

解説

BD-ROMの 技術概要

山上 保 ● 加藤元樹
(ソニー(株))



概要(アブストラクト)

● BDの物理フォーマット概要

Blu-ray Disc (BD) は 12cm の光ディスクシステムにおいて、従来からの高密度化の手法である光源のレーザー波長を短波長化し、対物レンズの開口数を大きくすることにより無理のない高容量化を実現している。長時間の High Definition 品質の映画コンテンツを配布あるいはデジタル放送録画ができるように BD-ROM, BD-RE, BD-R ともすべて 25G/50G (1 層/2 層) バイトの容量で統一し、また高い機器互換性を持っているのが特徴になっている。

ちなみに 25G バイト容量のディスクの場合、地上デジタル・BS デジタル放送の高品位番組を劣化なしに 120 ～ 150 分位録画することができる。圧縮を加えればさらに長時間の録画が可能となる容量になっている。BD のディスクは短波長青紫レーザー ($\lambda = 405\text{nm}$) ・対物レンズの開口数 ($\text{NA} = 0.85$) に対応するためにディスク内の信号面がディスク表面から 0.1mm のところに位置するような薄カバー層構造を採用している。また、BD ではその高密度化に合わせて新しい誤り訂正方式とデジタル変調方式を導入している。面記録密度が高くなったため、これまでと同じ大きさの欠陥・ごみに対し起き得るデータ検出エラー数が従来のシステムに比べ相対的に増える。そのため誤り訂正符号方式を強化した。同時に検出しやすいデジタル変調方式として高密度に適した 17PP 変調方式を採用した。そのほか、物理フォーマットを工夫して、これまでのファイナライズなどのような煩雑な操作を不要としたり、特に BD-R ではロジカルオーバーライトができるなどのユニークな機能も提供している。

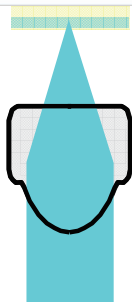
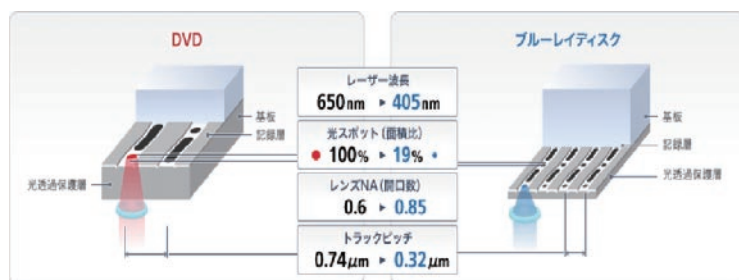
● BDのAVフォーマット概要

BD-ROM には 2 つのモード (HDMV モードと BD-J モード) があり、BD-ROM ディスクはそのどちらかまたは両方のモードを使ってコンテンツを作ることができ、また、BD-ROM プレーヤーは両方のモードの再生に対応している。

BD-ROM フォーマットは、High Definition 品質の映画コンテンツを容易に制作できるようにするためのフレームワークを提供しており、それは HDMV (High Definition Movie) モードと呼ばれている。HDMV モードは、DVD ビデオでよく知られているフィーチャー、たとえば、シームレスマルチアングル、マルチストーリー、ユーザの言語選択に基づくシーンの自動選択、ディレクターズカットなどをサポートしている。それに加えて、HDMV モードには、次のような多くのキーフィーチャーがある：ポップアップメニュー、ブラウザブルスライドショー、ピクチャインピクチャ、オーディオミキシング。

BD-ROM フォーマットは、また、ネットワーク接続を利用できるプログラミング環境を提供し、これによって、コンテンツプロバイダは高度にインタラクティブでアップデート可能な BD-ROM コンテンツを作成できる。このモードは、Java プラットフォームをベースにするものであり、BD-J モードと呼ばれている。BD-J モードでは、HDMV モードがサポートするアプリケーションに加えて、たとえば、次のようなアプリケーションを Java で作成できる：

- BD-ROM 再生の前に流れる最新の映画の予告編をコンテンツプロバイダの Web サイトからダウンロードして、Java アプリケーションのコントロールのもとで再生する。



Mechanical Parameter for BD

- Tilt : 0.35degree
- Cover thickness variation : $\pm 3\mu\text{m}$
- Residual Fcs Error : $\pm 45\text{nm}$

Groove/Pit Geometry

- Modulation 1-7pp
- T.P.= $0.32\mu\text{m}$
- Data bit length 112nm 25GB

図-1 BDの主要スペック

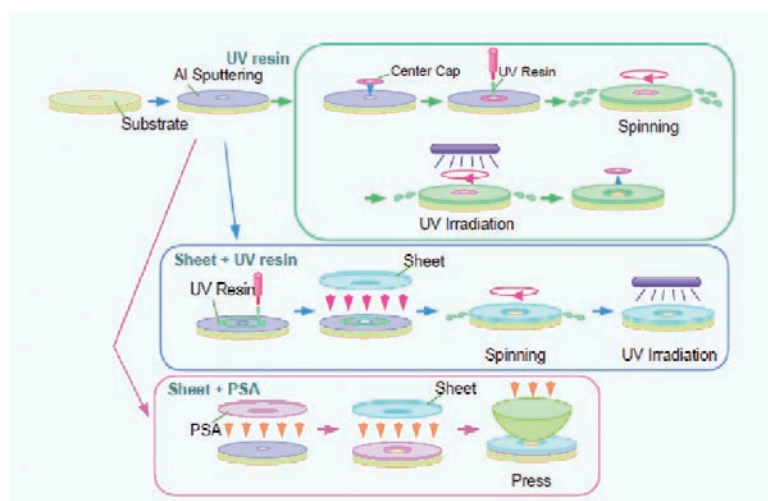


図-2 100μm カバー形成プロセス

- BD-ROM に初級のゲームがのっていて、ユーザがそれを解けると、コンテンツプロバイダのWeb サイトから新しいゲームをダウンロードすることができる。
- BD-ROM についていない言語の字幕をコンテンツプロバイダのWeb サイトからダウンロードする。

BD-J は、ネットワーク接続とローカルストレージを利用するアプリケーションをサポートするとともに、Java ユーザインタフェースとグラフィックスのフレームワークを提供する。

BD-ROM ディスク構造

●ディスクスペック

前述のように BD では、DVD 比ほぼ 5 倍の密度を実

現するためにレーザー波長、対物レンズ開口数をそれぞれ $\lambda = 405\text{nm}$, $\text{NA} = 0.85$ と決めた。これら光学パラメータの高性能化に伴いメディアの精度に対する要求が厳しくなる。図-1 に BD の主なスペックを記したが $100\mu\text{m}$ の薄肉カバーを精度良く生産する技術、非対称構造に起因するチルト抑制、薄肉カバーによる指紋や傷の表面処理、単層 25GB の容量を実現するマスタリング技術などさまざまな技術が開発された。また 2 層化に関しては $100\mu\text{m}$ をさらに $75\mu\text{m}$ と $25\mu\text{m}$ に分離形成する技術が必要となる。

