

Tektronix®

PCIe® リンク健全性検証における 新しいアプローチ

Michael Seaholm

テクトロニクス、パフォーマンス・オシロスコープ プロダクト・マネージャ

ホワイト・ペーパー



はじめに

データ・レートの高速化に伴い、新技術の検証にはますます多くの時間が必要になっています。その結果、開発のボトルネックが製品の市場投入までのサイクルに影響を及ぼし、エンジニアリング・チームは、従来のテスト/測定ソリューションを使用した場合、テスト時間が長くなり、それに追いつくのに苦労しています。

テスト時間や複雑さが増しているだけでなく、ユーザは製品の性能と相互運用性にも大きな期待をしています。PCIe対応デバイスのエンド・ユーザは、PCI Special Interest Group (PCI-SIG®) に適合したアドイン・カードを、同世代またはそれ以前のPCI-SIG適合のシステム基板上に接続することを想定しています。このことは、テストが厳格であること、またすべてのPCI-SIG適合製品との相互運用性を確保するために、各ベンダは設計において十分なマージンを持たせる必要があることを意味します。

2つの製品がうまく機能しないとき、それは誰に責任があるのでしょうか。システム基板の製造メーカーでしょうか。アドイン・カードの製造メーカーでしょうか。あるいは両社でしょうか。問題が発生した場合、ユーザは誰に相談するのでしょうか。残念ながら、このような問題が発生した場合、両方のメーカーはどちらに非があるのか、コストのかかる調査を実施することになります。この調査は数ヶ月かかることがあり、完全に解決するには数百万ドルの費用がかかることもあります。

設計マージンの不足だけが、2つの基板が相互運用できない理由ではありませんが、設計マージンが十分にあれば、他のPCI-SIG適合製品と相互運用できないというリスクは大幅に軽減されます。これにより、メーカーは相互運用性の問題解決が必要となる状況を減らすことができ、時間とコストの両方を節約できます。

現在のマージン・テスト

つい最近まで、HSIO設計におけるマージン・テストは2種類しかなく、そのどちらにも長所と短所がありました。

1. **オシロスコープ/BERT** - オシロスコープ、BERT (ビット・エラー・レート・テスト)、PCI-SIGのSigtestソフトウェアで構成されるテスト・システムです。このソリューションは、50万ドル以上のコストがかかることがあります。
2. **オンチップ・レーン・マーージニング (LM)** - シリコン製造メーカーから基板製造メーカーに提供されるツールです。これは、PCIe Gen4規格から無償で提供されます。

今日でも、最も広範囲にテストできるツールセットは、オシロスコープとBERTの組み合わせです。このソリューションは、PCIeの規格、PCIeデバイスの適合性に必要なすべての検証、コンプライアンス・テストを実行できますが、非常に複雑であり、小規模なメーカーでは負担できないほどのコストになることがあります。システムあたり50万ドル以上のコストがかかるため、大手の製造メーカーであってもテストを実施するシステムの数は限られます。

経験豊富なエンジニアであっても、このテスト・システムを間違えずに動作させるには数日が必要であり、16レーンのリンクのフル・テストでは、問題が発生した場合、最初の設定からさらに数週間かかることもあります。このテスト・システムは、シリコン製造メーカーが提供するオンチップLMツールよりも優れていますが、高価で時間がかかり、適切に動作させるためには高度な専門知識を必要とすることがあります。この装置は、フル・コンプライアンスおよび広範囲のシリコン検証には必要ですが、LMツールは付帯的なコストなしに、限定された範囲のチェックで使用できます。

無償のLMツールは、無償である程度の性能を調べることができ、オシロスコープ/BERTシステムほど複雑ではありませんが、多くの制約があります。まず、LMツールは自身のレシーバでしかレーン・マージンができません。DUTの受信パス (Rx) のみマージンを調べることは可能ですが、DUTの送信パス (Tx) のマージンは調べることができません。

