

■ 要旨

DVD はそれまでの光ディスクが、CD、LD のように、一方的にコンテンツを再生するだけの機能しかもっていなかったのに対して、最初にメニュー画面が表示され、見る人の好みで、音声の言語や、字幕の言語がインタラクティブに選ぶことができ、チャプターごとの再生など、再生の機能も単純な再生だけでなく、マルチアングル、マルチストーリーなどの機能も有している。言語は英語、仏語、独語、スペイン語などのうち、3ヶ国の音声と字幕は 4ヶ国のデータが含まれており、これ一枚で、世界の市場をカバーできるような仕様となっている。さらに、クローズドキャプション機能でアルファベットの表示が可能であり、まさに一枚で世界をカバーできるように設計されている。

DVD の規格を作る際に、Hollywood のスタジオが集まって、DVD Advisory Group を作り、DVD に対する Wish List を作って、このような企画に対する要望を提出し、これに基づいて、規格が作られたこともあり、DVD プレーヤが市場に登場した時に、Hollywood のスタジオが直ちにコンテンツを出したことは、それまでのメディアとは大きく異なる状況であった。これには、東芝が技術的な規格を作成し、それを Warner スタジオがサポートするという協力関係が成り立っていたことも大きい。東芝のプレーヤの市場投入とワーナーのコンテンツの投入はほぼ同時であり、最初から急激に市場が立ち上がったため、他のスタジオも、あせってタイトルを投入するというような状態であった。それまでは、コンテンツを市場に投入するため、タイトルごとに導入費用を日本の電気会社が負担したりしていたが、DVD は全く自主的にスタジオがタイトルを市場投入した。東芝は Warner の要望を受け、オーサリングのマシンや、MPEG-2 の圧縮装置を完成させて、Warner に供給した。ソニーは Sony Pictures、松下電器は Universal Studio と連携して、コンテンツを投入している。

再生用のプレーヤについては、MPEG-2 のデコーダの LSI が 1 チップでできるのは当時 3 年で 4 倍の速度で、LSI の集積度が上がっていたことから 1997 年ごろと予測して、1997 年に東芝で LSI を完成し、他社にも供給したので、各社から一斉にプレーヤが市場に投入されている。このように、ハードとソフトが連携して市場導入されたため、市場の立ち上がりはきわめて早かった。プレーヤは従来の単なる再生だけの機能ではなくて、メニュー操作、言語ストリームの選択など新しい機能があり、ファームウェアは格段に複雑化したため、東芝においてはプレーヤのファームウェアの開発に、一時 300 人の技術者が従事していた。この技術者は主として、ファームウェアのデバッグに従事していたが、ボタンを 2 個同時に押すなどの誤操作で、変な動作をしないようにするのが大変であった。

導入時には、ソニーの Play Station のゲームマシンも投入されて、DVD の普及に大きく貢献した。一方、PC での再生では、WINDOWS での再生が可能となったが、Microsoft はどんなアプリのプログラムであっても、ライセンス料を払わない方針で、結局ただで DVD を再生することを認めざるを得なかった。しかし、ゲームと PC が DVD を再生するようになり、DVD の普及は大きく加速した。DVD ディスクの製造は東芝、Warner、ソニー、松下電器、パイオニアなどの各社で製造設備を導入して行われたが、メモリーテックなどのディスク製造専門メーカーも参入している。DVD は 0.6 mm 厚のディスクの貼り合わせであるが、実際に製造してみると、CD の 1.2 mm 厚のディスクに比較して、薄い空間に樹脂を押し込むため転写性が良く、また、薄いので冷えるのが早いことから、2 枚のディスクを作成する時間は CD の 1 枚と比べて遜色ない状態で、おまけにディスクが貼りあわせの対称構造で、温度に対して安定なことから反りの問題は軽減されている。

■ Abstract

Unlike former optical disc systems such as CD/LD, which provide only video playback capability, DVD generates a pre-playback menu. Users can therefore select the spoken or subtitle language and special features like chapter playback. Furthermore, multi-angle or multi-story playback is also possible. DVDs can store data in multiple languages, such as English, French, German and Spanish, with three of them for voice and four for subtitles. In addition, the closed caption function allows alphabetical display. This specification allows for coverage of the whole global market with just a single disc.

To create the specifications for DVD, the Hollywood studios came together and formed the DVD Advisory Group and a DVD specification wish list. DVD specifications were then formulated based on the wish list. With DVD specifications contributed to by all the Hollywood studios, Hollywood began producing DVD titles immediately after the technical specifications were fixed. This was quite a different situation from that of past media like LD.

Toshiba created technical specifications with the support of the Warner Brothers studio, a collaboration which contributed to the launch of DVD products on the market. Warner and Toshiba then coordinated to launch DVD titles and players respectively at the same time. The DVD market took off rapidly. And accordingly, other studios launched DVD titles immediately. Before this, Japanese electronics companies had paid Hollywood studios for the expenses of title creation, but with DVD, the studios bore the costs themselves.

Toshiba created an authoring tool and an MPEG2 compression device upon Warner's request and provided them to the studio. At the same time, Sony collaborated with Sony Pictures, and Matsushita with Universal Studios, to create movie titles.

Large scale integrated (LSI) chips were at the core of the DVD player, to decompress the MPEG2 signal. Large scale integration increased four-fold in the space of three years, and it was predicted that integration would reach the required level in 1997. Toshiba succeeded in developing a single-chip MPEG2 decoder in that year. Toshiba supplied the chip to other interested companies, and the Japanese manufacturers then released their DVD players onto the market at the same time.

With the simultaneous release of DVD hardware and software, market demand rose very rapidly. The new DVD players were much more complex than before, with various additional features like menu selection, language selection, and firmware in the player. In Toshiba, about 300 engineers worked on DVD player firmware. Mistaken operations by the user, such as pushing two buttons simultaneously, made fatal errors very likely to occur, so the majority of the engineers were engaged in debugging. At the same time as this release, Sony launched the PlayStation game device, which contributed greatly to the market expansion of DVD software. On the other hand, DVDs could now be played on the Windows operation system; however Microsoft has a policy of not paying license fees for Windows compatible software, so playback using Windows was free. Nevertheless, PCs and game devices accelerated the expansion of the DVD market.

Numerous companies, such as Toshiba, Warner, Sony, Matsushita, Pioneer and also Memory Tech, which is a disc manufacturing company, began producing DVDs. DVD manufacturing was at first considered difficult, but after actually embarking on production, companies realized that it was easy. This was because a DVD was only 0.6 mm thick, compared with 1.2 mm for a CD, and a thin disc meant a quicker resin injection process, a shorter cool down time, and better replication. The time to create two discs is comparable to that of one CD. Also, with its greater symmetry, the DVD was less affected by temperature change than was the asymmetrically structured CD, so the problem of warpage is reduced.

■ Profile

山田 尚志 *Hisashi Yamada*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

- 1968年 東北大学修士課程電気通信専攻終了
株式会社東芝中央研究所入所
カラーテレビ用LSI等の開発に従事
- 1977年～1979年
スタンフォード大学に留学
エンジニアデグリー取得
電子回路シミュレーション、A/D変換、D/Aコンバータ、電話用LSI等の開発を経て、光ディスク開発、マイクロプロセッサ、SRAM等の開発に従事
- 1993年 DVDの開発に専念
DVD Forum Technical Coordination Groupの議長
- 2005年 株式会社東芝 退社
メモリーテック株式会社 入社

■ Contents

1. はじめに	6
2. DVD 以前の記録メディア	7
3. DVD の出現	11
4. DVD フォーマット	23
5. DVD プレーヤ・レコーダの要素技術	38
6. DVD の製造技術	48
7. DVD プレーヤ・レコーダ	55
8. DVD の市場	66
9. むすび	72

DVD 技術の系統化調査 目次

要 旨

1. はじめに	6
2. DVD 以前の記録メディア	7
2.1 アナログ信号記録	7
2.1.1 TOSFILE	7
2.1.2 LD	7
2.1.3 VHD	8
2.2 デジタル信号記録	8
2.2.1 CD	8
2.2.2 Video-CD	10
3. DVD の出現	11
3.1 CD 産みの親 土井利忠博士の予測	11
3.2 筆者の考え方	12
3.3 Hollywood との交渉	14
3.4 DVD Advisory Group 形成	16
3.5 フォーマットの作成	16
3.5.1 物理規格	16
3.5.2 論理規格	18
3.5.3 アプリケーション規格	18
3.5.4 記録型 DVD	19
3.6 コピープロテクション	20
3.7 DVD 規格の標準化	20
4. DVD フォーマット	23
4.1 概 要	23
4.2 DVD-Video の規格	25
4.2.1 システム構成	25
4.2.2 物理レイヤ	26
4.2.3 論理レイヤ	28
4.2.4 DVD-Video の機能	28
4.3 DVD 規格	29
4.3.1 DVD-ROM	29
4.3.2 DVD-RAM	31
4.3.3 DVD-R/RW	32
4.3.4 ベリフィケーション	34
4.4 著作権保護技術	34
4.4.1 著作権に関する法律の問題	34
4.4.2 DVD のコンテンツ保護	35
4.4.3 コンテンツ保護システムの構成	36
4.4.4 コンテンツ保護ライセンスの構成	36
5. DVD プレーヤ・レコーダの要素技術	38
5.1 光ピックアップ	38
5.2 光ピックアップの実際	40
5.3 LSI	41
5.3.1 MPEG2 エンコーダ	41
5.3.2 MPEG2 デコーダ	42
5.3.3 1 チップデコーダ	43
5.3.4 コンテンツ保護用 LSI	45

6. DVDの製造技術	48
6.1 ディスク製造技術	49
6.1.1 原盤記録装置	49
6.1.2 ディスク製盤技術	50
(1) 製盤の手法	50
(2) インジェクションマシン	51
6.2 記録信号処理技術	52
6.2.1 フィルム→ビデオ信号変換	52
(1) 画質の改善	52
(2) コンテンツの準備	53
6.2.2 MPEG2 圧縮	53
6.2.3 オーサリング	53
(1) 画像データの準備	53
(2) DVD-Video 規格の中のオーディオの規格	54
7. DVDプレーヤ・レコーダ	55
7.1 DVDプレーヤ	55
7.1.1 概要	55
7.1.2 物理ブロック	56
7.1.3 アプリケーションブロック	56
7.1.4 ユーザインタフェースブロック	56
7.1.5 システムコントローラ	56
7.1.6 高精度メカユニット	56
7.1.7 ピックアップサーボ	56
7.1.8 グラフィカルユーザインタフェース	57
7.2 DVDレコーダ	57
7.2.1 DVDレコーダ用HDD	58
7.2.2 ハードウェアのシステム構成	58
7.2.3 W録コンセプトとその実現	59
7.2.4 シームレスレート変換ダビング	59
7.2.5 デジタル放送対応DVDレコーダ	60
7.3 DVDプレーヤ・レコーダの実際	60
7.3.1 世界初のDVDプレーヤ	60
7.3.2 世界初のDVDレコーダ	62
(1) DVD-RWに録画するパイオニアのDVR-1000	62
(2) DVD-RAMに録画する松下電器のDMR-E10	63
(3) DVD-Rに録画するパイオニアのDVR-2000	63
(4) HDD内蔵DVDレコーダ	64
8. DVDの市場	66
8.1 DVD以後のスタジオ	66
8.2 DVDの市場	66
8.3 DVDレコーダ・プレーヤの生産高	67
8.4 DVDソフトの実際	69
8.4.1 ビデオソフトの売上げ	69
8.4.2 ビデオソフトの実際	71
9. むすび	72

1 | はじめに

日本から提案された世界規格として、DVDが大ヒット商品になっていることは誠に喜ばしい。DVDはそもそものシステムに必要な技術の成熟度、周りの環境、消費者の潜在的な望み、コンテンツを提供する側の希望など色々な条件がかみ合っただけで大ヒット商品になった。特に大きな発明があったわけではないが、技術進歩を取り入れた最適設計が市場ニーズと結合して大ヒットをもたらしたものである。

光ディスクの研究は1970年ごろから盛んになり、最も基本的なレーザ光を取束させてピットを読むアイデアはThomsonの技術者の考案である。これをビデオディスクにしたのはMCA (Musical Corporation of America) であり、後にPioneerによりレーザディスク (LD) として商品化された。更に、1980年にPhilipsとSonyによりCDが開発された。

筆者は1980年から光ディスク開発に関係し、最初はHDTV信号*をLDに1時間記録する目標でスタートした。最初はDTV信号**のFM記録を試みたが、十分な画質は実現できず、次にMUSE方式の圧縮信号のFM記録に変更し、1988年には1時間記録の目標を達成した。このピットの大きさは現行のDVDと同じである。その後、1990年からDVDの開発を記録型からスタートした。当時、光磁気ディスク (MO: Magneto Optical disc) が全盛であり、相変化記録は松下電器がわずかに開発していた。しかし、旭化成が相変化の記録膜材料であるGeSbTeを発明し性能が向上したこと、MOは信号の量が相変化の1/10であり、青色レーザでも記録密度が上がらない等の理由により、MOの開発を中止し、相変化に切り換えた。DVD-RAM/RWは相変化記録であり、歴史的には決定が正しかったことが証明されたことになる。このとき以来、松下電器とは光ディスク開発で共同歩調をとることになった。

1990年代の前半は日本の電気会社がHollywoodに進出し、東芝もTime Warnerに出資して提携関係をスタートさせた。この提携に基づき、1992年11月にTime Warner Home Video社のWarren Lieberfarb社長が来日して、DVDの構想を東芝に披露した。

Warren Lieberfarb社長は国内外の各社にDVDの構想を説いて回ったが、どこも相手にしなかったよう

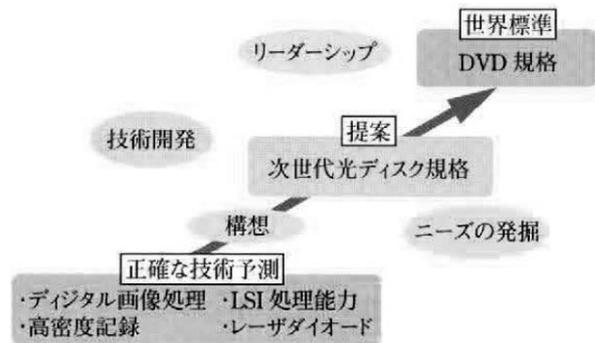


図 1.1 DVD規格は日本から世界へ発信⁽¹⁾

である。東芝は完全デジタルのDVDに開発を切り換え、既にMPEG-2について、Encoder LSIの開発などに着手していた。Warren Lieberfarb社長の来日の3か月後、1993年2月、筆者はDVDの技術提案を持ち、Warren Lieberfarb社長を訪問した。

このとき、予約なしで訪問した筆者に対し、30分の約束の会合を延長し、すべての予約をキャンセルして会合は9時間に及んだ。これから共同開発が始まった。

以下、DVD技術の系統化について詳述する。

文献

- (1) 山田尚志: DVD —技術と業界ニーズの結合による成功—、電子情報通信学会誌、Vol.87, No.1, pp10-15 (2004)

* HDTV信号: High Definition TV信号

** DTV信号: Digital TV信号

2 | DVD 以前の記録メディア

図 2.1 はパッケージメディアの変遷を表したものである。オーディオの世界では、長い間レコードとカセットテープの時代が続き、アナログ記録の限界まで技術が完成された。オーディオのデジタル記録が初めて行われたのは VTR (Video Tape Recorder) を用いた PCM (Pulse Code Modulation) プロセッサである。その後すぐ CD (Compact Disc) が登場することになる。これらによりデジタル信号記録の実用化の技術が大きく進んだ。これには半導体レーザー、エラー訂正 IC が当時の最新半導体技術により開発・実用化されたことが寄与している。

ビデオではアナログ記録の VTR、LD (Laser Disc) が長らく支配的であった。これは音声信号に比べ映像信号の情報量は 100 倍程度であり、膨大なデジタルデータを記録する媒体とシステムが見あたらなかったためである。1990 年代に入って DVTR (Digital Video Tape Recorder) がようやく実用化された。

CD-ROM は 1990 年代のマルチメディアの時代に至って、そのアクセスの速さから多用されているのは周知である。読み出しスピードも、16 倍速など、高速に改良されている。CD-Audio はオーディオ再生専用で 1 倍速であったが、データ用はスピード勝負となり、倍速競争が一時盛んであった。

上述したように、光ディスクの記録技術、フォーマット、エラー訂正技術、半導体レーザー、IC 化技術がおおいに進展した結果、今日の DVD の出現につながったと考えられる。CD/DVD が登場する前は光ディスクはアナログ信号の記録媒体であり、記録信号としてはアナログ信号を FM 変調して記録するもので、盤に記録される信号はピットの長さが FM 変調された信号に比例する記録であった。

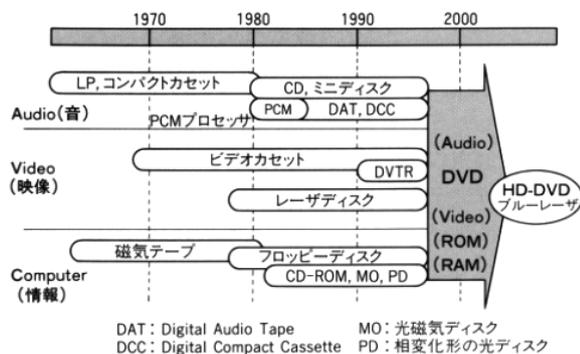


図 2.1 パッケージメディアの進展⁽¹⁾

2.1 アナログ信号記録

2.1.1 TOSFILE

TOSFILE は東芝が開発したファイリングシステムで、記録はアナログの FM 記録である。直径 30 cm で、裏表 2 枚のディスクが中空で貼りあわせになっている。記録膜は Te-Carbon で、Te が低融点であることを利用して、レーザーで記録膜に穴を開けて、記録するものであった。記録は点で、FM の信号のゼロクロス点を点で記録した。

ファイリングシステム用なので、画像をスキャンして、FM で記録した。実際は民生用としては市販されず、業務用として東芝だけの販売となった。記録型のディスクであり、CD/DVD のような再生専用のディスクではない。システムとしての販売のため、文書を読み込みデータ化する装置などと組み合わせられていた。

2.1.2 LD

LD は、パイオニアの開発で、同社の商標である。パイオニアは音響専門メーカーからの脱皮を図り、多角化の一環として、LD を完成させ商品化した。30 cmφ、1.2 mm 厚さのディスクの貼り合わせで厚さ 2.3~2.6 mm である。ディスクの材料は PMMA (アクリル樹脂) である。アクリルは透明度が高いが、CD に使われているポリカーボネートに比べると、粘りがなく割れやすい。LD は画像も音声も FM 記録であったが、後に、音声はデジタル化されて、FM 記録に追加された。記録時間は片面 45 分で短いが、画質が良かったのでマニアには受け入れられた。最初は再生のレーザーがガスレーザーしかなく、しばらくして、半導体レーザーに切り替えられている。光ディスクの読み出しには、光をピットの大きさに対応できるぐらいに絞る必要があるが、このためには通常の光では駄目で、たとえば、太陽光をレンズで収束させると、太陽の像ができてしまい、小さく絞ることは困難である。これに対して、レーザー光は光共振器を構成し、レーザーダイオードから出た光は共振器に導かれ、スペクトル幅が極めて狭いコヒーレント光になる。完全な平行光にできるから、レンズで絞ることにより、光の波長に近い所まで絞ることができる。光は横波であるから、波長以下には絞れない。光ディスクの発展はレーザーの開発に負うところが大きく、半導体レーザーの投入で、初

めて民生用の商品として体裁を整えたと言える。それでも、カラオケ用途が多く、一般家庭用としてはそれほど普及はみていない。パイオニアがコンテンツを集めたが、ハリウッド映画会社は様子見で、売れたらコンテンツを出すという態度だった。コンシューマー市場が立ち上がらなかったため、プレーヤの数が少なく、Hollywood 映画タイトルがほとんど集まらなかったのが最大の問題であった。

DVD のインジェクションマシンは5トンであるが、LD のインジェクションマシンは300トンとかなりの大型で、蒸気機関車並みなのも、コスト面で問題であった。

2.1.3 VHD

VHD は接触型で、JVC の開発したものである。記録面が露出しており、ごみに弱かったため、トレイに入っており、プレーヤーにトレイごと挿入して、引き抜くとディスクが残って再生でき、取り出しはトレイを挿入すると、自動的にトレイの口が開き、ディスクが収容されるメカとなっていた。表面は平坦で、案内溝は無く、サーボでトラッキングを行う。表面にトラックに沿って小さいピット（くぼみ）が記録され、ディスクはカーボン粉が混入されて、導電性である。ピックアップは、櫛状のもので、ディスク上をすべるようになっており、電極が付いていて、くぼみに来ると容量が減るため、容量変化で信号を検出するようにできていた。これはカラオケなどに用いられたが、一般にはほとんど普及しなかった。カラオケにおいても、アクセスの際に、ディスクに混入したカーボンの粉が完全に分散せず、時々大きな塊があったため、その塊に引っかかって、そのトラックにアクセスできなくなると言う問題が起きた。このため、最もアクセスの多い流行っているタイトルのトラックからアクセスできないと言う状態になり、おまけに、使用環境がスナックなどで、油のミストが空中に漂い、接触型

の VHD にとっては厳しい環境であった。JVC によると、カーボンの分散の技術が良くなり、しばらくしてこの問題は完全になくなったということであるが、導入時のトラブルはかなりの致命傷になった。さらに、VHD では VHS の成功にならって、記録時間を長くして、LD の 30 cm ϕ に対して、25 cm ϕ と小さかったにもかかわらず、記録時間を長くしたが、このため画質が劣化して、これもあまり評判が良くなかった。

VTR の場合は、VHS は β とフォーマット争いをして画質は劣っていたものの、記録時間が長く勝利した。これに味をしめ、LD より画質が悪くて、記録時間の長い VHD が勝つという目論見であった。VHS の成功を見たユーザーがスナックなどのカラオケとして導入して、しばらく使われたが、あまり普及はしなかった。ディスクはテープより画質がいいというのが常識であり、VHD はかならずしも VTR より画質が良いとも言えず、この場合は、この常識にも逆らった仕様となってしまったことも、普及しなかった原因であろう。VHS に続く 2 匹目のどじょうは、結局いなかったことになる。

VTR とは反対に、ビデオディスクでは画質の良い LD が勝利を得て、画質は悪いが演奏時間の長い VHD は敗れたことは興味深い。結局、システムとしての価値は使う人の判断で決まるから、供給側の論理がそのまま通じないことを示している。

2.2 デジタル信号記録

2.2.1 CD

CD が誕生する前に、日本の業界団体が音楽ディスク方式を決定する為に、デジタルオーディオディスク懇談会（通称：DAD 懇）を発足させ、協議を重ねていた。ビクターから AHD（Advanced High Density Disc）の提案があった。これは VHD ディス

ガスレーザー

商品化の最初のプレーヤは半導体レーザーの開発が間に合わず、ガスレーザーを用いた光ピックアップで、LD は民生用としてガスレーザーが用いられた最初で最後の商品である。He-Ne ガスレーザーは真空管の製造と工程が類似しており、東芝の真空管製造部門が供給したが、それまでは産業用だけだったので数が少なかった。最初は数が飛躍的に増加して、東芝の供給もとの真空管を製造していた部門は未曾有のブームに沸いた。しかし、ガスレーザーは全体がかさばるだけでなく、民生用としてはコストが高く、1200V の高圧がかかることもあり、すぐに GaAs 赤色半導体レーザーに置き換わった。He-Ne ガスレーザーは波長が半導体レーザーより短く、画質は He-Ne の方が良いと言う評判もあった。

クを基本とする接触式のディスクシステムであった。しかし、議論の途中で、Sony/Philips が CD を発表して、2社でライセンスするとアナウンスして、それまでの議論は吹き飛んで中止され、CD に規格統一された。CD の最大の特徴は、12 cm 径、1.2 mm 厚の片面ディスクで極めてコンパクトなことで、コンパクトディスクと言う名称がぴったりする。材料はポリカーボネートで、LD のアクリルよりは粘りがあり、扱いやすい。これもレーザーディスクと VHD の争いと同じく、非接触式が勝利したことになる。CD はフォーマットに特徴があり、CRC エラー検出コードを用いて、エラー訂正を行った最初のシステムである。音楽 CD の場合、エラーがあると突然大きなノイズが出る可能性がある。このため、エラーを検出して訂正するのが必要であるが、あまりエラーがひどいと、エラー訂正できないことがある。この場合は前後のデータから延長して間を埋める補間が行われる。補間したほうが音が良いなどという変なうわさも流れたが、実際は、ほとんど訂正だけですんでいた。補間まで行うのは何ヶ月に1回というような頻度であったと言われている。

CD の音は、16 ビット / 44.1 kHz サンプルの PCM であったが、当時は 16 ビットの DA コンバータは高

価で これ以上の分解能のものは無くて、技術的に実現できる上限の規格であった。最初は、DA コンバータは、Burr Brown のものだけで、1個 10 万円であった。当時は MOS 技術では、16 ビットの DA コンバータが出来なかったが、現在は MOSLSI のスピードが上がり、1 ビットコンバータが出来ており、きわめて安価になっている。1 ビットコンバータは、1 ビットのパルスの変調して、それを平滑化して信号を得るもので、最初はクロック周波数が上がらず、変化の激しい信号に追従しない問題があったが、MOSLSI のスピードが上がるにつれて現在は問題がなくなっている。CD はデジタル信号が民生用に使われた最初であり、LP と違って面倒なプレーヤの調整などが不要で、スクラッチノイズがなく、その音は衝撃的であった。それに加えてプレーヤの小型化が進んで、携帯プレーヤが普及した。携帯プレーヤの普及で、据え置き型のステレオ装置の市場が縮小し、一方で、若者の音感が低下したと言われている。

当時、波長 780 nm の GaAs 半導体レーザーが、安価に供給されるようになり、小型、低消費電力化に貢献した。これ以前は、カセットテープで携帯プレーヤが普及していたが、デジタルの携帯プレーヤが普及して、コンテンツもディスクで供給されたことによ

VHS 方式とベータ方式

VHS の普及には JVC の努力も大きい。家庭用 VTR は東芝の沢崎氏によるヘリカルスキャンの発明により、初めて家庭用として実用化に成功した。当時、すでに AMPEX による業務用の VTR は放送局などでは使用されていた。これは回転ヘッドと言っても、小さな円盤に 4 個のヘッドを取り付けて、2 インチ幅のテープに対して垂直に円盤が回転して、これに取り付けられたヘッドもテープに対して垂直に記録していくものであり、全体に大型の機械にならざるを得なかった。

これに対して、 β 、VHS はともにヘリカルスキャンを採用した。両方とも 1/2 インチ幅のテープを使用し、シリンダーに斜めに巻きついて、シリンダーの中の回転ヘッドがテープを斜めにスキャンする機構を採用している。直角平行が普通の工業製品としては極めて異例の機構であった。これにより、小型化が可能となり、家庭用として普及を見たのである。

シリンダーに巻きつくテープは始めと終わりで、テープ幅だけ段差があり、テープを斜めに巻きつけるために、テープ走行を規制するガイディングポストが微妙に傾いている。 β では、製造現場で熟練工がガイディングポストの各々について、傾きを微妙に調整していた。これに対して、VHS ではガイディングポストの傾きを一つ一つスペックで規定して、誰が作っても出来るように規格を定め公開し、希望するメーカに対して親切に技術指導した。一方、 β は技術指導にあまり熱心ではなく、作ろうと思ってソニーを訪問した会社はどうぞといわれるだけで、技術指導は行わず、新規参入は難しい状況にあった。この結果、参入メーカはソニーと東芝だけになり、これが最終的に、フォーマット戦争の勝敗を分けた。ただし、特許はソニーがより多く所有していたので、特許料収入はソニーが最も多かった。当時は、民生用電子機器は日本メーカの独壇場であり、機械は精度が重要で、日本メーカしか出来なかった時代であった。なお、 β もガイディングポストの傾きを規格で規定した結果、誰でもできる規格が後ほど実現している。

り、爆発的なブームが到来した。

実際の音質を比較すると、16ビット/44.1 kHz サンプルの音は量子化ノイズが聞こえて、耳が肥えてくると不満が出る音質であったが、手軽にある程度の音質で聞けるということで、爆発的に普及した。CDの場合、16ビットではダイナミックレンジが不足しており、現在は、CDで満足できない愛好家向けに、アナログLPの復刻などが行われ、新譜も発売されている。LPは状態の良い場合は24ビット48 kHz サンプルとほぼ同等の音質を有しており、スクラッチノイズなどがあるが、音質的にはほぼ満足できる状態である。CDについては、録音のときに、ダイナミックレンジの調整など、音質向上のための技術が発達して、あまり欠点が目立たない程度に改良されており、通常的环境下では満足できるところまで改良が進んでいる。CDでは、音量が小さくなると量子化ノイズに近づくのに対して、LPでは、カッティング歪がどんどん小さくなるため、小音量の方が音が良くなる。この辺が最近のLPの復活を支えているのかもしれない。

2.2.2 Video-CD

CDと同じ12 cmのディスクに最大74分の動画を記録することが可能なメディアで、ソニー、松下電器産業、日本ビクター、Philipsの4社によって1993年に共同提案された。CDの物理規格をビデオ用に拡張したもので、記録方式はMPEG-1を用いた。比較的安価に製造できるメリットがあったが、NTSC方式の画素数が352×240と少ないため（PAL方式の場合、352×288）、画質がVHSの3倍モード程度といわれた。更に、動きが早い被写体ではブロックノイズが発生する場合もあるとされた。日本ではあまり普及しなかったが、香港、台湾、フィリピンなどの東南アジアで普及したといわれている。

文 献

- (1) 鍋島大樹：DVDの技術動向、東芝レビュー、Vol.51, pp.5-6, No.12, 1996年12月号

3 | DVD の出現

DVDはDigital Video Discの略称として広く用いられており、既に、DVDが提案されたときにはよく知られた略称であった。しかしながら、DVDを東芝が提唱したときに、DVDの商標権を東芝が所有しておらず、商標権所有者も不明であった。このため、DVDはVideo用途だけでなく、容量が大きいことを利用して、PCソフトの配布などの様々な用途が考えられたので、当時DVDの担当であった西室専務（後に社長）の提案で、デジタル多用途ディスク(Digital Versatile Disc)を正式名称とすることになった。

DVDの開発初期には、規格化争いが東芝のDVDとソニーのMMCD(Multi Media CD)との間で繰り広げられた。DVDは0.6mm厚×2の貼合わせディスクであったのに対し、MMCDは1.2mm単板のディスクであり、厚さが2倍では読み取りのレンズの倍率を上げると、ディスクが傾いた際のスポットの乱れが大きくなって読み取り不能になるため、NA(Numerical Aperture—レンズの絞り角のコサイン)の大きなレンズは用いることが出来ない。このため、12cmφのディスクでは3.3GBの容量が限界であったのに対して、0.6mm貼りあわせのディスクでは、4.7GBの容量が可能であり、これが決定的な差となってDVDが勝利した。図3.1にディスクの傾きに対する強さの様子を示す。

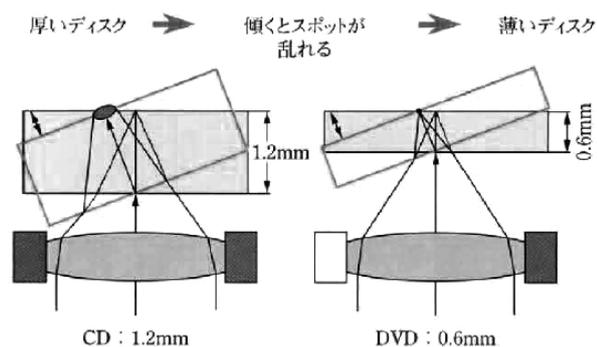


図 3.1 ディスク傾きに対する強さ⁽¹⁾

DVDの貼りあわせ構造と裏側から読み取る方式のアイデアは松下電器の提案である。このディスクのピックアップに対する傾きの規格を決めるにあたって、東芝の研究室でピックアップとプレーヤのモータに付いた受け皿に固定したディスクの傾きの限界を測定していた。その原因となるディスクの反り、モータ軸の傾き、ピックアップの取り付け誤差などの限界の取り合いがあり、全体で、0.6度の限界に対し

て、機械系、光学系などの技術者を集めて議論した結果、マージンの0.1度が余裕として生じた。機械系のばらつきが予測が難しいとして、0.1度を機械系に割り振った。その後誰も苦情を言っていないので不思議に思い調べたところ、量産したピックアップ、モーター軸の傾きなどは最適に調整した実験室よりも良い値になり、マージンがあまっている状態であることがわかった。量産技術では、1万台に一回起こる不良も、原因を特定するように努力するのが当時の東芝を含め、日本メーカのやり方であり、実験室で入念に調整したピックアップよりも、量産品のほうが性能が上回っていたのである。このことは日本メーカの物造りの伝統が優れていたことの証拠と言えよう。

ディスク規格の決定では、トラック密度(トラックピッチ)と、線密度(ピットピッチ)を決めることが、基本である。この際、記録密度は一定として決まっているので、トラックピッチと、線密度の積は一定となる。読み出しのスポットサイズは一定とすると、トラックピッチは隣のトラックからのクロストークによる妨害信号の大きさを決める。一方、ピットピッチはトラック上のピット列を読み出していく際の前後のピットからのクロストークを決めることになる。ピットピッチ、トラックピッチの積が記録密度となることから、これを一定として、ピットピッチとトラックピッチを変化させて、最適な点を求めることが設計の要諦となる。このクロストークの見積もりをコンピュータシミュレーションで行い、最適なピットピッチとトラックピッチを求めて、規格化した。後ほど量産時に、製造担当者から、このトラックピッチとピットピッチを製造現場で色々変化させて、もっと良い値は無いか調べたが、どうしても規格の値になってしまうとコメントされたことがあるが、これはシミュレーション結果が正しかったことを示している。筆者は半導体のプロセスシミュレーションプログラムの開発をしたことがあり、シミュレーションには精通していたが、よく考えると、規格を決めた際は試作に頼らず、シミュレーションだけで決めたのは画期的だった。

3.1 CD産みの親 土井利忠博士の予測

DVDの出現を最初に予測したのはCDの生みの親であるソニーの土井利忠博士で、CDに関する著書の

中で、DVD の出現を予測している⁽²⁾。これは光ディスクとしては、音楽の次は映像を収納するパッケージとして、当然の予測ではある。ただ実現には、青色レーザーが必要であるとして、青色レーザーの実現時期が当時としては、10年以上後であるといわれていたので、かなり実現時期が後ろと考えられていた。レーザーはレーザー発振したといっても、実際に、光ディスクに使用するには、雑音の軽減、信頼性、発光プロファイルを改良して、レンズを通して絞った時の良好なスポットの実現などの課題があり、レーザー発振から10年ぐらいかかると考えられていた。

3.2 筆者の考え方

CD に用いられた赤外レーザーの波長は 780 nm であり、その時の青色レーザーの実力からすれば、まだまだ DVD の実現は先であるというのが、技術者一般の常識であった。これに対して、筆者は青色レーザーの実現は先であるが、そのころ、既に雑音がかなり低減され、光ディスクの光源としての要求を満たすことが出来るようになってきた赤色レーザーを世界規格にするために作戦を練った。

土井利忠博士の本に次は DVD であると書かれていたことに筆者は刺激を受け、1990 年ごろから準備を進め、基本的な技術は、全部、自社所有にしなければならぬと認識し、ディスク原盤の作成、インジェクションによるディスク製造、コンテンツのオーサリング、フォーマットの作成、プレーヤの開発を進めた。

その結果、MPEG-2 デコーダ LSI が完成した直後、1997 年に東芝から最初の DVD プレーヤが発売されている。発売時期の決定は LSI の技術の進歩予測をもとに、1 チップで、MPEG-2 デコーダができる時期を予測して、その時期に合わせて発売することとした。この発売に合わせて、プレーヤの光ピックアップなどの開発と 1 チップの MPEG-2 デコーダ LSI を開発した。

当時、月に無人探査機を送ることでソ連に先行された米国の悲願であった APOLLO 計画も参考になった。ケネディ大統領が 1961 年、APOLLO 計画として、プロジェクト目標を簡明に「60 年代終わりまでに、月に有人飛行船をおくり、人類による探査を行う」と定めた。このプロジェクトの目標は解りやすいプロジェクト目標の例として本などでも紹介されている。DVD をプロジェクトとして始めるに際して、プロジェクトの進め方という本を購入して参考にした

が、この本にプロジェクトを行う場合、目標は単純で解りやすいものが良いと書いてあったので、DVD では“DVD を世界規格にする事”を目標とした。

また、プロジェクトリーダーの心構えとして、関連技術の全てに精通して、実際に働いている技術者とディスカッションできるだけのレベルを持つこと、関連技術の中で、自分が一番解っているという分野をひとつ持つことというのがあった。筆者は常に現場に足を運び、技術者とディスカッションできるレベルを維持するようにしたが、自分自身の専門知識としては、LSI の技術がプロジェクトの中では一番であったと思っている。