以下にそれぞれの製法に関し述べる。

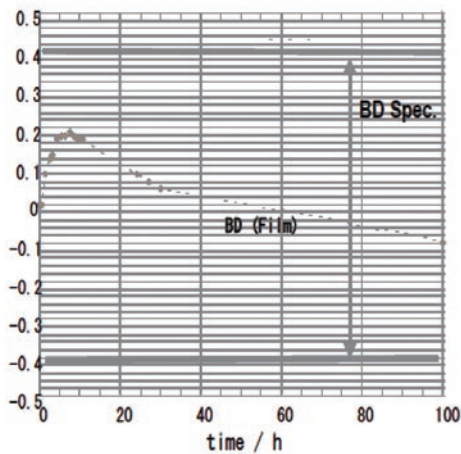
●製造方法

100μm カバー技術

大きく分けて $100\mu\text{m}$ 弱の厚みを持ったフィルムを接着する方法と紫外線硬化樹脂(以下 UV レジン)をスピコートで塗布する方法に大別される。フィルムを接着する方法は感圧性粘着剤(以下 PSA : Pressure sensitive adhesive) および UV レジンで接着する方法がある。これらフィルム接着法はカバー厚みの精度が得やすい、チルトの制御が容易、プロセスが簡易であるなどの特徴がある。一方、UV レジンをスピコートで形成する方法は低コスト化が見込まれる、原材料管理が容易、などの特徴がある。図-2 にプロセス概要を示す。

チルトは 1.1mm の厚みの成形基板材料と $100\mu\text{m}$ カバー材料の組成の組合せに大きく依存する。通常環境下でのチルトは材料の内部応力の緩和など経年変化の要素が大きく加速試験によって Simulate される。BD では環境が大きく変化する用途を重視し温度、湿度が急激に変化した場合の変化量の規定がなされている。図-3 は一例であるが高温、高湿化から室内環境下に置かれたときのチルトが十分規格を満たしていることが確認される。

BD は $100\mu\text{m}$ という薄肉カバーのため当初指紋やごみ傷に対する保護策としてカートリッジが使用されていた。しかしながらディスク表面処理技術の開発、進歩とともにエラー訂正能力との組合せでベアディスクが可能になった。ディスクの表面処理技術としては傷をつきにくくする硬い UV レジンを用いたハードコート技術の開



30°C、90%RH、3days→23°C、50%RH (r = 57mm)

図-3 環境変化によるチルトの変化

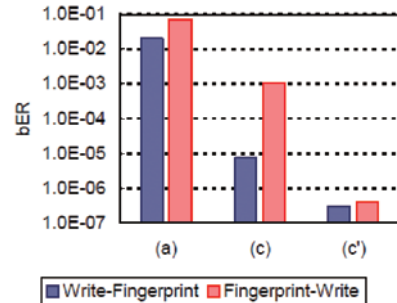
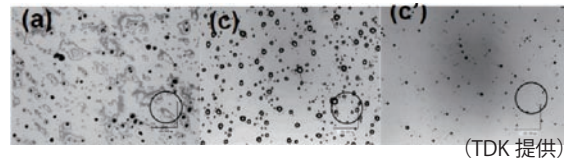


図-4 耐指紋性表面処理

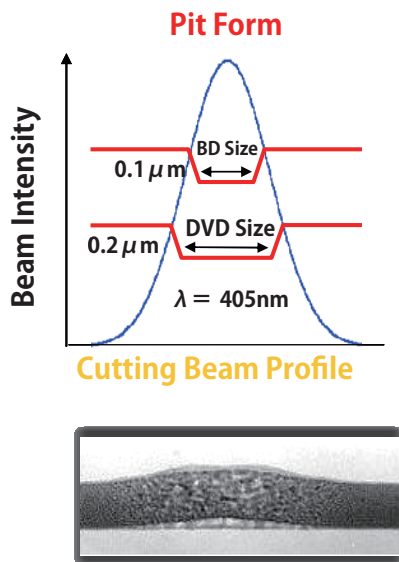
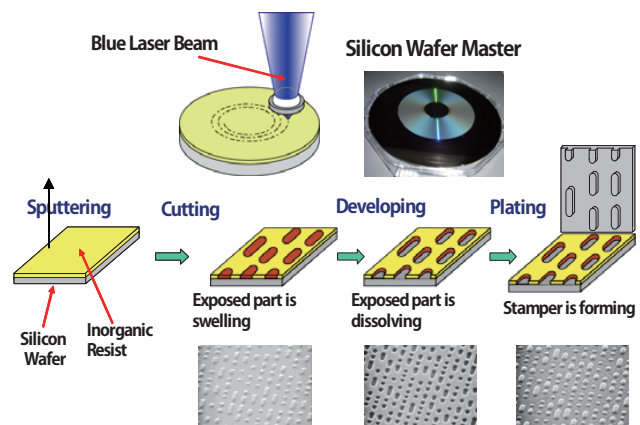


図-5 (a) PTM 露光原理



(b) PTM プロセス

発、また耐指紋性に対しては撥油性の表面処理をすることにより指紋をはじきやすくしサーボを安定化させ ECC での訂正を可能にしている。図-4 はその一例であるが表面処理のない (a) に対し処理を施した (c)、(c') では指紋を弾く性質が観察され、かつエラーレートが格段に低減されていることが分かる。(c) に比べ撥油性を高めた材料 (c') はより指紋をはじきやすいことが写真から分かり、また bER での評価もそれを裏付けている。

マスタリング技術

特に ROM ディスクに関しては 25GB 超の容量を形成、生産するために PTM (Phase Transition Mastering) マスタリングが開発された。従来のフォトレジストを用いた光化学反応によるプロセスとはまったく異なり、レーザー

照射により高温にさらされた部分のみ現像液に対して可溶となる特殊な無機レジストを開発、短波長レーザーを用いることなくブルーの半導体レーザーを用いたコンパクトなプロセス、装置が実現した。図-5 のように集光されたレーザービームの先端の高温部のみ反応するために微小ピットが実現する (図-6 参照) こと、無機レジストを使用しているため現像後の原盤からダイレクト鍍金により複数枚のマスタ版が得られること、ダイレクト鍍金技術が適用可能で従来のガラス原盤の再生処理が不要なためウェットプロセスが削減でき大幅なプロセス改善や設置面積の縮小が得られるなど PTM マスタリングは多大なメリットをもたらした。

