

研究速報

90° 屈曲マイクロストリップ線路からの放射に関する検討

大久保 寛† (正員) 陳 強†† (正員)
 澤谷 邦男†† (正員) 塩川 孝泰†††a) (正員)

Consideration on an Emission from Microstrip Line with a 90° Bend

Kan OKUBO†, Qiang CHEN††, Kunio SAWAYA††, and Takayasu SHIOKAWA†††a), Regular Members

† 秋田県立大学システム科学技術学部, 本荘市

Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University, 84-4 Tsuchiya-Ebinokuti, Honjo-shi, 015-0055 Japan

†† 東北大学大学院工学研究科, 仙台市

Graduate School of Engineering, Tohoku University, 05 Aoba, Aoba-ku, Sendai-shi, 980-8579 Japan

††† 東北学院大学工学部, 多賀城市

Faculty of Engineering, Tohoku Gakuin University, 1-13-1 Chuo, Tagajo-shi, 985-8537 Japan

a) E-mail: shiokawa@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

あらまし PCB 上からの放射問題として直角曲がりを有するマイクロストリップ線路 (MSL) に着目し, 屈曲部による放射率の周波数特性を FDTD 解析により求め, 線路幅により, ある特定の周波数帯の放射が大きくなることを明らかにしている。

キーワード マイクロストリップ線路, 屈曲部, プリント基板, FDTD, 放射

1. まえがき

近年の移動体通信の普及やコンピュータのパーソナル化に伴い, システムの小型・軽量化, 電子機器の動作周波数の上昇, 低電圧化等が進み, 不要放射による電子機器間の電磁干渉や機器内, 特にプリント基板 (以下では PCB) 内での干渉問題など, EMC (Electromagnetic Compatibility, 環境電磁工学) への関心が高まってきている。

従来から伝送線路からの不要放射に関して, プリント基板上の不連続部による放射や伝送線路間のクロストークなどの検討が行われている。特に屈曲部は不連続部の代表的な形状であり, これまでもいくつかの研究 [1]~[7] がなされて, 例えば文献 [5], [6] では MSL の放射抑制に関する解析が行われている。しかし, 屈曲部における放射メカニズムについてはまだ十分な検討が行われているとは言えない。

そこで, 本論文では FDTD 法 [8] を用い, 電磁波的立場から曲がりを有する MSL の数値解析を行い, 透過率, 反射率, 放射率の周波数特性を定量的に評価し, 屈曲部における放射のメカニズムについて考察する。

2. MSL の屈曲部の FDTD 解析

2.1 解析モデル

図 1 に解析に用いる MSL の構造を示す。MSL の屈曲部は 90° 曲がりとし, すべての解析で一辺 0.5 mm の立方体セルを, また, 解析領域の境界には PML (Perfectly Matched Layer) 吸収境界条件 [9] を用いている。なお, ここでは PML の定数 (層数, 次数, 理論反射係数) をそれぞれ (16, 6, 10^{-3}) としている。線路終端を PML の最後の層までのばし, 結果として -100 dB 程度の反射係数を, 検討を行っている周波数領域において実現し, ほぼ完全な無反射終端を実現している。

図 1 において F, A, B は, それぞれ給電点, 屈曲部前の観測点, 屈曲部を通過後の観測点を示している。給電方法はマイクロストリップ給電とし, 図 2 に示される Gaussian パルスを用いている。観測点 A は入射波成分と屈曲部及び給電点からの反射波成分を分離するため給電点と屈曲部の中間点に, また, 観測点 B は PML と解析領域の境界より 6 セル離れた点に配置している。以降の計算では, 前述の二つの観測点 A, B における電界を用い, A における入射波成分, 反射波成分, 及び B における透過波成分を時系列データから取り出し, そのデータを個々にフーリエ変換することにより周波数領域における入射電界 E_i , 反射電界 E_r , 透過電界 E_t を求める。また, MSL 屈曲部における反射率, 透過率は文献 [5] に従い,

$$\text{反射率} = \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2, \quad \text{透過率} = \left| \frac{E_t}{E_i} \right|^2 \quad (1)$$

