

■ 要旨

1980年代後半から日本で本格的に始まった「光ディスク産業」の技術的足跡について、産業史的背景とともに述べている。

「ディスク再生」という単語は1970年代に発表された独国テレフンケン社の発表に遡る。この「ディスク」は1面で10分程度の動画を再生できるもので、ピックアップは今のようなレーザー光ではなく、「圧電素子」であった。これを現在の「レーザー光」読み出しに「変革」したのは1910年創業のかつてのベンチャー・日立製作所(株)の研究陣であった。その背景には、H. H. Hopkinsという1950年代に活躍した英国の物理学者の学術的成果^{*1}があった。また、パソコンで書き換えが可能な「記録再生」できる相変化記録膜を発明したのは同じく国内の松下電器(株)(現パナソニック)の研究陣であった。さらに、現在では圧倒的に安価な記録媒体として普及しているCD-RやDVD-Rに使われている「色素記録膜」の発明もまた日本企業・太陽誘電(株)の女性研究員であった。したがって、現在用いられている「光ディスク」の要素技術は「日本産業界の発明」と言っても過言ではない。

本著はこれらの経緯を紹介するとともに、1980年代に始まった「光ディスクの国際標準化」と、「デジタル映像記録」の先駆けとなった「記録型DVD」誕生のいきさつを含む、「技術の系統化」について詳述するものである。

一方、「産業史」として眺めた場合の「光ディスク産業」には、他の産業と同様に多くの「思い違い」や「想定外」の出来事が起こった。これらも記録にとどめておく必要性が高いと思われるので取り上げ、事実とその結果を記述した。その「代表」は、現在も「CD」として広く世に使われている120mm径ディスクとの互換を念頭に置かなかった「ISO標準化」の「失敗」であり、もうひとつは、「1回しか書き込みのできない」CD-RやDVD±Rの大成功である。その結果、やや混乱気味に林立したDVDフォーマットを用いた映像記録ディスクについても解説を加えた。

また「産業史」として「光ディスク産業」を眺めた場合、いわゆる「団塊の世代」が当時の主要な活躍世代であったので、どのような領域に重点配置され、どのように活躍したのかを探るため、特許庁の検索システム「Plat-Pat」を用いてこれを概観した。

これらの考察の結果として、一連の「光ディスク産業」史を「ゼロから立ち上がった1兆円産業」と、著者は呼称することにした。

■ Abstract

The paper outlines the traces of technology in the optical disk industry, which started in earnest in Japan in the late 1980s, together with the historical background of the industry.

The term “disk playback” can be traced back to an announcement made by German company Telefunken in the 1970s. The disk referred to at this time was capable of playing back ten-minutes’ of video footage from each side, and the pickup used was not a present-day laser beam pickup, but a piezoelectric element. The innovation that changed the method of reading data with laser beams currently in use was conceived by a team of researchers at Hitachi Ltd., a company that started off as a venture company founded in 1910. Behind this innovation lay the academic achievements of a British physicist named H. H. Hopkins in the 1950s^{*1}. And, the invention of phase-change recordable layer technology, which enabled data to be overwritten onto personal computers, was made by a team of researchers at Matsushita Electric Ltd. (currently Panasonic Corporation), which was also a Japanese company. In addition, the die-based recording layer currently used on CD-Rs and DVD \pm Rs, which are overwhelmingly used as inexpensive recording media, was invented by a female researcher at Taiyo-Yuden Co., Ltd., another Japanese company. It is therefore no exaggeration to say that the elementary technologies for optical disks in present-day use were all invented by Japanese industry.

In addition to details on the events leading to the above, this paper also outlines the international standardization of optical disks, which began in the 1980s, and the systematization of technologies that led to the birth of the DVD, which was one of the first mediums for recording digital video footage.

On the other hand, when observing the optical disk industry from the point of view of its history, it is clear that it experienced as many misunderstandings and unintended events as any other industry. These items are raised in the paper due to it being believed that there is a need to maintain records of this, as well as the facts and results pertaining to them. One of the events representative of this was the failure of ISO standardization to take into account NO compatibility with 120mm-diameter disks, which are now widely used throughout the world in the shape of CDs, and another was the outstanding success of CD-Rs and DVD \pm Rs on which data could only be written once. The paper also includes an explanation of video recordings using DVDs as a result of this, which was surrounded with a certain amount of confusion.

When examining the optical disk industry from the point of view of its history once again, the so-called baby-boomers were the main active generation at that time, and the paper uses the Plat-Pat search system adopted by Japan Patent Bureau in order to learn where the main focus was placed and what activities were initiated with regard to this.

As a result of this study, the author has named this series of events in the optical disk industry “a trillion-yen industry raised from scratch”.

*1 : H.H. Hopkins, Wave Theory of Aberrations, Oxford University Press, 1950.

■ Profile

武田 立 *Toru Takeda*

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・工博

1974年 北海道大学大学院工学研究科修士課程修了
同年 旧電電公社入社、同社武蔵野電気通信研究所配属
大型コンピューター用記憶装置等の開発に従事
1989年 ISO/IEC/SC23 光ディスク標準化機構日本代表委員、
同国内 WG 副査等
1992年 ソニー(株)入社、総合研究所でPC用記憶装置の研究
開発等に従事
1996年 DVD+RW の6社アライアンス主宰
2004年 小樽商大・同志社大：非常勤講師、「技術と事業革新」
等担当
2006年 ソニー(株)技術戦略部統括部長、社内新規技術開発
案件の改廃を担務
2010年 ソニー(株)退職、三菱化学(株)情報電子本部フェ
ロー
2013年 東北大学特任教授、東北大学ベンチャーパートナーズ
(株)設立等
大学発ベンチャーの発掘と育成に参画
2017年 一般社団法人 研究産業・産業技術振興協会所属
2019年 現職

■ Contents

1. はじめに	276
2. 要素技術の出発点	279
3. 光ディスクに用いられる要素技術の詳細	281
4. 光ディスクに必要な互換性とその範囲・種類	293
5. 書込型光ディスク国際標準化作業の軌跡	298
6. 事業展開上の課題	307
7. 可換媒体のサイズ競争と光技術の競合	309
8. 「映像」のデジタル化	311
9. 旧SD陣営の逆襲	313
10. DVDの市場投入	316
11. 「製造産業」としての「光ディスク」	320
12. むすび	323
13. 謝辞	325

1 | はじめに

動作原理の研究

本報告書で取り扱う「光ディスク」の動作原理は、金属製レコード針の代わりに「レーザー光針」を利用し、レコード・ミゾの代わりに「データ・ピット列」を利用するものであるが、1970年代の研究着手当時は、これらの動作原理は自明ではなく、むしろ「不可能」が研究者間の「常識」であった。当時は「光記録」と言えば、「Holographic Recording」を意味するのが「常識」の時代であった。

「Holographic Recording」とは、被写体の3次元情報をコヒーレント光による干渉縞として2次元写真に記録したものであって、再生時には元のコヒーレント光でこれを照射すると3次元画像が虚像として見えるものであり、動作原理も用途も、今の「光ディスクとは全く異なるものである。ただ、「3次元情報が記録できる」という技術に多くの人々が「期待」を抱いていた時代である。

これに対し、「情報」をHDDのように1ビットずつ記録する「光記録」は「Bit By Bit 記録」と呼ばれ、これを「可能」にしたのは、わが国の先駆者をはじめとする世界の先駆的研究者たちの「創意と工夫と研究」の賜物であったことを本報の一番最初に記して、「先駆者」の方々に「敬意」を表したい。

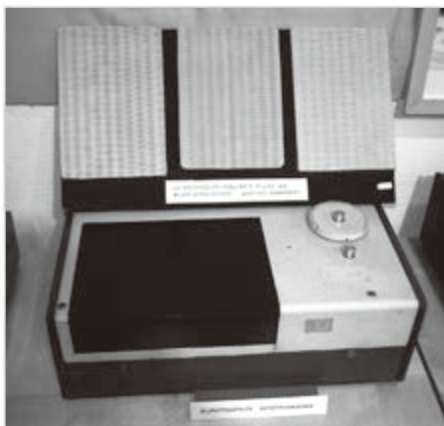
「光ディスク」に関する主要技術は、本報に先駆けて刊行された、松村純孝による「LDシステムの開発、実用化に関する技術の系統化調査^{*1}」にも紹介されている通り、英国の物理学者 H. H. Hopkins^{*5} による研究成果「Theory of Aberrations (収差)」(Oxford

University Press, 1950) の理論に負うところが大きい(近年盛んな「内視鏡」も彼の功績による)。

このあたりの事情は、1970年代から長年にわたり日立中研^{*2}で「光ディスク」の研究を行っていた米澤の報告^{*3}に詳しいので詳細は割愛するが、『『世界初』の『ディスク記録』によるデータ再生技術の発表はドイツの『Teldec 社(テレフンケンとデッカの合弁会社: 現 Time Warner)』による TED 方式の「10分弱のビデオ再生」というものであり^{*4}、このときの再生ピックアップは、動作原理がまだ確立していなかった「光ビーム」ではなく「圧電素子」であった(図 1.1)。

この発表を受けて、わが国科学技術研究組織の頂点の一つであった同社研究所^{*2}のチームは、非接触で寿命が長いと期待される「光ディスクのレーザー光による読み取り」を企図した。

しかしながら当時の常識では、レーザー光は波長が $1\mu\text{m}$ (ミクロン) 程度でコヒーレント光(電球光と違い位相のそろった光)を発生することは知られていたが、「波長($\sim 1\mu\text{m}$)以下の分解能は無い」が研究者達の常識であったし、そもそも、光ディスク用の「半導体レーザー素子」はまだ実用になっていなかった。また、 $1\mu\text{m}$ 程度の記録データ列が形成できたとしても、データ列を「追従して見失う事なく追いかける」技術も、 $1\mu\text{m}$ 程度の「ピット列」に正確に焦点を定める技術も見当たらない時代であった。このような「暗中模索」の状態から日本の光ディスク産業が立ち上がり、2000年^{*6}には年間1兆円を超える一大輸出産業に「産業界」が育て上げたことは、戦後の産業史において特筆に値すると言えよう。



Design prototype of a player for the Telefunken TED video disc.

図 1.1 世界初の円盤型ビデオプレーヤ (出典: Wikipedia^{*4})

書込型の開発標準化と時代背景

本報告書のタイトルは「書込型光ディスクの技術系統化調査報告」となっているが、本文の一部に「書換型光ディスク」と言う表現も混在する。これは、国際標準化を行った際のタイトルが「 $\text{OO mm Rewritable Optical disk Standard for International Interchange}$ 」だったことに起因する。さらに、本報告ではこの国際標準化後に普及した「色素記録膜」を用いた「1回書込型光ディスク」をも取り扱うので、混在することをお許し願いたい。

レーザー光を用いる「ディスク技術を用いた民生用 AV 機器」の黎明は、先の「Teldec」による TED 方式ディスク映像再生(1970年発表)^{*4}に続き、蘭国

フィリップスと米国 MCA (現 NBC ユニバーサル) による「Disco Vision」で始まり、後にパイオニア (株) の商標「レーザーディスク」(LD) に統一されて普及したアナログ方式の光学ビデオディスクであった。プレーヤーは米国で先行発売され、国内ではやや遅れて 1981 年にパイオニアから同社の商品名「レーザーディスク」として市場投入された。

一方、「CD」の発表は最初のアナログ光学ビデオの発表からは約 10 年遅れたが、1982 年から商品が市場に出回ることになり「フル・デジタル」方式の「Bit By Bit 記録」型 CD=「光ディスク」が「世界における光ディスク」の主流になったことは、世界のエレクトロニクス産業史上特筆に値する出来事であった。

以下では、第 I 部：要素技術 (章 2-3)、第 II 部：国際標準化 (章 4-5)、第 III 部：光ディスクの事業展開 (章 6-11)、の順に著述する。

第 1 章の参考文献と補遺

- *1: 松村純孝、「LD (レーザーディスクシステム) の開発、実用化に関する技術の系統化調査報告」、Vol.21、2014、国立科学博物館。
- *2: (株) 日立製作所中央研究所 (東京都国立市恋ヶ窪)。
- *3: 米澤成二 (工博)、「光ディスク-On inventing-」、「光技術コンタクト」、Vol.33、No.7、(一社) 日本オプトメカトロニクス協会、1995。
- *4: 世界初の円盤式ビデオプレーヤー TED (1970 年発表、1975 年発売)。
(Wikipedia: Design Prototype of a player for the Telefunken TED video disc,
URL=https://en.wikipedia.org/wiki/Television_Electronic_Disc, (2019-10-10 閲覧) .
- *5: H. H. Hopkins, Wave Theory of Aberrations, Oxford University Press, 1950.
- *6: 本文 11.2 参照。

1: 書込型光ディスクを支える主要発明

(1) 青色レーザーの中村修二

光ディスクにまつわる発明の中で最も有名なのは、赤崎勇・天野浩とともに 2014 年ノーベル物理学賞を受賞した中村修二 (日亜化学: 発明当時) の青色レーザー発明であろう*1。これに貢献した人物はもう一人いたことを紹介しておきたい。一時 NTT (株) 武蔵野研究所の同僚だった松岡隆志*2 である。彼は現用の光通信用レーザーを実用化している。松岡以前の青色 LED 研究は GaN に集中していた。GaN は紫外発光することから、松岡は、通信用レーザーの経験を活かし青色 LED 材料として InGaAlN を提案し、青色発光材料 InGaN の単結晶成長に成功した。この発光層成長技術と赤崎らの高品質 GaN 成長技術を合体し、中村は 1996 年に青色レーザーの室温発振を実現した。

「ノーベル賞が 4 人だったら確実に受賞者」と言われる人物は多いが、松岡本人の述回によれば、「中村には学会でバッファ層の構造についていろいろ質問された」と言う。

(2) 「円形開口」の米澤成二

「世界初」の「ビデオ・ディスク技術の発表」はドイツの「テルデック社 (テレフンケン子会社)」の TED による「10 分弱のビデオ再生」で再生は圧電素子であり、これの「レーザ光読み出し」を企図したのは日本の「日立中研」であったことは先に触れた。この「凹凸ピットのレーザ光読み出し」は当初は He-Ne ガスレーザーという真空管で実験されたが、量産商品としての実用化の上では「半導体レーザー」の活用は必須であった。それまでのレーザー光源は真空管による「光発振」だったので外形が長大 (30cm 程度) でパソコン環境には不向きであった。これを解決したのが米澤成二の「円形開口」発明である。

この技術は、1977 年に日立中研の米澤成二が発明*3 し、一度は拒絶されたが 10 年以上かかった審判の結果、1986 年に特許が成立、特許 1547005 登録となった技術である。下図 (図 - 囲 - 1) のように、一般の半導体レーザー出射光が長円分布であるものを、光ディスクの記録再生に適した円形分布 (回転ガウシアン) に変換する技術である。この発明は、「(半導体レーザーの) へき開面出射の長円光束を円形アパーチャー (円形通過窓) を通過させると回転ガウシアン分布に変換できる」というもので、「一般幾何光学上の常識」を波長オーダーの光学である「量子光学」に拡張し「数式計算で実演」して見せた発明だった。この発明

以前には、「(カマボコ型) シリンドリカル・レンズ」などを利用して「ビーム成形」をしていた。

この特許の「凄さ」は「円形通過窓」と等価な「(外形が) 円形のレンズ」でも特許が適用されるよう「請求範囲」を記載したことにある。技術の本質は「ケラレ」という「光束のすそ野を捨てる」技術を利用したものだった。「円形レンズ」を使わないピックアップは存在しないので、「ケラレ」は全てのOPに生じている。したがって同社は、全ての光ディスク・ドライブ・メーカーに本件の特許権が及ぶことになり、審決から約10年間に亘り業界にはこの発明が「君臨」した。

また「職務発明」を巡る訴訟でも話題となった後、青色レーザー発明とともに、特許法35条(職務発明規定)改訂の契機となった発明のひとつでもある。

(3) 「TAOHS」の中村俊平

図3.2に示す「TAOHS」機構の名称は「Two Axis Optical Head System」の略称から来ており、z-y 両軸方向に変移可能な2軸用簡便駆動系として「オリンパス光学工業(当時)」の中村俊平により発明され、後に「諸隈特許」と呼称された^{*4}。詳細な動作原理は3章に示した図3.2のとおりだが、田中が出願時の明細書によれば一個の永久磁石界磁のギャップ中で、z軸y軸2組の独立コイルが一個のボビンを2軸駆動する構造が示されており、「円形開口発明」とともに、当初は極めて高い実質の実施率を示した。また、この特許を回避するため各社が様々な発明を行う契機となった、光ディスク産業界にとって重大な発明であった。

光ディスク史上初の「職務発明対価訴訟」であったためか、「発明者の貢献分」が極めて小さく判決されたことは残念なことであった。

(4) 三元系相変化記録膜の松下電器

著者らが当初意図したMO方式に反して現在最も普及した「書込型光ディスク」は「相変化記録膜」となったことは本文で触れた。この技術を実現したのは同社の研究陣で、出願文書^{*5}によれば山田昇、高尾正敏、木村邦夫、の三氏であった。

3.2.4に詳述する田中伸一の述回によれば、1970年代初頭の「潮騒の向こうから聞こえてくるような音やなあ」から、15年の長きに亘り研究を継続した1986年に到達した成果であった。当初は危惧のあった書き換え回数も、3.2.4で述べるように現在では100万回も可能と考えられている。

参考文献と補追

*1：特許公報：2628404(1997-04-18)(日本)

*2：後年、東北大学金属材料研究所教授。

*3：特願昭52-111399(日本)なお審判で「特許」となったので「特許公報」は存在しない。

*4：特公昭61-18261(日本)

*5：特公平8-32482(日本)

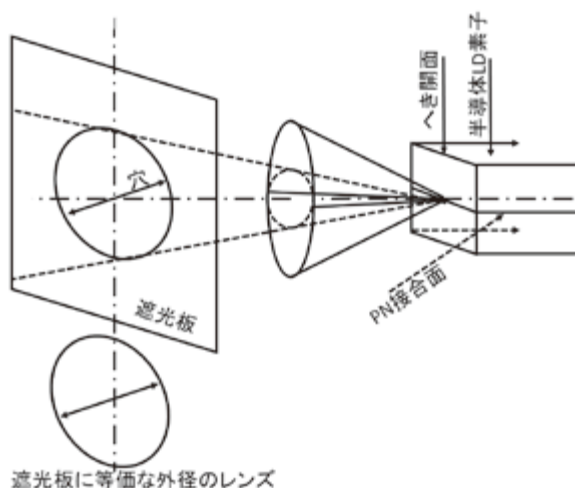


図- 囲-1 半導体レーザー素子の利用を可能にした「円形開口特許」の模式図(出典：著者作成)

2 | 要素技術の出発点

世の中で史上初の「光ディスク」であった「LD」（レーザーディスク）は、主として当時の「TV 受像機」で映像を鑑賞することを念頭に仕様が設計されたので、当時のアナログ放送電波で用いられていた NTSC 方式 TV 受像機^{*1}^{*2}の性能上、「細かいものを見分ける指標」の「分解能」は垂直方向 500 本、水平方向 400 本、カラー分解能が水平方向 40 本程度だったことを背景に、エラーに対する許容度は緩く画面上に多少のキズやエラーが現れても許される状況にあった。

一方「CD」は、音楽レコード産業の 100 年にわたる長い歴史があったので、「大量複製」時に発生する「かも知れない」コピー・エラーには厳しく対処すべく「エラー発生」が実質的に無いフォーマットが必須だった。

この結果、CD 用フォーマットでは「何はさておきエラー発生が無い」フォーマットを実現するため、ECC（エラー訂正符号）とともに訂正能力を最大限に高めるための「長いインターリーブ」が採用された。

「インターリーブ」とは「一かたまりの音楽（デジタル）データ」をバラバラにしてディスク表面上の物

理的に離れた位置に配置・記録する手法である^{*3}。このインターリーブの採用は、ECC が本来持っている高い「ランダム・エラー訂正能力」との組み合わせにより、ディスク上の特定エリアに指紋やスクラッチなどによる損傷を受けても、元の音楽データにとっては見かけ上「軽微な損傷」に変換できて、元の音楽データが回復可能になる利点がある。

一方、このような長い「インターリーブ」は、パソコン（PC）のようにデータを 128~2048 バイト程度に「ブロック化」して小まめに記録していた当時の標準的なコンピュータ・システムにおいては大変不都合である。その結果、図 2.1 の上段・下段に示すような、用途別に最適化された 2 系統の光ディスク・フォーマットが 1980 年代後半から 20 年近くにわたって並存した。

近年になり、メモリ・デバイスの低コスト化に伴い、光ドライブ内部でも大容量バッファ・メモリの使用が可能になったので、記録単位の長大化が進み DVD では 32K バイト単位（ほぼ一周）の記録さえ可能になって、DVD 以降では両者の一本化が実現した。

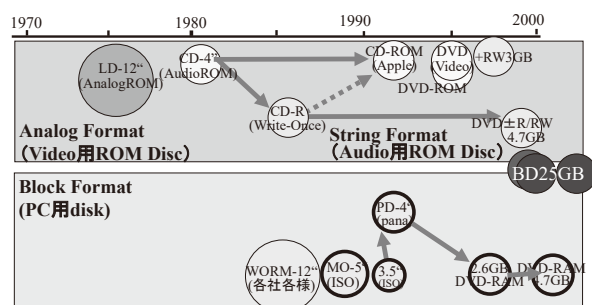


図 2.1 光ディスク・フォーマット 2 系統
(出典：筆者が記憶に基づき作成)

第 2 章の参考文献と補遺

- *1：NTSC 方式：〈囲み記事 2：NTSC 方式〉参照。
- *2：NTSC 方式：Wikipedia：URL=https://ja.wikipedia.org/wiki/NTSC, (2019-10-10 閲覧)
- *3：インターリーブ：Wikipedia：URL=https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%82%BF%E3%83%BC%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%96, (2019-11-16 閲覧)

2：NTSC 方式

本報告のタイトルにある「書込型光ディスク」の単語は、「音声レコード」を発明した「エジソン」の時代から長年にわたり、エンジニア達の夢の「仕様」だった。「光ディスク」の技術は「映像記録」技術とともに発達して来たと言っても過言で無いので、この時代を支えた「映像信号」の標準方式として、エレクトロニクス業界には珍しく 50 年余りの間「君臨」した「NTSC」方式について述べておきたい。

「NTSC」とは「National Television System Committee」の頭文字であって、1953 年に米国のカラー・テレビジョン放送の標準方式を定めるために全米から応募を募り定めた TV 電波の標準方式で、歌手のビング・クロスビーが資金を出して開発した「クロスビー方式」や一旦採用が決まった「RCA 方式」を覆し

て採択され、その後 50 年以上に亘り、「世界のテレビジョン標準方式」として活躍し、多数ある「エレクトロニクス標準方式」の中では「超長寿」な標準方式となった。元来は「電波の変調方式」として定められたが、ケーブル対で映像信号が送れるので、「映像伝送の標準方式」としても活用された。1990 年代までに大活躍した「β方式」や「VHS 方式」テープ・レコーダーもまた、この方式を前提に仕様が設計されていた。

ただ、制定当時はヒーターを使う「真空管」による電子回路だったので、受像機内部の温度上昇が起こり、時間経過とともに色が変動していく現象が多発し、「NTSC」を「Not The Same Color」と皮肉られた時代も続いたが、1960 年代の「トランジスタ TV 時代」になって問題は解決され、その「仕様」は今振り返っても「極めて巧妙」に、以下のように定められていた。

当時は既に「白黒テレビ放送」が全米に普及する途上にあつたので、この「既存（白黒）TV 放送電波」仕様の受像機でも画像が（白黒だが）見えることが望ましい。かつ、新しく高価な「カラー画像用受像機」では「キレイなカラー画像」が見えなくてはならない。この「両方の条件」を満たすように仕様が定められた。

この「両立性」実現するために、図「囲-2」に示す「白黒信号 (Y=R+G+B スペクトラム：図では luminance と表記)」は白黒放送仕様のまま温存し、「カラー情報：(Y-R) 信号と (Y-B) 信号」は白黒信号に「重畳」した「サブ・キャリア」に乗せる方式を採用した。「サブ・キャリア」方式とは、VHF 帯の「搬送波」に乗せて運ばれる「白黒信号」の背中に乗せた「子供」を、「親子丸ごと」VHF に乗せて運ぶ方式である。したがって、従来方式の「白黒 TV 受像機」を持つ視聴者は「カラー放送」である事を知らないまま（白黒で）視聴が可能であり、一方新発売の「カラー受像機」内部では「サブ・キャリア」から色情報を取り出してカラー画像を表示するので、カラー視聴者は「白黒 / カラー」放送の区別（切替）操作が不要である。まことに見事な「両立性」の実現であった。

これを実現する「サブ・キャリア」周波数として 3.579545 MHz（メガヘルツ）が選ばれた。この周波数は、以下の条件を満たすように選ばれた。

- (1) 標準白黒 TV 信号の帯域 (4MHz) 内に収まる。
- (2) カラー分解能 (水平 40TV 本^{*2}程度) に十分な色信号帯域を持つ。
- (3) 白黒受像機では「サブ・キャリア」がノイズとして画面に現れるが、これが目立たない事。

なお、「β」や「VHS」では「サブ・キャリア」が 688kHz 程度に「低域変換」されそのままテープ上に記録された。

これらの「極めて巧妙な白黒放送とカラー放送の両立性」を（筆者は）良く承知していたのだから、「CD-R」と「ISO 書込型光ディスク」の両立性に「気付く」べき立場にあつたにも関わらず、（筆者が）両立性の可能性を無視してしまったことに後悔の念を抱かざるを得ない。

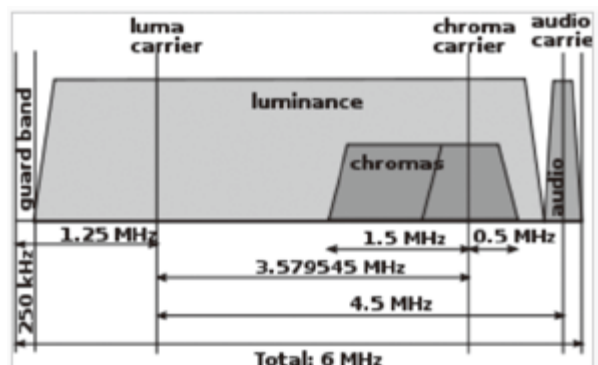


図 - 囲 -2 NTSC 信号方式のスペクトラム
(出典：Wikipedia^{*1})

参考文献と補遺

*1：Wikipedia：URL=<https://ja.wikipedia.org/wiki/NTSC> (2019-11-16 閲覧)

*2：「TV 本」：縦横比 3：4 画像の中に映る最大正方形に表現できる縦縞の数

3 | 光ディスクに用いられる要素技術の詳細

「光ディスク・システム」の技術を大きく分けると、ディスクのデータを読み取る「ドライブ技術」と、データを自在に記録して数十年間以上消えることなく記録情報を維持する「ディスク媒体技術」に分けられる。以下に3.1「ドライブ技術」と3.2「ディスク媒体技術」に分けて各々を詳述する。

