

フロッピーディスクとドライブの技術と ビジネス発展の系統化調査

1

嘉本 秀年

Hidetoshi Kamoto

Systematic Survey on Technical and Business Development of Floppy Disk and Drive

■ 要旨

フロッピーディスク (FD) は 1967 年に IBM の San Jose 研究所に於いて誕生した。その目的は、メインフレームコンピュータにマイクロコードをローディング、またソフトウェアの更新を顧客に配布することだった。

IBM は 1970 年に、ライナーを裏付けしたフレキシブルな封筒に 8 インチの磁気ディスクを入れた読み取り専用メディアとドライブ (23FD) を発表し、翌 1971 年に市場に導入した。23FD のフォーマット容量はたかだか 80K バイトであったが、これが世界初のフロッピーディスク (FD) とドライブ (FDD) であった。その後 IBM は読み書きを可能にして、1972 年にフォーマット容量 250K バイト (33FD)、1976 年に 560K バイト (43FD)、1977 年に 1.2M バイト (53FD) と進化させた 8 インチ FD と FDD を導入した。

IBM の 43FD ドライブは 43FD ディスクを読み書きできるだけでなく、33FD ディスクも読み書きをすることができた。また、53FD ドライブは 33FD、43FD ディスクも読み書きが可能であった。この下位互換の考え方はその後の 5.25 インチ、3.5 インチ FD と FDD でも必須条件として受け継がれた。

1970 年代終わりに普及し始めたワードプロセッサ、パーソナルコンピュータにとっては、8 インチ FD と FDD は高価でサイズも大きすぎた。そこで Shugart Associates は 1976 年に 5.25 インチ FD と FDD を導入した。この 5.25 インチの FD と FDD は 8 インチを縮小したもので、基本技術は 8 インチを継承していた。

このような状況下で 1980 年にソニーは 3.5 インチマイクロフロッピーディスク (MFD) とドライブ (MFDD) を発表した。3.5 インチ MFD/MFDD の企画書には「ユーザーの使い勝手を大幅に改善した小型 FD と FDD を開発し、5.25 インチを置き換えるとともに、これまで使用できなかった用途にも普及させ第三の世界標準にする」と記されている。ソニーはそれまで FD および FDD の開発や製造の経験がなかったが、1 年という短時間で製品を開発し発表した。3.5 インチ MFD と MFDD はその使い勝手が従来に比べて各段に優れていることが評価され 1982 年に HP が周辺記憶装置 (9121D/S) に、1984 年に Apple が Macintosh に、そして 1987 年に IBM が PS/2 に採用して世界標準になった。それまで IBM をはじめ米国メーカーがリードしてきたデータストレージ業界において、日本メーカーの提案が世界標準となった初めてのケースであり画期的な出来事であった。

3.5 インチ MFD/MFDD のアンフォーマット容量は 437.5K バイトであったが、1983 年に 500K バイト、1M バイト、そして 1985 年に 2M バイトまで下位互換を保ちながら進化した。

その後、新しい技術を用いた大容量 3.5 インチ FD/FDD、また 2~3 インチの超小型 FD/FDD が導入されたが市場でほとんど受け入れられず、ソニーが提案した 2M バイト 3.5 インチ MFD/MFDD が使い続けられた。1980 年代初期に FD/FDD が担っていた役割は、その後 HDD、光ディスク、フラッシュメモリー、ネットワーク等のテクノロジーにとって代わられるが、その理由と経緯も報告する。

1971 年に IBM が 8 インチ FD/FDD を導入してから 2009 年にソニーが 3.5 インチ MFDD の生産を打ち切るまでの約 40 年間に、総計 19.7 億台のドライブと 492.4 億枚のディスクが出荷された。その内 3.5 インチはドライブが 17.1 億台 (86.8%)、ディスクは 355.0 億枚 (72.1%) と圧倒的なシェアを占めた。

■ Abstract

The floppy disk originated with the development of magnetic disks and drives at the IBM research facility in San Jose in 1967. The aim was to be able to load microcode into mainframe computers and to distribute software updates to customers.

In 1970, IBM announced the 8-inch floppy disk (FD), 23FD and floppy disk drive (FDD). The 8-inch read-only magnetic disk enclosed in a lined, flexible casing was released on the market the following year, 1971. The 23FD was the world's first FD and had a maximum formatted storage capacity of 80 KB. IBM soon added writing capabilities, releasing the 250 KB (33FD) in 1972, followed by the 560 KB (43FD) in 1976 and the 1.2 MB (53FD) in 1977 as the 8-inch FD and FDD developed.

IBM's FDD for 43FD was capable of reading and writing to 33FD as well as to 43FD. The FDD for 53FD could also read and write to 33FD and 43FD. This idea of backward compatibility became an essential condition in the 5.25-inch and 3.5-inch disks and drives that followed.

Word processors and personal computers were beginning to grow in popularity by the end of the 1970s. The 8-inch FDs and FDDs were too large and too costly for these machines. To solve this, the Shugart Associates introduced the 5.25-inch FD and FDD. While these were smaller than their 8-inch predecessors, the basic technology was the same.

Sony stepped into the arena in 1980 with the launch of the 3.5-inch micro flexible disk (MFD) and drive (MFDD). The proposal for the 3.5-inch MFD and MFDD was to "develop a smaller and more user-friendly FD and FDD to replace the 5.25-inch and expand into previously unusable applications to become the third global standard". Despite having had no prior experience in developing or manufacturing floppy disks or drives, Sony developed and launched a product within the short period of one year. The 3.5-inch MFD and MFDD was well received, as it was far more user-friendly than its predecessors. It went on to become the global standard, adopted by HP for the 9121D/S in 1982, by Apple for the Macintosh in 1984 and by IBM for the PS/2 in 1987.

This was epoch-making, as it was the first time a proposal by a Japanese manufacturer had become the global standard in the data storage industry, which had until then been dominated by American manufacturers such as IBM. The unformatted storage capacity of the 3.5-inch MFD and MFDD grew from 437.5 KB to 500 KB and 1 MB in 1983, reaching 2 MB by 1985, all the while maintaining backward compatibility.

As new technology emerged, 3.5-inch FDs and FDDs with greater storage capacity were introduced, as well as 2-3-inch ultra-small FDs and FDDs. However, these gained little ground in the market, and the 2 MB 3.5-inch MFD and MFDD remained in use. The role played by the floppy disk in the early 1980s was later superseded by that of hard disk drives (HDD), optical disks, flash memory, networking and other technologies. This report discusses this course of events and the reasons behind it.

In the four decades from when IBM first introduced the 8-inch FD and FDD in 1971 until Sony finally ceased production of the 3.5-inch MFDD in 2009, a total of 1.97 billion drives and 49.24 billion disks were shipped. The overwhelming majority of these were 3.5-inch MFDs and MFDDs, with 1.71 billion drives (86.8%) and 35.5 billion disks (72.1%) shipped.

■ Profile

嘉本 秀年 *Hidetoshi Kamoto*

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

1970年	国立米子工業高等専門学校 電気工学科卒業 ソニー(株)入社
1979年	システム開発部 3.5インチMFDDの企画と開発
1980年 ～1981年	米国バディュー大学留学、 電気工学科 修士課程卒業
1981年	第3事業部 技術企画課、課長 3.5インチMFDDのビジネス開拓、 第2世代MFDD企画
1987年	データストレージマーケティング部、部長 FDD、HDD、MOドライブ の全世界のマーケティング担当
1990年 1993年	ハードディスクドライブ事業部、事業部長 テープストリーマ事業部、事業部長 コンピュータ用4mmテープドライブ、 8mmテープドライブの事業担当
1997年	パーソナルストレージ事業部、事業部長 CD-ROM、CD-R/RW、DVD-ROM、 DVD-RW等の光ドライブの事業担当
1999年 2003年 2004年	R&D戦略部、部長 モバイルマーケティング部門、部門長 ソニー(株)退社、 Digital Fountain 社入社、 Asia Pacific 担当 Managing Director
2005年	Digital Fountain 社退社、 (株)ワコム入社、執行役員、 コンポーネント事業本部、事業本部長
2015年 2020年	(株)ワコム退社 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター、 主任調査員

■ Contents

1. はじめに	4
2. フロッピーディスクとドライブの歴史	6
3. 第1世代3.5インチMFDDと MFDDの企画と開発	17
4. 3.5インチMFDDのビジネス開拓	52
5. 次世代3.5インチMFDDの開発	62
6. 3.5インチMFDD及び MFDDの標準化とライセンス活動	74
7. 大容量3.5インチFDD	78
8. 3.5インチMFDDビジネスの俯瞰	88
9. リムーバブルメディアの役割と テクノロジーの推移	95
10. 終わりに	103
11. 謝辞	105

1 | はじめに

フロッピーディスクは1980年代から1990年代においてパーソナルコンピュータ（以後PC）の発展に多大な寄与をし、ソフトウェア産業の出現を可能にした。すなわちフロッピーディスクはコンピュータの歴史の中で最も影響力のあった製品のひとつである。

1980年代から2000年代までフロッピーディスクは、会社、研究所、学校、工場などPCを使うあらゆる場所で見受けられ、1990年代後半のピーク時には、世界中で年間にドライブは1.5億台、ディスクは40億枚近くが販売された。しかしこの小さなプラスチックパッケージのメモリーは2000年代には急速に生産量が減少し、主要なフロッピーディスクメーカーであったソニーも、2009年に主要市場での生産を停止すると発表した。現在、フロッピーディスクを目にすることはほとんどない。唯一、PCのWindows画面にアイコンとして残るのみとなっている。

最初のフロッピーはIBMがメインフレームコンピュータ用に開発した。しかし、その磁気ディスクはカバーがなかったため汚れやすいという欠点があった。IBMの開発チームは磁気ディスクを薄い耐久性のある封筒に収納、封筒内部に革新的な埃を除去するライナーを設け、簡単に取り扱え保管できるようにし、これをフロッピーディスクと命名した。IBMは1971年にフロッピーディスクとドライブの導入を開始し、1972年にはドライブとフロッピーディスクの米国特許を取得。1911年創立以来50年以上にわたって使われ、IBMビジネスの成功の象徴であったパンチカードをフロッピーディスクで置き換えることにした。1枚のフロッピーディスクで3,000枚のパンチカードのデータを収納することができた。¹⁾

1970年代後半、最初のマイクロコンピュータは、トグルスイッチやペーパーパンチカードの変形であるペーパーパンチテープを使用して、データをインストールおよび保存した。その後、カセットテープレコーダーでソフトウェアプログラムをパーソナルコンピュータにロードしていた。1977年、Appleが2台の5.25インチフロッピードライブ（以後5.25インチFDD）を搭載したApple IIを発表。PCに革新的な進歩をもたらしたApple IIは最初の大量生産コンピュータとなった。

フロッピーが登場したことにより、一般の人々がオペレーティングシステムや他のソフトウェアプログラムを自分のPCにロードすることができるよう

になった。IBMが1981年に発売した最初のIBM PCは、最初から2台のフロッピーディスクドライブを装備し、ユーザーは通常、一方のドライブにアプリケーションのディスクを入れ、もう一方のドライブにデータを蓄えるディスクを挿入した。

これにより、ユーザーは飛躍的に使いやすくなった。しかし、フロッピーは単にユーザーの使いやすさに影響を与えただけではなく、IT業界の構造にも影響を及ぼした。1970年代後半までは、ワープロや会計などほとんどのソフトウェアアプリケーションは、PCの所有者自身によって作成されていた。しかし、フロッピーのおかげでプログラムを作成してディスクに保存し、それをメールまたは店舗で販売する会社が現れた。「フロッピーにより、ソフトウェア産業が可能になった」と、最初の量産ポータブルコンピュータであるOsborne 1を設計しPC産業の先駆者であるLee Felsenstein氏は言っている¹⁾。

1980年代の初め、5.25インチミニFDDはPCの萌芽期に大きな貢献をしたが、当時普及し始めたPC、ましてやノート型PCには大きすぎたため、1980年以降、数多くの小型のフロッピーディスクとドライブが発表された。1970年代、IBMを筆頭にアメリカのメーカーがフロッピーディスクとドライブの技術をリードし、ビジネスもほぼ独占していた。このような状況下でソニーはそれまで全くフロッピーディスクの開発・製造に携わった経験がなかったが、3.5インチマイクロフロッピーディスクとドライブ（以後3.5インチMFD、MFDD）を企画し、短期間に開発し1980年末に発表した。当初はソニー製英文ワープロに採用されたが、その後HPの外部記憶装置、AppleのMacintoshに搭載され、続いてIBM PS/2が標準搭載したことによりPC業界の標準となった。そして3.5インチMFDDは下位互換を保ちながら記憶容量は437 Kバイトから2Mバイトまで進化し、2009年まで30年間にわたって生産し続けられた。最初のIBMの導入から約40年間でドライブは17.1億台、ディスクは355.0億枚、ピークの2000年代の初めは年間でドライブは1.5億台、ディスクは35億枚という巨大な市場に成長した。

本報告書では第2章で8インチ、5.25インチそして3~4インチFDおよびFDDの技術と市場を俯瞰する。IBMで8インチFDおよびFDDがどのように開発され、記憶容量がどのようにして進化を遂げたかを

報告する。

続いて、5.25 インチミニFDとFDDが誕生した経緯とその技術の概要と性能、そして記憶容量の進化を説明する。ここでわかることは、5.25 インチFDとFDDは、8インチFDDの技術をそのまま踏襲しディスクのサイズを小さくし、ドライブを小型化した製品であった。したがって、5.25 インチの記憶容量は8インチの約半分で8インチの進化に追従した。

1980年代の初めにPC市場が大きく立ち上がり始めた。一般ユーザーが使うには5.25インチミニFDとFDDは大きすぎて、もっと小型のディスクとドライブが求められ、多くのメーカーから小型フロッピーディスクとドライブの提案がなされた。それらのなかで主要な企画と思われる3インチコンパクトFDD(松下電気産業、日立製作所、日立マクセル)、3.25インチFDD(Dysan、Tabor)、3.5インチMFDD(ソニー)、4インチFDD(米国IBM)を取り上げて各々の仕様と技術内容を説明する。また、1980年代に提案された2インチ小型FDDを簡単に紹介する。

第3章では第1世代の3.5インチMFDとMFDDがどのような経緯で企画され、その実現のために開発された発明と技術について説明する。企画・開発チームは前もってフロッピーディスクとドライブの技術を全く知らなかった故に、ユーザーの利便性を最も重視した企画を提案した。そして小型化、記録密度向上、信頼性を実現するための革新的な発明について、また、いかにして試行錯誤を繰り返しながら製品を完成させていったかを報告する。合わせてその技術の詳細を説明する。

続いて第4章は3.5インチMFDDのビジネス開拓の記録である。ソニーは1980年代初めにはソニー内で開発された部品はすべてソニーのブランド製品のためであり、外部に販売することが禁止されていた。したがって3.5インチMFDDを社外に販売する組織はなかった。そのような状況の中で、まずHP社に採用され、ついでAppleの初代Macintoshに標準搭載された。HPの採用により業界において3.5インチMFDDは認知され、Macintosh搭載は世界標準になる大きなステップとなった。

第5章では次世代3.5インチMFDDの開発を報告する。即ち、両面1Mバイト31mm高さドライブ、両面2Mバイト1インチ高さドライブ、そして両面4Mバイト1インチ高さドライブの開発内容を説明する。両面2Mバイト1インチ高さ3.5インチMFDDはIBMがPS/2に標準搭載したことにより、IBMおよびIBM PC互換メーカーはほとんどすべての新機種に3.5インチMFDDを搭載し世界標準となった。それから2年足らずで業界全体が5.25インチFDDから3.5インチMFDDに切り替わった。

第6章は3.5インチMFDの標準化活動の報告である。アメリカの大手フロッピーディスクとドライブメーカーは小型FDDを検討するMIC(Micro Floppy Disk Industry Committee)を組織して、共同で企画をまとめることを模索した。しかし、ソニーの3.5インチMFDが優れていることを認識し、ソニーの企画に少しの改良を加えてソニーと共同で3.5インチMFDの企画をANSI(米国国家規格協会)に提案をした。その後、ECMA(欧州電子計算機工業会)、ISO(国際標準化機構)そしてJIS(日本工業規格)と標準化を進めた過程を報告する。

第7章では大容量3.5インチFDDのビジネスと技術の紹介をする。1990年代に多くの3.5インチFDDが提案されビジネスを立ち上げる試みがなされた。記憶容量10Mバイト~20Mバイト、そして100Mバイトから200Mバイトの製品に分け、その技術内容とビジネス状況を報告する。

第8章では3.5インチMFDとMFDDの導入時の1980年から、収束までの年ごとの出荷数量、ドライブの参入メーカー、機種、価格トレンド等、ビジネスを俯瞰する。

第9章では当初フロッピーディスクが担っていた役割がどのようなテクノロジーに置き換わったか、そしてその理由は何であったかを報告する。

参考・引用文献

- 1) IBM ホームページ Icon of Progress: The Floppy Disk <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/floppy/>

2 | フロッピーディスクとドライブの歴史

フロッピーディスク (FD) とドライブ (FDD) の歴史は IBM が 1970 年に発表した 8 インチ FD と FDD がスタートした時に始まったと考えられている。その後、IBM のエンジニアだった Alan Shugart が興した Shugart Associates が 1976 年に 5.25 インチミニ FDD を世に出し、ソニーが 1980 年に 3.5 インチマイクロフロッピーディスク (MFD) とドライブ (MFDD) を発表した。そして 2009 年にソニーが 3.5 インチ MFDD の生産を中止し、フロッピーディスク産業は終焉した。

1970 年から 2009 年の約 40 年間に約 492.4 億枚のディスクと約 19.7 億台のドライブが出荷された。その間に様々なサイズと容量のフロッピーディスク及びドライブが提案されたが、結果として世界標準となったのは、IBM の 8 インチ FDD、Shugart Associates の 5.25 インチミニ FDD、そしてソニーの 3.5 インチ MFDD のみであった。

この章では 1970 年から 1990 年の間に提案された 8 インチ、5.25 インチ、3~4 インチ、2~3 インチの FD 及び FDD を紹介する。

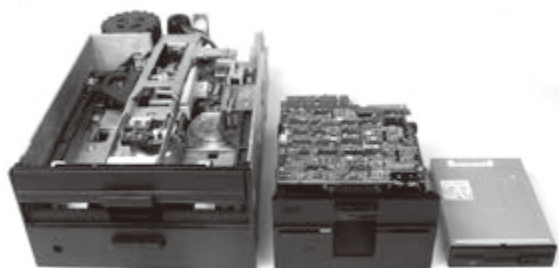


図 2.1 8 インチ FDD、5.25 インチ FDD、3.5 インチ MFDD



図 2.2 8 インチ FD、5.25 インチ FD、3.5 インチ MFD

2.1 8 インチ FD と FDD^{1),2)}

コンピュータの多くの革新は IBM によってもたらされたが、フロッピーディスクとドライブもその一つであった。

1967 年、IBM はメインフレームコンピュータ、System/370 の初期制御プログラムロード用に信頼性が高く安価な不揮発性記憶システムの開発をカリフォルニア州サンノゼの研究所で行うことを決めた。DAS (Direct Access Storage) 責任者の Alan Shugart は David L. Noble をリーダーに指名し、Donald L. Wartner をドライブ責任者、Herbert E. Thompson をメディア責任者とした開発チームを作った。このチームは、磁気材料でコーティングした 8 インチの円形の弾性があるプラスチックディスクを開発し、これをドライブに直接差し込んで利用するという全く新しいストレージシステム、IBM 23FD (コード名 “Minnow”) を開発した。最初、ディスクは磁性面がそのまま表面に出ているため、埃が付きやすく、またディスク脱着の際にディスクに直接手で触れることになり、ディスクに傷が付きやすく、皮膚の脂肪分がディスクに付着する等の問題があり信頼性が乏しいものであった。そこで、チームはディスクを耐久性がありフレキシブルな封筒に入れることによりドライブへの装着を簡単にし、さらにその封筒の内側にライナー (Teflon-lubricated fabric liner) を貼り付けて埃の除去を図った。それによりユーザーが簡単に取り扱え保管できる信頼性の高いメディアを実現した。このディスクは読み取りのみ可能であり記憶容量はたかだか 79.1K バイトであったが、それ以後のコンピュータの市場を大きく変えるきっかけとなった製品であった。IBM は自社ホームページの「IBM が誇る 100 の歴史的製品」に 1970 年 6 月発表の IBM 23FD を挙げている。³⁾

IBM はメディアに柔軟性のあることから「Diskette」あるいは「フロッピーディスク」と名付けて、世界初のフロッピーディスクとドライブ、IBM 23FD を 2835 SCU (Storage Control Unit) のコンポーネントとして発表した。IBM は 23FD とは別に書き込み専用装置 (コード名 “Mackerel”) を開発して、IBM 内でデータをディスクに記録し市場に配布した。

図 2.3 に 8 インチ FD “Diskette” の写真を示す。



図 2.3 IBM 8 インチ Floppy Disk “Diskette”

1972年に Alan Shugart は IBM を辞め Memorex に異動し、元 IBM チームとともに Memorex 650 を開発し発売した。Memorex 650 は世界最初の読み書きが可能な 8 インチ FDD で、そのデータ記憶容量は 175K バイトで、50 トラック、8 セクター/トラック、448 バイト/セクターであった。Memorex ディスクは「ハードセクター」方式であった。つまり、最外周データトラック 00 の更に外側に 8 個のセクターホールと、1 回転に 1 個の物理的な穴を設け、回転の先頭と各セクターの先頭を検出していた。初期の 8 インチのほとんどのフロッピーディスクは「ハードセクター」方式であり、ドライブとコントローラに適した「ハードセクター」のディスクが必要であった。

1973年に Alan Shugart は Memorex から独立し Shugart Associates を設立し、その後、Shugart Associates は 8 インチ FDD の主要メーカーとなった。Shugart Associates の 8 インチ FDD、SA800 の外形寸法・取り付け位置・インターフェース仕様は業界標準となった。

一方、IBM は 1972 年に読み書き可能な FDD、IBM 33FD (コード名 “IGAR”) を 3740 DES (Data Entry System) のコンポーネントとして出荷を開始した。このディスクは 1 枚でパンチカード 3,000 枚相当のデータを記憶することができ、IBM 創立以来、IBM の成功の象徴であったパンチカードを置き換えることになった。ディスクは “Diskette 1” として別売された。ディスクの仕様は片面、アンフォーマット記憶容量は 400K バイト、フォーマット時の容量 250K バイト、77 トラック、26 セクター、128 バイト/セクターであった。このフォーマットは他のドライブメーカーからもサポートされ、片面単密度ドライブ、SSSD (Single Side Single Density) と称され業界標準となった。

IBM は 1976 年に 8 インチ FD の両面に記録してアンフォーマット容量を 2 倍の 800K バイトにした IBM 43FD を導入し、このディスクとドライブは両面単密度、DSSD (Double Side Single Density) と呼ばれた。

更に IBM は 1977 年に変調方式として MFM を採用し線記録密度を倍にしてアンフォーマット記憶容量を 1,600K バイトにした IBM 53FD を導入した。このディスクとドライブは DSDD (Double Sided Double Density) と称された。

表 2.1(a) に IBM 8 インチ FD とドライブの変遷を示す。

表 2.1(a) IBM 8 インチフロッピーディスクとドライブの変遷

製品発売時期	1972年9月	1976年4月	1977年4月
適用システム	・3740シリーズ ・システム32	・3600シリーズ ・シリーズ1	・システム34
フロッピー・ディスク装置	33FD (SSSD)	43FD (DSSD)	53FD (DSDD)
記録媒体	Diskette 1	Diskette 2	Diskette 2D
記憶容量(Kバイト/ディスク) アンフォーマット時 フォーマット時 (セクタ数/トラック)	400 250 (26)	800 560 (26)	1600 1200 (26)
使用面	片面	両面	両面
変調方式	FM	FM	MFM
記録密度(ビット/インチ)	3200	3408	6816
トラック密度(トラック/インチ)	48	48	48
トラック数	77	154	154
シリンダ数	77	77	77
転送速度(Kビット/秒)	250	250	500

新しく導入されたドライブは、過去に出荷されたディスクに対しても読み書きができることを必須としていた。つまり、43FD ドライブは 33FD ディスクのデータを読み書きができ、53FD ドライブは 33FD ディスクおよび 43FD ディスクのデータの読み書きができた。表 2.1(b) にドライブとディスクの互換を示す。

