求められる特

\*1) 機械・電気・材料グループ

性である。

ところで、規格にはフィクスチャ用の基板として、比誘電率 $\epsilon_r$ が2.2~2.6の高周波用基板が推奨されており、その際の導電パターン寸法も示されている。しかし、高周波用の基板は少量での入手性、価格に課題が残るため、一般の回路試作に広く用いられる低周波用の基板を用いてフィクスチャを構成できれば、 $R_{ip}$ の測定環境が構築しやすい。

そこで本研究では、入手しやすいガラスエポキシ (FR-4) 両面基板を用いて、フィクスチャの作製を試みた。

### 2.3 特性インピーダンスの検討

図1に示す測定系では、フィクスチャを含む伝送路の特性インピーダンスを50Ωに整合する必要がある。

フィクスチャにガラスエポキシ (FR-4) 基板を用いる場合、高周波用基板と比較して比誘電率が大きいいため、規格に示されたフィクスチャ表面の導電パターン寸法のうち、幅 $W$ に関する推奨値 $4.40 \pm 0.05 \text{ mm}$ では、特性インピーダンスが50Ωに整合せず、 $W$ の設計変更が必要と考えられる。

ここで、マイクロストリップラインの特性インピーダンス $Z_0$ は、近似的に次式<sup>2)</sup>で示される。

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{1.41 + \epsilon_r}} \times \ln \left( \frac{5.98h}{0.8W + t} \right) \quad (\Omega)$$

$\epsilon_r$ : 基板の比誘電率  
 $h$ : 基板の厚み(m)  
 $W$ : 線路幅(m)  
 $t$ : 線路厚み(m)

使用するガラスエポキシ (FR-4) 基板の比誘電率 $\epsilon_r$ が4.5、基板の厚み $h$ が1.6 mm、線路厚み $t$ が0.035 mmとしたとき、上式を用いて線路の特性インピーダンス $Z_0$ が50Ωに近い値となる $W$ を概算すると約3 mmであるため、この値を用いてさらに検討を進める。

### 2.4 シミュレーションによる VSWR の計算

伝送路の特性インピーダンスの整合状態は、フィクスチャの片側端を50Ωで終端したときの反射レベルと関連するため、VSWRを確認することができる。

前節で得られた $W$ の妥当性ならびに、 $W$ が変化したときの許容範囲を調べるため、測定対象周波数を拡張した0.1 GHz~4 GHzにおけるVSWRをシミュレーション<sup>3)</sup>により計算し、規格で求められる特性と比較検討した。

フィクスチャを解析空間に配置した様子を図3に示す。その際、簡単のためフィクスチャ表面の導電パターンの端部は、図2に示すように丸めず、角状とした。

$W$ を2.50 mm~3.50 mmの間で、0.25 mm刻みで5種類変化したときのVSWRを計算した結果を図4に示す。

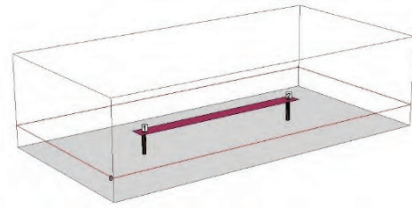


図3 解析空間への配置

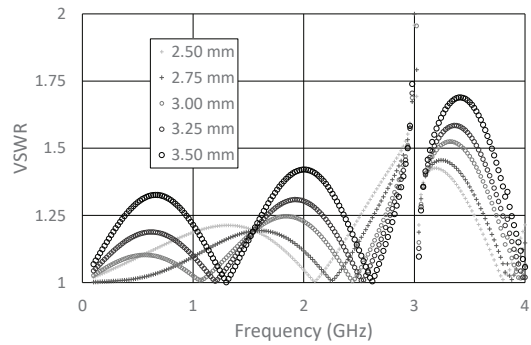


図4 VSWRの計算結果

測定対象周波数の0.1 GHz~3 GHzに着目すると、 $W$ がいずれの場合も、3 GHz付近の一部を除き、特性インピーダンスの整合によってVSWRは1.5より小さいと予想され、規格で求められる特性を概ね満たすと考えられる。一方、3 GHz付近の極大を示す部分においては、定在波が生じる可能性が示唆される。

$W$ が最も小さい2.50 mmのときは、3 GHz近傍におけるVSWRの立ち上がりが顕著であること、また、 $W$ が最も大きい3.50 mmのときは、全ての周波数帯においてVSWRが増大する傾向にあることから、 $W$ は2.75 mm~3.25 mmの範囲内にあることが望ましいと考えられる。

