

解説



計算機システムを支える最新技術（インタフェース編）

3. I/O インタフェースの技術動向[†]

笹本 享 一^{††}

1. はじめに

コンピュータ本体と周辺装置とを接続する入出力 (I/O) インタフェースの現在の主流は、SCSI (Small Computer System Interface)^{*}および IDE (Integrated Device Electronics) である¹⁾。IDE は SCSI などと比較し安価に実装できることから、パソコンに内蔵される周辺装置、とくにハードディスク装置と CD-ROM 装置用のインタフェースとして定着している。一方の SCSI は、IDE に比べ高性能・多機能なインタフェースとして、パソコンのみならず汎用機に至るまで、その機種を問わず幅広く使用されている。また、SCSI を実装する周辺装置は、ハードディスク装置や CD-ROM 装置以外にも磁気テープ装置や、光磁気ディスク装置などの一般に外部記憶装置と呼ばれる周辺装置から、スキャナ装置などの入出力装置に至るまで多種多様である。外部記憶装置に関しては SCSI をサポートしていない機器はないといっても過言ではない。

ところが近年コンピュータ本体やハードディスク装置の性能が向上し、I/O インタフェースの性能が、システム全体性能におけるボトルネックとなるケースが増えてきた。最近のディスクアレイ装置の普及も、この傾向に拍車をかけている。このような背景から、より高性能・高機能な I/O インタフェースが強く求められている。この要求に応えることのできる新しい I/O インタフェースとして注目をされているのが SCSI-3 である。

SCSI-3 は SCSI-2 の後継として位置づけられているが、これまでとはその方向性を大きく変えようとしている。従来からのパラレルインタフェースによる方式を継承しこれを高速化する一方で、Fibre Channel, SSA と呼ばれる、高速なシリアルインタフェースが新たに定義される。

本稿では、2 章と 3 章で、SCSI-3 の特徴と動向について解説する。また 4 章では、この新しいインタフェースをシステムへ応用する視点から考察する。

2. I/O インタフェースの現状と今後

SCSI の歴史は古く、その誕生は 10 年以上前にさかのぼる。米 Shugart Technology 社が、ハードディスク装置などのインタフェースとして開発した SASI (Shugart Associates System Interface) と呼ばれるインタフェースがこれの原形となる²⁾。1982 年より ANSI にて標準化の検討が開始され、1986 年に SCSI-1 として規格が制定された。このときのデータ転送速度は最大 5 M バイト/秒であった。現在でもこの規格に従う製品が多く存在している。

その後この仕様は拡張され、8 ビットバスでデータ転送速度 10 M バイト/秒を実現する Fast-SCSI、16/32 ビットにデータバスを拡張する WideSCSI の仕様を取り込んだ SCSI-2 の規格が登場した。現在世の中の主流は、この SCSI-2 を採用した製品である。

SCSI はその名前が示すとおり、当初は小型のコンピュータシステムをターゲットとしていた。しかしこの予想に反し、ディスクアレイ装置に代表される大容量ストレージシステムにおいても SCSI が使用されるようになった。このような状況になると、Fast/Wide-SCSI (16 ビットバス) で実現される 20 M バイト/秒程度のデータ転送

[†] Technical Trends on I/O Interface by Kyouichi SASAMOTO (Toshiba Corporation, Industrial Computer Department).

^{††} (株)東芝府中工場産業用電算機部

^{*} 本稿では、初代の SCSI 規格に従うインタフェースを SCSI-1 と呼ぶこととし、SCSI 1 から SCSI-3 までの総称として SCSI と表現する。

