

# C-5

## コモンモード変換の原因と測定



神林 一郎

**Tektronix**<sup>®</sup>

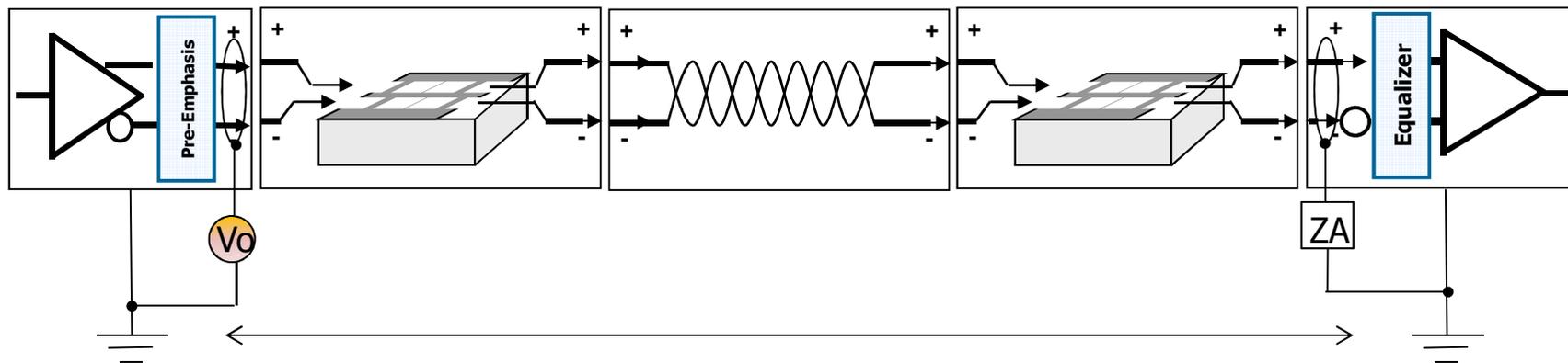
**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

## セミナー内容

- 伝送モードの分類
- 結合2本線路
- 結合2本線路の伝搬モード
- 電流配分率
- ノーマルモード、コモンモード放射
- モード変換
- 変換係数
- コモン電流の発生
- 結合2本線路の平衡度
- 事例紹介

# 信号伝送路の信号伝搬経路に着目したEMI対策

- 極性の異なる平衡2線を複数用いて高速信号を伝搬させることが主流
- 伝送線路設計者は伝送線路のレイアウトに重点を置くことが一般的
- 伝送線路の電流帰還経路にも目を配り、伝送線路で伝搬された電流は受信端から何れの経路で送信側へ戻るのかという事にも着目することが必要
- 伝搬モードの定義、モード変換の理解、電流帰還経路の違いによる影響を理解してEMIの対策をする



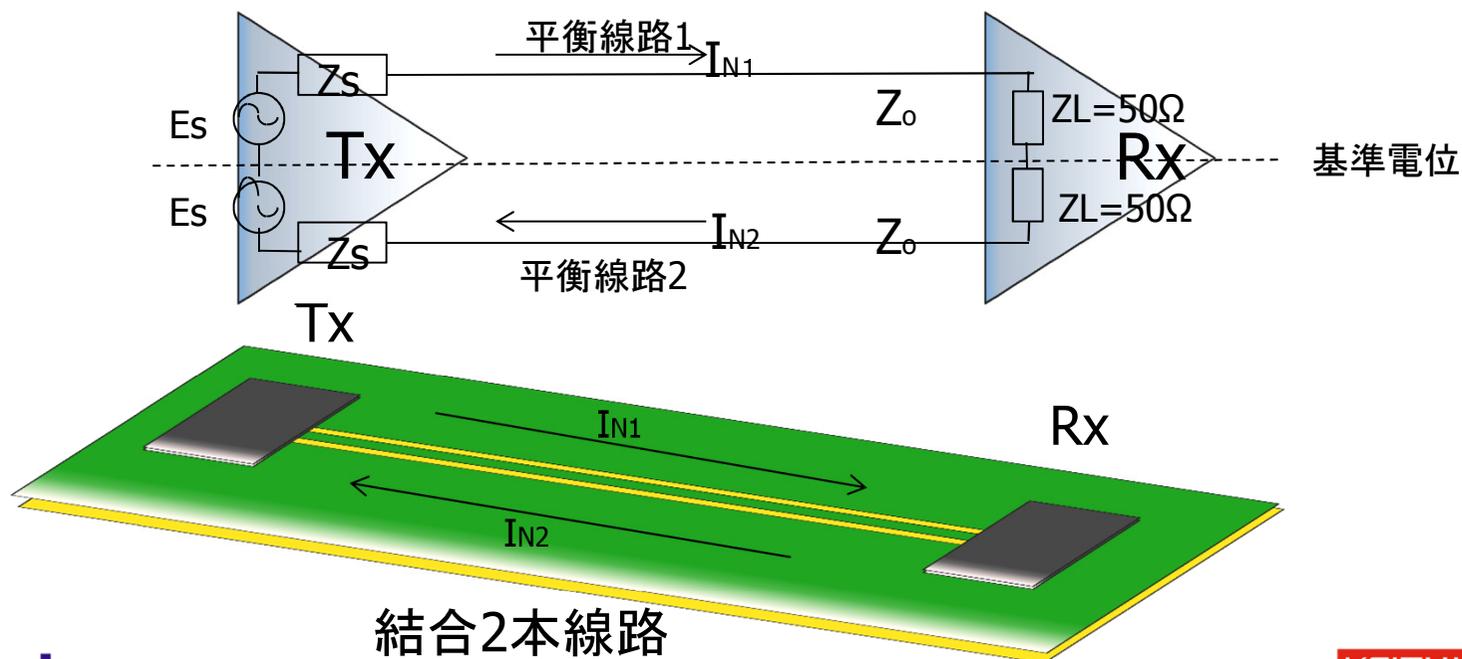
## 帰還電流の経路による伝送モードの分類

- 大地を帰還経路とする伝送方式 (unbalanced mode )
  - 帰還電流がGND層を流れて戻る
  - EMC分野では**コモンモード伝送**として扱う
  - 伝送回路分野では**不平衡伝送、同相伝送、Evenモード**と呼ばれる
  - 伝送線路と大地からの距離が伝送波長よりも同程度に長い場合には、電磁放射の問題が起きる。外来雑音の影響も受けやすい
  
- 平衡線路を帰還経路とする伝送方式 ( balanced mode )
  - 帰還電流は対極する平衡線路を流れて戻る
  - EMC分野では**ノーマルモード伝送、ディファレンシャルモード伝送**として扱う
  - 伝送回路分野では**平衡伝送、差動伝送、Oddモード**と呼ばれる
  - 理想平衡線路であれば電磁放射の抑制、外来ノイズからの耐性を持つ

## 結合2本線路

### ■ 結合2本線路の構造

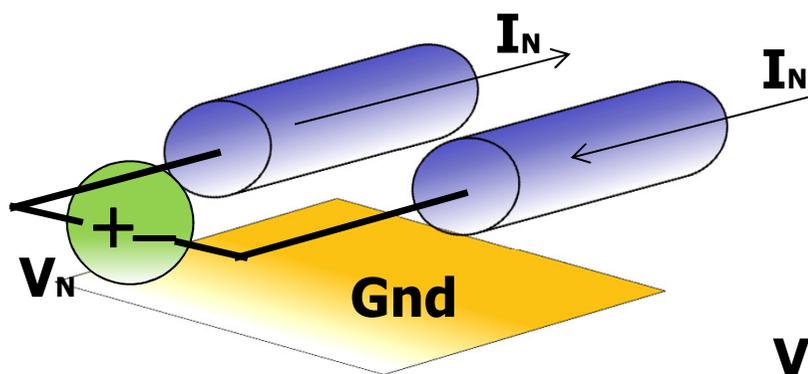
- 広いGND層の上に誘電体を挟んで2本の信号が近接して配置されている
- 近接した配置をさせているために結合線路と扱います
- 伝送路を扱う分野では結合2本線路は差動伝送路として扱います
- Txが電圧 $V_b$ で差動結合2本線路を駆動させている状態でTx側からRx方向へ流れる電流を見ることを想定します。
- 差動電流  $I_{toal} = I_{N1} - I_{N2}$



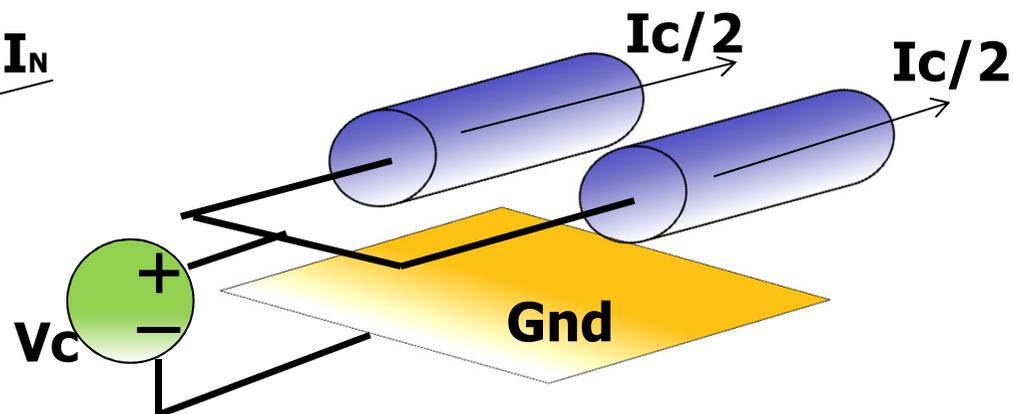
## 結合2本線路の伝搬モード

### ■ 2種類の伝搬モード

- 結合2本線路には2種類の伝搬モードが存在します。
- Tx信号電源が(a)の駆動をした場合を平衡モード伝搬とよび
- Tx信号電源が(b)の駆動をした場合を不平衡モード伝搬とよびます
- 不平衡モードにて伝搬した電流をコモンモード電流とよびます



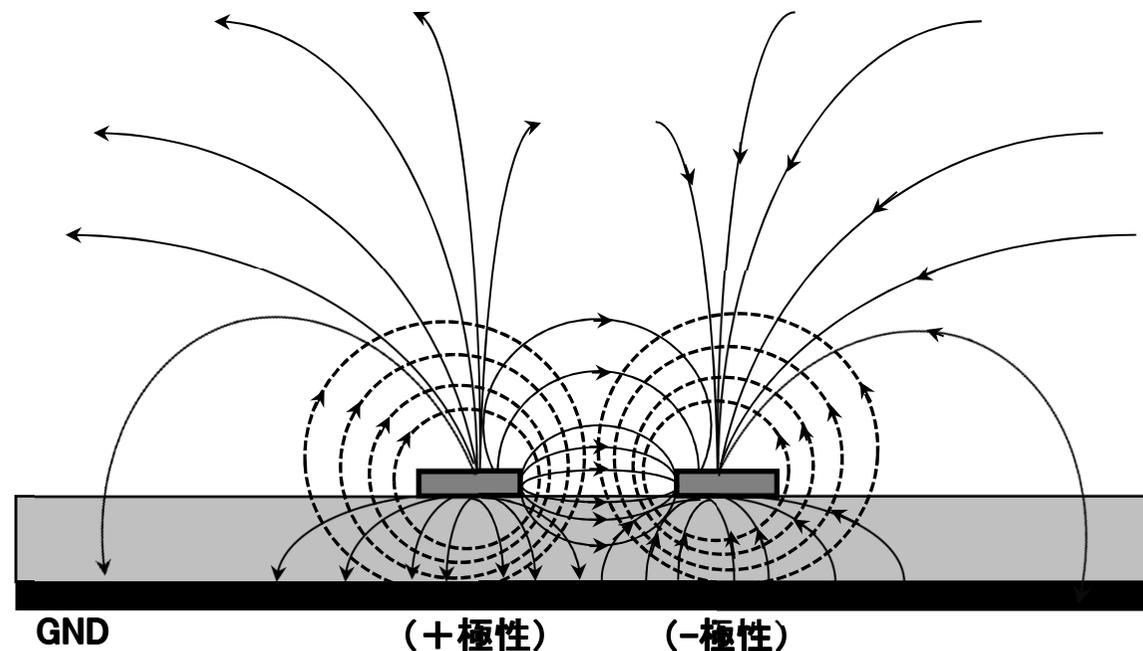
(a)平衡モード伝搬



(b)不平衡モード伝搬

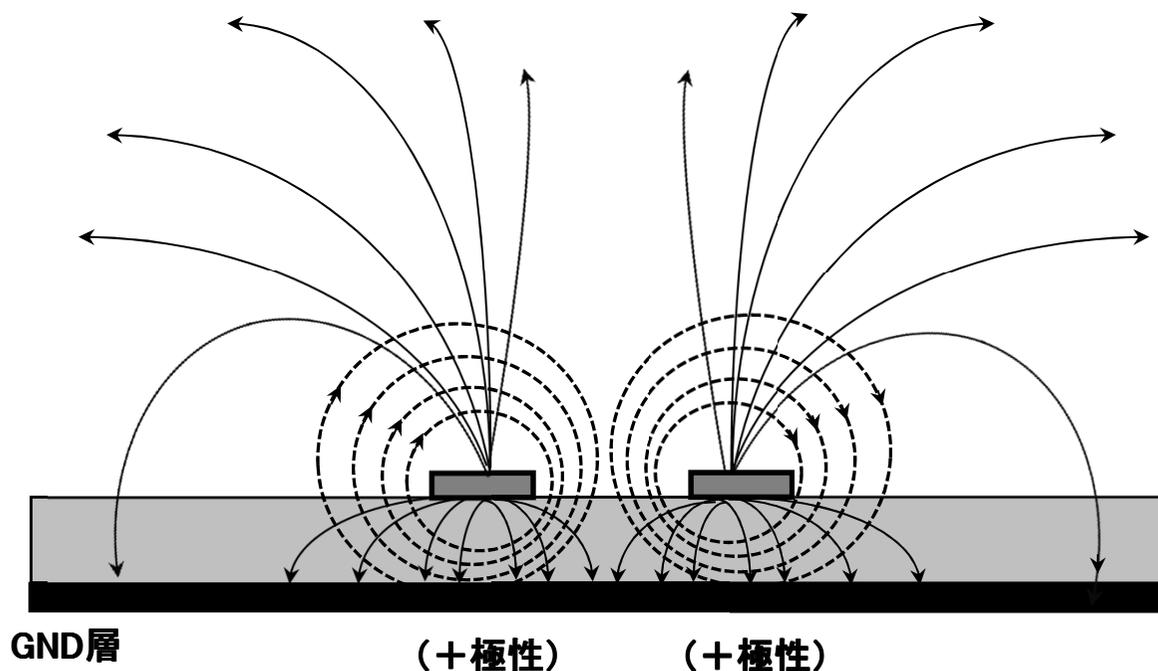
## 平衡モード電磁界分布

- 結合2本線路(平衡モード)の電界、磁界分布
  - 電流配分率が50%ずつであれば均等な磁界分布を示す
  - 電流の大きさが等しく逆位相の電流が2線に流れる
  - 磁界方向が逆に分布するために打ち消す方向になる
  - 線間結合状態であれば線間中心位置に仮想GND点を作る
  - 帰還電流は平衡する他一方のラインで帰還



