

## i.LINK によるオーディオの伝送

Audio Data Transmission through i.LINK

天満 哲也，長谷部 誠一

Tetsuya Tenma, Seichi Hasebe

**要旨** 当社は2002年秋，オーディオデジタルインターフェイスとして i.LINK を搭載した AV マルチチャンネルアンプと DVD プレーヤを世界に先駆けて発売した。このオーディオ i.LINK の開発は 1394TA や DVD フォーラムで制定された多数の IEEE1394 規格に準拠して行われた。

本稿はオーディオ i.LINK 開発に使われた規格の中から特に重要ないくつかの項目を選んで製品に即した技術解説を行ったものである。その際，規格化のプロセスや背景，DVD フォーラムのスタディなどにも触れ，今後新たにオーディオ i.LINK 開発を行う技術者の手助けとなるようにした。

**Summary** Pioneer put AV multichannel amplifiers and DVD players which included i.LINK as an audio digital interface on the market for the first time in the world in the autumn of 2002. This audio i.LINK was developed based on many IEEE1394 standards enacted in the 1394 Trade Association and the DVD forum.

This paper is a technical explanation of the products concerning some important items in those standards related to the development of audio i.LINK. Since it also refers to the process and background of standardization and the study of the DVD forum, the authors believe it will be helpful to engineers who would develop audio i.LINK in the future.

**キーワード：** i.LINK，DTCP，A&M プロトコル，アンシラリデータ，  
フローコントロール，AV/C コマンド

### 1. まえがき

当社は，2002年秋に北米を皮切りに日本，欧州に i.LINK インターフェイスを搭載した AV マルチチャンネルアンプとマルチディスク対応の DVD プレーヤを世界で初めて市場導入した。この第一号機の日本での型番は DVD プレーヤが DV-S858Ai，AV マルチチャンネルアンプが VSA-AX10i である。i.LINK インターフェイスを搭載

することで，DVD オーディオ，SACD を始めとするすべてのオーディオコンテンツを DVD プレーヤから AV マルチチャンネルアンプに 1 本のケーブルでデジタル伝送ができるようになった。図 1 に i.LINK 搭載の第一号機である DV-S858Ai と VSA-AX10i の外観を示す。以下，i.LINK 技術をこの一号機である DV-S858Ai と VSA-AX10i に沿って述べる。

i.LINKは規格名をIEEE1394といい、Firewireとも呼ばれる双方向のシリアルデジタルバスである。i.LINKはデジタルビデオカメラなどで民生機器の間に既に広く普及しているが、今後はデジタルオーディオの伝送、デジタル放送のストリーム伝送などにますます広く使われるようになることと考える。

近年の高級AVマルチチャンネルアンプはVSA-AX10iなどに搭載されている自動音場補正システムMCACC(Multi Channel Acoustic Calibration System)のように、高度なデジタルプロセッシング機能を搭載している。ところが従来は、公認されたデジタルインターフェイスが存在しなかったため、DVDオーディオやSACDでは、プレーヤとAVマルチチャンネルアンプの接続は、アナログケーブルで行われていた。そのためD/A A/Dの信号処理を必要とし、送信・受信でD/A A/Dの処理を介さないデジタルインターフェイスの登場が待ち望まれていた。その要望に応えるべく、i.LINKによるオーディオ伝送は、送信機から受信機へ1本のケーブルで接続するフルデジタルプロセッシングを可能にした。



(a)DV-S858Ai(DVDプレーヤ)



(b) VSA-AX10i(AVマルチチャンネルアンプ)

図1 i.LINKを構成するDVDプレーヤとAVマルチアンプの外観

さらにi.LINKにはDTCP<sup>(1)</sup>(Digital Transmission Content Protection)という著作権保護システムが組み込まれている。DTCPは機器の相互認証とデータの暗号化などからなる著作権保護システムである。DTCPという強力な著作権保護システムが組み込まれたi.LINKデジタルインターフェイスはSACD、CPPM(DVDオーディオのディスク記録暗号化システム)のライセンサーから承認された唯一の汎用デジタルインターフェイスである。

