

■8 群 (情報入出力・記憶装置と電源) - 1 編 (センシングとインタラクション)

2 章 入出カインタフェース規格

【本章の構成】

本章では、2-1 節「はじめに」でインタフェースの規格や種類などの概略を述べた後、周辺機器向けインタフェース規格 (2-2 節)、ストレージ接続用インタフェース規格 (2-3 節)、拡張用コンピュータバス規格 (2-4 節)、映像向けインタフェース規格 (2-5 節)、クラスタ向けサーバ間接続技術 (2-6 節) を解説する。

■8 群-1 編-2 章

2-1 はじめに

(執筆者：中田 尚) [2017年3月 受領]

2-1-1 インタフェースの必要性

コンピュータは一つの完結した装置ではなく、多くの装置の組合せで構成されている。これにより多種多様な要求に合わせて柔軟にシステムを構築できる。内部インタフェースであれば、チップ間や脱着可能な基板の接続、外部インタフェースであればホスト機器と周辺機器との接続に使われる。

ハードウェア開発者の視点からは、同一のインタフェース規格に従って設計された装置同士であれば接続可能性が保証されることになる。ソフトウェア開発者の視点からは、インタフェース規格によって定められた手順に従ったプログラムを作成することにより、どのような機器が接続された場合にも容易に対応可能とすることができる。

周辺機器とそれを接続するコンピュータには基本的に主従関係が存在する。以降では周辺機器を「デバイス」、接続するコンピュータを「ホスト」と呼ぶことにする。多くのインタフェース規格ではデバイス側とホスト側のコネクタの形状を異なるものにするにより、ホストとホストやデバイスとデバイスのように想定外の接続が行えないようにしている。

2-1-2 論理規格と物理規格

インタフェース規格は大きく論理規格と物理規格に分けることができる。論理規格は信号線の種類とその用途、また信号線を通るデータの意味を規定する。物理規格は文字通り、コネクタやケーブルの物理形状を規定する。異なる論理規格であっても同一の物理規格を利用することがあるが、その場合はある程度の互換性が保たれており、接続される双方の機器で共通して対応している論理規格で接続が行われることとなる。例えば、SATA と SAS は物理的には同一のコネクタであるが、デバイス側はどちらかの規格しかサポートしないため、接続の可否はホスト側がどの規格をサポートするかによって決まる。D-SUB コネクタは汎用的な規格であり、異なるインタフェース規格で利用されることがある。DVI コネクタは複数の信号が規定されており、その対応範囲によってコネクタの形状が異なり、非対応の機器同士は接続できないように工夫されている。

論理的規格が共通で物理的規格のみが異なる場合には変換アダプタなどを利用して接続することができる。例えば、SD カード規格には標準サイズのほかに、MiniSD や MicroSD が存在する。また、USB 規格にも同様に標準サイズのほかに USBmini や USBmicro コネクタが規定されている。

要求される性能の増大に対応するため、インタフェース規格が改定されることが多い。その場合、過去の規格にのみ対応した機器であっても、新しい規格で利用することができることが多く、これを後方互換性と呼ぶ。例えば、USB では当初規格の 1.0 から最新の 3.1 まで規格化されているが、後方互換性が確保されている。

2-1-3 インタフェースの種類

インタフェース規格はその通信方式によって大きくシリアルインタフェースとパラレルインタフェースに分けられる。

シリアルインタフェースは少ない信号線で高速に転送を行う。信号線が少ないためインタフェース側で規定される制御信号は最小限であり、データの意味はソフトウェア側で規定されることが多い。図 1・1 にシリアルインタフェース規格の例として USB 規格を示す。この図から、データ通信としては D+、D- の一対で通信が行われることが分かる。高速な通信が要求される用途では複数のシリアル通信を束ねて用いられることもある。

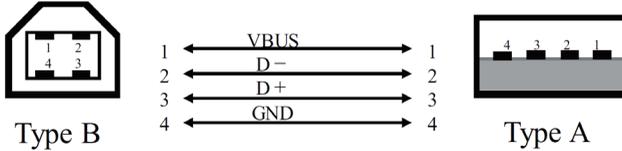
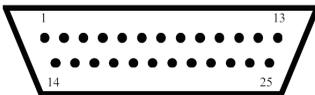


図 1・1 シリアルインタフェース規格の例 (USB1.0/2.0)

パラレルインタフェースは多くの信号線で一度に大量のデータを送ることができる。データと各種制御の信号線を多数規定することにより、データは数本から数十本の信号線で並列に送受信される。また、多様な制御信号を複数の信号線に対応付けることが多い。図 1・2 にパラレルインタフェース規格の例として IEEE 1284 を示す。この規格では D0 から D7 までの 8 本の信号線で同時にデータを通信することができる。信号線の数が多いため必然的に太いケーブルとなることが多い。多くの機器で高速な通信が要求されるようになった結果、複数の信号線の間の同期をとることが困難になり採用される機会が少なくなった。

D-SUB25ピン



セントロニクス36ピン



1	STROBE	14	AUTO FEED
2	D0	15	ERROR
3	D1	16	INIT
4	D2	17	SELECT IN
5	D3	18	GND
6	D4	19	GND
7	D5	20	GND
8	D6	21	GND
9	D7	22	GND
10	ACK	23	GND
11	BUSY	24	GND
12	PAPER END	25	GND
13	SELECT		

1	STROBE	14	AUTO FEED	27	GND
2	D0	15	NC	28	NC
3	D1	16	NC	29	GND
4	D2	17	NC	30	GND
5	D3	18	NC	31	INIT
6	D4	19	GND	32	ERROR
7	D5	20	NC	33	GND
8	D6	21	GND	34	NC
9	D7	22	NC	35	NC
10	ACK	23	GND	36	SELECT IN
11	BUSY	24	NC		
12	PAPER END	25	GND		
13	SELECT	26	NC		

図 1・2 パラレルインタフェース規格の例 (IEEE 1284)

2-1-4 通信方式の分類

通信方式は通信方向によって、単方向、半二重、全二重に分けることができる。単方向では文字通り、データはあらかじめ決められた方向への一方通行である。半二重は双方向に通信が可能であるが、トランシーバのように両者は同時に送信を行うことができない。全二重は制限なく双方向に通信が可能である。

■8 群-1 編-2 章

2-2 周辺機器向けインタフェース規格

(執筆者：中田 尚) [2017年3月 受領]

