

1. 背景

近年、デジタル回路の高速化により、反射・減衰・クロストークなどに代表される電磁波的な現象を考慮した設計というものが必要性を増している。シミュレーション等のツールはあるものの、定性的な傾向やパラメータ間のトレードオフ関係を把握することは重要である。なぜなら、ツールを適切に活用するには上記に挙げた知見が必要であり、逆に知見がないままにやみくもにシミュレーションを行うことは非効率ともいえる。机上の計算による方法もあるものの限界があるため、実際の計測による基礎データの取得が望まれている。

このような背景のなか、本研究ではリンクサーキット様からの要望に基づき、評価基板を用いて高速デジタル回路基板設計に資する基礎データの取得を目的として計測および解析を行った。

2. 評価対象および方法

2-1 評価基板の概要

以下に示す2種類の基板について評価を行った。以降、図の上側を CROSS 基板、下側を SBS 基板と呼ぶ。CROSS 基板の層間絶縁層の厚さが 0.1mm のものは、“CROSS_0.1” と名付け、1~7 までのパターン中、1~4 までは層間クロスポイントの影響を調べ、5~7 までは信号に対するメッシュ GND の影響を調べる。SBS 基板で、同様に層間絶縁層の厚さが 0.1mm のものは、“SBS_0.1” と名付け、1~7 までのパターン中、1~4 までは層間並行クロストークの影響を調べ、5~7 までは電源インピーダンスに対するメッシュ GND の影響を調べる。なお層間絶縁層の厚さが 0.2mm のものは、同様に “CROSS_0.2” , “SBS_0.2” と名付け、計 4 種類の評価基板を用いた。

また、便宜上、評価基板を A から D の 4 つのセクションに分けた。(図 2. 1)

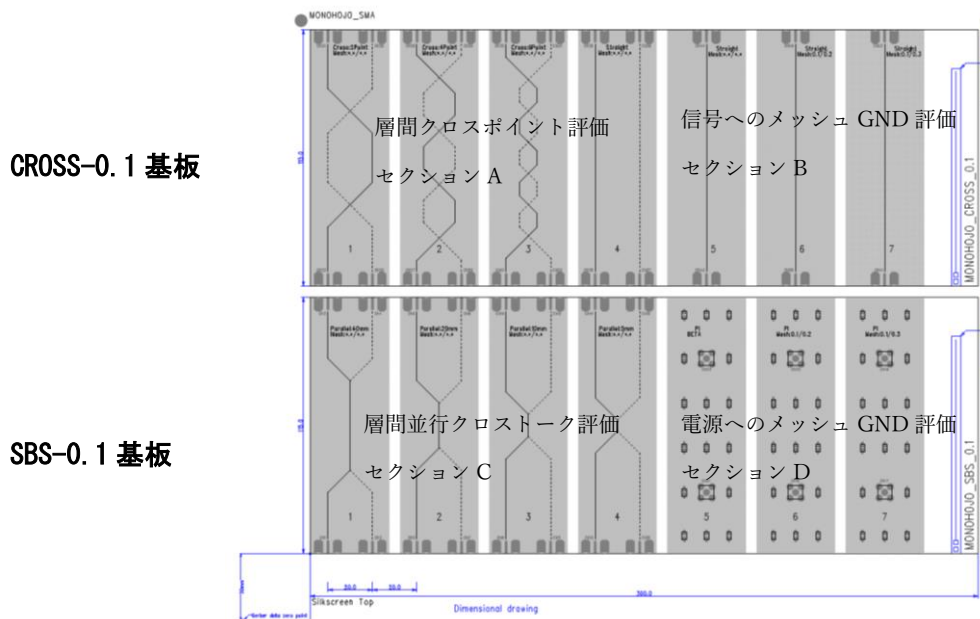
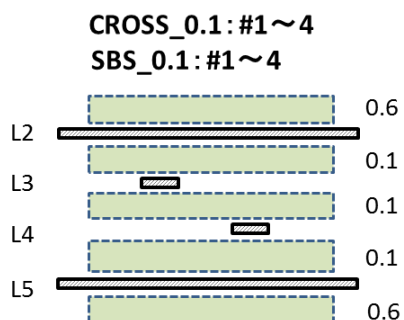