3.1 ドライブ技術

「ドライブ技術」の基本は「光ピックアップ構成技術」であるが、これに加えて光ビームをディスク記録面にフォーカスさせる「フォーカス技術」と、トラック上のデータ列を見失うことなく追従させる「トラッキング技術」などからなり、いずれも光学技術とエレクトロニクス技術の「粋」を集大成したものと言える。

3.1.1 光ピックアップ (OP) 技術

先に触れたように、「光ディスク」というものが世の中に「認知」されたのは、「CD プレーヤー」が発売された1982年だが、先に世に出た「光ディスク」は、「LD」と略称される「レーザーディスク」が数年早い1970年代であった。

この時代は、「 β -VHS 戦争」と呼ばれたビデオ・テープ・フォーマットの「大競争市場時代」であり、この時代はまたディスク媒体とテープ媒体の「大競争時代」でもあった。

一般論としては、テープは体積記録密度が高いのでビットコストが安い長い巻物なので目的情報のアタマ出しは遅い、ディスクは体積記録密度が低くビットコストが高いが円盤なのでアタマ出しが早いという特徴があり、いわば適材適所に使い分けられていた。

このような技術的背景の中では、「光ディスク」はアタマ出しに有利なものと、プラスチック媒体のプレス成型が安価であることなどから「低コスト化」の可能性が見込まれたので、「磁気テープを置き換える高速アクセス・メディア」としての「民生化」が期待されていた。ここで言う「民生化」とは、金融機関などで用いられて「メインフレーム」と呼称された「大型コンピューター」用途の、「磁気テープ/ディスク装置」などが「産業用」と呼ばれた時代の、対になる概念の呼称である。

一方、「プレス成型」で量産される「光ディスク」には、音楽や映像の「デジタル情報」が無数の

「凹凸」でディスク表面に記録される。その総数は500MB(メガバイト)のCDでは約40億個のオーダーになる。この凹凸は、成形技術の都合上、「メサ形」と呼ばれる台地状の小さな突起として成形され、その直径はCDでも $1\mu\text{m}$ (ミクロン= $1/1000\text{mm}$)程度、その「段差」は $1/4\mu\text{m}$ 程度である。これを「読み取る技術」は1970年当時にはまだ知られていなかったもので、先に紹介したドイツ「TED方式ビデオディスク」では、ピエゾ素子で再生した。これを学術的に解明したのは先に名前を挙げた英国の光学物理学者H. H. Hopkinsであり、「レーザー光」の光路差を利用すれば「段差」が検出可能という結果を示した。この、「光路差を利用した干渉で段差を読み取る技術」こそ、今日の「光ディスク時代」の扉を開いたと言える。後述のように、その後に開発が進み本報告の主題になった「書込型光ディスク」も、この「レーザー光方式」による「段差読み取り技術」の存在が無ければCDもDVDも市場が実現していなかったもので、「光ディスク」というマスメディアは存在しなかったと思われる。

3.1.2 レーザー光源技術

このような技術環境の中で、あとから生まれたCDの「技術的先進性」は非常に大きかった。アナログ記録だった「LD」は「カラオケ」伴奏機として日本の津々浦々まで普及したにもかかわらず陰にかすんでいた感があるが、アナログ方式とは言えれっきとした光ディスクであって、読み取り原理は図3.1に原理を示す「光学方式」であった*1。

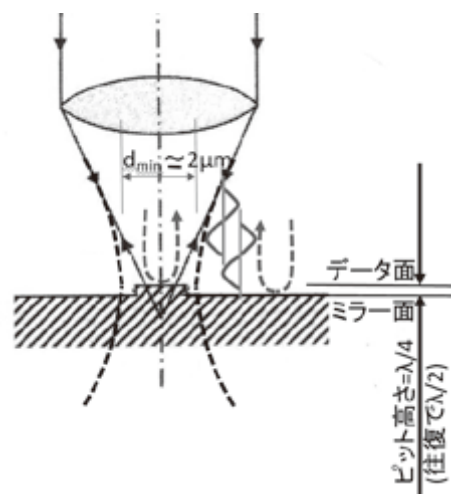


図 3.1 レーザー光による凹凸読み取り原理
(往復 $1/2\lambda$ の光路差は「干渉」で反射光を暗くする)
(出典：筆者作成)

「弟分」に当たる「CDの技術先進性」とは、先の「Bit By Bit 記録」型であることに加え、

- ①光源が「半導体レーザー」である。
- ②光ピックアップ(OP)が「2軸同時駆動メカ」で小型化されている。
- ③データ記録は「デジタル符号」方式+「エラー訂正符号」である。

といった具合で、①②③ともに当時の最新技術の「オンパレード」だったのである。

「レーザーディスク」(LD)で当初に用いられていた「ヘリウムネオン・ガス・レーザー」は当時「6328」(ロクサンニエーハチ「オングストローム」 $=10^{-10}$ メートル)と呼ばれたレーザー光源が真空管方式であり、真空ガラス・チューブの長さは30cmもあってこれ全体をレーザー・ディスクの半径方向に10cm近くも往復させるので、機構は大型・高価にならざるを得なかったのに比べ、CDのシステムは遥かに小型だった。

一方、1970年代当時は「光通信用半導体レーザー」が順次実用になりつつある時代だったが、波長は赤外線領域である「1ミクロン以上」のものしか量産されておらず、「光ディスク用可視光レーザー素子」は実現されていなかった。もうひとつ問題があって、「半導体レーザー」は「PN接合面」から発光するので出射光の形状が「楕円形」ビームとなり、データ読み出しに必要な「回転ガウシアン(円形)ビーム」に収束させるのが困難だった。「波長問題」はその後の技術開発で「可視光」が実現されたが、「半導体レーザーの楕円ビーム問題」は依然として解決されなかった。これを解決したのが米澤成二の「円形開口」発明であった(〈囲み記事1:書込型光ディスクを支える主要発明〉参照)。

記録時にECCを付与する方式もまた、後述のように「民生品」(非軍用)としては最先端技術であった。

3.1.3 レンズ・光学技術

レンズ技術としては、「非球面レンズ」の実現が必須であった。元々、レーザーは単一波長であるから「色収差」の問題はないが、小型化の目的で有限光学系を採用したOPにおいては、プラスチック製単眼レンズによる軽量・小型化にともない、フォーカス方向駆動時には球面収差が、トラッキング方向駆動時には軸外収差が発生するので、これらを小さく抑えたいという要望が強かった。

これをプラスチックの非球面レンズとして最初に実現したのは「小西六・さくらカラー」で知られた当時のコニカ(現コニカミノルタ)であり、光ディスク用

OPの小型化と低コスト化に極めて大きな貢献であった。これの実現のカギは、「非球面」の生成・加工技術と、「プラスチック・レンズ素材の吸湿性」対策となる技術であった。

3.1.4 OP 駆動技術

先の「円形開口特許」とともに、量産実施率が極めて高い時期が続いた「発明」があった。発明当時は「オリンパス光学工業(現オリンパス)」の技術者だった田中俊平が「2軸両用駆動機構」を1988年に発明し、同社の諸隈肇が5年後の1993年に発明協会会長賞を受けたので、以降は「諸隈特許」と呼ばれた。「TAOHS」とも呼ばれたこの構造の特長は、永久磁石界磁とコイルボビン各1個でz軸とy軸の両方をほぼ独立に駆動できる点にあり、OPの構成部品点数が大幅に削減されて構造が簡素化され、後年のドライブ年産3000万台の量産を支えた大発明の一つとなった。

「TAOHS」の発明効果

光ディスク上のデータ列を(見失うことなく)追従するためのオート・フォーカシングとオート・トラッキングを実現するには、レンズの光軸方向(z軸方向)とディスクの半径方向(y軸方向)の両方を「独立に」可動とするメカニズムと、位置情報信号の両方が必要である。しかもメカニズムは、z方向駆動中はy移動がなく、y方向駆動中はz移動がないことが望ましい。これを「量産部品」として実現したのが「TAOHS」(Two Axis Optical Head System)と呼ばれた光ピックアップ構造であった(図3.2)。

「TAOHS」は、先に述べたように「オリンパス光学工業」(当時)で開発され、諏訪オリンパス(株)で

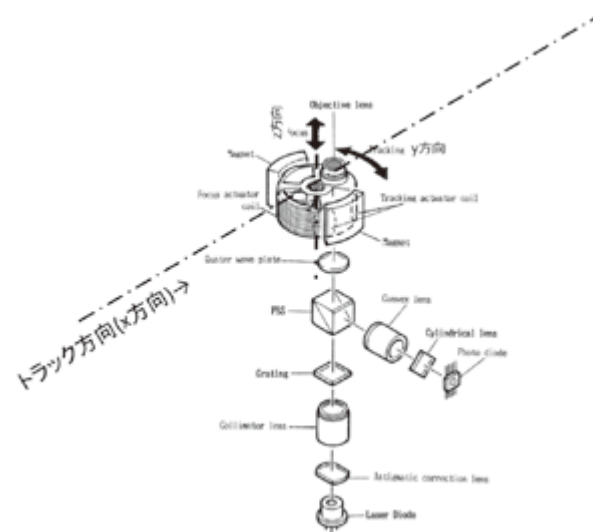


図3.2 z-y-2軸1-ボビン駆動機構(TAOHS)を用いた光学系例(出典:松村純孝著⁴⁵⁾)

量産された。その基本構造は図 3.2 に示すように、レンズ本体は上下 (z 方向) と左右 (y 方向) にのみ可動となるよう固定軸に摺動回転支持されており、レンズ枠 (巻き線付きボビン) に固定されたレンズは z 方向 (固定軸方向) にはボイスコイル巻き線 (1) で駆動され、略 y 方向駆動には別のボイスコイル巻き線 (2) で中心軸 (z 軸) の周りに回転方向に駆動される。必要な応答速度は、ディスク傾きについては 1 回転で「近～遠」が 1 往復、偏心によるトラックずれについても「内周向～外周向ズレ」が 1 回転で 1 往復程度であり、ディスク回転数を 30Hz 程度とすると偏心対策としては同程度の周波数に追従すれば十分である。

一般に位置誤差を十分な精度で実現するには第 11 高調波程度の周波数応答帯域を持たせるので、この場合は 330Hz 程度の帯域が必要となるが駆動源である「ボイスコイル・モーター」は、「スピーカー」の動作原理と同一なので、z 方向・y 方向とも十分にこの帯域を実現できる。

1 機構で z - y 両軸方向に独立な駆動ができる駆動系はそれまでには存在しなかったもので、これ以前の OP 駆動系は z 方向はボイスコイル駆動で、トラック幅方向 (y 方向) には追加部品であるガルバノ・ミラーが用いられていた。これら 2 系統が 1 個の可動素子で駆動できることになったのだから、田中俊平が発明した諸限特許は工学的には大発明であったと言える。

後年に争われた「職務発明の対価」訴訟では、「特許に基づく利益 5000 万円」に対し会社側の貢献度を 95%、発明者側の貢献度を 5% としたので、田中俊平ら出願者側対価の手取り金額は僅かであった模様だが、業界では避けて通れない重要特許として知られ、この特許を回避するための発明が多数出願された。

この「TAOHS」の発明と「円形開口」発明により、半導体レーザーを使用する光学ヘッドの小型化は一気に進み、大多数のドライブのピックアップに図 3.2 の「TAOHS 形式」駆動系が使用されている。

3.1.5 フォーカス信号生成技術

現行 Windows で OS のブート時に必ず使われる磁気ディスクでは、1 グラムよりはるかに軽い全長 3mm 弱程度のフェライト製磁気ヘッド等が、回転円板 (ディスク) と連れまわる空気に吸い寄せられて磁気ディスク表面に対して「付かず離れず」の距離 (0.1 μ 程度) を保って浮動する。対比で言うならば、空港の滑走路に対し、全長 50m のジャンボ機が滑走路上空 15mm を「付かず離れず」飛ぶようなもの、と計算される。

これに対し、光ディスクではディスク媒体が取り外し型であることに起因するチャッキング・エラー (ハメコミ余裕) が支配要因となって、0.3mm 程度の「接近と離反」が対物レンズとディスク間で起こるので、レンズを「固定」すると必ず「ピンボケ」が起きるうえ、時にはクラッシュ (衝突) する。これを解決するには、対物レンズをディスク表面 (レーザー光のディスク入射面) から 0.5~1.5mm 程度離して設置 (仮固定) し、ディスク回転に伴う残差は対物レンズを光軸方向に高速駆動する機構が必要で、図 3.2 に示すような TAOHS 機構にたどり着く。この機構に、図 3.3 に示すようなフォーカス・エラー信号生成回路で得た信号で負帰還 (フィードバック) サーボをかけることにより、データ記録面に対し対物レンズを $\pm 0.1 \mu$ 程度の誤差で追従させる (CD の場合ディスク表面は 1.2mm 手前) ことを可能にした。

このような「フォーカス (状態)」情報を入手する一般的技術はいくつかあって、現在の「スマホ」や「デジタルカメラ」などの広視野カメラにおいては、撮影画像全体の「ボケ具合」を映像信号のスペクトラム解析で判断する手法が主流だが、反射レーザー光の「非対称情報」しか利用できない「レーザー光学系」では別の手法が用いられる。このような目的のフォーカス信号生成法には、①ナイフエッジ法、②非点取差法、③ひとみ遮断法、④臨界角法、などが発明されてきた。ここでは、最も多用されている②非点取差法の説明に留める (図 3.3)。その他の方法については参考文献²⁾を参照願いたい。

3.1.6 トラッキング信号生成技術

録再系ではオート・フォーカスと並んで、もうひとつ重要なサーボ制御に、オート・トラッキングがある。CD-ROM や DVD-ROM は「精密にスタンプさ

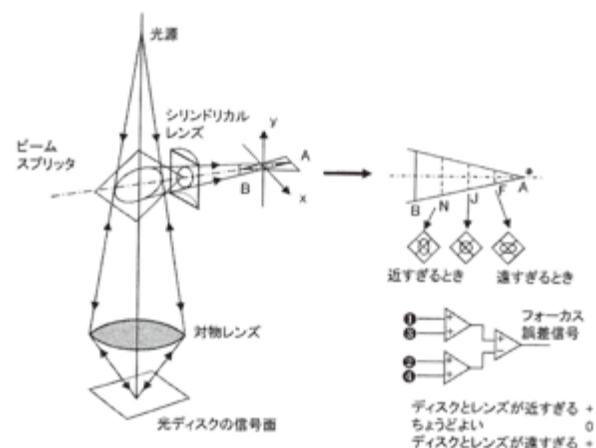
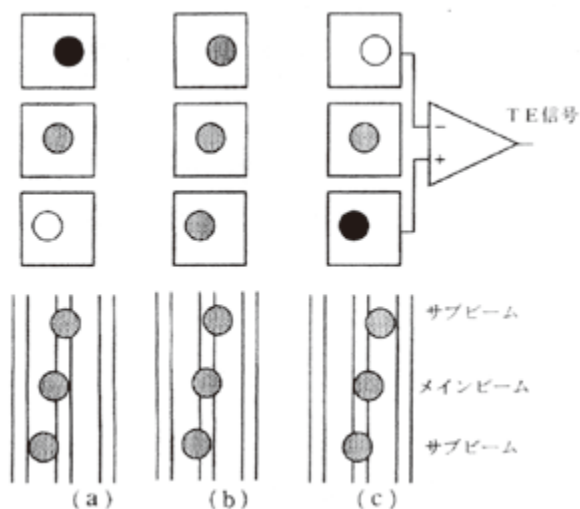


図 3.3 フォーカス・エラー信号の生成 (非点取差法)

れ」ではいるものの、再生機のターンテーブルは「機械的ハメコミ」なので中心軸に僅かなスキマ(ガタ)が必要であり、ターンテーブルにディスクを乗せる度に、ディスクの幾何学的中心はモータの回転中心とは一致せず、ディスクは偏心状態のまま回転する。このとき、半径位置が固定された読み取りレンズを通してディスク表面の注目するデータ列を眺めると、50~100ミクロン、トラック数に換算して30本から60本近くも、遠く離れたデータ・トラックをナナメに跨ぎ続けている。

これを解決して注目データ列の中心線を走行させるには、トラック中心からの光ビーム・ズレ量(正負)を電気信号で入手し、トラックの幅方向(レンズのy方向)にレンズ系をフィードバック駆動することにより、データ列をレンズ中心(光軸)で追いかける制御を行い、これをトラッキング・サーボと言う。

図3.4にミゾ方式光ディスク用のトラッキング信号生成原理を示す。この信号を用いて一旦トラック中心をなぞり始めると、僅かなズレでも高感度の自動復帰(サーボ)が働くので、トラック中心からレンズ光軸が外れることはない。



3.4 3-spot 法トラッキング信号の生成原理
(出典: 応用物理学会「光学」p650、31巻8号, 2002)

フォーカス信号電圧やトラッキング信号電圧の生成方法、駆動方法は、先の報告書(松村純孝、「LDの開発実用化に関する系統化調査報告書」Vol.21(2014))に詳しいからここでは省略するが、どの方式を採用するかは技術陣の意見が分かれるところであり、これが標準化で定めるべきディスク上のトラックセンター成型パターンを規定するので、大懸案となった。後段に述べる「ミゾ方式」と「サンプルサーボ」方式の比較と対立である。

3.1.7 トラッキング信号生成技術比較と論争の本質

直径1ミクロン程度の光束で照射する「レーザー光学系」において、「目標データ列」の「中心線」を正確に把握・追従するのは非常に高度な技術であり、1970年代には、トムソン、フィリップス、日立(中研)、などにより「プッシュプル法」、「ツインスポット法」、「プリウォプリング法」などが精力的に研究され、多くの発明が特許として出願された。

これらの方式の動作原理は複雑であり詳細は教科書を参照されたいが、おおまかには①溝部の周りで起きる光路差干渉を利用しこれを2分割フォト・センサで左右の明暗比(差信号)に変換するもの(push-pull法)と、②2箇所(スポット)の全反射光量(和信号)を比較するもの、の2種である。先に述べたように、1970年代に各種の方式が発明・提案されたが最大の課題は、ディスクのチャッキングに起因する傾きや、経時変化で起きる反りには光学系が応答しないで、データ・トラック中心線と光ビームのズレ量を正確に反映する光学系と検出系を設計することであった。無対策 push-pull 法の原理と、傾き等の対策例(DPP法: Differential Push-Pull)を図3.5に示す。DPP法ではディスク傾き等によるオフセットがキャンセルされる構成になっている。

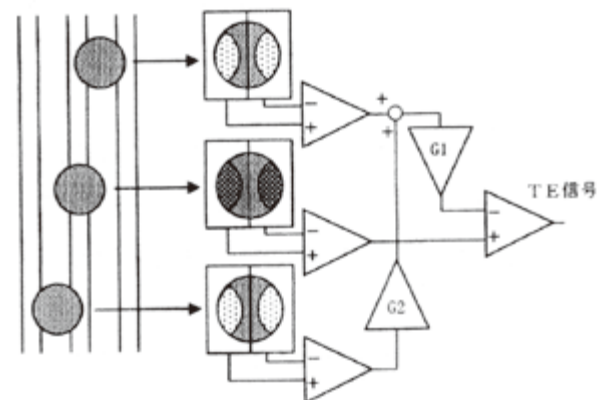
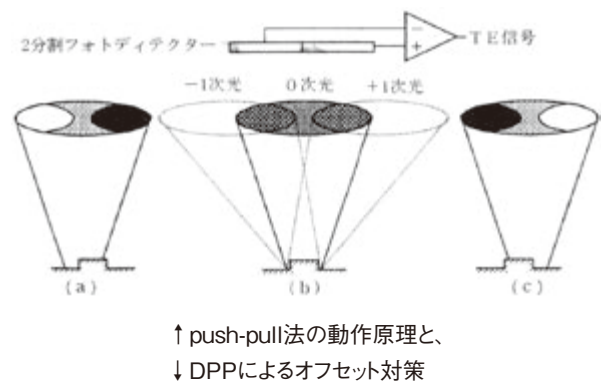


図3.5 トラッキング信号の生成原理2種
(上段: push-pull法、下段: DPP法)
(出典: 応用物理学会「光学」p649-650、31巻8号, 2002)

3.1.8 トラッキング方式の選択論争

音楽やPCソフトウェアを収容するROMディスクの製造においては、成型商品(CD/DVD)は数百万枚程度売れるものなので、マスタ盤記録・作製装置にはデータ・トラックの真円度を 0.1μ 単位で保証できる「精密レーザー測長器」等を用いた、総額1億円規模の記録装置(カッティング・マシン)が用いられる。

一方、これらの音楽CDやCD-ROMと異なり、総額100万円以下のパソコンで記録する「書込型光ディスク」では、ブランク・ディスクに予め案内マークをプリ・スタンプして販売し、ユーザーはこのディスクを購入して記録動作を行うことにより、安価に光記録を行うことができるように工夫されている。この、プリ・スタンプされた案内マークの位置を弱いレーザー光で「覗き」ながら記録トラックのセンター・ラインを検知し、これを頼りに記録データは強いレーザー光で記録するのが、パソコン用光ディスク記録の基本原理である。

したがって、「記録トラックのセンタ・ライン」表示・検出が狂えば正しく記録できないばかりでなく、既に記録した隣接トラックのデータ破壊につながる。この「記録用トラックのセンタ・ライン」表示・検出方式には、大きく分けて2系統が当時は知られていて、それぞれ課題があった。

①差信号方式(CCS方式)：直線ミゾ(精密には円弧の一部)に照射したレーザー・ビームの反射光を2分割フォトセンサに導き、反射光の左右比からビームの位置ずれ量と方向を知る(図3.6上段)。欠点は、ディスクの傾きや反りにも応答するのでトラック中心が一義に定まらない点であり、何らかの「補正手段(図3.5下段)」が必須となることであった。

②和信号比較方式(SS方式)：トラック・センタ・ライン中央線に対し、トラックピッチの1/4程度の幅で左右に割り振った2個1対ピットの反射光量比から記録ビームの位置ずれ量と方向を知る(図3.6下段)方式である。図示のように実質「差動」なので、「傾き」成分はキャンセルされオフセットがほぼ発生しない。課題は、2個1対のピット信号には時間ズレがあり、差動比較にはサンプル/ホールド回路が必須なので、当時はオペアンプICは使えてもSample/Hold回路に馴染みがないエンジニアには敬遠された。

両者の違いを単純化して図示するとこうなる(図3.6上：CCS方式、下：SS方式)。

第II部で詳述する国際標準化の130mm-ISO規格では、一部メーカーの「思惑」から光学設計が難しい

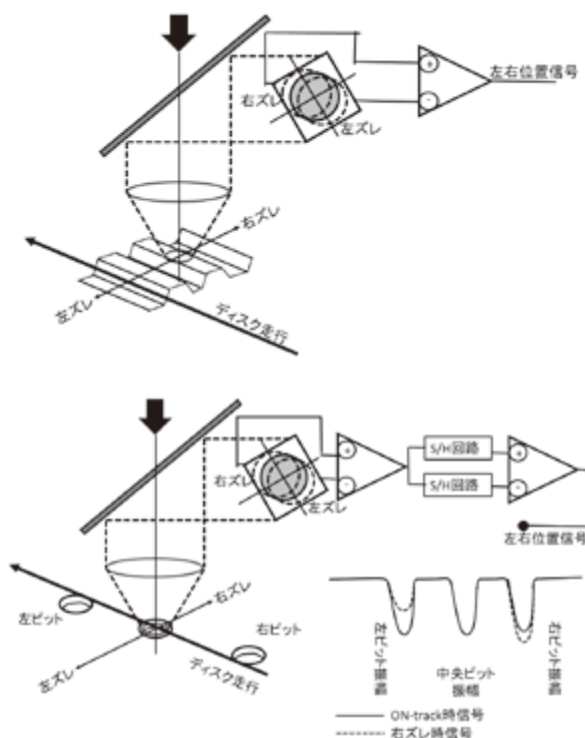


図3.6 グループ方式とサンプル方式のセンタライン検出方式の比較(上: CCS方式、下 SS方式、出典: 筆者作成)

「CCS方式」が日本国提案になり、それが「ISOで採用されてしまった」ので、①の「CCS方式」で、商品を量産することになった。したがって、チャッキング・エラーや反りに起因する「偽信号」対策が必須となった。

後年に発明され、CD-R/RWやDVD±R/RWなどで採用された「ウオブル・グループ」方式では、①「差信号方式」の改良型としてトラックセンターを示すミゾ自身を左右均等に「蛇行」させる手法が採用された。「蛇行ミゾ方式」の効果は、以下のように説明される。

③「蛇行ミゾ」から生成される「差信号」は20kHz程度の交流となるので、AC結合アンプの「時定数」を適切に選ぶことにより「直流/低周波成分」として観測される「傾き・反り成分」は容易に除去されてオフセットの問題は解決された。一方、この「ウオブル溝」の再生交流周波数(約20kHz)は「データ・トラック」の走行速度に比例するので、これを一定に保つことにより、「Constant Linear Verocity」の回転制御が可能となり、1面当たりの記録密度を1.5倍にできる利点も生じた。

論争から30年経った現在の技術レベルで評価してみると、後年に書込型CD/DVD用で定まった③の「蛇行ミゾ」方式が、「最も合理的」で、マージンが大きいことが分かり良い結果に落ち着いたと言え、現在

の「Blu-ray Disc」にも採用されている。

「5 インチ追記 / 書込型光ディスク」の国際標準化では、サーボ方式提案①②の両者が一歩も譲らなかったため、やむ無く両者を許容した規格が制定され、ドライブ側で①②どちら方式のディスクが(入って)来たかを判定してから不都合な方を「吐き出す」方式を採用したが、②方式の商品は結果として市場投入されず、マージンの厳しい①方式のみが日本メーカーから大量に市場投入された。

両者許容の結果、「CCS」派の国産製品は、①「CCS」方式で課題だった「傾き・反りマージンの狭小」は、「光学系(OP)」で解決できた「大手メーカー」一社がこれを武器に市場での優位を確立した。数年後の90mm規格審議では再び論争が起き後述のような「大論争」になって、「動作の安定と低価格」を目指した「SS方式」の90mm日本提案はISOで敗退した。

一方、もし「SS」方式が採用されていたらドライブ用半導体・低価格化回路のLSI化が早く進み、OP(光ビクアップ)の単純化とコストダウンによって市場での低価格化が早まり、「儲からない産業化」がもっと早く訪れていたかもしれないが、ROMとの相互乗り入れが容易になり「ISO標準化と市場の乖離」が避けられていたかも知れない。

ただ、その後のCD-RやDVDの市場進展状況を眺めてみると、日本の光ディスク産業が「高付加価値なのに儲からない」産業構造に陥ったことは、後述の考察(4.2.2)のように避けられない構造だったかもしれない。「歴史にIFは禁物」であろう。

3.1.9 エラー訂正符号(ECC)

現在の光ディスク技術はECCの貢献により支えられているといっても過言でないほど、「実用的な」光ディスク記録の実現には重要な技術である。

もともと、ECCは通信において発展してきた技術である。エラー訂正符号はS/Nの悪い宇宙通信や航空機無線通信の世界にとっては、無くてはならない技術であった。

音楽配布用CDも(録音から再生までの長い)一種の通信路と捉えることができる。マスター・ディスクからレプリカを作製し、これを成型機で射出成型(成型圧力はトン単位)すると、500メガバイト(=4000メガビット=40億個ビット)の穴を転写するので、どうしても転写ミスが生ずる点が、長い通信路の雑音に匹敵する。したがって、ECC処理無しで音楽を再生すると音楽の体を成さない場合が生ずる。

