

DVD のはなし

今中 良一

松下電器産業（株）

< DVD が拓く新しい世界 >

DVD (Digital Versatile Disc) はデジタルメディアであるというだけで、ビデオテープレコードが世にでた時よりも、はるかに大きなインパクトを、世界に与えた。DVD システムにはまったく新しいコンセプトが内包され、デジタルメディアワールドを創造していくと予感されたからであろう。

● DVD ビデオ

新しい映像メディアDVDの中核をなすDVDビデオは、映画、カラオケ、ミュージックビデオ、電子出版等の多くのアプリケーションが考えられる。その中で、特に重要な映画に関しては、ハリウッドの映画会社とも討議が行われ、次に示す豊富な機能が盛り込まれた。最初に目指したのは、記録容量の増大を画質、音質の向上につなげたことである。

(1) 高画質、長時間再生

高画質、長時間再生は、光ディスクの記録容量の増大とMPEG2と呼ばれる画像圧縮技術によりもたらされ、特に画像のシーンに合わせて常に最適な処理を行う可変ビットレート変換技術により、動画とオーディオデータを高品質に保ったまま、高圧縮デジタルビットストリームに変換することができた。この技術が135分の高画質、高音質のデジタルディスクを可能にしたわけである¹⁾。

なおMPEG2については、2月号の特集に詳細に述べら

れているので参照ください。

DVDは大量のデータをただ記録するだけでなく、以下に説明するように、視聴者に情報を選択する自由度を与えた。

(2) マルチリンガル (オーディオ、字幕、メニュー画面)

マルチ音声、マルチ字幕の言語による選択についても、工夫がこらされ、たとえば、8カ国語までのマルチ音声と32種類までのマルチ字幕のサポートが可能になった。

(3) マルチアスペクト

デジタルTV時代を先取りするマルチアスペクト機能により、4:3、16:9の2種類の画面を簡単に楽しめるように構成された。

(4) マルチアングル

マルチアングル機能は、異なったアングルから撮影された複数の映像から、ユーザが指定するアングルの映像を選択してシームレスに再生する機能で、リモコン操作でアングルを切替え楽しむことを可能にした。

(5) マルチチャンネルオーディオ

また、DVD-Video規格はオーディオ面でも従来のメディアを超えた豊富なデータ形式で記録されており、映像の種類に合わせた最適な、オーディオを楽しむことができる。

図-1にNTSCのビデオと組み合わせられるオーディオデータの仕様を示す。

クラシック音楽などピュアオーディオに適したリニアPCM、映画における臨場感溢れるサラウンドを実現するドルビーデジタル (AC-3)、国際標準のMPEGオーディオ、映画館で主流になりつつあるDTS (DTSは、米Digital Theater Systems社が開発した、主として劇場で使われているオーディオ・データのフォーマット) などが規格化された²⁾。

このように、光ディスクの物理的な記録密度の増加とデジタル処理による実質的な容量増加により、映像、音声の質的向上がもたらされ、同時にきわめて多彩なサービスを視聴者に提供することが可能になった。

● PC (パソコン) と AV (オーディオビデオ) を融合する DVD

DVDは、コンピュータとの整合性を高めた、応用展開が可能なフォーマットである。コンピュータ用途で必要となる信頼性とランダムアクセス性能を向上させるために、エラー訂正符号の訂正能力の強化やブロックで完結したフォーマットが採用された。DVDには、物理特性の異なる3種類の規格がある。それらは読み取り専用ディスクのDVD/DVD-ROM (Read Only Disc)、1回だけ書き込めるDVD-R (Write Once Disc)、および繰り返し記録できるDVD-RAM (Re-writable Disc) である。今までの光ディスクのファイルフォーマットはパソコンが有する固有のファイルフォーマットを使用していた。DVD規格のファイルシステムは、物

● Linear PCM または Dolby AC-3 が必須

	Linear PCM	Dolby Digital
周波数	48, 96 kHz	48 kHz
量子化	16/20/24 bits	圧縮
チャンネル数	最大 8	最大 5.1
ビットレート	最大 6.75 Mbps	最大 448 kbps