以下、DVDプレーヤとAVマルチチャンネルアンプに使われているi.LINKの技術についていくつかのポイントを述べる。

## 2.A&M(エーアンドエム)プロトコル

i.LINKは、

ホストコンピュータを介さないでAV機器同士の接続が可能である。

アイソクロナス(同期)と呼ばれる伝送方式を持つ。

の理由により、民生用AV機器の接続に用いてAVデータの送受信を行うのに最適なデジタルインターフェイスである。

ホストコンピュータを介さない接続を可能にするために、各機器はIEEE1394規格に則た必要最小限のバス管理機能を実装することが必要になる。しかし、ホストコンピュータを必要としない相互接続は家庭のAV機器では必須の要求であり、大きな長所である。また、アイソクロナス伝送方式は伝送に必要な帯域とチャンネルをあらかじめ確保してバス管理機器に登録する仕組みを持っているため、確保した帯域はバス上の他のパケット伝送の影響を受けない。そのためAV信号のような連続信号を途切れることなく伝送できる。これらの点が、コンピュータのIPネットワークなどと大きく異なるi.LINKアイソクロナス伝送の特徴である。

アイソクロナス伝送でAV信号を伝送するためのプロトコルは、1394Trade Association(IEEE1394の普及活動と関連規格を審議するた

めの業界団体：略して 1394TA) 規格として，以下の三種類が規格化されている。

デジタル放送のストリームなどを伝送する MPEG2-TS

デジタルカムコードなどに使われる DV (DVCR)

オーディオやミュージックデータ伝送のための A&M プロトコル(Audio and Music Data Transmission Protocol)

オーディオを伝送するための規格である A&M プロトコルは，1997 年に 1394TA にてバージョン 1.0 が制定されたが，この時点では DVD オーディオや SACD などのオーディオフォーマットはまだ存在していなかった。そこでこれらのフォーマットが登場したとき，新オーディオフォーマットの伝送を行うための規格の拡張が必要になり，再度，1394TA で審議を行った。その結果 1999 年に A&M プロトコルの拡張規格である Enhancement to Audio and Music Data Transmission Protocol 1.0(以後，略して Enhancement と呼ぶ) が制定され，A&M プロトコルによって DVD オーディオ，SACD などの新フォーマットオーディオが伝送可能になった。その後，2001 年にはこの Enhancement は先行する A&M プロトコルバージョン 1.0 と統合され，A&M プロトコルバージョン 2.0<sup>(2)</sup>として 1394TA から新しく発行された(A&M プロトコルは 2001 年 12 月に

バージョン 2.1 になった)。

なお，この 1394TA 規格である A&M プロトコルそのものは，それぞれのオーディオデータ伝送に必要なヘッダなどの共通部分，ラベル(後述)の割り振り，パケットサイズの大枠を決めたものである。そのため DVD オーディオや SACD などの個々の伝送フォーマットの詳細に関しては別途定めることになり，SACD ライセンサーや DVD フォーラムで審議され，規格として制定された<sup>(3)</sup>。従って i.LINK オーディオ機器の設計に際しては，A&M プロトコルの他に，それぞれのオーディオ伝送規格を参照することが必要である。

当社の DVD プレーヤ，AV マルチチャンネルアンプの i.LINK は A&M プロトコルバージョン 2.0 規格の中の IEC60958 互換，DVD オーディオ，SACD に対応・準拠している。特に SACD，DVD オーディオの細部に関しては SACD ライセンサー，DVD フォーラムから発行されている規格書に完全準拠して設計された。

当社の i.LINK 搭載 DVD プレーヤ，AV マルチチャンネルアンプは DVD オーディオ，SACD，CD，DVD ビデオの音声など DVD プレーヤで再生できるすべてのオーディオ DATA を 1 本の i.LINK ケーブルで送信し，受信することができる。表 1 に DVD プレーヤ DV-S858Ai が i.LINK で伝送できるオーディオソースの一覧を示す。