そこで、エラー訂正符号を利用することにし、これ

により符号エラーが無く「耳ざわりの良い音楽」になると言える。このエラー訂正技術はアナログ信号には適用できず、デジタル信号処理(BBB記録)を行うCD以降で利用が可能になった。

それ以前の「LD」や β /VHSビデオでは、テレビ画面の水平ライン1本に不都合が発生すると、その近傍にある(多くは1本手前(画面上は1本上))ラインの信号を代用して、見かけ上は目立たなくする程度の技術はあったが、「訂正」は出来なかった。デジタル信号のエラー訂正原理詳細はここでは省略するが、大まかには、「本来のデータ信号列に冗長(エラーがなければムダな)信号を追加して送信し、受信側でエラーが発生したデータ箇所を検知して訂正する」という原理で動作する。追加する冗長データの割合は、本来データの20%程度であることが多い。現在の音楽CDやDVD映像では実質的にすべてのデータ訂正が可能になるように、冗長度が選ばれている。

CDのECCには「CIRC^{*3}」と呼ばれるECC符号化方式が採用されている。CDでは、長いインターリーブ長との組み合わせが採用されて長大なエラーに対する訂正能力を高めた。ISO書き換え型光ディスクでは、当時のセクター・サイズに合わせた、比較的短いインターリーブ長の組み合わせが採用されていた。両者とも「リード・ソロモン符号」の範疇に属する。この符号化方式は、アービング・リードとギュスタブ・ソロモンにより1960年頃に考案され、訂正能力が高いためCDのみならずDVDやTV放送、身近ではQRコードなど各方面で利用されている。

ISO標準化から約10年を経た1995年頃から始まったDVDやBlu-rayの標準化では、バッファ・メモリに使うICメモリの低価格化が進んだから、元データをドライブ内部で一時的に保持するバッファ・サイズを大きくすることが容易になったので、32kバイト単位の記録も容易になり、CD/DVD用のECCと書込型光ディスク用のECC/インターリーブは同一になって、図2.1の上下は統合された。

リード・ソロモン符号理論については、教科書や各種の論文に詳しいのでここでは詳しくは触れないが、光ディスクに用いられるECC符号は、以下の二種類のエラー群に対して準備されている。

主として「稀に発生する」①「ランダム・エラー」と、一旦発生するとエラーが連続する②「バースト・エラー」に対して対策されている。前者は「転写(印刷)」時に発生する「コピーミス」や信号路雑音が主犯であり、後者は光ビームが追従に失敗して起こる「追従サーボ・ミス」が主犯であるが、これらが複雑

に絡まって発生する場合も多いと考えられている。

「エラー訂正符号」(ECC)を設計する上では、一般的に高い「訂正能力」が求められ、原則として訂正不能は許されない。1枚が数千円もするCDから、「音」が出なかったり大きなノイズが出てはビジネスが成り立たないからである。ECCは一般的に「ランダム・エラー」に対して大きな効果を発揮する。したがって、「バースト・エラー」も光ディスクの面上では「パラバラ」と出てほしい。この「バースト・エラーのパラバラ化」には「インターリーブ」(Interleave)という手法が用いられる。原義は「葉っぱの相互重ね合わせ」とでも言う意味だろうが、たとえば言えば、「カード・ゲームの開始前にトランプをシャッフルする」のと同様に、「記録用符号列化の前に楽曲のデータ列をランダム化する」と言えば何となくわかった気がするかもしれない。このような「行進隊列のランダム化」は「元々1群だったデータ列」が「ディスク表面上ではパラバラ」とアチコチに分散される効果があり、ランダムエラーに効果が高いリード・ソロモン型ECCと組み合わせることにより全体の訂正能力を高めるうえで効果が高い。

データ・トラックの「光ビーム追従失敗でゴソッと抜けたデータ」が救えるのは、「1群」だった音楽の元データが、数トラックに分散して記録されていることにより、「1群」がゴソッと紛失するのではなく、「1群」の音楽データからは数ビットが紛失する程度に留まるから訂正できると言える。「インターリーブ」により「一群喪失」が救えるのは、企業要人が飛行機で外遊するときパラバラと別便で出かけるのに似ているが、人材の場合は「訂正」に使える「予備人材」の補充が困難である点が異なる。

3.2 光記録媒体(ディスク)技術

「光ディスク」と総称される「ディスク」にはデータの記録再生原理が全く異なる2種類の技術が利用されている。

その1はCD/DVDやBlu-rayのように音楽や映画を、不特定多数の消費者に届ける目的で、同一の情報群が記録されたディスクを「印刷」(転写)により多数枚(一般には100万枚程度)製造して販売する「ROMディスク(含ソフトウエア・プログラム)記録」であり、情報は直径 1μ 程度の「台地型(メサ形)」の「3次元ビット」としてディスク表面にポリバケツと同様の「射出成型」技術で転写・製造される。

その2はCD-RやCD-RWのように、PCユーザーや個人作曲家が、自身や仲間に1~2枚を手渡す目的で「創作」したコンテンツを収容する「世界で唯一枚のディスク」を制作する場合であって、多くはPC周辺機(ドライブ装置)で制作されるが、「代替品」は存在しないので「記録失敗」が許されないか、「記録失敗」が大きな損失になる場合である。

「CD-DA」のような音楽ディスクやデータROMディスクでは、32チャンネル程度の業務用テープ式データ・レコーダーで音声等を記録し、ミキサー操作を施した後に左右独立に44.1ksps(サンプル/秒)の16ビット・リニア方式でサンプリングされたデジタル化ステレオ音声テープ(完パケ=初期データ)がディスク成形業者に手渡され、成形業者はカッティングマシンでマスター盤を製作の上、これから複数のスタンパ用金型を製造して、1億円規模の射出成型機で凹凸付ディスクを量産し、その後アルミ反射膜や保護膜を形成の後、レーベル印刷等を経て出荷され、店頭に並ぶ。

一方、PC記録用ディスクの場合は、OS(Windowsなどのオペレーティング・システム)がデータを作成するので、低コストな書込用ドライブのOP(光学ヘッド)案内に必要な「案内ミゾ」等を射出成型機でスタンプしてから、記録膜の種類に応じた手法(CD-Rではスピン・コート)で記録膜を形成したうえで、必要な保護膜やラベルなどを付けて出荷され、店頭に並ぶ。

消費者はこの店頭商品を購入の上、自身のPC環境に内蔵(または接続)された光ドライブに挿入の上で、「ライティングソフト」(CD-R等)や「OS配下で動作するソフト」(MO/相変化)を用いて所望のデータを記録し、自己の保管や友人への供与に使用する。結果として、所望データが記録されたディスクは世界で1~2枚のみである。

3.2.1 ROMディスク成形・転写技術の詳細

CD-DA(音楽)やCD-ROM(PCソフト)などにおける、マスター製作の詳細は井橋孝夫 技術の系統化調査報告 vol.25「コンパクトディスク(CD)の開発、実用化技術系統化調査」(2018 国立科学博物館)を参照されたい。その情報「転写」速度は、〈囲み記事3:ODD産業のスペクトラム〉のように新聞用輪転印刷機の100倍以上であって、桁違いに速い。

3.2.2 光磁気媒体と記録技術

MO記録の動作原理は、フェリ磁性膜⁴⁾が、「キュ

リー(点)温度」を超えると「強磁性」を失い、比較的「低い外部磁界強度でも磁化されてその結果が残る」ことを動作原理とする。

したがって、記録膜の温度を一瞬で百℃以上に高める Hi-Power レーザーと、その近傍(一般には裏側)には磁気ヘッドの両方が必要になり、OP(光学ヘッド)可動部が大型になって、「可動部が重くアクセスが遅い」という問題点がある。

MO 記録材料膜として必要な性質は、フェリ磁性^{*4}を示すことであり、Tb(テルビウム)、FeCo(コバルト鉄)、GdTbFe(ガドミウム-テルビウム-鉄)、など希土類元素を含むフェリ磁性体膜が MO 記録材料として選ばれる。また磁気特性上は垂直磁化膜(記録膜の「表→裏」またはその逆に磁化される)であり、読み取り S/N の観点から保持力 1 kOe(エルステッド)以上が好ましい。さらに再生時は「磁気カー効果^{*6}」を利用して記録膜の磁化方向を判定するので、反射光の偏光面変化から磁化の向きを判別する。記録膜は 1/0 の 2 状態を記録・保持するが、この変化量は極めて小さく 1°/360° 以下程度なので、その検出のためには光学的差動検出が必須となる。

その記録原理は、レーザーの光エネルギーにより記録材料膜の直径 1 ミクロン程度の領域をキュリー点近傍(100℃以上)までスポット加熱した上で、裏側の磁気ヘッドで磁界の向きを反転し記録することにより記録が残る。

このような記録原理なので、安定な記録を残すにはキュリー点温度が数 100℃程度に高い材料が好ましいが、高すぎると記録時のレーザー・パワーが多分に必要になる問題があり、低すぎると保存温度によっては外部磁界などによる記録データの消失が問題となる。

記録感度を上げ、かつ記録エッジを鋭くするため、急熱・急冷になるよう、Al の反射膜構造すなわち、[SiN/MO/SiN/Al] の薄膜積層構成にすることにより、反射率が 20%程度に上がって再生感度が向上し、このときの MO 膜最適膜厚は 10nm 程度と判明し、製造された。

この構造は MO 層の熱が直ちに AL 層に流れ、急冷が達成されるものと考えられる。また SiN は屈折率が比較的高く 2.0 なので、その膜厚を調整することによりディスクの反射率を 20%前後に調整する事が容易である。

一般に光磁気材料は腐食しやすく、MO 膜の保護には SiN(窒化シリコン)を使用する。

なお、MO 方式で最初に ISO となった書込型 5 インチでは、CAV(回転数一定)であったため、外周の

記録時には線速が内周の 2 倍になり、レーザー・パワーが約 2 倍必要との計算になったが、Al の反射膜構造を採用したので、所要レーザー・パワーは 20~30%の増加に抑えられた。

一方ディスク基板に関しては、当時の ROM ディスクには PMMA(メタクリル酸樹脂)が広く使われていたが、PMMA は吸水性が大きく光磁気ディスクの基盤には不向きだったので、当時新たに開発された PC(ポリ・カーボネイト)の基板を採用した。

しかし PC は、成型時の残留内部応力による複屈折^{*7}が残りやすく、MO の見かけ偏光面がこの複屈折変動により大きく変動するので、PC(ポリカ)の複屈折成分と MO 信号の記録偏光成分との分離が必須になった。この問題は、成型技術、光学技術、信号処理技術の向上により MO 信号のみを検出することを可能にして解決した。

MO 膜の成膜は、スパッタリング法により行われた。蒸着は膜厚のコントロールが難しく、ディスク全面の膜厚均一性も困難であったことによる。

古典的な動作では、第一回目の回転で記録膜に近接設置した磁気ヘッドに直流電流を流して「N 極」の DC 磁界を加えつつレーザー光を連続照射する。「レーザー光照射」でキュリー点を超える温度に上昇したトラックは、全周にわたり、N 極向きに磁化される。この後の 2 回目の回転では、同一磁気ヘッドの電流を反転し「S 極」磁界を印可しつつレーザー光をデータ信号で強度変調しながら照射する。これでトラック上にはデータ信号に従った NS 磁化反転が記録される。これが基本動作であるが、磁気ヘッド側にもデータ信号に従う電流反転を与えて、事前の 1 回転を省いて高速化したもの等、種々の変形がある。

再生時は記録膜の磁化方向をカー効果(偏光面回転を明度変化に変換)を利用して旋光性(右回り/左回り)の向きを明暗で検出することにより、記録膜の NS 極性を読み取る。130mm と 90mm の ISO 国際標準化ではこの方式が採用された。

3.2.3 相変化記録への転換動機

上記 MO 方式は記録結果の安定性に優れてはいるが、ディスク媒体の両面を使って磁界とレーザー光の両方を印加しなければならず、ただでさえ重い光ヘッドが大型になることと、本来は片側でアクセスできるはずの光ビーム方式の利点を損なう結果となっていた。

これを改善する目的で、補助磁界(裏側磁気ヘッド)を必要とせず光ビームのみで記録できる「相変化記録膜」を用いる方式が当時の松下電器(株)を中心に

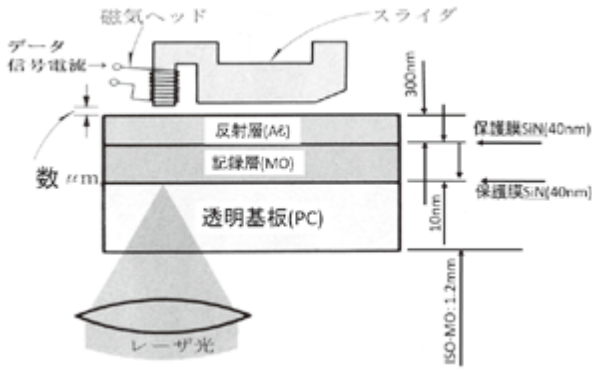


図 3.7 光磁気記録のヘッド配置と膜構造
(出典：「日経エレクトロニクス」No.419. p94, 1987 年 4 月 20 日号記載図を基に筆者追記)

に精力的に試みられ、現在の CD-RW、DVD±RW に活用されている。

その動作原理は、GeSbTe (ゲルマニウム・アンチモン・テルル) 系の合金結晶膜において、短パルス・レーザー照射で 600℃ 程度に昇温して熔融の後に急冷すると、そこだけアモルファス状になり、周りの結晶部に比べて反射率が上がり白く見える。この反射率の高低を光学ヘッドで明暗信号として読み取るとデータ信号が得られる。

この相変化記録膜では、レーザー照射のみで記録／再生／消去が可能であり、MO 方式に比べて遥かに便利である。欠点は書き換え回数が 1000 回～数万回と、磁気ディスクや MO に比べると少ない点が挙げられてきたが、現行の利用状況からは大きな不都合とはなっておらず、最も普及した「(真の)書き換え型光ディスク用記録膜」と言える。最近の研究では、原理的には 100 万回程度の書換回数も可能と言われている。

3.2.4 相変化記録媒体とその記録技術

相変化記録膜の研究は、松下電器(株)(現パナソニック)において精力的に行われた。1970 年代初頭に入社した同社の田中伸一元研究所長の開発黎明期伝聞によれば、1972～3 年頃に「レーザー・ビームを当てると黒くなる」程度の初等的な材料探索を実施していた。

1970 年代後半になるとアナログ記録が可能になって音楽再生をデモしたところ雑音が多く、同社創業者・松下幸之助が「潮騒の向こうから聞こえてくるような音やな」と評したことを聞いているという。

それから約 15 年後の、1986 年頃になると研究陣は「再結晶の高速化は立方晶系のはず」と確信し、現在使われている「GST」(ゲルマ・アンチモン・テルル)組成に到達し、1987 年の ISOM'87 学会の Poster

Session で発表^{*8}した。

「GST」以前の「書き換え」では先行ビームで消去してから記録する「2 ビーム方式」だったので、相変化膜の実用化は困難と考えられていたが、GST のように良好なメディアが発明されて 1 ビーム上書きによる書き換えが実用になり、現在に至った。

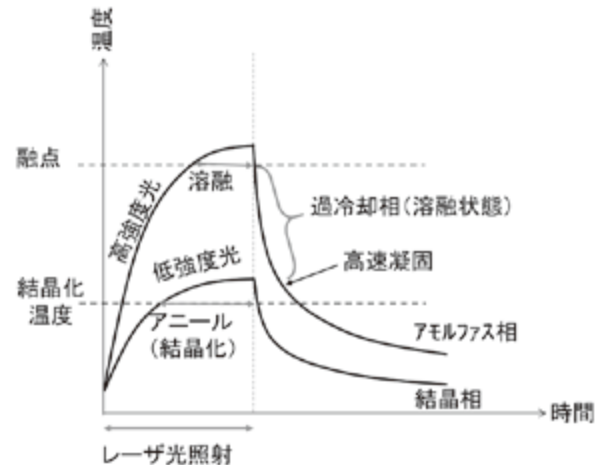


図 3.8 相変化記録膜の記録原理模式図
(出典：元松下電器(株)田中氏の提供による)

1 ビームによる書き換えは図 3.8 に示すようなプロセスで行われると考えられている。

すなわち、記録膜に強いレーザー光を照射するとその部分の温度が融点を超えて熔融し、照射を止めると急冷して凝固する。このとき、融点を下回ってもすぐには凝固せずに過冷却状態となり、さらに冷却が進むと一瞬にして凝固する。原子が自由に動いている液体状態から一瞬にして凝固するために原子が整列する時間がなく、バラバラ原子状態のまま凝固してアモルファス状態(記録状態：白濁)となるものと理解されている。

他方、融点よりも低い結晶化温度まで昇温する程度の「弱めのレーザー光」を記録膜に照射すると、熔融はしないものの原子がわずかに動いて整列し、より安定な結晶常態(消去状態：黒色)となると考えられる。

すなわち、記録プロセス／消去プロセスを経て至るアモルファス状態／結晶常態の決定は、照射するレーザー強度で定まる温度のみで定まり、それ以前の状態に依存しないので、古い記録情報の上に新しい情報を上書きすることにより書き換えることが可能となり、「真の」書換型記録膜が実現した。

記録プロセスを安定させる上で過冷却という現象が結果として大きな効果をもたらした訳だが、開発当初からその効果を目論んでいた訳ではなかった。結果的

にその効果によって実用的な記録メディアが実現できたことは幸運だった、と総括される。

なお、相変化の原理である「再結晶→アモルファス」の繰り返し「回数には上限がある」と当初は思われていたが、その後の検討によると、「書き換え寿命」は再結晶による偏析などの化学的変化ではなく、熱応答による「機械的変形」が主因であることが分かり、原理的には「100万回」の書き換えも可能と現在は言われている。

一方、1987年頃始まったISO標準化を利用したビジネスについては、同社が当時実施したマーケティング・アンケートによれば、「ODD（光ドライブ）は無くても困らない」という意見が大半だったので、ISO-MOの市場ニーズは低いと同社は判断し、これら技術のビデオディスク事業への展開を検討し、開始した。

さらに、1980年代後半になると「パナファイル」等と称する「大量文書蓄積・保管装置」が各社から上市されたと先に触れたが、これらの記録材料は当時よく知られていた書き換えのできない「酸化テルル系」だった。事業部としては「学会発表^{*8}直後で出来立てのGST材料」は採用できなかったものと思われる。

第3章の参考文献と補遺

- *1: 松村純孝 「LD（レーザーディスクシステム）の開発、実用化に関する系統化調査」、vol.21（2014）、国立科学博物館。
- *2: 光学系の参考文献: 田中・小川、「CD読本」、オーム社。
- *3: 「CIRC」: Cross Interleave Reed-Solomon Code
- *4: 「フェリ磁性」: 結晶内部に独立な2種類のスピンの持つ性質。
- *5: 文献*1, vol.21（2014）p193から引用。
- *6: 磁気カー効果: 磁化材料表面に直線偏光光を当てると、反射光が円偏光になる現象。
- *7: 複屈折: 透明基板を透過する光の速度が、入射光の振動面によって異なる現象。光ディスクでは集光スポットが円形にならない不調をきたす。
- *8: Noboru Yamada, et. al, "High speed Overwritable Phase Change Optical Disk Material", Proc. Int. Symp. on Optical Memory, 1987, (JJAP vol.26 Supplement 26-4) .

3: ODD 産業のスペクトラム

「団塊の世代」と呼ばれた著者の世代は、「発明」と「企業内創業」に満ちた時代を、「エレクトロニクス産業」の勃興とともに一生を過ごした、ラッキーな世代だったと言える。

そこで、この世代がほぼ一生を過ごした時間がどのような時代だったかを振り返ることにより、後世への資料としたい。

光ディスクがどのような技術で構成されているかは先の2章で述べた。これらを一まとめにして「遠目」で眺めると、以下ようになる。

- ① マイコン。
- ② （半導体）レーザー。
- ③ 大量複製技術^{*1}と記録膜。
- ④ 精密駆動制御。
- ⑤ ECC。
- ⑥ その他。

最初の①マイコンは筆者が社会人になった瞬間の1974年にはまだ存在せず、勤め始めて数年後に「発明」されたものであった。「新入社員」として「入社研修」に連れられて行った「見学先」は「全銀システム」という、当時は「日本最大の超大型コンピュータ」と言われた国産コンピューターDIPS（IBM360の国産コピー）であったが、そのメインメモリは2MBの磁気コアであって、現在のスマホどころか、洗濯機の内

蔵マイコンにも及ばない、小さなものだった。

著者が初めて「マイコン」に接したのは1978年に発売された「MP-80」という「初心者用キット」で定価3万9千500円であり、「メインメモリ」は別売りだった。それは1976年にNECから発売され、爆発的ヒットとなった「TK-80」（定価8万8千500円）という日本で最初の「マイコン組立キット」をヒントに改良・低価格化された物だった。このMP-80に「512バイト」のインテル製IC-メモリを1個追加購入し、メモリサイズ1024バイトでBASICを起動して後日CRT表示を追加したことを記憶している。

次に重要な部品の領域は、ノーベル賞も受賞した②「半導体レーザー」である。「レーザー」とは「コヒーレント光」を発光する素子で、電球やLEDと異なり、「波長と位相が揃った光源素子」である。この光源の「発展成果」は、1980年代には830nmだった光源波長が、1996年には430nmとほぼ「半分」になり（ノーベル賞は2014年）、単純比較では「4倍」の記録密度がこれだけで可能となったことになる。最新の「Blu-ray」では、波長と共に様々な周辺技術の改良により、CDの100倍の容量が実現されている。

この「半導体レーザー」技術は、照明器具用のLEDにも応用され、2020年現在では、蛍光灯を上回る「電気-光量」変換効率（約20%）が実現され、「夜間の省エネ」にも大きな貢献をしている。

一方、「記録膜」の技術に目を向けると、「記録膜」そのものではないが、CDを始めとする③「大量複製技術」も長足の進歩を遂げ、CDでは500MB/3秒だったものが、Blu-rayでは25GB/3秒と50倍になった。

これがどれくらい「スゴイ」かを知るために、高速印刷の代表である新聞用「輪転機」を、バイト/秒に換算してみよう。ネット上ではその「速度」は48p/sと出てくる。

新聞の1ページは、全角文字（普通漢字）数換算で15文字×14段×73行=1万5千330文字/秒～30kB/pであり、48p/s×30kB/p=1440kB/sと計算され、これはCDの1/100以下である。

イメージ換算では、標準的な150DPIが5.90Dot/mmなので、1頁の印刷範囲を55cm×40cmとすると、1頁の画素数は7.6582Mbit/pと計算され、印刷速度が48p/sなら、368Mbit/s=45.9492MB/sとなる。

全角文字換算で1.44MB/s、イメージ換算でも46MB/sであるから、後者でもCDの1/4程度であり、BDの「8000MB/s」は新聞印刷46MB/sの約174倍の「超高速印刷」ということになる。このCD以降の「高速性」こそ、まだインターネットが普及前だった、20世紀終盤のPCを始めとする「情報化社会」の入り口を開いたと言える。

（囲み記事11：Blu-ray Disc 秘話）で述べる「ゲーム事業」もまたこの高速性を活用した事業モデルであった。

なお、本報告のタイトルは当初、「書換型光ディスク」であったが、それを「書込型光ディスク」と改めたキッカケとなった「色素記録膜」も「光ディスク」にとって重要な要素技術ではあるが、残念ながら筆者はその「研究と開発」に携わっていないので、詳細を記載することができない。

④の「精密制御」を語る時、先に述べた「マイコン」の話とともに「ファーム・ウェア」を抜きには語れない。

「ファーム・ウェア」とは、録画装置や洗濯機、炊飯器など、多くの家電製品に搭載されている「マイコンIC」内部で動作する「ソフトウェア」の総称であり、現在の家電商品ではカタログ記載の性能を実現する上で最重要な役割を担っている。

後段で紹介する「ディスク投入後にゴトゴト」はこの「ファーム・ウェア」の役目だし、かつて技術陣が大騒ぎした「トラッキング」や「フォーカシング」もファーム・ウェアで実行され問題は解決、「コピー制御」も「ファーム・ウェア」のなせる業であり、クルマの「自動運転」もまた、「ファーム・ウェア」での実現であり、その良し悪しがクルマの売れ行きを左右することになりつつある。この「便利」で高性能化の「鍵」となった「ファーム・ウェア」は持ち運びが簡単なので、皮肉なことに「光ディスク製造業」の「儲からない化」に大きく貢献することになった(4.2.2)。

⑤のエラー訂正技術(ECC)もまた、「ファーム・ウェア」によって実行されており、現在においては「ス

マホ決済」の主役である「バーコードによる口座番号等読取り」に大活躍中であることは大勢が知るところとなった。

その他⑥に括弧であるが、この期間における「影響の大きい技術スペクトラム」としては、「ソフトウェア」の「市場流通が日常的」になったことではなかろうか。Windowsを始めとする主要ソフトが、CD-ROM/DVD-ROMという「パッケージメディア」により頒布され、「ソフトの存在と市場流通」が消費者にしっかり認識され、人々が取り扱いに「慣れた」ことも、「重要な社会資産」が形成されたことになり、「光ディスクの普及」がもたらした「市場の財産」になったと言える。

その他⑥では、同様に「社会の資産」に着目すると、「エンジニア自身が国際会議に出席」し、(ヘタでも)自分の英語で技術説明を行うことが「普通」になったことも重要な変化であり、これも日本の「社会資産」になったと言える。

1980年代までの国際会議では、「技術者」が自分の言葉で主張することは稀であり、「通訳」を介在するか、メンバー中の最も英語ができる人物に「代弁」してもらうのが普通だった。しかし実際の国際会議では、技術に「精通」した本人の言葉ほど説得力のある主張は無いことを、多くのエンジニア本人とその上司たちが体感したことは、その後を引き続いた各種の「標準化作業会議」での貢献度拡大に大きく影響した。

4 | 光ディスクに必須な互換性とその範囲・種類

「媒体交換型記録再生装置」である「光ディスク」では、媒体の取り出し・流通が期待されるので、これの実現のためには「何らかの標準化」が必須である。

このとき、「標準化」には2種類あって、「JIS」や「ISO」が定める「公的標準化」（含政令等）と、「業界により事実上」定まる「de facto standard」（デファクト・スタンダード：多くは公的標準化が追認）である。前者の例はISO-MOであり、後者の例はCD-ROMである。

一方、1980年代当時は既に事業着手している先行メーカーもあり事業利害が絡むので、行政側から「押し付け」という訳には行かない「自由市場」の原則もあった。

そこで、以下のような事前考察を行い結果として成功した部分と、結果として失敗に終わった部分とがある。「成功と失敗」の両方について事前考察の考え方を述べ、総括した結果を最後に述べる。以下には、まず事前の考察が成功裏に実現した例から始め、事前考察の失敗までを総括する。

4.1 5インチ(130mm)「書込型光ディスク」国際標準化の事前考察

4.1.1 市販が開始された追記型光ディスクの扱い

前記CDオーディオ系統（情報スタンプ・メディア）の商品が普及した1985年前後になると、この「光ディスク技術基盤」を応用した「大容量記録装置」が国内大手メーカーから続々と商品発売になった。「ヒットファイル（1983）」、「パナファイル」、「トスファイル」等の商品名で、既存紙文書をスキャナで読み取り、そのデジタル化情報を光媒体（ディスク）に記録・保管する商品である。

