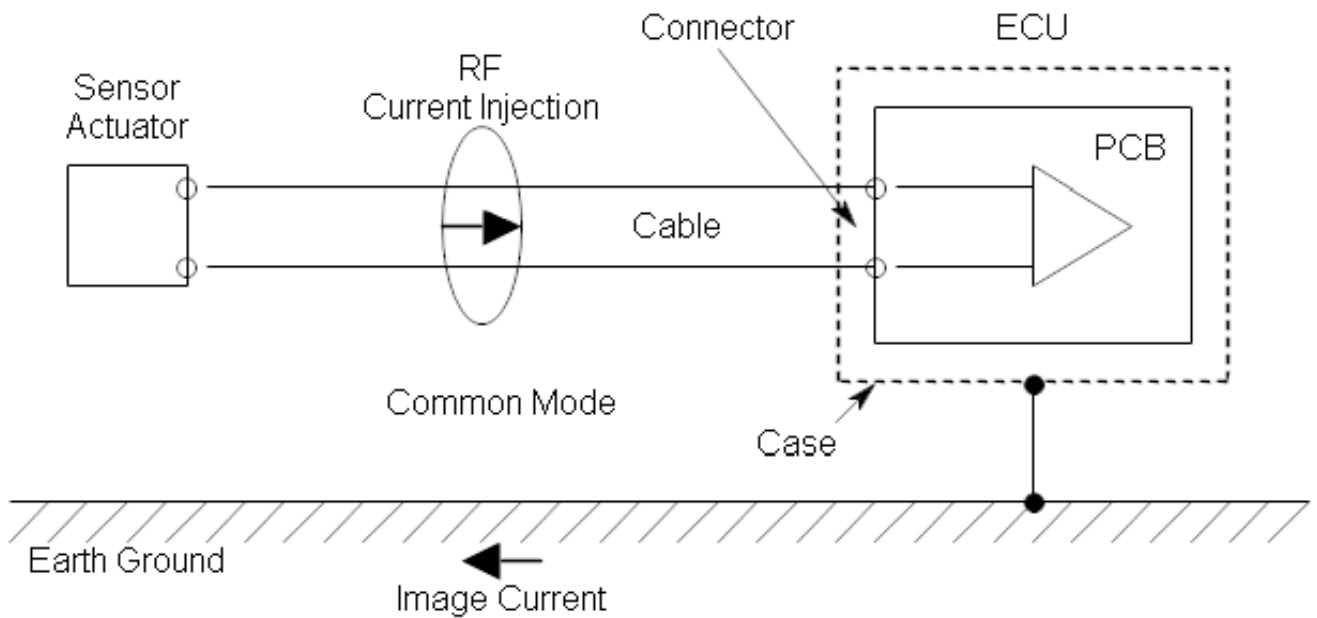


## 2. コモンモードノーマルモード変換

EMC設計を高周波技術者から見た場合、システムへの妨害波の侵入をいわゆるコモンモード妨害波ととらえ、侵入経路を構成する電磁氣的構造(ケーブル・コネクタ・PCB・筐体等)の各部分の伝達関数に起因するコモンモードノーマルモード変換を考察することが理解の早道と思います。

