

## ■ 要旨

1970年代初頭より、ビデオディスクと呼ばれる映像信号をディスクに記録する技術(方式)の研究、開発が主に欧米のメーカーにより行われていた。その中でLD(レーザディスク方式)はPhilips及びMCA社によって基本開発され、円盤に記録された情報にレーザ光を照射し、その反射光からピックアップ制御用の信号を検出すると同時に、映像、音声情報を取り出す方式である。LDでは信号記録面が大気中(表面)に露出しておらず、かつ表面にガイド溝の必要が無く、信号読み取り部がディスクと非接触であるとの特徴を有しており、ディスクの取り扱いが容易、ランダムアクセスが可能、システムの耐久性が確保できる等、高い性能が期待される方式であった。

しかしながら、開発当初のLDシステムは、キー部品の一つであるレーザが真空管タイプのものしか存在していなかったこと、必須である光学機器設計の分野は当時の電機業界にとってなじみの無い分野であったこと、光学読み取り信号からピックアップの各種サーボや回転系のモータをサーボ制御する技術は電気回路であるものの新たな取り組みを必要としたことなど、実用化にあたっては解決すべき問題が多く残されていた。また、再生機だけでなくメディアであるディスクの生産においても、レーザを使用したマスタリングマシンで露光製作した原盤から、量産用の金型(スタンパー)を作るプロセスや、ディスクを樹脂の射出成形で作るその信号面に反射幕を蒸着するプロセスなども新たな技術開発を必要とした。

1977年よりパイオニア(株)はこの技術に注目し、MCA社より技術を導入し、LD方式のビデオディスクの実用化と事業化に取り組み、プレーヤの開発と生産だけでなく、ディスクの開発と生産、コンテンツとなるソフトの編集など多くの事業開発を単独で行った。1979年には世界初の産業用プレーヤPR-7820を、1980年には北米市場に民生用プレーヤVP-1000を、1981年には日本市場にLD-1000を導入した。さらに、1984年には、半導体レーザを使用した世界初のLDプレーヤ、LD-7000を開発して市場に導入した。1つのディスクの中にCD音声の追加、ドルビー5.1chサラウンドの追加などフォーマットの改良や、LD/CDコンパチブルプレーヤや、LD/CD/DVDコンパチブルプレーヤなどの開発、市場導入も世界に先駆けて行ってきた。

LDは映像出版革命をもたらすメディアとして大きな期待が持たれた。LDは民生用だけでなく、産業用用途として、教育、映像展示、画像ライブラリーなど多くの分野での応用が試みられた。特にカラオケへの応用では、非接触でランダムアクセス可能な映像メディアであるという特徴が最大限に生かされた。LDカラオケは、パブやスナックなどの飲食業市場だけでなく、カラオケボックスや家庭用カラオケなど大きな市場を形成し、アジア地区を超えた国際的なカラオケ文化を生み出す原動力となった。

LD事業は主にパイオニア1社により進められていたが、同じ反射型光ディスク方式のCDが1982年に発売開始されたことや、1984年にLD/CDコンパチブルプレーヤの発売を契機にして、多くのメーカーが市場に参入を開始した。OEM製品だけでなく、ソニー、ヤマハ、松下電器産業、三洋電機などが独自技術を盛り込んだLDプレーヤの発売を開始した。1980年に本格的に開始されたLD事業は、1990年代初頭にピークを迎えたが、カラオケ需要の減少と共に縮小して行き、1996年のDVDの発売をきっかけに終焉に向かうこととなった。

LDはカラオケを除いてビジネス的には大成功したとはいえない商品であった。しかしながら、後に市場に導入されて世界的に大きな市場を作ったCD、DVD、BDは、記録ディスクのサイズ、記録密度、使用されるレーザの波長、記録信号は異なるが、基本的には同じ反射型光ディスク技術を使用したものであった。LDの開発、実用化をきっかけに多くの家電メーカーだけでなく、光学部品メーカーや化学材料メーカーが開発に参画し、日本の光ディスク開発におけるリーダーシップの基盤を作るきっかけとなったことは間違いない。

従来、日本の製造業では、欧米で開発、商品化されている商品を国産化して、信頼性のある製品を安価に世界市場に供給することで発展してきた例が多い。LDの場合、基本開発は欧米で行われたものの、実用化、製品化、産業化を日本主導で行ったものである。またその成果によりLDに続く光ディスクであるCD、DVD、BDの技術開発や製品開発の中で日本が国際的なリーダとなっていく基礎が築かれた。

## ■ Abstract

In the early 1970s, primarily European and U.S. manufacturers embarked on research and development efforts into so-called video disc technologies (formats) for recording video signals to disc. Among those efforts, Philips and MCA conducted fundamental research on the laser disc (LD) format whereby a laser beam scans data recorded on an optical disc, and the reflected laser beam signal is used to simultaneously detect a pickup control signal and to extract video and audio data from it. With the LD format, the surface of the disc containing the stored data is not exposed to the atmosphere, while the pick-up head that reads the optical signal does not need come into contact with the optical disc. Tracking is done by servo system, without any tracking grooves on the disc. Therefore, the LD format offered the promise of high performance in the form of laser discs which are easy to handle, random access to video content, and durability of the overall system.

Nevertheless, the original LD systems presented many unresolved issues that had to be addressed in order for the format to lend itself to practical use. For instance, whereas the laser is a key component of LD systems, only vacuum-tube units were available at the time. Also, firms in the electronics industry were not yet familiar with the field of optical instrument design, which greatly impeded the potential for success of the format. A third issue that needed to be resolved was that of the need for a different technological approach from that of relying on electrical circuits containing various servos for detecting the optical read signal and servos for controlling the motor that rotates the optical disc. Meanwhile, beyond issues with the LD player itself, any success of the technology would also hinge on development of new technologies for manufacturing optical discs. For instance, there was a need to develop a new process for making the cutting master disc, created by exposing the photoresist master disc to light using a mastering machine equipped with a laser, and for making molds (stampers) for mass production from that master disc. Also a new process was needed for depositing reflective coatings on the optical signal side of the disc after the resin injection molding phase of production.

Pioneer Corporation began focusing its efforts on the LD format in 1977 when it adopted technology from MCA in an attempt to make the LD video disc format practical and commercially viable. The company looked beyond development and production of LD players, striking out on its own in a wide range of development ventures including that of developing and producing optical discs, along with efforts to amass LD software content. In 1979, Pioneer unveiled the PR-7820, the world's first-ever LD player for industrial use. Then in 1980, it launched the VP-1000 LD player for consumer use in the North American market, and in 1981 released the LD-1000 on the Japanese market. Subsequently, in 1983, Pioneer developed and began marketing its LD-7000 unit, the world's first LD player drawing on semiconductor laser technology. At the time, the company was a global leader with respect to the development and launch of LD products, equipping players with an improved LD format featuring the addition of CD audio on discs to accompany the video signal, and Dolby 5.1 channel surround-sound, as well as the development and market launch of players offering LD and CD format compatibility and others featuring compatibility between the LD, CD and DVD formats.

Manufacturers had high expectations with respect to the LD format, predicting that it would revolutionize the way video content was published. Accordingly, companies pursued myriad applications for the LD format beyond that of consumer use, such as in the areas of business and industry, education, video-based exhibits and image libraries. Laser disc karaoke players made full use of the technology, given that it enabled users on-demand access to video content without the need for them to come into contact with the media itself. A large market developed for laser disc karaoke units, which came to be used not only in pubs, bars and other eating and drinking establishments, but also in the form of private karaoke rooms equipped with such devices and family karaoke systems. Indeed, the units were the driving force behind the advent of what would become an international karaoke phenomenon, even extending beyond the Asian continent.

Although for the most part Pioneer Corporation single-handedly developed the laser disc business, many competing manufacturers began to enter the market after the 1982 launch of the CD format using the same reflective-mode optical disc system and Pioneer's 1984 launch of its player that featured LD-CD compatibility. With that, the market expanded to other manufacturers offering LD players equipped with proprietary technologies, including OEM products and players, such as Sony, Yamaha, Matsushita Electric, Sanyo Electric and others. Whereas the laser disc business had shifted into full gear by 1980 and hit its peak in the early 1990s, the end of the product category later became evident amid a decline in demand for karaoke devices, a shrinking market overall, and the release of the DVD format in 1996.

From a business standpoint, the laser disc format ultimately turned out not to be the major success story that had been hoped for, with the exception of the karaoke devices. Nevertheless, the subsequently-launched CD, DVD and Blue-ray formats, which carved out expansive markets worldwide, basically drew on the same reflective-mode optical disc technology as that of the laser disc format, but with differences in terms of disc capacity, recording density, laser wavelengths, and recording signals. Moreover, numerous electronics manufacturers, as well as producers of optical components and chemical materials, were able to take part in efforts to develop and bring about practical application of laser disc technology, a fact that doubtlessly acted as a catalyst in building a leadership platform for Japanese development of optical disc technologies.

Before the LD era, Japanese manufacturers would often create reliable products drawing on technologies developed in Europe and the U.S., which they would then supply to global markets at reasonable prices. The trajectory for the laser disc was different in that, whereas fundamental development took place in Europe and the U.S., Japan led the drive toward making the technology practical as well as commercially and industrially viable. Moreover, laser disc technologies formed the foundations for what would become Japan's position as a global leader in the technological and product development of the CD, DVD and Blue-ray optical disc formats.

## ■ Profile

**松村 純孝** *Sumitaka Matsumura*

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

昭和48年3月 京都大学工学部電子工学科卒業  
 同年 4月 バイオニア(株)入社 音響研究所入社同社研究部門において、デジタル音声、画像処理などのテーマに従事

昭和55年4月 LDおよび次世代光ディスクの開発テーマに従事  
 平成 3年4月 以降、主にDVD、BDの開発、規格化に参画  
 平成16年7月 同社執行役員に就任  
 同社研究本部次長、総合研究所所長などを歴任  
 平成21年7月 同社執行役員を退任し同社顧問に就任  
 平成23年7月 同社顧問を退任  
 以降バイオニア(株)のアドバイザーとして現在に至る。

平成25年4月 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

## ■ Contents

1. はじめに	145
2. ディスク型映像再生システムの黎明期	147
3. LD システムの基本原理	152
4. LD ディスクの生産	162
5. 第一世代 LD プレーヤの開発	175
6. 第二世代 LD プレーヤの開発	179
7. 第三世代以降の LD プレーヤの開発	186
8. LD のアプリケーションと市場	199
9. LD の開発と日本の光ディスク開発	209
10. まとめ	214
LD(レーザーディスク)技術 産業技術史資料 所在確認	216



# 1 | はじめに

音楽における SP、LP レコードの成功を受けて、家庭の TV でも映画（映像）を楽しめる“絵の出る夢のレコード”を実現する取り組みが 1970 年代初頭より、主に欧米のメーカーにより行われていた。

主な方式として 1) Telefunken 社により開発された TeD 方式<sup>注1</sup>、2) RCA 社により開発された CED 方式<sup>注2</sup>、3) 日本ビクター(株)により開発された VHD 方式<sup>注3</sup>、4) Philips&MCA 社によって開発された LD<sup>注4</sup> 方式などである。

この 4 種の方式の中で、LD 方式は唯一非接触ビデオディスク方式に分類される方式である。このディスク方式は、円盤に記録された情報にレーザー光を照射し、その反射光からピックアップ制御用の信号を検出すると同時に、映像、音声情報を取り出す方式である。また、信号記録面が大気中（表面）に露出しておらず、かつ表面にガイド溝の必要が無く、信号読み取り部がディスクと非接触であるという特徴を有していた。このためディスクの取り扱いが容易、ランダムアクセスが可能、システムの耐久性が確保できる等、高い性能が期待される方式であった。

しかしながら、開発当初の LD システムは、キー部品の一つであるレーザーが放電管タイプのものしか存在していなかったこと、必須である光学機器設計の分野は当時の電機業界にとってなじみの無い分野であったこと、光学読み取り信号からピックアップ（以下 PU と略す）の各種サーボや回転系のモータをサーボ制御する技術は電気回路であるものの新たな取り組みを必要としたことなど、実用化にあたっては解決すべき問題が多く残されていた。また、再生機だけでなくディスクの生産においても、レーザーを使用したマスタリングマシンで露光製作した原盤から、量産用の金型（スタンパー）を作るプロセスや、ディスクを樹脂の射出成形で作るその信号面に反射膜を蒸着するプロセスなども新たな技術開発を必要とした。日本においてはパイオニア(株)は 1977 年より、MCA 社から技術を導入し、LD 方式のビデオディスクの実用化、事業化に取り組んだ。小規模な試験市場導入が北米でマグナボックス社により Philips 社製プレーヤを使用して行われた。その後 MCA 社およびパイオニア(株)は 1979 年に産業用プレーヤ PR-7820、1980 年に民生用プレーヤ VP-1000 を北米市場に、1981 年には LD-1000 を日本市場に導入した。

この LD の日米市場導入のためには、プレーヤの開

発生産だけでなく、ディスクの開発、生産、ソフトの編集など多くの事業開発を必要としたが、パイオニアは単独でこの事業に取り組んだ。1983 年には、半導体レーザーを使用した世界初の LD プレーヤ、LD-7000 を開発し市場に導入した。CD 音声の追加、ドルビー 5.1ch サラウンドの追加などフォーマットの改良や、LD/CD コンパチブルプレーヤや、LD/CD/DVD コンパチブルプレーヤなどの開発、市場導入も世界に先駆けて行ってきた。

LD は映像出版革命をもたらすメディアとして大きな期待が持たれ、民生用だけでなく、産業用途として、教育、映像展示、画像ライブラリーなど多くの分野での応用が試みられた。特にカラオケへの応用では、非接触でランダムアクセス可能な映像メディアであるとの特徴を最大限に生かして、パブやスナックなどの飲食業市場だけでなく、カラオケボックスや家庭用カラオケなど大きな市場を形成し、アジア地区を含めカラオケ文化を生み出す原動力となった。1980 年に本格的に開始された LD 事業は、1990 年代初頭にピークを迎えたが、カラオケ需要の減少と共に、縮小して行き、1996 年の DVD の発売をきっかけに終焉に向かうことになる。LD はカラオケを除いてビジネス的には大成功したとは言いがたい商品であった。しかしながら、LD 後に市場に導入され、大きな市場を作った CD、DVD、BD は記録ディスクのサイズ、記録密度、使用されるレーザーの波長、記録信号が異なるものの“円盤に記録された情報を、レーザー光を照射し、その反射光から制御用の信号を読み取ると同時に、映像・音声記録信号も読み取り再生する方式”であるという点では基本的に同じ技術を使用したものであり、日本の産業に与えた影響は大きかったといえる。

光ディスクの開発においては、LD、CD をきっかけに多くの家電メーカーだけでなく、光学部品メーカーや化学材料メーカーが開発に参画し、日本が光ディスク開発を主導していく原動力となった。

従来、日本の製造業では、欧米で開発、商品化されている商品を国産化して、信頼性のある製品を安価に世界市場に供給することで発展してきた例が多い。このような中であって LD の場合、基本開発は欧米で行われたものの、実用化、産業化を日本主導で行ったものであり、またその成果により LD に続く光ディスク CD、DVD、BD の開発の中で日本が中心となっていた基礎が築かれた。その視点から本報告書をま

とめた。

本報告書の各章の概要は以下の通りである。また本報告書では、PUにHe-Neレーザを使用したプレーヤを“第一世代”、半導体レーザを最初に使用したプレーヤを“第二世代”、2軸アクチュエータPUを使用したプレーヤや非球面樹脂レンズを使用したプレーヤを合わせて“第三世代以降”と定義して使用することとする。

2章では1970年代に開発発表された3種のディスク型映像再生装置の概要、歴史について述べる。

3章でLDの基本原理を、フォーマット、ディスク及び再生機について記述する。

4章ではディスクの生産工程、技術について述べ、実用化量産化時の問題解決についても述べる。

5章では第一世代のプレーヤPR-7820の基本技術について述べる。

6章では、世界初の半導体レーザを使用した、民生用LDプレーヤLD-7000を例に、半導体レーザを使用するための回路開発、機構開発について主に述べる。

7章では第三世代以降のプレーヤに向け開発された、PUの小型化、高画質化、高音質化のための技術開発について、特に後のDVDにつながるデジタル化の技術について詳しく述べる。さらに、独自技術で

LDプレーヤ市場に参入した各社の製品についても記述する。

8章では、産業用、家庭用AV用途、カラオケなどのLDアプリケーションについて記述するとともに、再生専用ディスクにおける、映像ソフト業界との関連について、技術、ビジネスの両視点から記述する。

9章では、日本における光ディスクの開発、及びその中でのLDの果たした役割について、時系列的に再考察する。

第10章で最終まとめとする。

注1 TeD Television Electronic Disc

注2 CED Capacitance Electronic Disc

注3 VHD Video High Density Disc

注4 LD Laser Disc (Philips社とMCA社が共同で作った正式な規格名称はLaser Visionである。LDはパイオニア(株)の登録商標であるが、1989年、実質的に開発を主導してきたパイオニアがこの商標を無償開放したため、一般的にはレーザディスク、あるいはLDの名前が普及した。このため本書ではLDという名称を使用することとする。)

## 2 | ディスク型映像再生システムの黎明期

音声、音楽の世界では、1880年代の後半から実用化が始まった、円盤に音響信号を記録するSPレコードや1950年代に普及したLPレコードにより、家庭でいつでも、好きな音楽を楽しむことが可能となり、音楽産業や、レコード生産、プレーヤ生産などの、関連する産業が大きく発展すると共に、個人の生活スタイルにも大きな影響を与えてきた。映像の場合でも円盤に映像を記録し、家庭のテレビで楽しむことができる“夢のレコード”を実現しようとする試みが1960年代から行われてきた。当初、研究開発レベルで複数の方式が検討されたが、いずれの場合も、映像、音声情報はFM変調（周波数変調）され、その変調信号がディスク面に凹凸を形成して記録される方式であった。この記録された信号を読み取る方法としては大きく3種に分類される。

- 1) 機械針を用いて機械的变化を検出する方式
- 2) 機械針を用いて静電容量変化を検出する方式
- 3) レーザビームを用いて反射光により凹凸を検出する方式。

1) の代表例としてTeD方式、2) の代表例としてCED方式及びVHD方式があり、3) としてはLD方式がある。

また、信号読み取り部がレコード面に接触するかしないかで、接触式、非接触式に分かれ、レコード盤に検出器を案内する溝が有る無しで、溝有り方式、溝無し方式に分類することが出来る。図2.1に各方式の比較分類図を示す。

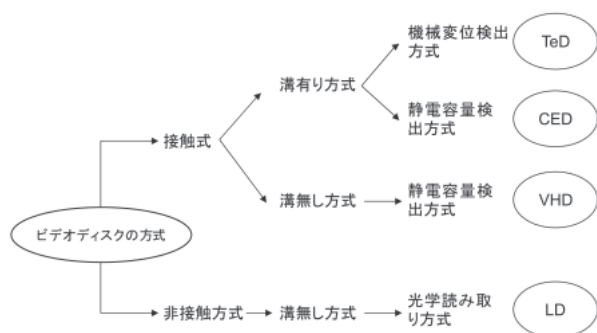


図 2.1 ビデオディスク各方式の分類

本章では2.1節にTeD方式、2.2節にCED方式、2.3節にVHD方式についての概要を述べる。

### 2.1 TeD方式の概要

TeD (Television Electronic Disc) は1970年にTelefunken及びTeldec、2社により発表された世界初のビデオディスクシステムである。図2.2に発表された際のTeDプレーヤの写真を示す。プレーヤ後方に見える写真は、TeDディスクの表面の拡大写真である。

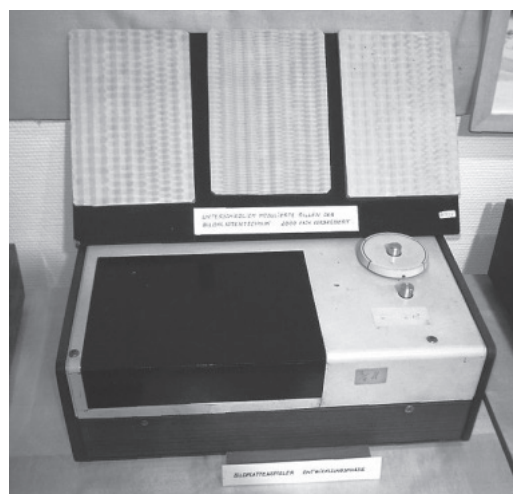


図 2.2 TeD方式プレーヤ写真

TeDでは直径21cm、厚さ0.12mmの薄いPVC（ポリ塩化ビニル）製のディスクを使用し、記録された映像、音声信号は信号溝に接触したPU (Pick Up) により検出される。信号は記録ガイド用の溝の上の凹凸として記録され、トラック間隔は $3.56\mu\text{m}$ 、最短記録波長は $2.05\mu\text{m}$ である。PUは図2.3に示す櫛がたの検出針を持つ構造であった。

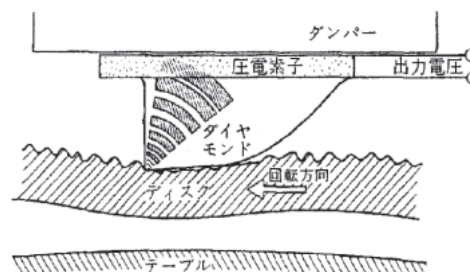


図 2.3 TeD方式信号読み取り部<sup>1)</sup>

再生に当たっては、平らな固定されたテーブル上に置かれたディスクを回転させるとともに、回転軸から外側に向けて、遠心力を利用し、空気の流れを作り、

薄いディスクをわずかにテーブルから浮かし、ディスクの水平性を保つようにする。図 2.4 に TeD プレーヤの構造を示す。安定に高速回転しているこのディスクの表面に、図 2.3 に示した、櫛形状のダイヤモンド製の針を接触させると、記録された凹凸の信号は針の形状に従って徐々に押し付けられ、鋭いエッジを持つ針の片端を通過すると、元の形状に復元する。この機械振動を針の上部に接着されている圧電素子で検出することにより信号を取り出す方式である。

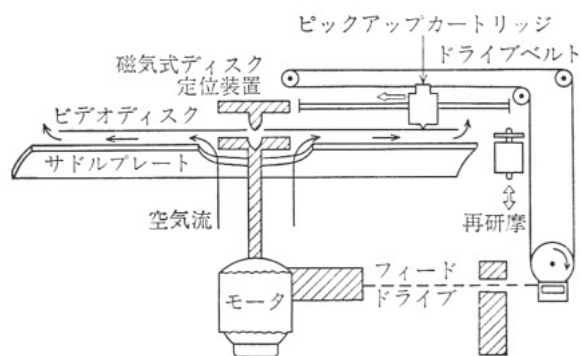


図 2.4 TeD 方式プレーヤの構造<sup>1)</sup>

TeD 方式は、“絵の出る夢のレコード”をいち早く実現したことで注目されたが、記録時間が10分と短く、ディスクの耐久性、取り扱い易さ、及び再生画質に問題があった為、システム改良やディスク材料の工夫による、耐久性の向上、カラー化、長時間化の試みが行われたが、本格的に市場に導入されることはなく終了した。

## 2.2 CED 方式の概要

CED (Capacitance Electronic Disc) は1972年にRCAにより開発され、1981年に初のプレーヤが市場に導入された。図 2.5 に CED 方式プレーヤおよびディスクの写真を示す。

CED では直径 30cm、厚さ 1.8mm のディスクを使用する、またこのディスクは取り扱いの容易性の確保や、ディスク面の保護の意味からカートリッジに格納されていた。

CED においても TeD と同様に映像、音声信号は FM 変調されディスクの溝の中に細かい凹凸として記録される。溝の間隔は  $2.5\mu\text{m}$ 、最短記録波長は  $1.25\mu\text{m}$ 、記録波高 100nm である。FM 信号で記録されるため信号は凹凸の深さの大小で記録されるのではなく、凸凹の記録方向への時間変化の大小として記録される。CED ディスクの表面写真を図 2.6 に示す。

CED 方式での信号の検出器の構造を図 2.7 (a) に示す。ディスク回転方向に、最短記録波長 ( $1.25\mu\text{m}$ ) に対し十分の長さ (約  $4\mu\text{m}$ ) を持つスタイラスの後端面に容量検出用の電極を蒸着形成したものを使用する。導電性 PVC で作られたディスクの表面は薄い (30nm 程度) 潤滑油層に覆われている。潤滑油層はスタイラスによるディスクの磨耗を保護するとともに、誘電体膜としても機能する。図 2.7 (b) に示すように、スタイラスは複数の凹凸にまたがって移動するため、信号面の凹凸に依らず水平に移動する、このため電極と導電性 PVC 間の静電容量は、凹凸の有無にしたがって変化する。この容量変化は  $0.0001\text{pF}$  程度の微弱なものであるが共振回路を用いて安定して検出することが可能であった。



図 2.5 CED 方式のプレーヤとディスク

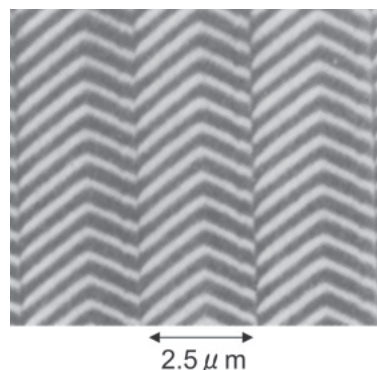


図 2.6 CED 方式ディスクの表面写真<sup>1)</sup>

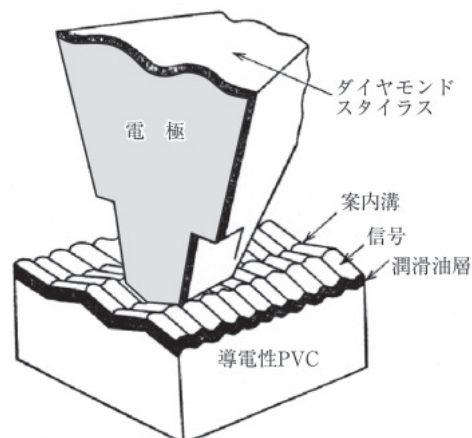


図 2.7 (a) CED 方式の信号読み取り部構造<sup>1)</sup>



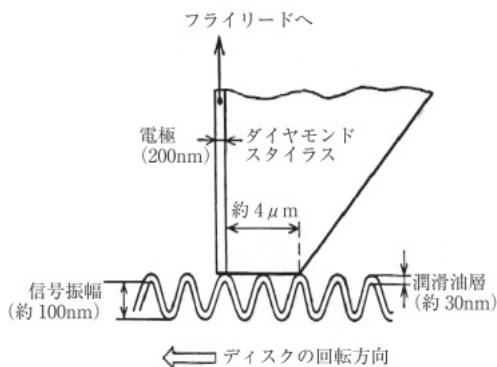


図 2.7 (b) CED 方式の信号読み取り原理<sup>1)</sup>

CED 方式の特徴としては、以下の点があげられる。

- 1) 従来の LP レコード量産装置の延長上で、サブミクロンの精度が必要とされる技術を導入し、量産設備を構成し、ディスクも、安価な導電性 PVC を用い、プレスのみによる 1 工程で両面が同時に形成可能なことなど、ディスクが安価に量産出来ることを目的とした。
- 2) プレーヤも再生針部分以外は、テレビなどに使用されていた一般電子部品で構成可能で、安価に量産できることが期待された。
- 3) ディスクはキャディと呼ばれる保護ケースに格納され、ディスク面を保護するとともに、民生機器としても、取り扱いが容易になるよう考慮された。
- 4) 溝方式であるが、溝が浅い V 字形であることや、ディスクの指定領域にアドレス信号が格納されているため、ランダムアクセスが可能である。

10 年以上の歳月と大きな投資をかけ、絵の出る夢のレコードとして 1981 年 4 月に RCA より初のプレーヤ (SFT100W) が、約 50 タイトルのディスクと共に米国市場に導入され、その後、ステレオ音声対応モデルやリモコンでランダムアクセス可能なモデルなども、引き続き開発、発売されたが、市場は一定の広がりを見せたものの、RCA の思惑通りに急速に市場は発展せず、1984 年 RCA はこの方式から撤退することとなる。

早期撤退の原因としては以下の要因が考えられる。

- 1) 開発期間が長期にわたったことに伴う膨大な投資の回収が見込めなくなったこと。
- 2) 技術発表は早かったが、商品投入が遅れたため、市場にはすでに多くの競争相手が存在していた。たとえば、同程度の画質でより低価格な VHS やベータ方式のビデオカセットや、より高画質、高機能が相応の価格で得られる LD などである。
- 3) 接触式のため、耐久性や量産性に関し、多くの問題が発生したため、最初の目論見どおりの低価格でシステムを実現することが難しかった。

## 2.3 VHD 方式の概要

VHD (Video High Density Disc) は日本ビクターにより開発され、1983 年に初のプレーヤが市場に導入された。図 2.8 に VHD プレーヤおよびディスク (カートリッジ入り) の写真を示す。

VHD では直径 26cm、厚さ 1.8mm のディスクを使用する。またこのディスクは取り扱いの容易性の確保や、ディスク面の保護の意味から CED と同様にカートリッジに格納されていた。



図 2.8 VHD プレーヤとディスク (カートリッジ入り)

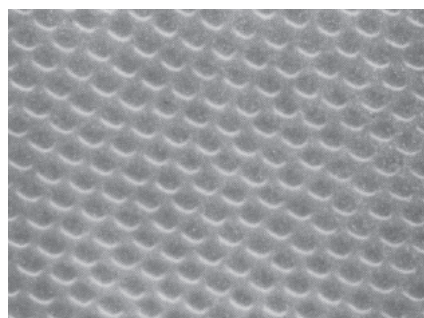


図 2.9 VHD ディスクの表面の電子顕微鏡写真<sup>1)</sup>

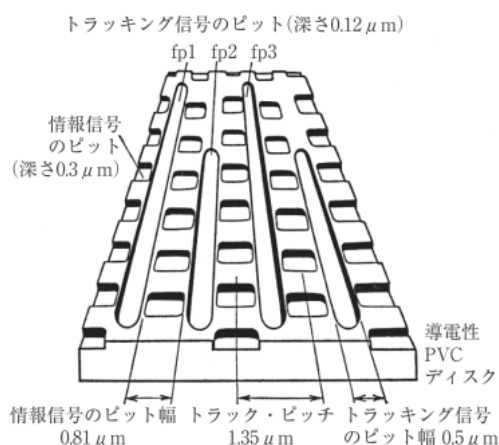


図 2.10 VHD ディスクの構造<sup>7)</sup>

VHD は CED と同様に静電容量の変化を、検出針をディスクに接触させ検出する方式であるが、CED のような針をガイドする溝は存在せず、ディスクの表面は、図 2.9 に示すように、記録信号の凹凸を除いて

平坦である。VHDにおいてもTeD、CEDと同様に映像、音声信号はFM変調されディスク上でスパイラル状につらなる細かい凹凸として記録される。溝の間隔は $1.35\mu\text{m}$ 、記録波高 $300\text{nm}$ である。FM信号で記録されるため信号は凹凸の深さの大小で記録されるのではなく、凸凹の記録方向への時間変化の大小として記録される。

VHDでは、図2.10に示すよう、溝のないディスクでのトラッキングを可能とするために、映像音声信号だけでなく、2種のパイロット信号fp1 (511KHz)、fp2 (716KHz) 及びトラッキングの切り替えタイミングを取るためのインデックス信号fp3 (275KHz) も記録される、fp1、2は情報トラックとトラックの間に各回転ごと交互に記録され、fp3は各トラックのアドレスを表すアドレス信号と共に、音声映像記録トラックの一部を使用して記録される。

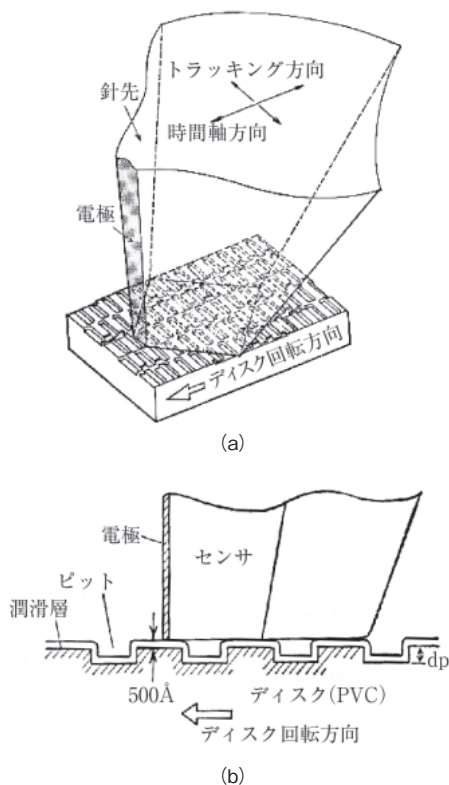


図2.11 VHD方式の信号読み取り部の構造 (a) と、読み取り原理図 (b) <sup>1)</sup>

VHD方式での信号の検出器の構造を図2.11 (a) に示す。ディスク回転方向に、最短記録波長に対し十分の長さ(対角線上約 $6\mu\text{m}$ )を持つスタイラスの後端面に容量検出用の電極を蒸着形成したものを使用する。導電性PVCで作られたディスクの表面は薄い(50nm程度)潤滑層に覆われている、潤滑油層はスタイラスによるディスクの磨耗を保護するとともに、

誘電体膜としても機能する。図2.11 (b) に示すように、スタイラスは複数の凹凸にまたがって移動するため、信号面の凹凸に因らず水平に移動する、このため電極と導電性PVC間の静電容量は、凹凸有り無しにしたがって変化する。この容量変化は $0.0001\text{pF}$ 程度の微弱なものであるが共振回路を用いて安定して検出することが可能である。また、信号検出と同時にトラック間に記録されたトラッキング用の信号fp1、fp2も検出される。トラッキングは同時に検出されるfp1、fp2の信号レベルが同じになるようにサーボを掛けることにより、溝なしでも正確に信号をトレースすることが可能であり、ディスクの特徴であるランダムアクセスも容易に実現できる方式である。

VHD方式の特徴としては、以下の点があげられる。

- 1) CED同様、従来のLPレコード量産装置の延長上で、サブミクロンの精度が必要とされる技術を導入して量産設備を構成した。また、ディスクも安価な導電性PVCを用い、プレスのみによる1工程で両面を同時に形成可能にするなど、ディスクが安価に量産出来ることを目的とした。
- 2) プレーヤも再生針部分およびトラッキング機能を持つPU以外は、TVなどに使用されていた一般電子部品で構成可能で、安価に量産できることが期待された。
- 3) ディスクはキャディと呼ばれる保護ケースに格納され、ディスク面を保護するとともに、取り扱いが簡単である。
- 4) ガイド溝がなくサーボを用いてトラッキングをかける方式であることと、ディスクの指定領域にアドレス信号が格納されているため、ランダムアクセスが高速に可能である。
- 5) ディスクが平坦なため、信号検出用のスタイラスの底面( $5\text{-}6\mu\text{m}$ 角)は隣接トラックにもまたがっている。トラッキングはサーボで行うため針圧は針がディスクから離れない程度に低くすることが出来る。このため、単位面積当たりの接触圧力が低く(アナログLPレコード針に比し一桁少ない)、ディスクおよび検出針の寿命を長くすることが可能である。

VHDは日本ビクターによって開発された日本発の規格であり、当初、松下電気、東芝をはじめ13社を超える日本メーカーがこの規格に参加を表明し、1980~1985年に掛け日本国内で激しいフォーマット争いを演じた、詳細は8.1節および9章に述べる。

参考文献：

- 1) 岩村總一：「ビデオディスクとDAD入門」コロナ（1982）
- 2) “The RCA Selectavision Video Disc System”, Information Display, 12, 2 (1976)
- 3) “Video Disc”, RCA Review, 39, 1 (1978)
- 4) 金城ほか：「VHD システム」、テレビジョン学会誌（1982.3）
- 5) 金城：「VHD システム」、放送技術（1980.5）
- 6) Thorone, K.G., Bayliff, R. W.: “The Teldec Video Disc”, Royal Television Soc Journal, 14 (1972)
- 7) 辻重夫監修、金丸斉ほか：「光ディスクとビデオディスク」テレビジョン学会編、昭光堂（1989）

# 3 | LD システムの基本原理

2章で説明した、TeD、CED、VHD は図 2.1 で示した通り、接触式に分類されるビデオディスクで、円盤に接触する針で記録信号を再生する方式である。

一方、本稿で取り上げる LD システムでは、ピットと呼ばれる凹凸の反射面が裏面に記録された円盤を回転させ、ディスク基板を通過して、裏面の反射面にレーザービームを照射し、その反射光を得ることにより、接触せずに微小ピットを読み取り、動画と音声を再生するシステムである。

LD 方式の基本技術は 1970 年代、オランダの Philips 社と米国の MCA により開発され、1978 年には Philips の子会社マグナボックス社により小規模ではあるが、米国で販売が開始された。

パイオニア株式会社では 1970 年代当初から、当時、事業の中心であった音響機器だけでなく、映像機器での事業拡張を計画していた。1971 年同社社長に就任した石塚庸三は、当初 VTR の開発も視野に入れていたが、VTR 事業は、すでに多くの日本企業が手がけており、この事業に進出しても後塵を拝するだけであるとの判断から、当時、欧米で技術開発発表が相次いでいた、ビデオディスクに注目した。1972 年、当時 NHK、主任研究員であった山本武夫を音響研究所長として迎え入れ、ビデオディスクの開発グループを作り、本格的な研究開発がスタートした。また研究開発実務のリーダーが金丸斉であった。同年 9 月には Philips 社が LD 方式の発表を行っている。

パイオニアではすでに発表されていた、TeD、CED、LD の 3 方式の検討を平行して行った。TED 方式は画質音質が十分でなく録音時間が短く、ディスク寿命も短かった。CED 方式も画質、音質が十分でなく、針が溝を接触する方式であることによりランダムアクセスや静止画再生が困難であることや、ディスク寿命の問題から、これら 2 方式に関する研究を中止し、1975 年 LD 方式に特化し、開発を進めていった。1977 年にパイオニアは、MCA 社と共同出資でユニバーサルパイオニア株式会社を設立し、本格的な実用化、市場導入を図った。

本章ではこの LD 方式の動作原理について詳細を述べる。

## 3.1 LD の動作原理

### 3.1.1 LD のディスク構造

ディスクの直径は 20cm と 30cm の 2 種類があり、

片面ディスクと両面ディスクが存在するが、厚みは同じである。音声、映像信号はディスクの反射面にピットと呼ばれる凹凸を成形することにより記録される。ピットは内周より外周に向けスパイラル上に記録されている。ディスクの断面構造図及び信号記録面の電子顕微鏡写真を図 3.1 に示す。

