

HD DVDの技術動向と将来展望

HD DVD Technologies — Trends and Future Outlook

佐藤 裕治 永井 宏一

■ SATOH Hiroharu

■ NAGAI Koichi

東芝が核となって開発したHD DVDはDVDの発展型であり、高精細映像信号の記録、再生が可能である。青色半導体レーザーを搭載し、記録・再生の信号処理にはPRML (Partial Response Maximum Likelihood) を、画像圧縮にはMPEG-4 (Moving Picture Experts Group-phase 4) AVC (Advanced Video Coding)とVC-1 (Video Codec Standard) を、及びコンテンツプロテクションにはAAC (Advanced Access Content System)を採用している。新しいビデオ機能として高度なインタラクティブ、ピクチャーインピクチャー、インターネット接続などの機能があり、今後、美しい高精細映像を豊富に楽しむことができる。

HD DVD recorders/players were developed from DVD recorders/players, with Toshiba serving as a main pillar, to record and replay high-definition signals. They are equipped with a blue laser diode for physical formatting; partial response maximum likelihood (PRML) technology for signal processing; the Moving Picture Experts Group - phase 4 (MPEG-4) Advanced Video Coding (AVC) and Video Codec Standard (VC-1) for video compression; and the Advanced Access Content System (AAC) for contents protection. They offer new services such as advanced interactive communication, picture-in-picture display, and Internet connectivity. These features allow users to more freely enjoy high-definition pictures than has been possible up to now.

HD DVD誕生の背景

東芝は、2006年3月に、世界初のHD DVDプレーヤーを日本で発売した。DVDの発売は1996年11月であり、それから10年の歳月を経てHD DVDへの発展を開始した。

一方、テレビ(TV)放送では、2003年12月から地上デジタル放送が開始され、標準映像と同じ番組が高精細映像でも見られるようになった。

このように、美しい高精細コンテンツを家庭でも豊富に楽しめる環境が整いつつあり、当然DVDでも、高精細映像を楽しみたいという要求が高まってきた。

光ディスクに高精細映像を記録することは、DVDを開発していた当時から考えられていた。当社研究開発センターは、1970年代から高精細映像をアナログで光ディスクに記録する試みを行っていた。その研究結果を基に、標準映像をデジタルで記録するDVDが開発された。DVDの次の展開は、当然高精細映像のデジタル記録である。

DVDフォーマットでは、映像ファイルが高精細映像となっても適応できるような配慮をしていた。

HD DVDのコンセプト

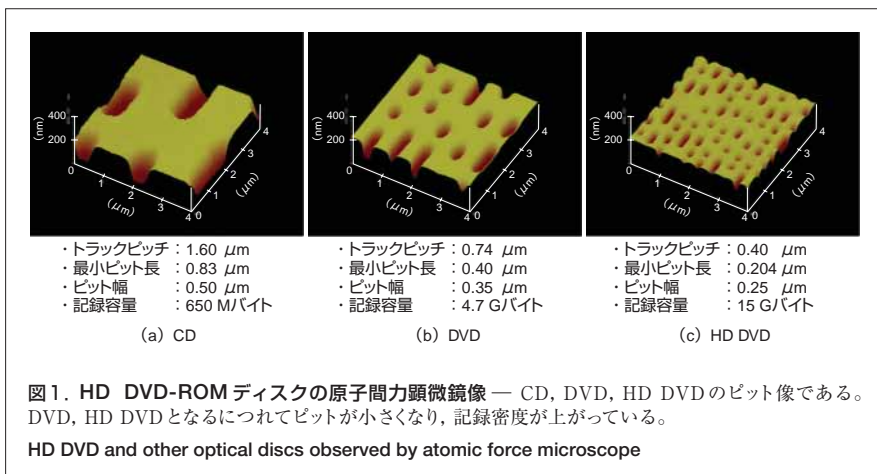
DVDのコンセプトは“家庭でも映画館と同様な映像と音声を楽しめる”ことであり、HD DVDでもこのコンセプトを継承し、美しい映像と迫力ある音声を更に強化している。また、パソコン(PC)との融合もDVDからの継承コンセプトである。更に、ここ10年間のインターネットの普及に対応し、HD DVDではインターネットとの親和性も重視している。