LMツールのもう一つの欠点は、ツールがメーカーごとに異なるため、各ツールを使いこなすためには学習が必要であることです。これらの複数回の学習の必要性は、一貫したサードパーティの手法で克服できるかもしれません。最後に、チップのばらつきと密接な関係にある、ユニット間の固有のばらつきもあります。そのため、測定母数を増やすために何回もテスト・サイクルを実行し、中心傾向の測定に頼る必要があります。

注目すべきは、これらの手法では、テスト方法が異なることです。オシロスコープによるTx手法（図2）ではリアルタイム・サンプリングでアイ・ダイアグラムを構築しますが、オンチップLMツールでは、エラーが観測されるまで（アイの幅がわかるまで）Rxのサンプル位置をスイープします。LMの実装によっては、垂直サンブラの調整でアイの高さを求めるものもあります（図1）。リアルタイム・サンプリングは、独自に構築したアイ・ダイアグラムを確認できるという点で優れています。LMの手法は、Scope/BERTのコストと複雑さに対する選択肢ではありますが、確度と一貫性という点でトレードオフの関係にあります。

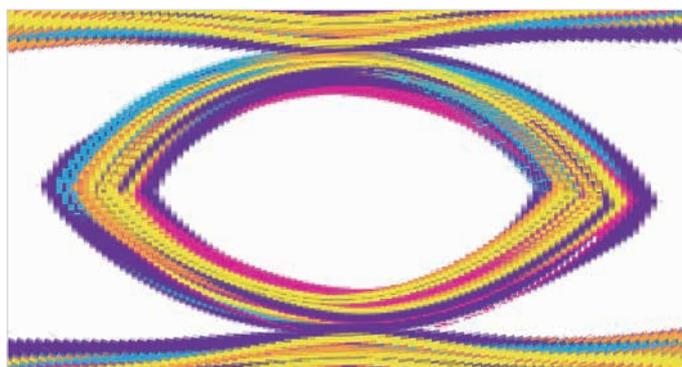


図1. オンチップ・レシーバによるアイ・ダイアグラムの例

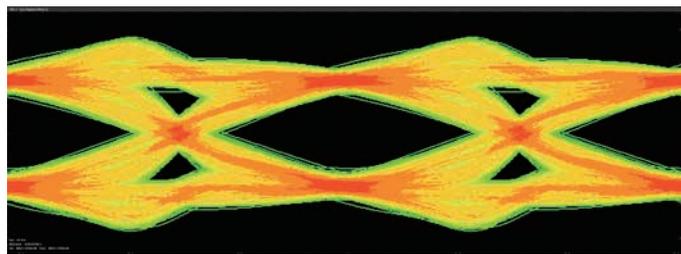


図2. リアルタイムによるアナログのアイ・ダイアグラム

実際のリンク動作とテスト環境の整合性をとることが重要であり、トラフィックの種類（信号パターン）と使用するレシーバの種類が重要な検討事項となります。オシロスコープ/BERTシステムでは、繰り返しの信号パターンとモデル・レシーバを使用し、PCIe規格にしたがってトランシーバにストレスを与えてテストします。オンチップLMツールは、リンク上に実際のトラフィックがある、物理的なレシーバを使用します。このテストの性質上、矛盾が生じます。オシロスコープ/BERTシステムは、PCI Expressレシーバを搭載していないため、メモリ/ストレージや信号の後処理に制約があります。LMツールは、人工的な信号パターンではなく、真のトラフィック・フローを持つリンク・パートナーとして機能する、物理的なレシーバ実装に依存しています。

どちらの方法にも長所と短所があります。重要なことは、完全な検証、コンプライアンス・テストで許される唯一のソリューションが、オシロスコープ/BERT手法であるということです。LMツールはPCIe規格の検証、コンプライアンスで必要となる、すべてのテストに対応できるわけではありません。