これらの商品群は、当時の電電公社（現NTT（株））が技術開発・普及を推進していた「FAX」の読み取り技術と部品群が共通であり、「スキャナ」や「（白黒）文書画像のデジタル符号化」技術（MH/MR）等が産業界としての標準化も完了し、部品群が市場流通できる体制になっていたことが光ディスクの応用を後押しした。

これらの光ディスク応用製品が商品化軌道に乗ると、米国メーカーに席捲されていたコンピューター用HDD市場に、光ディスク技術で参入できないものかと国内メーカー各社や通産省（当時）などが考えるよ

うになった。

ところが上記「～ファイル」群は各社各様の仕様で発売されてしまっていたので、相互の互換性がない。このままでは市場・産業の拡大が望めないと憂慮した各社は、通産省（当時）が呼びかけた「追記型光ディスク媒体の標準化」に続々と参加し、その総数は、90mm審議の終盤には国内50社に上った（〈囲み記事4：ISO-90mm委員会〉参照）。

4.1.2 国内メーカー群の動向

昭和58年（1983年）頃から、光ディスクを記録媒体とする「大容量文書記録装置」が国内大手電機メーカーから続々と商品発売になり、「ヒットファイル」、「パナファイル」、「トスファイル」などの商品名で、既存紙文書をスキャナで読み取り、このデジタル・データを光ディスクに記録・保管する商品であることは先に触れた。

これらのシステムは、当時の産業界の「時代のレベル」として、以下の状況にあった。

- (1) 「光記録は大容量」がキーワードだった時代なので、各社は12インチ（30cm）、8インチ（20cm）、等の大径ディスクで商品化を進め、多くの機種では「ディスク・オートチェンジャー」が付属していた。
- (2) CDが「半導体レーザー」で成功した直後だったので、各社とも「半導体レーザー」による記録を実現していたが、「半導体レーザー」の技術レベルは発展途上にあっただけで、使用波長は短いほど記録密度が上がるものの、各社とも確実に大パワー（>10mW級）の出せる830nm付近（暗赤色）を採用した。
- (3) 記録膜には、金属膜にスポット穴を開ける方式と、アモルファス層を高温加熱でスポット的に結晶化して反射率を低下（黒色化）する「相変化方式（3.2.3）」の2系統が並走していた。このころ、現在のDVD±RW相当の「書換型相変化膜」はまだ「研究途上」の段階だった。
- (4) 同じころ、太陽誘電（株）の研究者だった浜田恵美子（現・名古屋大学客員教授・博士）が当時のCDアルミ膜の反射率70%と同一値を有する第三の記録材料・色素膜を発明、その後のCD-RやDVD±R市場の基礎を築いた。

4.1.3 光ディスクの事業展開に必須の国際標準化

世の中で普及が始まった「商用コンピューター（メインフレーム/ミニコン）」に接続して使用できる「データ用光ディスク」を、世の中に普及・流通させるには、市販される記録用ディスクが「記録用」ドライブに入ることが最低限必要であることは自明であり、「情報を背負った（コンピューター用）光ディスクは国際的に流通するだろうから国際標準化（含 de facto）が必要である」こともまた自明であった。

一方、「光ディスクの仕様」とは、次のふたつから成る。

- ①「光ディスク媒体の仕様」と
- ②「光ディスク・ドライブの仕様」。

「出し入れ自由かつ流通互換」の目的を実現するには、両者がマッチするように製造・販売しなければならないから、どちらか片方を決めれば、もう片方は「自動的に」定まる。

さらに、「標準化」の後にも技術的發展を許容し促すためには、「規定」はなるべく小さい範囲に留めることが望ましい。この考え方に沿うて、「書込型光ディスクの国際標準化仕様」としては、次のふたつを基本戦略とした。

- ①「光ディスク媒体の仕様のみを定める」のが合理的である。
- ②「光ディスク・ドライブの仕様」は各社の技術開発成果に任せる。

この方針に基づき、「国内標準化委員会」は、情報処理学会の下で1987年にワーキング・グループ（WG）の活動を開始し、世界に普及を目指す「追記型130mm ライトワンス・ディスクの国際標準仕様書」の準備を開始した。

4.1.4 海外勢の状況

前記の戦略実行のためには、海外勢にも同様の影響力行使（規格の遵守義務）が必要であった。

オランダの Philips 社は1981年にソニーとの共同開発成果としてCDを発表し、翌1982年には実際の商品がソニーから発売された。したがって、技術的に先行していたはずの Philips 社にも、「国際標準化」の技術討論（WG：作業部会）に参加してもらう必要があった。

また、フランスのトムソン社も子会社の LMS（Laser Memory Systems）社で記録型光ディスクの開発を進めていたので、これにも声をかけて WG の議論に参加してもらう必要があった。

米国では、ソニーの現地法人があったが開発は東京

の研究所と事業部が担当していたので、国内の開発部隊の協力を得れば良かった。その他にはメディア大手のバーベータム（Verbatim：現・三菱ケミカルメディア（株））がメディア開発を進めていたが、磁気ディスク大手の IBM は「記録原理からして光記録は磁気記録に及ばない」として技術開発・標準化には関心を示さなかった。

このような状況の中で、当時の通産省（現経産省）の音頭で「（追記型）光ディスクの国際標準化」を進めることになり、電総研（当時）の和田弘（情報処理学会創設者）を ISO/SC23（Sub-Committee23（光ディスク））の委員長に推薦し、Chairman の座を獲得した。

4.1.5 国内標準化団体の設立と建付け

このような外部状況の中で、IBM を中心とする米国コンピューター産業の風圧から国内産業を防衛することを目的に、当時の「通産省」は「電電公社」を活用して標準化を推進した。

電電公社とは、戦後の発足時は「電気通信省」の一部門で、電話敷設事業という現業を有する官庁組織であった。その後、政府直轄の行政部門は「郵政省」に統合され、現業部門は「電電公社」に、研究所は電総研（電子技術総合研究所：現産業技術総合研究所）と、「電電公社に付属の電気通信研究所」（現・NTT（株）研究所群）に再編された。このような経緯から著者が入社した「電電公社武蔵野電気通信研究所」は「通産省」の行政指導配下にあった。したがって、「国産コンピューター産業の育成」を目指す「通産省」にとっては「電電公社電気通信研究所」は好都合な「実動部隊」だったのである。

「国際標準化」会議で提案すべき「130mm 光ディスク仕様提案書」の作成にあたっては、ISO/SC23 国内委員会の建付けを、先に触れたように旧通産省所管の「情報処理学会」の下に置かれた「規格調査会」が主体となり、その配下に設置された「SC23 国内委員会」が技術提案の作成を担当した。「技術提案」を作成するワーキング・グループは WG1～WG4 までが設置され、WG1：機械仕様、WG2：光学仕様、WG3：電気仕様、の担当とし、後年（1988年頃）に90mm仕様（3.5インチ）を担当するWG4が設置され、筆者も副査になった。

事前の考察が成功裏に帰結したのは、以下の4点である。

- ①既に事業が始まった12/8インチ（300mm/200mm）ではなく、近未来に事業が開始される見込みの

130mm 以降の標準化を目指す。

- ②国内メーカー群 50 社 (含: ドライブ/メディア両方) を、ひとまとめにして例外なく標準化の席に着かせる (抜け駆け防止)。
- ③「媒体交換型記録装置」としては当然ながら、「交換媒体」を標準化の対象とし、「(録再)ドライブ装置」は標準化の対象としない。
- ④海外の開発先行メーカーにも、ISO の技術審議には参加してもらい、「国際合意」の形で ISO 規格としたい。

との方針を固めて、国内メンバーを募り、「光ディスク国際標準化 SC23 国内委員会」が発足した。いずれも、「日本 (伝統) 方式」の「根回し型」進め方が成功した例と言えよう。

4.2 結果として失敗した標準化開始前の考察

4.2.1 CD 事業は「降級型」でなかった

「音楽の携帯持ち出しを可能にした」と言われる「ウォークマン」は、既に商品が完成していた「C カセット型テープレコーダー」から録音機能を外して商品化され、電器商品の常套である「高級機 (録再機) → 低価格機 (再生専用機)」の道のり、すなわち、ここで言う「降級商品型ビジネス」を歩んで大成功したと言われている (図 4.1)。

4.2.2 「降級型ビジネス」からの逸脱

これに対して「CD」は、録音機能が無い商品 (CD 再生プレーヤー) から市場が立ち上がり、数年遅れて 1 回記録のできる CD-R が発明・商品化され、さらにその数年後、書き換えができる「CD-RW」が発明・商品化された。すなわち技術開発の時系列に起因して、通常の家電市場とは反対向きの「低価格機 (再生専用機) → 高級機 (録再機)」の道のりを歩んだことになる。これを、ここでは「昇級型商品ビジネス」と名付けることにする。

このことは、「光ディスク」では、最初に全機能内蔵型高級機で市場開拓を始め、順次機能を外しながら低価格化していく「降級型商品ビジネス」という家電商品の常套手段を歩むことができなかったことを意味し、後年の「生産数量は大きいのに儲からない事業」展開をもたらした一因になった。

4.2.3 光ディスクに必要な互換性とは何かの考察

1982 年に一旦、「CD-DA」という、Read Only 商



図 4.1 「録音機能」を外した商品化が大成功したウォークマン (初期) (出典: Wikipedia)*²

品から始まった CD 市場が確立して「社会インフラ」とさえ言えるほどの普及が進んでしまった 1985 年以降においては、「これから」技術開発に着手する段階の「書込型光ディスク」にとっては、「普及済の CD とどのように折り合いを付けるか」について深い考察が必要だった。

すなわち、既に出回っている「CD-DA」(オーディオ) プレーヤーで再生できる「PC 記録型ディスクの再生」が必須課題であったはずであり、大量に出回っている 12cm ディスクとどのように「共存」していくのかについての、巧みな洞察によるシカケが必要だったはずである。

今にして思えば、

- ① ISO-90mm ジャケットから取り出せば既存 CD プレーヤーに掛かり読める商品が出せる。
- ② 120mm CD は諦めるにしても、90mm CD なら、ISO-90mm ドライブに掛かり音が出せる。程度の「相互乗り入れ」は技術的には不可能ではなかったはずである。しかしながら、「いくつかの業界的事情」で上記①~②の「案」はあっさり捨てられてしまった。その事情とは、
- ③ CD-DA の ECC はインターリーブ長が長く、PC 記録に向いていないし、いまさら変更 (相互乗り入れ) は不可能である (と思い込んでいた)。
- ④ CD-DA はオーディオ規格であり、書込型光ディスクはれっきとしたコンピューター周辺機なので、市場は独立である (と思い込んでいた)。
- ⑤ CD 互換を維持すると、「ソニー+フィリップス」の特許網に未永く縛られるのではないかと (思い込んでいた)。

というような、「漠然とした共通認識」が、当時の産業界にあった。したがって、「書込型の国際標準化」は「CD」系統とは「縁を切った」形で進めることに、国内

電機業界からは異論を唱える者は全く居なかった。

ところが、大学出たての浜田恵美子（現・名古屋大学客員教授・工博：先述）が太陽誘電（株）で反射率70%というアルミROM並み反射率を有するCD-R記録膜を1985年に発明した。これを使えば、CD-Rディスクにパソコンを使って音楽データを記録すれば、数億台出回っている「そのへん」のCDプレーヤーで「自作（又はコピー）音楽CDを聞く」ことが可能になった。この時点で、「CD-R」のような「1回記録型メディア」の大きな「価値」に気づくべきだったが、③～⑤の思い込みに縛られ、色素メディアの大きなポテンシャル「圧倒的に安価」に気づく者は、当時は皆無であり、この点は大きな失敗だった。

4.2.4 書込型光ディスクに必須な「ケース」の考察

先に述べたように、同一情報のディスクを大量に提供するCD-DAやCD-ROMと異なり、書込型光ディスクは世界で一枚のみ作成されるものなので、「ジャケット」と呼ばれる「保護ケース」が必須と、技術陣は予め考えていた。

ところが、ジャケット付きISO規格が完成してから約5年後の、1995年頃にDVDの規格検討が始まり、「保護ケース」の考え方に理解を示してもらう目的で、書込型光ディスクの重要顧客の一員であってDVD+RW（6社）アライアンスの一員のHP社（当時の米国PC大手）と商品化の打ち合わせに入ったところ、HP社は「保護ケース」をガンとして許容してくれない。技術陣は困り果てて、「ドライブ中では裸だがり出すときだけケースに収まる」方式などを試作して見せたが、先方は「Consumer商品ではケースは不要」の一点張り。最後は押し切られた形でCD-R/RWやDVD±R/RWをケース無しで設計することにしてドライブを量産して同社に納品し、また外販も行った。

ところが予想に反し、「書いたディスクが読めない」という苦情は1件も上がらず、現在に至っている。タネ明かしをすると、読めなかったらもう一枚書けば良いだけのことだった。つまり、ユーザから見ると1枚当たり20円～30円相当のCD-RやDVD±Rなので、ダメだったらやり直して良く、ドライブやディスクがその分安ければモトが取れる計算になることを、PCメーカーであるHP社は良く承知していたのだ。

別の事情もあった。「書き込みができない」と言う

顧客には、懇切丁寧に記録方法を説明し、「新品のディスクで再度記録をトライするように」勧めたのである。これで大半の顧客は満足した模様であった。「失敗作」のコストは気にならず、「世界で唯一」のディスク作成に大満足だったのである。

4.2.5 事前考察失敗の総括

家電業界で普遍的な「降級型商品ビジネス」を歩み損ねた「光ディスク」事業は、しかしながら、「CD-DA」という100年に一度の新技术で新市場が開けたことはラッキーな出来事であった。にもかかわらず、この「ラッキー」を活かせなかった。「ISO-MO」の「国際標準化」は順調にいったのに、「既存120mm系との両立化／互換化」を考慮しなかったので、「商品化戦略」は自戒をこめて失敗だったと言うべきだろう。4.2.3の①②で述べた程度の相互乗り入れは技術的には可能だったはずなので、何らかの形で「ISO-90mmMO～120mmCD系相互乗り入れ商品」が実現していたら、もう少し違った市場展開があり得て、現状よりも便利な方向に進んでいた可能性が高い。

例えば、「ISO-90mmドライブに掛かる」ことを活かしていれば90mm-CDが主流になっていたかもしれないし、CDプレーヤーで読める「ISO-90mmディスク・ドライブ」が主流になっていたかもしれない。

「歴史にIFは禁物」と承知はしているが、「国際標準化」を推進してきた立場の人間からすると、「残念の極み」と言える。

「保護ケース導入」の方は、結果としてHP社の主張が正しかったと思われる。DVD±Rが100枚単位で売られるようになるとは思っていなかったものの、1枚20～30円という販売価格は、「ケース付」なら、現在でも考えられない。

第4章の参考文献と補追

*1：CD用色素膜：ジアブ系統色素膜は、当初はマスターCD作成用途として開発されたが、市販済CDプレーヤーで再生できることが分かり、急速に普及した。DVDやBlu-rayにも利用可能だ。

*2：Wikipedia:<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A6%E3%82%A9%E3%83%BC%E3%82%AF%E3%83%9E%E3%83%B3>（2020-0225 閲覧）

4: ISO-90mm 委員会

1988年頃に設置され、ISO-90mmの標準化を担当したISO/SC23国内委員会のWG4は、基本方針として参加各社に対しては「民主的・平等」な扱いを建前とし、参加を希望する企業に対しては「仕様への貢献(提案)」を前提に門戸を開放していた。つまり「来たるものは拒まず」を前提に運営されていた。この結果、毎回のISO国際/国内会議の結果(議事録相当)報告は、筆者の勤務先であるNTTの研究所から全メンバにFAX送信されるあて先が50社にもなった。当時の自動FAXは、スキャナ読み取りは1回ではあるが、あて先ごとに自動ダイヤルで呼び出してから送信開始する方式だった。毎回の会議後は、5~6ページの議事録を作成した後、回線が比較的的空いている21時以降の時間帯に送信を開始するので、50社目の送信終了が明け方の5時/6時ということも珍しくなかった。メンバーからは「〇〇(筆者)さんは徹夜で仕事をしてるんですね。」と驚かれたことがある。これは、当時のFAX装置に送信/受信時刻をスタンプする機能がついていたので、スタンプ時刻を見た人が誤解したようだ。当時使用していた自動FAX端末は、着信側が紙切れなどで送信が失敗に終わると、3回まで再呼び出しを行う機能がついていたことも、最終着信時刻が遅くなった原因らしい。

5 | 書込型光ディスク国際標準化作業の軌跡

5.1 “書込型”光ディスクISO国際標準化着手

本報告のタイトルは「書込型光ディスクの技術系統調査」だが、「国際標準化」においては、「書換型光ディスク」の呼称が用いられ定着したので、この項では「混用」が生じることを予めお断りする。

光ディスク技術を用いる事業は、「CD」や先に述べた「追記型文書ファイル装置」の技術として、ディスク厚みは1.2mm、光学系は830/780nm レーザー、回転数は1800rpm 前後、記録材料はSe-Te系金属膜、として当時の業界標準が定まっていたし、普及の途上にあった「CD-R」は1回記録なので「別市場の商品」という位置付けだったから、標準化すべき仕様には大きな争点はなかった（と思われていたが、正しくは120mmCD系の扱いを熟考して置くべきであった）。

5.1.1 記録膜技術 / 媒体の多様性

日本がISO/SC23委員会の議長国になり最初に行った国際標準化は、1985年当時に商品が出回っていた12インチ(300mm)や8インチ(200mm)ではなく、まだ商品が投入されていない5.25インチ(130mm)であったことは先に触れた。当時知られていた記録膜は、セレン化合物の金属膜にレーザー照射エネルギーにより高温で穴をあけていく方式で、MO(光磁気)膜やアモルファス記録膜、後日の市場において大成する色素膜、等はまだ広く知られていなかった。

したがって、SC23国内委員会の「日本国提案ドラフト作成WG」は、「金属膜穴あけ記録方式」で最初の「国際標準化」を進める方針を採用した。これは最終的には「ISO9171」と呼ばれ、直径130mmの追記型光ディスクが略正方形のカートリッジに納められ、カートリッジ全体をドライブに挿入する方式であった(図5.1)。



図 5.1 ISO9171 型 130mm 光ディスクカートリッジ
(同一外観の書込型の写真)
(シャッター閉(左)と開(右)、チャッキング・ハブは磁気吸引式、
右下はスケール用十円玉) (出典：著者撮影)

5.1.2 難題のトラッキング方式の解決

トラッキング方式には数種類があり、論争があったことは先に触れたが、当時の日本提案は予め直線状(精密には円弧の一部)「案内ミゾ」を形成して置く「CCS」方式、フランス・オランダは「SS」方式を強く主張していた(3.1.8項参照)。たびたび開かれるISOのWGでも議論は収束せず、両者が歩み寄る気配が無いので、ISO/SC23としては「CCS」方式と「SS」方式の両者を国際標準として容認することにし、ドライブに媒体が入ってきた段階で見分けがつかないようにディスク最内周に「コントロール・トラック」というものを新たに導入して、ドライブに挿入されてから種別を読み取って判別することになった。

いわば妥協の産物である。しかもデータ・チャンネルが動作する以前に判別しなければならないので、トラッキングやフォーカシングが十分機能する前に判別する必要があるので、非常に荒い記録密度(通常データの100倍以上大きく記録)とした。これによりトラッキング方式は全く互換性のない2方式「CCS方式とSS方式の併存」が国際標準として認められた。

しかし、実際に市場投入された商品は日本勢の生産する「CCS」方式のディスクとドライブであり、「SS」方式の商品は提案国企業でも生産されなかった。

一方、「国際標準」としての1本化は出来なかったものの、「ディスク種類判別機能」の追加で実用動作ができる市場商品が矛盾なく「国際標準」になったことにより、提案両国のメンツは保たれた上で、商品の市場投入も実質可能になった。国際的産業摩擦の回避方法としては、首尾よく収まったことになる。

5.1.3 最後の課題は「Defect Management」

ハードウェア回りの「国際標準化」は日本代表団の計画通り順調に進んだが、最後に残った課題は「Defect Management」であった。

「Defect Management」とはHDD(Hard Disk Drive)において、「書いては見たものの(経年劣化等により)ECC訂正でも読めない」セクタが発見された場合に行う「エラー救済アルゴリズム」のことである。光ディスクにおいては、図5.2に示すように経年変化により記録膜の損傷が拡大することが知られていたもので、これの対策が必要であった。

HDDにおいては、データを記録した直後に「Read After Write」と呼ぶ「記録直後再生検証」を行う場

合がある。それは記録直後なら磁気ヘッドは当該トラックの半径位置に乗っているので、数 ms (ミリ秒) 待っているだけで一回転後に読み取り可能だからである。HDD においては「Read After Write でも失敗」のセクターのみは、予め確保してある「隠しセクタ」(冗長記録エリア) に数ミリ秒の時間をかけてヘッドを移動後、失敗セクタと同一のデータを再記録することになっている。これは後日の読み取り時において偶然に読めてしまった場合は「結果オーライ」であるし、元セクタが読めないときのみ「時間をかけて」「隠しセクタ」の方を読みに行けば良いからである。

この、「Read After Write」機能は、質量が大きくてヘッドの移動が遅い光ディスクにおいても回転待ちだけで実現が容易なので、ドライブ技術者としてはぜひ搭載したい機能であった。

種々検討の結果、光ディスクでもこの「隠しセクタ」(冗長記録エリア) 方式を日本から提案することになった。

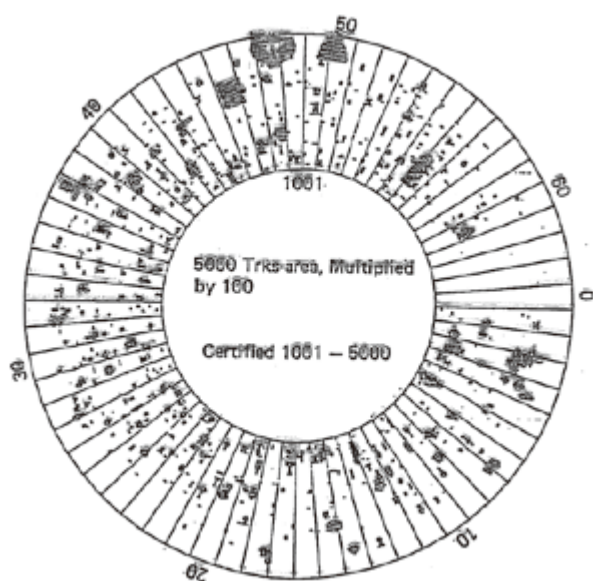


図 5.2 寿命加速後の光ディスク欠陥の一例
(欠陥の大きさは 100 倍に拡大)
(出典：著者の 1987 年実験ノートから抜粋)

HDD でよく知られたこの「隠しセクタ」方式は、光ディスク国際標準化 WG でも、PC 技術で先行する米国勢に受け入れられるとは見込んでいたが、光ディスクではどの程度の「交代セクタ」を用意して置けばよいかは、実績データがない。ちょうどその頃、筆者の勤務先 NTT 通研では、数年先立つ 1983 年頃から、各種光ディスクの加速寿命試験を行っていたので、欠陥の時間経過依存性データが集積されつつあった。その中から 5 インチ光ディスクの仕様に近いものを選

び、寿命後期でも信頼性確保に十分な予備セクタ数として 4096 セクタを「隠して」おけば実用上問題が起きないと計算し、「交代セクタは 4096 個」(片面容量 320 MB 中の約 4.1 MB= 約 1.28%) で十分との提案書を作成し、ANSI (米国標準化委員会) と ISO の合同委員会に提案した。

会議場はコロラド州ロッキー山脈上の ASPEN Lodge、標高 4000 メートルの高山病で頭痛と不眠に悩ませられながらの提案であったが、スナリ通過しそのまま ISO9171 (130 mm 追記型光ディスク国際規格) になり、ISO10089 (MO 書き換え型光ディスク国際規格) にも踏襲されて現在に至っている。

5.2 3.5 インチ (90 mm) 書換光ディスクの国際標準化開始

5.2.1 3.5 インチ (90 mm) 書換型光ディスクの標準化着手と課題

章 5.1 で述べた「5 インチ (130 mm) の標準化」が比較的スムーズに完成したので、これに続き、いよいよ「本命」の 3.5 インチ (90 mm) の標準化に着手したのは 1988 年であった。

5.2.2 寸法の日米案対立と評決

1988 年 4 月、ハワイのコナで ISO/SC23 の会議が開かれ、SC23 日本委員会の 90 mm 担当 WG4 のメンバーが約 8 名、それぞれの企業から国際航空券をもらって参加 / 出席した。筆者は、NTT から切符をもらって参加した。

WG4 が担当する 90 mm の国際会議は第 1 回目であったが、予め送付されてきた米国提案書では、書き換え光ディスクの直径が 89 mm (ケース幅は 92 mm 程度以上) で提案されていた。これに対し、日本国提案では、既にインフラとなっていた 3.5 インチ・フロッピーと同じ大きさの直径 86 mm (ケース幅 89 mm) で提案書を作成して送付していたから、対立が予想されやや緊張の面持ちで出席した。米国側は媒体メーカーである Verbatim 社 (現・三菱ケミカルメディア (株)) の Dr. Grimm が 89 mm の提案説明を行い、日本側は著者が、図 5.3 に示す 86 mm 提案の説明を行い、その趣旨を次のように主張した。

- ①すでに PC 業界のスタンダードである 90 mm フロッピーと同一サイズであることがユーザーにとっては最も利便性が高い。
- ②フロッピーで馴染んだ「現行スタンダード」を変えて 89 mm に変更しても容量はさほど変わらないの

に、108mmしかないPCの3.5インチ・ベイ（交換用スペース）に92-3mmのディスク・ドライブを入れるとSwayと呼ぶ「揺動余裕」が足りない。

③ 89mmでは日本人のワイシャツ・ポケットに入らない。

これに対し、種々の討論が行われ、米国側は「オレのポケットには入るぞ」などと主張しあった。頃合いを見て米人議長が採決に入った。正規の採決に先立ち、Straw Voteという「非公式投票」が行われた。これは、出席者全員が一票をもつ意思表示を集計し、世論がどの辺に落ちているかを探る手段の一つで、国際会議ではしばしば行われる。驚いたことに、このときは米国代表団の多くが「日本提案である86mm」に賛同の意見を述べ、賛成の手を挙げた。その後の正式採決では、ISOでは1国1票の原則なので欧州勢が日本提案の86mmを支持してこれが多数となり、「3.5インチ光ディスクは直径86mm」で決着した。