図 2. 1 評価基板

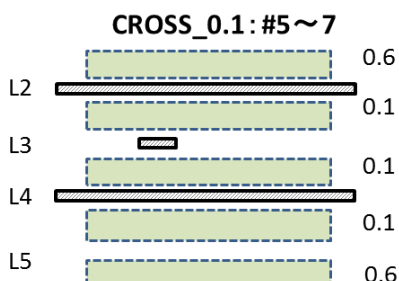
2-2 評価基板の層構成・寸法

評価基板は導体 6 層基板で作成しているが、L1、L6 層はどの場合も使っていない。また全体の層厚さは 1.6mm 程度となるように、表裏の絶縁層厚さで調整する。以下の絶縁層厚さ、メッシュ GND の数値の単位は mm である。

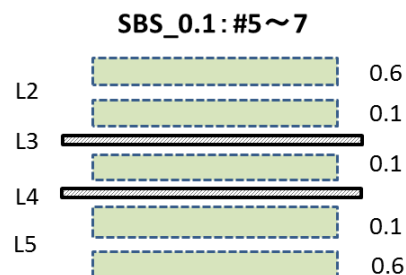
1) 絶縁層厚さ 0.1mm の層構成



信号線幅 : 0.14mm
#1~#4 : ベタ GND

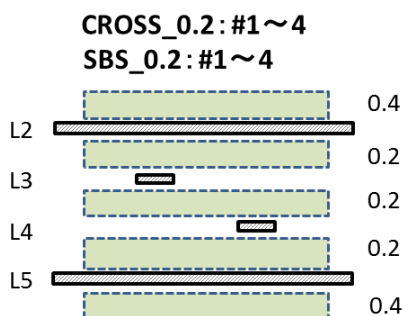


信号線幅 : 0.1mm
#5 : ベタ GND
#6 : メッシュ GND(0.1/0.2)
#7 : メッシュ GND(0.1/0.3)

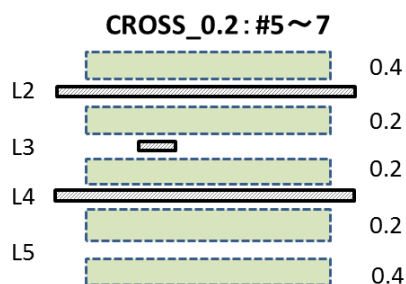


電源インピーダンス評価
#5 : ベタ GND
#6 : メッシュ GND(0.1/0.2)
#7 : メッシュ GND(0.1/0.4)

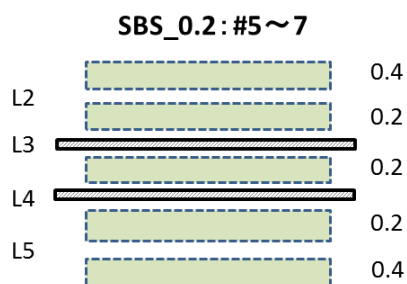
2) 絶縁層厚さ 0.2mm の層構成



信号線幅 : 0.265mm
#1~#4 : ベタ GND



信号線幅 : 0.17mm
#5 : ベタ GND
#6 : メッシュ GND(0.1/0.2)
#7 : メッシュ GND(0.1/0.3)



電源インピーダンス評価
#5 : ベタ GND
#6 : メッシュ GND(0.1/0.2)
#7 : メッシュ GND(0.1/0.4)

2-3 計測・評価方法

評価基板について、Sパラメータの計測を行った。計測器としてはベクトル型ネットワークアナライザ N5244A (Keysight 製) を用いた。周波数範囲は 10MHz から 20GHz まで、測定ポイント 2000 点、IF バンド幅 10kHz で行った。掃引タイプは基本的にはリニアに設定し、電源インピーダンスの評価のときには対数設定にて行った。Sパラメータからタイムドメインへの変換には、計測器に実装されている TDR 変換機能を用いたが、ジッタ評価の際には逆離散フーリエ変換を用いた。