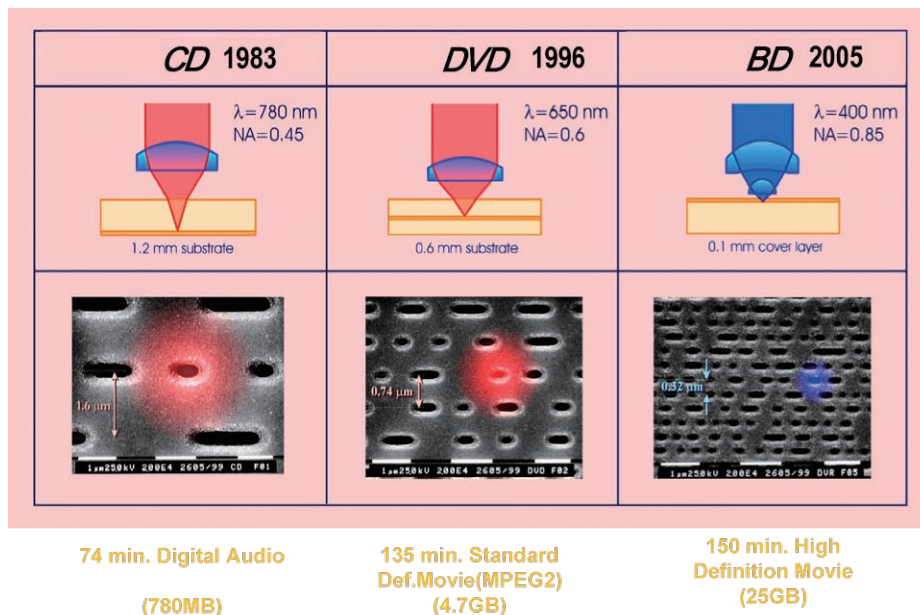


図-6 ROMピットの微小化

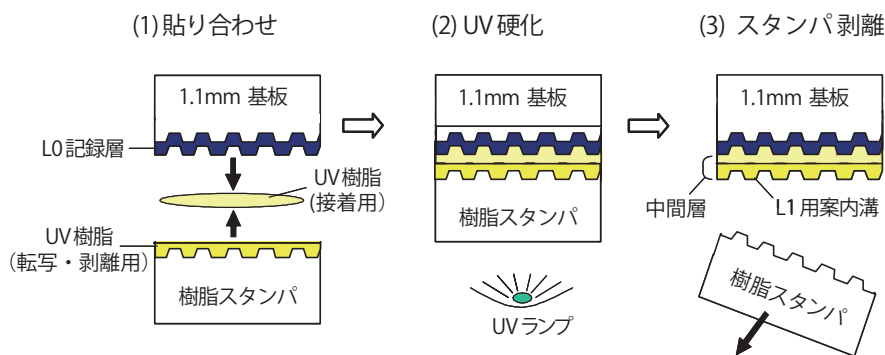


図-7 2層ディスク中間層の作製工法

(1) 樹脂スタンプ上にあらかじめ剥離性に優れる転写層を塗布した後、接着用 UV 樹脂で 1.1mm 基板と貼り合わせ、(2) UV 光で接着層を硬化後、(3) 樹脂スタンプを剥離する。

2 層技術

基本的なプロセスの流れとしては L0 (第 1 の情報層) の情報層を有した 1.1mm の成形基板上に有機材料を 25μm (中間層と呼ぶ) 積層し L1 (第 2 の情報層) 層を形成、その上に 75μm のカバーを形成する。この中間層および L1 の形成の仕方に各社さまざまな工夫がなされており、75μm カバーに関しては単層プロセスと同様に UV レジン、フィルム接着などがある。図-7 は L1 の形成にプラスチックスタンプを使用した例でありスタンプが透明なため紫外線照射が可能なメリットがある (松下電器提供)。

BD の誤り訂正方式概要

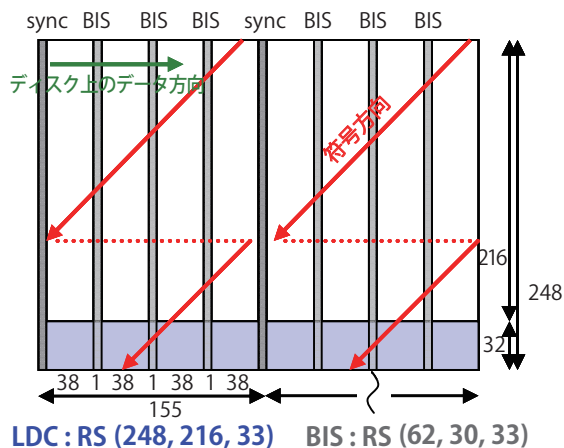
● BD における ECC の実際

図-8 に BD での ECC⁶⁾ ブロック構成の概略を示す。ディスク上のデータ記録再生方向 (緑) を基準にブロック構成を描き (すなわち行の左から右へ、行が終われば次の行へと列方向で上から下へ記録再生される)、そのデータ配列上での主データの誤り訂正符号 (ECC) を赤で示す。比較のため DVD での構成も (ブロックの大きさをあわせて) 併記する。

以下に、BD での ECC の主な特徴をあげる。

- できる限り大きいブロックサイズ
- 長いインターリーブ

BD : 64 KB user data/ECC Block



DVD : 32 KB user data/ECC Block

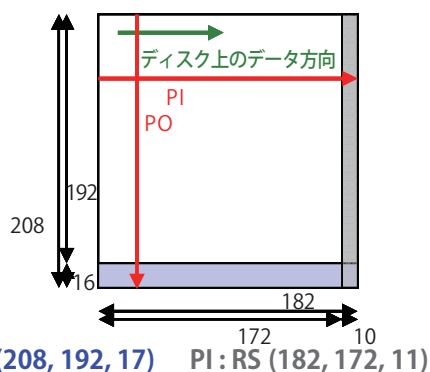


図-8 ECCブロック構成

- Long Distance Code (LDC)
- Burst Indicator Subcode (BIS)

ブロックの大きさは、内周で複数トラックにまたがらない最大の大きさ＝ユーザデータで2のべき乗の64KBとした (DVDでのデータは32KB)。一般的に、同じ冗長度ではブロックサイズが大きいほうがトータルの訂正能力を高くできる。

長いインターリーブの採用は、あらゆる (バースト) エラーを全符号へ分散することを意味する (BDでは300バイト超、DVDでは180バイト程度、おおむねブロック図の横の長さに相当)。

主データを構成する符号はLDCで高い訂正能力を有する (BDで符号距離33、DVDのPOで17)。さらに、ほぼエラーフリーのBIS訂正結果とSync Pattern検出結果を用いて消失宣言することにより、長いバーストエラーを訂正できる (図-8参照)。

ほかにも、BIS→LDCの順に1パスで符号化・復号化できる、アプリケーションのデータ方向と符号方向が

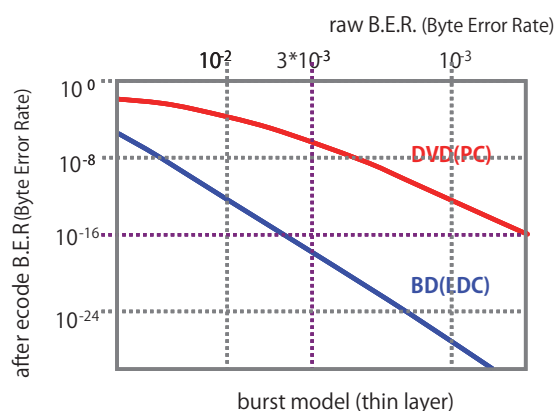
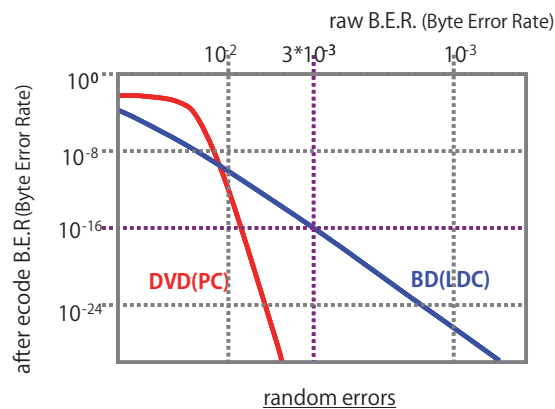


図-9 誤り訂正能力

同じなので符号化・復号化遅延を抑えられる、物理的に似たワードは同一符号に集中させない／全符号に分散させる (データ記録方向と符号方向が“斜め”の位置関係)、BIS内に収められたアドレス情報はディスク上の方向で符号化されておりアクセスに便利、などいろいろな特徴を持っている。