★ MPEGオーディオはオプション

図-1 ビデオと組み合わせられるオーディオの種類

DVDが拓く新しい世界

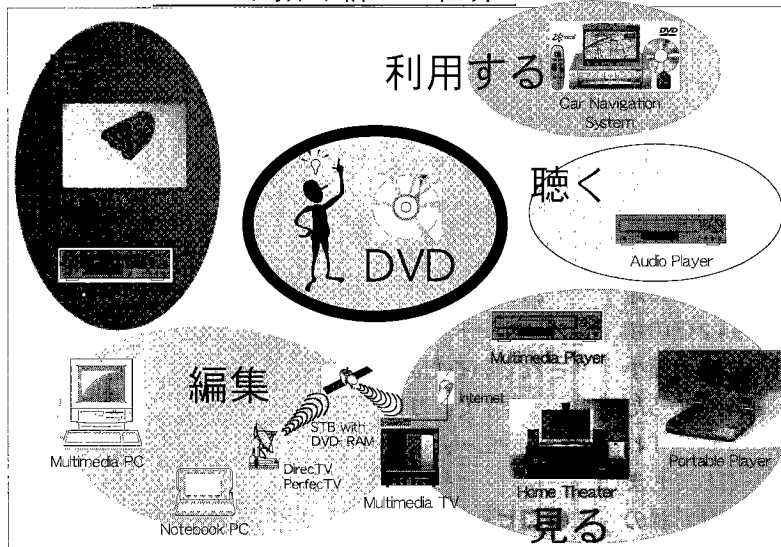


図-2 AVとPCの融合

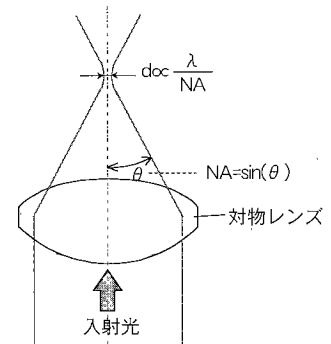


図-3 対物レンズとスポット径

ここ数年でDVD、DVD-RAMなどの光ディスクメディアを格納した光サーバが家庭内の情報蓄積場所になると思われる。この光ディスクサーバは必要な情報にネットワークが空いた時間を使って、アクセスし、自動的に

理特性の違いにかかわらず、国際標準規格のISO/IEC13346に準拠したUDF(Universal Disc Format)をベースに構成されたので、パソコン、ワークステーションの種類にかかわらず、記録したデータの互換性が維持されるようになった³⁾。

その結果MPEG2エンコーダLSIあるいはパソコンのCPUによるソフトMPEG2エンコーダの一般化とともに、たとえばカメラからとりこんだAV情報をDVD-RAMディスクに記録し、DVDプレーヤーで再生したり、パソコン上で編集することが可能になる。図-2にDVD、DVD-RAMディスクをコアメディアとしたAVとPCの融合を示している。

このようにDVDメディアをコアメディアとしてAVとPC間のデータが交換できるようになり、従来のパッケージメディアでは考えられなかった新しいコンセプトの商品が顧客に提供される日も近いと思われる。

●ネットワークとDVD

新聞が伝える1年間の情報量は500MB程度であったが、100チャンネルのデジタル衛星放送ではわずか2時間で540GBにも達する。2010年までには広帯域ネットワークにより映像、オーディオなどの流通が始まると予想されるが、各家庭からメディアサーバに多重にアクセスされると、公共通信網の加入者への通信速度が100MB/secになったとしても、流通サービスを行うメディアサーバはせいぜい10ないし60程度の家庭の端末からの同時アクセスが限度となる。したがってやはりパッケージメディアによる、情報配信があわせて要求される。

現在のような情報過多の時代になればなるほど家庭内でも、パーソナルサーバが必要となるだろう。そして、こ

情報を集めてくれたり、タイムシフトマシンとして、電子プログラム(EPG)を使って、延べ1週間以上のプログラムを選択し光ディスクに蓄積する。ユーザは光ディスクサーバから整理された情報を取り出したい時に取り出せ、みたい時に映画も見られる。