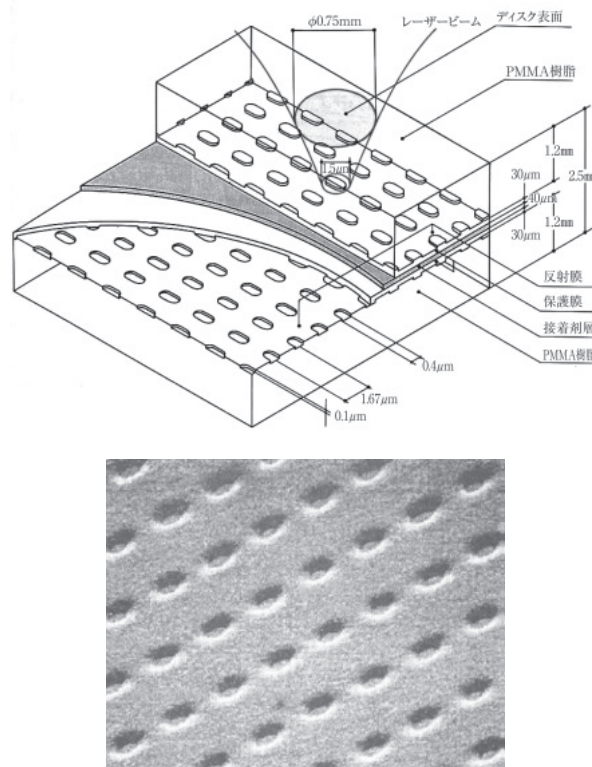


図 3.1 LD ディスクの断面構造図と信号面の電子顕微鏡写真

ディスクは厚さ 1.2mm の PMMA（硬質アクリル樹脂）の片面にピットを成形し、反射膜（アルミニウム）を蒸着したのち保護膜を塗布した 2 枚の円盤を、接着層を介して貼り合わせたものであり、2.5mm の厚みがある（片面ディスクはダミーの円盤を貼り合わせることで作られる）。構造からわかるように、記録信号面はディスクの表面ではなくアクリル板の内側に形成されるため、信号面に傷が付くことがなく、さらに、後述するように、読み出しのレーザービームは、ディスクの信号面に焦点が当たるように制御されるため、ディスクの表面に汚れが付いても安定して再生ができる特徴があり、民生機器として家庭での使用環境に十分耐えうる構造になっている。このため LD ではディスクを保護するためのキャディは使用していない。

反射面上に形成されるピットは、ピットの幅 0.4 μm、

高さ  $0.1\mu\text{m}$ 、ピットの半径方向への間隔（トラックピッチ） $1.67\mu\text{m}$ 、最短ピット長はおよそ  $0.5\mu\text{m}$  である。

ディスクにはピットが記録されているモードに従い、CAV (Constant Angler Velocity) と CLV (Constant Linear Velocity) の2種類がある。両ディスクの、信号記録構造を図 3.2 に示す。ディスクの最内周部、半径  $53.5\text{mm}$  以内から半径  $55\text{mm}$  まではリードインエリアと呼ばれ、プレーヤが最初に起動するときのフォーカス制御やトラッキング制御の開始を容易にしたりランダムアクセスを安定的に行うために設けられ、固定パターンのピット（リードイン信号）が記録されている。続く半径  $55\text{mm}$  以上から最大半径  $145\text{mm}$  までのエリアはプログラムエリアと呼ばれ、FM 変調された映像、音声信号が記録されるエリアである。このエリアの幅は記録される映像の長さにより変化する。その外側にリードアウトエリアが設けられている。リードアウトエリアには  $2\text{mm}$  以上の幅で、固定パターンピット（リードアウト信号）が記録されている。このエリアは最後まで映像再生を安定して行うためと、最外周部へのランダムアクセスを安定的に行えるよう設けられている。NTSC 方式の映像信号では、1 枚の絵はフレームと呼ばれ 1 秒間に 30 枚再生され動画として認識される。1 フレーム長は約  $33.3\text{ms}$  である。さらに 1 フレームは第 1、第 2 の二つのフィールドに分割され、各フィールドの間は V ブランキング区間と呼ばれ、映像信号の同期を取るための信号（V シンク信号）やフレームナンバー等のコードデータが記録されている。ディスクを  $1800\text{rpm}$  で回転させると 1 回転がちょうど  $33.3\text{ms}$  となるため、ちょうど一周に一画面（2 フィールド）が 2 つの V ブランク区間と共に記録されることになる。

CAV ディスクは回転数一定（ $1800\text{rpm}$ ）で情報が記録され片面 30 分の映像が記録可能であり、内外周を問わずディスクの 1 周に TV 映像の 1 フレーム（1 画面）が記録されている。そのためのディスク上に記録される V ブランク信号の記録位置が半径方向に揃っており、このことを利用して色々なトリックプレイが可能になる。たとえば、この V ブランク時間内に PU を 1 トラック分、内側にジャンプさせれば、静止画再生が可能になり、2 トラック以上内側にジャンプさせれば、逆送り再生、2 トラック以上外周側にジャンプさせれば早送り再生が可能となる。

CLV ディスクは線速度一定で情報が記録されており再生時、外周にいくに従い回転数は遅くなり、内周で  $1800\text{rpm}$ 、外周で  $680\text{rpm}$  である。すなわち、内周部分では 1 周につき 1 フレームの画像が、最外周部で

は 1 周につき 3 フレームの画像が記録される。このため CAV ディスクと違い、V ブランク信号の記録位置が半径方向に揃わず、PU のトラックジャンプ操作だけで簡単にトリックプレイを実現することは出来ないが、CAV ディスクに比べ長時間再生（片面 60 分）が可能である。後年、メモリ価格の低下と LSI 技術の発展により CLV においても CAV と遜色のないトリックプレイが可能となった。

CLV ディスク、CAV ディスクの仕様比較表を表 3.1 に示す。

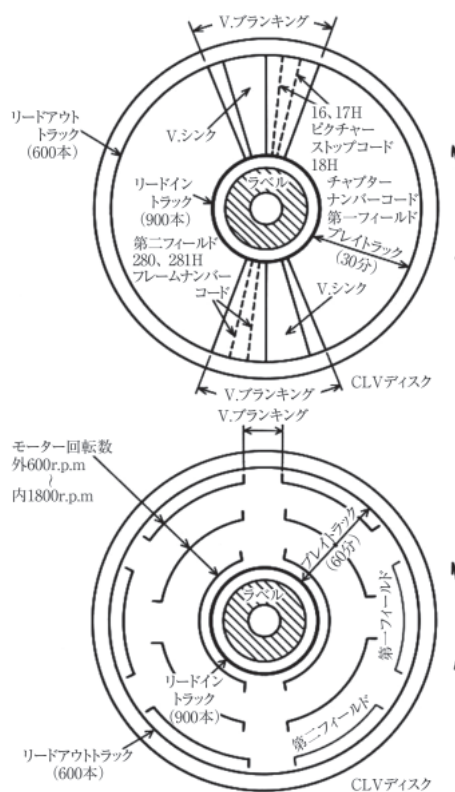


図 3.2 CAV ディスクと CLV ディスクの構造

表 3.1 CAV ディスクと CLV ディスクの比較表

		標準ディスク(CAV)	長時間ディスク(CLAV)
演奏時間		片面30分(両面60分)	片面60分(両面2時間)
回転数		1800回転/分(一定)	1800回転/分~600回転/分
基本機能	プレイ	○	○
	一時停止	○	○
	早送り(正方向/逆方向)	○	○
トリックプレイ	音声(1/左・2/右)	○	○
	3倍速(正方向/逆方向)	○	—
	スロー(正方向/逆方向)	○	—
	静止(正方向/逆方向)	○	—
プログラム	コマ送り(正方向/逆方向)	○	—
	フレームナンバーサーチ	○	—
プログラム	**チャプターナンバーサーチ	○	○
	フレームナンバー表示	○	—
	チャプターナンバー表示	○	○
	時間経過表示	—	○
	*ピクチャーストップ	○	—
	**チャプターストップ	○	○

\*ピクチャーストップコードの入っているディスクを使用した場合  
\*\*チャプターナンバーの入っているディスクを使用した場合

### 3.1.2 ピットの読み取り原理

ピットの読み取りはレンズにより集光されたレーザー光線を用いて行われる。レーザー光は回折の影響を受け、図 3.3 に示すように、一定最小値（ビームウエスト）までしか収束できない。このときの収束光の直径  $d_0$  により、読み取り帯域の上限が決まり、その値はレンズの開口率（NA）に反比例しレーザーの波長（ $\lambda$ ）に正比例する。LD の場合約  $1.3\mu\text{m}$  である。この集光された光がピットの形成されていない反射面を通過する場合は、図 3.4 (a) に示すように、ほとんどの光が反射され再びレンズで集光されるため反射光は入射光の光量にほぼ等しくなる。一方このビームが幅  $0.4\mu\text{m}$ 、高さ  $0.1\mu\text{m}$  のピット上を通過するときには、図 3.4 (b) に示すように反射光は回折されレンズの集光範囲外に反射される為レンズに戻る反射光は減少する。さらに、ピットの深さは、読み取り光線の波長のおよそ  $1/4\lambda$  に設定され、ピットのある部分とない部分で  $1/2\lambda$  の光路差による干渉で明暗が出来、ピット自体の回折効果も加えてピットの有無を C/N 良く検出することが可能である。この読み出し原理にしたがってピット列を読み出す場合の動作を図 3.3 (c) に示す。

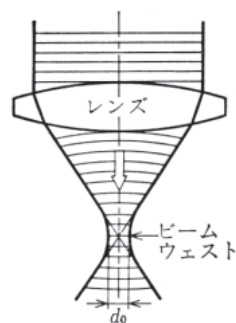


図 3.3 レンズによるレーザー光の収束

### 3.1.3 LD に必要な制御方式

LD 再生のために必要な制御としては、1) レーザビームを正確に反射面に集光するためのフォーカス制御および正確に記録トラックをトレースするためのトラッキング制御、2) ビデオの時間軸を制御するための時間軸制御、スピンドルモータ制御、及び3) システム全体をコントロールするためのスライダ制御、システム制御がある。1)、2)、および3) についてそれぞれ説明する。

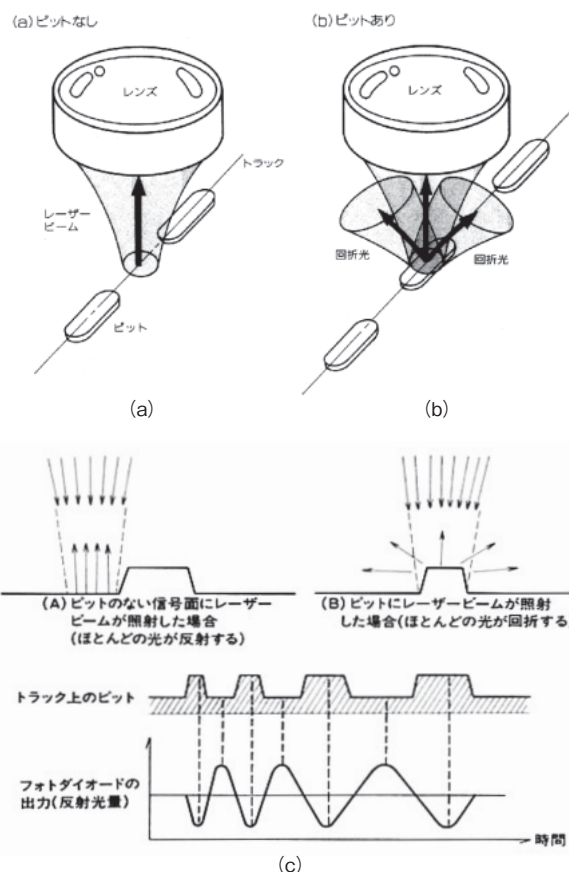


図 3.4 (a)、(b)、(c) レーザ反射光による情報読み取り原理<sup>3)、4)</sup>

#### (1) PU 光学系とフォーカス制御、トラッキング制御

レーザービームを照射し、反射光を検出するための機構は光 PU と呼ばれ、多くの光学部品と対物レンズを駆動する為のアクチュエータと呼ばれる機械部品でできている。光 PU では、ビームを安定して集光するために必要な、トラッキング制御、フォーカス制御のための制御信号の検出や、制御するための機構が組み込まれている。これらを制御するための方式は各種提案されているが、本稿では、第一世代の He-Ne レーザチューブを使用した光 PU の信号検出光学系の例を使用し、トラッキング制御としてスリービーム法、フォーカス制御としてシリンドリカルレンズと 4 分割フォトディテクターを用いた方法を説明する。光学系の全体図を図 3.5 に示す。なおこの原理図では時間軸

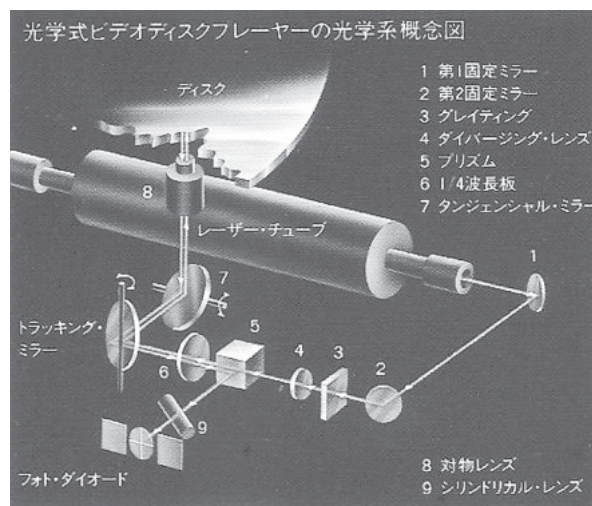


図 3.5 LD の信号検出光学系<sup>4)</sup>

の制御はミラーで行っている（後述）。以降この光学系をベースに説明を行う。

レーザチューブから出た直線偏光波は、第一、第二の固定ミラーで反射され、グレーティングで光を0次光と±1次光の3本のビームに分割される。さらに、ダイバージェンスレンズで広がり度を調整した後、偏光分割プリズムであるビームスプリッタ5を通過する。その後に配置された1/4波長板6で円偏光波に変換され、トラッキングミラー、タンジェンシャルミラーを経て、フォーカスレンズで集光された後ディスクで反射され、逆周りの円偏光波となって同じ経路を通り、再び1/4波長板6を通過する。これにより、偏波面が入射光と90度異なった直線偏光波となる。偏光ビームスプリッタ5はこの偏光波を反射するように設計されており、反射光のみが90度曲げられ、光信号検出用のフォトダイオードに入力される。ビームスプリッタ5とフォトダイオード間にはフォーカス制御のためのシリンドリカルレンズ9が配置されている。

信号検出用フォトダイオードは図3.6に示すようにトラック方向に3個配置され、中央のダイオードはさらに4分割されており、フォーカスエラー検出、トラッキングエラー検出および、記録信号検出のために使用される。

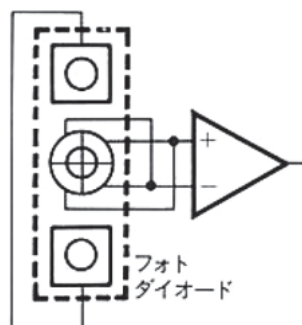


図3.6 信号検出用フォトダイオードの配置

#### (a) トラッキング制御

レーザビームが記録トラック上を正確にトレースするように制御することをトラッキング制御と呼ぶ。スリービーム法ではトラッキング制御は、グレーティングでトラック方向に分割された3つのビームのうち、前と後の2つ（+1次光、-1次光）を使用する。

スリービーム法によるトラッキング制御の構を図3.7 (a) に、動作原理を図3.7 (b) に示す。

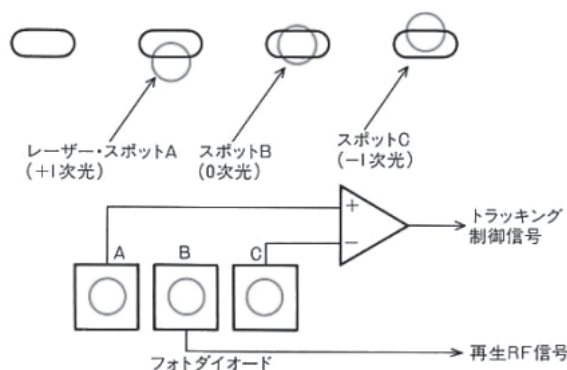


図3.7 (a) スリービーム法によるトラッキング制御の構成<sup>4)</sup>

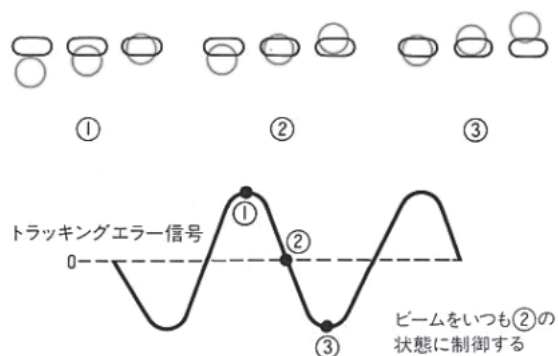


図3.7 (b) スリービーム法の動作原理<sup>4)</sup>

図3.7 (a) で示すように、グレーティングで3本に分割された光は、0次光がトラックのセンターで、+1次光、-1次光は、それぞれ、盤面上でトラックに対しお互いに逆方向にずれるよう配置される。ビームがトラックから左右にずれたときの動作を図3.7 (b) に示す。

図3.7 (b) 中①のようにビームがずれるとフォトダイオードAの出力は全反射の光を検出して大きくなり、フォトダイオードCの出力はピットによる回折のため小さくなるため、検出される+1次光と-1次光の差分（トラッキングエラー信号）は大きなプラスの値を持つ。②のようにビームがトラック上に在るときは、A、C両フォトダイオードの出力はほぼ同じになるため、トラッキングエラー信号は0となる。③の場合は①と反対にトラッキングエラー信号はマイナスの値となる。このエラー信号が常に0となるようトラッキングミラーを制御することにより、0次光が常に信号ピット上を正確にトレースすることが可能となる。トラッキングおよびスライダ制御のためのブロック図を図3.8に示す。

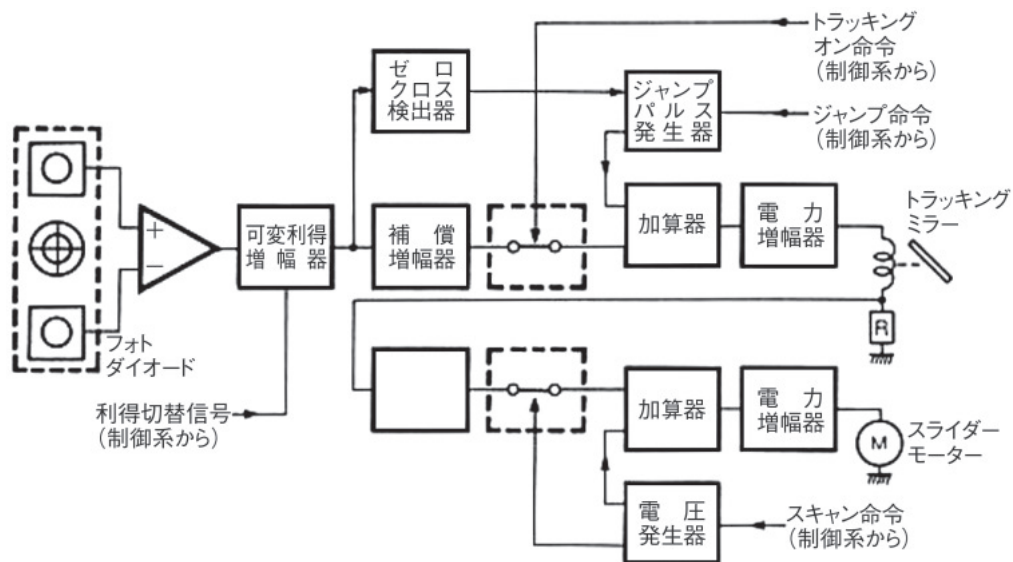


図 3.8 トラッキング、スライダ制御ブロック図

(b) フォーカス制御

フォーカスエラー信号検出用の光学系レイアウトを図 3.9 に示す。フォーカス制御には 0 次光を用いる。検出のためにフォトディテクターの前にシリンダリカルレンズを置くことにより、フォーカスのずれに従ってフォトディテクター上のビーム形状が異なることを利用している。フォーカス位置とフォトディテクター上のビーム形状およびフォーカスエラー検出の動作原理を図 3.10 に示す。

a のように対物レンズがディスクに近すぎる場合、シリンダリカルレンズの作用によりビームが縦長となり、c のように対物レンズがディスクから遠すぎる場合はビームが横長となる。フォーカス位置により異なるビーム形状を検出するため、0 次光検出用フォトディテクターは 4 分割されている、4 分割されたフォトディテクターの対角に位置する二組のディテクターの和信号の差分をとり、この信号が 0 になるように対物レンズの位置をフォーカスアクチュエータを使用して制御することによりフォーカス制御が行われる。フォーカス制御するためのブロック図を図 3.11 に示す。

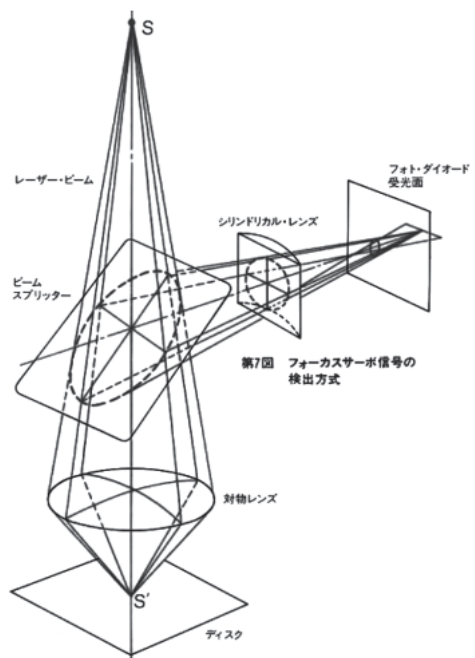


図 3.9 フォーカスエラー検出のための光学系<sup>4)</sup>

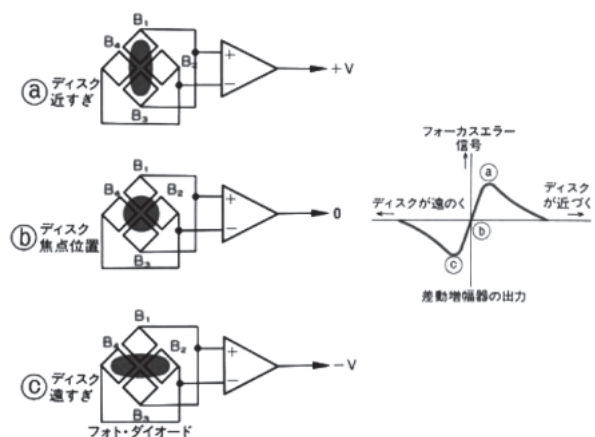


図 3.10 フォーカスエラー制御の原理<sup>4)</sup>



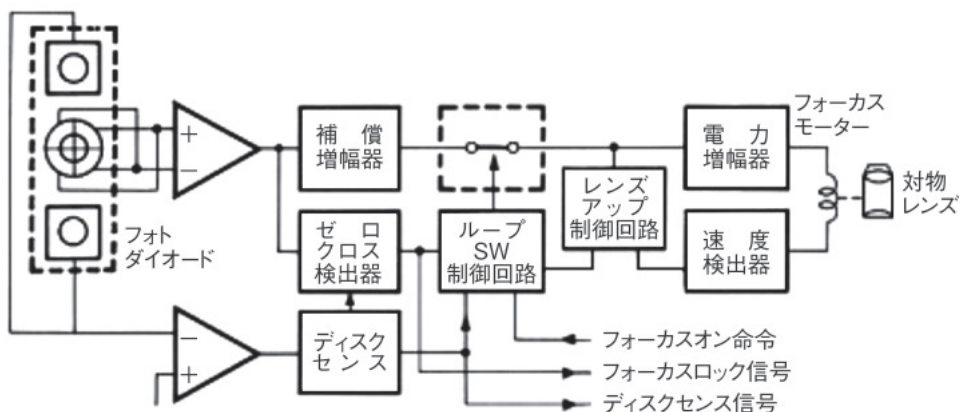


図 3.11 フォーカス制御ブロック図

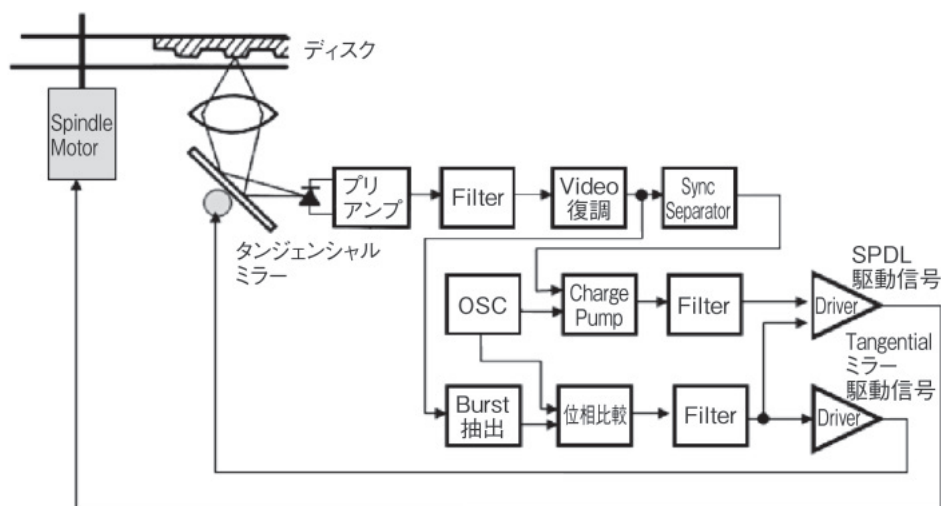


図 3.12 時間軸制御ブロック図

## (2) PU 位置制御 (スライダ制御)

ディスクを再生するためには、トラッキングミラーを使用したトラッキング制御に加えて、PUをスパイラル状に形成されたピットトラックにしたがって、内周から外周まで正確に移動させる必要がある。

ピットトラックはスパイラル状である為、再生中のトラッキングエラー信号はDC成分を有している。このDC成分をキャンセルするように、スライダモータ（光PUを内周から外周に移動させるモータ）を駆動することにより、PUはスパイラル状に形成されたピットトラック上を内周から外周まで移動することが出来る。

またサーチ、スキャンなどの高速移動や、静止画再生、倍速再生などの機能は、直接外部からスライダ制御部分に信号を入れる事により得られる。

（スライダ制御ブロックは、前項の図 3.8 を参照のこと）

## (3) 時間軸制御

ディスクを正確に回転させても、ディスクには偏芯が存在し、またピットも記録時の偏芯が存在する。そのため再生信号に時間軸変動が生じることから、この変動を抑制するための時間軸制御が必要になる。ここでは初期のLDシステムで用いられた、ミラーでビームをタンジェンシャル方向（トラックの接線方向）に振る方法について述べる。

図 3.12 に時間軸制御ブロック図を示す。時間軸制御はディスク回転制御と密接な関係がある。再生ビデオ信号から水平同期信号（H-Sync）を分離し、基準信号発生器からの信号と位相比較しスピンドルモータを回転させる。一方再生ビデオ信号からバースト信号を抜き出し、その中の特定の波の位相をさらに抜き出す。

基準信号発生器からそのバースト内の特定の波までの位相差を検出し、タンジェンシャル方向のエラー信

号とする。エラー信号中の低域成分は、スピンドルモータの回転で補正するため、後述するスピンドル制御ループにフィードバックすることにより0になるよう制御される。一方エラー信号の高域成分はタンジェンシャルミラー駆動回路に入力され、エラー信号が0になるよう制御される。

タンジェンシャルミラーおよび制御アクチュエータの外観写真を図 3.13 に示す。

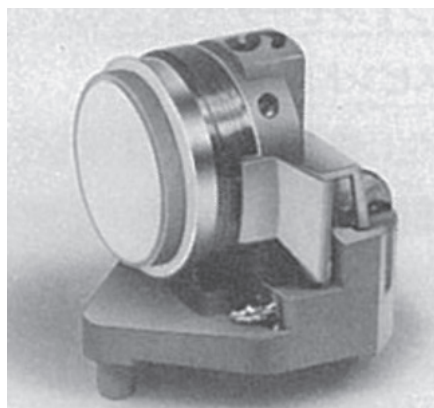


図 3.13 タンジェンシャルミラー（時間軸制御用ミラー）<sup>4)</sup>

初期のPUにおいてはタンジェンシャルミラーを使用した時間制御が使用されたが、後年、フォーカス制御とトラッキング制御はレンズを動かすことで制御（2軸制御）し、時間軸は、電氣的な処理で補正する方式へと技術的に収斂していった。4章以下に詳しく述べる。

#### (4) ディスク回転制御

ディスク回転制御に関連する事項の中で、時間軸制御に関してはすでに 3.1.3 の (3) で述べた通りである。

レーザーディスクは 30cm のアクリルの円盤で約 480g と重量もあり、1800rpm で回転させるために強力なトルクが必要である。さらに CLV ディスクにおいては、回転数が 1800~680rpm と変化するため、回転制御可能かつ振動の少ない DC モータが必要とされた。また、直径が 20cm と 30cm の 2 種類のディスクがありそれぞれ慣性力が異なり、サーボループのループゲインを変更する必要があった。またモータの回転が制御可能範囲に入っていない場合には、再生ビデオ信号が得られないケースも考えられるので、モータに回転数検出装置がつけられ、ディスクサイズ検出とピックアップ位置検出とを組合せ、想定される回転数の範囲に入っているか否かのモニタリングをして起動時間の短縮を行った。

再生終了時の処理を速やかに行うために、モーター

端子をショートし、ブレーキ機能としても使用する工夫や、民生機においてはモーターにファンをつけて、ディスク再生時の筐体内の温度上昇を軽減する工夫等もおこなわれた。

図 3.14 に、冷却ファン付スピンドルモータの例を示す。

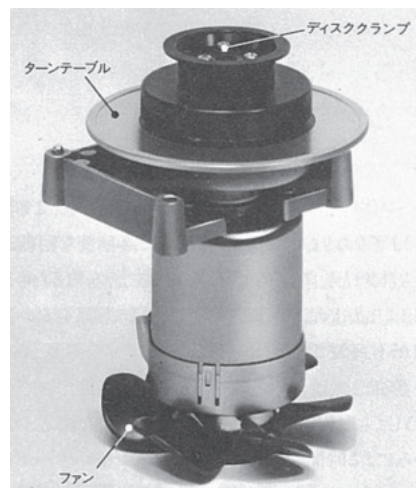


図 3.14 冷却ファン付スピンドルモータ<sup>4)</sup>

#### (5) システム制御

LD を再生するためには、各制御部がそれぞれ正常に動作するための初期動作を含め、複雑な動作手順を必要とする。これら手順は、当時、民生機器では用いられていなかったマイクロプロセッサを使用して行われた。

基本動作は次の通りである。

- 1) 電源が投入されるとマイコン関連のレジスタ、フラグなどが初期化され、同時にピックアップが内周に移動する。
- 2) ディスク及びサイズをチェックしたのち高速起動のためにスピンドルモーターにあらかじめ決められた電圧が掛けられる。
- 3) ディスクが回転を始めるとフォーカス制御及びトラッキング制御が順次かけられる。
- 4) 安定してビデオ信号が再生されるようになり、シンクセパレータで水平同期信号が抜き出され、スピンドルサーボがクローズされ、ビデオ信号が再生可能な回転数で回転する。
- 5) ディスクに記録されているディスクコードを読み取り、システムレジスタにセットする。ディスクコードにより CLV か CAV 確認し、それぞれのディスクの映像開始位置を示すディスクコードに含まれるデータに従い、初期アドレスへピックアップを移動する。また再生可能ディスクか否か

の判別も行い、再生不可ディスクの場合は終了ルーチンへ進む。

- 6) スピンドルサーボがクローズされ、安定した再生信号が得られてから、時間軸制御サーボをクローズし、安定したビデオ、オーディオの再生を行い、出力端子から出力する。
- 7) ディスクの再生中は通常のPlay (1倍速)のほか、Still (静止画)、トリックプレイ (N倍速)、チャプターサーチ、フレームナンバーサーチなどの機能をマイコンが制御する。

この一連の立上げ操作のフローチャートを図 3.15 に示す。

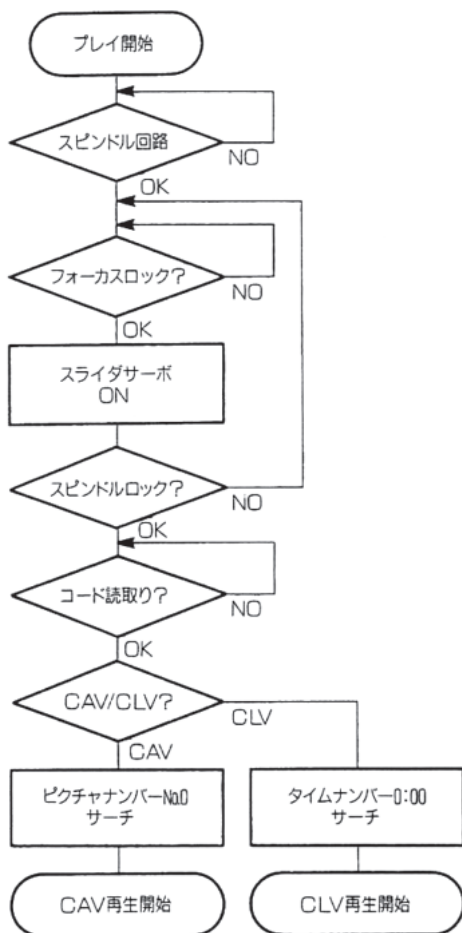


図 3.15 再生のための立上げフローチャート

CAV ディスクでは静止画、逆方向再生、正逆3倍速再生が可能である、これら特殊再生は、トラッキング制御の ON-OFF と、1トラックジャンプの組み合わせにより行われる。CAV ディスクにおける、各特殊再生時のジャンプ動作の概要を図 3.16 に示す。これら一連の動作もマイクロプロセッサでリアルタイム処理される。

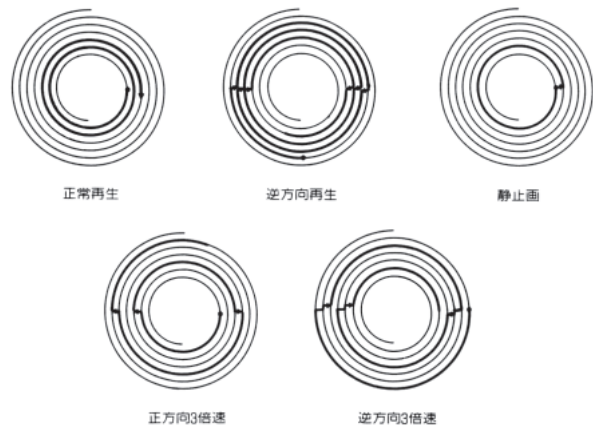


図 3.16 CAV ディスクでの特殊再生とジャンプ動作<sup>4)</sup>

### 3.2 ディスク記録信号

レーザーディスクには映像、音声、各種データが記録されている。映像信号は、NTSC (または PAL) 方式のまま直接 FM 変調される。2ch のオーディオ信号は、再生時の S/N をよくするために CX ノイズリダクションを使用する。図 3.17 に CX ノイズリダクションの特性を示す。CX エンコード後 L/R それぞれ違うキャリア周波数を FM 変調した後バンドパスフィルターを通過させる。これらの3種の信号は加算後、リミッターに掛けられて周波数分割多重化され、生じた矩形波でレーザービームレコーダの記録用レーザービームを ON/OFF してガラス原盤に記録される。(原盤からディスクへの生産工程については4章で詳細に述べる)。

図 3.18 (a)、(b) に LD 記録システムの信号波形、ブロック図を示す。

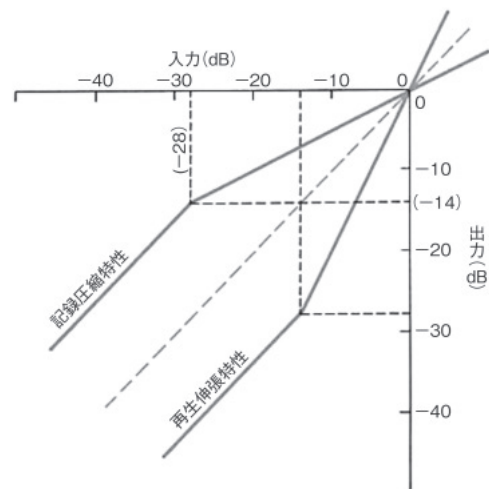


図 3.17 CX ノイズリダクションの特性<sup>4)</sup>

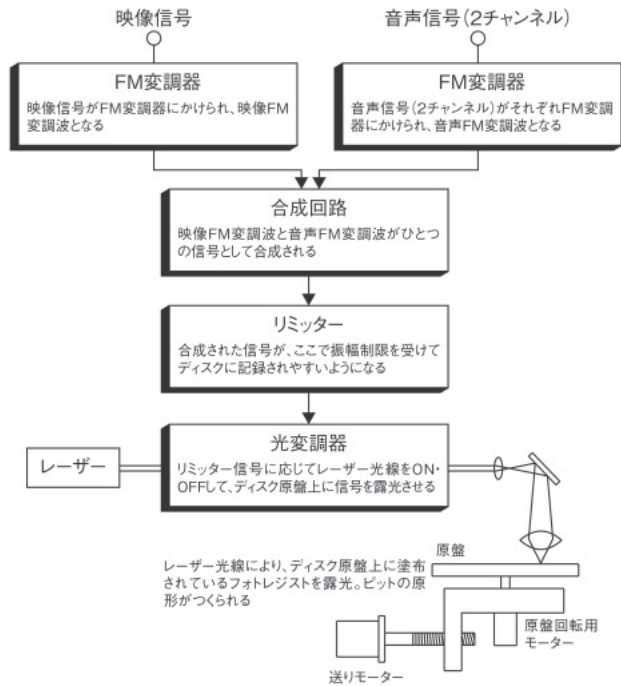
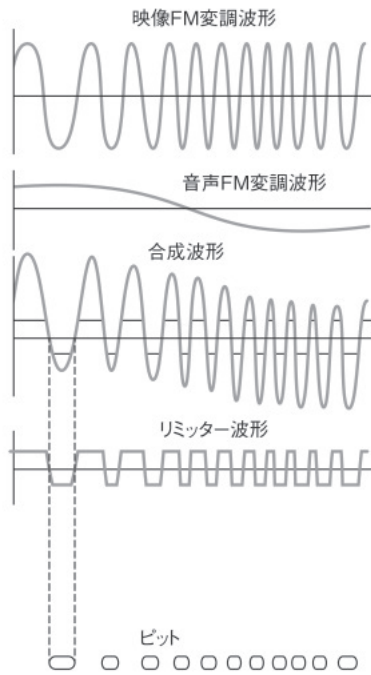