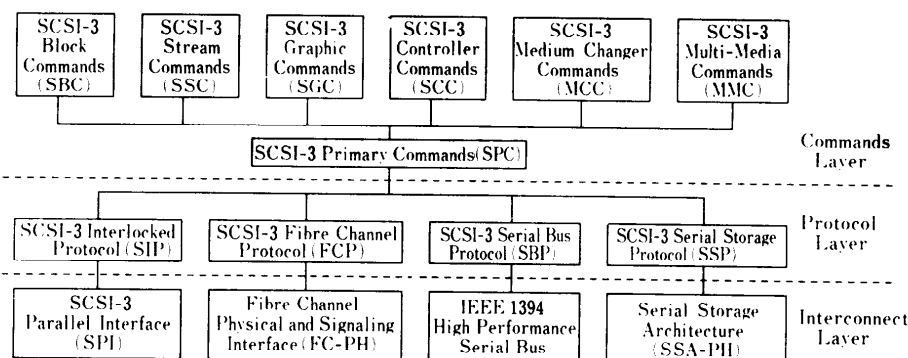


図-1 SCSI-3の全体ブロック図

速度では満足できなくなってくる。そこで多数のハードディスク装置を並行して制御するストレージシステムと、コンピュータ本体との接続に見合う性能をもったインタフェースとして、SCSI-3が注目されている。SCSI-3では性能問題を解決するために大きく2つの方法を提供する。1つは従来のSCSI-2の延長線上にあり、データ転送速度をさらに強化する方法である。UltraSCSIまたはFast 20と呼ばれる。もう1つは、Fibre Channel, SSAと呼ばれるシリアルSCSI**による方法である。パラレルSCSIを凌ぐ高速データ転送が実現可能となる。またシリアルSCSIは、これまでパラレルSCSIが抱えてきた、ケーブル長と機器接続可能台数の問題点をも一挙に解決する現在最も注目されているインタフェースである。

SCSIは今、激動のときを迎えようとしている。UltraSCSI, Fibre Channel, SSAの三つ巴である。4章で詳しく説明するが、いずれのインタフェースも現状一長一短があり、今後数年は各々の特長を生かし、かつ強化されながら共存してゆくであろう。しかしその先はというと、確実にシリアルSCSIがシェアを伸ばし、徐々に一本化への道を歩むと考えられる。現状ではFibre Channelが一步リードというのがあらかたの見解ではないであろうか。いずれにせよSCSIという名前のインタフェースが主流となり続けることには変わりはないであろう。

3. SCSI-3の概要

3.1 SCSI-3の特徴

SCSI-3規格の頂点に位置するのが、SAM (SCSI-3 Architecture Model) と呼ばれる規格⁹⁾であり、SCSI-3全体のアーキテクチャモデルを規定している。SCSI-3の大きな特徴の1つが、このSAMで示される階層化されたアーキテクチャである。図-1にこのブロック図を示す^{7)~9)}。Interconnect層、Protocol層、Command層を明確に分けた。この階層構造を守ることにより、物理インタフェースの違いはInterconnect層およびProtocol層で吸収されるため、Command層のマイクロプログラムは、これら物理インタフェースに依存せず設計可能となる。また、これによりパラレルSCSIからシリアルSCSIへの移行を比較的容易なものにする。SCSI-2までは物理インタフェースの仕様が基本的に1種のみのため、このような階層が規定されていなかった。

もう1つの特徴は、これまでに述べてきたとおり、シリアルSCSIの規定である。SCSI-3で規定される物理インタフェースは、Parallel, Fibre Channel, SSA, IEEE 1394の4種類である。UltraSCSIはParallelの中に含まれる。Parallel以外はすべてシリアルインタフェースである。IEEE 1394については本稿では割愛するが、マルチメディアインタフェースとして現在注目されているインタフェースである。

以上が大きな特徴であるが、そのほかにもディスクアレイ装置用のコマンドセット (SCC) の追加などコマンドレベルの強化もされている。ただし、これらの規定はすべてが確定したわけではなく、現在もお検討が進められているところで

** Fibre Channel, SSAなどシリアルインタフェースの総称としてシリアルSCSIと呼ぶ。対してUltraSCSIを含む従来のSCSIをパラレルSCSIと呼ぶ。

ある。

3.2 UltraSCSI (Fast20)

UltraSCSI は、従来の SCSI との互換性を保持しつつ、倍のデータ転送速度を達成することのできるパラレルインタフェースである。同期転送の周波数を、FastSCSI の 10 MHz から、最大 20 MHz に上げることによりこれを実現している。データバス幅は 8 ビット、16 ビット、32 ビットが定義され、各々最大 20 M バイト/秒、40 M バイト/秒、80 M バイト/秒のデータ転送速度に達する。ただし、32 ビットバスについては接続ケーブルが 2 本必要となるなどから、実際にこれを使用した製品は数少なく、事実上 40 M バイト/秒が、UltraSCSI の最大性能といえよう。バスのプロトコルなど基本的なアーキテクチャは従来の SCSI と同様であり、既存の装置との混在など、その互換性が保たれている。ただし、高速化にとりも、不平衡転送におけるケーブル長と機器接続台数には、制限事項が追加されている。4 台以下の接続では最大ケーブル長は 3 m 以下、5 台以上 8 台以下では 1.5 m 以下と規定されている。平衡転送では従来同様、25 m にて最大 16 台まで接続が可能である。

