

高速伝送系設計と波形品質評価の勘所

2009/11/19

HITACHI
Inspire the Next

日立情報通信エンジニアリング株式会社
高田芳文



日立情報通信エンジニアリング株式会社
Hitachi Information & Communication Engineering, Ltd.

本講演内容は、
日経エレクトロニクスのチュートリアルで
“高速伝送系設計と評価の勘所”
と題して5回連載したものである。
(2008年1月14日号から6月2日号)

Contents

1. はじめに
2. 高速化の技術課題
3. 波形解析から分かること
4. まとめ

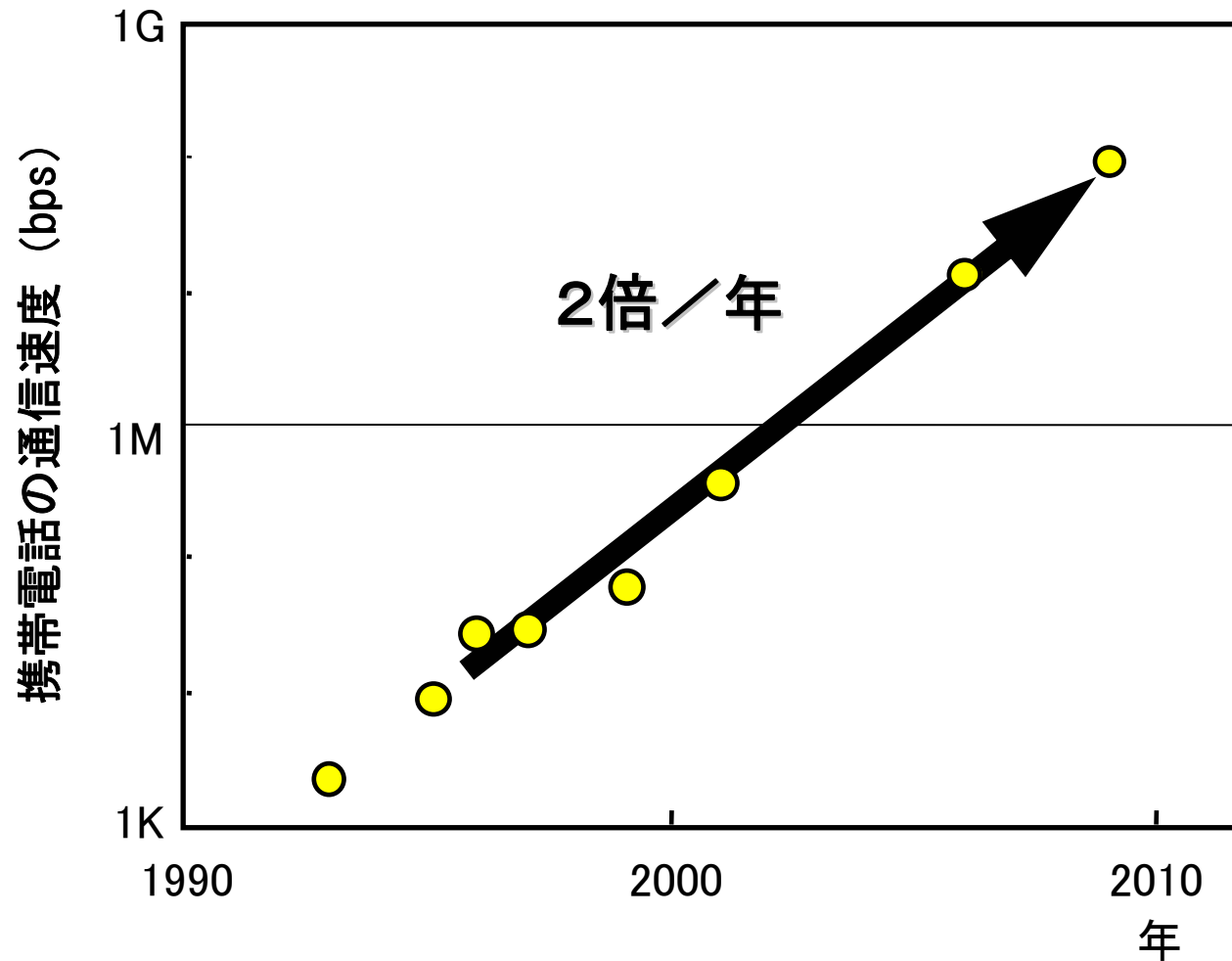
1

はじめに

HITACHI
Inspire the Next

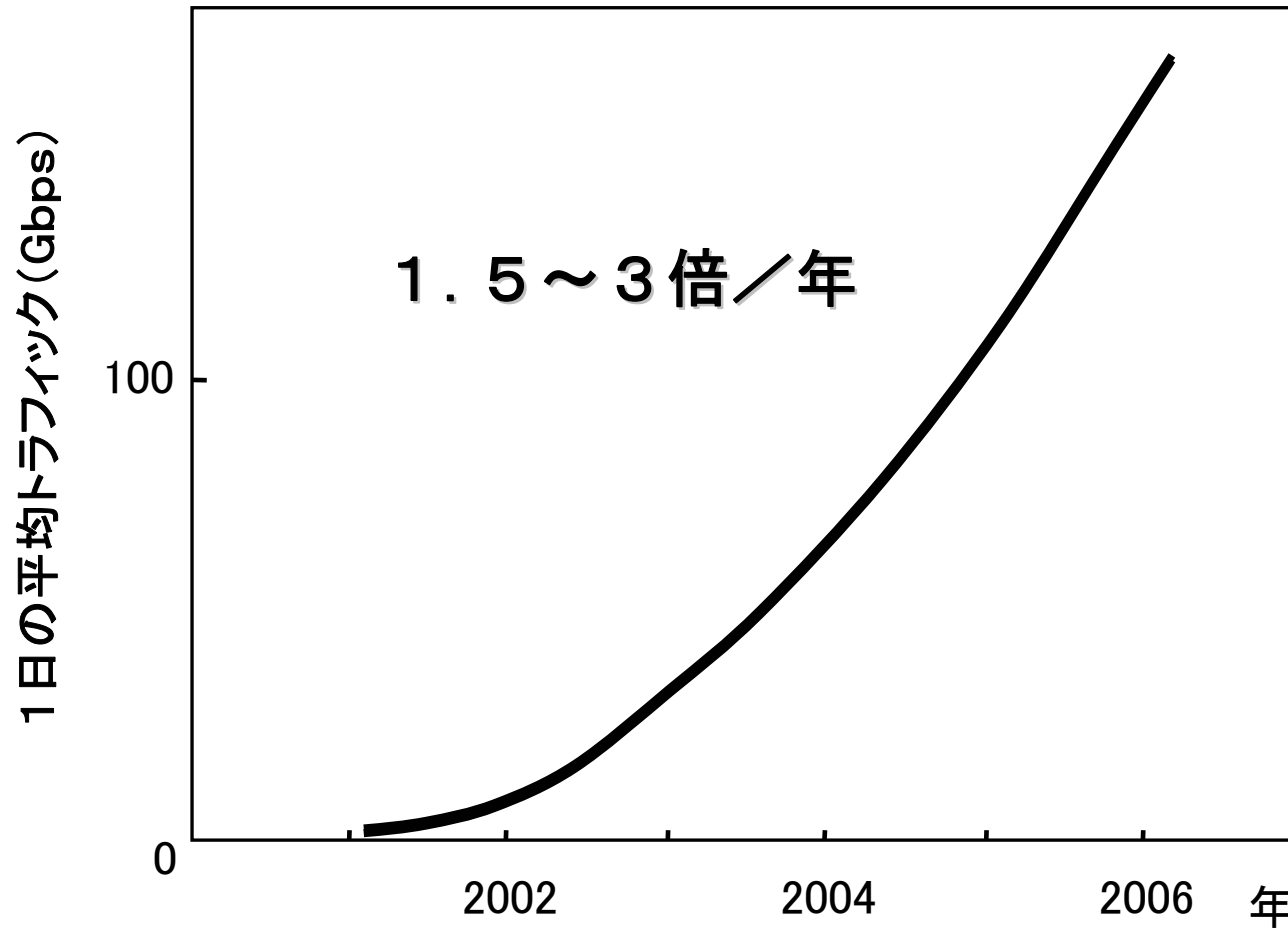
1-1 指数関数的な性能向上トレンド(1)

携帯電話の通信速度



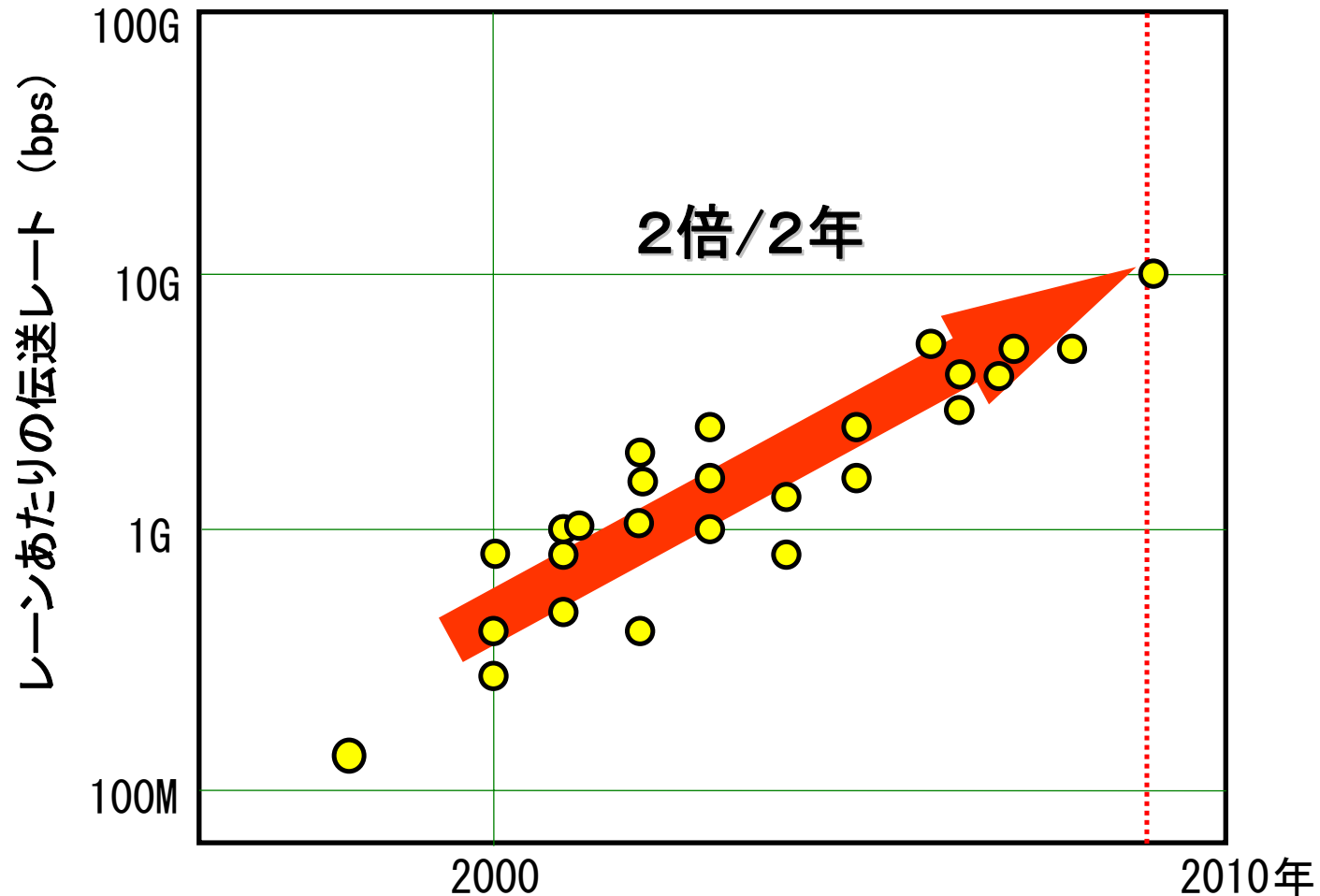
1-2 指数関数的な性能向上トレンド(2)

主要IX(internet exchange)のトラフィック量



1-3 LSI間インタフェースの高速化

LSI間インタフェース伝送レートが2倍/2年で増加

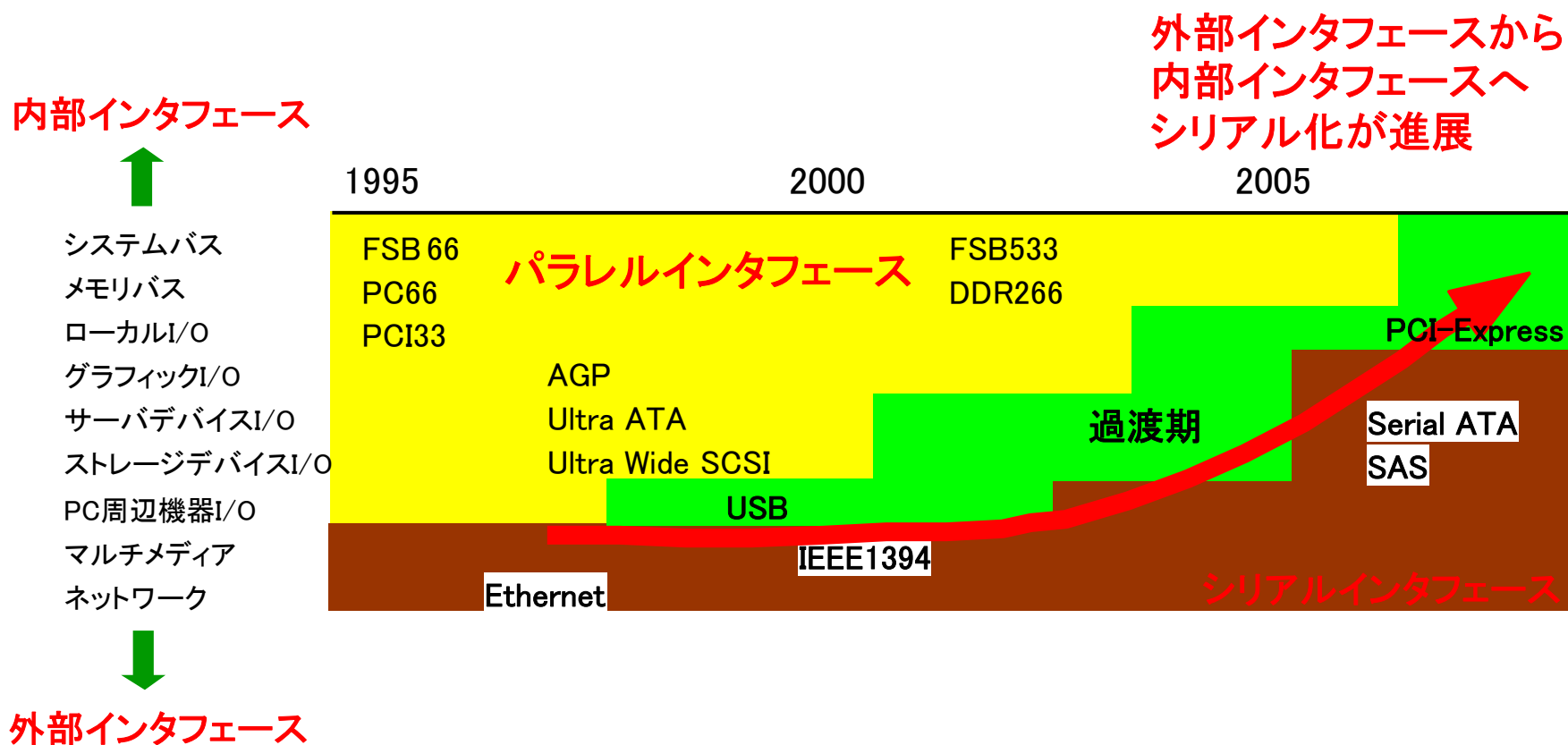


1-4 パラレル伝送とシリアル伝送

総データ伝送量 = 1本あたりの伝送レート(bps) × 信号本数

	メリット	デメリット
パラレル伝送	・高周波技術対応の要求が小さい ・レイテンシ小	・伝送レートを上げずに伝送量を増やすためには信号数が増加し、回路・実装コストが増大する。
シリアル伝送	・信号本数が少ないため、回路、実装コスト(面積、信号本数、基板層数、LSIピン数、コネクタピン数、ケーブル本数)が小さい。	・高周波技術への対応が必須 ・レイテンシ大