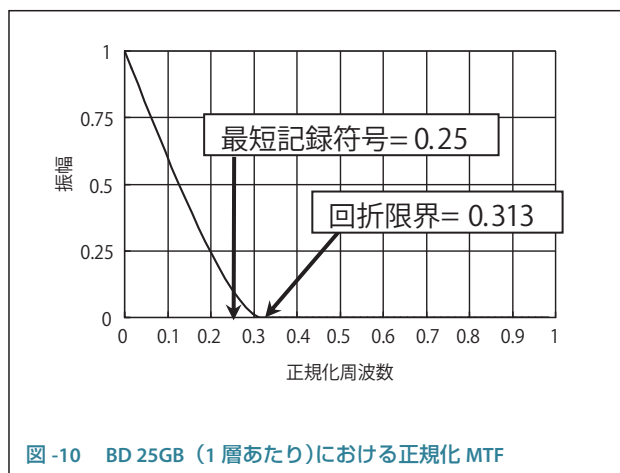
● BDにおけるECCの能力

図-9は、BDでのLDCによる訂正前後のエラー率をByte Error Rate (BER) で表したグラフ (青)である。

上の図は生エラーをすべてランダム発生として扱った場合を、下の図は、バーストエラー発生増加を考慮したモデルでの一例を示している。

比較のためDVDのProduct Code (PC)での訂正 (基本的なストラテジPI→PO)前後のグラフ (赤)も併記する。

図から分かるように、BDのLDCでは、ランダムエラーでもバーストを含む場合でもグラフの形は変わらない。これは十分に長いインターリーブにより、どのよう



な(バースト)エラーも全符号に分散しているためである。もともと BD の LDC は強力であり、生エラー率 3×10^{-3} の場合の訂正後エラー率は、必要とされる 10^{-16} 以下となる。

また生エラー率が極端に悪い場合でも“それなり”に訂正できる。

要するに BD の LDC は、必要な能力を有し、かつ環境・条件の影響を受けにくいわけである。

一方 DVD の PC では、生エラー率が悪くない場合のランダムエラーで考えると訂正能力は非常に高い。しかし、高密度下でのバーストエラーを考慮すると訂正後のエラー率が悪くなる。これは、PI 符号で訂正できず PO 符号で消失訂正する場合に効率が悪いなど、エラーの発生状況と積符号のパラメータが合わなくなるからである。また生エラー率が悪いと訂正結果は極端に悪くなる。

つまり PC の訂正能力は、環境・条件に敏感と言え、特に高密度下でのバーストエラーの影響を考えた設計は冗長度などを考えると困難であると言える。

BD の変調方式概要

光ディスクに記録されるデータは ECC を施した後に、再生特性を考慮して変調符号化を行う。光ディスク上の記録マークの再生信号は、フォトディテクター上で干渉縞として観測される。よって、マーク長の短い再生信号は、空間周波数(単位長さ当たりの縞の本数)が高くなるために回折を起こし、対物レンズからはずれるために戻り光がフォトディテクターに到達しにくくなる。これを記録パターンの周波数振幅特性として表現したものが Modulation Transfer Function (MTF)¹⁾ として知られており、高域減衰特性を持っている。光学系の開口率を NA、レーザー波長を λ [m] とすると $2NA/\lambda$ の空間周波数で完全に対物レンズから干渉縞がはずれてしまう。これを回折限界と呼び、それ以上の空間周波数成分はま

符号	符号化率	(d,k) 制限	密度化 (DR)	採用システム
EFM	8/17	(2,10)	1.41	CD
EFM+	8/16	(2,10)	1.5	DVD
17PP	2/3 ¹⁾	(1,7)	1.33	BD

表-1 代表的な光ディスクにおける変調符号

ったく読み出すことができなくなる。光ディスクは回転しながら読み出されるため、読み出し線速度 v [m/s] と空間周波数 [1/m] との積が周波数 [$1/s = \text{Hz}$] の単位になる。BD では $NA = 0.85$, $\lambda = 405[\text{nm}]$, 1層当たり 25GB のフォーマットにおいて $v = 4.917[\text{m/s}]$ であるので、チャンネルビットレート 66Mbps で正規化した MTF は図-10 のようになる。後述するように、BD における記録符号の最大基本調波周波数はチャンネル周波数の 1/4、つまり正規化周波数で 0.25 になる。MTF の回折限界は 0.313 になるので、最短記録周波数は再生される範囲にあるということが分かる。

さて、再生信号の周波数特性を考えると、記録符号のパターンによって基本調波周波数が変化する。たとえばチャンネルデータレートが $f_s[\text{Hz}]$ とすると、チャンネル周期 $T_s[\text{sec}] = 1/f_s$ ごとに反転する符号 ($\cdots 1010 \cdots$) の基本調波周波数は $1/(2T_s) = 1/2f_s$ となる。一方、 $2T_s$ で変化する符号 ($2T_s$ パターン) ($\cdots 11001100 \cdots$) の基本調波周波数は $1/(4T_s) = 1/4f_s$ となる。一般に光ディスクストレージにおいて、MTF のような強い高域減衰チャンネルを通過させやすくするためには、 (d, k) RLL と呼ばれる符号の走行長を制限した変調符号化を行う。 d 制限とは“符号の最小反転長”-1 を示す値で、 k 制限は“符号の最大反転長”-1 を示す。たとえば $d = 1$ の符号であれば $2T_s$ 以上の符号で構成されるため、最大基本調波周波数は $1/4f_s$ (正規化周波数 0.25) に制限されることになり、MTF チャンネルを通過しやすくなる。しかしながら、符号化率が悪いと、結局、記録密度を下げてしまうことになるので、ユーザ記録密度を議論するためには符号化率も考慮する必要がある。「チャンネルの通過しやすさ」を示す符号の最小反転長 $d + 1$ と符号化率の積を密度比である Density Ratio (DR)²⁾ として定義すると、これが記録密度の目安となり、値が大きいほど容量増加に寄与できるということになる。表-1 に代表的な走行長制限符号をまとめた。CD, DVD では、EFM³⁾ や EFM+⁴⁾ と

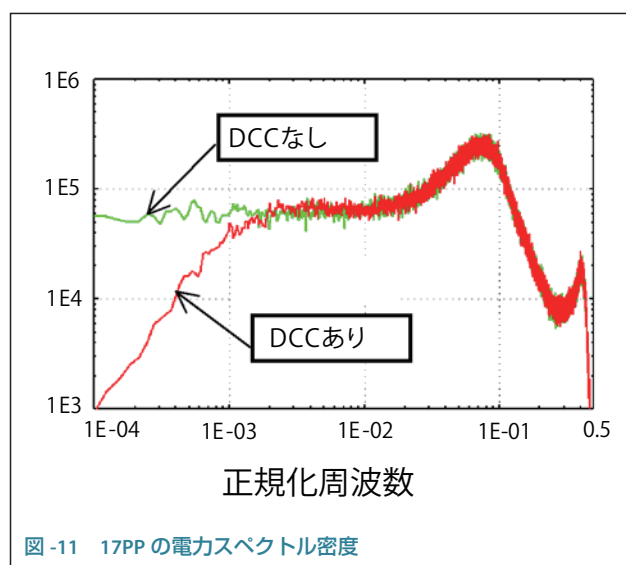
いった密度比の大きい $d = 2$ の符号が用いられてきた。しかしながら、近年要求が高まっている HD コンテンツ再生や PC ストレージ用途を考慮すると転送レートも重要である。LSI 内部の信号処理速度は符号化後のチャンネルデータレートで律則されるため、符号化率の良い符号がユーザデータレートを向上するのに有利である。また、PLL (Phase Locked Loop) を考慮すると、ウィンドウサイズも大きくなるというメリットもある。そこで、BD では $d = 1$ の 17PP 符号⁵⁾が採用された。

