

線路損失が波形に及ぼす影響

線路損失の周波数特性は、低い周波数では損失が小さく、高い周波数で損失が大きい、すなわち、一種のLPF(Low Pass Filter：低域通過フィルタ)である。

フィルタを通すと波形乱れが生じることがある。

以下を参照。

<https://www.macnica.co.jp/business/semiconductor/articles/basic/143655/>

本稿では、線路損失が伝送波形に及ぼす影響について述べる。

1. 周波数特性と時間応答

図1は、線長1mのときの線路の周波数特性を、2次のBessel LPFと比較して示した。

LPFは、低域はフラットで、カットオフ周波数から2次の場合、-12dB/octで周波数(対数)に対して、直線的に減衰する。

一方、損失線路は、低域から徐々に減衰し、その後は、LPFよりも急峻に減衰する。

図2は、損失線路の時間応答(ステップ応答)をLPFの応答と比較して示した。LPFが、短時間でフル振幅に達するのに対し、損失線路は、長い時間をかけてフル振幅に漸近する。

図2の時間軸の目盛は、0.4nsのキザミは、2.5Gbpsの1UI(Unit Interval)を想定している。立ち上がりから4ns、すなわち10UI経過してもなおフル振幅に漸近中である。

このことは、10UI前のデータが、なお現在のデータに影響を及ぼしている、すなわち、パターン依存性があることを意味する。

2. 波形歪み

フィルタを通過すると、一般に波形歪みが生じる。

パルス波形を忠実に伝送するには、位相はできるだけ周波数に対して線形である必要がある。この波形歪みを評価するために群遅延という尺度がある。

以下を参照のこと。

<https://www.macnica.co.jp/business/semiconductor/articles/basic/143315/>