1-5 シリアル伝送化の進展



動作周波数が高くなるに伴い

- ・タイミング余裕の減少
- ・伝送系の減衰量の増加⇒S/N比悪化
- ・伝達特性の周波数依存性による波形歪の発生
- ・容量性寄生成分の影響が増大
- ・共振現象による伝送特性劣化が顕在化
- ・ミックスモード伝送設計(差動モード&コモンモード)
- ・BER設計(確率論的設計)

といった課題を解決する必要が出てくる。

前半は、これらの課題について説明し、
後半で、実際の波形解析事例を説明する。

従来のデジタル伝送設計で必要であった、

論理(デジタル)回路／デジタルデバイス技術

伝送理論

←主にタイムドメインの考え方

に加えて、信号速度の高速化により

アナログ回路／アナログデバイス技術

電磁気理論、電磁波工学

←主に周波数ドメインの考え方

通信理論

さらに、ビットエラーレート(BER)設計により

確率・統計理論

が必要になってきた。

難しい理論的な内容はできるかぎり排除して、
実際に起きている現象とその分析について述べる。

2

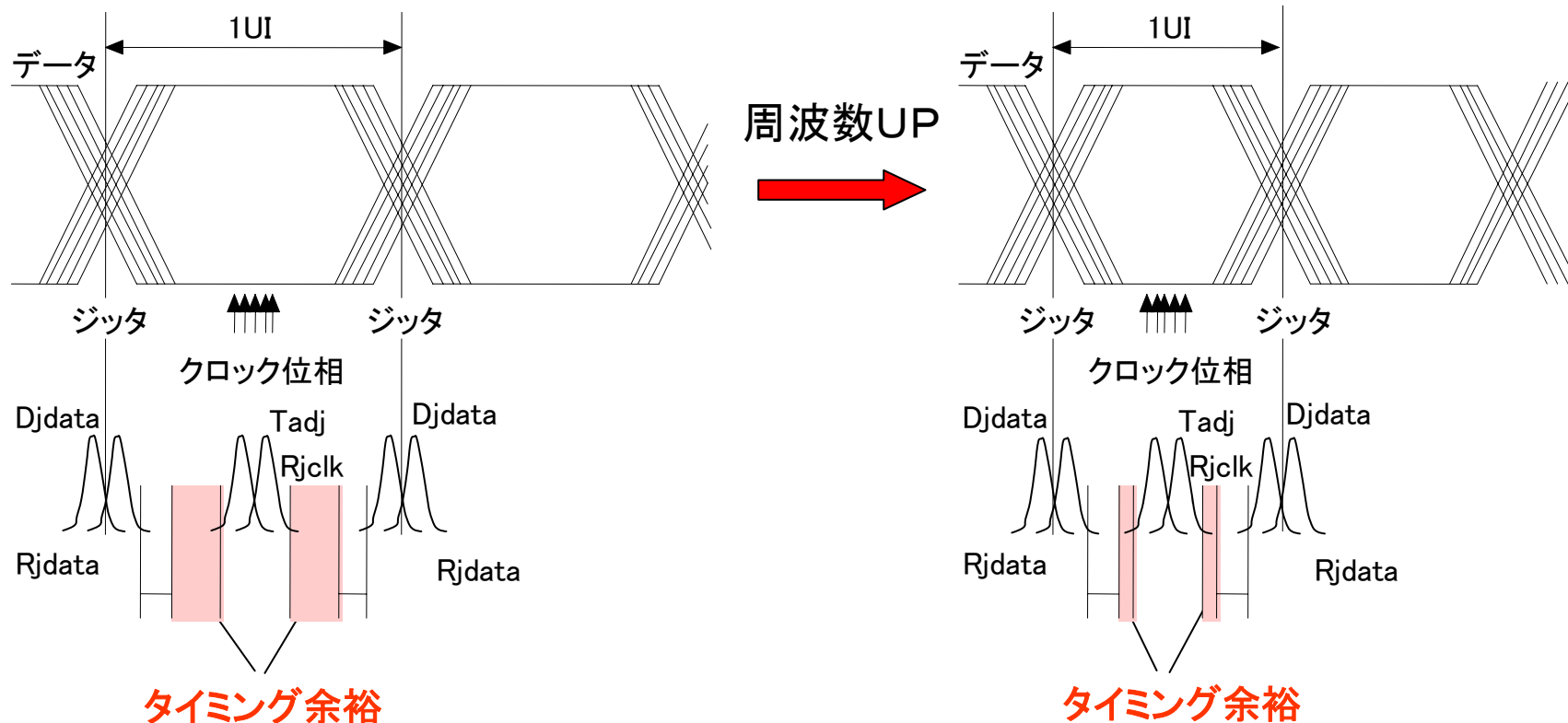
高速化の技術課題

HITACHI
Inspire the Next

- ・タイミング余裕の減少
- ・伝送系の減衰量の増加
- ・伝達特性の周波数依存性による波形歪の発生
- ・容量性寄生成分の影響が増大
- ・共振現象による伝送特性劣化が顕在化
- ・ミックスモード伝送設計(差動モード&コモンモード)
- ・BER設計(確率論的設計)