2-2-1 周辺機器向けインタフェースへの要求

本節における周辺機器とは、キーボード、マウス、プリンタ、スキャナ、外部記憶装置 (HDD/SSD)、光学ドライブ、通信装置 (Ethernet, モデム) などを含むとするが、これら以外にも周辺機器は無数に存在する。周辺機器向けインタフェースにおいては多様なデバイスに柔軟に対応できることが重要である。

コンピュータが登場した頃は同一のメーカーがすべての装置を提供していたため、その接続インタフェースも独自規格のものであることが少なくなかった。しかし、コンピュータが一般的になるにつれ、利用者の多種多様な要求に応えるため多くのメーカーが様々な周辺機器を提供するようになった。そのような状況においてはインタフェース規格が統一されていることが非常に重要である。特定のインタフェース規格に準拠していることにより、相互接続可能性を担保していることを期待する (実際にはオペレーティングシステムがサポートしているかなどの条件も重要である)。インタフェースが規格化された当初は、まずは機器の種類別にインタフェース規格が策定されたため「ホスト」機器にはそれに応じて複数種類のインタフェースを搭載する必要があった。その後、多数の種類周辺機器に対応できる汎用的なインタフェース規格が策定されてきた。このようなインタフェースの代表例として USB インタフェースが多く周辺機器で採用されるようになり、USB インタフェースさえ備えていればかなり多くのことに対応できるようになった。その結果、小型ノート型パソコンや携帯情報端末を中心に、USB インタフェースのみや、USB インタフェースと外部ディスプレイ出力のみを装備したコンピュータも増えてきている。

多種多様な周辺機器を自由に接続するためにはインタフェース規格は少なければ少ないほど良いが、実際には要求される性能と許容されるコストの違いにより、1 台のコンピュータであっても、複数種類のインタフェース規格が同時に利用されることも多い。これは高速な周辺機器と低速な周辺機器を同じインタフェースに接続すると高速性の障害となることがあるためである。また、同時期に策定された規格であれば、高速な通信に対応した規格ほどケーブルが太くコネクタが大きくそして高価なる傾向があるが、頻繁に抜き差しする用途であればケーブルは細くコネクタは小さいことが望ましく、用途に応じて適切なインタフェースが使い分けられる。

2-2-2 具体的なインタフェース規格

以降では具体的なインタフェース規格について概要を述べる。インタフェース規格は無数にあるため、代表的なものに限定して説明する。

(1) RS-232

単に「シリアルポート」と言った場合はこの規格を意味することが多い。現在では機能が拡張され、正式な規格名は ANSI/TIA/EIA-232-F-1997 だが、拡張された機能に対応する製品は多くない。

もともとは計算機とモデムなどの外部通信機器を接続するための規格として設計されたシリアルインタフェース規格である。その後、計算機同士の通信や通信機器以外の周辺機器の接続用としても利用された。コネクタは D-SUB 25 ピンが正式であるが、小型化のための D-SUB 9 ピンも広く使われている。これらは変換コネクタで容易に相互変換可能である。

(2) EIA-422 (RS-422, TIA-422 とも呼ばれる)

アップル社のマッキントッシュのシリアルポートとして搭載され、プリンタやモデムを接続するために利用された。

(3) IEEE 1284

単に「パラレルポート」と言った場合はこの規格を意味することが多い。主にプリンタを接続するためのパラレルインタフェース規格であるが、一部のスキャナなどの接続にも使われた。8 bit 幅で最大 4 Mbps の通信に対応する。ホスト側は D-SUB 25 ピン、プリンタ側は 36 ピンのセントロニクスコネクタが用いられることが多いが、独自規格で他のコネクタが使われることもあり、その場合は専用のケーブルか変換アダプタを用いる。図 2・3 に例を示す。



図 2・3 IEEE 1284 コネクタ (左が D-SUB 25 ピン, 右がセントロニクス 36 ピン)

(4) ADB (Apple Desktop Bus)

世界初も汎用シリアルバスであり、Apple 社製の製品でキーボードやマウスを接続するためのシリアルインタフェース規格である。3 台までの機器を数珠つなぎで接続することができる。本体の電源制御に対応し、キーボード上の電源ボタンで本体の電源を入れることができる。

(5) PS/2

物理的規格はミニ DIN 6P コネクタを用いるシリアルインタフェース規格であり、キーボードとマウスの接続に用いられる。IBM PS/2 で採用されたためこの名前がついた。図 2・4 に例を示す。



図 2・4 PS/2 コネクタ (左がキーボード, 右がマウス)

現在では後述の USB インタフェースを利用する機器が多く、両対応の変換アダプタが付属する機器も存在するが、これはマウスまたはキーボード側で接続先が変換されたことを認識し

て、使用するインタフェースを切り替えているため、PS/2 と USB の間で汎用的に変換が可能なのではない。

(6) USB (Universal Serial Bus)

その名前の通り汎用的なシリアルインタフェースを目指して策定された規格。論理規格としては 1.0, 1.1, 2.0, 3.0, 3.1 があり、1.0, 1.1 では 12 Mbit/s, 2.0 では 480 Mbit/s, 3.0 では 5 Gbit/s, 3.1 では 10 Gbit/s の転送速度がサポートされる。物理規格としては Type-A, Type-B, Type-C があり、Type-A が周辺機器側、Type-B がホスト機器側、Type-C は両方に対応する。Type-A/B にはコネクタの小型化の要求に応えるため、ミニ、マイクロといった小型の仕様が策定された。Type が同じであればサイズの変換はアダプタで容易に可能である。また、携帯情報端末やスマートフォンにはマイクロ AB ソケットが搭載され、接続されるケーブルによって周辺機器としての動作とホスト機器としての動作を切り替える。図 2・5、図 2・6、図 2・7 にそれぞれ Type-A, B, C の例を示す。



図 2・5 USB Type-A コネクタ (左が USB 1.0/USB 2.0 対応, 右が USB 3.0 対応)



図 2・7 USB Type-C コネクタ



図 2・6 USB Type-B コネクタ (左から USB 1.0/2.0 対応 B, USB 1.0/2.0 対応ミニ B, USB 1.0/2.0 対応マイクロ B, USB 3.0 対応 B, USB 3.0 対応マイクロ B)

USB には後方互換性が確保されており、例えば USB 3.0 対応製品と USB 2.0 対応製品を接続すると USB 2.0 規格で通信が行われる。USB 2.0 以前と USB 3.0 以降はコネクタの形状が異なるため、USB 3.0 通信を行うためには USB 3.0 対応ケーブルを使う必要があり、これは USB 2.0 機器には物理的に接続できないようになっている。USB 2.0 対応ケーブルであれば両方に接続可能であるが前述の通り USB 2.0 での通信となる。