● 17PP 変調方式

光ディスクではサーボ信号が再生信号の低域周波数帯域に存在するため、それに悪影響を及ぼさないように記録パターンの低域成分を抑圧する必要がある。一般に、(1,7) RLL 符号は可変長符号として知られているが、DC 制御を容易にするための機能は有していなかった。これまで CD、DVD における変調符号である EFM や EFM+ は DC 制御機能を有しているが、BD においても $d = 1$ 符号でかつ DC 制御を容易にするために 17PP を採用した。17PP とは Parity preserve/Prohibit RMTR (PP) の機能を持った (1,7) RLL 符号のことである。Parity preserve とは、データビットの 1 の個数の偶奇と、符号化ビットの偶奇が一致するような規則のことをいう。変換テーブル内の符号化ビットの 1 は、ディスク上に記録されるマークの反転を表す。つまり、記録マークは $+/-1$ のいずれかの値を持っているが、符号化ビット 0 で以前のマークを引き続き記録し、符号化ビット 1 で反転したマーク (1 時刻前のマークが -1 のマークなら $+1$ 、 $+1$ のマークなら -1) を記録する。また、RMTR (Repeated Minimum Transition Runlength) とは、最短波長である $2T$ の連続数を表す。17PP では $2T$ の連続が最大 6 回までに収まるような規則になっており、これを Prohibit RMTR と呼ぶ。これにより MTF 上で一番再生しにくいパターンの出現確率を抑制している。

● 17PP 特性

記録マークの時間的な積算値を DSV (Digital Sum Variation) と呼ぶ。DSV の値が常に 0 に近い値に保持されていると、低域成分が抑制されることになる。BD フォーマットにおいては、符号化前のデータ列 45 ビットごとに 1 ビット用意された DC コントロールビットに、0 または 1 のどちらを挿入した方が、DSV が 0 に近づくかを考慮しながら選択する。DSV が積算されてゆく傾向のときは、DC コントロールビットに 1 を選択すると、17PP の Parity preserve 機能により次の符号列による DSV が反転するために積算傾向を抑えることができる。ランダムデータ列を DC コントロールあり／なしで 17PP



符号化された DC コントロールビットに、0 または 1 のどちらを挿入した方が、DSV が 0 に近づくかを考慮しながら選択する。DSV が積算されてゆく傾向のときは、DC コントロールビットに 1 を選択すると、17PP の Parity preserve 機能により次の符号列による DSV が反転するために積算傾向を抑えることができる。ランダムデータ列を DC コントロールあり／なしで 17PP 符号化された場合の電力スペクトル密度 (PSD) を図-11 に示す。横軸が正規化周波数で、縦軸が PSD 値 (無名数) である。正規化周波数 $1.0E-04$ において、“DC コントロールあり”が“なし”に比較して数十分の 1 になっており、低域成分が抑圧されていることが分かる。これにより、再生信号が低域サーボ信号に及ぼす影響を低減しているのである。

ディスク上のデータ配置

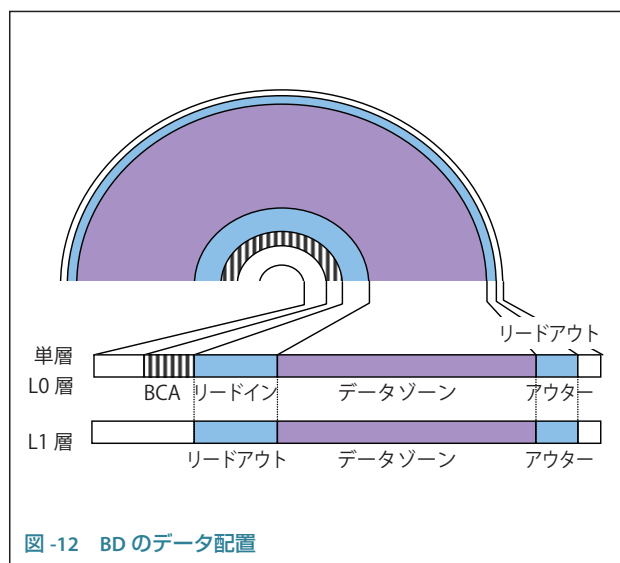
● データ配置

BD ディスクは、他の光ディスクと同様にリードイン (Lead-in)、データゾーン (Data Zone)、リードアウト (Lead-out) の 3 種類の領域から構成される (図-12 参照)。

リードインにはディスクの物理パラメータなどの情報が記録されている。書き込み可能なディスクでは、データゾーンの書き込み状況や欠陥管理機能で使用する欠陥管理リストなども記録されている。

データゾーンには、音楽や映像、文書などのデータやそれらを管理するファイルシステムが記録されている。BD-RE/R などの記録可能ディスクには、欠陥管理機能で使用する交替領域がデータゾーンの先頭と最後部に配置される。データゾーンから交替領域を除いた領域をユーザデータゾーンと呼ぶ。

リードアウトは、データゾーンの終端を示す。BD-R/



RE のリードアウトの開始位置は固定である。

●ファイナライズが不要

CD や DVD では、再生専用機などで記録可能メディア内のコンテンツを再生する場合、あらかじめリードインの先頭からリードアウトの最後尾までをすべて記録済みにしておく必要がある。このためディスクの初期化やファイナライズ処理、バックグラウンドフォーマットなどで、時間をかけて記録済みにしなければならない。

一方、BD では再生専用機で再生する前にリードインからリードアウトまでをすべて記録済みにする必要がない。これはファイナライズ処理が不要であることを意味している。このため TV 番組を録画した後すぐにディスクをとりだして他機で再生することが可能である。

BD-R ではファイナライズに似た処理として追記を禁止するためのディスク・クローズがあるが、処理自体は一部のディスク管理情報をリードインとリードアウトに記録するだけなのですぐに終わる。

●記録可能ディスクへの記録方法

BD-RE は、DVD-RAM と同じランダム記録である。ユーザデータゾーンの任意のブロックにデータを記録することが可能である。

BD-R は、BD-RE と同じランダム記録と、CD/DVD-R と同じシーケンシャル記録の 2 種類の書き込み方法がある。BD-R のシーケンシャル記録は、CD/DVD-R と同じく、記録済み領域の最終ブロックの隣にある未記録領域の先頭セクタ（これを「書き込み開始位置」と呼ぶ）から未記録部分を残さないように記録していく。また CD-R、DVD-R と同じように、書き込み開始位置を複数持つことができ、最大で 16 個持つことが可能である。

●ライトワンスメディアで上書き

CD/DVD-R のようなライトワンスメディアは、その名の通り一度記録したブロックを再度記録することができない。誤って必要なデータを消す心配がない反面、データの追記を考えると特殊な構造を持ったファイルシステムやルールを導入する必要がある。BD-R は、CD-R や DVD-R と同じ方法で追記が可能であるが、さらに BD-RE と同じようにファイルシステム情報の上書きができれば使い勝手が良くなるとして LOW (Logical Over-write, 論理的上書き) が導入された。

LOW は、BD-R で導入された欠陥管理の仕組みを利用して実現している。つまり一度記録したブロックを欠陥ブロックと見なし、そこに記録できないので別のブロックに記録して交替処理をすることによって上書きを実現している。本来欠陥ブロックの交替先は交替領域である。しかし事前に LOW に必要なブロック数の把握は難しく、交替領域を少なめに設定すると LOW だけで交替領域を使い切って本来の目的である欠陥ブロックがあったときに交替処理ができなくなったり、反対に交替領域を大きめに設定するとディスクの使用効率が悪くなったりする弊害があるので、LOW 時の交替先はユーザデータゾーン内とした。交替先での記録はシーケンシャル記録のルールに従う。またデータのリードは欠陥管理時の読み出し方法に従う。