2-2 タイミング余裕の減少

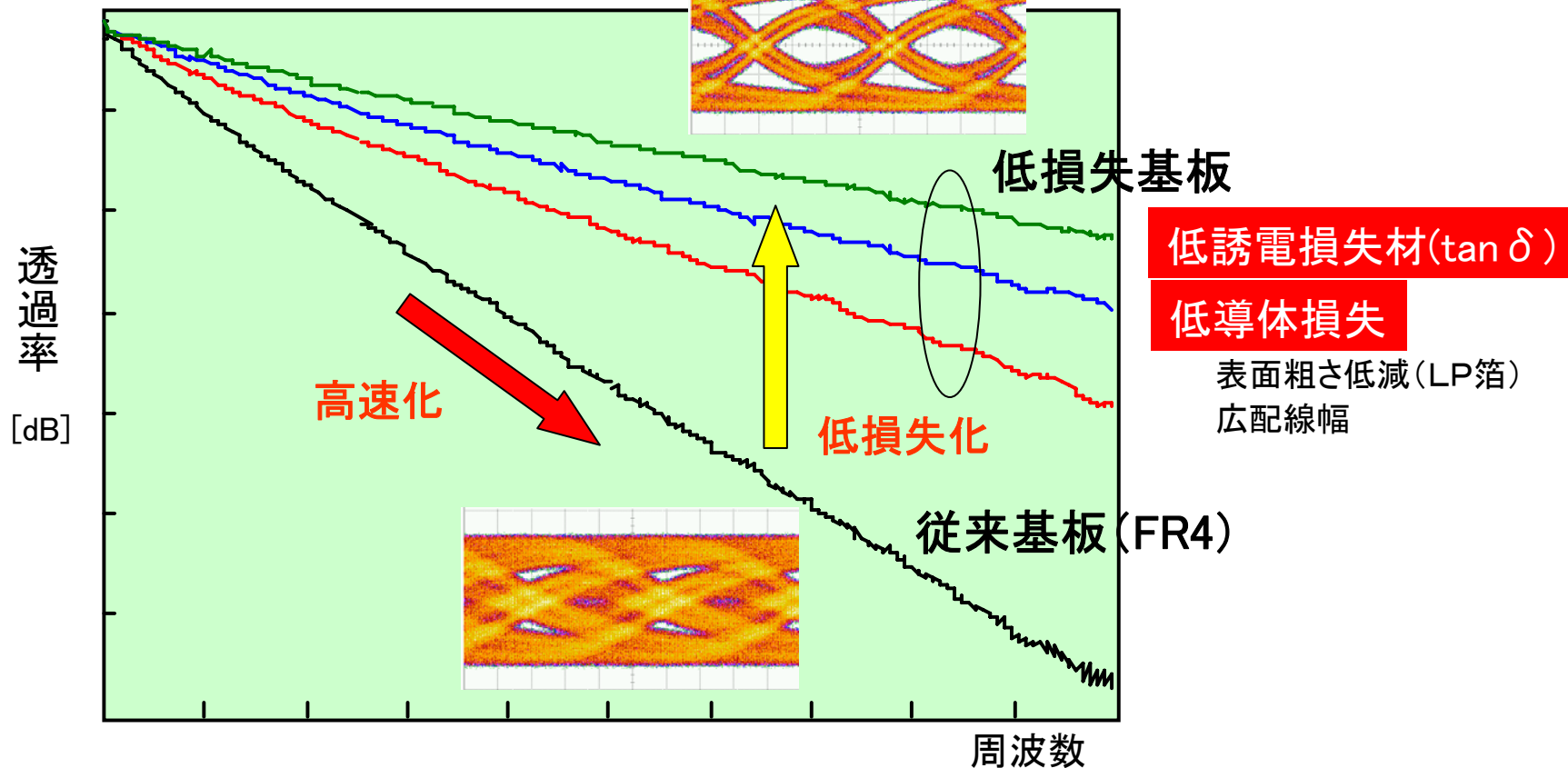
クロック位相調整方式でのタイミング余裕



高速化によりタイミング余裕が減少する。
⇒ジッタ量の改善が必要

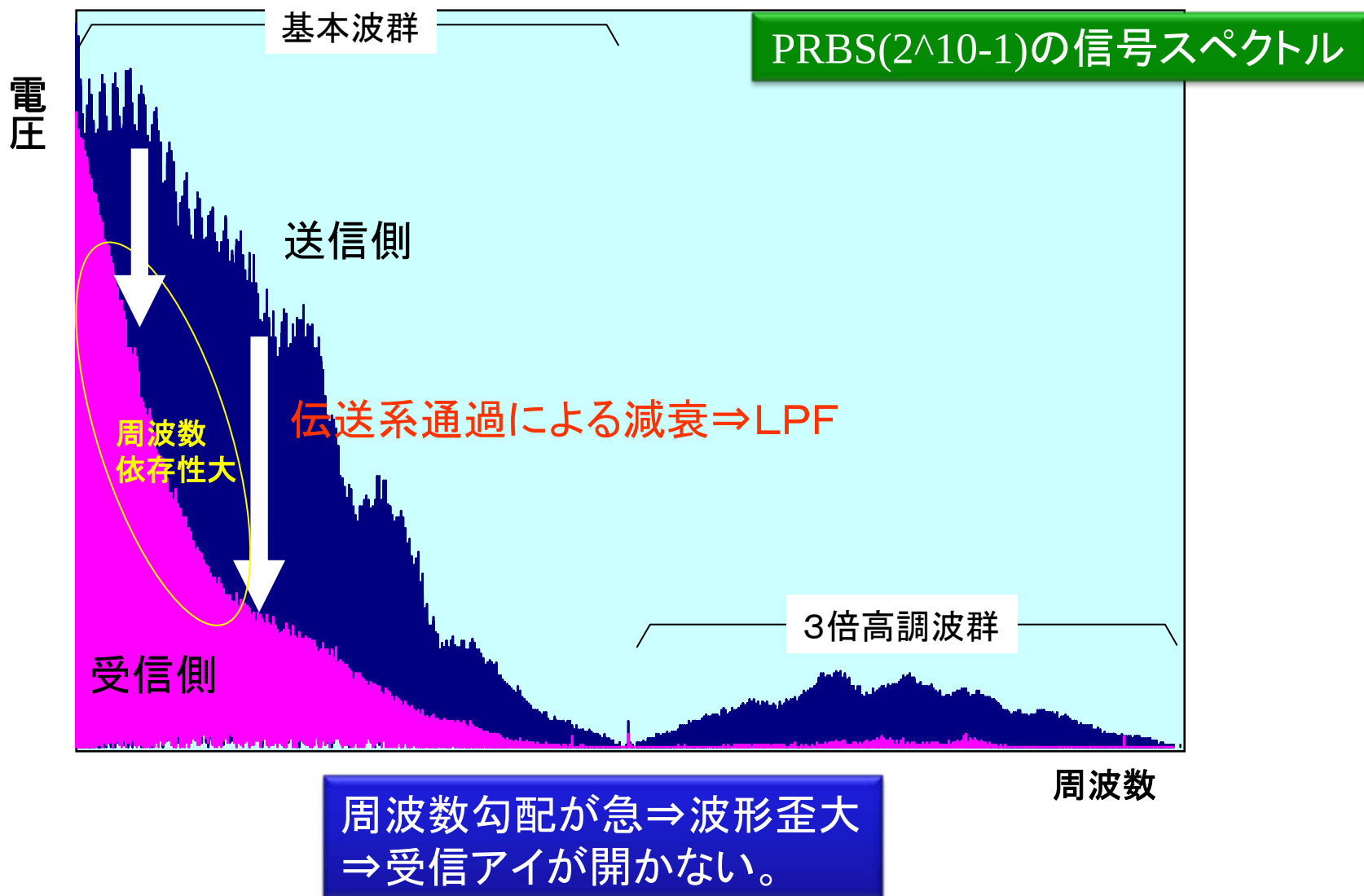
2-4 伝送系の減衰量の増加

基板配線減衰量の周波数依存

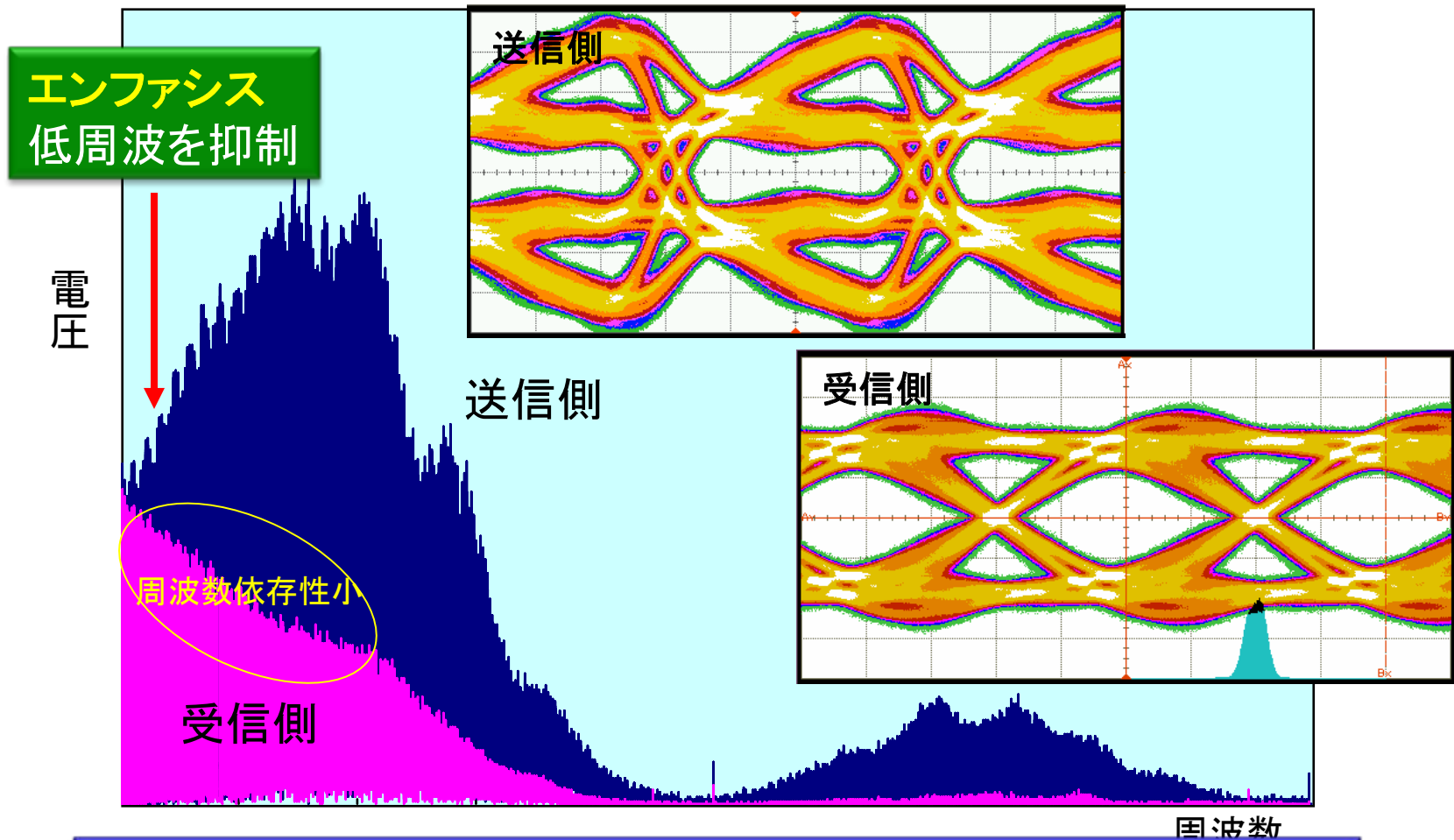


高速化により伝送損失量が増大(＝電圧余裕が減少)
⇒低損失化、低ノイズ化、最小入力振幅対策等が必要

2-6 伝達特性の周波数依存性による波形歪

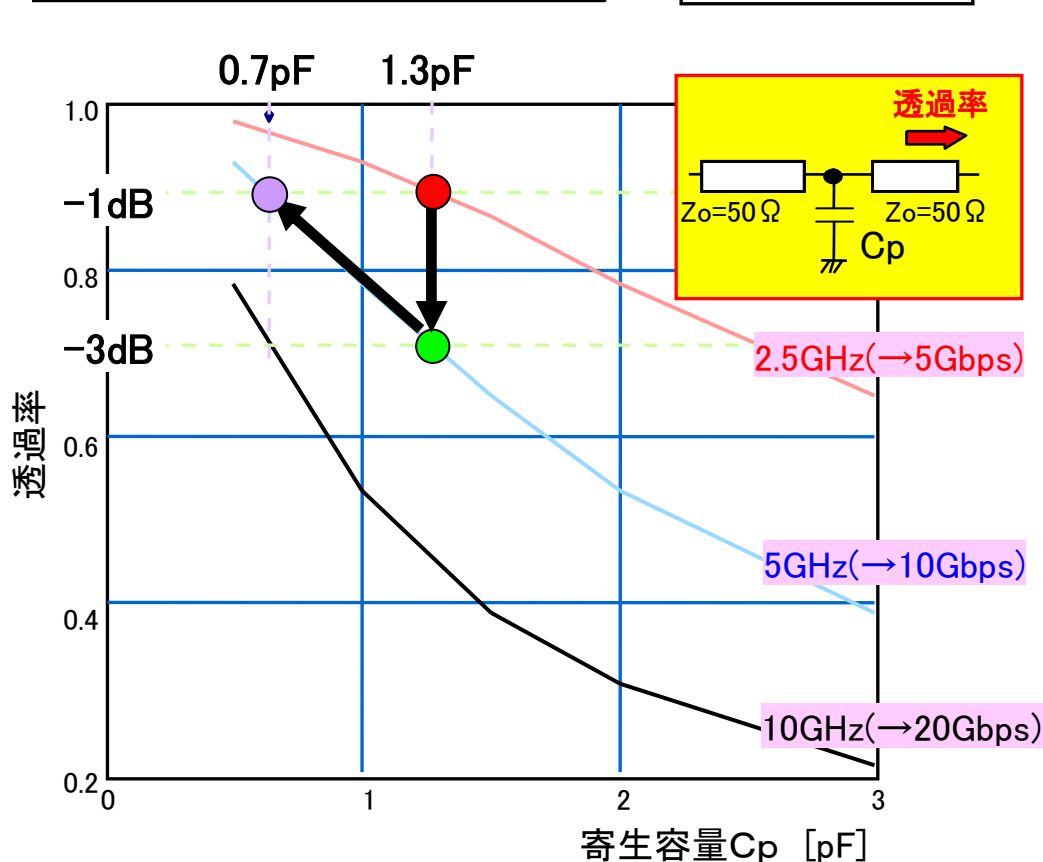
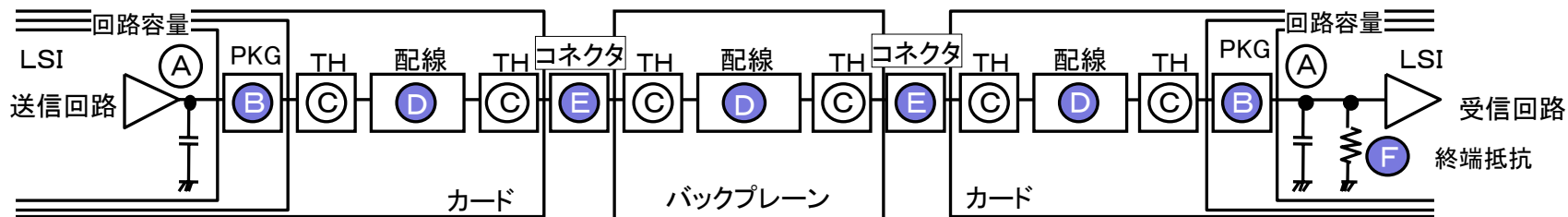


2-7 伝達特性の周波数依存性による波形歪



エンファシス等の周波数特性等価化により周波数依存性を緩和
⇒受信側の波形歪が減ってアイが開く

2-9 容量性寄生成分の影響

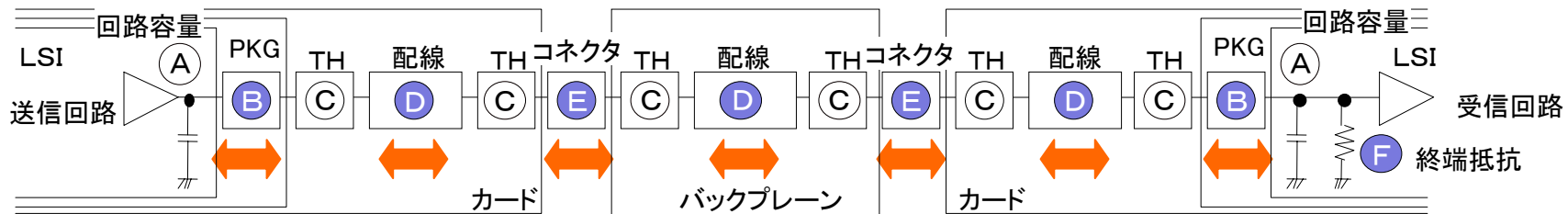


- 容量的特性 $Z = \frac{1}{j\omega C}$
- 伝送路的特性 Z_o

例えば

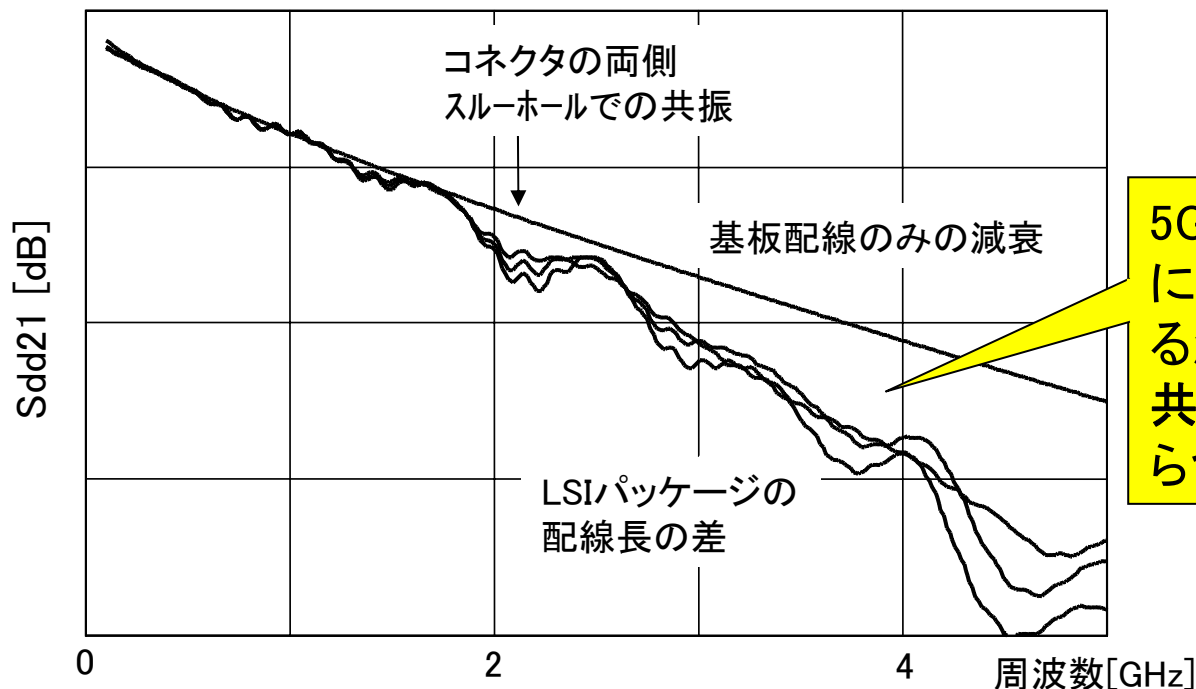
- 2.5GHz(5Gbps)で-1dBの減衰となる容量的特性要因があったとして、
- このまま5GHz(10Gbps)の伝送に適用すると-3dBに損失量が増加する。
- 元の-1dBとするためには、寄生容量値を約半分とする改善を行わなくてはならない。