DVD を最初に始めたとき、DVD にとってもうひとつのキー技術である動画圧縮技術の MPEG-2 は MPEG (Motion Picture Expert Group) 委員会が規格化した動画像圧縮技術である。MPEG 規格は MPEG-1 (解像度が NTSC の半分の画像の圧縮規格) から始まり、MPEG-2 (解像度は NTSC スタジオ規格) に技術が引き継がれ、規格として完成した。圧縮のアルゴリズムとしては MPEG-1 で完成しており、MPEG-2 では解像度が上がっただけであるが、東芝の提案した Dual Prime アルゴリズムが取り入れられている。これは圧縮の際に、前のフレームとの違いを圧縮するための参照フレームを奇数フィールドは参照フィールドを奇数フィールドとし、偶数フィールドは偶数フィールドとするもので、圧縮率が上がる効果がある。

DVD の発売時期の決定に際して、プレーヤの普及には、1 チップ MPEG-2 のデコーダ LSI が必須であるため、LSI の技術進歩から実現時期を予測した。当時 3 年で 4 倍のペースで集積度を高めていた LSI で、1 チップで MPEG-2 のデコーダが出来るのが 1997 年であるとの予測から、1997 年を導入年と決めた。この時、東芝がフォーマットをリードするには、全ての技術を持つ必要があると認識して、ディスクの製造技術、プレーヤの LSI などあらゆる必要技術を開発した。

東芝は英国 EMI 社と合弁で、CD のディスク生産をおこなっていた東芝 EMI 社を関連会社として所有していたので、DVD の生産は比較的スムーズに立ち上がった。DVD プレーヤのハード面では、半導体レーザーの導入、プラスチックインジェクション非球面レンズの採用など、ピックアップに新しい技術が導入されている。

当時、CD は 780 nm の赤外レーザーを使用していたが、ちょうど、赤色半導体レーザーが、実用されそうになっていた。東芝は赤色半導体レーザーではトップを

走っており、青色レーザーはまだ、発振はしたものの、雑音、発光のプロファイルなど、光ディスクの光源として用いるには、性能が足りない状態であった。青色レーザーが実用化されるまでにはその後10年を要した。青色LED/青色LDの発明者の日亜化学の中村修二博士と話をした時に、レーザーの使い道がありませんかと聞かれたが、「レーザーはプレーヤに1個しかいらないので、LEDと違って数は出ませんね。」と言った事がある。その後、中村修二博士は青色LEDでノーベル賞を受賞した。10年後に青色レーザーは雑音が改善され、スポットプロファイルがよくなって、ディスクに用いられるようになったが、数は非常に少なく、経済効果ではLEDが問題にならないぐらい大きな貢献をしている。

DVDプレーヤの導入時にはCDとDVDのコンパチビリティが問題になった。筆者は、CDとDVDの2つのレンズを切り替えるメカを考案して、東芝のプレーヤには採用された。しかしながら、後ほど、松下電器がCDとDVDの互換を2焦点レンズで実現し、その後はこの方式が主流となっている。ピックアップは、初期のプレーヤ用はオリンパスの出したTAOSが有名で、3 cm × 3 cm × 6 cm ぐらいあり、かなりの大型であったが、現在のものは7 mm × 20 mm × 20 mm 程度と極めて小型になり、携帯用プレーヤに採用されている。当時、軽薄短小が世の中では喧伝されていたが、日本メーカの技術力が断然他国をリードしていた時代である。

DVDは民生用機器としては、初めて、メニューなどインターラクティブな機能を備えたものであり、続き再生、チャプター再生などそれまでの民生用機器ではなかったノンリニア再生機能を持っていた。

マルチメディア時代のさきがけと言うべき機能であったが、それだけ、ファームウェアなども複雑になり、デバッグに300人の技術者が駆り出されていた。再生プログラムでは、ユーザがどのような操作を行うかをシミュレーションして、ハングアップなどのトラブルが起らないことを確認する作業に、300人のエンジニアを駆り出したが、これはPCと違い、OSの導入がなされていなかったことにも原因があった。

PCにおけるDVDの再生では、OSのおかげで、再生プログラムはそれほど問題はなかった。OSはメディアへのアクセスとか、メニューに対する処理などの基本的な機能を有しており、OSがある場合は、DVD独自の機能だけがファームウェアとして必要であり、プログラムの開発はかなり簡単になる。OSの機能も、DVDのファームウェアに含んでいたために、

ファームウェアが複雑になり、デバッグに300人の技術者が駆り出される状態になったとも思われる。PCではバグは当たり前で、パッチを当てるのが普通であるが、当社のDVDプレーヤでも、あとから出すソフトにパッチを入れて自動アップデートしようと技術者に提案したが、皆保守的で、採用にはいたらなかった。その後、パッチを当てる手法は一般的になっていった。

最初にDVDの普及のために、PCで再生することを検討していた時、たまたまLas VegasのCEショーで、Bill GatesがPCでの再生に興味を持ち、私に会いたいという話が来た。私はホテルに居たが、会いたいなら向こうから来るのが筋であろうとして、ホテルでノンビリしていたら、急にBill Gatesの子分がわっと押しかけてきて、無理やり連れて行かれたことがある。握手はしたものの、結局、再生プログラムについては、ただで提供しろという話になり、此方が折れて、再生プログラムは無料提供ということになった。もっとも、Windowsに載せたためビジネスとしては大成功になり、これに対して金を払っていたのではいくらあっても足りないということになるので、仕方がないともいえる。Microsoft社は色々なアプリをWindowsにコンパチにするため、バグ退治にかなり苦勞していたようである。

DVDをWindows PCで再生するのに、通常のPlayerのようなライセンス料を払わず、全て無料にせよとの相手側の主張を受け入れて、結局は無料にした。PCで再生できるようにすることは普及のためには非常に有効であったが、ライセンス料を払わなかったMicrosoft社は、金持ちほどけちということであろう。Microsoft社は色々なアプリケーションに対して一切金を払わず、ただで使用している。しかし、ビジネスは力関係で決まるという米国流の流儀では当然のことであろう。MS社は何回か訪問したが、ゲストセンターがすばらしく、やはり儲かっている会社はすごいと思ったのを覚えている。

DVDの規格化についてはWarner Home Videoと東芝の同盟関係が非常に役に立った。Warner Home VideoはDVD Advisory GroupをHollywoodで設立して、その要求仕様を作ったが、仕様そのものは東芝との開発の過程で決めたものに基づいており、DVDに対して、好意的なものであった。DVDで採用されたマルチ言語、マルチストーリー、Letter Boxタイプとフルタイプなどの規格はすべてWarner Home Videoの要求であり、マルチストーリーなどは実際には市場に出ることもなく成功しなかったが、他は大体新しい機能として採用され、市場に歓迎されて採用と

なった。

圧縮音声については Dolby と DTS が応募してきたので、CODEC を DVD 技術委員会に持ってきて、検証実験をしてよければ採用すると宣言した。この時、新聞に DTS は採用されないなどと報じられたため、DTS の Terry Beard が新聞社の記者を口汚くののしり、それがまた報道されてもめたが、結局 CODEC が期限までに完了せず、Option というようになった。それでも、DTS はこの実績で、後に続く HD-DVD、BD などには正式採用されている。

音質としては、Dolby は一度フーリエ変換して、音のスペクトルの中で振幅の小さいものは取り除くという操作で、データ量を圧縮しているの、雑音がなくなってサイレント変換といわれたが、映画の音声の圧縮には問題のないものの、HiFi には使えない。一方、DTS は音声信号のエンベロープを Spline 関数のカーブフィッティングで追っかけるもので、音はデータレートを上げる程よくなるという特徴がある。筆者は DTS を訪問した時に、Dolby、DTS、LPCM の音源をブラインドテストしたが、全部正解したので、感心されたことがある。

3.3 Hollywood との交渉

当時、日本のメーカーは Hollywood 映画スタジオに投資するのが流行しており、ソニーはコロムビアトライスターを買収し、ソニーピクチャーズと改称し、松下電器はユニバーサルスタジオを買収して、米国に開発センターを開設した。東芝は Time Warner に出



図 3.2 会場でプレゼンする筆者

資して、MPEG-2 の圧縮 CODEC の製作供給などの技術協力を進めていた。筆者は東芝が Warner Home Video と協業すると聞いて、米国での学会に出席する予算を獲得して、1993 年 2 月に学会出席の後で、Warner Home Video を訪問して、DVD について討論した。このときの Warner Home Video の Warren Lieberfarb 社長との会見が、DVD の始まりである。

彼は非常に忙しいとのことで、私が午前 10 時ごろ電話した時に、30 分しか時間が取れないという話であったが、実際に会って話をすると、その後の会議を全部キャンセルして、昼もワーキングランチとして、午後 7 時まで 9 時間付き合ってくれた。その結果、DVD のアライアンスが実質的にスタートした。

1993 年 4 月 12 日 Warner Home Video と東芝の間で第 1 回の打合せが行われた。会場は Peninsula Hotel であった。図 3.2、図 3.3 に打ち合わせの状況を示す。ここで基本的な事項が確認されて、DVD のベースとなった TAZ Project のプラン及び全体計画が策定され、DVD 開発が本格的にスタートした。

翌 1994 年 9 月に東芝はデモ機を持参して Warner Home Video と会合を開いた。図 3.4 は会場で熱心に説明する東芝の技術者、図 3.5 は日本から持ち込んだデモ機である。

ホテルの一角には図 3.6 に示すように、視聴ルームを設けて、展示実演をしながら熱心な討議が行われた。会場はロサンゼルス市のヒルトンユニバーサルシティで、ユニバーサルスタジオ・ハリウッドまで 5 分ほど、ほんの数ブロックの位置であった。会場には図 3.7 に示すように、Steven Spielberg 監督も駆けつけ討議に加わった。図 3.8 に会議の様子を示す。



図 3.3 Warner Home Video との打合せ風景



図 3.4 デモ機を前に熱心に説明する技術者、兼重敏彦さん（東芝）



図 3.5 使用したデモ機 右側に電子回路が見える



(a) 視聴ルーム



(b) 周辺機器

図 3.6 ホテルー室に仮設された視聴ルームと周辺機器



図 3.7 Steven Spielberg 監督と Warren Lieberfarb 社長（後ろ姿）に説明する筆者



図 3.8 Warner Home Video と東芝の打合せ風景

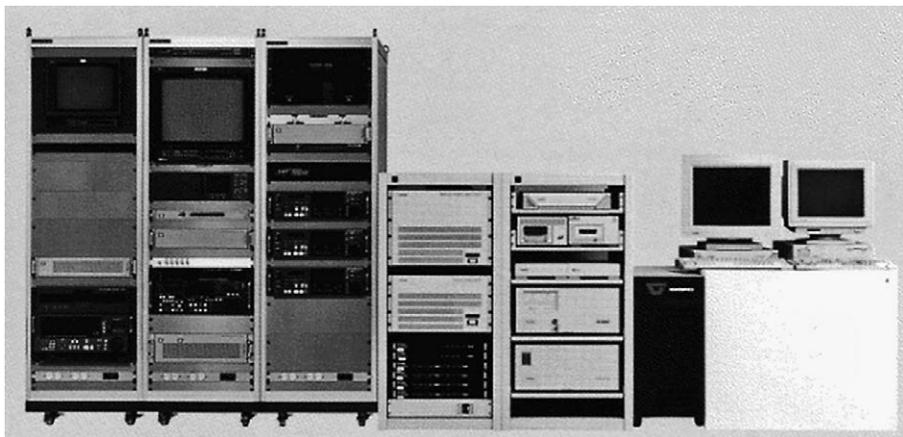


図 3.9 Warner Home Video に提供した MPEG-2 エンコーダシステム⁽³⁾

東芝ではDVDを始めるに際して、規格化を主導するとすれば、ありとあらゆる技術を自分で保有しなければならないとして、プロセス上必要なディスクのスタンパー技術、スタンパーの為のメッキ技術、ディスク量産のインジェクション技術、反射膜のスパッタリング技術、コンテンツ圧縮のエンコーダーの製作、オーサリング機械の設計製作などを進めた。

当時、圧縮はMPEG-2の規格が出来たばかりで、圧縮のエンコーダはC-Cubeのマイクロプロセッサを並列にした1/2倍速のものがあったが、東芝ではECL (Emitter Coupled Logic) を用いたディスクリード素子によるリアルタイムエンコーダを開発して、映画を実時間で圧縮できるようにし、Warner Home Videoに供給した。実時間のエンコーダの効果は非常に大きく、エンコードしながら画質をチェックして、直ちにフィードバックできるため、エンコードの能率が飛躍的に上がった。これを用いて、音声との同期、多国語字幕の発生と同期などのオーサリングに必要な技術を開発して、図3.9に示すようなオーサリングシステムを完成して、Warner Home Videoに供給した。

このように、必要な技術を全部自前で開発したため、技術的には他社に2~3年先行したことになった。

3.4 DVD Advisory Group 形成

DVDの仕様はHollywoodの要求を聞くことから始まった。それまでのCDなどの規格の決定はSony/Philipsが、VHS/ β などのVTRはJVC、Sonyなどが現行の技術水準から、録画時間、画質などのトレードオフにより、ハードウェア側の作りやすい規格という立場から決めていた。

一方、DVDは仕様を作る為に、Hollywood Studio側がDVD Advisory Groupを作り、要望を出して、その要望に沿って、DVD規格が作られたという点で、Software Drivenともいえる規格である。

その要望は以下のようなものだった。

- (1) 演奏時間92分以上（劇場映画の90%以上が一枚に収録できる）
- (2) マルチ言語 音声言語は4ヶ国語（英、独、仏、スパニッシュ）
- (3) 字幕は25ヶ国語
- (4) クローズドキャプション機能を入れる
- (5) Videoの圧縮はMPEG-2
- (6) 音声の圧縮はDolby、DTSはオプション
- (7) リージョンコードの導入

基本的なコンセプトは世界中を一種類のディスクでカバーできるというコンセプトであり、このコンセプトは大成功であった。

しかし、最後に、製品化の直前で、Hollywoodが画質のあまりのよさに驚き、コピープロテクションが要求に加わり、HollywoodにCPTWG (Copy Protection Technology Working Group) が発足し、週2回木曜、金曜で、Hollywoodで会議が開かれるようになった。米国人は週末は家族サービスで落ち着かないので、大体、金曜日の午後は短くなる傾向にあった。これは日本のメーカーとしては青天の霹靂で、ともかく、市場導入の為に、プレーヤの準備を進めており、ここで遅れると、かなりのダメージになるため、必死の交渉となった。詳細は3.6で述べる。

このコピープロテクションには松下電器の提案によるCryptmeria Cipher (C2暗号と略称) が用いられている。これは40ビットの鍵で、総当たりアタックで簡単に破られる程度の強さである。しかし、暗号化してあれば、勝手にコピーしてば撒くことは刑事罰の対象になるので、立派に機能している。Hollywoodもさほどの強さは望まず、適当にコピーできるぐらいが普及すると考えていたので、あまり問題化していない。暗号の採用を議論したCPTWGには、一山当てようという、頭のよさそうな暗号屋が集まりこれに対抗するにはライセンスを無料にする以外にないと考え、関係者を説得し無料とした。

3.5 フォーマットの作成

DVDの規格化は、3つのレイヤーがある。

- ① 物理規格 ディスクに記録される最短ビット長、トラックピッチ、など
- ② 論理規格 記録されたビットが表現するビットの規格
- ③ アプリケーション規格 論理規格に基づくビットによるデジタル信号のアプリケーションの規格

3.5.1 物理規格

物理規格は読み出しシステムに基づいて、そのシステムが読み出し可能なディスクの仕様を決めている。読み出しのスポットサイズに関してはレーザの波長と対物レンズのNA (Numerical Aperture: 開口数) が決まっており、その結果、読み出しスポットの大きさは決定される。このスポットが、すべての規格のもとであり、それに適合した物理的なディスクの寸法、直

径、厚み、貼り合わせの層の厚みなどと、トラックピッチ、記録ピットの長さ幅などの物理寸法が規定される。DVDの記録ピットの大きさなどすべては読み出しシステムが読み出せるように規定されている。読み出しシステムが規格のベースである。読み出し用のレーザのスポットサイズの約半分の大きさまでのピットは読み出せるので、ピットの大きさの限界はスポットサイズの半分ということになる。このピットの規格からディスクに記録される総ビット数が決まる。

DVDのトラックピッチとピットピッチは総容量を一定とした場合反比例の関係にある。トラックピッチを広げると、トラック間のクロストークは減少し、ピットピッチを広げると、ピット間のクロストークが減少する。このため、トラックピッチとピットピッチを記録密度一定の条件のもとに、この両者を掛けた値を一定にして変化させ、トラック間のクロストークとピット間のクロストークが最適になる点を計算で求めてDVDで採用した。後ほど、実際に製造している現場からDVDのトラックピッチと、ピットピッチは不思議だ、いろいろ、容量一定の条件のもとに、製造でパラメータをいじっても、現行のパラメータが一番良いパフォーマンスを示すと言われたことがあり、してやったりと思ったことがある。この時は、コンピューターシミュレーションで出した最適値がまさに最適値であったことになる。

一方、物理規格の中には変調方式が含まれている。変調方式はもともとのビットをひとまとめにして、

Wordとして定義する。もし、もともとの信号に無音状態が続くと0だけが並んでディスク上には、何も記録されないなどという不都合を防ぐため、もともとの信号をある長さのビット列をWordとして規定し、Wordに対して、記録信号を定義する。これを変調と読んでいるが、記録される信号のWordは必ず1を挿入して、ゼロが続く状態を回避している。これが変調であるが、CDでは8-14変換という変調方式(EFM)が用いられていた。DVDでは、最終的には、8ビットを、16ビットに変換する8-16変調が用いられている。

これに対して、筆者は8ビットを15ビットに変換することで、同様の信号が得られることを示し、効率だけでなく、諸特性で上回ることを示したので、絶対に採用されると思っていた。しかし、このシステムを判断するIBMの技術者が、ともかくPhilipsに何らかの規格を担当させたいという政治的な配慮から、DC成分の含有量に目を付けて、8-16変調では、8-15変調よりDC成分が少ないと言い出して、8-16変調を恣意的に選択して、8-16変調に決ってしまった。

その前、筆者はEncodeの方式を少し変更して、8-15変調でもDC成分が8-16変調よりもDC成分を減らすことが可能な方式を見出していた。もともと8-15変調のほうが、効率もよくDC成分も問題にならないくらいに抑えられていたので大丈夫と判断していたため、そのまま、比較する話になり、結局、判断するIBMの技術者は、Philipsの技術を採用するのが目的で、どうしてもよいDC成分に目を付けて、8-16変調

筆者の提案した8-15変調方式

筆者は8-16変調方式より効率がよく、性能的にも有利な8-15変調方式を考案して提案した。必ず採用されると信じて、変調方式の性能の判断のパラメータを検討して、すべてにおいて、8-15変調が勝つと思っていたが、実際は変調方式の性能パラメータにDC成分の含有という項目があり、これが少し劣っていたため、Philips方式の採用になった。DC成分は変調した信号にDC成分が存在すると、読み出しの時に、信号の平均値がふらついて、エラーが出やすいというものであるが、実際は、読み出しの時に、DC信号を抑圧すればよいので問題はない。筆者はさらに、変調方式を工夫して、DC信号を8-16変調より減らす方式を考案したが、8-15変調が当然採用されるものと、信じていたため、さらなる改良を提案しなかった。ところが、どちらを採用するか段階で、8-16の方がわずかにDC成分が少ないという理由で、政治的に8-16が採用されてしまった。勝負は一瞬の油断が負けを招くが、このときは勝つ手段を用意していたにもかかわらず、負けてしまったのは誠に残念である。判定をする人間が、何とかPhilipsのメンツを立てようと思っていたことを考慮すれば、絶対にスキのない提案にすべきであったが、まさに一瞬の油断が負けを招いてしまった。ただ、Philipsは、ヨーロッパでは強大な政治力を持っており、輸入禁止になっていた製品がPhilipsが輸出するようになると、輸入が認められるなど、法律まで変える政治力を持っている。ヨーロッパにおけるDVD普及には独占禁止法に触れるという心配があり、米国では司法省に説明を行ったが、ヨーロッパではPhilipsのおかげで、このような政治的問題は全く起きなかった。

が良いと判断し、筆者の考案した方式は採用にならなかった。

米国人は Unfair と言われることを極端に嫌うが、実際にやることは Unfair な場合もある。この辺は国際的な規格化の場合は忘れてはならないことである。日本語の談合は英語になっているが、実際の交渉では、さまざまな局面で、Fair であることばかりが利口な対応でないことを日本人は心得ておくべきである。個人的には特許料収入が数千万円吹っ飛んでしまったことになるが、それ以上に、自分の技術が入らなかったことで悔いの残る結果であった。

3.5.2 論理規格

論理規格は記録する信号を 8 ビットで 1Word として、その信号の論理的な意味を規定する。1Word は DA 変換の時のサンプリング点の信号の大きさを表現しており、Video 信号は 8 ビット変換である。CD 音声は 16 ビットであるから、音声の方が信号を細密に Encode/Decode して量子化ノイズを減らしている。これは人間の感覚に基づいて決められた規格で、画像は 8 ビットで十分で、ノイズも気にならないが、音声は 16 ビットでも不満な人がいるが、量子化ノイズが人間の感性では、16 ビットでぎりぎりということである。最近では、オーディオ愛好家の間では、24 ビット、96 kHz サンプルが好まれるようになった。

アナログ時代はレーザーディスクを例にとれば、トラックピッチ、最小のピット長さなどの、限界数値が初めから決まっておき、それに基づいて、記録信号も決まるため、自由度は少ない。

デジタル信号記録では、MPEG-2 圧縮方式の採用により、信号量の圧縮が行われているため、自由度が増している。MPEG-2 圧縮には、Constant Bit Rate (CBR) と、Variable Bit Rate (VBR) の方式がある。放送の場合は、ビットレートは常に一定にしなければならないので、CBR であるが、DVD の場合は、コンテンツに応じて、信号レートを変化させる VBR である。再生では、VBR は、メモリーに信号を一旦格納して、Decode の後で、Video 信号として再構成して、実時間で表示する。デジタル信号処理とアナログ信号処理との、根本的違いは、デジタル信号処理には、メモリーがあることである。アナログの場合、放送を受信する場合と同じく受信した信号は、復調して、そのまま利用する以外にないが、メモリーがあれば時間的な制約条件はなくなり、例えば、ディスク上の信号を合成するといった処理も可能である。メモリーは時間の制約を取り払い、再生環境を飛躍的に向上させ

た。また MPEG-2 などの信号圧縮は、時間的に重複した信号を、メモリーに置き換えて、重複を減らすことにより初めて可能になったのであり、メモリーの存在は、真に信号処理に革命をもたらした。

3.5.3 アプリケーション規格

アプリケーションの規格はデジタル信号として記録される原信号を規定したもので、例えば、映画の記録とかデータの記録とか内容に関する規格である。通常、アプリケーション規格がユーザから見て利用可能な記録信号（映像、音楽など）を表しており、普通の商品企画はアプリケーション規格に基づいて規定される。

DVD のビデオ信号は画像が Istream であるが、それに付随する音声信号は英語、仏語、独語、スペイン語などの中から 3 か国語の信号が入っている。日本では日本語のアフレコもあるが、字幕による音声信号表示もある。字幕も、画面にオーバーレイして、字のフォントも工夫したものもあるし、キャラクタージェネレータによるアルファベット表記もある。これにより、市場に対応して、数か国から数十か国まで、音声の記録は可能であり、世界市場が同一ディスクで対応可能となる。

このような要求は、ハリウッドスタジオの要求で作られた仕様である。Hollywood は DVD の始まりの時に、DVD に対する Wish List を作成し、この中に上記要求が盛り込まれた。Player に対しては Region Code と言われた Player の再生地域を規定する Code が割り振られた。Region の合わないディスクは再生できないようになっている。ただ、このような不自然な制限は逆に、これを破って何でも再生できる Region Free の Player の市場価値を高め、宣伝文句でこれは Region Free Player であるなどとするメーカーも現れて、有名無実になりつつある。当初、Warner の主張を入れて DVD-Forum の議長国として、Samsung などに視察に行ったこともあるが、結局は中国や東南アジアでは Region Free が横行して、今ではほとんど実効はなくなっている。

この 3 つのレイヤーのうち、ディスクタイトルを作る側からは、アプリケーション規格だけが記録されるコンテンツに直接関連している。コンテンツの長さ、総ビット数などは実際の MPEG-2 エンコーダーにより得られた結果をもとに調整される。通常、画像の複雑さを Activity と称しているが、これはある程度エンコードしてみないとわからないため、2パスエンコーディングが行われる。しかし、全部の画像を 2パスで行うのは負担が大きいので、最初のパスでは、画



像の中の数が所の部分を抽出してエンコードして、その結果から、全体をエンコードした時にどのぐらいのビット数になるかを推定して、2回目に完璧なエンコードを行う。一般には、画質とビット数はトレードオフの関係にあり、ビット数が大きすぎてしまう場合は原画像を前処理して、少し、ぼかすなどの処理を行い、最終的なビット数を調整している。

3.5.4 記録型 DVD

DVD Disc の種類は、上記の通りである。

ROM ディスクの製造の場合は、高い精度の記録機の使用が可能であるが、記録可能ディスクでは、普通の居住環境で大量生産の安価な民生用記録機で書き込まれるので、記録前のディスクには、案内溝が作られ、同期信号も記録されている。これらの信号はROM ディスクを作るのと同じ工程で精度の高い案内溝などが記録される。案内溝には、wobble (溝を少し左右にゆらす) 信号が記録され、この信号は極めて高い精度の発振機により記録される。この wobble 信号に、記録信号のクロックを同期させて、一般家庭での記録でも、記録信号のふらつきが無いようにしている。これにより、記録可能ディスクが一般家庭でも使用可能となっている。

記録可能ディスクは3種類ある。R ディスクは Write Once (一度だけ記録でき変更できない) で、RW ディスクは Read Write Disc (何度でも記録再生が可能であるが、構造は R ディスクと同じ) である。一方、RAM ディスクは Random Access Read Write Disc (何度でも記録再生が可能なディスク) である。

R のディスクでは記録膜は染料で、一度記録すると変更不能である。R のディスクは変更不能と言うところに価値があり、大切な記録の保存用に用いられる。国会などで、記録文書の書き換えなどが問題化しているが、R ディスクであれば、書き換えられないので証拠性も担保され、記録として有効である。一般でも、一度記録してそのまま保存して、書き換えはほとんど行われないので、ディスクの需要としては R ディスクがほとんどである。

RW と RAM の記録膜は相変化膜であり、書き込みにより反射率が変化する。記録信号レベルにより相変

化膜の応答は異なり、小さな読み出し信号では、記録信号は影響を受けない。これに対し、強い光ビームで記録した場合は、いったん記録膜が溶けて、急冷することにより、アモルファス膜が形成される。アモルファス膜は反射率が最も低い一方、中間のレベルの光はアニーリング効果があり、膜は再結晶化するので反射率は上がる。このため、強い光で記録し、中間の強さの光で消去し、小さなパワーの光で読み出すという3段階のパワーコントロールを行っている。

RAM はセクター構造を持ち、セクターごとの書き換えが可能であり、記録信号の編集ができるが、ほとんどの人は R で十分であり、一度記録したらそのまま保存になることが多い。これでディスクの枚数がどんどん増えるので、市場としては大きくなる。実際にディスクの売り場を観察したが、ほとんど R ディスクであり、RW は少ないが一定数は売られているものの、RAM はほとんど売られていない。半導体のフラッシュメモリーでも、書き換えられることはほとんど無く、一度記録したら、そのまま貯蔵されることが多い。メーカーとしては市場が大きくなるのでありがたいが、消費者の行動は、メーカーの技術者の予測とは違っている。

これらの信号記録時に、誤り訂正信号が付加される。誤り訂正信号は、Reed Solomon Product Code (リードソロモン積符号) と言われる信号で、信号をブロック化して四角のブロックを作り、これに対して、縦と横方向に誤り訂正信号を付加して、強力な誤り訂正能力を生み出している。この特徴は誤り訂正を縦方向と横方向で繰り返すことにより、回数を増やせば訂正能力が増し、より正確な結果が得られることにある。それでも訂正できない場合は、正しい信号の間の誤った信号を検出し、補間する、誤り補正と言う方式が用いられている。この場合は、必ずしも正しい信号とは言えないが、実際に補間まで行くのは、極めてまれでほとんど起こらない。また、補間の場合を人間が検出できるほどの欠陥にはならない。通常、DVD を再生している時にエラーが出ることはほとんど無く、再生は極めて安定している。

3.6 コピープロテクション

DVDの規格がほぼまとまった段階で、突然、HollywoodのスタジオがDVDの画質が予想以上に良いことに驚き、VHSで用いられていたマクロビジョンのコピープロテクションでは駄目だと言い出した。マクロビジョンはVHSなどの記録の際に、色同期の信号を劣化させて、2度コピーすると画質が落ちるというもので、もともとVHSでは画質が劣化するので、問題ないとされていた。

しかし、DVDではデジタルデータであり、違法コピーが行われても画質は全く劣化しない。このため、本格的に暗号化によるコピープロテクションを要求するようになり、これを議論する会議として、CPTWG (Copy Protection Technology Working Group) が設定され、Warner、Disney、Fox、Paramount、Universal、Columbia Tri-star (Sony Pictures) に加えて、アメリカの暗号の専門会社、日本の電気会社などが集まり議論が行われた。

元々、米国の大統領は弁護士出身で、米国では、同業者が集まって議論するときは弁護士が必ず同席しなければならないという、極めて効率の悪い仕組みが出来ており、この弁護士は問題を解決すると自分の仕事がなくなるため、常に問題を発見することに集中し、問題を解決する気は全くないため、議論は延々と続くのが常である。米国では、弁護士は州ごとの試験で資格が取れ、日本と違って国家試験ではないので、かなりハードルは低いと思われる。米国の社会はこの弁護士のために相当効率が落ちているが、日本から見れば、それで助かっている面もあると思われる。

大統領は大抵、弁護士であり、弁護士に有利に社会の仕組みが出来ている。このCPTWGで、コピープロテクションのために、コンテンツを暗号化することが決定された。この暗号化システムの提案が、参加者からなされたが、非常に頭のよさそうな暗号屋というより数学屋が集まってきて、自分の暗号がいかによさそうかについて得意満面で提案した。

ここにおいて、松下電器から現在DVDで使われているC2暗号の提案があった。この暗号は鍵が当時米国政府の規制で40ビットまでしか認められなかった為に、全く弱い暗号で、総当たりアタックで簡単に破られるぐらいの強さであった。このC2はCryptomeria Cipherの略であるが、Cryptomeriaはラテン語で、暗号と言う意味と、杉と言う意味がある。これは、DVDの成功のために、非常な努力を重ねて、過労でなく

なった松下電器の杉原氏を顕彰して、筆者が見つけた言葉であるが、松下電器のこの暗号提案はCPTWGで現地法人の米国人が説明した。この前の段階で、松下からこの説明を受けた時に、筆者はCPTWGでの頭のよさそうな暗号屋の様子から、技術論では到底敵わないと見極め、ライセンス料を無料にすることを決断し、東芝と松下のDVD関係者を説き伏せて、CPTWGで提案してもらうことにした。

CPTWGでは、この提案の説明の後の質疑応答で“それでライセンスはどうするのかね”と言う質問があった。そこで、松下の現地法人の米国人がライセンス料は“Essentially free”と答えて、会場がシーンとなった。暗号屋はこれで儲けようにも、只には勝てないため、誰も黙ってしまった。このとき筆者は心の中でしてやったりと思って、飛び上がるぐらいうれしかったのを覚えている。

この暗号の鍵は40ビットですぐに破られたが、暗号化してあるものを破って、平文で世の中にはば撒くのは犯罪となることから、十分に機能しており、こっそりコピーされるぐらいが普及にはちょうど良いと映画会社も納得して、DVDの成功の一因となっている。

ライセンス料は、最初の一時金だけ100万円として、不正を行うような会社が入ってこないようにして、ディスク一枚に対する課金はゼロになっている。5年ごとに更新と言う規則であるが、ライセンスを取らないものがつくれないので、500社ほどライセンスを受ける会社があり、鍵の配布などの運営会社の費用は十分にまかなわれている。

CPTWGは1995年の夏に、水、木、金の3日間開かれたが、最初の議論は休みなしで毎週行われた。筆者は出席前に、日本で日本の会社を集めて月曜日に会議を行い、火曜日に米国に出発し、火曜日に米国に着いて、水曜、木曜、金曜とCPTWGに出席し、土曜日に米国を出発して、日曜日に日本に着き、月曜日に日本で会議というスケジュールで、6週連続米国と日本の間を往復した。日本のメーカーの技術者が10人ほど行動を共にしたが、2人が入院、あとは途中で降りて、最後まで通して参加したのは筆者だけであった。さすがに、その時は顔色が土気色であるといわれた。

3.7 DVD規格の標準化⁽⁴⁾⁽⁵⁾

当初、1994年に発表されたSony/PhillipsによるMMCD (Multi-Media CD) 方式と1995年1月に発表された東芝、松下電器を中心とする8社によるSD

(Super Density Disc) 方式の2方式が存在した。しかし、ユーザから強い要望があったことから、フォーマットを統一することになり、SD 陣営8社と MMCD 陣営2社の合計10社による DVD Consortium が結成された。10社のメンバーは日立製作所、松下電器産業、三菱電機、Phillips、パイオニア、ソニー、Thomson、Warner Home Video、東芝、日本ビクターの各社から構成された。

1995年12月に、10社による共同提案としてDVD統一規格が発表された。

図3.10は9社を代表して発表の挨拶を行う西室泰三専務（東芝）、図3.11は記者発表に出席した9社の代表である。左から Warner Home Video、Philips GMBH、ソニー、松下電器、三洋電機、パイオニア、Thomson、日立製作所の各代表。

以後フォーマット作成が精力的に進められた結果、1996年8月にはDVD-ROM及びDVD-Videoのフォーマットが完成された。また、1997年4月にはDVD-RAM及びDVD-Rのフォーマットがほぼ出来上がり、ディスクのラウンドロビンテストの準備に入った。

このフォーマット作成と並行して各社の商品化も進み、1997年4月末には10社からDVD-Videoプレーヤが発売され、タイトルソフトも100種を超えるまでになった。



図3.10 12月8日の記者発表会で出席した9社を代表して挨拶する東芝の西室泰三専務(当時)⁽⁶⁾



図3.11 記者発表会に出席した9社の代表⁽⁶⁾



図3.12 右端：長谷亘二さん その左：矢嶋利勇さん
左端：筆者

前にも少し触れたが、DVDの立上げでは東芝の矢嶋利勇部長（当時）が企業間及び米国との交渉、長谷亘二部長（当時）が社内の調整と予算を仕切ってくれたので、筆者は技術のとりまとめに専念できた。3人がそれぞれの特徴ある持ち味を生かして、うまくまとめることができたといえよう。

交渉の立役者の矢嶋さんは表に出ることを極端に嫌い、Fixerに徹していた。一方、長谷さんは社内の調整役とワーナーとの間で、予算を決めたりする時に活躍した。1993年当時、筆者はまだ、社内の人材には詳しくなかったので、筆者の元上司で家電研所長の田尻昶夫さんにアメリカ人との交渉は誰がいいかと聞いたところ、「それは矢嶋だな」と言われたので、矢嶋さんに三顧の礼で頼みに行き、やっと引っ張り出しに成功した。

実は東芝社内での矢嶋さんの評判はよくなく、誰も恐れて近づかないという状況だったが、筆者は何も知らないまま、とにかく、田尻さんの推薦を信じて矢嶋さんに賭けたところがあった。矢嶋さんは非常に怒りっぽく、周りが皆恐れて近づかないため、逆に情報不足になり、さらに怒る悪循環状態だった。筆者はそれを察して、悪い情報は最初に入れるようにした結果、筆者との関係は非常に良く、最後まで、パートナーとして、ともに協力してDVDの交渉に当たられた。

矢嶋さんとは、一回だけでもめたことがある。DVDのコピープロテクションの議論をするCPTWG (Copy Protection Technology Working Group) が、米国で開かれ、DVDのコピープロテクションに用いているCSS (Content Scramble System) の暗号を松下電器の方式を採用するときだった。会議には暗号の専門家であつた頭のよさそうなエンジニアが沢山参加しており、話が纏まりそうになく、松下電器が提案する方式