USB は広く普及しており、電力供給についても規定されているため、スマートホンの充電のように、電力供給のみの用途にも使われる。

(7) IEEE 1394 (FireWire とも呼ばれる)

主に AV 機器の接続に用いられるシリアルインタフェース規格である。電源供給に対応した 6 ピンと、非対応の 4 ピンのコネクタがある。数珠つなぎで 17 台まで、リピーターハブを利用することでツリー状に最大 63 台まで接続することができる。

(8) Thunderbolt

汎用のシリアルインタフェース規格である。論理規格としては PCI Express 2.0 と DisplayPort に準拠し、そのどちらかを利用してよい。物理規格として電線と光ファイバの 2 種類があり、光ファイバは長距離接続に対応するが、給電には非対応となる。

(9) PC カード (ISA), CardBus, ExpressCard

2-4 節で述べる拡張ボードを容易に脱着可能なクレジットカードサイズのカード型にしたインタフェース規格であり、拡張ボードの汎用性と外部インタフェースとしての利便性を両立する規格である。

PC カードは論理規格としては ISA に準拠する。規格化団体の名前から PCMCIA カードと呼ばれることもある。CardBus は論理規格としては PCI に準拠する。PC カードと後方互換性があり、CardBus 対応スロットには PC カードを挿して利用することもできる。ExpressCard は論理規格としては PCI Express と USB 2.0 に対応し、そのどちらかを利用してよい。

2-2-3 無線インタフェース規格

キーボードやマウスはコンピュータにとって欠かせないものであるが、物理的なインタフェースケーブルの存在が操作性を損なうことがある。そこで、有線のケーブルを無線化することにより、より自由な操作性を実現する。無線インタフェース規格には独自規格と汎用規格があり、汎用規格の代表が Bluetooth である。Bluetooth にはその用途別にプロファイルと呼ばれるプロトコルが定義されており、接続装置間で同一のプロファイルをサポートすることにより接続が可能となる。より簡便な規格としては IrDA がある。これは赤外線を利用したデータ通信規格であるため赤外線通信と呼ばれることもある。赤外線を利用するため通信時にはお互いの赤外線ポートを対向させる必要があり、主に連絡先交換やファイル転送のような一時的なデータ通信に用いられることが多い。

■8 群-1 編-2 章

2-3 ストレージ接続用インタフェース規格

(執筆著者：坂本龍一) [2018年9月 受領]

HDD や SSD, テープデバイス等のストレージデバイスをつなぐためのストレージ接続用インタフェース規格について紹介する。ストレージ接続用インタフェースは時代とともに大きく変化している。表 2・1 に計算機システムに用いられている代表的なストレージ接続用インタフェースを示す。

表 2・1 様々なストレージ接続用インタフェース

	パラレル ATA	シリアル ATA	eSATA	SCSI	SAS	NVMe	Fibre Channel
普及した年代	2010 年頃まで	2005 年以降	2005 年以降	2010 年頃まで	2005 年以降	2015 年以降	1994 年以降
転送速度	133 Mbytes/s	1.5Gbit/s – 6Gbit/s	1.5Gbit/s – 6Gbit/s	300 MBytes/s	3Gbit/s – 12Gbit/s	16Gbit/s – 32Gbit/s	133Mbps – 32Gbps
1 ポートに接続できる台数	2 台	1 台	1 台	複数	複数	1 台	複数
用途	デスクトップ PC, ノート PC, サーバ	デスクトップ PC, ノート PC, サーバ	外付けストレージ	サーバ	サーバ	デスクトップ PC, ノート PC, サーバ	サーバ
コネクタの外見							

2-3-1 パラレル ATA

パラレル ATA (Parallel ATA, PATA) は、もともと、AT Attachment (ATA) として規格化されたストレージ接続用インタフェースであるが、次に述べるシリアル ATA と区別するために、現在はパラレル ATA と呼ばれている。1980 年代後半、様々なメーカーから独自の拡張が加えられた HDD が販売されるようになり、互換性の問題が生じるようになっていた。そこで、ATA は 1989 年に HDD の共通の接続規格として制定された。1990 年代～2010 年程度まで多くのデスクトップ PC やノート PC にて利用されていた。

電氣的には 40 本のピンからなるコネクタを用いている。ケーブルは 40 本の配線からなる 40

芯ケーブルと信号のシグネチャを改善した 80 芯ケーブルの 2 種がある。80 芯ケーブルは、40 芯ケーブルに対してグランド信号を追加することで電気的なノイズを削減し、高速化を図っている。また、パラレル ATA は 1 つのポートに対して 2 つのディスクを接続することができる特徴を持つ。また、転送速度は最大 133Mbytes/s となっている。

2-3-2 シリアル ATA (Serial ATA, SATA)

パラレル ATA はデータを 16bit 並列に並べ、信号の動作周波数を向上させることで高速化を図ってきた。しかし、周波数の向上に伴い配線間の遅延が問題となってきた。配線長の微妙な違いによって信号の到着にばらつきが出るようになり、正確にデータを受け取ることが難しくなった。マザーボード上の配線長を合わせたり、40 芯のケーブルに対しノイズ対策を行った 80 芯のケーブルに変更したりと改善を行ったが、これ以上の高速化は難しくなった。

そこで、非常に高速な配線を用いてデータを送受信する高速シリアル通信が利用されるようになった。シリアル通信では複数のデータ信号をシリアライズし、数 GHz を超える配線を用いてデータの送受信を行う。これにより、配線数を大幅に削減することができ、配線遅延の問題を大きく緩和することができた。電気的には 1 つの信号を送るために 2 本の配線ペアを用いる。普通の配線と論理を反転した差動配線のペアを用いている。これにより、電気的なノイズに対する耐性を大きく向上させている。

シリアル ATA はパラレル ATA に対し、物理層部分のシリアル化を行い、高速化を図ったものである。シリアル ATA は送信側と受信側の 2 つのペアから構成されており、4 本の信号線を用いてデータの通信を行う。シリアル ATA のコネクタとケーブルはこの 4 本の信号線と 3 本のグランド信号の 7 本から構成されている。パラレル ATA は複数の配線を束ねていたため、大変取り回しが不便であったが、シリアル ATA は配線とコネクタが小型であるため、取り扱いも容易である。