2-11 共振現象による特性劣化①



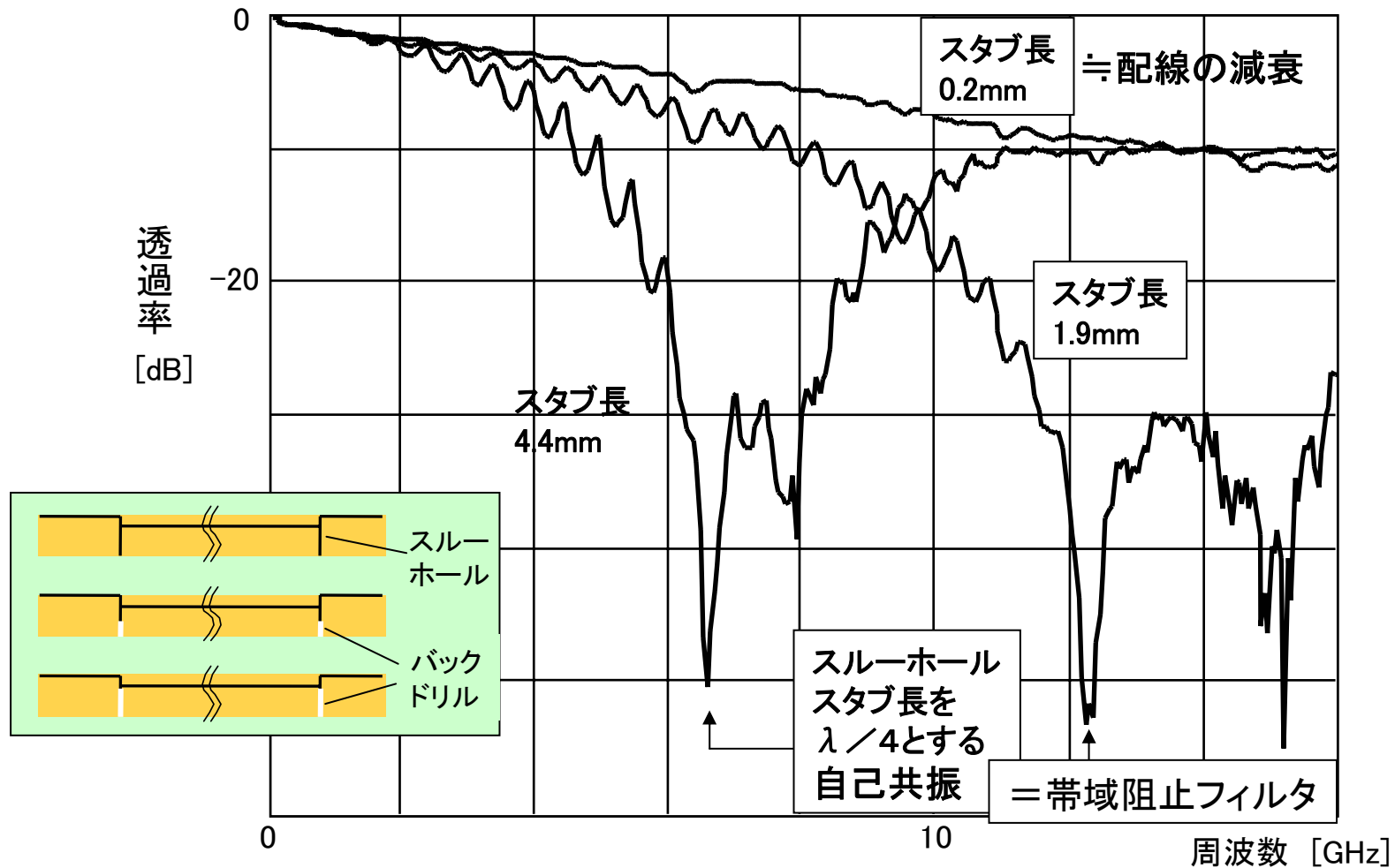
- 容量的特性
- 伝送路的特性

伝送路的特性部分を挟んだ2つの容量的特性部分の間で**多重反射共振現象**が発生



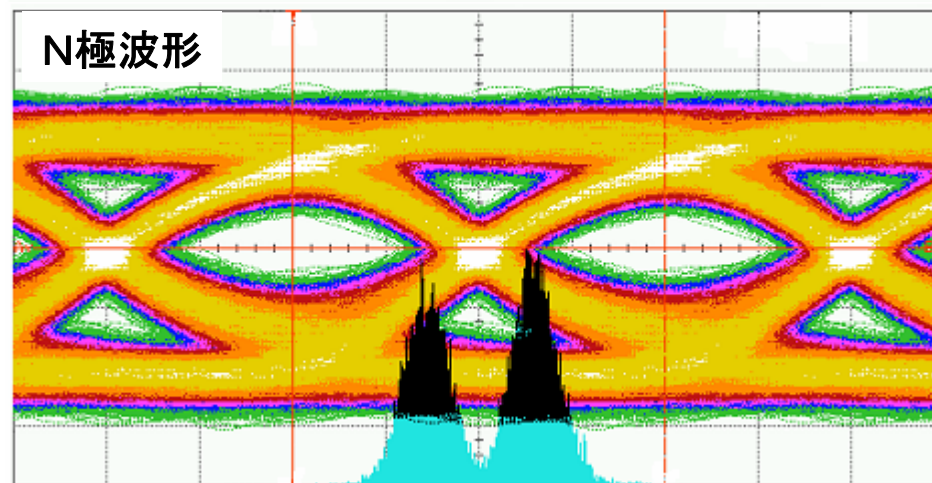
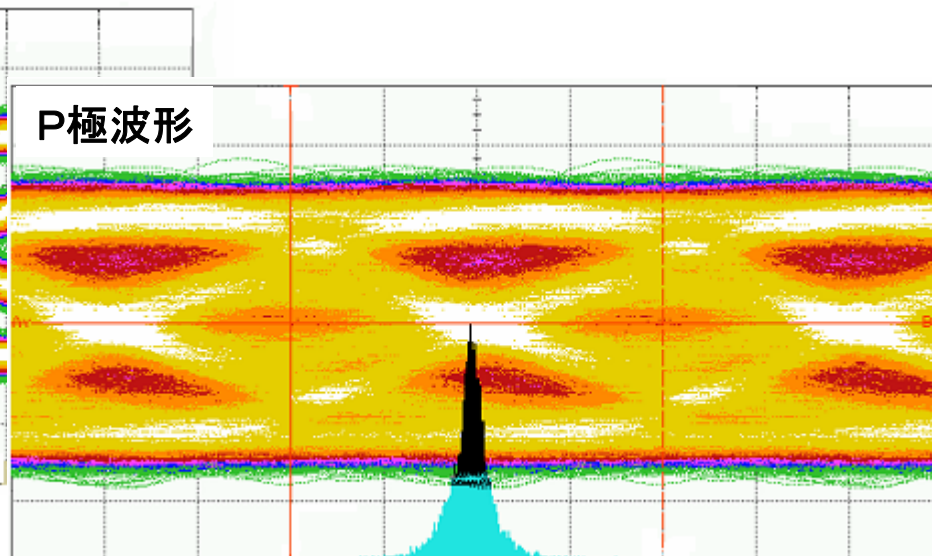
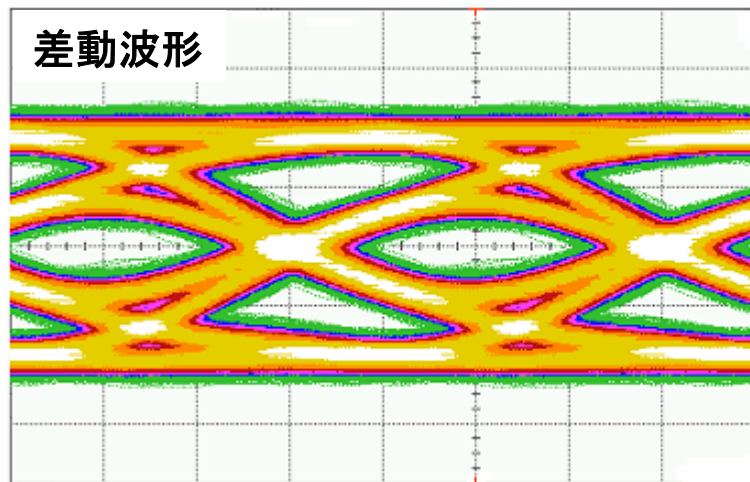
5Gbps (2.5GHz) 以上の伝送において、容量的特性による減衰に加えて、多重反射共振による周波数特性のばらつきが顕著となる。

2-12 共振現象による特性劣化②



10Gbps以上の伝送でスルーホールスタブ長2mmの自己共振の影響が顕著となる

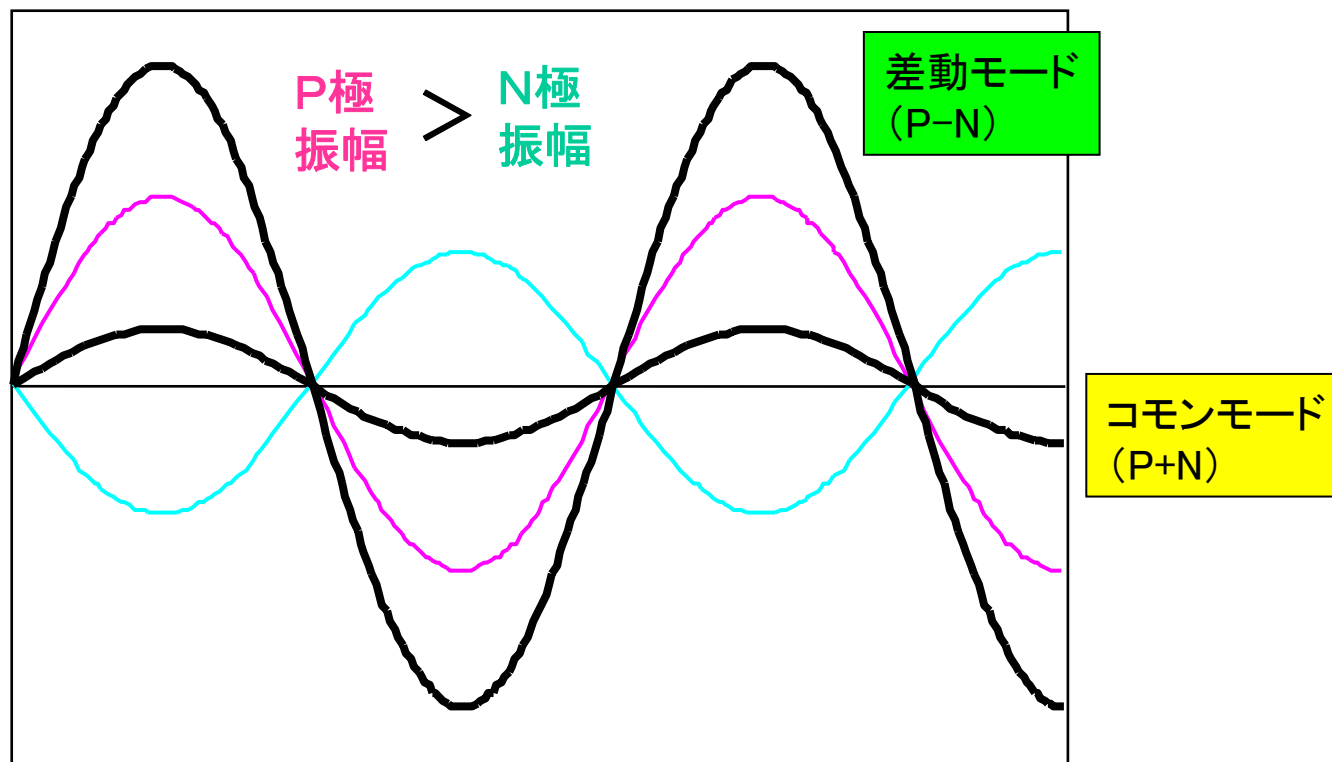
2-14 ミックスモード伝送設計



一見、普通の差動信号のアイパターンであるが

P極、N極の信号をそれぞれグランド基準で見ると、P極、N極波形が非対称になっている場合がある。

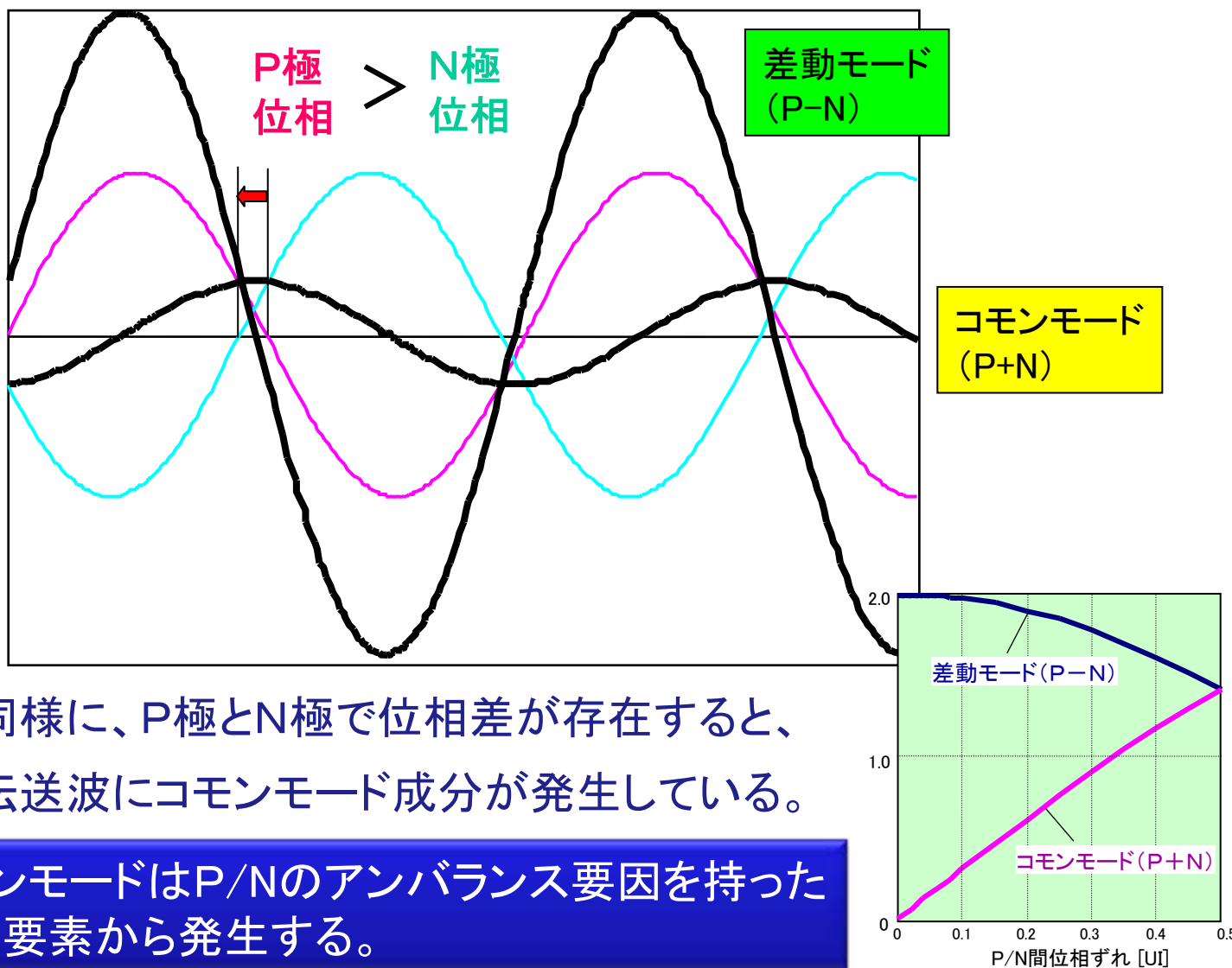
2-15 ミックスモード伝送設計



P極波形とN極波形で振幅が異なるということは、
伝送波にコモンモード成分が存在するということ。

実際の差動伝送路には2つの電磁波モードが同時に存在する

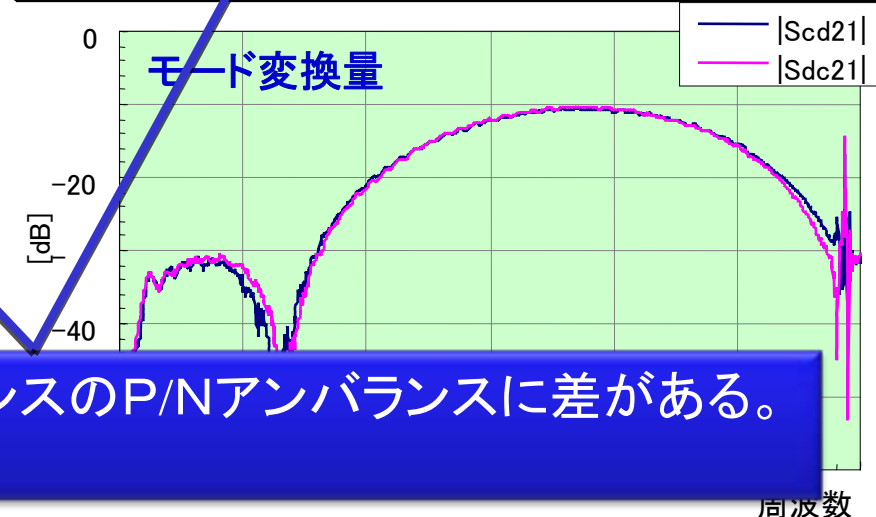
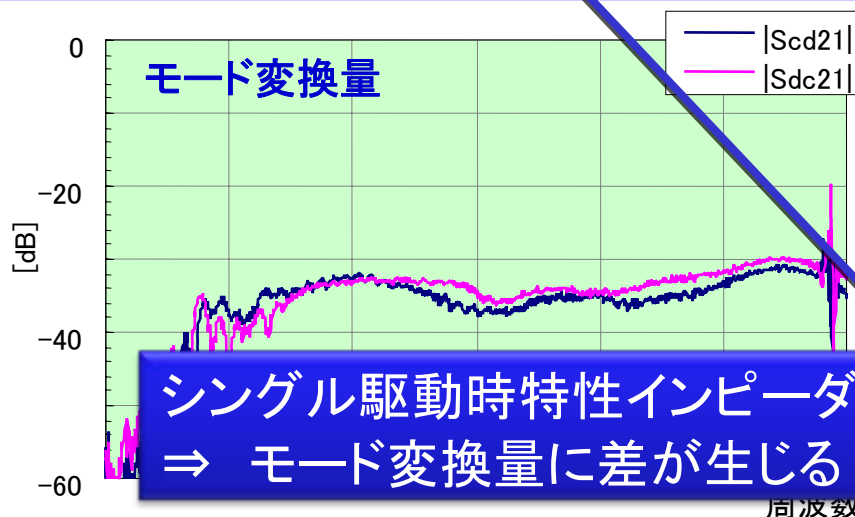
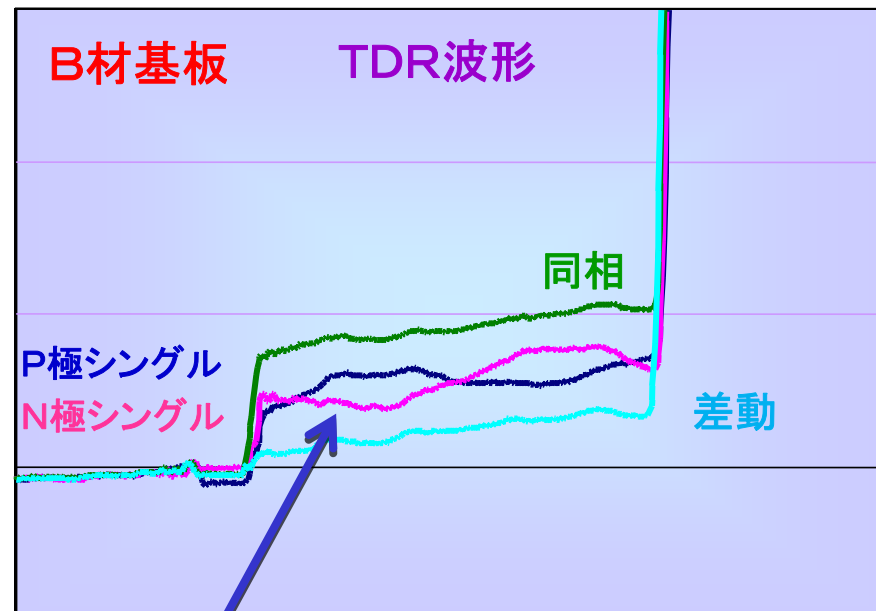
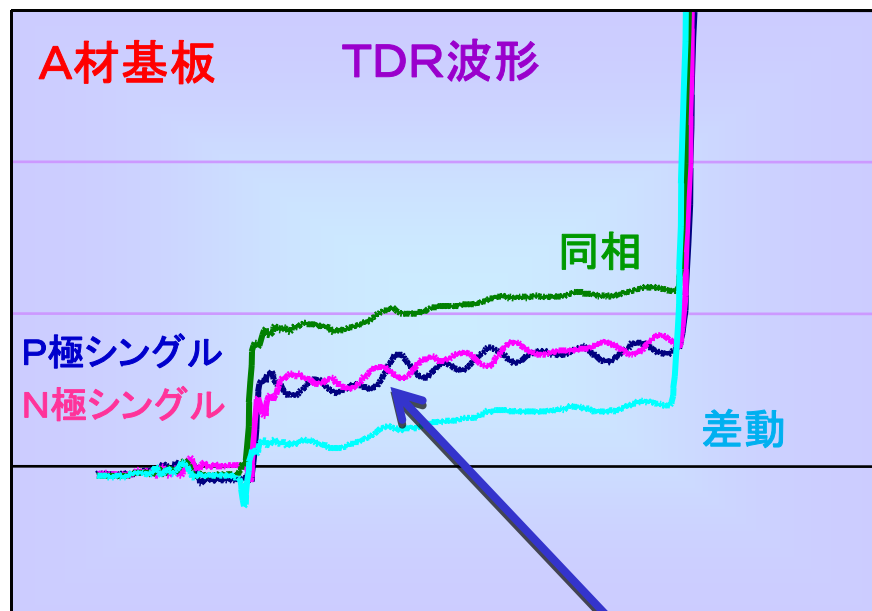
2-16 ミックスモード伝送設計