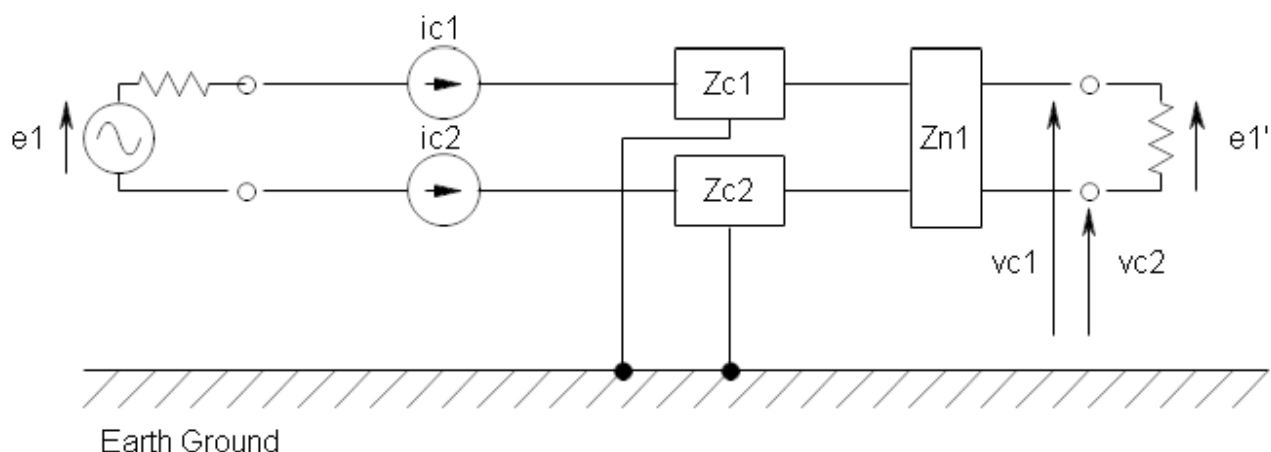
### 2-1 BCI試験概略レイアウト図



→上記レイアウト図においてECUとセンサー、アクチュエータを結ぶケーブルハーネスの中間から高周波電力を注入。

→高周波注入電力はECU側に伝達され妨害波としてセンシングICの入力端に現れる。

## 2-2 BCI試験概略伝送回路図



→アースグラウンドに対してコモンモードインピーダンス $Z_{c1} \cdot Z_{c2}$ が無ければ注入電力による $e_1'$ への影響は零 ( $vc_1 - vc_2 = 0$ ) となり妨害は無い。

→アースグラウンドに対してコモンモードインピーダンス $Z_{c1} \cdot Z_{c2}$ があっても両インピーダンスが等しければ ( $Z_{c1} = Z_{c2}$ ) 注入電力による $e_1'$ への影響は零 ( $vc_1 - vc_2 = 0$ ) となり妨害は無い。

→ $Z_{c1} \neq Z_{c2}$ の時 $vc_1 - vc_2 \neq 0$ となりコモンモードノーマルモード変換電圧がノーマルモード電圧の重畳し妨害が生じる。

注記: 電圧・電流・インピーダンスは全てベクトル値  
 $Z_{c1} \cdot Z_{c2} \cdot Z_{n1}$ は4端子マトリックス値

## 2-3 コモンモードノーマルモード変換が生じる回路部位

前記の様にシステム中の各信号ライン、アクチュエータラインに生じるコモンモードノーマルモード変換をもたらすコモンモードインピーダンスの不揃いを考察し除去すれば注入電力による妨害は防止できます。

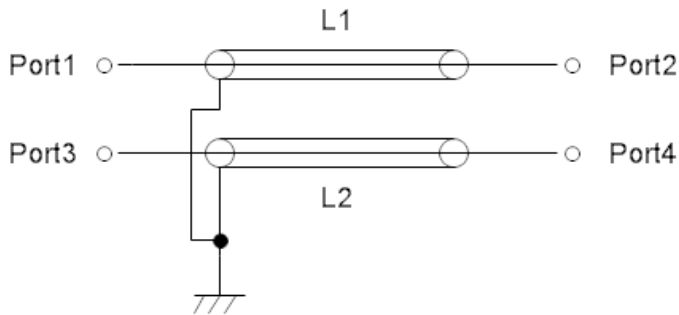
但し、インピーダンスの不揃いを考察することはシステムの機構も含めた電磁的な検討が必要となりますので電磁シミュレータを用いて現象を可視化することが重要と考えます。経験的にコモンモードノーマルモード変換が起きやすい部位は

- ・ケーブル
- ・ECU入力コネクタ部・フィルタ部
- ・PCB設計(パターンレイアウト・部品選定・部品配置)
- ・筐体(ケース)