より求める。本論文では線路及び誘電体の損失はないものとしているため, MSL 屈曲部における放射率は次式より求めることができる。

$$\text{放射率} = 1 - \text{反射率} - \text{透過率}$$

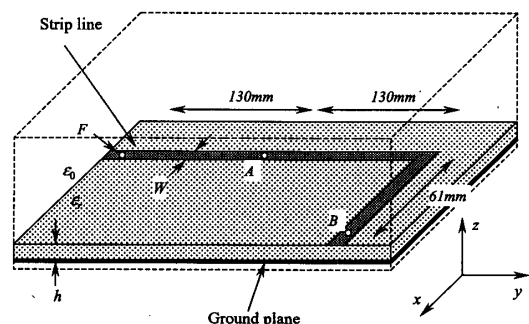
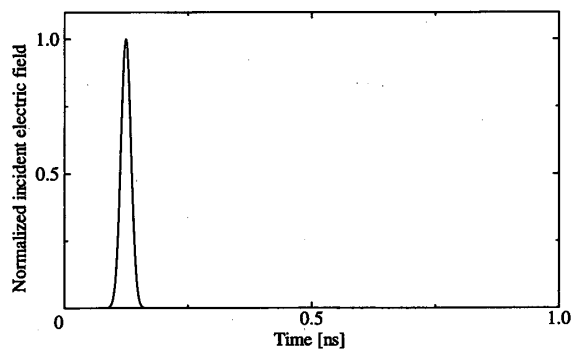
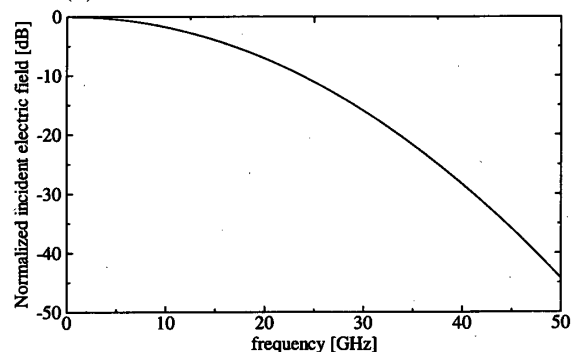


図 1 90° 屈曲 MSL の解析モデル
 Fig. 1 Analytical model of MSL with a 90° Bend.



(a) Incidence electric field in time domain.



(b) spectrum of (a)

図2 入射電界

Fig. 2 Incidence electric field. (a) in time domain (b) spectrum of (a).

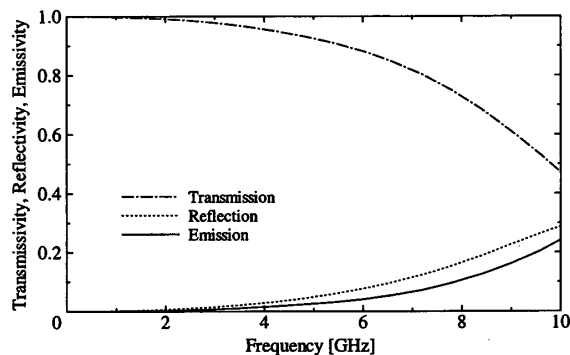
$$= 1 - \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2 - \left| \frac{E_t}{E_i} \right|^2 \quad (2)$$

2.2 透過率, 反射率, 放射率の周波数特性

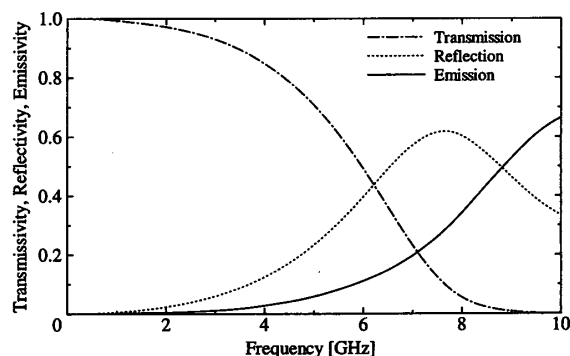
図3に式(1)及び式(2)による透過率・反射率・放射率の周波数特性を示す。(a)は線幅 W が 2 mm, (b)は W が 5 mm, (c)は W が 8 mm の場合のものである。ここで, h は 2 mm, ϵ_r は 4.68 である。特に, 放射率の周波数特性に着目すると, $W=8$ mm の場合には 7 GHz 付近にピークが存在していることがわかる。このことは曲がりが存在することにより, ある特定の周波数成分の放射が強くなることを示し, また, 筆者らの検討によれば, このときの周波数は MSL の線路幅により異なり, 線路幅とピークとなる周波数帯とは何らかの関係が存在している。