同様に、P極とN極で位相差が存在すると、
伝送波にコモンモード成分が発生している。

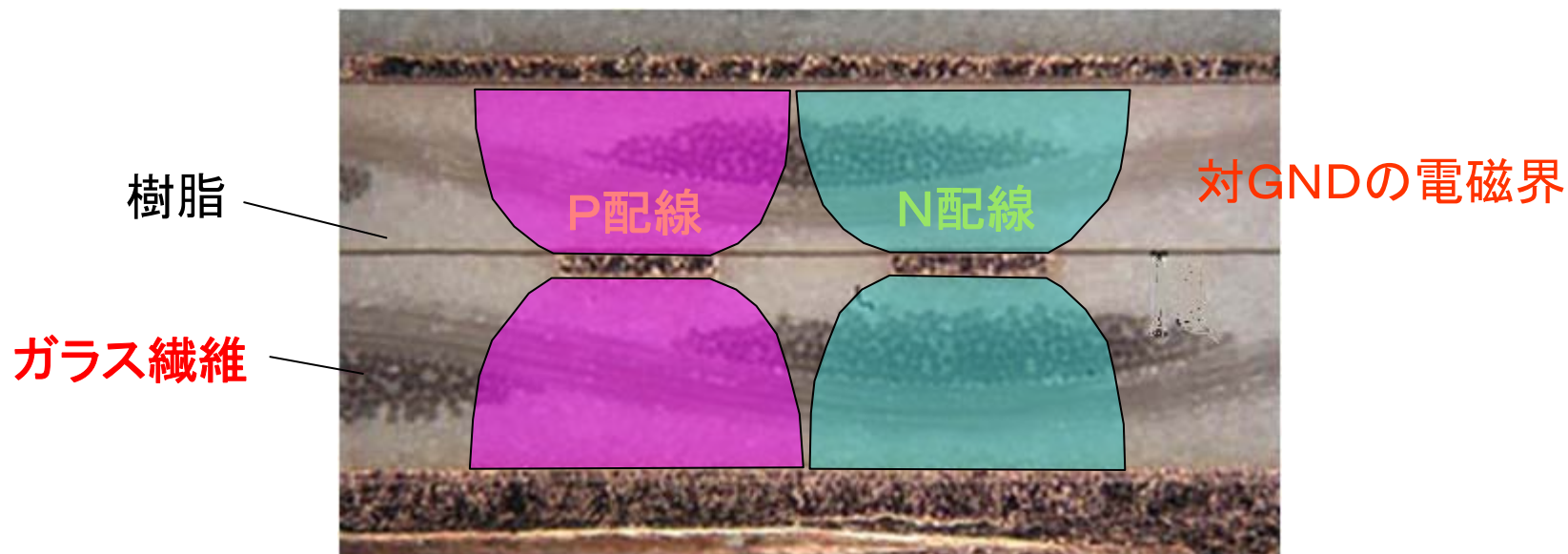
コモンモードはP/Nのアンバランス要因を持った
各種要素から発生する。

2-17 ミックスモード伝送設計



シングル駆動時特性インピーダンスのP/Nアンバランスに差がある。
⇒ モード変換量に差が生じる

2-18 ミックスモード伝送設計



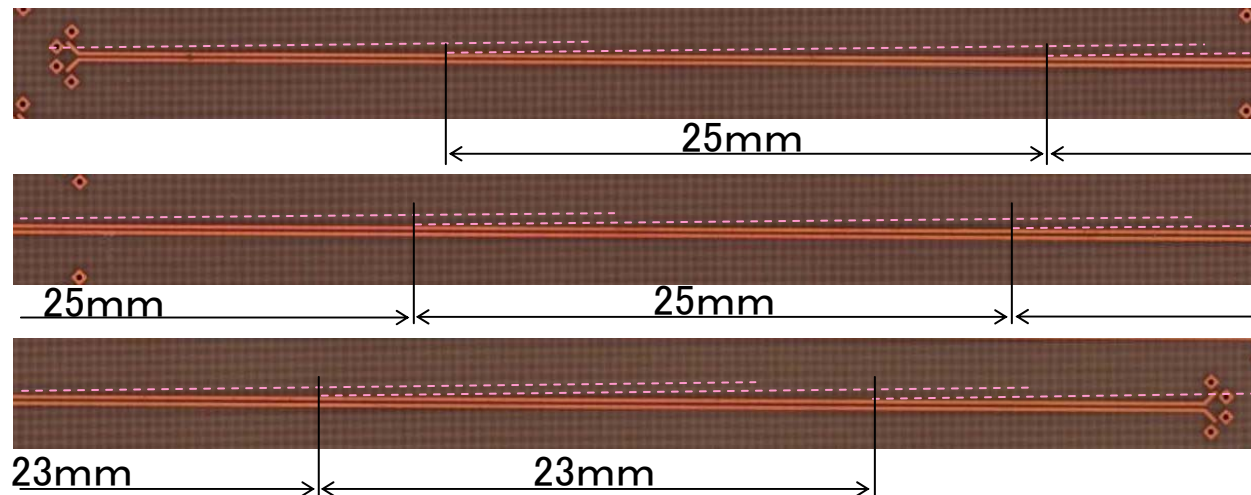
基板配線断面図(ストリップライン)

P極がガラスが疎⇒実効誘電率低い
N極はガラスが密⇒実効誘電率高い

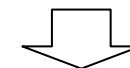
基板配線のミクロな構造が特性に影響を与える

2-19 ミックスモード伝送設計

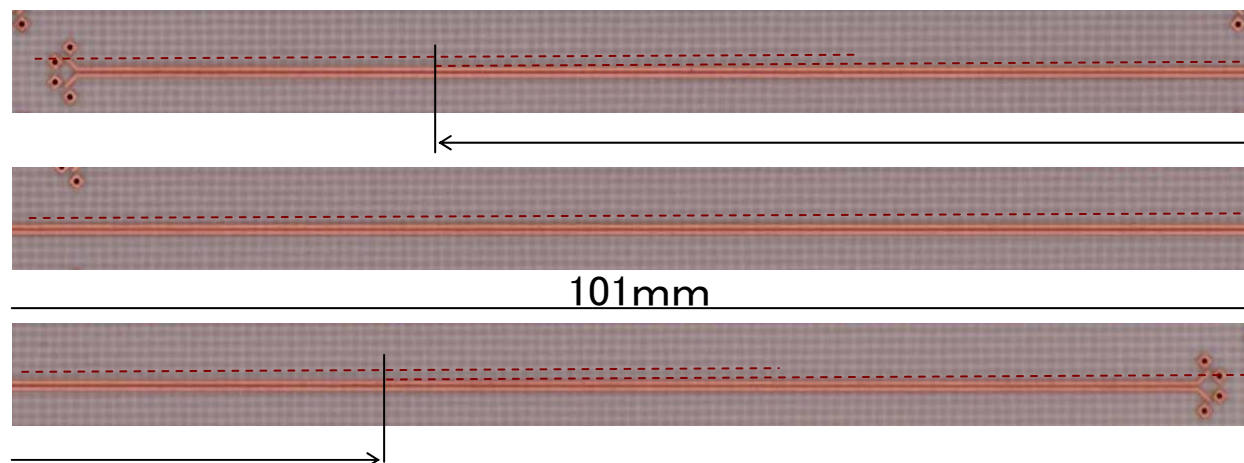
A材基板



ガラスクロスは配線
に対して少し斜め。
A材, B材基板とで
交差角度が違う。



B材基板



インピーダンス揺らぎ
周期差の原因

このように、差動伝送系は、差動モードとコモンモードの2つの電磁波モードが同時に存在し、互いに影響しあう。

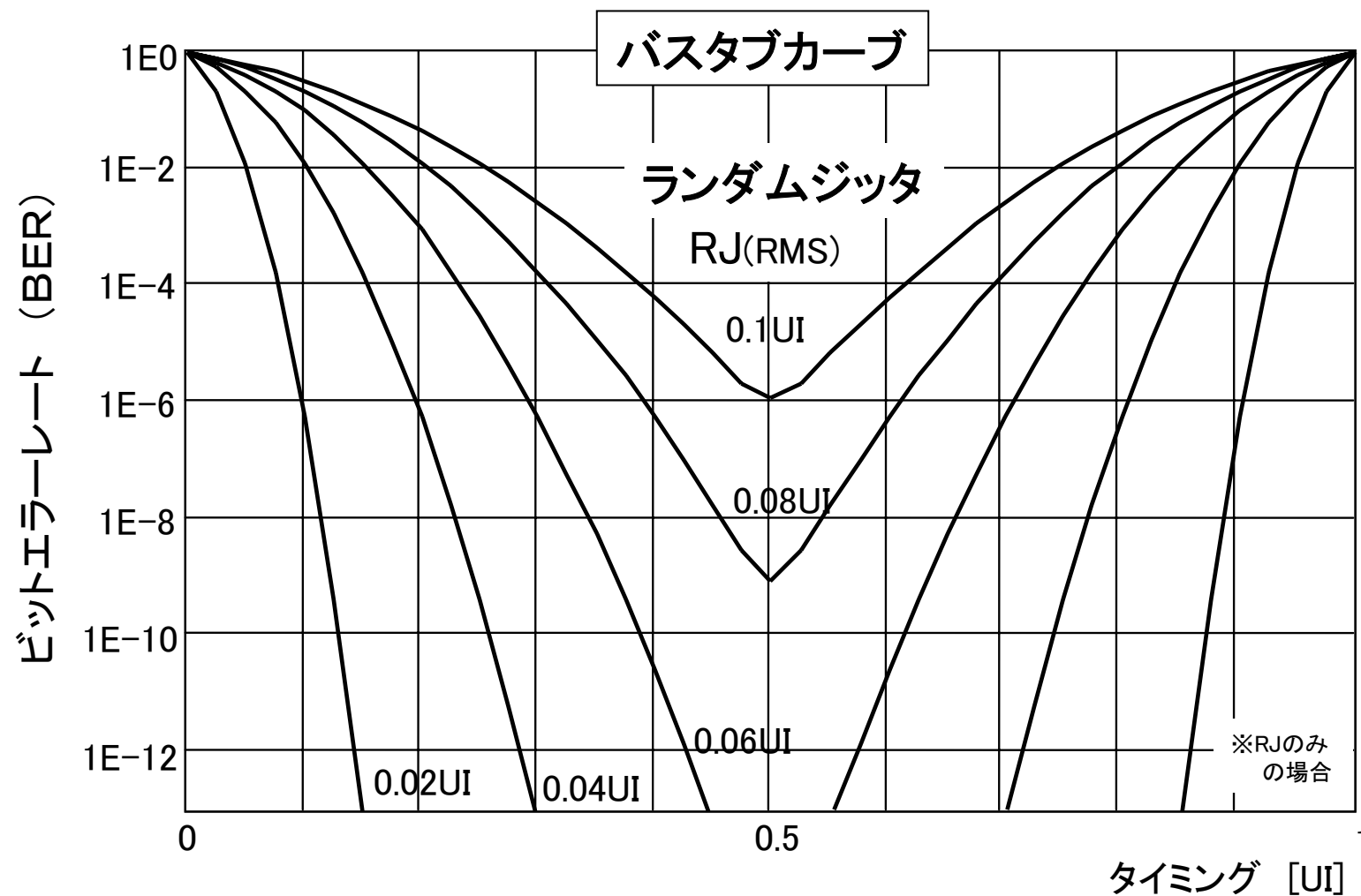
高速化の進展でこの影響が大きくなることが予想される。2つの電磁波モードを同時に扱う“ミックスモード解析”が必要となってくる。