シリアル ATA は 2005 年頃から普及し、デスクトップ PC やノートパソコンなど 2018 年現在大きく普及している。また、シリアル ATA は主にパラレル ATA の物理層部分を置き換えたものであり、上位のプロトコルには互換があり、既存のドライバがそのまま使えるメリットがある。2018 年現在 SATA の転送速度は 6Gbytes/s である。

2-3-3 eSATA

シリアル ATA は主に計算機内部のマザーボードと内蔵ディスクを接続するために設計されている。そのため、USB メモリのように頻繁に抜き差しして利用することを想定していない。そこで、外付け向けに特化し USB メモリのように簡単に抜き差しができる規格として eSATA(External Serial ATA)が提案された。電気的にはシリアル ATA と同一の規格を用い、頻繁な抜き差しに対応できるようにコネクタが強化されている。また、PC 側の電源を入れたまま抜き差しするホットプラグに対応している。USB 接続の外付けディスクと比較して eSATA を用いたディスクはプロトコル変換等のオーバーヘッドがないため一般に高性能である。従来 eSATA は USB2.0 の速度的なボトルネックを解決するために提案されたが、USB3.0 の普及により 2018 年現在では一部の NAS や一部の外付けの HDD でのみ利用されている。

2-3-4 SCSI

SCSIは1980年代に設計され2010年ごろまで使われたストレージ接続規格である。パラレルATAと同時期に用いられ、パラレルATAと比較し高速化、拡張性の向上を目指したものである。伝送路の電気的な工夫が積極的に行われており、パラレルATAと比較して2倍程度の帯域を持つ。パラレルATAは1つのケーブルに対し最大2つのディスクしか接続することができなかつたため、多数のストレージを利用したい場合、パラレルATA拡張ボードを追加する必要があり、拡張性に乏しかった。しかし、SCSIはディージーチェーン(数珠つなぎ)によって複数のストレージを接続できる特徴がある。一般的なSCSIのHDDにはコネクタが2つ搭載されており、一方をPC側につなぎ、もう一方に他のHDDをつなぐといった形で、多数のディスクを接続するできる。

SCSIもパラレルATAと同様にパラレル配線を用いており、配線遅延の問題が生じていた。SCSIはのちに述べるシリアル通信を用いたSASに置き換えられた。SCSIは速度が重要となるシステムや大容量なストレージが求められるサーバシステムにおいて利用されていた。

2-3-5 SAS (Serial Attached SCSI)

コンシューマー向けのストレージがパラレルATAからシリアルATAへと変貌したように、サーバ機器等で用いられるSCSIもパラレル通信からシリアル通信を用いたSASへと変化した。SASは物理的な部分はシリアルATAをベースとし、プロトコル部はSCSIをベースとしており、高速であり、かつ高い信頼性を兼ね備えている。SASの転送速度は同世代のシリアルATAと比較して2倍程度の帯域を持つ。

さらに、SASはサーバ環境における様々な問題に対応できるよう設計されている。1つ目にシリアルATAとの互換性があげられる。SASは高信頼かつ高速であるが、コストがシリアルATAのデバイスと比較して高価である課題がある。そのため、信頼性が必要な部分にSASデバイスを用い、信頼性が低くてもよい部分にはSATAを使うことでコストを抑えることができるようになっている。すなわちSASはSATAの上位互換として設計されている。そのためSASのコネクタに対してシリアルATAのデバイスを接続することができるようになっている。また、サーバ環境では大容量なストレージが求められる場合がある。シリアルATAは1ポートに対して1つのストレージしか接続できないため、ポートの数以上のストレージを接続することができないため、容量がスケールしない問題があった。しかし、SASはSAS Expanderと呼ばれるハードウェアを使うことで1つのポートに対して複数のストレージを接続することができ、容易に容量を増やすことができる。

2-3-6 NVMe Express (NVMe)

HDDを利用する際、シリアルATAは十分な帯域を提供することができた。しかし、近年普及したフラッシュメモリは物理的な機構がないため高速な読書が可能である。この結果、シリアルATAインタフェース部分が速度的なボトルネックとなるようになった。そのため、フラッシュメモリの速度を生かすために、フラッシュメモリ向けのインタフェースとしてNVMe Express (NVMe)が開発された。

NVMeは物理層にPCI Expressリンクを利用し、さらに、PCI Expressのリンクを複数束ねることによる高速化を図っている。一般的なNVMeはPCI Express Gen 3を4レーン束ねており、

8Gbps×4=32Gbpsの帯域を確保することができる。SATA3の場合、6Gbpsであるため、5倍以上高速である。

NVMeはフラッシュメモリの高いバンド幅、低レイテンシを生かすために、プロトコルレベルで新たに設計されている。主にマルチキューが大きな特徴であり、複数のCPUコアからの読書要求を並列に処理することができる。従来のパラレルATA、シリアルATA、eSATAの場合、OSが複数のCPUコアからの読書要求をシリアライズレディスクに対して発行していたため、OS部分がボトルネックとなっていた。しかし、NVMeの場合、別々のCPUコアから並列にNVMeに対して読書要求を出すことができる。これらの要求はNVMeのハードウェアによって直接処理されるため、高速である。

NVMeはサーバ機器からノートパソコン、さらにスマートフォン等の組み込み機器に至るまで様々な場所で利用されることを想定している。そのため、複数の形状のものが存在する。デスクトップPCやサーバ機器では、PCI Expressスロットに挿入するタイプのNVMeが主に利用される。また、サーバ向けに2.5インチのカード型のタイプもある。ノートパソコン等のスペース的な制約がある場合、M2スロットと呼ばれる小型のソケットに刺さるタイプが適している。

2-3-7 Fibre Channel

これまで述べたインタフェースは主に1台のPCやサーバに対してストレージをつなぐことを想定している。Fibre Channelは複数のサーバと複数のストレージを、ネットワークを介して接続することを目的としたインタフェースである。

最大速度は32Gbit/sと非常に高速であり光ファイバーケーブルや同軸ケーブルを用いて接続する。また、光ファイバーを用いることで10Kmの長距離通信が可能である。主に高速なサーバシステムやメインフレームで用いられる。

■8 群-1 編-2 章

2-4 拡張用コンピュータバス規格

(執筆著：杉本 健) [2017年3月受領]