既存のテスト方法の長所と短所

オシロスコープ/BERTによるシステム (オシロスコープ+BERT+SigTestソフトウェア)	
<p>長所：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 完全な検証とコンプライアンス・テストに適した総合的なテストが可能 ● テスト仕様は、オシロスコープを基準として書かれている ● 全チャンネルのTxアイ・ダイアグラム、ジッタ分離、レシーバのストレス・アイ・キャリブレーションの構築が可能 ● リアルタイム・サンプリングでアイ・ダイアグラムを構築 ● 1つの技術のテストにのみに対応した汎用テスト機器 	<p>短所：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 非常に高額 ● テスト環境によっては、テストに要する時間が数日から数週間になることがある ● テストの複雑さは、熟練したエンジニアでないと対応できないレベル ● システムの複雑さのため、エラーや正しくない結果になることがある ● 人工的な信号パターンでは、実際のアグレッサからの複数のクロストークの影響を適切に捉えることができない
オンダイ・レーン・マーージング・ツール	
<p>長所：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PCI Express 4.0規格から始まった標準化ツール ● シリコン・ベンダから設計エンジニアに無償で提供される ● ベンダのレシーバでマーージン特定するために特別に開発されたものである ● PCIeに慣れていれば使いやすい ● Rxのマーージン・データは、数日、数週間と言わず、直ちに利用可 	<p>短所：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● リアルタイムのアナログ信号を使用していない ● 16GT/s以下のデバイスでは提供されていない ● 完全な検証、またはコンプライアンス・テストでは使用できない ● ユニット間のばらつきが生ずる ● 設計またはテスト・パラメータの大幅な変更は困難 ● ソフトウェア・インターフェースは標準化されていない

マーージン・テストの新しい選択肢

これまで、設計チームがPCIeリンクの健全性を評価する場合、LMツールとScope/BERTシステム間にあるギャップに耐え、そのデメリットを受け入れるしかありませんでした。

このギャップに対処するため、テクトロニクスは[TMT4型マーージン・テスト](#)という新しいツールを発表しました。TMT4型マーージン・テストはPCIeのGen 3、Gen 4をテストするエンジニアのために設計されており、以下のような特長があります。

- TxおよびRxテストによるリンク健全性が、数日ではなく、数分で検証可能
- PCIeの経験がほとんどない初心者のエンジニアでも、すぐに使える使い勝手の良さ
- より広く、より手頃な価格のリンク健全性検証ツール

高速のリンク健全性検証

TMT4型マーージン・テストのセットアップに必要な時間は10分未満であり、数分でGen 3またはGen 4デバイスのハイレベルなリンク健全性が検証できます。この短い時間で、レーンとプリセットの組み合わせごとに、DUTとマーージン・テストのリンクで形成される、エラーフリー領域を示すアイ・ダイアグラムを作成することができます。そのため、DUTのリンクの健全性をより迅速に把握できます。

さらにマーージン・テストは、アイ・ダイアグラムの表示だけでなく、マーージン・テストのレシーバがどのように調整されてアイを最大化したかを表示することによってリンクの性能を表します。この2つの情報は、性能を理解する上で非常に重要です。アイによっては、リンクを形成するために特にハイレベルのイコライジングが必要になることがあるからです。