2.3 放射メカニズムに関する考察

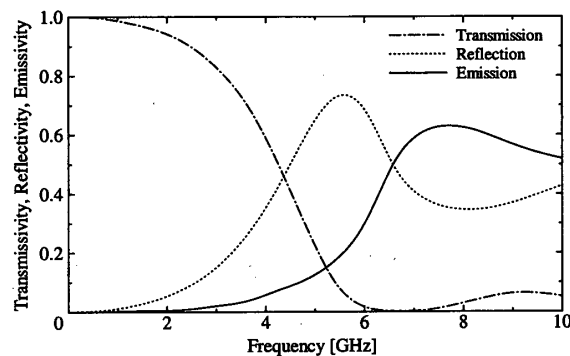
ここでは, 前述の屈曲部を有する MSL の放射率の周波数特性に生じているピークについて考察を行う。図4に W が 8 mm, 10 mm の場合の屈曲部の放射率を示す。ただし, h は 2 mm, ϵ_r は 4.68 とする。同図より W が 8 mm のときには 7 GHz 付近に, また W が 10 mm のときには 6 GHz 付近に放射率のピークが存



(a) $W = 2$ mm



(b) $W = 5$ mm



(c) $W = 8$ mm

図3 透過率・反射率・放射率の周波数特性

Fig. 3 The frequency characteristics of the transmission, reflection and emission.

在していることがわかる。図5, 図6に $W=8, 10$ mm それぞれの場合の屈曲部付近における PCB 内の磁界の x 成分 H_x の分布を可視的に示す。図5及び図6より, W が 10 mm の場合には 7 GHz で, また, W が 8 mm の場合には 6 GHz において屈曲後の線路上に強い磁界が生じていることがわかる。なお, 屈曲前の線路上に定在波が生じているが, これは屈曲部で反射及び透過が起こっている一定時間の磁界をフーリエ変換したため, 入射波と屈曲部における反射波との重ね合わせにより生じたものである。この定在波は準 TEM

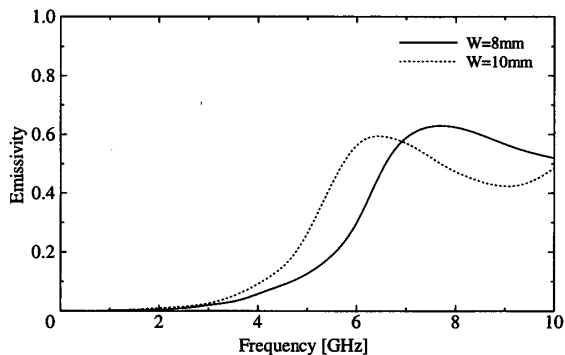


図 4 放射率の周波数特性

Fig. 4 The frequency characteristics of the emission.

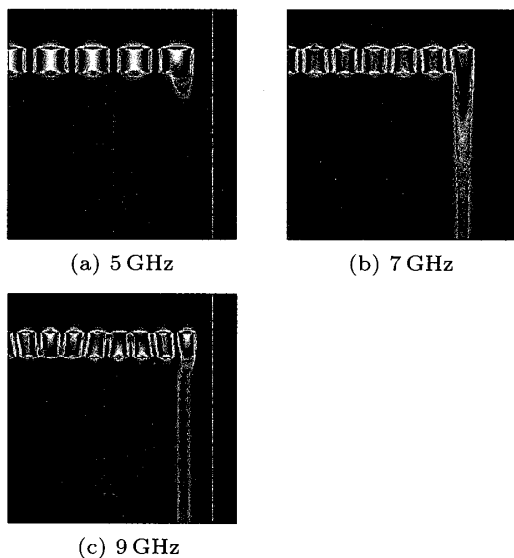


図 5 磁界の x 成分の強度分布 (W=8 mm)

Fig. 5 The distribution of magnetic field(H_x).