以降、本文では、図2. 1のとおり、異なる層にある信号線が上から見たときに交差する回路パターンを層間クロスポイントと呼ぶ。同様に信号線が並行しているパターンを層間並行クロストークとよぶ。

以下に層間クロスポイント、層間並行クロストークの特性インピーダンスおよびジッタへの影響、メッシュ GND 面の信号伝送損失(S21)および電源インピーダンスへの影響について計測・評価をおこなった結果を示す。

3. 結果

3-1. 層間クロスポイント、層間並行クロストークの特性インピーダンスへの影響

評価基板のセクションAについて、層間クロスポイントの影響をTDR特性として測定した(図3.1)。

- ・基準インピーダンスの50Ωに対して、信号直線パターンは低くて49Ωである。
- ・クロスポイントにより特性インピーダンスの変動は、2点交差、層厚0.2mmのインピーダンスが、他と比べて低めになっている以外は、配線部分は±10%内に収まっている。
- ・コネクタ部の特性インピーダンスは±10%を越える値を示すものがある。

次に、評価基板のセクションCについて、層間並行クロストークの影響をTDR特性で調べた(図3.2)。

- ・層間並行配線部の特性インピーダンスへの影響が矩形状に観測され、層間クロスポイントより大きい。並行配線20mm、層間絶縁層0.2mmの特性を除けば、特性インピーダンスとしては±10%内に入っていることが分かった。