表 1 DV-S858Ai が i.LINK で伝送可能なサウンドソース

サウンドソース	サウンド出力形態
DVD ドルビーデジタル	2chダウンミックス/マルチチャンネル
DVD リニアPCM (DVDビデオ)	2ch
DVD リニアPCM (DVDオーディオ)	2chダウンミックス/マルチチャンネル
DVD MPEG	2ch
DVD DTS	2chダウンミックス/マルチチャンネル
SACD	2chダウンミックス/マルチチャンネル
CD	2ch
Video CD	2ch
DVD-RW	2ch

### 3. アンシラリ(付加) データ

Enhancement 以後の A&M プロトコルの大きな特徴のひとつにアンシラリデータ記述領域を新設したことがあげられる。DVD オーディオや SACD のようなマルチチャンネルオーディオは、送信側からオーディオデータだけを受信側に伝送しただけでは再生できない。プレーヤ単体の再生においても、ディスクにはチャンネル配置、サンプリング周波数、その他各種情報が記述されていて、それらの情報を参照することで、プレーヤはオーディオデータの正確な再生が可能になる。

例えば DVD オーディオではチャンネル配置が 24 通り、サンプリング周波数が 6 通り、量子化ビット数も 3 通り定義されているのでそれらの情報がないと再生ができなくなる。iLINK のようなデジタルインターフェイスでオーディオデータをプレーヤ外のアンプに伝送して再生を行う場合も同様であり、AV マルチチャンネルアンプなどの受信機に、再生に必要な情報として各種付加(アンシラリ)データを伝送する必要がある。本稿では DVD オーディオを例にとって、アンシラリデータの概要を述べる。

図 2 に A&M プロトコルの 1 データブロックを示す。1 データブロックとはマルチチャンネルの 1 サンプルデータ配置のことである。DVD

オーディオや CD などのマルチビットオーディオの 1 チャンネル 1 サンプルデータを、A&M プロトコルでは 32 ビットのスロットで記述する。32 ビットの先頭 8 ビットがラベルと呼ばれ、DVD オーディオや SACD などのオーディオフォーマットごとに値が定義される。従ってラベルはラベルに続くデータの識別に使われる。ラベルに続くデータ領域は 24 ビットなので、マルチビットオーディオデータの場合、量子化ビット数の最大は 24 ビットになる。データの量子化ビット数が 24 ビットより少ない場合、例えば 16 ビットの場合には最後の 8 ビットは受信後捨てられる。受信機である AV マルチチャンネルアンプは、このラベルをチェックし、受信中のオーディオデータを識別し、それぞれのオーディオデータ再生の設定を行う。

ラベルは 8 ビットの長さを持つので 256 種類が存在する。DVD オーディオの場合は A&M プロトコルのラベル割り当てによって 8 種類が割り当てられる。この 8 種類を使い分けることで、データが単に DVD オーディオのデータであるということだけでなく、ラベルに続くオーディオデータの 3 種類の量子化ビット数などの情報も表現している。