「国際会議の多数決決着」を目撃したのはこれが初めての経験で、「なるほど、こうやって決めていくのかあ。」と感心したのを覚えている。

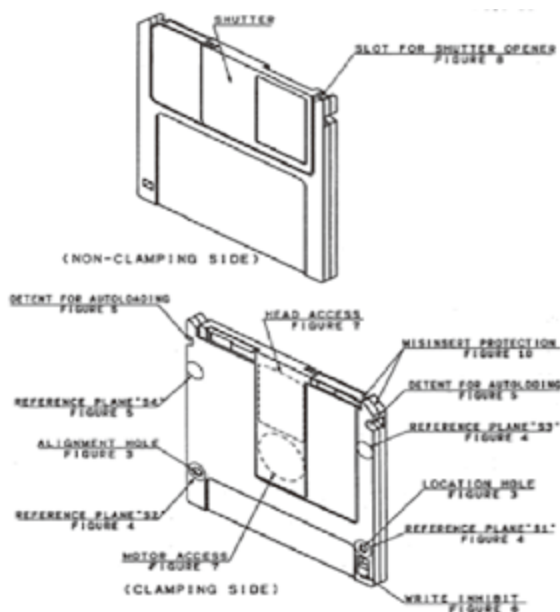


図 5.3 日本提案の90mmディスクカートリッジ外形図（一部）
（出典：筆者の手元資料から）

5.2.3 サーボ方式の対立と評決

「光ディスクの標準化」とは、「ディスク媒体の仕様規定」であることと、その媒体には発売前に予め「トラック・センターライン」相当の案内情報がスタンプされていることは先に述べた。したがって、「トラッ

ク・センターライン相当の案内情報」を2方式のうちどちらの方式で表示・成型するかは、標準化作業に参加する各社（50社）にとってはその後の議論を大きく左右する重大関心事であった。すなわち、5インチの場合と同様にトラッキング方式の選択が前提となった。5インチ（130mm）のときは「両論併記」で決着させた「例の」件である。

この経験から、90mmの国際委員会では、「両論併記」は避けて1本化したいと言う強い願望が生まれ、「DBF」*1と略称する「サンプル・サーボ系フォーマット」が日本の90mm提案のベースだった。当時、勃興しつつあった「CD-ROM」機能も取り込みたいという意図もあり、「スタンプ・ディスクと書込型の両立」を目指した、野心的な日本国提案とした。これが否決されたので、「試作品」が完成していた国内産業界にとっては大きな打撃となった。

当時の状況を、長らく保存してきた議事録を引っ張り出して再現してみよう。何分、40年前の出来事なのでpdf保存している当時の議事録をもとに、1989年10月23/24日に東京タワー前の、機械振興会館2F会議室で開催されたISO/SC23/WG2（電気仕様担当）の国際会議模様を振り返ると、以下のように進んだと記されている。

- (1) 米国代表団からは、サーボ方式で対立している「CCS派」と「SS派」の議論に早期の決着を図るため、最終決着を図りたい旨の意見が同WG冒頭に表明された。
- (2) これに対し、スイス代表のMr.Hekimi (EcmA (European Computer Machinery Association)の重鎮)から、「5インチの例のように両方認める手」もあり、どちらか一方に今決めるのは時期尚早」との意見が出たが、オランダ、ドイツ、が「CCS」（古典方式）が早い商品化が可能」として、「投票による早期決着」を支持した。
- (3) 日本代表団は「投票による決定は時期尚早で反対」の立場を表明した。
- (4) これらの意見陳述の後、米国代表団は、「CCSの採択による審議促進を投票で」の「動議」を提出、オランダがこれを支持したので、動議は成立。直ちに指名投票（議長の指名により賛否表明）に入った結果、

- ・賛成：米国、オランダ、ドイツ、ブルガリア
- ・反対：日本、
- ・棄権：スイス、英国

の結果となり、日本提案の「SS方式」（当時はDBF (Discrete Block Format) と呼称) 案は会議冒頭で

あっさり否決され、爾後の議論は古典的な「CCS」方式1本で進められることになってしまった。

前日までに予め用意してあった、同館内地下のデモンストレーション展示は、各国の出席委員の目に触れることなく撤去せざるを得なかった。それまでの「苦勞」が「水の泡」となった感があるが、何分「国際会議」の経験に乏しく、事前準備も事後の一手も打ちようがなかった。

国際会議を何度か経験した現在、その経験を生かして「打つ手は有ったか」といえば、「有った」と言える。国際会議では、暗黙の「議事ルール」と見なされる「Robert's Rule Of Order」と呼ばれる「独特な議事規則」が存在しており、議長はこの規則に従って議事を進める「義務」があると見なされている。

この書物によると、議場における「動議」の扱いに細かな優先順位が設けられていて、これを用いて、審議の促進や審議の進行停止を図ることが許されている。「動議」とは「議事進行に関する提案」であって、「誰か他人(一人)の支持」があれば、他の案件、例えば「質疑」や「討論」に優先して取り扱うことが書物のなかで規定されており、優先順位も12段階にわたって定義されている。最も高い優先順位は「休会」と訳される「adjourn」であり、すべての審議は中断されて、会議は「散会」となるので、「意に沿わない決定」が回避できる。この「Robert's Rule Of Order」は当時の日本では知られていなかったが、昨今はインターネットでも「ロバートルール」で検索できるので、国際会議に関わる方にはご一覽と、一冊を手元に置くことを勧める。

もしもこのとき、日本提案の「DBF」が「両論併記」だとしても生き残っていたら、現在の「CD-ROM」に替えて「DBF-ROM」がWindowsの配布媒体になっていたかも知れない。

5.2.4 ISO10090 (ISO-90mmMO) 国際標準のその後

以上のようにして、3.5インチ(90mm)書込型光ディスクの国際標準化が進み、手元の資料では1990年12月に2nd EditionがCommittee Draftとして提出されているので、1991年頃には最終版がISOから配布された模様である。

当初の90mmは容量128MBで標準化されたが、その後、記録密度向上の努力が払われ、MO記録型の光ディスクでは、230MB、640MB、1.3GB、2.3GB、と容量を拡大してきたが、CD-RやDVD-Rの登場に押されて、世間一般への「普及」には至らなかったも

の、一部の「愛好家」には根強い支持があった。

50社もの国内製造関連企業が参加したのに、MOディスクが広範な普及に至らなかった理由を以下に考察する。

- (1) 標準化に着手した1985年前後においては、磁気ディスク円盤と1ミクロン以下の距離で浮動・走行する磁気ヘッドよりも、1mm程度の「上空」を走る光ヘッドの信頼度のほうが高く、ときどきクラッシュする磁気ディスクを置き換え得るのではないかという期待があったが、そうはならなかった。「Magneto-Optical Disk」は正確に直訳すると「磁気光ディスク」なのに、日本ではあえて「光磁気ディスク」と称して、あたかも「磁気ディスクの新種」であるかのような印象を振り撒いていた点も逆効果だったかもしれない。
- (2) CDやCD-Rは、「大量印刷メディア」としての性格も持ち、新聞雑誌のような「大量出版メディア」としての役割を果たしたのに対し、ISO-MOディスクは、先の「サーボ方式の一本化」の結果、その目論見であるROM出版を果たせなかった。サーボ方式に「SS」方式を推した一群のエンジニア達は、ROM部分と書き換え部分が1枚のディスク表面に作れる、「Partial ROMディスク」と呼ぶべき構想を持っていたが、「CCS」派に押し切られ、技術的な実現が阻まれたまま、この構想は実現しなかった(「ROM」と「書込型」の関係については12むすび「白紙」の項で再考)。
- (3) 「CD-R」は、「発明」が後発だったにもかかわらず、記録済ディスクが既存の「CDプレーヤ」で聴け、1枚あたりの製造コストが他の記録方式に比べて「圧倒的に」安くできたうえ、WindowsというOSが自身の「ROMからBOOT」のためにサポートを開始し、さらに「CD-R Writer」と呼ばれる「記録用ツール」が早い時期に出回って、多くのWindowsユーザ(大衆)がその利便性を体験したこと。

等などがCD-Rが急速に普及した理由として挙げられる。

米国IBM社が「記録原理」で眺めると「磁気ディスク」に軍配が上がるとして、当時は光ディスクの技術開発に興味を示さなかったことも影響していたような気もする。

さらに、

- (4) 「MO方式」はデータ保存性の点で他の記録原理よりも勝ってはいたが、ディスク1枚当たりの媒体コストが割高だったことと、ディスクの両面から磁気ヘッドと光学ヘッドを接近させる必要があ

り、ドライブが高価になりがちだった事などにより、CD-Rを競合相手にした場合、その凌駕は難しかったと思われる。

5.2.5 その後の光ディスク事業の進展

このようにして、5インチ(130mm)追記型から始まった「ISO標準型光ディスク」は、追記型(Write-Once)から始まり、互換を保ちながらMOへ移行し、3.5インチ(90mm)では最初からMO(書き換え型)で事業が開始されたが、先の事情で「ROM」機能は実現できず、「媒体交換型HDD」の位置づけに留まった。最新のドライブでは5インチで5.2GB/両面、3.5インチで2.3GB/両面までの容量が実現されており、各種の新技术を組み合わせて大容量化が進んだ。

これらの書込型はWindowsのホスト・インタフェース(USB)から眺めたとき、HDDと同一のファイルシステム(FAT方式)で処理できるので、CD-R記録に必要な「特別なライティングソフト」が不要であり、USB端子にケーブルを差し込むだけで利用可能であったこともマニアへの普及に貢献していた。

一方、DVD録画機やデジタルTV放送の登場とともにPC環境のみならずA/V環境での利用場面が拡大し、CD-RやDVD±Rの扱い方に慣れたユーザーたちは、必ずしもMOのようなWindowsシステム(FAT)に包含されて便利な記録メディアのみならず、1枚30円以下で購入できるCD-RやDVD-RをPC環境で「専用ライターソフト」で利用することも上手になっていった。

この結果PC環境においても、ドライブやメディアが高価なMOではなく、安価なCD-RやDVD±Rを利用するユーザーが増加し、市場もまたこれらの顧客を対象に拡大・低価格化が続き、現在(2020年)に至っている。したがって、MO市場は「ISO国際標準化」に基づく大容量化にもかかわらず、2000年以降の市場は相対的に縮小に向かうことになった。

5.2.6 「実質標準」になった「de facto規格」たち

ここで、世の中で「実質標準」(de facto standard)になった「光ディスク」について表5.1に一覧を示す。

5.3 AV用途で光を放った「MD」

国際標準(de facto)にはならなかった表5.1には含まれていないが、(日本では)「MDを愛用」した消費者も多く「あれは光ではなかったのか」とお思いの読者も多いはずなので、一項目を起こして触れることにする。

5.3.1 「MD」とは

「MD」とは、「Mini Disc」の略で先に触れた「記録原理」から眺めると「MO記録」(光磁気記録)に属するので、書き換え回数はほぼ無限であり、いわゆる「カセット・テープレコーダ」の代替技術・代替商品と言う位置づけの商品であった。外径120mmのCDと異なり、日本人の手のひらに馴染みやすい外径

表 5.1 「実質標準」になった光ディスク群

規格名	発売年	記録原理	機能	φ ^{※1}	t ^{※2}	Laser ^{※3}	容量(MB)	最新容量 ^{※4}	備考
LaserDisc	1979	凹凸ピット	画像頒布	300	1.2×2 ^{※4}	633/780	1時間動画	2時間動画	初アナログ光
CD Audio	1981	凹凸ピット	音楽頒布	120	1.2	780/830	640	700	初(BBB ^{※5} +ECC ^{※6})
CD-R	1985	色素膜	PC追記	120	1.2	780/830	700	800	CD互換
CD-RW	1987	相変化膜	PC書換	120	1.2	780/830	650	800	CD互換
5" WORM	1987	金属膜	PC追記	130	1.2×2	780/830	320	5200	初ISO
5" MO ^{※7}	1989	光磁気膜	PC書換	130	1.2×2	780/830	320	5200	WORM互換
3.5" MO	1990	光磁気膜	PC書換	90	1.2×2	780/830	128	1280	MO単独
DVD	1998	凹凸ピット	画像頒布	120	0.6×2	650	4700	4700	初BBBビデオ
DVD±R	1998	色素膜	PC追記	120	0.6×2	650	4700	8500	DVD互換
DVD±RW	1998	相変化膜	PC書換	120	0.6×2	650	4700	4700	DVD互換
BD-Video	2003	凹凸ピット	画像頒布	120	0.1×2	430	25000	50GB	Hi-Video
BD-R	2003	色素膜	ビデオ追記	120	0.1	430	25000	128/100GB	BD互換
BD-RE	2003	相変化膜	ビデオ書換	120	0.1	430	25000	128/100GB	BD互換

※1: φはディスク直径(mm)。

※2: tは「レーザー入社面の光学厚み」を表す(mm)。「×2」は両面貼り合わせの意。

※3: 再生専用機は短波長側が多い。LDのみPC記録が無い。

※4: 2019年現在(無名数はMB)。ただし、多層記録のディスクを再生できないドライブがある。

※5: Bit By Bit記録の意。

※6: Error Correcting Codeの意。

※7: 5" MO等はISOだが比較のために含めた。

64mmに小型化された^{*2}。一方、CD技術を踏襲した「音楽MD (ROM)」も発売され、一台のプレーヤで「市販音楽MD」と「自己録MD」の両方が再生できる「便利複合商品」であった。

5.3.2 「MD データ」

当時、普及が始まったPC用途には「MD データ」というフォーマットも開発され、「ライセンス・スキーム」もしっかり整えられて、「商品とフォーマット開発」がソニー（株）一社で行われた「特異」な商品であった。

しかし、「CD」フォーマットのライセンス・スキームに味を占めた同社は、比較的に高額なライセンス料金を設定したので、国内大手電器メーカーは参入できたが、後続のアジア系企業には参入障壁が高すぎたためかMD市場の拡大は日本国内に留まり、世界市場には普及を見なかった。

5.3.3 「MD」で初採用された「音声圧縮」

「MD」では、民生用オーディオ商品としては初めて「ATRAC」と称する「圧縮技術」が使われた。「ATRAC」は「非可逆圧縮」の一種であり、48～352kb/sの5種類のbit-rateで符号化されるが符号化の過程で「省略」された情報は復元できない。「CD」では「省略」が無いのと対照的で^{*3}、この点が一部の

マニアに嫌われた模様である。後年、「無圧縮モード」も規格に追加されたが、「MDは圧縮で音質がイマイチ」のイメージを払拭できなかった。

しかしながら、「実用オーディオ」としては「圧縮符号化」でも十分な音質が提供できることを証明した商品が市場に受け入れられた実績は、その後米国を中心に起こった「MP3ブーム」の導火線になった。「ナップスター社」が火をつけたこのブームは、一時はパケット総量が米国大学内トラフィックの90%を占めると言われた。その「MP3」も、「レーベル企業による著作権訴訟攻勢」によって勢いは衰え、光ファイバー普及による通信帯域の向上によりそもそも「圧縮」が必須で無くなり、Hi-Fiオーディオ専用の圧縮技術は姿を消し、「圧縮技術」は主として画像情報に適用されて現在に至っている。なお、画像圧縮に利用されるMPEG規格については、「8.5 画像圧縮技術の導入」の項で触れる。

5.4 「光ディスク」の最終形 Blu-Ray Disc (BD)

5.4.1 Blu-Ray Disc とは

「BD」とはCD/DVDになぞらえた「俗称」で、正式には「Blu-Ray Disc」である。

“Blue-ray Disk”でないのは、各国の関連商標法上、

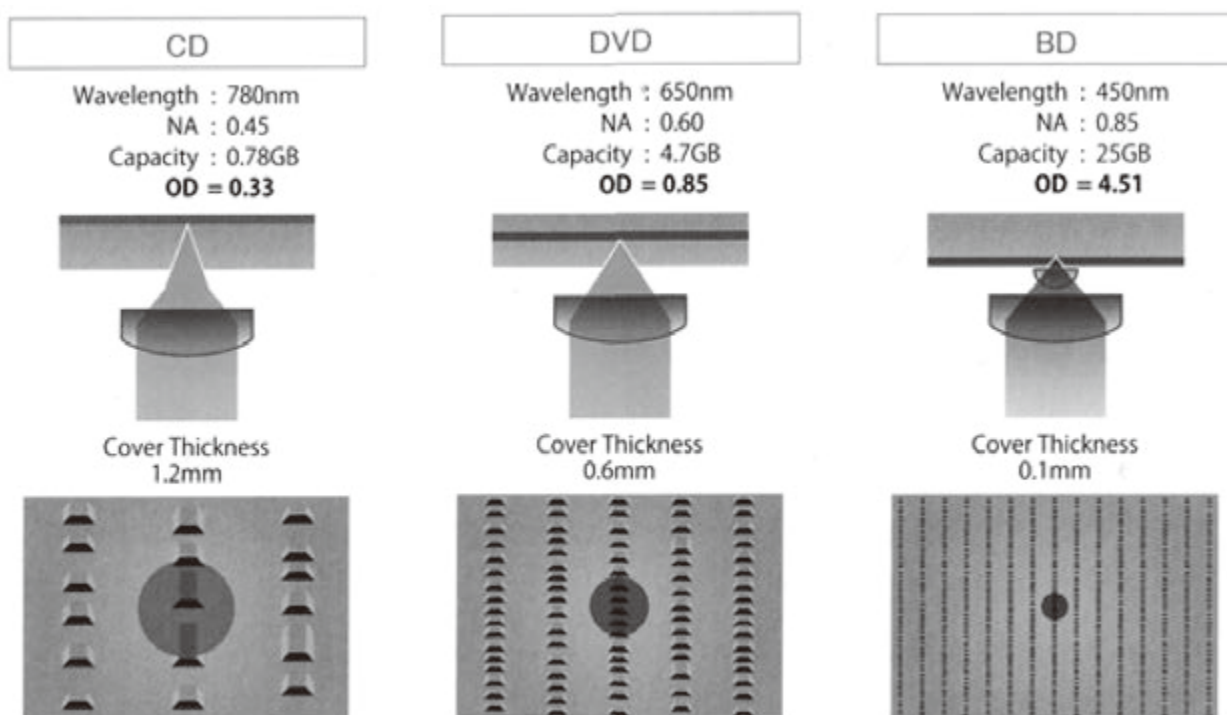


図 5.4 CD～Blu-ray までのディスク厚の変遷

普通名詞が商標登録できない法制によるのと、CDの発売以来「Disc」がAV用途の慣用表現であることによる。ネット上では、磁気がdisk、光がdiscという説明も見受けるが根拠は定かでない。

5.4.2 Blu-ray Discの技術的特徴

「Blu-ray」の特徴は、ディスクの「光学厚み」(レーザー光が透明基板に入射してから記録面に達するまでの距離)を0.1mmにしたことである(図5.4)。これはDVD「戦争」のときに、1.2mmを温存しようとして「CDの盟主」だったソニー・フィリップス組が「大敗」を喫したことが発端であった。もともと、透明基板厚みは薄い方がTilt(チルト:光学軸の倒れ)マージンが大きく大容量化に適していることは知られていた。しかし、ディスクの「光学厚み」の変更は生産設備一式の交換を意味するので巨額の設定投資が必要になることを意味し、これを恐れて1.2mmの温存に傾き、DVDのときは「大敗」した。

Blu-rayのもう一つの大きな特徴は、用いる「レーザー光」の波長が「青色」になったことである。「青色」は波長で言うと430nm付近であり「可視光」のなかでは波長が短いほうに属する。1989年前後に規格化された「ISO-MO」では830nmが用いられたから、20年かかっておおよそ1/2になった。(青色レーザー発明の経緯は〈囲み記事1:主要発明〉を参照。)

このような「大変革」を導入して実現した25GB(ギガ・バイト)にも拘わらず、ただのCDドライブと想っていたPC内蔵ドライブにこの25GBディスクを挿入すると、何事も無かったかのように動作する。しかし、読者の多くは、お手持ちのPCやテレビ受像機に丸い板を差し込むと、ゴトゴト音はすれども一向に次の画面に進まないことにイライラする向きも多いことだろう。その事情を次に説明する。

「CD」が発売された1982年当時には、38年後の2020年に「12cm」ディスクがここまで社会に浸透するとは誰も予想はしていなかった。「音楽CD」が12cmになったのは、「カラヤンの「第九」が1枚に入ること」が条件だったことはよく知られている。それから14年後の「DVD」が発表・発売された1996年においても、「ISO」で定めた「90mm-MO」もあるし、「120mm」が世の中の「標準」になるとは誰も考えていなかった。

5.4.3 トリプル・フォーマット・ドライブ

しかし今や、PCにとってはCD-ROMがOS(オペレーティング・システム)の標準配布媒体だし、映像

の世界ではDVDでコンテンツをやり取りするのが普通だし、ちょっと大きなファイルはBlu-rayで手渡したいし、と言う訳で120mm径ディスクがすっかり社会に根付いてしまった。

これらの「読み書き」を実現する「PC/AV用(オールマイティ)光ドライブ」はその結果、以下のような難題を与えられてしまった。これらは業界エンジニアの工夫と発明により解決され、それらがゴトゴト動作しているのである。その動作とは、

- ・使用開始時(ディスク挿入時)
 - (0) 光学系(OP)にディスクの「反射光」は来ているか?(これが無いと次の1/2/3が始まらない)
 - (1) 挿入された「板」は光ディスクか?
 - (2) それは直径15mmの穴が開いているか?
 - (3) 外径は120mm/90mmで、回るか?
- ・この先は各社設計者により手順は異なるが
 - (4) 記録膜はアルミ系か?
 - (5) 記録膜は色素系か?
 - (6) 記録膜は相変化系(PC)か?
 - (7) PC-Recordable系なら記録済/ブランクどちらか?
 - (8) 記録済なら「フォーマット」は何か?
 - (9) 記録済なら「余白」はあるか?
 - (10)「ファイナライズ」(目次付)されてるか?
- ・記録完了時(イジェクト・ボタン押下時)
 - (11) 記録は出来たか?
 - (12)「ファイナライズ」(目次付)すべきか?
 - (13) 予定のディスクになっているか?

など等、実に多くの項目を検査してから記録し、記録状態を検査の上で吐き出すのである。入ってくるディスクはCD/DVD/BDで3種類あり、それぞれにアルミROM、色素膜、相変化膜が許されているので、 $3 \times 3 = 9$ 種類のディスクが到来する上、Recordable-Diskでは「未記録」と「記録済」が入ってくるので、より正しくは $3 \times 3 \times 2 = 18$ 種類の判別を見分けてから映像再生や記録動作に取り掛かるのであるが、実際はもっと多いことがある。

しかも、CD/DVD/BDでは使用するレーザー波長が異なり、780/650/430nmの半導体レーザーを切り替えた光学系が動作している。

5.5 「途中退場」した「光ドライブ」群

現在までに普及した「書込型光ディスク」の外にも、いくつかの特徴的商品が市場投入されたので、それらを紹介しておきたい。

5.5.1 キヤノンの「NeXT用MOドライブ」

このドライブは、先に述べた ISO-MO の標準化以前の 1988 年に発表された。Steve Jobs が Apple を出てから創業した「NeXT Inc.」が製造・販売した「NeXT Computer」に搭載された「MO ドライブ」であり、製造元はキヤノン、容量は 256 MB であった(図 5.5)。

この「NeXT 用 MO」は、OS を現 macOS の礎と言われる斬新な新規バージョンにグレードアップしたので、当時のフロッピー 1.4 MB には入りきらず Jobs が大容量の可換媒体ディスクを探していたところに、「NeXT Inc.」の将来性を感じたキヤノンが出資した、「NeXT システム」の共同開発成果の一つであった。



図 5.5 NeXT に搭載したキヤノンの MO ドライブ

ただし、この「MO 採用」は、Apple の CEO を引き継いだ John Scully がほぼ同時期に採用した「CD-ROM」が広範な普及を見せたので、「NeXT」自身も後年は「CD-ROM ドライブ」を搭載した^{*4}。

これにより、キヤノンの「NeXT 用 MO256 MB ドライブ」は、「史上初」の榮譽を得たが結果として姿を消した。

5.5.2 松下電器(現パナソニック)の「PD」

松下電器では、ISO-MO (書込型) の標準化に先立ち市場調査を行い、この結果に基づき MO は商品化を見送る決定をしていたが、ISO-90mm の標準化が完成してみると、結構な人気を博したので商品を投入することになった。

しかし、長年研究を続けてきた「相変化膜」が完成した直後だったので ISO 規格のフォーマットは採用したが、記録膜には ISO の「MO 記録膜」ではなく「相変化記録膜」で 120mm の商品を開発した。相変

化 (Phase Change) なので「PD」と名付け市場投入して見ると「CD- 読取互換」を謳っていたので、PD ドライブの売れ行きは、当初は順調だった (図 5.6)。



図 5.6 松下電器の「PD 外観」
(出典：URL=https://panasonic.jp/p3/p-db/LF-1700JB.html、このモデルでは 12cm-CD-ROM が掛かる、2019 年 10 月 29 日閲覧)

しかしその後、PD ドライブで書いたディスクが既存 CD プレーヤーでは再生できないことが市場で認知されると、売れ行きはパッタリ止まり結果として CD-R ドライブに軍配が上がった。

5.5.3 ソニーの「HS」

ソニー(株)にも、キヤノンに先立って先述の Jobs が MO の開発を持ち掛けたが、採算性の理由で同社はこれを断った。

同社はその後、130mm-MO の市場投入により、一時は 130mm-MO 市場で「独壇場」の感があった。しかし、同社の「標準化担当陣」は、「ISO-90mm 標準化」において「ROM と書込型のフォーマット互換」を目指したのに実現不可能な技術 (CCS: 5.2.3 項) が採択されたことに限界を感じ、「新たな書込型業界標準」を目指してこれ (HS) の商品化が開始された。

「HS」は、90mm ディスクながら CD が丸ごと入る



図 5.7 ソニーの「HS」^{*5}
(出典：筆者の手持ち品を撮影、2019 年 10 月)

650 MB という容量で、95 年から外付け記録デバイスとして発売された。一部には事業用として受け入れられたが、大きくブレイクするには至らなかった (図 5.7)。

主要 PC メーカーは、既に普及途上にあった「CD-ROM」系ドライブに傾き、PC 内蔵用としての「採用」には至らず、性能は高評価だったが量産による普及には至らなかった。

第 5 章の参考文献・補追

*1 : DBF「Discrete Block Format」(従来の技術的呼称は「SS」だったが、業界のアレルギーを考慮して「DBF」と呼称した。)

*2 : MD : wikipedia : <https://en.wikipedia.org/wiki/MiniDisc> (英文 : 2019-12-15 閲覧)

*3 : 「CD」では 20 kHz 以上成分がサンプリング定理に基づきフィルタで除去されており、「省略」の一種とも言える。

*4 : URL:https://en.wikipedia.org/wiki/NeXT_Computer (2019-10-29 閲覧)

*5 : HS:650MB=https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press_Archive/199601/96Co-010/ (2019 年 11 月 05 閲覧)

(以下参考情報 : ISO 型光ディスク)

(1) ISO-9171 : データ交換のための追記型 130 mm 光ディスクカートリッジ, 1988.

(2) ISO-10089 : データ交換のための書込型及び再生専用 130 mm 光ディスクカートリッジ, 1990.

(3) ISO-10090 : データ交換のための書込型及び再生専用 90 mm 光ディスクカートリッジ, 1991.