等がありますが各部位の設計の勘どころを今後考察します。

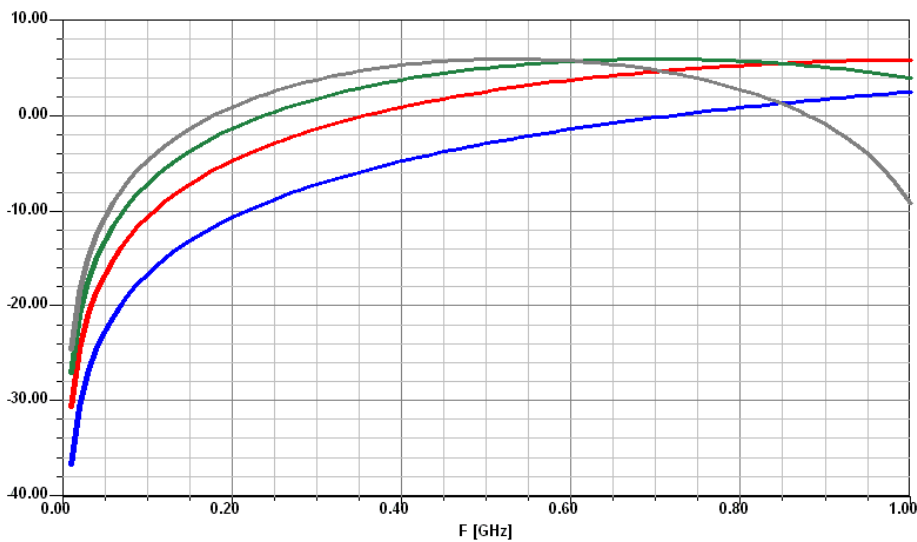
## 2-4 ケーブル長の不揃いによるコモンモードノーマルモード変換シミュレーション例

下記のシミュレーション例は、5mのケーブルハーネス中にある信号線と信号リターン線(グラウンド線)の線長に若干の不揃いがあった場合のコモンモードノーマルモード変換の様子をシミュレーションした例です。ケーブルデータは下記に示します。



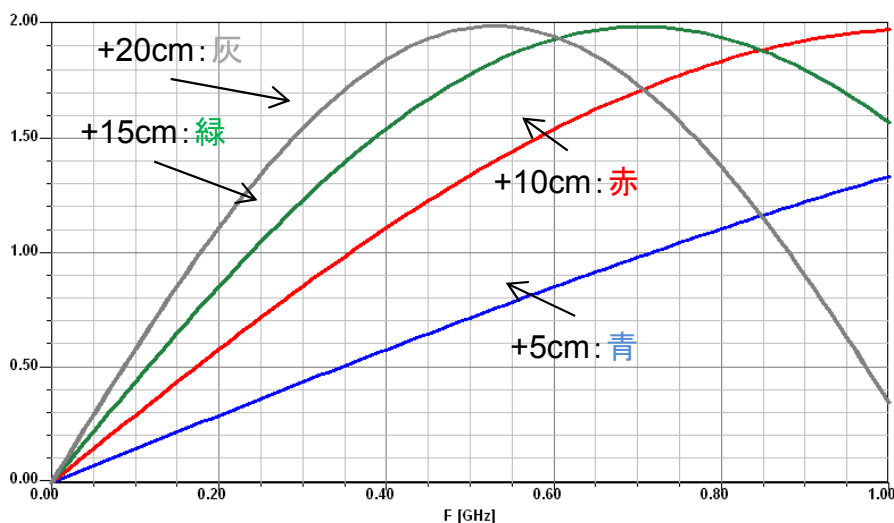
Cable  
 $Z_0=200+j0$   
 $L_1=5\text{m}$   
 $L_2=5\text{m}+ 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}, 20\text{cm}$

### コモンモードノーマルモード変換(dB表示)



- ・ケーブル長の不揃いにより大きなコモンモードノーマルモード変換が生じる。
- ・変換電圧は入力電圧の零倍から2倍(位相差 $180^\circ$ )
- ・全長5mに対して5cm程度の差異(1%)でも1GHzで0dB以上となるので注意が必要。