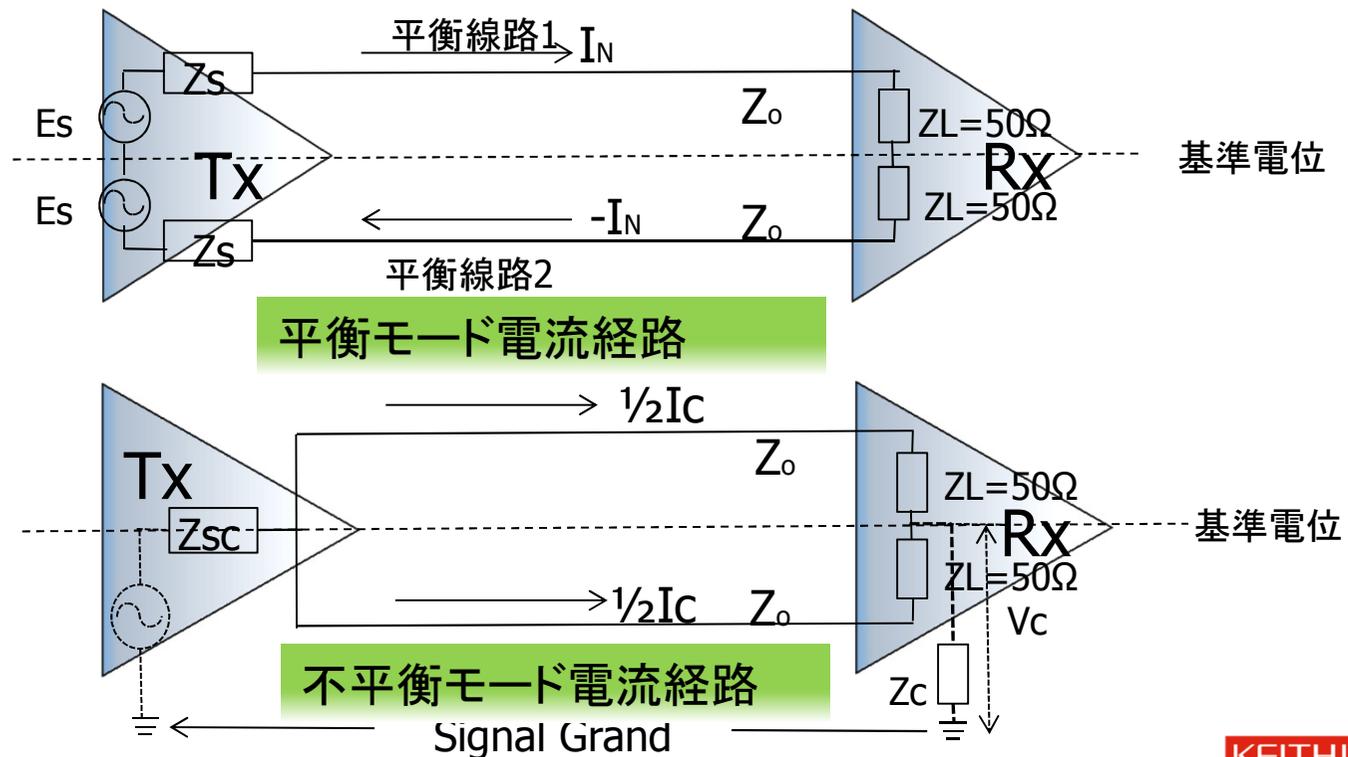
## 不平衡モード電磁界分布

- 結合2本線路(不平衡モード)の電界、磁界分布
  - 2線が完全に対称な物理的構造でなければ電流配分率が50%にならない
  - 電流分配が均等であれば、同位相の1/2の電流がそれぞれ2線に流れる
  - 不平衡伝搬モードの帰還電流はGND大地を帰還します



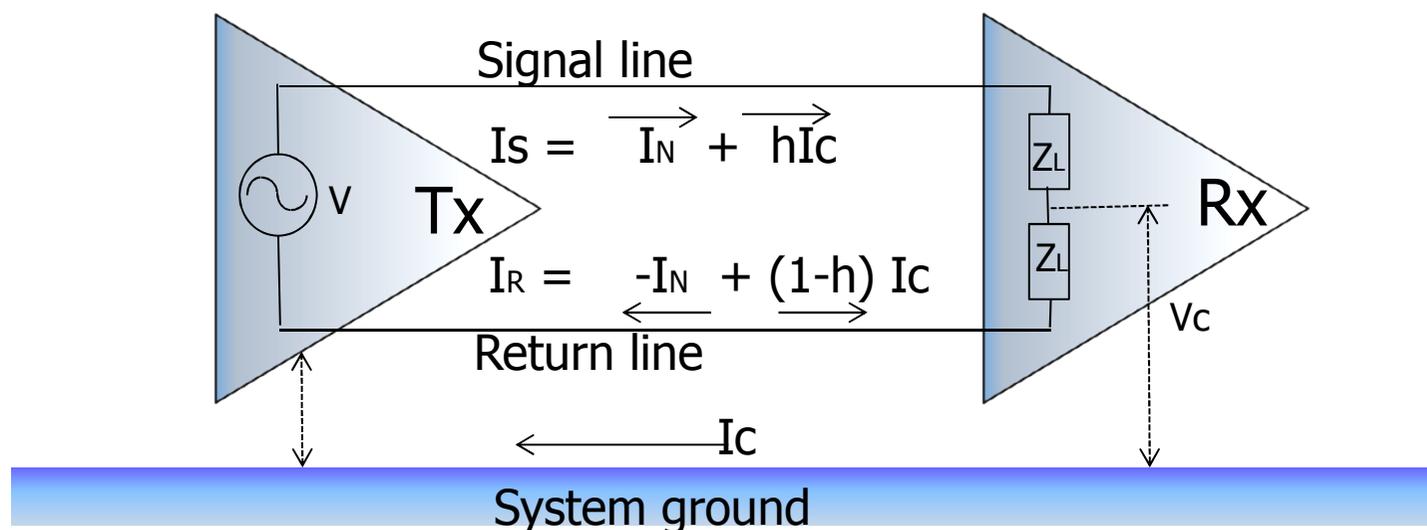
# 結合2本線路の電流経路

- 平衡モード、不平衡モードの電流経路の存在
  - 平衡モードの帰還電流は平衡線路を經由してTx信号源まで戻る。
  - 不平衡モードの帰還電流はGND大地を帰還する
  - 結合2本線路は2つのモードを同時に持つために平衡線路のそれぞれの電流は  
 平衡線路1の電流 ( I1 ) =  $I_N + (1/2)I_c$  ,  
 平衡線路2の電流 ( I2 ) =  $-I_N + (1/2)I_c$
  - 実際の伝送路は不平衡成分により不平衡電流分布は均等に分布しない



## 結合2本線路における電流配分率

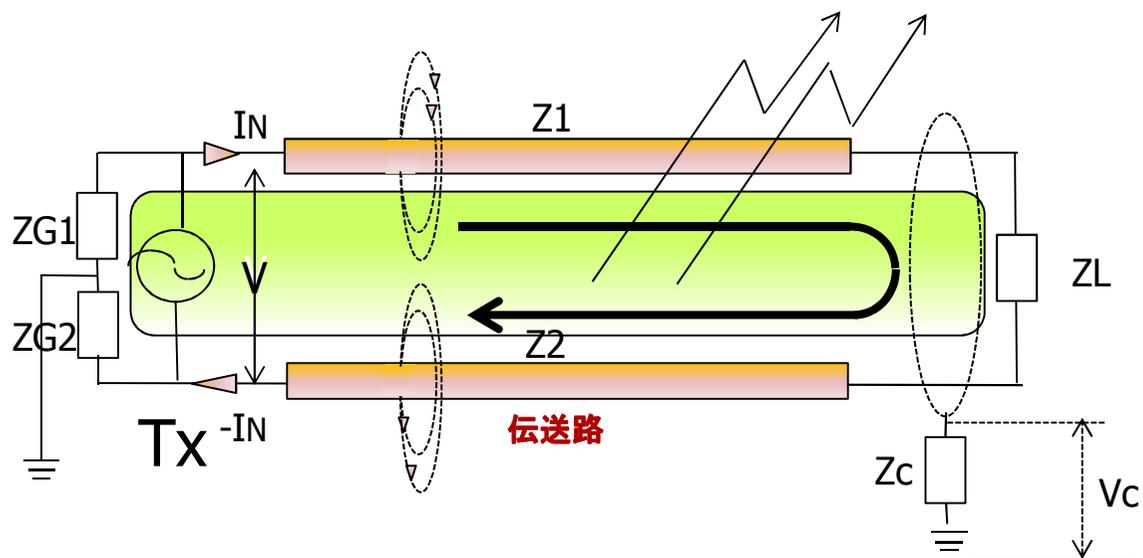
- 信号配線とリターン配線の不均一性により電流配分率が変化
  - 理想的な平衡モードでは不平衡モード電流が発生せず  $I_S = I_N = I_R$  となる
  - 信号配線とリターン配線は完全な対称ではないためコモンモード電流 ( $I_c$ ) は信号線とリターン線に均等配分されない
  - コモン電流の配分率を ( $h$ ) で表す。2線が対称性の場合には  $h=0.5$
  - 信号電流 ( $I_s$ ) =  $I_N$  (ノーマルモード電流) +  $h \cdot I_c$  (コモンモード電流)
  - 帰還電流 ( $I_R$ ) =  $-I_N$  (ノーマルモード電流) +  $(1-h) I_c$  (コモンモード電流)



## 平衡モード(ノーマルモード)放射

### ■ 平衡モード(ノーマルモード)の電流ループと放射

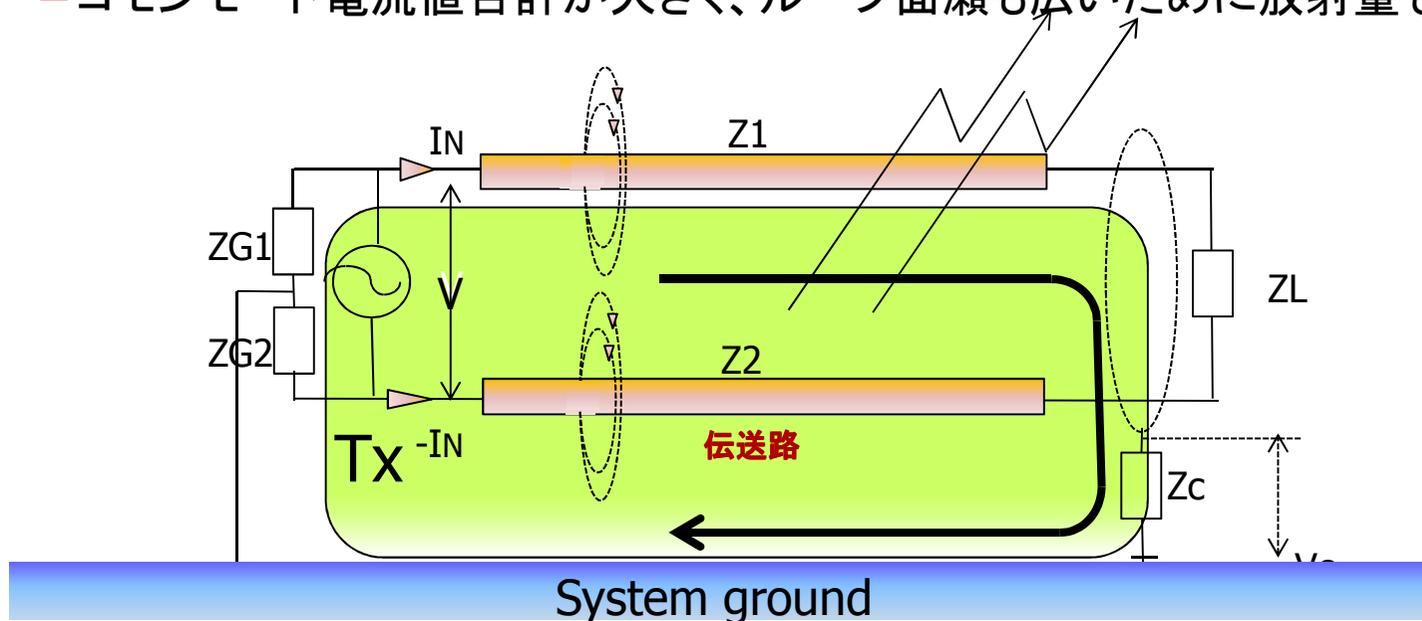
- 結合2本線路の信号電流であるノーマルモード電流 $I_N$ が負荷方向に流れる
- 帰還電流であるノーマルモード電流 $-I_N$ が信号源方向に流れる
- $I_N$ と $-I_N$ 電流により磁界方向の異なる磁界が発生するため打ち明けしあう
- 平衡モード(ノーマルモード)放射は伝送路 $Z1$ と $Z2$ により構成するループ面積を狭くすること、 $I_N$ と $-I_N$ 電流の磁界打消しにより放射量を抑制することができる
- 平衡モード(ノーマルモード)電流値合計は $I_{total} = I_N + (-I_N)$