この下位互換はフロッピーディスクとドライブが業界標準となる最も重要な仕様として、その後、5.25 インチ、3.5 インチにも受け継がれた。

長期間、フロッピーディスク業界において IBM 互換が必須とされ、国内・海外の FDD メーカーは IBM の発表より 1~2 年遅れでディスクを介して互換性のあるドライブを開発、製品化し、システムメーカーに供給してきた。表 2.1(c) に 1983 年時点の国内製造メーカーと 8 インチドライブのモデル名をリストアップした。

表 2.1(b) 8 インチフロッピードライブとディスクの互換

ドライブ		略称	SSSD	DSSD	DSDD
ディスク	略称	UF容量(バイト)	400K	800K	1600K
片面単密度	SSSD	400K	○	○	○
両面単密度	DSSD	800K	×	○	○
両面倍密度	DSDD	1600K	×	×	○

○: Read/Write可能、△: Readのみ可能、×: Read/Write不可
 UF: Unformat
 SSSD (Single Side Single Density)
 DSSD (Double Side Single Density)
 DSDD (Double Side Double Density)

表 2.1(c) 国内各社の8インチフロッピーディスクドライブ (1983年時点)

メーカ	8インチフロッピーディスクドライブ		
	片面 (SSSD)	両面 (DSSD)	両面・倍密度 (DSDD)
三菱電機	M892	M2894	M2896
松下通信工業	JK-880	JK-888	JA-751
東京東芝電気	ND-10	ND-20D	ND-40D
日立製作所	FDD-101A	DFF-201	FDD-402D
		FDD-401	FDD-412
日本電気	YD-74C	FD1160	FD1165
		YD-174D	YD-180

(太字は薄型ドライブ)

1980年にアメリカ、ユタ州ロイ市に設立された Omega Corporation は1982年に8インチFDでデータ記憶容量10Mバイトのドライブ、Alpha-10を発表した。このドライブはBernoulli定理を応用し安定した浮上ヘッドとトラッキングサーボを導入し、高い線記録密度24,000bpi、高トラック密度300tpiを実現した。しかしIBMの8インチディスクと互換性がないため、Alpha-10はフロッピーディスクの主流として受け入れられず、一部の顧客のみにとどまった。

2.2 5.25インチミニFDとFDD^{1),2)}

1973年にIBMを退社しShugart Associatesを設立したAlan Shugartは、8インチFDDで大きな成功を収めた。

Alan Shugartは、同社のJim AdkissonとDon MassaroとともにWang Laboratoriesの創設者An Wangと8インチFDDの売り込みに関する会議をもった。その席上でAn WangはShugartに8インチFDDはWangの製品には大きすぎ、また価格が高くて使えないと伝えた。Massaroによると、AdkissonはWangとの会議の前にその当時の既存のテープドライブの平均的サイズを段ボールで用意し、それが5.25インチFDDの大きさになったといわれている。都市伝説としては、ボストンのバーで、An Wangが

8インチに代わる妥当なサイズを尋ねられ、テーブルの上のカクテルナプキンを指し、それで5.25インチFDDのサイズが決まったという説もある。

1976年にShugart Associatesは5.25インチミニFD/FDD、「SA400」を発表した。「SA400」はディスクのサイズを小さくしただけで、8インチの技術をそのまま流用していた。つまり片面で8インチと同じトラック密度48tpi(1インチに48トラック)で、アンフォーマット記憶容量は109.4Kバイトと小さなものであった。

フロッピーの歴史上、IBMに次いで大きな足跡を残したのはAppleであった。シリコンバレーにはコンピュータを自作で制作するための電子部品、電子回路、情報を交換する非公式な場であるホームブリュー・コンピュータ・クラブ(Homebrew Computing Club)があり、Appleの創立者のSteve JobsとSteve Wozniakも参加していた。1975年にShugart Associatesはこの会合に5.25インチFDDを展示した。その数日後にSteve JobsはShugart Associatesを訪問し、ミーティングをもった。その席上でJobsはSA400の機構部をShugartから購入し回路部はAppleで設計することを提案した。

並行してAppleの創立者の一人、Steve WozniacはIWM(Intelligent Wozniak Machine)と呼ばれる独自のFDC(Floppy Disk Controller)を開発した。IWMはApple IIのCPUとドライブ間データのシリアルパラレル変換、GCR(Group Code Record)、シーク動作、更にモータ速度制御を行う1チップのインターフェースICであり、市場のFDCより格段に安価であった。AppleはShugartのSA400の機構部とApple独自のドライブ回路、そしてIWMで画期的な低コストのFDDを実現した。

1977年にAppleは2台の5.25インチFDDを付属ユニットにした「Apple II」を発表した。「Apple II」は世界で初めてFDDを搭載した個人用の量産型の完

成品 PC であり、大ヒット製品となった。



図 2.4 Apple II with two floppy drives

次いで Shugart は片面・単密度でアンフォーマット記憶容量 109.4K バイトの「SA400」を進化させ、両面・倍密度で記憶容量を 4 倍の 437.5K バイトにした「SA450」を発表した。(表 2.2(a) 参照)

Sirjang Lal Tandon は Alan Shugart と並んでフロッピーディスク業界の伝説の人物の一人である。1970 年から 5 年間メカニカルエンジニアとして IBM のフロッピーディスクの開発に携わり、1975 年に IBM を退社後、Tandon Corporation を設立した。そして両面・倍密度フロッピーディスクヘッドの開発に成功し、製造・販売を行った。更にドライブのビジネスにも参入し、Tandon は Shugart の SA450 のディスクの内周に各面 5 トラックを加えて、両面・倍密度でアンフォーマット記憶容量を 500K バイトにしたドライブ、「TM100」を 1979 年に発表した。

1981 年、IBM は最初の IBM PC Model 5150 DOS version 1.0 (図 2.5 参照) を発表し、パーソナルコンピュータ市場がスタートした。IBM PC は 2 台の片面・倍密度、フォーマット記憶容量 160K バイトの 5.25 インチ FDD (1D) (表 2.2(b) 参照) を搭載した。IBM PC は 2 台の FDD を搭載したことにより、これまでとは比較にならない下記のような使いやすさを提供した。

- ①ユーザーはオペレーティングシステムや他のソフトウェアプログラムを自分の PC にロードできる。
- ②更に一方のドライブにアプリケーションをロードして、他方のドライブのディスクにデータ保存できる。



図 2.5 初代 IBM PC Model 5150

続いて IBM は 1982 年に IBM PC DOS version 1.1 で両面・倍密度、フォーマット記憶容量 320K バイト (2D) (表 2.2(a) 参照) をサポートし、更に 1983 年に DOS version 2.0 では従来の 8 セクター/トラックから 9 セクター/トラックに増やし、片面 180K バイトと両面 360K バイトをサポートした。

Tandon の 5.25 インチ FDD は IBM PC DOS 1.0 から DOS 2.0 のすべての機種でシングルソースとして採用され、Tandon は 1981 年から 1983 年にはフロッピードライブの世界最大のメーカーになった。

5.25 インチ FDD の両面、倍密度の基本テクノロジー (トラック密度 48tpi、記録密度 5,876bpi) は 8 インチ FDD の両面の倍密度の基本テクノロジー (トラック密度 48tpi、記録密度 6,816bpi) とほぼ同じであった。5.25 インチ ディスクは小径となり、その温度・湿度による伸縮が 8 インチ に比べて小さく、より高いトラック密度が可能であった。そこで 1980 年頃から Shugart をはじめ FDD 各社は 40 トラック/面を倍の 80 トラック/面にし、両面アンフォーマット記憶容量 1M バイト、フォーマット時 655K バイト (16 セクター、256 バイト/セクター) (2DD) (表 2.2(a) 参照) を製品化した。

IBM は 1984 年 8 月に IBM AT Model 5170 (図 2.6 参照) を発表した。IBM はアンフォーマット容量 1M バイト 5.25 インチ FDD (2DD) ドライブをスキップして、IBM AT で両面・高密度・アンフォーマット容量 1.6M バイト、フォーマット容量 1.2M バイトの 5.25 インチドライブ (2HD) を採用した。



図 2.6 IBM AT Model 5170

この5.25インチFDおよびFDD(2HD)は1981年にNTTが提案しYEデータが開発した。

具体的には両面・倍トラック・倍密度の1Mバイト5.25インチFDDの線記録密度を1.6倍にしてアンフォーマット容量1,600Kバイトを達成した。さらに回転数を300rpmから360rpmにしてデータ転送速度を500kbit/sec、トラック数を80/面から77/面に減らした。即ち、8インチFDDと同じ記録容量と転送速度を5.25インチで実現したものであった。当初製品化された機種は、1.6Mバイト専用であったが、ヘッド、回路、モータの改良により、倍トラック(96tpi)、倍密度の1Mバイト5.25インチディスクの読み出し・書き込みが可能になり、また48tpiのドライブで記録されたFDの読み出しができるようになった。(表2.2(b)を参照)

1.6Mバイト/1.0Mバイト兼用機には、1Mバイトディスクが挿入された時にディスクの回転数が300rpmに切り替わる機種と、1.6Mバイトディスクの時と同じ360rpmで回転する二つの機種がある。IBM PC/AT用の機種は後者であった。

この高密度5.25インチFDDシステムは大きな問

題を抱えていた。高密度5.25インチディスク(2HD)は記録密度を上げるため保磁力600Oeの磁性体を用い、一方、倍密度ディスク(2DD)の保磁力は300Oeであった。そのためドライブは高密度ディスク(2HD)の時にはヘッドの記録電流を高くし、倍密度ディスク(2DD)では下げるように設計されていた。

しかし、高密度ディスク(2HD)と倍密度ディスク(2DD)はラベル以外に区別する手段がなく、ドライブは挿入されたディスクの種類を認識することができなかった。つまり高密度5.25インチドライブに1Mバイト用の倍密度ディスク(2DD)を入れても1.6Mバイトのフォーマットをすることが可能であった。高密度ドライブが倍密度ディスク(2DD)を高密度ディスク(2HD)と誤認識してフォーマットを実行すると、ほぼエラーなしにフォーマットをすることができた。しかし、データの書き換えを繰り返すとヘッド磁界が強いため近隣のトラックを消去し、やがてエラーが多発するようになった。一方、高密度ディスク(2HD)を倍密度ディスク(2DD)と誤認識すると、倍密度ディスク(2DD)用の記録電流では磁界が弱くほとんど高密度ディスク(2HD)にデータが記録できないので、ほぼ確実にエラーが発生した。これを避けるためには、IBM PCのユーザーもIBM PC/ATユーザーも、新しい5.25インチディスクを購入し、使用する時はディスクのラベルを見てその種類を判別してPCにその種類をインプットすることを強いられた。

この高密度5.25インチFD(2HD)導入による市場での混乱が、IBMがIBM PC/ATの次期モデルであるIBM PS/2モデルから3.5インチMFD/MFDDに切り替えることを決断した理由の一つであったと推察する。

表2.2(a)に5.25インチFD/FDDの変遷を示す。

表 2.2(a) 5.25インチフロッピーディスクドライブの変遷

仕様	片面 (1S)	両面・倍密度 (2D)	両面・倍密度 (2D)	両面・ 倍密度・ 倍トラック(2DD)	高密度 (8インチ互換) (2HD)
ドライブメーカー 機種	Schugart SA400	Schugart SA450	(表2.3 参照)		
記憶容量 (Kバイト/ディスク)					
アンフォーマット時	109.4	437.5	500	1000	1604
フォーマット時	80.6	322.6	327.6K	655	1262
(セクタ数/トラック)	(18)	(18)	(16)	(16)	(8)
変調方式	FM	MFM	MFM	MFM	MFM
線記録密度(ビット/インチ)	2581	5456	5876	5922	9646
トラック密度(トラック/インチ)	48	48	48	96	96
トラック数	35	70	80	160	154
シリンダ数	35	35	40	80	77
転送速度(Kビット/秒)	125	250	250	250	500

表 2.2(b) は 5.25 インチフロッピードライブとディスクの互換表である。トラック幅を半分にしてトラック密度を倍の 96tpi にした 2DD、2HD のドライブは、トラックピッチ 48tpi のドライブ 1S、2S、1D、2D で書かれたディスクを読むことはできるが、書くこと

はできない (△)。また片面のドライブ 1D、1DD は両面ドライブで書かれたディスク (2S, 2D) を読み書きできない (×)。

表 2.3 に 1984 年時点での国内各社の 5.25 インチ FDD メーカー と製品を示す。

表 2.2(b) 5.25 インチフロッピーディスクとドライブの互換

ディスク		ドライブ	略称	1S	2S	1D	2D	1DD	2DD	2HD
名称	略称	UF容量(Kバイト)								
片面 単密度	1S	125	○	○	○	○	△	△	△	
両面 単密度	2S	250	×	○	×	○	×	△	△	△
片面 倍密度	1D	250	×	×	○	○	△	△	△	△
両面 倍密度	2D	500	×	×	×	○	×	△	△	△
片面 倍密度 倍トラック密度	1DD	500	×	×	×	×	○	○	○	○
両面 倍密度 倍トラック密度	2DD	1000	×	×	×	×	×	○	○	○
両面 高密度 倍トラック密度	2HD	1604	×	×	×	×	×	×	×	○

UF:Unformat ○: Read/Write可能、△:Readのみ可能、×:Read/Write不可

表 2.3 国内各社の 5.25 インチフロッピーディスクドライブメーカー (1984 年時点)

メーカー	5.25インチドライブ機種			
	片面 0.25MB(1S)	両面・倍密度 0.5MB(2D)	両面・倍密度 倍トラック、1.0MB(2DD)	高密度 1.6MB(2HD)
三菱電機		M4851	M4853 M4852	M4854
松下通信工業	JK-874 JA-221	JK-875 JA-251 JA-551	JA-561	JU-581
東京東芝電気	ND-01	ND-04D	ND-06D	ND-08D
日立製作所		HFD505B	HFD510C	HFD516B
日本電気		FD1053	FD1055	FD1155
東京電気	FB-501	FB-503	FB-504	
エプソン		SD-320/321 SD-521	SD-540/541	SD-560/561
富士通			M3651A	M3652A
アルプス電気	FDD2100 FDD3100	FDL212B	FDL222B	
チノン	F-051D			
沖電気工業		GM3305	GM3405	
リコー				RF5160
三洋電機	FD-5481	FDA-5200	FDA-5300	FDA-5400
ティアック	FD-50A FD-55A	FD-50B FD-55B	FD-50F FD-55F	FD-55G
キャノン電子	MDD6106	MDD211 MDD413	MDD211 MDD423	MDD516
YEデータ		YD-274 YD-580	YD-280 YD-480	YD-380 YD-380T

2.3 3~4 インチ FD と FDD¹⁾

1980 年前半に 5.25 インチ FDD は Apple II そして IBM PC に採用され、その市場は大きく成長した。しかし、普及し始めたパーソナルコンピュータ (PC)、ましてやノートブック PC には大きすぎ、また高価であったため、1980 年以降各社より多くの小型のフロッピーディスクとドライブが提案された。その中で主要な 4 機種を表 2.4 に示す。

2.3.1 3.5 インチ マイクロ FD と FDD (MFD/MFDD)

1980 年末、小型フロッピーディスク装置として最初にソニーが 3.5 インチ マイクロフロッピーディスク (MFD) とドライブ (MFDD) を発表した。ソニーの提案した 3.5 インチ FD/FDD は記憶容量、データフォーマット、転送レートとも 5.25 インチとの互換性を確保していた。また、従来の 8 インチ、5.25 インチで課題であったディスクの取り扱いづらさを大幅に改良し、信頼性を向上させる各種の配慮がなされた企画であった。

1982 年、当時 5.25 インチ FDD の最大メーカーの Shugart と最大のメディアメーカーの Verbatim を中心とした 13 社は MIC (Microfloppy Industry Consortium) を結成し、小型フロッピーディスクの規格を検討した。当初は従来のソフトジャケットの 3.5 インチ FD の規格を進めていたが、1982 年夏に HP がソニー製 3.5 インチ MFDD を搭載した外部装置を導入したのを機に、ソフトジャケット ディスクとソ

ニー製 3.5 インチ カートリッジ ディスクの市場調査を行った。その結果、カートリッジ入りのフロッピーディスクが圧倒的に好評だったことがわかった。MIC は基本的にはソニー製 3.5 インチフロッピーディスクの規格を MIC として採用することに決め、幾つかの改良点をまとめソニーと交渉することにした。

1983 年 1 月の中旬に MIC の 13 社全メンバー、ソニーと HP がサンノゼ市の Verbatim 本社に集まり 2 日間の交渉を行い規格の合意に達した。その後、3 日間ソニーのエンジニアと Verbatim のエンジニアで 3.5 インチ MFD の規格を ANSI (American National Standard: 米国国家企画協会) フォーマットにまとめ、1983 年 1 月下旬に ANSI に提出した。これは 3.5 インチ MFD の標準化に向けての大きな一歩であった。続いて、1984 年 1 月に Apple が初代 Macintosh を発表した。この画期的な PC にソニー製 3.5 インチ MFDD が内蔵されたことにより、その市場は飛躍的に拡大した。

IBM PC 市場がフロッピーディスクの最大市場だったが、1987 年に IBM が 3.5 インチ MFD/MFDD を搭載した IBM PS/2 を発表した。IBM と PC 互換機メーカーはその後すべての新機種に 3.5 インチ MFDD を採用し、一挙に 5.25 インチ FDD を駆逐して 3.5 インチ MFDD が拡大し世界の標準となった。

3.5 インチ MFDD の企画、開発、市場導入、標準化活動、ビジネスの立ち上げがどのようになされたかは、本報告書の第 3、4、5、6 章で詳しく報告する。

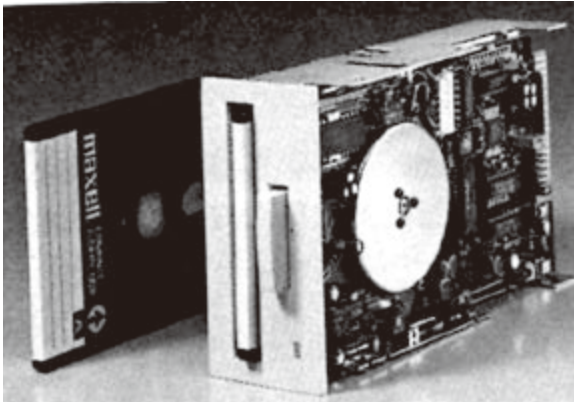
2.3.2 3 インチ コンパクト FD と FDD

1981 年末に松下電気産業と日立製作所、日立マク

表 2.4 3~4 インチフロッピーディスクドライブ

	3.5 インチ	3 インチ	3.25 インチ	4 インチ
提案メーカー	ソニー	松下電気産業 日立製作所 日立マクセル	ダイサン (Dysan) テイバー (Tabor)	米国 IBM
発表時期	1980 年 12 月	1981 年 12 月	1982 年	1983 年 2 月
記録面	片面/両面	片面/両面	片面	片面
記録形式	MFM	MFM	MFM	FM
記録密度 (ビット/インチ)	8187/8717	8946/9890	9250	6865
トラック密度 (トラック/インチ)	135	100/200	140	68
トラック数/面	80	40/80	80	46
回転数 (rpm)	300(600)	300	300	262~415
転送速度 (Kビット/秒)	250(500)	250	250	333
記憶容量 (Kバイト/ディスク) アンフォーマット時	500/1000	250/500	500	358
ディスク・エンクロージャー	カートリッジ	カートリッジ	塩ビシート	カートリッジ
エンクロージャー寸法 (mm)	90x94x3.4	80x100x5	83x87x2.15	120x120x5
シャッター有無	あり	あり	無し	無し
センターハブ	金属	プラスチック	金属	無し

セルの3社が3インチ コンパクト FD と FDD を発表
した。(図 2.7)、(図 2.8)



3 インチ コンパクト FDD



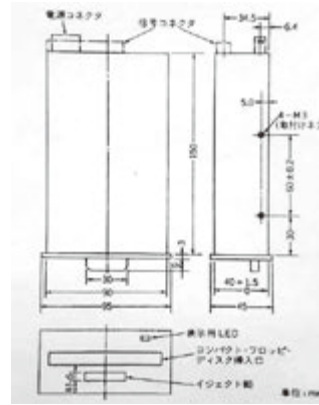
3 インチ コンパクト FD

図 2.7 3 インチ コンパクト FDD と FD

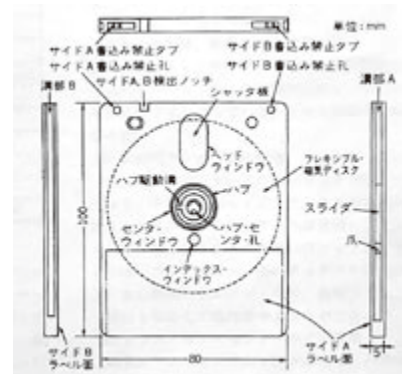
このシステムは 5.25 インチ FDD とプラグを差し替
えるだけで容易に使えるドライブとして企画された。
トラックピッチは 100tpi、トラック数 40、倍記録密
度、片面 250K バイト / 両面 500 バイトと、5.25 イン
チ FDD の 1D/2D (表 2.2(b) 参照) と同じ記憶容量、
トラック数、データ転送速度を備えていた。また磁気
ディスクはカートリッジに収納されユーザーが取り扱
いやすくし、センター・ハブにはプラスチックを設
け、繰り返しチャッキング時のセンターずれを軽減し
信頼性の向上を図っていた。

しかし、この装置が主流になることはなかった。最
大の欠点は片面記録のドライブで両面のメディアに記
録する方式をとったことである。つまり、オーディオ
カセットと同様にユーザーがディスクの両面に記録す
るためにはカートリッジをドライブから取り出し、反
転させて再度ドライブに入れる必要があった。カタ
ログ上では両面の記憶容量 500K バイトを記している
が、コンピュータのオンライン容量は 3.5 インチの半
分の 250K バイトであった。

更にデータの信頼性にも課題があった。片面ドライ



3 インチ コンパクト FDD



3 インチ コンパクト FD

図 2.8 3 インチ コンパクト FDD と FD

ブではディスクは記録再生ヘッドとディスクを介して
設置された上パッドで挟まれた状態で回転する。その
時、パッドが当たる磁性面はパッドによりダメージ
を受ける。つまり A 面ディスクにデータ記録した後、
反転させて B 面に記録しようとする、A 面はパッ
ドでダメージを受けることになる。そして、再度デ
ィスクを反転し、A 面を再生するとデータが破壊され
ており信頼性は著しく損なわれた。

両面の記録再生ヘッドを備えたドライブが企画され
たが、市場にある片面ヘッドのドライブでディスクを
反転して記録されたデータは、両面ヘッドのドライブ
と回転方向が逆になるため再生できないという致命的
なシステム上の欠陥をもっていた。

また、記憶容量を 3.5 インチと同一にするためト
ラック数を 40 から 80 にする試みもなされた。しか
し、そのためにはトラックピッチが 200tpi となり、
温度・湿度のディスクの伸縮またディスク装着による
ディスクのセンターずれを考慮すると実現が困難で
あった。

松下電器産業、日立製作所そしてティアックが 3
インチ FDD を導入し、日立マクセル、松下電器産
業そして Tatung が FD を供給した。顧客としては

Amstrad、Oric International、Tatung Einstein、シャープ等が採用し、記憶容量が250Kバイトでよいと判断する日本市場で市場導入を進めた。しかし、ANSI、ECMA、ISOの国際規格が3.5インチMFDを標準とする決定がなされたことから、程なく3インチは市場から消えた。

2.3.3 3.25インチFD/FDD装置

1982年に米国のDysanとTaborが3.25インチを発表した。この装置は3.25インチのディスクに5.25インチフロッピーディスクと同一の記憶容量、トラック数、データ転送速度をもち、5.25インチフロッピーディスク装置とプラグを差し替えて簡易に使えるように企画されていた。発表されたのは片面の装置で、トラック密度は140tpi、トラック数は80、倍記録密度で500Kバイトを達成していた。



図2.9 3.25インチマイクロフロッピーディスク

ディスク装着時のセンターずれを防ぐため、金属のセンター・ハブを設けていた。しかしディスクのエンクロージャーとして従来の塩ビシートのエンクロージャーを使っていて、ユーザーの使い方の制約をそのまま引き継いで小型化を図った装置であった。

3.5インチMFDのカートリッジのエンクロージャーが市場の流れとなると、3.25インチFD/FDDは本格的な導入を待たずして消えた。

2.3.4 4インチFDとFDD

1980年代の初め、IBMの小型フロッピーディスク装置開発はPC業界やフロッピーディスク業界では最も関心の高い話題であった。1983年2月にIBMのOEM部門（Information Products Division）が4インチFD/FDDを発表した。図2.10にドライブとディスクのスケッチを示す。