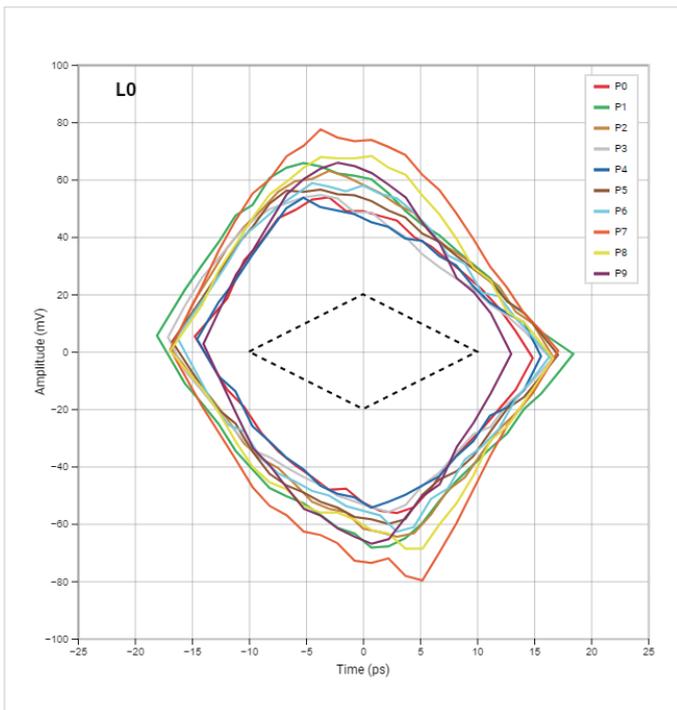


図3. TMT4マージン・テストによる、リアルタイムのアイ・ダイアグラム表示

TMT4型マージン・テストの短い測定時間は、定期的な、あるいはより頻繁に行う性能チェックにおいて、すべてのレーンとプリセットの

組合せで重大なエラーを素早く特定できることを意味します。例えば、BIOSの変更がリンクの健全性に及ぼす影響を素早く確認したい場合、DUTをスキャンしてBIOSを更新し、再度DUTをスキャンすれば、数分でその変更がリンク性能に及ぼした影響を評価できます。

優れた操作性

TMT4型マージン・テストは、CEM、M.2、U.2、U.3などの一般的なPCIeのフォーム・ファクタに対応しているため、現在利用可能な大部分のPCIeデバイスとのリンクが可能です。このため、想定されるさまざまなDUTのテストや、マザーボード、グラフィックス・カード、SSDなど、一般的なPCコンポーネントの評価が可能になります。

マージン・テストのユーザは、クイック・スキャン、カスタム・スキャンの2つのスキャン・オプションだけで結果を得ることができます。どちらもDUT TxとDUT Rxのテストを含み、同じ物理的なセットアップから実行することができますが、違いはユーザによる制御レベルの違いだけです。

最も高速なオプションであるクイック・スキャンは、リンクの健全性を頻繁に検証でき、DUTとTMT4型間のリンク・トレーニングを素早く確認するのに有効です。一方、カスタム・スキャンは、Tx信号の経路をより詳細に検証するために、特定のテスト・パラメータを強制的に設定することができます。特定のレーンとプリセットの組合せをより詳細に調べたり、すべてのレーンとプリセットを総合的にテストしたい場合などに有効な機能です。