# 不平衡モード(コモンモード)放射

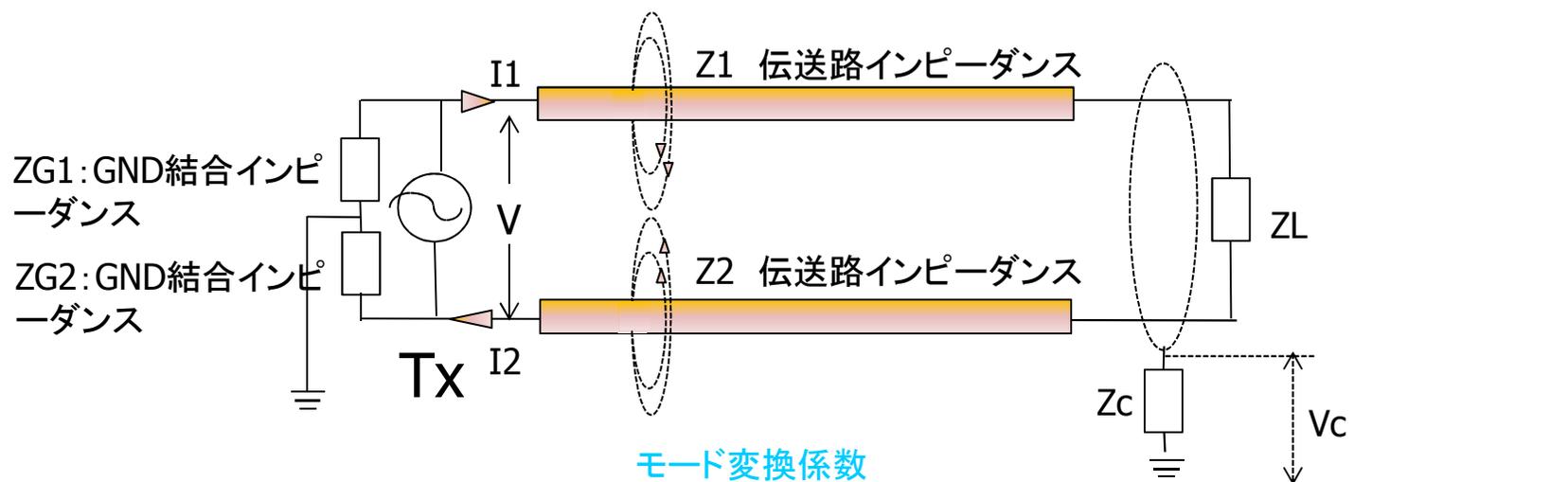
## ■ 不平衡モード(コモンモード)の電流ループと放射

- 結合2本線路のZ1には $hI_c$ のコモンモード電流が負荷方向に流れる
- 結合線路のZ2には $(1-h)I_c$ のコモンモード電流が負荷方向に流れる
- コモンモード電流 $hI_c$ と $(1-h)I_c$ は電流方向が同じく磁界方向も同じため磁界を打ち消す方向にならない
- 不平衡モード(コモンモード)放射は伝送路Z1とZ2により構成するループ面積を狭くすること、 $I_N$ と $-I_N$ 電流の磁界打ち消しにより放射を抑制することができる
- 不平衡モード(コモンモード)電流値合計は $I_{total} = hI_c + (1-h)I_c$
- コモンモード電流値合計が大きく、ループ面積も広いために放射量も多い



# コモンモード変換係数

- ディファレンシャルモードからコモンモードへのモード変換
  - コモンモード変換しやすさを表現するものとして変換係数があります
  - コモンモード変換係数は信号ラインインピーダンス、信号ラインとGNDとの結合インピーダンスにより導かれる



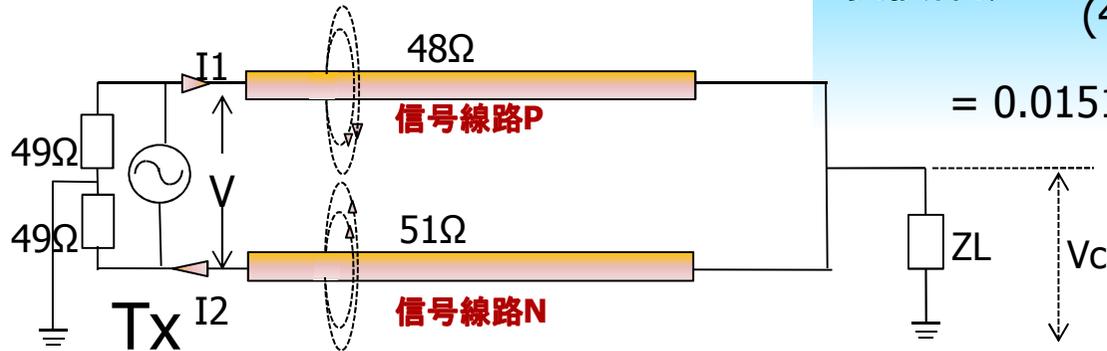
$$\text{コモンモード変換係数} = \frac{Z2 \cdot ZG1 - ZG2 \cdot Z1}{(Z1 + Z2) \cdot (ZG1 + ZG2)}$$

コモンモード電圧 = V \* 変換係数

- V: ディファレンシャル電圧
- Vc: コモンモード電圧
- Z1: 信号伝送路インピーダンス
- Z2: 信号伝送路インピーダンス(シングル伝送の場合にはGNDインピーダンス)
- ZG1、ZG2: 信号伝送路とGNDとの結合インピーダンス
- Zc: コモンモードインピーダンス

# 結合2本線路におけるコモンモード変換係数

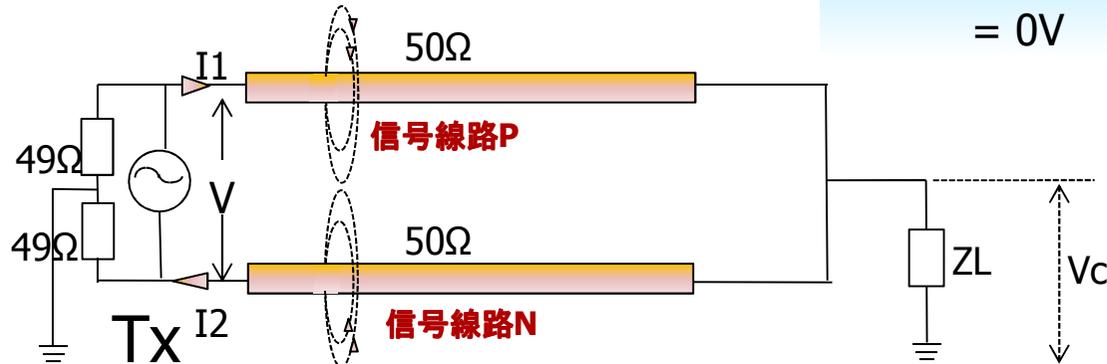
- 差動伝送路のインピーダンスバランスが変化
  - コモン電流配分率が均等でない



$$\text{変換係数} = \frac{51 \cdot 49 - 49 \cdot 48}{(48 + 51) \cdot (49 + 49)}$$

$$= 0.01515$$

- 伝送路、終端共に等しい線路
  - コモン電流配分率が等しい

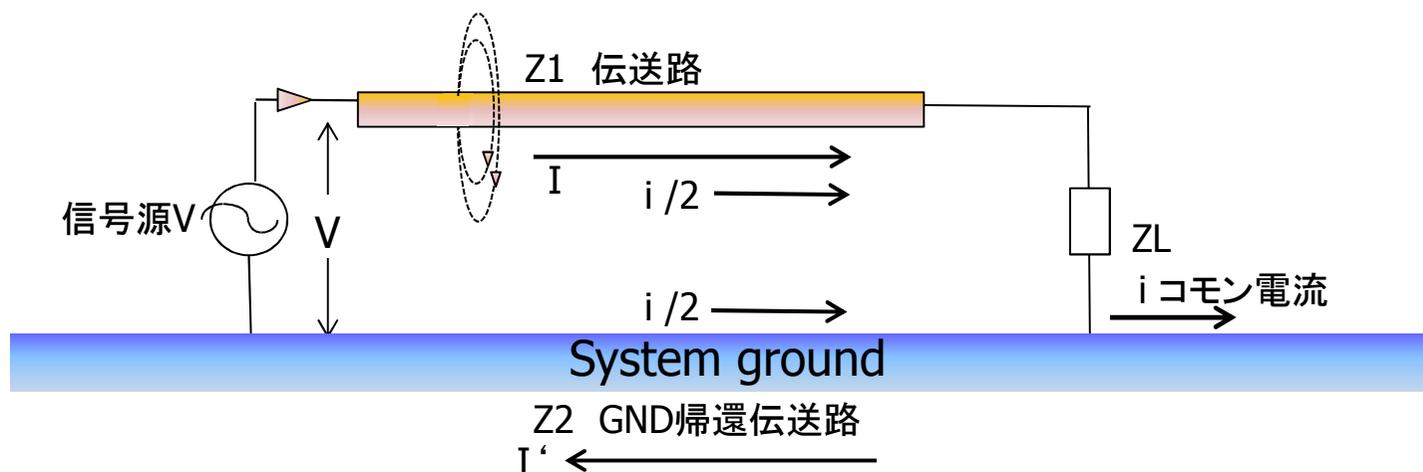


$$\text{変換係数} = \frac{49 \cdot 50 - 49 \cdot 50}{(50 + 49) \cdot (49 + 50)}$$

$$= 0V$$

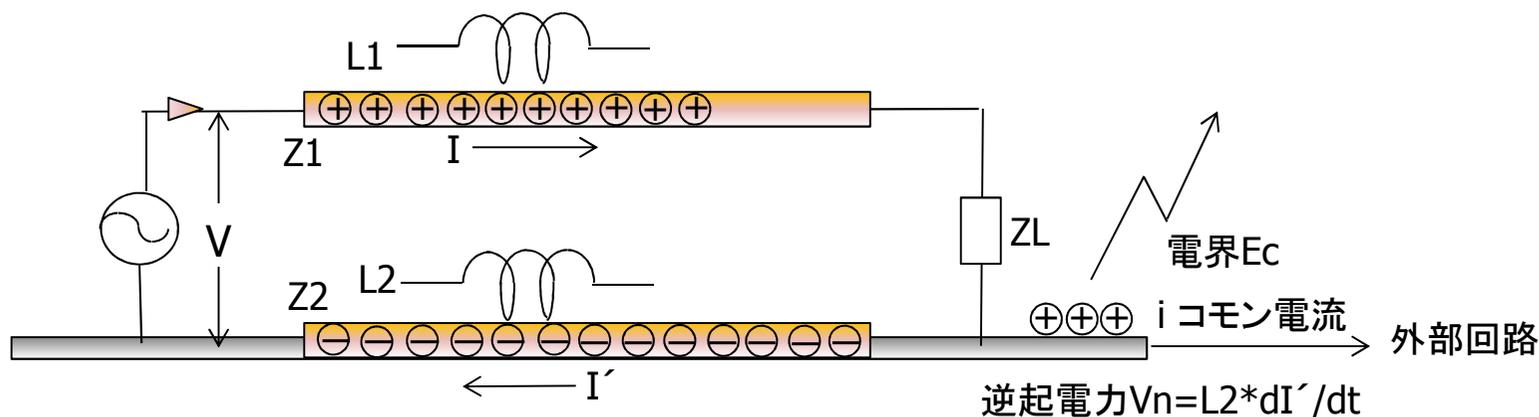
## ノーマルモード電流とコモンモード電流の関係

- ノーマルモード電流にコモンモード電流は含まれる
  - 電流(I)は信号源からの供給されるノーマルモード電流
  - 電流(I')は信号源へ帰還する電流、信号源からの電流(I)と一致しない。
  - コモンモード電流はノーマルモード電流の一部である
  - 帰還電流(I')とコモン電流(i)が加算されたものが信号源電流(I)  
 $(I) = (I') + (i)$ 、 $(i) = (I) - (I')$
  - $Z1, Z2$ のインピーダンスが等しければ  $i/2$ のコモン電流が同じ方向に流れる



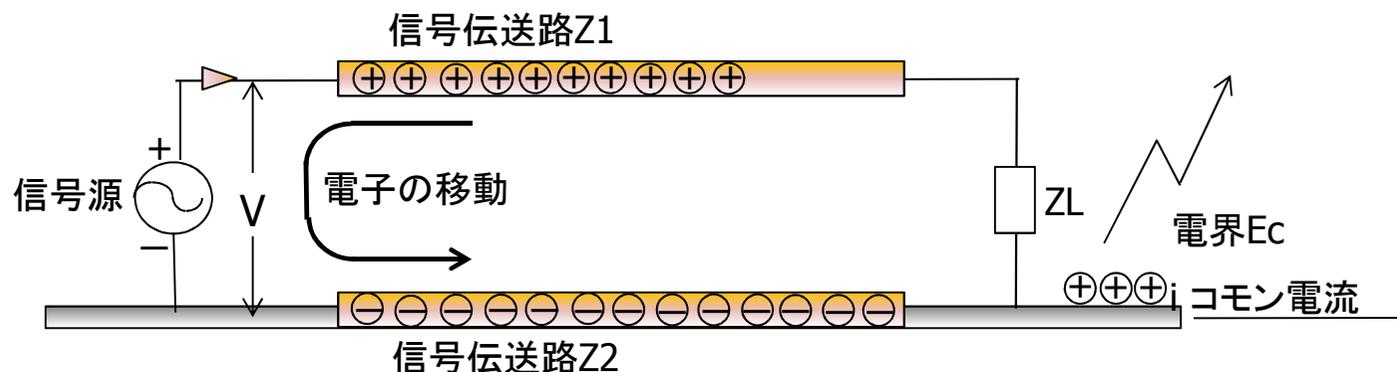
## コモンモード電流の発生

- 帰還伝送路Z2 (GND) による影響
  - GND帰還経路Z2のパターンが十分に広くインピーダンスが低い場合にはZ2の電子はZ1伝送路からの電子を十分に受けることが可能であり安定している
  - GND帰還経路Z2のパターンが細い場合にZ2のラインインダクタL2は高くなりZLからの電流により逆起電力(Vn)が発生する
  - この逆起電力Vnは単位時間当たりの電流の立ち上がり時間により決まります  
 $V_n = L_2 * di' / dt$
  - Z2伝送路上では逆起電力VnによりZ1からの電荷を受け取ることができずにZ2伝送路上から外部回路に向かい電荷を押し出すことをします
  - Z2伝送路はこの電荷による励振を始めコモンモード電流源となります。



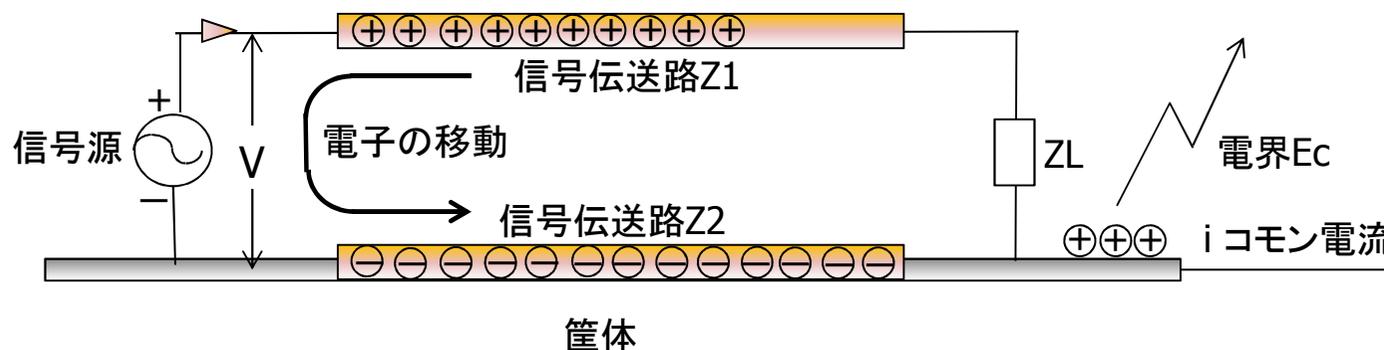
## 信号源からの電荷の移動と電界

- 信号源から小振幅、低周波信号が供給
  - 電子が信号源から帰還経路Z2に向かい少量でゆっくりと移動します
  - 電荷が小さいため電界Eは小さく、ゆっくりと変化
- 信号源から大振幅、低周波信号が供給
  - 電子が信号源から帰還伝送路Z2向かいに電荷移動量が増加
  - 電荷が大きいため電界Eは大きく、ゆっくりと変化
- 信号源から小振幅、高周波信号が供給
  - 信号源から伝送路Z2に向かい電子の移動速度が速くなる
  - 高速な電子の移動により、電界Eは急激に変化し高周波領域の電界を作る
- 伝送路Z2のインピーダンスによる影響
  - 信号伝送路Z2 (GND) のインピーダンスが高い場合には、Z2の電子を受け入れる容量が無く伝送路Z2に接続される伝送路の電子を動かすことになる



