

# 高速デジタル回路 計測入門

第 3 回

## 計測器による伝送線路の評価

陰浦俊則



前回(本誌2003年8月号, pp.119-126)は、シグナル・インテグリティに対する信号観測とプロービングの問題について説明しました。今回は、高速デジタル回路設計における伝送媒体の評価の重要性と、伝送線路の具体的な計測方法について解説します。伝送媒体の評価では、TDR (time domain reflectometry) 法やSパラメータによる評価方法などを利用します。  
(編集部)

今回は、高速デジタル信号を観測するためのプロービングについて説明しました。プロービングとは「測定対象からの信号の横取り」であること、プローブそのものも電気回路であるため、単にプローブをあてるだけではうまく測定できないことなどを理解していただけたのではないかと思います。へたな測定を行うと、測定対象を分析する以前に、その測定法そのものの信ぴょう性を評価しなければならなくなってしまいます(図1)。

プローブは測定の基本であることはまちがいありません。オシロスコープに限らず、どのような測定器を使う場合も、プローブの問題は必ず付いてまわります。例えば、高精度



〔図1〕測定対象がおかしいのか、測定法がおかしいのか

測定方法や測定環境について事前に検討することは、測定結果の信ぴょう性を議論する以前の問題である。あとで泣かないためにも、きちんと検討しておこう。

直流測定では、高精度の計測器を用いることはもちろんですが、プロービングにもかなり気を遣わなければならないのが一般的です<sup>1)</sup>。「プロービングを制する者が測定を制する」といったところでしょうか。

最近では、多くの技術者がプロービングの重要性について、認識を持っています。しかし同時に、プロービングしたくてもできないケースが増えてきているのも事実です。そこで今回は、プロービングの観点からもう一步踏み込んで、「物理層の評価」について検討していきたいと思います。

### ●高速デジタル回路設計も「フィジカル面」の強化を

テレビでサッカーのワールドカップを観戦していたときのことです。アナウンサーが「〇〇選手は、フィジカル面が今後の課題ですね」と言っていました。にわかサッカー・



〔図2〕「フィジカル面」の強化が必要

いくらボールさばきがうまくても、体力が続かないと日本代表選手にはなれない。高速デジタル回路も同じで、いくら高速に動作するLSIを持ってきても、フィジカル面(基板などの物理層)がしっかりしていないと、回路は適切に動作しない。設計者はフィジカル面についても検討し、所望の信号を通すだけの体力のある物理層を設計しなければならない。

ファンである筆者には、最初、何を言っているのかわかりませんでした。徐々に意味がわかってきました。フィジカルとは「体力」を指して使われていたのです。技能はあっても、体力がないとサッカー選手としては十分ではないということなのでしょう。このことは高速デジタル回路設計にも当てはまるような気がします(図2)。

ところで読者のみなさんは、プロービングが適切に行われ、測定対象の動作を可能な限り正しく測定できた結果としてシグナル・インテグリティに問題があることがわかったとき、どのように対処されていますか。筆者はしごと柄、デジタル回路設計関連の技術者の方々にお会いすることが数多くあります。計測器の取り扱いはもちろん、その測定方法などについてもお話ししているのですが、最近は、シグナル・インテグリティへの対処法で悩まれている方が多くいらっしゃるようです。

実は、これがいちばんやっかいな問題であり、計測器などのツールをいくらそろえても解決できません。また、もう一度プロトタイプを作り直すとなると、時間とコストのロスが発生してしまいます。

ここで先ほどのサッカーの話と比較してみます。いくら技能があっても、体力がなければサッカー選手は務まりません。いくら高速に動作できるLSIがあっても、その信号を正しく伝える媒体がなければ、シグナル・インテグリティ(信号の品質)は劣化します。高速デジタル回路において、フィジカル面をきたえて体力をつけるということは、高速信号を劣化させることなく伝えられる伝送媒体の設計と評価のノウハウを、設計者自身が身に付けることだと思います。

## ●物理層の評価は伝送媒体と信号の2段階

伝送媒体の設計と評価を十分に行わないと、いったいどうなるのでしょうか。よくある例として、SerDes(serializer/deserializer)などの高速LSIを評価するケースを考えてみます。

一般に、高速LSIを評価するとき、そのLSIの動作状態における波形品質やBER(bit error rate)に注目しがちです。しかし、ここに大きな問題が潜んでいます。極端に言うと、インピーダンスや配線長を考慮していないユニバーサル基板などを評価基板として利用した場合、前回お話ししたプロービングを正しく行ったとしても、正しい評価結果が望めないのは明らかです。そこで、LSIからの配線イ

ンピーダンスを50Ωにしたり、等長配線を考慮するなどして評価基板を作成しなければなりません。筆者の経験から言いますと、こうしたところが意外とおろそかにされているように見受けられます。

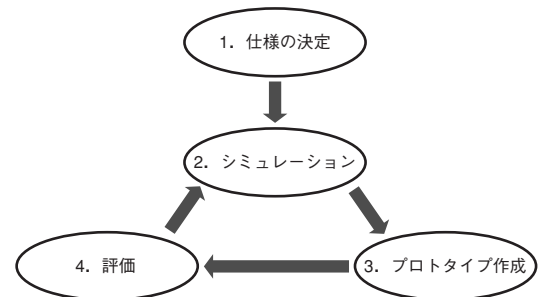
読者のみなさんも、「ここは特性インピーダンス50Ω±5%で」、「このピンは差動100Ωで」といった感じで基板を作成、もしくは外注されるケースが多いのではないのでしょうか。実は、ここに問題があります。

詳細は後述しますが、LSI設計者の方が物理層を評価する場合、LSIの信号品質にばかり目を向けがちです。しかし、本来なら物理層を評価する場合、伝送媒体の評価と信号の評価の2ステップに分けて、作業を行わなければなりません。「技能には優れているが、体力のないサッカー選手」のようにならないためにも、設計者は伝送媒体に関する知識を身に付ける必要があります。また、そうすることで、LSIが使用されるとき基準となるプリント基板の設計ルールを提示できるようになります。

## ●仮想世界と現実世界をリンク

連載の第1回(本誌2003年6月号, pp.102-109)でもお話ししたように、シミュレータはとても有益なツールですが、これを使いこなすことは容易ではありません。CMOS LSIが数GHzで動作する現在、伝送線路解析も未知の領域に入ってきています。シミュレータで設計、評価するにしても、現実の動作をどこまで忠実にシミュレータで模擬できるかがポイントとなります。言い換えると、「いかに現実に即したモデルを定義できるか」にかかっているわけです。

現実の世界では、さまざまな要因が複雑に絡み合っています。シミュレーションの精度を向上させるためには、実



〔図3〕設計のサイクル

1の段階で、評価対象の入出力特性をはっきりと定義しておくことが重要である。2~4のループを繰り返すことになるが、この過程でシミュレーション精度が向上し、手法を含めたテスト仕様が決まる。また、ノウハウが蓄積されてくると、このループの繰り返し回数は減少していく。