

PCI Expressによるバス・アクセスはネットワークにおけるパケット通信のイメージに近い。受信側では受信したパケットにエラーがない場合はAckを返し、エラーがあればNakを返す。送信側はNakが返ってきたらパケットを再送する必要がある。今回は送信側と受信側でのAckとNakのやりとりについて解説する。(編集部)

データリンク層の目的は、TLP(トランザクション・レイヤ・パケット)の確実な交換を保証することであり、その機能はAck/Nakプロトコルによって実現されています。今回はAck/Nakプロトコルのしくみとその実装について解説します。

1. Ack/NAKプロトコルの概要

● Ack/Nakプロトコルの目的

Ack/Nakプロトコルは、TLPの送受信においてリンク間でのエラーが発生していないことを保障します。TLPというのは、メモリ・コンフィグレーション空間のリード/ライトや割り込み要求などのパケットで、PCI Expressにおいてユーザ・データを運ぶ、最も重要なパケットです。

表1に示すように、PCI Expressにはすべてのレイヤで何らかのエラーを検出するしくみが用意されていますが、再送のしくみを備えているのはデータリンク層だけです。

データリンク層でのエラー検出は、最寄りのリンク間(エンドポイントとスイッチ、エンドポイントとブリッジなど)での検出を目的としており、エンドポイント間でエラーが発生していないことを保証するものではありません。たとえば、PCI Expressブリッジを自作しようとして、データリンク層の処理回路の中でエラーが発生してしまったような場合のエラーは検出できません。

表1 PCI Express に用意されたエラー検出のしくみ

物理層	8b/10b エンコード・エラー検出
	デイスパリティのエラー検出
データリンク層	LCRC チェック
	シーケンス番号チェック
	16ビットCRC チェック
トランザクション層	ECRC(ダイジェスト)チェック

● まず物理層レベルでエラー・チェックが行われる

PCI Expressの受信回路は、受信したデータに対して物理層レベルでエラー・チェック(8b/10bエラー、シンボル・エラー)を行います。この時点でエラーが生じているパケットは破棄されます。

● DLLPは短いCRCでチェックされる

連載の第6回(2009年7月号, pp.144-151)で解説したように、AckやNakなどのDLL層パケット(以下DLLP)は、短い16ビットのCRCでチェックされます。16ビットCRCが正しくないDLLPは破棄され、存在しなかったことになります。

● 通信の例(うまくいっている場合)

Ack/Nakプロトコルがうまく働いている場合のパケットのやりとりの例を図1(a)に示します。

TLPは図2のような構造をしており、12ビットのシーケンス番号(0~4095)と、32ビットのLCRC(Link-CRC)が格納されています。パケットの送信側は、TLPを一つ送信するたびにシーケンス番号を増やしていきます。受信側は、受け取ったTLPのLCRCが正常ならば、そのシーケンス番号をAckパケット内へ格納して返送します。Ackパケットはリンクを通じて送信側へと戻され、送信側はTLPが相手に正しく伝わったことを認識します。

一つのTLPに対して一つのAckを返すのが基本ですが、複数のTLPに対してまとめて1個のAckで応答することもできます。図1(b)の例では、Ackパケットが返らなかった2番と3番のパケットも含めて、暗黙のうちに確認されたこととなります。

● 通信でエラーが生じた場合

次は、通信がうまくいかない場合のAck/Nakのやりとりについて解説します。

通信がうまくいかない状況として、大きく分けて二つが