# 信号伝送路に筐体が近接した場合の電界の変化

- 信号伝送路と筐体を離れた位置関係になる場合
  - 信号伝送路Z2上で誘導起された電荷は(i)コモン電流となり電界Eとなり外部へ放射する結果となる
- 信号伝送路Z2と筐体を近接させた位置関係になる場合
  - 筐体の表面の(i)コモン電荷 $Q_c$ と筐体マイナス電荷の間に電界 $E_c$ が生じる
  - 伝送路Z2と筐体の狭い空間に電磁波を閉じ込める効果がある

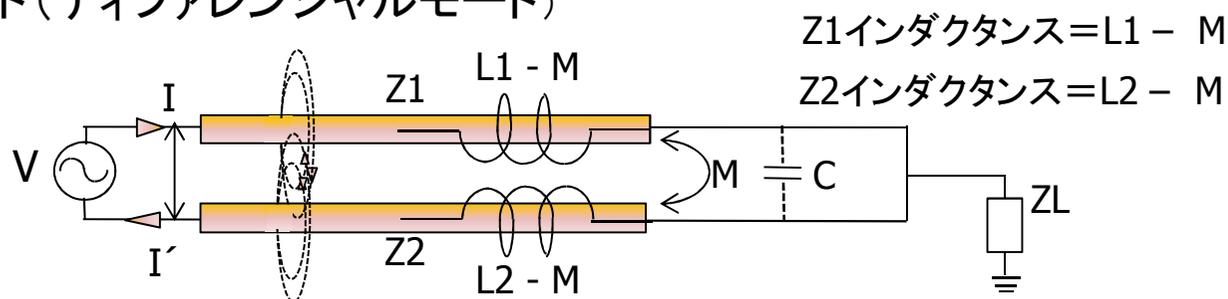


# 結合2本線路の線路間隔を近接した場合の効果

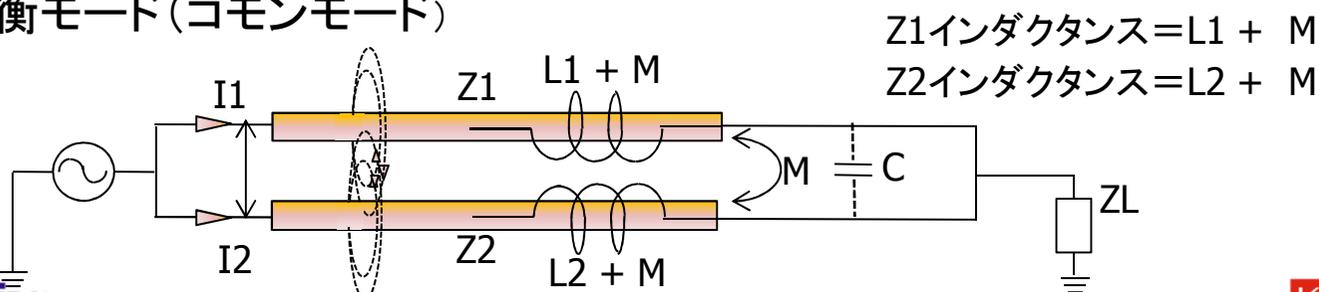
## ■ 結合線路を近接させた場合のラインインダクタンス変化

- 平衡モード(ディファレンシャルモード)では平衡線路Z1、Z2には電流I、I'が、逆方向に流れるためZ1の磁束、Z2の磁束は打ち消し合い、インダクタを下げると
- 不平衡モード(コモンモード)では平衡線路Z1とZ2には、コモン電流i/2が同一方向に流れるためインダクタンスは互いに高め合いインダクタは増加する
- コモンモード信号に対してインピーダンスを高め電流を流しにくくする効果がある
- 線路を近接させることにより、線間容量Cは高くなり電界を強くしてZ1の高周波電流IをZ2へより流すようになり電流(I)と電流(I')が近似する

平衡モード(ディファレンシャルモード)



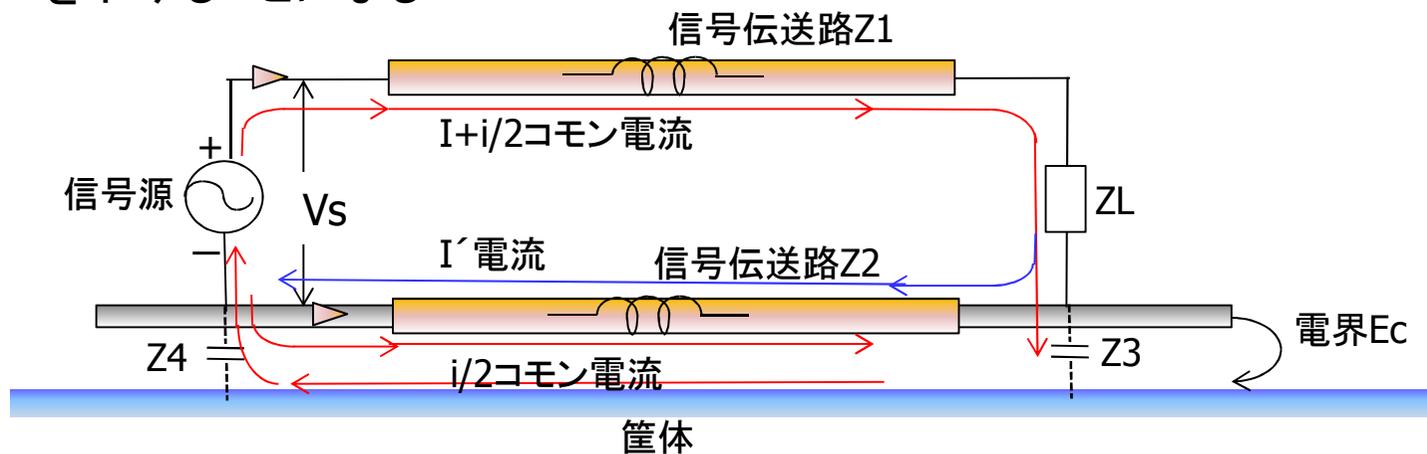
不平衡モード(コモンモード)



## 結合2本線路のコモン電流経路

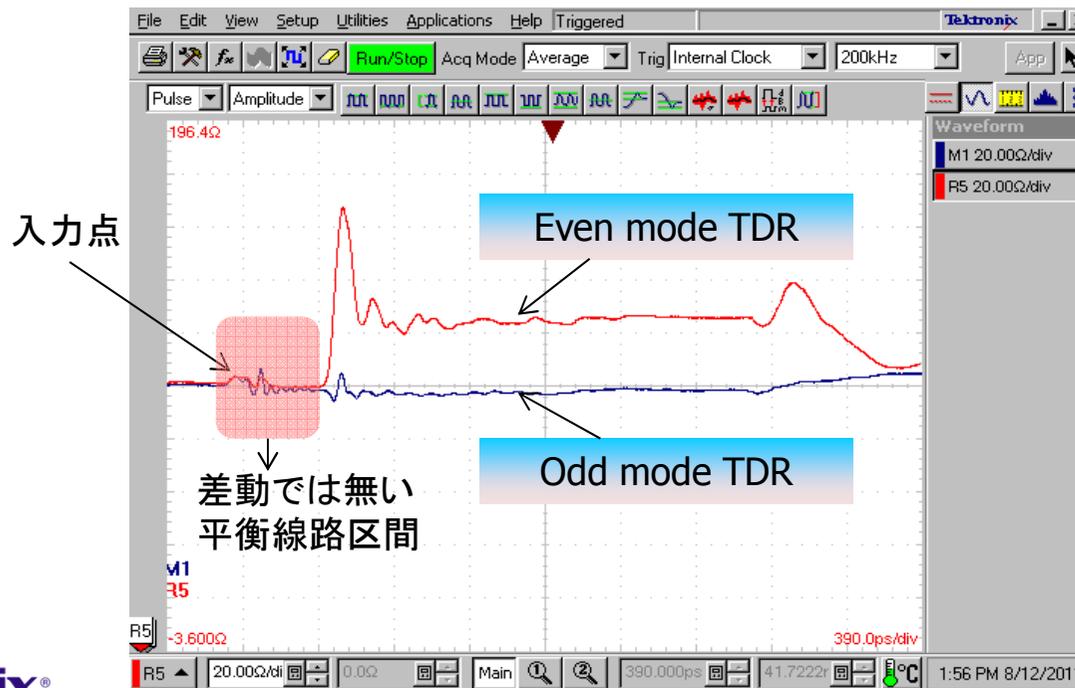
### ■ 結合線路とコモン電流の経路

- 結合線路を近接させずに平衡モード(差動モード)は、Z1伝送路からZLを通りGND伝送路Z2を通りVsへ帰還する。近接していないためGND伝送路Z2のインダクタにより高周波帰還電流は流れにくくなる。
- 寄生容量Z3,Z4は高周波電流にはインピーダンスを下げることになり、結果的にコモンモード信号がVs~V2GND線~Z3~筐体~Z4~Vsの経路で流れやすくなる
- 平衡モードの結合線路Z1,Z2を近接させてZ1,Z2伝送路のインダクタを下げてZ1,Z2インピーダンスを下げるにより帰還電流が流れやすくなり、コモン電流を下げることになる



## 結合2本線路における平衡度-1

- 平衡モードにおけるインピーダンスバランスを測定してみる
  - 結合2本線路のOdd mode, Even modeインピーダンスを測定する
    - 結合2本線路の平衡部分、不平衡部分を可視化してみる
  - 結合2本線路のインピーダンスバランスの均衡を測定
    - 結合2本線路のPositiveライン、Negativeラインのインピーダンス変化を見る
    - インピーダンスバランスにより不平衡成分(コモン電圧)が増加する



## 結合2本線路における平衡度-2

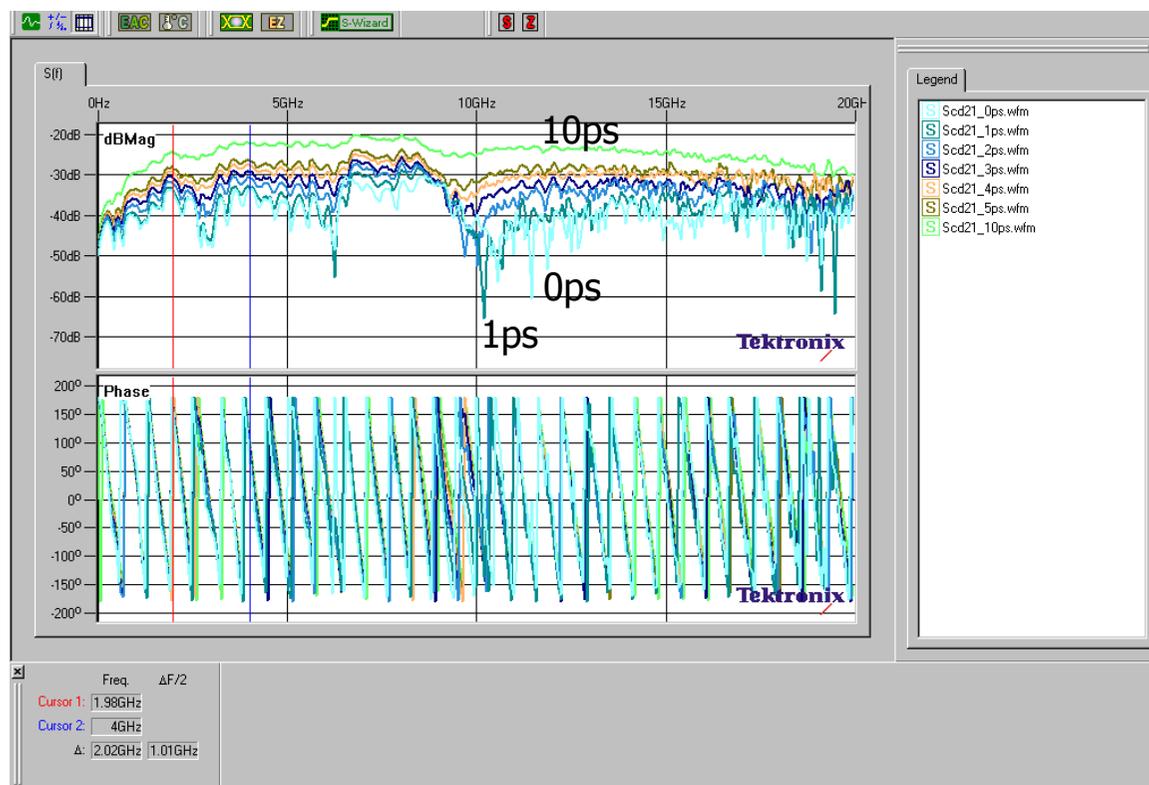
- 結合2本線間の伝搬遅延時間差(スキュー)による平衡度
  - 2線間スキューを1ps~10psまで変化させた場合のコモン電圧は
  - スキュー=1ps、コモン電圧=3.5mV
  - スキュー=10ps、コモン電圧=25.5mVに増加
  - 2線間スキューは立ち上がり時間の10%以内を目標にする。
  - 立上り時間100psの信号の場合に、10ps以内のスキューにするためには
    - $\text{RiseTime}10\%$ の電気長 ( $\Delta L$ ) =  $0.1 * \text{Risetime} * V$ (速度)
    - RiseTime=100ps、 $v=150\text{Mm/s}$ (比誘電率0.4)の条件では
    - $\Delta L = 0.1 * 100\text{ps} * 150\text{E6(m)} = 0.0015\text{m} = 1.5\text{mm}$ が最大の電気長差