最近では、光学など物理的な技術の進歩に比べ、LSIとソフトウェアの技術の進歩が著しい。したがってHD DVDのシステム設計では、光学系やディスク構造など物理的な分野ではDVDで培われた手堅い技術を採用し、信号処理や画像圧縮では最先端の技術を採用する方針とした。

物理フォーマット

光ディスクへの記録・再生には半導体レーザーが使用される。半導体レーザーから発射される光ビームをレンズで集光させ、微小なマークを記録し、読み取る。集光された光ビームの直径はレーザー光の波長に比例する。そのため、光ディスクの発展は半導体レーザー光の短波長化と歩調を合わせていた。1982年に製品化されたCDでは波長780nmの赤外レーザーが使用されたが、DVDでは650nmの赤色、HD DVDでは405nmの青色レーザーを使用している。

図1はCD、DVD、及びHD DVDの原子間力顕微鏡写真である。波長が短くなるにつれ記録マークが小さくなっている。半導体レーザーは今後も短波長化が進み、やがて紫外レーザー(波長: 400nm以下)も実用的になるであろう。しかしながら、光ディスクでは青色レーザーの時代が長く続くと考えられる。光ディスクに用いられているポリカーボネートでは、青色の光は通過するが、



紫外光は通過しないためである。また、光ヘッドに使われているガラス部品も紫外光を通さないものが多く、石英ガラスなど特殊な光学材料が必要となる。

光ディスクは図2に示すように、CDで0.38 Gビット/in²、DVDで2.77 Gビット/in²、HD DVDで8.84 Gビット/in²と24年間で記録密度は約23倍となっている。一方、ハードディスク装置(HDD)の記録密度の伸びは非常に大きく、2006年現在、約200 Gビット/in²で、今後も記録密度の上昇は続く予想される。しかし、HDDは固定ディスクにデータを記録するためディスクを取り出すことができない。これに対し、光ディスクは装置からディスクを取り出す

ことが可能で、この特長を生かしてデータの大量配布やデータアーカイブなどの用途に使われていくであろう。

ディスク構造

HD DVDはDVDと同様に、厚さ0.6 mmのポリカーボネート基板2枚をはり合わせて1枚のディスクとしている。ポリカーボネート基板を成形する際に、記録データを基板の片面に転写することができる。そのため、二つの記録層を容易に持たせることができ、大容量のディスクを実現しやすい。また、ディスク構造が厚さ方向に対称であるため、温度や湿度の変化があつて

も変形は少ない。一方、Blu-rayディスクは、厚さ1.1 mmのポリカーボネートを成型し、その上にフィルムをはるなどして厚さ0.1 mm保護層を作る。基本的に記録層は1層であり、構造は非対称である。そのため温度や湿度の変化に対応するのが難しい。

現在、映画用DVDには主に2層ディスクが使われており、そのポリカーボネート基板は射出成形で作られている。成形時間は5秒以下と短く、純粋にディスクを製造するだけのコストは1ドル以下と非常に安価である。1ピット当たりのコストは、半導体メモリやHDD、雑誌などより安い。HD DVD-ROMはDVD-ROMと同様なコストで製造できながら、記録容量は30 GバイトとDVDの約3.5倍である。今後15年間は、ピットコストがもっとも低いデータ配布メディアとなるであろう。

HD DVDの第2ステップとして、記録容量50 Gバイト以上を目指して3層ディスクを開発している。HD DVDにはもともと2層の記録層があるため、あと1層を増やせばよいだけである。多層化の問題点はディスクからの反射光が少なくなることである。3層目に光が達するまでには第1層と第2層を通過しなければならず、また、第3層で反射した光は再び第2層と第1層を通過して減衰するため、最終的に光検出器に戻ってくる光は数%である。したがって現状では、4層以上の光ディスクは研究対象ではあっても、コストと製造性を考慮すると商業的には実現しにくい。