(4) ISO-13963 : (230 MB)

(5) ISO-15041 : (540/640 MB)

(光磁気ディスク)

日本語版 URL=<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%A3%81%E6%B0%97%E3%83%87%E3%82%A3%E3%82%B9%E3%82%AF> (2019 年 10 月 26 日 閲覧)

5 : 「ミー・ツー」事件

ISO 会議に「おっかなびっくり」参加していた頃の思い出話である。ある年の ISO 会議は、ECMA (European Computer Mashinary Asoc.) との共催でドイツのハイデルベルグで開催された。

午後の会議が終わり、日本側出席者一同は丸 1 日の「英語漬け」から脱出すべく、会場ホテル地下のバーに繰り出して、各自がバーテン嬢にビールを頼んでイッパイやっていた。

そこへやや遅れてやってきた日本代表団の一人 A 氏がわれわれのビールを指さして同じバーテン嬢に「Me, too」とやったので、彼女はビールを 2 杯差し出した。

これが「Me, Two」でないことは一同がすぐ気づいたので大笑いになった。そこで彼女は 2 杯目のビールをすぐに引込めたのだが、話は尾ひれがついて、当時は大いに沸いた。

これに似た寓話として、「To New York」と言ったら 2 枚出てきたので慌てて「For New York」と言い直したら 4 枚出てきて、困ってしまって「エート、エート」と日本語で呟いたら 8 枚出てきちゃった、という作り話が当時語られていたので、さもありがた、という時代だった。

これに似た話は筆者も体験した。ある年、会社の業績が大変悪く、飛行機のビジネスクラス利用が禁止された。同クラスでは無料のアルコール飲料は、エコノミークラスでは有料なのである。

食事の時間になり、ビールを注文したので念のため「Is this FREE ?」と尋ねたところ、「Yes, It is Free」と聞こえたので安心してグビッと飲んだら、CA 嬢はニコニコしながら側に立って待っている様子で、「Three Dollars」と言う。慌ててポケットから 3 ドルを出したら去っていった。

どうやら、小生の発音がわるくて「Is this THREE ?」に聞こえたらしい。

6 | 事業展開上の課題

6.1 技術課題の整理

書込型光ディスクを商品化する上での技術的課題は、当時は必ずしも自明ではなかった。すなわち、最上位概念で言えば、歴史上最初に出回り、普及してしまったCD-Audio システム(含CD-R)を「書込型光ディスク・ファミリー」の中に受け入れるか否か、という課題が生まれてしまった。現在では結果的に、CD-Audio の普及度合いが、コンピューター用のCD-ROMを含めると極めて大きく、これを「排除する事業モデル」は成り立たないので、読者がお手持ちの光ドライブは全てCD-Audioが読めて、かつ音や映像が出るシステムに結果的に統合されている。しかし、当初からこのようなシステムを目指して事業が構築された訳では無かった。この辺の事情をすこし述べておこう。

一般論として、先行発売された商品を「後発商品のファミリーとして位置付ける」ことはしばしば行われることであり例えば、LPレコードが普及した後で発売されたLPシングル(いわゆる45回転ドーナツ盤)は、昔のLPプレーヤで再生できるアダプタが付属しているし、ドーナツ盤プレーヤでもLPが再生できるように、様々な工夫がこらされていることは読者も承知していることだろう。これは、消費者が既に購入済の機器がある場合には、後発商品も相互に利用可能とした互換性商品群を用意したほうが、市場の立ち上がりが早く事業利益が大きいことによる。

「書込型光ディスク」が開発着手された1985年頃は、CD-Audioが発売になってから3年近く経っており、市場、即ち消費者にはCDディスクとプレーヤがかなり行き渡っており、「書込型」の制定・商品化には、このことを充分認識すべきであった。しかし、当時の産業界の技術陣と「主たる」事業責任者達は、「CDはタカがオーディオ民生機」、これから着手する「書込型」はれっきとした「産業用コンピューター・コンポーネント」という「思い込み」が強かった。関係者のほぼ100%がそう考えていた。したがって、120mmのCDが普及しているからと言って、「書込型」が「これら120mm系と互換性があるべき」とは、誰も想像していなかったと思われる。

ただ、今になって思い返すと、1990年1月にコロラド州のロッキー山脈Aspenで開催されたANSI/

ISO合同委員会で、傍聴席の一人が立ち上がり「今ここで審議されている『書込型ディスク』とは、私が今持っているCDプレーヤとどこが違うのか？」と質問した男がいた。日本側出席者の全員は「こいつは何てバカなんだろう！さすがアメリカは世間の知識水準が低い！」と妙に感心した記憶がある。

ところが、この質問に対しては、米国ANSI委員会の議長がやけに丁寧に答えていたのを「不思議に思い」、記憶している。これは、(米国の)税金で賄われる委員会、「私の持っているCDプレーヤはゴミになるのか？」という質問には、米国人議長は丁寧に応える義務があったからだと思われる。

このような時代背景であったが、「書き換え型光ディスク」の提案国である日本の技術陣と事業責任者達には、既に普及してしまった「CD」と互換を取った方が市場拡大が早く事業利益が大きいはずで普及も早いと考える者は、誰も居なかった。「書込型光ディスク」はCDとは全くの別物であり、「市場も独立である」と信じて疑わなかったのである。

この報告書が刊行される2020年現在では、CD音楽ディスク、DVD映像ディスク、書込型光ディスクであるCD-R,DVD±RWディスクやBlu-ray Discが、1台のドライブで録再可能であることを思うと、なんと愚かな誤謬に陥ったものだと、「感慨」すら覚える。

このような誤謬に陥った技術的な背景をすこし付け加えるならば、日本技術陣の大多数が以下のように考えていたからである。

すなわち、先に普及しているところのCD-Audioフォーマットは、

- ①データ・スタンプ型「ROM」専用に設計されており大衆への普及が速かったので、今更「書込型互換」へのフォーマット変更は(部分的にしても)不可能である。
- ②CDに採用されているECC(エラー訂正符号)は、音楽用パラメーターで(訂正能力が高い)長いインターリーブ長に既に「固定」されており、ランダムサイズ区間が長すぎて128~256バイト単位で記録したいパソコン(PC)記録との互換は不可能である。
- ③直径120mmという大きさは、PC用として既に普及していた3.5インチフロッピー(直径90mm)にくらべて大きすぎるので、もっと小さくすべきだ。

など等、CD系と共通仕様に「したくない/しなくて良い」理由が山ほどあった。

さらに、日本の電機産業界全体としては、

④「これからも引き続き、ソニー・フィリップスのCD系特許に縛られたくない。」

という「共通認識」もあったかもしれないと言われている。

これらの事情から「書込型光ディスク」は「CDと縁を切った」形で推進されることになり、1996年の「DVDでフォーマット戦争再開」（初戦は1976年の β /VHS戦争）後にこの問題が解決されるまで、この事情が続いた（図2.1参照）。

このような背景で進んだ「書込型光ディスク」の国際標準化では、CD系との互換性に関しては、次節以降に述べるように全く考慮されずに進行した。

6.2 仕様の選択

「仕様規定方法」は前記のように定まったが、外形サイズや容量などの「仕様」そのものは選択の余地が大きかった。

当時、最も普及していた交換媒体である「3.5インチ・フロッピー」は容量1.44MB、外形90×94mmの略正方形であったので、「これと同じ外径なら文句は出ないだろう」くらいの「思い込み」だった。

このほかに、既に普及が始まっていた「CD-R」との「互換性」をどうすべきか等、重要な課題があったにも関わらず、120mmとの「互換性」など、前記（4.2.3）産業界の事情により「アタマの片隅にも」無かった、と断言できる。

7 | 可換媒体のサイズ競争と光技術の競合

7.1 大容量フロッピーの登場と PC (パソコン) 市場の動向

この ISO9171 (130mm 追記型) が国際標準化規格として実質合意した 1980 年代後半の国内 PC 関連産業界の状況について少し触れる。

この頃は、Windows95 (1995 年) の発売前であって、「コンピューター」というものはまだ個人で所有・使用するものではなく、企業や役所における「大量データの処理」にもっぱら使用され、「機種」は「メインフレーム」と呼ばれた「大型」であって 1 システム数億円以上の、個人には手の届かないものであった。しかし、医師やデザイナーなど高額 PC を購入できる層は、システム価格で 100 万円以上の Apple 社 Machintosh を使用していたが、日本国内ではまだ自作 PC や PC9800 シリーズなどの「PC 導入モデル」や「お試しキット」が多数を占めていた。したがって、光ディスク・ドライブが当時の「SCSI」(スカジー) で接続できるホスト・コンピューターは、ミニコンや UNIX ワークステーションと、一部の Apple ユーザーのそれに限られていたと言える。

このような状況の中で、5~10MB の 5 インチ HDD がパソコン内蔵用、または外付け接続用に量産され、普及し始めていた。これらの HDD は、まもなく 3.5 インチと小型になり、急速に普及し始めていた個人用 PC の多くに搭載されていった。なお、HDD の外径は大型コンピューター用途の 12 インチ (30cm) から始まったが、同一容量で小型化を実現していったので、面積当たりの記録密度が 2 倍になるように進展し直径は $1/\sqrt{2}$ ごとに商品化が進み、12 → 8 → 5 → 3.5 → 2 → 1.3 (インチ) のように外形が「 $1/\sqrt{2}$ ずつ小型化」していったのである。

この HDD の小径化に先立ち、可換媒体の代表だったフロッピー・ディスクは、1970 年の IBM の発売当初は 8 インチで IPL (Initial Program Loader) 専用だったが、日本では「日本語ワープロ」用に転用された結果、HDD が普及する以前には、5 インチ・フロッピーがワープロ用として普及し、その後 1981 年にワープロ辞書／文書記録用として 3.5 インチのフロッピー付きワープロがソニーから商品化された。この 3.5 インチ媒体は、2.5~4 インチの間で提案された種々のフォーマットの中で生き残り、2000 年代初頭まで以下の理由で 20 年近く可換記録メディアの王座

にあった。

- ① 外被が硬質プラスチックで取り扱いが容易 (5" の媒体はヘナヘナの可撓メディアだった)。
- ② チャッキングに金属ハブを用いて「チャッキング再現性」を改善してあった。
- ③ ② を活用して最終的に多用された 2HD フォーマットでは 1.4MB と当時としては大容量を実現。
- ④ 1990 年代初頭では唯一の PC 入出力用可換媒体だった。

これらには、以下のコスト的背景があった。

- ⑤ フロッピーではドライブがステップ・モーターの採用で安価になり、PC1 台に 2 台のドライブ搭載が可能なコストになったこと。
- ⑥ 当時の OS の多くは 1MB 程度で起動したが、ユーザー・データの保管にもう 1 台が必要で、これに應えるコストだったこと。
- ⑦ USB メモリはまだ実現せず PC/ワープロに対して「作成済データの出し入れが可能」な唯一の手段だったこと。

7.2 CD-ROM の登場と PC 市場へのインパクト

上記の通り、PC/ワープロ用として可換・互換媒体が 3.5 インチ・フロッピーで広く普及したが、PC が高機能になるにつれ OS の巨大化が進み、1 枚の容量が 1.44MB では足りなくて、PC がフロッピー 1 枚ではブートしない状況になりつつあった。一部の PC では、1 枚目の読み込みが終わると 2 枚目、3 枚目の挿入を促すプロンプトが出るようになった。PC の電源を入れる度にこれを繰り返す作業は大変なので、購入直後のみこれを行い、2 回目以降のブートは「HDD から起動する」機種も多くなっていった。Mac の上位機種では、PC 購入直後に「フロッピーをとっかえひっかえ交換する」作業に、20~30 枚のフロッピー交換の手間と時間がかかる状況になった。これを解決したのが 500MB の容量 (FD の 300 倍以上) を持つ CD-ROM ドライブであった。

先に述べたように Jobs の後に Apple 社の CEO となった John Scully は、新 OS の配布を CD で行うことを狙いに、ソニーに「Machintosh 用内蔵 CD-ROM ドライブの量産・調達」を持ち掛けた。1992 年後半

に、すべての Mac デスクトップ・モデルに CD-ROM 搭載モデルを用意したところ、ドライブ無しとの値差がわずか 200 ドル（ドライブの OEM 価格相当）だったので、大半のユーザーが CD-ROM ドライブ搭載モデルを購入し、一気に CD-ROM ドライブが普及した。まだ 9660 等の「(PC 用) CD-ROM 標準フォーマット」が未制定の当時、これがきっかけでオーディオ・フォーマットの CD-DA から、データ交換用ハイシェラ・フォーマットを基とするデータ用 CD-ROM フォーマットの標準化が進み、ISO-9660 として完成の後、現在の Windows 等に引き継がれ、拡張機能と共に今も広く流通している。

Apple 社によるこの CD-ROM の普及施策は、1990 年代の米国の PC 業界と、国内の産業界とに大きなインパクトをもたらした。すなわちまだ、「インターネット」の普及以前だったので、

- ①すべてのパソコンは CD-ROM ドライブを OS や Application ソフトの入り口として、CD-ROM ドライブが PC の標準装備になった。
- ②間もなく、PC からのデータ出力用として安価な CD-R ディスクが利用可能になったので、約 20 年間君臨したフロッピー・ドライブが不要になった。
- ③ CD-R/RW が（後述する）DVD フォーマット競争にも少なからず影響を及ぼした。

という点で PC 配下で動作する CD-ROM ドライブの登場と普及は、PC のハードウェア製造を担当する日本の産業界にとって大きなエポックとなった。

7.3 大容量フロッピーの挫折

前記のように、3.5 インチ・フロッピーが 20 年近く

君臨したが、その間にいくつかの「大容量フロッピー」が発売された。しかし多くは、既に「インフラ」となっていた 3.5 インチ・フロッピーと互換性がなく、いずれも「普及」には至らなかった。おもなものを列挙すると、以下のような機種が発表/市場投入された。

- ① ZIP：i-OMEGA 社、250 MB。
- ②スーパーディスク：松下寿（株）、240 MB。
- ③ HiFD：ソニー（株）、200 MB（下位互換）。
- ④フロプティカルディスク。
- ⑤ UHC。

しかし、前記の理由（旧 3.5 インチ互換）や、性能・信頼性の点で問題を起こしたりで、普及には至らなかった。

これらの「大容量フロッピー」に対抗する形で、SyQuest 社という米国メーカーが「媒体交換型」の HDD を発売し、「EZ135」として米国を中心に広まったが、同社の倒産で終息した。

これらの「大容量フロッピー」や「媒体交換型の HDD」は、いずれも一時的に人気を博したが、まだインターネットが普及していない「PC ワールド」という「閉じた市場」においては、「情報運搬媒体」「情報交換媒体」としてのフロッピーや CD-ROM/CD-R に勝ることは出来ずに消えていったと言える。いずれも、現在の「USB メモリ」の座をめぐる競争だったことになり、「USB メモリ」の普及で幕を閉じた。

これらの一時的に繁栄した「外部ドライブ・メモリ群」は、一部の評論家の「半導体メモリのコスト・カーブを参照すると 2015 年にはディスク記録は半導体メモリにビット・コストで追い越される」との主張に対し、それまでの「当分の間は現行技術で一儲け」の試みだったと言える。

8 | 「映像」のデジタル化

8.1 半導体技術の進展

光ディスクの技術的発展が続いた1990年代は、半導体技術の進展も目覚ましく、いわゆるDSP (Digital Signal Processor) 技術が発展した。1980年にNECとベル研がほぼ同時に発表したDSP技術は、「信号処理」と呼ばれる演算処理のうち、従来はCR積分器やCR微分器で行っていた演算を、デジタル掛け算とデジタル引き算で実現する「専用LSI」の一種であって、「汎用CPU」が不得意な「乗算」を専用のハードウェア回路で実行するので、いわゆる「音声帯域」(20kHz程度以下)ならば実時間微積分が自由自在になり、デジタル演算の適用範囲を大幅に拡大した。このDSP技術は1990年代に進展した「携帯電話」(いわゆるガラケー)の音声処理に大活躍だった。

このDSPの高速化と領域拡大は引き続き進展し90年代前半になると、帯域4MHzの映像信号までも処理可能になりつつあった。筆者のように3.5MHzの「電波」で「CQ-CQ」とやっていた世代にとっては、「空飛ぶ電波がDSPで作れる」という驚きの時代に入り、「あの苦労は何だったんだ!」という感慨に耽ったものだった。

8.2 青色レーザーの発明

DSPの進展とほぼ同時代の1990年代前半に、光ディスクにとって重要な発明がもう一つあった。1992年の青色LEDに続き、1996年に発明された青色(半導体)レーザーは、2014年のノーベル物理学賞を受賞したので、ご記憶の読者も多いことだろう。青色半導体レーザー発明の詳細については、〈囲み記事1:主要な発明〉を参照されたい。

8.3 ハリウッドの意向

『ハリウッド映画』事業とは、莫大な費用で複数の映画を製作しその中の1本でもヒットしたらそれを繰り返し上映・放映して興行・広告収入で回収し、さらに家庭用にも販売を継続することにより全制作作品の投資費用を回収するという『事業モデル』であり、ま

た、この目的で、ハリウッドの映画原盤フィルムは長い寿命を保証するために、カラーフィルムを3原色の「RGB」に色分解したネガを白黒銀塩フィルム3本で保管しておき、いつでも最良のマスターを製作できる体制になっている。ひところ流行ったVHSビデオテープは簡単に複製が量産できたので、ハリウッドにとっては不都合な「システム」であり、家庭用ビデオの登場は大きな議論をまきおこすことになった。

それは1976年の「β訴訟」に起因し、同年8月にソニーが全米で発売したβビデオに端を発する。「ソニーアメリカの社長「ハーベイ・シャイン」が考えた『刑事コロンボ』を観ていても『刑事コジャック』が録画できます!」というベータビデオの「裏番組録画機能」の新聞広告案に、映画会社のユニバーサルが噛みつき「損害賠償訴訟」を起こしたのが発端だった。

一審はソニー勝訴、二審はソニー敗訴、第三審(最高裁)は、1984年1月に8年越しの訴訟に逆転判決を出し、「TV放送の家庭録画は合法」(米国、日本は元から合法)ということになった。当時米国最高裁での逆転判決は1件/1000件程度であって「快拳」と言われたが、ビデオ業界はソニーβの敗北が鮮明であり、市場はVHSで「標準化」されていた。その結果、巷には「合法/非合法のVHSビデオ映画」が溢れ、ハリウッドは対策に手を焼いていた。

非合法コピーの中にはTV録画ではなく、映画館での盗み撮りと思われる「観客のアタマ超し」ビデオも少なくなかった時代である。その後、アタマ超し対策として「ウォーターマーク」と呼ばれる「透かし」技術が導入され、「頭越しビデオ」はほぼ解消された。

これらの「不正」対策としてハリウッドは、ビデオ信号の「すき間」に「コピー妨害/許可信号」を挿入する技術を提案したが、日本の家電メーカーの多くは「一般受像機で画像が乱れる」などとして難色を示した。ハリウッド側が押し切り、現在の国内デジタルTV放送の「Dub-10制限」(後述)にも利用されている「CGMS-A (Copy Generation Management System-Analog)」が制定された。その後はこの「コピー世代管理信号」の存在を前提に受像機が設計されるようになった。すなわち「コピー防止信号」が検出されると「画像が出ない」設計とすることを、ハリウッドが世界中のTVメーカーに義務づけたのである。

「CGMS-A」以外にも「ハリウッドの影響力行使」には凄まじいものがあり、上記「DVDのコピー対策」

に加えて、「HD DVD 対 Blu-ray Disc 戦争」においても「強力な応援団」として暗躍した。詳細は〈囲み記事 6：ハリウッドの腕力〉を参照願いたい。

8.4 TV 電波のデジタル化

ビデオ・レコーダーの話がやや長くなったが、「書込型光ディスク」の国内需要の多くは VHS ビデオ・テープ・レコーダーの置き換えにあったと言わざるを得ないので、テレビ関連の話が続けることにする。

日本国内では、「TV 電波のデジタル化」が 2003 年頃に始まり、東京圏から NTSC 方式電波の順次停波と、地上デジタル放送（現地デジ）の電波発射が始まった。NTSC アナログ変調方式の変更には、長年にわたってエレクトロニクス業界に身を置いてきた著者らにとっては、ビデオ信号方式の「世界標準」の基盤技術だったので、これの「世代交代」には感慨深いものがあった。一方、ケイタイ／スマホ市場の拡大に伴いアナログ TV 電波帯域の開放は技術的必然であり、当然のこととして業界の受け入れが進んだ。

この地デジ導入と偶然ほぼ同時並行だった DVD/Blu-ray の市場導入は「アナログ放送 TV + VHS テープ」の組み合わせを急速に「地デジ放送 + DVD/Blu-ray」の組み合わせへの置き換えを進展させる効果があった。記録媒体だけに限れば、テープからディスクへの転換は必然ではなかったが、新たに地デジ放送になった地域では、録画機の受信機もアナログ・チューナー（VHF）から地デジ・チューナー（UHF）に交換する必要があったので、結果として録画機の買い替えを一気に進ませる効果があり、「光ディスク」＝「DVD 録画機システム」の導入が急速に進んだのである。

8.5 「画像圧縮技術」の導入

「映像のデジタル化」に関しては、「地デジ化」と同時に進んだ「動画圧縮技術」が大きな役割を果たしたので、DVD/Blu-ray にも採用されている同技術「MPEG」*1 についても以下に触れる。

「MPEG」とは国際標準化団体の前身「Motion Picture Experts Group」が定めた「動画圧縮技術方式」の一種であり、最終的には ISO/IEC と ITU（国際電気通信連合：国家間の通信規格取決め機関）で定めた国際規格*1 となった。

「圧縮」の動作原理詳細は「教科書*2」に譲るが、おおまかな原理は A/D 変換後のデジタル画像符号列のうち、「原画像は時々送るが、続く動いてない画像は送らない」という原理で「圧縮」する。このような符号列の一連を「GOP」（Group of Picture）と呼び、「ゴップ」と発音する。GOP は概ね 3 秒単位で送受されるので、市販の DVD 機材で 3 秒以下の「編集」が出来ない場合は、これに由来する。

「MPEG」には、当初規格の「MPEG-2」とその進化形である「MPEG-4」があり、DVD では MPEG-2 が、インターネットでは MPEG-4 が主流である。

第 8 章の参考文献と補遺

*1：「MPEG」：「情報源符号化部 H.264 | MPEG-4 AVC 規格の概要」、総務省。

URL:http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/bunkakai/pdf/060720_3_1-2_sa2.pdf (2019 年 10 月 18 日閲覧)

*2：教科書例：徳丸・横川・入江、「図解 DVD 読本」、オーム社、2003。

6：ハリウッドの腕力

東芝の HD DVD とソニーの Blu-ray Disc がポスト DVD を巡り争った 2000 年代の初頭には、ハリウッドが「応援団」として一役買った時期があった。

ハリウッドの大手老舗パラマウントは当初は HD DVD（東芝）のみをサポートしていたが、2005 年にはワーナーとともに両方をサポートすると表明した。ところが、2007 年になって再び HD DVD のみをリリースと発表して混乱が起きたが、2008 年 1 月にワーナーが Blu-ray のみでリリースと発表し、2 月に東芝が HD DVD の事業終息を発表するとパラマウントも同月に Blu-ray 再投入と発表、「パラマウント・ショック」は終息した。

パラマウントの契約書には、「ワーナーが出すフォーマットを自社も留保する」権利が記載してあったと言われる。

9 | 旧 SD 陣営の逆襲

CD 関連技術の「一大産業化」にともない、光ディスク関連技術、とりわけディスク媒体やオプティカル・ピックアップ関連産業が盛隆したのが 1990 年代であった。標準化委員会の参加企業数だけでも 50 社に上ったことは先に触れたが、CD が世に出てからの約 15 年間、「光ディスク」といえば CD で採用された 1.2mm 透明基板、が常識となっており、ISO-MO の国際標準化においても同様に 1.2mm 透明基板（ポリカーボネイト）を前提とする仕様だった。

産業史的には、1982 年に CD が発売になり爆発的に普及した 1980 年代が終わりを迎えた頃、国内の電機各社の研究陣は「CD の次はビデオテープの光ディスク化」と意気込んでいた。オーディオ用の CD は約 500MB だが、ビデオの記録には圧縮しても約 5000MB 必要であり、同一サイズのディスク 1 枚に入れるには記録密度を約 10 倍にする必要があった。これの実現には、短波長・Hi-Power の半導体レーザーを始めとする要素部品の新規研究・開発が必要となった。

DVD の業界仕様検討が始まった 1995 年当時は、「LD の短波長化は時間の問題」と言われ、CD の再生系には 780nm（暗赤色）が既に実用になり、DVD に必要な 630nm（赤色）も量産の一步手前であった。BD に用いられる青色発光系では、1992 年青色 LED 成功、青色レーザー発振（コヒーレント常温発光）は 1996 年であったし、ディスク媒体の製造も台湾・中国向けのターンキー型製造装置の輸出も盛んになり、1995 年の CD ドライブ等生産高（CD-ROM 装置）は 500 万台／年に達しようとしていた（図 11.2）。しかしながら CD 周りには、CD フォーマットの提案者であるソニーとフィリップスの特許が「がんじがらめ」に張り巡らされているとして、ソニー以外の国内電機メーカー群は不満を募らせていたと伝えられる。

9.1 DVD が 0.6mm になったいきさつ

CD の板厚が 1.2mm なのに対し、DVD ディスクは 0.6mm 厚さの基板を表裏貼り合わせて、合計 1.2mm にしてある。

発端は、DVD の制定に 10 年近く先立つ 1990 年頃に、松下電器（株）（現パナソニック）が出願した「薄型保護層発明」に基づくアイデアで、同社が参加す

る共同開発計画時に東芝（株）に開示し、前身である SD 規格を経て現在の DVD に活用されるに至った。

一方、SD を出発点とする DVD-RAM の規格制定においては、これらに加えて Land & Groove 記録と CAPA（Complementary Alternated Pit Address）を松下電器（株）が新たに提案して各々が採用された。

その後のシミュレーションにより L&G+CAPA はマージンが狭いことが判明したが、当時は手続き上後戻りできず、その後制定された Blu-ray では元に戻し現在に至っているという。

9.2 SD コンソーシアム／DVD フォーラムの設立

こうした中の 1995 年頃、東芝（株）が音頭取りとなって「SD フォーマット」による SD コンソーシアムが設立され、松下電器、日立、三菱電機、パイオニア、の 4 社が賛同し、国内電機メーカー 5 社の一大結集が図られた。この「結集」には、10 年以上に亘りソニー・フィリップスの「CD」に牛耳られていた「国内電機メーカー群の逆襲」といった風情が漂っていた。

このころ、ソニー社内でも「CD の次世代」版として「画像の再生ができるディスク」の研究開発は進んでいて、国内の大手一社と内々に「SHG 型（二次高調波方式）グリーン・レーザー^{*1}」を用いる「映像用ディスク」の開発が進んでいた。しかし、「CD」の製造投資（1.2mm 製造設備）を温存すべく、ディスク厚み 1.2mm（CD と同一）で仕様設計を進めていたので、3.1 で触れた Tilt によるトラッキング・オフセット」などが理由で、ディスク厚み 0.6mm で進む前記コンソーシアム陣営には「仕様上」容量で勝てない構造が続いていた。因みに SD コンソーシアムが提案する 0.6mm というディスク厚みは、ディスク厚み 1.2mm の CD/MMCD に対しては、理論上略 2 倍の容量を入れることが可能となる。事ここに及んでは、ソニー・フィリップス陣営としても「映像のディスク化時代」を睨むと、SD 陣営を野放しにはして置けないことになり、新たな「DVD フォーラムの結成」を通じてフォーマット両者の統合を呼び掛けることになった。