スキュー差によるコモン電圧の変化

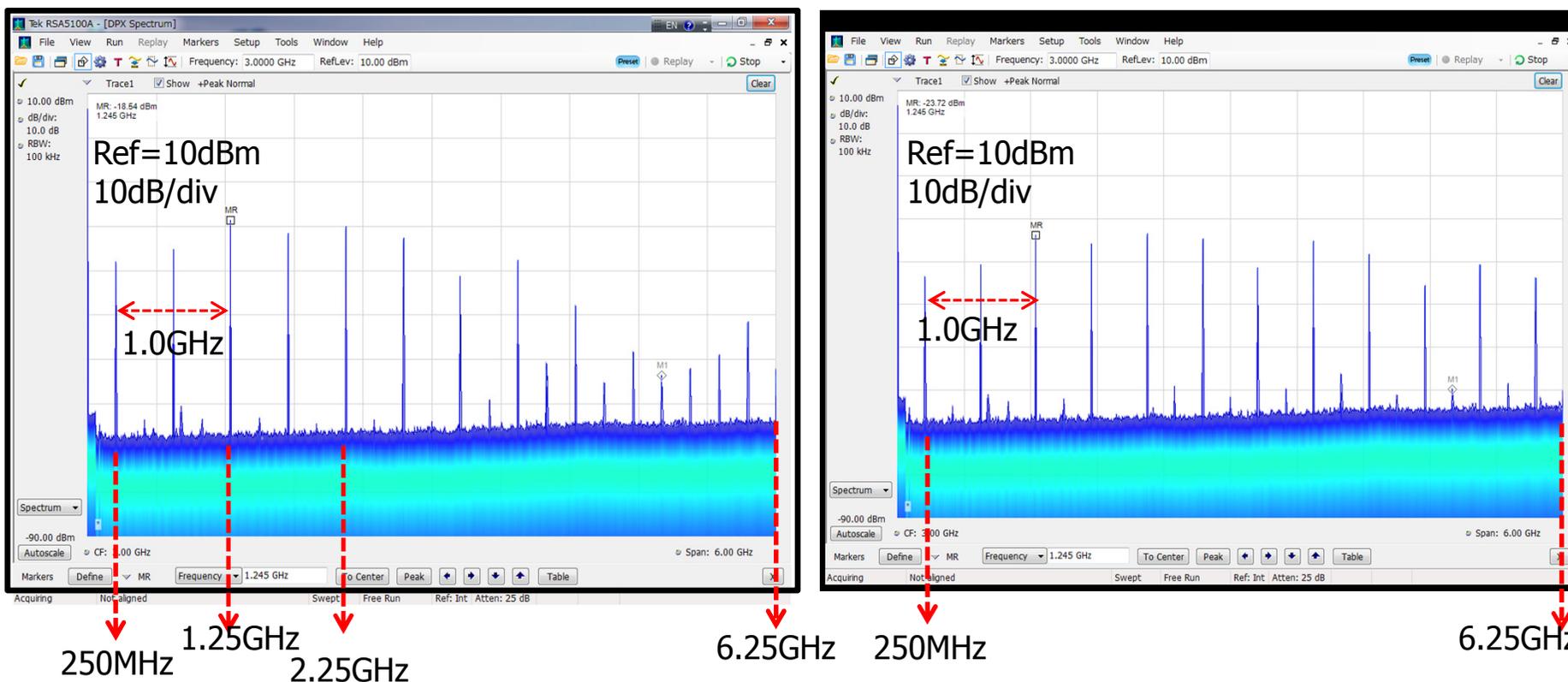
## 結合2本線路における平衡度-3

- 結合2本線路におけるコモン成分をScc21, Scd21にて測定
  - Scd21はディファレンシャル信号を印加した時のコモン成分をポート間で測定
  - 差動間スキューを1ps~10psまで変化させた場合のScd21変化グラフ
  - 10psのスキューではスキューなしに比べ最大20dB近く劣化
  - 僅か1psのスキュー差が数dBコモンモードを劣化させることに注意



# 平衡2線における伝搬遅延時間差による近磁界変化

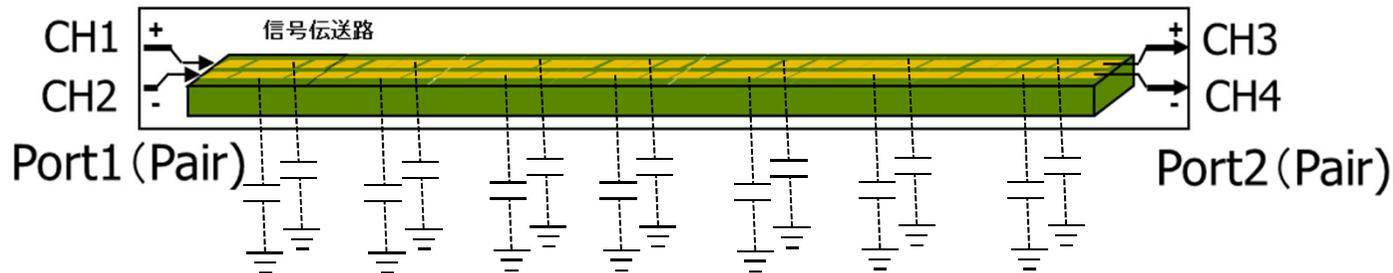
- 遅延時間差100ps、500Mbpsの近磁界変化
  - 下図左は差動間遅延時間差が1psの場合
  - 下図右は差動間遅延時間差が100psの場合



## 結合2本線路における平衡度-4

### ■ 差動平衡2本線路における寄生容量の差

- 平衡2本線路のそれぞれのラインインピーダンス変化はモード変換の原因になる
- 平衡2本線路のそれぞれのラインとGNDとのレイアウト変化はモード変換の原因
- 差動線路両側のGNDビアの均一性に変化が生じた場合  
例：部分的に片側のビアのみになるビアレイアウト
- 平衡2本線路のそれぞれの寄生容量差が2pFの場合のコモンモード電流は  
寄生容量差( $C_s$ )=2pF, 切り替え電圧( $dV$ )=2V, スイッチング時間( $dt$ )=2.5ns  
の条件ではコモンモード電流 $i_c(t)$ は  
 $i_c(t) = 2e-12 \cdot 2.0 / 2.5e-9 = 0.0016(A) = 1.6mA$ のコモンモード電流が発生



$$i_c(t)_{\text{peak}} = C_s \frac{dv}{dt}$$

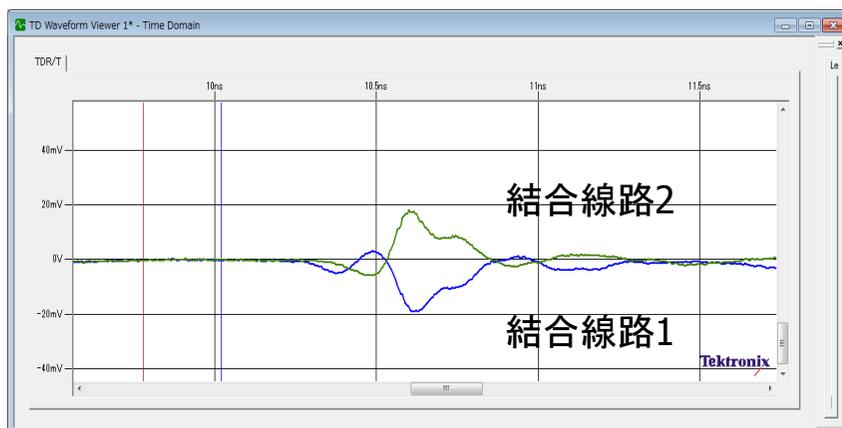
$C_s$  = 寄生容量差

$dv$  = 切り替え電圧

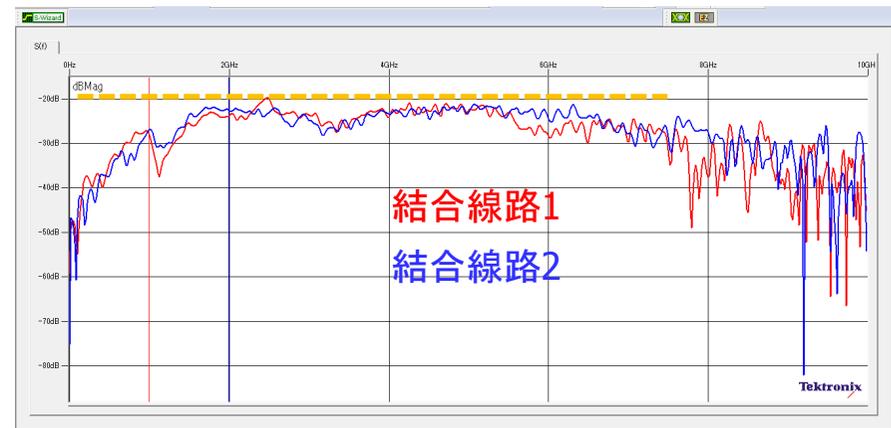
$dt$  = スイッチング時間

## 結合2本線路の事例

- 結合2本線におけるコモン電圧が規定値を超えた事例
  - この差動ラインにおけるコモン電圧規定は100MHz~7.5GHzの範囲においてコモン電圧が-20dBを超えてはいけない
  - 結合線路1と結合線路2のコモン電圧の結果は下図左に示します
  - コモン電圧を周波数軸で表現したものを下図右に示します
  - 結合線路ペア1が-20dBの達したため規定NG



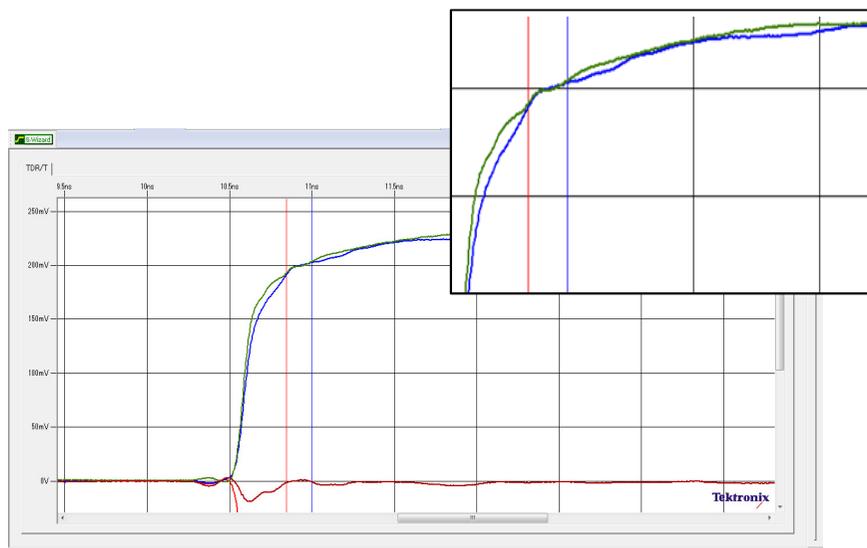
結合線路1, 2 コモン電圧比較  
(時間軸)



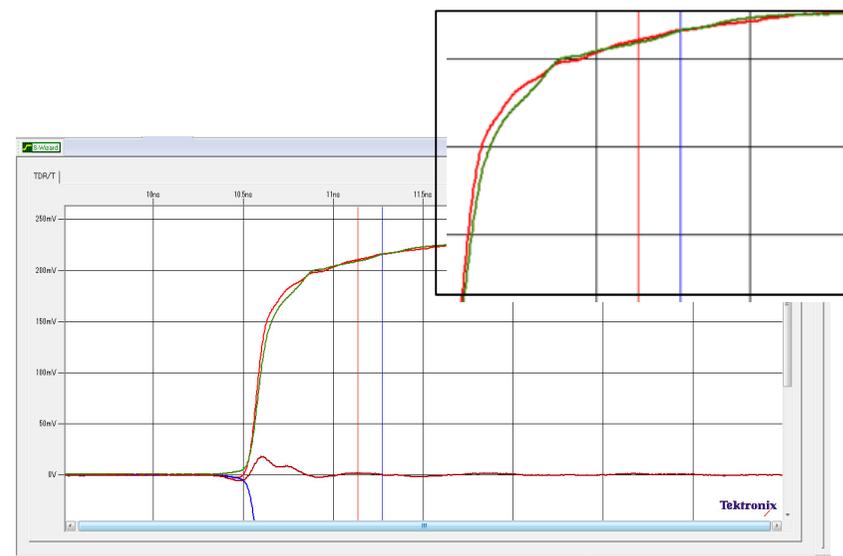
結合線路1, 2 差動入力信号対  
コモンレベル比較(周波数軸)

## 結合線路ペア内の波形比較

- 結合2本線路ペア内の通過後の波計比較
  - 下図左は結合線路1のPositive線とNegative線の通過波形とコモン電圧
  - 下図右は結合線路2のPositive線とNegative線の通過波形とコモン電圧
  - PN両波形を重ねると結合2線の通過波の違いを見ることができる
  - この通過波の違いによりコモン電圧を発生させている



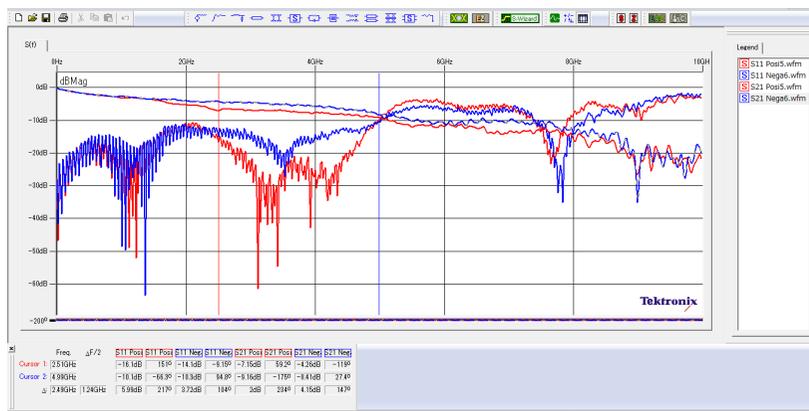
結合線路1、結合ペア通過波形  
(時間軸)



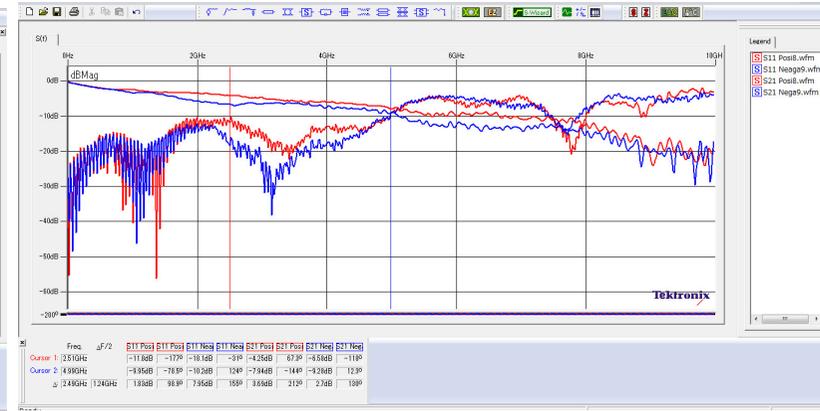
結合線路2、結合ペア通過波形  
(時間軸)

# 結合線路ペアのシングルS21測定

- 結合線路ペア毎のシングルS11、S21測定
  - 結合線路1と結合線路2の差動線内シングルS11,S21測定
  - 損失測定においては両線路ともにPositive線とNegative線で損失が異なることが解ります
  - 反射においては2.5GHz~5GHzで結合線路1が反射が低いことがわかります
  - Positive線 とNegative線の損失の差は両結合線路ともにほぼ同等



結合線路1、シングルS21結果  
(周波数軸)