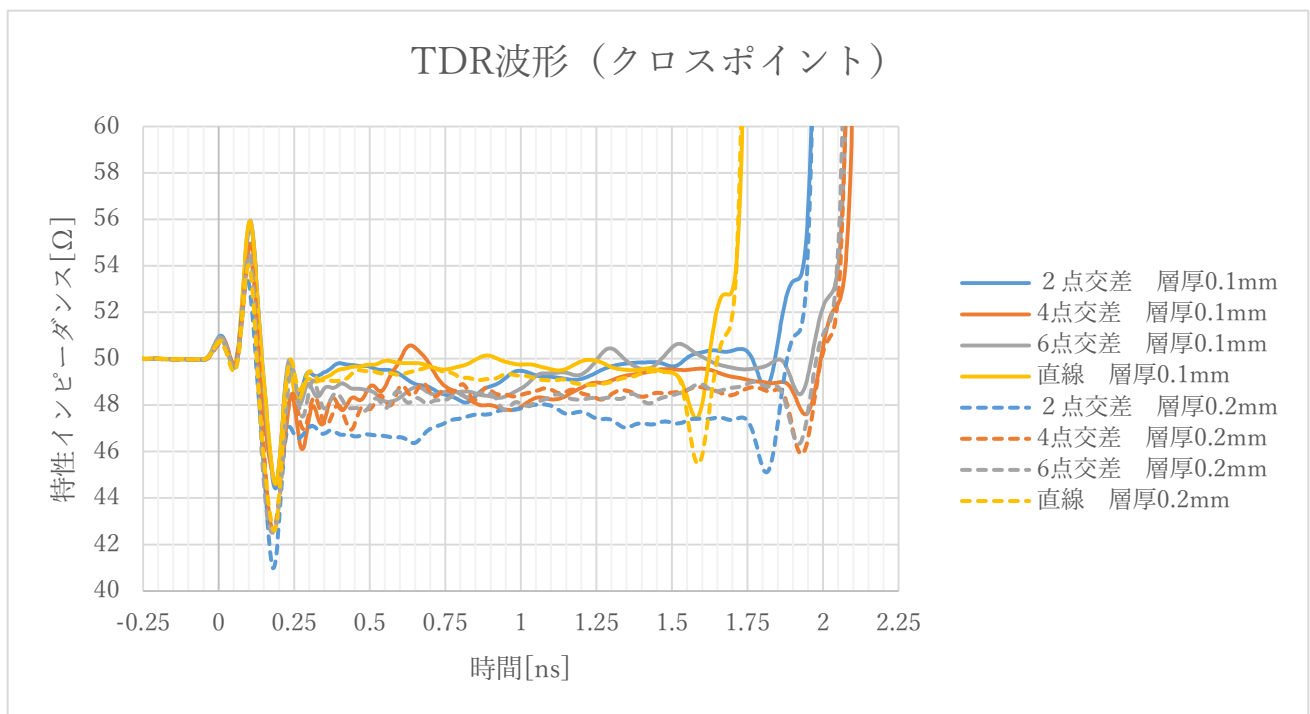


図3.1 層間クロスポイントの影響

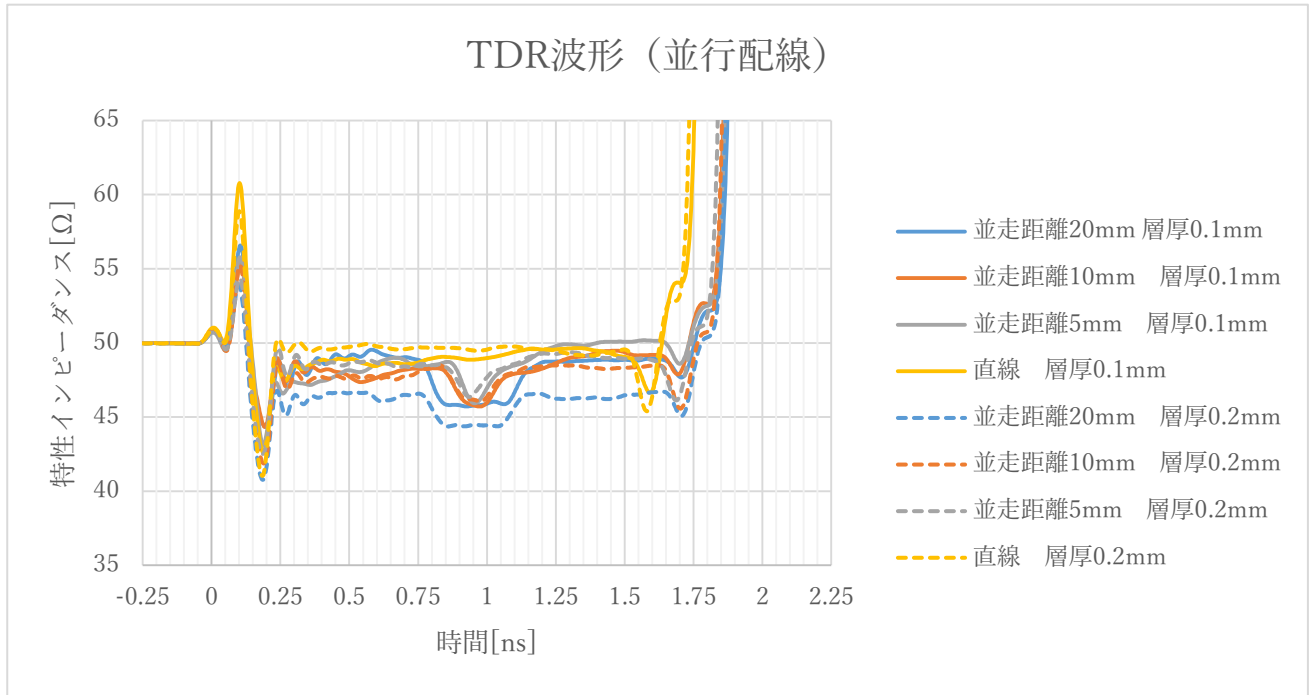


図 3. 2 層間並行配線の影響

3-2. 層間クロスポイント、層間並行クロストークのジッタへの影響

層間クロスポイント、層間並行クロストークが、同相、逆相の信号パルスの立上りへの影響を調べた。それぞれの励振条件に対する S パラを逆フーリエ変換して得られた信号パルス波形の立上がり 50% 振幅を切る時間をジッタ特性としてまとめたものが、図 3.3、図 3.4 である。