エレクトロニクス実装学会より、
マイクロ・エレクトロニクス・シンポジウム2007
ベストペーパー賞を頂きました。

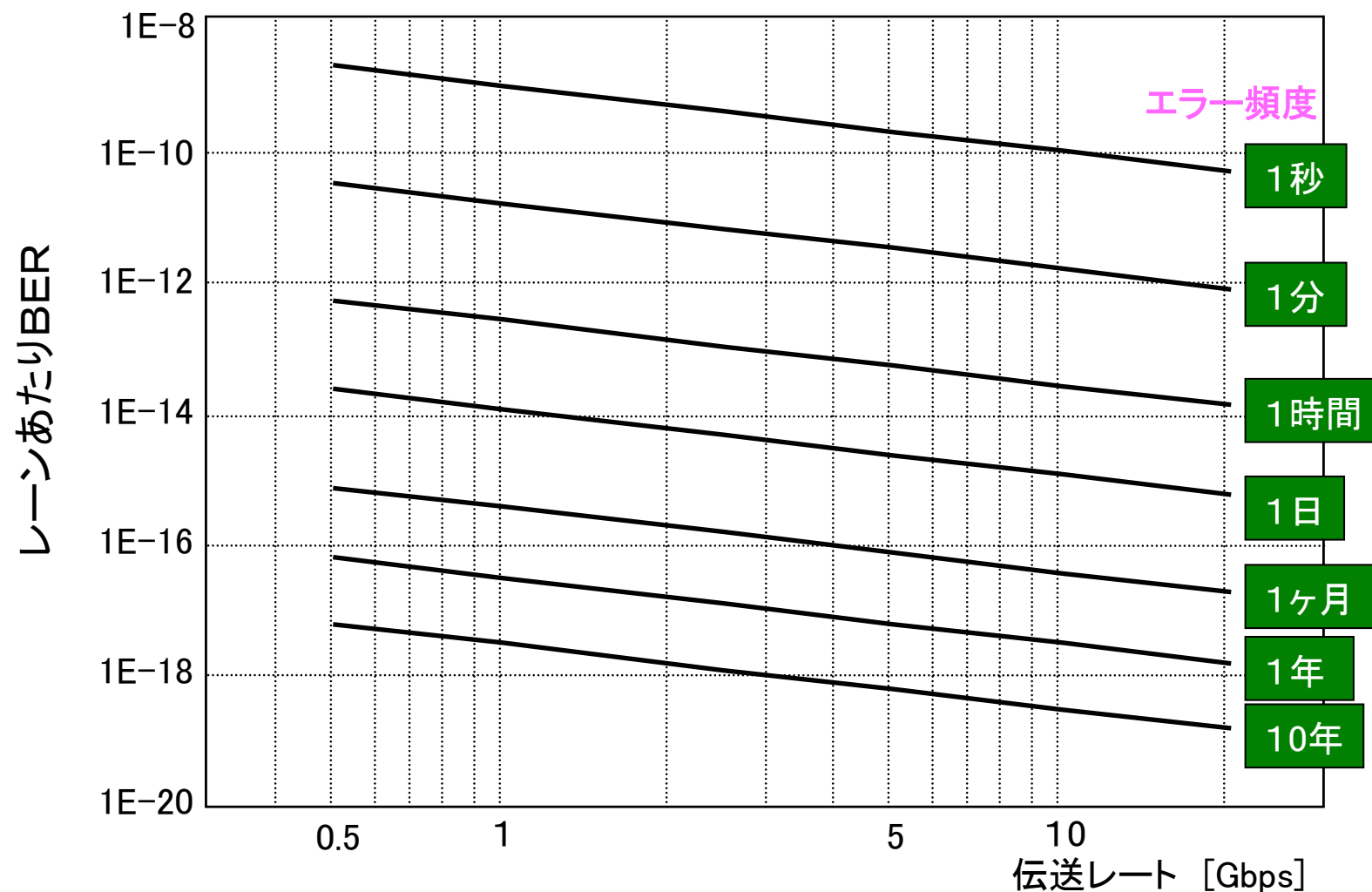
参考(学会発表)

- ① 2007.9.14 エレクトロニクス実装学会MES2007
「基板誘電体構造が差動伝送特性に及ぼす影響の解析」
- ② 2007.9.15 電子情報通信学会ソサイエティ大会 C-2-81
「ガラスクロスを含む基板における差動伝送特性の解析」

2-22 BER設計(確率論的設計)

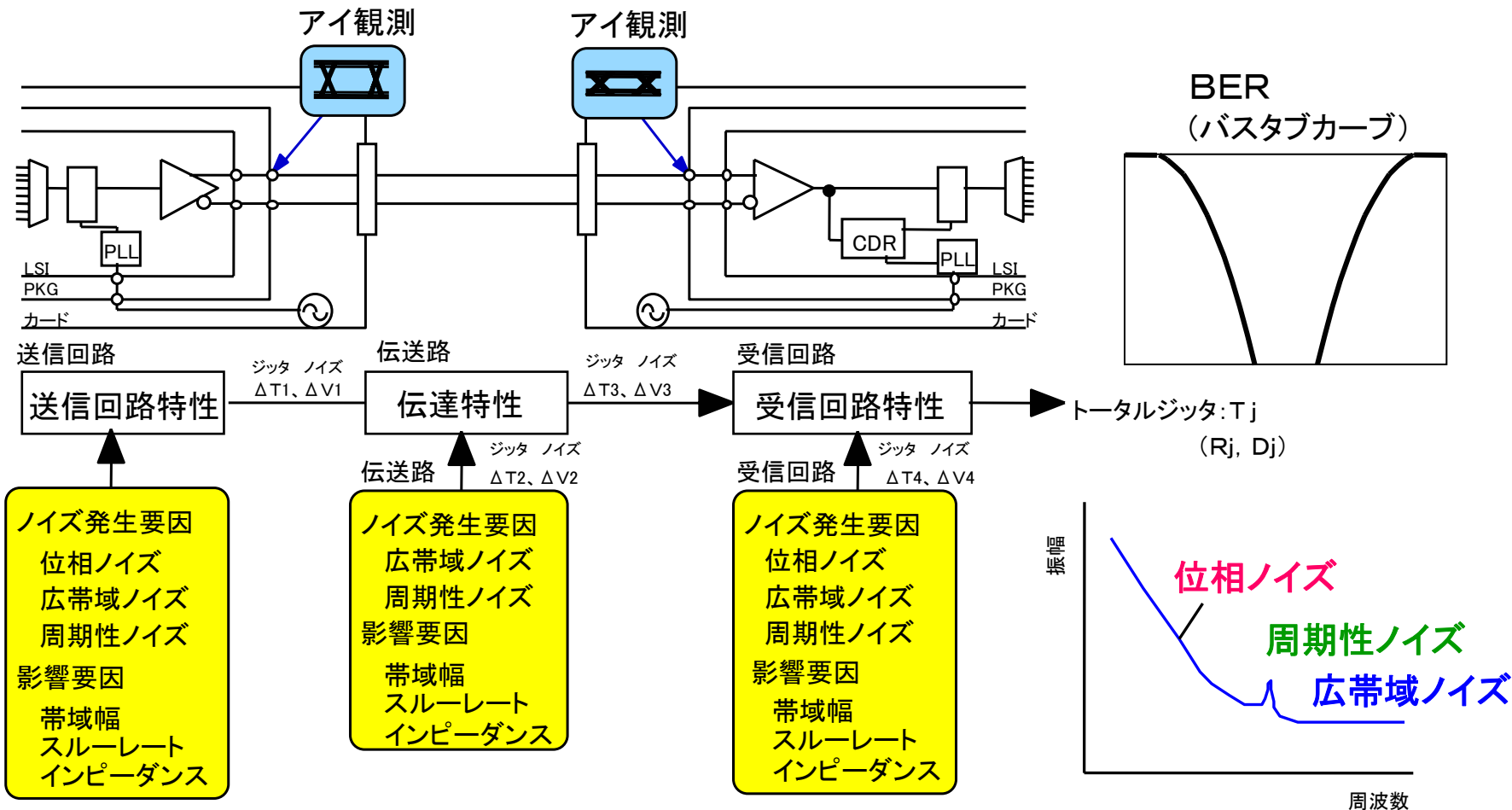


2-23 BER設計(確率論的設計)



許容エラー頻度を想定し、バスタブカーブ目標を決める。

2-24 高周波で高精度な設計手法と評価方法



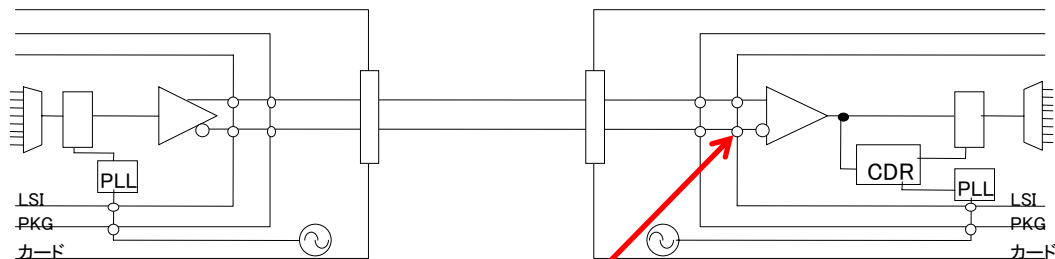
各要因を正しく評価することが重要。実例を次章で述べる。

位相ノイズ 発振器で顕著。フリッカー雑音、1/f雑音
広帯域ノイズ ショット雑音(PN接合部)、熱雑音(抵抗、回路)
周期性ノイズ PLLリファレンススプリアス、電源ノイズ干渉、クロストークなど

3

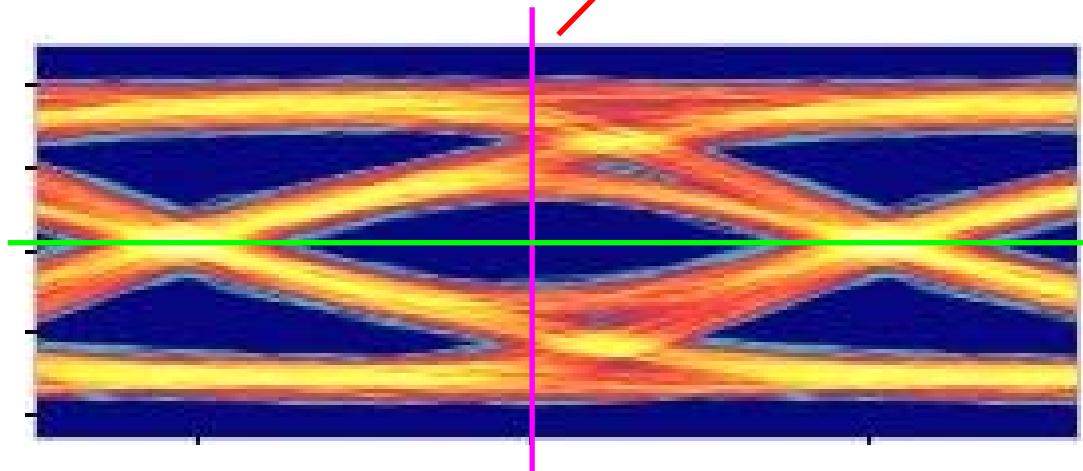
波形解析から分かること

3-1 受信アイパターン①

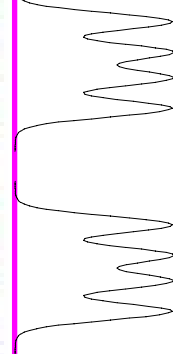


アイ波形

一見、アイが
空いているよう
に見えるが...