図 3.18 (a)、(b) LD 記録システムの信号波形、ブロック図<sup>4)</sup>

また記録された信号の各パラメータを表 3.2 に、信号スペクトラムを図 3.19 に示す。

表 3.2 記録信号のパラメータ

ビデオ信号	
信号形式	標準NTSCカラー映像信号
メインキャリア変調方式	周波数変調
ブランキング周波数	8.1MHz±50kHz
変調度	1.7MHz±35kHz
オーディオ信号	
チャンネル数	独立2CH
キャリア周波数	2.3MHz(CH-1) 2.8MHz(CH-2)
変調方式:	周波数変調
変調度:	±100kHz
メインキャリアへの多重方式	パルス幅変調
メインキャリアに対する振幅	-26dB±1dB
ノイズリダクション方式	CX

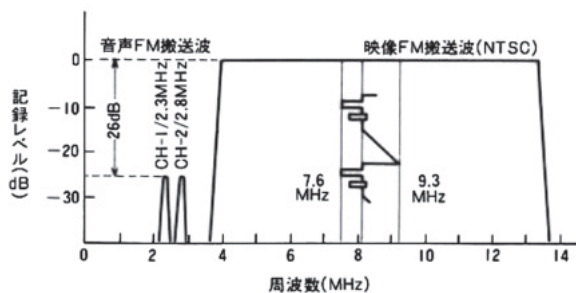


図 3.19 記録信号のスペクトラム

### 3.3 再生信号処理

PUの光ディテクタで検出された0次光の信号は、MTF フィルタにより、PUでの周波数特性を補正された後、ビデオ FM 信号用および2chのオーディオ FM 信号用の、3種のバンドパスフィルタに通される。フィルタ後のFM変調波を、FM復調することにより、それぞれ、ビデオ信号、オーディオ信号(L)、オーディオ信号(R)が復調される。

ディスクの信号記録面は表面に露出しておらずアクリルで覆われているので、使用時の埃や傷に強い。しかしながら、量産時にディスク内部にピット列方向の傷や、ディスク製作時の傷が存在する。この場合、再生映像には1-2mmほどの黒い線が現れ、オーディオではノイズが発生し、これをドロップアウトと呼ぶ。

ビデオ信号の場合、画面における上下の相関が強いので、1H(1ライン長)のディレイラインを用い、ドロップアウトを検出した場合、1H前の輝度信号に置き換えることでドロップアウト補正をおこなう。

オーディオ信号の場合は、ドロップアウトが生じる前の値をドロップアウトが終了するまで保持(前値ホールド)して補正を掛けている。信号再生部のブロック図を図 3.20 に示す。

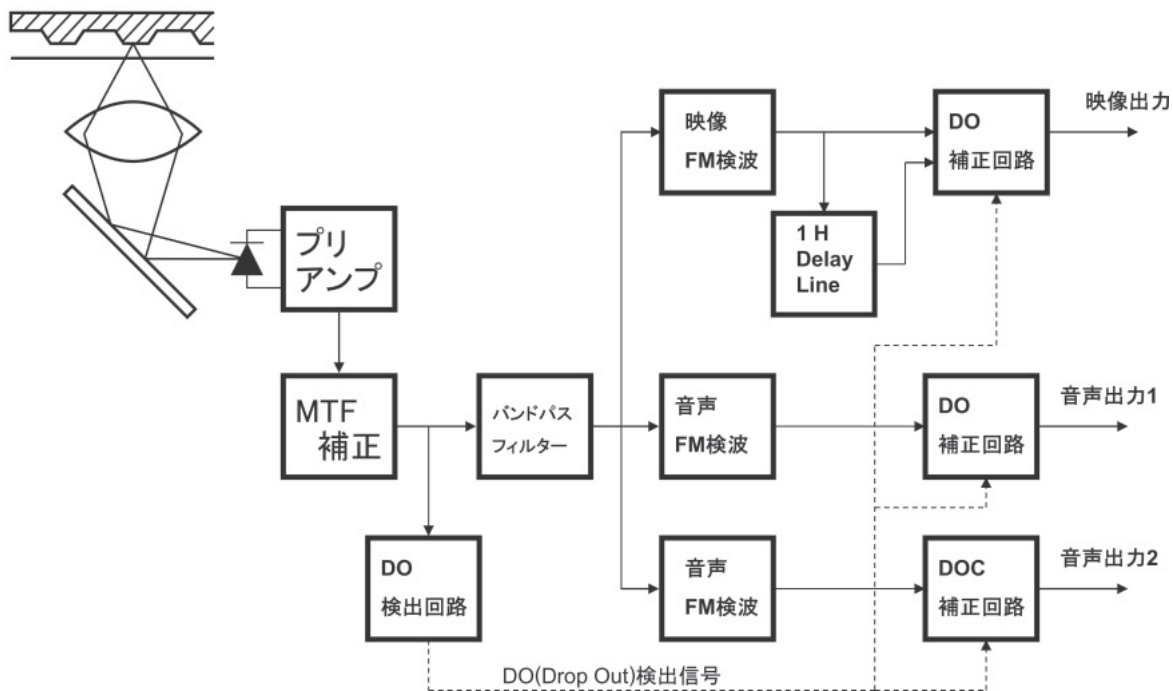


図 3.20 再生系の信号処理ブロック図

### 3.4 主な規格仕様

LDの仕様は、ディスクの規格として、国際規格 IEC 60857 Ed.1.0 Pre-recorded optical reflective video disk system 'Laser Vision' 60Hz/525 lines-M/NTSCとして規定されている。この規格の主な仕様については附-1に記す。

#### 参考文献

- 1) Broadent, K. D.: "A Review of the MCA Discovision System", J. SMPTE, 83
- 2) Compaan, K., Kramer, P.: "The Philips 'VLP' System", Philips Tech. Rev., 33 (1973)
- 3) 辻重夫監修、金丸斉ほか:「光ディスクとビデオディスク」テレビジョン学会編、昭光堂(1989)
- 4) オーディオコンパス編集部:「LaserDisc COPMASS」Vol.5 SPECIAL ISSUE、パイオニア株式会社(1981)
- 5) パイオニア(株)監修:「レーザディスクブック」、ラジオ技術社(1986)
- 6) IEC Standard: "Prerecorded optical reflective videodisk system "Laser Vision" 60Hz/525lines-M/NTSC, Publication 857, First edition, 1986
- 7) 金丸斉:「レーザディスクシステムのオーディオ技術」、JAS journal, Vol.23, N0.1 (1983)
- 8) 金丸斉:「レーザディスクテクニカルブック」、ASCII science, アスキー出版(1986)

# 4 | LD ディスクの生産

1979年2月にパイオニアが第一世代の産業用LDプレーヤーPR-7820を発売した。この製品は米国の自動車メーカGMに採用され、社内教育用、部品管理などの用途に使用された。また、ランダムアクセス可能な映像メディアとして、展示、プレゼンテーションなど多くの応用に使用された。製品導入のためにはプレーヤーの開発、量産化だけでなく、ディスクに入れる映像ソフトの編集システム、マスタリング装置、成形機や蒸着機を使用するレプリケーション装置の開発・導入が必要となった。本章ではディスク生産関連、および量産実用化にあたり、特に問題になった点とその解決方法についても述べる。

## 4.1 ディスクの生産工程

LDディスクの生産が本格的に行われるようになったのは、1980年代に入ってからである。パイオニアが民生用プレーヤーを1981年10月に発売したのに合わせて、70タイトルのディスクが同時に発売された。

レーザーディスクの製造方法は、従来のオーディオレコードのようにまず原盤を作製し、それから大量の複製（レプリカ）を安価に製造するという方式であるが、使用する装置や材料やプロセスには大きな違いがあるため、それらを新たに開発する必要があった。

生産装置や材料やプロセスは、ディスクの生産が拡大するにつれて改良され高効率化されていったが、基本的な生産工程は変わっていない。また、LDディスクの生産技術は、CD、DVD、BDの大量生産技術へと引き継がれ発展してきた。

以下に、LDディスク生産について、工程の流れに沿って説明する。ディスク生産は、再生用のHe-Neレーザー（波長632.8nm）を前提として、各パラメーターを最適化したことが大きなポイントである。

LDディスクの生産工程は、大きく次の3工程に分けられる。

### (1) プリマスタリング

映像や音声などを編集して、VTRテープに収める。

### (2) マスタリング

VTRテープからフォトレジスト原盤に映像信号や音声信号をカットイングし、この原盤からスタンパーを作る。

### (3) レプリケーション

スタンパーを用いて、アクリル樹脂を成形すること

によって複製盤を作製し、2枚を張り合わせてディスクにする。

LDディスクのマスタリングとレプリケーションの工程の概要を、当時すでに実用化されていたLPレコードの工程と比較して図4.1に示す。LPレコードはラッカー盤と呼ばれる原盤に、カットイングヘッドを使用して円周状に音楽信号波形を溝のこぼことして記録した後、Ni（ニッケル）電鍍でスタンパーを作成し、このスタンパーで塩化ビニルの円盤にコンプレッションプレスを行いLPレコードを量産する方式である。一方LDディスクの場合、フォトレジスト（感光剤）を塗布したガラス原盤にFM変調された映像音声信号をレーザービームのON-OFFとして照射露光して記録した後、現像することにより信号がピットとして凹凸に記録された原盤を作成する。この原盤からNi（ニッケル）電鍍でスタンパーを作製し、このスタンパーでアクリル樹脂を使用しインジェクション成形を行い、LDディスクを量産する方式である。

### 4.1.1 プリマスタリング

映画フィルムやビデオテープの形で供給された映像や音声などを編集し、業務用のVTRテープに収録する。映像と音声は、それぞれ別のVTRテープに記録される。このようにして作られたテープは、リリースマスターテープとも呼ばれる。なお、初期の頃は業務用のアナログVTRを使用していたが、後には業務用のデジタルVTRを使用した。

また、コード信号はフロッピーディスクに記録されるのが一般的であった。これらの装置は、すでにテレビ放送や家庭用VTRパッケージ用の編集機として開発され実用化されていたものを使用した。

### 4.1.2 マスタリング

マスタリング工程を図4.2にフローチャートで示す。工程の詳細はこの後で説明するが、大別して、ガラス盤準備工程、カットイング工程、スタンパー製作工程、検査工程の4つに分けられる。

マスタリング工程では、サブミクロンオーダーの微細なピットを精度良くガラス原盤上に形成する必要があるため、空気清浄度や温湿度が適切に制御されたクリーンルームの中で作業が行われる必要がある。クリーン度のクラスは、通常1立方フィート中に含まれる0.5 $\mu\text{m}$ 以上の塵埃の数で表わされる。LDディス

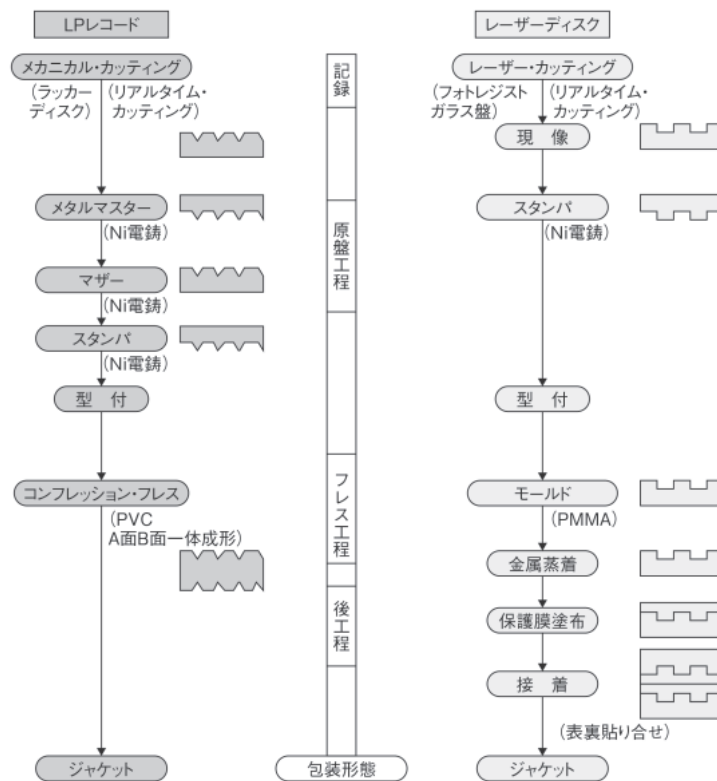


図 4.1 マスタリングとレプリケーション工程 (LP との比較) <sup>5)</sup>

クの場合、後で説明するコーティング工程やカッティング工程ではクラス 100、現像工程やスパッタリング工程ではクラス 1,000、電鍍、加工、検査工程ではクラス 5,000 が必要であった。

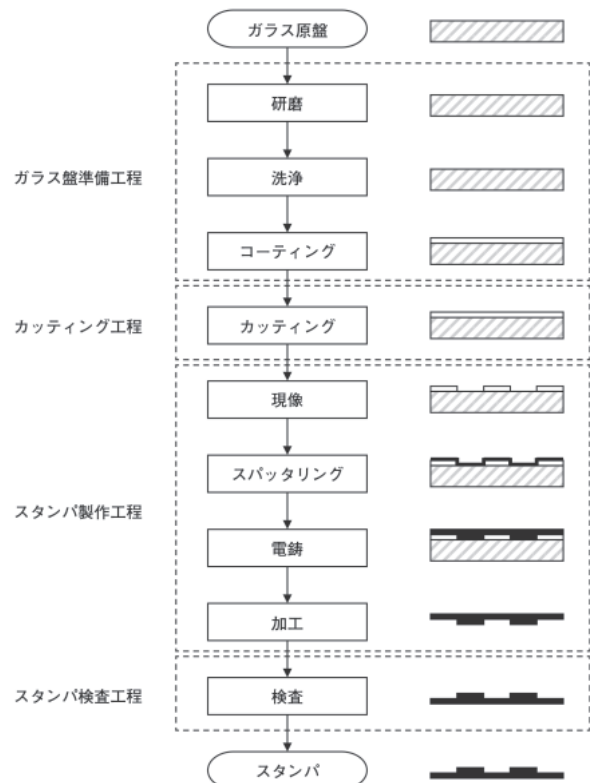


図 4.2 マスタリング工程 <sup>5)</sup>

### (1) ガラス盤準備工程

マスタリングに使用するガラス原盤を作る工程である。LD ディスクのピットは高さ約  $0.1\mu\text{m}$  という微小なものであるため、ピットを作る原盤は  $0.1\mu\text{m}$  の数十分の一の精度でフラットでなければならない。最初にガラス盤を研磨機にかけ、圧力を加え回転させながらフラットな面を作る。次の洗浄工程で、超純水やアルコールなどを使って精密洗浄を行ない、ガラス盤に付着している異物をミクロンオーダーのものまで除去する。洗浄後は、よりクリーン度の高い部屋へ運ばれ、フォトレジストと呼ばれる感光剤を塗布するコーティング工程に入る。ここでは、ガラス盤とフォトレジストの密着性を上げるために、有機系プライマー剤を塗布し、その上にフォトレジストを塗布する。所定の膜厚でガラス盤全面に均一に精密コーティングするために、ガラス盤を回転させながら塗布するスピンコート法が用いられる。このフォトレジスト膜厚がピットの高さとなるため、膜厚精度が非常に重要である。通常、フォトレジストの膜厚はエリプソメーターで測定し、数 nm 以下の精度で管理する必要がある。塗布後のガラス盤はオープンでベーキングされて、フォトレジストが乾燥固定される。

### (2) カッティング工程

カッティング工程では、レーザービームレコーダ

(LBR) により、ガラス盤上のフォトレジストをレーザー光によって感光し、ピットを潜像の形で記録する。

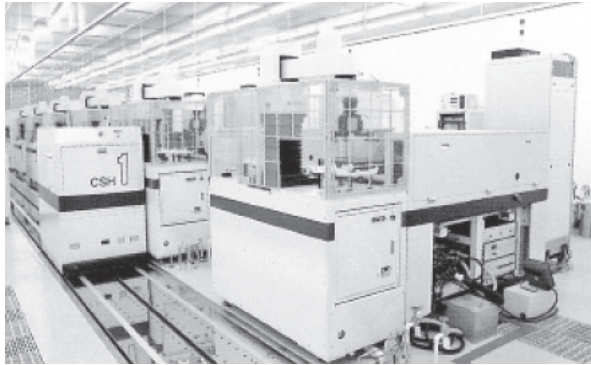


図 4.3 レーザービームレコーダ (LBR) 写真

LBR の写真を図 4.3 に、そのブロック図を図 4.4 に示す。

LBR は、主に① FM 変調部、② 光変調部、③ レーザ、④ 光学系、⑤ ガラス盤の回転・移動系から構成される (図 4.4 参照)。カッティング用レーザーは、一般的に Ar (アルゴン) レーザが使用されており、波長は 457.9nm である。このレーザー光を記録信号に応じて ON-OFF させてカッティングするわけであるが、FM 変調部では、VTR より送り出された映像信号と音声信号に、コンピュータから送り出されたタイムコードなどの信号を付加し、それぞれ FM 変調したのち混合し、リミッタをかけて方形波にした電気信号を光変調部に入力する。光変調部では、E/O (電気・光学) 素子あるいは A/O (音響・光学) 素子を用いた光変調器により、上述の方形波に合わせてレーザーが

ON-OFF される。この変調されたレーザー光はレンズやミラーなどの光学系を通り、対物レンズによりガラス盤上のフォトレジスト面に  $1\mu\text{m}$  以下の微小なスポットに集光される。ガラス盤は、CAV の場合、1,800rpm (毎秒 30 回転) という高速で回転しながら、3mm/分という低速で移動する。こうして、トラックピッチ  $1.67\mu\text{m}$  のスパイラル状にピットが潜像として記録された原盤ができあがる。

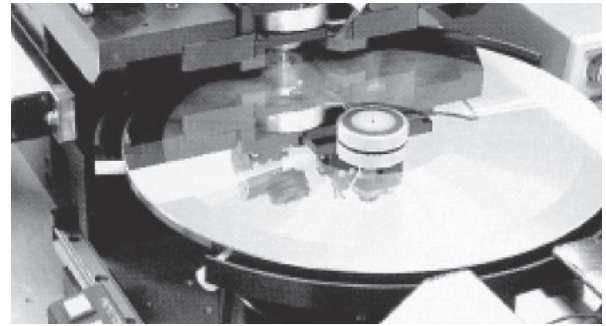


図 4.5 カッティングヘッドとガラス原盤

### (3) スタンパ製作工程

スタンパ製作工程は、現像、スパッタリング、電鍍、加工の 4 工程からなる。

カッティング直後のガラス原盤は、フォトレジストがレーザーの ON-OFF により露光されただけなので、ピットの凹凸ができていない。そこで、現像液を用いて感光した部分を溶かすことによってピットの凹凸が形成される。現像方法としては、スプレー法、液流法、浸漬法などがあるが、ピットを精度良く形成するために、現像液の濃度や温度、現像時間などを厳密にコン

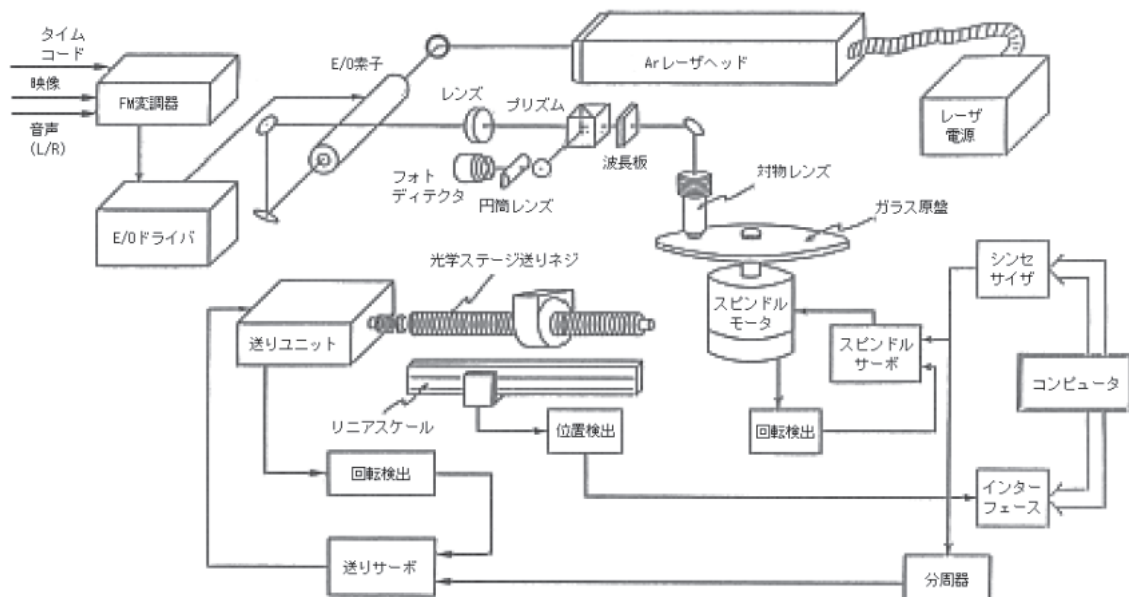


図 4.4 レーザービームレコーダ (LBR) のブロック図<sup>1)</sup>



トロールする必要がある。現像後のガラス盤はオーブンでベーキングされて、ピットの凹凸が固定される。

次に、電鍍工程での電極となる銀の導電膜を、ガラス原盤の表面にスパッタリングにより成膜する。この時の膜厚は、100nm 程度である。

次に、このガラス原盤からスタンプを作る電鍍工程に入る。図 4.6 に電鍍槽（ニッケルメッキ槽）の写真を示す。電鍍とは、いわゆるメッキであり、銀の導電膜が付いたガラス原盤を陰極（カソード）として、電鍍液と呼ばれる溶液内に浸漬し、電流を流すことによってガラス原盤表面にニッケルを析出させ、ピットの凹凸をニッケル板に転写することができる。陽極（アノード）はニッケル片が入ったケースであり、電鍍液はスルファミン酸ニッケルを主成分とする溶液を使用する。この電鍍液の成分の管理は重要で、スタンプの品質（板厚精度、平坦性、表面粗度、欠陥など）を左右する大きな要因である。所定の板厚になった時点で電鍍を終了し、スタンプをガラス原盤から分離し、付着しているフォトレジストと銀を剥離する。フォトレジストの剥離には水酸化ナトリウム溶液を、また銀の剥離にはアンモニア溶液を使用する。



図 4.6 電鍍槽（ニッケルメッキ槽）

ここでできたスタンプをマスタースタンプと呼ぶが、同じスタンプが何枚も必要な時は、このマスタースタンプをカソードとして電鍍を行ってマザースタンプを作製し、さらにマザースタンプからベビースタンプを作製する場合がある。

スタンプは、樹脂成形の金型として用いられるので、それに合った形状に加工される。具体的には、内径および外径の加工と、裏面の研磨である。内径と外径はプレスによって打ち抜かれるが、記録トラックの中心と内径穴の中心が十分な精度で一致している必要がある。この精度が悪くと、ディスクの偏心が大きくなり、プレーヤにかけた時にトラッキングが外れるこ

とがある。また、スタンプの裏面に微細な凹凸があると、成形時の圧力でディスクの信号面に凹凸が現れてしまい、再生信号に影響が出るので、裏面は十分な鏡面状態に上げることが必要である。

#### (4) 検査工程

完成したスタンプは、良品か不良品かを判定するために、物理特性検査と電気特性検査が行なわれる。物理特性検査では、スタンプの厚さ、内外径、偏心量、記録信号半径などが所定の値になっているかどうかを検査する。また、電気特性検査では、スタンプ再生検査機による映像および音声の視聴確認、再生信号特性、ドロップアウト（ピット欠陥）、デジタル音声データのエラーレート、コードデータの検査などが行われる。

こうして良品と判定されたスタンプは、異物が付着しないように特殊フィルムにより保護された状態で、レプリケーション工程に送られる。

#### 4.1.3 レプリケーション

レプリケーション工程を図 4.7 にフローチャートで示す。レプリケーション工程は、成形、反射膜形成、オーバーコート、貼り合わせ、仕上げの 6 つに大別される。

レプリケーション工程も図 4.8 に示すように、クリーンルームの中で作業が行われ、全体のクリーン度はクラス 10,000 以下、成形品が移動するエリアはクラス 5,000 以下に管理する必要がある。

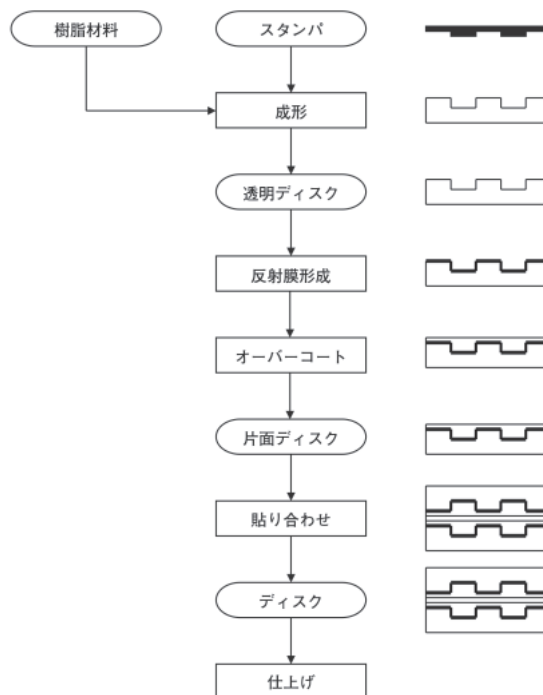


図 4.7 レプリケーション工程<sup>5)</sup>



図 4.8 クリーンルームでの作業

以下、工程の流れに沿って詳細を説明する。

### (1) 成形工程

まず、スタンプを用いて、樹脂を成形することにより、ディスクを作製する。LD ディスクの成形方法としては、インジェクション法（射出成形法）が用いられる。

成形機の中で樹脂が加熱溶融され、スタンプが取り付けられた金型内に射出される。そして金型内で冷却・固化されると、ピットが転写された透明なレプリカが得られる。

#### ①成形材料

LD ディスクの材料には、主にアクリル樹脂 (PMMA) が使用されており、一部にはポリカーボネート樹脂が使用されている。アクリル樹脂は透明性、硬度、耐久性に優れており、ポリカーボネート樹脂は耐熱性、耐衝撃性に優れている。表 4.1 に、アクリル樹脂とポリカーボネート樹脂の主な物性値を示す。LD ディスクの成形は一般的な成形品に比べて、サブミクロンレベルの異物低減、アルミニウム反射膜の劣化防止や変形、変色を起こさないなどの長期信頼性と、より高精度の転写性能が要求されるので、高度の不純物管理や組成管理と、種々の改良を加えられた光ディスクグレードの樹脂材料が使用される。このディスクグレードのアクリル樹脂製造技術は、その後の精密光学用樹脂の性能向上に大きく貢献している。

成形時の熔融流動性は、ピットの転写性や配向性に関係し、非常に重要な特性である。流動特性はメルトフローインデックス (MFI) で表され、LD ディスク用は一般的なアクリル樹脂 (MFI は 1~15 程度) よりもさらに流動性を高めたアクリル樹脂 (MFI は 20

以上) が開発された。アクリル樹脂の製造には重合法が用いられており、成形装置の仕様や成形条件に合わせて重合度を調整し、熔融時の流動特性をコントロールしている。LD ディスク用は、アクリル樹脂の分子量のばらつきを抑え均一化を図ったり、製造時に添加する滑剤の最適化を行うこと等により、高い流動性を得ることが可能となった。また、LD ディスクの基板は一般成形品よりも高温で成形されるため、射出成形時の炭化や分解などの熱劣化に強いグレードが必要とされる。

光学特性としては、光線透過率が高く (アクリル樹脂の透過率は 93%)、複屈折が小さい (ディスク規格では位相差 20° 以下) ことが必要である。

一方、吸湿変形は、アクリル樹脂の大きな欠点である。このため、単盤のディスクは反りやすいので、LD ディスクは単盤を貼り合わせて反りを防いでいる。

表 4.1 アクリル樹脂とポリカーボネート樹脂の物性パラメータ

項目	アクリル	ポリカーボネート
屈折率	1.49	1.58
光線透過率 (%)	93	87
複屈折	小さい	大きい
引っ張り強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	500~770	560~670
曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	910~1200	950
伸度 (%)	2~10	100~130
アイゾット衝撃強度	1.6~2.7	66~88
ロックウエル硬度	M85~M105	M80
熱変形温度 (°C)	68~99	130~140
連続使用温度 (°C)	60~88	122
ガラス転移点 (°C)	105~	150
吸湿率 (%)	0.3~0.4	0.15
吸湿寸法変化 (%)	0.4	0.04

#### ②成形装置

成形装置は、材料搬送系、成形機、取り出しロボット、洗浄機などから構成されている。図 4.9 に射出成形機本体の一例を示す。

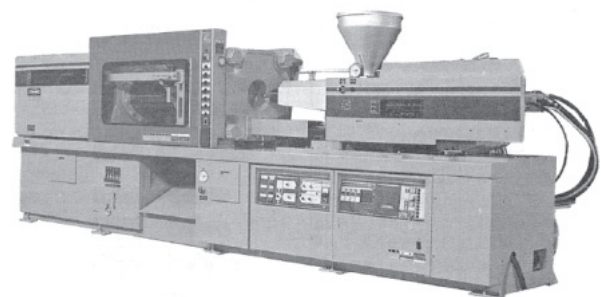


図 4.9 射出成形機

アクリル樹脂はペレットの状態での納入され、大型のサイロに貯蔵される。材料搬送系は、このサイロから乾燥ホッパーを経て成形機のホッパーに樹脂ペレットを供給する役割を果たす。アクリル樹脂は吸湿性があり、十分乾燥した状態で成形しないと、水分が原因で不良が発生する。そこで、乾燥ホッパーにより70～80℃で数時間乾燥させてから、成形機のホッパーに供給する。

成形機は、LD ディスクの場合、スクリー式射出成形機を使うのが一般的である。射出成形機の動作を図4.10に示す。

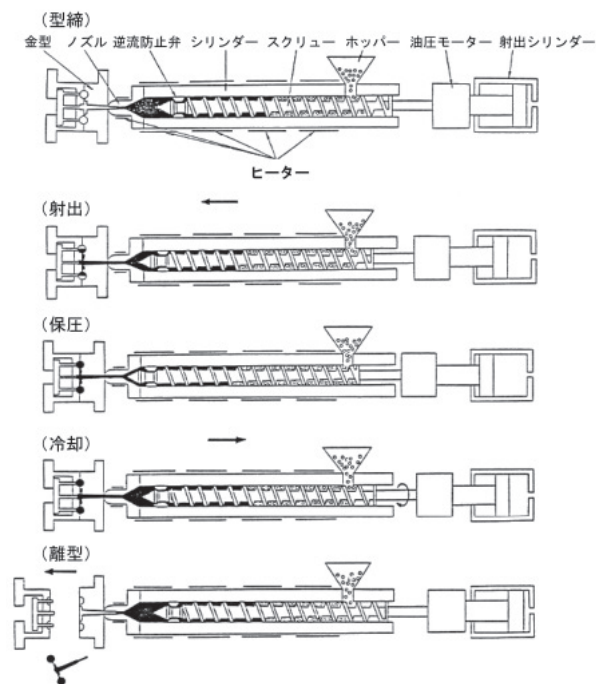


図 4.10 射出成形機の動作<sup>1)</sup>

射出成形機の動作は、①型閉じで始まる。次いで、樹脂の射出圧に耐えられるように型締めが行われる。型締め力は、30cmのLDディスクの場合200トン以上が必要になる。②次に金型にノズルがタッチし、シリンダー内の樹脂はスクリーを前進することにより、ノズルから金型内に注入される。この動作を射出という。③射出が終了しても、金型内のディスクは冷却による収縮で容積が減少するためスクリーに圧力をかけて、容積の収縮した分だけ金型内に樹脂を送り込む。この圧力を保圧という。④次に冷却に入る。冷却によってディスクが十分固化し、変形が起きずに金型から取り出せるようになるまでの時間を冷却時間という。この冷却時間を利用して、次のディスクを作るため、ホッパーから投入された新たな樹脂を加熱・可塑化する。この時、スクリーを回転させることによ

て、樹脂は前方に送られ、スクリーは後退する。加熱・可塑化された樹脂は、次の射出成型のためにスクリー前方に溜められる。⑤最後に金型を開いて、取り出しロボットにより固化したディスクを取り出す。

主な成形条件としては、サイクルタイム、金型温度、型締圧力、冷却時間、シリンダー温度、射出速度、射出圧力などである。基本的には生産能力に直結するサイクルタイムを目標値に設定し、その他のパラメーターについてディスク性能を満足するように最適条件出しを行う。しかしながら、全てのディスク性能を満足する成形条件を調整する作業は簡単ではなく、経験や熟練を要する。また、スタンパーが変われば、その都度、調整し直す必要がある。

### ③金型

ディスク成形用金型は、形状・寸法が正確で、成形能率が高く、耐久性のよいことが必要である。図4.11に金型の写真、図4.12に金型の基本構造(断面)を示す。

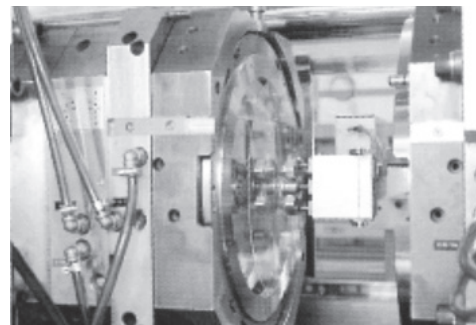


図 4.11 金型の写真

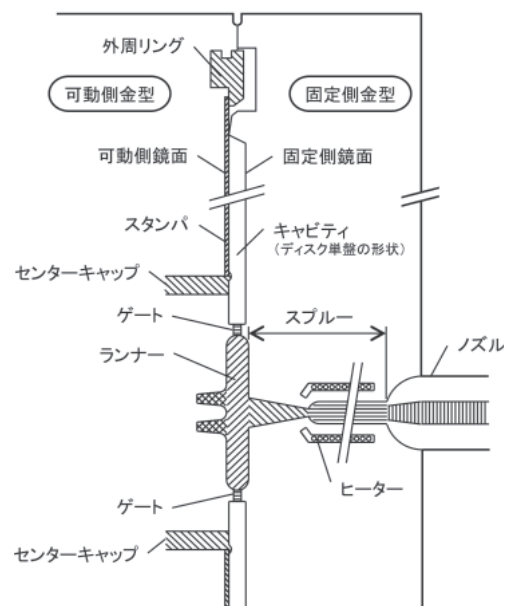


図 4.12 金型基本構造(断面)<sup>1)</sup>

図に示すように、スタンプは成形用金型の可動側に取り付ける。スタンプにはサブミクロンサイズの微小なピットが約 140 億個ありこのピットの正確な転写のために、稼働側のスタンプ取り付け面は鏡面仕上げとなっている。この鏡面仕上げ状態が悪かったり、微小なゴミや異物が付着したりすると、ディスクの信号面に転写されて不良品となる可能性がある。また、スタンプに対向する固定側の表面はディスクの表面になるため、高い面精度の鏡面仕上げとなっている。

成形サイクルタイムやディスク性能は、金型の性能で決まると言っても過言ではなく、金型の構造（水冷回路含む）、寸法精度、表面処理などが重要なポイントとなる。また、金型の耐久性（何枚まで成形可能か）もディスク生産にとって重要なファクターである。

#### ④基板洗浄

ディスク材料であるアクリル樹脂は絶縁体であるため、帯電によるゴミ付着が予想される。従って、信号面にアルミニウム反射膜を形成し保護コーティングをするまでは、帯電を防止しなければならない。成形直後から蒸着工程までの間に除電装置を設置し、清浄な除電エアーを吹き付けることにより、静電気を除去するとともに塵埃も除去している。

### (2) 反射膜形成工程

反射膜形成工程では、ディスクの信号面にアルミニウムの反射膜を成膜する。

ディスクの反射膜は、レーザ光線を反射させて信号を読み取るためのものである。このため、高い反射率が必要で、ディスク規格では 75% 以上と定められている。十分な反射率を得るために、また信頼性も考慮し、膜厚は 50~100nm の適切な厚さに管理している。

成膜方法としては、蒸着法またはスパッタリング法が用いられる。図 4.13 は、蒸着法によりアルミニウ

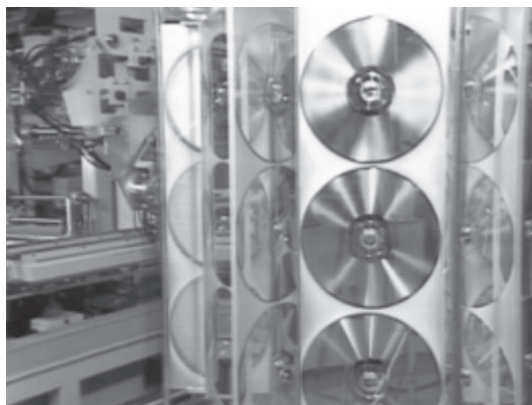


図 4.13 蒸着直後の片面ディスク

ムを成膜した直後の写真である。この装置では約 10 分で 100 枚程度の片面ディスクを一度に処理することができる。

### (3) オーバーコート工程

オーバーコート工程では、アルミニウム反射膜に保護膜をコーティングする。アルミニウム反射膜のままでは、信号面に傷が付いたり、ゴミや異物が付着したりして不良品になる可能性が高いため、それを防止する保護膜が必要になる。また、片面ディスクのままでは保管できるという生産上のメリットもある。

オーバーコート法としては、スプレータイプの塗装機を使う方法と、ホットメルトロールコーターを使って塗布する方法の二種類に大別できるが、ここでは後者の方法を説明する。

図 4.14 にロールコーターの原理図を示す。チップ状のオーバーコート剤をタンクに入れ、中のヒーターにより 100℃ 以上に加熱して溶融し液状にする。タンク内が一定温度になったら、メインロールが回転する。メインロールは、タンク内のコート剤を付着させて回転する。この時、アンダーロールとメインロールの隙間を通過したディスクに、メインロールからコート剤が転写されコーティングされる。オーバーコート剤はディスク材料のアクリル樹脂の耐熱温度以上に加熱されて塗布されるが、瞬間的に冷却されてディスクに転写されているピット形状が変形しないように、高速で塗布される。