物理仕様では、P/Q ケーブルと呼ばれるケーブルが追加される。P ケーブルは、16 ビットバスを 68 ピンコネクタで接続するケーブルである。Q ケーブルは P ケーブルと対で使用され、データバスを 32 ビットに拡張する場合にのみ必要となる。SCSI-3 では、16 ビットの WideSCSI までではケーブル 1 本で実装できるようになる。

また最近では、UltraSCSI のさらに倍の転送速度を実現する UltraSCSI-2 の規格化も検討され始めている。

3.3 Fibre Channel⁶⁾

Fibre Channel は、SCSI-3 の中でも、最も高速な転送速度を実現する、シリアルインタフェースである。シングルモードファイバまたは同軸ケーブルを使用した場合、データ転送速度は最大 100 M バイト/秒まで可能となる。最大ケーブル長は、データ転送速度により変化する。100 M バイト/秒の場合、シングルモードファイバ使用で 10 km、同軸ケーブル使用で 25 m まで可能となる。

Fibre Channel は図-2 に示す階層型のアーキテ

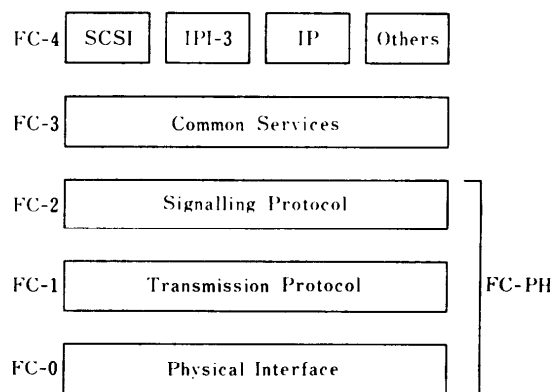


図-2 Fibre Channel の階層構造

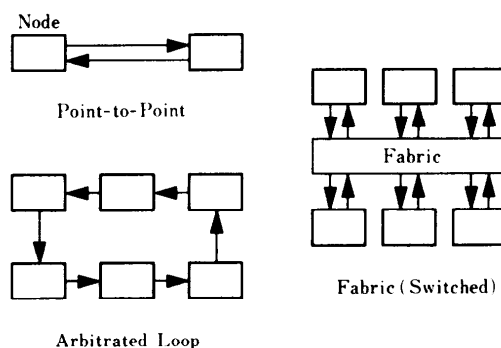


図-3 Fibre Channel のトポロジ

クチャにより規定される。FC-0 は伝送媒体などの物理的仕様を規定する。FC-1 は伝送プロトコルを規定する。FC-2 は信号方式のプロトコルを規定する。これら FC-0~FC-2 のレイヤは、物理層を規定しており、これらを合わせて規定したものが、FC-PH と呼ばれる規格である。FC-3 はストライピングなどのコモンサービスを規定する。FC-4 は上位レイヤプロトコルとのインタフェースをとるマッピングを規定する。上位レイヤとしては、SCSI のほかにも IP, IPI 3 なども規定され、今後さらに追加されてゆく見通しである。階層化されたアーキテクチャにより上位プロトコルによらず共通の物理資源を使用できることが特徴である。

Fibre Channel では、図-3 に示す、3 つのトポロジが定義されている。

(a) Point-to-Point トポロジ

2 台のノードを 1 対 1 に接続する最もシンプルなトポロジである。コンピュータどうしまたは、コンピュータとディスクアレイ装置を接続する場合などに使用される。

(b) Fabric トポロジ

ファブリックを介して各ノードをスター型に接続するトポロジである。大規模なシステムを構築することが可能となる。このトポロジでは、ファブリックが障害ノードの切り離しを行うことにより、耐故障性に優れる。