DVD オーディオのアンシラリデータにもオーディオデータとは別にひとつのラベルが割り当

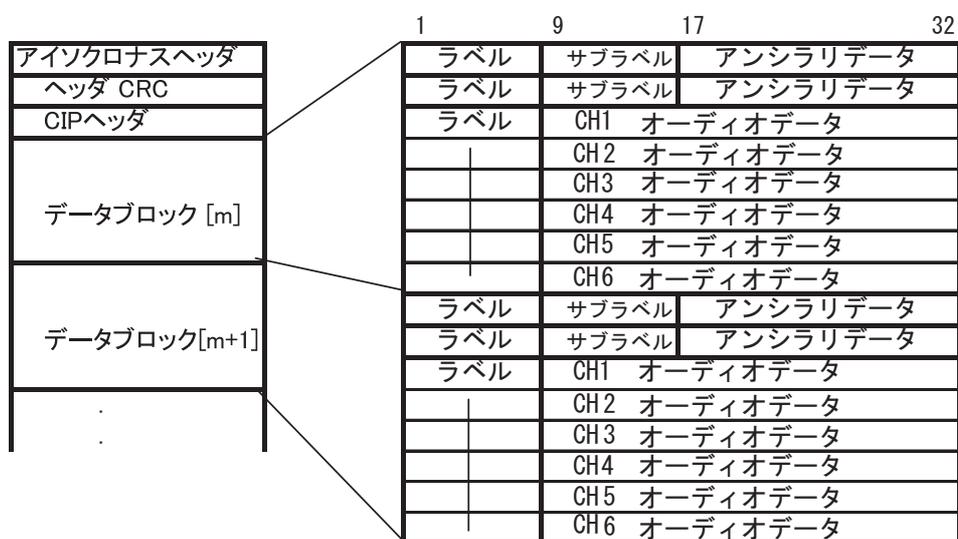


図 2 A&M プロトコルパケットのデータブロック

てられていて、そのラベルを持つデータがDVDオーディオのアンシラリデータであることが識別される。ラベルはひとつしか割り当てられないので、そのままではアンシラリデータの領域はラベルの8ビットを除いた24ビットしかない。しかし実際にはさらに多量のアンシラリデータが必要になる。そのようなときのためにアンシラリデータにはラベルの8ビットに続く次の8ビットがサブラベルとして定義されている。サブラベルを定義することで1スロットのデータビット数は16ビットに減少するが、逆にひとつのラベルで256通りのアンシラリデータを使い分けることができるようになる。

DVDオーディオの場合、伝送されるアンシラリデータは表2にあるように5つにグルーピングされて伝送される。表中のData transmitted at every data blockというのは、例えばアンシラリデータのひとつであるダウンミックスコード(ダウンミックス係数テーブルナンバーを指定するコード)のように再生中にプレーヤにミュートなどの処理を施さなくとも更新可能なデータがある。このようなデータは常

に監視していないと変化点を検出できないので、すべてのサンプルに付加することになっている。逆にData transmitted at starting pointは変化するときには必ずDVDプレーヤにミュートなどの処理を施し、変化したときに伝送すれば受信側でも余裕を持って取り込みが可能なデータである。従ってすべてのサンプルで伝送する必要はない。CCI, ISRC, DMCTなども同様に変化点の検出が可能なデータで、毎サンプル送る必要はない。毎サンプル送る必要のないアンシラリデータは、図2の二つ目のアンシラリデータ領域を使って時分割で伝送される。

このようにDVDオーディオのアンシラリデータは目的に従ってグルーピングされており、グループはサブラベルで識別される。さらにグループ内での情報識別のため、ひとつのグループでも複数のサブラベルを使用する場合がある。例えばダウンミックス係数テーブルDMCTのような大きなデータをアンシラリデータで伝送するときは、データの始まりを明確にするため、スタートのスロットのみ、他のデータと異なる独立のサブラベルを使用している。このよ

表2 DVDオーディオアンシラリデータのグループ

グループ1	Data transmitted at every data block データブロックごとに毎回送るアンシラリデータ
グループ2	Data transmitted at starting point ミュートなど状態変化があったときだけ送ればよいアンシラリデータ
グループ3	Audio CCI (Copy Control Information)
グループ4	ISRC (International Standard Recording Code)
グループ5	DMCT (Down Mix Coefficient Table)

うにすることで、DMCT データを分割して送っても、送られてきたデータが、前データの続きなのか、新しいDMCT データなのかを判別することがある。

DVD オーディオのアンシラリデータについては、これ以上の詳細説明は紙数の関係で割愛する(詳細はDVD フォーラムの規格を参照)。

上述したA&M プロトコルではDVD オーディオやSACD のディスクの持つ付加情報をアンシラリデータとしてオーディオデータとともに受信側のAV マルチチャンネルアンプに伝送することで、受信側においてもプレーヤで行う再生と同等な、コンテンツ制作者の意図通りの正確な再生ができる。

#### 4. フローコントロール

i.LINK によるオーディオ伝送の高音質化技術の一つに伝送路のジッタを排除するジッタレス伝送がある。ジッタレス伝送は、一般的にデータのフローをコントロールするという意味で、フローコントロールと呼ばれている。当社ではこの技術をPQLS(Precision Quartz Lock System)と呼んでいる。

この技術は伝送路で発生するジッタを受信機の水晶体精度まで低減する技術である。i.LINK はデジタル伝送なので、データはもともと正確なクロックに同期して伝送されている。しかし