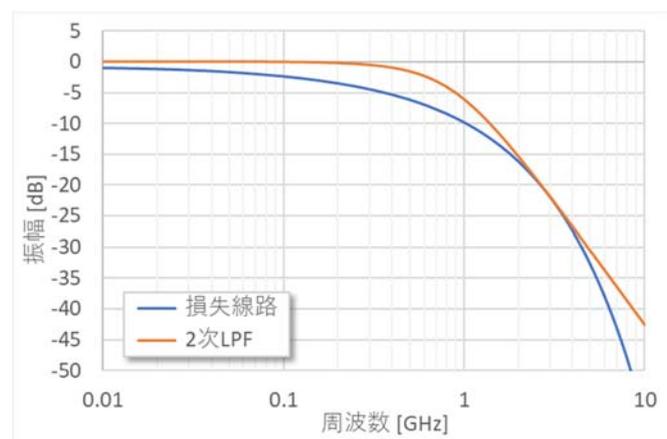


図1. 損失線路の周波数特性

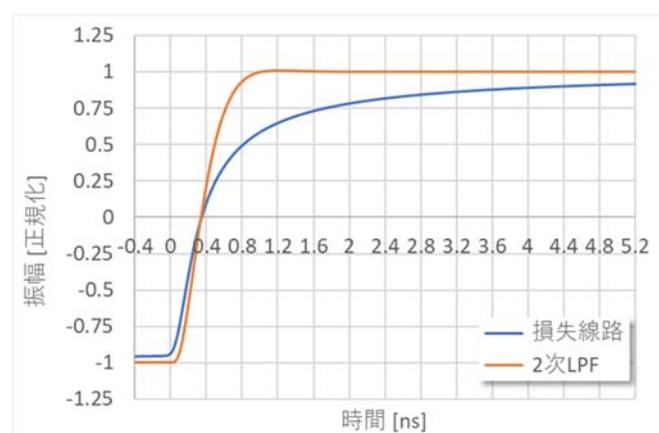


図2. 損失線路のステップ応答

図3は、損失線路の群遅延特性である。線路の遅延時間7.3ns付近で、低域はこれより遅延が大きく、高域

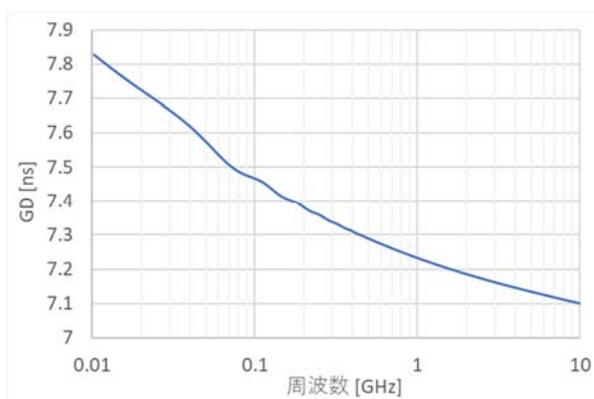


図3. 損失線路の群遅延

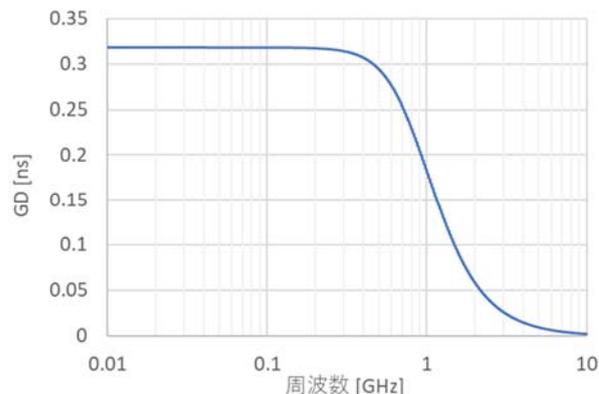


図4. ベッセルLPFの群遅延

で遅延が小さい周波数特性を有する。このことが、周波数特性も含めて、波形歪みに影響を与える。

図4には、ベッセルLPFの群遅延特性を示す。通過帯域でほぼ平坦であり、波形歪みが小さい。

3. 損失線路の波形の評価

周波数特性と波形歪みを含めて、波形を評価するために、ランダム(実際には疑似ランダム)信号を信号源として、その応答を求める。

図5は、その応答波形であり、以下の特徴を有する。

- ① 同じ論理が続くとフルスケールに近づく。
- ② 同じ論理が続いた直後の変化は、スレッシュホールド到達に時間を要する。
- ③ 同じデータパターンでも前の論理の影響が残る。

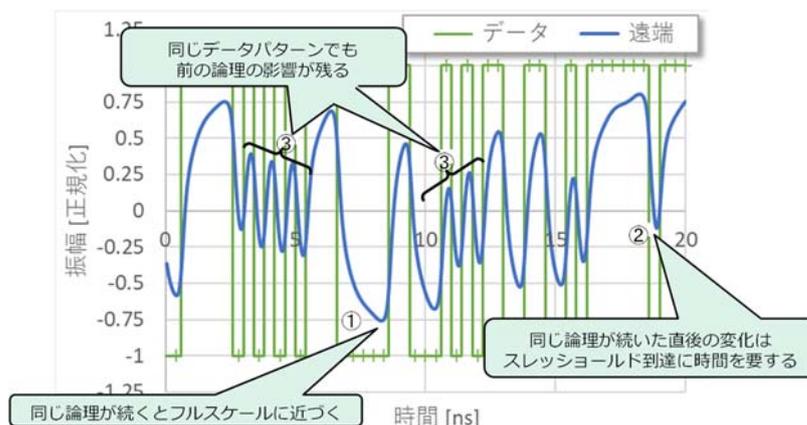


図5. 損失線路の伝送波形の特徴

これら进行评估するために、アイパターンが用いられる¹⁾。

図5の波形を、1 UI ごとに重ねて表示する。

図6(次ページ)は、その一例である。疑似ランダム信号は、255UIの周期のデータを用いた。

線路損失による波形歪みは、当然、損失が大きいほどその影響が大きい。すなわち、パターン幅が細い、誘電正接($\tan \delta$)が大きい、線長が長いなどである。

