

# PCI Expressの基礎知識

プロトコル階層や物理層の基本がよく分かる

畑山 仁



本稿ではPCI Expressを理解する上で必要な、プロトコルの各階層の概要や物理層の論理サブブロック、電気サブブロックの基本的な処理などの基礎知識を解説する。(編集部)

本稿では、これらの特徴を理解するために必要なPCI Expressの基礎知識について解説します。

## 1 PCI Expressの基礎知識

### ● PCI Expressは帯域幅に応じてレーン数を選べる

PCI Expressの主な特徴を以下に示します。

- レーンあたり2.5Gbps, 5Gbpsのデータ・レートが選べる
- 1, 2, 4, 8, 12, 16, 32レーンの帯域幅が選べる
- 送受信それぞれのシリアル伝送
- データの信頼性, 電力管理, エラー・ロギング/レポートなどの機能
- レガシなPCIアーキテクチャをサポートすることでソフトウェア資産を継承
- ホット・プラグ/ホット・スワップ(活線挿抜)
- テストが容易である
- 普及のために, 電気的な規格は, FR-4基板に対応

### ● 複数のレーンをまとめたものをリンクと呼ぶ

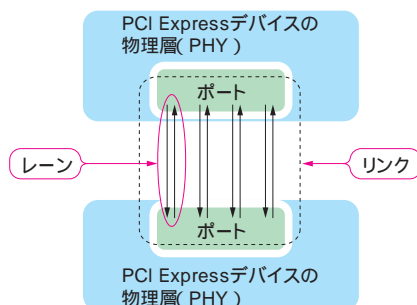
PCI Expressの各デバイスは, ほかのデバイスと接続するためのポートを備えています。ポートは, 図1のような双方向通信を行うために, 送受信の1組の差動ペアを単位とした「レーン」で構成されます(双対単方向伝送: デュアル・シンプレックス)。送信と受信が独立に同時にデータ転送できます。

さらにデータ帯域幅を上げるために, 複数のレーンに拡張可能です。レーンをまとめたものをリンクと呼び, x1, x2, x4, x8, x12, x16, x32リンクが規格化されています。ここでxは「パイ」と呼び, xNリンクとはN組のレーンで構成されていることを意味します。

例えば現在, パソコン内部ではグラフィックス用にx16リンクが, 外部I/O用にx1リンクが使われています。サーバではx8リンクが使用されています。なお, x2, x12, x32リンクはほとんど使われていません。

図1 PCI Expressのポート, レーン, リンクの関係

各レーンはそれぞれ送信用の差動信号と受信用の差動信号を持つ。レーンをまとめたものをリンクという。



### ● ルート・コンプレックスの下にツリーを作る

PCI Expressのシステムを構成する要素として, 図2のようにルート・コンプレックス, エンドポイント, スイッチ, ブリッジがあります。

#### 1) ルート・コンプレックス

ルート・コンプレックスは, その名のように階層の根幹(Root)となるデバイスです。ルート・コンプレックスは一

#### KeyWord

PCI Express, トランザクション層, データ・リンク層, 物理層, TLP, DLLP, レーン, リンク, スランブル, 8b/10b, Kコード

つ、あるいは複数のPCI Expressポートを持ちます。ホスト・ブリッジを内蔵し、CPUやメモリにも接続されます。

## 2) エンドポイント

I/OデバイスをPCI Expressではエンドポイントと呼びます。レガシ・エンドポイント、PCI Expressエンドポイント、ルート・コンプレックス・エンドポイントの3種類あります。

## 3) スイッチ

スイッチはPCI Expressポートを増やすためのデバイスです。

## 4) ブリッジ

ブリッジはプロトコル変換を行うデバイスです。特にPCI Expressでブリッジというと、PCI/PCI-Xを接続するためのデバイスを指すようです。

PCI Expressでは、これらのデバイスがPCIアーキテクチャとして、ルート・コンプレックスからのツリー構造をとります。なお、PCI ExpressをベースとしたASI (Advanced Switch Interconnect)では、スター型やメッシュ型のトポロジも使えます。

### ● プロトコル階層に応じて役割がある

PCI Expressのプロトコルは図3のように階層化された構成をとります。トランザクション層、データ・リンク

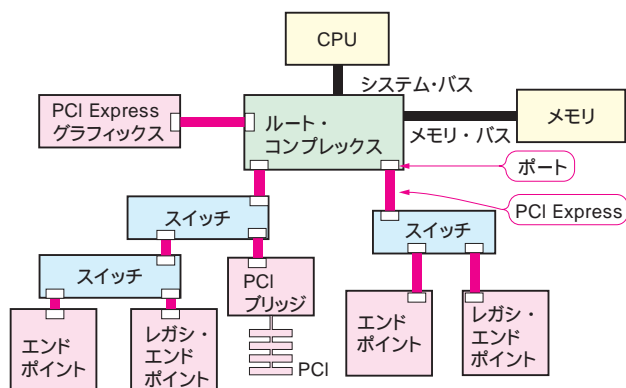
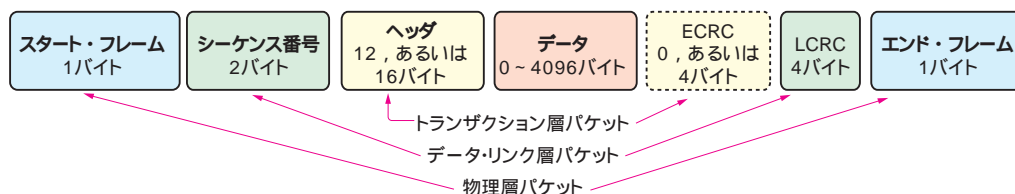


図2 PCI Expressの構成要素

スイッチやエンドポイントなどがルート・コンプレックスからのツリー構造をとる。

図4 物理層で見たPCI Expressのバケット

下位の層に移るとともに必要な情報が付加される。



層、物理層で構成されます。上位層で生成されたパケットは、図4のように下位層に移るとともに、必要な情報が付加されます。受信側では逆の処理を行い、必要なデータを取り出します。

## 1) トランザクション層

トランザクション層は、トランザクション層パケット (TLP: Transaction Layer Packet)の構築と処理を行います。以下のようなTLPがあり、データの読み出し、書き込みなどのトランザクションのために使用されます。

- メモリ・リクエスト  
メモリに対する読み出し/書き込みを要求
- I/Oリクエスト  
I/Oに対する読み出し/書き込みを要求。
- コンフィグレーション・リクエスト  
コンフィグレーション空間に対する読み出し/書き込みを要求
- コンプリッション  
リクエスト・パケットに対する応答(読み出しの場合にはデータが含まれる)
- メッセージ  
割り込みやパワー・マネジメント・リクエストなど

TLP送信を調節するためにフロー制御(FC)を行うこともPCI Expressの特徴です。受信側のバッファの空きを確認してから、データの転送を開始します。そのため各デバイスは、TLPのためのFCクレジット・ステータスを、データ・リンク層を使用して、周期的に送信します。

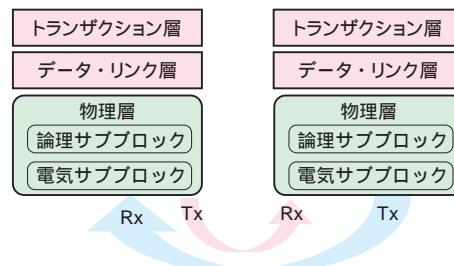


図3 PCI Expressのプロトコル階層

物理層の上にデータ・リンク層、トランザクション層が構成される。物理層は、論理サブブロックと電気サブブロックに分けられる。