この時期、1996 年初頭から 1997 年にかけては、毎週金曜日に旧 MMCD グループと旧 SD グループの各社代表がお茶の水にあった旧 SD グループの有力企業本社会議室に 30 人ほどが集まり、「（両者統合）DVD

フォーマット」に自社技術を盛り込もうと、激しい議論を戦わせていた。筆者は旧 MMCD グループの「技術代表」として毎週、この会議に参加した〈囲み記事 8：毎週金曜会議〉。

9.3 旧 SD 陣営対抗軸の設立

前記の「フォーマット統合化金曜会議」は、DVD フォーラム内部では作業部会「WG5」と呼ばれ、1996年の秋以降も続いたが、筆者は旧 MMCD 側の「技術代表」をほどなく解任されたので参加しておらず、その後の状況は多くを知らない。

一方、この WG5 では双方の思惑からメンバーの増強が図られ、双方の主張を各々支持してくれる米国カスタマー企業を呼び入れてメンバー数が増加していった。WG5 発足当初は旧 MMCD2 社^{*2} + 旧 SD5 社^{*3} の計 7 社だったが、これに HP、JVC、Kodak、Thomson が加わって合計 11 社となり、旧 MMCD と旧 SD の勢力図は 3：8 となった。しかし、多数決で決まる DVD フォーラム内部ではこれでも旧 MMCD 側（ソニー+フィリップス組）の劣勢は明らかだった。

そこで、「書込型 DVD」では「勢力」を挽回しようとする作戦を練った。1996 年当時は、PC の普及・急拡大期であり、Windows95 の発売直後でもあったので、先に触れた Apple の先行 CD-ROM の追い風もあり、Windows マシンにも CD-ROM ドライブが爆発的に普及し始めた時期であった。因みに、1995 年の光ドライブ（殆どが PC 搭載用 CD 系）出荷数量は 500 万台であり、年成長率は 35% であった。同年中の「書込型ドライブ（CD-R）」の割合は微々たるものだったが、2000 年頃に到達した 20% を目指して急拡大中であった。ちょうど 1996 年 07 月、ソニーが開発した 650 nm/780 nm 両用ピックアップ（CD/DVD 両用）が量産・商品化となり、外販も始まった。これをフォーマット戦争に利用しようと言う計画である。

すなわち旧 SD グループの戦略は、旧 MMCD グループに牛耳られていた「CD 関連フォーマット」から「早く DVD フォーマットに乗り換えたい」はずと読み、「CD 系ドライブの次世代は DVD 系ドライブ」で行く事業計画を進めるはずである。これを逆手に取って、旧 MMCD 組は「CD-ROM ドライブの次は CD-R/RW ドライブ」という流れを作ろう、という戦略にした。これで 1 年程度は「DVD ドライブの PC 市場拡大」が遅れる見通しなので、DVD 先行派の優位を崩そうという作戦と言える。

この「DVD より CD-R/RW 先行計画」は、CD-RW 時代から緩やかなアライアンスを組んで利害を共有していたソニー、フィリップス、HP、リコー、ヤマハ、MCC（三菱化学）の 6 社に支持された。その後で、DVD-ROM を、更には DVD の書込型も乗せようという計画であった。結果的にこの計画はうまく進み、「DVD+RW アライアンス」という名称の「親睦団体」が結成され、「Evangelization」（布教活動）を共同で行うことになった。いわゆる「DVD + RW (6C, 図 9.1)」である。この「親睦団体」は年に 4 回程度、顧客向けの技術セミナーなどを Winter-CES（1 月）や Hannover Messe（3 月）、IFA（9 月）、Comdex（11 月）などに同期して開催し、「DVD+RW フォーマットの優位性」を説いて回った。



図 9.1 「DVD+RW アライアンス 6 社」の代表メンバー、（前列左から）三菱化学、ヤマハ（2 名）、リコー、ソニー（3 名）、（後列右端）Philips、他、（HP 代表は不在）、2001 年 08 月 22 日@ベルリン。

このときの訴求ポイントは、次のようにまとめた。

- ①「DVD+RW」グループは「CD-ROM → CD-RW」の道筋を提供してきたことを引き継ぎ、引き続き「CD-ROM → CD-R/RW → DVD」の道筋を提供する計画であること。
 - ②「DVD+RW」フォーマットは、（既に出回っている）DVD 映画の見えるドライブで再生できるように意図されていること。
 - ③（対立する）「DVD-RAM」フォーマットは既に手持ちの DVD-X ドライブでは将来も再生できない場合が多いこと。
- すなわち、「互換性」を最前面に押し出したプレゼンで訴求したのである。

第9章の参考文献と補遺

レーザー光に変換する技術

*1: SHG 型グリーン・レーザー: 波長 1000 nm のレーザー光を、非線形結晶を通過させて波長 500 nm (周波数で 2 倍 (=Second Harmonics Generation) の

*2: 旧 MMCD2 社: ソニー、フィリップス

*3: 旧 SD5 社: 東芝、松下、日立、三菱、パイオニア

7: 夏休

1995年8月15日、筆者は夏休み中で広島県の親類宅を訪問中で、家族とともに瀬戸内海の小島の海岸で子供たちを遊ばせていて、自分もゴムボートで監督中だった。そこへ投宿先の親類から「東京から電話だぞうー。」の呼び声。あわてて電話機のある所までスクーターの後席で戻り、(まだケイタイ時代ではなく)親類の黒電話で東京に電話すると、「明日、大事な客が来るからスグ戻れ」。止む無く新幹線で広島から東京に戻り、ソニー本社に出勤すると、「午後いちで先方の社長が来る。DVDフォーマット統一の話になるから、準備しておけ」と上司。件の社長は杖をつきながら部下とともに本社7Fの応接室に現れた。「例の件は消費者の利益第一だからフォーマットを統一したいが、両社にとって損得が無いようにしたい。」とのご意向が表明された。ならば「ソニーは御社提案の①8/14符号化方式を飲むので、御社は当社提案の②CIRC-ECCを飲んで欲しい」と回答、合意を確認してお帰り頂いた。

ところがお客様がお帰りの後で、上記の組み合わせを前提に設計を考え直すと、①+②の組み合わせでは回路上の相性が悪いと判明。止む無く、既に帰宅した上司役員宅に電話すると「入浴中です」の返事が返ってきた。小一時間待ってから再度電話すると、「モノが出来なくては合意してもしょうがないから、明日朝一で電話しておく。」の返事が返ってきた。結局、③8/16変調+④Block-ECCの採用で、DVDは書き換え型も含めて符号化方式が決着し、現在に至っている。

8: 毎週金曜会議

1996年前半の毎週金曜日に開催された「DVDフォーマット統合技術会議WG5」は、両方のグループ技術者の「白兵戦」の様相を呈していた。「旧MMCD側」が技術説明を始めると要所々々で声をそろえた「旧SD陣営」のブーイングが始まり、「旧SD側」に技術的矛盾があるとすかさず「旧MMCD側」が追及するといった具合であった。この金曜会議は、午後1時から「DVDフォーマット統合技術会議WG5」だが、先のブーイングが出席メンバーの特定人物らにより「声をそろえて」行われたことから、午前中は「ブーイング計画打合せ会」だったものと考えられていた。

この「統合化技術会議」では、ISOの国際会議と同様に「規格書の提案」に基づき技術説明を行う形式で進められたので、木曜日の夜には徹夜で「提案規格書の作成」に当たることもあった。「旧MMCD陣営(ソニー側)と旧SD陣営(東芝側)」のこのような鋭い対立は、1996年の秋ごろまで続いたが、主たる対立点はディスク上にプレスする「センターライン・ピットの形状」、「映画を配布するROMディスクとPC記録の両立性」や、先に触れた「ECC方式」、「エンコード(符号化)方式」などであった。いずれの陣営の技術者も、自社保有特許が効果的にカネを生むように、結果として「自分の懐にカネが転がり込むように」自陣営の技術を標準化に注入しようと奮闘したのである。

この期間、オランダのフィリップス社も旧MMCD陣営の応援に出席したが、「オランダから毎週金曜出席」はさすがに困難で隔週出席程度の応援となった。フィリップスが参加すると会議は英語、来ない日の会議は日本語となり、フィリップス社の来る日は穏やかな会議となり、来ない日は激論、といった様相が約半年続いた。

10 | DVD の市場投入

10.1 一号機

筆者の記憶では、2時間の映画が見られる「DVD」プレーヤの市場投入は「1996年末のクリスマス商戦」だったと思われる。それに先立つ1995年末には、旧SD^{*1}陣営では商品化がほぼ完成していたはずだが、「書き換え型DVDが決着しておらず、『最高級機』であるところの『自己録再型』DVD機が未完成」だった事情により、市場投入は見送られていたと思われる。これらが決着したのは、1996年秋だったから、その年の年末商戦に商品が市場投入されたことになったものと観られる。



図 10.1 DVD 一号機（東芝）「SD-3000」
（出典：「東芝未来科学館」WEB から^{*1}）

一方、パソコン市場においてはCPUの処理速度が向上したものの、WEBアプリは今ほど充実しておらず、その能力に見合った「処理能力」を必要とする「アプリケーション」が見当たらない状況だった。そこへDVD映画ディスクが大量に登場したので、「DVD再生」は「恰好」のPCアプリケーションとなり、PCの普及が早かった米国では「PCでDVDを観る」が主流になっていった。

一方、日本国内では「DVD」は「VHSテープの置き換え家電」の位置づけで家庭に浸透していったので、「PCでDVDを観る」習慣は浸透しなかった。この頃の国内ビデオ・レンタル事業では、DVDディスクを借りると「DVDプレーヤも貸す」形態が存在した。

10.2 映像事業とDVD

「映像事業」という観点では、日米で事業モデルが

かなり異なっていた。上記のように米国ではDVDディスクは「PCで観るもの」となったのに対し、同ディスクは日本では「DVDプレーヤ（家電）で見るもの」となった。とくに放送方式が後述のように、50年続いたNTSC^{*2}方式の「アナログ変調電波」から「デジタル変調電波」への移行期と重なったので、「高精細デジタル映像コンテンツは空から降ってくる」という認識が主流を占めることになった日本国内では、「DVDはVHSビデオ・レコーダーの代替機」という認識が主流となり、「高精細デジタルTV放送は媒体準備が不要のHDDへのデジタル録画で観る」もの、という「市場習慣」が主流となった。さらに、一部のTVメーカーから「DVD録再ドライブ内蔵TV受像機」が登場し、「DVD＝デジタル」の連想から、「デジタルTV放送はデジタル録画（＝HDD）で観る」習慣が広まっていった。

10.3 TV放送のデジタル化とDVDディスク

先に、米国ではPCで映画を見る習慣が出来たが、日本国内では「ビデオテープの置き換え家電」の位置づけで家庭に浸透していったこと、「PCでDVDを観る」習慣は国内では浸透しなかった、こと等に触れた。

日本国内では、もう一つ別の事情があった。それはTV放送電波のデジタル化移行計画であった。2003年に始まり2011年7月までに移行完了の計画（大震災で遅れたが）で、50年以上続いたNTSC^{*2}カラーTV放送電波から、いわゆる「地デジTV放送」電波への移行作業である。

この移行は、TV電波の周波数チャンネル・プランの更改を伴う大掛かりな変更だったので、必然的にビデオ・レコーダーの買い替えが進み、それまでの「VHSテープ記録」から「ディスク記録」への移行もほぼ「自動的に」進んだ。ただし、多くのメーカーの商品機種が「番組表配信に基づく自動番組録画」機能を搭載したので、「媒体挿入」の有無に拘わらず記録ができる「HDD優先記録」が定着し、DVDディスクは「番組の運搬」目的のみに利用されることになって行った。

この結果ほとんどの場合、まずは番組を「内蔵HDD」に記録し、再生・鑑賞が終わったら消去するのが日常となり、「特別に永久保存」するか「他人に

渡して見せたい」番組のみがDVD記録媒体に記録される「市場習慣」が広まった。

すなわち、「書込型光ディスク」の開発技術陣が当初想定したように「まずDVDディスクに記録」して「何度も同一ディスクを再利用する」ということはほとんど無くなり、「DVDディスクはHDDからのダビング専用」の利用形態が定着した。こうなると、「光ディスク」を「書き換え型」にする必然性が無くなり、CD-RやDVD±Rのようなライト・ワンス・メディアが広く普及して行った。このように「消えない」メディアは、旧来のVHSで時々起こった「うっかり上書きで消去」の心配がないこと、製造が色素溶液のスピン・コートという低コスト化可能な技術で済むこと、と相まってCD-RとDVD±Rという1回書きディスクが爆発的に普及し、現在では10~100枚単位の各社製品が店頭に並んでいる。

さらにCD-R登場の場合を振り返れば、1982年にCD-DA（オーディオCD）が発売され、数年後の1985年以降に「CD-R」が発明されたので「後追い互換」の心配（先行発売商品では後発商品のCD-Rから音が出ない危険性）があったのに対し、色素技術が完成した1986年から10年後に標準仕様を定めることになったDVD規格の場合は、「DVD±R」の存在を念頭にROM再生機の所要反射率等の仕様を定めることができたので、「安心」して1回書き込みの「DVD±R」をDVDファミリーの「仲間」として導入・定義できたことも「一回書きディスク」の普及を後押しした。

10.4 ゼロからスタートした 1兆円ビジネスの実現

ISOまで動員して「産官一丸」となって推進した「光ディスク」産業は、2000年代の始めの数年間には輸出台数で約2000万台以上、輸出金額で約1兆円以上という時代が続いた。しかしそれは、ISOで標準化した「(MOベースの)書換型光ディスク記録膜」ではなく、CD-R、CD-RW、DVD±R、DVD±RW技術をベースとした「一回書込/回数制限型」光ディスクであった。1990年前後にISO標準化を起動した担当者としては、歴史の皮肉を感じるとともに、市場予測の難しさも痛感した。今後もこのような「見込み違い」は「起こりうる」ことを念頭に「産業政策」を進めていくことが肝要であろうと感じる。

翻って概観すれば、記録膜の組成こそMO膜では無かったが、「Bit By Bit デジタル記録」、「半導体レーザー読み出し」、「TAOHS方式2軸アクチュエー

タ」、「ECC」、「相変化記録膜」のいずれもが利用されて約2,750万台、金額にして約1兆円（2005年）の輸出商品に成長した。1兆円といえば、年度は違うが2013年の郵便・履物・太陽光発電の各々の市場サイズに匹敵する金額であり、1品目で1兆円という輸出商品市場が如何に大きな金額かが想像できよう。

このような産業規模が「ゼロ技術からのスタートで創出」できた実績は、30年も昔の出来事とは言え、今後の日本経済にとって「範」とすべき経験（記憶）と言うべきではないだろうか。

10.5 TV放送と録画用DVDディスクの 選択

前記の「国内TV放送電波のデジタル化」で述べたように、「TV放送の録画はHDDにまず記録」が利用形態の主流となった。これは1990年代以来のHDD産業界の努力で容量が引き続き拡大し、かつ、コストも劇的に下がったことの成果であり、大変好ましいところに落ち着いたと言える。一方、このHDDに溜まったコンテンツを持ち出して他人に渡したり、アーカイブとして保管しようとするときに購入が必要な「光ディスク媒体」の選択に困る読者も多いことだろう。

そこで、この機会に購入のヒントになる「録画に使われるDVDディスクの整理」をしておくことにする。PC用途については、ネット上に多数の記事があるので、そちらに任せることにした。

10.5.1 〈CD-R/DVD±R〉

「ナントカ~R」の名が付く市販ディスク媒体は、動作原理上は色素記録膜に、元には戻らない「穴」や「凹凸」のパーマナントな物理変化で記録するものなので、上書きは出来ない「1回書き」である。したがって、「うっかり上書き」の心配は無くアーカイブ保管等に向いている。一方、市販価格は、枚数によるが100枚セットで買うと3000円前後なので、この場合は1枚当たり約30円となり極めて安価なので、他人にコンテンツを贈与するのに適している。しかし記録膜が「紫外線」を含むことがある「太陽光」に弱いので、窓際に置くと1週間程度で内容が部分的に消えることがあり、保管に注意が必要である。

10.5.2 〈CD-RW/DVD±RW〉

「ナントカ~RW」の名が付く市販ディスク媒体は、3.2.4項に述べたように動作原理上は相変化記録膜に

熱応答記録を行うので、「重ね書き」が可能である。数1000回程程度の「書き換え」が可能なのでかつてのVHSテープのような日常的使用状態に近い使い方ができる。ビデオ映像の記録形態において1000回を超える使い方はまず無いので、実用的には「書き換え寿命」を気にする必要は無いと言える。「ナントカ～RW」ディスクは「ナントカ～R」に比べ製造コストがやや高いので、市販価格は「～R」より高めであることが多い。

10.5.3 〈CPRM ディスク〉

日本の法律制度では、旧来から「著作権法」により「私的な録音録画」が合法として認められてきた。その背景には、旧来のアナログ時代には複製を繰り返すと「コンテンツの劣化」が著しく、商業的な「悪用」が実質的に不可能であった背景による。

一方、2011年以降に実現した「DVD+ 地デジ」の「デジタル・コピー時代」においては、コピー品質が圧倒的に向上したので、「私的録音録画補償金制度」（文化庁所管）が創設されたが、その後の訴訟等紆余曲折の結果、現状（2020年現在）では、「（コピー制限が可能な）CPRM ディスクは同制度の対象外」という事実以外には、確定した法律上の取決・解釈が無い。

この「CPRM ディスク」は、「Content Protection for Recordable Media」といわれる「コピー・ライト保護機能を有するディスク」であり市販価格はやや高めだが、大抵の放送コンテンツがコピー可能である。DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW ディスクの3種類にはこの機能を有するディスクが市販されている。ただし、めったにないが「1回コピーも許容しない」設定の放送番組はコピーできない。

また、「DVD + R/RW」グループには用意されていないこと、「CPRM ディスク」では「映像フォーマット」に2種類あって、TV放送が録画できる「VRフォーマット」と大多数のプレーヤで再生可能な「ビデオ・フォーマット」の2者選択が必須であること、安価版の簡易プレーヤでは「DVD-RAM」や「VR」の再生が不可能なプレーヤも多いこと、などに留意が必要である。

10.5.4 〈DVD+RW〉

このディスクは、元々はPC用途に開発され、ビデオ用としては短いPC用途の32kByteパケット単位記録に好都合なので、Windowsの「システム・バックアップ・ディスク」等に向いている。DVD+Rは片面2層記録が可能で8.5GB版が市販されている。DVD+ファミリーには「CPRM」ディスクは市販されていない。

10.5.5 〈ファイナライズとは〉

VHSのようなテープ・レコーダーで育った世代には馴染みがないが、「ファイナライズ」とは「Finalize」という英語であって翻訳では「締めくくり」とでもなるだろうが、WindowsのようなOSに詳しい人なら「TOC/FAT相当の作成と記録」といえば分かるだろう。いずれにしても、これが無いとDVDディスクはタダの円板で、読み書きが出来ない。本文中に書いたようにつまりは「目次」である。プレーヤはこの目次を読んでから、所定の画像データや音声の再生データの所在地（Logical Block Address）を知って読みに行くので、「ファイナライズ」していないDVDディスクは全く再生ができない。一般のDVDプレーヤでは「このディスクは読めません」の表示が出るものが多い。

したがって、他人から受け取ったDVDディスクが読めない時は、捨てる前にディスクを書いてくれた元の持ち主に「このDVDはファイナライズしてありますか？」と尋ねて「ファイナライズ忘れ」を確認してから、それでも読めないときに捨てるのが良い。

なお、Blu-ray Discでは「ファイナライズ」が不要になるようフォーマットが工夫されて、「煩わしさ」が軽減されている。

第10章の参考文献と補追

*1:「東芝未来科学館」URL=https://toshiba-mirai-kagaku.kan.jp/learn/history/ichigoki/1996dvd/index_j.htm、2019年10月29日閲覧)

*2:NTSC放送方式:〈囲み記事 2:NTSC方式〉参照。

9: Dub-10

書込型光ディスクに使用するディスクの種類については 10.5 で述べたが、ここまで来ると本報告の本旨ではないが、「TV 放送をディスクにコピーする」場合の、コピー制限(制御)について触れないわけには行かないので、以下に詳述する。

TV 放送が NTSC 方式アナログ変調だった時代には、放送番組を VHS テープなどにコピーすることは日本では「私的複製」と定義されて、営業用に販売しない限り合法であった。また米国においても、先に述べた「β訴訟」の 1984 年最高裁判決により、TV 放送の家庭内録画は合法となり、放送番組のコピーは実質無料であった。

しかし、デジタル電波放送が実現すると、家庭で録画された番組でさえ「画質劣化」は ECC 技術で「皆無」に出来るので、高額を経費を掛けて制作された番組が無料でコピーできる事になり、いわゆる「海賊版」が蔓延可能となるので甚だ不都合である。

そこで、日本では「DUB10(ダブテン)制限」という方式が 2008 年に採用された。その制限とは、

- (1) 放送局側が「著作権」を主張しない番組では録画制限をしない。
- (2) 放送局が「無料コピー」を禁止したいときは、TV 信号のデジタル・データに「コピー制限符号」を挿入する。
- (3) 「コピー制限符号」が挿入された番組は、受像機に表示する番組表の当該番組に「10→」のような「制限マーク」を表示し、視聴者に「コピー制限放送」であることを通知する。
- (4) 録画機の受像回路が「コピー制限符号」を検知したときは、内蔵の HDD (ハードディスク) 記録にも「コピー制限符号」と、コピー済枚数を記録する。
- (5) 録画機の HDD から DVD ディスクへのコピーは最大 10 枚までのコピーを許容する。(Dub10 名称の由来)
- (6) 10 枚目のディスク複写が完了したら、HDD のコンテンツは消去する (Move と称する) 事が義務付けられている。

視聴者にはわかりにくいのが、このような仕組みで DVD ディスクや Blu-ray ディスクへの番組コピーが許容される巧妙なシカケになっている。また、コピー用ディスクは、「VR フォーマット」という、再生に暗号解読が必要な特殊フォーマットが使われるが、多くの録画機ではこの「VR」も再生可能である。

なお、市販されている録画機には、HDMI 出力端子はあるが、HDMI 入力端子は無い。これは海賊版の製造に利用されることを回避するためであり、市販ディスクと市販録画機による「カジュアル・コピー」は出来ない仕組みを、デジタル放送用に新たに設定してあった。

これらの仕組みにより、番組制作者などの「著作権」を踏みにじることを防止する仕組みが「社会システム」として機能している。

11 「製造産業」としての「光ディスク」

11.1 特許で眺めた光ディスク産業の重心

光ディスク技術は1970年代に研究が始まり、1990年頃が研究と開発のピークであり、2005年ころまでPC市場拡大の「牽引車」的中心デバイス・コンポーネントであった。

特許庁が所管する「Plat-Pat」というインターネットシステムを利用して、この間の関連する「研究・開発」業務の「結果」である「特許出願件数」を調べてみると、以下の通りである。

- ①「光ディスク」という単語が登場する「特許出願」は5万8千883件、
- ②「光ピックアップ」が2万0千357件、
- ③「記録膜」が5102件、
- ④「相変化記録膜」が133件、
- ⑤「相変化膜」が18
- ⑥相変化合計：151
- ⑦「光磁気記録膜」が511件、
- ⑧「光磁気膜」が67
- ⑨光磁気合計：578
- ⑩「色素記録膜」が26件
- ⑪「色素膜」が406件、
- ⑫色素合計：432
- ⑬（磁気記録膜）870
- ⑭光記録膜総数：1161

単語「光ディスク」が含まれる特許出願には「社会背景」としての記述もあるだろうから、6万件弱すべてが「光ディスク関連の技術開発成果」とは言えないが、約6万件弱に近い数の「発明」が業界全体で行われたものと観られる。これらの数字から当時の技術開発状況を推定してみよう。

総数58,883件には記録膜5,102件が含まれているはずだから、差し引き約53,781件が「光ディスク・ドライブ」関連技術出願他とみられる。

また、記録膜5,102の内訳を推定すると、磁気、光磁気、相変化、色素膜、などが含まれているので、細かい誤差を無視すると、

- ⑮「光ディスク」関連総数：58,883件、
- ⑯「記録膜」関連総数5102
- ⑰差し引き53,781件弱が「ドライブ関連」となり記録膜内訳は、「相変化記録膜」133

「相変化膜」18,合計151

「光磁気記録膜」：511

「光磁気膜」67,合計578

色素記録膜：26

色素膜：406、合計432と整理され、「記録膜」の出願総数は1161となる。

この結果をまとめて図11.1に示すが、出願の産業母体が「電機産業」と観られ、「光ドライブ技術」に関する出願が総数の90%以上を占めていることがわかり、記録膜に関する出願は10%に満たない。これらは、「単品製造業では少数（含単発）特許で参入障壁」を構築できるのに対し、「組立型製品製造業では多数の特許でライセンス条件を有利に導く」事が必須であることに起因するから、と解釈される。

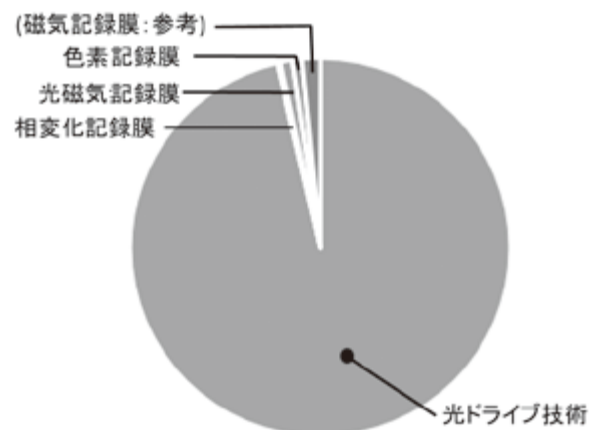


図11.1 特許出願で眺めた産業界の注力分野
(出典:特許庁システム「Plat-Pat」のデータを基に筆者作成、2019年10月10日現在)

この結果からさらに言えることをたどるとすれば、国内電機6社だけでも「ドライブ系開発陣総数」は総数1000人規模以上だったと推定されるので、技術者一人当たり「50件程度の出願」の計算となり、この時代にいかに大きなエネルギーが光ディスク産業の技術開発に注がれたかが窺える。

11.2 生産数量と金額で眺めた「光ディスク産業」

以上のような技術成果を活用した「事業の成果」として、「光ディスク・ドライブ製造事業」の盛衰を生産数量と販売金額で眺めてみると、図11.2～図11.3

のようになる。

まず、図 11.2 の数量推移からは、2000 年代初頭から CD-ROM 単体ドライブが急速に数量を減らし、替わって記録もできる CD-R/RW の数量が急速に伸びたことが分かる。

他方、2003～2005 年に向かっては数量が伸びているにもかかわらず、図 11.3 に示す同時期の金額ベースでは下降に転じ、「儲からない化」がこの頃から始まっていたことを示唆している。

しかしながら、「光ディスクという単一商品」で 1 兆円以上規模の製造業が成り立ってしかも外貨を稼いでいたことは、戦後の「擦り合わせ型製造業の集大成」から始まった「光ディスク製造業」の「大成功」であった、と言えよう。