は技術的にはとても勝てそうになかった。そこで、ライセンスを無料にすることを矢嶋さんに提案し、「松下電器の了承を取ってください」と言った時、「松下が非常に良いものだと言っているのに、ただにするなんてできるか」と言って、真っ赤になって怒る最中、「ともかくただにしないと纏まりません。後は松下と交渉してください」と下駄を預け、矢嶋さんを部屋に残して退室した。

この後、松下電器が無償にすることを了承し、米国人担当者が、CPTWGでシステムの説明をし、最後に「それでライセンス料はどうするのだ？」と質問があると、松下電器が、「実質的に無料」と答え、会場が一瞬シーンとなった。どんなにいいシステムでも、ただには勝てないということで、筆者は、「やった!!!!」と心の中で、万歳を叫んだ。

文 献

- (1) 山田尚志：DVD 一技術と業界ニーズの結合による成功一、電子情報通信学会誌、Vol.87, No.1, pp.10-15 (2004)
- (2) 土井利忠、伊賀章：デジタル・オーディオ基礎理論と最新技術、ラジオ社、1982年4月
- (3) 桜井優、新村一治、Mikhail Tsinberg：DVDエンコーダシステム、東芝レビュー、Vol.51, No.10, pp.23-26, 1996年10月号
- (4) 三菱総合研究所：標準化活動の事例、総務省 Home page より、
http://www.soumu.go.jp/main_content/000046854.pdf (2019年2月7日現在)
- (5) 菅谷寿鴻：S2-5 DVDの現状と高精細DVDへの展望、1997年映像情報メディア学会年次大会、pp.418-421、1997-7
- (6) 写真提供：株式会社東芝

4 | DVD フォーマット

4.1 概要

DVD では CD の 6 倍の 4.7 GB の高容量が達成されている。この容量はハリウッドの映画会社との議論を経て決まったものであり、劇場映画の 90% 以上が 1 つのディスクに入ることから 135 分の録画時間が決定された。音声は 5.1 チャンネルの AC-3 の圧縮音声を 3 言語入れることから 384 kbps × 3 で約 1 Mbps が必要とされた。ビデオは MPEG-2 の圧縮ストリームで 3.5 Mbps が画質から決まり、字幕などを加え 4.7 Mbps のストリームを 135 分記録することから容量が定められた。DVD の標準ビットレートと容量を図 4.1 に示す。

DVD の基本スペックは 1995 年 12 月に 10 社によって構成された DVD Consortium によって制定された。その後、当時の通産省から日本の国際貢献の一環として国際標準化への強い働きかけがあり、また、DVD 普及にも役立つとの判断があって、国際標準化が推進されてきた。

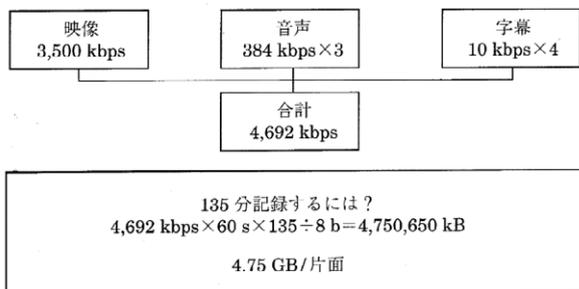


図 4.1 DVD の標準ビットレートと容量⁽¹⁾

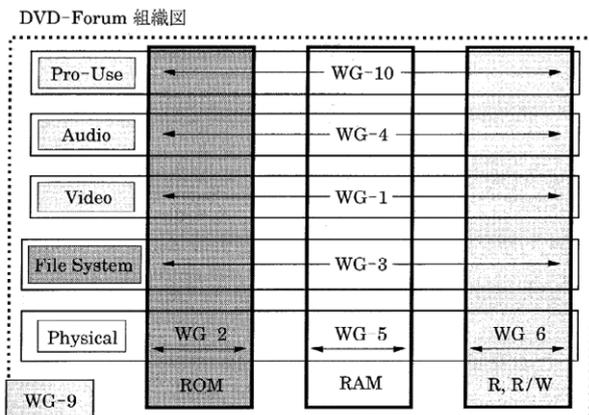


図 4.2 DVD のフォーマットと DVD Forum の構成⁽¹⁾

1997 年に DVD Consortium の組織改編が行われ、80 社を超える企業が参加する DVD Forum として、DVD 規格の普及と新しい技術を採用した規格策定作業が始まった。DVD Forum は 200 を越える会社が加盟しており、会社の存在地も世界中にまたがっている。そのフォーマット作成 WG (Working Group) の関係を図 4.2 に示す。

基本的には物理規格とファイル規格、アプリケーション規格をマトリクス状に定義して、ファイルとアプリは共通化して全体の統一を図っている。物理規格としては ROM、RAM、R/RW があり、アプリケーション規格としては DVD-Video、DVD-Audio、DVD-Video Recording、Video Streamer 規格がある。これら決定された主要規格を表 4.1 に示す。

表 4.1 主要 DVD 規格の発行状況

年月	規格
1996年 8月	DVD-ROM (1層:4.7 GB 2層:8.5 GB) DVD-Video 規格
1999年 9月	DVD-RAM (4.7 GB) DVD-Video Recording 規格
1999年11月	DVD-RW (4.7 GB)
2000年 5月	DVD-R (4.7 GB)

DVD の国際標準化は DVD Consortium と DVD Forum の規格 (英文) をベースに、ECMA 規格* と JIS を同時に開発し、JIS 化の目処が付いたところで ECMA 規格のテキストを用いて日本からファーストトラック手続きを用いて、国際規格** 提案 (DIS 提案) を行う方法がとられた。

* ECMA 規格：Ecma-International の規格。欧州の情報・通信関係の標準化団体で、以前の欧州計算機協会

** 国際規格：ISO/IEC 規格で、JTC 1/SC 23 が担当

表 4.2 第 1 世代の DVD 規格⁽²⁾

DVD Book	ECMA規格	JIS	ISO/IEC規格
DVD-ROM ver1.0 120 mm:4.7 GB/SL, 8.54 GB/DL 80 mm:1.46 GB/SL, 2.66 GB/DL	ECMA-267:1997 1st Ed.	JIS X 6241:1997	ISO/IEC 16448:1999 (120 mm)
	ECMA-267:2001 3rd Ed.	JIS X 6241:2004	ISO/IEC 16448:2002 2nd Ed.
	ECMA-268:1997 1st Ed.	JIS X 6242:1997	ISO/IEC 16449:1999 (80 mm)
	ECMA-267:2001 3rd Ed.	JIS X 6242:2004	ISO/IEC 16449:2002 2nd Ed.
DVD-RAM ver.1.0 120 mm:2.6 GB/SL	ECMA-272:1998 (Disk)	JIS X 6243:1998	ISO/IEC 16824:1999 (Disk)
	ECMA-273:1998 (Case)	JIS X 6244:1998	ISO/IEC 16825:1999 (Case)
DVD-R ver.1.0 120 mm:3.95 GB/SL	ECMA-279:1998	JIS X 6245:1999	ISO/IEC 20563:2001

表 4.2 に第 1 世代の DVD フォーラム規格、ECMA 規格、JIS、ISO/IEC 規格の対応関係を示す。

ECMA では TC31 が DVD などの光ディスクの規格化を担当した。ECMA の事務局長を 30 年間も務めた経験のある Dara Hekimi 氏（東芝コンサルタントで、90 mm/1.3 GB 相変化光ディスク（ISO/IEC 14760）の国

際標準化を担当）がエディタとして直接担当することで、ECMA 規格化はスムーズに展開できた。

一方 JIS 化は光産業技術振興協会の光ディスク標準化委員会が原案作成を担当し、JISC（日本工業標準調査会）がファーストトラック手続きを用いて、国際規格の提案を行った。

DVD 規格と特許問題⁽²⁾

DVD-ROM および第一世代 DVD-RAM の JIS 化と国際規格提案では、DVD Consortium の 10 社から特許声明書を出してもらうことで、特許問題はクリアできた。

ところが、1999 年に DVD 特許のライセンス団体 6C ライセンス* と 3C ライセンス** がライセンス開始を発表したことで、第一世代 DVD-R では特許声明書を出すのを渋る会社が出てきた。「DVD Forum が設立され、従来の DVD Consortium はすでになくなっている。フォーラムの規格は 10 社だけのものではない。それぞれの特許ライセンス会社がライセンスを開始している。」というのがその理由であった。1 年がかりで特許声明書を揃え、2001 年には何とか第一世代の DVD-R を国際規格として成立させることができたが、今後の国際標準化の難しさを暗示するものでもあった。

* DVD6C（東芝、日立製作所、松下電器、三菱電機、日本ビクター、タイムワナー6社、現在9社）
1998年設立（1999年ライセンス開始）

** DVD3C（ソニー、フィリップス、パイオニア3社、現在4社）
1998年設立

DVD 規格と特許問題—第 2 ラウンド⁽²⁾

第二世代の DVD-RAM（容量：4.7 GB/SL）については 2001 年に ECMA 規格（ECMA-330）とこれを翻訳した JIS 原案が作成された。2002 年に JIS 原案をベースに ECMA 規格が改訂（2nd Ed.）され、日本から DIS 提案する準備は整った。ところが、経済産業省から JIS 承認のためには各社の特許声明書に加えエビデンスとなる特許リストが必要など、第一世代に比べはるかに厳しい条件がつけられ、JIS から国際規格への道は事実上閉ざされてしまった。この時期は省庁再編成によるミッションの変更や 2002 年に起きた JPEG の特許問題（いわゆるホールドアップ事件）があり、これらが影響したものと見られる。状況打開のため、経済産業省・光産業技術振興協会・光ディスク標準化委員会の 3 者で、DVD の国際標準化に関する話し合いを行い、日本からファーストトラック手続きで DIS 提案することは断念し、代わりに ECMA から DIS 提案を行うという結論となった。

2002年12月のECMA総会で第2世代DVD-RAMのECMA規格化とDIS提案が承認された。翌2003年にはECMAからDIS提案され2004年にISO/IEC 17594として制定された。JISについてはこの制定を受け東芝DVDライセンス(株)(6Cライセンス)と日本フィリップス(株)(4Cライセンス)から特許声明書を提出してもらうことで、2005年、JIS X 6246

として制定された。これ以降、DVD-R、DVD-RW、DVD-R DL、DVD-RW DLと国際規格とJISが制定されてきたが、いずれもDVD RAMと同じ手順が踏襲されている。

表4.3に第2世代の記録型DVDの規格と対応関係を示す。

表 4.3 第2世代の記録型DVD規格⁽³⁾

DVD Book	Ecma規格	JIS	ISO/IEC規格
DVD-R ver. 2.1 120 mm:4.7 GB/SL	ECMA-359:2004	JIS X 6249:2009	ISO/IEC 23912:2005
DVD-R DL ver. 3.0 120 mm 8.54 GB/DL	ECMA-382:2008	JIS原案作成中	ISO/IEC 12862:2009
DVD-RW ver. 1.1 120 mm:4.7 GB/SL	ECMA-338:2002	2003年JIS原案作成 JIS X 6248:2007	ISO/IEC 17342:2004
DVD-RW DL ver. 2.0 120 mm:8.54 GB/DL	ECMA-384:2008		ISO/IEC 13170:2009
DVD-RAM ver. 2.1 120 mm:4.7 GB/SL	ECMA-330:2002 2nd Ed.(Disk)	2001年:JIS原案作成 JIS X 6246:2005	ISO/IEC17592:2004(Disk)
	ECMA-330:2005 3rd Ed.		
	ECMA-331:2002(Case) ECMA-331:2004 2nd Ed.	JIS X 6247:2005	ISO/IEC 17594:2004(Case)

4.2 DVD-Videoの規格⁽³⁾

DVDは劇場レベルの映画を家庭でも手軽に再現できる映像メディアを第一の目標にしたので、DVD-Videoの規格が最初につくられた。その後、映像、オーディオ、コンピュータを融合したマルチメディア時代の記録再生メディアへと進展していった。

4.2.1 システム構成

表4.4にDVDフォーマットの構成を示す。

DVDのシステム構成はディスクの構造、変調方式、

エラー訂正方式等を規定する物理レイヤがあり、その上にファイルレイヤ、さらにアプリケーションがある。

物理レイヤでは基本の信号記録フォーマットは統一されているが、記録再生用と再生専用では若干異なっている。ファイルレイヤではUDFとCD-ROM互換のためのISO 9660が採用されている。

UDFブリッジはUDFの再生部分を中心として取り出したサブセットとISO 9660が併記されている。このようなファイル構造をもつため、DVD-VideoディスクはDVD-Videoプレーヤだけでなく、DVD-ROMドライブでも再生可能になっている。

表 4.4 DVDフォーマットの構成

階層	DVD-Video	DVD-Audio	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM
アプリケーション	映像/音声	音声	データ	データ	データ
論理レイヤ	UDFブリッジ (UDF、ISO-9660)				UDF
物理レイヤ	セクタフォーマット、ECC、変調方式				
	ディスク仕様(再生専用)				専用カートリッジ

UDF: Universal Disc File System

ECC: Error Correction Code

4.2.2 物理レイヤ

DVD Disc の outline を図 4.3 に示す。二つの Substrates があり、その中の一つは透明である。Center hole と Clamping area でセンタリングとクランピングが行われる。ディスクの厚さは図 4.4 のように定められている⁽⁴⁾。また、2層ディスクの一例が図 4.5 のように規定されている。

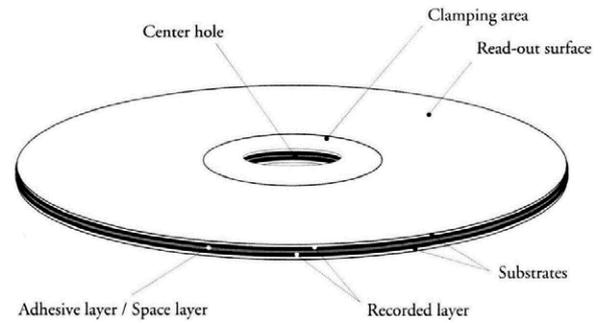


図 4.3 Disc outline⁽⁴⁾

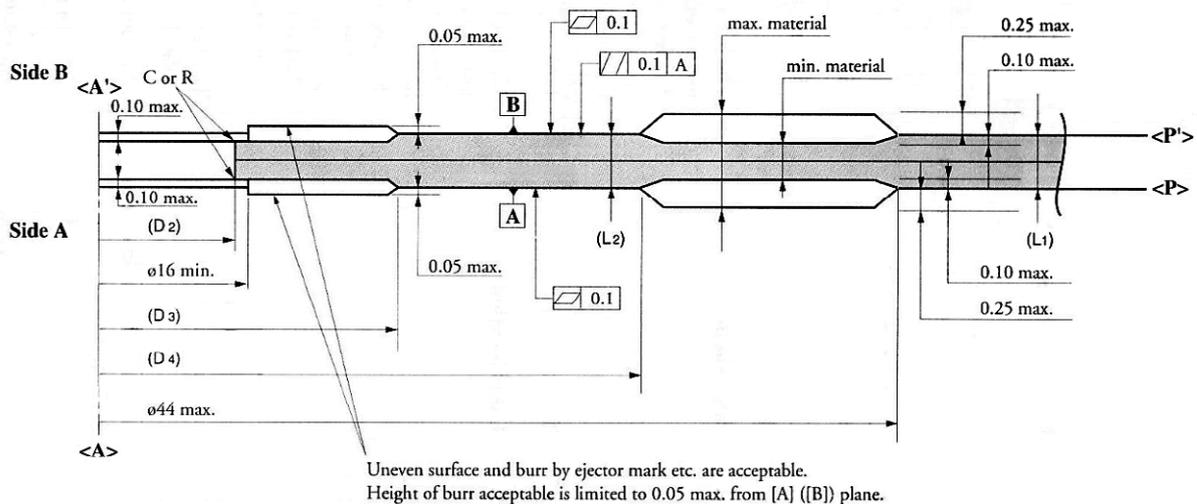


図 4.4 Disc の厚さ⁽⁴⁾

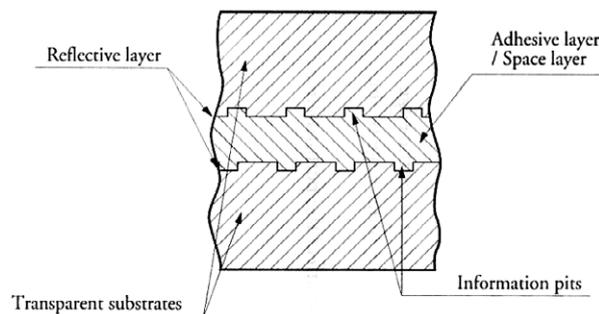


図 4.5 2層 Disc の一例⁽⁴⁾

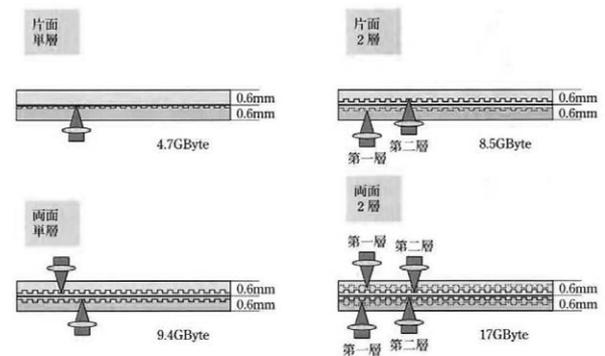


図 4.6 再生用 DVD の構造⁽⁵⁾

再生専用 DVD には図 4.6 に示すように 4 種類の構造がある。片面 1 層ディスクが DVD の基本構造である。0.6 mm 厚のディスクにピットを形成し、アルミの反射膜を蒸着、これと同じ厚さのディスクを貼り合わせたものである。ディスクに対し、照射レーザー光は直角に入る必要があるが、ディスクが傾くと正確な信号の再生に影響を与える。この影響はディスクの厚さが厚いほど、またレーザー光の波長が短くなるほど大きくなる。記録容量は 4.7 GB であり、LD 以上の画質の映画を 2 時間以上記録できる。両面 1 層ディスクは貼

り合わせる各々のディスクにピット面を設けたものであり、ディスクの容量は 9.4 GB が可能になる。

片面 2 層ディスクは図 4.5 のように、貼り合わせる 2 枚のディスクの各々にピットを形成し、1 層目のピット面には半透明膜を他のピット面は通常アルミの蒸着をする。これにより、片側から 2 つのピットを読むことができる。この構造では第 1 層と第 2 層のピット面の距離を数十 μm に保つ必要があり、ディスク製造が難しく、片面 1 層方式に比べ価格が高くなる。

トラックピッチは 0.74 μm 、最小のピット長は 0.4

μmで、CDのほぼ半分である。これを読取るためにはより小さいビームスポットが要求されるが、これに対してレーザの波長を650 nmと短波長化し、対物レンズのNAを0.6と大きくしている。

ディスクの回転方式はCLV (Constant Linear Velocity)方式で、回転線速度一定で3.47mである。

デジタル変調方式は8-16方式を採用している。これは8ビットのデータを16ビットのデータに変換して記録効率を上げるものである。記録しようとするデータは2kバイト単位に分ける。これをデータセクタと称する。図4.7はデータセクタのレイアウトである。

データの先頭が4バイトのIDコードで、そのエラー訂正用のコード2バイトが後に置かれる。訂正コードはリードソロモンコードである。

6バイトのリザーブ信号の後、2048バイトのデータが配置される。最後にデータのエラー検出用のCRC

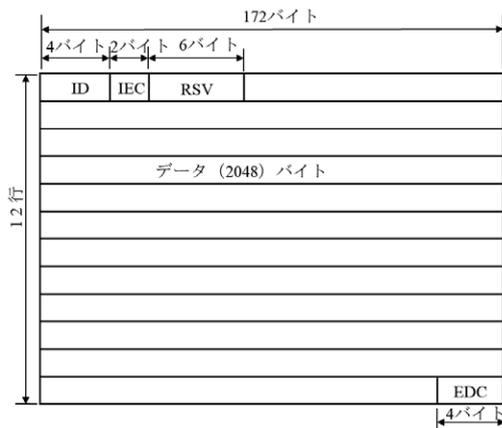


図 4.7 データセクタ レイアウト

コード4バイトが置かれる。図4.8にエラー訂正のためのデータ構成を示す。エラー訂正コードは16セクタのデータに対して付加される。16個のセクタを縦に並べ、セクタを縦断する縦の192バイトに対して外パリティ (PO) 訂正コードを16個生成する。同様に、横列1列の172バイトに対して内パリティ (PI) 訂正コード10バイトを生成する。訂正コードはどちらもリードソロモンコードである。

本訂正方式はリードソロモンプロダクトコード (RS-PC) と称する。訂正能力はCDよりはるかに強力である。エラー訂正コードが付加されたデータを12行毎に区切り、各々の区切りの最後にPO訂正コードのうちの1ラインを順次付け加え、新たに1セクタのデータとする。これに図4.9のような91バイトのデータ毎に同期信号を加え、データ部分は前述のデジタル変調が加えられる。



図 4.8 エラー訂正のデータ構成⁽³⁾

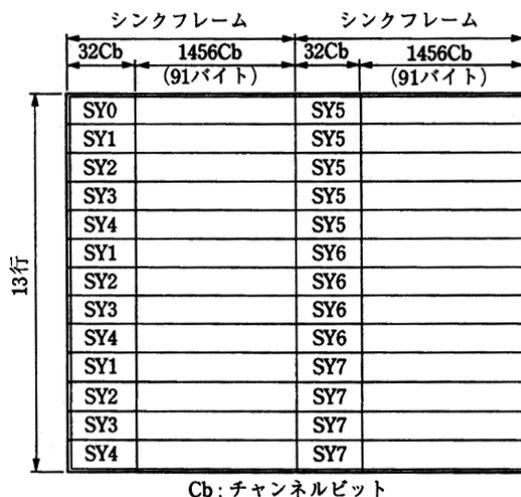


図 4.9 物理セクタの構成⁽³⁾

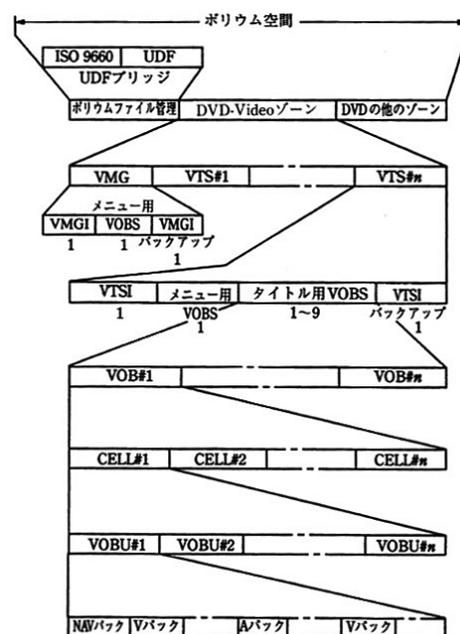


図 4.10 DVDの論理レイヤ構造⁽³⁾

4.2.3 論理レイヤ

DVD-Video の論理レイヤ構造を図 4.10 に示す。

DVD ディスクの全データ領域を表すボリウム空間には初めボリウムおよびファイルの管理領域が置かれ、次に実際のビデオデータが記録される DVD Video ゾーンがあり、さらに必要に応じて他のゾーンがある。

ボリウムファイル管理領域には UDF ブリッジが配される。DVD Video ゾーンではまず VMG (ビデオマネージャ) が置かれ、次に VTS (ビデオタイトルセット) が置かれる。

VMG はコンテンツ全体に関わる情報が記載されており、さらにそれらの情報を記載する VMGI (ビデオマネージメントインフォメーション) と全体のメニュー画面の情報であるメニュー用 VOBS (ビデオオブジェクトセット) が記載される。VTS (ビデオタイトルセット) には各タイトルの情報が記録されている。初めの VTSI (ビデオタイトルシステムインフォメーション) はタイトル内の共通の制御情報が記載されている。そのあと具体的な映像、音声等のデータが記録される。

初めはメニュー用の VOBS、次にタイトル用の VOBS である。最後に VTSI のバックアップが配置される。タイトル用の VOBS は最大 9 個までの VOB (ビデオオブジェクト) からなる。VOB は通常の再生の最小単位である CELL からなり、CELL はさらに再生の単位である VOB (ビデオオブジェクトユニット) からなる。VOBU は単独の単位では再生されず、後に述べるマルチシーン等の時の再生単位である。VOBU は 0.4 秒から 1 秒の間の再生データの集まりであり、パックと呼ばれる 2048 バイト単位で区切られた映像データ、音声データ、サブピクチャが時分割で多重化されたものである。また、先頭にこれらの制御

のための NAV パック等が配置される。

このパックの連なりはビットストリームと呼ばれ、パックの構造は MPEG-2 の構造に準拠する。パックはデータセクタに対応するものである。ここで、VOB までがファイル構造を持ち、UDF ブリッジで管理される。

DVD Video での再生制御は PGC (プログラムチェーン) を基本とする。PGC は再生のためのプレゼンテーションデータである VOB とその制御を行う PGCI (プログラムチェーンインフォメーション) からなる。図 4.11 に示すように、PGCI には初めに動作するプリコマンドがあり、その後 VOB 中の CELL を取り出し適宜再生をはかるセル配列記述があり、最後にポストコマンドがある。セル配列記述は CELL のいくつかをまとめたプログラムの単位があり、この単位での繰り返し、移動が可能である。またプログラム内での CELL の移動も可能である。このような構造を持つため、メニュー画面なども組合せた広範囲なインタラクティブ性を持たすことができ、新しいインタラクティブなソフトを作ることができる。

シームレス再生も DVD Video の大きな特徴である。これは時間的に同時進行するいくつかのコンテンツのうちの 1 つを瞬時に再生するもので、構造的にはコンテンツを VOB の整数倍の単位で分割し、その単位でインタリーブして VOB のデータとするものである。再生時には同一のコンテンツの部分のみ拾い集めて再生を行うようにする。

4.2.4 DVD-Video の機能

映像は MPEG-2 圧縮信号で、解像度は 720 × 480 である。放送方式と同じように NTSC 映像と PAL 映像に対応している。MPEG-2 は可変ビットレートを採用し、可変ビットレートは最大 9.8 MB/s が可能であ

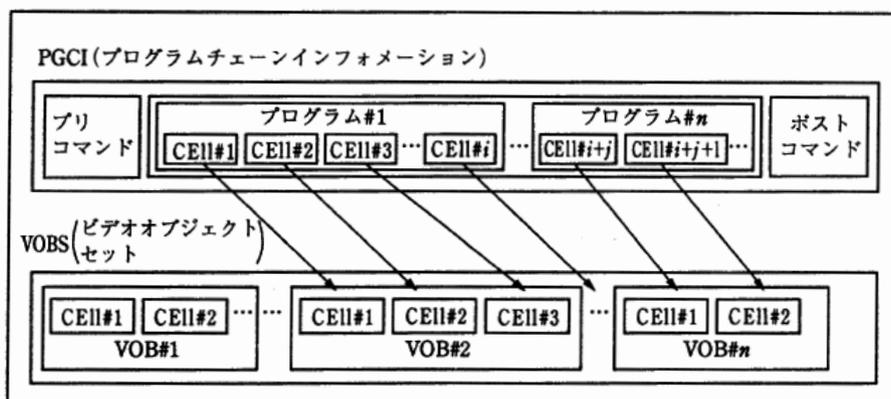


図 4.11 PGC (プログラムチェーン) 構造⁽³⁾

る。16:9の映像を4:3のモニタに表示する場合は上下が黒い帯となるが、アスペクト比は正しいレターボックスモードと4:3に合わせたパンスキャンモードがあり、プレーヤで自由に設定できる。

図4.12に映像と音声およびサブピクチャの関係を示す。音声は8チャンネルまで可能で、5.1チャンネルのサラウンドシステムが採用されている。NTSC映像にはドルビーAC-3システムの音声 조합がされる。ドルビーAC-3は前方3チャンネル、後方2チャンネルの20 kHzまでの帯域の独立5チャンネルと低域用の1チャンネルを持っている。また、PAL映像ではMPEG-2 オーディオが採用されている。

オプションとしてNTSC映像とMPEG-2音声の組合せ、およびPAL映像とAC-3音声の組合せが規定されている。また、CDと同じ非圧縮のリニアPCMも可能である。サンプリング周波数は48 kHzまたは96 kHzであり、CDの2倍以上の48 kHzまでの周波数帯域が可能である。また、サンプリングビット数は16から24ビットまで可能であり、CDをはるかに越えた高音質が期待できる。サブピクチャは32カ国語までの字幕に対応できる。解像度は720×480であり、主画像と同じ鮮明度である。

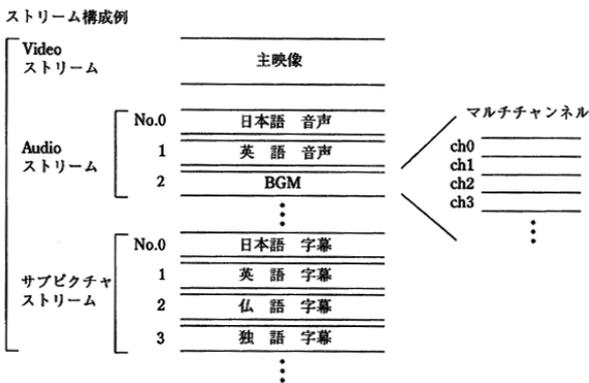


図4.12 プレゼンテーションデータストリーム構成⁽³⁾

サブピクチャは2ビット/ピクセルのビットマップと1600万色から16色を指定するパレットから構成されている。ビットマップは2ビットなので4色を表現できるが、これらをパレット内の16色のどれに対応させるかはサブピクチャ制御データにより指定できる。この指定は1ラインあたり最大8回まで変更することができる。DVDの機能としての特徴はマルチシーン機能とマルチストーリー機能である。マルチシーンではコンサートや舞台のシーンをいろいろな角度からカメラにおさめ、それを同時に記録することができる。ユーザは見たい画面を切れ目なく瞬時に変え

て見ることができる。これにはシームレス再生が用いられる。

マルチストーリーはメニュー画で選択肢を表示し、その選択肢に応じたストーリーが再生されていくものである。そのほかペアレナタルコントロールがある。

DVDでは必要に応じコピーを防止するため、アナログおよびデジタルのコピープロテクト方式が採用されている。アナログ方式ではディスクの中のコードに従い映像信号中に信号を付加し、VTRに記録できないようにするものである。デジタル方式では映像音声信号はタイトルキーを用いてスクランブルを行い、ディスクに記録する。タイトルキーはディスクキーで暗号化され、さらにディスクキーはマスターキーにより暗号化され、同じくディスクに記録される。

プレーヤでは逆の手段で解読が行われる。なお、DVD-ROMドライブでは接続されるパソコンあるいはDVD再生ボードとの間でお互いの確認を行うオーセンティフィケーションを行い、さらにディスクキー、タイトルキーを再度暗号化してパソコン等に送られる。このようにすると、ディスクからのデータを他の記録媒体に記録しても、正しいキーの復号ができないと正しいデータ再生ができないため、不正なコピーが防止できる。

映画ソフトの発売時期は一般に気候、社会情勢等に左右されるので、世界の各地で異なるのが一般的である。

これらに対応するため世界をいくつかに分け、リージョナルコードと称する番号を付加する。プレーヤおよびディスクはこのリージョナルコードを設定して出荷される。このコードが一致しない場合は再生ができない仕組みになっている。ただし、ソフトの場合はその設定は任意である。

4.3 DVD規格

4.3.1 DVD-ROM

DVD-ROMの規格書は1996年8月に発行された。

DVD-Videoは4.2 DVD-Videoの規格で述べたので、ここではDVD-ROMの物理規格と2層ディスク固有の規格の概要を述べる。

表4.5にDVD-ROMの主な物理規格を示す。ディスクの直径、穴径、厚み等、外観はCDと同じである。

DVDは半導体レーザー波長λが650 nmまたは635 nmと短く、対物レンズのNAを0.6と大きくすることで、トラックピッチ0.74 μm、データビット長0.267 μm/bと

CDと比べて高密度記録を実現している。

変調方式は8/16変調を採用、セクタサイズは2,048 Bで、エラー訂正方式は16個のセクタを1つの単位とするリードソロモン積符号である。このようにして、直径12 cmの単層ディスクで4.7 GB、2層ディスクで8.5 GBという大容量を実現している。

一方、ディスクやピックアップ光軸の傾きに対するマージンを広く取るために、CDの半分の0.6 mmという薄型基板を採用している。

片面から複数の層を読出せる多層構造の光ディスクはDVD-ROMが世界で初めて実用化した規格である。2層ディスクの厚さの規格は図4.13のように決められている。

図4.14に2層ディスクのトラック構造を示す。

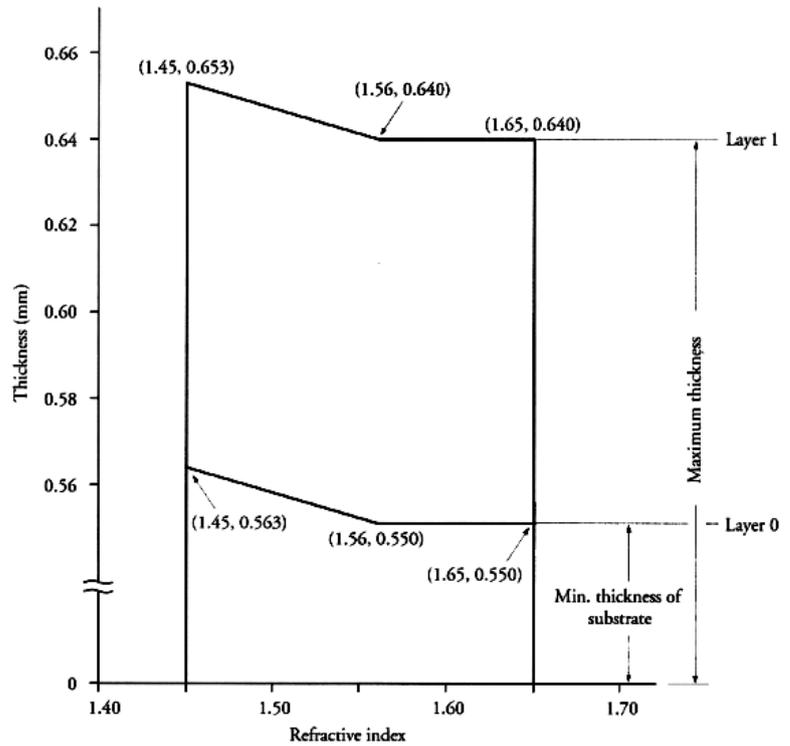


図 4.13 2層ディスクの厚さ規格⁽⁴⁾

表 4.5 DVD-ROMの主な物理規格⁽⁴⁾

Parameters		Single Layer	Dual Layer
• user data capacity Gbytes / side	12cm disc	4.70	8.54
	8cm disc	1.46	2.66
• wavelength of laser diode		650 / 635 nm	
• numerical aperture of objective		0.60	
• data bit length		0.267 μm	0.293 μm
• channel bit length		0.133 μm	0.147 μm
• minimum pit length		0.400 μm	0.440 μm
• maximum pit length		1.866 μm	2.054 μm
• track pitch		0.74 μm	
• disc diameter	12cm disc	120 mm	
	8cm disc	80 mm	
• disc thickness		0.60 × 2 mm	
• disc center hole		15.0 mm	
• data area inner radius		24.0 mm	
• data area outer radius	12cm disc	58.0 mm max.	
	8cm disc	38.0 mm max.	
• user data per sector		2048 bytes	
• error correction code		Reed-Solomon Product Code RS (208, 192, 17) × RS (182, 172, 11)	
• ECC constraint length		16 sectors	
• sector length		26 sync frames	
• modulation		8/16, RLL (2, 10)	
• correctable burst error length		6.0 mm	6.5 mm
• reference scanning velocity		3.49 m/s	3.84 m/s
• channel bit rate at ref. vel.		26.16 Mbps	
• user data bit rate at ref. vel.		11.08 Mbps	