拡張用コンピュータバス規格は、CPU のチップセットと、GPU、Ethernet、USB などの外部周辺機器を接続するバス規格である。CPU のチップセットから直接アクセスするバスであるため、CPU のメモリ空間にバスのアドレス空間が直接マップされる点に特徴がある。1980 年代後半は ISA (Industry Standard Architecture)、1990 年代は PCI (Peripheral Component Interconnect)、以降現在に至るまでは PCIe (PCI Express) が主流であり、PCIe の第 4 世代にあたる PCIe 4.0 の規格化が進められている。本節では、ISA、PCI から PCIe 至る流れ、及び PCIe の特徴を概観する。

2-4-1 ISA (Industry Standard Architecture)

ISA バスは、1984 年に発売された IBM の PC/AT 機に搭載されたバスである。PC/AT 機及び PC/AT 互換機が後の PC の標準となったこと、ISA バスは実装が容易であったことから、広く普及した。しかしながら、ISA バスは、低速、割り込み数不足などの多くの問題を抱えており、特に、SCSI や Ethernet などの高速な周辺機器を利用する際の性能上のボトルネックとなっていた。これらの問題を解消するために、ISA の拡張バスである、EISA (Extended Industry Standard Architecture) が規格化されたが、限定的にしか普及しなかった。

2-4-2 PCI (Peripheral Component Interconnect)

PCI は、1990 年代前半に PC 用の汎用高速バスとして PCI-SIG (Peripheral Component Interconnect-Special Interest Group) によって規格が策定されたバスであり、ISA バスの置き換えとして普及した。PCI の特徴として、1 つのバスを複数のデバイスで共有する点、クロックに同期して動作する (クロック信号をバス上で伝送する) パラレルバスである点、の 2 点が挙げられる。PCI の概念図を図 4・1 に示す。

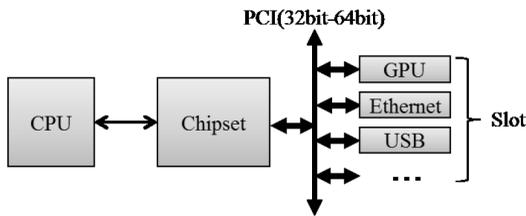


図 4・1 PCI 概念図

PCI はパラレルバスであるため、性能向上方式として、1. バス幅拡大、2. バス周波数向上、の 2 つが考えられる。実際 PCI は途中で規格名を PCI-X と変えつつ、32 bit から 64 bit へバス幅を拡大し、33 MHz から 133 MHz へ周波数を向上し、更に、1 クロック辺りのデータ転送回数を 2~4 回に増やすことで高速化を図っている。しかし、これら性能向上方式では、以下の点が問題となり、高速化の限界に直面した。

1. バス幅拡大のために、LSI のピン数が必要である。しかし、ピン数はコストに大きく影響

する。また、ボード上の配線も困難になる。

2. バス周波数を向上させると、Setup/Hold-Time の確保や、クロックスキューのために、ボード上の配線に非常に精密な設計が要求される。また、1つの PCI バスに搭載可能なデバイスのスロット数が減少する。

PCI の転送 bit 幅が 32 bit の場合の周波数それぞれに対する帯域及びスロット数を表 4・1 に示す。32 bit バスの場合、性能は 1~2 GB/s まで向上可能だが、その場合スロット数は 1 つになってしまう。一方、スロットを 4 つ確保した場合、266 MB/s しか性能が出ない。

表 4・1 PCI 性能

Bus Type	周波数	帯域	スロット数
PCI 32 bit	33 MHz	133 MB/s	4~5
PCI 32 bit	66 MHz	266 MB/s	1~2
PCI-X 32 bit	66 MHz	266 MB/s	4
PCI-X 32 bit	133 MHz	533 MB/s	1~2
PCI-X 32 bit	266 MHz (effective)	1066 MB/s	1
PCI-X 32 bit	533 MHz (effective)	2131 MB/s	1

2-4-3 PCI Express

PCI Express (PCIe) は、前節で述べた PCI の性能上の課題を背景に、PCI の規格団体である PCI-SIG によって策定された、デバイス間を Peer to Peer で接続するシリアルバスである。シリアルバスの特徴を活かすことで、ピン数の大幅削減、周波数の大幅向上、ボード上の配線の容易化を達成している。PCIe の概念図を図 4・2 に示す。本項では、PCIe の特徴について述べる。

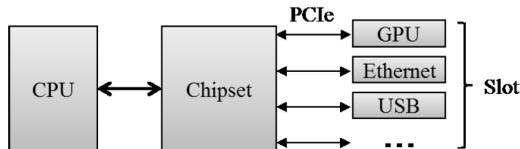


図 4・2 PCIe 概念図

(1) シリアル転送方式

シリアルバスを用いてパラレルバス以上の帯域を実現するためには、シリアルバスの周波数をパラレルバスと比較して大幅に向上する必要がある。PCIe では周波数の向上を実現するために、スクランブル、符号化 (8b/10b 変換など)、の 2 つの手法を用いる。

1. スクランブル

特定のデータパターンが連続してシリアルバス上を通過すると、特定の周波数にエネルギーが集中し、ノイズが発生する。これに対し、データをランダム化し、特定のデータパターンが連続しないようにするスクランブル処理を行うことでノイズを防ぎ、周波数の向上を可能としている。

2. 符号化 (8b/10b 変換など)

PCIe におけるシリアル転送では PCI と異なり、データとクロックを同時に転送する。具体的

には、受信側で‘0’と‘1’の変化を検出し、それをもとにデータを再生する。これにより、受信側でデータとクロックの同期をとる必要性を排除し、周波数の向上を可能にしている。一方、‘0’もしくは‘1’が連続していると受信側で‘0’と‘1’の変化が検出できない。そこで、符号化処理を施し、‘0’もしくは‘1’が4 bit以上連続しないようにする。PCIe 1.0及びPCIe 2.0では、8 bitのデータに2 bit付加して10 bitにすることで、bitの連続性を排除する8 b/10 b変換が、PCIe 3.0及びPCIe 4.0では、128 bitのデータに対し、bitの連続性を排除可能なスクランブル処理を行い、2 bitのプリアンプルを付加して130 bitに拡張する128 b/130 b変換が用いられる。