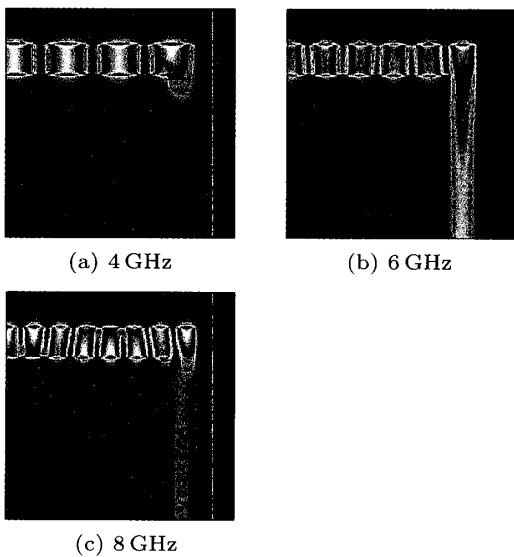


図 6 磁界の x 成分の強度分布 (W=10 mm)

Fig. 6 The distribution of magnetic field(H_x).

モードの伝搬成分に相当するものであるため、放射にはほとんど寄与しない。次に、図 7 に屈曲部後の線路上の線路幅方向の磁界強度を示す。(a) は W が 8 mm, (b) は 10 mm の場合のものである。横軸 X は、図 7 に示すように屈曲部から 10 mm の位置において線路幅方向にとった座標である。なお、縦軸の値は最大値で規格化している。同図より、図 4 において放射率が大きくなる周波数付近で線路上の H_x も大きくなっていることがわかる。換言すれば、このことは線路幅 W がほぼ半波長となる周波数域において、線路幅方向の共振に似た現象によりある特定の周波数帯において放射率にピークが存在すると考えることができる。

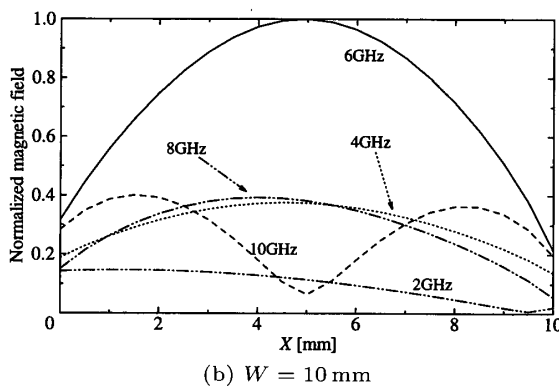
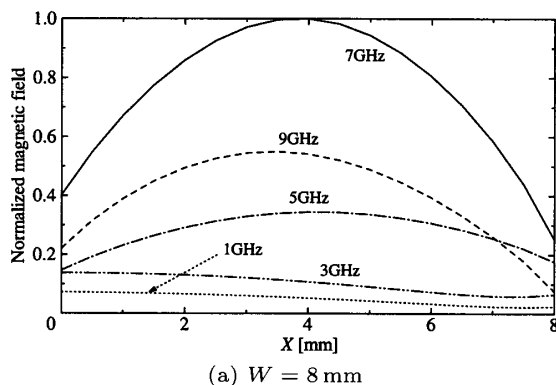
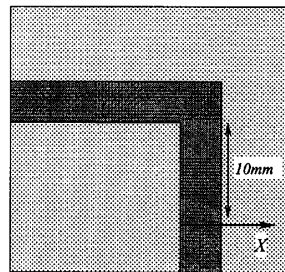


図 7 線路上の規格化した磁界の x 成分

Fig. 7 The normalized magnetic field along the X-axis.