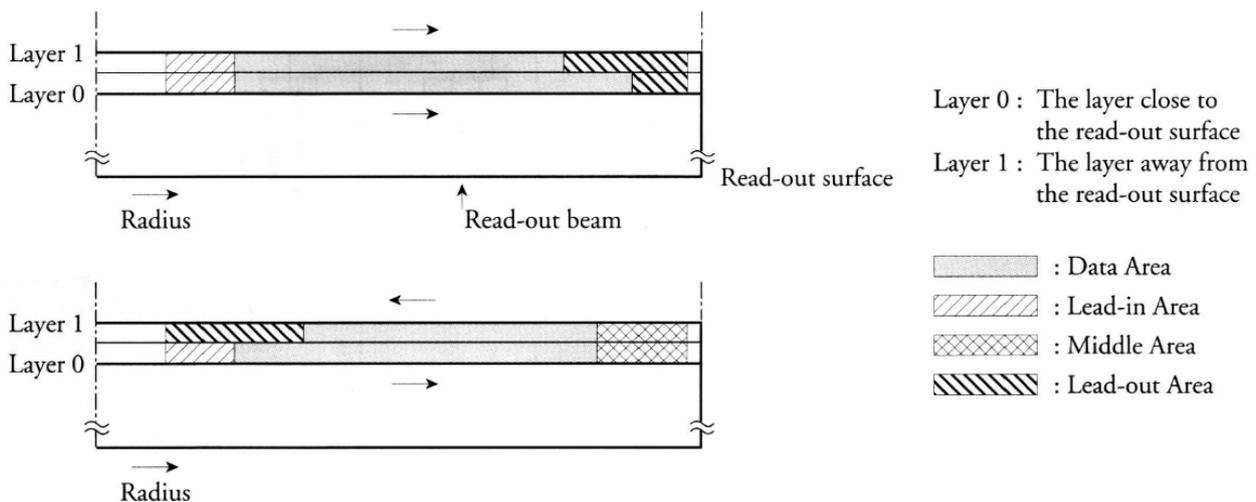


図 4.14 2層ディスクのトラック構造⁽⁴⁾

4.3.2 DVD-RAM

書き換え可能なDVD-RAM (DVD-Rewritable) はDVD-ROMドライブで再生可能なように設計され、幅広い用途が期待されている。当初からコンピュータと映像のデジタル情報を統合するメディアとして応用展開ができるように設計されている。

DVD-RAMディスクは直径120mm、片面容量2.6GBと4.7GBがあり、さらに、直径80mm、片面容量1.46GBがDVD Forumによって規定されている。

DVD-RAMは高密度記録が可能のように、ランドグループ記録という方式を採用している。ランドグループ記録は図4.15に示すように、記録情報をディスク上に設けられたグループトラックとその間に設けられたランドトラックとに記録する方式である。この方式により、DVD-ROMよりも狭いトラックピッチを実現しながら、記録再生に必要なヘッドの光学系はDVD-ROMと同一に保たれている。このため、DVD-ROMとの互換ドライブの設計が容易になるというメリットがある。

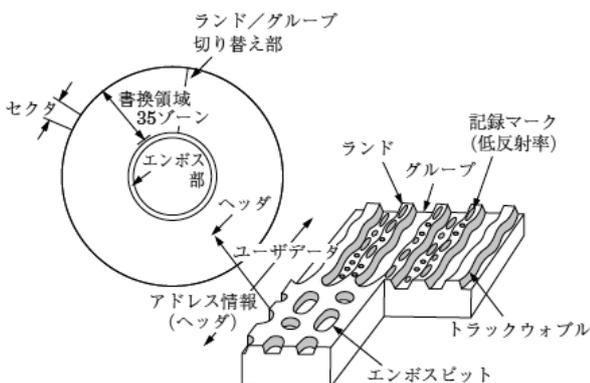


図 4.15 DVD-RAM フォーマットの概要⁽⁶⁾

さらに、DVD-RAMはディスク全面を有効に利用するために、ディスクをドーナツ状の複数のゾーンに分けている。ゾーン間で回転数を変えることにより、各ゾーン内で回転数を一定にするZCLV (Zoned Constant Linear Velocity) 記録方式を採用しているのが特徴である。この方式を採用することにより、ディスク内外周での記録密度や転送速度を一定に保ちながら、ランダムアクセス性能が確保できている。さらに、ディスクの取り扱いやすさ、信頼性など使用環境への対応やDVD-ROMドライブとの互換性を保つために、表4.6に示すようなディスクの取出しが可能なカートリッジを使用する。

表 4.6 DVD-RAM カートリッジ⁽⁶⁾

ケース形式	密封型	取出し可能型		空ケースのみ	
	(取出し不可)	両面	片面	(キャディ)	
ディスク	両面/片面	両面	片面	両面	片面
120mm	Type1	Type4	Type2	Type5	Type3
80mm		Type6	Type7	Type8	Type9

一方、パソコンでのデータの信頼性を保証するための欠陥管理機能が整備されている。

DVD-RAMでは記録トラックを螺旋状のグループとランドとで構成しているため、各トラックはユーザー容量2kBのセクタに分割されている。

ID情報を示すアドレス部は各記録セクタの先頭部に凹凸ピットの形で配置され、このピットはDVD-ROMと同様に基板製造時に鋳型によって自動的に作り込まれる。このため、新しいディスク上にアドレス情報を事前に記録しておき、記録前に長時間かけて物理フォーマットを形成することなく、直ちに使用することができるようになっている。

DVD-RAMではROMドライブで読む場合、カートリッジからディスクを取出した状態で使われることになるので、ウォブルの採用により、高い信頼性を確保している。ウォブルはランドグループ部の微小なうねりで、トラッキングサーボ信号と同じように、プッシュプル法（反射光の左右の強度差を検出）で検出され、ディスクの回転に同期したウォブルクロック信

号を得ることができる。ユーザデータ部のウォブルの周期は物理セクタの長さの1/232に固定されており、これは8/16変調の記録ビット周期の1/93になっている。図4.16にセクタフォーマットを示す。ユーザデータは2kB毎に分割され、同期情報等とともにヘッダ部の後に記録される。記録方式は相変化記録方式である。

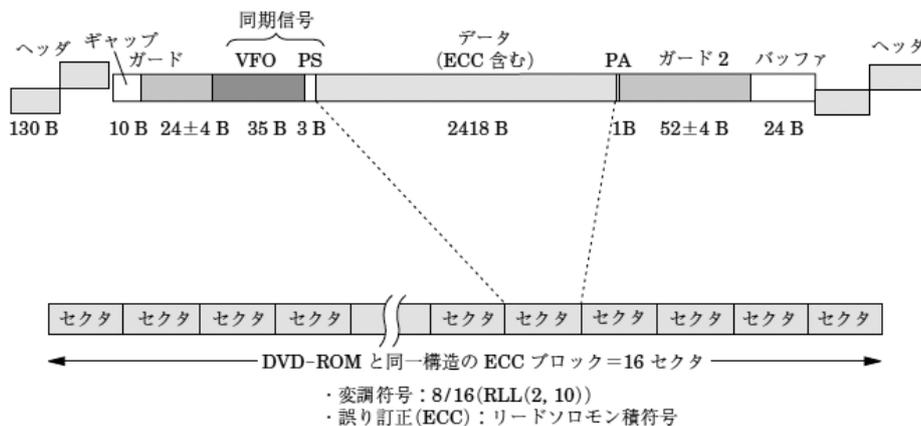


図 4.16 セクタフォーマット⁽⁶⁾

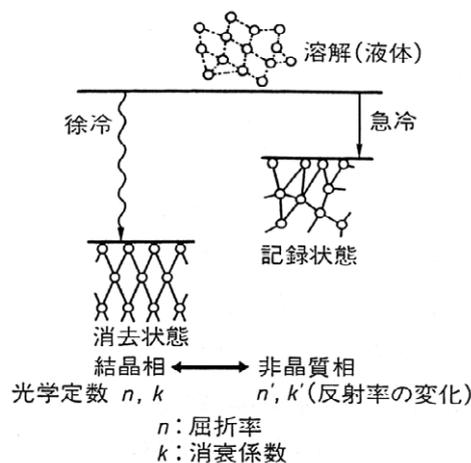
相変化記録⁽⁷⁾

高いパワーで短いパルス幅のレーザを照射すると記録膜が溶融し、原子配列が無秩序な液体状態になった後、急冷されるとその状態で凍結してアモルファス状態（アモルファス相）になる。これが記録状態である。そこに低いパワーで長いパルス幅のレーザを照射すると結晶化温度を超え原子が規則正しく配列した結晶状態（結晶相）になる。これが消去状態である。

アモルファス相と結晶相の光学定数が異なるため、反射光量の差が生じ信号を検出できる。

このように、加熱および冷却過程の差で、結晶相と非晶質相（アモルファス）の間を可逆的に変化させることにより情報の書換えができる。オーバーライトができ、かつROMディスクと同じように反射率の変化で信号を読み取れる特長がある。相変化を起こす媒体には

GeSbTe系の相変化媒体が用いられる。



4.3.3 DVD-R/RW

DVD-Rは1回だけの記録が可能なRecordableな追記型ディスクで、DVD-RWは何度も記録が可能なRe-Writableな書き換え型ディスクである。

DVD-RとDVD-RWは記録後のディスクが最初に設定された再生専用DVDディスクと互換がとれるように決められている。したがって、記録後のDVD-R

/RWディスクの基本仕様はDVD-ROMディスクと同一に決められている。ディスクの物理特性の記録容量、記録密度（トラックピッチ、最短ビット長）、記録再生信号品質等はDVD-ROMディスク規格を踏襲し、Information Areaと呼ばれるユーザデータ再生領域の構成やデータフォーマットも、DVD-ROMディスクと同一に規定されている⁽⁸⁾。

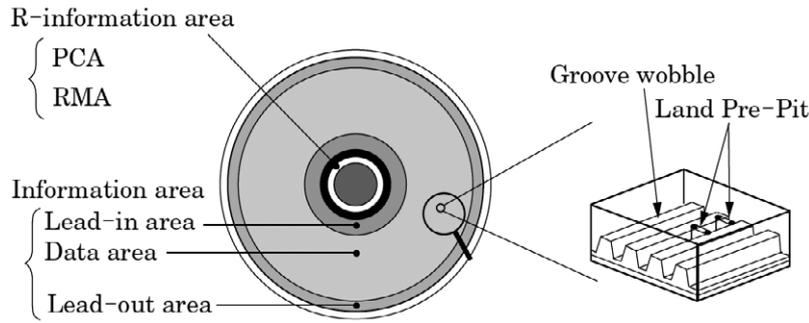


図 4.17 DVD-R/RW 共通のディスク構造⁽⁸⁾

一方、記録トラックは図 4.17 のように、一定の周波数でウォブリングされ、その間にランドプリピットと呼ばれるアドレスピットが設けられている。ここから得られる信号を用いて、記録中のディスク回転制御や記録クロックの生成が行え、記録アドレス等のデータ記録のために必要な情報が得られる。

更に、ディスク最内周に DVD-R/RW に特有の R-Information Area が配置される。記録用ドライブでのレーザーパワーの校正 (PCA : Power Calibration Area) と記録管理情報の保存 (RMA : Recording Management Area) のために用意されている。R-Information Area は Information Area より内側に存在するので、ビデオプレーヤやドライブでディスク再生上に影響はない。

DVD-R/RW ディスクには図 4.17 に示すように、Groove wobble と Land Pre-Pit があらかじめ、プリフォーマットされる。Groove はレーザービームの案内溝で、ここにデータが記録される。溝と溝の間の領域を Land と呼ぶ。Groove wobble は案内溝を一定の振幅と空間周波数でうねらせることであり、Land Pre-Pit は決められた規則にしたがって Land 上に配置される孤立ピットのことであり、これら 2 つの手法を組み合わせることにより、プリフォーマットとしての高い精度と信頼性を実現している。

Groove wobble はスピンドルモータの制御用信号とランドプリピットを検出するためのゲート信号に用いられる。一方、Land Pre-Pit はデータ記録時の高精度位置決めと記録アドレスや他の記録に必要な情報を格納するために用いられる。これらのプリフォーマット

信号はディスクからのレーザー反射光を差動検出することにより得られる。記録に用いられるプリフォーマット信号は記録データの再生には影響しないように設計されているので、通常のデータ再生には影響がない。

Groove wobble 信号は図 4.18 に示すように、SYNC frame 周波数の 8 倍のサイン波信号として得られる。Land Pre-Pit 信号は 2SYNC frame 毎にウォブル信号波形の最初の 3 頂点に位置する。これら 3 ビットのプリピットを規則に従った配置としているので、記録に必要な情報をブロック単位で復調することが可能になる。

一方、ディスクに信号を記録する際に、性能を上げる手法として、ライトストラテジという記録用レーザーのマルチパルス変調が規定されている。DVD-R ディスクは有機色素でできた半透明の薄い記録層があり、この有機色素を高温のレーザーで化学変化させて反射率の低いピットを形成する。有機色素にはアゾ系色素が主成分に使われている。これに対し、DVD-RW は DVD-RAM 同様、相変化を利用している。

4.7 GB DVD-R は著作権保護を考慮して、DVD-R Ver. 2.0 for Authoring と DVD-R Ver. 2.0 for General の 2 種類の規格に分けて設定されている。DVD-R Ver. 2.0 for Authoring は文字通り、プロ用のオーサリング用途に限定され、DVD-R Ver. 2.0 for General は一般の民生用途に開放されている。記録レーザー波長やディスク上の記録用アドレスに差を設けることにより、両者の間で記録互換性がないようにしている。

一方、DVD-RW 規格は DVD-R for General 規格と同様に民生用途として制定されている。また、ビデオ編集に優れた Video Recording Format と、既存の DVD ビデオ規格準拠で再生互換性重視の DVD Video Format の 2 つが DVD フォーラムで制定されている。市場で、DVD-R ディスクを購入するとき、データ用とビデオ用と表示されているのはこのことである。

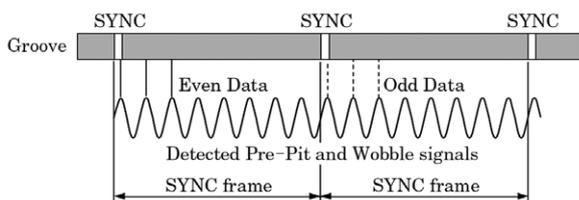


図 4.18 プリフォーマット信号⁽⁸⁾

4.3.4 ベリフィケーション⁽⁹⁾

Verify は検証するという意味で、この名詞ベリフィケーションとは DVD 商品が規格に合致していることの検証である。DVD は世界に広く普及し、使用されることを目的としていることから、製品は規格に準拠して、広く互換性が保持される必要がある。更に、動画像を楽しむ家庭用だけでなく、パソコン分野にも広く使われることから、ハード、ソフトの両面にわたって、将来開発される高度な機能をもった製品に対しても安定に動作する保証が必要になる。

DVD Disc のベリフィケーションには Verification Tool、Verifier が、DVD 装置 (DVD 記録再生機、DVD ドライブなど) のベリフィケーションには Test Disc が用意されている。

DVD Disc の物理レイヤーはディスク評価装置で測定し、論理レイヤーは Verifier で確認する。

DVD 装置の場合、再生部分は規格に準拠した Test Disc が再生可能かどうか、記録部分は記録されたディスクが規格に準拠しているかどうかで、それぞれ判定する。Test Disc は DVD の規格で規定されているナビゲーション機能やストリームの再生上、再生機器が問題がないことを確認する数十種類のテストディスクである。

これらの試験には試験規格書が用意され、試験規格書には DVD ロゴの使用に伴う履行義務、検証ツール、検証方法、検証ラボ、試験フォーム等が規定されている。

試験規格書は DVD Format Logo Licensing Corporation (FLLC) が供与している。

DVD Forum は DVD 事業に参入する企業の検証業務を助けるために、ボランティア会社が設立した検証ラボを審査・承認していて、日米欧亜中の 14 ラボが利用可能である⁽¹⁰⁾。

DVD フォーマットロゴライセンスと検証活動を推進する組織を図 4.19 に示す。

4.4 著作権保護技術⁽¹¹⁾

DVD はエンタテインメント用デジタルビデオやオーディオコンテンツの高品位な記録ができるメディアである。そこで、コンテンツの保護と適正な利用環境の実現が必須であり、一般利用者、機器製造者、コンテンツの権利保持者の 3 者が平等に恩恵を受けるような環境の実現がコンテンツ保護の最終目標である。

DVD に対しては量産メディアでは初めてコンテン

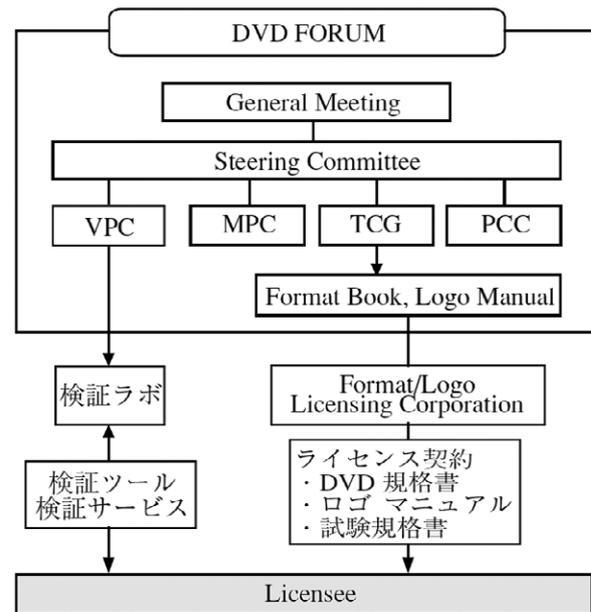


図 4.19 DVD ベリフィケーションの関連組織⁽⁹⁾

ツ保護の技術が導入された。このときは暗号技術の輸出規制などの問題で鍵の長さも 40 ビットに制限され、システムとしては十分な強さにできなかったため、後に問題が発生した。

コンテンツの保護と消費者の権利との関係の調整はもっとも重要である。もともとコンテンツは消費者が使用し又は楽しむために生み出されたもので、消費者のもとに配信されて初めて役にたつと言える。しかし、このコピーが無制限に行われた場合、コンテンツの権利保持者が正当な収入を得ることができず、コンテンツの再生産ができなくなる事態も考えられる。

消費者と著作権保持者の権利主張がぶつかり合ってきたのが過去の歴史であるが、技術の進歩により、インターネットを通じて、普通の個人が一瞬で世界中にコンテンツをばらまくことが可能になった現代では、この権利関係にも新しい考え方を入れていく必要がある。特に過去には、コピーと言えればかなり物理的なイメージでのコピーであったが、デジタル時代になって、コピーの形と忠実度が変わり、いくらコピーしても質が低下しないなど環境は大きく変わった。この環境のもとで、法律面からだけでなく、消費者の意識をも変えていく必要がある。

4.4.1 著作権に関する法律の問題

1997 年に WIPO (World Intellectual Property Organization: 世界著作権機構) の条約原案が提案され、ここでは表 4.7 に示すような権利が認められた。これを受けて、各国で国内法の整備が進められている。

表 4.7 WIPO 著作権条約の規定⁽¹²⁾

WIPO 著作権条約		日本	米国	EU
技術的 保護手段 迂回規制	アクセス管理技術	不当競争防止法	著作権改正法 (DMCA)	条件付き アクセス指令
	コピー管理技術	不当競争防止法 著作権法		著作権指令
私的複製の権利制限見直し		著作権法	フェアユースで判断	著作権指令
権利管理情報の改ざん規制		著作権法	DMCA	著作権指令
一般頒布権の導入		著作権法	著作権法(頒布権)	著作権指令
公衆への伝達権の創設		著作権法	著作権法(頒布権)	著作権指令

現在もっとも問題となっているのは私的複製の範囲である。法律的には私的複製の権利は正当な範囲の使い方であれば以前から認められているが、インターネットを通じてそれをばらまくことまでは正当化されない、というのが今の解釈である。

しかし、法律の批准に際して各国の対応が異なり、国により解釈が一定していない。米国は基本的に判例により法律の範囲を決めていく体制なので、Napster も結局は被害が拡大して初めて対応した結果、音楽産業に対する影響は深刻なものになってしまった。これ以後、コンテンツ保護はパッケージだけの問題ではなく、基本的にはネットワーク社会でのコンテンツ保護の問題に発展した。

また、ネットワークでの保護の問題から、逆に、家庭内での利用に関して制限を加えずにインターネット社会での保護ができるかという問題も持ち上がっている。インターネットでは一瞬のうちに世界中が結ばれるのであるから、家庭内といっても遠隔地の肉親も簡単に結ばれてしまう。従来の法律では家庭内に限り適正な範囲でのコンテンツのコピーは認められているが、この家庭の概念が大きく変わってきており、法律のほうが実際の社会に合わなくなりつつある。

コンテンツの消費に関する法律上の規制は、もともと家庭内には立ち入らなかったのに対して、コンテンツの消費は家庭内で行われ、家庭がインターネットを通じて世界に直接つながっているところに、現代社会の問題がある。

4.4.2 DVD のコンテンツ保護

DVD のコンテンツ保護の議論は1996年3月に米国で形成されたCPTWG (Copy Protection Technical Working Group) で始まった。DVD の規格がほぼ決まった段階で、コンテンツ保護をどうするかという議論がハリウッドのスタジオから成る映画業界、日本

メーカー主体の民生機器業界、及び米国メーカー主体のPC/IT (情報技術) 業界の3業界の間で始まった。

各業界ともに、DVD が次世代のパッケージメディアとして大きく成長すると予想しており、議論は大きく分かれた。最初は Macrovision* と CGMS (Copy Generation Management System) でよいと言っていた映画業界も、IT 業界の反対で徐々に問題を認識し、最終的には暗号によるスクランブルが歴史上初めて量産機器に導入された。

このときのIT業界の対応、Macrovision やCGMSのチェックをフレームごとに行うのは負担が重すぎるというものであったが、最終的に本格的なコンテンツ保護が導入されるとかえって負担が増えることになってしまったのは皮肉と言える。

しかし、これにより著作権に関する認識が深まり、インターネットに対する対応も議論の対象になったと言える。この議論の過程で、コンテンツ保護に対する認識は大きな変化を遂げ、Napster の登場などもあり、現在はネットワーク社会でのコンテンツ保護が主題になっている。DVD では、1996年6月にCPTWGにおいて、最初のDVD-Video用のコンテンツ保護が松下電器産業(株)と東芝からCSS (Content Scramble System) として提案され、これが規格化された。

基本的な考え方はライセンスにより、秘密鍵を機器製造業者に供給して、この鍵によりDVDディスク上に記録されたコンテンツの暗号を解くというものである。残念ながら、99年にまったく保護を怠ったPCでの再生用ソフトウェアが出て、それを見つけたノルウェーの1少年により破られてしまった。このときは戦略技術の輸出制限により鍵の長さは40ビットに制

* Macrovision: アナログ映像信号に付加されるコピー防止信号。この技術を提供している会社、米国 Macrovision Corporation の商標。

限されていたために、十分な強度がなかったことも一因である。

しかし、この後で導入されたDVD-Audio用のCPM (Content Protection for Prerecorded Media) とDVD-RAM/R (Recordable) /RW (Rewritable)、SDカードなどの記録メディア用のCPRM (Content Protection for Recordable Media) では、鍵の長さは56ビットになるとともに、MKB (Media Key Block)の技術が導入され、破られたキーは使用不能にする技術が取り入れられている。現在のCPUの進歩は3年で4倍のペースで続いており、3年たつごとに2ビットずつ弱くなる計算であるが、15年はもつと言える。ただ今後の傾向としては56ビットでは十分でないので、100ビット以上欲しいというのが常識になりつつある。

4.4.3 コンテンツ保護システムの構成

コンテンツ保護の技術は基本となる暗号技術や鍵認証交換などの技術から成り立っているが、それに加えて電子透かし (Watermark) などのアナログ信号の保護がある。暗号はDVD-VideoではCSS、CPM/CPRMではC2 (Cryptomeria Cipher) などの暗号が使われた。

最近の傾向としては公開されて安全性の保証された標準暗号に移行しつつある。暗号やコンテンツ保護の構成を公開して、なおかつ強度が保たれるような仕組みでないと使われない傾向になり、秘密は暗号化鍵だけとなっている。標準暗号としては従来使われていたDES (Digital Encryption Standard) から、最近制定のAES (Advanced Encryption Standard) に移りつつある。鍵認証は公開鍵方式が主流であり、安全性から512ビットなどが用いられている。

更に、前述した鍵の無効化 (Revoke) 機能のためにMKBが導入されている。MKBはCPMでは約30万個の鍵がディスクに格納されているので、この鍵を破るには56ビットに加えて多数の鍵を解読する必要がある、実効的な鍵の長さが増加している。

パッケージメディアでのコンテンツ保護の単純化した構成例を図4.20に示す。基本的には、暗号化されたコンテンツが記録されており、暗号化されたコンテンツ鍵が同時にディスクに記録されている。機器はコンテンツの鍵を元に戻す鍵を持っており、これにより鍵を元に戻して、次にその鍵を用いてコンテンツ自体の暗号を解いて元に戻し、再生するものである。

鍵の無効化、機器の無効化を行うことにより、競争相手の企業の製品が動作しなくなるなどの事態が生じると、法律的な問題に発展することも予想される。このため現在では、企業の連合体が別組織を結成し、コンテンツ側の意見を取り入れながら、コンテンツ保護のルールなどにつき議論を行っている。また無効化なども、コンテンツ側の要求で行われるようなルールが形成されている。

4.4.4 コンテンツ保護ライセンスの構成

ライセンス契約には機器製造者が締結する契約 (Adopter Agreement) とコンテンツ配給者が締結する契約 (Content Participant Agreement) の二つが存在する。

機器製造者が締結する契約は契約書本文、それに付属する遵守規定 (Compliance Rules)、外部からの攻撃に対する機器の強靱 (きょうじん) 性に関する基準規定 (Robustness Rules)、及び技術規格の四つで構成されている。

一方コンテンツ配給者が締結する契約は契約書本

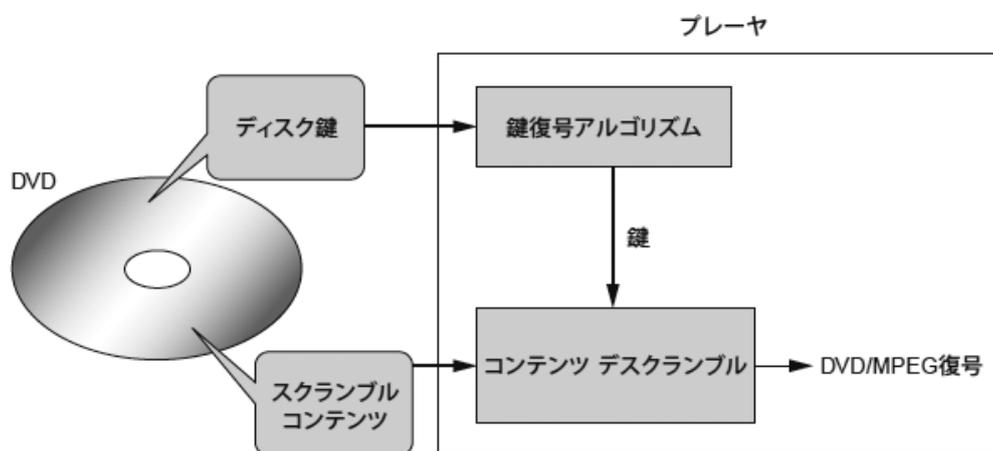


図 4.20 パッケージメディアのコンテンツ保護⁽¹¹⁾ プレーヤが秘密鍵を持ちコンテンツの暗号を解く。

文、それに付属する遵守規定、及び技術規格の三つで構成されている。

契約を締結した者が守るべきルールの中でも遵守規定がもっとも重要で、例えば、機器製造者が締結する契約には暗号化されたコンテンツを伝送ラインを通して受信し、暗号を解いたストリームをそのまま出力することを禁止する規定などが含まれている。

文 献

- (1) 山田尚志：1 総論、小特集 DVD の生い立ちから次世代 DVD まで、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.4, pp.518-520 (2002)
- (2) 菅谷寿鴻：DVD の国際標準化と標準化雑感、映像情報メディア学会誌、Vol.64, No.7, pp.980-982 (2010)
- (3) 鍋島大樹：1. DVD 規格の概要、映像情報メディア学会誌、Vol. 51, No. 7, PP. 942～946 (1997)
- (4) DVD Specifications for Read-Only Disc, Part1 PHYSICAL SPECIFICATIONS, Version 1, August 1996.
- (5) 山田尚志：DVD 一技術と業界ニーズの結合による成功一、電子情報通信学会誌、Vol.87, No.1 pp.10-15 (2004)
- (6) 宮本治一：2 DVD 規格の現状 2-2 DVD-RAM、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.4, pp.526-528, (2002)
- (7) 佐藤裕治、鈴木克己：多彩なアプリケーションに対応できる DVD- RAM 規格、東芝レビュー、Vol.53, No.2, pp.5-8 (1998)
- (8) 谷口昭史、入江 満、井上章賢：2-4 DVD-R/RW、映像情報メディア学会誌 Vol. 56, No. 4, pp. 529～531 (2002)
- (9) 赤木朝一：4 ベリフィケーション、映像情報メディア学会誌 Vol. 56, No. 4, pp. 542～543 (2002)
- (10) 試験規格書や検証業務の詳細は FLLC の home page に示されている。<http://www.dvdflc.co.jp>
- (11) 山田尚志、河原潤一：デジタルコンテンツ保護の現状と課題、東芝レビュー、Vol.58, No.6 (2003)

5 | DVD プレーヤ・レコーダの要素技術

5.1 光ピックアップ

光ピックアップではレーザー発光素子 (LD) から射出したレーザー光がメディアであるディスク面で反射し、その反射光を受光素子 (PD) で受光することで、情報の読み書きを行う。光ピックアップの構成は図 5.1 のようになっている。

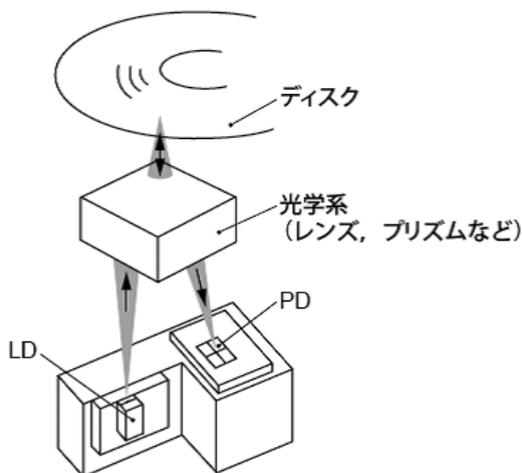


図 5.1 光ピックアップの構成⁽¹⁾

再生の際にはディスク上に記録されたビットと呼ばれる微小な凹凸に光を投射して、凹凸の変化をフォトダイオードで受光して信号を読み取る。すなわち、再生時には光スポットがこの凹凸によって回折され、受光素子上で戻り光の強弱として信号が検出される。

DVD-RAM の場合、記録の際にはディスク上の Groove と呼ばれるデータ記録層にレーザー光線を当て、記録材料のカルコゲナイド系の相変化物質を局部的に加熱して光学特性を変化させる。この光学特性の変化は凹凸ではなく、相変化と呼ばれる結晶状態とアモルファス状態の間で変化し、大きな反射率の変化を生じる現象を利用している。

プレーヤの商品企画から言えることは、光ピックアップでは CD との互換性が大事になることである⁽²⁾。

DVD と CD のように、板厚、ビット寸法などの異なる 2 種類のディスクから 1 つのレーザー光で信号を読み取る技術として二つの方式がある。DVD 用、CD 用の 2 つのレンズを切り替える方式と 1 つのレンズで DVD、CD それぞれに焦点を合わせる 2 焦点方式である。

前者の一つとして 2 レンズ 2 軸一体駆動型ピックアップがある。この方式は 1 つのレーザー光で DVD

専用対物レンズ (開口数: 0.6) と CD 専用対物レンズ (開口数: 0.36) を機械的に水平に回転させて切換え、それぞれの情報を読み取る。ここで、開口数 NA (Numerical Aperture) が大きいほど光のスポットを小さく絞ることができる。専用対物レンズのためレーザー光のロスも最小に抑えられるメリットもある。2 焦点方式は 1 つのプログラムレンズで DVD、CD それぞれの焦点を結び信号を読み取る方法である。

高密度 DVD ディスクから信頼性高く信号を読み取るには光ピックアップ、メカユニット、サーボ、それを制御するマイコンファームウェアが重要になる。

光ピックアップはジッタ、光軸振れ、キャリヤノイズ比、光出力などのばらつきを抑え込む必要がある。低ジッタで信号を読み取るためには、ピックアップの光軸とディスクとの間の垂直精度を CD 以上に高める必要があるこの部分はサーボによる追い込みが困難な部分であり、機械部品の精度が必要になる。ピックアップとディスクモータの位置精度を向上させ、さらにピックアップのラジアル・タンジェンシャル傾き調整機構*を採用することにより、傾きを抑えることができる。

実際の DVD・CD 記録用光ピックアップの一例⁽³⁾を図 5.2 に示す。パソコン用に開発された記録再生用光ピックアップ TPU3510 である。この構成は図 5.3 のようになっている。性能の一例を表 5.1 に示す。



図 5.2 DVD・CD 記録用光ピックアップの一例 TPU3510 の場合⁽³⁾

* ラジアル・タンジェンシャル傾き調整機構: ピックアップのラジアル方向 (ディスクのトラックのサイド方向) の傾きとタンジェンシャル方向 (ディスクのトラック方向) の傾きを調整する機構

DVD 誕生時の光ピックアップ

カメラメーカーであるオリンパスが、TAOS と称する独特の構造のピックアップを最初に開発した。これは、高価なもので、部品に光学プリズムなども用いていた。この当時、他メーカは、ピックアップの開発が出来ず、TAOS が唯一の供給源であった。

一方、DVD と CD のコンパチのプレーヤは必須であり、東芝は2つのレンズを筒状のアクチュエータにつけて、回転させて切り替える方式を採用した。松下は2焦点レンズを開発して、CD と DVD の両方を再生できるピックアップを発表した。2焦点レンズは型を精密旋盤で作成し、それに PMMA (アクリル) をインジェクションして作成する。この安価な2焦点レンズが用いられることにより、大きさも非常に小さくなり高さ5mm 程度になって、携帯用プレーヤが市販されてきた。

このような精密部品は日本の独壇場であり、現在でも、色々な電子部品は日本が断然リードしている。

表 5.1 記録用光ピックアップ仕様の一例 TPU3510 の場合⁽³⁾

項目	DVD	CD
記録ディスク	DVD-R, DVD-RW	CD-R, CD-RW
再生ディスク	DVD, DVD-R, DVD-RW, DVD-RAM	CD, CD-R, CD-RW
記録速度	2倍速 (DVD-R)	16倍速 (CD-R)
再生速度	8倍速	24倍速
開口数	0.63	0.5
作動距離 (mm)	1.06	0.87
対物レンズ出射光量 (mW)	17以上	40以上 (サブビーム含む)
半導体レーザー	InGaAlP レーザダイオード	GaAlAs レーザダイオード
フォーカスエラー検出方式	ナイフエッジ法	ナイフエッジ法
トラッキングエラー検出方式	DPD法, CPP法	DPP法
質量 (g)	約 14	
外形寸法 (mm)	48.6 (幅) × 38.0 (奥行き) × 7.3 (高さ)	
主軸・副軸間距離 (mm)	45.0	
アクチュエータ動作距離		
フォーカス方向 (mm)	-0.6 ~ +1.0以上	
トラッキング方向 (mm)	±0.4以上	
チルト方向 (°)	±0.5以上	

InGaAlP : インジウム ガリウム アルミニウム リン
GaAlAs : ガリウム アルミニウム ヒ素

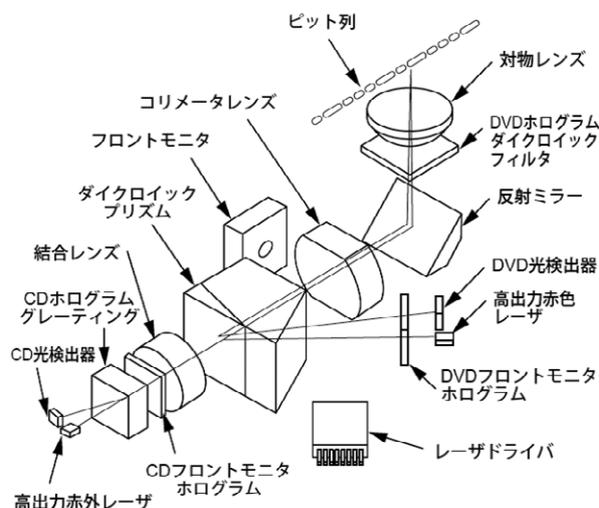


図 5.3 光ピックアップ構成の一例 TPU3510 の場合⁽³⁾

DVD と CD の互換性 -2 レンズ方式と 2 焦点方式

東芝は、英国 EMI 社と合併で、CD のディスク生産をおこなっていた東芝 EMI 社を関連会社として所有していたので、DVD の生産は比較的スムーズに立ち上がった。DVD プレーヤのハード面では、半導体レーザーの導入、プラスチックインジェクション非球面レンズの採用など、ピックアップに新しい技術が導入されている CD と DVD のコンパチビリティが問題になったが、筆者は、CD と DVD の2つのレンズを切り替えるメカを考案して、東芝のプレーヤには採用された。しかしながら、後ほど、松下が、CD と DVD の互換を2焦点レンズで実現し、その後は、この方式が主流となっている。