(2) リンク及びレーン

PCIeにおける、一対のPeer to Peer通信を行うシリアルバスをレーンと呼ぶ。PCIeでは、差動信号を用い、送信と受信で別の伝送路を用いるので、1レーン当たり送信側2本、受信側2本の4本の伝送路で構成される。すなわち、ピン数は1レーン当たり4つで済む。PCIeでは、複数のレーンを用いて転送を行うことで、スケラブルに伝送速度を向上することが可能である。この複数レーンをまとめた単位をリンクと呼ぶ。まとめる単位をリンク幅と呼び、x1, x2, x4, x8, x16, x32が規格化されている。レーン当たりの速度は、PCIeの世代が進むごとに2倍に高速化している。表4・2にPCIeの世代ごと、リンク幅ごとの性能を以下に示す。

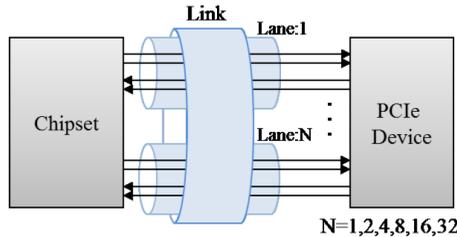


図4・3 リンク及びレーン

表4・2 世代及びリンク幅ごとのPCIe性能

世代	x1	x2	x4	x8	x16	x32
Gen 1	0.25 GB/s	0.5 GB/s	1 GB/s	2 GB/s	4 GB/s	8 GB/s
Gen 2	0.5 GB/s	1 GB/s	2 GB/s	4 GB/s	8 GB/s	16 GB/s
Gen 3	1 GB/s	2 GB/s	4 GB/s	8 GB/s	16 GB/s	32 GB/s
Gen 4	2 GB/s	4 GB/s	8 GB/s	16 GB/s	32 GB/s	64 GB/s

(3) ソフトウェアモデル

PCIeは名前からも分かるように、PCIの後継バスを狙った規格である。そこで、規格策定時にPCIソフトウェア(ドライバ)との完全互換を目指している。具体的には、PCIeでは制御アドレス空間を256 byteから4 Kbyteに拡張する一方、PCIと共通の256 byteの範囲では、PCIと互換性を持たせている。そのため、PCIドライバを用いてPCIeデバイスを制御可能である。もちろん、PCIeの拡張機能を利用する場合は、PCIeドライバが必要となる。

(4) トポロジ構成

最後に、ソフトウェアから見た PCIe のトポロジ構成を図 4・4 に示す。PCIe では、CPU のチップセットに含まれる Root Complex を頂点としたツリー構造をとる。Root Complex は、CPU の代わりに PCIe のトランザクションを生成する役割を持つとともに、割り込み、電源管理、障害処理、Hot Plug などの処理も一手に引き受ける PCIe デバイスである。Root Complex は、1 つ以上の PCIe のポートを持ち、PCIe Endpoint Device や PCIe Switch が接続される。PCIe Endpoint Device は、GPU や Ethernet、USB などの周辺機器のデバイスである。PCIe Switch は、1 つの PCIe ポートを複数のポートに分離する装置である。PCIe Switch 配下には、PCIe Endpoint Device や PCIe Switch はもちろん、PCI デバイスを接続することも可能である。

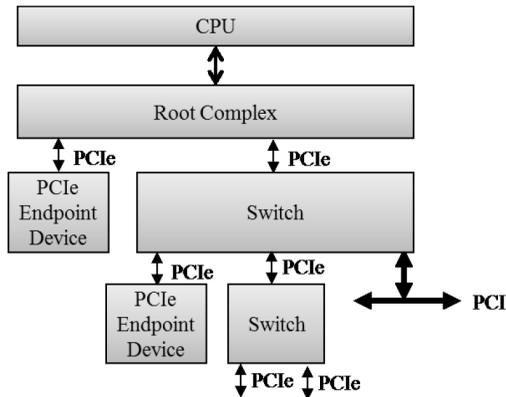


図 4・4 トポロジ構成

■参考文献

- 1) PCI-SIG Work Group: "PCIe Local Bus Specification Revision 3.0," Feb. 2004.
- 2) PCI-SIG Work Group: "PCIe Express Base Specification Revision 3.1a," Dec. 2015.

■8 群-1 編-2 章

2-5 映像向けインタフェース規格

(執筆者：坂本龍一) [2018年9月 受領]

PC とディスプレイを接続するための映像向けインタフェース規格について紹介する。映像向けインタフェース規格は時代を追うごとに大きく変化している。解像度の向上により新しい規格が考案されてきた。また、ノート PC の薄型化やスマートフォンの外付けディスプレイのサポート等に伴い、小型、かつ、利便性の高いインタフェースが開発されている。また、近年は様々なインタフェース規格が乱立しており、互換性の問題が生じている。表 2-5-1 に一般に用いられる映像向けインタフェース規格の一覧を示す。

表 2・1 様々な映像向けインタフェース

	VGA コネクタ	HDMI	Displayport	Thunderbolt 1, 2 (Mini Displayport を利用)	Thunderbolt 3 (USB Type-C コネクタを利用)
普及した年代	1990 年以降	2005 年以降	2010 年以降	2012 年以降	2016 年以降
解像度 / データ転送速度	320 × 400 - 2048 × 1536 (QXGA)	1280 × 720 (720p) - 7680 × 4320 (8K)	32.40 Gbit/s	20Gbit/s	40Gbit/s
マルチディスプレイのサポート	無	無	有	有	有
コネクタの外見					

2-5-1 VGA コネクタ

VGA は、本来、規格の名称であり映像を伝達するための電気的な信号の仕様を定義したものである。VGA コネクタは VGA 規格を用いた映像向け接続インタフェースであり、3 列 15 ピンのミニ D-sub15 と呼ばれるコネクタを用いている。ミニ D-sub15 には名前のおり 15 本の接点があり、このうち 5 つの配線を用いて映像を伝達する。具体的には赤、緑、青のレベルを伝える信号線と、2 本の同期信号からなる。赤、緑、青の信号はアナログ値であり、同期信号は水平同期信号と垂直同期信号である。

VGA は 320×400、320×480、1280×1024 (SXGA)、2048×1536 (QXGA) などの解像度をサポートする。しかしながら、VGA はアナログ信号を用いているため信号劣化によってノイ

ズが生じたり、録画できないようにプロテクトをかけたりすることができないため、デジタル信号を用いた規格に移りつつある。

VGA コネクタは 2018 年現在、一部のノート PC やサーバー等の映像向けインタフェースとして用いられている。提案から 30 年近くたつが、仕様が比較的簡単であるため、現在でも用いられている。しかし、薄型のノート PC や家庭用のデスクトップ PC 等では、次に述べる HDMI や Displayport といったデジタル信号を用いたインタフェースが主に利用されている。