このようにDVDデジタルメディアはマルチメディア時代の核になり、インターネット、多チャンネルデジタル衛星放送をはじめとするネットワーク系のメディアとともに、徐々に世界を変革して行くと思われる。

<135分の映画記録を達成した基本技術>

光ディスクに記録できる容量は、光ディスクの記録密度、光ピックアップの再生能力および記録する時の情報信号構造(フォーマット)でほぼ決定され、135分の映画記録には、CDの6倍の約4.7GBが必要になる。

●光ディスクとピックアップ

光ディスクの記録密度を高めるためには、情報を表す凹凸ピットのサイズを微小化しなければならない。そしてこの光ディスクから情報を読み取るためには、光ピックアップで小さな光スポットを形成する必要がある。図-3に示すように光スポットの径は光の波長に比例し、対物レンズの開口数(NA)に反比例する。DVDでは光の波長を650nmとし、対物レンズのNAを大幅に高めることにした。しかし対物レンズのNAを大きくしただけでは、実用にはならない。そこで基板の厚さを薄くすることを考えた。

たとえば、光ディスク基板の傾きによる対物レンズの収差は、基板の厚みに比例する。また、対物レンズのNAを大きくしたときもNAの3乗に比例して、収差は増加する。

やさしいハードのはなし

すなわちNAを $2^{1/3}$ ($=1.26$) 倍にすると収差はその3乗倍の2倍になるが、基板の厚みを半分にすると、NAを 1.26 ($=2^{1/3}$) 倍まで大きくしても、基板の傾きによる収差の大きさは同等になるわけである。これにより記録密度を 1.6 ($=1.26^2$) 倍に向上させることが可能となった⁴⁾。

ラディアル方向の密度は、クロストークを除去するための特別な処理は行わないことを前提に、線記録密度とトラック密度を、面記録密度が最大になるようにバランスよく高められた。そして、トラックピッチは $0.74\mu\text{m}$ 、最短ピット長は $0.4\mu\text{m}$ と決定された。これは、CDの4.2倍の物理記録密度に相当する。しかし光スポットの面積の縮小率はCDに比べて2.6分の1にすぎない。この差を埋めるため、波形等化の導入と、ディスクの傾きやフォーカスずれに対するマージンを許容限界まで切りつめた。これでもまだCDの6倍には到達しないため、最終的には信号記録の冗長度を改善し、フォーマット効率を向上させた。

その結果DVDでは、直径12cmのディスクの片面容量4.7GBを達成し、これにより、画像(平均3.5Mbps) + 音声(384Kbps × 3カ国語) + 字幕(10Kbps × 4カ国語)の映像を135分収録することができることになった。不足の場合は2層ディスク(8.5GB)も用意されていることを付け加える。

最後に、従来のCD(Compact Disc)文化の資産との互換性を保ちながら、DVDに移行させることは非常に重要な問題であった。0.6mm厚の基板の導入当初からCD互換技術を見通していたわけではなかったが、互換技術が数多く提案され、CDからのスムーズな移行が可能となった。

●フォーマット

CDで使用されているグループコーディングのEFM(Eight to Fourteen Modulation, 8/14変調)は、反転間隔の最小値と最大値とを制限した、いわゆるRLLコード(Run Length Limited Code)の一種である。RLLコードが用いられた理由は、光ディスクに記録された凹凸ピット長とその間隔を適当な範囲とすることによって、原盤作製や成形を容易にするためである。EFMはすでにCDで実績があり、DVDでは、このEFMの性能を維持しつつ、データ効率の向上を実現できる8/16変調が採用された⁵⁾。

コンピュータ用途で必要となる信頼性とランダムアクセス性能を向上させるために、エラー訂正符号の訂正能力の強化やブロックで完結したフォーマットが採用された。従来のCDで採用しているエラー訂正コード(ECC)はCIRC(Cross Interleave Reed-Solomon Code)と呼ばれる積符号の一種で、符号語が始めから終わりまで連鎖している。復号時のバッファメモリを小さくできるという長所を有しており、音楽などの連続データの記録には好適である。ところが、所定のデータ量を単位として書き換えを行うような書換形の光ディスクに応用するときには、所定の