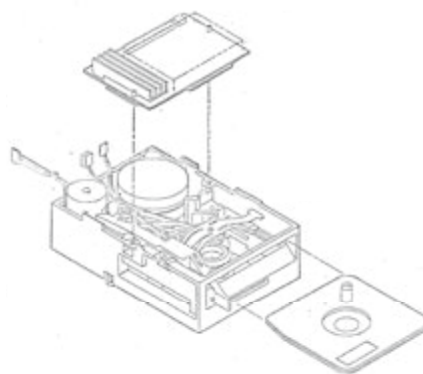


図2.10 IBM 4インチFDとFDD

このFDDは従来のいずれのフロッピーディスクの物理的サイズ、データフォーマットと全く互換がなく、インターフェースも固有であった。ディスクはポリカーボネイトのハードケースに収納されているが、ディスクには従来の5.25インチFDと同様にセンターハブはなかった。

また、外装の対角線上で磁気ヘッドを接触させる珍しい配置を採用し、更にディスク面で線記録密度を一定に保つように、ディスクモーターの回転数は最内周にヘッドがある時の262rpmから最外周にある時の415rpmまで各トラックで変化させた。

従来のフォーマットと全く互換がなく、市場に出始めていたフロッピーディスクコントローラは使えなかった。IBMはFDとFDDと同時にアダプターチップも発表した。価格については、4インチFDDは1万台注文時に165ドル、アダプターチップは31ドルと発表した。

IBMカートリッジのサイズが大きくて厚く、記憶容量は358Kバイト/面とソニーの3.5インチMFDの500Kバイト/面に比べ少なく、またセンターハブがなくトラック密度を上げることも難しかった。ヘッドの位置によってトラックごとにディスクモーターの回転数が異なるので、ヘッドを目的トラックに移動させてデータが読めるまでの時間（セトリングタイム）が短縮できなかった。

ドライブとディスクの発表はなされたが、データ記憶装置として上記のような致命的な欠点があったため、試作のみで中止となり市場に出回ることはなかった。

2.4 その他の小型FDとFDD¹⁾

1980年代に多くの会社から2インチの小型フロッピーディスクと装置が発表された。その主なものを表2.5にまとめた。

これらで特筆すべき製品について説明する。

・2.8インチ ミツミ (D284)：1984年発表

Quick Disk(QD)と呼ばれるこのディスクとドライブは、ディスクは日立マクセル、ドライブはミツミが販売した。任天堂がファミコンの外部記憶装置ディスクシステムに採用し大量に使用したが、任天堂向けのカートリッジは外形寸法とデザインが変更されており、汎用のQDドライブには使えないようになっていた。

・2.5インチ エプソン：1986年発表

発表の当初は両面で500Kバイトであったが最終的には1Mバイトになった。ディスクは日立マクセルから、ドライブはエプソンから販売された。1Mバイトの容量を達成するため、トラック密度は3インチFDDと同じ200tpi、線記録密度は2Mバイト3.5インチMFDDよりかなり低い12Kbpiであったことから技術的には難易度が低かった。トラック数、回転数、データ転送レートなど1Mバイトは5.25インチFDD、1Mバイト3.5インチMFDDと同じなので、インターフェースを合わせればソフトとハードの変更なしに使用できるよう企画された。しかし、IBMがPS/2に採用した2Mバイト3.5インチMFDDが業界標準となり、日立マクセル/エプソンの2.5インチFD/FDDが大きな市場を形成することはなかった。

・2.5インチ 三協精機 (FDU250)：1986年発表

ディスクは富士通化成、ドライブは三協精機が提供した。ディスクはプラスチックのケースに入り、ヘッドウインドウにはシャッターがあり、裏返して両面使用できる企画になっている。またドライブ内にFDC (Floppy Disk Controller) 相当の回路を内蔵しており、CPUのバスにそのまま接続できる。ポケットコンピュータ用の外部メモリーとして使用された。

・2インチ 松下通工 (JU-201/202)：1987年発表

1987年5月に松下通信工業は独自の仕様の2インチFDDを発表した。FDDの内部仕様が5.25インチFDD、3.5インチMFDDと同様であるため、システムへの組み込みが容易である。FDのケースはプラスチック製のハードケースでヘッドウインドウにはプラスチックのシャッターがついている。エプソンの2.5インチFDDを2インチにした企画である。

・2インチ ソニー (PDD-100)：1987年発表

1981年にソニーは2インチの磁気ディスクを使い電子写真用磁気カメラをMAVICA (マビカ) の名称で発表した。この装置は2インチの磁気ディスク片面に50本のトラックを持ち、50フレームのTV静止画をアナログで記録することができた。この規格はカメラメーカー、電気メーカーで標準化が進み、SVF (Still Video Floppy) という名称で世界43社の標準規格になった。この規格の中には画像記録だけでなく音声記録、データ記録およびこれらの複合記録についても規定されている。

ソニーは1987年5月に2インチFDD、PDD-100を発表した。このドライブの回転数は3600rpmとHDD並みに高速で、線記録密度も50Kbpiと通常

表 2.5 2～3インチ小型フロッピーディスク装置

メーカー	東京電気	ミツミ	リコー	三協精機	エプソン	松下通工	ソニー	ソニー
モデル名	MC164	D284	SUD8E00	FDU250		JU-201	PDD-100	
ディスク径(インチ)	2.5	2.8	2.6	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
発表時期	1982	1984	1986	1986	1986	1987	1987	1989
記憶容量								
アンフォーマット(Kバイト)	64	64	512	86.5	500/1000	500/1000	(1000)	(1990)
フォーマット(Kバイト)				64	410/819	410/819	819	1440
最大記録密度(Kbpi)	5.5	4.41		8.33	12.2/12.3	13.8/14.3	51.2	59
トラック密度(tpi)	56	59	135	48	100/200	254	254	254
記録方式	MFM	MFM	MFM	GCR(4/5)	MFM	MFM	8-10変換	8-10変換
エラー訂正	なし	なし	なし	なし	なし	なし	CIRC	CIRC
ヘッド数	1	1	1	1	2	1/2	1	1
シリンダ数	1	1	1	16	40/80	80	50	90
トラック数	1	1	1	16	80/160	80/160	50	90
セクタ数				8	5	5	4	4
セクタサイズ(バイト)				512	1024	1024	4096	4096
データ転送レート(Mbps)	0.167	0.101	0.5	0.2	0.25	0.25	14.3	14.3
回転数(rpm)	425	423		270	300	300	3600	3600
特徴	スパイラル記録			表裏使用可	5.25インチFDと同じフォーマット		高速データ転送 先行イレース	

のFDDに比べて3~5倍高くなっている。この高密度を実現するためにチャンネルコーディングに8-10 GCRを、エラー訂正コーディングとしてCIRCを採用し、フォーマット記憶容量819Kバイトを実現した。更に1988年7月にトラック間アクセス時間を12msから4msに改良したPDD-110を発表した。そして、翌年1989年1月にPDD-100からトラックピッチを変えず、内周を使ってトラック数を50から90に増やしフォーマット記憶容量を1.44Mバイトにしたモデルを発表した。このモデルはポータブル日本語ワープロに使用された。しかし2インチ磁気ディスクとドライブは写真画像を記録するメディアとしては広く使われなかった。

【参考・引用文献】

- 1) 高橋昇司 「フロッピーディスク装置のすべて」 CQ出版社 1989年
- 2) 「https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_floppy_disk」 (図2.1、図2.2、図2.9)
- 3) IBM 「Icon of Progress: Floppy Disk」 <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/floppy/> (図2.3)

【ソニーDigital MAVICA】

ソニーは1987年に819Kバイト、1989年に1.44Mバイトを記憶する2インチFDDを開発した。これらの2インチFDとFDDはソニーが中心になりカメラメーカー、電気メーカー世界43社がまとめた標準規格、SVF (Still Video Floppy) に準拠していた。

一方、ソニーは1997年にDigital MAVICA「MVC-FD5」を発売した。本体内に2インチFDDではなく3.5インチMFDDを内蔵し、静止画を3.5インチMFDDに記録することが大きな特徴であった。この頃のデジタルスチルカメラは多くの製品が、撮影した画像を内蔵のフラッシュメモリーに記録するもので、記録媒体を取り出して交換することができない以上、本体に内蔵されたメモリーの容量以上には記録できない、という難点があった。交換可能なメモリーカード対応の製品も存在したが、本体、記録媒体ともに高価であり、一般的な製品として普及していなかった。

当時のデジタルスチルカメラの大半はVGA規格の静止画像を記録する30万~40万画素程度のCCDしか備えていなかった（作成されるファイルサイズは低圧縮率の最大画質でも0.1Mバイト未満）ため、撮影後にディスクに書き込む時間が10秒程度かかるが、3.5インチMFDDの2HD規格のフロッピーディスク1枚（容量1.44Mバイト）で撮影枚数換算15~40枚前後の記録が可能であった。ソニーはこれに着目して「記録媒体に安価なフロッピーディスクを使用でき、多数の画像を撮影・記録して保存できるデジタルスチルカメラ」を製品化した。このシステムのメリットは3.5インチMFDDに記録された画像を、MacintoshあるいはPCに標準搭載されていた3.5インチMFDDで取り込み、加工・編集・送信が簡単にできたことであった。3.5インチMFDDが安価であったこともあり官公庁や教育現場をはじめとした業務用途が拡大し、欧州・北米でベストセラーとなった。ソニーはこのデジタルマビカの成功により「デジタルカメラ=ソニー」というブランドイメージを確立させ、特に海外市場において大きなシェアを獲得することに成功した。



図 2.11 ソニー Digital MAVICA 「MVC-FD5」

3 | 第1世代 3.5 インチ MFD と MFDD の企画と開発

本章では、第1世代の3.5インチマイクロフロッピーディスク (MFD) とドライブ (MFDD) がどのような経緯で企画され、その企画実現のために開発された技術について説明する。

1979年の初めにソニーは英文ワードプロセッサに参入することを決め、新たにシステム開発部を作りプロジェクト「シリーズ35」を発足させた。「シリーズ35」はソニー固有のOS、CPU基板とキーボードが収納されたユニット、A4サイズが表示できる縦型高精細ディスプレイ、高精細の感熱プリンター、デジタル信号をマイクロカセットに記録・再生するユニット、小型FDD、ベータのビデオカセットを用いたDMS (Digital Mass Storage) で構成されていた。更にキーボード、80文字2段の液晶ディスプレイとマイクロカセットに記録・再生するユニットを備えたA4サイズのポータブル装置、「タイプレコーダー」の開発にも着手した。

小型FDDは「シリーズ35」の文書の記録、保管、交換のメディアとドライブとして企画され、図3.1に示すように2台の小型FDDがCPUボードとキーボードとともに1つのユニットの中に収められていて、ボタンを押すとドライブがポップアップしディスクの挿入口が現れるようになっていた。



図 3.1 ソニー シリーズ 35 システム

3.1 企画

1979年当初の「シリーズ35」のプロジェクトの発足当時は、小型FDDは開発コード名「Woodpecker」で進められた。「Woodpecker」のディスクは従来のフロッピーディスクと同様のフレキシブルな塩ビのシートに取められ、ディスクの回転数は3,600rpm、ヘッドはビデオ用ヘッドで回転アームの先端に取り付けられていた。トラック間アクセスタイムは3msec、記憶容量は1Mバイトと高い性能を目指していた。

当時、ソニーの第二開発部では直径約10cmの回転磁気ディスクにビデオをアナログ信号で記録再生する装置、MAVICA (Magnetic Video Card) を開発していた。Woodpeckerはこのビデオ画像記録再生システムを基にデジタル信号を記録・再生することを試みていた。

しかし、Woodpeckerは開発スタートから6か月以上経っても進展がない状態が続いていた。1979年9月にシステム開発部部長の加藤善郎は、DMSの開発に携わっていた筆者にWoodpeckerチームに加わることを要請した。筆者はシステム開発部に異動する前は第二開発部に所属していてMAVICAの技術内容と、その課題を理解していた。以下に課題をまとめた。

- ・VCM (Voice Coil Motor) 回転アーム方式のヘッド駆動を採用していた。VCM回転アーム方式は高速アクセスを可能にするが、クローズドトラッキングサーボが必要であり回路が複雑になり高価、また開発期間が長くなる。
- ・回転アーム方式はリムーバブルメディアには適さない。メディアの脱着の度にトラックの中心がずれるため、ヘッドをトラックに追従させるには広帯域のヘッド位置決めサーボシステムが必要となる。
- ・磁気記録再生ヘッドにビデオヘッドを用いて、オーバーライト (重ね書き) で記録している。ヘッドは以前に記録されたトラックを完璧になぞらないので、新しいデータを記録すると、そのトラックの脇に以前のデータが残る。再生時にはその残ったデータはノイズとなる。
- ・独自のディスク記録フォーマットを採用するとドライブとメディアの開発に加え、新しくフロッピーディスクコントローラ (FDC) を開発する必要がある。これはソニーにとってドライブやメディアの開発以上にハードルが高い。

筆者はこれらを考えると Woodpecker を「シリーズ 35」の予定発表時期の 1980 年末に完成させることは困難であることを加藤に説明し、「新しい企画を提案したい」と願っていた。加藤から「それではその企画を提案してください」との回答を得た。筆者が「私の専門は電気なので、メカエンジニアをアサインして欲しい」と言うと、加藤は「ご自分で探してはいかがですか？」との返事だった。筆者は第二開発部で以前一緒に仕事し、素晴らしい成果を上げた高橋廉に声をかけた。高橋はちょうど第二開発部でのプロジェクトに区切りがついたところで是非やりたいとのこと。当時第二開発部の部長の森尾稔（後にソニー副社長、副会長）に話したところ、快諾を得ることができた。

筆者と高橋は直ちに企画の作成に入った。企画主旨は「ユーザーの使い勝手を大幅に改善した小型 FD と FDD を開発し、5.25 インチを置き換えるとともに、これまで使用できなかった用途にも普及させ第三の世界標準にする」とした。

ソニーの元専務で第二開発部担当役員の本原信敏は、テープレコーダー、VTR、など世界初めてのソニー製品を多く生み出したが、常々「世の中になく新しい製品は、従来の製品よりユーザーにとって一桁以上の価値あるものを企画するべき」と言っていた。

企画で参考にしたのは、IBM Journal の 8 インチ FDD レポートとマイクロポリスの「5.25 インチ FDD 販売用技術レポート」のみであった。IBM レポートから約 10 年前に IBM は 8 インチ FD をメインフレームコンピュータのプログラムロード用に導入したこと、従って、8 インチ FD はもともと一般ユーザーの使用を目的に企画されたのではない。また、5.25 インチ FD はディスクサイズを小さくし、基本として IBM の 8 インチ FD の技術を踏襲している。従って、フロッピーディスク技術はこの 10 年間停滞したままであると理解した。

高橋と筆者は一か月間で次の新しい企画構想をまとめた。

1. ディスクの使い勝手を画期的に向上させる。

5.25 インチ FD を購入すると、その取扱説明書には下記のように多くの注意書きがあった。(図 3.2)

- ・指で磁気ディスクの表面を触らないこと
- ・折り曲げないこと
- ・ディスクは立てて保管すること、平積みしないこと
- ・ボールペンでラベルに記入しないこと
- ・消しゴムを使わないこと

- ・直射日光にさらさないこと
- ・水、コーヒー等をこぼさないこと
- ・埃が入らないようにすること
- ・タバコの煙があるところで保管、使用しないこと
- ・使用温度を守ること
- ・高温・高湿で保管、使用しないこと
- ・等

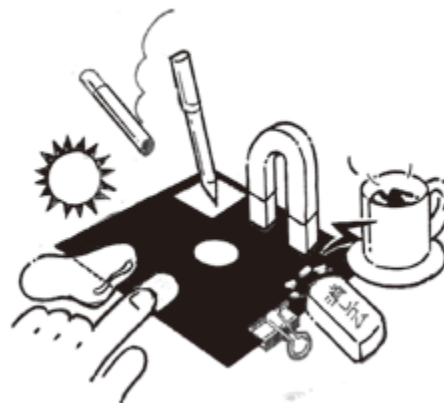


図 3.2 5.25 インチディスクの注意事項

それらの注意項目を 1 項目ずつ消すことを試みた。

- a. 10cm x 10cm 程度の大きさにする
 - ・シャツの胸ポケットに入る大きさとして持ち運びを容易にする
- b. 柔軟性があり、かつある程度の剛性を持つプラスチックの成型品のエンクロージャーに磁気ディスクをいれる
 - ・耐曲げ性・耐熱性に優れる
 - ・上面のセンター穴をなくし埃の侵入を防ぐ
 - ・ディスクの平積みを許容する
- c. エンクロージャーの開口にシャッターを設ける
 - ・埃が入るのを防ぐ
 - ・磁気ディスク面をユーザーが不用意に触り指紋を付けデータを破壊するのを防ぐ
- d. エンクロージャー上面の穴をなくす
 - ・開口部をなくし埃が入るのを防ぐ
 - ・将来、薄型ドライブを可能にする
- e. 広いラベルエリアを確保し、ボールペンで文字が書けようにする
 - ・上面にラベルを貼れるようにする。
 - ・上面、側面、下面に一枚のラベルが貼れるようにし、側面（背表紙）にタイトルが書けるようにすることにより、ディスクを立てて保管した時にタイトルが分かるようにする。

2. 5.25 インチ FDD と同じ記録容量を確保する

- ・トラック密度向上のため、新しいディスクセンターリング方式を導入する
- ・線記録密度を上げるため、高 Hc 磁性体を使用する

3. ドライブの大きさは 50.8 (H) × 101.6(W) × 130 (D) mm

- ・横幅 (W) は 5.25 インチ FDD のスペースに 2 台の 3.5 インチが入ること
- ・奥行きは「シリーズ 35」に搭載することを条件として最大 130 mm とする。「シリーズ 35」では大きなキーボードの中に CPU ボードとともに MFDD も収めることが決まっており、MFDD の奥行きは 130mm 以下にすることが必須であった)

4. 既存 5.25 インチ FDD システム、8 インチ FDD システムとの親和性を確保する

- ・ホストコンピューターから見たファイル構造とインターフェースを 5.25 インチ FDD、8 インチ FDD と基本的に同じとし、ホストコンピューター側でのソフトウェア、ハードウェアの変更を最小限に抑える。
- ・すなわち、IBM フォーマットを踏襲し、市販のフロッピーディスク コントローラが使用できるようにする。

1 か月の検討の後、筆者と高橋はこの企画を加藤に提出した。加藤は「シリーズ 35」の全体のプロジェクトマネージャーと Woodpecker の主要メンバーとの会議を設定した。筆者と高橋は彼らに新しい FD と FDD の企画を説明した。Woodpecker メンバーは新しい企画に対して、データ転送レート、アクセスタイムが大幅に劣っている、片面でのチャッキングの困難さ、メディアのコスト等の課題を列挙した。一方、筆者と高橋は Woodpecker がユーザーのディスクの使い勝手が 8 インチ、5.25 インチと同様に悪く、またリムーバブルメディアとしてトラッキング等で大きな技術課題を抱えていること、VTR ヘッドで安定した信号を取り出すことが難しいこと、また新しくフロッピーディスクコントローラ開発のエンジニアリングリソースがないこと等を説明した。

最も大きな課題として指摘されたのがメディアのコストであった。プラスチックの成型品のエンクロージャーにディスクを入れた新しい提案は、従来のソフトジャケットの構成に比べて圧倒的に部品点数が多く、また各々部品が高価であるので汎用メディアとし

て成立しないとの指摘がなされた。

また、この「シリーズ 35」のために IBM からソニーに転職したプロジェクトマネージャーは、「フロッピーディスクは IBM の多くの開発者が長年にわたり積み上げてできた技術である。フロッピーディスクはソフトジャケットに入っているからフロッピーと呼ばれるのであり、この業界と技術を全く知らないソニーが、俄かにハードケースにしても成功するのは困難である。」との強い主張をした。

一方、筆者と高橋は「ディスクのサイズを 1mm でも変更したとたん IBM の標準から逸脱する。新しいフロッピーディスクが市場で受け入れられるためには、ユーザーが従来のフロッピーディスクより一桁以上のメリットを感じるものを提案すべきだ。」と反論した。加藤は、「嘉本さんと高橋さんはここで挙げられた課題について検討して、来週の会議で再度報告してください。」との指示をした。

この検討会が 1 か月余りつづいた後、加藤は検討会の席上で「新しいプロジェクトの開発を進めることを許可します。一方、Woodpecker も従来どおり進めてください。」と結論を出した。

この指示を受けて、「シリーズ 35」のプロジェクトマネージャーは、新しい FDD プロジェクトの開発コード名を「ゴロンタ」と命名した。「ゴロンタ」はその当時テレビの子供向け番組の熊のキャラクターで、ずんぐりむっくりで愛らしいがいつも失敗ばかりしていた。早速、高橋は「ゴロンタ」のぬいぐるみを買って、自分のドラフターにぶら下げて開発設計にとりかかった。

一方、筆者は加藤に「二人では実際の開発はできないので追加メンバーをアサインしてください」と願っていた。加藤はその年の新入社員で研修期間が終えたばかりの優秀な 3 人の新入社員をアサインした。筆者と高橋、そして 3 人の新入社員、機構担当の塚原信彦、電気回路担当の南雅文、制御担当の柳本薫が加わり、5 人のメンバーで試作機の開発に着手した

1980 年 3 月末にゴロンタチームはまだ多くの課題を残しながらも、一応、データの記録と再生ができる試作品を完成させた。一方、Woodpecker チームは以前からの課題の解決に目処をたてる事が出来なかった。4 月に Woodpecker チームは解散となり、数名がゴロンタチームに加わり、残りのメンバーは「シリーズ 35」の他のプロジェクトに異動した。

3.2 カートリッジと磁気ディスク

第1世代の3.5インチMFDとMFDDの具体的な機構開発構想は、企画主旨をもとに高橋廉がほとんど一人で行った。また、具体的なカートリッジと磁気ディスクの開発と製品化はソニー仙台の磁気製品事業部が担当した。カートリッジの詳細と金型の設計は根本常夫がリーダーで、また磁気ディスクの磁性体は宮沢明夫と平野隆康が中心となって行った。

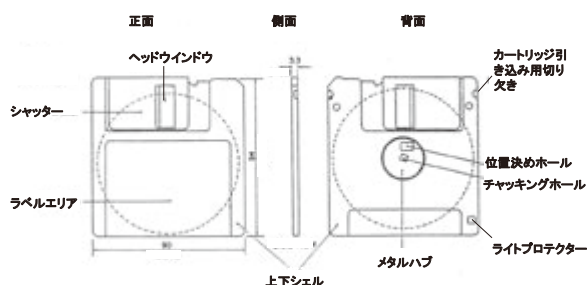


図 3.3 3.5 インチ MFD

3.2.1 カートリッジ

3.5インチカートリッジは図3.3に示すとおりハードケースとしては類のない3.3mmの薄さで、幅を90mm、奥行き94mmとした。この大きさはカートリッジをシャツの胸ポケットに収めることができ、また郵送用封筒で送ることも可能である。

カートリッジの奥行きは、ユーザーが間違えて90度回してカートリッジをドライブに差し込むことのないように、幅より4mm長くして94mmに決めた。

また、カートリッジの前方右側の角に三角形の切り欠きを設け、カートリッジを逆方向に挿入してもカートリッジがローディングできないようにした。

カートリッジの背面の先端部の両側に「カートリッジ引き込み用切り欠き」を設けた。この切り欠きに所定の対の支持棒を挿入してカートリッジを必要に応じて所定場所に自動的に移動することを可能にした。この切り欠きはMacintosh用ドライブのカートリッジの自動挿入、およびFDの品質検査時等で使用された。

また、上部シェルの表面と側面そして背面にわたって70mm x 60mmの広い「ラベルエリア」を設けた。この領域にボールペン、鉛筆、フェルトペンで情報を書くこと、あるいは予めディスクの情報を記入あるいは印刷したラベルを貼ることを可能にした。また、側面にもラベルを貼ることができディスクを立てて保管、あるいは重ねて保管してもディスクの内容がわかるようにした。