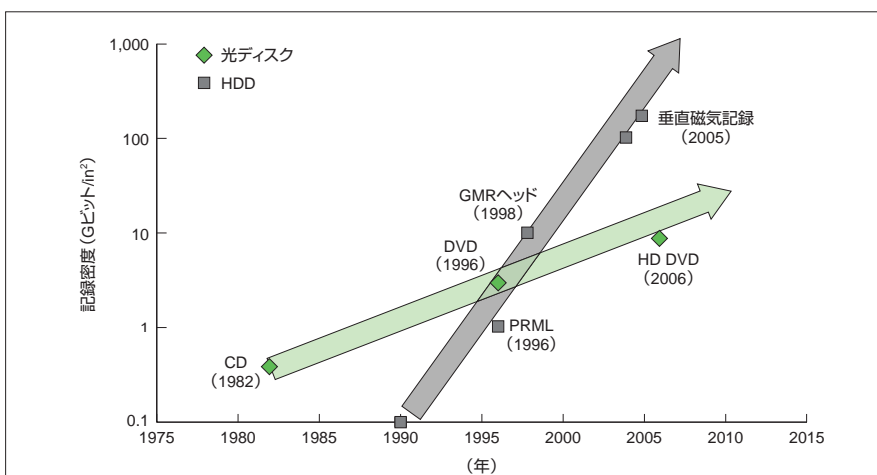


図2. 光ディスクとHDDの記録密度の推移 — 光ディスクは、HDDほど記録密度の伸びは大きくないが、装置からディスクを取り出せるという特長を生かして、データの大量配布やアーカイブなどの用途に使用されるであろう。

Trends in recording density of optical discs and HDD

記録用ディスク

HD DVDではDVDと同様に、記録用ディスクとして書換型のRW (ReWritable)とRAM, 追記型のR (Recordable)を用意している。書換型には相変化材料を使用し、追記型には有機色素材料を使用する点も同様である。DVDでは記録用ディスクの売上げの約90%を安価なRディスクが占めて

おり、HD DVDの記録用ディスクもDVDと同様なコスト構造となるため、やはりRディスクが主流になると考えられる。Rディスクは有機色素の記録膜をスパッタを使わずにスピコートで塗布できる。スピコート工程であふれた有機色素材料は再び回収して再利用するため、低コストを実現できる。HD DVD-Rはアーカイブ用のメディアとして長く使われるであろう。

DVDレコーダでTV放送を記録する場合には、初めにHDDに記録し、その後残したい番組をDVDに記録する使い方が一般的である。ディスクへの記録はHDDからのデータの移動であり記録時間は短いことが歓迎される。HD DVDでも今後、記録用ディスクは高速記録が開発の主体となる。高速記録には感度の良い記録媒体を開発する必要がある。記録での高感度を実現しようとする、同時に、記録したマークが再生光で劣化してしまう問題を避けなければならない。高倍速記録を行うとディスクの回転数を高くしなければならない。ポリカーボネートの強度を考慮すると、ディスクの最高回転数は10,000 rpm以下が望ましく、HD DVDでは4倍速ディスクまで順次開発されていくであろう。

現在ほとんどの映画がDVD化されている。販売店にはすべてのDVDを展示することはできないし、大量の在庫を持つことも問題である。この問題を解決するため、販売店で直接Rディスクにコンテンツを記録するビジネスモデルが提案されている。また、インターネットから家庭にあるHD DVDレコーダに直接ダウンロードする提案もあり、記録用ディスクの利用方法は更に拡大するであろう。

記録・再生信号処理技術

HD DVDでは記録・再生信号処理にPRML技術を使用している。PRMLは人工衛星との通信に開発された技術

であり、信号に対して雑音が大きくデータの密度が高い信号系に有効である。前述のようにHD DVDの記録マークは小さいため、前後のマークからの影響も受けるが、PRMLの採用により高密度記録を実現している。PRML技術はHDDには採用されてきたが、光ディスクへの本格採用は今回が初めてである。光ディスクではディスクを交換するため、その信号伝達特性が変化する。今回は、信号伝達特性をPR特性に最適等化する技術を採用している。今後もPRMLと最適等化技術の組合せを使い、記録密度向上の試みがなされるであろう。