塗布材料としては、ホットメルトタイプの塗料を使用する。これは熱可塑性樹脂を主成分とする、水や有機溶剤を全く含まない 100% 固形分の塗料である。無溶剤型なので、乾燥による収縮がなく寸法安定性に優れている。

ディスクは、最大 1 分間 1,800 回転の高速で回転する。このため、塗布厚にむらがあると大きなアンバラ

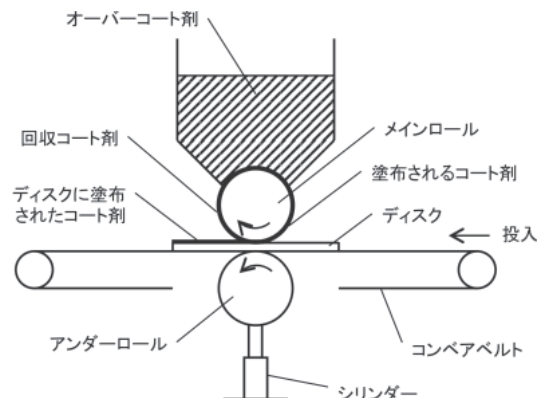


図 4.14 ロールコーターの原理図<sup>1)</sup>

ンスが発生し、信号トラックをレーザスポットが正常にトレースできなくなる可能性がある。そこで、単盤の状態からバランスを悪化させないように、オーバーコート剤をディスクに一定量均一に塗布することが重要なポイントとなる。

#### (4) 貼り合わせ工程

信号面に保護膜コーティングした単盤と、ペアになるもう一方の保護膜コーティングした単盤とを貼り合わせ、外径形状を仕上げると、1枚のLDディスクができて上がる。貼り合わせにはホットメルトタイプのゴム系接着剤を使用し、貼り合わせる2つの単盤にロールコーターで塗布した後、圧着により貼り合わせる。図4.15は、2つの単盤の接着面を向かい合わせにして、センターボスをガイドとして接近させているところである。

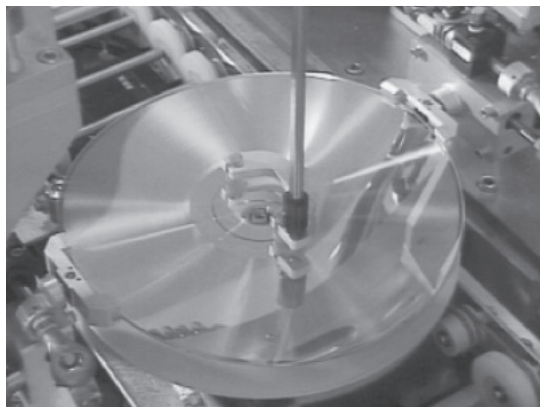


図 4.15 ディスク貼り合わせ工程

この時、上述したようにディスクのアンバランスが小さくなるように貼り合わせる必要がある。レーザディスクの規格では、アンバランス量は1.5ニュートン以下と定められている。貼り合わせた後ではアンバランス量を修正することができないので、2つの単盤のアンバランスを相殺するように方向を決めて貼り合わせを行う。

貼り合わせ用接着剤の性能としては、接着強度が最も重要であり、抗張力、剪断応力、熱クリーブ特性などに優れた接着剤を選定し使用する。また、接着剤の取り扱いにおいては、ゴミなどの異物混入や劣化を防止する必要がある。特に異物が付いたままディスクに塗布され貼り合わせられると、異物により凹凸が生じ、再生に支障をきたす場合がある。また劣化した接着剤で貼り合わせると、接着力の低下によりディスクがはがれる場合がある。

貼り合わせ装置は、単盤投入機、接着剤ロールコー

ター、加熱炉、貼り合わせ自動機、圧着貼り合わせ機、外形加工機、ストック装置から構成されている。ここでも、オーバーコート工程と同様、ロールコーターが最も重要な役割を担っており、接着層の厚み精度や均一性、アンバランス、接着力などの性能を左右する。

#### (5) 仕上げ工程

貼り合わせ後、外径加工したディスクは、外観検査後、指定されたレーベルを貼り、保護袋に入れ、さらにジャケットに挿入後、透明袋に封入する。ここまでは包装で、さらには輸送、保管における品質を維持するため所定の段ボールケースで梱包する。以上の包装と梱包を合わせて仕上げ工程と呼んでいる。

以下に、主要な項目を説明する。

##### ①外観検査

ユーザーに届く前に外観品質を保証する最終の工程である。ここでは、ディスク両面の傷、汚れ、形状不良、ディスク内周部の刻印などについて、目視または外観検査機により良否の判定を行う。

##### ②レーベル貼り

まずソフト照合機により、ディスクの内周部に記録されているバーコードを読み取り、ソフトのタイトルとディスクのA面B面が一致し、かつレーベルが正しく貼られる面であることをチェックする。正常であれば、自動機によってディスク両面にレーベルが同時に貼り付けられ（図4.16参照）、商品として完成する。



図 4.16 レーベル貼付け工程

##### ③ジャケット包装

レーベルを貼ったディスクは、そのままジャケットに入れると内部で“こすれ傷”が発生する場合がある。これを防止するため、“ショーレックス”と呼ばれるポリエチレンの袋に入れた後、ジャケットに入れる。ジャケットは商品価値を高める以外に、ディスクの反りな

どの変形を防ぐ目的がある。さらに、ジャケット表面に傷や汚れを付けずにユーザーに届けるために、透明な袋に入れる。この袋は大別して、ポリプロピレン袋に入れて開口部を熱溶着で封じるタイプと、熱収縮性のシートにより収縮封入するタイプの2種類がある。

#### ④梱包

梱包は、輸送、保管におけるディスクとジャケットの変形を防ぐため、段ボールケース、化粧ケースなどに詰める工程である。LDディスクでは、通常ジャケット複数枚を中箱に詰め、さらに中箱を複数個外箱に詰める二重梱包となっている。この理由は、ディスクの変形防止と、ディスクがJISに定めている落下試験、圧縮試験、振動試験などにおいて、その規格を満足し工場出荷時の品質を保証するためである。

### (6) 検査工程

レプリケーション工程における検査は、工程の各条件が適切かどうかを工程途中でチェックする“工程内検査”と、完成したディスクの総合的な“品質検査”の2つに分けられる。

#### ①工程内検査

ディスクの生産は、1枚のスタンパから大量のレプリカを成形する方式である。仮にスタンパに欠陥があったまま成形すると、全ての成形品に欠陥が転写され製品として使用できない。スタンパ検査で良品と判定されたスタンパだけがレプリケーション工程に送られるが、成形金型や成形条件、スタンパの取り扱いなどにより、成形品の品質が大きく左右される。

そこで、ディスクの量産を開始する前に、先行して外観、光学特性、機械特性、電気特性、画質および音質、特殊再生機能などの検査を行い、良否判定を行う。良品が生産できる状態であること確認した後、量産を開始する。また、長時間にわたって大量に生産する場合は、途中で同様の検査を行い、条件の修正が必要かどうかの判断を行う。外観、光学特性、機械特性は、成形した透明なディスクの状態で検査できるが、電気特性、画質および音質、特殊再生機能は、蒸着およびオーバーコートした単盤ディスクを専用の再生検査機を使って検査しなければならない。

#### ②品質検査

完成したディスクのサンプルを抜き取り、レーザーディスク規格に従って、専用の検査機を使って機械特性、光学特性、映像信号特性、音声信号特性などを検

査し、最終的な品質判定を行う。

## 4.2 ディスク生産における要素技術

4.1節にLDディスクの製造工程の基本的流れを記述したが、実際の生産では、ディスクの性能や品質を大きく左右するいくつかの要素技術があった。以下に代表的な要素技術として、最適ピット形状、微小欠陥低減、信頼性（寿命）について述べる。

### 4.2.1 最適ピット形状

LDディスクの性能、特に画質や音質の性能を左右する最も重要なパラメータはピット形状であった。ディスクの生産において、いろいろな角度から最適ピット形状の検討が行われた。

#### (1) 理論と実際

理論上の理想的なピット形状は、図4.17(a)に示すような“矩形”タイプである。この場合、再生レーザー波長を $\lambda$ 、ディスク基盤の屈折率を $n$ とすると、最適ピット高さは $\lambda/4n$ となる。 $\lambda=632.8\text{nm}$ 、 $n=1.49$ とすると、最適ピット高さは106nmである。

しかし、エッジ部が垂直に立ったようなピットを形成することは不可能に近く、実際には図4.17(b)に示すような、いわゆる“メサ(mesa)”タイプになる。

ピット形状の良し悪しが、再生信号特性や生産性に影響を与えるが、この2つはトレードオフの関係になることが少なくない。例えば、再生信号特性を良くするためにはピットのエッジ部の角度が垂直に近い方が良いが、スタンパーでそのようなピット形状にすると、成形工程においてピットがうまく転写できないという問題が発生する。

#### (2) ピット形状と再生信号特性

再生信号特性としては、信号のAC成分(RF信号)が大きく、ノイズ成分が小さい方が、映像や音声の品質が良くなる。RF信号の大きさは、主にピット高さ、ピット幅、ピット長で決まる。ピット高さは、基本的にフォトレジストのコーティング膜厚で決まるが、現像時の膜減り量や、成形時の高さ方向の転写率を考慮して、ディスクでの再生RF信号が最大になるように設定している。実際のピット形状はメサタイプのため、ディスクのピット高さは $\lambda/4n$ より高めが最適であり、従ってフォトレジストのコーティング膜厚も140~150nmが最適であった。同様に、ピット幅はカッティング時のレーザーパワー、ピット長さは光変

調器のデューティー（レーザーONの時間）により、最適になるように設定した。

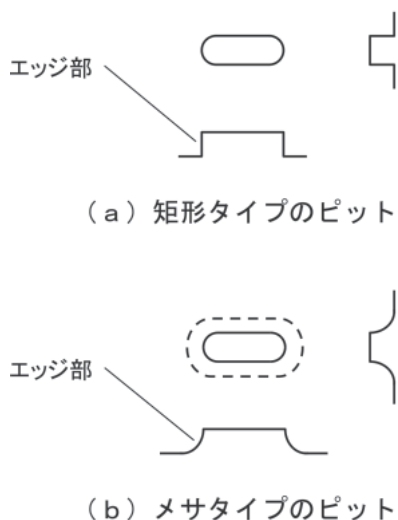


図 4.17 ピット形状（模式図）

また、ノイズ成分を小さくするためには、ピットの寸法精度を良くし、形状の微小なばらつきを抑えることが必要になる。そのためには、レーザービームレコーダの対物レンズにより集光されるスポットをできるだけ小さく絞ることが重要である。具体的には、短い波長（460nm 以下）のレーザーを使用し、大きな開口数（0.9 以上）の対物レンズを使用している。この特殊なレンズは高倍率顕微鏡用のものを使用し、オリンパス社製のものがもっぱら用いられた。さらに、形状の微小なばらつきを抑えるために、高解像度タイプのフォトレジストを使用している。

### (3) ピット形状と生産性

成形工程においては、スタンパーのピット形状をできるだけ忠実に転写することが求められるが、転写しやすいピット形状と転写しにくいピット形状がある。一般に、ピット高さは低い方が、またピット幅は狭い方が、さらにエッジ部の角度は緩やかな方が転写しやすい。

転写しやすいピット形状が形成されたスタンパーは、成形条件のマージンが広く、サイクルタイムを短くすることができ、離型時にピットの欠陥が発生しにくい。離型時に発生するピット欠陥とは、「ブローイング」とか「ピットめくれ」と呼ばれ、スタンパーのピットのエッジ部が成形直後の樹脂側のピットのエッジ部を引っ掻くことにより発生する。その部分では、再生信号が異常な波形となり、外観上でもシミ状の欠陥となるので、不良品となってしまう。そこで離型性

を良くするために、原盤作製時のベーキング温度や時間をコントロールしてピットのエッジ部をなだらかにしたり、成形樹脂材料に滑剤を入れたりする場合がある。また、サイクルタイムを短くしすぎると、ピットの転写が甘くなり、再生信号特性が悪化する。

### (4) 光学シミュレーションの活用

上記、最適ピット形状の決定のためには、現場におけるさまざまな工夫を、試行錯誤的に繰り返すことにより行われたが、平行してコンピュータによるシミュレーションも行われ、詳細な原因解析や最適パラメータの決定に使用された。1972年に発表された、イギリスの応用物理学者、H.H.Hopkinsの論文“Diffraction theory of laser read-out systems for optical video disc”は反射型光ディスクの再生信号に関する理論解析の基本となる理論である。この理論を元に、ピットの形状を幾何学的に限定したり、固定パターンの繰り返しとするなどの条件のもと、1次元ないしは2次元で解析的に解を求める方法や、有限要素法や境界要素法を使用し、ピット形状に制限をつけることなく3次元で解を求める方法など、解析目的および、コンピュータの演算能力に応じた、さまざまな解析法が開発された。メサ型のピットに対してもさまざまなシミュレーションが行われ、最適形状の検討やトラブルの原因解析に使用された。このような光学シミュレーション技術は従来、光学機器メーカーでのみ行われていたが、光ディスクの開発に伴い電気メーカー内でもその技術が確立していった。これは、電気メーカーと光学機器メーカーとの協業だけでなく、電機メーカーが光学機器メーカーからの技術人材を採用したり、入社した若い技術者を育成することにより達成されたものである。

注) H.H.Hopkinsのシミュレーション手法の概略

対物レンズから出るレーザー光の強度をガウス分布を持関数、

$$I(x,y) = \exp[-\sigma(x^2 + y^2)]$$

とすると、ピット面で反射して対物レンズを通り、光検出器に入る光の強度は下記のフーリエ級数式で表わされる。

$$I(t) = I_0 + \sum_{\mu=1}^{\infty} [I_{\mu} \exp(i\mu\omega_0 t) + I_{\mu}^* \exp(-i\mu\omega_0 t)]$$

ここで、tは時間、 $I_0$ は検出光のDC成分、第2項以降はAC成分（高次高調波であるRF成分）であり、

$$I_{\mu} = \sum_{\nu} \sum_{m} \sum_{n} \exp \left[ i 2 \pi \left( \frac{\nu}{q} \right) u \right] R(m, n) R^{*}(m + \mu, n + \nu) \\ \times D(m, n; m + \mu, n + \nu)$$

$$D(m, n; m', n') = \iint_{(x^2 + y^2) \leq 1} f \left( x - \frac{m}{p}, y - \frac{n}{q} \right) \\ \times f^{*} \left( x - \frac{m'}{p}, y - \frac{n'}{q} \right) dx dy,$$

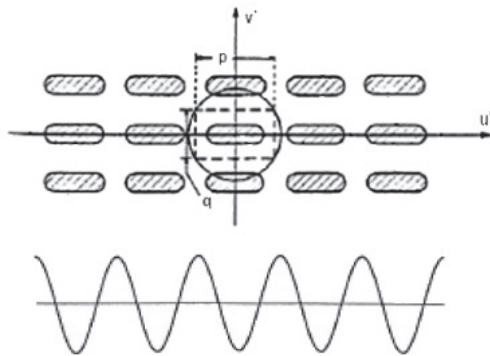
である。

また、 $R(m, n)$  はピット面の反射係数を表わすパラメータで、ピット形状を反映した式である。

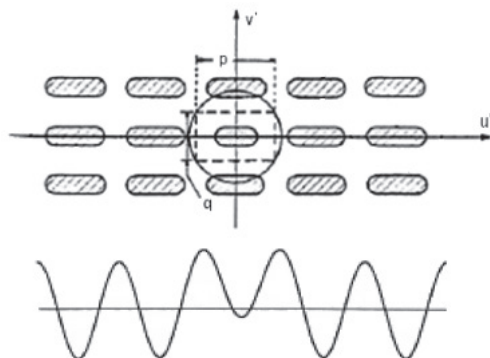
$$R(m, n) = \frac{1}{pq} \int_{-p/2}^{+p/2} \int_{-q/2}^{+q/2} R_0(u', v') \\ \times \exp \left\{ -i 2 \pi \left[ \left( \frac{m}{p} \right) u' + \left( \frac{n}{q} \right) v' \right] \right\} du' dv'$$

図 4.18 (a)、(b) に、カラーフラッシュやドロップアウトの原因解析に用いた、シミュレーションの一例を示す。

(a) は正常な再生波形、(b) は中央のピットが1つだけ小さく形成された場合に波形が変化している様子である。(b) は、次項で述べる「ドロップアウト」



(a) ピットが正常な場合の再生波形



(b) 1個のピットが異常な場合の再生波形

図 4.18 再生波形光学シミュレーションの例

や「カラーフラッシュ」の症状の典型例である。

このように、シミュレーション手法により、さまざまなピット形状（高さ、幅、長さ、傾斜など）に対する再生信号波形の検討を行うことができ、最良の再生信号を得るためのピット形状最適化の検討に大いに役立った。また、再生信号波形に異常があった場合に、ピット異常との関連をシミュレーションにより調べることで品質問題の解析にも活用された。

#### 4.2.2 微小欠陥低減

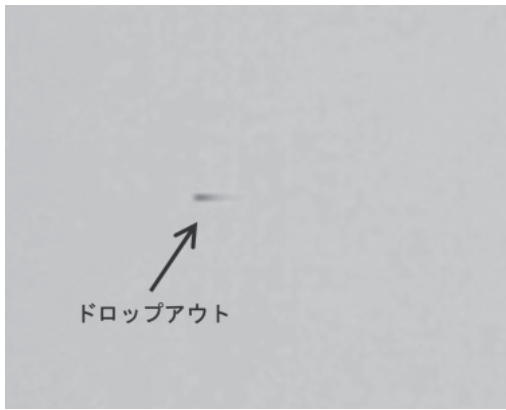
LD ディスク片面には約 140 億～280 億個ものピットがあるが、全くピット欠陥の無いディスクを作ることは不可能と言ってよい。そこで LD プレーヤには、ピットに欠陥があって再生信号が異常になった場合は、いわゆる「ドロップアウト（欠落）」とみなして一つ前のラインで置き換える補正手段を備えている（図 4.19 (a) 参照）。しかし、欠陥の大きさがピットサイズ以下、またはピットの一部が変形した程度では、ドロップアウト補正が作用せず、そのまま映像信号に復調される。その場合、再生信号の RF 波形としては位相がずれているので、映像を見ると 1 画素だけ周囲の色と違った輝点のようになってしまう。この欠陥は、いわゆる「カラーフラッシュノイズ」と呼ばれ、図 4.19 (b) のように見える。

カラーフラッシュノイズの原因を調べると、以下の 3 つの要因がほとんどであった。

- ①不完全なピット形状…RF 信号は出ているが振幅が不十分になる。
- ②樹脂基板中の異物…着色異物によるノイズの発生と、屈折率が異なる樹脂の異物でフォーカスがずれて RF 振幅が不十分になる。
- ③アルミニウム反射膜の劣化…経時変化によりサブミクロンサイズの腐食や剥離が発生しノイズとなる。

①と②は経時変化しないので、通常の品質検査により不良品が市場に出ることはない。①の原因は、主にマスタリング工程におけるガラス原盤表面のミクロン以下の欠陥や、各工程で使用する超純水や薬液中の極微細な不純物（有機物や微粒子）などであることが分かった。そこで、それらのグレードを上げて品質管理を徹底することにより、カラーフラッシュノイズの発生を抑えることができた。同様に②についても、樹脂メーカーの協力を得て、異物や残留物の量を大幅に低減した樹脂材料を導入することにより、カラーフラッシュノイズを大幅に低減できた。③については、信頼性（寿命）に関わる内容なので、次項で説明する。





(a) ドロップアウト (補正後)



(b) カラーフラッシュ

図 4.19 (a)、(b) ドロップアウトとカラーフラッシュ

### 4.2.3 信頼性 (寿命)

LD ディスクは「非接触方式」なので、ほとんど劣化が無く「半永久的」というのが特徴の一つと言われていた。この「半永久的」という言葉は、VTR や VHD のような「接触方式」では磨耗による劣化が避けられなかったことに対し、LD ディスクの場合は「非接触方式」なのでその心配が無いという定性的な意味合いであった。LD ディスクの信頼性を確保するための技術開発や評価試験は研究の段階から行われていたが、実際には商品が市場に導入されて数年以上経たないと確実な結果は得られなかった。

LD ディスクの信頼性に大きな影響を与えたのは、いわゆる「スノーノイズ」問題であった。スノーノイズとは、カラーフラッシュノイズの一種で、経時変化によりアルミニウム反射膜にサブミクロンサイズの腐食や剥離が発生すると起きるノイズである。前項のカラーフラッシュノイズと異なるのは、スノーノイズは画面全体に雪がちらついているように見える点と、生産直後には症状は現われず、年月の経過とともに徐々に増えていく点である。さらに、同じように生産したディスクの全てに現われるのではなく、一部だけに発生するという厄介な不良であった。1980 年代前半ま

でスノーノイズによる市場クレームが発生したが、1980 年台の半ばまでには原因を究明して対策を実施し、同時に試験方法を確立して、徐々に収束していった。原因は前述の通り、アルミニウム反射膜の経時変化による劣化であった。調査の結果、アルミニウム反射膜の成膜状態が適正でないと、長期間のうちに微小な変化が起きることが判明した。微小な変化とは、アルミニウム反射膜の酸化被膜の成長により圧縮応力が生じ、サブミクロンサイズの剥離や酸化アルミニウムの結晶成長が起き、それらがノイズとして再生される現象である。ミクロな変化のため、ディスク表面を目で見たのではわからず、光学顕微鏡や電子顕微鏡を使って解析を行った。この経時変化を防止するためには、酸化被膜の成長抑制と、発生する圧縮応力の緩和に加えて、樹脂基板との密着力を上げる成膜条件を確立する必要がある。

アルミニウム反射膜の成膜条件を変えてディスクを試作し、温湿度加速により寿命を評価するという試験を何度も何度も繰り返すことによって成膜条件の最適化を行った。プロセス条件で主に効果があったのは、①蒸着直前の樹脂基板の保管環境、②蒸着時の真空度、③蒸着レートなどであった。また蒸着材料 (アルミニウムチップ) に関しては、④約 1% の他金属をドープした合金を使用すると効果が大きいことが判明した。

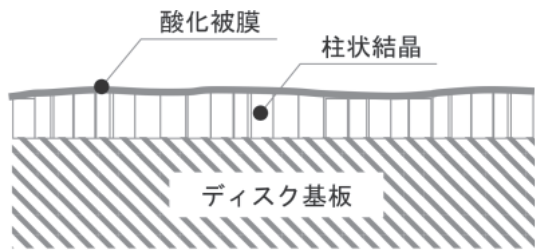
①の樹脂基板の保管環境では、成形後の透明基板を 15 分以上湿度 60% RH の環境で吸湿させ、蒸着直後に基板側のアルミニウムの酸化被膜を十分に成長させ、継時的な酸化被膜の成長を抑制している。

②、③真空度と蒸着レートについては、高い真空度と高速の蒸着レートでは、アルミ酸化被膜が単層の柱状結晶となり、経時的な酸化被膜の成長により大きな圧縮応力が発生しやすいのに対し、低い真空度と低い蒸着レートでは粒状微細結晶の積層膜となり、発生する圧縮応力が抑制できる。

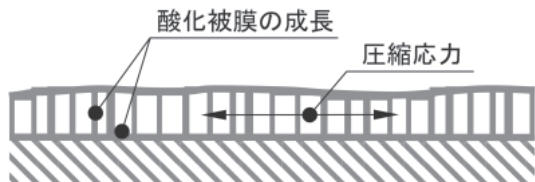
④の合金の使用は、材料そのもので柱状結晶の成長を押さえ、粒状微細結晶の積層膜とするために用いられる。

図 4.20 に、改良前後のアルミニウム反射膜の断面構造を示す。

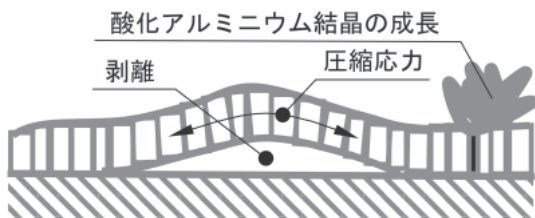
このようにして、スノーノイズ問題は解決され、LD ディスクの寿命も実用上問題ないレベルにまで到達した。



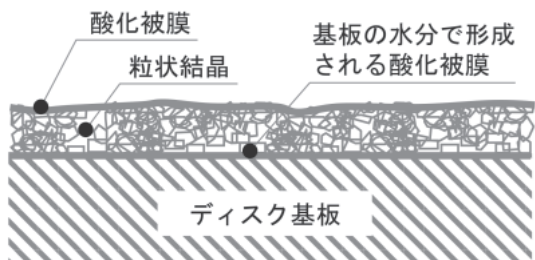
(a) 成膜直後のアルミ反射膜の構造



(b) 成膜後の酸化被膜の成長



(c) 剥離と酸化アルミニウム結晶の成長



(d) 改良後のアルミ反射膜の構造

図 4.20 改良されたディスクの反射膜の断面構造

#### 参考文献

- 1) 技能教育用テキスト作成委員会編：「基礎技術口座」、パイオニアビデオ(株) (1987)
- 2) H.H.Hopkins: "Diffraction theory of laser read-out system for optical video discs", J. Opt. Soc. Am., 69 (1979)
- 3) パイオニア(株)監修：「レーザディスクブック」、ラジオ技術社 (1986)
- 4) 金丸 齊：「レーザディスクテクニカルブック」、ASC II science, アスキー出版 (1986)
- 5) オーディオコンパス編集部：「Lasar Disc COMPASS」Vol.5 SPECIAL ISSUE, パイオニア(株) (1981)

# 5 | 第一世代 LD プレーヤの開発

## 5.1 LD プレーヤ PR-7820 の開発

第一世代の LD プレーヤの開発は MCA 社により開発されていたプロトタイプ機をベースに行われた。当初、MCA 社のプロトタイプ機は、光学部品や、ディスク回転系のメカニズムを入れた機構ユニットと、電気回路、制御回路を入れた制御ユニットとの 2 ユニット構成で、量産して産業用として高信頼性を得るためには、多くの課題を解決する必要があった。

1979 年 2 月に米国市場向けに発売された PR-7820 は世界初の産業用 LD プレーヤで、GM などの社員教育用、販売促進用ツール等に使用された、また 1979 年シカゴの Museum of Science and Industry で導入された LD を用いた対話型システムは、ミュージアム等が所有する映像資料を公開するシステム（映像展示）の初めとなったといわれている。

パイオニアでは共同開発会社設立から、短期間で量産に耐えるプレーヤを開発する必要があったことと、光学部品を使用した機器設計、量産経験が無かったこともあり、プロトタイプを基本にして量産化を計った。このため、後期の LD プレーヤとは大きく異なる点があった。特にヘリウムネオンレーザを使用していたため、光学系が大きく、PU を含む光学系部分はプレーヤ上部に固定されて取り付けられ（図 5.1 のプレーヤ外観写真参照）プレーヤ右上面部分に格納されている。ディスクはスピンドルモータと共に、この固定光学系の下に移動し再生される方式となった。図 5.1 に PR-7820 の外観写真を示す。



図 5.1 PR-7820 外観写真<sup>2)</sup>

回路は、ほぼ 3 章に述べた原理どおりの構成であるが、量産化に当たって特に以下の点での苦労が多かった。

- 1) 対物レンズを含む光学系の設計、量産化が初の取り組みであった。
- 2) ヘリウムネオン管を使用したため、高圧回路に対する安全化対応が必要であったり、当時のレーザ使用に関する安全対策レギュレーションは、レーザが量産機器に、このような形で大量に使用されることを想定せずに規定されたものであった為、対応するための対策が必要であった。
- 3) 専用 LSI が無く汎用 IC、Tr で回路を構成する必要があった。
- 4) 時間軸補正を CCD で行うための工夫が必要であった。
- 5) 制御手順が非常に複雑で、マイクロプロセッサを使用した高度なプログラミングを必要とした。

### 5.1.1 PU 光学系

光学系は He-Ne レーザ ( $\lambda = 632.8\text{nm}$ ) を使用した。図 5.2 に光学系のブロック図を示す。

光学系は、ほぼ 3.1 節で説明した原理どおりの構成になっている。トラッキング制御は 3 ビーム法で、トラッキングミラーを制御することで行い、フォーカス制御は 4 分割フォトディテクタの信号を用い、対物レンズをボイスコイル形フォーカスマータで制御することで行われた。ただし、時間軸制御は CCD を用いて行い、原理図で説明したようなタンジェンシャルミラーによる時間制御は行っていない。これら光学系はレーザチューブを使用していたこともあり、25cm × 40cm もの大きさとなり、次世代以降のプレーヤと違い、光学系がプレーヤ右上部に固定され、ディスクを載せたスピンドルモータが、ベルトドライブで移動する構造となっていた。（図 5.1、参照のこと）。

光学部品を用いた、製品の設計、量産は初めての経験であったことと、量産までの時間が限られていたため、MCA による基本設計部分を、日本の技術、部品で構成し量産することに開発パワーを集中させた。

このため、ミラー等の光学部品はサイズも大きく、光学系が載るプラットフォームはダイキャストで作られた堅牢なものが使用された。（図 5.3 参照のこと）

また、調整箇所が多く、個々の調整工数も、特殊な治具を必要とするなど、大きくなり、量産にあたり、大きな負荷となった。

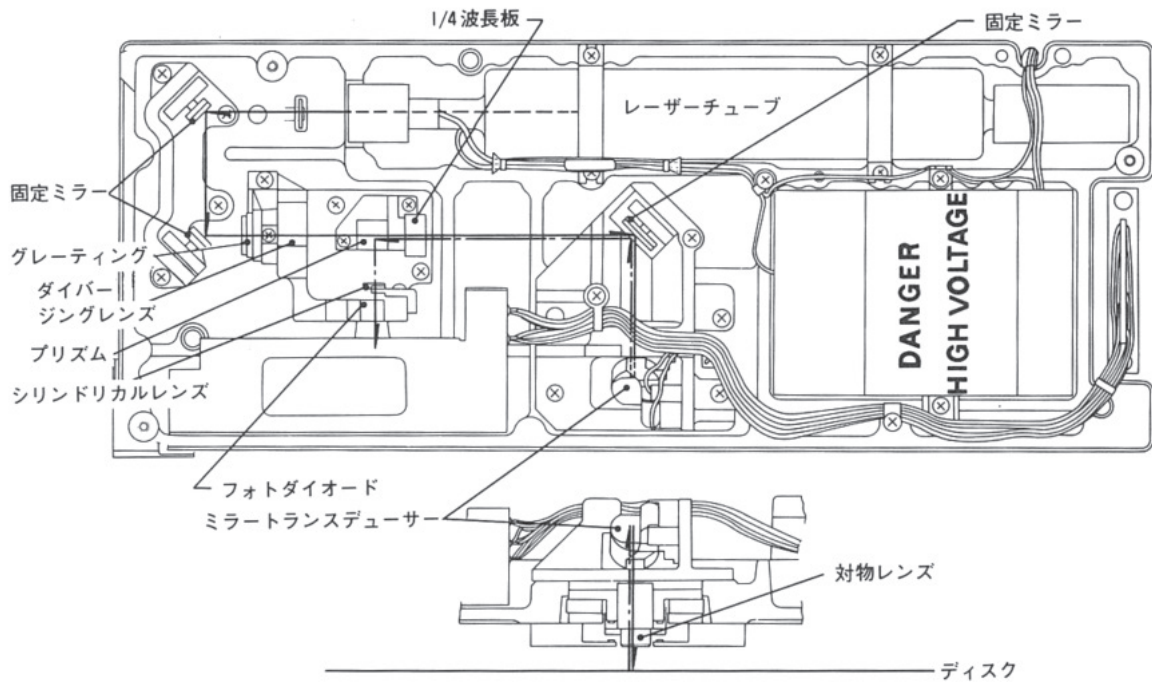


図 5.2 光学系プラットフォームブロック図<sup>3)</sup>

PUに使用するレンズの設計はオリンパスで行った。当時オリンパスは、自社の所有する光学技術の将来の応用の一つとして反射型光学式ディスクに注目しており、1970年代の半ばより、Philipsとの共同研究により、独自の開発を行っていた。(後にオリンパスは半導体レーザーを使用した、独自の光PUをTAOHSと名付け発表し、初期のCDプレーヤなどで70%のシェアを持つことになる)

PR-7820設計には、パイオニア社内より、電気回路技術経験者や機械設計経験者だけでなく、たとえばPUのサーボ機構との類似性からスピーカ設計の技術者なども投入された。また光学系に関しては、社外から採用した経験者をリーダとし、入社1~3年の新人技術者が、ほとんどOJT (On the Job Training) 状態で開発に投入された。

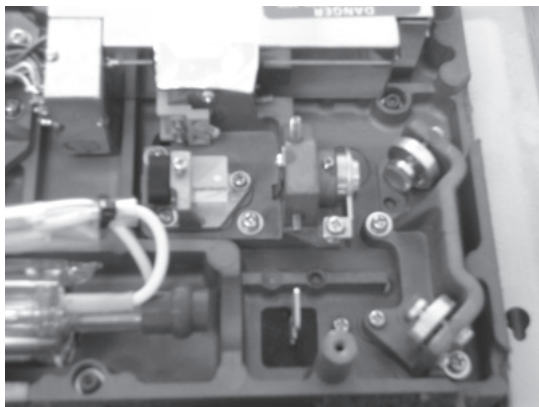


図 5.3 光学系プラットフォーム写真

このプレーヤに使用されたオリンパス設計の対物レンズは、4枚のガラスレンズを組み合わせる構成された。オリンパス社には、写真、顕微鏡などに使用するレンズの設計ノウハウは蓄積されていたものの、光ディスク用のレンズの設計にはノウハウの蓄積が無く、後年の対物レンズに比べてかなり大きなものとなった。

### 5.1.2 時間軸制御

3章での原理説明では、時間軸制御は、タンジェンシャルミラーを制御する光学的に行う方式であったが、PR-7820の時間軸制御では、タンジェンシャルミラーを使用せずに、CCDを使用した純電子回路の構成になっている。当時CCDは高価なデバイスであったが、経験のない光学設計の複雑さを避けるためと産業用途では有る程度のコストには耐えられることから採用された。CCDを映像遅延素子として使用し、CCD駆動クロック周波数を制御することでビデオ信号の時間遅延を変化させる方式である。図5.4に基本ブロック図を示す。NTSCのカラーキャリア周波数3.58MHzのレファレンス信号と、再生されたビデオ信号のカラーバースト信号の位相差をフェーズディテクタで検出した、カラー再生に影響を与える細かい高域エラー成分補正信号と、水平同期信号から検出した、映像の水平同期に影響を与える、偏芯などによる低域エラー成分信号を加算し、CCDのクロック制御回路に加えることにより30 $\mu$ s p-p程度の時間軸補正が可能となった。

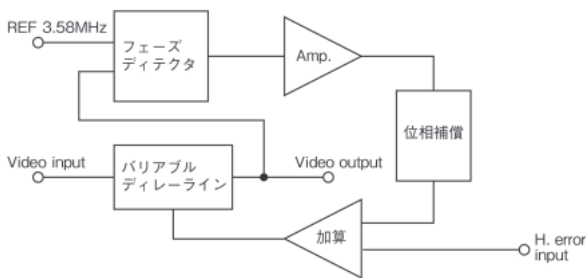


図 5.4 CCD を使用した時間軸制御ブロック図<sup>3)</sup>

### 5.1.3 システムコントロール部

LD プレーヤでは、3.1 章でも説明した通り、単にレコードを再生するだけでも多くのステップが必要である。このように複雑なシステムコントロールは、8bit のマイクロコンピュータ (フェアチャイルド F8) を使用して行われた。図 5.5 にシステムコントローラのブロック図を示す。現在では、組み込み用の CPU は多く発売され、ソフトウェア開発に関しても、OS や開発キットと共に供給されているが、開発当時 (1978 年) は開発用ツールも無く、当初は、機械語を直接コーディングするハンドアセンブルが行われていた。特に CAV ディスクでのトリックプレイのように、再生ビデオに同期してトラックジャンプを繰り返すような、いわゆるリアルタイム制御が必要であった。現在と違い、専用のリアルタイム OS は存在せず、ビデオの制御に必要な 16msec 毎に、リアルタイム処理が必要かをチェックし、処理を繰り返す構成をとった。

\*注：ビデオではフレーム (画面) は 33.3msec ごとに変化する、1 フレームは 2 つのフィールドで構成されるため、1 フィールドの長さが 16.7msec となる。ビデオに関するリアルタイム処理はほとんどこの周期で行われる。

この当時、この規模の 8bit マイコンを組み込み制御用に使用し量産した例は少なかった。

## 5.2 LD-1000 (VP-1000) の概要

1979 年に産業用に PR-7820 を発売した後、He-Ne レーザチューブを使用した民生用のプレーヤ VP-1000 を 1980 年米国市場に、翌 1981 年に LD-1000 を日本市場向けに開発し発売した。図 5.6 にプレーヤの外観写真を示す。