- ・クロスポイント数が増えるとジッタの増大につながり、また層間並行配線長が長くなるとジッタ増大につながる事が分かった。

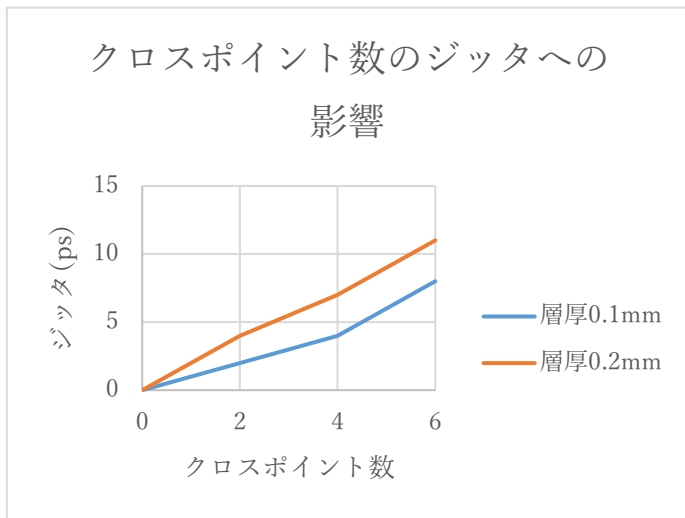


図 3. 3 クロスポイントのジッタへの影響

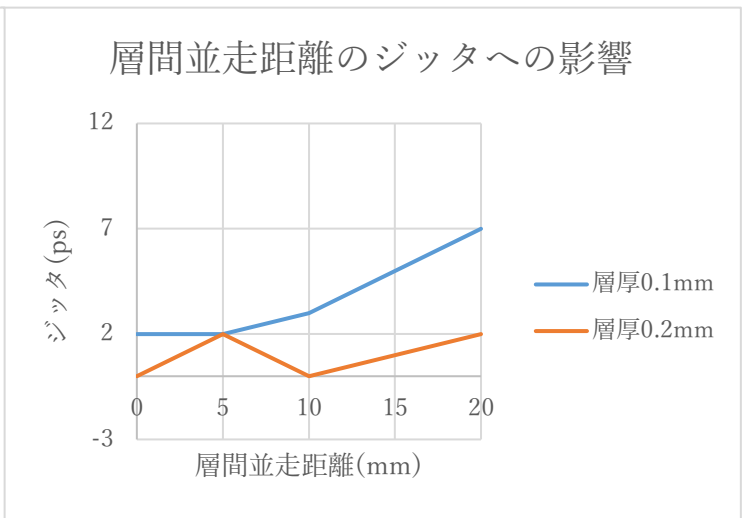


図 3. 4 層間並行配線のジッタへの影響

3-3. メッシュ GND 面の信号伝送損失(S21)への影響

評価基板のセクション B の配線長は約 120mm であるが、メッシュ GND 面が信号損失に与える影響を測定した。図 3.5 は 20GHz までの S21 特性を示す。また図 3.6 は 6GHz までの領域を拡大したものである。

- ・ベタ GND 面はメッシュ GND 面より信号損失は少なく、メッシュの残銅率が小さくなるにつれて信号損失は大きい傾向を示すことが分かった。(図 3.6)
- ・層間絶縁層の厚さ 0.1mm と 0.2mm を比べると、層間絶縁層の厚さ 0.2mm の方が信号配線幅が 0.17mm と広いため、導体損失が少なくなることが判明した。(層間 0.1mm の信号配線幅は 0.1mm)
- ・12~18GHz の帯域に、ビアのオープンスタブ共振によると推定される減衰極が生じ、信号の高調波を劣化させる要因となる。層間絶縁層の厚さ 0.2mm の方が減衰極周波数が高い。(図 3.5)