●欠陥管理

書き込みが可能な光ディスクでは、傷、指紋などに加えて書き換えや読み込みを繰り返しているうちに、ディスクの一部が記録できなくなったり読めなくなったりする。これに対処するために欠陥管理機能がある。

光ディスクの欠陥管理では、リニアリプレイメントと呼ぶ交替処理が一般的に使われている。これはデータの記録先が欠陥ブロックであった場合、データを交替領域内に記録し、欠陥ブロックのアドレス(交替元)と実際にデータを記録した交替領域内のアドレス(交替先)を一組にしてリードインにある欠陥管理リストに登録する方法である。データの読み込み時、ドライブは欠陥管理リストに指定されたアドレスが登録されているかどうかを必ず確認してから、指定されたアドレスか交替先のアドレスからデータを読み込む。

BD では、BD-RE のみならず BD-R にも欠陥管理機能を導入している。

●ライトワンスメディアにも欠陥管理

今までのライトワンスメディアでは欠陥管理の概念がなく、書き込み時に何らかの原因で記録が失敗するとそ

のディスクは使用することができないディスクになってしまっていた。ディスク容量がDVDの5倍以上となり、追記を繰り返して使用することが一般的な使い方という前提で考えると、最後の最後に記録が失敗しそのディスクが使い物にならなくなることは避けたい。そこでBD-RにもライトワンスメディアでありながらBD-REと同様の交替処理機能を導入することになった。

欠陥管理導入の副産物として生まれたのがLOWである。LOWは、欠陥管理の枠組みで機能するために、欠陥管理を無効にしてLOWのみ有効にするといった使い方はできない。

欠陥管理を導入したことでBD-Rでもブランクディスクを使用する際には、欠陥管理の有無や有効にした場合の交替領域の大きさ、LOWの有無を決めてからデータを書き込む。ブランクディスクに対して、いきなりデータを書き込むこともできるが、その場合は欠陥管理機能(LOWも)が無効となる。

●ファイルシステム

BDのファイルシステムは、UDF 2.5もしくはUDF 2.6である。両者の違いはLOWのサポート有無で、BD-RでLOWを使う場合にはUDF 2.6、それ以外はすべてUDF 2.5とする。

BD-ROM AV フォーマット概要⁷⁾

●2つのモード～HDMVモードとBD-Jモード

BD-ROMには2つのモード(HDMVモードとBD-Jモード)がある。そのどちらかまたは両方のモードを使って、コンテンツ提供者はBD-ROMディスクのコンテンツを作ることができ、また、BD-ROMプレーヤーは両方のモードの再生に対応している。

業界標準のHigh Definitionビデオとサラウンドオーディオ：MPEG-2ビデオ、MPEG-4 AVC、VC-1ビデオフォーマット、LPCM、Dolby Digital、Dolby Digital Plus、Dolby Lossless、DTS digital surround、DTS-HDオーディオをサポートする。

High Definition 品質のグラフィクスプレーン：2つの独立したHigh Definition品質のグラフィクスプレーンを持ち、メニューと字幕を同時に表示するオーサリングを容易に実現できる。

メニューのフィーチャー：ポップアップメニューをサポートし、ユーザがAV再生中にいつでもメニューを呼び出したり、消したりでき、また、メニュー表示して

もAV再生を中断させない。ボタンサウンドはメニュー上のグラフィックボタンを選択したり、実行させたときの効果音をサポートする。フルカラーのHigh Definition品質のアニメーションボタンとメニュー画面が切り替わる時のアニメーション効果をサポートする。

字幕のフィーチャー：ビットマップベースの字幕は、フルカラーのHigh Definition品質であり、ビデオとフレーム精度で同期再生されるアニメーション効果をサポートする。テキストベースの字幕は、アウトラインフォントとテキストコードを用いて実現し、フルカラーのHigh Definition品質をサポートする。

そのほかにもさまざまなキーフィーチャーがある。

ブラウザブルスライドショー：ユーザが次の画像に再生を進めたり、前の画像に再生を戻すときに、プレーヤーがバックグラウンド音楽を途切れさせない。

オーディオミキシング：プライマリーオーディオとセカンダリーオーディオの2本のオーディオを同時にデコードしミキシングして再生する。さらに、これにボタンサウンドをミキシングすることも可能。

ピクチャインピクチャ：プライマリービデオとセカンダリービデオの2本のビデオを同時にデコードし、プライマリービデオの上に、セカンダリービデオを重ねて表示する。

ローカルストレージ(たとえばHDD)のサポート：ローカルストレージに記録されたコンテンツとBD-ROMを連携させて再生する。たとえば、ローカルストレージにある字幕をBD-ROMのビデオ上に表示させるアプリケーションが可能である。

●BD-Jモード

BD-ROMフォーマットは、また、ネットワーク接続を利用できるプログラミング環境を提供し、これによって、コンテンツプロバイダは高度にインタラクティブでアップデート可能なBD-ROMコンテンツを作成できる。このモードは、Javaプラットフォームをベースにするものであり、BD-Jモードと呼ばれる。コンテンツプロバイダはさまざまな方法でJavaアプリケーションをBD-ROM discにのせることができる(たとえば、ディスク全体で1つのJavaアプリケーション、または、タイトルごとに1つのJavaアプリケーション)。

BD-ROMフォーマットでは、HDMVモードとBD-J

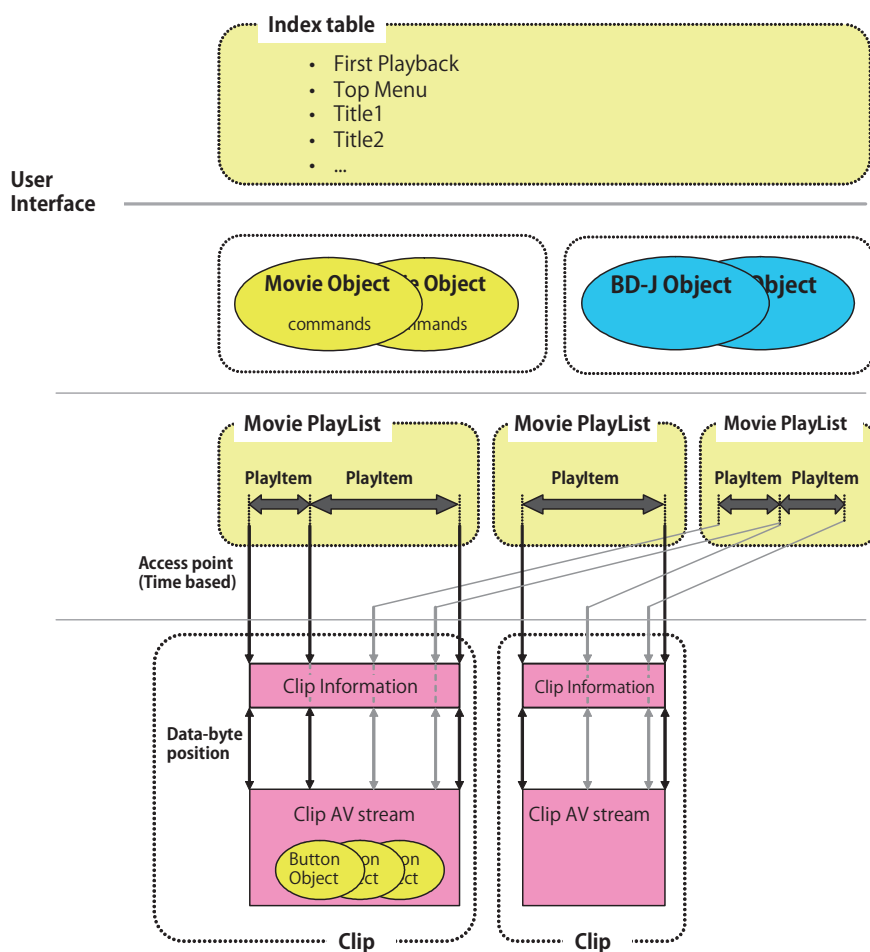


図-13 BD-ROM フォーマットのデータ構造

モードの両方を同じディスクで使うことができる。

●データベース情報

BD-ROM のデータ構造

図-13 は、BD-ROM フォーマットのデータ構造を示す。BD-ROM は AV ストリーム再生を管理するために次の4個のレイヤを持つ：*Index table*, *Movie Object/BD-J Object*, *Playlist* と *Clip*