図 5.6 LD-1000 の外観写真

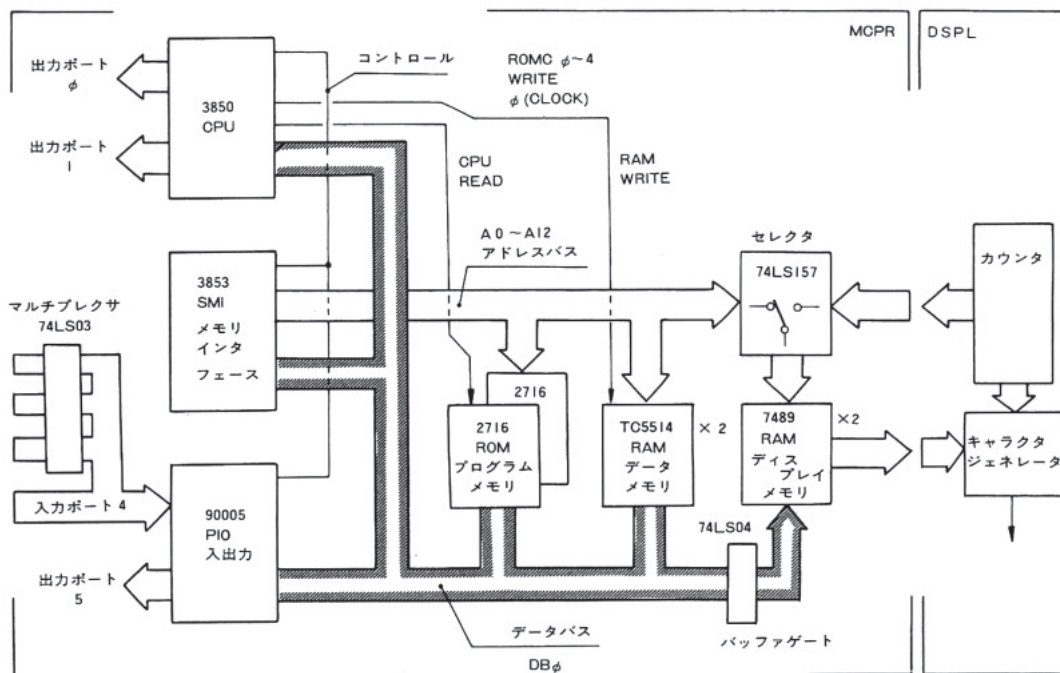


図 5.5 システムコントローラの構成<sup>3)</sup>

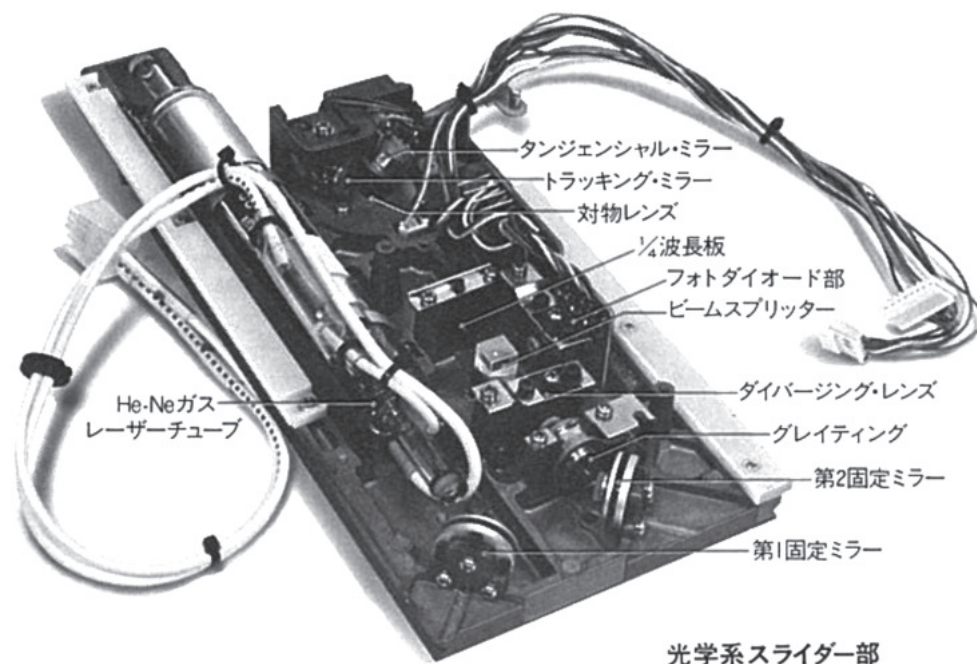


図 5.7 LD-1000 の光学系プラットフォーム<sup>4)</sup>

LD-1000 は民生用途として、PR-7820 の開発生産の経験を生かし改良設計されたものである。民生用を目指して、機能、機構の簡素化、光学系、電気回路のコスト削減が行われた。光学系は He-Ne レーザを使用する点は変わらなかったが、光学系プラットフォームの小型化が図られ、光学系プラットフォームがスライダー上を移動する構造とした。光学系が固定されディスクをスピンドルモータごと移動させる PR-7820 に比べて、機構が単純になり、ディスクの取り扱いが容易になると共にコストダウンが図られた。さらに、PR-7820 においては開発時間を優先し、時間軸制御はプロトタイプ機に使用されていた CCD を使用する方式としていたが、当時の CCD は高価であり、供給部品メーカーも限られており、さらに時間調整幅も限られていた。LD-1000 を開発するに当たっては、コストの削減と時間制御幅の拡大が求められ、このため、ある程度ノウハウを蓄積してきた光学設計技術を生かし当時

は高価であった CCD の代わりに時間軸制御にタンジェンシャルミラーを使用し、光学的に時間軸を制御することにより、コストを削減すると共に時間軸制御範囲を拡大できる方式とした。3章で説明に使用した“図 3.5 LD の信号検出光学系”は LD-1000 の光学系を示したものである。この光学系プラットフォームの写真を図 5.7 に示す。

#### 参考文献

- 1) Broadent, K.D.: “A Review of the MCA Discovision System”, J. SMPTE, 83
- 2) 「PR-7820 取扱説明書」ユニバーサルパイオニア株式会社
- 3) 「PR-7820 サービスマニュアル」ユニバーサルパイオニア株式会社
- 4) パイオニア(株)監修:「レーザディスクブック」、ラジオ技術社 (1986)

# 6 | 第二世代 LD プレーヤの開発

民生用のプレーヤ LD-1000 は発売されたが、レーザチューブを使用していたことに変わりなく、光学系が大きく、筐体もかなり大きなものとなった。(525(W)×144(H)×402(D)mm)

一方、同じ反射形光ディスクとして、デジタル記録されたオーディオが再生出来る CD (Compact Disc) が 1982 年に発売された。CD は最初から半導体レーザを使用することを前提に作られた規格で、CD 用の半導体レーザはその時点で実用化されていた。

LD でも半導体レーザを用いて、プレーヤを構成し、安定化、低価格化、小型化を図ることを目指して、1980 年ごろから開発が進められ、1983 年世界初の半導体レーザを使用した LD プレーヤ LD-7000 が発売された。CD と違い、LD は波長 632nm の He-Ne レーザを使用することを前提にしたシステムであったことや、LD では記録信号がアナログ記録されているため、PU で検出する再生信号の質に敏感であるとの問題を抱えていたため、多くの必要開発項目が存在した。本章ではいくつかの開発ポイントについて述べる。

レーヤである。半導体レーザを使用したため、特に光学系が小型化され、420(W)×120(H)×415(D)mm の大きさの筐体に収めることが出来た。このサイズは当時、全盛であった、オーディオコンポ機器とほぼ同じサイズで、オーディオラックに収納でき、いわゆるホームシアター (リビングシアター) の実現を可能とした製品である。図 6.1 に LD-7000 の外観写真を示す。



図 6.1 LD-7000 外観写真

## 6.1 LD-7000 の概要

LD-7000 は半導体レーザを使用した世界初の LD プ

レーヤを使用することにより、小型化だけでなく、高圧回路が不要となるなど安定性、安全性が向上した。またほとんどの電気回路が汎用部品で構成されていた、第一世代の製品と違い、ビデオ回路、制御回路などが専用 LSI 化されシンプルな構成となり、光学系の改良と共にコスト低減に大いに貢献した。図 6.2 に LD-7000 の回路ブロック図を示す。

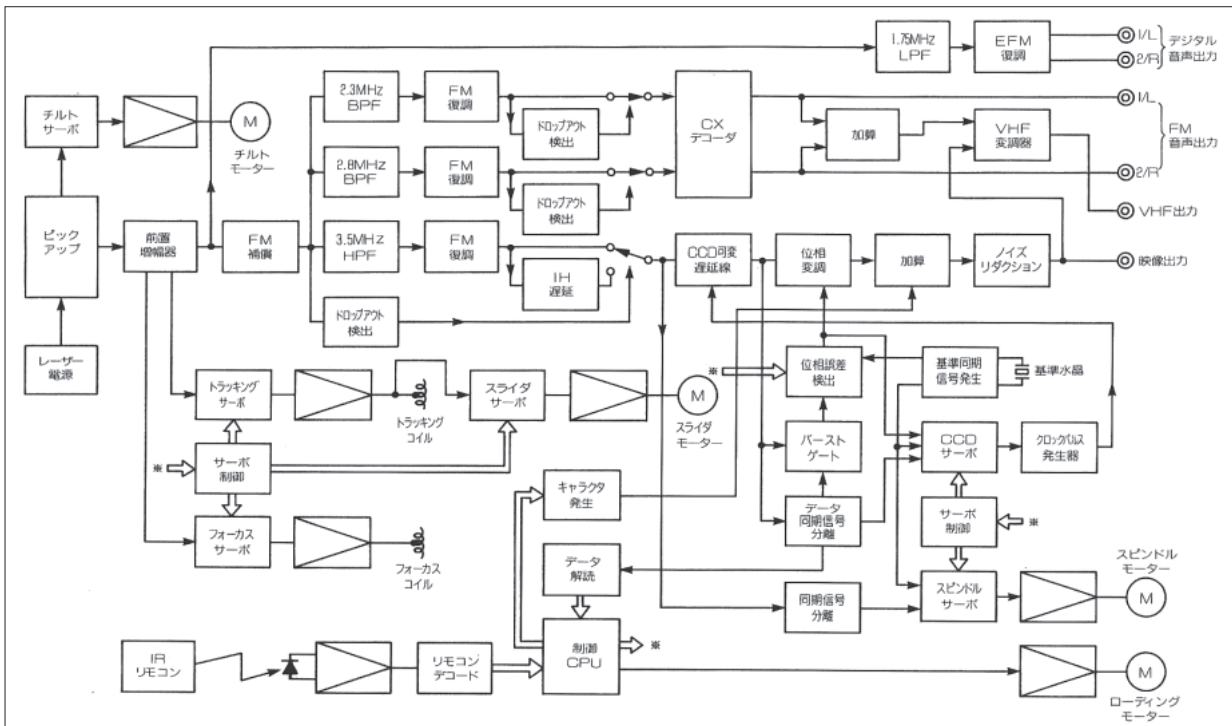


図 6.2 LD-7000 の回路ブロック図<sup>2)</sup>

## 6.2 半導体レーザとPU設計

半導体レーザを使用し、LD再生に使用するために必要であった開発について述べる。第一世代のLDに使用されたHe-Neレーザは発振波長が632nmであり、チューブの長さも330mmと大きなものであった。小型化を実現するために、LD専用発振波長630nm台の半導体レーザを開発することは、当時の技術として大きな困難を伴い、予測使用個数の面からも高価になることを考慮して、CDと同じ波長の半導体レーザを採用した。第二世代に使用した半導体レーザはVSIS (V-channelled Substrate Inner Stripe)<sup>6)</sup>と名付けられたシャープ社独自構造を持っており直径9mm高さ6.2mmのパッケージに収められており非常に小型であり発振波長は約780nmであった。半導体レーザの構造、非点収差と発振スペクトルをそれぞれ図6.3(a)、(b)、(c)に示す。レーザチップは図6.3(a)に示すようにp-GaAlAs(活性層)を、p-GaAlAs層とn-GaAlAs層で挟み込んだ構造(ダブルヘテロ構造)になっており、前後の端面が共振器の役割を果たしている。ここから放射される光はHe-Neレーザとは違い図に示すように楕円形に広がっていく。チップ接合方向に平行な方向が狭く、接合に垂直な方向への光の広がりより広がる。また、図6.3(b)に示すように、チップ接合面に平行な光は端面でなく、チップ内部から出てきているように広がり、垂直方向の光は端面から広がるため、非点収差と呼ばれる垂直、水平で光源の位置がずれて見える現象がおき、再生信号に悪影響を生ずる可能性がある。

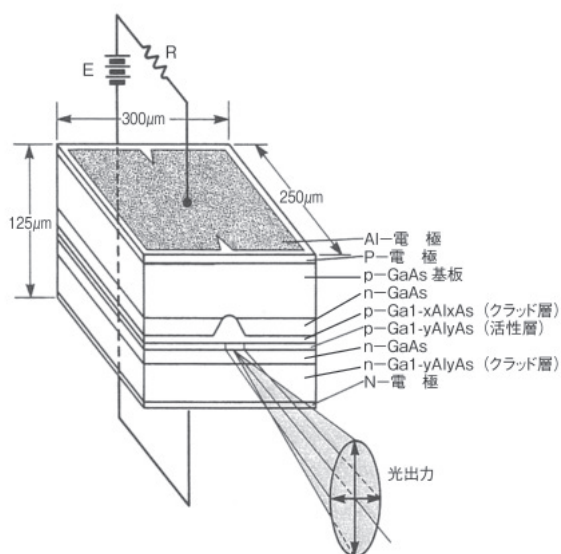


図6.3 (a)半導体レーザの構造<sup>2) 6)</sup> (シャープ VSIS 構造)

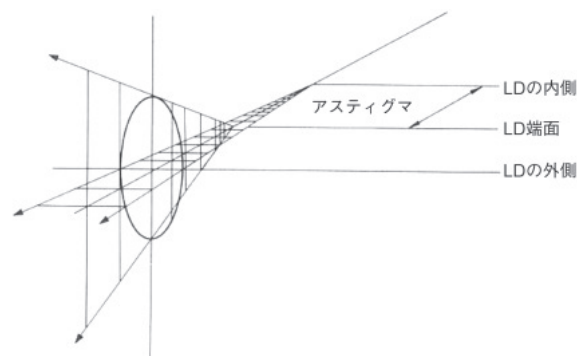


図6.3 (b)半導体レーザの非点収差<sup>2)</sup>

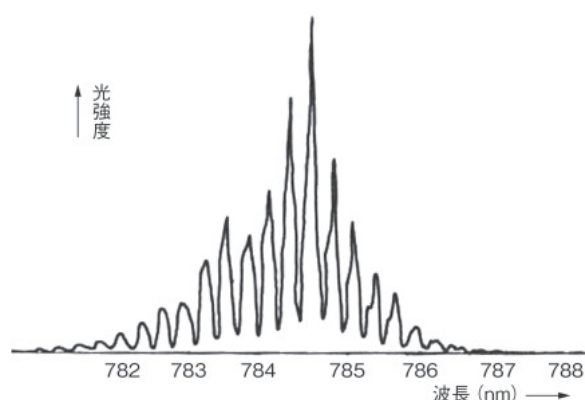


図6.3 (c)発振スペクトル<sup>2)</sup>

この半導体レーザの発振スペクトルは図6.3(c)に示すように約 $3\text{\AA}$ ごとに何本ものスペクトルが現れ、このようなスペクトルを持つものを縦マルチモード発振レーザと呼ぶ。

半導体レーザは小型であり、高圧回路が不要(1.8Vの電源で発振)など多くの特長を有しているが上述した基本性質があるため、LDの光源として使用するには以下の問題があった。

- 1) He-Neレーザに比べ波長が2割以上長い。
- 2) 発振光量の温度依存性が大きい。
- 3) 発振波長がデバイスごとに異なる。
- 4) 点発光であり、発光パターンが楕円状に広がる。
- 5) 発光に非点収差を含む。
- 6) 光の干渉性が劣る(He-Neに比して)。
- 7) LD用としては信号品質が悪い。

これらの問題に対する対応について以下の項に述べる。

### 6.2.1 光源長波長化への対応

反射型の光ディスクでは理論上ピットの読み取り精度は対物レンズの開口数NAに比例し、読み取り波長 $\lambda$ に反比例する。つまり2割以上波長が長い半導体レーザを使用し、He-Neレーザと同等の解像度を得る



ためには、対物レンズのNAを2割以上上げる必要がある。すなわちCD用に開発された780nmの半導体レーザーを使用するためには、NAを0.4から0.53に上げざるを得なかった。このため、NAを上げかつ収差の少ない小型のレンズの設計が必要となった。

この対物レンズの設計は第一世代と同様オリンパスが行った、設計されたレンズの構造と、外観写真を図6.4に示す。開発された対物レンズは、第一世代LD-1000用が4枚の組み合わせレンズで構成されたものであったが、NAを0.53に上げたうえ、3枚の組み合わせレンズで構成された。

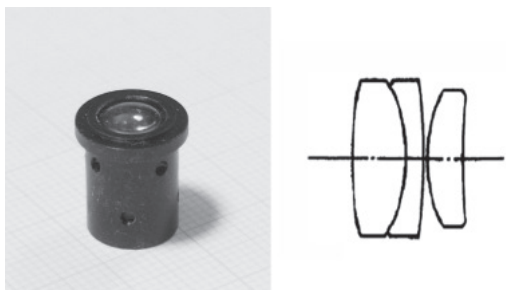


図 6.4 LD-7000 用対物レンズと構造 (オリンパス社提供)

またNAを上げることにより、ディスクの傾きに対する信号劣化が起きやすくなるため、ディスク傾きに対する制御(チルト制御)が必要となった。チルト制御については、6.2.5項で詳しく述べる。

### 6.2.2 発振光量の温度依存性への対応

発振光量を一定に保つための補正回路、APC (Auto Power Control) が必要となる。使用する半導体レーザーパッケージには、図6.5に示すように光量モニター用のフォトダイオードが内蔵されている。

この内蔵フォトダイオードの出力(レーザーの発振光量)が一定になるよう、半導体レーザーへの加える電圧を自動調整することで、発振光量の温度依存性をなくす回路、APCが追加された。APC、及びPU部の回路ブロック図を図6.6に示す。

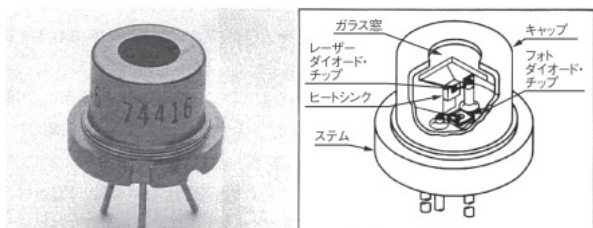


図 6.5 半導体レーザーチップとその構造<sup>5)</sup>

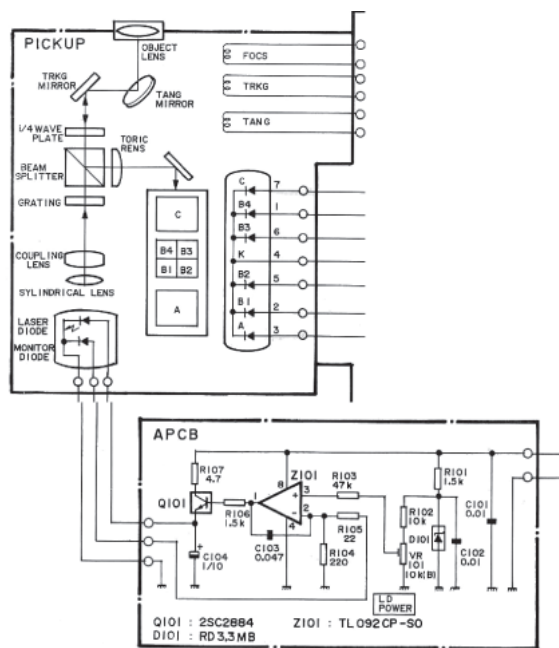


図 6.6 APC 回路ブロック<sup>2)</sup>

### 6.2.3 発振波長がデバイスごとに変化することに対する対応

レーザーは2枚の相対する鏡間で反射を繰り返して増幅され発振している。ディスクからの反射光がレーザー素子に戻ると、元の光と干渉し、レーザー発振光量を変化させ、結果として検出される信号のSN比が劣化し、再生映像の劣化につながる。これを防ぐため第3章で説明したように、1/4波長板と偏光ビームスプリッターで反射光だけを90度方向を変えフォトディテクタに入力させ、反射光がレーザーに戻らないように設計されている。この二つの部品で構成されている部分を以後“ビームスプリッター”と呼ぶ。(図3.5中、5と記載された部品)

He-Neレーザーの場合、発振波長はガスの組成で決まるため非常に安定しており、ビームスプリッターの性能は、構成光学部品の精度でのみ決定され、反射光による悪影響を低く抑えることが可能である。

半導体レーザーの場合、構造上、不純物の量の変化や、素子形状のばらつきにより、発振波長がデバイスごとにばらつく。このためたとえ、発振波長の中心値に光学定数を合わせて設計しても、戻り光による悪影響が顕著に現れる、この現象を避けるために、マルチモード発振の素子を使用することで対応した。ただし、マルチモードのレーザーは可干渉性が悪くなるため、これを避けるために、スペクトルの広がりがなるべく少ない半導体レーザーを使用した。マルチモード発振の素子では、ある波長の戻り光成分が増加したとしても、他の波長成分は悪影響を受けないため、トータルとし

て、戻り光による影響を軽減できるからである。

またこのタイプの素子を使用することにより、温度変化で発振周波数が $3\text{\AA}$ ごとに変化する、“周波数ホッピング”と呼ばれる現象によるノイズも軽減することができる。シャープの VSIS 構造を持つ自励発振型低雑音半導体レーザがこの条件に近い性能を持ち、それを選別して使用した。

#### 6.2.4 光学系設計による対応

6.2での項目4)、5)で述べた、発光パターンが楕円状であることや、発光に非点収差を含む問題に対してはPUの光路設計部分で対応した。

図6.7にLD-7000用PU部の構造を示す。半導体レーザを出たレーザ光はまずシリンドリカルレンズを通過する、このシリンドリカルレンズはレーザ自身を持つ非点収差を補正するために使用され、項目5)の問題を解決するためのものである。

その後のカップリングレンズは点光源から円錐状に広がるレーザ光を平行光に変換するために使用され、項目4)で述べた、点光源であることの問題を解決するためのものであると共に、半導体レーザチップとビームスプリッタの物理的距離を短くすることが可能となりプラットホーム小型化の一要因となった。

その後使用される、グレーティング素子にはフィルタ機能を持たせ、楕円から円形の発光パターンに変

更している。これは項目4)の問題を解決するためのものである。

$1/4\lambda$ 波長板、ビームスプリッタ、トラッキングミラーおよびタンジェンシャルミラーは3章の原理図と機能は同じものであるが、すべて小型化された。

フォーカスエラー信号を得るために3章の原理図ではシリンドリカルレンズが使用されていたが、縦方向と、横方向の焦点距離が異なる、トーリックレンズを使用した。これは、フォーカス制御信号を得ると共に、プリズムから、フォトダイオードまでの戻りの物理光路長を短くすることにより、プラットホーム小型化を図るためである。(図3.5と比較参照のこと)

またこのPUでは、He-Neレーザを使用した第一世代民生用プレーヤLD-1000で採用された、タンジェンシャルミラーを使用した時間軸制御方式が使用されている、

上記のことを考慮して設計された、LD-7000用PUの写真を図6.8示す。

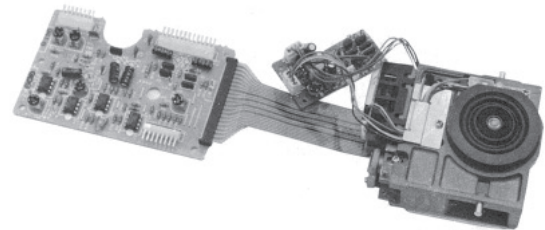


図6.8 LD-7000用PU写真<sup>4)</sup>

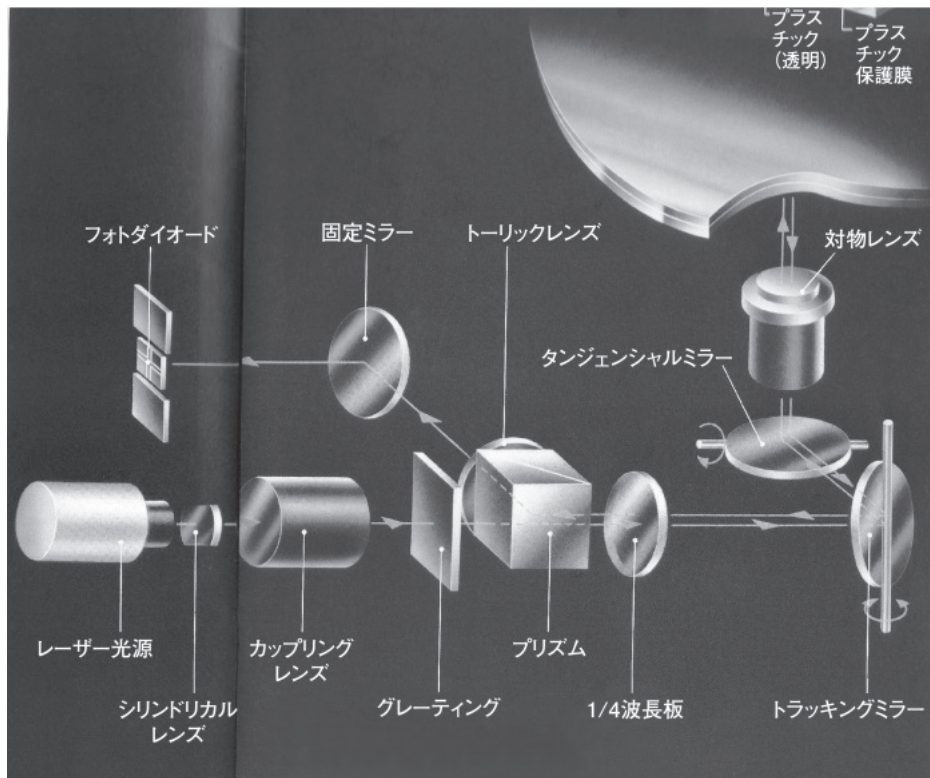


図6.7 LD-7000用PUの構造

光学系は、He-Ne チューブを使用した第一世代と比べ大幅に小型化、低コスト化が図られ、およそ  $50 \times 50 \times 15\text{mm}$  の大きさに収めることが可能となった。しかしながら、後述する第三世代、およびそれ以降のPUに比べ、対物レンズのフォーカス制御用アクチュエータが大きく（写真左部、円柱状に見える部分）、多分割されたフォトディテクタで検出された信号を処理する回路は汎用部品で構成され、別基板となっていた（写真左端基板）。また、次項で述べるチルト制御用の回路も別基板となっていた（写真中央上部）。

### 6.2.5 チルトサーボ

$\lambda = 780\text{nm}$  の半導体レーザーでも十分な集光特性を得るため、 $\text{NA} = 0.53$  の対物レンズを使用した。NAが高くなると、焦点距離が短くなり、ディスクの表面でのビームの進入角が大きくなり、レンズ光学系の一部を構成するディスク基板（アクリル）の屈折率によるビームの進行方向変化が大きくなる。その結果、図6.9に示すようにディスクの傾きに対し、信号の劣化が大きくなる現象が生じる。特にLDの直径は30cmもあり外周部でディスクのたわみが生じるため、半径方向の傾きに対して常にレーザー光が直角に当たるよう制御する必要が生じた。

この制御のため、PU本体上面に、図6.10に示すLEDと2個のフォトダイオードを使用したチルトセ

ンサを設け、2個のフォトダイオードの出力の差により傾きを検出し、ディスクの傾きに追従してPUを傾ける方式がとられた。

センサーの構造は図に示すように単純な構造であるが、ディスク面にはピットが刻まれているため光の回折がおき、0次反射光だけでなく1次回折光もフォトダイオードに入力される可能性があるため、ダイオードの形状、寸法設計など、シミュレーションを含めた、試行錯誤が必要であった。

図6.11に示すように、PU本体は、PUベースに、対物レンズケース真横につけられた2箇所突起を軸として上下に回転できるよう取り付けられ、図の中央部のチルト調整軸でウォームギアを使用して上下に動かすような構造になっている。制御回路はチルトセンサーの出力信号が最小に、つまり光量の差が最小になるよう、チルト制御軸をウォームギアを介してモータで駆動して行く。この制御は再生時の半径方向への変化に対応できれば良いので応答時間は数秒程度で十分である。

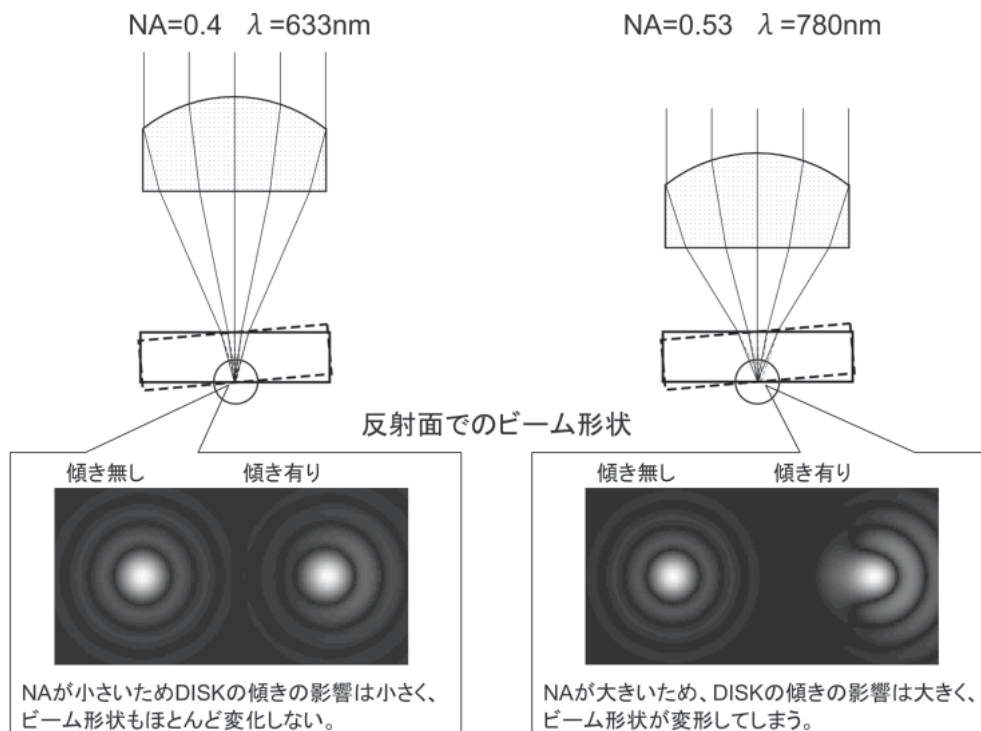


図 6.9 NAの違いによる、ディスク傾きに対するビームの劣化

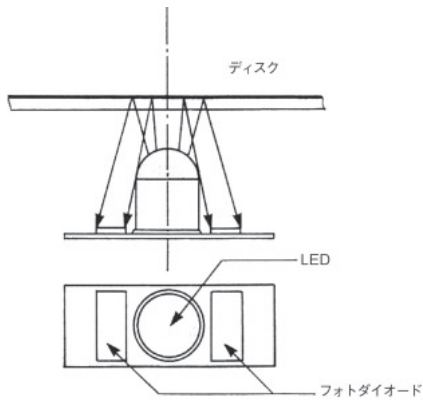


図 6.10 チルトセンサの構造<sup>5)</sup>

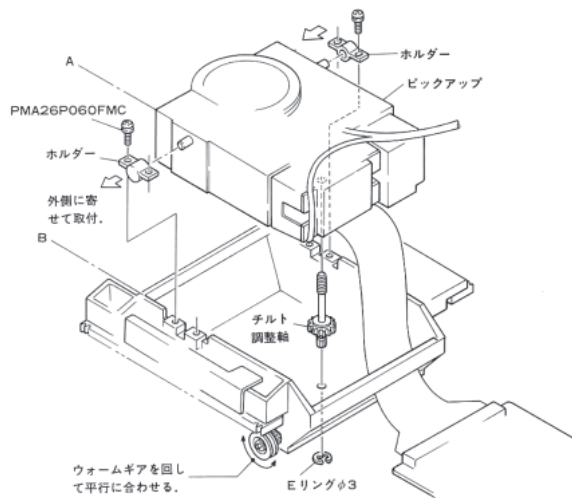


図 6.11 チルト制御の機構<sup>2)</sup>

## 6.3 回路のIC化

ほとんどの回路を、汎用部品や、VTR用に開発された映像処理ICを使用していた第一世代のプレーヤと異なり、LD独自の処理が必要な回路などのIC化を行った。ほとんどがアナログICであることや、当時使用可能なパッケージはDIP (Dual In Line Package) しかなく、入出力端子数も限られていたため、各ブロックごとの小規模なIC化にとどまっていた。図6.12にLD-7000の回路ブロック図を示す。図中、PA-9001などPAの頭文字で始まる実線で囲まれた4箇所の部分が、実線内に記された各機能を専用IC化したものである。

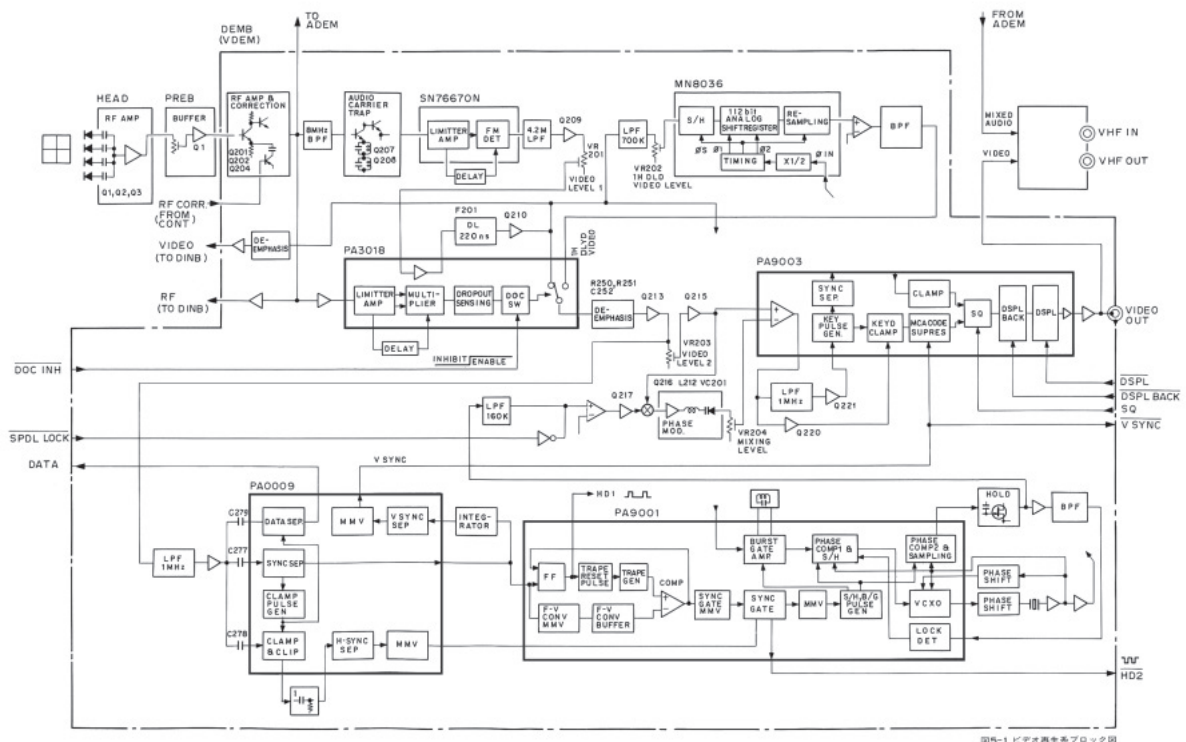


図 6.12 LD-7000 回路ブロック図<sup>2)</sup>

## 参考文献

- 1) 「LD-7000 取扱説明書」パイオニア株式会社
- 2) 「LD-7000 サービスマニュアル」パイオニア株式会社
- 3) 電子信学会編：「[新版] レーザ入門」、電子通信学会 (1979)
- 4) パイオニア(株)監修：「レーザディスクブック」、ラジオ技術社 (1986)
- 5) 金丸斉：「レーザディスクテクニカルブック」、ASCII science, アスキー出版 (1986)
- 6) シャープ技報：第 99 号、2009 年 8 月

# 7 | 第三世代以降の LD プレーヤの開発

半導体レーザを使用したLD-7000の開発により、民生市場への本格導入に向けての足がかりはつけたものの、日本市場では、ビデオディスクの別規格であるVHDとのフォーマット戦争が本格化していった(8章参照のこと)。この争いに勝つために、光技術の優位性を示すための技術開発が進められた。主な開発項目は1) PUの更なる小型化、コストダウン、2) 音声信号のデジタル記録化、3) LD/CDコンパチブルプレーヤの開発、および4) デジタル技術を使用した、時間軸制御技術、高機能、高画質化技術等である。

またVHD規格の市場撤退後も、LDの市場拡大のため1) デジタルサラウンド機能の追加(ドルビー、DTS)、2) ゲーム機応用(レーザアクティブ)及び3) ハイビジョン(MUSE)用LDシステムの開発などが継続して行われた。本章では、これらの開発について述べる。

## 7.1 第三世代以降のPUの開発

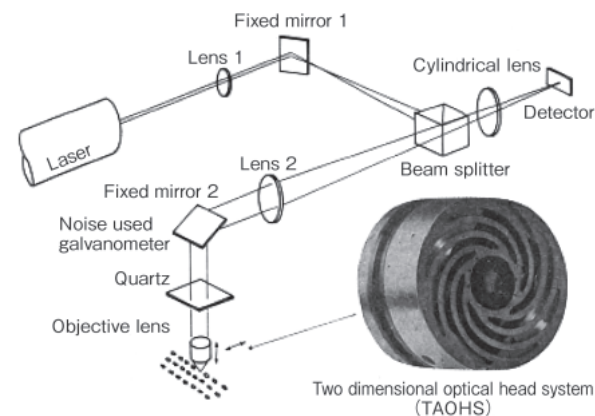
### 7.1.1 2軸駆動型PU

LD-7000用の半導体レーザを使用したPUの開発により、半導体レーザを使用するに当たっての課題、1) 波長が長くなる、2) 発光パターンが楕円になる、及び3) 発振レーザ信号のノイズが大きい等の基本的な問題は解決されたが、トラッキングミラーやタンジェンシャルミラーなど、可動する光学部品を使用するなど、基本的には、LD-1000の光学系を小型化したものであった。民生市場での本格的普及やVHD規格への対抗のため、光学系から設計を見直し、小型化、コストダウン、信頼性向上を図る必要があった。

新PUを開発するに当たり、その設計に大きな影響を与えたのは、1980年にオリンパスより発表されたTAOHSと名付けられた光PUシステムである。このシステムでは、対物レンズが2軸方向(フォーカス方向とトラッキング方向)に特殊なアクチュエータで駆動され、時間軸制御は電子的に行うことを前提にしており、可動ミラーをなくし、小型化、低価格化を図った点が特徴である(図7.1参照)。このPUに対する反応は大きく1982年に発売されたCDプレーヤの各社一号機の70%にこのPUが搭載されていた。(オリンパス資料による)

二次元ピックアップを用いた光学系の例

(図A) He-Ne Laserを使用した場合



(図B) Laser diodeを使用した場合

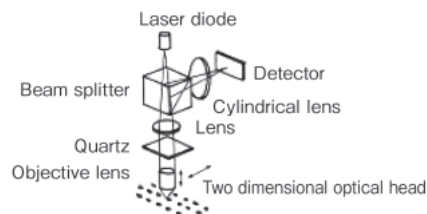


図 7.1 TAOHS の構造 (オリンパス提供資料)

パイオニアでは、LD-7000用PUの開発や後述するLD/CDコンパチブルプレーヤ用PUの開発など多くの開発項目を抱えていたため、TAOHSのように、光学系を基本的に見直し設計するPUについては、必要性を感じながらも開発が後回しになっていた。しかしながら、オリンパス社の2軸制御型の光PUの発表を受け、第三世代PUの開発が加速されることとなった。