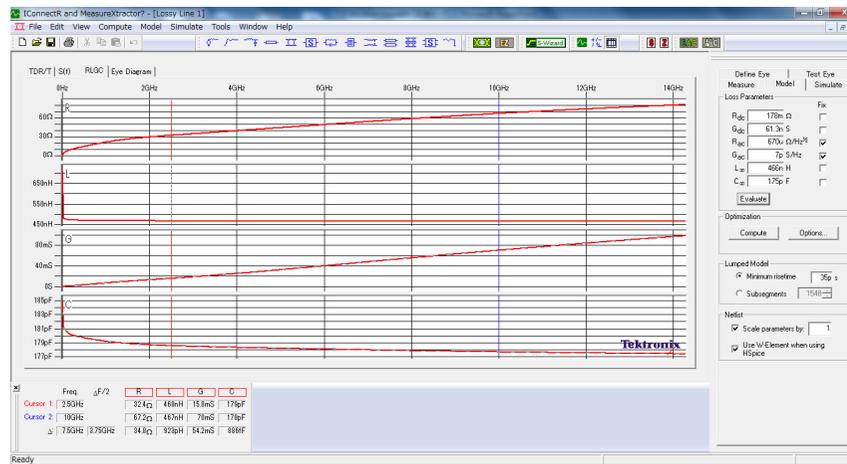


結合線路2、シングルS21結果  
(周波数軸)

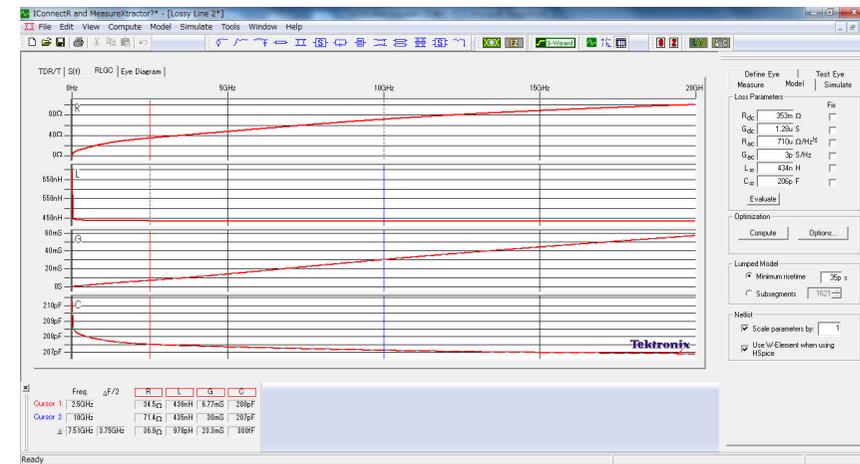
# 結合線路1の損失解析

## ■ 結合線路1の損失解析結果

- 誘電損失G (fHz)=Gdc + Gac \* fHz
- 導体損失R(fHz)=Rdc + Rac \* √f
- Positiveラインの損失(2.5GHz)
  - G(2.5GHz)=61.3e-9+7e-12 \* 2.5e9 =
  - R(2.5Ghz)=178e-3+710e-6 \* √2.5e9 = 32.4Ω
- Negativeラインの損失(2.5GHz)
  - G(2.5GHz)=1.28e-6+2.59e-12 \* 2.5e9 =
  - R(2,5GHz)=353e-3+710e-6 \* √2.5e9 = 35.843Ω



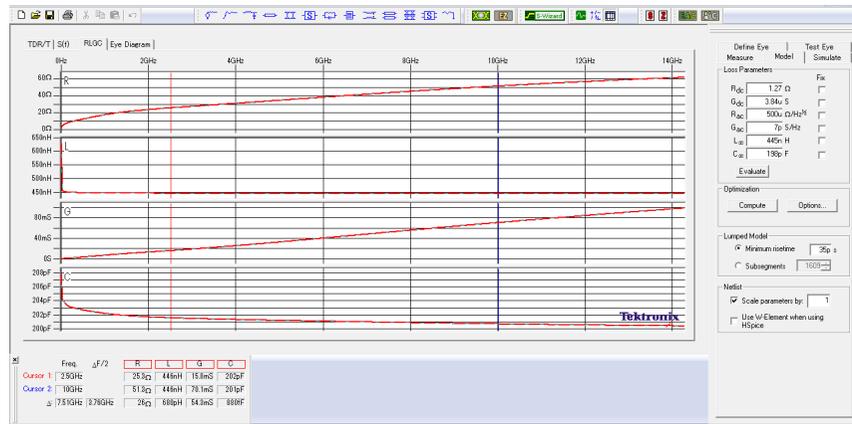
結合線路1Positive、損失結果



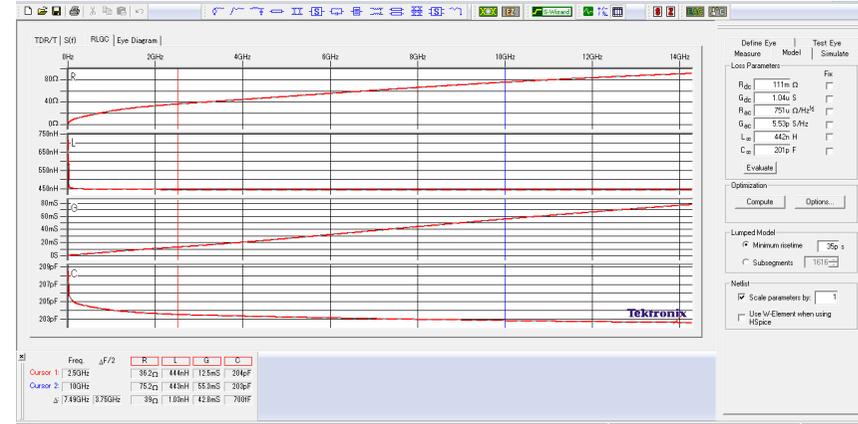
結合線路1Negative、損失結果

# 結合線路2の損失解析

- 結合線路2の損失解析結果
  - 誘電損失  $G(\text{fHz}) = G_{dc} + G_{ac} * \text{fHz}$
  - 導体損失  $R(\text{fHz}) = R_{dc} + R_{ac} * \sqrt{f}$
  - Positiveラインの損失(2.5GHz)
    - $G(2.5\text{GHz}) = 3.84e-6 + 7e-12 * 2.5e9 =$  [redacted]
    - $R(2.5\text{GHz}) = 1.27 + 500e-6 * \sqrt{2.5e9} = 26.27\Omega$
  - Negativeラインの損失(2.5GHz)
    - $G(2.5\text{GHz}) = 1.04e-6 + 5.53e-12 * 2.5e9 =$  [redacted]
    - $R(2.5\text{GHz}) = 111e-3 + 751e-6 * \sqrt{2.5e9} = 37.66\Omega$



結合線路2 Positive、損失結果



結合線路2 Negative、損失結果

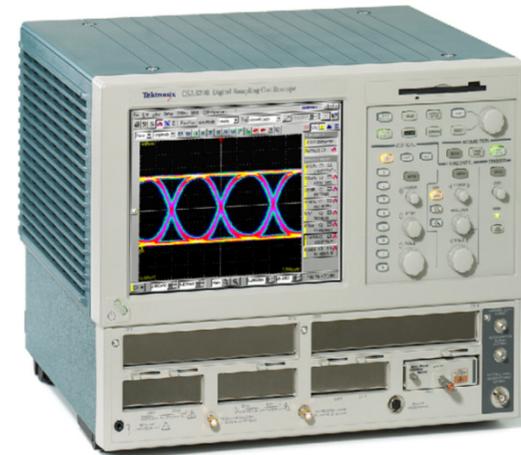
## まとめ

- **ディファレンシャルモードからコモンモード変換の原因**
  - 平衡2本線路の伝送路インピーダンスの不均一
  - 平衡2本線路それぞれの寄生容量の差
  - スキュー
- **コモンモード電流の抑制**
  - 平衡2本線路間隔の近接効果
  - 筐体近接の効果
- **コモンモード信号の測定事例**
  - Scd21測定結果から解析をする事例
  - 伝送路反射、伝送路損失を比較
  - 誘電損失、表皮効果の差によるScd21への影響

# DSA8300型 デジタル・シリアル・アナライザ 80E10型 電気サンプリング/TDRモジュール

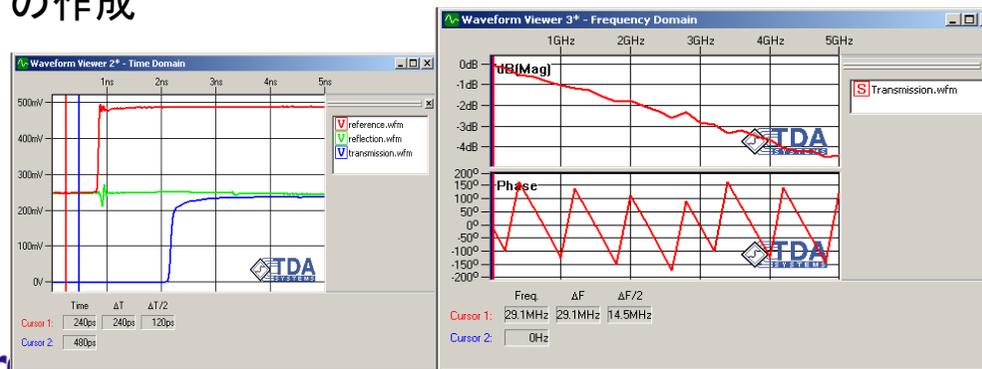
## ■ 高性能TDR

- 最大8チャンネルのTDR測定
- 高分解能TDR
  - ・ 反射立上り時間15psにより1mm以下の距離分解能
  - ・ 任意の立上り時間での測定をシミュレート
  - ・ TDR入力周波数は>40GHz
  - ・ P極、N極同時出力による差動TDR測定
  - ・ 差動電磁界環境を作るTDR測定



## ■ 解析ソフトウェア

- IConnect
- TDR実測結果から測定物のSpiceモデルを抽出
- 外部タッチストーンファイルをモデル取り込み
- 複数のモデルを組み合わせたコンポジットモデルの作成



## 参考文献

- 三松(株)「EMC 原理と技術 EMI/EMC測定の電磁気と回路」高木 相監修
- 日刊工業新聞社「ノイズ対策再入門」鈴木茂夫著
- 日刊工業新聞社「ノイズ対策基礎と勘どころ」鈴木茂夫著
- 日刊工業新聞社「ノイズ対策のための電磁気学再入門」鈴木茂夫著
- 丸善社 高速デジタル信号の伝送技術 須藤俊夫監修 P465 差動信号のコモンモード信号  
への変換
- CQ出版社 トランジスタ技術2003年11月号P226 LVDSにおける同相ノイズの終端
- 工業調査会 コモンモードとEMC・ノイズ対策設計 坂元 幸夫著

## お問い合わせ先

テクトロニクス/ケースレー社  
〒108-6106 東京都港区港南2-15-2  
品川インターシティB棟6階

ホームページ [www.tektronix.co.jp](http://www.tektronix.co.jp)

お客様コールセンター

Tel 03-6714-3010

Fax 0120-046-011

E-mail [ccc.jp@tektronix.com](mailto:ccc.jp@tektronix.com)

Thank you for your time today.



本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインストルメンツ  
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)  
[www.keithley.jp/](http://www.keithley.jp/)

 **Twitter** [@tektronix\\_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)  
 **Facebook** <http://www.facebook.com/tektronix.jp>

**Tektronix**<sup>®</sup>

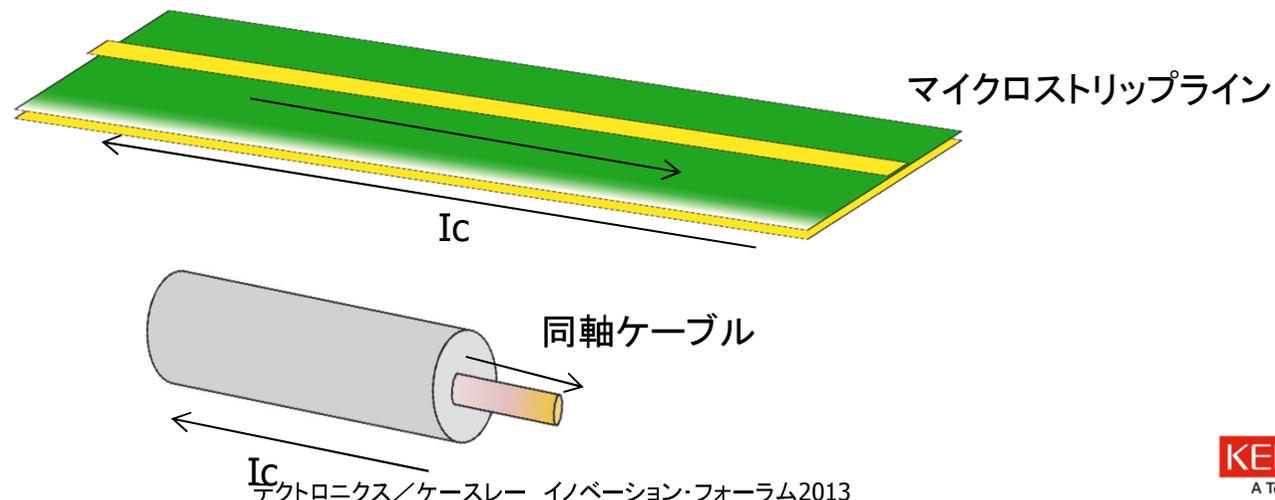
**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