図3.4に3.5インチMFDのカートリッジの展開図を示す。

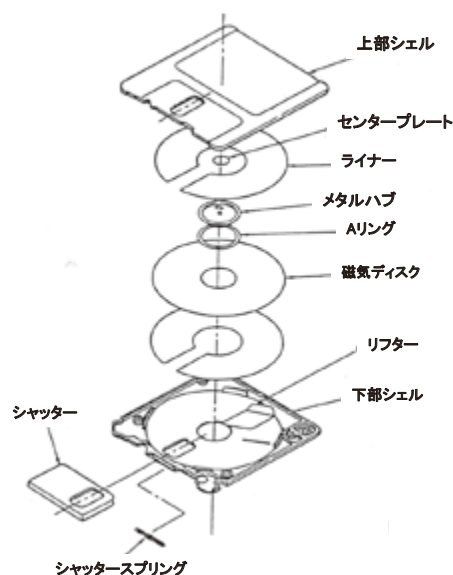


図 3.4 3.5 インチ MFD カートリッジ展開図

カートリッジには本来要求される強韌性に加え、それと相反する特性であるフレキシビリティが求められる。そのため、上部シェル、下部シェルの材料として静電防止剤を含むABS樹脂射出成型品を選択し、後に説明するキープクリアランス機能を考慮して、ある程度のフレキシビリティを持たせるために超音波溶着による多点溶着方式を採用した。

上部シェルおよび下部シェルの裏面にはライナー（不織布）が熱溶着されている。ライナーは磁気粉末やゴミを繊維間の隙間に取り込んで、それらが磁気ディスクの表面に付着するのを防ぐ役割を果たしている。ライナーの材料としてはポリエステル繊維、またはレーヨンとポリプロピレン繊維が一定の割合で含まれているものが一般的である。繊維同士は厚みを均一化しライナーとして強度を上げるために熱溶解によるボンディングがなされている。

3.5インチFDでは記録・再生時にディスクの磁気ヘッド表面との高さを決め、ディスクの振動を抑え、更にディスク表面のゴミを取り除くため下部シェルとライナー間にリフターが設けられている。ディスクを上下のライナー間に一定圧力で挟み込んでおくために、リフターは耐久性の高い弾性体が要求され、ポリエステルフィルムまたは金属のスプリング材が使われる。また、上部シェルの下面と下部シェルの上面には数個の突起を設け、リフターでライナーを介してディスクに適当なバックテンションを加え、ディスクの振動を抑制するとともに、ディスク装着時にセンタリングをする力を与えている。(図3.5)

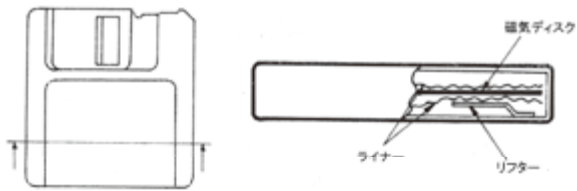


図 3.5 ライナーとリフター

ディスクモーター軸の先端の球面部が上部シェルと接触する部分にはセンタープレートが貼り付けられている。ディスクモーター軸と上部シェルが直接接触していると、モーター回転中の摩擦熱により上部シェルが摩耗・溶解する。そこで、耐熱、耐摩耗性に優れた超高分子ポリエチレン製のセンタープレートが上部シェルに接着されている。

上部シェル、下部シェルには長孔「ヘッドウインドウ」がある。片面ドライブの場合はこの下部シェルのヘッドウインドウから磁気ヘッドが挿入され磁気ディスクの下面に接触する。また片面ドライブではパッドが上部シェルのヘッドウインドウから挿入されディスクの上面に接触する。両面ドライブの場合はパッドの代わりに上側も磁気ヘッドである。

上部シェルと下部シェルのヘッドウインドウの周りは表面よりシャッター部材の肉厚分を下げた領域が設けられていて、そこにコの字の形状のステンレスの「シャッター」が取り付けられている。シャッターには上面と下面にヘッドウインドウとほぼ同じ大きさの長孔がある。シャッターは通常はヘッドウインドウが見えないように閉じている。カートリッジがドライブに挿入されるとシャッターはスライドし、シャッターの長孔とヘッドウインドウが一致し、上下の磁気ヘッドが磁気ディスクにロードされる。シャッターを設けることにより、カートリッジがドライブに装着時以外はシャッターが閉じていて、ゴミ・埃の侵入を防ぎ、またユーザーの指が磁気ディスク表面に不用意に触ることを防ぐことができるようにしている。

カートリッジの左下にスライド式「ライトプロテクター」を設けた。(図 3.6) これは記録されたディ

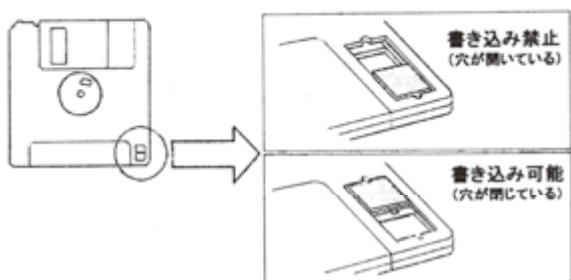


図 3.6 ライトプロテクター

スクの情報を変更、あるいは誤って消したくない時には、ライトプロテクターをスライドさせる。ドライブはこれを検出してディスクへの書き込みを禁止する。ライトプロテクターをもとの位置にスライドすることでディスクに再度書き込みが可能になる。

3.2.2 上下シェルと磁気ディスクのクリアランス機構

8 インチ FD あるいは 5.25 インチ FD では、磁気ディスクはライナー付きの薄く軟らかい塩化ビニルのジャケットに収められている。このフロッピーディスクをドライブに挿入して磁気ディスク面とジャケットの内面の間隙を一定に保つことは困難である。したがって磁気ディスクはジャケットの内面が接触しているので、磁気ディスクを回転駆動するためには比較的大きな駆動トルクが必要となる。更に磁性面はジャケット内面により損傷を受けるとともに、磁気ディスクとジャケットとの間の摩擦力によって回転むらが生じ、良質の記録再生ができない可能性がある。

8 インチ、5.25 インチの FD には多くの注意事項が記載されている。それは高温・高湿の環境下で保存、平積みの保管、直射日光、水・コーヒー等でジャケットが変形すると磁気ディスクとジャケット間の摩擦が大きくなり、記録再生が不可能になってしまうおそれがあるためだ。また、大きな駆動トルクを得るためには比較的大きな駆動モーターを必要とし、ドライブの小型化、薄型化を図ることに不都合があった。

3.5 インチ MFDD では図 3.7 に示すようにカートリッジがドライブに挿入されると、ドライブの中ではディスクモーター軸の先端がカートリッジの上部シェルの下面を押し上げ、また上部シェルの上面の四隅をドライブに取り付けられた板バネが押し下げ、磁気ディスクと上下のシェルのクリアランスが一定に保たれるよう設計されている。

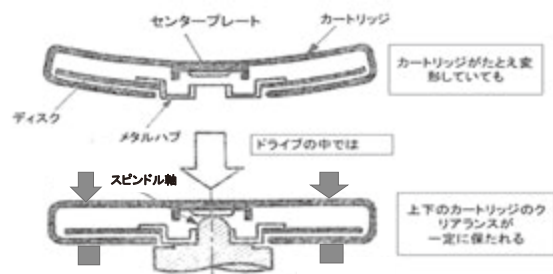


図 3.7 キープクリアランス機構

このようにカートリッジに適度な柔軟性をもたせることにより、カートリッジの製造過程でのばらつき、あるいは使用環境、保存状態での多少のカートリッジ

の変形は、ドライブに装着された時点で強制的に最適状態に戻され、磁気ヘッドと磁気ディスクの当たり、およびエラーレートに大きな影響を与えないように工夫されている。

3.5インチ MFD カートリッジはライトプロテクト方式また後述するマグネットチャッキング、センタリング機構、インデックス用信号穴の廃止等、できるだけ片面でアクセスできるようにすることによって、将来ドライブを小型化、薄型化が図れるよう考慮されている。

3.2.3 磁気ディスク

3.5インチ MFD は小径でありながら、5.25インチ FD の記憶容量を確保することを目標にした。そのためには線記録密度を5.25インチ FD の5576 bpi から3.5インチ MFD では8187 bpi、トラック密度を96 tpi から135 tpi に上げた。ここでは線記録密度をどのようにして向上させ、目標の信頼性、エラーレートを達成したかを報告する。

①線記録密度の向上

5.25インチ FD に使用されていた磁性粉は抗磁力 (Hc) = 200~300 Oe の γ -Fe₂O₃ であった。3.5インチ MFD では線記録密度を上げて分解能および出力の低下を防ぐため、磁性材料にコバルトイオンをガンマ酸化鉄に被着させ自己減磁損失の少ない高抗磁力磁性体、Co- γ -Fe₂O₃ Hc = 630 Oe を開発した。

酸化鉄にそのままコバルトを添加しただけでは結晶磁気異方性の変化があり、保磁力の温度依存性が大きくなって使用に耐えない。そこで考えられたのが個々の酸化鉄をコバルトで被う被着型の磁性粉製造法である。これにより高保磁力を有し、更に酸化鉄の良さをもったコバルト被着型の磁性粉が完成した。またS/Nを向上するために磁性粉の粒子サイズを小さくし、塗布時の分散性を良くし、安定性、配向性にも考慮を加えた。

磁性粉の塗布厚は出力、分解能、ピークシフト、オーバーライト等の電磁変換特性、更にディスクの耐久性によって決められる。また、ベースフィルム厚は磁気ヘッドと磁気ディスクの接触の親和性(当たり)によって決められる。3.5インチ FD では塗布厚は1.5~1.9 μ m、ベースフィルム厚は約75 μ mとした。

磁気ディスクの表面粗度も電磁変換特性や当たり、耐久性に影響する。ヘッド表面とディスク

表面との間には微小な間隙がありスペーシングロスを生じる。線記録密度を上げるため3.5インチ MFD は、5.25インチ FD に比べて表面を平坦にした。(図3.8)

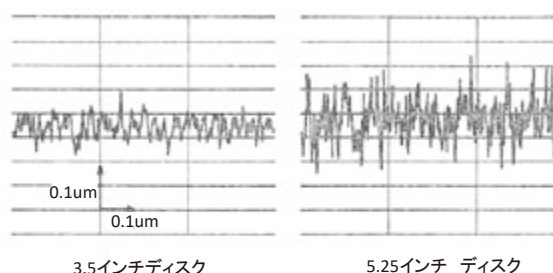


図 3.8 表面粗度の比較

②高信頼性・高耐久性の追求

磁性体を塗布する際にオリエンテーションといわれる重要な工程がある。これはバインダーが乾燥する前で磁性体が動ける間に、磁性体をランダムに配向する工程であり、出力変動を小さくしモジュレーションを小さくすることが目的である。そこで、微粒子に対応した配向技術により、ディスク上のあらゆる方向に均一な配向を行い、出力変動を極限まで抑え込んでいる。(図3.9)

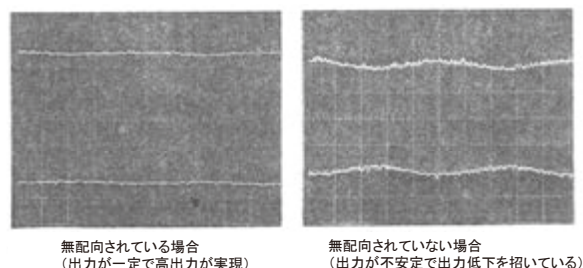


図 3.9 無配向処理を行ったディスクの出力波形

高密度記録を実現するためにディスクに表面処理、パーニッシュ工程を施している。この処理により、ディスクの表面を鏡面化し小さな突起物を除去し、エラー(ミッシングパルス)を低減させ、出力もきれいな波形にしている。パーニッシュにはセラミックロールを用いる方法と、ラッピングフィルムを用いる方法があり各ディスクメーカー

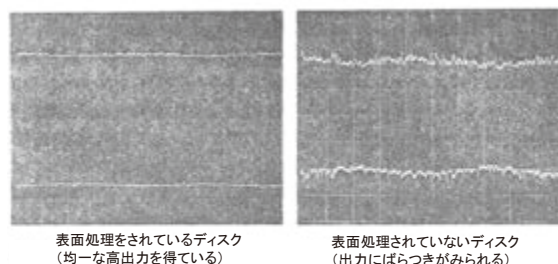


図 3.10 表面処理を行ったディスクの出力波形

で各々のプロセスに適した方法を選択している。
(図 3.10)

③ 3.5 インチ MFD 仕様概要

a 一般特性

- ・磁気ディスク寸法： 外径 86.0mm
内径 25.0mm
- ・記録範囲：
 - 内径： 22.428mm(サイド “0”)
 - 21.666mm(サイド “1”)
 - 外径： 41.961mm(サイド “0”)
 - 40.970mm(サイド “1”)
- ・ベースフィルム： PET (二軸延伸ポリエチレンテレフタレート)
- ・コーティング材： Non-Oriented Cobalt Absorbed ferrite Oxide
- ・コーティング厚： $1.5 \sim 1.9 \times 10^{-3}$ mm

b カートリッジ：

- ・寸法： 幅 90mm × 奥行き 94mm ×
厚さ 3.3mm
- ・材質： ABS
- ・ライナー： Non-Woven Synthetic material (不織布)
- ・ライトプロテクト： 光検出あるいは
メカニカル検出
- ・ハブ： Soft magnetic metal (磁性金属)

c 磁気特性

- ・角型比： 0.7 typ
- ・残留磁束密度： 900 Gauss typ
- ・抗磁力： 625 Oersted typ
- ・表面電気抵抗： $1 \times 10^8 \Omega / \text{sq}$

d 電磁変換特性

(モジュレーションを除き基準シート比)

- ・基準記録電流： $\pm 20\%$
- ・ミッシングパルス： 45%
- ・エクストラパルス： 20%

e 動作条件

- ・トラック数： 80
- ・記録密度： 8187 bit/inch (片面)
8717 bit/inch (両面)
- ・エンコード： FM または MFM
- ・記憶容量： 500K バイト (FM)、

1M バイト (MFM)

- ・転送速度： 250Kbit/sec (FM)
500Kbit/sec (MFM)
- ・スターティングトルク： 62 gcm 以下
- ・ディスク寿命： 10×10^6 回転以上

f 環境特性

- ・動作時： 10°C ~ 60°C
8% ~ 80% RH
- ・保存時： 4°C ~ 53°C
8% ~ 90% RH
- ・輸送時： -40°C ~ 60°C
8% ~ 90% RH

④ ディスクの特性試験項目

・試験用周波数

フロッピーディスクを試験する周波数で、次の2種類が定められている。

1F = 125 KHz (250 Kftps)

ftps: flux transition per second

2F = 250 KHz (500 Kftps)

これは、実際にフロッピーディスクを使用する時の周波数である。

・ティビカルフィールド

それぞれのディスクの最適記録電流で、出力が最大 95% になる時の最小記録電流値である。

規格では、基準ディスクの $\pm 20\%$ の範囲内に規定している。

・平均信号振幅

フロッピーディスクの出力波形に於ける最大信号振幅と、最小信号振幅との平均値。規格は、基準ディスクに対して、最外周では 130% 以下、最内周では 80% 以上である。

・分解能 (図 3.11)

最内周トラックの 2F と 1F の平均信号振幅を測定し、2F/1F の比率を求める。規格は同様にし求めた基準ディスクの分解能に対し、80% 以上

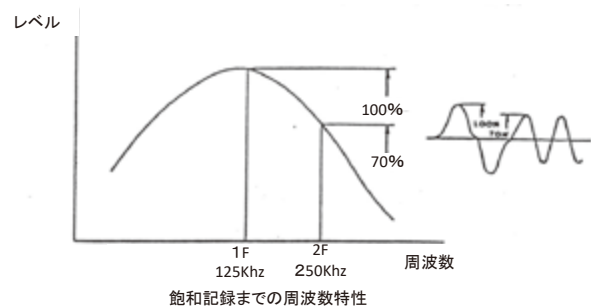


図 3.11 分解能

である。

分解能は、塗布の厚さ、Hc 等で変わり、小さすぎると信頼度に影響する。

・オーバーライト

最外周トラックに1Fで記録し、それを消去せずに更に2Fを重ねて記録する。残存する1F成分の大きさを測定して、消去率を求める。規格は基準ディスクの消去率に対して150%以下。フロッピーディスクはイニシャルイズによって記録された信号の上に重ねてデータを記録し、また、再使用や記録間違いの修正のためにデータの重ね書きを行うので、前の信号が十分に消えないと読み出しエラーの原因となる。塗布厚やHcが大きいと消去が難しくなり、オーバーライトが悪くなる。(図 3.12)

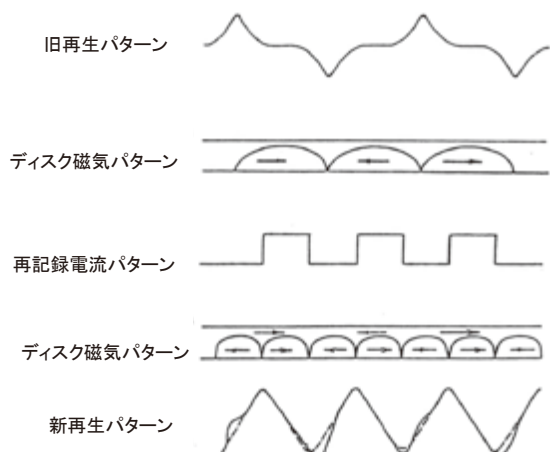


図 3.12 オーバーライト

・モジュレーション

フロッピーディスクの出力波形に於ける最大信号振幅と最小信号振幅との差を和で割った値(百分率)をいう。

規格は、10%以下。モジュレーションは、磁気の配向、塗布むら、ディスクとヘッドの接触不良等によって生じる。モジュレーションが大きいと信頼性が低下する。

・ミッシングパルス

トラックに信号を記録、再生した時に、出力が平均信号振幅の35%以下(ISO規格)の箇所をミッシングパルス、またはドロップアウトという。磁性面にゴミや指紋が付着したり、傷が付いたりすると、記録した信号が十分に読み出せなくなる。

・エクストラパルス

磁性面に何も記録していないのに、出力されるパルスをエクストラパルスといい、エラーの

原因になる。ISOの規格では、平均信号振幅の20%以上の出力があるものをいい、磁性面の細かい傷、ノイズ、静電気の発生などで生じる。

(エクストラパルスと似たような『ゴースト現象』と呼ばれるエラーがある。具体的な問題としては、記録されている信号が、突然消えてしまう現象であるためゴースト現象と呼ばれた。フロッピーの製造工程の近くで、プラスチックマグネットの成型品を製造していた時、空気中の塵埃等が、別棟のフロッピーの部品に付着し発生したと考えられた。対応策としては、すべての部品製造工程の環境のクリーン度を可能な限り高くする、作業服共用の廃止、等を実施した。しかし、エラーがランダムに発生し、また原因と思われる物があまりにも微細であり真の原因の特定は難しかった。)

・ピークシフト(図 3.13)

フロッピーディスクのエラーレートを決定する最大の要因は、ピークシフトである。ピークシフトの要因はいろいろある。ディスクの特性、ヘッドギャップ長、記録電流等、各種の要因が依存する。

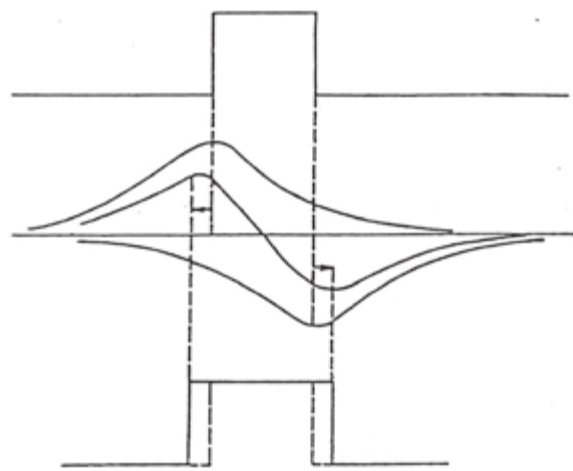


図 3.13 ピークシフト

⑤物理特性

・膨張係数

フロッピーディスクは、プラスチックベースフィルムを使用しているため、温湿度の変化によって変形を受ける。変形が大きすぎると、トラック位置などが大きくずれ、エラーの原因になる。

温度膨張係数は、 $14 \sim 24 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

湿度膨張係数は、 $7 \sim 9 \times 10^{-6}/\%RH$

に規定している。

・表面電気抵抗

ディスクの表面電気抵抗が大きすぎると、ライナーやヘッドとの摩擦で静電気が発生し、エクストラパルスの原因になることがある。ISO規格には、ディスク表面電気抵抗に関する規定はないが、ANSIでは $5 \times 10^9 \Omega / \text{sq}$ 以下と規定している。

⑥耐久性

フロッピーディスクの耐久性については、JISの規定で定められており、それを満足することが最低限度必要である。

耐久性を決定する要因として塗布厚があるが、非常に薄くなってくると、塗布厚の差により、潤滑の多少が大きく左右することが実験的に明らかになっている。市販された3.5インチFDはJISの規格300万パスより相当優れた値、1000万パスを達成している。

仕様は全く同じである。また、図 3.15 はその外形寸法図である。

表 3.1 ソニー第 1 世代 3.5 インチ MFDD

	OA-D30V/D31V
アンフォーマット容量(Kバイト)	437.5
片面/両面	片面
最大記録密度(bpi)	7610
トラック密度(tpi)	135
トラック/面	70
データ転送速度(Kbit/sec)	500
回転数(rpm)	600
平均回転待ち時間(msec)	50
トラック間アクセス時間(msec)	15
平均アクセス時間(msec)	365
セリング時間(msec)	15
モータ起動時間(sec)	1
外形寸法(mm)	51x101.6x130
重量(g)	700
電流+12Vライン(Amp)	0.4(Typ)
+5Vライン(Amp)	0.6(Typ)

3.3 第 1 世代 3.5 インチ MFDD

ここでは 3.5 インチ MFDD の仕様と全体構成を説明した後、フロッピーディスクドライブを構成する主要要素技術を挙げ、8 インチ FDD、5 インチ FDD で採用された技術を説明し、3.5 インチ MFDD で使いやすい、記録密度、信頼性を向上させるために導入された革新技術の詳細を説明する。

図 3.14 に第 1 世代の 3.5 インチ MFDD モデル OA-D30V/OA-D31V の写真を示す。

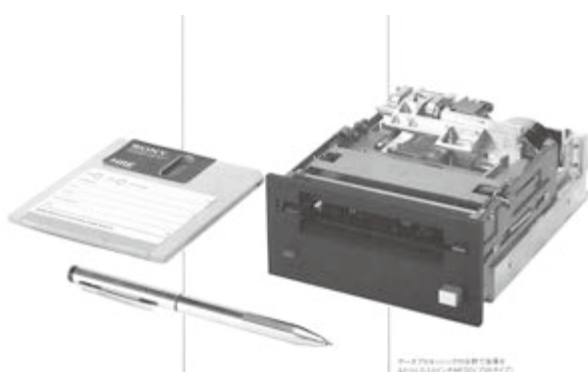


図 3.14 3.5 インチ MFDD

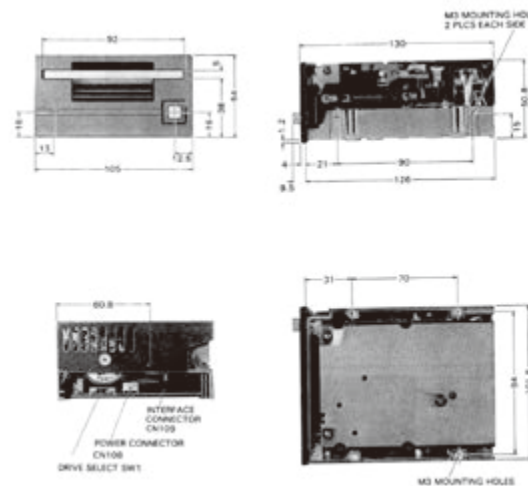


図 3.15 OA-D30V の外形寸法図

1979 年当時、5.25 インチ FDD の標準であった Shugart SA450 に合わせてトラック数を 70、アンフォーマット記憶容量は 437K バイトとした。

ドライブの大きさは 51(H) × 101.6(W) × 130(D) mm であった。(図 3.15 参照) 5.25 インチ FDD の標準の高さが 41mm であったので、OA-D31V の 51mm の高さは 5.25 インチ FDD 用の標準スロットに入らないという課題があった。OA-D30V がソニーの英文ワードプロセッサ「シリーズ 35」の筐体に収納されるためには、ドライブの奥行きは 130mm 以内にするのが必須条件であった。この奥行きで必要なトルクを得るためには 35mm 径のステッピングモーター径が必要となり、ドライブの高さは 51mm となった。