TAOHSを使用することも考えられたが、そのままではCDの再生用としては実用域に達していたものの、LD再生用としては実用域に達していなかったという事情があった。また、プレーヤのキー部品の一つである光PUを他社に依存することの事業戦略上の問題から独自開発を行った。

開発したPUの構造と外観写真をそれぞれ図7.2、図7.3に示す。

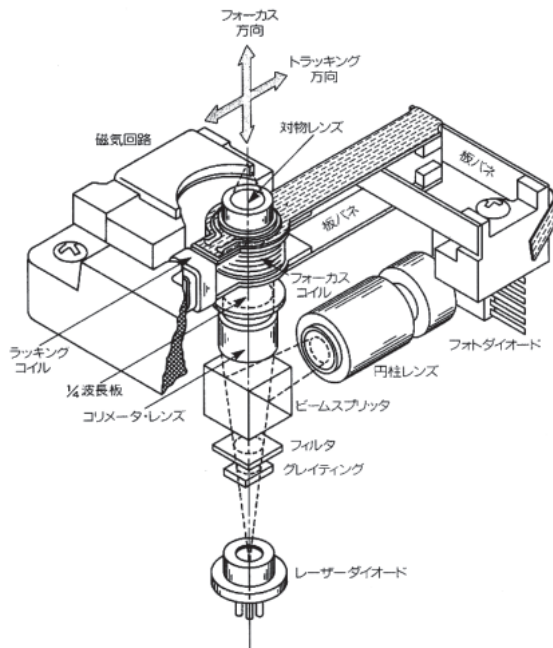


図 7.2 第三世代 PU の構造<sup>11)</sup>

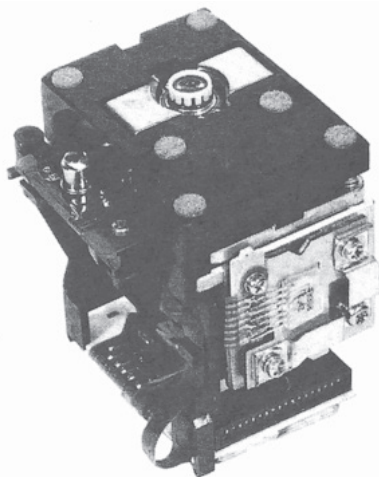


図 7.3 第三世代 PU の外観写真<sup>11)</sup>

この PU の特徴としては、以下の点があげられる。

- 1) 直角に交差する、縦、横それぞれ 2 枚の板バネにより 2 軸駆動が可能な構造を持つ。
- 2) 2 軸制御が可能となったため、トラッキングミラーが不要となった。時間軸制御については CCD またはフレームメモリ使用など電子回路で行うことを前提としタンジェンシャルミラーを使用しない構造とした。このような構造を採用することにより、対物レンズ以外の光学系に可動部が存在しない。
- 3) コリメータレンズ等を使用し、光路長を短くしたため光学系全体を小型に収めることが可能となった。
- 4) 別基板であった信号の取り出し回路、チルト制御回路を内蔵した OEIC を開発し、使用した。
- 5) チルト機構を内蔵した。

### 7.1.2 非球面単玉樹脂レンズを使用した PU

更なる小型化、低コスト化のために非球面単玉樹脂レンズを使用した PU の開発がひき続き行われた。このレンズの開発は小西六写真工業（現コニカミノルタオプト(株)）との共同で行われた。

小西六写真工業では写真用レンズの設計以外の分野を模索する中で、1981 年ごろソニーより、当時開発中の CD 用 PU のガラスレンズをプラスチック成型レンズに出来ないかとの話があり、本格的に検討を開始した。当時、米国で開発されていた高精度微細加工可能な工作機械を導入し、材料選定、レンズ形状検討などを繰り返し、実用化に成功した。最初のレンズはソニーが 1984 年に発売した CD プレーヤ D-50 に搭載され、大ヒット商品となり、CD 普及の原動力となった。

この技術を生かして、LD 用の PU をプラスチックレンズで作る試みがパイオニアと共同で行われ、2 年ほどの時間をかけて LD 用のレンズが完成した。主な開発項目は以下の通りである

- 1) NA を 0.5 に上げるため新しい材料が必要とされた。→日立化成の材料により可能となった。
- 2) 樹脂レンズ形状の再設計が必要とされた。
- 3) カラオケ用などレンズのコーティング材料の開発が必要となった。

このレンズは、1987 年以降のパイオニアやソニーのプレーヤに使用された。

小西六は PU 用樹脂レンズにいち早く取り組み、LD/CD の対物レンズの分野で、70% 以上のシェアを確保した。これら技術は、現在でも、携帯電話やスマートホン用カメラレンズに応用されている。

開発された PU の構造図と概観写真をそれぞれ図 7.4、図 7.5 に示す。

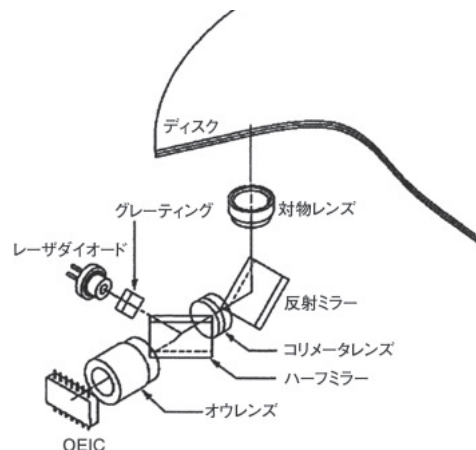


図 7.4 非球面単玉樹脂レンズを使用した PU の構造



図 7.5 非球面単玉樹脂レンズを使用した PU の外観写真

この PU の特徴としては以下の点があげられる。

- 1) 一枚の非球面樹脂対物レンズの採用したことにより、対物レンズの大幅軽量化、ローコスト化が可能となった。
- 2) レンズの軽量化により、アクチュエータ、磁気回路の小型軽量化が可能となった。
- 3) プリズムを使用していたビームスプリッタの代わりに、特殊なコーティングを施したハーフミラーを採用し、低コスト化、軽量化を実現した。
- 4) 受光部を OEIC 化し、小型化、性能向上、部品点数の削減を図った。

LD においてはこれ以降、基本的にこのタイプの PU が使用された。この 2 軸駆動アクチュエータと非球面単玉樹脂レンズを使った構造は、DVD、BD 用の PU にも受け継がれていった。

LD プレーヤの構成部品の中では、PU の開発が大きな位置を占めており He-Ne レーザ使用の第一世代からの変化は非常に大きなものであった。9 章で、これら開発の流れを時系列的に述べる。

## 7.2 音声記録のデジタル化

SONY/Philips により開発された、光ディスクにデジタル音声記録再生する CD (Compact Disc) は 1982 年に商品販売が開始され、LP に変わるオーディオレコードとして、急速に普及することが期待されていた。同じ反射型光ディスクである LD でも CD のフォーマットでデジタル音声記録する取り組みが行われた。

### 7.2.1 デジタル音声記録とその実現

CD では 16bit、2ch のデジタル信号を直接 EFM 変調 (8-14 変調) と呼ばれる方式で変調し、CD に記録するが、EFM 変調で使用する帯域は図 7.6 (b) に示すように 0~2MHz を占める。一方 LD では同図 (a)

に示すように 2ch の FM 音声の下帯域は空いていることから、この 0~2MHz の帯域に EFM 変調したデジタル音声を記録することでデジタル音声記録 LD を実現しようと試みた。

LD の信号のスペクトル、CD の信号のスペクトル、およびデジタル音声付 LD の信号スペクトルを図 7.6 (a)、(b)、(c) にそれぞれ示す。

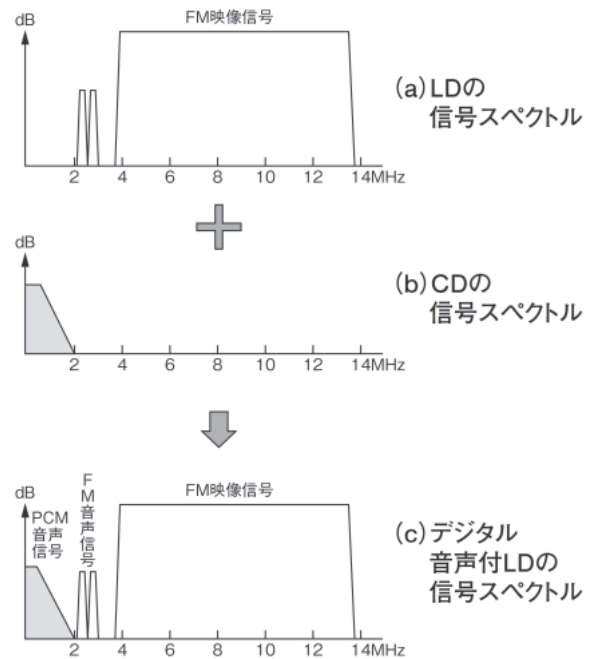


図 7.6 デジタル音声付 LD の信号スペクトル<sup>3)</sup>

原理は単純であるが、実用化に当たっては以下の問題があった。

- 1) 映像 FM 信号のスペクトルが 2MHz 以下にまでみれこみ、EFM 信号の信号品質が劣化しデジタル音声再生に影響をあたえること。
- 2) レーザの低域ノイズが EFM 信号品質を劣化させること。

この問題に関して、ディスクのマスタリングシステムの信号側送出系で、以下の対応、対策を打つことで解決した。

まず 1) の問題は映像信号が FM 変調されているため側帯波と呼ばれる信号スペクトルが 2MHz 以下まで広がるのが原因である。これを避けるために FM 変調後、リミッタを通す前に、もれこむ下側 2 次以下の側帯波のみをハイパスフィルタを使用し除去することで、2MHz 以下の帯域への影響を低減することが可能となった。図 7.7 の (a)、(b)、(c)、(d) に改良前マスタリングシステムブロック図と、ハイパスフィルタ挿入後のブロック図、およびそれぞれに対応した周波数スペクトル図を示す。



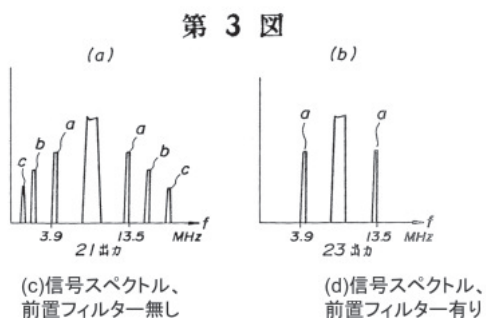
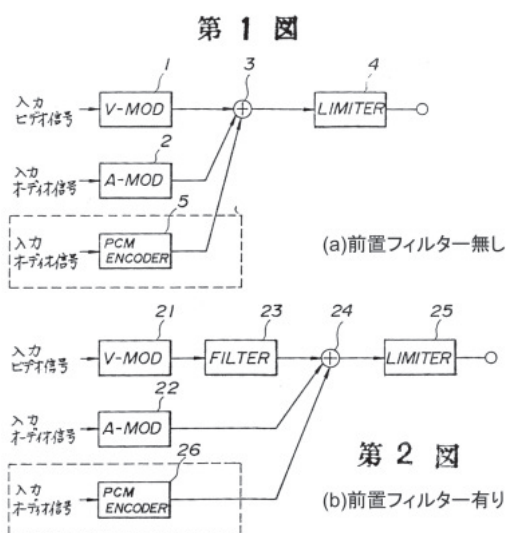


図 7.7 EFM 信号への影響を軽減するための前置フィルタ (実用新案願 昭和 58-119400)

2) に関しては EFM 信号の記録レベルを十分に上げれば良いのだが、この信号のレベルを上げると、映像にノイズが混入するため、EFM 信号のエラーレートと映像画質とはトレードオフの関係にある。実験による試行錯誤の結果、EFM 信号の記録レベルを映像黒信号の FM 記録信号レベルに対し -26db と決定した。

### 7.3 LD/CD コンパチブルプレーヤの開発

デジタル音声記録 LD を再生するためには、LD プレーヤに CD 再生用の LSI を搭載する必要がある。このことは、LD 用 PU で、同じ反射型光ディスクである CD の信号が読めれば、LD/CD コンパチブルプレーヤが技術論的には開発可能であることを示していた。さらに、CD 市場へ多くの大手メーカーが参入を開始してくる中で、コンパチブルプレーヤを製品化し、光ディスクファミリーとして、VHD では実現できない技術を具現化することが、フォーマット戦争に勝つための有力な戦略であるとの考えから、多くの開発資源が投入された。

解決すべき問題は、(1) LD 用 PU で CD をどう読むか、及び (2) 直径や内径、重量、回転数が違う 2

種のディスクの固定、回転の機構をどう開発するかであった。

#### 7.3.1 LD/CD コンパチブル PU の開発

PU の光学系そのものは LD のパラメータに最適化されており、CD 用に最適化はされていなかったが、大きな変更を加えることなく CD 再生に使用できることが確認できた。しかしながら、CD は信号の記録開始位置が LD の半径 55mm に対し、半径 25mm と小さくなっているため、PU の対物レンズはディスクの回転中心から 25mm の地点まで接近しなくてはならず、CD 用のスピンドルモータが小型とはいえ、モータに PU が接触しないようにするため、PU のアクチュエータを含めた形状を工夫する必要がある。特にベースにした LD-7000 用の PU では、対物レンズのフォーカスアクチュエータの磁気回路が外周を取り囲む設計になっていたため、レンズの中心から半径方向外周までの距離が長くなるため、アクチュエータの磁気回路の構成を変更し、その他の光学系は変更することなく対応した。図 7.8 に開発された CLD-9000 用の LD/CD コンパチブル PU の外観写真示す。

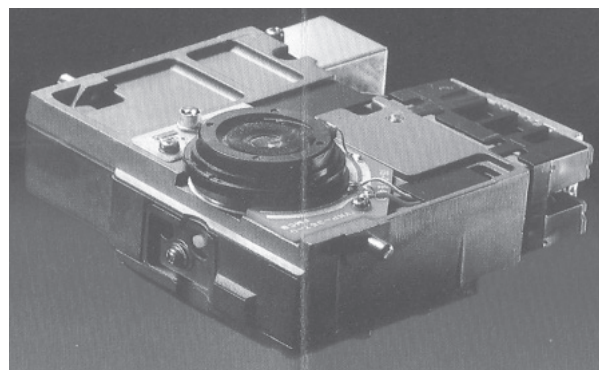


図 7.8 CLD-9000 用 LD/CD コンパチブル PU の外観写真

#### 7.3.2 LD/CD コンパチブル回転系メカの開発

PU は共通に出来たものの、ディスクを回転させるスピンドル部分は、2 種のディスクの物理寸法が大きく異なることや、回転数、ディスク重量などのパラメータが大きく異なるため共通化はあきらめ、最初の LD/CD コンパチブルプレーヤ CLD-9000 では、LD、CD それぞれに独立したスピンドルモータ、クランプ機構を持ち、それぞれ 60 度の角度を持って V 字形に取り付けられ、LD、CD のディスクに対しそれぞれ切り替えて (60 度回転させて) 使用する機構となった。

図 7.9 に V 字型に配置されたスピンドルモータの切替機構写真を示し、図 7.10 には世界初の LD/CD コンパチブルプレーヤ CLD-9000 の外観写真を示す。

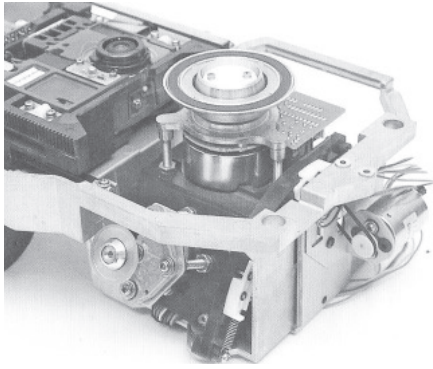


図 7.9 CLD-9000 のスピンドルモータ切替機構<sup>3)</sup>



図 7.10 LD/CD コンパチブルプレーヤ CLD-9000 外観写真

1984年に、デジタル音声記録LDと共に発表された、CLD-9000は、技術的には、ある面スマートさを欠いたやり方であったが、ユーザーに歓迎され、高い評価をうけ大きな話題となった。また、思惑通りVHDには大きなインパクトを与えることとなった。

CLD-9000の評判はよかったが、切り替え機構はその構造上、高さを必要とし写真で見ると背の高い筐体を必要とし、また大きなトルクを発生させるLD用スピンドルモータ自身も、切り替えに応じて移動する設計になっていたため、メカニカルトラブルも起こしやすかった。このため、より小型で信頼性の高いメカニズムの開発が進められた。LD/CDコンパチブルプレーヤの次世代機、CLD-7では図7.11に示す機構が搭載された。新機構では、重量があり大きなトルクを発生するLD用のスピンドルモータは固定され（図中左端）、最外周に位置するPU（図中右端）との中間にCD用のスピンドルモータが位置している。CDの直径は12cmで、LDの半径15cmより小さいためLD用スピンドルが固定されていてもCDの再生が可能となる。

また、LD再生時には、CD用スピンドルのみを横に倒し邪魔にならないようにした。CD用スピンドルモータは小型で軽量なため、移動させてもメカに対する負荷が少なく、信頼性の向上が図られると共に、メカの薄型化も実現した。

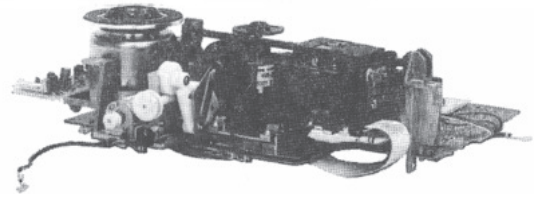


図 7.11 CLD-7 のスピンドル切り替え機構

CLD-7の外観写真を図7.12に示す。



図 7.12 CLD-7 の外観写真

また、LD/CDコンパチブルプレーヤでLDの両面連続再生が可能となるメカニズムも開発された。

このメカでは、LD用に薄型のスピンドルモータを使用し、PUは最外周で、キャリッジごと180度回転する構造になっている。図7.13にCLD-770に使用されたPU反転機構の写真を示す。

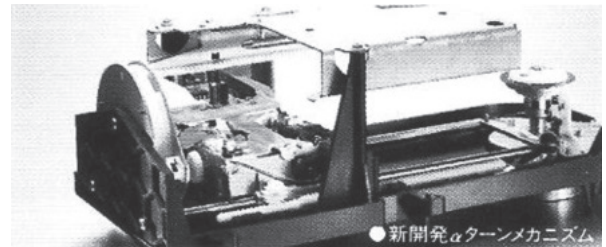


図 7.13 LD両面再生を可能としたCLD-770用PU反転機構

以降、プレーヤの開発はコンパチブルタイプが主流になっていく。加えて、長時間の映画を連続して鑑賞することが可能となるように、2枚のLDの両面を連続して再生することを可能とした機種LD-W1なども発売された。

LDプレーヤの開発の中では、新しく開発（発売）された光ディスクプレーヤは、過去に発売された光ディスクに対し、再生互換性を持たせることにより、ユーザーのソフト資産を保全していくというコンセプトを大事にした。このコンセプトは以降も継続され、1996年にDVDが発売された際にも、LD/CD/DVDコンパチブルプレーヤを開発、過去のソフト資産を生

かしつつ、スムーズに新しいメディアに移行することを可能にした。

## 7.4 デジタルフレームメモリを使用した時間軸制御

第三世代以降の光PUの基本構成としては、7.1節で述べたように、時間軸制御を電子回路で行うことを前提とした、2軸駆動光PUが主流となっていった。この時間軸制御にはCCDが使用されていたが、LSI技術の進化と、デジタルメモリ、A/D、D/Aコンバータの低価格化に伴い、デジタルフレームメモリを使用した時間軸制御回路が、民生機器でも高級機種であれば使用可能なコストの範囲に入ってきた。1986年にこの回路を使用した、LDの高級レファレンス機LD-S1が発売された。

図7.14にデジタル時間軸制御回路のブロック図を示す。

FM検波された映像信号はA/D変換され、フレームメモリに蓄えられる。この時のA/D変換のサンプリングクロックは、基準カラーバースト信号と、FM検波されたカラーバースト信号の位相差がなくなるよう制御される。いったんフレームメモリに蓄えられた映像データは固定クロックでD/A変換される。この一連の動作により時間軸エラーが除去される。

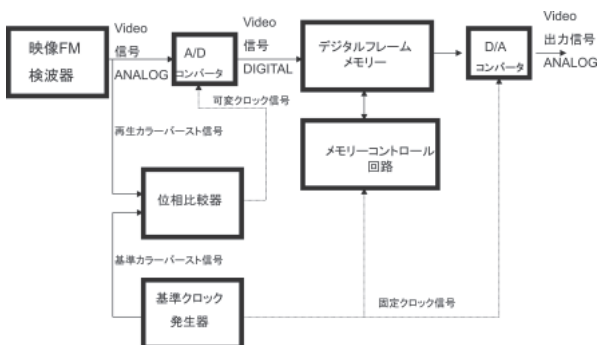


図7.14 デジタル時間軸制御回路のブロック図

この回路では1フレーム分のメモリを使用するため、時間軸制御だけでなく、静止画の再生が可能となる。この機能により、CLVディスクでも静止画、コマ送り再生を可能とした。これらのコントロールは図7.14に示したメモリコントロール部で行われる。

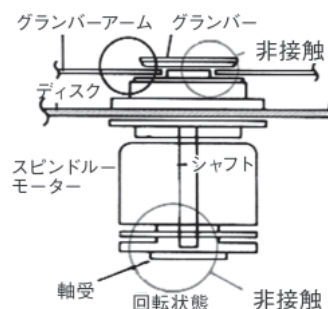
加えて、LD-S1はLDを高画質に再生するため以下の技術が採用された。

- 1) スピンドルモータを含む回転機構をシャーシからフローティングさせることにより振動を押さえ、PU動作上の悪影響を少なくすることにより、画

像のノイズを低減する技術。(図7.15(a)参照)

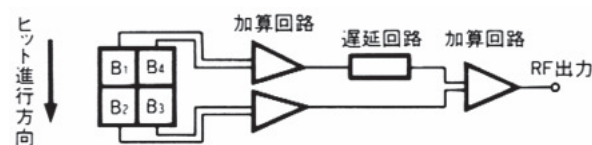
- 2) PU内の4分割フォトディテクタ間の時間差を補正することでRF信号の広域ひずみを減少させる技術。(図7.15(b)参照)
- 3) 銅メッキやダイキャスト部品と特殊高分子材の組み合わせによるシャーシ筐体全体の無共振化の技術。

### ●フルフローティングディスクドライブメカニズム



(a) フローティングされた回転機構

### ●アキュ・フォーカス・システム



先行側 B<sub>1</sub> B<sub>4</sub> のディテクタ信号を遅延させたのち加算する。

(b) RF信号の時間差補正

図7.15(a)、(b) 高画質化のため技術例

また、LD-S1の後継機種LD-X1では、さらにデジタルビデオ信号処理機能が付加され、デジタルY/C分離、デジタルカラーノイズリダクション機能が実現され、より高画質な映像再生が可能となった。

ここで開発された技術は、高級機種だけでなく、後に普及機種にも順次採用されていった。

LD-S1の外観写真を図7.16に示す。



図7.16 LD-S1の外観写真

## 7.5 パイオニア以外の各社の取り組み

LD方式はパイオニア1社が開発、事業化を行っていたが、デジタル音声付LDやLD/CDコンパチブルプレーヤなどの開発により、LDの優位性が確認されるに従い、VHD方式支持を表明していたメーカーや、立場を明らかにしていなかったメーカーにもLD方式支持を表明する会社も現れだし、主にパイオニアのOEM製品で市場に参入を開始し始めた。また、OEMだけでなく、自社の独自技術を盛り込んだ自社開発のLDプレーヤで市場に参入するメーカーも現れた。ソニー、ヤマハおよび松下電器産業の例について述べる。

### 7.5.1 ソニーにおけるLDプレーヤの開発

ソニーは反射型光ディスクに関して1970年代から研究開発を進めており、1981年にはPhilipsと共にCDの規格を発表した。翌1982年には世界初のCDプレーヤCDP-101を発表し、光ディスク技術のリード役であった。1970年代末から、起こったビデオディスクフォーマット争いに関しては、立場を明確にしていなかったが、事業としてはLDの産業用途に注目し、1981年にはHe-Neレーザを使用した産業用LDプレーヤLDP-1000を独自開発し、主に北米市場でビジネスを開始した。このプレーヤはFordの社員教育、販促用に試用され、パイオニアのPR-7820と同様、他の映像展示や画像ライブラリ応用用途にも使用された。LDP-1000の外観写真を図7.17に示す。引き続き半導体レーザを使用した産業用プレーヤLDP-2000が開発され、当時ソニーで販売されていたワークステーションと組み合わせたシステムなどが開発された。



図7.17 ソニー製 産業用LDプレーヤ LDP-1000

民生用のLDプレーヤに関しては1983年LD方式支持を明らかにし、1984年パイオニアのOEMによるLDプレーヤLDP-150で市場に参入した。翌1985年

は、自社開発による、LDプレーヤLDP-505を市場導入した。このプレーヤに使用した光PUは半導体レーザを含めて自社で開発したものであった。以降、LD/CDコンパチブルプレーヤMDP-A1(図7.18参照)や独自メカニズムによる両面再生機MDP-500(図7.19参照)など、AV機器として多くの製品を開発した。



図7.18 ソニー製 LD/CDコンパチブルプレーヤ MDP-A1

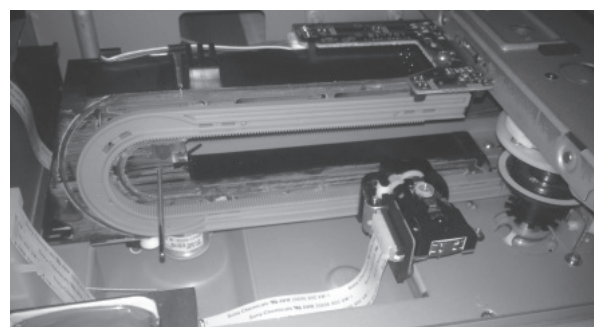


図7.19 簡素化された独自設計の両面再生機構 MDP-500

### 7.5.2 ヤマハにおけるLDプレーヤ開発

ヤマハは1984年ごろから、予測されるオーディオ市場の縮小に対応するため、LDプレーヤを開発し、新ビジュアル市場に参入することを決定した。参入に当たっては、ヤマハですでに開発済みのCDの技術や、電子楽器開発で蓄積のあった、システムLSI技術を活用することで商品優位性を確保することを目指した。

ヤマハが2年後の1985年発売したLV-X1は、10万円を切る価格でありながら、デジタル記録LD音声を再生する機能を持ち、水平解像度400本以上の高画質を謳ったものであった。このプレーヤはその仕様だけでなく、LDを再生する回路に独自の技術を開発導入していた。この技術はダイレクトRF-TBCと呼ばれ、PUから再生されたRF信号に対し、独自開発したVoltage Control Delay-line LSIにより、時間軸制御を行う方式であった。当時から、電子楽器用のLSI等で実績のあったヤマハはその他の回路も、大幅に



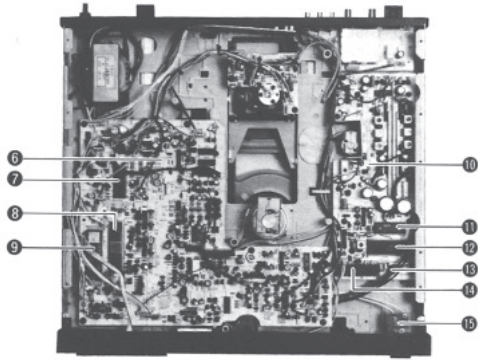


図 7.23 簡素化された基板<sup>7)</sup>

V-X1 に続いて LD/CD コンパチブルプレーヤ CLV-1 を翌 1986 年に発売した。このプレーヤは LV-X1 のダイレクト RF-TBC をさらに改良して使用し、非常にシンプルな回路構成になっていた。また、LD/CD ともに共通のスピンドルモータを使用しコストダウンを実現している点が画期的であった。図 7.24 に CLV-1 の外観写真、図 7.25 に回路ブロック図を示す。

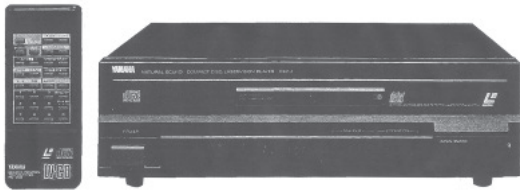


図 7.24 CLV-1 の外観写真 (ヤマハ提供)

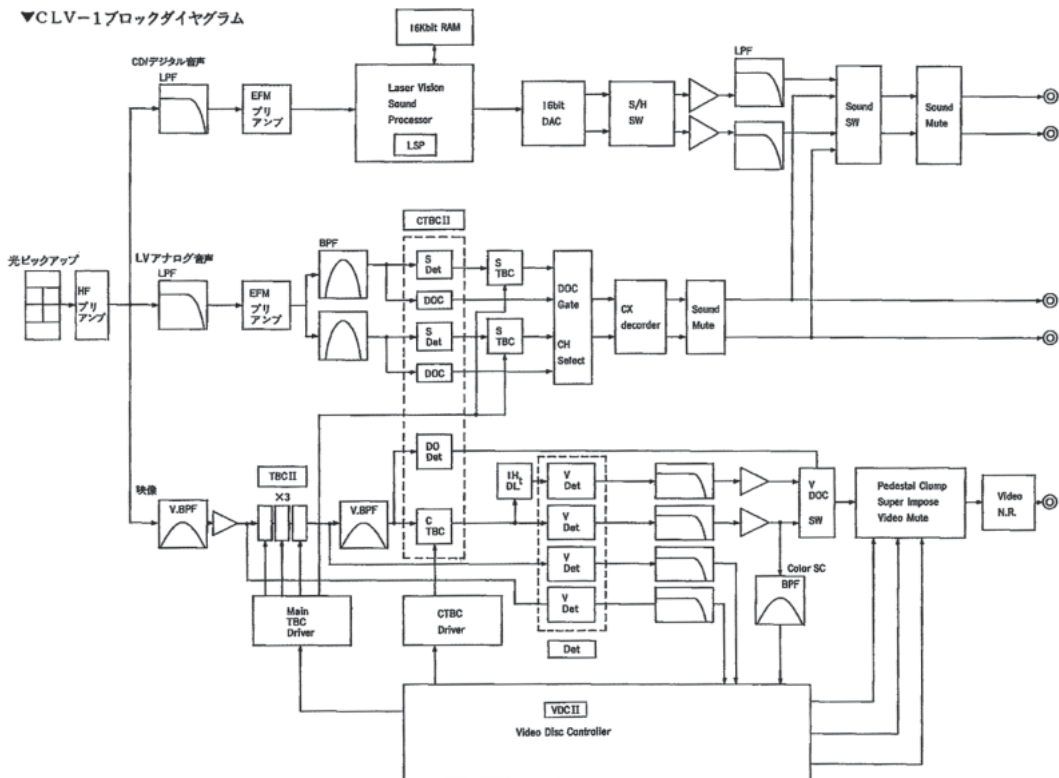


図 7.25 CLV-1 の回路ブロック図<sup>7)</sup>

### 7.5.3 松下電器産業 (現パナソニック) の取り組み

松下電器ではビデオディスクとして 1970 年代半ばまで VISC と呼ばれる、針を用いた圧電タイプの独自方式を開発してきたが、商品の市場導入に当たっては、VTR で VHS をサポートしている日本ビクターとの関連が強かったこともあり、1980 年以降 VHD 方式を採用し、その市場導入のために研究所を含めた、全社の多くのリソースを割いていた。一方、光ディスクに関しては、AV 事業部内での取り組みとして、デジタルオーディオディスク (DAD) に開発を集中させていた。このため第一世代の CD プレーヤの導入には、ソニー、日立などに一歩先行を許すこととなった。1985 年以降ビデオディスク市場で LD が優勢になりつつあったことと、CD の普及が急速に進みつつあった状況に対応すべく、当時発表されていた CD ビデオの再生可能な LD プレーヤとのコンセプトで、LX-300 を 1988 年に発売した。外観写真を図 7.26 に示す。

注) CD ビデオとは CD の内周部にオーディオデータを CD フォーマットで記録し、外周部には LD フォーマットで 5 分程度の映像信号を記録可能とした CD フォーマットの一種である。

この松下電器の最初のプレーヤにおいて、PU は自社開発の CD 用の PU 開発を改造して使用し、再生用の回路はヤマハにより開発された LSI を使用し実現したものである。このプレーヤには、当時、やはり

始めていたカラオケを家庭でも楽しめるよう、曲をダイレクトに選曲するための10キー、マイク端子、リバーブ機能などが付加されていた。



図 7.26 松下電器のLD/CD/CDV コンパチブルプレーヤー LX-300の外観写真（パナソニック提供）

LX-300に続いて、1990年に高級LDプレーヤーLX-1000を市場に導入した。このプレーヤーの特徴としては①デジタルフレームメモリを使用したTBC（時間軸制御）を採用し、高画質化が図られると共にCLVディスクでの静止画再生などが可能となったこと、②3ライン分のメモリを使用したYC分離回路など高画質化のためのデジタル映像信号処理を導入したこと、及び③MASHと呼ばれるNTTと共同開発したD/Aコンバータを使用し高音質を図ったこと、及び④両面連続再生を可能とした点などである。①～③の機能を実現するのに必要なLSIはすべて松下電器内部で開発されたものを使用した。また翌年（1991年）には、上記三つの機能を備えた、普及型のLD/CDコンパチブルプレーヤーLX-101も発売された。図7.27にLX-1000の外観写真、図7.28にLX-101の外観写真を示す。



図 7.27 松下電器のLD/CD/CDV コンパチブルプレーヤー LX-1000の外観写真（パナソニック提供）



図 7.28 松下電器のLD/CD/CDV コンパチブルプレーヤー LX-101の外観写真（パナソニック提供）

VHDフォーマット支持の有力会社であった松下電器のLDプレーヤー参入はLD陣営として大きなメリットとなるため、パイオニアは、松下電器のLDプレーヤー開発に当たり、規格書だけでは表せない開発ノウハウまで開示し協力をした。VHD開発の影響もあり、反射型光ディスクの商品化には一部遅れをとったものの、LD/CDの開発商品化を通して、対物レンズ、PU、再生回路LSI、ディスク製造技術などをすべて自社内に持つこととなり、LD/CD以降の光ディスクの開発において、大きな役割を果たすことになる。

## 7.6 多機能化への取り組み

高級機器開発や回路の簡素化、低コスト化への取り組み以外に、LDの多機能化に対する取り組みも行われた。特にCD音声を記録するLDの開発後、このデジタル記録データを使用して多機能化を図る取り組みが行われた。さらに後期にはLDにハイビジョン映像を記録する取り組みが行われた。これらの開発について述べる。

### 7.6.1 ドルビーデジタルサラウンドの導入

絵の出るレコードとして開発されたLDにより家庭のリビングで映画を高画質かつ気軽に楽しむことが可能となった。より劇場に近い雰囲気を実現するため大画面のTVなどが開発された、当時、映画館で、映像効果を高めるために採用されていたサラウンドシステムをLDに導入することが検討された。

当初、アナログ2chの音声には、ドルビーサラウンドと呼ばれたアナログマトリックスタイプのサラウンドシステム音声記録されており、AVアンプなどドルビーサラウンド再生機能を持つ機器を使用すればサラウンド効果が楽しめた。この方式にはアナログステレオシステムと互換性があるという特徴があったが、リヤチャンネルがモノラルであることや、アナログマトリックス方式のため各チャンネルの分離が悪いなどの問題があった。一方ドルビーは映画館向けに、前方右、前方センター、前方左、後方右、後方左及び低域専用チャンネルの独立したチャンネルを持つ5.1chデジタルサラウンド方式を開発し実用化していた。

（1992年作、バットマンリターンズが初採用作品）

ドルビーデジタルサラウンドシステムでは、各チャンネル音声を48KHz、16bitでデジタル化して約1/10程度にデジタル圧縮し、トータルで640Kbpsのビット列にエンコードするものである。この方式では、圧縮技術が使われるものの、各5.1chは完全に独立してお

り、チャンネルセパレーションがよく効果的なサラウンド効果が得られる方式である。図 7.29 にドルビーデジタルサラウンド 5.1ch デコード部ブロック図を示す。

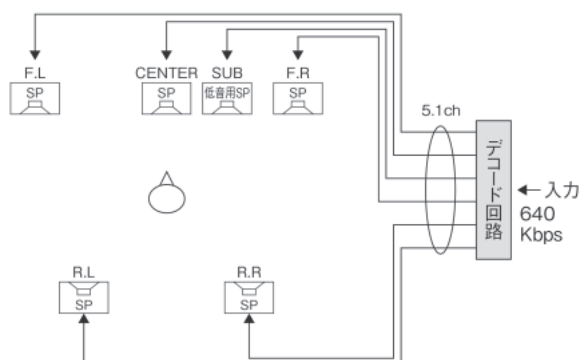


図 7.29 ドルビーデジタルサラウンド 5.1ch デコード部ブロック図

デジタル音声 LD を開発後、このデジタル音声チャンネル (1.4Mbps) を使用してこの、デジタルストリームを記録する方式が開発された。

このシステムと、ドルビーデジタルサラウンド AV アンプとの組み合わせによる、ホームシアターシステムは LD の大きな訴求ポイントとなった。また 1996 年に導入されたデジタル記録ビデオディスク DVD においてもこのサラウンド方式は採用され、ホームシアターのインフラは継承されることとなった。

以降、ドルビーデジタルサラウンドより高音質な DTS (Digital Theater Systems) もオプションとして採用された。

### 7.6.2 LD-ROM、レーザアクティブの開発

CD が発売された 3 年後、1985 年に CD にコンピュータ用のデータを記録するための規格 CD-ROM が開発された。デジタル音声記録 LD のデジタル音声部分に、この CD-ROM フォーマットを使用して、コンピュータ用データを記録し、記録された映像信号と組み合わせて、当時話題となっていたマルチメディアを実現する試みがなされた。

この方式は LD-ROM と呼ばれ、1989 年に発表された。このシステムを使用し、インタラクティブなゲームが高画質の画像およびサラウンド音響と組み合わせて楽しめる、レーザアクティブが発表された。

コンセプトとしては、後に開発され、ゲーム機の主流となった PS-1 シリーズや Xbox などと目指すところは同じであったが、アナログ記録映像と、デジタルで記録されたゲーム用のデータやプログラムの組み合わせが複雑になり、ゲームとしての面白さが追求でき

