

# ストリップ線路を持つ回路基板間の無線信号接続解析 Analysis of Wireless Signal Connection Between Strip Lines

○富田天哉, 戸花照雄, 秋元浩平  
○Takaya Tomita, Teruo Tobana, Kohei Akimoto

秋田県立大学  
Akita Prefectural University

キーワード: 無線信号接続(Wireless Signal Connection), ストリップ線路(Strip Line), グラウンドスロット(Ground Slot), ミリ波(Millimeter Wave)

連絡先: 〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4  
秋田県立大学 システム科学研究科 共同サステナブル工学専攻 通信システム工学研究室  
Tel: 0184-27-2212, E-mail: m251004@akita-pu.ac.jp

## 1. はじめに

近年 5G や 6G の高周波数帯域 (ミリ波, テラヘルツ波) で動作するデバイスが求められている. 高周波回路では基板同士の接続としてコネクタやソケットによる有線接続が一般的であるが, 信号の波長が小さくなることで整合処理や正確なコネクタの配置が困難になる. また, 経年変化などによりコネクタが変形し機器の故障の原因となる可能性がある. そこで基板同士の非接触な接続方法としてスロットを用いた無線信号接続が考えられている. 先行研究ではマイクロストリップ線路やグラウンド付コプレーナ線路のグラウンド面に U 型スロットを配置し, 電磁結合により無線信号接続を可能にする研究が行われている 1), 2).

マイクロストリップ線路やグラウンド付コプレーナ線路ではトレース導体が基板表面に出ているため不要な電磁波放射が発生する可能性があるが, 図 1 に示すストリップ線路はトレース導体が基板内部に納まっていることでシールド効果が高く, 高周波でも低損失であることが期待される. そこで, 本研究では 2 枚の近接したストリップ線路間の無線信号接続の可能性を検討することを目的とする. また目標の動作周波数をミリ波帯の 40 GHz 付近とする.

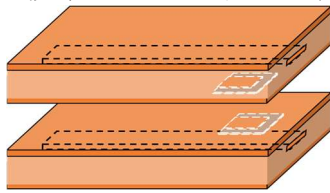


図 1 スロットを用いる無線信号接続

## 2. 解析

解析には Finite Difference Time Domain Method (FDTD 法) を用いる 3). 解析モデルを図 2 示す. 基板材料として高周波特性に優れた MEGTRON7 ( $\epsilon_r = 3.31, \tan \delta = 0.0023$ ) を用いる. セルサイズは  $x, y, z = 50 \mu\text{m}$  とした. 送信側の基板端から 80 ps, 1.0 V のパルス波を入射し, 受信側に終端抵抗を配置した. Observe1 と Observe2 のそれぞれの位置の電圧を  $V_1, V_2$  とし観測し, 電圧比から  $|S_{21}|$  を導出する.  $|S_{21}|$  が最大となる値を  $|S_{21}|_{\text{max}}$  とし, そのときの周波数を動作周波数とする. 寸法を変化させて様々な解析を行うことより  $|S_{21}|_{\text{max}}$  が大きくなる時のパラメータを決定する.

解析モデルのパラメータとして基板長  $L$ , 基板幅  $W$ , 厚さ  $T$ , トレース導体長  $L_L$ , トレース導体幅  $W_L$ , トレース導体からビアまでの距離  $R$  とする. またスロット長  $A$ , 間隔  $B$ , 幅  $C$ , 太さ  $D$  のスロットを設ける. スロットから短絡端までの距離を  $E$  とし, 送信側の給電点から観測点 (observe1) までの距離を  $P_1$ , 受信側の終端抵抗から観測点 (observe2) までの距離を  $P_2$ , 2 枚のストリップ線路間の距離を  $H$  としている.

今回はその中のパラメータの内スロット長  $A$  と基板間距離  $H$  を検討する. その他のパラメータは今までの解析により求めた値を使用している. パラメータの値を表 1 に示す.