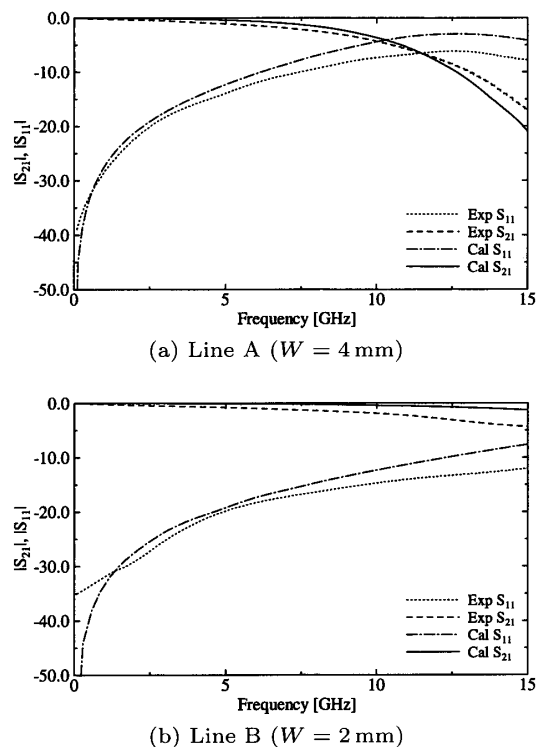


図8 $|S_{11}|$, $|S_{21}|$ の実験値と計算値
 Fig. 8 The comparison between the calculated and experimented values of $|S_{11}|$, $|S_{21}|$.

2.4 FDTD 解析の妥当性の検討

次に、本論文における FDTD 解析の妥当性を明らかにするため、S パラメータの測定を実施し、解析値との比較を行った。実験用の線路として二つの線路 A, B を用いたが、線路 A は $W=4$ mm, $h=1.6$ mm, $\epsilon_r=2.55$ であり、線路 B は $W=2$ mm, $h=0.8$ mm, $\epsilon_r=2.55$ である。測定はネットワークアナライザ HP8510C を用い、線路 A, B とともに 50Ω で終端している。図 8 に屈曲部を有する MSL の $|S_{11}|$, $|S_{21}|$ の実験値及び計算値を示す。(a) は線路 A, (b) は線路 B の場合の結果である。実験値と計算値はほぼ一致してしており、本論文における FDTD 解析は妥当なものであると判断できる。なお、高周波域において実験値が若干低い値となっているが、これは、実験値には若干 MSL の

誘電体部分の損失、及び、SMA コネクタ部の接続損失が含まれるためと考える。

3. むすび

FDTD 解析により 90° 曲がりを有する PCB 上からの放射メカニズムの一部を明らかにした。MSL の線路終端を PML に挿入するモデルを用いることにより、MSL 屈曲部の解析を行い、MSL 屈曲部における透過率、反射率、放射率を定量的に評価した。特に、屈曲部における放射のメカニズムについて考察し、線路幅 W で共振に似た現象が発生することにより、線路幅の大きさによりある特定の周波数帯域の放射が大きくなることを明らかにした。また、S パラメータに関する実験を行い、本論文で用いた FDTD 解析の妥当性を示した。

文 献

- [1] L. Liwin, "Spurious radiation from microstrip," PROC., IEE, vol.25, no.7, pp.633-642, July 1978.
- [2] 中村 隆, 大河内典彦, 横川泉二, 佐藤利三郎, "平行二本線路の屈曲部からの放射," 信学論 (B), vol.J70-B, no.2, pp.261-268, Feb. 1987.
- [3] 森田長吉, "マイクロストリップ線路の曲がり部からの放射," 電気学会研究会資料, EMT-95-68, Dec. 1995.
- [4] 塩川孝泰, 大久保寛, "曲がりを有する伝送線路からの放射に関する一検討," 信学技報, A · P2000-34, pp.17-24, July 2000.
- [5] 高橋美枝, 高橋応明, 安部 實, "マイクロストリップ線路の曲がり部の形状による電磁波の放射抑制," 信学技報, MW98-129, Nov. 1998.
- [6] 高橋美枝, 高橋応明, 安部 實, "マイクロストリップ線路の曲がり部形状による電磁波の放射抑制に関する検討," 信学論, vol.J82-C- I, no.9, pp.561-569, Sept. 1999.
- [7] 劉 維坤, 上 芳夫, "隣接する有限長マイクロストリップ線路間のクロストーク解析," 電学論, vol.117-A, no.5, pp.502-508, May 1995.
- [8] 宇野 亨, FDTD 法による電磁界及びアンテナ解析, コロナ社, 1998.
- [9] J.P. Berenger, "A perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetics Wave," Journal of Computational Physics, 114, pp.185-200, Jan. 1994 (平成 14 年 12 月 26 日受付, 15 年 3 月 12 日再受付)