第 11 章の参考文献と補遺

*1:「Plat-Pat」<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/>から算出。上記の利用にあたっては、上述の年代に限らず、システムに蓄積されていた出願総数から検索した(2019年10月12日閲覧)。

*2:(株)テクノシステム・リサーチのデータを基に筆者作成、図中の「COMBO」とは「CD-R/RW + DVD-ROM」を、「CD-W」とは「書込型 CD」を、DVD-W」とは「書込型 DVD」を、指す。

*3:(株)テクノシステム・リサーチのデータを基に筆者作成

生産数量(億台)

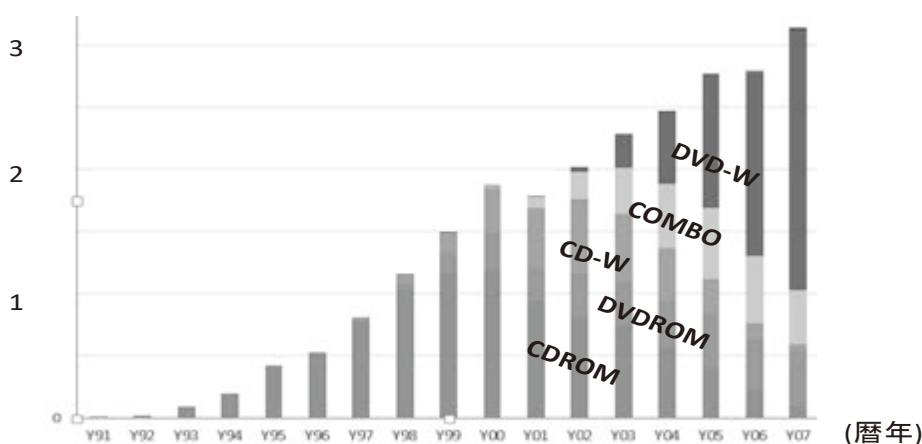


図 11.2 光ディスク・ドライブ事業の盛衰：数量
(出典:(株)TSR のデータを基に筆者作成)^{*2}

売上高(円)

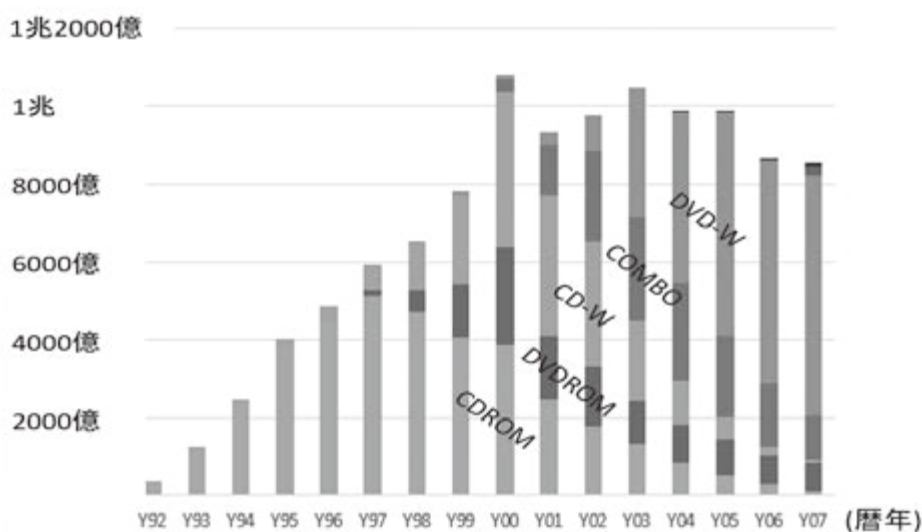


図 11.3 光ディスク・ドライブ事業の盛衰：金額
(出典:(株)TSR のデータを基に筆者作成)^{*3}

10: 擦り合わせ型製造業

「光ディスク」の時代は、産業史的に眺めると、「擦り合わせ型製造業」優位の終焉を迎えた、とすることができる。

「擦り合わせ型製造業」とは、寄せ集めた部品を組み立てる「モジュラー型製造業」に対して「対」を成す単語であり、東京大学大学院の藤本隆宏教授が提唱し、同院に在籍中の小川紘一（博士）が「光ディスク産業」に対して用いた。

一般的に「擦り合わせ型製造業」とは、自動車のように、エンジンの性能を最高度に活用・発揮するためには、車体や懸架装置までもエンジン開発事業者が自身で開発製造しなければならない産業の形態であり、カメラや家電製品の一部も含まれる。

語源は、ガラス製品である「広口瓶」の蓋を製造する時に、瓶に蓋を嵌め込んだ状態で瓶本体は固定し、蓋だけを回転して（又は反対組で）相互に摩擦研磨することにより瓶本体と蓋のテーパ角度を一致させて、密閉度の良い「広口瓶」を文字通りの「擦り合わせ」で製造したことに由来する。

このような「擦り合わせ型製造業」では、開発と量産工程における全工程を1企業（または1グループ）で完結するのが能率的であり、瓶本体と蓋を別企業で分業製造することは困難であることに起因している。

日本では、戦後の約50年以上にわたり、このような「擦り合わせ型製造業」の産業形態を他国産業に対する優位性として高度成長を実現してきた。

「光ディスク産業」も当初は「擦り合わせ型製造業」の形態で始まったのだが、マイクロコンピュータ（マイコン）の登場とともに、トラッキングやフォーカシングといった「光ピックアップが行う自動制御」を中心に、「マイコンによる自動制御」が順次取り入れられ、トラックセンターへの自動復帰など従来はPID制御（2次比例制御）としてアナログ回路で行われていたサーボ動作が、マイコンの内蔵プログラム（ファーム・ウェア）で代替されるようになった。

このことは、当初は「日本の国内工場でのみ可能だった」精密調整や精密試験が、「ファーム・ウェア」さえ持ち出せば海外の非熟練工場でも量産が可能になったことを意味する。

これは日本が得意で「差別化技術」の根源だった「擦り合わせ型製造業形態による量産品の囲い込み」が不可能になったことをも意味する。すなわち、「光ディスク産業」も「モジュール型製造業」に転換してしまったことになる。このことは、海外工場での量産事業拡大につれ、国内の親会社に利益が落ちなくなった要因の一つでもあった。

対応策としては、「擦り合わせ型製造業」時代に開発された「ファーム・ウェア」に対しては、特許と同様に「ロイヤリティ」を課すような仕組みが本来は必要だったが、「ファーム・ウェア」は内蔵プログラムの動作なので監視性に乏しく、外観や成分検査で判明する「特許」のように監視が効かず、開発経費の回収ができなかったことによるものと観られる。

12 | むすび

著者本人としては、記憶と資料をたどりながら、1970年代後半から始まった「光ディスク技術」の「産業化」にまつわる技術の歴史をまとめたつもりである。

しかし、なにぶん古い記憶であることと、資料の多くが散逸していることが主たる要因で、技術内容の記述に誤りがあるやもしれぬことが大きな気がかりである。しかしここに記した事柄の一つ一つは、当時のいわゆる「団塊の世代」に属する人々の「受けた教育水準の成果」であり、また「会社人としての汗水の結晶」であったことを思うと、何らかの形で後世に伝えておく必要を感じ、「浅学菲才」を承知の上で筆を執った。

先述のように「光ディスク産業」とは、いわば「ゼロからスタートした1兆円ビジネスの実現」であった。

その成果の根源は、明治維新に始まった『富国強兵政策』の一環としての「教育制度の整備」と、『サイン・コサイン・タンジェント』に代表される「高等教育」の拡充・浸透、さらには「教育の機会均等による、格差の解消」、「同、人材の公平な任用・活用」によるところが大きかったと、筆者は感じている。明治政府が採用した諸政策のうち、『富国強兵』政策は「太平洋戦争の敗北」に終わった。しかし、「教育制度の整備と高等教育の拡充・浸透、および教育の機会均等」こそが、「ゼロからスタートした1兆円ビジネスの実現」を可能にしたと言えるのではないだろうか。このことは今後の我が国の近未来の在り方を暗示していると言えよう。

「敗因」の考察は「成功のそれ」よりも重要なことが多いので、「光ディスク」の「ISO国際標準化」が「期待に反して」あまりうまく行かなかった原因を、以下に考察してみる。

ここまで整理してみると「光ディスク技術の本質」は何だったか、を考える必要を感じる。その結果筆者は、「紙文明の本質」と同質だったと結論するに至った。

「紙文明」は「高速印刷技術との組み合わせ」により、高度科学化社会を成立させた。「グーテンベルクが最初に作った「印刷物」が「聖書」であったことは有名であるが、その効果は「絶大」だったに違いない。「印刷機」は光ディスクで言えば、いわば「CD-ROM」成型機に相当し「同一コンテンツの配布が圧倒的に高速・大量になったこと」に相当し、「印刷機」が後世の「紙文化」を作ったと言える。

そこでは、「印刷技術に基づく大量出版」のおかげで、印刷聖書がキリスト教の普及を助け、暗黒の中世を克服してルネサンスを興隆させ、近代の科学時代を開始させた。印刷需要と市場のおかげで、「白紙」も安くなり「どこでも安価に手に入り便利にメモができる」現代の便利な「紙文明」につながっている。

このように考えてくると、現代の「光ディスク」も「CD-ROM」技術の「高速複製技術による大量出版」のおかげで、自己録再用の「ブランク媒体」が近所のスーパーで安価に手に入り、便利に自己録再ができるようになった、と考えるべきではなからうか。「書込型光ディスク」技術単独では、現在の「光ディスク時代」は来なかったと、筆者は考えるに至った。

「Magneto-Optical Disk」を「光磁気ディスク」と訳して、米国勢が席捲中の磁気ディスク・メモリ産業になんとか参入しようとしたことが、そもそも開発中心にいた著者を含む技術者たちを誤解させ、間違った方向にドライブを掛けた「出発点」だったのではなからうか。

11: Blu-ray Disc 秘話

「Blu-ray」の量産可否は、1台に1本は使用する青レーザーの「量産」可否にかかっていた。「HD-DVD」との対立決着は2008年なので「発売時期競争」の心配もあったが、一気に数百万台の「Blu-ray」を搭載してくれる「ゲーム・ビジネス」を社内に抱えていたので、これにレーザーの量産を間に合わせることは、筆者が関わっていたデバイス供給ビジネスにとっても、大きな売り上げにつながるビッグ・チャンスでもあった。

「(Electronic) ゲーム事業というもの」を「発明」した「ニンテンドー」は、当初モデル用のゲーム・コンテンツは、「IC-メモリー・モジュール」で販売した。したがって売れ筋ゲームが判明してから行う増産には、仕込みに約4週間かかった。ところが、後発のプレイステーション(SCE(株)当時:現ソニー(株))では、ゲーム・コンテンツ頒布をCD-ROMで販売する事業モデルにこれを転換し、週末の売れ筋銘柄を眺めた後、翌週末の売れ筋商品を1週間以内にDisc-ROMで製造して店頭に並べる事業モデルを導入し^{*1}、大成功を収めた。なお現在のゲーム事業は、インターネット・ダウンロードが主流である。

ビッグチャンスの期待とともに迎えた2006年度の6月、筆者は都内のホテルで開催の講演会に出かけた。自分のカンパニが量産する「Blu-rayドライブ」の社内重要顧客の一つ、「プレイステーション」の事業責任者の講演が予定されていたからだ。

先立つ講演がすすみ、休憩時間になってトイレに立つと「オイ〇〇(筆者の名)、タイヘンだ。」と呼び止められた。「当社はつぶれるぞ」。「ドしたんですか?」と当の事業責任者に聞くと、「青レーザーが(量産)出来ないぞ。」

会社に戻ってレーザーの事業責任者に電話すると、「そうなんです。L炉が全然ダメなんです。」の返事。

「L炉」というのは、宮城県白石市(仙台の南隣)の工場に新設した「Metal Organic Chemical Vapor Deposition」(有機金属気相成長炉)の第2設備のことである。それまで「R炉」で試作を進め、自信が付いたので量産用に新規購入した「MOCVD炉」が1ヶ月以上も不調だというのだ。「プレステ」のような「爆発的人気商品」では、数百万台の在庫を用意してから大々的に「発売」するので、この時期では月産100万本程度の青レーザーが生産できていなければならない時期だった。

引き続き電話をしまくっていると、ふと、ある人物の顔が浮かんだ。「青レーザー」の技術責任者で開発成功の功績により、新年度から材料系研究所の所長に「ご栄転」した人物で、ノーベル賞の中村修二に遅れること約1年で「青レーザー」の常温発振に成功した人物である。

直感的に「これを戻すしか無い」と感じて、作戦を考えた。通常社内調整では、ひと月以上かかる役員クラスの「高位の人事異動」となるので、「緊急避難の発令」が必要である。幸い、新年度早々にかつての上司が本社の新社長に就任していたので、「二人羽織」を演ずることに決意して、社長室に飛び込み、「青レーザーが出来ません。社長名で「あの人物の『白石貼り着き』のご指示を。」と頼み込んだ。事情はすぐに飲み込んでくれて、「よし。」となった。

ただちに「あの人物」を含む緊急会議を招集し、事情を説明したところ「所長兼務のまま白石赴任」が発令された。3か月かかったが「L炉」が完動し、当初計画から6か月遅れではあるが同年12月上旬の「プレステ3」発売にこぎつけた。自分のカンパニー・プレジデントからは「越権行為だ」と叱られたが、年度事業成績を左右するクリスマス商戦に間に合い、一同ホッとしたものである。HD DVD対Blu-ray Discの決着までには更に1年を要した頃の事であった。

なお、「L炉/R炉」の差異は、単に「クリーンルームの左側/右側に置いた」というだけの違いであり、どうしてこの騒ぎになったのかは、いまだに不明である。

参考文献と補追

*1: CD-ROMのスタンプ速度は、1枚/3秒(再掲)。

13 | 謝辞

本書の著述は、国立科学博物館が行う「産業技術の系統化調査」の一環として行われたが、本報告の内容は、大勢の元光ディスク産業人・元研究・開発関係者のご支援に負うところが大きかった。

元日立(株)中研主管研究員米澤成二博士には1970年代の光技術研究史に関する資料をご提供頂き、本書の骨子を形成するに至った。元オリンパス光学工業(株)執行役員正川仁彦氏にはTAOHS開発に関するお話等を直接に伺った。元パナソニック(株)光ディスク開発センター田中伸一所長には東京までお越しいただき、同社における「相変化光ディスク記録膜開

発」に関するインタビューに応じて頂いた。元ソニー(株)総合研究所横野滋企画室長には90mm光ディスク国際標準化に関するお話とHS商品化の経緯を伺い、元同所磁気技術研究部長渡邊健次郎博士にはMOディスク技術開発史に関する知見を伺った。さらに、元キヤノンの藤原卓利周辺機器事業部部長にはSteve Jobsとの共同開発に関わるお話を伺ったうえ、当時の産業界に関する資料もお寄せ頂いた。これらの方々と、標準化に携わった多くの方々に心より感謝いたします。

12: 戦後のElectronics産業

本報告を書き終えた今思い起こすことは、あの無謀な太平洋戦争の惨禍を生き延び、「昭和時代」をほぼ「徒手空拳」と「頭脳のみ」で戦い抜いたエレクトロニクス業界の先人たちの成果である。

筆者は1950年生まれだが、遡る1925年には今では誰でも知っている指向性の高い「八木・宇田アンテナ」が東北大学で発明され、1926年には浜松高等工業(学校)の高柳健次郎教授がTV用CRT表示を発明し、1927年には同大学で岡部金次郎により「VHF帯マグネトロン」が発明され、世界に先駆けて「レーダー技術の三要素」が揃った。にもかかわらず、発明後10年以上経った1944年のマリアナ沖海戦で「敵レーダー(とVT信管^{*1})によりボロ負け」したのだった。しかも、先立つ1942年初頭のシンガポール占領(当時は英国領)では「現物」を「捕獲」していた。この辺の詳細は拙著²をご一読願いたい。

これらの「惨敗」にめげず、「昭和戦後の一時代」を「エレクトロニクス産業で構築」した先人達の「偉業」を列挙してみよう(()内は背景)。

- (1)「トランジスタ〜半導体技術」のいち早い理解と産業化(それまでの常套だった目視では理解不能な量子力学をマスター)
- (2)「カラー・テレビ技術のいち早い「産業化と商業活用」(学んだエレクトロニクスの広範応用)
- (3)「半導体産業の延長」としての「マイコン活用技術」の市場展開(ハードからソフトへの好転換)
- (4)「米国発のパソコン市場」をターゲットとした「光ディスク産業の盛隆」(米国リード産業への参画)

これらの輝かしい成果にも拘わらず、「インターネット」の現代では「失われた20年の鳴かず飛ばず」の現状を、どう理解すべきか?

筆者の理解する現状は以下のとおりであるが、正しいかどうかの結論は100年後かも知れない。

「昭和の戦後」の「成果」は、まずは「明治維新」の成果だったと言えよう。「四民平等・教育機会均等」によりもたらされた、よく言われる「低文盲率と高算術能力」に代表される「教育の底上げ徹底」の効果は大きく、「自社内開発・量産製造市場の時代」には最適な教育投資効果を上げた。

一方、「インターネット時代」のアシを引っ張るものは何か? 筆者は「言語」であると感じている。理由は即答できないが、いくつかの例を挙げてみよう。

- (1) 米国人は日本に出張中でもよく「留守電」を聞くが、日本人はビジネスでは勿論、家庭でも「留守電」をほとんど使わない。

(2)「インターネット」では「ググる」技が必要だが、「ググる」ときに「一発」で「ググれる」単語がなかなか見つからない。

(3)「プログラミング言語の日本語化」は全く進まない。

これらの理由は、おそらく「日本語の言葉では自分の意図を的確に表せない(意味が一意に定まらず、誤解の恐れが大きい)からではないかと思われる。

この問題を解決するには、「日常語」である「日本語を捨てる「覚悟が必要」と筆者は感じている。

「日本語を捨てるとは何事か！日本文化を捨てるに等しい暴挙！」という非難も聞こえる気がするが、「ラテン語」を捨てた欧州人たちもそれぞれの文化を維持しているのを眺めると、あながち「暴挙」と決めつけるのも如何なものか、という気持ちも沸く。

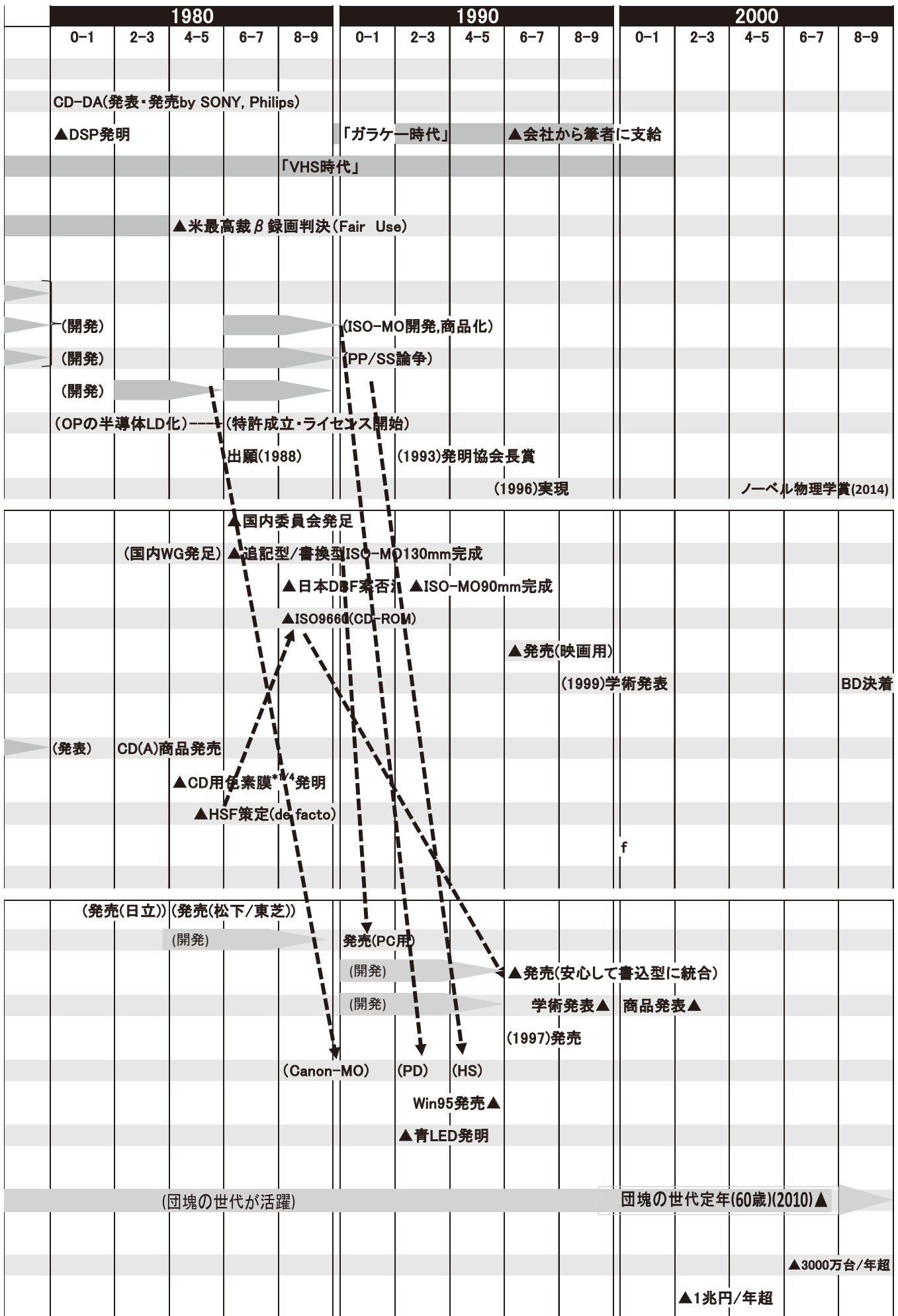
「言語の入れ替え」は有り得ない「暴挙」とも断じ難く、「Singlish」と揶揄されようが、アジアの小国では例があり、「成功例」としても良からうと思われる。しかし、強い必然性があったにも関わらず30年かかった。

参考文献と補追

*1：VT 信管：通常の「信管」は砲弾が当たったショックで起動するが、「VT 信管」は目標標的の10m近傍で金属を検知して起動・爆発させるので、「敵機」の10m近傍を通過するだけで撃墜できた。(VTはVacuum Tubeの略と思われる)。

*2：武田・瀬戸：「イノベーションの成功と失敗」、同文館、2015年

	1947-1949		1960				1970					
							0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	
① 要素技術	Holographic Recording研究		(研究)									
	世界初映像ディスク(TED by Telefunken)		(開発)						(1970: 圧電再生)発表		(1975)発売	
	世界初CD-DA(デジタル・オーディオ)										Walkman発売	
	(ご参考: テープ)											
				(VHS開発: ビクター)								VHS発売
												LD発売
				(LD開発)								
				(β開発: ソニー)						(β発売)		▲β訴訟(TV録画@米)
	レーザー光学系研究											
	レーザー光再生研究(日立中研)								(研究)			
	Push-Pull方式トラッキング								(研究)			
	各種方式トラッキング								(研究)			
	NEXT(Apple)用-MO(Canon)											
	半導体LD開口発明										出願(1977)	
	TAOHS機構発明											
	青色-Laser発明											
② 標準化	デジュール(公的)標準化											
		ISO-MO5"(130mm)										
		ISO-MO3.5"(90mm)										
		CD-ROM(ISO9660)										
		DVD										
		Blu-ray										
	デファクト(事実上)標準化											
		CD-DA								(開発)		
		CD-R(Media)										
		CD-ROM(High Sierra Format)										
	DVD-Video(ROM)											
	DVD-ROM											
③ 産業界		文書追記光ファイル										
		書換型MO130mm										
		DVD±R/RW										
		Blu-ray Disc										
		Combo(=CD-R/RW+DVD)										
		途中退場組										
		団塊の世代(2)1947-50生										▲団塊の世代大卒(22歳)
		生産台数										
	生産金額											



技術サンプル所在一覧：書込型光ディスク

項番	名称	製造年	製造者(当時)	現存法人	所在住所	推薦理由	備考
1	Apple社iNEXT用ドライブ (5.25インチMO)	1988	キヤノン(株)			(ISO制定前量産の)世界初書換型ドライブ(MO)	所在確認できず、将来の調査の為掲載
2	ISO-MO量産ドライブ(130mm追記)	1989	(株)日立			ISO/SC23日本人議長として制定した最初の規格準拠ドライブ	所在確認できず、将来の調査の為掲載
3	ISO-MO量産ドライブ(130mmMO)	1989	ソニー(株)			ISO/SC23で制定した初の書換型ドライブ(MO)	所在確認できず、将来の調査の為掲載
4	PD(120mm)	1995	松下電器(株)			国際標準ISO-90mm用フォーマットと既存120mmCD系の橋渡しを狙った初の量産ドライブ	所在確認できず、将来の調査の為掲載
5	HSDドライブ(90mm)	1995	ソニー(株)			汎用ROM機能と書換型ドライブの統合を目指した初の90mm量産ドライブ(ソニー(株))	所在確認できず、将来の調査の為掲載
6	非球面プラスチック・レンズ	1989	コニカミノルタ(株)	東京サイト八王子 社史展示室	東京都八王子市 石川町	一兆円産業への飛躍を可能にしたOP用非球面プラスチックレンズ	
7	光ディスク用TAOHS型光学ヘッド	1988	オリンパス(株)	オリンパス ミュージアム	東京都八王子市 石川町	一兆円産業への飛躍を可能にした支えた光ディスク用基本機構部品	
8	世界初のCD-RJサンプル(540MB)	1985	太陽誘電	太陽誘電(株) 本社	中央区京橋2-7-19 京橋イーストビル	世界で最も普及した光記録メディア「CD-R/DVD±R」の発明(商品化は1988)	
9	青色レーザーダイオードの 知財サンプル	1996	日亜化学工業(株)	知財部	徳島県阿南市中町岡	Blu-ray DISC実現のカギになった短波長レーザー発光(2014年ノーベル物理学賞)	

「書込型光ディスク技術の系統化調査」 正誤表

ページ	段落	行	技術の系統化調査報告 第29集 2020年3月 (誤)	全文PDF版 2020年7月 (正)
277	囲み1:	5~9	松岡はNTTの光通信用レーザーの開発を手掛けていた。レーザー製作基板とGaN素材の格子定数整合用バッファ層に関する彼の学会発表にヒントを得て、中村は1996年に青色レーザーの室温発振を実現したと言われる。この技術(いわゆる404特許)は、現在は利用されていないと言われるが、2000年代初頭に商品化された「Blu-ray Disc」の高密度化に最も重要な貢献となった。「ノーベル賞が…	彼は現用の光通信用レーザーを実用化している。松岡以前の青色LED研究はGaNに集中していた。GaNは紫外発光することから、松岡は、通信用レーザーの経験を活かし青色LED材料としてInGaAlNを提案し、青色発光材料InGaNの単結晶成長に成功した。この発光層成長技術と赤崎らの高品質GaN成長技術を合体し、中村は1996年に青色レーザーの室温発振を実現した。「ノーベル賞が…
296	左	2	浜田美恵子	浜田恵美子
321	図11.2		縦軸 単位修正	

※1

※1 2021年3月追記