5.2 光ピックアップの実際

図 5.4 は DVD/CD 両様の光ピックアップの全体構成である。中央上部に二つのレンズが見えるが、DVD 用と CD 用に 2 個のレンズが設けられているが判る。

DVD レコーダではレーザービームを当てて微小なスポットを形成することが必要になる。これにはレーザービームの強度分布を把握しておく必要がある。図 5.5 はビームの intensity を実測したものである。図 (a) は強度分布、図 (b) はディスク盤面状のビームの分布を実測したものである。図 (b) で半値直径は $0.789 \mu\text{m}$ と示されている。

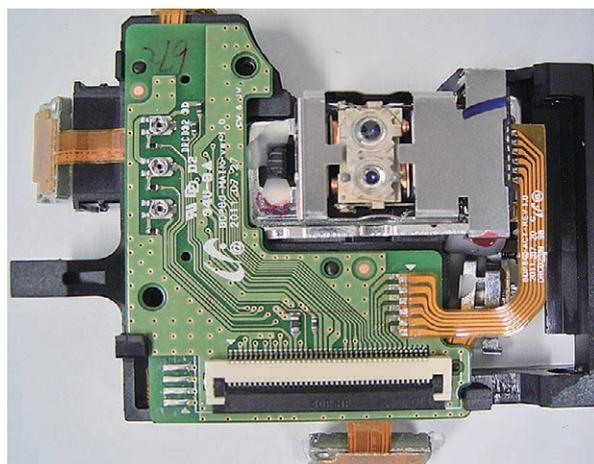
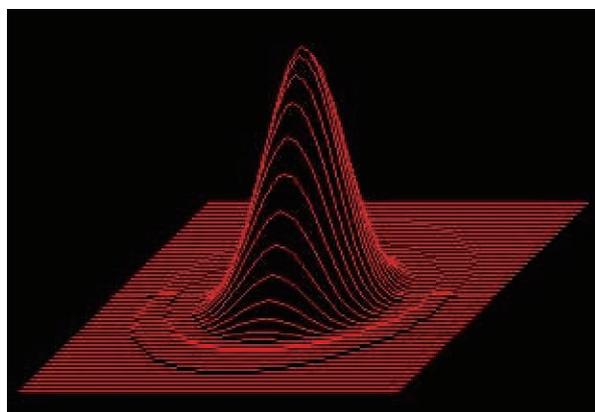
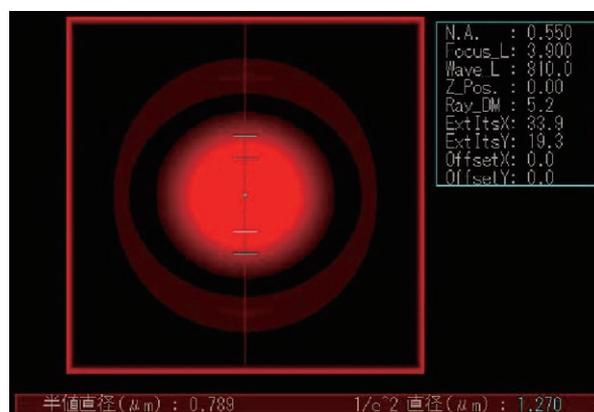


図 5.4 光ピックアップの全体構成⁽⁴⁾



(a) 強度分布



(b) ディスク盤面上の分布

図 5.5 レーザ光の Intensity⁽⁴⁾

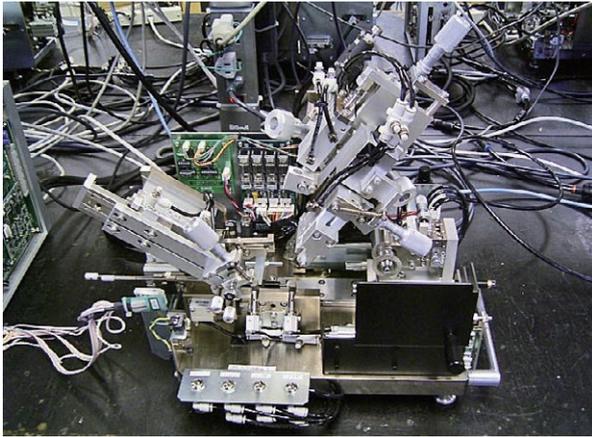


(a) 生産ラインの外観

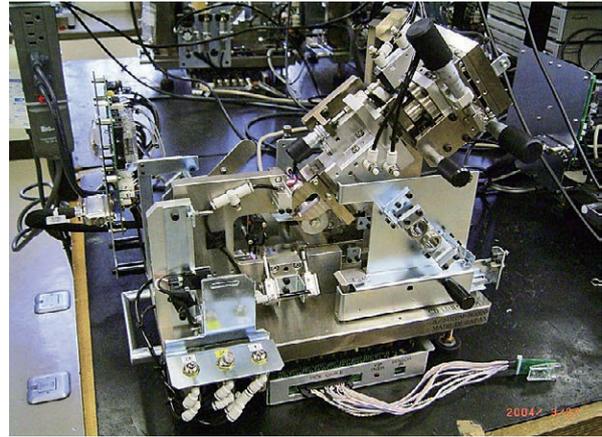


(b) 作業の実際

図 5.6 光ピックアップの生産ラインの一例⁽⁴⁾



(a) アクチュエータの位置合せ用治具



(b) 光学部品の位置合せ用治具

図 5.7 光ピックアップ各種調整治具の一例⁽⁴⁾

図 5.6 に光ピックアップ生産ラインの一例を示す。図 (b) は各種 DVD の Test-Disc を使い、光ピックアップの性能を確認している工程である。既定の傷やごみを想定した黒いスポットのある Disc を読んで、エラー修正が確実に行われているかチェックを行い、管理された Disc 上の信号を読んで、RF の信号の大きさや、Eye-pattern の開口度などを測定し、各社それぞれの規定した項目を測定する。

図 5.7 は光ピックアップ関連の調整治具の一例である。図 (a) はアクチュエータの位置合わせ用治具、図 (b) は出射光路に置くための光学部品の位置合わせ用治具で、実際にレーザを光らせて光路の調整を行いながら接着取り付けを行う。

5.3 LSI

5.3.1 MPEG-2 エンコーダ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾

東芝は動画画像圧縮方式の国際標準化に早い時期から参画してきた。特に、MPEG-2 標準化圧縮方式の検討、提案では積極的に貢献するとともに、標準化と並行してデコーダとエンコーダの LSI 開発を進めてきた。中でも、エンコーダは動画画像を圧縮するために用いられるもので、リアルタイム動作が要求される。

MPEG-2 の規格はさまざまなエンコーディング用途に対応できるように圧縮側にはきわめて自由度の高い規格になっているため、エンコーダによって得られる画質は大幅に異なってくる。東芝は MPEG-2 の中心的な規格である MP@ML を最大限活用した最高性能を発揮する高画質用途のエンコーダを逸早く開発してきた。

DVD の映像信号の画質を決める性能上の重要なポイントは MPEG-2 エンコーダの性能である。DVD

の要求性能は 4 Mbps 程度のビットレートによって、NTSC 方式のテレビジョン放送や家庭用 VTR と同等以上の画質を得ることである。このため、MPEG-2 エンコーダに必要な要件は次の通りになる⁽⁵⁾。

- (1) 高品位の可変ビットレート (VBR) 制御
- (2) 主要 MPEG パラメータの外部からの設定
- (3) エンコーディング履歴の保存 (ログファイル)
- (4) 前処理機能の拡充 (フィルタ、ノイズキャンセラ)
- (5) 画像の内容に応じた最適符号配分の実施 (マニュアルエディティング)

これらは広範囲で効率のよい動きベクトル探索機能をもつハードウェアと EWS (Engineering WorkStation) を用いた自由度の大きいソフトウェアによるレート制御の組合せによって実現される。

動画画像の DVD 記録では、限られたディスク容量の中で最高画質を得るために、可変レート符号化を用いて圧縮するのが効果的である。開発されたエンコーダ

表 5.2 MPEG-2 エンコーダの仕様⁽⁶⁾

項目	仕様
圧縮方式	MPEG2, MP@ML 準拠
入力信号	コンポーネントデジタル (CCIR601)
画素数	Y: 720 × 480 C: 360 × 240 (NTSC 対応) Y: 720 × 576 C: 360 × 288 (PAL 対応)
出力レート	最大 15 Mbps
レート制御	固定レート制御 (CBR) 2 バス可変レート制御 (VBR)
動きベクトル	水平 -48.5 ~ +46.5 画素 / フレーム 垂直 -32.5 ~ 28.5 画素 / フレーム
付加機能	プリフィルタ、ノイズレデューサ
パラメータ	3-2 ブルダウン自動検出 EWS で変更可能 ログファイル保存

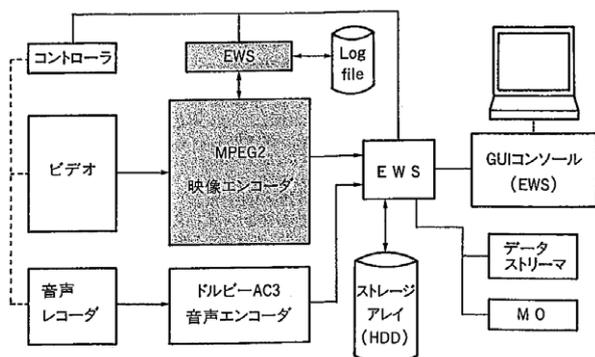


図 5.8 DVD エンコーダシステムの構成⁽⁶⁾

では入力された動画像の統計量を解析し保存するモードと外部から設定された条件で圧縮を行うモードの2種類をもつアーキテクチャとなっていて、これが大きな特長である。構成は圧縮を行うハードウェア部とこれをコントロールする制御用ワークステーションから成る。

このエンコーダの基本仕様を表 5.2 に、システム構成を図 5.8 に示す。

以下、映像信号のエンコーディングの一例として、DVD-Video ディスクを制作するためのエンコーダシステムについて述べる。

映像は VBR (高品位の可変ビットレート) のエンコーディングを行うために、2 回の処理 (2 パス エンコーディング) を行う。最初にエンコードする画像のエンコーディングパラメータ (量子化スケールなど) を取得して画像全体の統計処理を行い、どの画像にどれだけのビットを割り与えるかについての計算が行われる。この結果はログファイルに保存される。2 回目にはこのようにして得られたパラメータに基づいて、可変レートの MPEG-2 映像エンコーディングが実施される。これらの動作は基本的には制御用の EWS によってすべて自動的に行われる。

マニュアルエディティング機能ではエンコード後の画像を見ながら、時間方向あるいは画像領域に応じた符号の再配分をオペレータが手動で行う。ある一定時間のシーンにより多くの符号を与え、画面の一部分 (例えば俳優の顔など) に多くの符号を与える修正を圧縮後のビットストリームに対して行うことができる。画像の劣化はひずみの計算量と人間の主観評価は必ずしも一致しないため、高画質が要求され、かつ製盤枚数の多いタイトルに対しては有効な機能となることが期待される。

なお、映像エンコーディングに必要なパラメータ (ビットレート、GOP (Group of Picture) 構造、前処理フィルタリングなど) はユーザによる設定が可能となっている。

5.3.2 MPEG デコーダ^{(7) (8)}

プレーヤの基幹部品は MPEG-2 のデコーダ LSI である。この前後数十年にわたり、LSI は集積度を 3 年で 4 倍にしてきた。この LSI の集積度カーブから、MPEG-2 デコーダ LSI が 1 チップでできるのは 1997 年あたりと予想して、1997 年発売として準備を進めたが、実際に予測どおりになり、DVD の市場導入が行われた。1 チップ LSI は、東芝が開発し、DVD プレーヤメーカーに供給した。

MPEG-2 信号を復号するデコーダ LSI は DVD 再生のキーデバイスとなる。東芝は 1994 年に発表した MPEG-2 デコーダ LSI T9556 を基礎技術に、DVD システムに最適な機能をもったプログラムストリーム対応の TC81201F を開発した。メモリ容量 16 M ビットで DVD 機能の一部であるオーディオビデオ分離機能やレターボックスフィルタを内蔵し、表示システムへの対応を考慮して各種パンスキャンフィルタを内蔵して、DVD 用途に適した LSI となっている。TC81201F では機能と回路の最適化、外部メモリの削減を図っているので、この LSI を用いることにより、チップコストだけでなくシステムコストも削減できる。

図 5.9 に MPEG-2 デコーダ LSI TC81201F の構成を示す。この LSI は 16 M ビット SDRAM (シンクロナス DRAM) を外付けすることで、従来の MPEG-2 ビデオデコード処理に加えて、ストリーム分離、レターボックス処理などの付加機能を実現した。また、DVD 規格に対応するほか、各種用途を考慮した豊富なパンスキャンフィルタを内蔵している。内部バス幅は 32 ビットで、これによりバス周りのレジスタ、データパス系の演算器のビット幅が削減できた。ディスクを再生すると再生デジタルデータはエラー訂正される。このあと LSI に入力されストリーム分離部で画像、音声、字幕ストリームに分離され、画像ストリー

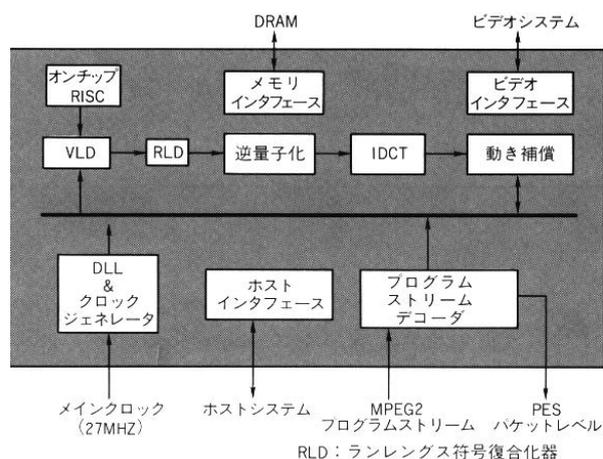


図 5.9 MPEG-2 デコーダ LSI TC81201F の構成⁽⁷⁾

表 5.3 MPEG-2 デコーダの機能⁽⁹⁾

	TC81201F
プロファイル@レベル	MP@ML, SP@ML, MP@LL デュアルプライム予測をサポート
入力ストリーム	プログラムストリーム, PES パケット, Video エレメンタリ, NTSC(720×480×30)
最大入力ビットストリーム	40 Mbps
ビットストリーム入力	専用 8 ビットパラレルまたはホスト I/F
ビットストリーム出力	指定されたストリームIDのストリームを専用8ビットパラレルから
接続メモリ	16 M ビット (1 M×16 ビット)SDRAM 1 個
垂直フィルタ	3/4(レターボックス用), 2/1 の 2 種と自動
水平フィルタ	8/9, 4/3, 3/2, 16/9, 8/3, 2/1 の 6 種と自動
映像出力	(4:2:2)または(4:2:0)。(4:2:2)の色差信号はフィルタ補完 8 ビット輝度・色信号(ITU-R601 または ITU-R656)または 8 ビット輝度+8 ビット色信号
エラーコンシールメント	マクロブロック, スライス, ピクチャ
ホスト I/F	アドレス5ビット データ8ビット, IntelまたはMotorolaタイプ
バンスキャン	1/16 ピクセル精度
3:2 ブルダウン	あり
内蔵 STC	42 ビット@27 MHz, 33 ビット@90 kHz
特殊再生	高速再生, スロー再生 フリーズ(デコード停止または継続。フレームまたはフィールド)
システムレイヤ	MPEG2 システム, MPEG1 システム。DTS, PTS は 33 ビット
入力クロック	27 MHz
外囲器	プラスチック 160 ピン QFP(Quad Flat Package)
電源電圧	単一 3.3 V±5%。入力端子は 5 V 耐圧
消費電力	1.2 W

ムをデコーディングする。表 5.3 にこのデコーダの機能一覧を示す。

5.3.3 1チップデコーダ⁽¹⁰⁾

DVD プレーヤ向けに、フロントエンドプロセッサ、

バックエンドプロセッサ、制御プロセッサ TX19 を 1 チップ化した TC90600FG が 2003 年に東芝によって開発された。バックエンドプロセッサに MeP (Media embedded Processor) を搭載することにより、ファームウェアを書き換えるだけで機能拡張が可能になり、新規アルゴリズムへの対応が容易になった。各 MeP にはカーネルを導入して各タスクの切替えや実行時間監視などを行うことにより、複数のタスクエンジンが動作できた。この 1 チップ化により、従来の PG5 シリーズに比べ、DVD プレーヤシステムの部品点数が大幅に削減でき、実装基板面積を縮小することができた。

TC90600FG を利用した DVD プレーヤ用 LSI システムの構成を図 5.10 に示す。DSP (フロントエンド部のプロセッサ)、2 個の MeP (映像・画像処理用 MeP:PVSD、オーディオ伸張処理用 MeP:ASP)、CPU (TX19)、SDRAM I/F を 1 チップに集積している。

DVD プレーヤ用 LSI システムは TC90600FG と同時に開発したアナログヘッドアンプの TA1363AFG、64 M ビット SDR (Synchronous DRAM)、8 M ビットフラッシュROM、表示用サブマイコン、モータドライバにより構成される。

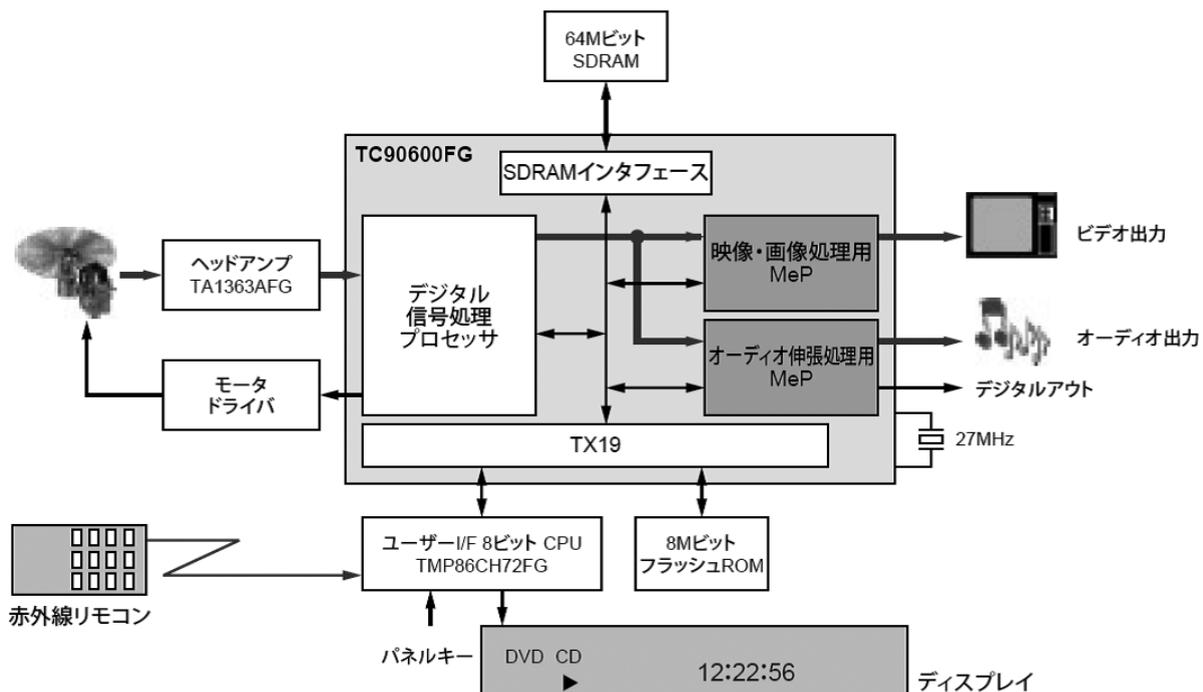


図 5.10 DVD プレーヤ用 LSI システムの構成⁽¹⁰⁾

TC90600FGはDVDプレーヤ用のキーコンポーネントとして開発されたため、DVDプレーヤ用LSIシステムに必要な機能を備え、厳しいコスト要求に応えるために、回路、チップサイズ、消費電力を削減した。少ない部品数でDVDプレーヤ用LSIシステムを実現するために、アナログフロントエンドと制御RISC（縮小命令セットコンピュータ）を1チップ化したTC94A33Fと東芝オリジナルのコンフィギュラブルメディアプロセッサMePで実現したバックエンドを1チップに集積させた。TC90600FGのチップ写真を図5.11に示す。0.18 μm CMOSアルミ6層プロセスで実装している。

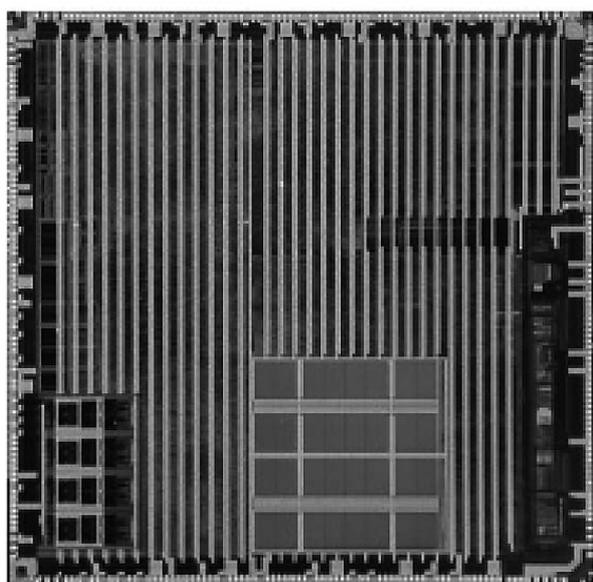


図 5.11 TC90600FG のチップ写真⁽¹⁰⁾

MePを採用した理由は、次々と発売されるDVDプレーヤにおいてはDVDのディスクのみならず、CD-R/RW (Recordable/ Re-Writable) に記録されたMP3 (MPEG-1 Audio Layer 3) やJPEG (Joint Photographic Experts Group) などの再生も付加機能として備え始めており、ファームウェアを書き換えるだけで容易に機能拡張できる利点を追求したためであった。

制御プロセッサはTC94A33Fと同様に、TX19が採用された。TX19は米国MIPSグループのRISCマイクロプロセッサR3000ATM*をベースに東芝が開発したTX39プロセッサに、高コード効率の拡張命令セットであるMIPS16TM*ASE (Application Specific Extension) を追加して東芝が独自開発した高性能な32ビットRISCプロセッサである。

TX19の動作速度はTC94A33Fよりもクロックアップした48 MHz動作にして性能向上を図っている。

* R3000A、MIPS16は、米国MIPS Technologies, Inc.の商標。

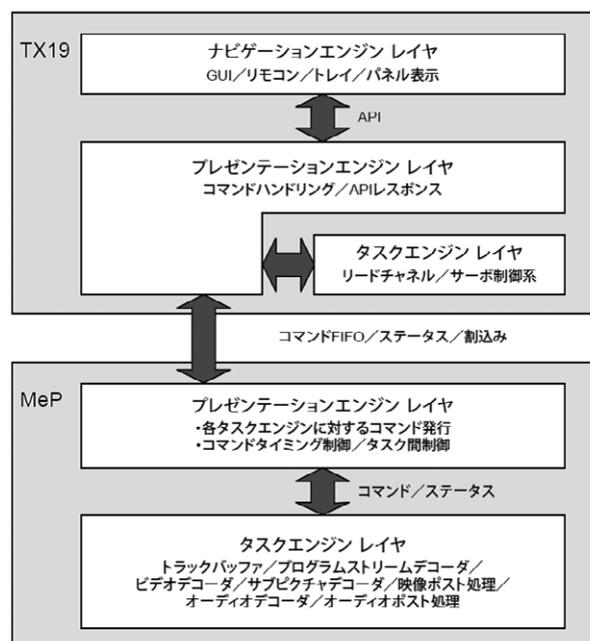
低コストDVDプレーヤ実現のために、TC90600FGの外付けDRAMは単一64 MビットSDRAMでDVDプレーヤ用LSIシステムを実現できるUMA (Unified Memory Architecture) を採用している。

TC90600FGの仕様を表5.4に示す。

TC90600FG上におけるDVDプレーヤ用LSIシステムのソフトウェアは上層から順に以下の三つのレイヤで構成され、TX19とMePにまたがっている。

- (1) ナビゲーションエンジンレイヤ
- (2) プレゼンテーションエンジンレイヤ
- (3) タスクエンジンレイヤ

TC90600FG上のソフトウェア構造と各レイヤの関係を図5.12に示す。



FIFO:First-In First-Out

図 5.12 TC90600FG のソフトウェア構造⁽¹⁰⁾

ナビゲーションエンジンレイヤはGUI (Graphical User Interface)、リモコン、フロントパネル表示、レイヤ再生条件設定などの制御を行う。このレイヤはTX19上で動作し、API (Application Programming Interface) で定義される関数をコールすることで、プレゼンテーションエンジンレイヤと接続される。

プレゼンテーションエンジンレイヤはナビゲーションエンジンレイヤからのAPI命令に従ってDVD再生などを実行するために、各タスクエンジンを制御するレイヤである。このレイヤはTX19上で動作するエンジン部とMeP上で動作するエンジン部とから成る。TX19上のエンジン部は上位レイヤからAPIを通して発行されるコマンドをMeP上のエンジン部へ

表 5.4 TC90600FG の仕様⁽⁹⁾

項目	仕様
フロントエンド部	TC94A33F (PG5シリーズ) と同等
バックエンド部	MePを2個搭載, 動作クロックは141.75MHz
対応ディスク	DVD, DVD-R/RW (ビデオ), CD, CD-R/RW
対応フォーマット	DVD-ビデオ, CD-DA, ビデオCD, MP3, WMA JPEG
コピープロテクション	CSS, CPPM
接続メモリ	64Mビット(2M×32ビット)SDRAM1個
ビデオデコーダ	MPEG-2のMP@ML, SP@ML, MP@LL
オーディオデコーダ	MPEG-1, MPEG-2, MP3, Dolby Digital **, WMA, DTS***, 東芝オリジナルバーチャルサラウンド
映像出力	PAL ↔ NTSC変換, ズーム, プログレッシブ出力
ビデオDAC	54MHz 10ビット4系統
内蔵CPU	32ビットRISC:TX19
CPU周辺機能	DMAC, SIO, PIO, タイマ
特殊再生	高速再生, スロー再生, フリーズ, コマ送り
入力クロック	27MHz単一
外囲器	プラスチック256ピンQFP(28mm)
プロセス	0.18 μm CMOS アルミ6層プロセス
電源電圧	3.3V, 2.5V, 1.5V

DA : Digital Audio

WMA : Windows Media™ Audio

CSS : Content Scrambling System

CPPM : Content Protection for Pre-recorded Media

MP : Main Profile

ML : Main Level

SP : Simple Profile

LL : Low Level

PAL : Phase Alternating Line

NTSC : National Television System Committee

DAC : Digital to Analog Converter

DMAC : Direct Memory Access Controller

SIO : Serial Input Output

PIO : Parallel Input Output

ハンドリングするとともに、必要なタスクステータスを上位レイヤへ返す機能を持つ。MeP上のエンジン部は各タスクに対するコマンドの発行及びその発行タイミング制御、タスク間制御を行う機能を持っている。タスクエンジンレイヤはリードチャネルサーボ制御系エンジンとAV再生処理系エンジンの二つに大別される。リードチャネルサーボ制御系エンジンは専用ハードウェアとTX19からこの系をコントロールするファームウェアとから成る。AV再生処理系エンジンは二つのMeP上で動作するファームウェアとそれらのMePに接続される専用ハードウェアから成る。

AV再生処理系のエンジンは更に複数のタスクエンジンから構成される。具体的にはトラックバッファ、プログラムストリームデコーダ、MPEGビデオデコーダ、サブピクチャデコーダ、オーディオデコーダなどである。プレゼンテーションエンジンレイヤと各タスクエンジンのインタフェースは各タスクへのコマンド

や各タスクのステータスを格納するメモリ内の通信エリアを介してなされる。

TC90600FGでは、MeP上で複数のタスクエンジンが動作できるように、各MePにカーネルを導入して各タスクの切替えや実行時間監視などを行う。

5.3.4 コンテンツ保護用LSI⁽¹⁾

コンテンツ保護の仕組みを実装する製品開発にあたっては製品に組み込まれた秘密情報が暴露されないよう堅牢に設計しなければならない。また、製造工程においても秘密が漏れないよう情報管理を行う必要がある。DVDレコーダやデジタルテレビ(DTV)などを開発するにあたっては、秘密情報を閉じ込めたコン

* Windows Mediaは、米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における商標

** Dolby Digitalは、Dolby Laboratories, Inc.の登録商標。

*** DTSは、Digital Theater Systems, Inc.の登録商標

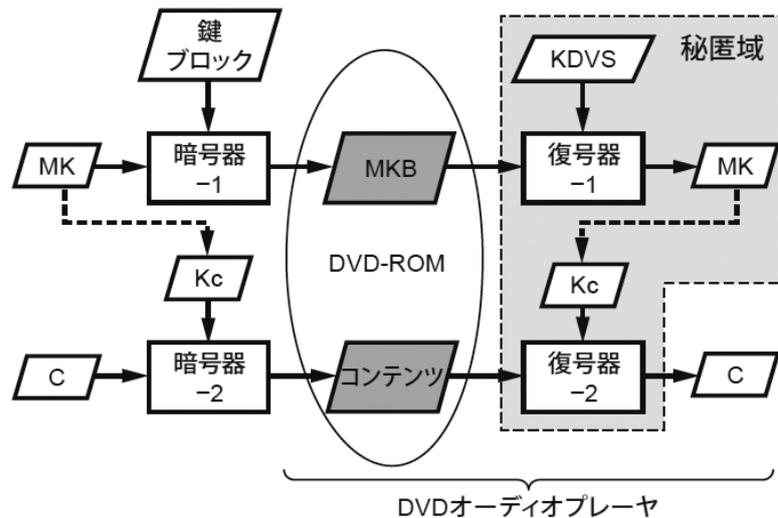


図 5.13 CPPM の概要⁽¹⁾

コンテンツ保護用 LSI と製品 1 台ごとに異なる値の秘密デバイス鍵の書込みツールが必要になる。保護の仕組みを LSI としてパッケージの中に閉じ込めて実現することは製品の堅牢性を確保するうえで非常に有効な方法である。

1996 年に DVD-Video が発表された時期には映画などのコンテンツを保護するために、CSS (Content Scramble System) というコンテンツ保護技術方式が開発され、ライセンスされた。その後、DVD オーディオプレーヤの保護規格である CPPM (Content Protection for Prerecorded Media) 準拠の LSI が開発されてきた。一方、DVD-R (Video Recording) 規格では CPRM (Content Protection for Recordable Media) 規格が採用されている。

CPRM 準拠の LSI もほとんど構成は変わらないので、まず CPPM について説明していくことにする。CPPM の概要を図 5.13 に示す。メディア鍵 (MK) を用いて鍵ブロックを暗号化したメディア鍵ブロック (MKB) を作り、メディア鍵 (MK) を元にしたコンテンツ鍵 (Kc) を用いて、コンテンツ (C) を暗号化したコンテンツを作り、両者を記録する。

再生時にはまず鍵ブロックのサブセットであるデバイス鍵 (KDVS) を用いて、メディア鍵 (MK) を復号する。次に、このメディア鍵 (MK) を使って暗号化の際と同様の方法でコンテンツ鍵 (Kc) を得る。これを用いてコンテンツ (C) を復号する。図 5.13 中の CPPM 仕様の秘密情報は、復号器 - 1 や復号器 - 2 にある S-Box と呼ばれる数表やデバイス鍵、メディア鍵やコンテンツ鍵などの値である。

CSS と CPPM や CPRM の違いは CSS のマスター鍵 (図 5.13 の KDVS に相当する) がデコーダ (ボ

ドあるいはソフトウェアや LSI) の生産会社ごとに異なるのに対して、CPPM や CPRM の各デバイス鍵は DVD プレーヤ 1 台ごとに異なることである。したがって、CPPM や CPRM の実装時はデバイス鍵の書込みのための EEPROM とその鍵の書込みツールが必要になる。CPPM や CPRM 準拠 LSI ではデバイス鍵記憶用の EEPROM を LSI の外部に設けることにしている。CPPM 準拠 LSI の構成を図 5.14 に示す。

EEPROM に書き込まれた暗号化デバイス鍵は DVD プレーヤの電源投入時に LSI に書き込まれ、デバイス鍵復号器で復号して、メディア鍵を得る。この得られたメディア鍵をもとにそのほかの処理を経てコンテンツ鍵を得る。その後、このコンテンツ鍵で暗号化されたコンテンツの複合を行う。ストリーム解読制御器はこれらメディア鍵の復号やコンテンツを復号するためにストリームを解読し、RAM にあるデバイス鍵を利用してコンテンツデータを復号制御している。CPRM 準拠の LSI もほとんどこの構成は変わらず、図 5.14 の CPPM 複合器の部分が CPRM の復号器となるだけである。

ライセンサーから供与を受けるデバイス鍵は製品 1 台ごとに異なるため、CPPM/CPRM 準拠 LSI の場合は DVD プレーヤやレコーダ機器生産工程でデバイス鍵の書込みを行っている。このデバイス鍵は秘密情報であるため、その値が暴露されないように書込み後の状態を堅牢にするだけでなく、書込み工程についても情報の漏えいについて十分に管理しなければならない。

文献

- (1) 宮内孝、下山禎朗、関谷智司:VD 用光ピックアップの品質向上に貢献する LD/PD 精度検査装置、

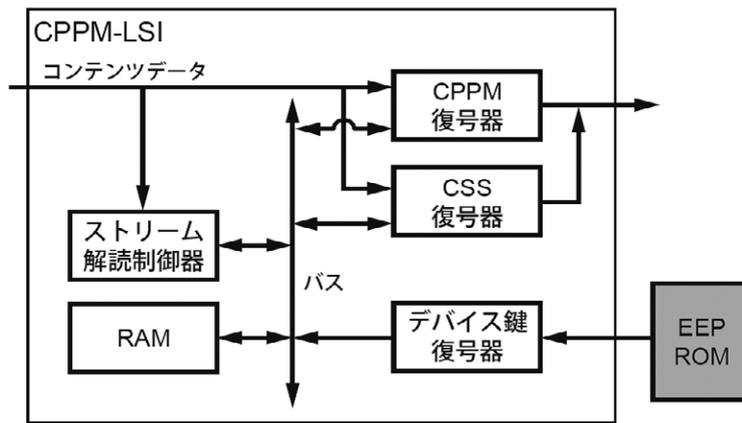


図 5.14 CPPM 準拠 LSI の構成⁽¹¹⁾

- 東芝レビュー、Vol.58, No.12, pp.58-61 (2003)
- (2) 五十嵐正男：6. DVD ムービープレーヤ、映像情報メディア学会誌、Vol.51, No.7, pp.965～969 (1997)
 - (3) 内山峰春、篠塚啓司：7.3mmH DVD・CD 記録用光ピックアップ TPU3510、東芝レビュー、Vol.57, No.7, pp.32-34 (2003)
 - (4) 株式会社デジタルストリーム 代表取締役青柳哲次氏の提供による
 - (5) 桜井優、新村一治、Mikhail Tsinberg：DVD エンコーダシステム、東芝レビュー、Vol.51, No.10, pp.23-26 (1996)
 - (6) 山口晋、他：MPEG-2 リアルタイムエンコーダシステム、東芝レビュー、Vol.51, No.1, pp.38-41 (1996)
 - (7) 北垣和邦：MPEG-2 デコーダ LSI TC81201F、東芝レビュー、Vol.51, No.4, pp.71-74 (1996)
 - (8) 栗原弘一：DVD に搭載する MPEG-2 ビデオデコーダ LSI TC81201F、東芝レビュー、Vol.51, No.10, pp.19-22 (1996)
 - (9) 大野達之、児山元昭、田村正之：DVD システム用 LSI 技術、東芝レビュー、Vol.51, No.12, pp.33-38 (1996)
 - (10) 稲川純、児山元昭、中河正樹：DVD プレーヤ用 1 チップ LSI TC90600FG、東芝レビュー、Vol.58, No.5, pp.26-29 (2003)
 - (11) 馬渡正彦、澤繁隆、東一樹：コンテンツ保護技術の AV 機器への実装、東芝レビュー、Vol.58, No.6, pp.40-43 (2003)

6 | DVD の製造技術

製盤技術は、原盤の記録技術、マザースタンパ、ファザースタンパなどのメッキ転写技術、スタンパを用いて、プラスチックインジェクションによる、ポリカーボネートディスクの作成などのプロセス技術が必要である。

DVD ディスクの製造は基本的には CD のプロセスと同様である。しかし、DVD ではより高密度で高精度なピット形成が要求される。図 6.1 に示すように、DVD の最短ピット長は $0.4\mu\text{m}$ (CD の 0.46 倍)、トラックピッチは $0.74\mu\text{m}$ (CD の 0.46 倍) でその許容誤差が $\pm 0.03\mu\text{m}$ であるために、極めて微細で高精度なピット形成技術が必要となる。