HD DVDプレーヤの低コスト化には、信号処理LSIのワンチップ化が望まれる。DVDプレーヤでは2000年に、再生信号処理と映像処理まで含めたワンチップ化が実現された。HD DVDでは映像処理量が非常に大きく、現時点ではワンチップ化は難しい。将来、シリコンの65 nmプロセスが一般的になった際に、ワンチップ化が実現されるであろう。

(Moving Picture Experts Group-phase 2)を採用した。DVDから10年が経過し、HD DVDでは新しい圧縮技術であるMPEG-4 AVCとVC-1も使えるようにした。デジタル放送にはMPEG-2が使われており、記録用ディスクには放送をそのまま記録できる。また、インターネットではマイクロソフト社が開発したVC-1が広く使われていくと予想される。

現在、MPEG-2のデータをMPEG-4 AVCなどへ変換するトランスコーディング技術が開発されている。近々、TV放送のMPEG-2コンテンツをMPEG-4 AVCにトランスコーディングし、データ量を30～50%小さくして記録できるようになるであろう。

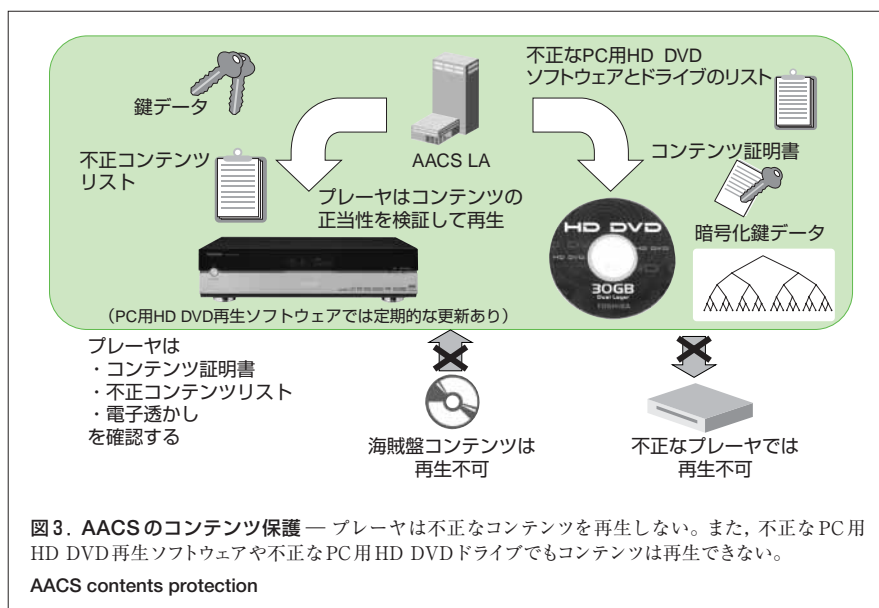
PCのCPUの能力は毎年上がってきており、ソフトウェアでMPEG-4 AVCやVC-1のデコードが可能となってきている。CPUのクロック周波数の伸びは鈍化しているが、並列処理技術が開発され、全体の処理能力は向上している。近々、HD DVD仕様のすべての映像処理をソフトウェアで実現できるであろう。

動画像圧縮技術

DVDでは動画像圧縮技術にMPEG-2

コンテンツ保護技術

HD DVDでは高精細映像のために



キーワード解説

■ PRML (Partial Response Maximum Likelihood)

記録密度を上げるために記録マークどうしの間隔を狭めると、読み出そうとしているマークの再生信号は、その前後に記録したマークの影響も受けるようになる。信号伝達特性を工夫すると、前後の影響がない部分を作ることができ、これをPR (Partial Response)と云う。ML (Maximum Likelihood)は信号とノイズとの差が少ないときに再生する技術である。信号に規則性を持たせ、規則から逸脱した場合には、その規則にいちばん近い再生信号列を計算する技術である。