この影響を少なくするために、パターン幅を広くする→実装密度が下がる、 $\tan \delta$ の小さい材料を使用する→価格が高い、というどこかで妥協する必要が生じる。また、アイパターンを広くするための技術開発も行われている。これらについてはまた別の機会に述べることにする。

参考文献

1) 碓井 有三 “高速シリアル伝送の波形”,マクニカ, 碓井有三のスペシャリストコラム

<https://www.macnica.co.jp/business/semiconductor/articles/basic/113989/>

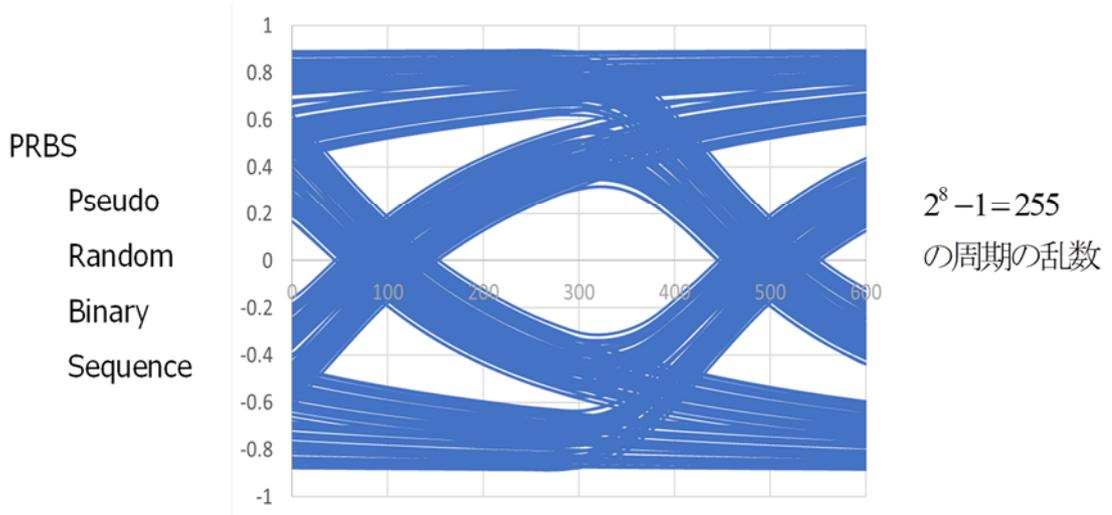
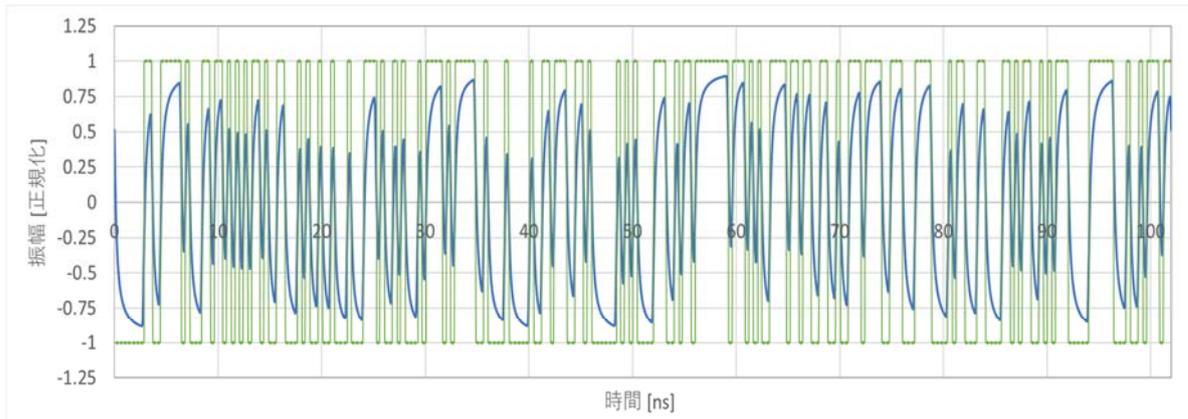


図 6. アイパターン