加工精度、組み立て時の歪み、システムへの取り付けによる歪み、温度による伸び縮み等をできるだけ少なくするためダイキャストを使ったことで重量

3.3.1 ドライブの仕様と全体構成

①ドライブの仕様

第 1 世代 3.5 インチ MFDD(OA-D30V、OA-D31V) の主な仕様を表 3.1 に示す。OA-D30V はソニー英文ワープロ用モデル、OA-D31V は OEM モデルで

は700グラムとなった。

5.25インチFDDの磁気ディスクの回転数は300rpmであるが、OA-D30Vでは2倍の600rpmとした。5.25インチFDDと同じ記憶容量を得るため線記録密度を上げたが、高密度でも再生信号のS/Nを確保するため、高Hcの磁性体を使うとともに大きなヘッド出力信号を得るため磁気ディスクの回転数を上げることにした。それ故データ転送速度も5.25インチFDDの2倍の500Kbpsとなった。ホストコンピュータとFDDのインターフェースをするFDC (Floppy Disk Controller) は標準品を使い、データフォーマットは5.25インチ、データ転送レートは8インチFDDの倍密度(MFM)モードで使うことを推奨することにした。8インチの倍密度の転送レートは500Kbpsである。

ディスクの回転数を5.25インチの倍の600rpmとしたことにより、平均回転待ち時間は5.25インチの半分の50msecとすることができた。

トラック間アクセス時間は15msecとなった。一般の5.25インチFDDのトラック間アクセス時間は既に3msecであったので、スペックとしてはかなり劣っていたが、第1世代3.5インチMFDDでは磁気ヘッドの送り精度に重点を置き、1トラックを3パルスで45°回転でステッピングモーターを駆動した。

②全体構成

第1世代3.5インチMFDDの展開図を図3.17に示す。

3.5インチMFDDは、カセコンブロック、スピンドルモーターブロック、磁気ヘッド駆動ブロック、電気回路の四つのブロックより構成されている。

・カセコンブロック

ユーザーは磁気ディスクの入ったカートリッジをベゼルの開口から挿入する。ユーザーがどのような角度でカートリッジを挿入しても、正しくカセコンの挿入口に入るようガイドが設けられている。ユーザーがカートリッジを押し込むとカセコンに設けられた自動シャッターオープン用ピンがシャッターをスライドさせる。

カートリッジが押し込まれて、磁気ディスクのメタルハブの中心がほぼスピンドルモーター軸まで達するとカセコンは落下する。シャーションにはカートリッジの四隅を支える4本のカートリッジ受けピンが設けられており、カートリッジ下面はこの4本のピンで支えられる。これらの受けピンの対向したカセコンの位置には各々板バネが設

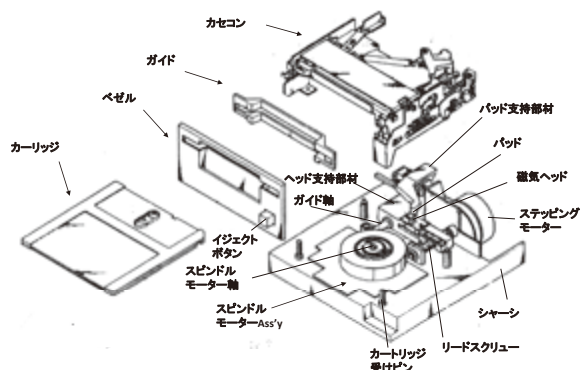


図 3.17 第一世代 3.5 インチ MFDD 展開図

けられており、図3.16に示すようにカートリッジの上面の四隅は板バネにより下方に押されている。一方、カートリッジの上シェルは中心はスピンドルモーター軸先端によって上方に押し上げられている。したがって上シェルと下シェル間に隙間が発生し、磁気ディスクの回転スペースが確保される。つまり、生産時にカートリッジに多少の反りがあっても、またユーザーが保管あるいは使用時に何らかの原因でカートリッジが多少変形しても、カートリッジをドライブに挿入すると上記のように矯正され、カートリッジの変形が磁気ディスクの回転に影響しないように設計されている。

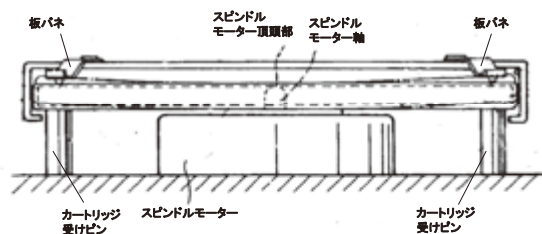


図 3.16 カートリッジの矯正

イジェクトボタンが押されるとカセコンは上がり、カートリッジは挿入時に蓄えられたバネ力で外に押し出される。第1世代の3.5インチMFDDではカートリッジの背面がベゼルから2cm出たところで止まるようブレーキをかける機構を入れた。

・スピンドルモーターブロック

スピンドルモーターブロックは偏平ブラシレスモーターと磁気ディスクセンタリング機構から構成されている。スピンドルモーター軸にはチャッキングマグネット、回転ヨーク、駆動ピン等の磁気ディスクをセンタリングするための部品が取り付けられている。磁気ディスクセンタリング機構は3.5インチMFDDの高トラック密度を実現で

きた画期的な技術である。

・磁気ヘッド駆動ブロック

磁気ヘッドはヘッド支持部材の中央部に取り付けられている。ヘッド支持部材の一方はガイド軸、他方はニードルと板バネで挟まれたリードスクリューで支えられている。リードスクリューはステッピングモーターの回転軸に結合されており、ステッピングモーターが回転するとヘッド支持部材、つまり磁気ヘッドは磁気ディスクの内周方向あるいは外周方向に移動する。

磁気ヘッドと対向した位置にパッドがヘッド支持部材に取り付けられている。カートリッジが装着されていない時はパッドは上げられている。カートリッジが装着されるとスピンドルモーターが回転し、パッドは下され磁気ヘッドとパッドで磁気ディスクを挟み、磁気ディスクのセンタリング動作を補助する。センタリング動作が完了するとパッドは上げられる。

・シャーシ

シャーシはカセコンブロック、ステッピングモーターブロック、磁気ヘッド駆動ブロックを搭載し、そして回路基板を取り付けるダイキャスト製の基台である。加工精度、組み立て時の歪み、システムへの取り付けによる歪み、温度による伸び縮み等をできるだけ少なくするためダイキャストを使った。

・電気回路ブロック

一般的な FDD とホストシステムとのインターフェースを図 3.18 に示す。

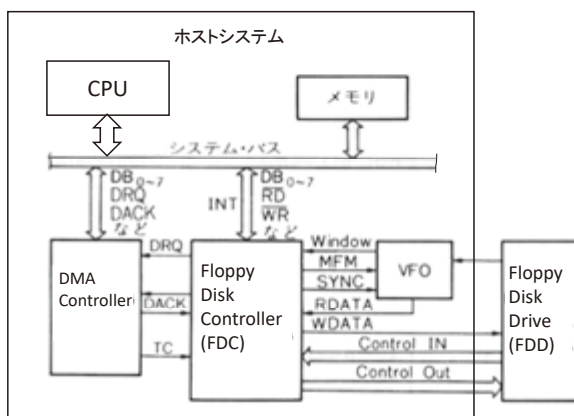


図 3.18 ホストシステムと Floppy Disk Drive

ホスト CPU とドライブ間にはフロッピーディスクコントローラ (FDC) があり、FDC がスピンドルモーターの起動・停止、磁気ヘッドを所定のトラックに移動する等のコントロールをドライブに指示をす

る。また、FDC は WriteData をパラレルデータからシリアルデータに変換し WDATA としてドライブに送る。ドライブはその信号を記録アンプで電流に変換して磁気ヘッドに流す。磁気ヘッドの読み出し信号を再生アンプで増幅し、そのパルス列をホストシステムの VFO 回路に送る。VFO 回路はそのパルス列から Read 信号に同期した Window 信号を作り FDC に送る。FDC はパルス列と Window 信号で Read Data をセパレートし、シリアルデータをパラレルに変換して CPU に送る。

したがって複雑な機能は FDC が担い、FDD の電気回路は制御回路、スピンドルモーター駆動回路、ステッピングモーター駆動回路、記録アンプ、再生アンプ、各種センサー回路等の比較的単純な回路構成となっている。

3.3.2 磁気ディスクのセンタリング機構

8 インチ FDD および 5.25 インチ FDD のトラック密度・トラックピッチはそれぞれ 96tpi、265 μ m であるが、3.5 インチ MFDD ではトラック密度 135tpi、トラックピッチ 187.5 μ m にすることによりトラック密度を 40% 向上させた。

高橋廉と塚原信彦はこれを実現するため画期的なセンタリング機構を発明した。(囲み記事 [1995 年度特許庁長官賞] を参照)

一般に FDD では磁気ヘッドの位置決めをステッピングモーターで行っており、その位置決め精度はステッピングモーターの構造と加工精度に起因するローターの回転角度精度と、リードスクリューの加工精度 (単一ピッチ誤差、累積ピッチ誤差) の組み合わせで決まる。つまり、トラックには磁気ヘッドの位置を決めるサーボ信号は記録されておらず、いわゆるオープンループとなっている。したがってデータの記録再生時には磁気ヘッドが磁気ディスク上のトラックをなぞる必要があるが、下記がそのままトラッキングエラーの要因となる。

- ・磁気ディスクが温度・湿度で膨張・収縮
- ・ステッピングモーターとリードスクリューによって発生する位置決め誤差
- ・磁気ディスクのセンタリング誤差、等

8 インチ FDD、5.25 インチ FDD の最大のトラッキングエラーの要因は磁気ディスクのセンタリングである。

1979 年 3.5 インチ MFDD の企画時に、当時の 5.25 インチ FDD の主要メーカーであった Micropolis 社の「5.25 インチ FDD 販促用技術レポート」を読んだ。それによると「フロッピーディスクドライブでの最も

【1995 年度特許庁長官賞】

[対象特許] 「マイクロフロッピーディスクの位置決め機構」

特公昭 63 - 41148、特公平 2 - 48988

[発明者] 高橋廉、塚原信彦

[名称] 3.5 インチフロッピーディスクシステム

[発明概要]

磁気ディスクの中心部に、チャッキングホールと位置決めホールを持つメタルハブを設け、スピンドルモーター上面から突出したモーター軸と駆動ピンによりメタルハブ（およびメタルハブに固定された磁気ディスク）の位置決めを行うフロッピーディスクシステムに関する発明

[発明の効果]

従来の 5 インチのフロッピーディスクシステムに取って代わり、小型で同じ記憶容量が得られる 3.5 インチの磁気ディスクを使用した新規格を提案でき、現在では世界中でほとんどすべて 3.5 インチフロッピーディスクシステムが使われている。

[出願国] 世界 29ヶ国

[実施の概要]

規格化： JIS（日本）、ANSI（米国）、ECMA（欧州）、ISO（世界）

ライセンス： ドライブ 世界 34 社

ディスク 世界 78 社

実施数量： ドライブ 世界 6,000 万台 / 1994 年

ディスク 世界 40 億枚 / 1994 年

大きな課題は磁気ディスクのセンタリングであり、磁気ディスクの挿入、排出を繰り返すとセンターホール（磁気ディスクの内周部）がめくれてトラックの中心がズレてしまう。スピンドルモーターを回しながらクランピングすることによりそのずれを抑えることができた」と記載されていた。それでも磁気ディスクの位置決め誤差は $50\mu\text{m}$ という数値であった。

(1) 8 インチ、5.25 インチ FD のクランピング方式

8 インチ FDD、5.25 インチ FDD の磁気ディスクのクランピング方式を図 3.19 に示す。モーター軸にスピンドルハブが取り付けられ、モーター軸と一体で回転する。上部の対向した位置にコレットと呼ばれるクラッチがあり、磁気ディスクが挿入されるとコレットが下がり磁気ディスクの内周をクランプし、スピンドルハブとともに磁気ディスクが回転する。

8 インチ FD、5.25 インチ FD では磁気ディスクはジャケット（磁気ディスクを内蔵し保護するための軟質ケース）に封入されており、磁気ディスクとジャケットの間には隙間がある。またジャケットをドライブに装着すると、ジャケットとドライブのガイドフレーム（ジャケットの保持装置）にも隙間

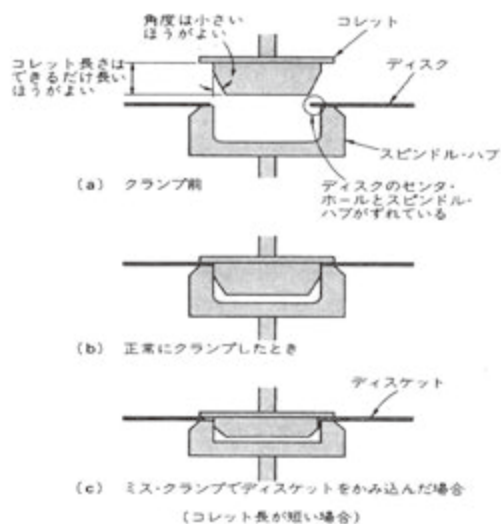


図 3.19 8 インチ、5 インチディスクのクランプ方式

がある。このため、磁気ディスクをドライブに装着した時には、スピンドルハブと磁気ディスクのセンターホール間には位置ずれが発生することになるが、コレットの側面が円錐形状になっていて、クランプ時に円錐の斜面に沿って磁気ディスクがシフトし、クランプ完了時には磁気ディスクのセンタリングがなされることを期待している。

しかし、初期から磁気ディスクが大きくずれてい

たり、磁気ディスク面とジャケット内側との摩擦が大きい等により、クランプ時に磁気ディスクがシフトしきれなかった場合には磁気ディスクの内周がめくれた状態でクランピングされる（ミスクランピング）。また、一度このミスクランピングが発生すると、磁気ディスクの挿入・排出が繰り返されるごとにそのエラーは加速される。このエラーを少なくするために各種対策が施されている。基本的にコレットの円錐面の角度を緩やかにし、またその距離を長くすることがミスクランピングを回避する対策となるが、薄型ドライブになるとコレットの高さを低くすることが必須になり、図 3.19 (c) のようにミスクランピングが発生しやすくなる。ミスクランピングが発生する要因は、コレットの形状だけではなく、磁気ディスクが保管されていた環境、使用者の扱い方、磁気ディスクのドライブへの挿入の仕方等、設計で管理できない多くの要素に依存しており、8 インチ FDD、5.25 インチ FDD でトラック密度を上げる大きな障害になった。

(2) 3.5 インチ MFDD センタリング方式

3.5 インチ FDD の開発では、8 インチ FDD、5.25 インチ FDD における磁気ディスクのミスクランピングを解決することが最大のテーマとなった。

まず、ミスクランピング発生を防ぐために磁気ディスクのセンターホールにメタルハブを設け、その中心に円形の穴を設け、モーター軸をこの円形の穴に嵌合させることを試みた。しかし、穴とモーター軸の嵌合の許容誤差を厳しくするとメタルハブがモーター軸から容易に抜けないことがわかった。

そこで高橋は、従来のフロッピーディスク装置ではセンターホールの幾何学的な中心と回転中心が一致するようにしていたが、回転中心位置さえ変化しなければトラックエラーは生じないということに着目し、画期的な方法を考案した。

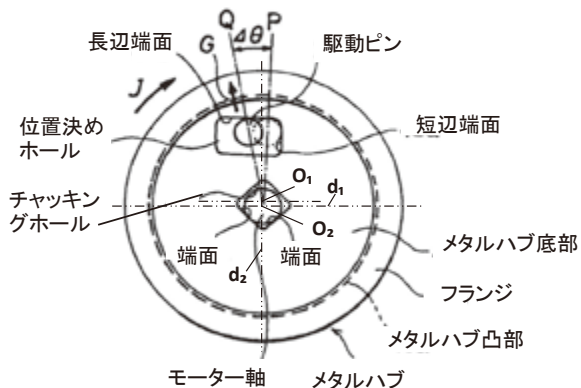


図 3.20 メタルハブとモーター軸、駆動ピン

磁気ディスクの内周に図 3.20 に示すようなメタルハブを接着する。メタルハブの中心に正方形のチャッキングホールを、そしてチャッキングホールから所定の距離だけ離れた位置に長方形の位置決めホールを設ける。正方形のチャッキングホールの一辺の長さはモーター軸の直径より長く構成されているため、モーター軸はチャッキングホール内に於いて多少のガタツキがある状態で挿入されるようになっている。

チャッキングホールの中心 O_1 はメタルハブひいては磁気ディスクの中心 O_2 から外れていて、位置決めホール側にわずかに寄っている。またチャッキングホールの一対の対角線 d_1 と d_2 が、位置決めホールにお互いに対向する一辺部とそれぞれ平行になるように構成されている。このようにチャッキングホールの中心をメタルハブの中心からオフセットさせている理由は後述するが、カートリッジをドライブに装着した際にメタルハブのチャッキングホール内に挿入されるモーター軸の軸心と磁気ディスクの中心をなるべく一致させるためである。

スピンドル軸がそのチャッキングホールの 2 辺の端面と V ブロックのように当たれば、トラックの中心位置精度はスピンドルモーター軸径の精度とチャッキングホールに 2 辺の摩耗のみで定まる。この方式を実現すればセンタリング精度は飛躍的に向上する。

またメタルハブは後述するように磁石でモーターの回転ヨークに吸着されるためにステンレス鋼で作られている。

図 3.21 にディスクのセンタリング機構の展開図を示す。モーター軸には凹型をしたヨークが取り付けられ、ヨーク内周と外周の凸部にはフッ素樹脂の

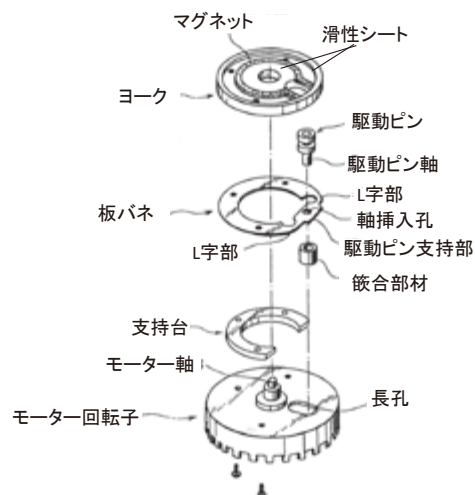


図 3.21 スピンドルモーターとセンタリング機構

滑性シートが貼り付けられている。更にヨークの凹部にはマグネットが配置され、駆動ピン用の開孔が空けられている。ヨークの下部には駆動ピンが取り付けられた略円形をした板バネおよび馬蹄形の支持台がネジ止めされている。駆動ピンは細い連結部(L字部)で両側を支えられた駆動ピン支持部に嵌合部材を用いて固定されている。

図 3.22 は組み立てられたセンタリング機構でカートリッジが装着されていない状態である。駆動ピンは板バネに支持され回転ヨーク上部平面より突出している。

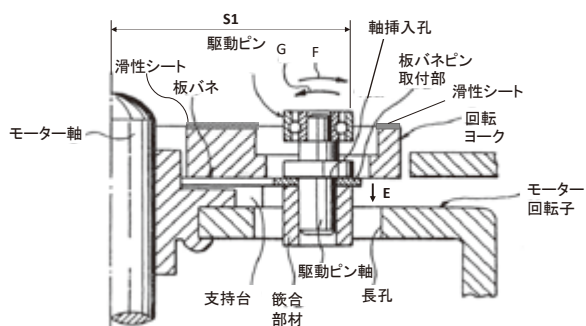


図 3.22 カートリッジが装着されていない状態

図 3.23 で実際に位置決めされるまでの様子を簡単に説明する。カートリッジがドライブに装着されると、メタルハブのチャッキングホールにはモーター軸が挿入される。

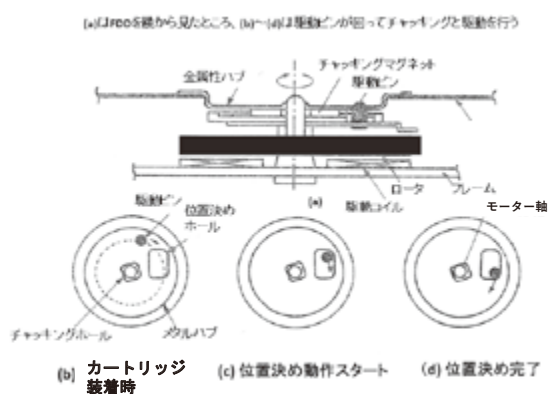


図 3.23 ディスクセンタリング機構

駆動ピンは図 3.23 の (b) に示すようにメタルハブの底面に押されて接している。この時は図 3.24 に示すように駆動ピンは板バネの弾性復元力に抗して下方へ押された状態となる。その状態からスピンドルモーターを回転させるとヨークおよび駆動ピン先端がメタルハブ底面を滑り位置決めホールまで回転する。

モーター軸が回転すると、ヨークおよび駆動ピン先端はメタルハブ底面を滑り磁気ディスクより相

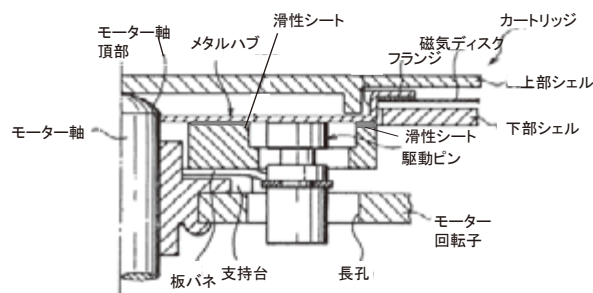


図 3.24 カートリッジが装着された直後

対的に速く回転し駆動ピンは位置決めホールに達する。

駆動ピンが位置決めホールに達すると、図 3.23 の (c) に示すように駆動ピンはメタルハブの底面から解放されて駆動ピン先端部が位置決めホールに飛び込む。この時点ではチャッキングホールとモーター軸、および位置決めホールと駆動ピンはそれぞれ隙間が十分とれる寸法になっている。

更に駆動ピンが回転すると駆動ピンが位置決めホールの外側の長辺に当たり、センターハブすなわち磁気ディスクを外側に滑らせる力が働き、磁気ディスクはチャッキングホールの2辺がスピンドル軸と接する位置まで移動する。図 3.23(d) に示すように駆動ピンが位置決めホールの短い辺まで達すると、駆動ピンにより磁気ディスクが回転する。図 3.25 は磁気ディスクのセンタリングが完了した状態を示す。図 3.25 の S2 は図 3.22 の S1 よりわずかに短く構成されているので、図 3.25 に示すように駆動ピンは板バネのアームの捩れ変形によってモーター軸方向へ傾斜された状態に置かれる。すなわち、駆動ピンの軸心は図 3.25 において垂直方向に対してわずかな傾きを有することになり、このためメタルハブには板バネのアーム部の弾性復元力により駆動ピンの円筒部を介して図 3.25 に於いて矢印 P 方向の力が常時作用することになる。

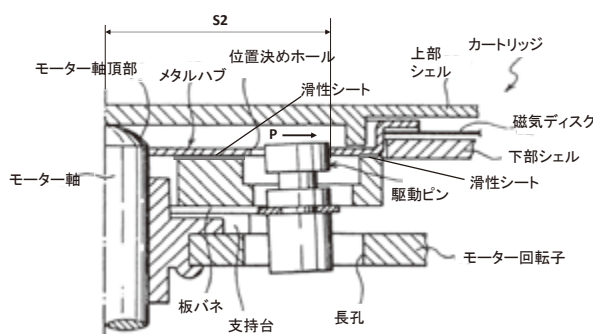


図 3.25 ディスクのセンタリング

このようにメタルハブは矢印Pの方向に移動されるため、チャッキングホールの4辺のうち位置決めホールから遠い方の2辺がモーター軸に押し当てられメタルハブが位置決めされる。これによって、メタルハブに貼り付けられている磁気ディスクの中心がモーター軸のほぼ軸心上に配置されることになる。そしてこの状態で、モーター軸が回転して駆動ピンが図3.20に於いて矢印J方向に回動するのに伴い、駆動ピンの円筒部が位置決めホールの短辺を押すため、メタルハブひいては磁気ディスクを矢印J方向に回転する。

この際、磁気ディスク上に記録されているトラックはモーター軸に同心円状に配置されているので、磁気ディスクはセンタリングが完了した状態で回転駆動されることになる。

したがってチャッキングホールおよび位置決めホール（つまりメタルハブ）の寸法精度のバラツキがあったとしても各々のメタルハブが固有の偏心量を持つことになり、モーター軸の直径さえ精度良く仕上げておけば、ある一つのメタルハブでは常に同じ偏心量で位置決めすることができる。この結果、磁気ディスクの記録および再生時に全く同じ位置にセンタリングすることができるので、トラッキングエラーを大幅に抑えることができる。