単位ごとに連鎖が切れるように、ダミーデータを挿入しておく必要があり、データ効率を低下させていた。

DVDではブロック化した積符号を用いている。これにより、AV情報の再生のみならず、ランダム・ファイルの書き換えにも適したものとなり、AV用とデータ用の統合ファイルシステムの構築を容易ならしめた。

<著作権問題を解決するコピー制御技術>

DVD-Video規格では、高画質のMPEG2で圧縮されたビデオ、オーディオデータがデジタルビットストリームで記録されているため、劣化のないデジタルコピーが可能である。そこで、コンテンツ供給者の意思を反映できるコピーコントロール技術が必要となった。

●コピーコントロール

DVDディスクにはコピー制御情報が備えられ、DVDプレーヤのアナログ映像出力のブランキング区間にAPS(Analog Protection System)と呼ばれるコピー妨害信号を重畳できる機能を装備している。さらにデジタルコピー制御は、プレーヤのデジタルインタフェースに対するものとコンピュータ用のDVD-ROMドライブから読み出されるAVデータに対するものが規定されている。DVD-Videoディスクはパソコンに接続されたDVD-ROMドライブにより、パソコンからDVD-Videoデータを読み取ることができる。このため、コンテンツ製作者がコピーさせたくないAVデータには、再利用できないようデータ自体にスクランブルを掛けることができる。このスクランブルは暗号化の1種でCSS(Contents Scramble System)と呼ばれ、光ディスクに映像音声情報を記録する時に、用いられる。再生時は製造会社ごとに設定された暗号解読キーを用い、光ディスクに記録された情報を解読し再生できるように構成されている。このためのCSS機構が設立され、キー管理のライセンス活動が行われている。

さらにDVDビデオ情報をデコーディングする際には、認証(Authentication)と呼ばれる動作が要求される。認証は光ディスクに記録された情報信号が、特定のデバイスだけに伝達できるように構成されている。たとえばDVD-ROMの出力インタフェースと、パソコン内のデコーダボード、あるいはソフトデコーディングユニット間で、この認証動作が行われる。このようにDVD光ディスクの情報は、必要に応じてコピーコントロールが行われるわけである。

●電子透かし(Water Mark)による違法コピー、データ改竄防止

DVDは著作権に関して、ソフトコンテンツ供給者に対する配慮を施したものといえる。現在、規格化が決定したDVDオーディオでは、ソフトコンテンツそのものに電子透かし(WM)を埋め込み、利用することが決められている。

前項で説明したCSSやAPSはコピーコントロールには有効であるが、データの違法コピー、改竄などに対して十分ではない。電子透かし(WM)は映像、音声データに刷り込まれ、エンコード、デコードなどの処理をされても消滅することはない。この電子透かしには、種々の方式があり、たとえば、周波数スペクトラム拡散方式では、原画にDCT(Discrete cosine transfer)演算を行うときに、決められた規則にしたがって周波数成分にWMを加算する。また、空間軸方式では画素成分にWM成分を挿入する方法がとられている。電子透かしの除去には多大な労力が必要でかつ、画質音質の劣化を招くため、不正に運用されたとしても、利益を生むものではない。以上のように電子透かし情報を用いてコピーコントロールはもちろん、不正コピーの発生元の追跡も将来可能になる⁶⁾。

●再生地域制御 (Regional code)

映画産業保護のため、劇場公開後一定期間はビデオ版の輸入を禁止している国や、国内と海外の流通経路が異なる場合や、各国ごとに劇場公開の時期が異なることに対応するために導入された。DVD-Videoディスクには地域ごとにディスクの再生を許可もしくは禁止するためのリージョン管理情報が記録されている。制作者がある地域でのディスク再生を禁止したい場合には、その地域に禁止ビットを立てることで再生を禁止できる。

このため、DVDプレーヤーには、販売地域に応じた1つの地域コードが付与されており、ディスクが挿入された際にディスクの情報との比較を行い、再生が許可されている場合に限り、ディスクの再生が可能となる。