Index table

Index Table は、BD-ROM のタイトルを定義するための最も上位にあるデータベースであり、すべてのタイトルへのエントリーポイントを持つ。プレーヤーはあるタイトルを再生するとき、そのタイトルに結び付けられた *Movie Object* または *BD-J Object* を選択するために、Index Table を参照する。図-14 に Index Table の例を示す。

Movie Object と BD-J Object

Movie Object はナビゲーションコマンドプログラム (HDMV program) から構成される。プレーヤーは、ある HDMV タイトルを再生するとき、それに結び付けられ

た *Movie Object* を実行する。

BD-J Object は *BD-J* タイトルの管理情報から構成される。プレーヤーは、ある *BD-J* タイトルを再生するとき、それに結び付けられた *BD-J Object* を読み出し、*BD-J* アプリケーションを実行する。

Movie Playlist

Movie Playlist は、1つ以上の *PlayItem* から構成される。*PlayItem* は、*Clip* の中の再生範囲であり、それは *Clip* への IN 点と OUT 点によって示される。図-15 に *Movie Playlist* の例を示す。

Clip

AV ストリームファイルとそれに関連するデータベースをまとめて *Clip* と呼ぶ。AV ストリームファイルは *Clip AV stream file* と呼ばれ、また、データベースを *Clip Information file* と呼ぶ。*Clip AV stream file* は MPEG-2 トランスポートストリームを格納する。*Clip Information file* は指定された再生時刻からファイルの中のアドレスへ変換するテーブル(時間—アドレスのマップ)を持つ。

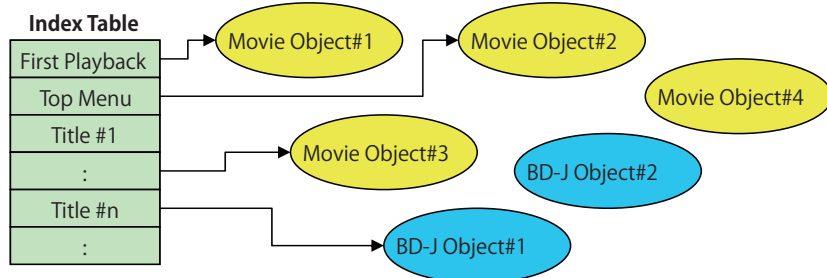


図-14 Index Table の例

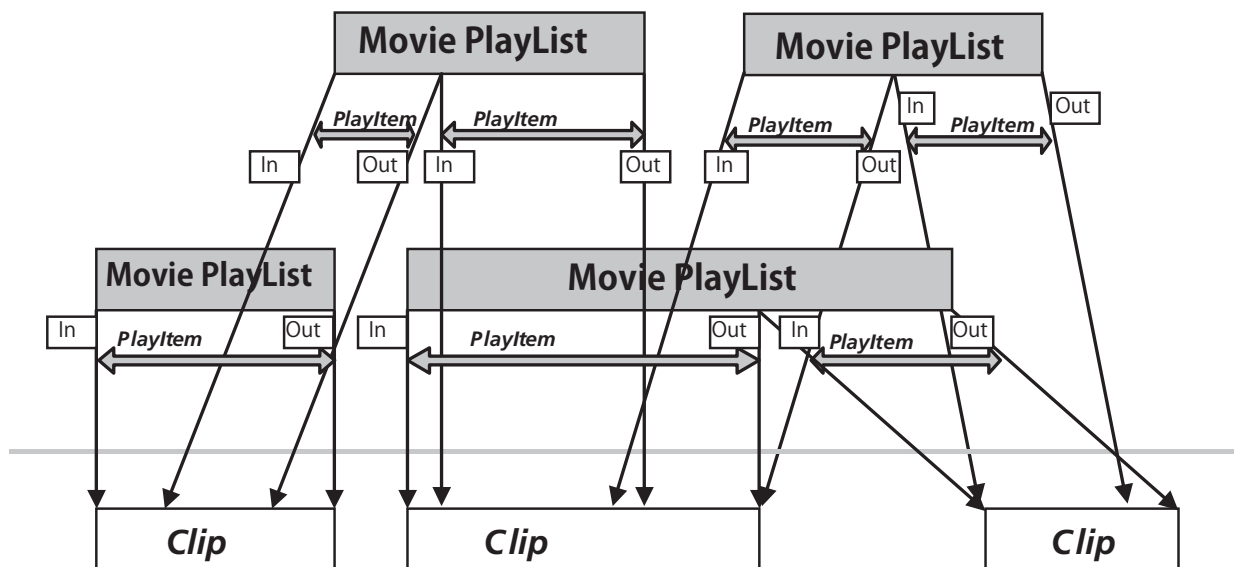


図-15 An illustration of Movie Playlist

● MPEG2 Transport stream

BD-ROM はオーディオやビデオストリームを多重化するために MPEG-2 トランスポートストリームを採用している。

BD-ROM のエレメンタリーストリーム

オーディオ、ビデオ、字幕やグラフィックスのエレメンタリーストリームは MPEG-2 トランスポートストリームの PES パケットに符号化される。各エレメンタリーストリームの符号化方式を表-2 に示す。ビデオには、すでに実績のある MPEG-2 ビデオに加えて、さらなる高画質を実現するアドバンス符号化の MPEG-4 AVC と VC-1 とがある。BD-ROM プレーヤはこれら 3 種類のビデオ符号化方式の再生に対応する。コンテンツ提供者は 3 種類のビデオ符号化方式から選んでコンテンツを作ることができる。オーディオには、DVD ビデオですでに実績のあるドルビーデジタルと DTS オーディオに加えて、さらなる高音質や 7.1 チャンネルを実現するアドバンス符号化のドルビーデジタルプラスと DTS-HD

オーディオ、また高音質なロスレス符号化のドルビーロスレスと DTS-HD オーディオがある。これらのアドバンス符号化とロスレス符号化ストリームは、ドルビーデジタルと DTS オーディオと再生の互換性のある部分を持つ。BD-ROM プレーヤは少なくともドルビーデジタルと DTS オーディオの再生に対応する。

Presentation Graphics と Interactive Graphics streams

BD-ROM は、2つの種類のグラフィックスストリームを提供する。Presentation Graphics (HDMV タイトルと BD-J タイトルの両方で使用できる) は主に字幕やアニメーションに用いられることを想定している。Interactive Graphics (HDMV タイトルのみで使用できる) は主にメニューグラフィックスに用いられることを想定している。Graphics の符号化にはランレングス符号化を用いる。表-3 にグラフィックスストリームの仕様を示す。