図 6.2 にディスクができていくまでのプロセスの概略を示す⁽¹⁾。ガラス基板の表面を洗浄・乾燥後、密着性向上のための表面処理を行い、フォトレジストを所定の厚さにスピンコートする。次に、原盤露光装置で記録信号に応じて変調された光信号をフォトレジスト層に露光する。これを現像することによって DVD 原盤 (ガラスマスタ) ができる。これをマザーとして、メッキ処理して必要な枚数のスタンパ (金属原盤) を作る。

スタンパは所定の厚さになるようにその裏面が研磨され、内外径が打ち抜かれた後、ディスク成形用金型に組み込まれる。その後、射出成形によって 0.6mm 厚さのポリカーボネート基板を複製する。複製された基板のピット面にアルミニウム反射膜とこれを保護する保護膜を塗布した後、2 枚の基板をピット面が対向するように貼り合わせてディスクが完成する。

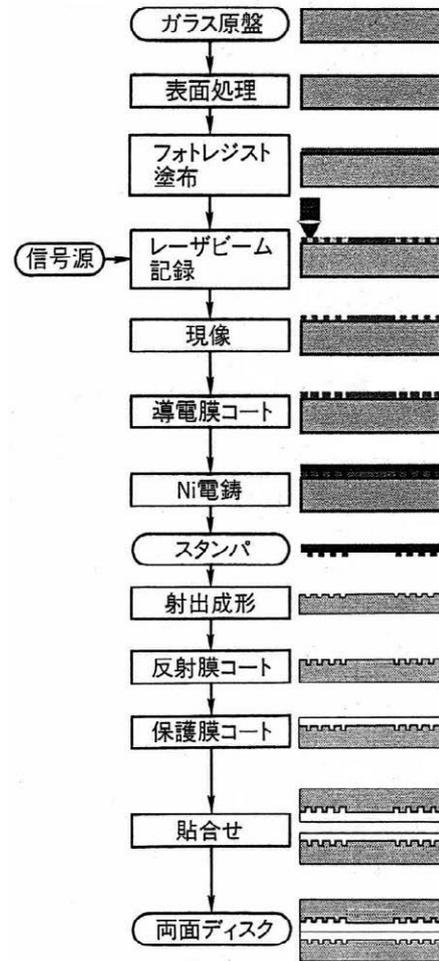


図 6.2 DVD ディスク製造プロセス⁽¹⁾

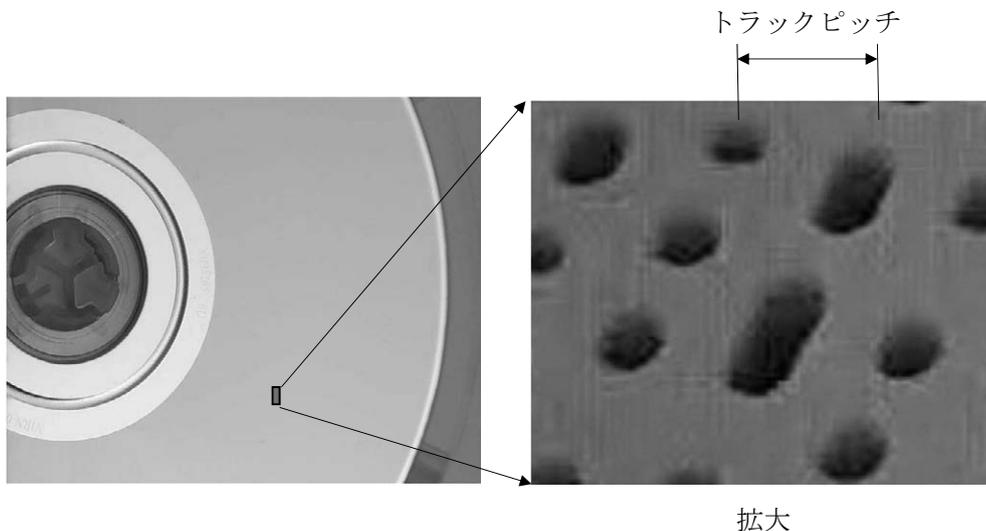


図 6.1 DVD ピットとトラックピッチ

東芝は1992年からタイムワナー社と連携してDVDの開発に取り組み、1993年にはDVD用の紫外光を用いた原盤記録装置の試作機を完成させ、東芝EMIと連携して、直径120mmで0.6mmの厚さのディスク基板の製作に取り組み、1993年末までにDVDに使用できるディスク製作の見通しを得た。

引き続き、量産を目指した装置の開発およびプロセスの開発に着手し、量産設備用の紫外光レーザを用いた光ディスク原盤記録装置を完成させ、東芝EMI御殿場工場に設置して1995年秋から稼働した。同時にレジストプロセス、成形プロセス、両面貼合せプロセスなどの開発を進めた結果、1996年10月から月産30万枚の量産可能な製造ラインを設立することができた。特に貼合せについてレーザディスクで実績のあるホットメルトで十分できることを確認した。

また、1993年以来、米国WAMO (Warner Advanced Media Operations) 社にDVD原盤、スタンパ、原盤プロセス、ディスク評価機などを提供し、DVDディスクの開発・製造支援を進めてきた結果、同社では100万枚/月の量産が可能な製造ラインを整備できた。

6.1 ディスク製造技術

6.1.1 原盤記録装置

原盤記録装置は安定した光学定盤上に、記録光学系を構成し、ガラス原盤に感光剤を塗布した原盤を回転させて、レーザ光により記録する。記録する際は再生機と異なり、レーザを送る際の案内溝は無いので、非常にゆっくりであるが正確に記録ビームを送る必要がある。途中で振動などがあると、記録溝がふらつき交差したりするため、地震などがある場合は失敗する場合もある。通常、記録ビーム系は固定して、原盤ターンテーブルを動かす。動かす速度はDVDの送り速度である。

DVDディスクではトラックピッチ $0.74\ \mu\text{m}$ 、最小ピット長 $0.40\ \mu\text{m}$ とCDの4倍以上のピット密度が要求される。高密度な原盤を高精度に記録するためには記録ビームスポットの微小化ピッチムラを低減する正確な位置決め技術の開発が必要である。更に量産時における信頼性・安定性の向上を実現する装置の開発も

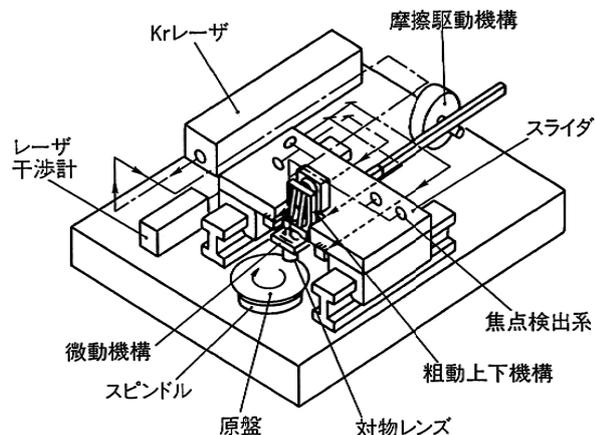


図 6.3 原盤記録装置の原理図⁽¹⁾

必要になる。

以上の要件を満たす原盤露光装置の構成を図6.3に示す。光源となるクリプトン (Kr) レーザ、光変調器やレンズを含む記録光学系、フォーカス検出系、ガラス原盤を回転させるスピンドル、記録スポットを高精度に水平移動させるスライダ系などから成る。

微小ピットを形成するためには記録スポットを小さくする必要がある。このため記録光学系にはCDの原盤記録に使用されている青色光源レーザに代えてより短波長の紫外光レーザ (Kr レーザ：波長 351 nm) を採用するとともに、高NA (開口数) 対物レンズ (NA 0.9) を使用する。これにより記録スポット径を従来の77%に縮小できる。短波長化により記録スポットの焦点深度が浅くなるが、従来の補助ビームによるフォーカスサーボに替え、記録ビーム反射光を用いたフォーカス制御系の開発により誤差を $0.05\ \mu\text{m}$ 以下に抑え、フォーカス変動の影響のない高精度で安定な制御が実現できた。

DVDではトラックピッチが狭いため、従来よりもピッチ変動を小さくする必要がある。ピッチムラの原因はスピンドルモータの非同期回転ぶれや、光源のゆらぎなどもあるが、記録スポットの位置決めを行うスライダの送り誤差低減はもっとも重要な課題である。そのために、数々の工夫が施されている。例えば、スライダの駆動にはバックラッシュなどの非線形性がなく、構造が簡単な摩擦駆動機構が採用され、対物レンズの位置を補正する微動機構をスライダ上に設け、スライダと対物レンズの位置をレーザ干渉計により測定・制御することでスライダ振動を抑制する能動制御補償法が開発された。微動機構の共振点を上げることによりサーボゲインを上げることができ、スライダの送り誤差を $\pm 10\ \text{nm}$ 以下に抑えることができる。そ



図 6.4 メッキの原料 ニッケル

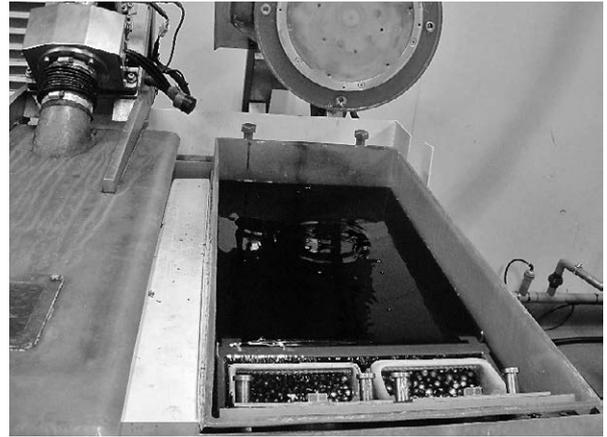


図 6.5 メッキ槽

の結果、外乱に強く長時間にわたって安定した記録スポットの位置制御が可能となった。このようにしてスタンパの基になるガラス原盤が作成される。

DVDのスタンパの作成はスパッタリングで薄い膜をつけたあとで、電鍍（メッキ）により、金属膜を厚くしてマザーを作成する。マザーに対して、またメッキして、ファーザーを作り、それにメッキしてスタンパを必要な数だけつくる。通常、枚数が少ない場合は、マザーをスタンパーとして使う場合もあるが、枚数が必要な場合は、マザーから2回転写して、もとのマザーと同じものを作り、これをインジェクションマシンにセットして、ディスクの製造を行う。

図 6.4 にメッキの原料である Ni を示す。顆粒状になっている。図 6.5 に実際のメッキ槽を示す。



図 6.6 ガラス原盤（中央）、マザースタンパ（右）、スタンパ（左）

図 6.6 は実際のガラス原盤、マザースタンパ、スタンパの実物写真を示す。

メッキについて

メッキの電解液の廃棄などのときには、公害問題に配慮する必要がある。メッキは非常に古い技術であるが、コントロールを誤ると、局所的に結晶化し硬化して表面の平坦性が損なわれたりするので、常に電解液を攪拌しながら気をつける必要がある。

メッキ技術（Father、Mother、Stamper 製造技術）は、地味であるが大切な技術で、さらにメッキ液に青酸などの毒物を使用するため、通常、あまり人が居住していない場所に工場が作られている。実際の製造では、メッキムラが出やすいので、メッキ液をかき混ぜながら、適当な溶液の濃度にコントロールしながら行う。メッキは溶液に浸した金属盤を陰極として、ニッケルを溶かし込んだメッキ液から、電気によりニッケルをガラス原盤に析出させ、規定の厚みになるまで連続して行い、規定の厚みになった時に、メッキ液から引き上げてニッケルを剥離して、Father、Mother、Stamper などとして使用する。

6.1.2 ディスク製盤技術

このようにしてつくられたスタンパを射出成形装置の金型内に取付け、厚さ 0.6 mm の基板を成形複製する。成形した基板に Al 反射膜とそれを保護する保護膜を塗布した後、ホットメルト接着材を使って 2 枚の

基板を貼合わせて DVD ディスクが完成する。

(1) 製盤の手法

成形のプロセスは金型に取り付けたスタンパの中心穴部から金型キャビティ内に溶融したポリカーボネー



図 6.7 ディスク材料（ポリカーボネート）ペレット

ト樹脂を射出充填、冷却後、金型から取り出し終了する。図 6.7 にディスク材料のポリカーボネートのペレットを示す。資源の有効活用のためディスクくずの再利用も行っている。

成形した 0.6 mm 厚基板は複屈折がダブルパスで 100 nm 以下、反りが少なくディスク厚みが規格内に納まっている、ピットの転写性が優れているなどの要件を満足していることが要求される。

基板の厚さが CD に比べ 1/2 であることからキャビティ容積を 1/2 にした金型を使う。そのため、金型内の材料の流路が狭くなるので材料の流動抵抗が増加する。その結果、内部応力が発生し、複屈折や反りおよびピットの転写性などを悪化させる要因となる。そこで、金型の温度と材料の温度を限界まで上げて材料の流動性を改善し、成形条件（冷却時間など）の最適化を行い、上述の課題を解決した。また、ディスクの厚みの規格は ± 0.03 mm であるが、金型の高精度化とスタンパの厚さ分布を均一化することで達成できる。

(2) インジェクションマシン

DVD のインジェクションマシン（射出成型機）の型締力は 45 トンである。LD は 300 トンで、大きさがかなり違う。DVD のインジェクションマシンは小さいため、クリーンルームに複数台セットされている。図 6.8 にインジェクションマシンのヘッド部分を示す。DVD のプロセスではインジェクション、反射膜スパッタリング、貼り合わせ等のプロセスが連続して行われるが、それぞれのプロセスの時間が違うため、ラインバランスを取る為に、プロセスタイムにあわせて台数がセットされている。なかでは、インジェクションがマシンも大きく時間もかかるので、インジェクションマシンに合わせて、他のマシンの台数を

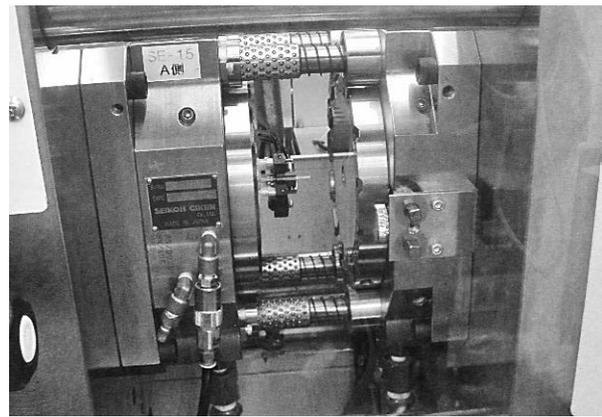


図 6.8 インジェクションマシンのヘッド部分

調整しているのが普通である。このため、インジェクションマシンの時間を短縮するのがプロセスの改善の最重要課題になっており、最近では 3 秒程度となっている。DVD の導入の時に、DVD は貼り合わせで、2 枚のディスクを製造しなければならないので、スループットが悪いという話があったが、実際は、DVD は 0.6 mm 厚のディスクで、薄い為に冷却が早く、インジェクション時間が短くなって、スループットはそれ程悪くならなかった。また、CD に比べると、半分の隙間に強引に樹脂を流し込むため、転写性が良いという利点もあった。また、DVD の貼合せ構造は中心に対して対称な構造なのに対して、CD の表面はインジェクションされた時そのまま、裏面は反射膜がスパッタされて、その上に保護膜がついているので、表面と裏面で DVD のような対称構造にはならない。このため、DVDの方がディスクの温度安定度は極めてよいという特徴がある。このことは、反りの規格を厳しくでき、かつプレーヤにおける傾きの許容度を定める際に、機械系の傾きなどの規格をディスクの反りが小さいので、余裕を持って決められる利点がある。

プラスチックインジェクション技術は一種の貼合せ技術になり、貼合せの際は、一度 2 枚を纏めて圧力かけ、圧力をその後落とすなどの細かいコントロールが必要になる。

厚さ 0.6 mm 基板の貼合せは量産性とレーザディスクで実績のあるホットメルト接着方式を用いている。0.6 mm 厚基板の保護膜コーティング面に加熱溶解したホットメルト接着材をローラを使って均一にかつ異物を巻き込まないように塗布した後、2 枚を重ね、圧着して行く。

これは片面ダミーディスクの場合も同じである。貼り合わせた後の DVD ディスクの反り量を表わすの規

格値が0.8度(R方向)と厳しく、高温保存時にもこれを満足させることが要求されている。0.6 mm厚基板を貼り合わせる場合、レーザーディスクと同じ接着材と貼合せ条件ではできない。そこで専用の設備、材料、条件を検討、採用した結果、チルト角度0.8度以

内、70℃、50%、96Hの高温保存試験を満たすことができた。図6.9に自動化されてディスクが次々と搬送されていく様子を示す。図6.10はDVDディスクの製造工場の一例である。

ROMディスクの製造

ROMディスクのマスターを製造する際にも思いがけない問題が発生する。

強い地震で記録が駄目になることもある。また、地磁気の変動の影響も受けるので、電車などが近くを通ると地面に電流が流れ、磁気変動が起こりトラックピッチが乱れるので、電車の線路などから離れた人家の少ないところに工場がある。LSIのマスク製造では、筆者が東芝にいた時に経験したことだが、原因不明でマスクの感光結果が乱れることがあった。原因を追究したところ、近くを通る人が鉄製のものを持っていると、影響を受けることが判明した。このため厳重に管理されているが、光ディスクでも、LSIほど記録が細かくはないが、同じような注意が必要である。

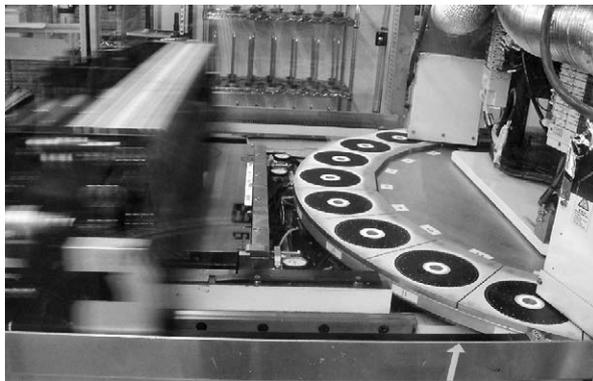


図6.9 ディスクは流れ作業で運ばれていく



図6.10 DVD製造工場の一例

6.2 記録信号処理技術

6.2.1 フィルム→ビデオ信号変換

(1) 画質の改善

近年、テレビなどで放送される映画は画質が改善され、雨降り映画などは全く見かけない。カラーフィルムは3層のカラーフィルターと銀塩感光層からなっている。ネガとポジがあり、3層の感光層が重なっている。ネガは通常のフィルムカメラのフィルムであるが、ポジは3原色に対応し、通常の色が出る。フィルム映画は以前はセピア色に変色していたが、これはフィルムの色フィルターが退色したために起きたのであって、フィルムに元々記録された銀塩の感光層は変化していない。IBMがこの点に着目して、元々の感光層の濃淡をスキャンして、これにフィルターの色レスポンスを重ねる技術を開発し、撮影当時の画像が再現されるようになった。この時デジタル処理でフィ

ルムの傷なども補修されるので、傷の無い色再現性の良い画像がテレビ放映などに提供されるようになっていく。映画会社にとっては、画質が生命線であり、“風とともに去りぬ”などでは、アトランタの赤土の崖に行き行って色を撮ってきたという話まである。また彼らのフィルムに対する執念は強く、フィルムではフィルムグレイノイズがあるが、ビデオカメラで撮影した画像にはフィルムグレイノイズが無いので、わざわざフィルムグレイノイズを足す処理をしたりしている。電気会社は技術が日進月歩で、フォーマット、機材など頻繁に変えるので信用できないとして、フィルムを砂漠の高所にある洞窟の乾燥した低温の場所に貯蔵しているとのことである。

もっとも、現在は、映画収入は劇場よりもDVDがメインであり、映画の撮影はビデオカメラとフィルムカメラの併用で行われている。また、Hollywoodスタジオが制定して、Digital Theatre規格を作り、劇場で映画を上映する場合の規格も定まっている。現在

の劇場での上映もビデオプロジェクターで行われるようになってきている。これにより、昔はネガからポジをたくさん作り、劇場に配給していたが、データを伝送するだけになり、封切を一斉に行えるようになった。35 mm フィルムの解像度は Hi Vision と同程度である。4K ビデオは既に劇場映画を超えたとも言える。これにより、女優などの顔の皺がはっきり出すという問題まで生じている。プロジェクターにも技術革新があり、マイクロミラー制御の DLP と液晶フィルターによる液晶プロジェクターがある。テキサスインスツルメントの半導体技術に基づく半導体基板上にマイクロ反射ミラーアレイをつける DLP が非常に画質がよいと評価が高かったが、日本メーカが開発した液晶も技術進歩で、十分対抗できるだけの画質を出せるようになり、現在は両方式が存在する。

(2) コンテンツの準備

DVD に記録するコンテンツの代表的なものは映画であるが、劇場用の映画は上映時間の制約で 93 分ぐらいが平均の長さである。しかし DVD ではそのような制約が無いので、Director's Cut と称して、監督が自分の好きなように内容を編集したものが出回っている。これは通常の場合にはカットされた部分も入れたもので、これも DVD の魅力になっている。画面が横長のシネマスコープタイプでは Letter Box とするか、適当な部分を抜き出して、4:3 または 16:9 の画面にするかは見る側で選ぶことが出来る。製作側が 4:3 で画面がカットされるのを嫌がって、強制的に Letter Box しか表示させないように指定する機能もある。ただ、画面が小さくなりすぎる問題がある。冗談で、西部劇の決闘場面で真ん中だけ抜き出すと、空間を弾丸が飛んで何も見えなくなるなどと言ったことがあるが、実際はうまく処理されており、このような例は無い。映画では、圧縮の際のアーチファクト（歪のようなもの）が問題の場合もあり、デジタル放送の最初のころは圧縮歪が目立って気になった。最近は全く問題ないレベルになっている。Hollywood のスタジオは自社の中に大きな映画館を持っており、そこで試写を行って画像の問題点をチェックしているが、白人は元々あまり光の強くない北の方で生活していたので、明るい光に弱い。家庭では白熱電球で、薄暗いところで生活しているので、暗い画面のアーチファクトには非常に敏感である。日本人はあまり敏感ではない。MPEG-2 の圧縮機は東芝では、ECL を用いたディスクリット回路で行う機械を開発した。この機械は非常に高速なため、リアルタイムの半分の速さで圧縮が

可能であった。C-Cube がマイクロプロセッサの並列で、圧縮速度を上げたシステムを開発したが、スピードが遅いため、フィードバックが遅れる問題があった。当時東芝では、DVD のリーダーになるためには、全ての技術を自社で所有する必要があると認識し、ビデオ信号を MPEG-2 圧縮規格により圧縮する機械を開発してワーナースタジオに供給し、プレーヤのキー部品である 1 チップ再生 LSI まで、全部自社で開発して、他社が追随できないところまで到達していた。

6.2.2 MPEG-2 圧縮

MPEG-2 Encoder は画質とビットレートのトレードオフを行う必要があり、一回目に試験的にコーディングして、2 度目に正式にコーディングを行う 2 パスでのコーディングが行われる。

DVD に記録する場合は全体のビット数の上限が決まっており、その範囲内で、画質を上げるために、最適なビットレートの配分と可変ビットレート（VBR：Variable Bit Rate）の上限下限などを最初に決める。

2 パスでの圧縮の場合、最初に画面の一部をコーディングして、全体の activity（どのくらい細かく変化しているかの指標）を決定し、それに基づいてビットレートを決め、全体の圧縮を行う。ビットレートが高いほど、画質は良くなるが、ディスクに記録できる総ビット数は決まっているので、その中でもビットレートの配分が問題になる。圧縮は GOP（Group of Pictures）ごとに行われるが、GOP はシーンが変わるときにビットレートが跳ね上がるために、シーンチェンジを検出して設定される。GOP では最初の画面は静止画でエンコードし、そのあとは、前の画面から変化した分のみエンコードする。これを B ピクチャと称している。このため、全体が静止している画面では、実際は最初の画面だけがエンコードされて、残りは同じ画面が繰り返されることになる。テレシネは実際には常にふらついているが、これも修正される。このため、劇場で見る映画のような映画フィルムの揺れによる画面のふらつきはない。

6.2.3 オーサリング

(1) 画像データの準備

オーサリングでは、映像の画質がもっとも重点を置くところであり、最初にコンテンツを圧縮して、予定した容量に収めることが必要である。通常、MPEG-2 画像圧縮方式による原画像の圧縮を行う場合、圧縮後のデータ量は完全には予測できない。それでも、画面の中の小部分を複数個所選んで、全体を通じて圧縮し

てデータ量を予測している。その後で、全体の時間軸で変化する量子化ステップをそれぞれの場面に対応して設定して圧縮を行う。データの量子化ステップを大きくすれば、ビットレートが下がり、ビット数が減るが画質は悪くなる。一方、量子化ステップを細かくすると、画質はあがるがビット数が増える。このため、画質と量子化ステップはトレードオフの関係にある。これをスタジオの技術関係者がスタジオ内の映画スクリーンで見ながら検証して、最終的な合否を決める。VBR (Variable Bit Rate) ではシーンチェンジをしたときに、データレートが跳ね上がり、画面の変化の無いところでは、データレートが下がる。圧縮では、時間的に変化の無い画像では、前のフレームの画像を繰り返してデータを削減したりする。圧縮のときには、GOP (Group Of Pictures) ごとに塊として圧縮する。このため、シーンチェンジごとに GOP の切れ目を設定して、GOP ごとに圧縮を行い、量子化ステップを割り振って、最終的に全体のビット数が適正になるように調整するが、画面に破綻が出ないことが必要条件である。ビットレートは変化するが、NTSC ビデオでは 30 フレーム / 秒は決まっているので、画像ストリーム内にタイムスタンプを設定して、このタイムスタンプにあわせて、音声データも同一ストリームに含めて記録する。映画は 24 フレーム / 秒、ビデオは 30 フレーム / 秒であり、24 フレームの映画に、1 秒間で 30 フレームとの差の 6 フレームが付加される。30 フレームの中に 6 フレームを 12 フィールドにして、分散させるが、24 フレームに 6 フレームを同じ画面を繰り返して挿入することになる。これを 3-2 プルダウンと言っているが、画面を挿入する際にフィールドで挿入すると、時間的に戻るフィールドを挿入する場合がありますが、厳密には画面が戻っていることがあるが、実際はほとんどわからない。現在は半導体メモリーが安価で大容量になったので、画面の挿入も自然に行われるようになってきている。

(2) DVD-Video 規格の中のオーディオの規格

オーサリングのとき、DVD のストリームに画像と音声の多重化 (マルチプレックス) を行う。DVD の規格の中のオーディオは Linear PCM、Dolby Digital

圧縮、DTS (Option) と 3 方式ある。最近では 1 ビット AD/DA が MOSLSI で実現しやすい為に、主流になっているが、DTS はほとんど 1 ビット AD/DA と類似した特性になる。Dolby Digital は音声信号をフーリエ変換して、スペクトラムの中でレベルの低いものは間引くことによって圧縮効率を上げているが、間引かれたスペクトラムがあるため音は荒れる。一方で、DTS は音声信号のエンベロープをスプライン曲線で近似しながら追っかけていく方式であり、データ量を減らすと曲線が音声のエンベロープに追随しなくなりなまってしまうので、高域が減る傾向になる。先に述べたが筆者は DTS を訪問した際に、LPCM、Dolby、DTS の音を試聴し、3 方式を完全に聞き分けて指摘したので、DTS のエンジニアにびっくりされたことがあるが、LPCM を標準とした場合、Dolby は荒れ気味、DTS は高域の細部が丸まっている印象となり、実際に聞き分けるのは容易であった。DVD の規格を作るときに、DTS は最初に提案してきたが、方式が完成しておらず、実験により検証できないものは規格に入れないと宣言した。結局は期限までに方式が完成せず実証できなかったため、DVD Video としては Option となっており、プレーヤーは対応する義務が無いので再生しなくても良い。なお、音声圧縮としては、AAC (Advanced Audio Coding) が最後に出てきた技術で、最も圧縮効率が上がり、64 kbps で音声は十分な音質が確保される。元々電話の CODEC のために開発されたので、音声のビットレートは特に低く、モノ音声とした場合、CD ステレオの半分、1.44 Mbps/2 = 720 Kbps に対して、64 kbps と約 1/12 のビットレートになっている。

DVD は主たるコンテンツの準備だけでなく、言語ファイル、字幕ファイル、メニュー画面などから任意のチャプターにジャンプする等、色々な機能を持っているため、それに適したストリームを作ることをオーサリングと言っている。

文 献

- (2) 菅谷寿鴻、平浩三、高須登、富田尚志：DVD ディスク製造技術、東芝レビュー、Vol.51, No.11, pp.28-32 (1996)

7 | DVD プレーヤ・レコーダ

7.1 DVD プレーヤ

7.1.1 概要

DVD プレーヤはテレビに接続する再生専用プレーヤである。図 7.1 にその基本構成を示す⁽¹⁾。機能的にはディスクから記録信号を読取る光ピックアップ・メカユニット、各種サーボ処理、データ復調 & エラー訂正を行う物理ブロック、主映像、副映像、音声デコードを行うアプリケーションブロック、ユーザの入力操作を受持つユーザインタフェースブロック、システム全体の制御を行うシステムコントローラから構成される。

光ピックアップは 5.1 で述べたが、実際に DVD プレーヤに用いられる光ピックアップユニットは短波長赤色半導体レーザ、光学部品、フォトディテクタから構成される。微弱信号を高 S/N で伝送する 6 チャンネル電流 / 電圧変換 IC を内蔵する。メカユニットはピックアップユニット、ディスクモータ、ピックアップユニット送り機構、トレイローディング機構から構成される。DVD プレーヤの基本スペックを表 7.1 に示す。

表 7.1 DVD プレーヤの基本スペック⁽¹⁾

映 像	MPEG-2 (可変ビットレート) ワイドアスペクト 16:9 レターボックス/パンスキャン クローズドキャプション アナログコピープロテクション
音 声	ドルビーデジタル (AC-3) 5.1 チャンネルデジタルサラウンドデジタル出力 プロロジックサラウンド出力対応 リニア PCM 対応 デジタルコピープロテクション
マルチ言語	最大 8 音声言語 最大 32 字幕言語 メニュー言語
マルチアングル	最大 9 アングル
マルチタイトル	マルチストーリー パレンタル対応ストーリー インタラクティブストーリー
地域コード	No. 2
特殊再生	静止画/コマ送り/スロー/早送り/早戻し
サーチ	タイトル/チャプタ
リピート	タイトル/チャプタ/区間

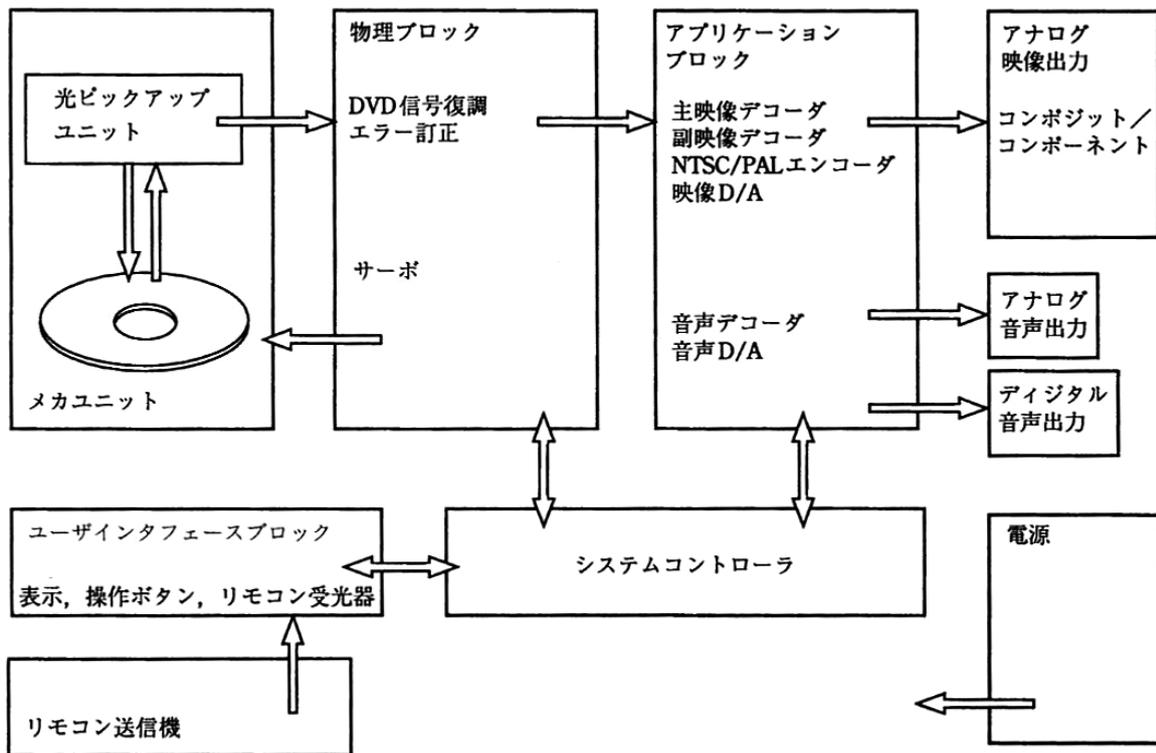


図 7.1 DVD Player の基本構成⁽¹⁾

7.1.2 物理ブロック

物理ブロックは機能的にはRF信号処理部、サーボプロセッサ部、データプロセッサ部の3ブロックから構成される。

(1) RF信号処理部

波形等化、サーボエラー信号生成とレーザの制御を行うRFアンプ、DVD用1ビーム位相差トラッキングエラー信号を生成するICから構成される。

(2) サーボプロセッサ部

DVD/CDピックアップサーボ、送りモータサーボ、CD-CLV (Constant Linear Velocity) ディスクモータサーボ処理および、CD信号の8-14復調とCIRC (Cross Interleave Reed-Solomon Code) エラー訂正を行う。

(3) データプロセッサ部

DVD-CLV ディスクモータサーボ処理、DVD信号の8-16復調、RS-PC (Reed-Solomon Product Code) エラー訂正を行う。

7.1.3 アプリケーションブロック

アプリケーションブロックは機能的には主映像データ (MPEG-2 ビデオデコーダ)、副映像デコーダ (ビデオプロセッサ)、NTSC エンコーダ、音声デコーダの4のブロックから構成される。

(1) 主映像データ (MPEG-2 ビデオデコーダ)

MPEG-2 (Moving Picture Experts Group2) 復調、副映像・音声パケットの分離、ワイドテレビ (16:9) 対応スクイーズ映像 (左右に圧縮した映像) を通常のテレビ (4:3) に対応したレターボックス、パンスキャン処理を行う。

(2) 副映像デコーダ (ビデオプロセッサ)

副映像信号を復調、主映像信号とミキシング出力処理、オンスクリーン表示用インタフェース、音声パケットの分離を行う。

(3) NTSC エンコーダ

アナログコピーガード、GMS-A (Copy Generation Management System-Analog)、NTSC エンコーダ処理を行う。映像データはコンポジット出力、コンポーネント出力 (S端子 (Y/C)、色差端子 (Y/ Cr/ Cb)) を出力する。

(4) 音声デコーダ

ドルビーデジタル (AC-3) 復調、リニアPCM (Pulse Code Modulation) などの処理を行う。音声データは左右2チャンネルのアナログ音声、またはデジタル音声として出力される。ドルビーデジタルの場合は5.1チャンネルを2チャンネルにダウン

ミックスした音声となる。デジタル音声はドルビーデジタル /5.1チャンネルやPCMのデジタルデータがデジタルインタフェース IEC-60958 で出力される。ドルビーマルチメディアデコーダ搭載AVアンプに接続することで5.1チャンネルデジタルサラウンドを聞くことができる。

また5.1チャンネルをダウンミックスした2チャンネル音声はドルビーサラウンドプロロジック*3信号に対応している。

7.1.4 ユーザインタフェースブロック

蛍光表示管による動作モード表示制御および操作ボタン受け、リモコン受光器の処理を行い、ユーザとシステムコントローラとのインタフェースを行う。

7.1.5 システムコントローラ

DVDプレーヤ全体の動作を統括制御する。

7.1.6 高精度メカユニット

高密度DVDディスクから信頼性高く信号を読取るには光ピックアップ、メカユニット、サーボ、それを制御するマイコンファームウェアが重要になる。ピックアップはジッタ、光軸振れ、キャリヤノイズ比、光出力などのばらつきを抑え込み、さらに低ジッタで信号を読取るためにはピックアップの光軸とディスクとの間の垂直精度をCD以上に高める必要がある。ここはサーボによる追い込みが困難な部分であり、機械部品の精度によるため、ピックアップとディスクモータの位置精度を向上させ、さらにピックアップのラジアル・タンジェンシャル傾き調整機構 (ピックアップのラジアル方向 (ディスクのトラックのサイド方向) の傾きとタンジェンシャル方向 (ディスクのトラック方向) の傾きを調整する機構) の導入により、傾きを抑える構成とする。ディスクモータによるディスクの面振れも調整困難な部分であり、ディスクテーブルとモータを一体加工し精度を向上させてこれを抑えている。