なかった点や、30cm とディスクの直径が大きかったことや、発売したシステムが高価であったことから、期待したほどの評価は市場からは得られなかった。

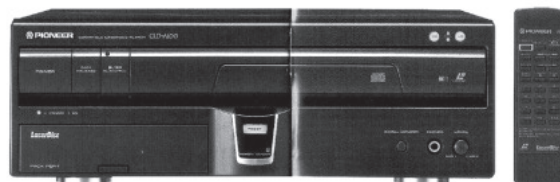


図 7.30 レーザアクティブプレーヤ外観写真

図 7.30 に、レーザアクティブプレーヤの外観写真を示す。また同時に発売された、レーザアクティブ用ゲームソフトの例を図 7.31 に示す。



図 7.31 レーザアクティブ用ゲームソフト

## 7.7 Hi-Vision LD の開発

1970 年代より、NTSC 方式に代わるべく、NHK により開発されてきた次世代テレビの仕様、ハイビジョンのスタジオ用規格が 1987 年 BTA S-001 として規定された。ハイビジョンの信号は従来の NTSC 方式の信号に比べ 7 倍以上の帯域を必要とし、このスタジオ規格のままでは割り当てられた放送用伝送帯域で放送することが不可能であった。そこで衛星放送 1 チャンネル伝送帯域 (27MHz) を利用して家庭へのハイビジョン映像配信を可能とするために、NHK により開発されたのが MUSE (Multiple Sub-Nyquist sampling Encoding) 方式であった。MUSE 信号の仕様を表 7.1 に示す。この MUSE 信号を光ディスクに記録する試みが行われた。MUSE 信号の伝送には 8MHz 以上の帯域を必要とし、LD の帯域 (4MHz) の 2 倍の帯域を必要とした。三洋電機は、1988 年に 780nm の半導体レーザを使用し、ディスクの回転数を 2 倍に上げることによ



り、再生帯域を拡大し、片面30分（両面60分）の再生が可能な MUSE 信号記録 LD を産業用として実用化し市場導入した。このプレーヤの外観写真を図 7.32 に示す。このプレーヤは業務用として、主に、MUSE 関連機器開発のための標準信号発生器として使用された。MUSE 方式の放送が開始されたのは 1989 年である。

表 7.1 MUSE 信号の仕様<sup>10)</sup>

圧縮方式	動き補正多重サンプリング
色信号多重	線順次 T C I 方式
走査方式	1125 本 / 60 H z 2:1 インタレース
MUSE 信号帯域幅	8.1 M H z ( - 6 d B )
リサンプリングクロック	16.2 M H z
水平帯域幅	Y 信号 20 M H z ( 静止部分 ) 16 M H z ( 動画部分 )
	C 信号 7.2 M H z ( 静止画部分 ) 4.0 M H z ( 動画部分 )
同期形式	正極性同期

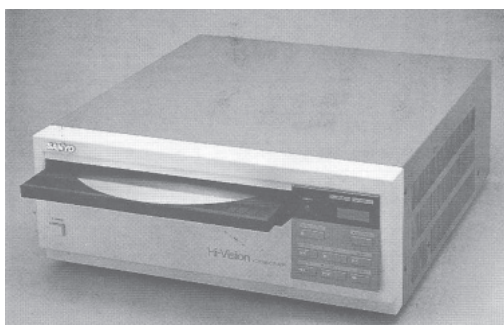


図 7.32 産業用 MUSE プレーヤ (三洋電機)<sup>10)</sup>

この技術を発展させ、1991 年、三洋電機、ソニー、東芝、パイオニア、松下電器産業の 5 社は MUSE 方式を採用した Hi-Vision LD の規格仕様を発表した。この規格の主な仕様を表 7.2 に示す。

表 7.2 Hi-Vision LD 規格の主な仕様<sup>10)</sup>

信号記録	映像信号	MUSE 信号
	音声信号	MUSE 音声信号
		EFM 音声信号 (多重レベル: -28±1 dB)
	キャリア周波数	12.5 M H z
	白黒周波数偏移	3.8 M H z
	パイロット周波数	2.278125 M H z
ディスク仕様	ディスク径	φ 300 mm
	記録領域	55 ~ 145 mm
	線速度	13.8 m/s ~ 15.2 m/s
	トラックピッチ	1.1 μ m
	再生時間	120 分
ピックアップ仕様	レーザー波長	670 nm
	対物レンズ NA	0.55

Hi-Vision LD の規格では 670nm の半導体レーザーと NA が 0.55 の対物レンズを使用した PU を用い、トラックピッチは 1.1 μ m である。これらの変更により、通常の LD の約 2 倍の記録密度を達成し、2 倍の帯域を確保しながら、LD と同じ再生時間を得ることが可能となった。

1993 年、この規格に準拠した Hi-Vision LD プレーヤをソニー (HIL-C1) とパイオニア (HLD-1000) が発表した。さらに 1995 年には、より高画質化を図った HLD-X0 がパイオニアから発売された。外観写真を図 7.33 ~ 図 7.34 に示す。当時は、Hi-Vision 用大型ディスプレイはブラウン管式のものしか存在せず、非常に高価であったことや、ハイビジョンの放送方式が、デジタルとアナログ処理が混在する MUSE 方式から、全デジタル方式に急速に移行する時期と重なったため、大きく普及することはなかった。しかし、より短波長 (λ = 670nm) の半導体レーザーの開発や、高記録密度記録のための LBR の開発は、次世代に主流となる DVD の開発のための技術に生かされることとなった。



図 7.33 Hi-Vision LD プレーヤ HLD-X1 (パイオニア)



図 7.34 Hi-Vision LD プレーヤ HIL-C1 (ソニー)

## 7.8 LD/DVD コンパチブルプレーヤの開発

LDに続く次世代ビデオディスクであるDVDの規格は1995年に策定された。DVDはCDと同じ直径12cmのディスクにMPEG-2と呼ばれる圧縮方式で圧縮した映像信号をデジタルで記録することにより、片面130分以上の映像が再生可能な方式であった。この方式に対応したDVDプレーヤは1996年に東芝、松下電器から発売された。パイオニアは、映像ソフトが揃わない中でのプレーヤの販売は大きくならないという経験を有していたこと、および、すでにLDのコンテンツを多数所有しているユーザの立場を尊重し、ソフトの継承性を重視するという立場から、同年末に世界初のLD/CD/DVDコンパチブルプレーヤ(DVL-9)を開発、市場導入した。DVL-9の外観写真を図7.35に示す。



図 7.35 DVL-9 の外観写真

このプレーヤでは、一個のスピンダルモータで3種の規格のディスクに対応したが、PUは新開発のDVD用と開発済みのLD/CDコンパチPUの2種類を使用する設計であった。この、ソフト資産を継承するコンセプトのコンパチブルプレーヤは、高価であったもののユーザに受け入れられ、DVDのソフトが充実してくるまでは大きなシェアを得ることが出来た。しかしながら、DVDのソフトの普及と共に、シェアは減少して行き、ビデオディスクプレーヤの主力はDVD/CDコンパチブルプレーヤへと急速にシフトしていった。その後、後継機種としてDVL-909、DVL-919などが発売されたが、特にDVL-919はパイオニ

アが2009年LD事業から撤退する際の最後の生産機種となった。図7.36にパイオニアの最後のLD/CD/DVDコンパチブルプレーヤDVL-919の外観写真を示す。



図 7.36 (パイオニア) 最後のLD/CD/DVDコンパチブルプレーヤDVL-919の外観写真

### 参考文献

- 1) 松丸隆：「光ディスク用非球面プラスチックレンズの超精密成型」、高分子講演会(東海)予稿集
- 2) 松丸隆：「CD、MOディスク用非球面プラスチックレンズ
- 3) パイオニア(株)監修：「レーザディスクブック」、ラジオ技術社(1986)
- 4) 辻重夫監修、金丸斉ほか：「光ディスクとビデオディスク」テレビジョン学会編、昭光堂(1989)
- 5) 金丸斉：「レーザディスクテクニカルブック」、ASCII science、アスキー出版(1986)
- 6) Draft-Amendment 2 to IEC Publication 857: "Pre-recorded optical reflective videodisk system "Laser Vision"60Hz/525lines-M/NTSC: Specification for Digital Audio 60B (Secretariat) 147, Dec. 1986
- 7) 「LV-X1/LV-X1 digital Technical Guide」、日本楽器製造(株)
- 8) 報道資料：「ヤマハレーザビジョンプレーヤLV-X1」日本楽器製造(株)1985、9月
- 9) 報道資料：「マルチレーザプレーヤ 新発売」松下電器産業(株)1988、7月
- 10) 日置敏明：「広帯域映像信号の光ディスク記録フォーマットとその再生システムに関する研究」、静岡大学博士論文、1997、1月

## 8 | LD のアプリケーションと市場

前章まではLDに関する技術開発を軸に話を進めてきたが、本章ではLDのアプリケーション、市場の状況について述べ、産業としての市場の規模、位置付けについて記述する。

8.1節にビデオディスクのフォーマット争いの経緯について記述し、8.2節に民生AV市場、8.3節にカラオケ市場を含む産業用応用について述べ、8.4節で総括的に、LD市場（ビジネス）がどのような規模内容で推移したか、その開始から終了までを述べる。

### 8.1 日本におけるビデオディスクフォーマット争い

第2章に述べたように、絵の出る夢のレコードとして多くの方式が、巨額な開発費を投じて開発された。TeD方式は、実用化されず、CED方式は1981年に市場導入されたが、思惑通り市場が立ち上がらず1986年に市場から撤退をした。日本ビクターが開発したVHD方式は、LD方式の光ディスクと、主に日本国内で1978～1989年のあいだ激しい主導権争いを演じた。

3章以降で説明したように、1970年代半ばから反射型光ディスクの開発に一本化していたパイオニアは、Philips及びMCAの技術を導入し、1979年に産業用プレーヤPR-7820、1980年に民生用プレーヤVP-1000（米国向け）、1981年には民生用プレーヤLD-1000（国内向け）を相次いで市場導入しビジネスを開始した。

一方、日本ビクターは、ランダムアクセスがやりにくい、再生針の寿命が短い等のCED方式の欠点を改良した、溝なし静電容量記録方式のVHD方式を1978年に発表した。日本ビクター社は、当時、民生用VTRで主力になっていたVHS方式の開発メーカーであり、映像ビジネスに深く入り込んでいたことや、LPレコードの生産にも大きな実績があったことなどから、おもにVHSを支持しているメーカーを中心に多くの日本メーカーが賛同、支持の意を表わしていた。主なVHD支持メーカーは、国内の日本ビクター、松下電器、東芝、日立などに加えて、海外メーカー2社を含む13社あまりであり、LD方式はパイオニア1社であったため、世間的には13対1のフォーマット戦いとして話題になった。

VHDは、当初1981年に市場導入を予定していたが、ディスクの量産品質の問題などの影響により、本格的市場導入は2年遅れの1983年になった。日本ビクターや松下電器等が、民生用プレーヤを市場導入

し、市場での競争が本格化した。1984年パイオニアがデジタル音声付LD及びLD/CDコンパチブルプレーヤ（CLD-9000）を市場導入以降、それまで態度を不明確にしていた、ソニー、ヤマハや、それまでVHD支持を発表していた、多くの国内メーカーがLDプレーヤ市場に参入を開始した。

VHD方式に関しては、OEMでプレーヤ販売を行うメーカーはあったものの、自主開発でVHDプレーヤを開発、発売するメーカーは日本ビクター以外なかった。

市場が、光ディスクの先進性を認めて大きな流れとなっていく中、日本ビクターは1987年民生用VHDプレーヤ市場からの撤退を発表し、1992年には産業用カラオケ市場からも撤退することを発表した。

市場でのフォーマット争いでLDが主流となった原因として以下の点が考えられる。

- 1) VHDのフォーマット発表時（1978年）には、特性、予想コスト、機能はLDより優れていた点が含まれていたが、特にディスクの量産化技術の開発に手間取り製品の市場導入が1983年にまでずれ込んでしまい、導入時のプレーヤやディスクの価格もLDに対し特に優位性があるものではなかった。
- 2) VHD方式への支持会社は多かったものの、本格的にVHDの実用化開発をする会社は少なく、実用化開発は日本ビクターを中心として行われた。一方LD実用化開発は、述べてきたとおり、パイオニア1社を中心として行われていた。しかしながら、VHD支持を表明した多くのメーカーも、オーディオディスクに関しては、反射形光ディスクが本命と考えて開発投資を継続しており、最終的には1980年Philips/SONYの開発したCD（Compact Disc）に一本化され、1982年には各社からプレーヤが市場導入された。このことは各社内でも、光ディスクに対する認識が高まって行ったことを意味し、また、光ディスクの開発インフラが、プレーヤ製造メーカーだけでなく関連する光学機器メーカーや、半導体部品メーカーに広がっていったことを意味する。
- 3) 1984年に導入されたデジタル音声記録LDやLD/CDコンパチブルプレーヤの導入が、民生用AV機器メーカーにインパクトを与え、またユーザ（市場）にもCDを含めた反射型光ディスクの先進性がうけいれられた。
- 4) 1982年に発売された業務用カラオケは1984年以

降、大ブームとなり、ビデオディスクビジネスの中心となった。この市場では、酒場などの使用環境が悪い中での安定動作の必要性、人気曲へのアクセス集中など、非接触式のLD方式の技術的優位さが生かされ、この市場で圧倒的な支持を受けた。

## 8.2 民生市場 (ホーム用アプリケーション)

絵の出るレコードとして、家庭で映画館にいるような絵と音を楽しむためのシステムとしてLDプレーヤーと、大型画面テレビや高音質スピーカを組み合わせるシステムの提案が導入当時から行われていた。たとえばLD-1000との組み合わせによるビジュアルコンポシステム(1982年)の提案例を図8.1に示す。LD-7000導入時には家庭用のテレビに接続し気軽に映画を楽しむ提案や、オーディオ装置とモニターテレビに接続し高画質、高音質で映像を楽しむ提案が含まれていた。当時のテレビはブラウン管タイプのものであり、30インチのテレビが大型の部類に入る時代であった。図8.2参照のこと。



図8.1 LD-1000を使用したビジュアルコンポシステム提案例(1982年パイオニアカタログより)

●ハイクオリティな音と映像。  
レーザーディスクは新しいビジュアルの世界を演出します。



●お手持ちのテレビ、ステレオで手軽に楽しめるLD-7000



図8.2 リビングでの提案例(1983年パイオニア株カタログより)

また1984年CDコンパチブルプレーヤーが市場導入されてからは、オーディオ(CD)も映像(LD)も光ディスクでAVを楽しむためのシステムが提案された。また、より大型のプロジェクションタイプのTV(40-50インチ)も開発され、これらを組み合わせたより大型のシステムも訴求され発売された。



図8.3 大型プロジェクションテレビ(50インチ)と組み合わせたシステム提案(1989年パイオニアカタログより)

産業用のカラオケシステムについては8.3.3項で詳しく述べるが、家庭で気軽にカラオケを楽しむための民生用カラオケプレーヤーやシステムも発売された。家庭用カラオケプレーヤーは、通常のLDプレーヤーに、楽曲アクセス用の10キーを配置し、マイクミキシング回路、リバーブ回路を付加したものであり、TVに接続すれば簡単にカラオケが楽しめるようになっていた。家庭用カラオケプレーヤーの例としてCLD-K8の外観写真を図8.4に示す。その他に、図8.5に示すカラオケプレーヤー、アンプ、スピーカシステムを一つのケースに格納した一体型カラオケシステムLK-88も発売され、家庭用カラオケ機として根強い人気を誇った。



図8.4 家庭用カラオケプレーヤーCLD-K8の外観写真

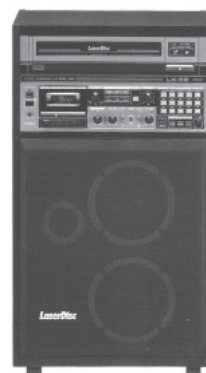


図8.5 家庭用一体型カラオケシステムLK-88の外観写真

### 8.3 産業用市場

LDの使用用途として映画鑑賞以外にも、そのランダムアクセス機能や、非接触式のため高い耐久性を有するなどの特徴を生かして、産業用映像展示、ゲーム応用、マルチメディア映像出版など、多くの応用が期待されそれぞれ試みがなされた。

#### 8.3.1 ショー、展示応用

LD発売当時（1980年代）にはランダムアクセスができ、扱いの容易な映像メディアはLD以外には存在していなかった。また、当時のPC（パーソナルコンピュータ）のグラフィック性能は非常に弱く、動画映像を再生することは不可能であった。このため、LDプレーヤを専用のコントローラやPCと組み合わせたシステムが、映像展示用に開発された。このシステムの基本構成を図8.6に示す。LDプレーヤはPCについているRS232Cポートを通してコントロールされ、PCの出力映像（主にテキスト文字）と、LDの出力映像は専用回路（図ではSUPER IMPOSERと記述）を通して合成されテレビモニターに出力される。全体をコントロールするプログラムはPC上に蓄えられており、必要なインタラクティブ操作はキーボードから入力されて行われた。

また、図8.7に示すように、より大きなシステムとして、例えば、図書館、美術館や博物館などで使用する、複数の端末からの入力により複数のLDに記録されたライブラリから必要な映像を検索し表示する、マルチ検索システムも開発された。コントロール用のPCが、複数のキーボードからの入力を受け、イン

ターフェース制御回路を通して複数のLDプレーヤをコントロールすると共に、ビデオスイッチャを適切にコントロールすることにより、複数のLDにまたがって記録された映像ライブラリがまるで一つのライブラリであるかのように扱うことが可能となった。

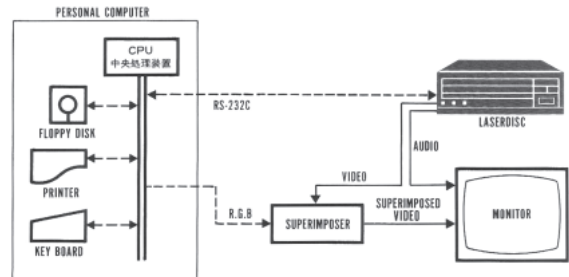


図8.6 PCとの組み合わせによる展示システム（基本形）

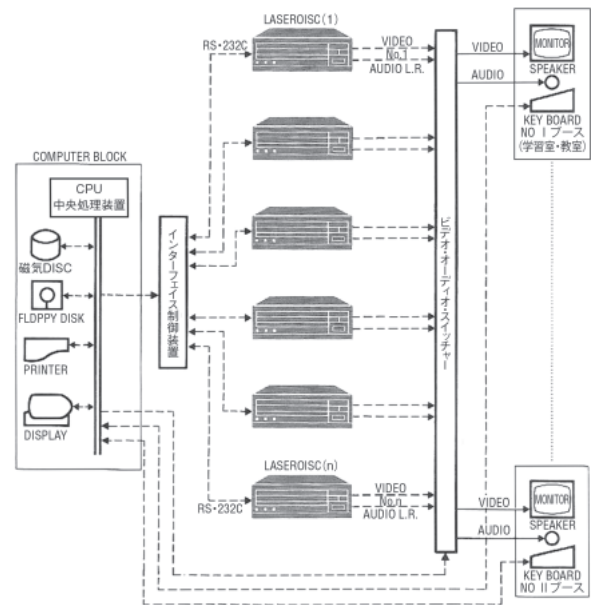


図8.7 複数のLDプレーヤを使用した検索システム

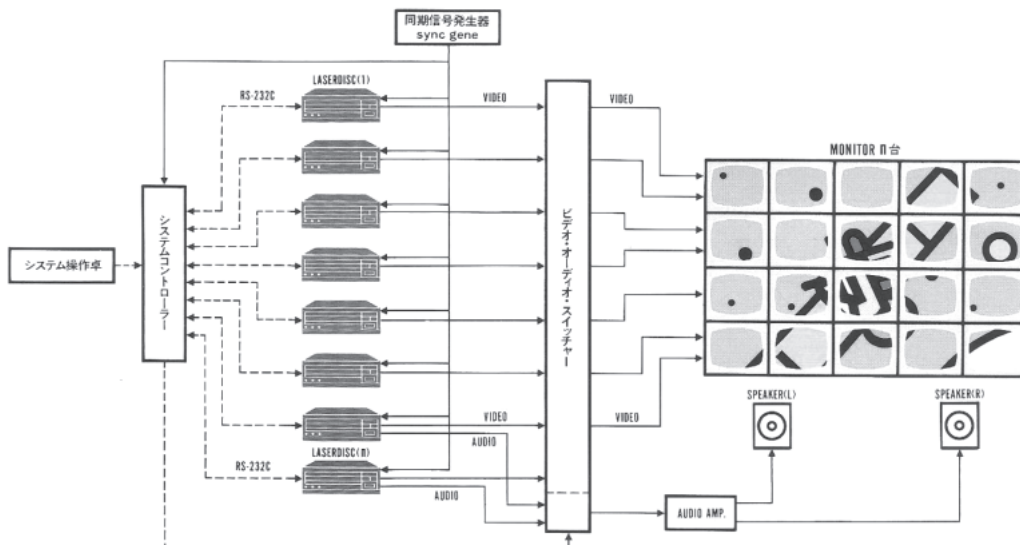


図8.8 マルチスクリーンシステム構成例

また、ショーなどの複数のモニターテレビを組み合わせた、大型ディスプレイ向けや、マルチスクリーン向けシステムも開発され、エレクトロニクスショーやモーターショーなどで大量に使用された。

4画面、9画面など比較的小規模のものから、図8.8に示す20面以上のシステムに対応可能であり、全モニターテレビを使って1画面を構成したり、それぞれのモニターテレビに別々の映像を表示することが出来、多彩な映像表現が可能となった。

### 8.3.2 学習、教育市場

LDに記録された映像、音声を何度も反復することにより、学習効果を高めることが可能なため、学習や社員教育の現場に導入された。図8.9に英会話学習機に使用した例を示す。

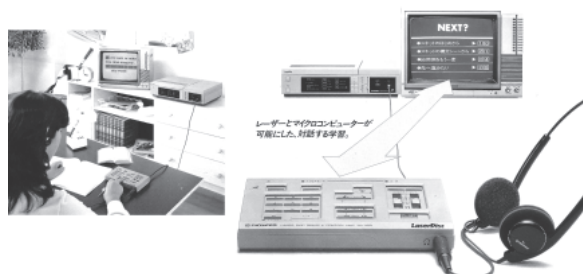


図 8.9 LD を使用した対話型英会話学習機

また、図8.10に示すように、入力を容易にするため、入力にキーボードを使用せず、テキストに書かれたバーコードをスキャンし入力に使用する対話型学習システムも開発された。

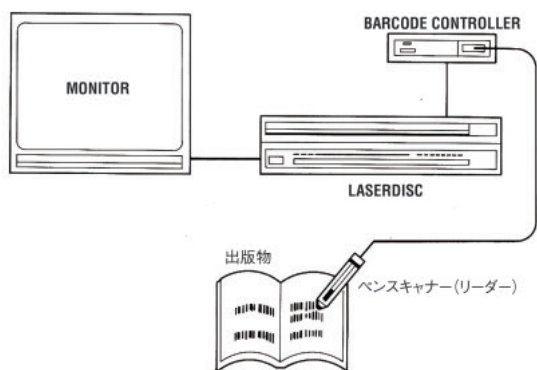


図 8.10 バーコードを使用した対話型学習システム

### 8.3.3 LDカラオケ市場

前節で述べたように、LDは産業用途として、多くの応用が期待され、多くの取り組みがなされていたが、現実には大きな市場を形成したのはカラオケへの応用であった。パイオニアは1982年業務用のカラオケ

を“レーザカラオケ”の名前で市場に導入した。当時のカラオケは、8トラックの磁気テープカセットを使用し、小規模の店での使用が主なものであった。また一部には1987年ごろから、東映芸能ビデオが始めていたVTRを使用し、音楽と歌詞つきの映像を供給するVTRカラオケシステムも導入されていたが、一部の高級店にだけ限られていた。VTRでなく、LDを使用することにより、ランダムアクセス機能を利用し選曲が容易に実現でき、利用者は、LDに記録された映像により、画面に順次表示される歌詞を見ながら、容易に歌うことが出来るばかりでなく、曲に合致した背景映像により雰囲気盛り上げると共に、聞いている人を含めてアミューズメント性、エンターテインメント性を高めることが可能となった。また、一般的にカラオケは人気曲にアクセスが集中するが、再生回数により、画質、音質が劣化することのない、非接触の光PUを持つLDの特徴を生かすものでもあった。

カラオケが急速に伸張していった他の要因として、ソフトの供給体制もあげられる。LDのような再生専用システムでは、コンテンツ(ソフト)が重要である。(ことは8.5節でくわしく述べる)カラオケの場合、最初に東映芸能ビデオがすでにVTRカラオケ用に開発していたソフトを自社でLD化するところから開始した。その後、LDカラオケの伸長をみたテープカラオケ販売の大手、第一興商、JHCが1982年にかけて参入しソフトの供給を始めた。その後、東芝EMIからは色変わりテロップ付のコンテンツが発売され始めた。コンテンツ(ソフト)の供給会社が自社のリスクでソフトを開発し市場投入を行うサイクルが短時間で構築できたことが、カラオケの急速な普及につながったと言える。

LDソフト売上額にカラオケが占める割合を図8.11に示す。図からわかるように、導入以来レーザカラオケは圧倒的な支持を受け急激な勢いで伸張して行った。

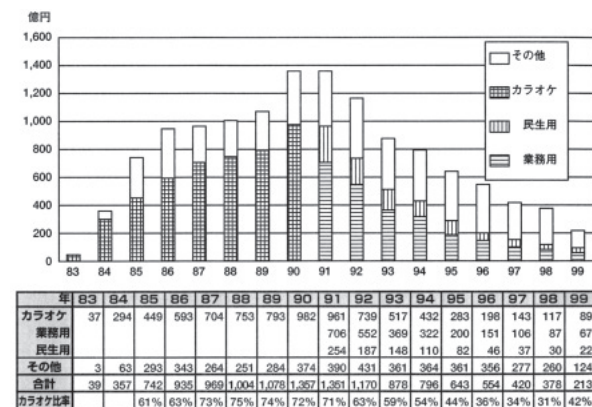


図 8.11 LDソフトの出荷金額とカラオケの占める割合<sup>5)</sup>

やがてカラオケは、初期の酒場でお年寄りが演歌を歌う市場から、カラオケボックスなどの登場により、友人や、家族とプライベートな空間で歌うことが多くなり、客層や曲目も変化して市場も拡張して行った。それに従い、オペレータが、1枚1枚LDを架け替えるマニュアル方式のシステムから、オーチェンジャーを使用したシステムが開発され、最盛期には複数のチェンジャーをコントロールし、複数の個室に映像を配信する、カラオケルーム向けの大型システムまで開発された。次節に詳細を述べる。

1990年までは順調に推移していたカラオケビジネスであるが、1991年バブルの崩壊により、酒場での需要が減少して行った。また、カラオケ人口の多くがカラオケボックス、カラオケルームに移行し、客層が若くなるに従い、新曲に対する対応スピードが重要となってきた。レーザカラオケの場合、新曲発売から1～2ヶ月かかるため、ユーザーズに対応することが難しくなってきた。一方、1992年には通信カラオケが導入されて新曲配信がスピードアップされ、映像はビデオCDに納めることが可能となり、システムの小形化、低価格化が進んだ結果、LDカラオケは急速に市場を失って行った。各業務用カラオケのタイプ別シェアの推移を図8.12に示す。

タイプ別シェア (%)		年												
		87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
タイプ別シェア (%)	LDマニュアル	33.2	44.4	46.7	46.5	49.3	47.7	41.3	38.1	17.9	14.8	11.5	8.0	6.3
	LDオート	5.9	9.6	12.1	14.9	17.4	20.0	20.4	20.7	11.3	6.3	6.4	4.7	4.2
	CD	9.7	18.7	17.3	21.0	22.1	21.3	24.5	22.5	25.5	21.6	16.4	13.1	10.3
	VHD	30.7	18.7	20.1	15.7	10.2	9.4	7.7	4.5	2.3	1.3	0.8	0.8	0.5
	通信カラオケ							1.3	5.9	37.2	41.8	52.2	62.7	66.9
稼働台数(万台)	その他	20.5	8.6	3.8	1.9	1.0	1.6	4.8	8.3	5.8	14.2	12.8	10.7	11.9
	酒場							28.0	28.0	26.0		32.0		27.0
	カラオケルーム							11.0	13.9	15.0		16.0		14.8
	その他							3.4	8.9	7.0		13.0		10.6
	合計							42.4	50.8	48.0		61.0		52.4

87～94：パイオニア（株）広報部発行カラオケ白書 タイプ別シェアは酒場のみ  
95～99：全国カラオケ事業者協会 カラオケ白書 タイプ別シェアは、稼働台数の6割以上を占めるディーラー管理のみ

図 8.12 業務用カラオケのタイプ別シェアの推移<sup>5)</sup>

### (1) レーザカラオケ用基本システム

絵の出るカラオケとして開発されたレーザカラオケの基本構成は図8.13に示すように、非常に単純な構成となっている。

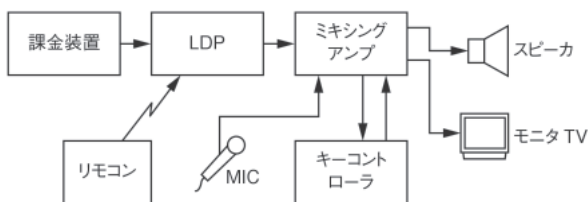


図 8.13 カラオケシステムの基本構成図

1曲200～300円程度の料金を課金するための課金装置ブロック、希望の楽曲を指定するリモコン、課金

装置とリモコンによって動作するLDプレーヤ、マイクミキシング機能つきアンプや、キーコントローラ、スピーカおよびテレビモニタで構成されていた。

店のオペレータが、客のリクエストに応じて、曲が記録されているLDディスクを選び、プレーヤに掛け再生をボタンを押すと曲が始まる仕組みであった。

カラオケ用のLDソフトは直径20cmと30cmの二種類があり、CLVで記録され、それぞれ両面で60分、120分の楽曲が記録された。図8.14で示すように、マニュアル操作システムではLDのソフトを安全かつ、記号順に収納するための専用ケースと一体化されたシステムが発売された。

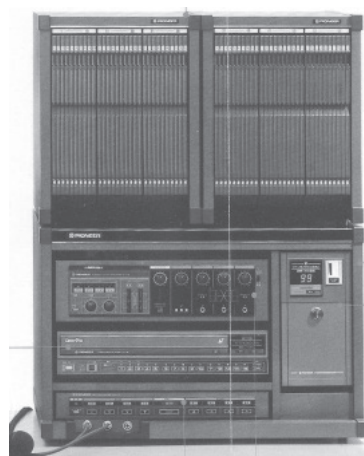


図 8.14 レーザカラオケ用マニュアルシステム (System1)

### (2) レーザカラオケ用チェンジャーシステム

レーザカラオケの人気の高まるにつれ、大型店舗でもその需要が膨らんできた。当時よく歌われていたカラオケ曲は2000曲程度ともいわれ、次々と入るリクエスト曲をLDケースから探し出しプレーヤにセットするためには、習熟したオペレータが必要となった。そこで、人手を掛けずに、かつ高速に曲を選曲するためのシステム（オートチェンジャーカラオケシステム）が開発された。

まず20cmディスク用60枚チェンジャーLC-V12が開発された。LC-V12の構造図を図8.15に示す。

このチェンジャーでは底部にLDプレーヤが置かれ、ディスクトレイからディスクを取り出し、垂直移動すると共に、必要に応じて、B面再生のためにディスクを反転させるアームフルアッセイと呼ばれる機構が使われている。

一方、30cmディスク用チェンジャーLC-V30ではディスクを反転しB面再生をするのではなく、2つのPUを使用し、ディスクを反転することなく、A面、B面の再生を可能とした。図8.16にLC-V30の構造図を示す。

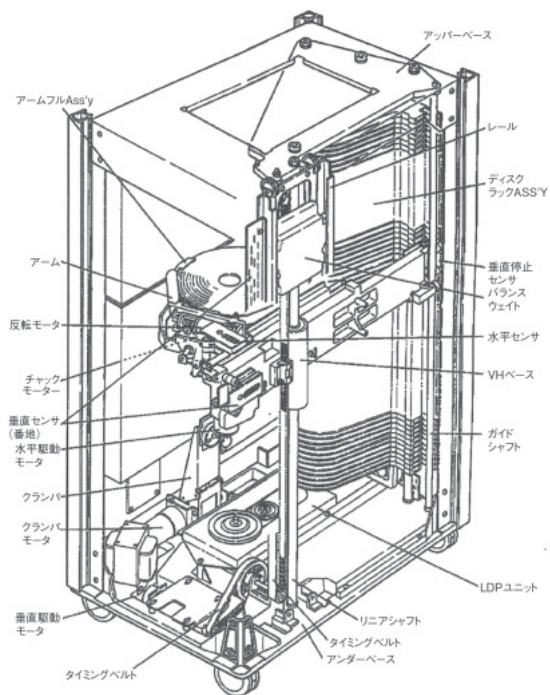


図 8.15 20cm ディスク用チェンジャーLC-V12の構造図<sup>6)</sup>

図からわかるように、主な構成要素は、A 面、B 面再生用に、専用の 2 組の PU を持つプレーヤユニット (VH ベース) とディスクを収納するためのディスクラック、及び、ディスクをラックから引き出し VH ベースにセットするためのディストレイから成っている。

VH ベースはコントローラの指示により、適切なディスクを引き出すための位置に、垂直方向に移動する。ディスクはディストレイに乗り、水平に VH ベース内に移動し、スピンドルにクランプされる。VH ベースには A、B 面専用の PU が取り付けられて

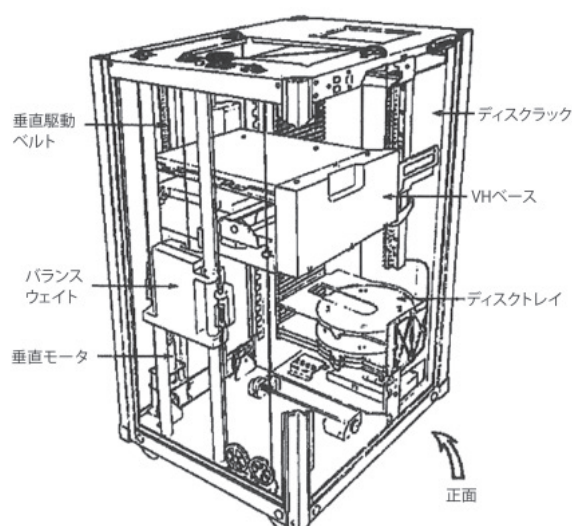


図 8.16 30cm ディスク用チェンジャーLC-V30 構造図<sup>6)</sup>

おり、ディスクを上下にひっくり返すことなく、どちらの面も再生可能となっている。LD は貼り合わせディスクのため A、B 面でそれぞれセンターの位置がずれる可能性がある。このため、再生する面にしたがってセンタリングを調整する、センタリング機構がディスクウランパー部には採用された。一連のシステム動作の概要を図 8.17 に示す。

カラオケ需要の高まりと共により収容枚数を増加させたチェンジャーシステムやアクセスを早くし、曲間待ち時間を少なくするため VH ベースを 2 台積んだシステムなどが開発された。主な開発されたチェンジャーは以下の通りである。

- 1) 1984年 LC-V12 20cmディスク 60枚 最大 1200曲
- 2) 1986年 LC-V30 30cmディスク 72枚 最大 2000曲

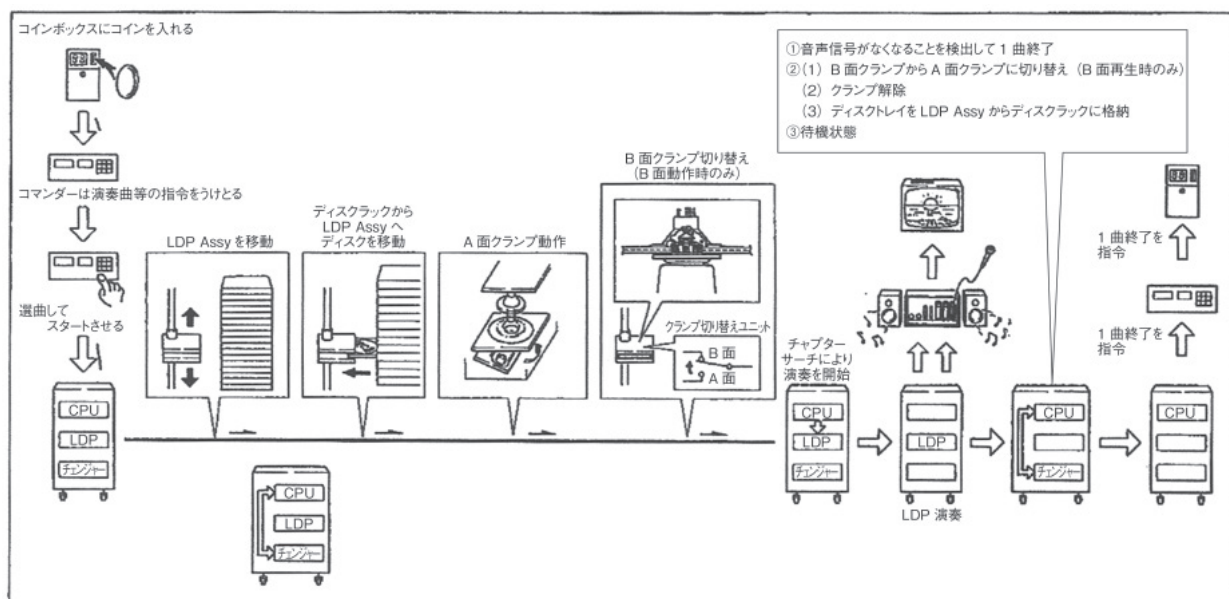


図 8.17 LC-V30 のシステム動作の概要<sup>6)</sup>



- 3) 1989年 LC-V50 30cmディスク 144枚 最大 4000曲
- 4) 1991年 LC-V80 30cmディスク 252枚 最大 7000曲

図8.18にLC-V12の外観写真を、図8.19にLC-V50の外観写真を示す。

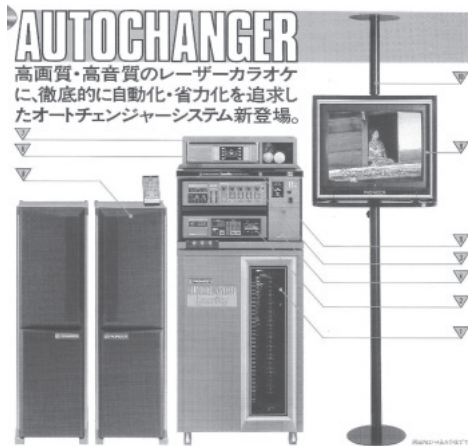


図 8.18 LC-V12 を使用したカラオケシステム



図 8.19 LC-V50 を使用したカラオケシステム

### (3) CCTV への応用システム

またカラオケが酒場需要から、カラオケボックス、カラオケルームへと需要が広がるにつれて、より多くの曲の再生が要求されるようになった。この需要に対応するために、チェンジャーを大きくする一方、複数のチェンジャーを並列に接続し、CCTV (Closed-Circuit Television) を通じてカラオケを楽しめるシステムが開発された。図 8.20 にシステム例を示す。