例えば、モーター軸の直径の精度を $\pm 2\mu\text{m}$ で加工すれば、トラッキングエラーも $\pm 2 \times \sqrt{2}\mu\text{m}$ に抑えられることになり、トラック密度を大幅に向上することが可能になった。

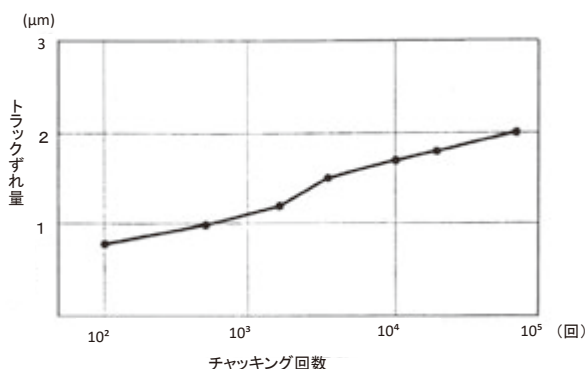


図 3.26 チャッキング回数とトラックずれ量

図3.26は同一の磁気ディスクを使用して10万回脱着を繰り返し、トラックずれ量を測定した結果である。トラックずれ量は $2\mu\text{m}$ 以下に抑えられ、更に測定結果の生データを解析したところ、このトラックずれはモーター軸の摩耗ではなく、チャッキングホールのモーター軸と接する端面の摩耗によるものであることが判明した。

また、8インチ、5.25インチFDではジャケットおよび磁気ディスクに回転方向の位置を検出するためのインデックスホールを設けるとともに、インデックスホールに対応させた検出器をFDDに配置し磁気ディスクの回転位置を検出しているが、3.5インチMFDではそのセンタリング方式の原理からモーター軸と磁気ディスクの位置決め角度が常に一定となるため、MFDDのスピンドルモーター内部に回転位置を検出するパルス発生器を設けることにより、磁気ディスクからのインデックス検出を行う必要がなくなった。

更にこの3.5インチMFDでは、磁気ディスクのメタルハブをヨークに磁氣的に吸着固定する片面センタリング方式となっているため、カートリッジ上面にコレット挿入用の穴を空ける必要がなくなり、広いラベルエリアを確保できるとともに埃・ゴミの侵入がなく、更にドライブを薄くすることが可能となった。

以上説明したように、従来の8インチ、5.25インチで発生していた数十 μm に及ぶクランピングによるトラックずれが、3.5インチMFDDの新センタリング方式により1桁以上改善された。

3.3.3 磁気ヘッド送り機構

フロッピーディスクシステムに於ける最大の課題は、トラッキングサーボ技術を使用することなく「安定した互換性を確保する」ことにある。そのためには、「磁気ディスクの高精度センタリング」および「磁気ヘッドの高精度ポジショニング」という二つを達成することが不可欠となる。本項に於いては、トラック密度135tpi（トラックピッチ $187.5\mu\text{m}$ ）という高トラック密度を実現するために新たに開発した「磁気ヘッドの高精度ポジショニング技術」の概略を紹介する。

(1) 8インチ、5.25インチFDD磁気ヘッド送り機構

8インチ、5.25インチの磁気ヘッド送り機構には次のような方式が採用されていた。

① ボール・リードスクリュー方式

ステッピングモーターのシャフトにネジ状の溝を切り、この溝を使ってキャリッジを動かす。図3.27に示すようにボール・リードスクリュー方式はこの溝をV字型にしてキャリッジから伸びた板バネでボールを押し付け、ここでシャフトの回転を直線運動に変更する方式である。V溝、ボー

ル、板バネのボール受け部、いずれが摩耗しても中心位置が変化しないので、ヘッドずれを起こしにくいという利点がある。一方、ヘッド駆動時にこのボールは回転しないため伝達効率が悪く、ステッピングモーターに大きなパワーが必要となる欠点がある。

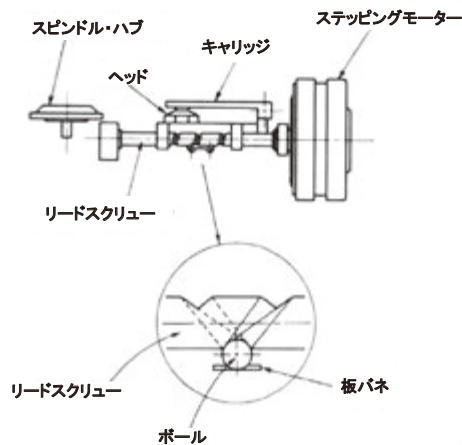


図 3.27 ボール・リードスクリュー方式

② スチールベルト方式

スチールベルト方式にはループ巻方式と α 巻方式がある。

a) ループ巻方式

図 3.28 に示すようステッピングモーターのプーリとアイドラにステンレス系のスチールベルトを輪にしたものをかけ、プーリに 1 箇所固定する。キャリッジをこのベルトの途中に固定する。プーリの回転によりキャリッジは左右に移動する。スチールベルトの 1 箇所がプーリに固定されているので、プーリは 180 度以上回転できないので、一般的に 1.8° / ステップのステッピングモーターを用い、1 トラック / 1 ステップで使用する。IBM の 8 インチ両面 FDD (43FD、53FD) で使用されていた。

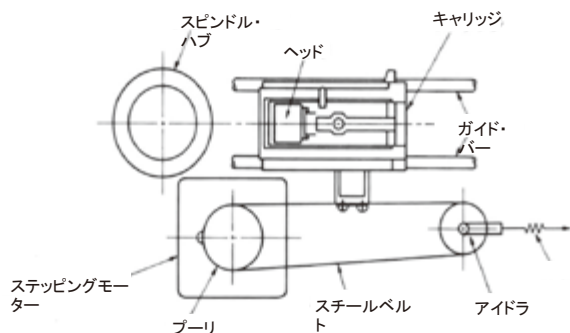


図 3.28 ループ巻スチールベルト方式

b) α 巻方式

この方式は図 3.29 のようにスチールベルトを

プーリに巻き付けられるように加工し、このベルトの両端をキャリッジに固定したものである。ベルトがプーリに巻き付く形が α に似ていることから α 巻と呼ばれている。プーリとベルトは 1 箇所が固定される。ベルトの形状は一般的には片側が中央に 1 本で、プーリ上で両側 2 本になる 1-2 巻 (図 3.29(b)) が多いが、特許問題もあり 1-1 巻 (図 3.29(c)) も一部使用されている。

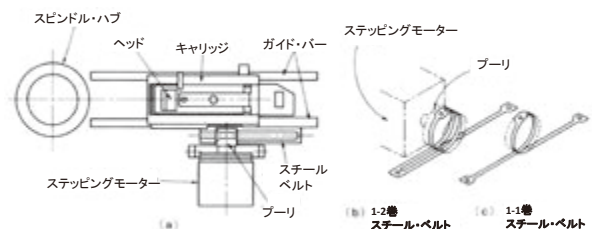


図 3.29 α 巻 スチールベルト方式

スチールベルト方式はヘッド駆動系の摩擦が少なく、小さいパワーのステッピングモーターで高速なヘッドの駆動が可能となる。8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチ FDD でトラック間アクセス時間 3msec を実現しているのはこの方式を採用しているケースが多い。ただ、ステッピングモーターの角度精度がヘッドの位置精度に直接出るため、高精度のステッピングモーターが要求される。

③ スパイラルカム方式

スパイラルカム方式を図 3.30 に示す。この方式はステッピングモーターにより駆動される円板上に、回転角度により位置が変化するようなスパイラル状の溝、または壁を設け、これによりキャリッジの位置決めを行う。コストを低く抑えられるが精度は上がらない。

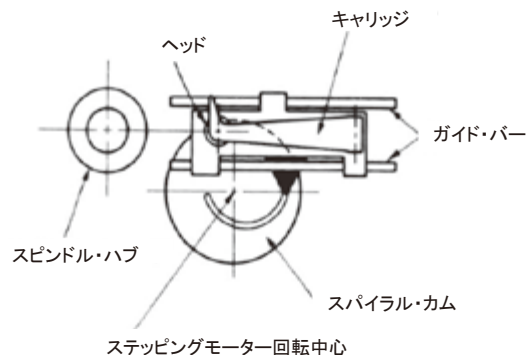


図 3.30 スパイラルカム方式

(2) 第 1 世代 3.5 インチ MFDD のヘッド駆動方式

第 1 世代 3.5 インチ MFDD はソニーの英文ワー

ドプロセッサ「シリーズ 35」に搭載することが目的だったので、当初の FDD の外形寸法の要求は、幅 100mm、奥行き 130mm、厚さ 40mm であった。(結果としては厚さ 51mm となった。)

ドライブ外形寸法、特に奥行きを決定する要因は次のようになる。

- ① ディスクカートリッジとステッピングモーターの相対的位置関係
 - ・ 平面に配置する = 厚さは薄く奥行きは長い：リードスクリュー方式と a 巻スチールベルト方式
 - ・ 上下に配置する = 厚さは厚く奥行きは短い：スパイラルカム方式とループ式スチールベルト方式
- ② 両面ヘッド構造を前提とした時のキャリッジ構造
 - ・ カートリッジ後方へキャリッジが突出する寸法各方式を検討した結果、第 1 世代 3.5 インチ MFDD に於いては、直径 35mm、長さ 20mm の PM (Permanent Magnet) 型ステッピングモーターを搭載したリードスクリュー方式を採用し、厚さの低減と奥行き短縮化を図った。

図 3.31 に 3.5 インチ磁気ヘッド送り機構の簡易図を、図 3.32 に磁気ヘッド送り機構の斜視図を示す。磁気ヘッドはヘッド支持基体の上に取り付けられ、ヘッド支持基体の一方は、ガイド軸が貫通しており軸受けを介して磁気ディスクの半径方向に摺動移動するように構成されている。他方はリードスクリューのリード角と同じ角度になるようにヘッド支持基体に固定されているニードルにより、リードスクリュー上に支持されている。

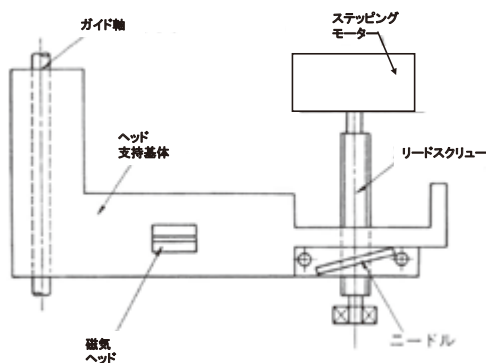


図 3.31 第 1 世代 3.5 インチ磁気ヘッド送り機構の簡易図

更に図 3.33 に示すようにヘッド支持基体には板バネも取り付けられ、この板バネとニードルによりリードスクリューを挟み込む構造となっているため、リードスクリューの回転角度に比例した距離だけ磁気ヘッドが磁気ディスクの半径方向に移動する。

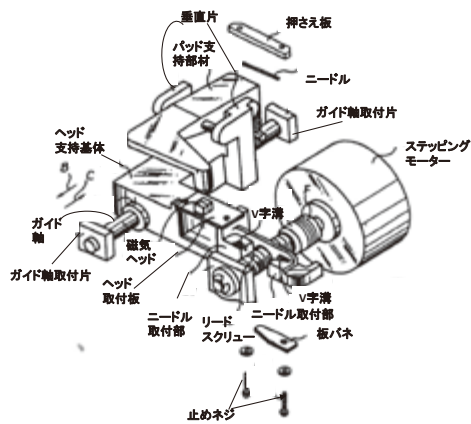


図 3.32 磁気ヘッド送り機構の斜視図

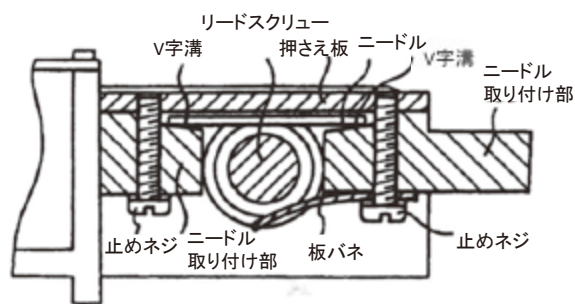


図 3.33 リードスクリューとニードル取り付け部

またステッピングモーターの回転軸とリードスクリューはカップリングを介して直結されているため両者は全く同じ回転角度となる。

第 1 世代の 3.5 インチ MFDD では 1 パルス 15° 回転、3 パルス 45° 回転で 1 トラック $187.5 \mu\text{m}$ を移動する設計にした。これにより、1 パルス 15° (ステップ角度誤差 $\pm 5\%$) で $187.5 \mu\text{m}$ とした場合には位置決め誤差が $\pm 9.4 \mu\text{m}$ 生じるが、3 パルス 45° で $187.5 \mu\text{m}$ とした場合には位置決め誤差が $\pm 3.1 \mu\text{m}$ (ステッピングモーターの構造上の特性により、ステップ角度誤差は累積しない) となり、位置決め誤差を 1/3 に圧縮することができた。また、1 パルス 15° で $187.5 \mu\text{m}$ とした場合には、リードスクリューのピッチを 4.5mm/rev とする必要があるが、3 パルス 45° で $187.5 \mu\text{m}$ とした場合にはピッチを 1.5mm/rev とすることができ、リードスクリューの加工が格段に簡便となった。(当時の高精度スクリュー加工はほぼ研削加工に限定され、小径かつ大ピッチスクリューは加工に困難が伴った。)

ところで、図 3.34 に示すように、リードスクリューのネジ山のピッチ角 α と、ヘッド支持基体の取り付け部の一対の V 字溝の溝角 β が等しくない場合には、径の大きなニードルと径の小さなニードルが交換的に使用されると、その各軸心 O' と O'' 間の距離は、

リードスクリューとV字溝では異なる。このため、ニードルの径の相異に応じて、ヘッド支持基体のリードスクリューに対する相対高さが異なることになる。

ニードルを支える一対のV字形の角度 β とリードスクリューの谷の角度 α とを常に等しくすることにより、この問題を解決した。

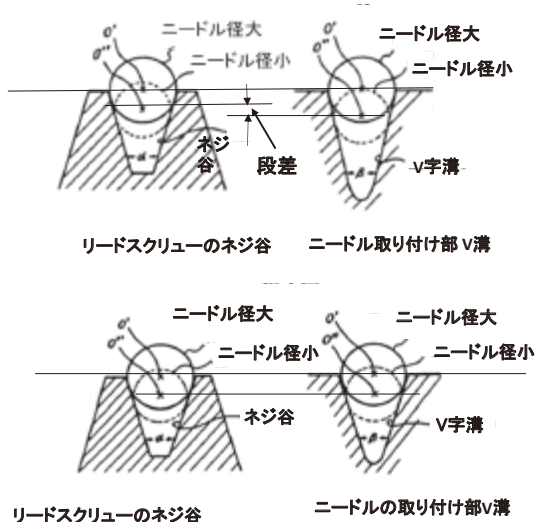


図 3.34 リードスクリューのネジ角とニードル取り付け部V字溝角

3.3.4 磁気ヘッド

一般的に磁気ヘッドのコア材に用いられる磁性体材料に対する代表的な要求事項を挙げてみる。

- ・飽和磁束密度が大きい

材料を磁化する時の磁化の程度を磁束密度と呼ぶ。飽和磁束密度とは磁束密度の具体的な指標で、磁性材料の性能の基本になる尺度である。材料（磁性体）に磁場を加えて磁化していき、それ以上磁化しなくなった時の磁性体の磁束密度を飽和磁束密度と呼ぶ。この値が大きいと鉄心（フェライトコア）の小型化が可能であり、高密度記録に適する。

- ・透磁率が大きい

透磁率は磁界の強さ H と磁束密度 B との間の関係を $B=\mu H$ で表した時の比例定数 μ をいう。透磁率が高いと磁束密度が大きくなる。すなわち物質中を通る磁束が増えて磁石として強さが増す。ヘッドとしての効率が向上する。

- ・保持力が小さい
- ・耐摩耗特性に優れている

FDD用磁気ヘッドでは、初期の8インチFDD、5.25インチFDDの時代には金属パーマロイが使われたこともあるが、以後のコア材はすべてフェライトである。主に使われているフェライトとしてはMn-Zn

系フェライトとNi-Zn系フェライトがある。Mn-Zn系フェライトは Fe_2O_3 を主成分にMnOとZnOを混合し焼結したもの、Ni-Zn系フェライトは Fe_2O_3 を主成分にNiOとZnOを混合して焼結したものである。

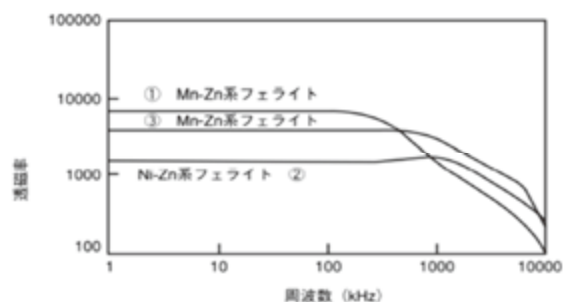


図 3.35 Mn-Zn系とNi-Zn系フェライトの透磁率(μ)の周波数特性

図 3.35 は Mn-Zn 系フェライトと Ni-Zn 系フェライトの磁気特性の違いを示したものである。低周波領域では Mn-Zn 系フェライトの透磁率 μ が高いのに対し(①)、高周波領域では Ni-Zn 系フェライトの透磁率 μ が高く周波数特性が良い(②)。このため、FD用磁気ヘッドのコア材料としては初期には Ni-Zn 系フェライトが用いられていたが、後の改良により主流は広帯域で透磁率、磁束密度の高い Mn-Zn 系フェライトになっている(③)。更に高密度化や磁気特性を改善するために、ソニー磁気製品事業部では焼結過程に HIP と呼ばれる熱間等方圧加圧法で数百~2000℃の高温と数十~200MPaの等方的な圧力を磁性体に同時に加えて処理した材料を内製し磁気ヘッドに使用した。

(1) FDD 用磁気ヘッド

FDD 用磁気ヘッドは R/W ヘッドとイレーズヘッドの二つのヘッドで構成され、R/W ヘッドで記録されたトラックの両側をイレーズヘッドでトリミングイレーズする。フロッピーディスクシステムでは新しいデータを記録する時、古いデータに新しいデータを重ねて記録する、いわゆるオーバーライト記録を行う。その時、古いデータを記録したトラックに対して新しいデータを記録する時のヘッド位置は必ずしも一致していない。したがって、新しく記録されたトラックの両側には古いデータが残っている。次にその記録されたトラックのデータを読む時には、ヘッド位置は先に記録したトラックと一致しておらず、消し残ったトラックにかかって R/W ヘッドが走行し、古いデータがノイズとなる。この記録トラック両側を消すためにイレーズヘッドが設けられている。

FDD 磁気ヘッドの構成はラミネートタイプ、スト

ラドルタイプそしてバルクタイプの三つのタイプがある。

8インチFDDおよび5.25インチFDDではラミネートタイプ、ストラドルタイプの2種類の磁気ヘッドが使用された。

1970年にIBMが発表した8インチFDDはラミネートタイプの磁気ヘッドを採用していた。ラミネートタイプの磁気ヘッドは外部磁界をイレーズヘッドのバックギャップが集め、記録されたデータに減磁を起しやすいためというデメリットはあるが、オフトラック時のイレーズ特性が優れ、上記欠点もヘッドシールド等の工夫をすることにより克服された。

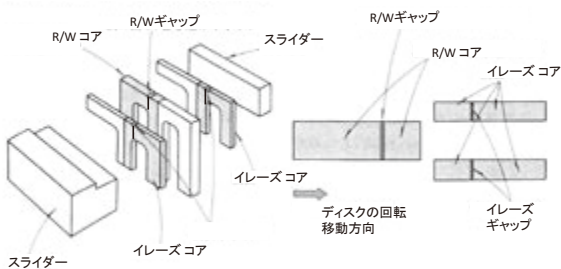


図 3.36 ラミネートタイプ ヘッド
出典：日経エレクトロニクス 1986年5月5日号 p.138 図 11(a)

図 3.36 にラミネートタイプヘッドを示す。図のように R/W ギャップ位置とイレーズギャップの位置が離れているため、記録時に R/W ヘッドをオンからイレーズヘッドのオン、また R/W ヘッドをオフからイレーズヘッドをオフするまで所定の時間遅らせる必要がある。つまり、トラック上で R/W ヘッドが記録を開始あるいは終了した位置がイレーズヘッドのギャップに来るまで待って、イレーズヘッドのオンあるいはオフをする。このような回路が必要ではあるが、ラミネートタイプヘッドは8インチ、5.25インチの多くの FDD メーカーに採用された。

ストラドルタイプのヘッドの構造を図 3.37 に示す。1976年に Shugart は 5.25 インチ FDD をストラドルタイプのヘッドを用いて導入した。ストラドル

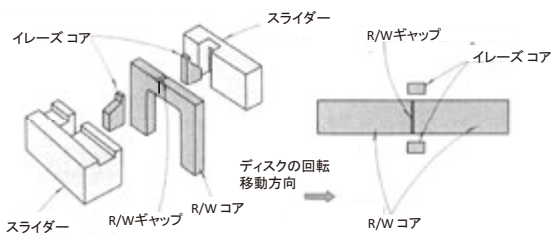


図 3.37 ストラドルタイプ ヘッド
出典：日経エレクトロニクス 1986年5月5日号 p.138 図 11(c)

ルタイプヘッドのイレーズギャップは R/W ギャップと基本的に同じ回転角の位置にあるので、イレーズヘッドのオン・オフのタイミングをコントロールする必要がない。しかし、オフトラックした時のイレーズ特性に難があった。

(2) 3.5 インチ用片面磁気ヘッド

従来の 8 インチ FDD、5.25 インチ FDD と第 1 世代 3.5 インチ MFDD (ゴロンタ) 用のヘッドには次の二つの大きな相違点があり、それに対応したヘッドが求められた。

- ・トラックピッチが 8 インチ FDD、5.25 インチ FDD の約 3 分の 2 に減った
- ・ディスクの抗磁力が約 2.5 倍に上がった

ラミネートタイプのヘッドでは、ディスクが高抗磁力材でも十分にリード・ライトおよびイレーズが可能であるが、イレーズ側のヘッドコアがわずか $65\mu\text{m}$ の薄板であり、材料の扱いが困難で生産性上大きな問題になる。ストラドルタイプではイレーズ特性を得るためのギャップのコントロールが非常に困難という、やはり生産性上の問題がある。

3.5 インチ MFDD 用ヘッドの初期からの開発者だったソニー仙台の磁気製品事業部の早坂秀昭は開発初期の当時を振り返る。

「1979年の暮れ、3.5 インチ MFDD “ゴロンタ”の磁気ヘッドの開発がスタートした。当初フロッピーヘッドの言葉すら聞いたことがなく、フロッピーヘッドって何?からのスタートだった。

複数の 5.25 インチ FDD メーカーのドライブを何台も購入し、分解して実物のヘッドを観察し、各部寸法を測定、構成材料を分析しながらの試作をスタートした。

第一印象は構造的にはそれほど難しそうではなかったので 5.25 インチヘッドと同じようにラミネートタイプを試みたが、作り込めば作り込むほど難しさが表面化し、試作はできても量産は困難であり断念せざるを得ないと判断した。図 3.38 はラミネートタイプで 3.5 インチ MFDD 磁気ヘッドを製作した場合の構想図である。フェライトとセラミック

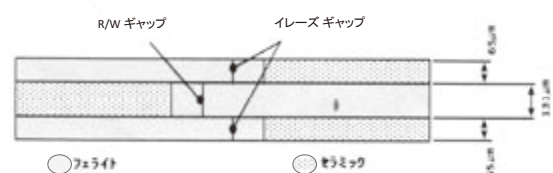


図 3.38 ラミネートタイプ 3.5 インチ MFDD 磁気ヘッド構想図

クの複合材を一定の幅にカットし、片面または両面研磨して必要な最終トラック幅とする構造で、記録トラック幅の薄板の両脇に消去トラック幅の薄板を精度良く接合したヘッドチップ構造である。

この構造を実現するにはイレーストラック幅の65 μ mの薄板を精度良く、そして生産性良く製造することになるが、あまりの薄さのためにハンドリングも非常に困難であった。また、イレーストラックとR/Wトラックの接着層を限りなく薄く形成する接着技術も当時ソニーは持ち合わせてはいなかった。