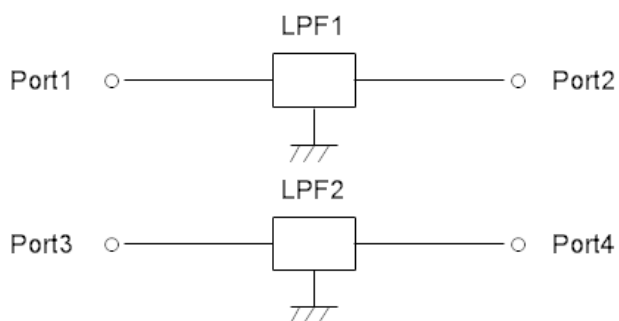
### コモンモードノーマルモード変換(直線表示)



- ・重要シグナルにはツイストペア線やフラットケーブルの様に全長差異のばらつきを最小にする必要がある。

## 2-5 LPFの不揃いによるコモンモードノーマルモード変換シミュレーション例

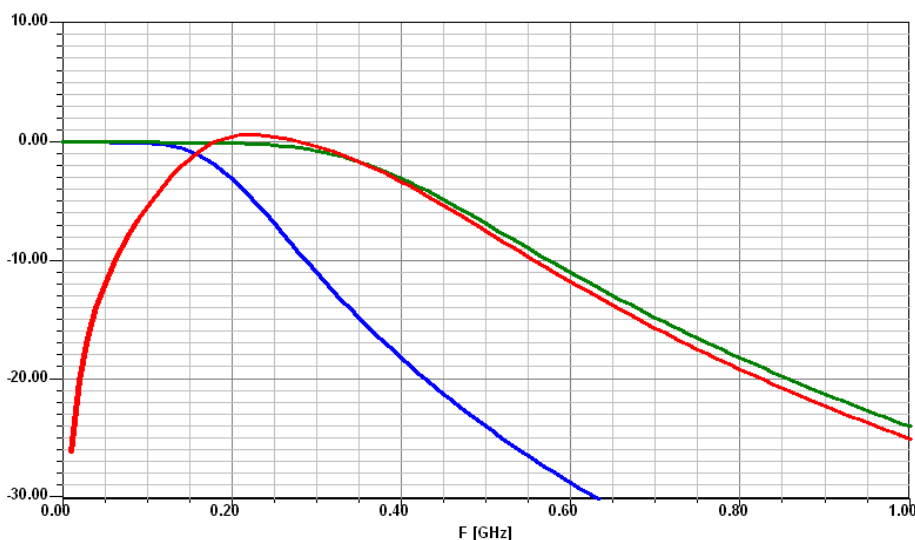
下記のシミュレーション例は、ECU回路中の信号線と信号リターン線(グラウンド線)にそれぞれ特性の異なるLPF(ローパスフィルター)を挿入した時のコモンモードノーマルモード変換の発生をシミュレーションした例です。