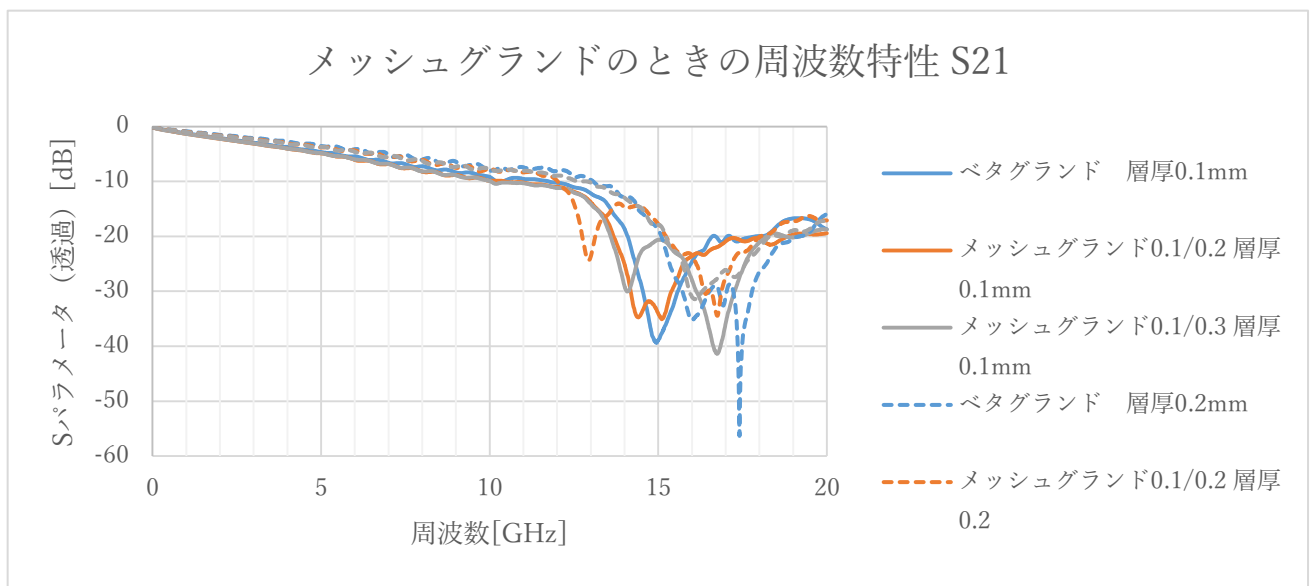


図 3.5 メッシュ GND 面の信号損失への影響

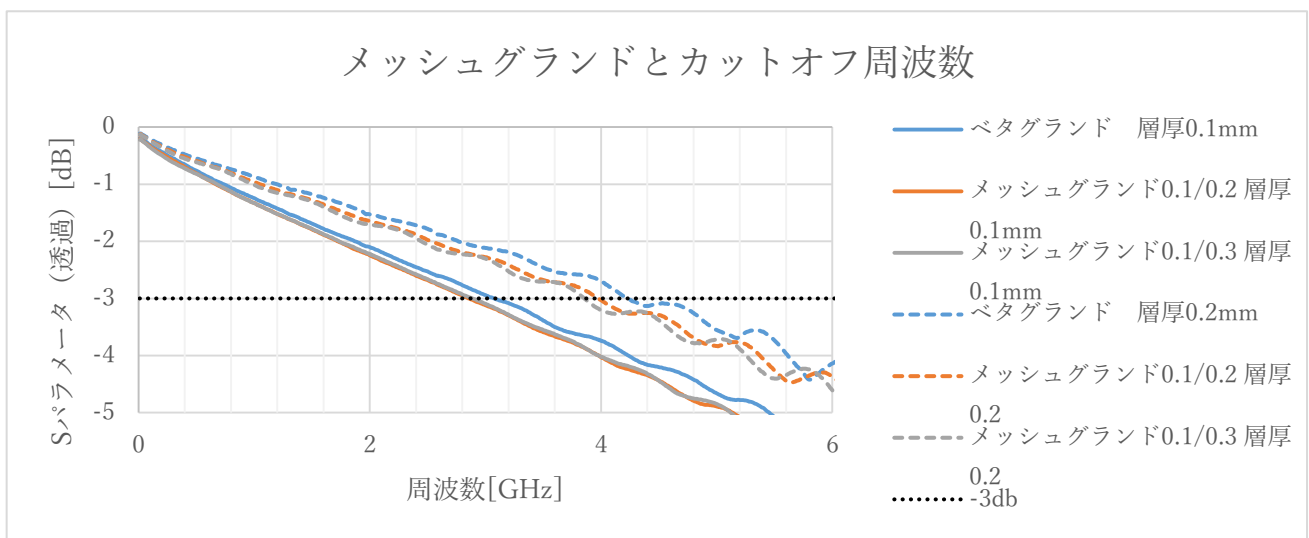


図 3.6 6GHz までの拡大図

3-4. メッシュ GND 面の電源インピーダンスへの影響

メッシュ GND 面が電源インピーダンスに及ぼす影響を評価するために、評価基板のセクション D について S11 特性を測定し、その結果を Z11 に変換した結果を図 3.7 に示す。