# Appendix

# 不平衡伝送

## ■ 不平衡伝送路と電流配分率

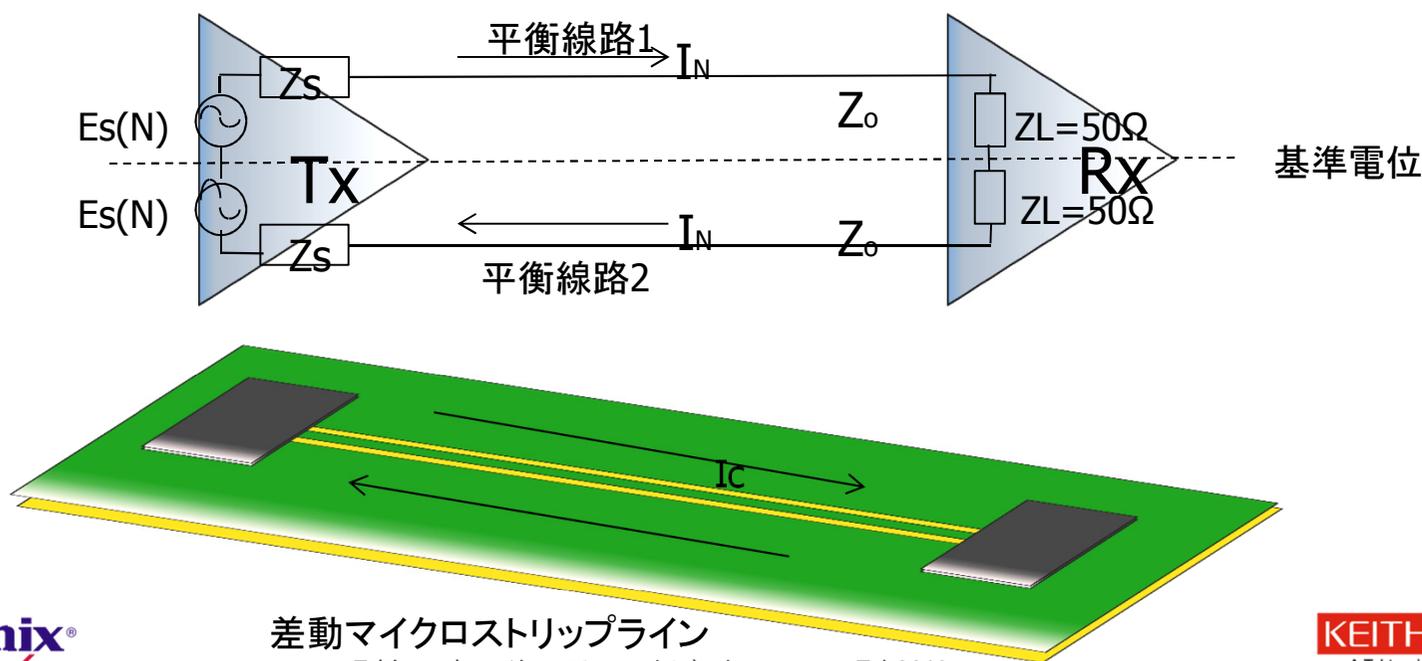
- シングルマイクロストリップラインの伝送経路は表面層線路を信号は伝搬してGND層を帰路に戻る
- 表面層ラインとGND層では反対の電磁界ができるためノーマルモードとなる
- コモン電流はベタGND層のみを流れるためにコモン電流が2本の導体のうち1本のみ流れるということから完全不平衡伝送路となる
- 同軸ケーブルも同じくシールド線を帰還電流が流れる場合には中心導体とシールド線が作る電磁界とでは打消し合うためにノーマルモードになる  
コモン電流は全て外被シールドを流れる
- 完全不平衡伝送路の電流配分率(  $h$  )は  $= 0$  である
- GNDプレーンの面積が十分でない場合には電流配分率( $h$ ) $=0 < h < 0.5$ となる



# 平衡伝送路

## ■ 差動マイクロストリップライン

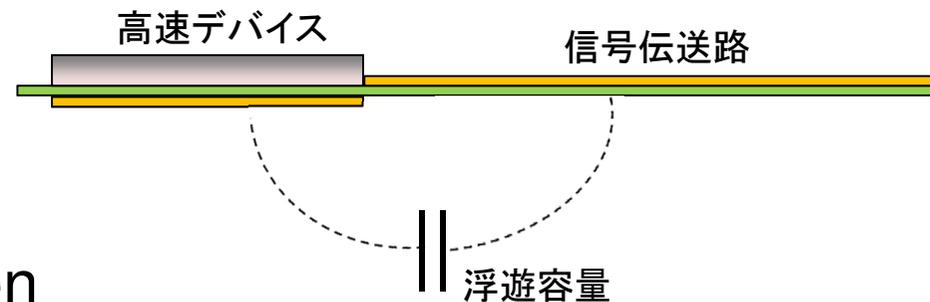
- 平衡線路において2線間の電圧ベクトルの和が常に一定であれば、非平衡成分(コモンモード)は発生しない。
- 伝送電流経路と帰還電流経路により平衡線を帰還させるLVDS、GND基準面を帰還させるCMLが存在。信号伝送線に対して帰還線路が平衡する場合をノーマルモードとして扱う
- 信号線路と帰還線路の平衡度、信号線間の平衡度が崩れると非平衡成分であるコモンモードノイズが発生する



# コモンモード信号発生メカニズム (Voltage Driven, Current Driven)

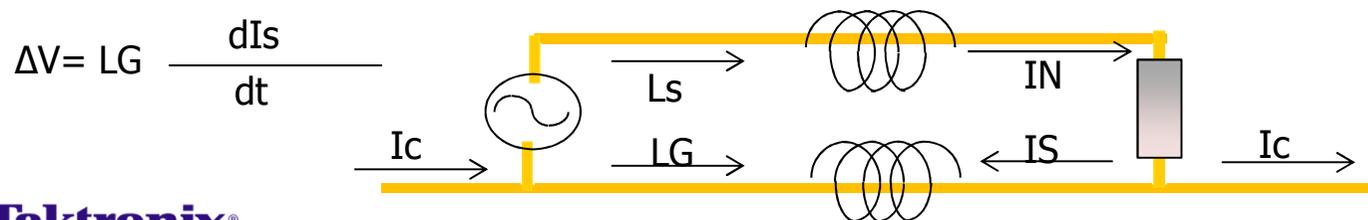
## ■ Voltage Driven

- 信号パターン配線またはGNDパターンがアンテナになる構造
- 信号パターンと近接した位置に高速デバイスが配置され信号パターンとの間に容量性結合をした場合
- 高速デバイスと隣接信号パターンの高周波電位差が容量性結合により、隣接信号パターンをアンテナとして励振する場合をVoltage Drivenと呼ぶ



## ■ Current Driven

- 理想的なPCB GNDは電位は一定である
- 実際にはGNDに存在するインダクタの影響によりGND電位変動が起きる
- GNDに分布するインダクタによるGND電位差VGの総合計がコモン電圧になる



## コモンモード発生メカニズム (GNDレイアウト変化による不平衡度変化)

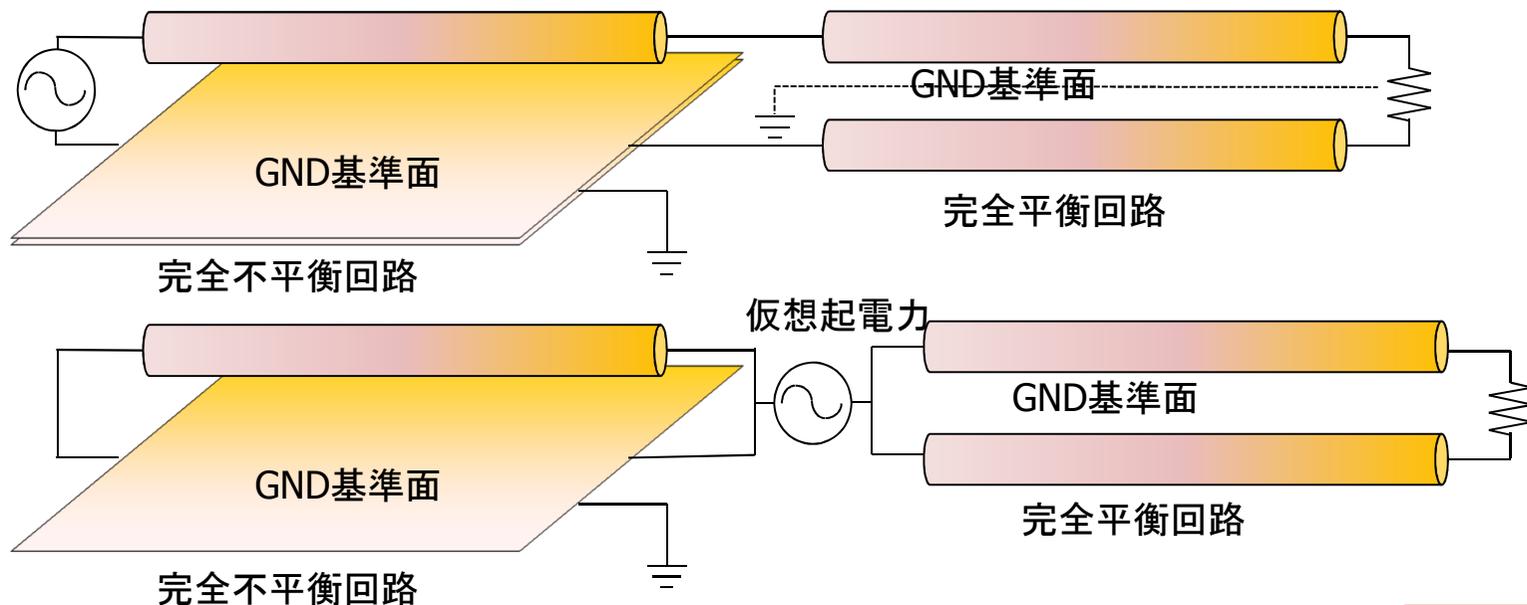
- GNDレイアウトの変化によるコモン電流配分率の変化
  - PCB基板におけるGNDレイアウト構造が変化すると不平衡度が変化
  - コモンモード電流配分率 ( $h$ ) が変化することによりGND不連続部分にコモンモード起電力が発生する
  - GNDレイアウト不連続部分にコモンモード起電力が生じ基板全体をアンテナとして励振を始めることによりコモンモード電流 ( $I_c$ ) が生じる
  - GNDプレーンの不平衡部分の差を小さくすることによりコモン電流を抑制することができる



# コモンモード信号発生メカニズム (平衡線と不平衡線の接続)

## ■ ノーマルモードに対するGND基準電位差

- 下図左側の完全不平衡線路と右側の平衡線路の接続
- 完全不平衡線路のノーマルモード基準面はGND面上に、GND面上をコモン電流が流れる
- 平衡線路のノーマルモード基準面は線間中間の平均位置に基準面がある
- 基準面位置の異なる線路を接続すると、両回路のコモンモード電位の差に相当する仮想的な起電力が生じることになる
- コモン電位を一致させるためには balan 回路を用いる



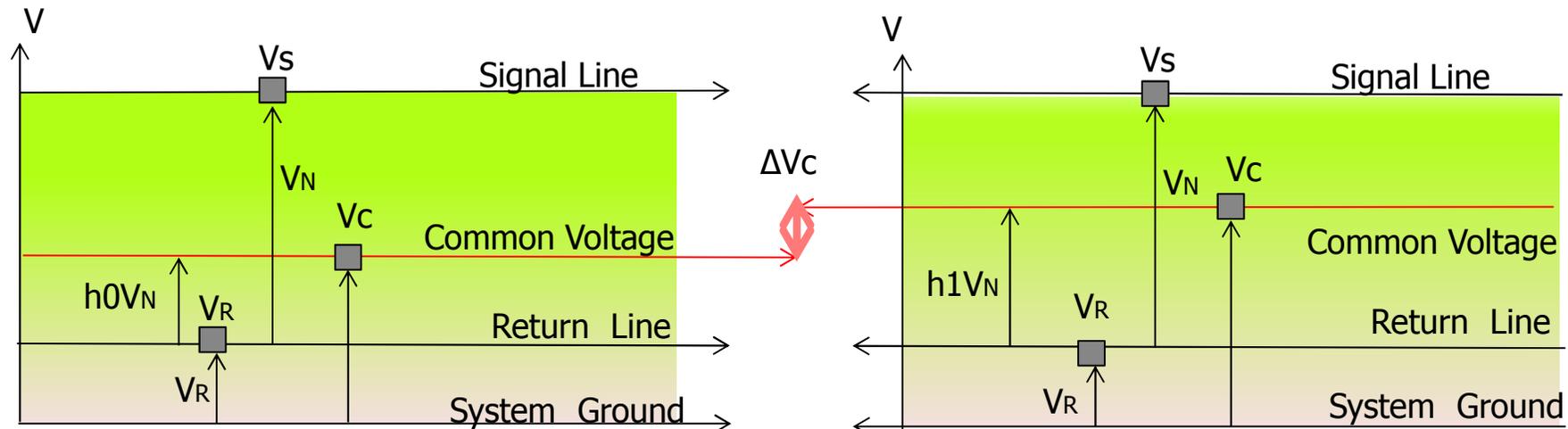
## コモンモード信号発生メカニズム (平衡度の異なる線路の接続)

- 平衡度の異なる線路を接続した場合のコモンモード電位差
  - 平衡線における平衡度が異なるため電流配分率が変わる
  - 電流配分率(h)が異なる伝送路を接続する場合のコモンモード電圧の差( $\Delta V_c$ )は電流配分率(h)の差分とノーマルモード電圧( $V_N$ )の積により求めることができる  
$$\Delta V_c = (h_0 - h_1)V_N$$