2-5-2 HDMI

HDMI は 2018 年現在、最も普及しているインタフェースである。コネクタ形状は複数のタイプがあるが、一般に普及しているものはタイプ A と呼ばれる 19 本の接点をもつコネクタである。他にも小型化されたミニ HDMI や、マイクロ HDMI がある。映像機器を扱うベンダーによって策定された。

信号はデジタル化され 1080p やフル HD, 4K, 8K に対応している。HDMI はコンテンツ保護機能に対応しており、コピー制限等の制約をかけたりすることが可能である。また、音声信号も HDMI ケーブルを用いて伝送できる。HDMI はバージョンアップによって伝送速度の向上や機能の追加などが行われている。

HDMI はデスクトップ PC や液晶ディスプレイ、薄型テレビ等に用いられている。VGA と比較しコネクタが小型化されているため、薄型のノート PC 等ではよく用いられている。

2-5-3 Displayport

HDMI が規格化された 3 年後に PC ベンダーが中心となって策定を行った映像向けインタフェースである。HDMI と同様にデジタル接続を用い、4K, 8K といった高解像度な仕様をサポートしている。Displayport コネクタは HDMI コネクタと比較し多少大きい。また、小型化した Mini-Displayport コネクタも用いられている。HDMI と比較し Displayport はハイエンドな分野をターゲットとしており、いち早く 4K に対応した。また、複数のディスプレイを数珠繋ぎにするデジチェーンに対応しており、高い拡張性を持つ。主にハイエンド機器に多く用いられている。

2-5-4 Thunderbolt

VGA や HDMI, Displayport は主に映像の伝送に特化したインタフェースであるが、近年ノート PC の薄型化や拡張性の観点から、映像とデータを 1 つのインタフェースを用いて伝送することが重要視されている。特に、薄型ノート PC では物理的なスペースの制約があり、小型のコネクタを用いることが望まれていた。そこで、Thunderbolt は 1 つのコネクタを用いて、データと映像の伝送を行うために規格化されたインタフェースである。さらに、Thunderbolt はデジチェーンを用いて Thunderbolt 対応機器を数珠つなぎにすることができ、拡張性に優れている。

2018 年現在、Thunderbolt には初期の Thunderbolt, Thunderbolt 2, Thunderbolt 3 と 3 つの規格がある。初期の Thunderbolt は 2011 年に Intel と Apple によって規格化された。PCI Express の信号と Displayport の信号を 1 つの Mini Displayport コネクタを用いて伝送する仕様である。また、Thunderbolt 2 は 2013 年末に発表され、Thunderbolt の転送速度を 2 倍にしたもので、20Gbps

の転送速度をサポートする。また、Thunderbolt との下位互換性を持つ。Thunderbolt 3 は 2015 年に発表され USB-Type C コネクタを利用する。Displayport の信号、PCI Express の信号、USB の信号の 3 つを 1 つの USB-Type C コネクタを用いて転送することができる。主にハイエンドなノート PC や映像処理に特化した PC に搭載されている。

2-5-5 互換性の問題

2018 年現在、VGA コネクタ、HDMI、Displayport、Mini Displayport、USB-Type C コネクタが映像向けインタフェースとして用いられており、乱立状態である。変換コネクタにて変換が可能な物もあるが、うまく使えないことも多い。利用する機器がどのポートを持つか確認する必要がある。

■8 群-1 編-2 章

2-6 クラスタ向けサーバ間接続技術

(執筆: 松本直人) [2017年10月 受領]

2017年現在, Ethernet Alliance¹⁾ と InfiniBand Trade Association²⁾ によればサーバ間接続で利用可能なインターコネクト帯域の最大 100 Gbit/s から 200 Gbit/s にまで及んでいる。1990年代初頭に 10 Mbit/s であった Ethernet は, 20年を経過してその帯域を 5桁向上させたことになる。サーバをクラスタ化して利用する場合, 10 Gbit/s から 200 Gbit/s の帯域を必要に応じて自由に組み合わせることができる (図 6・1)。

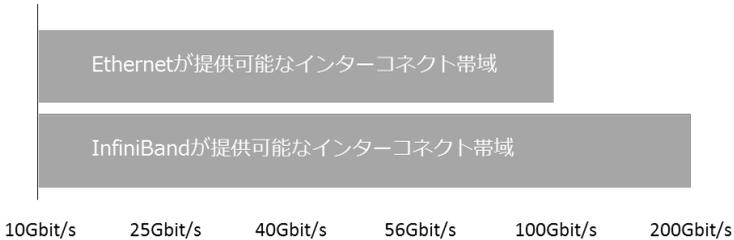


図 6・1 Ethernet 及び InfiniBand が対応するネットワーク帯域 (2017年現在)

2-6-1 データ伝送距離

IEEE 802.3 ETHERNET WORKING GROUP³⁾ によれば Ethernet のデータ伝送距離はケーブルやトランシーバの組合せにより, 最大 15 m から 100 km まで伸ばすことができる (図 6・2)。これらに用いられるケーブルは RJ45 コネクタによる UTP (ツイストペアケーブル) から SMF (シングルモードファイバ) と光トランシーバの組合せなどであるが, データ伝送距離と帯域により設備費用も増大していく。

10GBASE-CX4 (Twinax)	15m
10GBASE-T (RJ45)	100m
10GBASE-SR (SFP+)	300m
10GBASE-LR (SFP+)	10km
10GBASE-ER (SFP+)	40km
10GBASE-ZR (SFP+)	100km
40GBASE-SR4 (QSFP+)	150m
40GBASE-LR4 (QSFP+)	10km
40GBASE-ER4 (QSFP+)	40km
100GBASE-SR4 (QSFP28)	100m
100GBASE-LR4 (QSFP28)	10km



40GBASE-LR4 Optical Transceiver module (QSFP+)

図 6・2 Ethernet におけるデータ伝送距離の目安

昨今, サーバクラスタ規模の増大により, データセンタ内部で閉じていたデータ伝送は, 複数のデータセンタを跨ぐ必要性も出てきている。これに対応するため, データ伝送距離がメートルからキロメートルへの長大化する伝送メディアも必要になってきているのである。データ