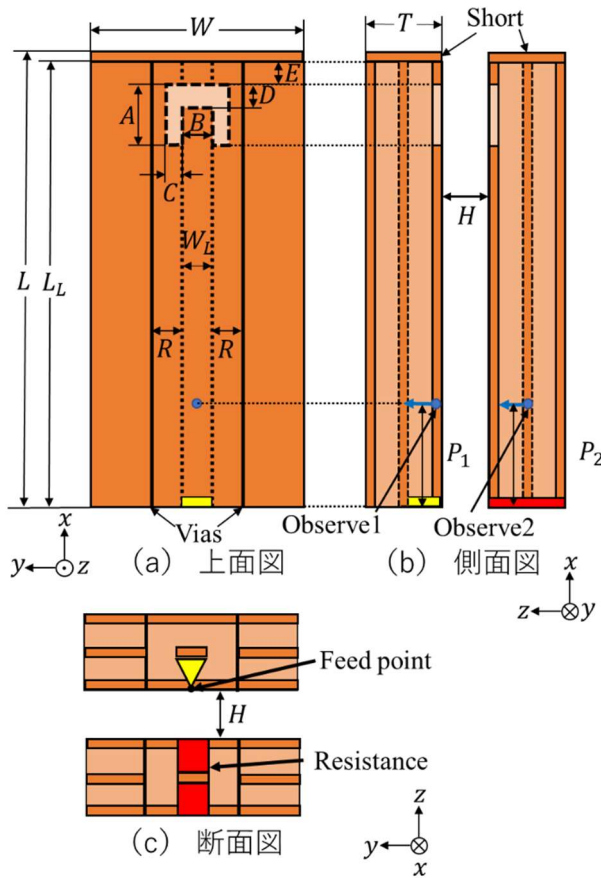


図 2 解析モデル

表 1 モデルの寸法

	寸法 [mm]		寸法 [mm]
$W$	25	$C$	0.3
$L$	15	$D$	0.3
$L_L$	14	$E$	0.1
$W_L$	0.4	$R$	0.5
$T$	1.6	$P_1$	5.0
$A$	0.9~1.2	$P_2$	5.0
$B$	0.4	$H$	0~0.4

スロット長  $A$  を表 1 のように 0.1 mm 間隔で変化させた解析結果を図 3 に示す。このとき基板間距離  $H$  は 0 として解析を行った。スロット長  $A$  は動作周波数の約 4 分の 1 波長となるため、 $A$  を短くするほど動作周波数が高くなる。これにより動作周波数の調整をすることができる。

次に基板間距離  $H$  を 0.1 mm 間隔で変化させた解析結果を図 4 に示す。このときスロット長  $A$  は

1.0 mm として解析を行った。基板間距離  $H$  を大きくすると基板間の空気の層が厚くなり、伝搬速度が速くなることでスロットの共振周波数が高くなったと考えられる。

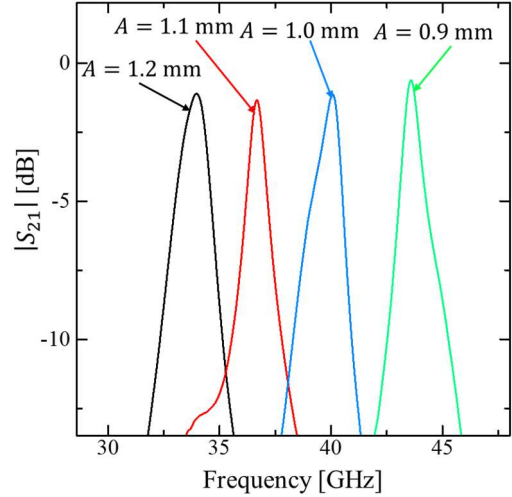


図 3 スロット長  $A$  を変化させた解析結果

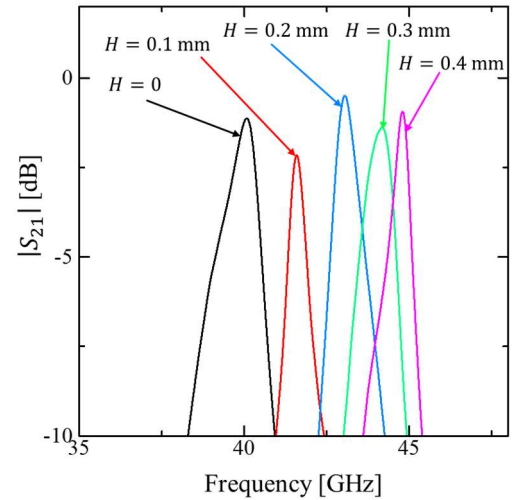


図 4 基板間距離  $H$  を変化させた解析結果

### 3. 測定

#### 3.1 測定方法

2 節の解析モデルの寸法から実際に基板を製作した。製作した基板を図 5, 6 に、スロット部分を図 7 に示す。基板の内部にトレース導体が配置されたストリップ線路を両面基板で製作するため、図 5 のように左右対称のグラウンド付コプレーナ線路 2 枚を重ね合わせることで 1 枚のストリップ線路としている。重ね合わせた基板はねじとナットで締めて固定する。VNA (Keysight E8364C) を用いて、 $|S_{21}|$  を測定した。