7.1.7 ピックアップサーボ

ピックアップサーボにはDVD特有のデュアルレイヤディスクに対するトラッキングサーボがある。CD再生で実績のあるビームトラッキング方式はシングル/デュアルの両ディスクに対応することはきわめて困

* プロロジック：ドルビーラボラトリーズライセンスコーポレーションの商標
PALプレーヤではドルビーデジタルがオプションとなり、代わりにMPEG Audioの復調が行われる。

難である。DVD 再生では1ビームトラッキング方式を採用し、安定したトラッキング性能を確保するために1ビーム位相差トラッキングエラー信号を生成している。CD 再生は3ビームトラッキング方式を採用する。

フォーカスサーボはCD再生、DVD再生ともに非点収差方式を採用している。また、デュアルディスクの各レイヤへのレーザービームスポット切換えはレイヤ間ジャンプ回路により高速に行う。

ピックアップサーボの主要部はデジタル化されており、RFゲイン、フォーカス・トラッキングサーボ等の最適回路定数設定は自動調整で行われる。

7.1.8 グラフィカルユーザインタフェース

グラフィカルユーザインタフェースはDVDの持つ多彩な機能を誰もが簡単操作で使いこなせるようにするもので、そのためのリモコンは使用頻度の高いボタンを使いやすいところにレイアウトし、テレビ画面に表示されるメニューを見ながらブラインドタッチで操作を可能とする。

(1) 通常映画再生のための必要な機能

操作ボタンとして電源、トレイ開閉、再生、一時停止、停止、スキップ・アップ/ダウンをセット本体に配置し、リモコンがなくても単純なタイトルの再生を可能とする。

(2) 多機能、多言語を使いこなすための機能

DVDには本体初期設定を行うセットアップメニュー、見たいところを呼び出すためのタイトルメニュー、ディスクメニュー、複数のカメラアングルを切換えるアングル切換、複数の字幕/音声言語切換とタイトルソフト側からの指示により選択するマルチタイトル機能がある。これらの機能を容易に実現するため、DVD専用操作ボタンをリモコンに設けた。以下その動作説明を行う。

① セットアップメニュー

初期設定として、画面表示言語、テレビ画面形状、アングルアイコン、音声言語、字幕言語、ディスクメニュー言語などで構成され、電源OFFでも設定内容は保持される。以下にそれぞれの設定方法を説明する。

- ・画面表示言語：セットアップメニューの言語を本体に用意された言語から設定
- ・テレビ画面形状（マルチ・アスペクト機能）：接続するテレビに合わせ16:9か4:3に設定4:3を選んだときのみレターボックスかパンスキンの設定画面が表示される。
- ・アングルアイコン：マルチアングルで記録され

た画像部分を再生すると自動的にアングルアイコンがテレビ画面に表示される。このアイコンが不要の場合はOFFに設定

- ・音声言語：字幕言語、ディスクメニュー言語は再生した時、記録されている各国語のうち、どの言語を優先して表示するかを設定

② タイトルメニュー/ディスクメニュー

各メニューが記録されているディスクを再生中にタイトルまたはメニューボタンを押すと、それに対応したメニューが表示され、カーソルボタンで再生したいタイトルまたはチャプタを選ぶ。

③ アングル切換

複数アングルが記録されているディスクのマルチアングル区間を再生中にアングルボタンを押すことで、最大9カメラアングルをシームレス再生で切換えることができる。

④ 字幕/音声切換

複数の言語が記録されたディスクを再生中に字幕または音声ボタンを押すことで、字幕は最大32ストリームから音声は最大8ストリームの中からダイレクトに各1言語の選択ができる。

⑤ マルチタイトル

マルチストーリー、インタラクティブストーリー、パレンタルに対応したディスクは再生中に表示される画面表示に従ったボタン操作を行うことで、再生順序、再生方法をコントロールするナビゲーションデータにもとづき進行する。なお、映像はシームレス再生で、画面の途切れることなく切替わる。

7.2 DVDレコーダ

家庭でテレビやビデオカメラの画像を録画するには90年代までは磁気テープを用いるVTRしかなかった。2000年代に入るとDVDレコーダはポストVTRとして急速に普及し始めた。その中で東芝は早くからHDD（ハードディスクドライブ）とDVDのコンビネーションであるHDD&DVDレコーダに着目し、2001年4月に第1号機となるRD-2000を他社に先駆けて製品化した⁽²⁾。それから現在に至るまで、各メーカーではHDD搭載モデルを主軸とした機種展開が盛んに行われている。

DVDレコーダは書き換え型のメディアであるDVD-RAM、DVD-RWそして追記型のDVD-Rなどのメディアを採用している。DVDレコーダはビデオ

レコーディングフォーマットを用いて記録することにより、テープのような面倒なダビング作業なしで編集作業を行うことができる。

HDDを備えたレコーダではDVDはHDDに記録されたものをダビングする使い方が多いと考えられ、高速記録できるメディアが求められる。

DVDのランダムアクセス機能を利用し、2001年7月には録画中の番組を再生できる“追っかけ再生”機能や、録画中のディスクに含まれる別番組が再生可能な機種が製品化された。2003年7月に、DVD-RAM、DVD RW、DVD-Rの3メディアに対応したDVD-Multi Driveを採用したレコーダが発売された。DVDレコーダは2002年12月にEthernet対応の機種が発売された。これにより、インターネット上のiEPG (Internet Electronic Program Guide) サイトを利用した番組予約、PCからの遠隔操作、電子メールによる番組予約が可能になった。また、2004年8月には地上波チューナを二つ搭載したHDD内蔵DVDレコーダが発売され、HDDに2番組同時録画が可能になった⁽³⁾。

7.2.1 DVDレコーダ用HDD

前記1号機のHDD容量は30GBであったが、この30GBのHDDにはSP(標準)モード(4.6Mビット/s)時に約12時間の番組を録画することができた。それ以来、HDDの容量は機種ごとに増え続け、2004年秋に発売したRD-X5では600GBのHDDを搭載し、SPモードで約272時間の録画が可能になっている。

図7.2に東芝の搭載HDD容量の変遷を示す。HDD容量は急速に拡大し、現在では7TBを搭載して、10chの放送番組1週間分(28日間)の録画が可能で機種も登場している⁽⁴⁾。

7.2.2 ハードウェアのシステム構成

ハードウェアのシステム構成はデジタル回路、アナログ回路、電源回路、フロント回路の4ブロックで構成されている。

デジタル回路は映像音声のデジタル信号処理、HDD/DVDへの記録再生処理、レコーダの特長であるネットワーク機能を実現するLANインタフェース、デジタルビデオカメラからのダビングを実現する

IEEE1394(米国電気電子技術者協会規格1394)インタフェースなどで構成されている。

アナログ回路は映像音声の入力切換え回路、映像音声のD/A(Digital to Analog)変換後のドライバ及

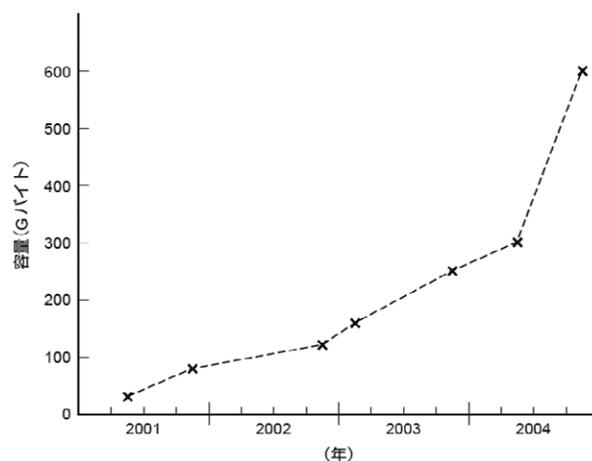


図 7.2 搭載 HDD 容量の変遷⁽²⁾

びフィルタ回路などで構成されている。

電源回路は各回路で必要な直流電圧を交流100Vから作り出す回路である。高精度な直流電源電圧を必要としている。

フロント回路は前面入力端子、電源やトレイ開/閉などのキー入力回路、表示管駆動回路、リモコン受光素子などで構成されている。

図7.3は世界初の2番組同時記録を実現した“W録”機種のDVDレコーダの回路構成である。

構成要素としては中核となるシステムLSIを中心に、インタフェースICを回りに配置した構成になっている。

図7.3に沿って主要な回路構成を説明する。

- (1) システムLSI: メインCPU、MPEG-2エンコーダ/デコーダ、ビデオA/D (Analog to Digital) コンバータ、ビデオデコーダ、ATAPI (AT Attachment Packet Interface) インタフェースなどを内蔵
- (2) ビデオ信号処理IC: ビデオA/Dコンバータ、ビデオデコーダ機能を内蔵
- (3) MPEGエンコーダIC
- (4) ストリーム切換えIC
- (5) 入力切換え(2回路): ビデオ信号用アナログスイッチIC、音声信号用切換えスイッチ内蔵A/DコンバータICで構成
- (6) IEEE1394、LANインタフェース
- (7) タイマCPU、表示管ドライバ
- (8) オーディオD/Aコンバータ
- (9) ビデオI/P (Interlace/Progressive) コンバータ、ビデオエンコーダ

上記(2)~(4)及び(5)の1回路はW録機能に必要な回路である。

信号の流れの概要を以下に説明する。

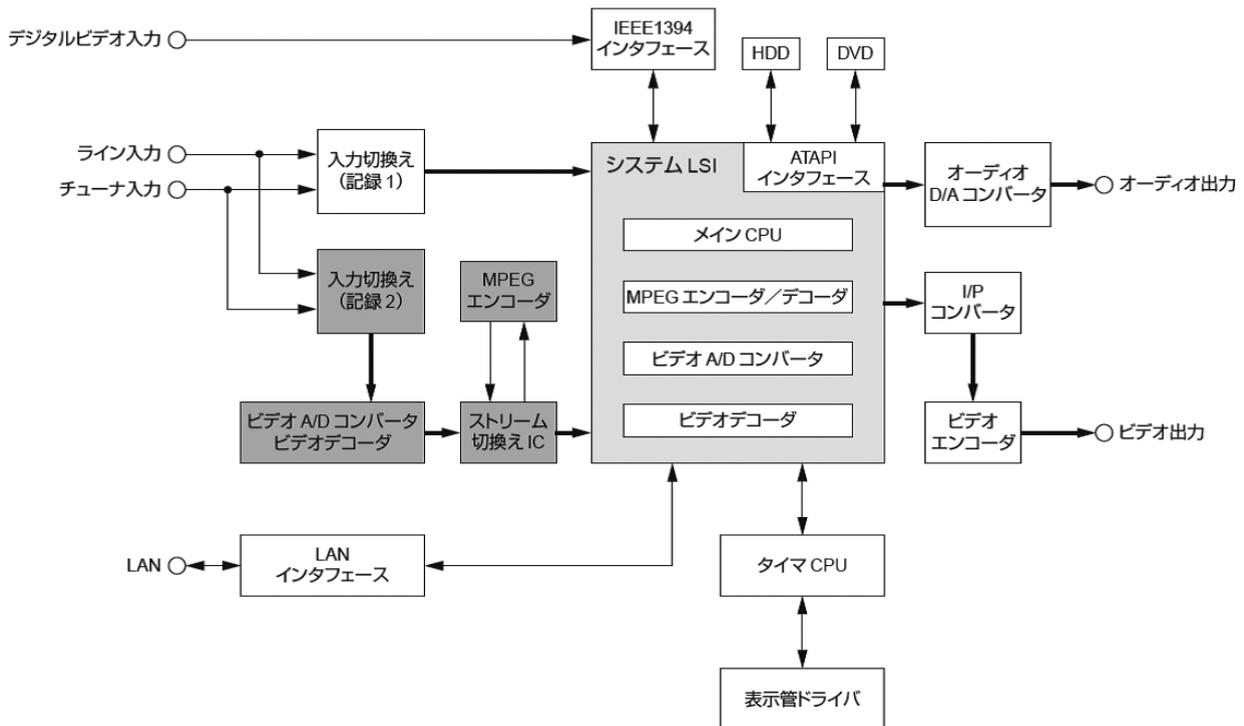


図 7.3 2ch 録画ができる HDD&DVD レコーダの回路構成⁽²⁾

録画時はチューナあるいはライン入力端子から入ってきた映像と音声信号は入力切換え回路に入力される。ここで、外付けの MPEG-2 エンコーダでコード化される（記録 2）か、システム LSI 内蔵の MPEG-2 エンコーダでコード化される（記録 1）かの経路を選択する。入力切換え後の映像信号はビデオ A/D コンバータとビデオデコーダを通った後、入力切換え回路において既に A/D 変換済みの音声信号とともに MPEG-2 にエンコードされ、システム LSI 内蔵の ATAPI インタフェースから HDD 又は DVD に記録される。

再生時は HDD 又は DVD から入ってきた信号がシステム LSI で MPEG-2 デコードされ、映像音声信号はオーディオ D/A コンバータなどの外付けの IC でアナログ変換されて外部へ出力される。

7.2.3 W 録コンセプトとその実現

DVD レコーダは第 1 号機の RD-2000 から DVD と HDD の二つのストレージデバイスを搭載している。これは「HDD で録り、DVD に残す」をコンセプトとした新しいスタイルを提案することを目的としたためであった。しばらくはこのコンセプトに沿って DVD レコーダは成長を続けた。

しかし、HDD の容量が大きくなるとわざわざ DVD に録画しなおす必要がなくなり、HDD に残したまま保存されるようになった。現在では録画画像を人に渡す場合などに DVD に記録するという使い方が多い。

“気になる番組をハードディスクにどんどん録画し、気に入ったものだけを DVD にライブラリとして残す”というコンセプトを追求した結果、RD-2000 では 30 GB であった HDD 容量が RD-X5 では 600 GB まで大きくなった。容量に余裕があると、録画しておき、後で見るか見ないか選択するという使い方ができる。同時に 2 番組を記録できる W 録機能では HDD に 2 番組を同時録画中に、HDD 内に保存された別のタイトル（録画コンテンツ）を再生することや、HDD から DVD に別のタイトルをダビングすることもできる。これは HDD の高速アクセス性のおかげであり、録画中のユーザー操作の制限を極力なくすようにできている。

HDD の容量が大きくなるほど HDD 内に保存されるタイトルの数も多くなり、そのタイトルを検索しやすく整理する機能が必要になる。そこで HDD と DVD 内のタイトルをフォルダに分類して保存する機能を設けている。

7.2.4 シームレスレート変換ダビング

1 コマ単位に編集できるフレーム精度の編集機能も DVD レコーダの特徴の一つである。しかし、MPEG-2 の特性上、編集済みのタイトルを再生すると編集点では一瞬画像が停止してしまうという現象がある。これを避けるため、レート変換ダビングという再エンコードを伴うダビング処理を行う際、編集点がシームレスに接続するよう不要部分を除いて再エンコード処

理を行う。これはフレーム精度で制御しているため、従来は不可能であったレート変換ダビング時のチャプタの開始・終了位置を正確に継承することも実現している。

7.2.5 デジタル放送対応 DVD レコーダ

地上デジタル放送、BS（放送衛星）デジタル放送、CS（通信衛星）デジタル放送に対応したハイビジョン記録対応機種が2005年春に1号機 RD-Z1として製品化された。

7.3 DVD プレーヤ・レコーダの実際

7.3.1 世界初の DVD プレーヤ

1995年9月15日家電メーカー等10社が規格統一の方針を発表し、12月にDVD-Videoの統一基本仕様が正式に決められた。その後、暗号技術、CSSの採用が1996年7月に決まり、これらを基に、1996年11月1日に東芝と松下電器産業が1号機を同時に製品化した。東芝の製品は当時の定価で77,000円だった。世界初のDVDプレーヤを図7.4に示す。

松下電器は1996年8月29日にDVDプレーヤ2機種とDVDプレーヤ内蔵テレビの3機種を11月に発売すると発表した。標準価格はDVDプレーヤDVD-A300 98,000円、DVDプレーヤDVD-A100 79,800円、DVD内蔵TV TH-28GD1 260,000円であった。DVD-A300は重さ3.5kg、幅430mm高さ87.5mm奥行き295mmで消費電力は17Wで、高性能MPEG-2デコーダLSIを搭載、ツインフォーカスピックアップを採用したのが特徴だった⁽⁷⁾。

一方、東芝も1996年9月26日にDVDプレーヤSD-3000を11月に発売すると発表、11月1日に同時発売となった。SD-3000のスペックを表7.2に示す。

DVDの特徴を生かした次のような特徴がある⁽⁶⁾。

① 4.7 GB はじめ大容量で高音質・高画質ソフトの長時間収録を実現

片面4.7GBタイプの大容量ディスクでは、高品

位デジタル信号圧縮技術MPEG-2による動画圧縮で、VHSビデオやビデオCD、レーザーディスクを上回る高画質映像、高音質音声を133分収録できる。映像は水平解像度500TV本の高画質映像を実現、音声はCDの規格を上回るリニアPCM音声（量子ビット数16/20/24ビット、サンプリング周波数48/96kHz）及びドルビーデジタル（AC-3）5.1ch方式に対応している。

② マルチ言語機能

音声で最大8言語、字幕で最大32言語を収録可能。DVDソフトに収録された音声・字幕をユーザが自由に選択し組み合わせて再生することができる。

③ マルチアスペクト機能

ワイド映像のフルスベック情報を4:3の映像に圧縮してディスクに収録するスクイーズ方式にも対応しており、ワイドテレビではスクイーズ画像を16:9のワイド映像に戻して再生し高画質の映像を楽しめる（フルモード）。4:3画面のテレビでは上下を縮めるレターボックス、ワイド映像の一部分を4:3に切り出すパンスカムのいずれかを選択し高画質の映像を楽しめる。

④ マルチストーリー機能

あらかじめストーリー展開の選択を行ったり、ストーリーの分岐点ごとにメニュー画面を設けストーリーを選択するなど、ソフト制作者が用意した様々なストーリー展開を楽しむことのできるマルチストーリー機能を備えている。

⑤ マルチアングル機能

ソフト制作者側で一つの場面やシーンを複数のカメラアングルで収録し、ユーザ側で好きなアングルを選択して再生できるマルチアングル機能を備えている。

その後、各家電メーカーではDVDプレーヤの開発が盛んに行われた。1997年11月にはポータブルDVDプレーヤSD-P41価格75,000円が初めて東芝から製品化された。これまでのDVDプレーヤはいわゆる据え置きタイプであったが、気軽に持ち運んで別の部屋で使用するなど、DVDの利用の幅を広げる商品とし



(a) 東芝製 SD-3000⁽⁶⁾



(b) 松下電器製 DVD-A300⁽⁷⁾

図 7.4 世界初の DVD プレーヤ

表 7.2 SD-3000 のスペック⁽⁶⁾

対応規格	DVD-Video ディスク、CD オーディオディスク再生可能
ビデオ特性	NTSC 対応、MPEG-2 映像圧縮対応 (ISO/IEC-13 8 18) 可変ビットレート対応、ワイドアスペクト比 16 : 9 対応 レターボックス対応、 パンスキャン対応、字幕 32ch から 1ch 選択可能
ビデオ出力	1.0 V (p-p) /75 Ω
S ビデオ出力	(Y) 1.0 V (p-p) /75 Ω (C) 0.286 V (p-p) /75 Ω
オーディオ特性	ドルビーデジタル (AC-3) 対応 ドルビープロロジック出力対応 5.1ch デジタルサラウンド (デジタル出力) 対応 リニア PCM オーディオ対応 音声 8 ストリームから 1 ストリーム選択可能
アナログ出力	2.0 V/330 Ω 周波数特性 : 10-20 kHz, S/N 96 dB ダイナミックレンジ : 93 dB 全高調波歪率 : 0.006%
デジタル出力	0.5 V (p-p) /75 Ω
出力端子 ビデオ出力	ビデオ出力 1 系統 (PIN) S ビデオ出力 1 系統 色差出力 1 系統 (Y, Cr, Cb)
オーディオ出力	アナログ出力 LR 2 系統 (PIN) PCM/AC-3 デジタル出力 2 系統 (同軸 / 光)
電源 本体	AC 100 V ± 10 % (50 Hz/60 Hz)
リモコン	DC 3 V (単 4 乾電池 × 2)
消費電力	18 W (本体)
外形寸法	幅 430 mm、高さ 81 mm、奥行き 308 mm
質量	3.2 kg

て期待された。図 7.5 に示すように、幅 257 mm 奥行 182 mm 厚さ 47 mm で重さ 1.2kg とコンパクトサイズを実現した⁽⁸⁾。

図 7.6 に示す DVD プレーヤ DVP-S7000 はソニーの DVD プレーヤ 1 号機で、質量 7.0 kg、本体の寸法は幅 430 mm 高さ 111 mm 奥行 395 mm、消費電力は 28 W であった⁽⁹⁾。CD をはじめとするデジタル機器の開発・商品化で培ってきた光学系、半導体、画像圧縮技術により、DVD ビデオソフトの高画質な映像、高音質な音声を高画質、高音質と共になめらかな変速再生も実現し、クリックジョグシャトル付きリモコンで操作性を向上させた⁽⁸⁾。

数々の特徴を述べているが、主なものは

①独自開発“独立デュアルピックアップ”を搭載

ソニーが独自に開発した“独立デュアルピックアップ”を搭載、DVD ディスク用に波長 650 nm のレーザー、ビデオ CD と音楽 CD 用に波長 780 nm のレーザーと、各々に専用ピックアップを採用することにより、異なる物理特性をもつ各ディスクに対し、最適な信号の読み取りを可能としている。また 2 層方式の DVD ディスク (容量 8.5 GB) の読み取りも可能。

②デジタル RF プロセッシング LSI の採用

デジタル RF プロセッシング LSI の採用により、ディスクごとにジッタ値をデジタル計測し、ディスクの個体差、環境や経時によるディスクの変化などにプレーヤが対応できる設計とし、これにより最低のエラーレート状態で信号を読み取ることができ、安定したディスクの再生が可能としている。

③チルトサーボ機構の導入

ディスクの反りや回転時の傾きを電気的に検出し、光軸を常にディスクに対して垂直に保つチルトサーボ機構を導入し、DVD ディスクの安定した再生を実現。

④ 10 ビット変換の映像 D/A コンバータの採用

DVD ディスクからの 8 ビットのデータを 10 ビットに変換、演算処理を行ない、最終段の D/A コンバータでも 10 ビットの処理をする映像 D/A コンバータを採用、これにより、映像情報の細部までを忠実に、アナログ信号としてテレビ等映像機器に出力することができる。

⑤デジタルビデオノイズリダクション (DNR) 回路の搭載

循環型ノイズリダクション回路をベースとしたデジ



TOSHIBA
コンパクトDVDプレーヤー「SD-P410」

図 7.5 ポータブル DVD プレーヤー 1 号機
東芝 SD-P410⁽⁸⁾



図 7.6 DVD プレーヤー 1 号機 ソニー-DVP-S7000⁽⁹⁾

タルビデオノイズリダクション (DNR) 回路で、ビデオ信号からノイズ成分と思われる信号を分離、抽出することにより、動画再生中の静止部分 (背景など) に現われるノイズの減少を図り、チラツキの少ない映像の再現を可能としている。本機能はビデオ CD にも有効。

2000 年 3 月 4 日には SONY COMPUTER ENTERTAINMENT INC. 社が発売するコンピュータエンタテインメント・システム「プレイステーション 2」SCPH-10000 (略称: S2) に、DVD 専用プレーヤー並の多機能性と高画質を実現した DVD プレーヤーが標準機能として搭載された。マルチ言語 (音声及び字幕)、マルチアングル、マルチストーリー及び視聴年齢制限 (パレンタルロック、8 段階) などの DVD ならではの多彩な再生機能に対応、画像品位においてもスーパーコンピュータに匹敵する演算性能を有する 128 ビット CPU と専用のグラフィックス・エンジン「グラフィックス・シンセサイザ」を駆使したソフトウェア処理により、高級 DVD ビデオプレーヤーに匹敵する高画質を実現した⁽¹⁰⁾。

DVD ビデオプレーヤーの機能を全てファームウェア (ハードウェアとソフトウェアの組合せ) により実現することで今後の再生機能の向上やバージョンアップ、新世代の表示技術であるプログレッシブ再生などに、より広範にソフトウェアのみで拡張可能になった。折からのプレステ人気もあって、発売から 3 日間で累計販売台数 98 万台を達成した⁽¹¹⁾。

7.3.2 世界初の DVD レコーダ

その後、各メーカーの熾烈な新製品開発競争が展開されて、1999 年 11 月にパイオニアは世界初の家庭用 DVD レコーダ DVR-1000 を 25 万円で発売した。記録メディアは DVD-RW だった。記録メディアの供給が十分でなかったため、パイオニアはレコーダの発売に合わせて、録画用 DVD-RW ディスクも同時に発売した。続いて、2000 年 6 月に DVD-RAM に記録する家庭用 DVD レコーダの 1 号機 DMR-E10 を松下電器が製品化、2000 年 12 月には DVD-R に記録できる DVD レコーダ DVR-2000 を再びパイオニアが製品化した。一方、2001 年 4 月に HDD を内蔵した DVD レコーダ 1 号機 RD-2000 を東芝が製品化した。

なお、PC 用では松下電器が外付けタイプの DVD-RAM ドライブ LF-D100J を 1998 年 1 月に価格 10 万円で発売、一般向けでは初めての製品とされる。DVD-RAM 規格 Ver. 1.0 に準拠、容量は片面 2.6 GB、両面 5.2 GB となっている。日立製作所も 1998 年 4 月に DVD-RAM ドライブを発売している。

(1) DVD-RW に録画するパイオニアの DVR-1000⁽¹²⁾

パイオニアが DVR-1000 として DVD レコーダを 1999 年 11 月に発売した。外観を図 7.7 に示す。記録メディアの DVD-RW は DVD ビデオと同じ容量の 4.7 GB、直径 12 cm の光ディスクで、DVD Forum で決定された規格である。録画時間は標準モード (SP) で 2 時間、次のような特徴があった。



図 7.7 1999 年に発売された世界初の DVD-RW レコーダ
パイオニア DVR-1000⁽¹²⁾

① 頭出し不要の簡単録画

「DVR-1000」では、REC ボタンを押すだけで即座に録画を開始、面倒な頭出しが必要ない。VTRのように録画できる場所を早送り・巻き戻して探したり、録画済の部分に誤って上書きしてしまう心配もない。ディスクを挿入するだけで、録画されている内容や記録可能な領域などを自動的にサーチし表示する。また、複数の番組を録画予約した場合は、現在挿入しているディスクに、どの番組まで録画可能かを表示する。

② 録画内容・時間に応じて最適な画質が選べるマニュアルレート録画

「DVR-1000」は録画内容・時間に応じて最適な画質が選べるマニュアルレート録画が可能。最短の1時間から最長の6時間まで、32ステップの録画モード（記録レート）を選択することで録画したい番組の時間とディスクの残量時間から、最適な画質を選ぶことができる。

③ ディスクの録画内容が一覧できる「ディスクナビ」

「ディスクナビ」ボタンを押すと、ディスクに録画されている内容が静止画で一覧表示される。見たいタイトルを画面上で選択・決定するだけで、すぐにそのタイトルの再生がスタートし、VTRのように、早送り、巻き戻しをする必要がなく、再生の頭出しが一発でできる。また、ディスクナビで表示される見出し用の静止画を好みのシーンに変更することも可能。

④ MD などの簡単操作を実現した楽々ビデオ編集

ノンリニアなプログラム編集も簡単に行なえる。VTRのように2台のデッキを使用し、手間のかかるダビングをする必要がなく、リモコンを使いながらMD などの手軽さで、多彩な編集作業が簡単に行なえる。

タイトル単位の消去、保護はもちろん、映像を見ながら編集ポイントを打つことで、部分的な消去やコピーなども自由自在。あたかも実際に切り貼りしたようなプレイリストを作成し、見たいシーンを見たい順番で再生することも思いのままできる。

⑤ ディスクごとに録画の予約情報を記憶できるディスク予約機能

「DVR-1000」では、録画の予約情報をディスク自体に記憶させることができる。このディスク予約機能を使えば、ディスクを本体に挿入するだけで、予約録画の準備は完了。



図 7.8 世界初の DVD-RAM レコーダ
松下電器 DMR-E10⁽¹³⁾

(2) DVD-RAM に録画する松下電器の DMR-E10⁽¹³⁾

DMR-E10 は DVD-RAM に記録する世界初の家庭用 DVD レコーダで、図 7.8 示すように、重さ 7.2 kg、本体の寸法は幅 430 mm 高さ 125 mm 奥行き 352 mm、消費電力は 48 W であった。記録メディアは 4.7 GB DVD-RAM ディスクで、XP で約 60 分、SP で約 120 分の録画ができた。

DVD の機能を生かした下記のような特徴がある。

① 高画質・高音質の長時間録画を実現した先進のデジタル技術搭載

独自の高画質技術で、ハイクオリティな映像と長時間録画を実現するハイブリット VBR（バリエابل・ビット・レート）方式を採用。また、録画時間と内容（目的）に合わせて選べる録画モードが設定できる。

② ディスクならではのランダムアクセスによる快適操作性

VTR のように巻き戻しも、早送りも不要で、すぐに録画可能で、最後に録画した映像もすぐに再生できる。

③ 用途を広げる多彩な再生機能搭載

多彩なディスクの再生に対応したマルチディスク再生・劇場をリアルなサウンドに再現するドルビーデジタル 5.1ch サラウンドデコーダ内蔵 & DTS デジタル出力対応・高精細映像を再現するプログレッシブ再生など、画質・音質で多彩に楽しめる。

2001 年 12 月には日本ビクター（現：JVC ケンウッド）が DVD-RAM 方式の単体機「HR-VDR1」を発売している。

(3) DVD-R に録画するパイオニアの DVR-2000⁽¹⁴⁾

DVR-2000 は DVD-R に記録可能にした世界初の家庭用 DVD レコーダで図 7.9 に示すように、重さ 8.5 kg、本体の寸法は幅 420 mm 高さ 144 mm 奥行き



図 7.9 世界初の DVD-R レコーダ
パイオニア DVR-2000⁽¹⁴⁾



図 7.10 世界初の HDD 内蔵 DVD レコーダ
東芝 RD-2000⁽¹⁵⁾

389 mm、消費電力は 75 W であった。記録メディアは DVD-R の他、DVD-RW にも対応している。

更に、DV 方式のビデオカメラとのデジタルダビングを可能に、DVD-R ディスクは、上書き消去の心配がなく、繰り返しの再生でも画質・音質の劣化がないので、ビデオカメラで撮影したお子様の成長記録など、大切な映像を保存するのに最適としている。

現在最も多く使われている DVD-R ディスクに録画できる DVD レコーダはその後、2001 年 7 月に松下電器から発売された。松下電器の DMR-E20 で価格 135,000 円、外形寸法は幅 430 mm 高さ 120 mm 奥行き 351 mm、重さは 6.1 kg。DVD-RAM を使用した場合に、DVD としては世界で初めて録画中のソースを前に戻って再生できるタイムシフト機能を搭載した。前述の追っかけ再生と同じ。

パイオニアも同時期に DVR2000 の後継機種 DVR-7000 を 198,000 円で発売した。改良点はプログレッシブ出力に対応した。S 社にも OEM 供給された。ソニーは 2001 年 9 月に PDR-A1 として発売した。

2002 年 3 月に松下電器が発売した DVD レコーダ DMR-E30 は初めて定価が 10 万円を切り、DVD レコーダ人気に拍車をかけることになった。

(4) HDD 内蔵 DVD レコーダ⁽¹⁵⁾

世界初の HDD を内蔵した DVD レコーダ 1 号機 RD-2000 は 2001 年 4 月に東芝が製品化した。

図 7.10 に示すように、希望小売価格 27 万円、重さ 8.9kg、本体の寸法は幅 430 mm 高さ 110 mm 奥行き 360 mm であった。

30 GB の HDD と 4.7 GB の DVD-RAM ドライブを内蔵しているため、最長で約 33 時間半までの録画時間と、HDD と DVD-RAM 間での相互の編集記録を可能にし、今では当たり前の「テレビ番組は HDD に録画して見る」「残したい映像だけ DVD でライブラリ

表 7.3 HDD 内蔵 DVD レコーダ 東芝 RD-2000 の仕様⁽¹⁵⁾

形名	RD-2000
再生可能メディア	DVD-RAM ディスク (片面 4.7 GB / 両面 9.4 GB のみ)、DVD ビデオディスク、ビデオ CD ディスク、音楽 CD ディスク
録画可能メディア	DVD-RAM ディスク (片面 4.7 GB / 両面 9.4 GB のみ)
録画方式	MPEG 2
録音方式	ドルビーデジタル 2ch、リニア PCM
録画時間	DVD-RAM SPモード：約 2 時間 LPモード：約 4 時間 マニュアルモード：約 1 時間から約 4 時間半 ジャストモード：約 1 時間から約 2 時間半 HDD SPモード：約 12 時間 LPモード：約 26 時間半 マニュアルモード：約 6 時間から約 29 時間 ジャストモード：約 1 時間から約 2 時間半 最長連続録画単位：9 時間
電源	AC：100 V ± 10% (50 / 60 Hz)
外形寸法	幅 430 × 高さ 110 × 奥行き 360 mm
質量	8.9 kg
付属品	リモコンユニット、リモコン用電池 (単 4 × 2)、AV 接続ケーブル、S 接続ケーブル、電源ケーブル、取扱説明書

保存する」という新しい AV スタイルを提案した。

また、録画が始まっている番組でも冒頭から再生することができる「追っかけ再生機能」や受信中の番組の一時停止や再生ができる「TV お好み再生機能」など、大容量で高速アクセスが可能な HDD の特長を活かした機能を実現した。主な仕様を表 7.3 に示す。

なお、2000 年 11 月の発表当初は同年 12 月 22 日に発売を予定していたが、実際の発売は 2001 年 4 月になった。

この HDD で採り、DVD に残すという概念はその後の DVD レコーダの主力製品となって行った。

2002 年 12 月にはパイオニアから 120 GB の大容量 HDD を搭載し、最長 153 時間の録画を実現する DVD レコーダ DVR-99H が発売された。

松下電器からは 2003 年 4 月に 80 GB の HDD 搭載 DVD レコーダ DMR-E80H が製品化され、HDD から DVD へ、最大 12 倍速でダビングされた。

ソニーは 2003 年 12 月に 250 GB の HDD 搭載 DVD レコーダ DESR-7000 と 160 GB の HDD 搭載 DVD レコーダ DESR-5000 を同時発売している⁽¹⁶⁾。

文 献

- (1) 五十嵐正男：DVD プレーヤー、映像情報メディア学会誌 Vol.51, No.7, pp.965~969 (1997)
- (2) 肥後正寿、神尾広幸：HDD&DVD レコーダ、東芝レビュー、Vol.60, No.12, pp.7-10 (2005)
- (3) 佐藤裕治、永井宏一：8-8 DVD レコーダ・プレーヤー、画像電子学会誌、Vol.33, No.6, pp.1038-1040 (2004)
- (4) Panasonic DVD レコーダ パンフレット、2018 年 12 月
- (5) Toshiba DVD レコーダ パンフレット、2018 年 8 月
- (6) 東芝ニュースリリース、DVD ビデオプレーヤーの商品化について、1996 年 9 月 26 日
https://www.toshiba.co.jp/about/press/1996_09/pr_j2603.htm 2019 年 2 月参照
- (7) 東芝ニュースリリース、持ち運びに便利な業界最小サイズの DVD ビデオプレーヤーの発売について、1997 年 9 月 29 日
https://www.toshiba.co.jp/about/press/1997_09/pr_j2901.htm 2019 年 2 月参照
- (8) パナソニック Home Page、DVD レコーダ・DVD プレーヤー・ビデオデッキ商品詳細 DVD-A300
<https://av.jpn.support.panasonic.com/support/product/video/02/DVD-A300.html> 2019 年 2 月