(c) Arbitrated Loop トポロジ

複数のノードを最も安価に接続するループ型のトポロジであり、FC-AL と呼ばれる。ハードディスク装置では、このトポロジが標準的に使用される。単一のループ内では送受信の方向が固定されるため、耐故障性を向上させるためには、ループの2重化または障害ノードのバイパス回路の追加などの対策が必要となる。

Fibre Channel の今後は、1つにはデータ転送速度の高速化があり、もう1つには上位レイヤのサポートプロトコルの拡張がある。いずれについても、現在すでにその検討が進められている。

3.4 SSA (Serial Storage Architecture)

SSA は、当初米 IBM 社により開発され、その後 1993 年より ANSI にて規格化が検討されている。高速なシリアルインタフェースである。Fibre Channel がネットワークの一応用として周辺装置の接続を位置づけているのに対し、SSA は周辺装置とりわけハードディスク装置の接続にターゲットを絞ったインタフェースである。データ転送速度は最大 80 M バイト/秒である。ケーブルは、6 ピンのフラットケーブルなどを使用し、最大 20 m まで可能である。(リピータの使用により 680 m まで延長可能。)

SSA は、SSA-PH と呼ばれる物理インタフェースを規定したレイヤと、上位プロトコルのマッピングを規定したレイヤで構成される。現在定義されているマッピングは SSA-SCSI のみである。

SSA では、図-4 に示すディジーチェーンとループのトポロジが定義される。各ノードに実装された送受信のポートは、送信側 20 M バイト/秒、受信側 20 M バイト/秒の合計 40 M バイト/秒でデータ転送が可能である。各ノードともこれらの

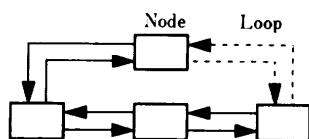


図-4 SSA のトポロジ

ポートが2つ実装されるため、トータルスループットは 80 M バイト/秒となる。また、デュアルポートノードを使用したループトポロジでは、耐故障性が向上しており、単一のノード故障まで耐えることができる。SSA には、このほかにも複数のノードが同時に通信することができる Spatial Reuse と呼ばれる機能などが定義されている。

SSA の今後は、データ転送速度の高速化があり、最大 160 M バイト/秒の仕様も検討が進められている。

4. システムへの応用

前章では、SCSI-3 で規定された新しいインタフェースについて、個々にその特徴をまとめた。本章では、実際にこれらのインタフェースをシステムへ応用する視点から考察する。

4.1 各々のインタフェースの優位性**(a) UltraSCSI**

UltraSCSI の最大の優位性は、既存の SCSI との互換性にあるといえよう。これは2つの意味をもつ。

1つ目はいうまでもなく、現在使用している周辺装置をそのまま使用可能であることである。データ転送速度など性能的に劣る既存の装置と、UltraSCSI の装置とを混在してディジーチェーン接続することは、バス全体のスループットを低下させる要因となり、あまり奨められることではないが、コンピュータ本体の拡張スロットに余裕がない場合などはこれも必要となる。

2つ目は、コントローラ LSI やマイクロプログラムの開発において、これまでに蓄積された多くのノウハウを継承することができることである。とくにマイクロプログラムの流用は重要な意味をもつ。システムとしてみた場合、インタフェースの性能はデータ転送速度のみで単純に比較できるものではない。各種 SCSI のコマンド処理を行うマイクロプログラムのオーバーヘッド時間も重要なファクタとなる。絶対的な性能値のみを比較すれば UltraSCSI はシリアル SCSI に及ばない。しかし、マイクロプログラムのオーバーヘッド時間に関しては、これまで十分に最適化され、多くのノウハウをもつパラレル SCSI の方が、ようやく使われ始めたシリアル SCSI より有利である。した

がって、このオーバヘッド時間も考慮すると、当
面はスペックほど差は出てこないであろう。ま
た、コントローラ LSI についても同様のことが
いえる。一昨年あたりから製品化されている
SCSI コントローラ LSI などは、SCSI プロトコ
ル制御専用のプロセッサを内蔵するなど、性能向
上に有効な多くのノウハウをもつ。