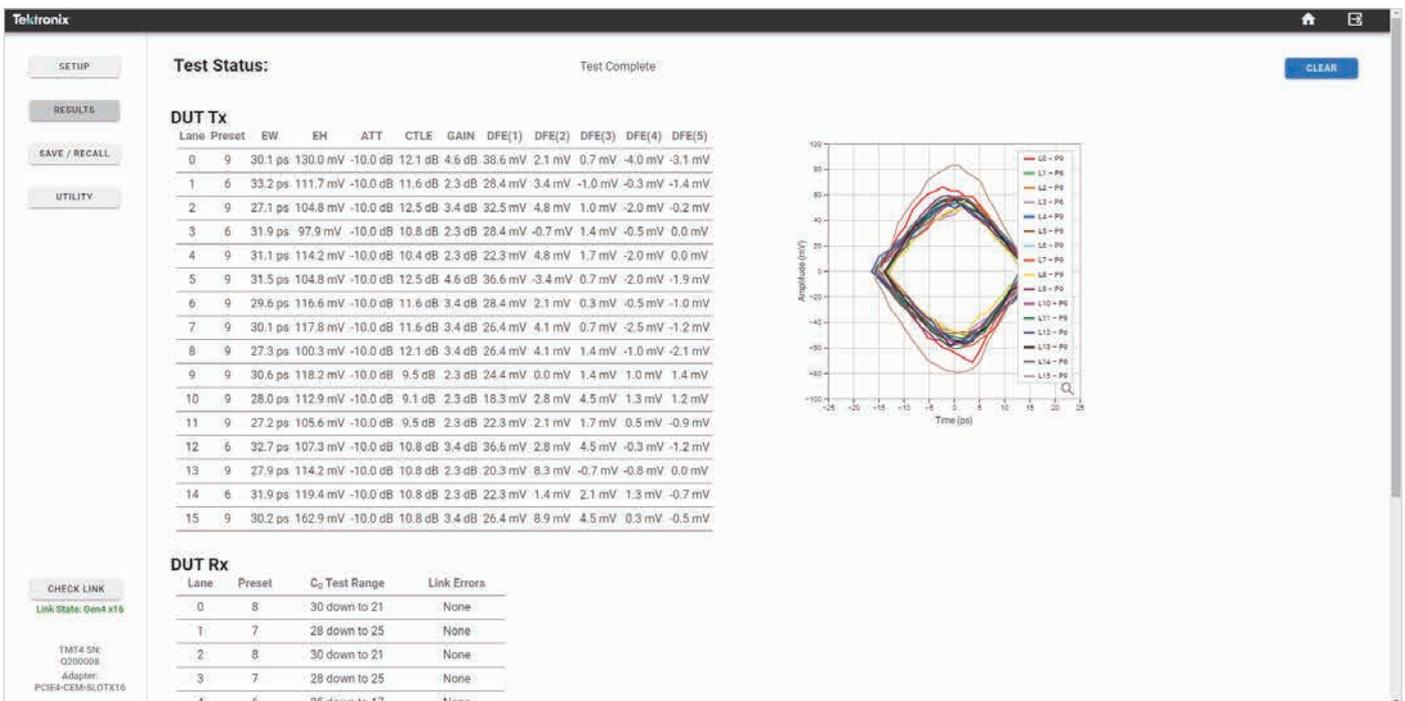


図4. クイック・スキャンの結果表とリンク・トレーニング・パラメータ (左上)、アイ・ダイアグラム (右上)、Rxテスト (下)

すべての人のための マージン・テスト・ツール

LMツールとオシロスコープ／BERTシステムのトレードオフは、このホワイト・ペーパーの最初に説明した2つの傾向、すなわち 1) 短縮された開発サイクルで、時間をかけずにPCIe 互換デバイスを検証することの難しさと 2) インターオペラビリティ（相互運用性）の問題を解決しなければならない状況が増えているということです。

TMT4型マージン・テストは、LMツールやオシロスコープ／BERTシステムを置き換えるものではなく、業界が望んでいた補完的なツールです。テスト時間の短縮、操作性の向上、PCIeテスト市場への費用対効果の高いソリューションの提供に重点を置き、より多くのベンダが投資できるツールとなっています。設計チームは、ライブ・リンクのTx、Rx信号の経路を数分で検証するテストにより、DUTのリンク健全性をより迅速に把握することができます。TMT4型は、その速度と操作性によってテストのボトルネックを最小にし、開発段階にお

けるリンクの健全性をより頻繁に検証できるようにすることで、設計ワークフロー全体に大きな影響を及ぼします。

TMT4型マージン・テストは、テクトロニクスがPCI Expressのために開発したテスト・ソリューションの一つです。すべてのソリューションの詳細については、[当社Webサイト](#)をご覧ください。

著者のプロフィール

Michael Seaholmは、テクトロニクス、パフォーマンス・オシロスコープのプロダクト・マネージャです。Fluke Corporationの電気校正事業での3年間と、テクトロニクスでの1年以上を含め、テスト／計測業界で4年間、プロダクト・マネージャとしての経験があります。モンタナ州立大学で電気工学の電気工学学士号を取得後、製品管理の分野でキャリアを積み、顧客との一貫したエンゲージメントを通じて、テストと計測に新たなイノベーションをもたらすことに注力しています。



図5. TMT4型マージン・テスト (中央)、CEMエッジ・アダプタ (右)、PCでネットワーク・アクセスした結果の表示 (左)