四苦八苦しながら打開策を検討した結果、考え出されたのがビデオヘッド製造技術で培った技術を用いた図3.39のバルクタイプのヘッドであった。

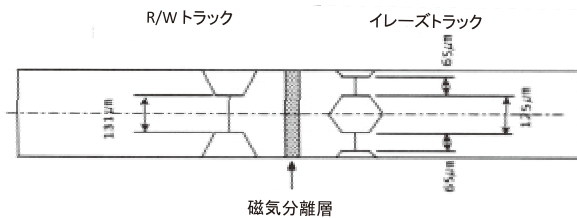


図 3.39 バルクタイプ 3.5 インチ MFDD 磁気ヘッド概略図

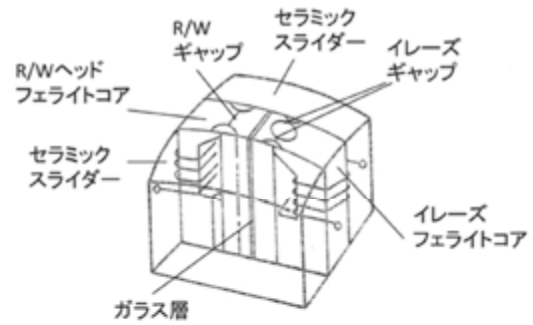
バルクタイプの試作をしたところ、R/Wヘッドの性能も、またイレース特性も優れており、生産性も問題ないことがわかった。ラミネートタイプでの苦労がバルクタイプ構造の発明に繋がり、『必要は発明の母』と実感した。

次の大きな課題は球面加工であった。最初のコロンタ用の磁気ヘッドは、図3.40バルクタイプ片面ヘッド構造に示すように球面形状であった。当時ソニーのヘッド加工技術には球面加工技術がなく、セラミックとフェライト複合材の表面を球面に加工する方法や球面研磨する方法についてはゼロからのスタートであった。

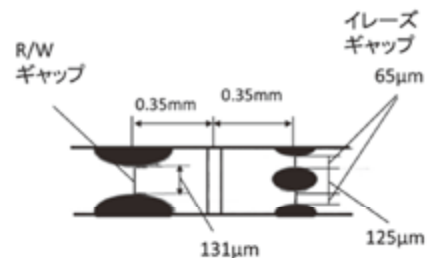
国内の関連する展示会を軒並み見学し、ある日スチルカメラの展示会場にてレンズ研磨技術が応用できることを知り、レンズ研磨技術を持ったメーカーに相談ののってもらい、彼らの技術をフロッピーヘッド加工技術に応用することにより量産化まで漕ぎつけた。量産での初出荷の数量は100個にも満たなかったと記憶している。」

その後各社から出された3.5インチMFDDに搭載されている磁気ヘッドのほとんど全部がバルクタイプとなった。

図3.40(b)に示すようにバルクタイプヘッドはフェライトの一部を切削してR/Wギャップ、イ



(a) 片面球面ヘッド



(b) バルクタイプヘッドチップ

図 3.40 片面球面ヘッド構造とバルクタイプヘッドチップ

レースギャップを作ったものである。このタイプのヘッドは、扱うフェライトの厚さは(R/Wトラック幅) + 2x (イレーストラック幅) 以上にとれるので0.3mm以上となり、ラミネートタイプのイレースコア厚の65 μ mに比べると桁違いの強度である。扱うフェライトのコア厚はヘッドの歩留まりに直接効いてくるため、非常に重要なファクターである。

またバルクタイプのヘッドではR/W側コアとイレース側のコアの貼り合わせはチップ1枚1枚に切り出す前のブロックの段階で行えるのも生産性上大きなメリットである。(図3.41バルクタイプヘッドの加工方法を参照)

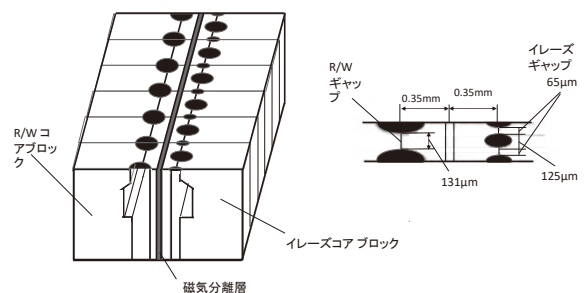
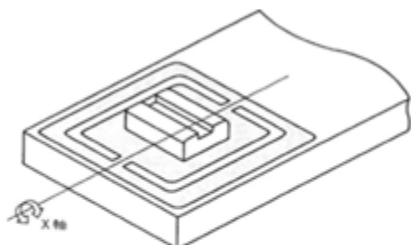


図 3.41 バルクタイプヘッドの加工方法

化がないので、外部要因に対して出力は安定している。

③ 1方向ジンバルタイプ (図 3.46)

IBM タイプと固定タイプの中間的なもので、1方向のみ磁気ディスク追従性がある。ヘッド姿勢の変化はほとんどないので出力は安定している。

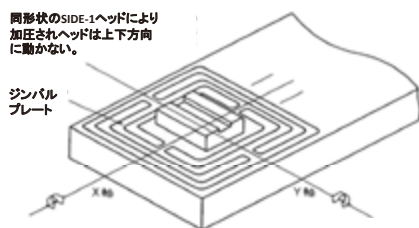


ヘッド圧力に無関係にX軸まわりに自在運動するようになっている。

図 3.46 一方向ジンバルタイプ

④ 2方向性ジンバルタイプ (図 3.47)

1方向性ジンバルタイプに更にもう1方向の追従性を加えたもので、追従性に関しては IBM タイプに近い特性が得られる。姿勢変化も比較的少ないが、ジンバルプレートの形状は振動特性を考慮して設計されなければならない。



ヘッド圧力に無関係にX軸まわりに自在運動するようになっている。

ヘッド圧力に無関係にY軸まわりに自在運動するようになっている。

図 3.47 2方向ジンバルタイプ

Sirjang Lal Tandon は 1970 年からメカニカルエンジニアとして IBM のフロッピーディスクの開発に携わり、1975 年に IBM を退社して Tandon Corporation を設立したことは先に述べた。彼は「SIDE-0 ヘッドは固定ヘッドにし、SIDE-1 ヘッドのみジンバル構造」という特許を取得した。この方式により両面ヘッドとディスクの走行安定性は大幅に改善し、ドライブの信頼性を向上させることができた。Sirjang Lal Tandon はこの技術をもとに、まず磁気ヘッドの製造・販売を行い、更にドライブのビジネスにも参入し、1979 年に 5.25 インチ FDD で世界初の両面・倍密度で記憶容量が 500K バイトのドライブ「TM-100」を発表した。

SIDE-0 ヘッドを固定にすることは両面ドライブ

では必須となったため、多くのドライブメーカーが採用した。Tandon はほとんどのフロッピーディスクドライブメーカーに警告レターを発行し対応を求め、1980 年代の FDD 業界に於いて大きな話題となった。

(5) 3.5 インチ用両面磁気ヘッド Ass'y

ソニーと Tandon は特許のクロスライセンスで合意し、ソニーは第 1 世代 3.5 インチ MFDD 両面ドライブでは SIDE-0 ヘッドを固定ヘッドにし、SIDE-1 ヘッドは 1 方向ジンバルタイプを採用した。図 3.48 に 3.5 インチ MFDD 用の両面 SIDE-1 ヘッドの Ass'y 完成図を示す。

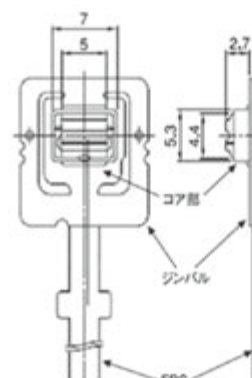
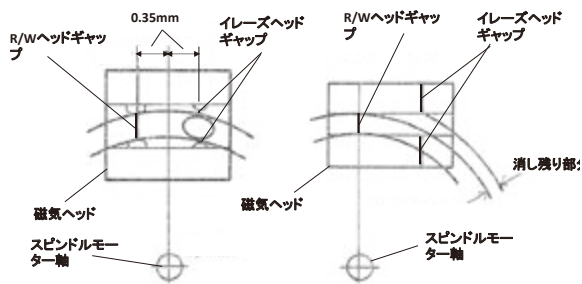


図 3.48 3.5 インチ MFDD ジンバル Ass'y 完成図

一方、ソニー仙台の磁気製品事業部でのフロッピーディスク用両面ヘッドそしてジンバルの開発・製造は全く初めてであった。ジンバルの変形、摺動鳴き、メディアキズ、ヘッドコアとの接着性・耐久性で問題が発生し、ドライブ部門とヘッド部門でジンバル厚み、ジンバルブリッジ幅、ジンバル本丸、二の丸幅、等々、ヘッドコア摺動面の面粗度や摺動面面積、面取り形状の管理 (R 形状) など多くの変更・改善を試行錯誤して、最終的な信頼性や生産性を確保することができた。

(6) ヘッドギャップアライメント

R/W ヘッドで新しいデータを重ね記録すると、ヘッドは以前のトラックを完全にはトレースしないので、その新しいデータのトラックの側には以前のデータの一部が残っている。イレースヘッドは新しいデータトラックの側にある古いデータを消す役割を担っている。



(a) 3.5インチMFDD (b)8インチ、5.25インチFDD

図 3.49 磁気ヘッドギャップのアライメント

8インチ、5.25インチFDDでは図3.49(b)に示すように、磁気ヘッドのR/Wのヘッドギャップがスピンドルモーター軸からの法線上に配置されて、イレーズギャップはそこからオフセットされた位置にRWギャップと平行に配置されている。図に示すようにトラックは円状になっており新しいデータトラックの外側の古いデータはイレーズされない。また内周になるほどトラックの曲率は小さくなるので消し残りの割合は大きくなる。

3.5インチMFDDではディスク径が小さくなるので上記の影響は更に大きくなる。そこで図3.49(a)に示すように、スピンドル軸からの法線に対してR/Wギャップとイレーズギャップが左右に等しい距離になるようヘッドを配置した。これにより、8インチ、5.25インチFDDで発生している古いデータの消し残りをなくすことができた。

3.3.5 インターフェース

フロッピーディスクドライブ (FDD) のホストシステムのインターフェースを紹介する。FDDとホストシステムとのインターフェースは信号インターフェースと電源である。

8インチFDDの電源は当初、スピンドルモーター用+24V、回路用+5V、更に-5Vまたは-12Vを必要とし、合計で3~4種類の電源が必要であった。その後、薄型ドライブでは+5V、+24Vの2電源方式がほとんどになった。IBMは8インチのディスクの互換は定めたが、ドライブの規格は定めなかったためインターフェース、外形などがメーカーごとに異なっていた。薄型8インチFDDでは外形寸法、取り付け位置などは共通化されたが、電源コネクタ、信号インターフェースコネクタ仕様は各種存在した。

5.25インチFDDの電源は当初から+5V、+12Vの2電源方式であった。信号インターフェースは当初Shugartが発売したSA400と互換性のある製品を各

メーカーとも設計した。また、その後ANSIでインターフェース仕様は規定されたので、各メーカーの製品はこれに準拠している。ただし、新たに加えられた信号のピンアサインは各社独自になっている。5.25インチFDDの一般的な信号インターフェースの信号名とその簡単な説明を表3.2に示す。コネクタは業界で標準化された34ピンコネクタが使われた。

表 3.2 5.25インチFDD信号インターフェース

ピン番号	IN/OUT	信号	説明
2			
4	IN	HEAD LOAD (IN USE)	磁気ヘッドをディスクにローディング
6	IN	DRIVE SELECT 3	#3ドライブを選択
8	OUT	INDEX	ディスク1回転に1パルスの信号
10	IN	DRIVE SELECT 0	#0ドライブを選択
12	IN	DRIVE SELECT 1	#1ドライブを選択
14	IN	DRIVE SELECT 2	#2ドライブを選択
16	IN	MOTOR ON	スピンドルモーターを回転する
18	IN	DIRECTION	ヘッドの移動方向を示す
20	IN	STEP	1パルスで1トラック移動
22	IN	WRITE DATA	書き込みデータ
24	IN	WRITE GATE	ONの時ディスクへの書き込み許可
26	OUT	TRACK 00	ヘッドの位置がトラック0上にある
28	OUT	WRITE PTECT	書き込み禁止のディスクを示す
30	OUT	READ DATA	読み出しデータ
32	IN	SIDE SELECT	ヘッド0とヘッド1の面の選択
34	OUT	READY	ドライブがデータの読み書き可能な状態を示す

Note: 奇数ピンは通常GNDに接続

第1世代3.5インチMFDD、OA-D31Vの信号インターフェースの各信号の定義は5.25インチの標準と同じであった。しかし標準の34ピンコネクタはOA-D31Vの奥行き130mmに収めるスペースがなく使用できず、26ピンコネクタを採用した。その信号インターフェースのピンアサインを表3.3に示す。第1世代3.5インチMFDDのOA-D30V、OA-31V、OA-32V、OA-32Wはこのコネクタを使用した。

表 3.3 3.5インチOA-D31V信号インターフェース

Pin番号	IN/OUT	表記	説明
1	IN	MTON	スピンドルモーターを回転する
2	IN	SELECT0	#0ドライブを選択
3	OUT	DSKCHG	ドライブが非選択時にディスクが交換された
4	IN	SELECT1	#1ドライブを選択
5	IN	CHGRST	Disk Changeのフラグをリセットする
6	IN	DIRTN	ヘッドの移動方向を示す
7		(RETURN)	
8	IN	STEP	1パルスで1トラック移動
9		(RETURN)	
10	IN	WRDATA	書き込みデータ
11		(RETURN)	
12	IN	WRTGATE	ONの時ディスクへの書き込み許可
13		(RETURN)	
14	IN	HDLOAD	磁気ヘッドをディスクにローディング
15		(RETURN)	
16	IN	HDSL	ヘッド0とヘッド1の選択
17		(RETURN)	
18	OUT	INDEX	ディスク1回転に1パルスの信号
19		(RETURN)	
20	OUT	TRK00	ヘッドの位置がトラック0上にあることを示す
21		(RETURN)	
22	OUT	WRTPRT	書き込み禁止のディスクを示す
23		(RETURN)	
24	OUT	RDDATA	読み出しデータ
25		(RETURN)	
26	OUT	READY	ドライブがデータの読み書き可能な状態を示す

推奨レセプタクルコネクタ: JAE PS-26SE0-D4P1-1C

表3.4に第1世代3.5インチMFDD、OA-31V、OA-32V、OA-32Wの電源コネクタのピンアサイン、図3.50にコネクタ配列を示す。

表 3.4 3.5 インチ FDD 電源コネクタ

ピン番号	表記
1	5V DC
2	GND(5V Return)
3	GND(12V Return)
4	12V DC

レセプタクル(4ピン): AMP 17122-4

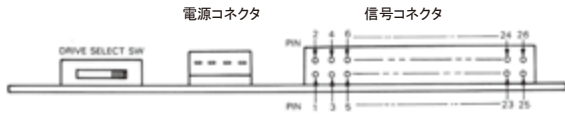


図 3.50 OA-D31V コネクタの配置

信号インターフェースの各入出力信号の詳細な機能は下記のとおりである。

- ・ドライブセレクト 0~3 (SELECT0~3) (入力)

ホストシステム 1 台にドライブを 4 台までデジチェーンで接続できる。ドライブの後部にあるスライドスイッチを“ドライブセレクト 0”に設定し、FDC が SELECT0 を Low レベルにすると、このドライブが選択される。
- ・ステップ (STEP) (入力)

ステップ (STEP) は磁気ヘッドをディレクション (DIRTN) で指定された方向に移動させる。ステップの立ち下がり (High レベルから Low レベルの変わり目) で磁気ヘッドを 1トラック移動させる。到達目的トラックへのステップ信号の立ち下がりからトラック間アクセス時間とセトリング時間を加えた時間の後、磁気ヘッドは読み書きが可能となる。
- ・ディレクション (DIRTN) (入力)

ディレクション (DIRTN) は磁気ヘッドの移動方向を指定する。この信号が High レベルの時にはステップ (STEP) の立ち下がり でディスクの外周方向に移動し、Low レベルの時はディスクの内周方向に移動する。この信号はステップ (STEP) の立ち下がりより 0.5 μ sec 前に決められていなくてはならない。
- ・ヘッドセレクト (HD SL) (入力)

ヘッドセレクト (HD SL) が Low レベルの時は SIDE-1 (上側ヘッド) が選択され、High レベルの時は SIDE-0 (下側ヘッド) が選択される。データの記録中、あるいはデータ記録後のイレーズ記録期間中にこの信号を切り替えてもヘッドの切り替えは行われず、記録動作が終了してから行われる。
- ・ライトゲート (WRTGATE) (入力)

ライトゲート (WRTGATE) が Low レベルの時に書き込むデータ (WRTDATA) を磁気ディスクに記録する。ライトプロテクト (WRTPRT) がオフ (High レベル) でレディ (READY) がオン (Low レベル) の時のみライトゲートは Low レベルになる。

- ・ライトデータ (WRT DATA) (入力)

ライトゲート (WRTGATE) が Low レベルの間、ライトデータ (WRT DATA) の High レベルから Low レベルの信号変化に合わせて R/W ヘッドに流れる電流の方向を切り替え、ディスクの磁化の方向を変えてデータをディスク上に記録する。
 - ・インデックス (INDEX) (出力)

インデックス (INDEX) はディスクの 1 回転ごとに 1 パルスがドライブから FDC に出力される。通常この信号は High レベルで、パルスが出力されると Low レベルとなる。INDEX のタイミングは High レベルから Low レベルになる時である。
 - ・トラック 00 (TRACK 00) (出力)

トラック 00 (TRACK 00) が Low レベルにある時は、磁気ヘッドがトラック 00 (最外周トラック) の位置にあるか、あるいは最外周トラックより外側にあることを示す。トラック 00 より内側にある時は High レベルになる。
 - ・ライトプロテクト (WRTPRT) (出力)

ライトプロテクト (WRTPRT) が Low レベルの時はライトプロテクト (書き込み防止) がオンのカートリッジが挿入されていることを示す。この信号が Low レベルの時はデータの記録は実行されない。
 - ・リードデータ (RDDATA) (出力)

磁気ディスクからの磁化反転を読み出したパルス信号である。磁化反転を検出すると High レベルから Low レベルに変化する。FDC の VCO はこの立ち下がりエッジからリードデータの WINDOW を生成する。
- 第 1 世代の 3.5 インチ MFDD、OA-D30V/D31V の最初の顧客はソニーの英文ワープロ、次の顧客は米国の HP 社であったが、26 ピンの信号コネクタは全く問題にならなかった。また次の顧客の Apple は Apple 独自の 20 ピンコネクタとピン配置を指定した。
- しかし、その後 IBM PC 互換機の顧客、計測機メーカー等に第 1 世代 3.5 インチ MFDD を紹介したところ、ほとんどの顧客は 5.25 インチ FDD とプラグコ

ンパティブルを要求した。すなわちデータ転送レート、信号インターフェースの定義、信号コネクタとピン配置、電源コネクタとピン配置を5.25インチと同様とすることを要求した。ソニーは、急遽、5.25インチFDDとインターフェースを全く同じにしたOA-D33V、OA-D33Wを企画・設計して導入した。

3.3.6 電気回路

第1世代3.5インチMFDDの電気回路のブロックを図3.51に示す。電気回路はコントロール回路とアナログ回路から構成される。

(1) コントロール回路

当時の8インチFDD、5.25インチFDDのコントロール回路は標準TTLで構成されていた。しかし、3.5インチMFDDでは磁気ディスクが挿入された際のセンタリング動作、磁気ヘッドをディスクの最外周トラック（TRACK 00）に自動的に移動させるパワーオンキャリブレーション（POC）動作をTTLで構成し回路基板に収めることは不可能であった。またランダムロジックをIC化するとその開発期間は1年以上かかる時代であった。

コントロール回路を担当したのは柳本薫であった。彼は富士通製の4ビットのマイクロプロセッサ（MB8847）を使うことを提案した。マイクロプロセッサを使うことでカートリッジ装着時の磁気ディスクのセンタリングに必要なスピンドルモーターの起動、パッドアームのローディング、そしてパワーオンキャリブレーション（POC）に必要なステッピングモーターの駆動コントロールをプログラムで容易に設定できた。

また、FDCからドライブへの入力信号（HEAD LOAD、STEP、DIRECTION、SELECT0&1、MOTOR ON、HEAD SELECT、DISK CHANGE RESET）をマイクロプロセッサが受けドライブ内の状態を判断した後、スピンドルモーターのON/OFF、ステッピングモーターを駆動等のコントロールを行っている、ステータの励磁相を順番に切り替える制御を行っている。更に、ドライブのステータス（Ready状態、Track00 LEDの状態、Write Protect Sensorの状態、スピンドルモーターPG検出）を一度マイクロプロセッサに取り込み、必要な条件を加えてFDCに出力するようにした。

マイクロプロセッサを採用したことにより回路基板のスペースを大幅に節約でき、またコストダウンができただけでなく、磁気ディスクのセンタリング、パワーオンキャリブレーション（POC）等の検討もマイクロプロセッサのEvaluation Boardで柔軟に行うことができ開発期間を短縮できた。また、主要部品の信頼性試験も条件を変えて簡単に行うことができた。

3.5インチMFDDの開発を1979年12月に着手し、発表を1年後の1980年12月にできたのは、フロッピーディスクドライブ制御をマイクロプロセッサを用いて行ったことも大きな要因の一つであった。これは業界初の試みであった。

(2) アナログ回路

アナログ回路は磁気ディスクに記憶するデータの読み書きを行う回路であり、南雅文が担当した。（図3.52 OA-D32Vアナログ回路を参照）

フロッピーディスクでは、書き込みも読み出しも

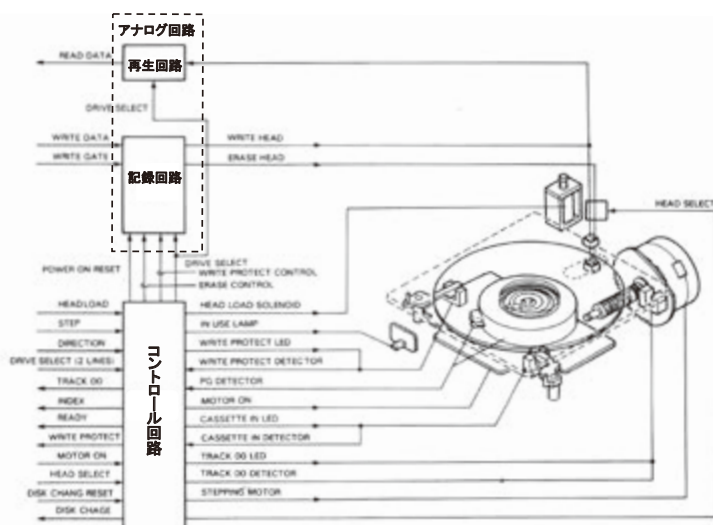


図 3.51 OA-D31V 電気回路 ブロック図

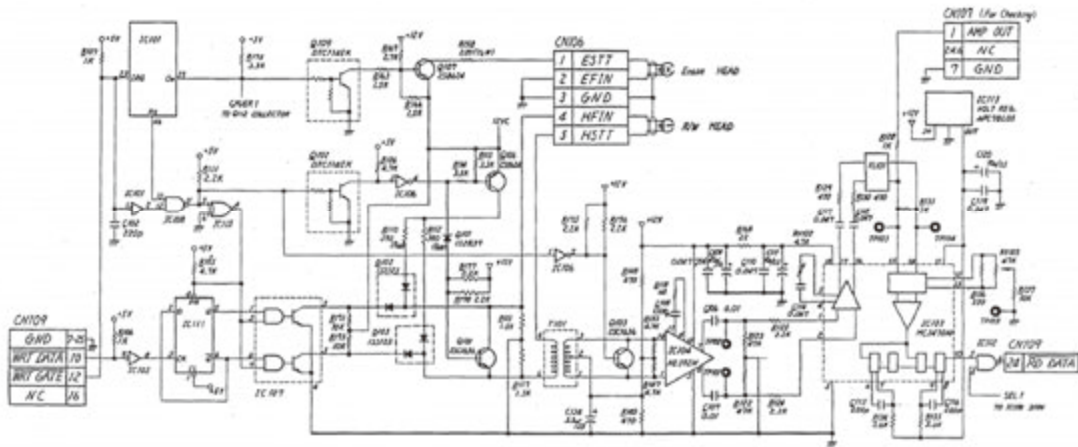


図 3.52 OA-D32V アナログ回路

同じ磁気ヘッドで行う。

書込回路は外部（FDC）から入力されたデジタル信号（0、1パターン）を、矩形波のまま磁気ディスクに記録する。そのため、デジタル信号の‘0’と‘1’ごとに反転する矩形波の電流を磁気ヘッドに流す。矩形波を記録しようとしても、実際には磁気メディアの特性（抗磁力・塗布厚 etc.）により記録パターンは隣同士が干渉し、なまった波形になる。