隣接マークの影響を避けるために、マークの応答が $\text{Sinc}(x) = \sin(x)/x$ の和となる信号伝達特性となるよう、記録及び再生信号フィルタを調整する。 $\text{Sinc}(x)$ は x が π の整数倍のとき0となるため、前後のマークを π の整数倍の位置に置けば、隣接マークの影響を0とすることができる。

HD DVDでは、ソースデータの8ビットを12ビットに変調するETM (Eight to Twelve Modulation)を用いており、ETMの変調データは規則性がある。読取りデータが記録データと異なる場合には、この規則性を逸脱する場合が多い。どのビットを訂正すれば規則性が維持できるかを計算して、いちばん確からしい信号を推定する。PRML技術は、信号に対してノイズが大きい衛星通信にまず適用され、次にHDDに使われた。光ディスク装置ではディスクを交換するため、そのつど信号伝達特性が変化する。そのため、ディスクを交換するたびに信号伝達特性をPR特性に合

わせる必要があり、光ディスクへの適用が遅れていた。したがって、ディスクを交換するたびに最適化を行う必要がある。

ディスクノイズの主要因は、マークの大きさの不均一、レーザー光量の高周波域での変動、及び光検出器や増幅器のノイズである。

■ MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding)

ISO/IEC (国際標準化機構/国際電気標準会議)の規格である。DVDで採用されたMPEG-2より圧縮率が高い。圧縮、伸張に必要な計算量は大きい、LSIの高性能化とソフトウェアの改良で高精細画像にも適用できるようになった。

画像の圧縮時には画面を小さな長方形に分割する。その単位に7種類のサイズを用意しており、画像に適合した最適なサイズの組合せを用いることができる。またフレーム間予測には、最大5フレーム離れたフレームから最適なフレームを参照フレームとすることができる。エントロピー符号化には適応算術演算符号化(CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)の適用も可能で、圧縮率を上げることができる。そのほか、整数変換の採用やフレーム内予測、ループフィルタなどに改良を施し、全体として圧縮率を向上させている。エンコード時に最適な条件を探す処理が多いため、計算量は大きい。特に、情報量の多い高精細映像では膨大な計算が必要であったが、CPUの性能向上とソフトウェアの改良により、最近ではリアルタイムでのエンコードが可能になってきた。

■ VC-1 (Video Cordec Standard)

正式にはSMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers)の421 M video codec規格である。マイクロソフト社がインターネット用に開発した画像圧縮技術が元になっている。PCでも使いやすいように計算量の配慮などがなされている。

■ AAC (Advanced Access Content System)

次世代光ディスクに記録される高精細映像の著作権保護を目的としたシステムである。家電機器業界、IT (情報技術)業界、及び映画業界から、当社を含めて8社が参加し設立したAAC LA (Licensing Administrator)が開発している。DVD-ROMで使用されている著作権保護方式のCSS (Content Scrambling System)がプレーヤでの再生しか考慮していなかったのに対し、ホームサーバでの使用、携帯機器へコピーしての使用、及びインターネット経由の販売なども考慮されている。

■ AES (Advanced Encryption Standard)

DES (Data Encryption Standard)に代わる次世代の標準暗号化方式として、米国のNational Institute of Standards and Technologyが選定したのがAESである。

AACSに採用された128ビットのAES方式では、算術的に暗号を解読するには膨大な時間がかかり、解読はほぼ不可能である。

■ HD DVD-Video Recording

DVDのVideo Recording仕様の高精細映像対応版である。現在、HD DVD-R、-RW、-RAMへの記録に対応している。

開発されているAAC技術を採用した。コンテンツは、よく知られているAESの128ビット暗号で保護される。図3に示すように、プレーヤはコンテンツ証明書、不正コンテンツリスト、電子透かしを確認して、不正コピーを行ったディスクは再生しない。AACでは

新たにマネージドコピーを導入している。マネージドコピーでは、AACの管理の下で、DVDでは禁止されていたコンテンツのコピーを許可する予定である。オーディオの世界では、HDDに何千曲もの音楽を記録し、自由に再生を楽しむ世界ができ上がってきてい