SCSI-2 のコントローラ LSI を製品化している
各メーカーとも、UltraSCSI をサポートした製品
をリリースしてきており、これを採用した周辺装
置もハードディスク装置を筆頭に今後増えてくる
であろう。

(b) Fibre Channel, SSA

Fibre Channel や SSA などのシリアル SCSI
の優位性は、パラレル SCSI を大きく上回るスペ
ックにある。データ転送速度、最大ケーブル長、
機器接続可能台数など、あらゆる点で UltraSC
SI を凌いでいる。また、UltraSCSI ではもはや
十分に対応しきれないような要求も強まってきて
いる。たとえば、既設のコンピュータールームが手
狭になり、フロアをまたがるような設置をしたい、
ミラーリングされたディスクシステムを災害
などに備え別々のエリアに設置したいなどのニー
ズには、平衡転送を採用したとしてもパラレル
SCSI のケーブル長では困難である⁴⁾。また、先
に指摘したとおり、数十台のハードディスク装置
を実装した大容量ストレージシステムとコンピ
ュータ本体との接続には、シリアル SCSI のデー
タ転送速度が要求されている。

使い方によってはシリアル SCSI の方がコスト
的に有利となるケースもある。コントローラ LSI
とその周辺回路のコストを単純に比較すると、現
状では UltraSCSI < SSA < Fibre Channel の順に
なり、UltraSCSI が最も安価である。しかし、
バックプレーン接続やファイバを除くケーブル接
続においては、信号線の少ないシリアル SCSI の
方が、ケーブル、コネクタのコストでは有利であ
る。また、数十台のハードディスク装置を接続す
るようなケースでは、UltraSCSI では複数のパ
スを装備する必要があるのに対し、シリアル
SCSI では1つですむ。これらシステム全体とし
てみた場合、シリアル SCSI の方が安くなるケー
スもある。この鍵を握るのは、シリアル SCSI を
実装したハードディスク装置単体の価格であ

ろう。

しかし、UltraSCSI の項で示したように、シ
リアル SCSI の本来の性能をフルに発揮するに
は、まだ課題が多いのも事実である。たとえば、
SSA のデータ転送速度 80 M バイト/秒というス
ループットは、3 章で説明したとおり、(送信 20
M バイト/秒+受信 20 M バイト/秒)×2 ポート
の合計である。このことは、リード/ライト頻度
の最適化や、高度なマルチスレッドアクセスな
ど、制御方法の見直しを必要とする。

Fibre Channel をはじめとするシリアル SCSI
は、SCSI プロトコルの制御を内蔵する高機能な
LSI が製品化されるようになると、それを採用し
た周辺装置も急速に増えてくるであろう。

4.2 インタフェースの選択

システム性能は、CPU と周辺装置とを結ぶ経
路上に存在する各々の構成要素の中で、最も速度
の遅いものによって制限される⁵⁾。製品化された
最新のハードディスク装置では、メディア~コン
トローラ間の平均転送速度は 10 M バイト/秒ほ
どであり、およそ 2 倍/2 年の割合でその性能が
向上してきている。よって、コンピュータ本体に
ハードディスク装置を内蔵する場合など、数台程
度の接続であれば、UltraSCSI-2 などの採用が
すでに検討が開始されており、今後数年間はパ
ラレル SCSI でも十分であろう。コストや製品の入
手性などを考えると、現在このような用途でシリ
アル SCSI を選択するメリットはない。