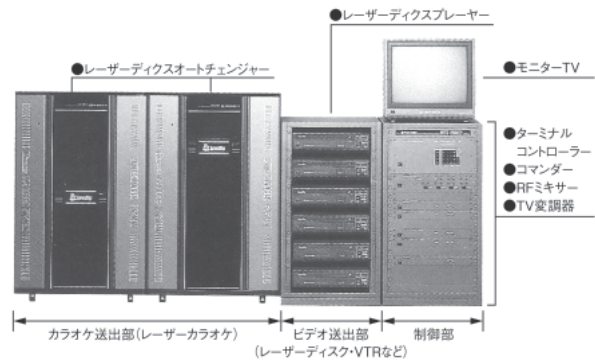


図 8.20 CCTV 用カラオケシステムの例

## 8.4 LD 市場の変遷

### 8.4.1 世界 (日本以外) の LD 市場の変遷

パイオニアは民生用のLDプレーヤーVP-1000を1980年米国で発売を開始し、翌1981年、日本国内向けLD-1000を発売して以来、AV、産業用、カラオケ用の市

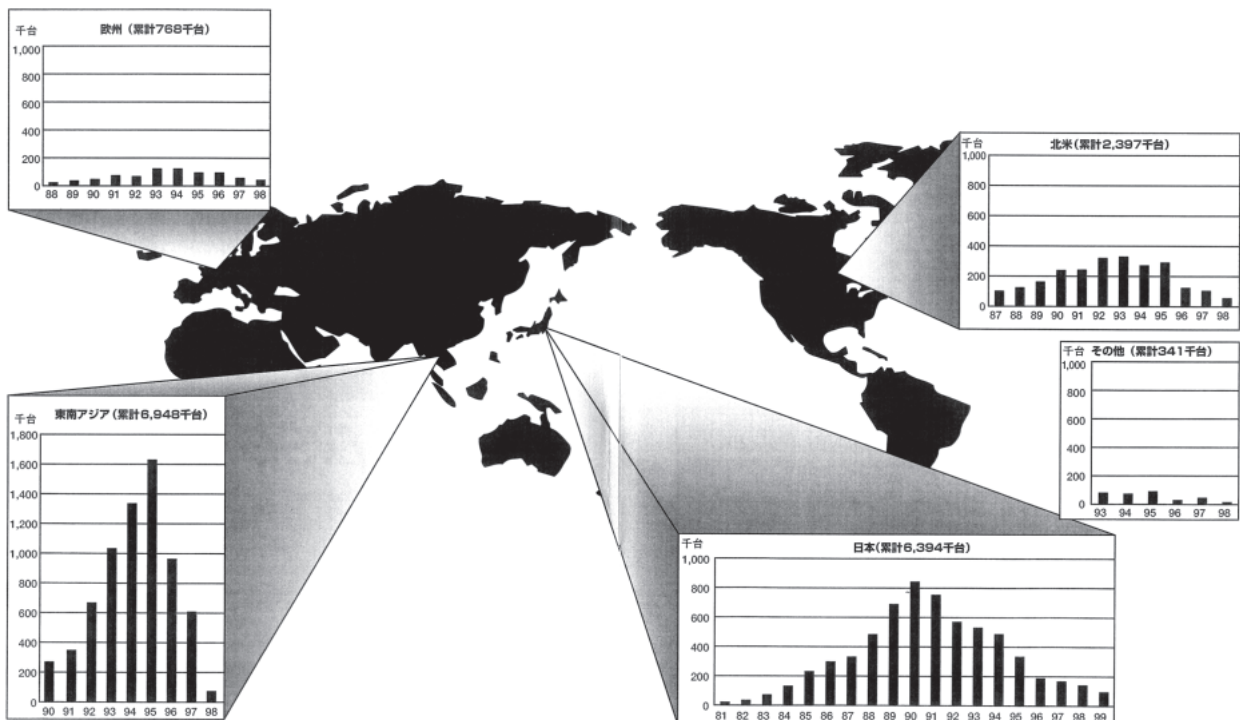


図 8.21 LD プレーヤーの全世界地域別販売台数の推移<sup>5)</sup>

場を形成して行った。特にカラオケ用のプレーヤは、1991年の日本国内でバブル崩壊により国内需要は激減して行ったが、アジア地区を中心にブームは継続し、1994 - 1995年に売り上げ台数のピークを迎えた。しかしながら、1996年のDVD発売を機に急速に市場のシェアを失って行った。1998年ごろから東芝EMIやダイヤディスク（三菱樹脂の子会社）、クラレ等がLD製造事業から撤退を始め、2007年には、世界で唯一残っていた、メモリーテックのLDディスク生産ラインが停止された。またパイオニアも2009年、LD/CD/DVDコンパチブルプレーヤDVL-919など4機種合計3000台の製造をもって事業を終了した。

全世界、地域別のLDプレーヤの販売台数の推移を図8.21に示す。

欧州地区は、PAL方式のため、対応ソフトの品揃えに苦勞したことや、ソフトの品揃えが豊富な北米地区からNTSC方式のLDソフトやLDプレーヤを輸入して販売する商売が行われ、大きな市場を形成するに至らなかった。（ピークは1993年で12万台）

北米地区では、大きなリビングでプロジェクションタイプの大型テレビを使用し、LDで高画質の映画を楽しむ市場が高所得層に受け入れられ一定の市場を得ることに成功したが、一般層ではVHSレコーデッドテープにより映画を鑑賞することが一般化し、大きな市場とはならなかった。（ピークは1993年で33万台）

中国を含む東南アジア地区ではカラオケ需要がけん引役となり、日本のバブル崩壊後（1991年以降）に全地域で最大の販売台数となった。（ピークは1995年で163万台）

#### 8.4.2 日本のLD市場の変遷

日本ではカラオケの比重が大きく、ピークの1991年では70%以上がカラオケ用途である。（詳細は図8.11 LDソフトの出荷金額とカラオケの占める割合参照のこと）

1991年以降、日本におけるカラオケ市場は急速に減少して行ったが、その中で比較的大きなシェアを占めた用途は、アニメである。大友克洋の“アキラ”や“攻殻機動隊”、庵野秀明の“エヴァンゲリオン”に代表されるリアルで緻密な描写は、今までのアニメと違うジャンルを確立し、ジャパニメーションと呼ばれコアなマニアの熱い支持を得た。高画質の動画が記録できるLDはこれら作品を記録するのに最適であり、1996年DVDが発売されるまでLDのソフトの重要な分野となった。

図8.22に日本国内でのカラオケ用途を除いたLD

ソフトの売上げ金額とその内訳の推移を示す。

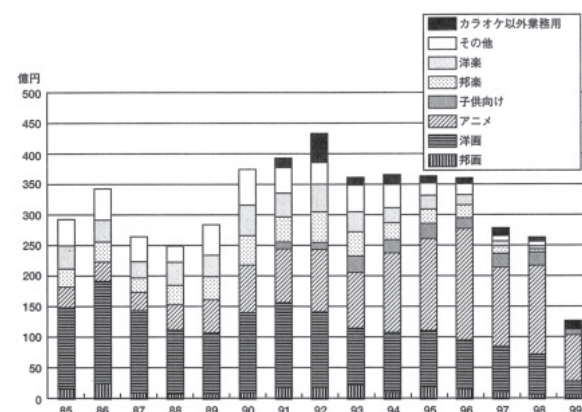


図8.22 カラオケ以外のソフト売り上げ内容の推移（日本）<sup>5)</sup>

図からわかるように1991年ごろまでは洋画ソフトの売り上げのシェアが大きかったが、以降、後述するVTRレンタルの普及の影響を受け、暫時減少していく。アニメのソフトは1991年以降、カラオケ用ソフトが急減した後も1996年までは売上金額が増加を続けた。また1998年では民生用LDソフトの売り上げの55%がアニメであった。この洋画とアニメの売り上げの推移を図8.23に示す。

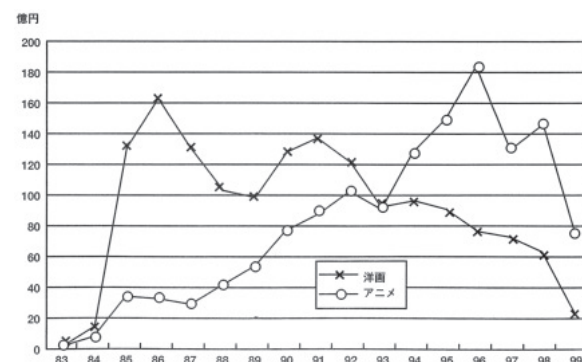


図8.23 洋画とアニメの売り上げ推移<sup>5)</sup>

#### 8.4.3 ビデオカセットとの比較

LDは映画などの映像作品を記録したディスクを販売し、ユーザはそのディスクを購入し映像を楽しむシステムである。一方VTRはユーザが映像を記録し保存するか、後から鑑賞するためのシステム（タイムシフト）であったが、VTRの普及により、VTRにあらかじめ映画などの映像作品を記録し、この記録したVTRカセットをLDと同じようにユーザに販売することが行われるようになった。アメリカにおいては、もともと記録保存のための用途は少なく、映画などの鑑賞にはレコーデッドカセットの販売が主であった。

日本においてもLDと平行してレコーデッドカセッ

トの販売が開始された。図 8.24 に日本における LD とレコーデッドカセットの売り上げ推移を示す。

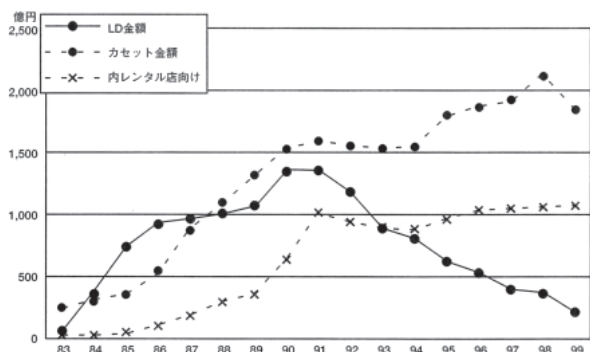


図 8.24 日本における LD とレコーデッドカセットの売り上げ推移 (JVA 資料) <sup>5)</sup>

1987 年までは LD のソフト売り上げが勝っていたが、1991 年以降カラオケディスクの売り上げ減少に伴い急速に減少していった。一方レコーデッドカセットは 1998 年まで成長し続け、映像ソフト販売の主流となった。(レコーデッドカセットも 1999 年以降 DVD の出現により急速に減少していくことになる。) この成長は、日本映像ソフト協会加盟各社による正規のレンタルビデオビジネスの開始に負うところが多い。LD は高画質で、ランダムアクセスなど高機能であり、初期は LD のソフトのほうが安価であったにもかかわらず、主流になれなかったのは、タイムシフト機能活用のための VTR が一般家庭に普及していたこと、正規レンタルが伸びたことや、1990 年以降はカセットの市販価格が LD を下回ったことなどが考えられる。図 8.25 に LD、ビデオカセットの販売価格及びレンタル料金の推移のグラフを示す。LD も 1993 年にレンタルを開始したが、販売チャネルなどの問題があり、LD 普及のための大きな起爆剤とはならなかった。

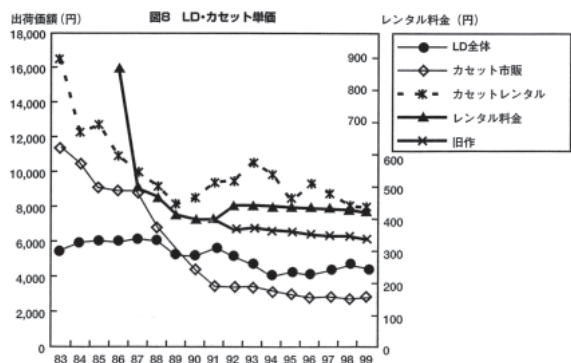


図 8.25 LD とビデオカセット単価、レンタル価格推移 <sup>5)</sup>

## 8.5 LD とコンテンツ

LD を含めビデオディスクはプリレコーデッドメディアと呼ばれ、レプリケーションにより大量にかつ安価に映像ソフトを複製し市場に供給することが可能なメディアである。このようなシステムでは、プレーヤ (ハード) が市場に受け入れられるためには、豊富な映像コンテンツ (ソフト) が必要である一方、ソフトが市場に受け入れられるためにはハードの普及が必要である。ソフトとハードは車の両輪である、あるいは卵と鶏の関係であると言われるゆえんである。VTR と違い、LD は録画機能がないため、市場立上げや発展させるためには魅力的なソフトが必要であった。すなわち、パイオニアが単独で LD 事業を開始するためには、今まで述べてきたような、プレーヤの技術開発/生産やディスクの技術開発/生産だけでなく、ディスクに記録するためのコンテンツをとりそろえる必要があり、特に人気のある洋画 (ハリウッド映画) のタイトル数が重要であった。コンテンツ供給側にとっては、プレーヤ台数の少ない新しいメディアに対し自社のリスク (費用) でタイトルを出版することは考えられなかった。このため LD 事業立上げ時にパイオニアはコンテンツプロバイダーからソフトを買い付け、自社のリスクでディスクソフトの生産販売を行い、VHD とのフォーマット争いの最中は、VHD 陣営とのハリウッドスタジオ (作品) の囲い込みは激しいものとなった。フォーマット争いがほぼ終了した 1985 年以降になっても、自社の事業として LD に取り組むスタジオは現れず、この状況は、映画タイトルに関しては、LD 終了までほとんど変わらなかった。

一方、カラオケの場合、第一興商、東映ビデオ等のコンテンツの権利を持つプロバイダーが、最初から自社のビジネスとして参入し、結果としてさらに市場が広がるという拡大サイクルが作られ、カラオケビジネスの成功要因となった。また後年開発された DVD の場合、最初の段階からコンテンツプロバイダー (ワーナーホームビデオ) がフォーマット開発に参加し、自社のリスクでソフト供給ビジネスに参加したことは、DVD が急速に普及した一因となった。これらの事実はプリレコーデッドメディアにとって、いかにコンテンツが重要であるかを示すよい例である。

### 参考文献

- 1) 荒井敏由紀：「パイオニア 1-13 の賭け：孤立からの逆転」、日本能率協会 (1990)

- 2) 本田晋介：「パイオニア LD 戦略会議室」、日本文芸社（1991）
- 3) 「業務用レーザーディスクガイドブック」パイオニア株式会社・産業システム営業部（1992）
- 4) 小林啓志：「カラオケのマーケティング史」、同志社商学 1（6）、同志社大学商学会（2010）
- 5) ビデオディスク協会編：「レーザーディスク小史」、ビデオディスク協会（2000）
- 6) パイオニア(株)監修：「基礎技術ハンドブック」、パイオニア株式会社（1988）
- 7) 金丸齊：「レーザーディスクテクニカルブック」、ASCII science, アスキー出版（1986）

## 9 | LDの開発と日本の光ディスク開発

今まで説明してきたビデオディスクの開発と、デジタルオーディオディスク (DAD) の開発を、同じパッケージメディアである VTR の開発と合わせて年表にしたものを図 9.1 に示す。図から明らかなように、ビデオディスクの開発は、1970 年代以前には欧米の各社により行われていた。1975 年前後になると、家庭用 VTR (ベータ方式や VHS 方式) の開発、市場導入などで実力をつけてきた日本のメーカーにおいても、ビデオディスクを次世代の有力商品の候補として取り上げ始め、欧米で先行開発されていた各技術の検討を開始した。日立、東芝、三菱電機、三洋電機、ゼネラル、松下電器、日本ビクター、パイオニアなどが各社の判断で基本技術を導入し研究開発を開始した。三洋電機、ゼネラルは早い時期から TeD 方式の検討を進めていたが、1975 年以降、開発を中止している。製品化をめざして開発を行っていたゼネラルのビデオディスク開発技術者の一部は、パイオニアに移り LD 方式のビデオディスクの開発に従事することになる。松下電器は TeD に似た機械式圧電検出方式である VISC を独自開発し 1977 年に発表した。その後改良を加え 1979 年に発表した VISC の改良型 VISC-O-PAC は 22.5cm のディスクで 60 分の映像が再生可能なシステムだったが、商品化は行わず 1980 年に VHS で深い関係にあった日本ビクターの開発した VHD 規格陣営に参加した。松下電器が VHD 規格を支持した影響は大きく、通産省 (当時) が国産規格による統一を呼びかけたことにもあり、VHD 規格支持会社は一気に増えていった。これに対しパイオニアは、基本的に LD 方式が優れており、技術発展のためやユーザーのためにも安易な規格統一を良しとせず、規格は市場が選択すべきだとの立場から 1 社単独で LD の市場導入に踏み切った。1978 年に VHD 規格が発表されてから、1979 年の LD 市場導入、1983 年に VHD の市場導入、1985 年の LD/CD コンパチブルプレーヤの開発など、2 陣営は、市場および開発において激しい戦いを演じた。その後 LD 方式の優位が確定した 1987 年松下電器は LD/CD コンパチブルプレーヤを開発し LD 市場に参入した。日本ビクターは、LD ソフトビジネスには参加したものの、1996 年に導入された DVD に参加するまで、光学式ビデオディスクプレーヤ市場には参入しなかった。パイオニアはすでに述べてきたとおり、1979 年に LD を市場導入して以来、この規格を常にリードする役割を担ってきた。その活動は、新たな技

術を開発導入することだけでなく、LD 陣営に参加するメーカーに対し、光ディスクシステムに必要な互換性を確保するための、規格書だけでは表すことの出来ない設計ノウハウの開示、指導も行ってきた。1984 年には日本を中心としたアジア太平洋地域で 38 社が参加し“レーザビジョンアソシエーションパシフィック (LVAP 協会)”を設立した。LVAP の会員はプレーヤのハードメーカーだけでなく、ディスク製造メーカーや映像コンテンツ供給、制作会社も含まれており、市場情報交換だけでなく、互換性問題などの技術問題も取り扱っていった。

前述したように、1975 年前後の日本の各電機メーカーでは、各種ビデオディスク方式の評価は研究レベルで行われており、特に反射型光ディスク方式に関する研究は、会社がどのビデオディスク陣営に参加したかに関係なく地道に行われていた。ただしその時点での各メーカーにおけるビデオ機器に関する開発の主流はあくまで家庭用 VTR であり、ビデオディスク (LD) 開発を主流にしていたメーカーは 1 社だけであった。VTR 事業を行っている会社での反射型光ディスク開発に関わっていた開発技術者は、光ディスク技術の先進性、優位性を生かし実用化するためには、映像記録応用以外の新たな応用分野を見つける必要に迫られていた。そのような状況の中で研究者が目を向けた応用分野が、LP に代わる音楽を記録する光ディスクであった。ビデオ信号に比べ必要とする帯域の狭いオーディオ信号は、デジタル信号のまま記録しても、LD と同じ技術を用いれば直径 30cm のディスクで数時間、あるいはより小型のディスクで 1 時間ほどの音楽が再生可能となる。このような反射型光ディスクにデジタルオーディオ信号を記録するデジタルオーディオディスク (DAD) の提案が 1977 年に行われた。ソニー (単独)、日立、日本コロムビア (2 社共同)、三菱電機、TEAC、東京電気化学 (3 社共同) の 3 種であった。また 1978 年には Philips より ALP (Audio Long Play) と呼ばれる DAD が発表された。これらの発表は、いずれも LD の記録再生技術を基にデータを記録したものであった。これらの発表を受け同年に、規格の統一を目指して、日本 25 社、海外 5 社、合計 29 社が参加し DAD 懇談会が発足した。DAD 懇談会は 3 種の方式を技術評価し、最終的には、1981 年、ソニー・Philips の提案した CD 方式、日本ビクターの提案した AHD 方式の 2 方式に集約し、どの方

式にするかは各社判断とすることとした。この活動に参加する中で、各社は光ディスク方式の優位さを確認でき、直径12cmで75分のデジタルオーディオが再生できる仕様の魅力もあり、1982年には、CDプレーヤのみが市場に導入されることになった。

年表からわかるように、PhilipsやMCAにより基本開発されたビデオディスク（反射型光ディスク）の技術は、まずパイオニアがビデオディスク（LD）の実用化に向けて1978年以降、エバンジェリストとして先進的に取り組み、レーザや光学部品を搭載した商品が民生市場向けに量産可能であることを示した。デジタルオーディオディスク（CD）に関してはソニー・Philipsが1981年以降、同様に取り組み業界を主導していった。CDは高音質や、先進的なイメージが受け入れられ、急速に市場に受け入れられていった。先行して市場導入していたLDにおいても、CDのデジタル音声が付加したデジタル音声付LDの開発や、LD/CDコンパチブルプレーヤの開発などで光ディスクの先進性をアピールすることが出来、市場の拡大にもつながり、前述したようにVHDに対する大きな差別化要因となった。このように光ディスク全体として大きな市場となることが明確となり、電機メーカーだけでなく、光学機器メーカー、製造装置メーカー、ディスク材料メーカー、ディスク製造会社を巻き込んだ大きな流れを作ることが出来た、また、参加した多くが日本のメーカーでもあった。その結果がCD以降の記録可能光ディスクや、DVD、BD開発で日本メーカーが中心的役割を果たす基礎となったと考えている。

ここで、LDの開発の中で特に重要だったと考えられる2つの点について考察する。一点はディスクの量産化の技術であり、もう一点はPUの開発であろう。

1) ディスクの生産技術：3章で述べたように、LDの最初の市場導入は1978年に行われ、その際のディスクの量産はMCA社により行われたが、生産されたディスクは量産品としてはディスク品質や歩留まりなど多くの問題を抱えていた。パイオニアでディスクの量産に取り組むにあたり、光ディスクの基本開発を行っていた研究者や技術者だけでなく、スピーカの振動板やホール素子を開発していた研究者や技術者で、蒸着技術や、プロセス技術の専門家も投入された。また、パイオニアは当時、小規模ながら半導体研究所を所有しており、そのクリーンルームに隣接する形で、マスタリングプロセス用のクリーンルームや、レプリケーション用のラインが作られた。4章でも述べたとおり、微細なほこりによる歩留まりの低下を防ぐ

ため、LBRは半導体のウエーハプロセスで使用するクリーンルームと同程度のクリーンルーム（クラス100程度）内に設置され、その前後の工程も、必要度にしながら、クラス1000~5000のクリーンルームが使用された。これら設備の稼動のために必要な設備や作業員の管理手法などは半導体製造での経験が生かされ、高品質、高歩留りの生産が可能となり、以降の量産の基本となった。また4.2.3項で述べたスノーノイズに対する対策として採用した、金属反射膜にドーピングしたり、反射膜形成プロセスの真空度をコントロールすることで、ディスクの経時劣化を抑制する方法は、その後の、基板がポリカーボネートとなったCD、DVD、BDにおいても、ディスクの信頼性を確保するための技術として現在も使用されている。

2) PUの開発：初期のLDに使用していたHe-Neレーザはレーザの質はよいものの、大型であり、また発振のために高圧回路が必要になるなど問題があり、光学PU用の半導体レーザの出現が待たれた。各半導体メーカーも反射型光ディスクの将来性に期待し開発を開始した。特に最初の開発ターゲットとなったのがCDである。CDはデジタル信号で記録再生されるため、信号品質に対する要求がLDほど厳しくなく、1982年の市場導入前に4万時間の製品寿命を達成した半導体レーザがシャープより発売された。その後、半導体メーカーも市場に参入してくるが、半導体レーザが本格的に量産され始めたのはCD用からである。1983年にパイオニアから発売されたLD-7000にはシャープにより開発されたLD用の半導体レーザが使用された。以降LD、CDさらにはDVDやBDの普及に伴って光ディスク用半導体レーザは日本のデバイスメーカーにとって重要な位置を占めることになる。

PU回路の小型化に関してはまず、樹脂製非球面単玉レンズの開発の成功が大きい。詳細は7.1節で述べたように、小西六写真工業が先駆けて成功した技術であり、このレンズもまずはCD用に開発され、LD用に改良されて使用された。松下電器は自社で、ガラスの非球面単玉レンズをプレスで生産する技術を開発し自社製品に組み込んだ。非球面レンズの採用により、対物レンズの軽量化が図られ、小型化、低コスト化が可能になったばかりでなく、PU設計の自由度が増し、後に開発されるDVD、BDへの対応やコンパチブル光PUの開発が容易になった。さらにOEICの採用などにより、PUの小型化だけでなく、回路の広帯域化が図られ、DVD、BDの高転送レートにも対応可能と

なった。5～7章で述べてきた、各世代別のPU開発と、開発技術項目について時系列的に俯瞰したものを図9.2に示す。

PR-7820に使用されたPU光学系からLD-1000用のPU光学系の開発にあつては、民生用に使用可能な範囲にコストを抑えることと、簡単なディスクの取り扱いが要求された。このため、基本的な光学系はほとんど変更せずに、高価な部品であったCCDを使用しないで済むようタンジェンシャルミラーが追加され、ディスクの取り扱いを容易にするため、対物レンズを含む光学系プラットフォームがスライダ上を移動する方式が採用された。

LD-7000用のPUの開発に関しては半導体レーザを使用して、PUの小型化を図ることが行われた。半導体レーザを使用するに当たっての問題点及びその解決方法に関しては6.2項に詳述した。このPUは半導体レーザを使用するため構成する光学部品を含め小型にすることが出来たが、基本的な光学系はLD-1000と同じものであり、より小型化、低コスト化の余地を残した設計であった。またチルト制御の必要性はかなり開発が進んでから確認されたため、チルトセンサ、チルト制御回路及び機構は後から追加した設計となっていた。

第三世代のPUは7.1.1項で述べたように、1980年にオリンパスから発表されたTAOHSの影響を大きく受けたPUである。2軸アクチュエータを使用し、時間軸制御は当時安価になりつつあったCCDを使用することにより、対物レンズ以外の光学素子の可動部をなくすとのコンセプトは同じではあるが、広帯域のアナログ信号を扱う必要のあるLD用PUの開発ノウハウを投入したものである。2軸アクチュエータの開発、光学系の基本設計のやり直し、OEICの採用、チルト制御回路の内蔵など多くの開発を要した。

次の大きな変化は、7.1.2項で述べた、小西六写真工業により初めて実用化された非球面樹脂レンズの使用である。樹脂にすることで、レンズの軽量化が図られ、レンズを駆動するアクチュエータが小型化され低コスト化が期待されるだけでなく、レンズにおいて非球面を自由に構成できるため、光学シミュレーション技術の向上とも相まって、光学的な設計の自由度が大幅に上がり、より小型のPUを構成する光学設計が可能となった。これらの技術は、DVD、BDの開発へと応用されていった。

これら光ディスク(LD/CD)のキーキ技術に世界に先んじて開発投資を行い、裾野を広げていったことや、光PUの量産が日本の得意とする、いわゆる“す

り合わせ技術”を必要としたことが、たとえば1990年以降、世界の光ディスクの市場において、日本のメーカーが大きなシェアを獲得できた要因である。また、台湾、韓国製の光ディスクドライブが優勢になり始めた、2003年度においても、光ディスク(DVD)の知的財産権の所有率やキー部品である光PUのシェア(70%)は圧倒的であった。

光ディスクの開発、実用化が本格化する1980年代以降には、1970年前後に積極的にビデオディスクシステムを研究、開発していた、欧米の民生用電気機器メーカーの多くはすでに力を失っており、会社名自体が存在しないか、存在したとしても業種転換していることは、時代の推移を感じる事実である。また、LD開発ではまったく、名前の挙がらなかった韓国系の電気メーカーもDVD規格化のころから開発に参加を開始しはじめ、BDの規格化においては重要な役割を担うようになってきたことや、その製品シェアが大きくなっていることも、同様に時間の推移を感じさせる事実である。

#### 参考文献

- 1) 岩村總一：「ビデオディスクとDAD入門」コロナ(1982)
- 2) 荒井敏由紀：「パイオニア 1-13の賭け：孤立からの逆転」、日本能率協会(1990)
- 3) 小林啓志：「カラオケのマーケティング史」、同志社商学1(6)、同志社大学商学会(2010)

年	ビデオディスク	デジタルオーディオディスク(DAD)	フィルム、テープ
1967			
1968			CBSがEVR(Electronic Video Recording System)を発表
1969			ソニー、日本ビクター、松下電器が業務用カセット型VTR U規格を共同発表
1970		日本コロムビアが業務用POM録音機の実用化(VTR使用)	CBSがカラーEVR発表 フィリップスがVCR方式VTR発表、Ampe、RCAもそれぞれ独自方式開発
1971			カートリッジ方式VTRの統一規格決定(EIAJ 統一I形)
1972	各ビデオディスク方式の発表開発時期		
1973	日本各メーカーは研鑽し、ベルでいるような方式を検討		
1974			
1975			
1976			
1977	デジタルオーディオディスクへの応用開発開始		ソニーが民生用VTRベータマックス方式発表 日本ビクターが民生用VTR VHS方式発表
1978			
1979			
1980			
1981			
1982			
1983			
1984			
1985			
1986			
1987			
1988			
1989			
1990			
1991			
1992			
1993			
1994			
1995			
1996			
1997			
1998			
1999			
2000			
2001			
2002			
2003			
2007			
2009			

図 9.1 光ディスクの開発年表




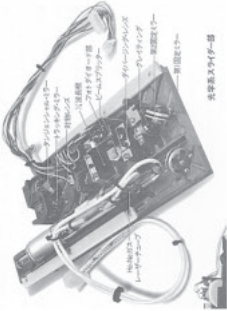



PR7820 1979年	LD-1000 1981年	LD-7000 1983年	LD-9000 1985年	CLD-99 1987年
				
<p>使用レーザー 対物レンズ材料 対物レンズNA ビームスプリッター フォーカス方向制御 トラッキング方向制御 タンジェンシャル方向制御 光学系プラットホーム チルトサーボセンサー 信号検出回路</p>	<p>He-Ne レーザ 4枚組みガラスレンズ NA=0.4 偏光プリズム アクチュエータ トラッキングミラー 無し (CCDによる時間制御) 筐体に固定 (ディスクが移動) 無し(不要) フォトディテクターとディスクリート回路</p>	<p>LD用半導体レーザーの開発 半導体レーザー採用に必要な光学系の設計および構造部品の小型化 チルト機構の採用</p>	<p>GaAs-Al半導体レーザー 3枚組みガラスレンズ NA=0.53 タンジェンシャルミラー PUJ上に付加 PUJ取り付けカバーに組み込み</p>	<p>OEIC内蔵GaAs-Al半導体レーザー 非球面樹脂レンズ1枚 コーティングハーフミラー</p>
<p>主な開発項目 光学系プラットホームの可動化 タンジェンシャルミラーの採用</p>	<p>主な開発項目 LD用半導体レーザーの開発 半導体レーザー採用に必要な光学系の設計および構造部品の小型化 チルト機構の採用</p>	<p>主な開発項目 2軸アクチュエータの開発 光学系の基本物理設計 OEIC採用など回路の小型軽量化 チルトセンサーのPUJへの組み込みおよび機構の駆光</p>	<p>主な開発項目 非球面樹脂レンズの開発 光学系部品の小型化、再設計 OEIC採用など回路の小型軽量化</p>	<p>主な開発項目 非球面樹脂レンズの開発 光学系部品の小型化、再設計 OEIC採用など回路の小型軽量化</p>

図 9.2 光PUの開発年表

# 10 | まとめ

ここまで、LD（レーザーディスクシステム）の開発、実用化に関して系統立てて調査をしてきた。私（筆者）自身はパイオニアの研究開発部門で、主に光ディスク関連の開発に携わってきたものの、仕事の中心はデジタル記録ビデオディスクの開発であり、LDの開発商品化に直接かかわってきたわけではなかったが、今回の調査にあたり、資料調査だけでなく、多くのOBの方にお会いして、直接インタビューする機会を得た。ほとんどのOB方に、昔を思い出して多くを語ってもらえ、当時の熱気の一部を感じることが出来たが、残念なことに、当時の開発に当たって使用した技術資料等はほとんど廃棄されていることがわかった。一方、LD事業はパイオニアが全力を挙げて取り組んだ新しい事業であり、レーザーディスクは何者かとの認知活動のための社員教育用、広報用の多くの資料が製本され残っていることが判った。本稿では、多くの部分を、その資料をよりどころに記述した。また世間的に見ても、“LDによる映像出版革命”、“13対1の戦い”など大きな話題を提供したこともあり、多くのビジネス書が発行されていることもわかった。またパイオニアだけでなく、オリンパス、小西六、ヤマハ、

ソニー、松下電器産業などの開発にかかわった方々にインタビューをこころみ、多くの貴重な情報、ご意見を頂いた。これら情報を出来るだけ客観的に系統的に記述するように試みたつもりであるが、LDはPhilipsやMCAで行われた基本開発以外は、パイオニアが主にリードしてきた規格／商品であるため、どうしてもパイオニアの社史／技術史としての記述が多くなってしまった点は反省している。

本調査に当たり、インタビューや資料提供でご協力いただいた以下の諸氏に感謝の意を表する。

ソニー(株)およびOB	井橋孝夫氏	木下淳氏
	山川明朗氏	赤塚弘道氏
ヤマハ(株)	村松秋弘氏	
三洋電機(株) OB	日置敏昭氏	
松下電器(株) OB	四角利和氏	
オリンパス光学(株)	中村均氏	
コニカミノルタ(株)	松丸隆氏	
パイオニア(株)およびOB	金丸斉氏	塚井好之氏
	坪井裕明氏	大平博之氏
	雨矢俊幸氏	黒田一男氏

附-1 EC 60857 Ed. 1.0 Pre-recorded optical reflective videodisk system 'Laser Vision' 60Hz/525 lines-M/NTSC の主なパラメータ

1) ディスク

材質	透明アクリル (PMMA 樹脂) 単盤 2 枚張り合わせ
外周半径	150±0.5mm (30cm 盤) / 100±0.5mm (20cm 盤)
厚さ	2.3~2.6mm
中心ホール直径	35+0-0.1mm
回転方向	反時計回り (読み取り側から見て)
記録速度	1 回転 / TV フレーム 10.1~11.4m/s
信号記録エリア	半径 55mm~145mm
開始半径	
リードイン	53.5mm 以下
プログラム	55mm 以上
最大半径	
プログラム	145mm (30cm) 96mm (20cm)
リードアウト幅	2mm 以上
トラックピッチ	1.4~2.0 μm
アンバランス	最大 1.5N
ディスク面振れ	+0.9~-1.2mm
最大加速度	100m/s <sup>2</sup> (f<1.1kHz)
最大振れ	±2 μm (f<1.1kHz)
トラック振れ	160 μm (p-p)
最大加速度	20m/s <sup>2</sup> (f<2.2kHz)
最大振れ	± 0.1 μm (f<2.2kHz)
最大 Time Base Error	
10 μs (p-p) (CLV)	
10 μs (p-p) (CAV 半径 55mm)	
4 μs (p-p) (CAV 半径 145mm)	
回転数	1800~600 r.p.m
再生時間	両面 60 分 (CAV) 両面 120 分 (CLV)
カートリッジ	不要

2) 信号方式

ビデオ信号	標準 NTSC カラー映像信号
信号形式	標準 NTSC カラー映像信号
メインキャリア変調方式	周波数変調
ブランキング周波数	8.1MHz±50kHz
変調度	1.7MHz±35kHz
オーディオ信号	
チャンネル数	独立 2CH
サブキャリア	
周波数:	2.3MHz (CH-1) 2.8MHz (CH-2)
変調方式:	周波数変調
変調度:	±100kHz
メインキャリアへの多重方式	パルス幅変調
メインキャリアに対する振幅	-26dB±1dB
ノイズリダクション方式	CX
コントロール&アドレス信号	
CAV	Lead-In Code Lead-Out Code Picture Code Picture Stop Code Chapter Number Program Status Code Users Code
CLV	Lead-In Code Lead-Out Code Program Time Code CLV Code Chapter Number CLV Picture Number Program Status Code Users Code

LD(レーザーディスク)技術 産業技術史資料 所在確認

番号	名称	製造年	製作者	資料種類	資料現状	所在	選定理由
1	LDプレーヤー LD-7000	1983	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	世界初の半導体レーザーを使用した民生用LDプレーヤー。従来のHe-Neレーザーを使用したプレーヤーに比べ、小型化、安定化、低コスト化が実現された。半導体レーザーをLDプレーヤーに使用するための技術、ノウハウが蓄積され、以降のモデルの原型となった。
2	LDプレーヤー PR-7820	1979	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	世界初の産業用LDプレーヤー。He-Neレーザーを使用し、産業用途に耐えうる信頼性を確保しつつ量産化を行った。パイオニアのLDプレーヤーの一号機である。MCAのプロトタイプ機をベースにしたが、光学部品やサーボ技術などLDの基本技術が確立された。
3	LDプレーヤー LD-1000	1981	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	日本初の民生用LDプレーヤー。He-Neレーザーを使用し民生用機としての信頼性とコストを両立させた。1980年にはVP-1000として北米市場に導入されていた。
4	LDプレーヤー CLD-9000	1984	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	世界初のLD/CDコンパチブルプレーヤー。当時普及しつつあったCDとのコンパチブルを実現することで、光方式の優位性を証明した。VHDとのフォーマット競争にも大きな影響を与えた。
5	LDプレーヤー DVL-9	1996	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	世界初のLD/CD/DVDコンパチブルプレーヤー。1996年に新たに導入されたビデオディスク、DVDとのコンパチブルを持たせることにより、導入時少なかったDVDのソフト不足をLDで解消することができ、LDソフトの所有者も新しいDVDを楽しめるとのコンセプトが受け入れられた。
6	LDプレーヤー DVL-919	2009	パイオニア(株)	量産品	倉庫に保管	山梨県中央市 西花輪2680	パイオニアがLD事業から撤退するに当たり、生産していた世界最後のLD/CD/DVDコンパチブルプレーヤー。
7	LDプレーヤー LV-X1	1985	ヤマハ(株)	量産品	ショールームに展示	静岡県浜松市中区中沢町	ヤマハの所有していた楽器用のLSI技術を用いて、大幅に部品点数などが削減したエポックメーカーキングな商品。
8	LD製品カタログ集	1979~1993	パイオニア(株)	製品カタログ集	ロッカーに保管	川崎市幸区 新小倉1-1	PR-7820から始まる、パイオニアのLDプレーヤーのカタログ集。製品だけでなく、LDとは何かを説明する解説書や、LDカラオケシステムや産業用システムの解説カタログを含み、LDのエバンジェリストとして活動した証となるものである。