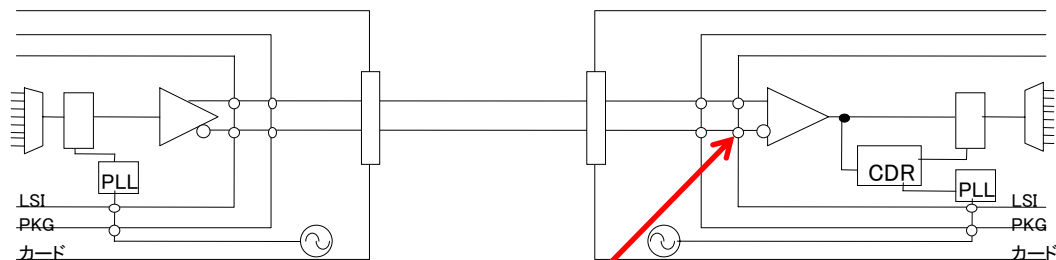
ノイズ分布



ジッタ分布

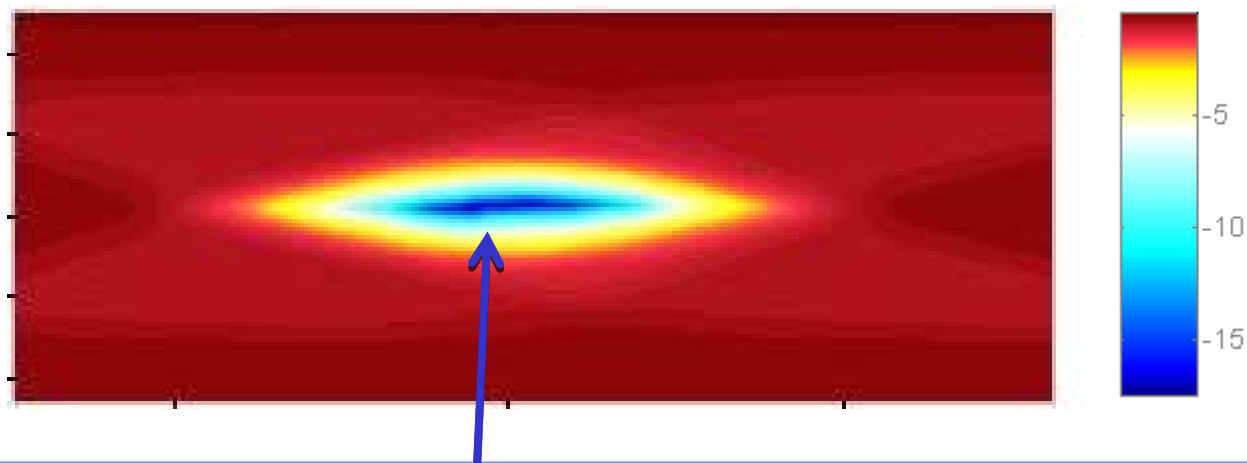


3-2 受信アイパターン②



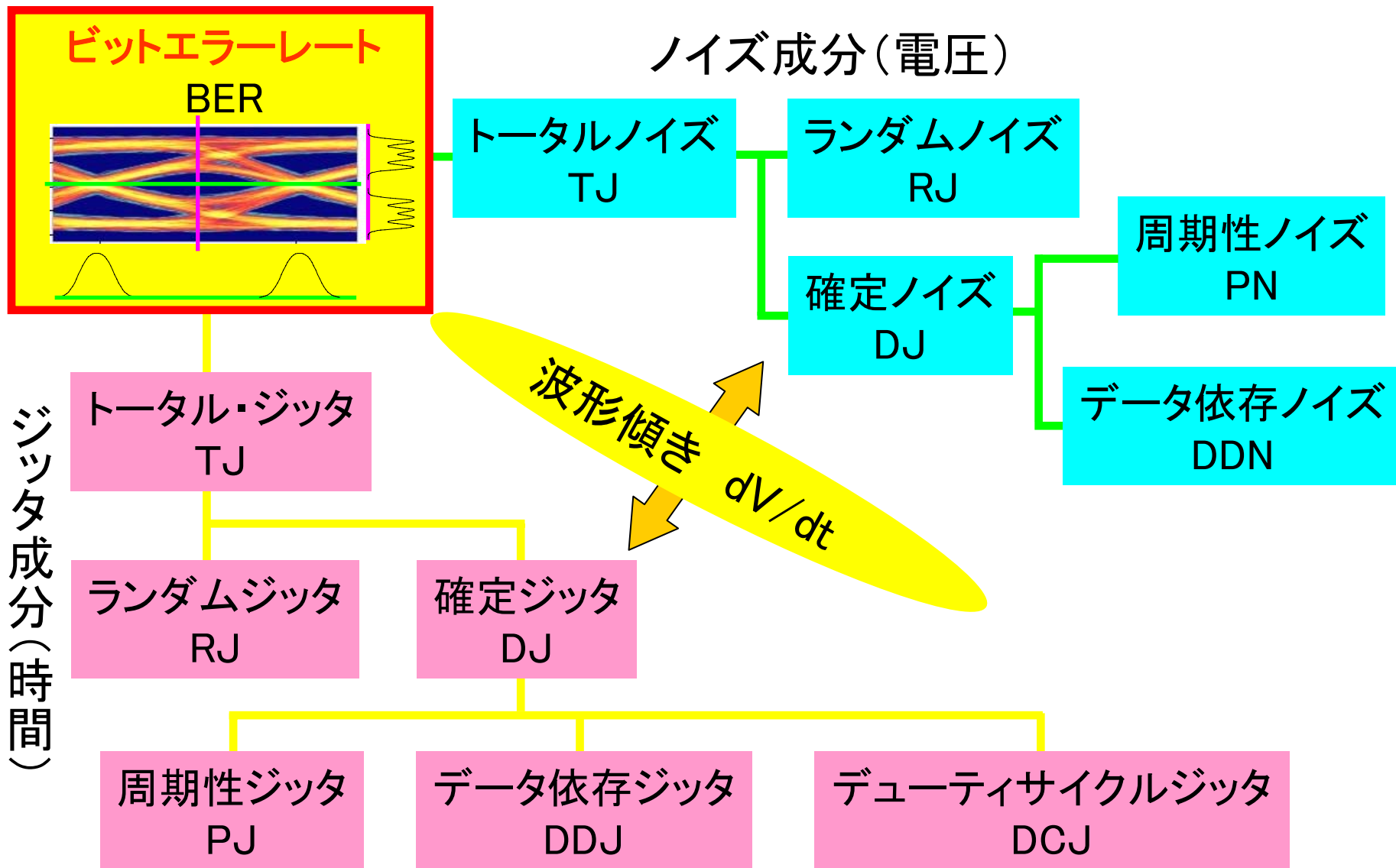
アイ開口
等高線

⇒BER

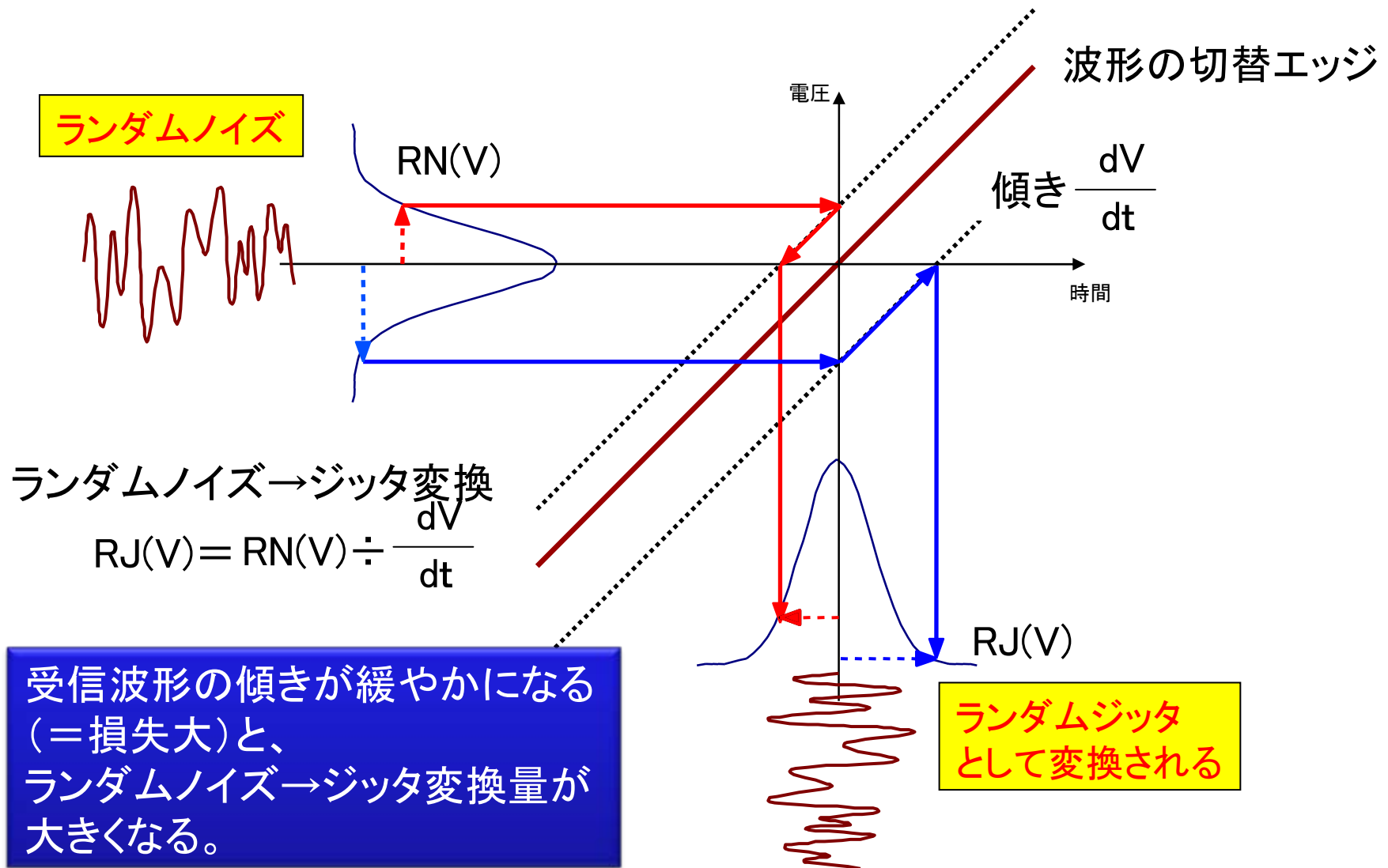


ランダム成分の存在により確率分布的にアイは閉じてくる

3-3 波形のBERを決める要因

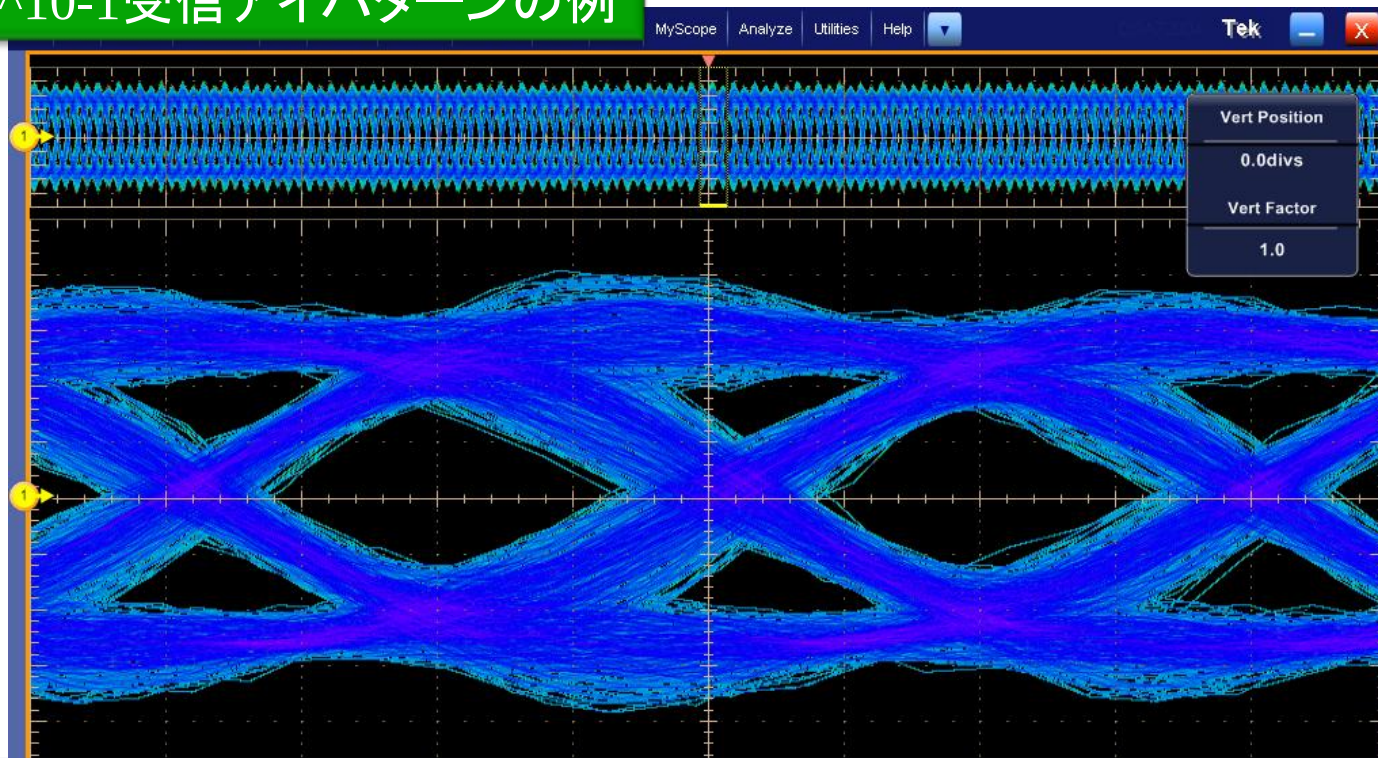


3-4 波形の傾きによるジッタ⇔ノイズ変換



3-5 アイパターンとワンショット波形

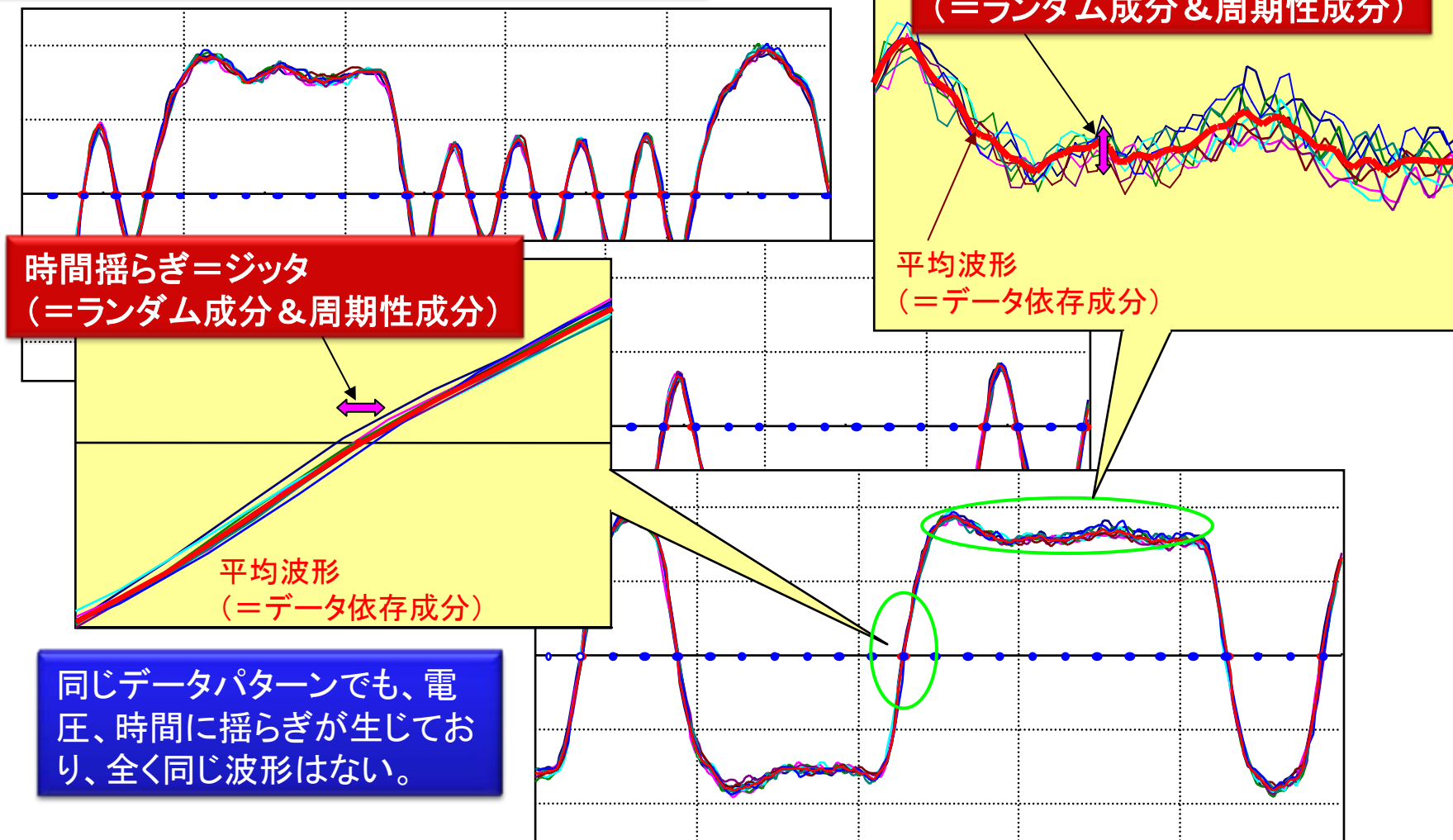
PRBS2¹⁰-1受信アイパターンの例



アイパターンは、受信波形の結果的なタイミング余裕、電圧余裕の品質を一度に見るのに適しているが、..
何故、波形がこのようなになるのか？ 何が起きているのか？
⇒アイパターンを眺めても見えてこない。

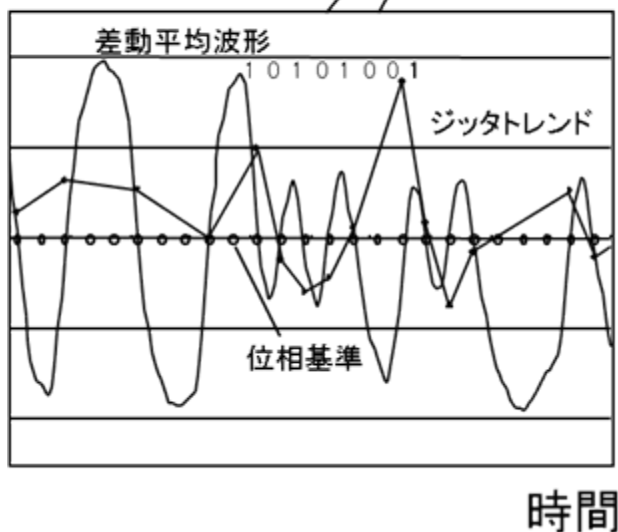
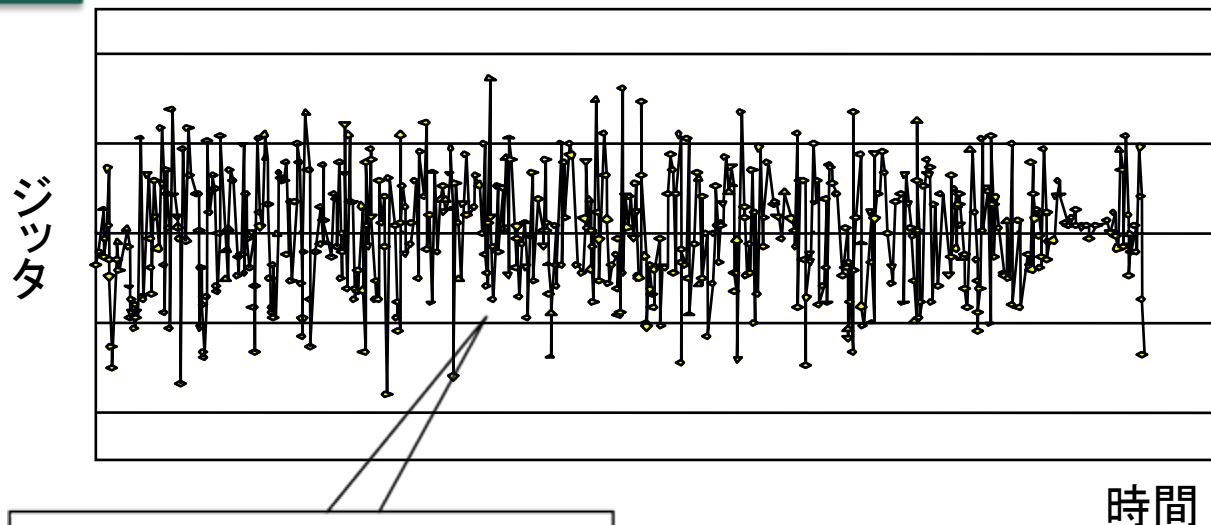
3-6 確定成分とランダム成分

同じデータパターンを重ねて見ると..