ながらクロックの微妙に異なるリピータ機器(中継器)を経て伝送が行われることもあり、その他さまざまな原因により伝送路でジッタが発生することがある。また高級AV マルチチャンネルアンプではクロックの精度も訴求ポイントの一つである。そこでi.LINK によるオーディオの伝送においては、受信機側の水晶体精度で再生を行うフローコントロールの技術が考案され、1394TA で規格化されている<sup>(5)</sup>。

フローコントロールの概念を図3に示す。基本的な考え方は、受信側であるAV マルチチャンネルアンプにバッファメモリを持たせ、バッファメモリにオーディオデータを溜め込んでおいて、AV マルチチャンネルアンプの高精度水晶体クロックで読み出すというきわめてベーシックなものである。しかしながら送信機と受信機のクロック周波数には微妙な差があり、極端な場合にはバッファメモリが溢れたり、空になってしまうことも考えられる。そうなったら当然、再生時に音切れになるので、このような状態を起こすことは許されない。そこでフローコントロールの規格ではStandard, Fast(+1%), Slow(-1%)の三種類のコマンドが用意されている。受信機であるAV マルチチャンネルアンプはメモリ内のデータ量をモニタしながらこの三種類のコマンドを送信機であるDVDプレーヤに送り、再生速度をコントロールし、メモリ内

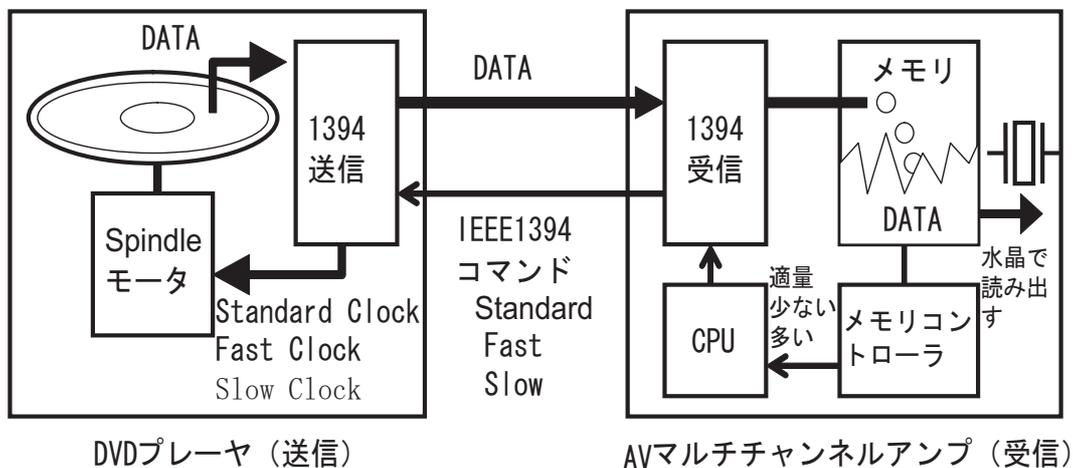


図3 フローコントロールの概念

のデータ量を適量に保つ。当然フローコントロールを行うためにはDVDプレーヤのほうも±1%の可変速再生に対応しており、AVマルチチャンネルアンプから送られてくる三種類のコマンド通りの動作をする必要がある。

前述したように、フローコントロールは1394TA規格であり、CDやSACDはこの規格によってフローコントロールの設計ができる。しかしDVDオーディオの場合は1394TAの規格だけではフローコントロールを行うことができない。何故ならば、DVDオーディオでは、「3章：アンシラリデータ」のところで述べたように、6種類のサンプリング周波数Fsが存在し、しかも、DVDオーディオフォーマット上では、曲ごとにFsが変わることも許されており、Fsが変化したときは、前の曲のFsのデータがバッファメモリから全部読み出されないと、AVマルチチャンネルアンプは、Fsの変更をすることができない。また新しいオーディオデータは、Fsが新しいデータのものに変わったのを確認しないと、バッファメモリに書き込むことはできない。もしFsの異なる二つの曲のデータが同時にメモリに存在したら正しい再生はできない。そのためには、DVDプレーヤはAVマルチチャンネルアンプが前のFsのデータをメモリから完全に読み出したかどうかを確認してから次のデータを送らなければならない。この確認にもフローコントロール規格で定められたコマンドが使われる。このようにDVDオーディオのフローコントロールでは、AVマルチチャンネルアンプは単にメモリ内のデータ量のモニタだけではなく、送信機であるDVDプレーヤからメモリの状態をコマンドによって問われたとき、状態を回答してやる必要がある。これらの制御方法は各メーカーの機器がばらばらにやったのでは、お互いのコンポーネントを接続しても、フローコントロールが正しく動作しないという事態になりかねない。そこでどうしても規格化と標準化が必要になった。