センタでのデータ伝送技術の利用シーンを整理すると図 6・3 のようになる。

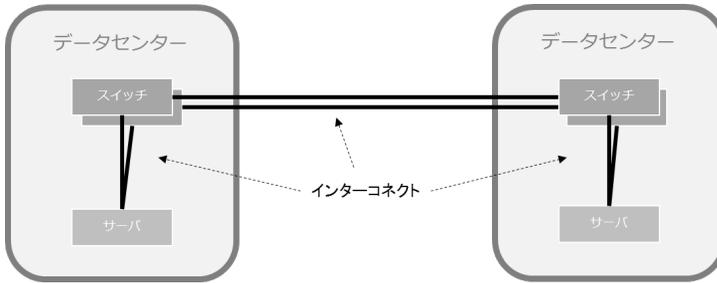


図 6・3 インターコネクの使われ方

2-6-2 サーバクラスタ間接続

サーバクラスタ間接続を設計する際、その規模により構成が異なってくる。サーバクラスタ間接続に用いられる伝送メディアが Ethernet か InfiniBand かの違いはあるが、一般的なネットワーク構成は図 6・4 のようになる。これは、サーバを収容するスイッチのポート数に限るためである。このとき、ネットワーク構成にもよるが、下位スイッチから上位スイッチへの帯域が共有されるため、サーバからサーバへのデータ伝送に帯域的なボトルネックをうむことには注意が必要である。

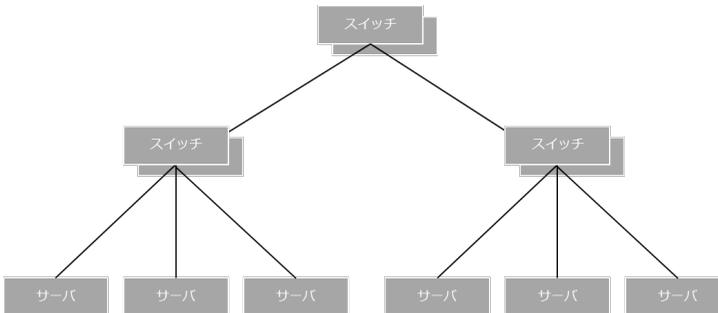


図 6・4 一般的なサーバクラスタ間接続を支えるネットワーク構成

また、データセンタにおいてサーバクラスタ接続を考えた際、物理的なケーブル配線にも注意が必要となる。これはデータ伝送に比較的安価に調達できる 10G BASE-T (UTP) や 10G BASE-CX4 (Twinax) をケーブル配線に用いた場合、その最大ケーブル長に限りがあるためである。サーバを収容するスイッチのポート数が有限であるのと同じく、ケーブル配線の長さも規格により制限がある。図 6・5 は、一般的なデータセンタのケーブル配線を図示したものである。

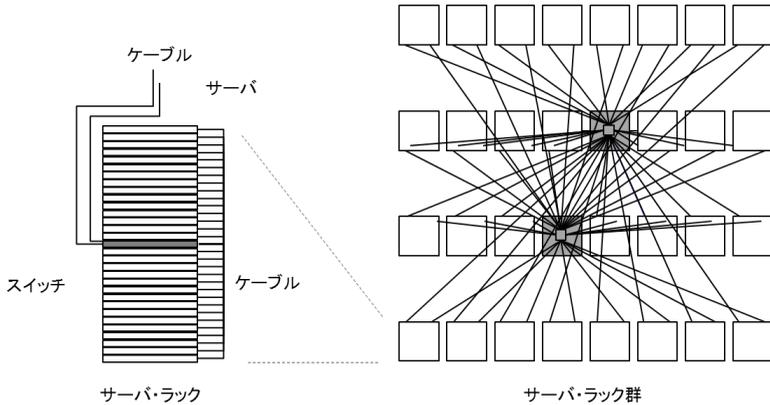


図 6・5 一般的なサーバクラスタ間接続を支えるケーブル配線

2-6-3 サーバクラスタ構成の留意点

サーバクラスタ間接続は Ethernet や InfiniBand という伝送メディアを用いることで 10 Gbit/s から 200 Gbit/s まで自由に拡張可能である。しかし、データ処理の観点からは、ここに大きな落とし穴がある。図 6・6 は、サーバにおけるデータ処理の流れを示したものである。

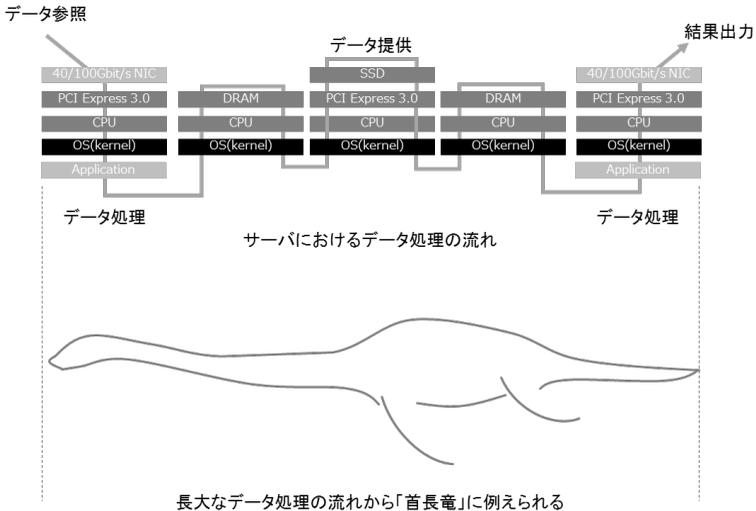


図 6・6 サーバ内部におけるデータ処理の流れ

PIC-SIG⁴⁾によれば、現在サーバで利用可能なバス帯域の最大は PCI Express 3.0 x16 の片方向 32 GByte/s である。仮にサーバクラスタ間接続が 10 Gbit/s (1.25 Gbyte/s) の Ethernet であった場合、内部ストレージの SSD (半導体ディスク) が PCI Express 3.0 x4 の片方向 4 Gbyte/s のとき、ストレージ性能を活かしきれない。また反対に、サーバクラスタ間接続が 100 Gbit/s (12.5

Gbyte/s) の InfiniBand であった場合、内部ストレージの SSD (半導体ディスク) が PCI Express 3.0 x4 の片方向 4 Gbyte/s のとき、ネットワーク性能を活かしきれない。このように、サーバクラス間接続を考えると、システム全体のバランスを留意する必要がある。

■参考文献

- 1) ethernet alliance, <http://www.ethernetalliance.org>
- 2) InfiniBand Trade Association, <http://www.infinibandta.org>
- 3) IEEE 802.3 ETHERNET WORKING GROUP 3, <http://www.ieee802.org/3/>
- 4) PCI SIG, <https://pcisig.com/>