LPF1  
Fc=200MHz  
3 Order  
Maximum Flat  
Zo=50+j0 Ω

LPF2  
Fc=400MHz  
Maximum Flat  
Zo=50+j0 Ω

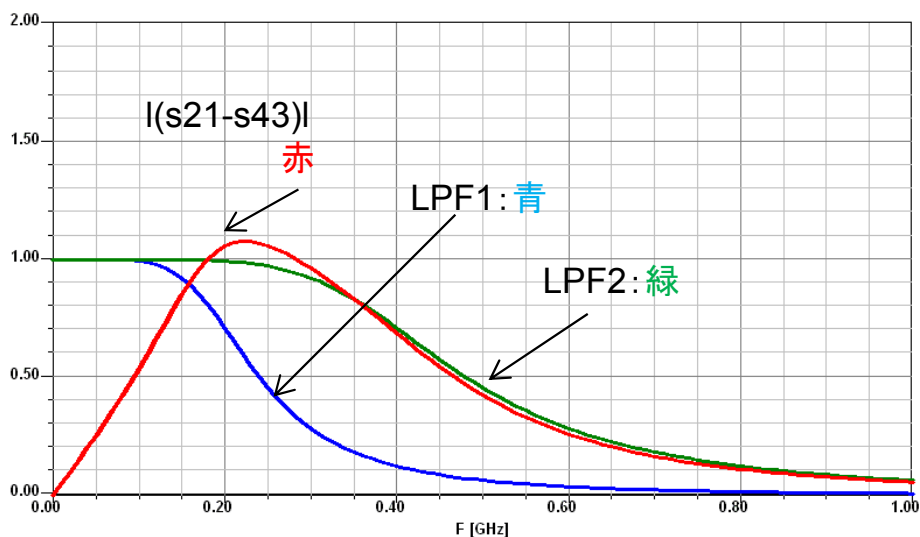
### コモンモードノーマルモード変換(dB表示)



・LPF1特性の肩の部分で位相回転が大きくこの例では200MHz付近でノーマモード変換電圧が最大となる。

・コモンモードノイズ除去フィルター特性は揃えなければならない。

### コモンモードノーマルモード変換(直線表示)



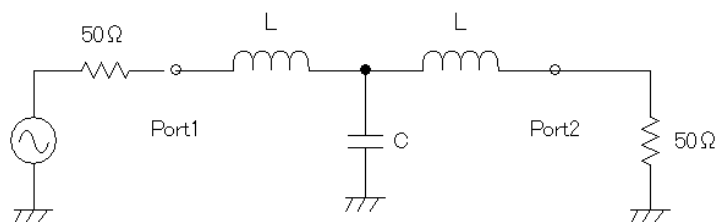
## 2-6 理想フィルターと実現フィルターとの特性差異のシミュレーション例

遮断周波数が200MHzで設計した理想フィルター特性と実際にPCB上に実装した時の特性の差異をシミュレーションした例です。

### 3<sup>rd</sup> LPF

Simulated by Ansoft Designer

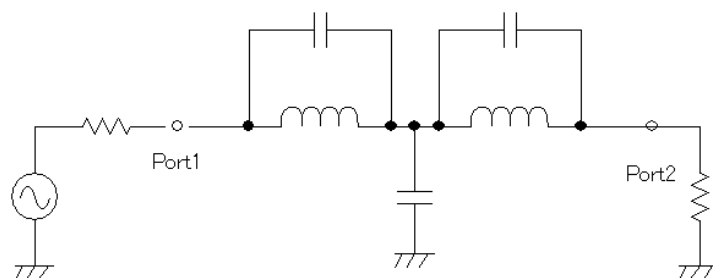
L=39.6nH  
C=31.7pF  
3rd Maximum Flat



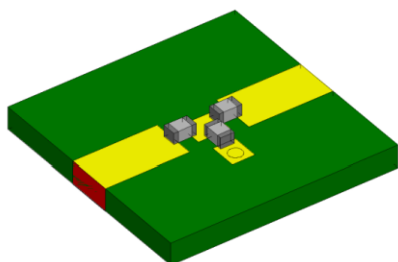
### 3<sup>rd</sup> LPF (インダクタ自己共振考慮)

Simulated by Ansoft Designer

寄生容量  
(0.15pF)



### 3<sup>rd</sup> LPF (PCB、部品構造考慮)



PCB:  
FR4 t=1.0mm 5 × 5mm  
Z0=50Ω  
Simulated by HFSS

・PCB条件を加味すると1GHz以上の帯域で理想フィルタ特性との差異が生じる。

・差異の原因はPCB入出力パターンの電磁構造による結合。

・電磁結合の大きさはパターン・周囲構造の機械設計条件に大きく依存する。

- ーパターン長
- ー入出力パターン方向
- ー周辺パターン結合
- ー周辺GNDパターン、シャシ

### 周波数特性シミュレーション結果