- ・ 100MHz 近傍に電源面の自己共振によるインピーダンスが低下が見られる。その周波数以下では右下がり特性で容量性を示し、層間絶縁層が薄くなるほど、またメッシュ GND 面の残銅率が大きくなるほど、インピーダンスは低くなる傾向を示す。
- ・ 7GHz 以上では、基板面自体の膜共振と想定される共振が生じていると考えられる。

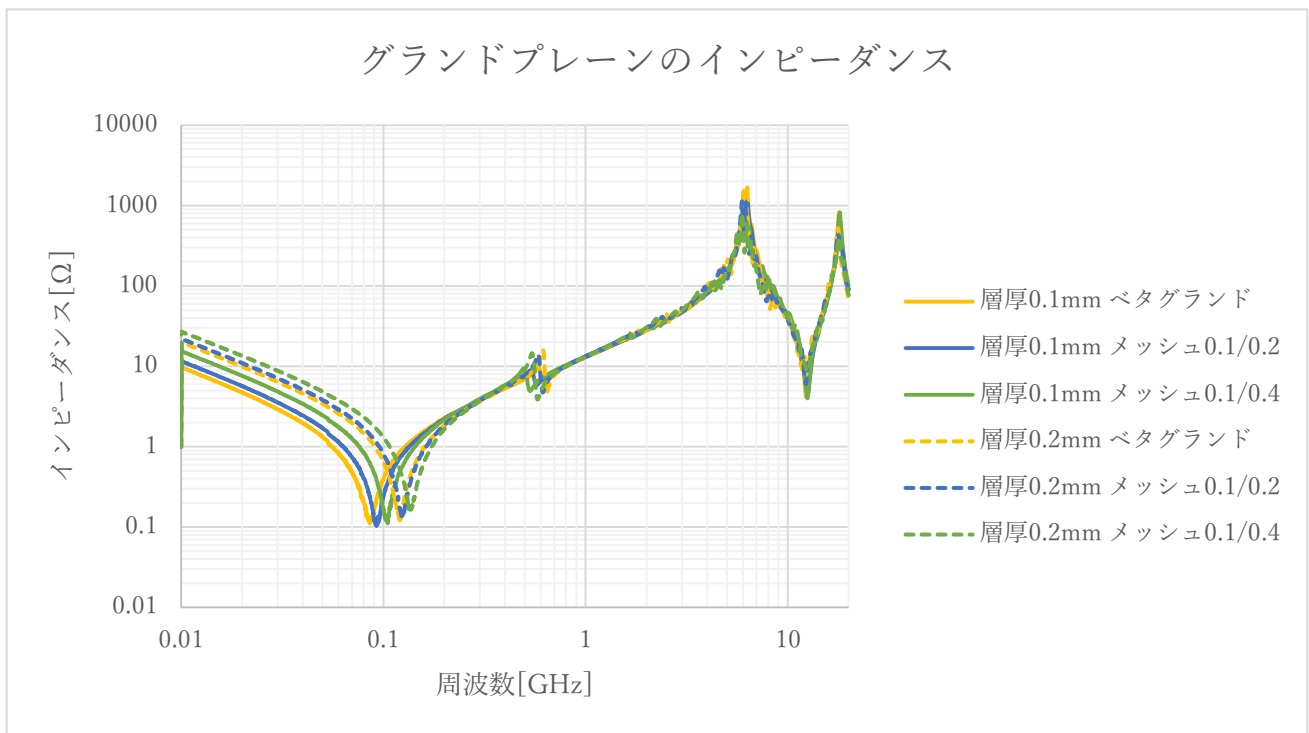


図 3.7 電源インピーダンス (Z11)