このような事情と複数のFsが存在するとい

うDVDオーディオディスクの特徴を考慮し、DVDプレーヤのためのフローコントロール規格をDVDフォーラムで審議してきた。その結果はDVDフォーラムアドホック4-4(DVDオーディオのデジタルインターフェイスを議論する部会)スタディとして2002年10月に発行された<sup>(6)</sup>。

当社のDVDプレーヤとAVマルチチャンネルアンプのフローコントロールは1394TA規格とアドホック4-4のスタディに準拠して設計されている。このように標準となった規格に準拠して設計することで、メーカーが異なる機器と接続されても、フローコントロールを用いた高品位のDVDオーディオ再生が可能になる。

## 5. AV/C コマンド

i.LINKによるオーディオ伝送のもうひとつの利点は、IEEE1394TA規格にAV/Cコマンドが各種用意されていることである。AV/Cコマンドは、i.LINKで接続された民生用AV機器の能力の確認や制御を行うために制定された。AV/Cコマンドはテープ機器、ディスク機器、アンプなどのオーディオ機器、チューナーなど、各機器の機能に合わせたコマンドが規格化されている。IEEE1394TA規格ではこれらの機能のことを「サブユニット」と呼び、テープサブユニット、ディスクサブユニット、オーディオサブユニット、チューナーサブユニットなどと呼んでいる。

これらのAV/Cコマンドの実装は必要最小限のコマンドを除き、実装するメーカーの裁量に任されている。そのため異なるメーカー機器どうしでお互いに制御を行おうとする場合は、相手に実装されているAV/Cコマンドを知る必要がある。ただし、DVDプレーヤだけはDVDフォーラムの規格によって、PLAY、STOPなどの基本的な16個のコマンドを最小限実装することが決められている<sup>(6)</sup>。

当社のDV-S858AiとVSA-AX10iでも接続される機器の能力を知るためAV/Cコマンドを使用する。機器が接続されるとまずAV/Cコマン

ドを相手機器に発行し、相手の実装されているプロトコル(A&MなのかMPEG2-TSなのかDVなのか)情報(ストリームタイプという)を問い合わせる。DV-S858AiとVSA-AX10iはA&Mプロトコルのみに対応しており、MPEG2-TSやDVCRの packetsを受信しても再生できないから、応答の内容によりAVマルチチャンネルアンプのFL標示管、DVDプレーヤのGUIに再生できる機器、再生できない機器を区別して表示している。

表示の方法は、i.LINKでは機器固有の情報を記述するためのConfiguration ROMと呼ばれるROMを有し、その中にメーカー名、機器の型番が記述されている。したがって各機器は接続された機器のメーカー名と型番を読み取る。VSA-AX10iではFL標示管に入力セクタによって選択された機器のメーカー名と型番が標示される。そしてその下にA&Mプロトコル以外のプロトコルの機器の場合、「NO SIGNAL」(再生できないストリームを表す)と標示する。DV-S858Aiでは、GUIに接続された機器すべての型番が一覧表としてモニタに表示される。そのときA&Mプロトコルに対応した機器は黒、対応していない機器の型番は薄いグレー表示となり、容易に識別可能である。

AV/Cコマンドの応用例としてDV-S858AiとVSA-AX10iでは「連動動作(Auto Select Play)」という機能を実装した。i.LINK接続時にDVDプレーヤ側で連動動作の設定を行っておくと以下の動作ができる。