3-7 データ依存成分の解析①

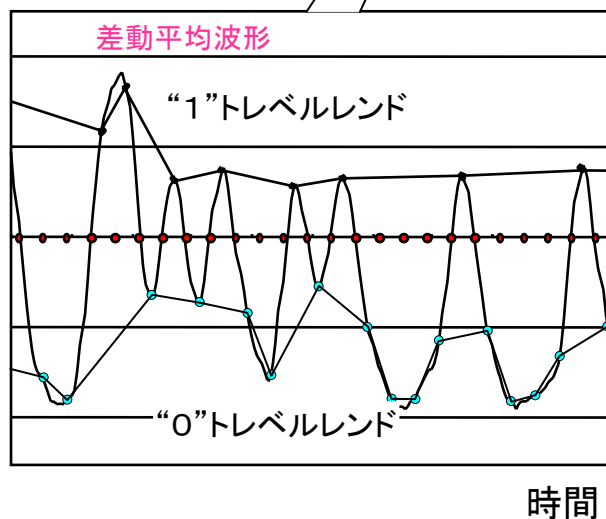
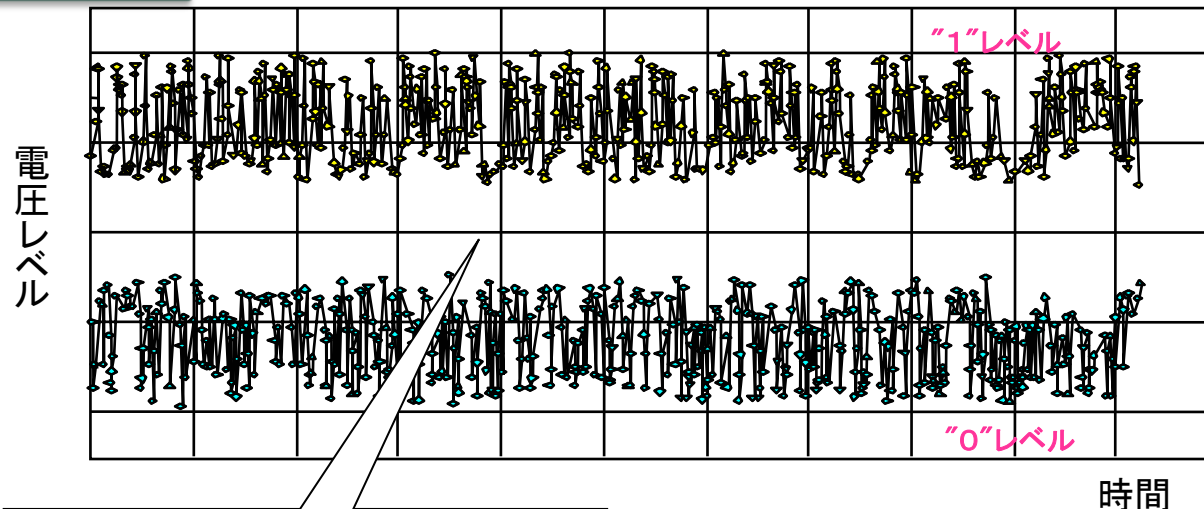
ジッタトレンド



ジッタが増加するデータパターンを見つけこの原因を追究する。
⇒反射ノイズなど自分の動作に同期したノイズが原因

3-8 データ依存成分の解析②

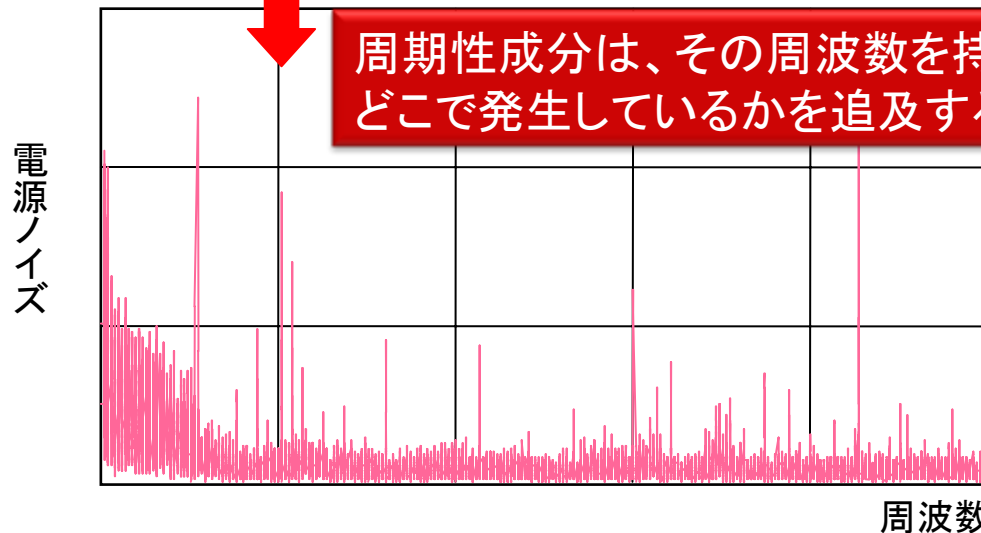
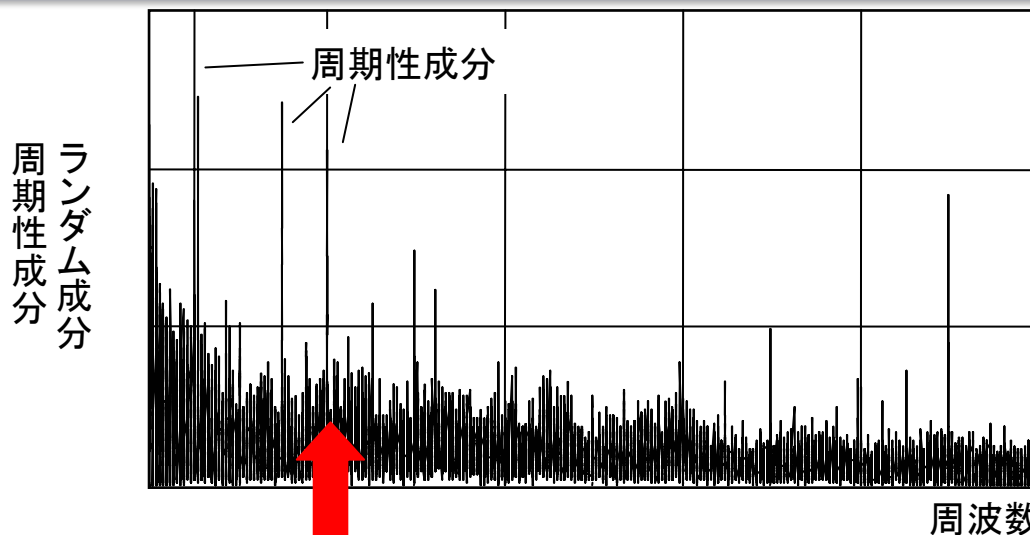
電圧レベルトレンド



レベルが低下するデータパターン
を見つけこの原因を追究する。
⇒反射ノイズなど自分の動作に同
期したノイズが原因

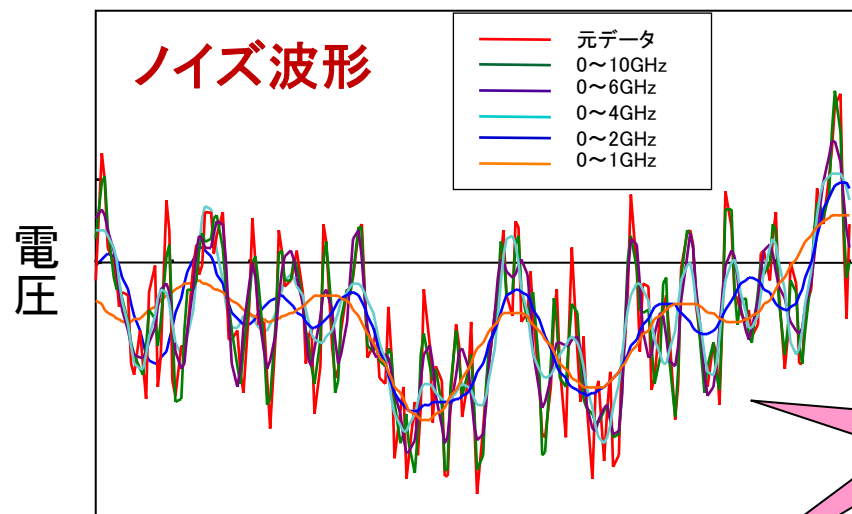
3-9 ランダムジッタ・ノイズと周期性ジッタ・ノイズ

ランダム成分、周期性成分の分析は周波数ドメインで行う



周期性成分は、その周波数を持つノイズ成分がどこで発生しているかを追及する。

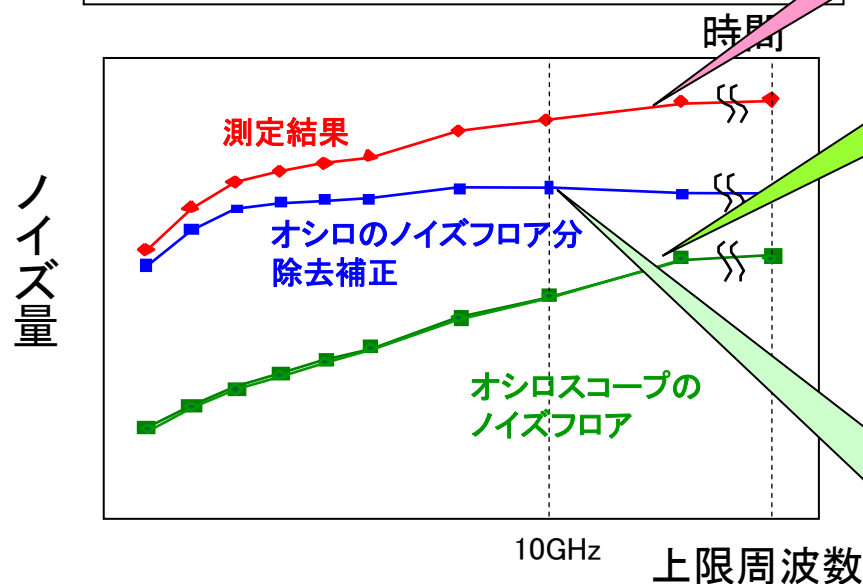
3-10 ランダム/周期性のジッタ/ノイズの周波数帯域



回路に影響を与える周波数帯域
でのノイズ/ジッタ評価が必要

回路のジッタ/ノイズ耐性特性の理解が必要

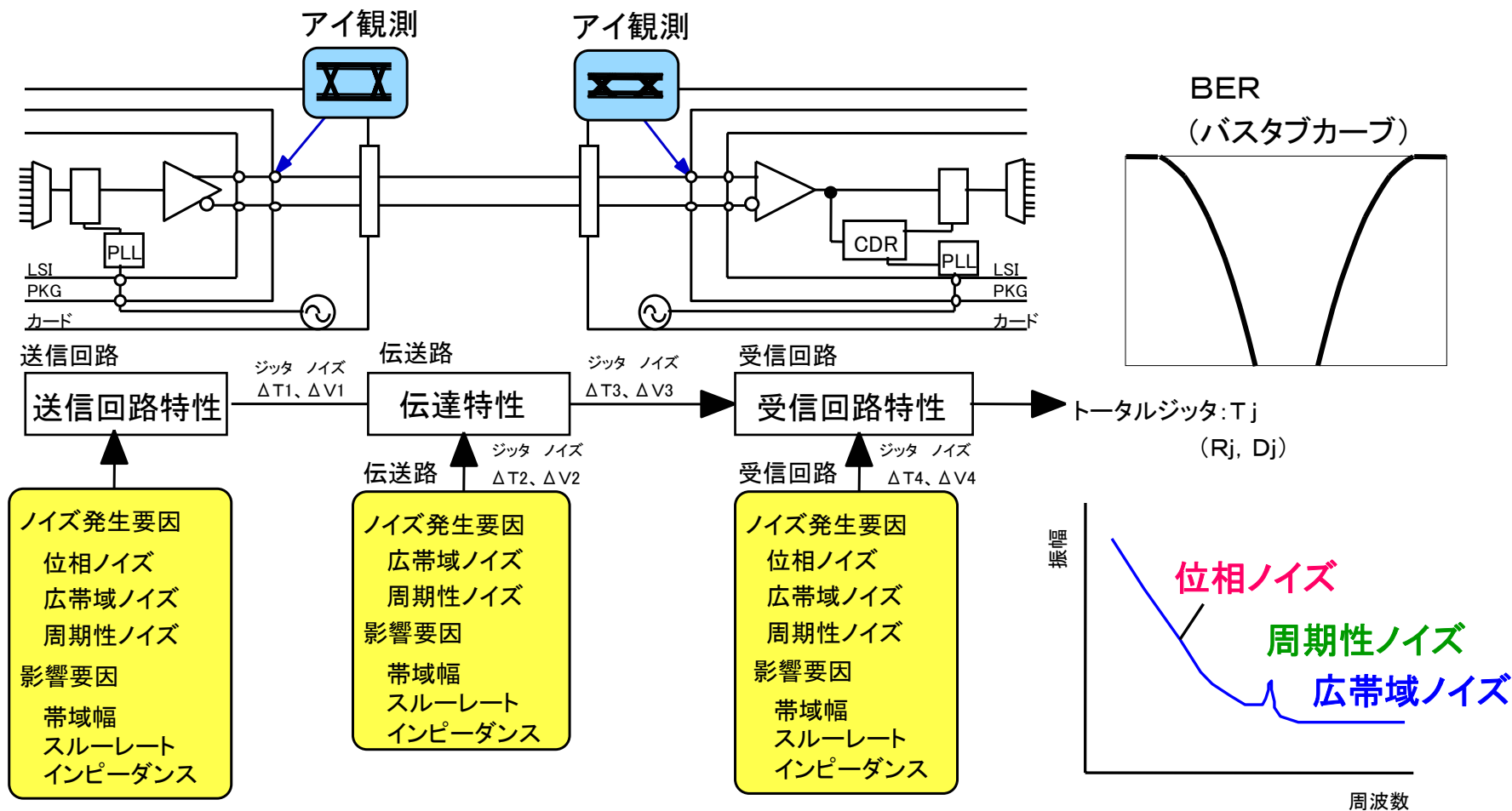
測定波形のFFT結果に帯域
上限制限をかけた後、IFFTで
波形に戻すとノイズ量が減少



オシロスコープのノイズフロア
も広帯域ノイズ(RN)であるた
め同様の傾向を示す。

オシロスコープのノイズフロア
を除去しないと、実際よりも大
きなノイズ成分を観測する。

3-11 分析結果を表現する伝送系のモデル化



前述のジッタ・ノイズ分析結果を表現できる伝送系、回路系の正確なモデル化を行い、総合的なBER設計を行うことが重要となる。

4

まとめ

- ・数Gbpsを超えるような高速伝送では、従来の設計では無視されてきたことが問題となってくるため、数多くの要素を含む複雑な伝送系を設計しなくてはならない。
- ・実態の把握のために実測評価を行う場合においても、上記の各設計要因を高精度に測定し分析するための計測・分析技術が必要となる。
- ・これらの設計要素を複合する特性を計算可能なシミュレーションツールが、事前の高精度なBER設計を行うために必要となる。

ご清聴ありがとうございました

高速伝送系の設計と評価の勘所

2011/09/06

日立情報通信エンジニアリング株式会社

高田 芳文

Yoshifumi.takada.vy@hitachi.com