最後に、 $W$ が3.00 mmのとき、片側端を50Ωで終端した場合のS11と、終端を外してS21を計算した結果を図5に示す。

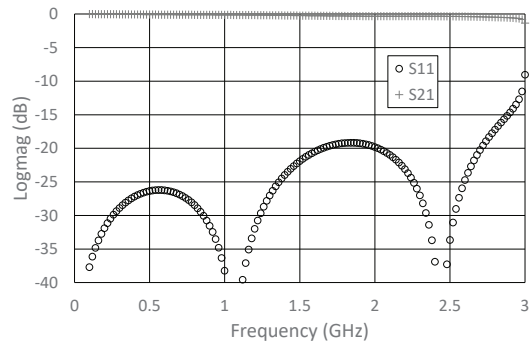


図5 S11, S21の計算結果

S11の計算結果より、3 GHz付近における値の上昇、即ち反射の増加が予想されること、また、S21の計算結果が

ら、測定対象周波数の全域において値がほぼ零に近く、フィクスチャ内で生じる透過減衰は、極めて小さいことが予想される。

### 3. フィクスチャの作製と評価

#### 3.1 基板の加工

前章の検討結果をもとに、ガラスエポキシ (FR-4) 両面基板を用いて、フィクスチャの作製を行った。

作製は、基板切断、導電パターン部のマスクング、エッチング、穴あけ加工、SMA コネクタ取り付けの手順で進め、全てを手作業で行った。フィクスチャの外寸は、図2にしたがった。また、導電パターンの幅  $W$  は、結果的に前章で得られた許容範囲内である 3.25 mm となった。

なお、定在波の発生を抑制する目的で、導電パターンの端部は図2に示すように、丸く加工した。

フィクスチャの外観を図6に示す。

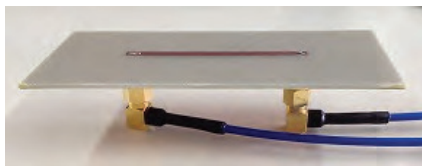


図6 フィクスチャの外観

#### 3.2 $V_{SWR}$ の測定と評価

作製したフィクスチャにノイズ抑制シートを装着しない単体の状態で、測定対象周波数 0.1 GHz~3 GHz において、片側端を 50  $\Omega$  で終端したときの  $V_{SWR}$  を測定した。測定には、ネットワークアナライザを使用し、終端にはネットワークアナライザ校正用の 50  $\Omega$  負荷を使用した。

測定結果に加え、導電パターンの幅  $W$  が 3.25 mm のときの  $V_{SWR}$  をシミュレーションで計算した結果を重ね合わせたグラフを図7に示す。

これより、作製したフィクスチャの  $V_{SWR}$  の測定値は、測定対象周波数の全域において 1.5 より小さく、フィクスチャに求められる特性を満足すると評価できる。また、シミュレーションの際に 3 GHz 付近に予想された極大値は、現れていない。

次に、ノイズ抑制シートを装着しない単体の状態で、片側端を 50  $\Omega$  で終端したときの  $S_{11}$  と、終端を取り外したときの  $S_{21}$  を測定した結果を図8に示す。

図5に示した計算結果と比較して、測定結果では  $S_{11}$  の 3 GHz 付近に予想された値の上昇は生じておらず、反射の増加はみられない。また、 $S_{21}$  については、計算結果と同様に測定対象周波数の全域において値が零に近いことから、フィクスチャ内で生じる透過損失は無視できる程度に小さいと評価できる。