今、最もシリアル SCSI を必要としているア
プリケーションは、ディスクアレイ装置である。

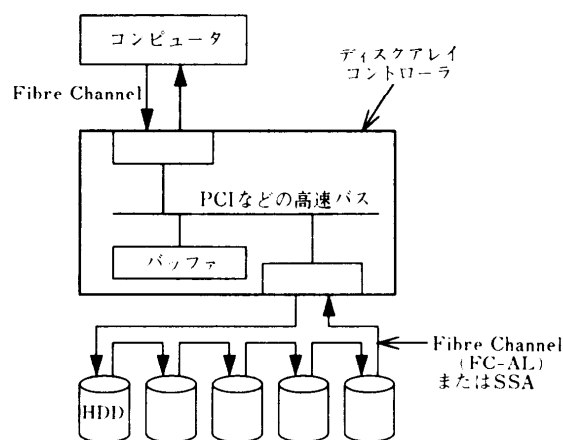


図-5 ディスクアレイ装置への応用例

図-5 にディスクアレイ装置へシリアル SCSI を適用した例を示す。多くの場合、ディスクアレイ装置は以下の2種類の I/O インタフェースを実装している。a) ハードディスク装置とディスクアレイコントローラ間のインタフェース、b) ディスクアレイコントローラとコンピュータ間のインタフェース、である。どちらの用途においてもシリアル SCSI への移行に積極的であるが、その意味合いは少し異なる。まず a) の用途について考察する。数十台のハードディスク装置を接続するために、これまではパラレル SCSI を複数実装し実現していた。スループット性能を考慮するとハードディスク装置4~8台程度に1本のパラレル SCSI が必要で、いかに単体での価格が安いとはいえ、全体では高価なものとなる。また信号線の多さから、バックプレーンの配線やコネクタの実装にも苦労しているのが実状である。この用途では FC-AL と SSA が有力である。これまでの複数のパラレル SCSI を1本にまとめることができる。では b) の用途ではどうか。こちらはシリアル SCSI のもつ転送速度とケーブル長に期待している。ディスクアレイコントローラがディスクキャッシュを実装すれば、コンピュータ接続側に要求されるスループットは、ハードディスク装置接続側のそれを遙かに上回る。最大性能の高さから、この用途では Fibre Channel による接続が現在最も有力である。

5. おわりに

ここまで SCSI-3 で規定された各種インタフェースに関して、その規格の概要、システムへの応用例について説明してきた。SCSI-3 の規格はまだ流動的である。これまでの SCSI 規格がそうであったように、SCSI-3 も今後製品化が進むにつれ、コマンドセットの追加などその内容がたびたび見直されてゆくであろう。したがって、インタフェースの設計にあたっては、最新の情報を入手することが重要である。

周辺装置のインタフェースの種類が多いという

ことは、必ずしも歓迎されることではない。接続する機器ごとにインタフェースが異なれば、その分システムの価格は上昇する。よって、特殊な用途を除いては、その主流はいずれかに一本化されてくると考えられる。ここまで Fibre Channel がこの最有力候補であると述べてはきたが、これとは異なる見方も少なからずある。この結論は、これらの製品が実際に使用されるようになるにつれて明らかとなるであろう。今後しばらくはその動向に注目してゆく必要がありそうである。

参 考 文 献

- 1) 今井拓司, 中山俊一, 北郷達郎, 横田英史, 浅見直樹: 変革期のパソコン用周辺インタフェース, UltraSCSI, IEEE 1394, USB へ, 日経エレクトロニクス, pp. 141-162 (Oct. 1995).
- 2) 小型ハードディスク装置 (HDD) 用語集, 日本電子工業振興協会 (1989).
- 3) ANSI X 3. 270: SCSI-3 Architecture Model (SAM) (1995).
- 4) 浅見直樹, 北郷達郎: シリアル SCSI がいよいよ市場へ: 次世代周辺装置インタフェースの評価定まる, 日経エレクトロニクス, pp. 75-94 (July 1995).
- 5) David, A. and John, L.: Computer Architecture: A Quantitative Approach, Morgan Kaufmann (1990) (富田眞治, 村上和彰, 新實治男訳: コンピュータ・アーキテクチャ, 日経 BP (1992)).
- 6) Kessler, G.: Fibre Channel, 単純明快なチャネル技術で異種プロトコルを吸収, 日経エレクトロニクス, pp. 127-137 (Jan. 1994).
- 7) ANSI X3T10/993D: Fibre Channel Protocol for SCSI (FCP) (1994).
- 8) ANSI X3T10/855D: SCSI-3 Fast20 (1995).
- 9) ANSI X3T11/960D: Fibre Channel Arbitrated Loop (FC-AL) (1994).

(平成8年7月17日受付)



菅本 享一 (正会員)

1964年生, 1988年電気通信大学電気通信学部機械工学科卒業。同年(株)東芝入社。現在同社産業用電算機部に所属。主にディスクサブシステムの開発に従事。