DVDプレーヤのPlayキーを押すとAVマルチチャンネルアンプの入力セクタがどこの位置にあっても自動的にDVDプレーヤ入力となってDVDの再生を始める。

反対にAVマルチチャンネルアンプの入力セクタをDVDプレーヤに合わせると、停止していたDVDプレーヤが自動的に再生を開始する。

連動動作に設定することで、ユーザーはたった一つのアクションでオーディオの再生ができるという便利な機能である。

連動動作もAV/Cコマンドの応用例の一つに過ぎない。AV/Cコマンドには多数のコマンドが用意されており、前述したサブユニットにはディスクリプタ(一回のAV/Cコマンドで送受信できないような大容量の情報を一回で可能にする仕組み)も用意されている。各AV/Cコマンドを組み合わせることで、ユーザーにとって多くの有益な応用が考えられる。AV/Cコマンドの本格的な活用はまさにこれからである。

## 6. まとめ

当社のDVDプレーヤ、AVマルチチャンネルアンプに搭載された多くのi.LINK技術の中からいくつかの技術をピックアップして述べた。本稿で述べたように、i.LINKによるオーディオ伝送はDTCPという著作権保護技術を有し、オーディオデータと同時にアンシラリーデータを伝送することで、受信側でもプレーヤと同様の、コンテンツ制作者が求める通りの正確な再生を可能にしている。

これらのことにもまして重要なことは、i.LINKによるオーディオ伝送は1394TA、DVDフォーラム、SACDライセンサーなどで規格化された標準規格であるということである。従って、各規格を遵守して設計された機器同士では、機器のメーカーが異なっても接続可能になるということである。

マルチチャンネル時代を迎え、1本のケーブルですべてのオーディオソースを伝送できる利便さに加え、受信AVマルチチャンネルアンプの最終段D/Aコンバータまでフルデジタル処理が可能で、しかも標準規格であるi.LINKは、まさに新しい時代のデジタルインターフェイスといえる。すでに当社に続き数社からこのi.LINKを搭載したオーディオコンポーネントが発売され、i.LINKは、オーディオデジタルインターフェイスの標準になりつつある。さらに多くのメーカーからi.LINK搭載オーディオコンポーネントが発売され、ハイファイオーディオ市場が活性化されることを期待する。

## 7. 謝辞

共にオーディオ i.LINK の開発を行った総合研究所ストレージシステム研究部の各位，各製品担当技術部の各位に感謝します。

### 参 考 文 献

- (1) Digital Transmission Content Protection Volume 1 Version1.3 (<http://www.dtcp.com/>)
- (2) Audio and MusicData Transmission Protocol 2.1 (<http://www.1394ta.org/Technology/Specifications/specifications.htm>)
- (3) DVD オーディオ伝送規格:Guideline of Transmission and Control for DVD-Video/Audio through IEEE1394 Bus Version 1.0 の5. Signal Definition of Audio stream through IEEE1394 Bus (<http://www.DVDforum.org/tech-guideline.htm>)
- (4) AV/C Command Set for Rate Control of Isochronous Data Flow. Ver1.0 (<http://www.1394ta.org/Technology/Specifications/specifications.htm>)
- (5) Implementation rule of the Command based rate control for DVD players
- (6) DVD オーディオのコントロールコマンド:Guideline of Transmission and Control for DVD-Video/Audio through IEEE1394 Bus Version 1.0 の6.AC/V Panel Subunit Commands for DVD(<http://www.DVDforum.org/tech-guideline.htm>)

## 筆 者

天 満 哲 也 (てんま てつや)

所属：プラズマディスプレイビジネスカンパニー 製品技術統括部 第五技術部  
入社年月：1979年4月  
経歴：業務用LDプレーヤ，ハイビジョンLDプレーヤの開発・設計に従事した後，IEEE1394などのネットワーク要素技術開発を経て2003年10月よりプラズマディスプレイメディアレシーバ設計の現職に至る。

長 谷 部 誠 一 (はせべ せいいち)

所属：プラズマディスプレイビジネスカンパニー 製品技術統括部 第五技術部  
入社年月：1986年4月  
経歴：CDプレーヤの量産設計，サーボ回路設計及び要素開発を経て，IEEE1394などのネットワーク要素開発を担当。2003年10月よりプラズマディスプレイメディアレシーバ設計の現職に至る。