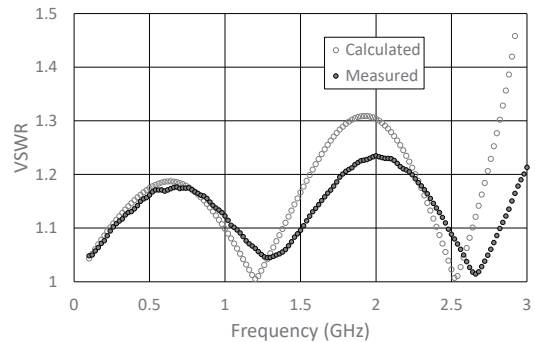


図7  $V_{SWR}$  の計算結果と測定結果

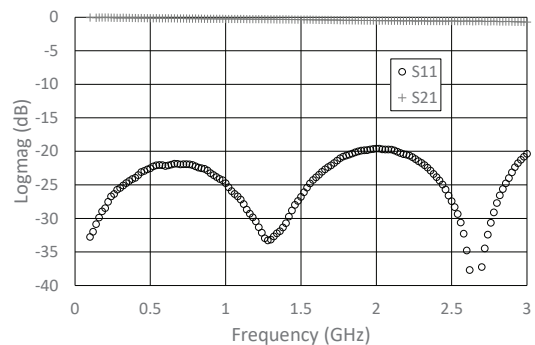


図8  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  の測定結果

### 4. 考察

前章までの検討で、作製したフィクスチャが、規格に求められる特性を満足する結果が得られた。

ところで、実際のノイズ抑制シートの測定においては、シートとフィクスチャの密着性不良が原因で、測定誤差が生じる恐れがある。また、その原因としてフィクスチャの導電パターン上の SMA コネクタの芯線処理の不良や、芯線とパターンを接合するハンダによる隆起が考えられる。

そこで、作製したフィクスチャが、実際のノイズ抑制シートの  $R_{tp}$  測定において正しく機能するか考察するため、共通サンプルを用いて、作製したフィクスチャを使用して得られる  $R_{tp}$  と、高周波用基板で構成された市販のフィクスチャを使用して得られる  $R_{tp}$  の比較測定を行った。

共通サンプルには、樹脂にカーบอนを添加したシートを使用し、測定で得られる  $S_{11M}$ ,  $S_{21M}$  を用いた  $R_{tp}$  の算出には、2.1 に示した数式を用いた。

比較測定の結果を図9に示す。

これより、測定対象周波数 0.1 GHz~3 GHz において、作製したフィクスチャを使用して得られる  $R_{tp}$  は、市販のフィクスチャを使用して得られる  $R_{tp}$  とほぼ近似しており、ノイズ抑制シートを装着する際に生じる物理的な隙間などに起因する誤差は抑制されているものと考察できる。

参考文献

- 1) International Electrotechnical Commission : IEC62333-2, INTERNATIONAL STANDARD, 2006
- 2) 伊藤健一：分布定数回路のはなし, pp.96-97, 日刊工業新聞社, 2003
- 3) 小暮裕明：電磁界シミュレータで学ぶワイヤレスの世界, pp.39-42, CQ 出版社, 2001

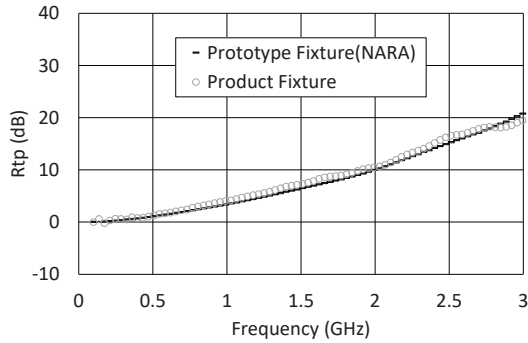


図 9 共通サンプルを用いた比較測定結果

5. 結言

近傍界用ノイズ抑制シートの伝送減衰率  $R_{tp}$  の測定に使用できるフィクスチャの作製を目的に、ガラスエポキシ (FR-4) 両面基板を用いたマイクロストリップラインを構成し、フィクスチャに求められる特性を測定した。

結果として、作製したフィクスチャは、測定対象周波数 0.1 GHz~3 GHz において片側端を  $50 \Omega$  で終端したときの  $V_{SWR}$  が 1.5 より小さく、また、終端を取り外して測定した透過損失  $S_{21}$  の値がほぼ零であることから、IEC62333-2 に準ずる  $R_{tp}$  の測定に使用可能であることを確認した。

さらに共通サンプルを用いて、市販のフィクスチャを使用して得られる  $R_{tp}$  との比較測定を行った結果から、作製したフィクスチャが実際のノイズ抑制シートの  $R_{tp}$  測定において、正常に機能することを確認した。

今後の課題として、測定対象周波数の広帯域化や、輻射抑制率  $R_{rs}$  測定への転用の可能性が挙げられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、地方独立行政法人大阪産業技術研究所和泉センターの伊藤盛通主任研究員にご協力を頂きました。

なお、本研究で使用した機器は、公益財団法人 JKA の「機械振興補助事業」により導入、設置したものである。