< DVDの立ち上がり >

1996年末に市場導入されたDVDビデオプレーヤーは、商品レンジが手のひらサイズの液晶搭載型から、ホームシアター用の高級機まで、顧客の要望を満たすに十分な品揃えが整い、最近特にUSAでの出荷台数の伸びが著しい。図-4にコンシューマエレクトロニクスを代表するビデオテープレコーダ、CDプレーヤー、およびDVDビデオプレーヤーの市場導入時点からの販売台数の伸びを比較して示した。

図-4からDVDが顧客に受け入れられ、結果として非常に高い伸びを示していることが分かる。またコンテンツに関しては、1998年末には3500タイトル以上が予想され、急激な伸びが続いており、2000年には14000タイトルが見込まれている。一方パソコン用のDVD-ROMドライブはデスクトップ用のハーフハイトサイズから、ノートPC用の薄型サイズまで商品開発がすすみ、1998年は600万台以上の出荷が行われた。また、1998年春からパソコン用に書換型DVD(DVD-RAM)が市場導入され、記録できるDVDの実用化が始まった。これに伴って、DVD-ROMドライブ

もDVD-RAMメディアとの互換を有するモデルへの移行が1998年秋より始まり、1999年はほとんどのモデルがDVD-RAMメディアを再生できるようになるとと思われる。

DVDビデオはすでに述べたように高音質のオーディオ情報の再生を可能にしている。この規格とは独立してDVDオーディオの規格作成が行われていたが、1999年2月に新規格が承認された。DVDオーディオ規格の特徴は、音楽業界が望む、柔軟性に富んだ音楽創造に対応したもので、サンプリング周波数192kHzから44.1kHzの6種類、量子化ビット数も24、20、16ビット、チャンネル数は最大6チャンネルまで用意され、DVD、DVD-ROMとの互換もきわめて容易にとることができる。さらに静止画像、アルバムタイトル、曲名、演奏者データなどのためにデータチャンネルを用意し、ユーザのあらゆる要望に応えたものとなった。

<さらなる高密度化を目指して>

光ディスクの高密度化は光源となるレーザの短波長化に依存する度合いが非常に大きい。ビームスポットのサイズが接線方向、トラック方向の密度をきめるからである。さらに単位体積あたりの記録密度向上を目指して、深さ方向には多層膜構成、記録信号方式では多値多重記録が、すでに研究され始めている。近い将来、DVDの1枚も2枚も大きな容量を持つ光メモリが10年から20年の間に実用化される可能性が大きい。人類の活動が生む未来への財産は確実に巨大な光メモリを要求し続けるだろう。

参考文献

- 1) 映像情報メディア学会編: MPEG, オーム社。
- 2) ECMA-267, 120mm DVD Read Only Disk.
- 3) ECMA-272, 120mm DVD Rewritable Disk (DVD-RAM).
- 4) 田中他: DVD/CD・2焦点両用光ピックアップ, 電子技術, 1995年7月号, Vol.37, No.7, pp44-48.
- 5) Immink, K. A. S.: EFMPlus: The Coding Format of the MultiMedia Compact Disc, IEEE Trans on Consumer Electronics, Vol.CE-41, pp.491-497 (1995).
- 6) 増本俊博, 田中和佳: DVD動画用電子透かし技術の開発, NEC技報, Vol.51, No.9 (Sep. 1998).

(平成11年2月5日受付)

市場に受け入れられたDVD

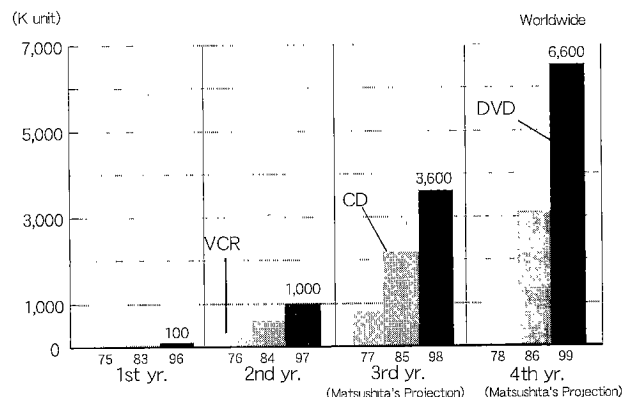


図-4 市場に受け入れられたDVDシステム