また動作周波数を40 GHz とするため2節で変化させたスロット長は  $A = 1.0 \text{ mm}$  としている。またTRL校正によりコネクタ等の不連続部分を校正した。

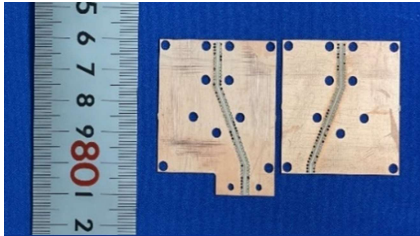


図5 製作したストリップ線路

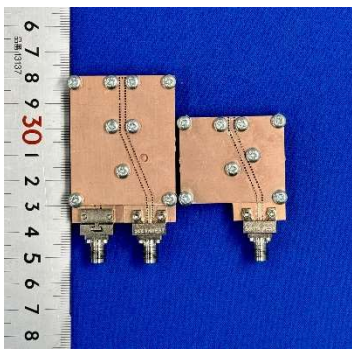


図6 製作した基板

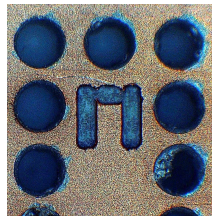


図7 スロット

### 3.2 測定結果

解析結果と測定結果の比較を図7に示し、それぞれの値を表2に示す。解析では  $|S_{21}|_{\max} = -1.12 \text{ dB}$  に対し、測定では  $|S_{21}|_{\max} = -2.92 \text{ dB}$  となった。動作周波数に関しては1.6 GHzほど差が生じた。測定値の  $|S_{21}|_{\max}$  の大きさが解析結果と比較して低い原因として解析モデルでは導体損失を考慮していない点や、図6の加工されたスロットに関して内部に導体が残っている点、基板同士をねじで固定する際ずれやゆがみが生じ、伝送特性に悪影響が出た可能性がある。

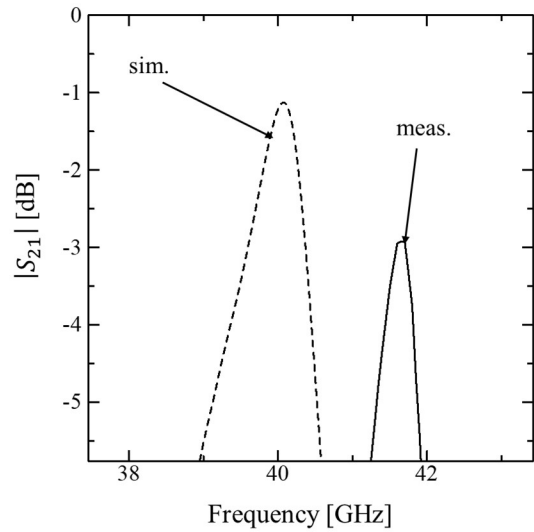


図8 解析結果と測定結果の比較

表2  $|S_{21}|_{\max}$  と動作周波数の比較

	$ S_{21} _{\max}$ [dB]	動作周波数 [GHz]
sim.	-1.12	40.1
meas.	-2.92	41.7

### 5. まとめ

本発表ではストリップ線路間の無線信号接続に関して解析と測定により可能であるということを示した。解析ではスロット長  $A$  を変化させた結果  $A$  を短くするほど動作周波数が高くなった。基板間距離  $H$  を変化させた結果  $H$  を大きくするほど動作周波数が高くなった。測定では解析結果と比較して動作周波数が高くなり、 $|S_{21}|_{\max}$  が低い値を得た。今後の課題として高周波では高次モードの影響を避けるため、基板厚を薄くすることで高い  $|S_{21}|_{\max}$  の値を得ることが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 関口 昌幸, 戸花照雄, 磯田陽次, 秋元浩平, “U型スロットによる2枚のプリント回路間のミリ波伝送特性”, 信学論(B), vol.J104-B, No.7, pp. 592-595, Jul.2021.
- 2) 吉岡寛紀, “U型スロットによるプリント回路間の信号伝送に関する基礎検討”, 信学技報, vol.122,no. 207,MW2022-100,97-101,Oct.2022.
- 3) 宇野亨, “FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析”, コロナ社, 1998