### ■ コモンモード電位を求める

- コモンモード電圧( $V_c$ )は信号電圧( $V_s$ )と電流配分率(h)との積と電流配分率(h)と帰還電圧( $V_R$ )との積の加算にて求める

$$V_c = hV_s + (1 - h)V_R = V_R + hV_N$$



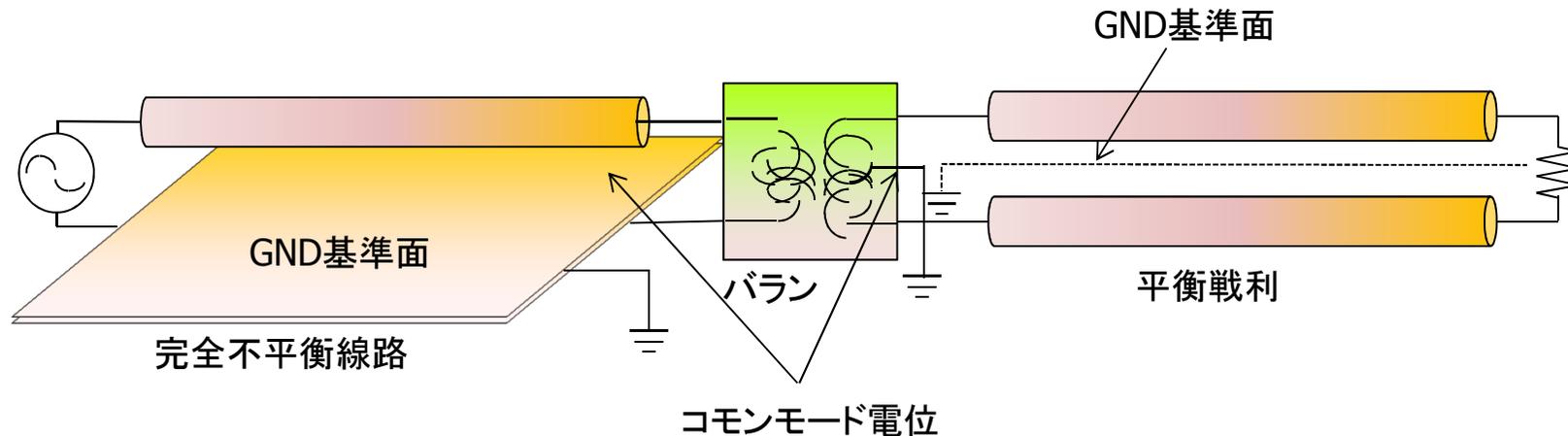
電流配分率h=0

電流配分率h=1

# GND基準面の異なる伝送路の接続とコモンモード対策

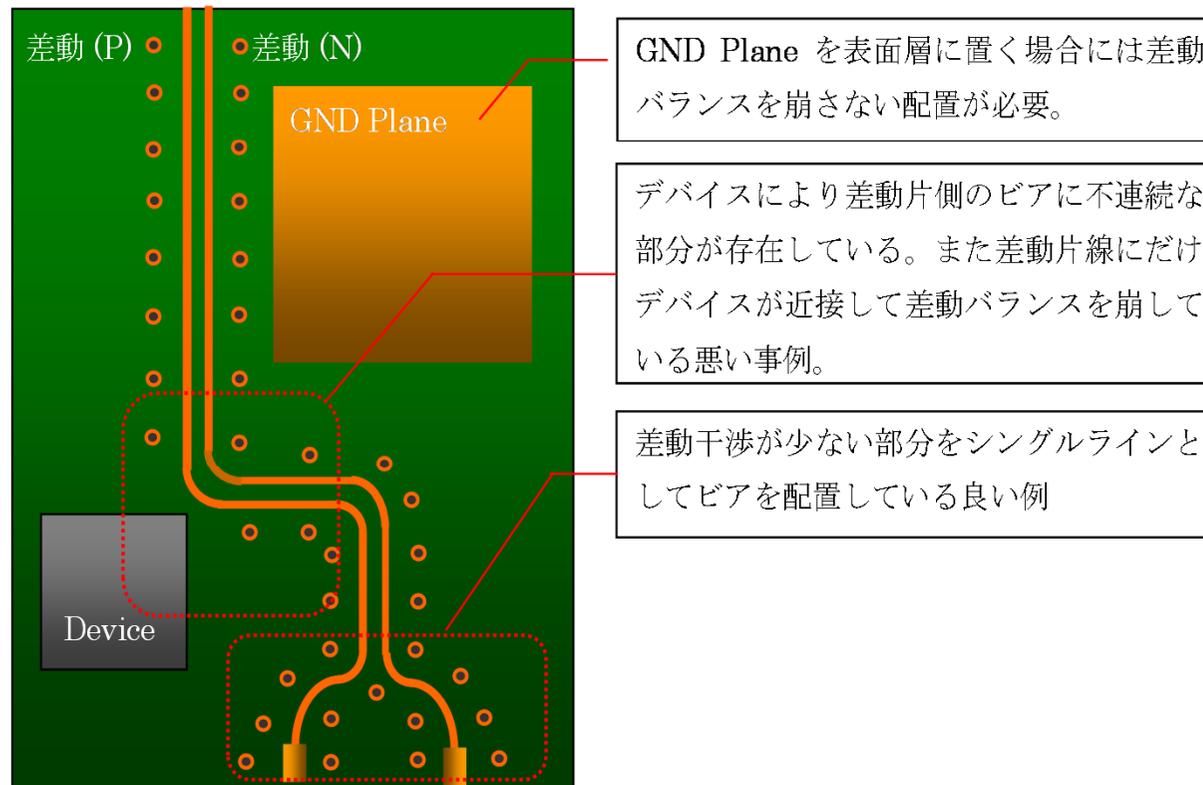
## ■ バランを用いたコモンモード対策

- 平衡線路の基準電位(コモン電位)は理想的には平衡線路の中心にあり、完全不平衡線路の基準電位(コモン電位)はGNDにある。  
基準電位の異なる回路を接続する場合には、コモン電圧差を生じさせないようにバラン回路を用いて接続する
- バラン回路を用いてコモン電圧を一致させることによりコモン電位差が解消する
- コモンモード電位差は線路の基準電位を揺らすことを引き起こす
- バラン回路を介してコモン電位差を無くす



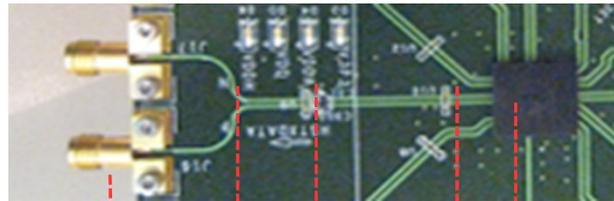
## 差動平衡線路のコモンモード変換の抑制

- コモンモード変換を起こさせないためのレイアウトを考える
  - 差動平衡線に近接してGNDプレーンを置く場合には差動平衡度が変化しない程度に差動線路からの距離をおく
  - 差動平衡線の両端ビアのバランスを崩さない
  - 差動平衡線としての効果が少ない部分はシングルラインとして配置する



# 差動平衡線路のコモンモード変換の抑制

- コモンモード変換を起こさせないためのデザインガイド
  - 差動平衡線路のインピーダンス制御
    - 差動干渉区間の見極めと差動干渉区間でない場合のインピーダンス制御
  - 差動ペア不連続部を最少にする
    - 差動平衡度による変化と差動バランスの変化を生じさせないこと
  - 差動信号の遠端終端
    - 終端から受信端までの距離を最少にして区間内の伝送路変化をさせない
  - 波形歪の原因となるペア内スキューの最少化



# 差動平衡線路のコモンモード変換の抑制

## ■ 差動モード信号とコモンモード信号の両方を終端

### – 信号位相が逆相の場合の終端回路

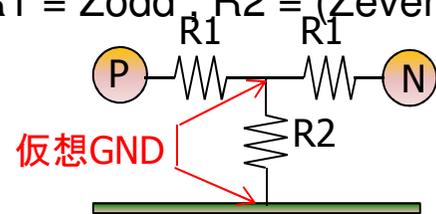
- R1の midpoint は仮想GND点のため、仮想GNDとGND面を結ぶR2の両端電位は同じ
- $Z_{diff} = 2R1$
- $Z_{odd}$ は片方の線路と仮想GND間のインピーダンス  $Z_{odd} = R1$ ,  $\therefore Z_{diff} = 2Z_{odd}$

### – 信号位相が同相の場合の終端回路

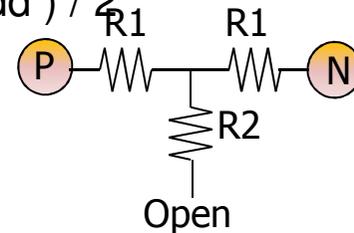
- Evenモードインピーダンスは  $Z_{even} = R1 + 2R2$ にて計算
- $R2 = (Z_{even} - R1) / 2 = (Z_{even} - Z_{odd}) / 2$

### – 回路構成

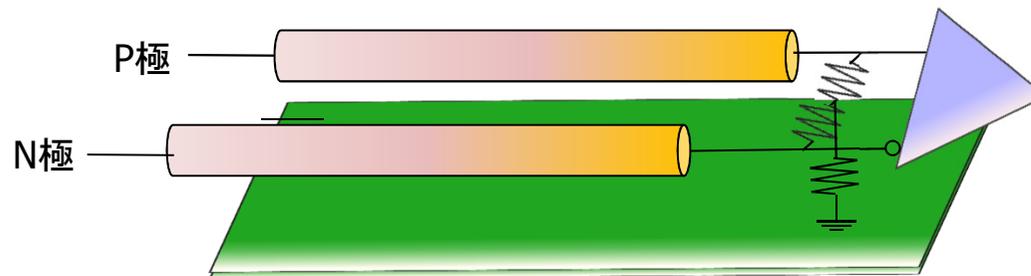
- $R1 = Z_{odd}$ ,  $R2 = (Z_{even} - Z_{odd}) / 2$



GND面が近接している場合



GND面がOpenしている場合

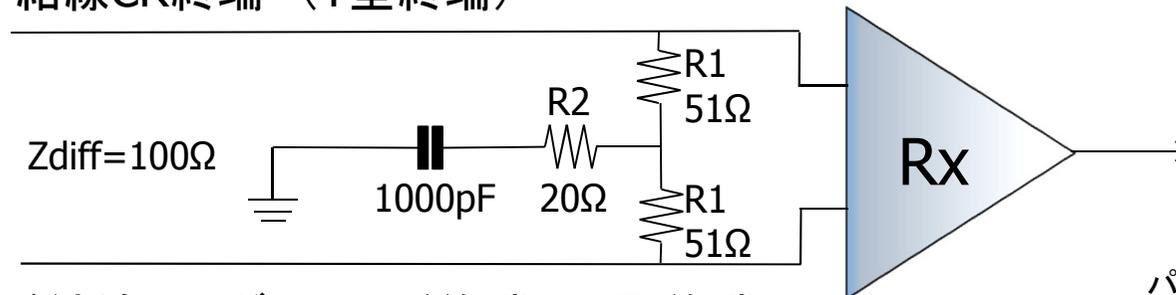


GND基準面

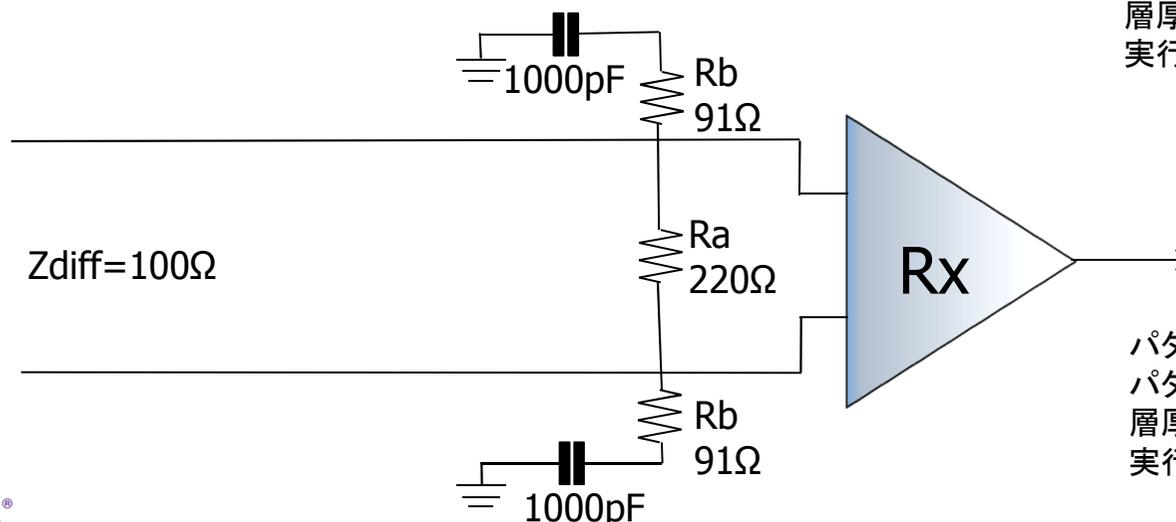
# 差動平衡線路のコモンモード変換の抑制

- 差動モードとコモンモード両成分の終端をする
  - LVDS例では低抵抗でGNDと接続することができない
  - 1000pFにてDCカットする
  - $Z_{odd}$ と $Z_{even}$ を求めればT型R1、R2がπ型Ra、Rbが求められる

## 1. スター結線CR終端 (T型終端)



## 2.ブリッジ結線シングルエンド終端 (π型終端)

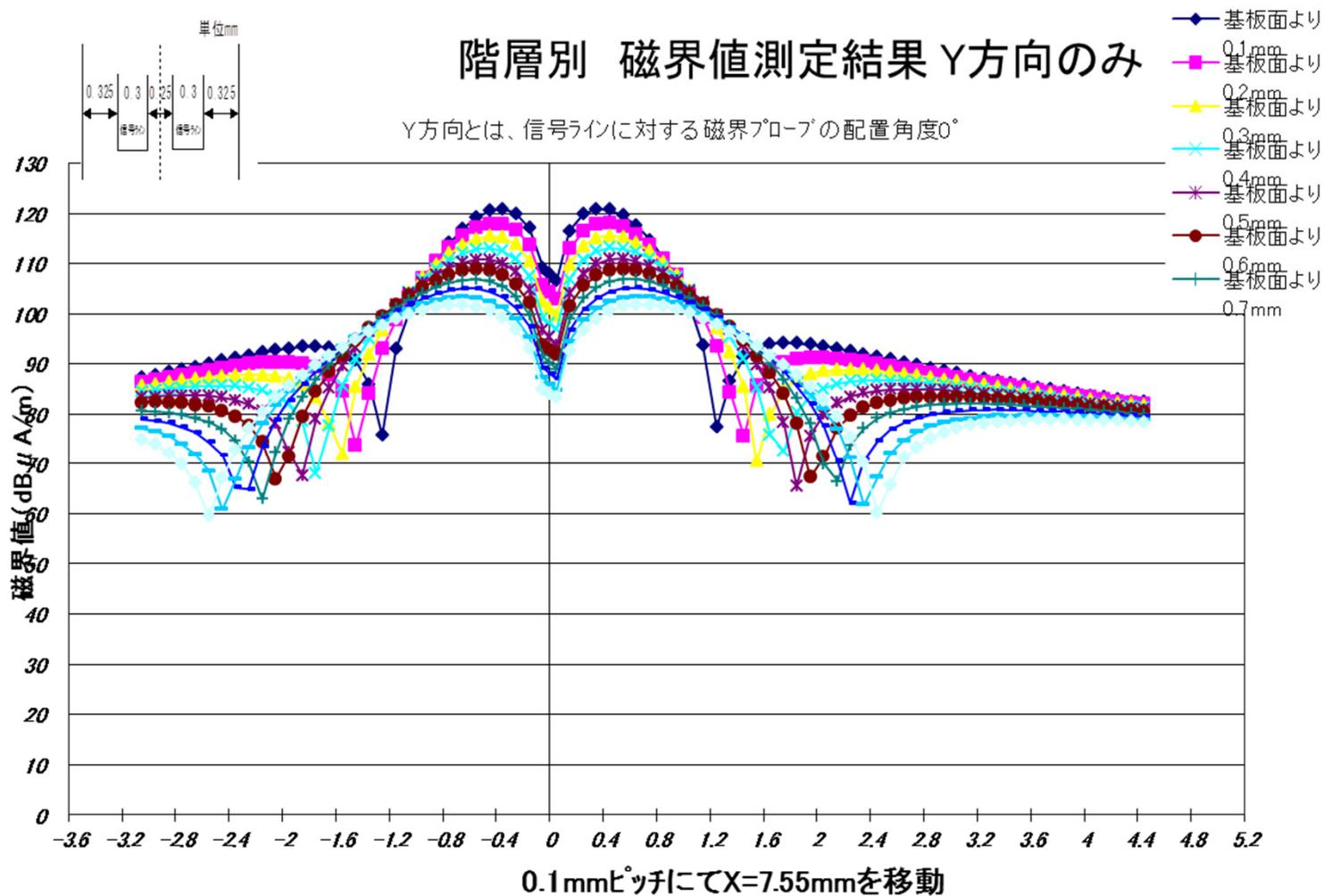


パターン幅=0.3mm  
パターン間隔0.3mm  
層厚=0.3mm  
実行比誘電率 $\epsilon=4.3$

パターン幅=0.3mm  
パターン間隔0.3mm  
層厚=0.3mm  
実行比誘電率 $\epsilon=4.3$

# 平衡モードの磁界分布

- 差動伝送線路(結合2線路)による磁界強度
  - 線間中心のコモン電位に向かい磁界強度の低い場所を作る



# 不平衡モードの磁界分布

- 同極性印加 (Evenモード) による磁界強度
  - 線間中心に向かい磁界強度が高くなる