る。AACではHD DVD-ROMに記録されたコンテンツをHD DVDレコーダに内蔵されたHDDなどに記録することが可能になる。HDD DVD-ROMの高精細映像を集中して管理し、家庭内で自由に楽しむことが可能になるであろう。



図4. HD DVDの三つのアドバンスド機能 — 再生中にメニューを表示し、様々なコンテンツにアクセスできる。

Three advanced functions of HD DVD

ビデオ仕様

DVDからHD DVDへ移行する間に、プレーヤをめぐる状況は大きく変わった。インターネットが身近なものとなり、今後のAV製品でインターネットとかかわらないものは考えられないようになってきている。

HD DVDでは、主に再生専用ディスク向けに開発されたHD DVD-Videoと、記録用ディスク向けに開発されたHD DVD-Video Recordingの二つのビデオ仕様がある。

HD DVD-Videoでは、ディスク情報の再生に同期してインターネットから受け取った映像や音声の情報を再生することが可能である。現状では、インターネットから送られる映像をリアルタイムに楽しめるほどデータ転送レートが高くなく、音声を楽しむ程度が実用的である。もちろんメモリにデータをダウンロードしてから再生する方式も採用している。将来、インターネットのデータ転送レートが十分に高くなった際には、映像データをリアルタイムで楽しむことができる。このような機能を実現するにはウェブのホームページのように、映像と音声を自由に組み合わせることが必要であり、アドバンスドコンテンツを新たに導入した。この機能を実現する

ため、アドバンスドコンテンツではスク립ト言語、マークアップ言語を採用した。図4に示すように、動画を再生しながらメニューを表示し、リモコンの操作で新たな映像と音を表示させることなどができる。同時に二つのビデオストリームを再生でき、画像の中にも一つの画像を再生するピクチャーインピクチャー(PinP)が可能である。また簡単なゲームもできる。

今後、世界中のコンテンツクリエイターたちが、まったく新しく、楽しい、驚きのコンテンツを作成していくであろう。ビデオ仕様は、将来もコンテンツの自由な表現を拡大する方向へ進み、俳優の説明などを動画のポイントと組み合わせるMPEG-7などの技術が使われていくであろう。

HD DVD-Video Recordingでは、再生に必要な情報をHD DVD-Videoの形式でも記録している。そのためレコーダで記録したディスクをプレーヤで再生することが容易になっている。

車載応用

DVDは、ナビゲーションシステムや映画再生など、自動車でも広く採用されている。HD DVDはDVDと同じ対称構造であり、自動車での広範囲な温度・

湿度変化に強い。また、レンズとディスクの距離が1 mm程度と大きいと、激しい振動にも耐える。一方、Blu-rayは、レンズとディスクの距離がHD DVDの1/3と小さく、衝突時にダメージが大きい。また、ディスク表面の光ビーム径もDVDの約1/2で、傷に弱い。

2年以内にはHD DVDが車に搭載され、ナビゲーションシステムと映画再生に使用されるであろう。

HD DVDの展開

HD DVDの開発を2000年から本格的に始め、2006年にプレーヤとレコーダを発売するに至った。HD DVDの仕様はオープンフォーラムで決めていくこともあり、自由度が大きく、広く受け入れられる仕様となっている。HD DVDは、光ディスクを開発している技術者たちの成果を製品に実現する場であるとともに、コンテンツ制作者たちにとっても新たな創造の場である。また、ユーザーにとっては新機能を体験できる場となるよう更なる発展を望んでいる。

文献

- (1) 永井宏一, ほか. 次世代光ディスクHD DVD. 東芝レビュー. 60, 7, 2005, p.10-14.



佐藤 裕治
SATOHI Hiroharu

デジタルメディアネットワーク社 HD DVD事業統括部副統括部長。光ディスクの開発、HD DVD事業の推進に従事。映像情報メディア学会会員。HD DVD Div.



永井 宏一
NAGAI Koichi

デジタルメディアネットワーク社 HD DVD事業統括部光ディスク開発部主務。光ディスクの規格化業務に従事。電子情報通信学会会員。技術士(機械部門)。HD DVD Div.