参照

- (9) ソニー報道資料、DVD ビデオソフトの高画質な映像を再現 音楽 CD、ビデオ CD (Ver. 2.0) の再生も可能な DVD プレーヤー『DVP-S7000』発売、1997 年 1 月 9 日
https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press_Archive/199701/97V-001/index.html 2019 年 2 月参照
- (10) SONY COMPUTER ENTERTAINMENT INC. プレスリリース、「プレイステーション 2」本格的 DVD ビデオプレーヤー機能搭載、2000 年 2 月 10 日
<https://www.sie.com/content/dam/corporate/jp/corporate/release/pdf/000210.pdf> 2019 年 2 月参照
- (11) SONY COMPUTER ENTERTAINMENT INC. プレスリリース、「プレイステーション 2」初回販売台数 98 万台を達成、2000 年 3 月 6 日
<https://www.sie.com/content/dam/corporate/jp/corporate/release/pdf/000306.pdf> 2019 年 2 月参照
- (12) パイオニアプレスリリース、世界初、DVD ディスクへの録画を実現 DVD レコーダ「DVR-1000」新発売～「テープから、ディスクへ」いま、メディアが変わる～、1999 年 11 月 25 日
<https://jpn.pioneer/ja/corp/news/press/index-636> 2019 年 2 月参照
- (13) パナソニック Home Page、DVD ビデオレコーダ DMR-E10
<https://panasonic.jp/diga/p-db/DMR-E10.html> 2019 年 2 月参照
- (14) パイオニアプレスリリース 世界初 既存の DVD プレーヤーや、DVD ビデオに対応したパソコンでの再生互換を実現 ビデオモード録画対応の DVD レコーダ「DVR-2000」を新発売、2000 年 11 月 20 日
<https://jpn.pioneer/ja/corp/news/press/index-567> 2019 年 2 月参照
- (15) 東芝ニュースリリース、世界初の HDD&DVD ビデオレコーダ「RD-2000」の新発売について、2000 年 11 月 16 日
http://www.toshiba.co.jp/about/press/2000_11/pr_j1602.htm 2019 年 2 月参照
- (16) ソニー報道資料 DESR-7000 DESR-5000、2003 年 10 月 7 日
<https://www.sony.jp/CorporateCruise/Press/200310/03-1007/>

8 | DVD の市場

8.1 DVD 後のスタジオ

これまで映画館での上映と一部の放送事業者への提供による収益だけであったのが、DVD の出現で、Hollywood のスタジオ収入の倍増という大きな構造変化が起こった。その後、2K 対応（現在の HD デジタル放送）の HD-DVD や BD が登場した。

2018 年から BS で放送が開始された 4K/8K 対応には新しいディスクの規格が必要になるが、4K 対応は Blu-ray Disc Association にて Ultra HD Blu-ray (UHD BD) が規格化された。Disc は 25 GB × 2 層、33 GB × 2 - 3 層のいずれかとなる。ディスクとしては互換性がないが、信号をダウンコンバートすれば、

BD の再生回路に送り込むことにより、再生は可能である。

一方、CG による映画製作の蔓延が生じ、金のかかるスター養成をサボるようになったので、今はスター不在になっている。フランス映画、イタリア映画なども衰退している。古い映画をリメイクして DVD 出版することにより、ハリウッドの収入が増えたが、楽しんで儲けることを覚えた結果新作が出にくくなり、映画の話題作は少なくなっている。古い映画のリメイクは IBM の技術により、非常に綺麗な映像が得られるようになった。TV 放映では、雑音が無く、カラーも美しい映像が得られている。

このように、劇場映画収入は減ったが、DVD と TV にコンテンツを売ることによる収入が増えた結果、一層、多角化が進んでいる。

DVD のコンテンツについては、東芝が Warner Home Video と協力してコンテンツを集め、競合するソニーが Sony Pictures からコンテンツを熱心に出し、松下電器が Universal Studio を買収してコンテンツを集めた。その結果、DVD のコンテンツは最初からかなりの量が集まった。Disney、Dream Works、スタジオジブリなどは様子見で、成功してから後出しじゃんけんを狙ったが、実際は先行して発売した Warner が売り上げが急増して儲かったので、あせって出した裏事情もあったようだ。

8.2 DVD の市場

音声と映像の分野では記録技術の発達により、20～30 年に一度、革新的なパッケージメディアが登場してきている。初めはエジソンが蠟管による音声記録を発明した。その後、円盤のレコードが SP、LP と発展した。それまではアナログ記録だったが、CD からデジタル技術が投入された。CD はデジタルメディアとしては最初の商品だったが大成功を納めた。これを受け、デジタル技術と記録技術の発達により、CD の 6 倍の記録容量を実現し、ビデオとオーディオの総合的なメディアを実現したのが DVD (Digital Versatile Disc) である。このため、DVD は市場の伸びも従来の記録メディアになく順調だった。図 8.1 に DVD ビデオプレーヤの市場の推移を示す。過去の CD、VHS、LD 等と比較して、DVD の伸びは驚異的であり、タイトル数の伸びも図 8.2 に示すように、ハードと同じような曲線を描いて伸びている。ソ

フトとハードの普及が連動して、市場の伸びをもたらしていることがよくわかる⁽¹⁾。

アナログ方式のレコードがデジタル方式の CD へと変化し、アナログ方式の VTR がデジタル方式の DVD へと記録メディアはオーディオ、ビデオ共にアナログ方式からデジタル方式へと変化してきた。これからは高速な情報通信と大容量記録媒体の進歩により、従来の記録メディアを介することなく、インターネット配信へと変化していく。個別に所有している HDD や USB などの半導体メモリに直接記録し保存する方式やクラウドに保存しておく方式も普及していくと予想される。

各種の方式が乱立していた VTR では記録保存しておいた映像が再生する機器がなくなり見られないという事態が発生している。記録メディアに保存していた映像は普及時期が過ぎると再生できなくなる危険をはらんでいる。

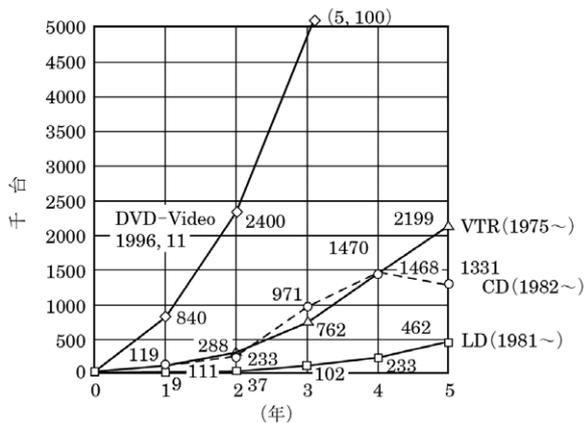


図 8.1 DVDビデオプレーヤー世界市場の伸び⁽¹⁾

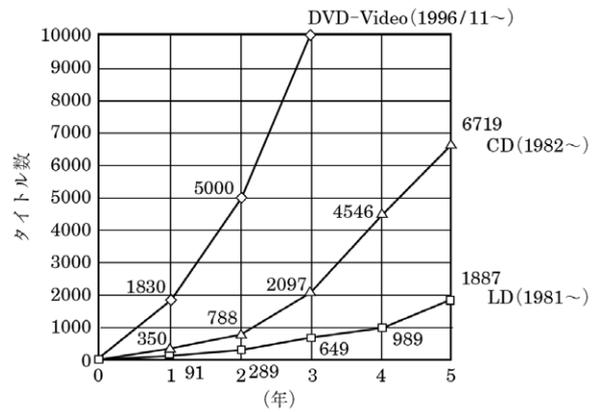


図 8.2 DVDソフトの普及(全世界合計)⁽¹⁾

8.3 DVDレコーダ・プレーヤーの生産高

DVDレコーダ・プレーヤーの生産高の統計はJEITA(日本電子機械工業会)では2000年から始まった。2018年までの生産高を表8.1、図8.3に示す。2002年まではほとんどがDVDプレーヤーだったので統計上一括してDVDとして取り扱われている。

2003年以降はDVDレコーダとプレーヤーが分かれ、プレーヤーは2004年にピークを迎えた。2003年にHDデジタル放送が開始されたこと、コピーテンの制

約などの要因で生産高は減少していった。HDデジタル放送対応のHD-DVDとBDが発売されて急速に生産高が増加、2011年にピークを迎えたが、その後、経済状況の悪化要因やネット配信の普及により減少傾向にある。

なお、多くの民生用機器の場合と同じように、DVDレコーダ・プレーヤーも海外生産が多くなり、表8.2、図8.4に示すように、国内生産の倍近くを輸入する状況にある。また、同じビデオメディアであるVTRの生産高を比較すると表8.3、図8.5に示すように、2002年を境に逆転していることが判る。

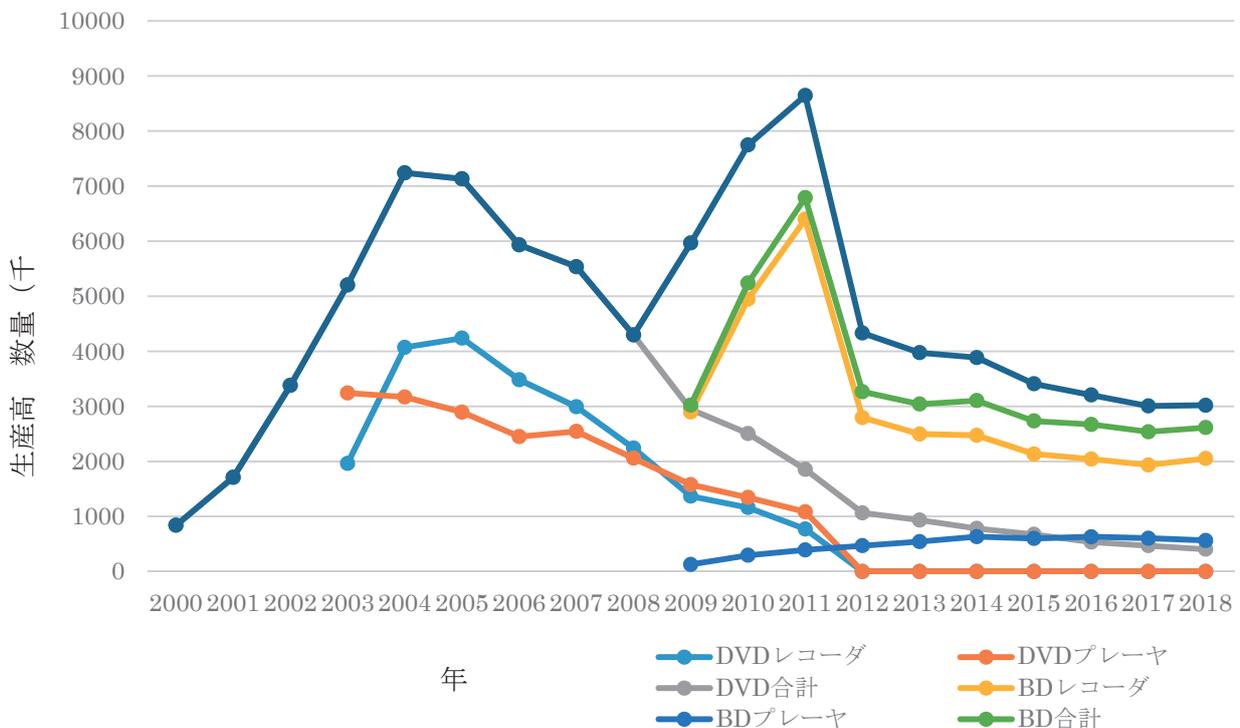


図 8.3 DVD 国内生産高 単位: 千台 文献(2)を参照して作成

表 8.1 DVD 国内生産高 文献 (2) を参照して作成

年	DVDレコーダ・プレーヤ			BDレコーダ・プレーヤ			総計
	レコーダ	プレーヤ	合計	レコーダ	プレーヤ	合計	
2000			840				840
2001			1,709				1709
2002			3,379				3379
2003	1,962	3,242	5,204				5204
2004	4,071	3,169	7,240				7240
2005	4,238	2,894	7,132				7132
2006	3,482	2,450	5,932				5932
2007	2,991	2,545	5,536				5536
2008	2,240	2,057	4,296				4296
2009	1,367	1,577	2,944	2,895	128	3,022	5966
2010	1,162	1,344	2,506	4,946	294	5,240	7746
2011	771	1,085	1,856	6,398	391	6,789	8645
2012	-	-	1,065	2,796	469	3,265	4330
2013	-	-	934	2,497	543	3,040	3974
2014	-	-	782	2,472	632	3,104	3886
2015	-	-	675	2,134	599	2,733	3408
2016	-	-	534	2,042	629	2,671	3205
2017	-	-	469	1,934	603	2,537	3006
2018	-	-	405	2,051	563	2,614	3019

表 8.2 DVD 輸入高
文献 (3) を参照して作成

年	DVD輸入
2000	
2001	
2002	3,604
2003	5,248
2004	8,468
2005	9,322
2006	8,634
2007	11,028
2008	12,130
2009	11,285
2010	13,127
2011	12,306
2012	7,845
2013	7,386
2014	7,504
2015	6,041
2016	6,146
2017	5,888

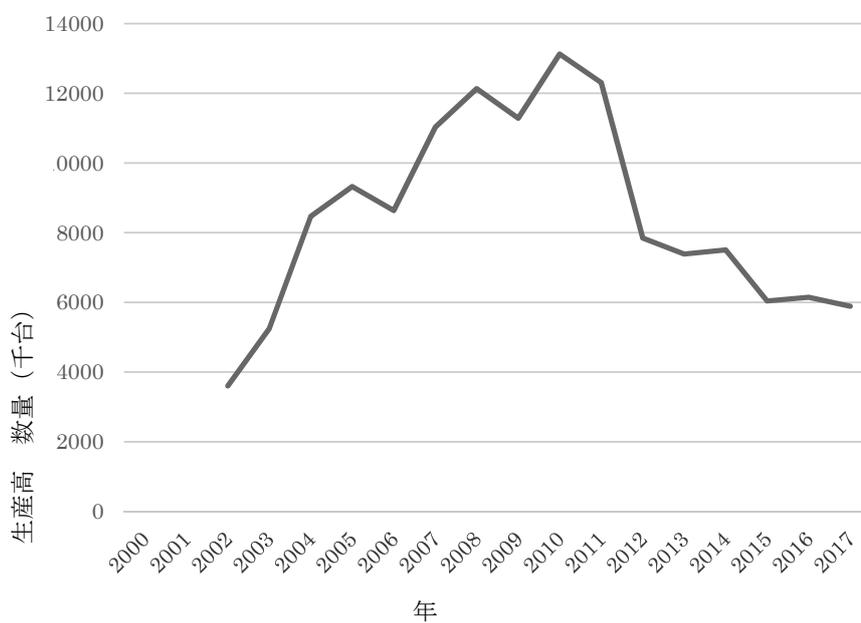


図 8.4 DVD 輸入高の推移 単位: 千台 文献 (3) を参照して作成

表 8.3 DVDとVTR 国内生産高の比較
文献(3)を参照して作成

年	VTR	DVD
2000	6,412	840
2001	6,132	1,709
2002	4,729	3,379
2003	2,952	5,204
2004	1,848	7,240
2005	1,093	7,132
2006	570	5,932
2007	289	5,536
2008	163	4,296

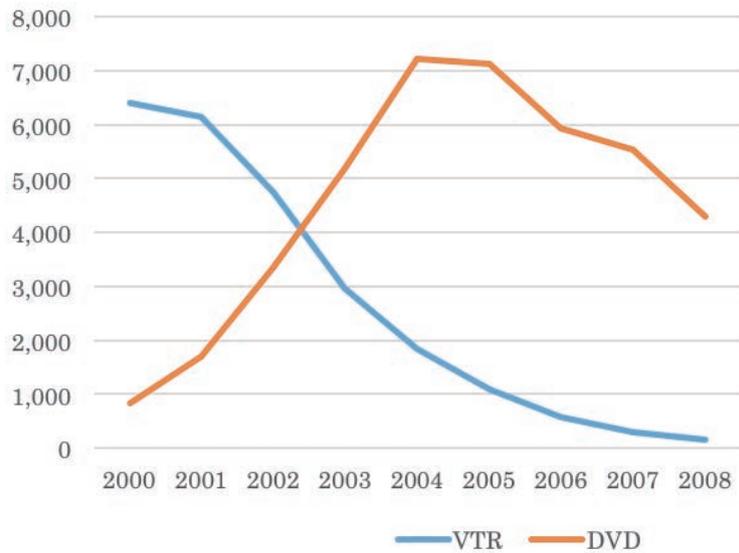


図 8.5 DVDとVTR 国内生産高の比較 文献(3)を参照して作成

8.4 DVDソフトの実際

8.4.1 ビデオソフトの売上げ

ビデオソフトについては一般社団法人 日本映像ソフト協会で統計が報告されている⁽³⁾。それによると、表 8.4、図 8.6 に示すように、DVD の出現前はビデオカセット (VTR ソフト) と LD がほとんどを占めていたが、その後は DVD ビデオが圧倒的に増加している。なお、UMD はプレイステーションポータブル用ソフトである。

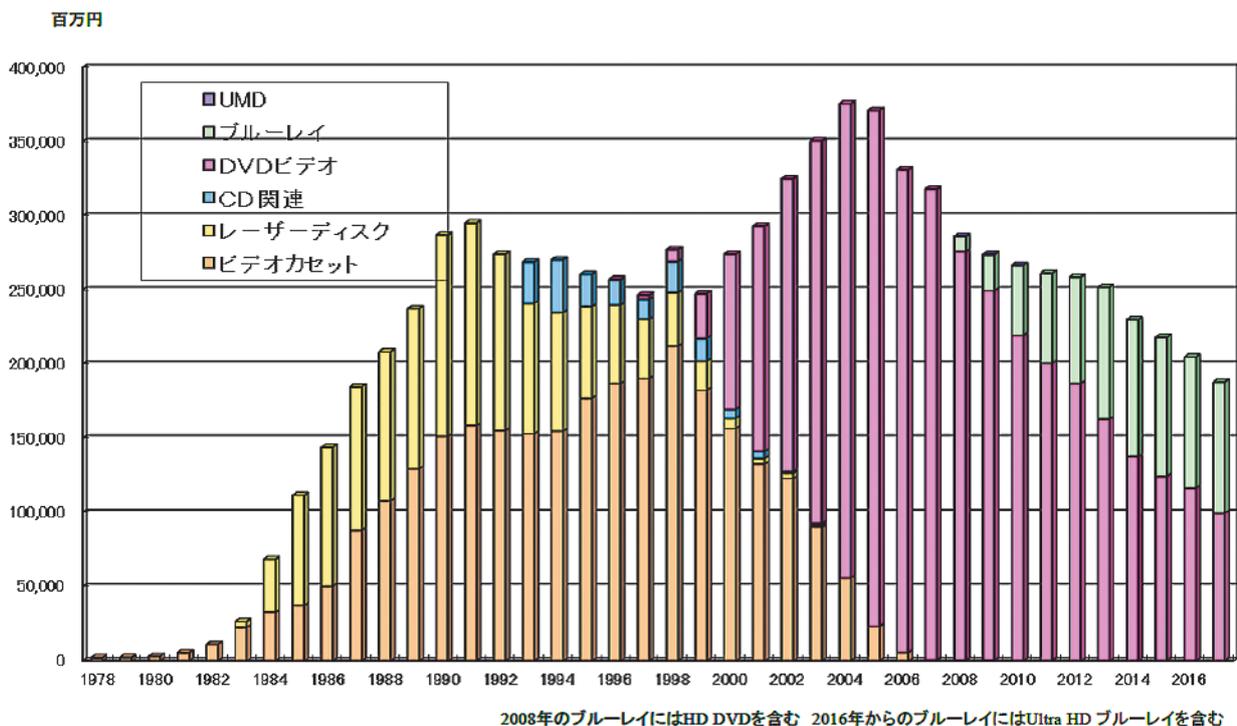


図 8.6 ビデオソフトの推移 売上金額 文献(4)による

表 8.4 ビデオソフトの推移 売上金額による 文献 (4) より転載

年	回答数	関連事業の総売上		ソフトの小計		ビデオセット		レーザーディスク		CD関連		DVDビデオ		DVD-ROM		ブルーレイ		UMD	
		前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比	前年比
1978	18/17	4,572	152.1%	2,049	102.8%	2,049	102.8%												
1979	21/17	5,557	121.5%	2,166	105.7%	2,166	105.7%												
1980	14/18	7,052	126.9%	2,967	137.0%	2,967	137.0%												
1981	25/28	10,374	147.1%	5,273	177.7%	5,273	177.7%												
1982	33/31	19,313	186.2%	10,935	207.4%	10,935	207.4%												
1983	33/33	38,981	201.8%	26,462	242.0%	22,516	206.0%												
1984	30/31	82,910	212.7%	68,334	258.2%	32,619	145.1%	3,946											
1985	40/46	129,891	156.7%	111,575	163.3%	37,364	114.5%	35,715	605.0%										
1986	50/50	163,714	126.0%	143,971	129.0%	50,427	135.0%	74,211	207.8%										
1987	51/52	205,017	125.2%	184,606	128.2%	87,739	174.0%	96,867	103.6%										
1988	52/54	229,133	111.8%	208,181	112.8%	107,815	122.9%	100,366	103.6%										
1989	56/53	260,807	113.8%	237,277	114.0%	129,507	120.1%	107,770	107.4%										
1990	50/51	309,063	118.5%	286,954	120.9%	151,304	116.8%	135,650	125.9%										
1991	50/51	316,410	102.4%	295,006	102.8%	158,447	104.7%	136,559	100.7%										
1992	49/47	291,966	92.3%	274,047	92.9%	155,150	97.9%	118,897	87.1%										
1993	48/47	277,716	95.1%	268,733	98.1%	152,987	98.6%	87,826	73.9%	27,920									
1994	43/39	279,065	100.5%	270,177	100.5%	154,822	101.2%	79,648	90.7%	35,707	127.9%								
1995	39/38	268,329	96.2%	260,384	96.4%	177,015	114.3%	21,642	60.6%	21,642	60.6%								
1996	39/40	263,934	98.4%	257,023	98.7%	186,847	105.6%	53,039	95.9%	16,789	71.6%	348							
1997	36/37	252,176	95.6%	246,483	95.9%	190,271	101.8%	39,328	76.3%	13,387	76.7%	2,897	832.5%						
1998	37/37	261,345	111.6%	277,154	112.4%	212,078	111.5%	35,988	89.8%	21,211	158.4%	7,997	276.0%						
1999	36/35	250,869	89.2%	247,557	89.3%	182,376	86.0%	19,592	54.6%	15,347	72.4%	30,242	378.2%						
2000	37/36	275,702	109.9%	274,421	110.9%	156,576	85.9%	6,632	33.9%	6,187	40.3%	104,713	346.3%	313					
2001	37/36			294,001	107.1%	132,554	84.7%	3,592	57.3%	4,730	76.5%	151,887	145.1%	1,028	328.4%				
2002	37/34			324,835	110.5%	324,835	92.7%	3,157	83.0%	1,549	32.7%	197,288	129.9%	-94					
2003	35/33			350,633	107.9%	89,832	73.1%	1,632	51.7%	1,224	79.0%	257,787	130.7%	158					
2004	33/32			375,393	108.8%	55,631	61.9%					319,762	124.0%						
2005	32/34			370,860	98.8%	23,153	41.6%					347,707	108.7%						
2006	33/33			330,802	89.2%	5,922	23.9%					325,280	93.6%						
2007	33/34			318,024	96.1%	777	14.1%					317,247	97.5%						
2008	34/34			286,098	88.9%	258	33.2%					275,727	86.9%						
2009	32/32			273,963	95.8%	132	51.2%					249,280	90.4%						
2010	31/31			266,548	97.3%							219,290	88.0%						
2011	31/31			261,084	98.0%							200,530	91.4%						
2012	31/32			258,456	99.0%							186,892	93.2%						
2013	32/32			251,770	97.4%							162,988	87.2%						
2014	32/32			229,923	91.3%							137,779	84.5%						
2015	33/33			218,113	94.9%							124,233	90.2%						
2016	32/31			204,727	93.9%							116,370	93.7%						
2017	30/30			187,670	91.7%							99,484	85.5%						

(金額単位:百万円)

★関連事業の総売上とは、ビデオソフトの小計に版權収入などの関連事業による売上を加えた金額。
 ★回答数の左辺は上期、右辺は下期の回答社数。
 ★1990年より洋画系メジャー系の社の数字を含む。
 ★2001年よりビデオソフトの版權収入等の「その他」の調査を削除したため、関連事業の総売上の値はない。
 ★CD関連とは、CD-G、CD-ROM、CD-I 等、主にカラオケなどのコンテンツが記録されたCD規格のもの。DVD-ROMとは、主にプレイステーション2などのゲーム機対応のソフト。UMDとは、プレイステーションポータブル用のソフト。

* 2008年のブルーレイにはHD DVDを含む。2016年以降のブルーレイにはUltra HDブルーレイを含む。
 * 9860 301.5%
 24,115 246.9%
 47,191 195.7%
 60,554 128.3%
 71,564 118.2%
 86,782 124.1%
 92,144 103.8%
 93,880 101.9%
 86,357 94.1%
 88,186 99.8%

8.4.2 ビデオソフトの実際

DVD プレーヤーは 1996 年 11 月に発売されたが、それに合わせて DVD ソフトも発売された。図 8.7 は東芝 EMI から製品化された DVD-Video の第 1 号である。TOBF-5001 の刻印が見える。タイトルは EIKICHI YAZAWA OPEN RECORDING GIG であった。

同時期に、Warner Home Video 社でも DVD-Video が発売された。図 8.8 は日本向けに発売された DVD-Video でタイトルは The Body Guard と書かれている。

文 献

- (1) 山田尚志：小特集 DVD の生い立ちから次世代 DVD まで 1. 総論、映像情報メディア学会誌 vol.56, No.4, pp.518-520 (2002)
- (2) JEITA 日本電子機械工業会統計資料 民生用電子機器国内出荷統計
<https://www.jeita.or.jp/japanese/stat/shipment/index.htm>
- (3) JEITA 日本電子機械工業会統計資料 日本の電子工業の生産・輸出・輸入
<https://www.jeita.or.jp/japanese/stat/electronic/2018/index.htm>
- (4) 日本映像ソフト協会 各種調査報告 ビデオソフトの売上金額の推移
http://jva-net.or.jp/report/videomarket_2.pdf

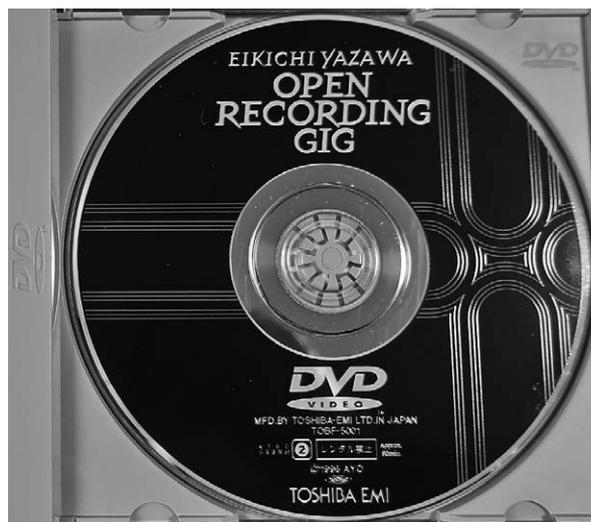


図 8.7 初期の DVD-Video TOBF-5001 の刻印が見える



図 8.8 Warner Home Video の DVD-Video 日本向け

9 | むすび

DVD が劇場並みの画質で、一般家庭で映画を楽しむという目標をクリアし、多くの人々に楽しみを提供したことは開発に携わった者として非常に喜ばしい。

これまでのメディアと異なり、規格を決める際にコンテンツ提供側が参加して新しい機能が導入され、更に魅力を増したことも普及に拍車をかけたと思われる。

また、DVD によってディスプレイ技術への注目度が増し、プラズマ、液晶、プロジェクションなどの技術進歩が著しく加速された。

DVD はデジタル画像技術を本格的に導入した最初のメディアとして、今後の更なる発展を期待したい。

本報告書では、コンテンツ側が参画して日本の技術者が中心となり、企業、国の壁を越えて統一規格を決めた DVD の技術開発の過程と状況を記載した。

これらのまとめとして、DVD レコーダ・プレーヤの年表と、DVD 主要技術要素、製品の所在調査リストを示す。

また、筆者の手元には資料がほとんど残ってなかったので、図面や表の多くは筆者と共に研究開発を行ってきた方々の発表資料から出典元を明記した上で引用させて頂いた。

Time Warner Home Video の Warren Lieberfarb 社長には全体のコンセプトのまとめと業界への働きかけなど終始推進力となって頂いた。一方、DVD の開発に直接関係された方だけでも、千人を超えると思われる、皆さんの惜しみない協力により DVD の規格をまとめることができ、家庭用として全世界に普及させて、大きな産業を築き上げることができたことは誠に感慨深く、感謝に耐えない。

謝 辞

本報告「DVD 技術の系統化」をまとめるに当たっては以下の方々からご指導、ご教示を頂くとともに、貴重な資料・情報・写真をご提供頂いた。この場を借りて深く感謝の意を表する。

報告書全般：

元株式会社東芝 竹村裕夫氏 濱口和男氏
石川佳代子氏 入江英之氏

写真・資料提供：

パナソニック株式会社 後藤芳稔氏
株式会社デジタルストリーム 青柳哲次氏
株式会社東芝 古谷尚美氏 奥村治彦氏
元株式会社東芝 新岡武春氏 菅谷寿鴻氏
小川彰夫氏 佐田定好氏
兼重敏彦氏

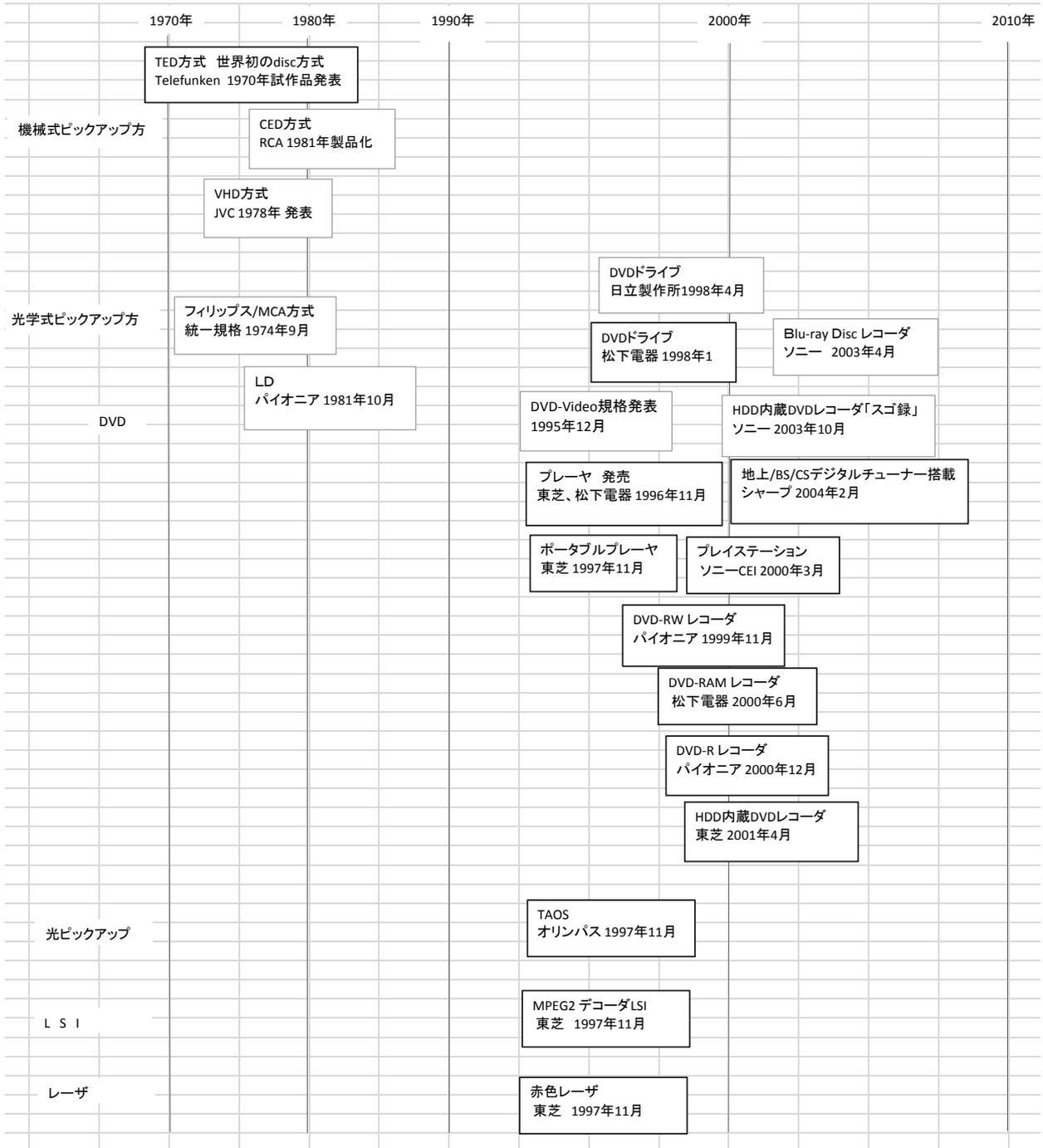
所在調査：

松下電器株式会社 松下武史氏
パイオニア株式会社 谷口昭史氏
ソニー株式会社 上田康弘氏
元ソニー株式会社 名雲文男氏
株式会社東芝 尾高敏則氏 奥山武彦氏
林 大作氏 大友吾一氏
山影朋夫氏
元株式会社東芝 入江 澄氏 小嶋 正氏
田口豊喜氏 澤 繁隆氏
富所 茂氏
東芝 EMI 株式会社 富田尚志氏

他にも多数の方々のご協力を頂いた。

元株式会社東芝 佐藤裕治氏 鍋島大樹氏
片山儀高氏 遠藤謙二郎氏
三村英紀氏 Mike Tsinberg 氏
高原珠音氏 金田房雄氏
鈴木道夫氏

DVD レコーダ・プレーヤ 年表



DVD 産業技術史資料所在調査

名称	型名	所在地	製作者	製作年	選定理由
DVDプレーヤー	SD-3000	東芝未来科学館 〒212-0013 川崎市幸区堀川町72-34	東芝	1996年11月	世界初の家庭用DVDプレーヤー
	DVD-A300	パナソニック(株) アプライアンス社 〒571-8504大阪府門真市松生町1-15	松下電器		
DVDレコーダ	DVR-1000	パイオニア ベリフイケーションラボラトリ 〒359-1167 埼玉県所沢市林2-70-1	パイオニア	1999年11月	世界初のDVD-RW用DVDレコーダ
DVDレコーダ	DMR-E10	パナソニック(株) アプライアンス社 〒571-8504大阪府門真市松生町1-15	松下電器	2000年6月	世界初のDVD-RAM用DVDレコーダ
DVDレコーダ	DVR-2000	パイオニア ベリフイケーションラボラトリ 〒359-1167 埼玉県所沢市林2-70-1	パイオニア	2000年11月	世界初のDVD-R用DVDレコーダ
DVDレコーダ	RD-2000	東芝未来科学館 〒212-0013 川崎市幸区堀川町72-34	東芝	2001年4月	世界初のHDD内蔵DVDレコーダ 追っかけ再生機能
DVDブレイスレーション	SCPH-10000	ソニー株式会社 本社1階 歴史ウオール 東京都港区港南1-7-1	ソニーSCE	2000年3月	世界初のDVDブレイスレーション DVDの普及に寄与
ポータブルDVDプレーヤー	SD-P410	東芝未来科学館 〒212-0013 川崎市幸区堀川町72-34	東芝	1997年11月	世界初のポータブルDVDプレーヤー
MPEG2デコーダ LSI	TC81201F	東芝未来科学館 〒212-0013 川崎市幸区堀川町72-34	東芝	1996年11月	世界初のMPEG2デコーダLSI
DVD-R	DVS-V3950S	パイオニア ベリフイケーションラボラトリ 〒359-1167 埼玉県所沢市林2-70-1	パイオニア	1997年10月	世界初のDVD-R
DVD-RAM	LM-DB26J	パナソニック(株) アプライアンス社 〒571-8504大阪府門真市松生町1-15	松下電器	1998年4月	世界初のDVD-RAM
		所在確認できず	日立製作所		
DVD-RW	DVS-RW47	パイオニア ベリフイケーションラボラトリ 〒359-1167 埼玉県所沢市林2-70-1	パイオニア	1999年11月	世界初のDVD-RW
DVDドライブ	DVR-S101	パイオニア ベリフイケーションラボラトリ 〒359-1167 埼玉県所沢市林2-70-1	パイオニア	1997年10月	DVD-Rを用いたPC用
DVDドライブ	LF-D100J	パナソニック(株) アプライアンス社 〒571-8504大阪府門真市松生町1-15	松下電器	1998年4月	DVD-RAMを用いたPC用
		所在確認できず	日立製作所		