Text subtitle streams

BD-ROM は、また、テキスト字幕をサポートしている。テキスト字幕は、文字コードとフォントとスタイル

情報によって定義される。表-4 にテキスト字幕の仕様を示す。

BD-ROM の字幕は、上述の Presentation Graphics によるビットマップ字幕と、このテキスト字幕の二通りがある。

BD-ROM のコンテンツ保護技術⁸⁾

BD-ROM の AV コンテンツは、図-16 に示すように AACs, ROM マークそして BD+ の 3 つの技術の組合せによって保護される。

AACS は AV コンテンツのための核となる保護技術を提供し、また、そのように保護されたコンテンツを扱うための運用ルールを定義する。

ROM マークは、非正当な海賊版の ROM Disc スタンピングを防ぐための物理レイヤの技術であり、BD-ROM ディスク上の目に見えない特別なデータである。

BD+ は、市場に出たプレーヤがハッキングされたときの対抗手段を提供し、セキュリティ仮想マシンを用いるコンテンツ保護システムの更新技術である。

まとめ

BD の物理規格に関しては、ただ容量を大きくするというだけでなくこれまでの光ディスク商品での経験を活かし、今まで以上にユーザに快適に使ってもらう

Name of elementary stream	Coding method of elementary stream
Video stream	MPEG-2 video
	MPEG-4 AVC
	SMPTE VC-1
Audio stream	Linear PCM
	Dolby digital
	DTS digital surround
	Dolby Digital Plus
	Dolby Lossless
	DTS-HD
Graphics stream	Presentation graphics stream
	Interactive graphics stream
Text subtitle stream	HDMV Text subtitle stream

表-2 BD-ROM のエレメンタリーストリーム

ための技術が多く詰め込まれている。指紋やキズに対する耐性を上げるために新規の強力な誤り訂正符号を導入したり、ファイナライズが不要になるようなデータ構造を施すなど物理フォーマットの各所に最新技術を適用している。また、ディスクの 100μm のカバー層に関しても当初より実際に大量生産が行われることを前提に製法等設備を考慮しながらの開発を行い、商品化された時点でもスムーズに量産化移行が可能となつて、ユーザに安定供給ができています。

AV 規格に関しては、HD 品質のビデオと最高品質の

Graphics	Plane size	1920 × 1080/1280 × 720/720 × 480/720 × 576	
	Color	8bit Index lookup table (24 bit color + 8 bit alpha)	
	Compression	Run Length Encoding	
	Presentation planes	2 planes	
	Presentation Plane name	Presentation Graphics	Interactive Graphics
	Main usage	Subtitles	Menus
	Animation Effects	Fade In/Out, Color changing, Wipe In/Out, Scrolling	

表-3 BD-ROM Graphics streams の仕様

Text Subtitle	Plane size	1920 × 1080/1280 × 720/720 × 480/720 × 576
	Character encoding	Unicode2.0, Shift-JIS, KSC 5601-1987 (including KSC 5653), GB18030-2000, GB2312, BIG5
	Presentation Plane name	Presentation Graphics
	Color	8bit Index lookup table (24 bit color + 8 bit alpha)
	Effect	Fade In/Out, Color changing
	Presentation style	Text position/flow/alignment, font style/size/color
	User change-able style	Text position, font size, line space

表-4 BD-ROM テキスト字幕の仕様

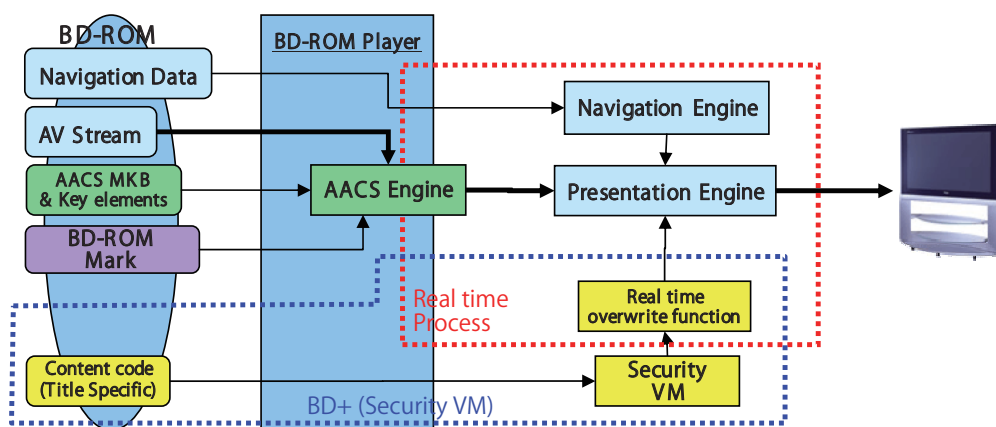


図 -16 BD-ROM のコンテンツ保護技術

オーディオだけでなく、これまでのディスクフォーマットではユーザーが体験したことがないようなインタラクティブなコンテンツを提供できるようにフォーマット設計されている。また、これまでのディスクフォーマットよりも強固なコンテンツ保護技術を採用しており、コンテンツ提供者が安心して BD-ROM でタイトルを発売できるようにフォーマット設計されている。

参考文献

- 1) Jepson, S. D., Nutter, P. W. and Wright, C. D. : Partial Response Maximum Likelihood for Optical Data Storage Using Simple Optical Equalizers, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.39, Part I, No.2B, pp.808-814 (2000).
- 2) Jacoby, G. V. : A NEW LOOK-AHEAD CODE FOR INCREASED DATA DENSITY, IEEE Trans. Magn., Vol.MAG-13, No.5 (1977).
- 3) Immink, K. A. S. : EFM CODING : SQUEEZING THE LAST BITS, IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.43, Issue 3 (1977).
- 4) Immink, K. A. S. : EFMPlus : THE CODING FORMAT OF THE MULTIMEDIA COMPACT DISC, IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.41, Issue 3 (1995).
- 5) Immink, K. A. S. : A Survey of Codes for Optical Disk Recording, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.19, No.4 (2001).

- 6) (ECC 参考文献) 小川博司・田中伸一 (監修) : 図解 ブルーレイディスク読本, オーム社.
- 7) White Paper : BD-ROM Audio/Visual Specification (Mar. 2005) : <http://www.blu-raydisc.com/jp/technical/Section-14194/Index.html>
- 8) Overview of BD-ROM security : <http://www.blu-raydisc.com/jp/technical/Section-14194/Index.html>

(平成 20 年 2 月 29 日受付)

●山上 保

tamotsu.yamagami@jp.sony.com

1978 年東京大学工学部電気電子工学科卒業。1984 年カリフォルニア大学バークレー校 EECS 修士課程修了。1978 年ソニー (株) 入社。技術研究所にてデジタルオーディオシステムの開発に従事。1985 年より開発部門にて光ディスクシステムの開発に従事。主たる研究専門分野：伝送系デジタル信号処理、光ディスクシステム技術。

●加藤元樹

Motoki.Kato@jp.sony.com

1990 年新潟大学工学部情報工学科修士課程修了。同年ソニー (株) 入社。ビデオ圧縮方式の開発、MPEG2 ビデオ符号化の標準化、MPEG2 エンコーダ・デコーダシステムの開発に従事した後、2000 年よりブルーレイディスクの BD-RE レコーダと BD-ROM プレーヤの AV フォーマット開発に従事。