一方、読出回路はそのディスク上に記録されたアナログパターンを磁気ヘッドで読み出し、記録された信号を再現する。磁気ヘッドの出力は記録パターンの微分波形になるので、その信号の頂点が記録パターンの遷移点となる。この性質を利用し、読出し回路はヘッド出力をまず増幅し、その後微分器を通すことによって遷移点を特定してデジタル信号に変換するという処理になる。

この読み出されたデータ（再生データ）の信頼性目標はソフトエラーレートが10のマイナス9乗以下というものであった。この値は他の2次記録装置と同様であった。

デジタル磁気記録では磁気ヘッドの特性（ギャップ長など）、磁気メディアの特性（抗磁力・磁気層塗布厚など）、記録再生系回路の特性（記録電流波形・再生系周波数特性など）など多数のパラメータがデータ書き込み・読み出しの信頼性に影響を与える。基本的には、それらのパラメータを目標とする記録密度に最適化することによって、再生する信号のS/Nを高め、信号ジッターのばらつき（ホワイトノイズによる正規分布）を減らし、信号ジッターの片側分布の6シグマまで信号検出ウインドウに含まれれば、10のマイナス9乗を達成することになる。

3.5インチMFDDの目標としていた線記録密度（8717bpi）は、当時のリムーバブル磁気メディアとしては未踏の高いレベルであった。しかし、ソニーの世界最先端の磁気記録技術を用いれば、大きなブレークスルーなく実現可能である、というのがプロジェクトの電磁変換系部分の技術戦略であった。

①磁気記録技術の違い

従来のフロッピーの磁気記録用部品と、3.5インチフロッピー用の部品は以下のような違いがあった。

a) 磁気ヘッドの構造

従来の8インチ、5.25インチ用のR/Wヘッドは、中間タップ付きの巻き数が300ターンであったが、3.5インチ用R/Wヘッドはビデオヘッドの構造を受け継ぎ、中間タップなしの巻き数30ターンであった。ヘッド巻き数が1/10になったことにより、同一条件では再生回路の増幅が10倍必要になった。

b) 磁気メディアの磁気的特性

3.5インチフロッピーの磁気ディスクの磁性体仕様は、当初、当時のベータマックス用の仕様をそのまま採用していた。ソニー仙台の磁気製品事業部は抗磁力5500e、塗布厚5 μ mというベータマックス用で、十分に3.5インチフロッピーの記録密度を達成できると考えていたからである。一方、従来の5.25インチフロッピーディスクの抗磁力はそれより低かったものの、塗布厚は2.0~2.5 μ mとより薄い仕様であった。

②書き込み回路・読み出し回路における考慮点

上記の違いがある故、従来のフロッピーと同じ方法を取ったのでは不十分であった。書き込み回路ではヘッド巻き数が少ないことを補うため、その分、書き込み電流を増やしたが、それ自体は何も問題はなかった。ただし、書き込み電流の波形がディスク上の磁化パターンに影響するため、より急峻でオーバーシュートのない矩形の定電流を発生させるために、電流の経路のインピーダンスを下げる策を取る必要があった。(具体的には、ステップアップトランスの2次側の短絡スイッチ)。

一方、読み出し回路は、ヘッド出力が極めて低い(1mV以下)ため、従来のフロッピー回路に比して10倍超の増幅が必要となり、アンプ前段に差動アンプとステップアップ・トランスを追加することにした。(詳しくは後述)。

③開発中の問題

3.5インチMFDDは従来の5.25インチFDDに比べて小型になり回路基板のスペースが狭くなり、その状況で記録密度を大幅に上げる必要があった。上記の従来フロッピー用部品との違いにより、かなり書き込み・読み出し回路にし寄せがあり、開発を進める中、様々な難題に遭遇した。以下の事例は、設計担当者の視点で、最も重要で、かつ解決まで苦労を重ねた例である。

a) 回路基板スペース問題

当時の5.25インチ、8インチFDDの再生回路は、ヘッド再生信号の増幅、フィルタリング、微分、デジタイズ(タイムドメインフィルター)の機能ごとにIC(MSI)とディスクリート回路で構成していたが、これらのモデルでは回路基板に部品を配置するのに十分な面積があった。

一方、3.5インチMFDDでは回路基板スペースが非常に狭く(5.25インチFDDの約1/4)、必然的にこれらの再生機能を1チップ化したモトローラMC3470APを採用した。

しかし、このICは従来の5.25インチFDDのヘッド出力レベルを想定していたため、更に10倍の増幅率が必要になったことは先に述べた。差動アンプ1個を追加したがそれでは不十分であった。それ以上の増幅器が見つからないという状況の中、ステップアップ・トランスを採用することを試みた。これは周波数特性上、低域がカットされる、寸法が大きい(φ10mm)という欠点はあったものの、増幅によ

る半導体ノイズがないというメリットがあり所望の増幅率は達成できた。しかし、基板スペースはより厳しくなった。

単にこれらの部品を基板上に埋め込めば良いというものでもなかった。ヘッド出力1mV以下を扱うアナログ回路のすぐ隣には、0.5Vでスイングするデジタル回路が混在しているため、部品の配置とグランドパターンも熟慮して試行錯誤を繰り返して基板パターンを手作業で作製した。(ちなみに当時は基板設計のCADもない時代であった)。

現在であれば、AIが簡単に基板パターンを作製するのであろう。ちなみに、ステップアップ・トランスは、ソニーの業務用ビデオのビデオ再生では度々使われていた手法であった。

b) ソフトビットエラー問題

開発の初期からソフトエラーレートを改善するため、様々なパラメータを変えつつ、試行錯誤を繰り返した。

エラーの原因は様々で、先に説明した電磁気特性、記録再生回路の特性のみならず、外部からのノイズ(FDD外部からのノイズ、同一基板内でのデジタル信号からの「かぶり」もあった)もあり、その時点で目の前で起きたエラーが何の原因だったかを特定する作業とその対策案の立案、実行、チェックに多大な時間を消費した。その中でも以下の二つの対策により大幅なエラーレートの改善ができた。

<再生系フィルタリングの最適化>

開発当初、磁気ディスクの磁性粉の塗布厚は5μmであったため、ピークシフトが既存5.25インチFDに比べて多量であった(従来の5.25インチ、8インチFDの塗布厚は2.0~2.5μmだった)。再生系での位相遅れを最小限度にする目的で、ローパスフィルターのカットオフ周波数を高めに設定した1次フィルターを用いていたが、カットオフ周波数が高いため高帯域ノイズが多くなり、結果的に再生信号のジッターが増えていた。そこで「群遅延一定」の2次フィルターを設計し導入した結果、カットオフ周波数以降のホワイトノイズを減じ、ジッターを減らすことができた。副作用としては高さ10mmのインダクターを追加したため、FDDドライブの高さ寸法が当初の構想の40mmから51mmに厚く変更せざるを得ない事態となった。

<ディスク塗布厚の変更>

ソニーの磁気メディアはオーディオ機器、ビデオ機器用であった。それらの機器ではR/Wヘッドの前段にイレースヘッドが配置されていて、以前に記録されていた信号はイレースヘッドの強いエネルギーで完全に消去された後、記録(W)ヘッドで新しい信号を記録するシステムになっている。一方でフロッピーディスクでは以前に記録された信号の上に新しい信号を重ね書き(オーバーライト)をするので、磁性層が厚いと深層の古いデータ(低周波成分)が完全に消えない。消し残りを減らすために記録電流を増やせば、ピークシフトが大きくなる状況だった。そのため、ソニー仙台の磁気ディスク開発メンバーにフロッピーディスクの磁性層を薄くすることの重要性を説得するのが必須であった。

ソニー仙台に対して再三、磁性層の薄膜化を要請したが、ことごとく拒絶された。「そんなに薄く塗れない。そもそも薄くする必要があるの？歩留まりと耐久性が悪くなる。他にドライブ側で問題があるのでは？」というスタンスだった。ソニー仙台に納得してもらえなかった理由の一つはドライブの再生回路が最適化とは程遠く、メディア特性によるピークシフト以外のエラー原因が多々あったためであった。

先に述べた再生回路の改良が進むと、RF信号の周波数分析(スペアナ上)で、メディアノイズ(メディアをDCイレースした際に出るホワイトノイズでディスク表面のランダムな凹凸が原因とされる)が観察できるようになった。言い換えれば、再生回路のS/Nが良くなった。その段階で、記録密度が最も低い最外周で1Fの信号を書き、その後、2F信号をオーバーライトすると、明らかにホワイトノイズによるジッターとは異なる信号の「揺れ」が観測できるようになった。それを従来の5.25インチFDDの再生信号と比べ、磁性層5 μ m厚のディスクではオーバーライトが完全にできていないことをソニー仙台の担当者にデモし、やっとのことで塗布厚を3 μ mまで薄くすることに同意してもらえた。

この塗布厚3 μ mでもまだ十分とは言えなかったが、入社1年目の南雅文がソニー仙台のエンジニアに実際に起きている現象をデモし説得し、ソニー仙台が納得して塗布厚の仕様を変

更した。“ゴロンタ”プロジェクトの成功の要因の一つが、エンジニア達が組織の壁を超えて納得のゆくまで議論ができる雰囲気があったからと考える。

c) ヘッド静電気問題

この最後の事例はソフトエラーレートを改善した事例ではないが、予想し得なかった原因によりエラーが発生した事例である。

1982年夏にはHP社への出荷が始まり、ソニー厚木工場の製造ラインも、HP側の受け入れ検査およびMFDDを内蔵した製品の製造も順調に流れるようになった。

しかし、秋口になると、突然、製造ラインの最終エラーチェックでエラーが多発し、即、出荷停止になった。HP社からはこのままでは彼らの製造ラインが止まるので、ドライブの出荷を要求される状況となった。このエラーは再現性に乏しく、散発的であったため、エラーが起こったとしても、何が原因かを掴むのは困難を極めた。(詳しくは、囲み記事【評価機の製作と評価】を参照)

結局、エラーの原因が、回転するディスクに帯電した静電気がある時点で一気に放電することによりノイズが発生しエラーになっていたことが判明。ヘッドのフェライトコアを電気基板のGNDに落とす(導通させる)ことによりこの問題を解決した。

以上のように、決して順調とは言えない開発ではあったが、先にも述べたように部門を超えて率直に技術的な議論を行い、納得して設計変更しながら進められたこと、そして、高度なソニーの磁気記録技術が身近に得られる環境にあったこと、チームワークの結束が固かったことが成功の要因だったと考える。

【評価機の製作とドライブの評価】

1980年5月に“ゴロンタ”グループに加わった伊藤元は評価機の製作とドライブの評価を担当した。以下は伊藤元の奮闘記である。

まずNEC製のFDCで、3.5インチMFDDのリード/ライト性能をチェックする評価機を製作した。リード/ライト評価は24時間フル稼働で、発生したエラーをシークエラー、IDフィールドのCRCエラー、データフィールドのCRCエラー等、種別ごとにCRTディスプレイ画面上に分類表示させた。

完成したリード/ライト評価機は、既製の5.25インチFDDでリード/ライトチェックを行い、十分な性能確認がなされた。

リード/ライト評価機の性能確認がなされた後、早速、試作されたゴロンタを接続してリード/ライトチェックを開始すると、たちまち複数の種類のエラーがぼろぼろ発生した。これが長期間にわたるエラー解析の始まりとなった。

エラーを大別すると、特定のトラック/セクターで恒久的に発生するハードエラーと、ランダムなトラック/セクターで発生し、再びエラーが発生したトラック/セクターをリードしてもエラーの再現性はなく一時的に発生するソフトエラーに分類された。

考えられるエラーとなる要因を列挙して、各要因の対策を加えていくとエラーの発生する頻度は少なくなっていった。しかし、エラー要因を特定する決め手に欠く場合も多々あり、果たして正しい対策であったのか疑心暗鬼に陥ることもしばしばあった。エラーの対策が妥当であったかを確認するため、「対策あり」、「対策なし」で評価を繰り返し、エラーが変化する傾向を確認しエラーの原因を追い詰めていった。

ランダムなトラック/セクターでエラーが発生し、エラーが発生したトラック/セクターをリトライするとエラーは再現しなという厄介なエラーもあった。要因として、メディアとヘッドの当たりが悪くてエラーが出るのではないかと、1mm単位でパッド（片面ヘッドで上側からメディアをヘッドに押し当てる物）の位置をずらして、リード/ライトの評価を行ったが、エラーとの明らかな関係性は見られなかった。

静電気が原因ではないかと、静電気メーターで動作中のディスク・シェルの表面の静電気容量を測定しようとした。しかし静電気メーターのセンサーは局所の静電気容量を測定できないため、静電気が要因であるかを特定することができず解析は難航した。

同時並行で磁気製品事業部のメディア開発グループが、メディアのフィルムの厚みを変えたサンプルや、磁性体の塗布厚、電磁特性を変えたサンプルを試作し、それらサンプルのエラーチェックを行うなどして、あっという間に数か月が経過した。

磁性体の塗布厚が厚いと、オーバーライトにより、深層に残った消し残りの磁気が表層の磁気記録に影響を与え、歪んだ再生波形（ヘッド出力波形）になり、ジッターやピークシフトが発生して記録が不正確になることによりエラーが発生する原因となることがわかった。メディアの設定可能なパラメータが適正値になるようカットアンドトライを繰り返して、急ピッチに改善されていった。

メディアとヘッドの当たりについても、シェル内にリフターを取り付けることにより、回転方向に対してバックテンションが働き、安定化を図ることができエラーの要因を潰すことができた。更に画期的だったのは、シェル内に貼った不織布自体が持つゴミがシートにダメージを与えることで、メディアにドロップアウトができ、ハードエラーの要因になっていることを見つけ、不織布を超音波洗浄し、また一歩エラー要因を潰し前進した。

最後に残った難問は量産開始後に発生した。そのエラーは特定のトラック/セクターに関係なくランダムに発生し、エラーになったそのトラック/セクターを繰り返しリードしてもエラーの再現性はなかったため原因の見極めに苦労した。ある時、磁気ヘッドのフェライトコアに細い心線を接触させ、引き出した心線の先に5cm角の銅箔を接続した。その銅箔に静電気メーターのセンサーを近づけると、静電気メーターの針が大きく振れた。またドライブのシャーシに細い電線を接続し、その電線の先を銅箔に近づけると、スパーク放電が観測された。この現象の発見で、最後まで残っていたランダムエラーは、静電気が放

電すると、放電電流が流れヘッドのリード/ライトコイルに誘起した瞬時的なスパイク状の電圧が再生波形に重畳することで、読み取りエラーになっていることが原因と推測された。

確認のため暫定対策として磁気ヘッドのフェライト材が露出している箇所と、ヘッドを載せているステンレス板に導電性塗料（銀ペースト）を塗って導通を図り、更にステンレス板とヘッドを載せたヘッド支持部材に埋め込まれたニードルピン（金属）とを線材で繋ぎ、ヘッドと磁気ディスクの摩擦で発生する磁気ディスク表面の静電気をシャーシに流す放電経路を構成した。

数十台のドライブにこの対策を施し、リード/ライト評価を実施すると効果てきめんで、すべてのドライブで見事にエラーが消えた。

恒久対策は、基板とヘッドを繋ぐフレキシブルケーブルにGNDラインを通して、ヘッド側のGNDラインをフェライトコアに接続して導通を図る対策を施した。またメディアの磁性粉の中にカーボン含有させ、塗布した磁性体に導電性を持たせ、静電気の発生を抑制する対策を行った。

この対策が施され、3.5インチMFDDの量産は一気に立ち上がった。

3.3.7 第1世代3.5インチMFDDラインアップ

発表された3.5インチMFDDのモデルはOA-D30V/OA-D31Vであった。表3.5 ソニー第1世代3.5インチMFDDのラインアップを示す。

(1) ラインナップ

①第1.0世代：OA-D30V、OA-D31V

OA-D30Vはソニー英文ワープロ用モデル、OA-D31VはOEMモデルで、仕様は全く同じである。モデルについては詳細を3.3.1で説明した。

②第1.1世代：OA-D32V、OA-D32W

a) 自動シャッターの導入

OA-D31Vはマニュアルシャッターであった。つまり、ユーザーはカートリッジをドライブに挿入する前に手でシャッターをスライドさせてヘッドウインドウをオープンした後、カートリッジをドライブに挿入する必要があった。また、データを記録・再生した後カー

トリッジを取り出し、手でシャッターをスライドしてヘッドウインドウをクローズする必要があった。OA-D31Vを導入後、手動開閉ではユーザーが磁気ディスク面に手を触れる、あるいはシャッターを閉めないで保管する可能性があり、カートリッジをドライブに挿入・取り出し時に自動でシャッターが開閉する要求が顕在化した。

そこでカートリッジ内のシャッターにスプリングを設け、ドライブのカセコンのピンがカートリッジが挿入する力でシャッターを開き、また取り出した時にはスプリングの力でシャッターが閉まる変更を、第1.1世代以降のドライブ（OA-D32V、OA-D32W、OA-D33V、OA-D33W）とカートリッジ両方に加えた。

自動シャッター付きのカートリッジはそのままではOA-D31Vには使用できない。そこで自動シャッターを手動でスライドし、ある位置に

表 3.5 ソニー第1世代3.5インチMFDDラインナップ

	第1.0世代		第1.1世代		第1.2世代	
	OA-D30V/D31V	OA-D32V	OA-D32W	OA-D33V	OA-D33W	
アンフォーマット容量 (KByte)	437.5	500	1000	500	1000	
片面/両面	片面	片面	両面	片面	両面	
最大記録密度 (bpi)	7610	8187	8717	8187	8717	
トラック密度 (tpi)	135	135	135	135	135	
トラック/面	70	80	80	80	80	
データ転送速度 (Kbit/sec)	500	500	500	250	250	
回転数 (rpm)	600	600	600	300	300	
平均回転待ち時間 (msec)	50	50	50	100	100	
トラック間アクセス時間 (msec)	15	12	12	12	12	
平均アクセス時間 (msec)	365	350	350	350	350	
セトリング時間 (msec)	15	30	30	30	30	
モーター起動時間 (sec)	1	0.4	0.4	0.4	0.4	
外形寸法 (mm)	51x101.6x130	51x101.6x130	51x101.6x130	51x101.6x140	51x101.6x140	
重量 (g)	700	650	650	650	650	
電流+12Vライン (Amp)	0.4 (Typ)	0.3 (Typ)	0.4 (Typ)	0.3 (Typ)	0.5 (Typ)	
+5Vライン (Amp)	0.6 (Typ)	0.48 (Typ)	0.48 (Typ)	0.38 (Typ)	0.38 (Typ)	

達するとシャッターは爪に引っ掛かりロックされ、カートリッジの左前方を掴まむとロックが開放されシャッターが閉まるカートリッジを用意し、OA-D31Vの既存の顧客にはこのモデルのカートリッジを提供した。

b) 片面500Kバイト(OA-D32V)、両面1Mバイト(OA-D32W)

1981年8月にIBMが初代IBM PC DOS version 1.0を発表した。このシステムは2台の片面/倍密度の5.25インチFDDをサポートしアンフォーマット記憶容量は250Kバイトであった。Tandonのドライブを採用し、それまでの業界標準だったShugartの5.25インチドライブの35トラック/面より5トラック多い40トラック/面であった。このことにより5.25インチドライブの業界標準が35トラックから40トラックに移行した。続いて1982年にIBMはIBM PC DOS version 1.1で両面・倍密度でアンフォーマット記憶容量500Kバイトをサポートした。

ソニーはこの業界の流れに対応し、カートリッジのヘッドウインドウを内周側に広げ、またディスクのセンターハブのフリンジの幅を狭めて内周に10トラック増やし、80トラック/面、記憶容量500Kバイトに増やしたモデルOA-D32Vを導入した。

c) 両面・倍密度で記憶容量1MバイトのモデルOA-D32W

従来の片面の球面ヘッド(下面)とパッド(上面)から、下面ヘッド(SIDE-0ヘッド)と上面ヘッド(SIDE-1ヘッド)の両ヘッドとも平面ヘッドの組み合わせになる。また、SIDE-1ヘッドのR/WギャップはSIDE-0ヘッドのR/Wギャップより8トラック内周に配置されている。したがって両面機(OA-D32W、OD-D33W)の最大記録密度は片面機(OA-D32V、OA-D33V)の8187bpiより高く8717bpiとなっている。

③第1.2世代: OA-D33V、OA-D33W

1982年にOA-D32Vの顧客を開拓するために数多くPC互換メーカー、測定器メーカー、ミニコンメーカー、ワープロメーカーを訪問した。しかしながらほとんどの顧客は5.25インチドライブのケーブルを抜いて3.5インチドライブに繋ぐとその場で動作することを期待していた。つまり、フロッピーディスクコントローラを5.25イ

ンチの標準転送レート250Kbpsから500Kbpsに変更するのは彼らにとって大きな障壁であった。また、34ピンコネクタを26ピンコネクタに替えるのも抵抗があった。

そこで急遽、5.25インチ互換のドライブをラインアップに加えることにした。OA-D33VとOA-D33Wは5.25インチFDDと信号インターフェースとコネクタを同一にした機種である。つまりディスクの回転数を5.25インチFDDと同じ300rpmとしてデータの転送レートを250Kbpsとした。また信号コネクタの形状とピン配置を5.25インチと同じ34ピンコネクタにした。コネクタのスペースを確保するため、奥行きは10mm長く140mmとした。

ソニーは1983年5月の独ハノーバーショウと米NCCショウでOA-D32V、OA-D32W、OA-D33V、OA-D33Wの4機種を発表した。

(2) 第1世代3.5インチMFDDの信頼性、使用条件

信頼性

- ・平均故障間隔(MTBF): 8,000POH
- ・平均修理時間(MTTR): 30分
- ・定期点検: 不要
- ・寿命: 5年または15,000POH

・エラーレート

- ・ソフトリードエラー: 1 per 10⁹bits read
- ・ハードリードエラー: 1 per 10¹²bits read
- ・シークエラー: 1 per 10⁶seeks

使用環境条件

・温度

- ・動作時: 5°C ~ 45°C
- ・輸送時: -40°C ~ 60°C
- ・保存時: -20°C ~ 60°C

・湿度

- ・動作時: 20% RH~80% RH(最大湿球温度29°C、但し結露無き事)
- ・輸送時: 8% RH~90% RH(最大湿球温度29°C、但し結露無き事)
- ・保存時: 5% RH~95% RH(最大湿球温度29°C、但し結露無き事)

・振動

- ・動作時: 5~100Hz、最大0.5Gの振動を直交3方向から連続にかけてもR/Wエラーを発生し

ないこと

- ・ 輸送時：5～100Hz、最大 2G の振動を直交 3 方向から連続にかけても性能を満足すること
- ・ 保存時：5～100Hz、最大 2G の振動を直交 3 方向から連続にかけても性能を満足すること
- ・ 衝撃
 - ・ 動作時：最大値 5G（正弦波、半周期 11ms）の衝撃を直交 3 方向から加えても正常に R/W できること、およびデータの破壊がないこと
 - ・ 輸送時 / 保存時：最大値 60G（正弦波、半周期 11ms）の衝撃を直交 3 方向から開梱状態で加えても耐えること
- ・ 設置仕様（図 3.60 参照）

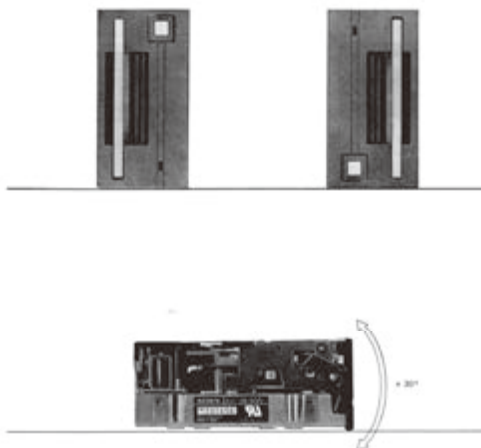


図 3.60 OA-D シリーズ設置仕様

3.4 フロッピーディスクデータフォーマット

FD のトラックフォーマットはサイズの違い、記録方式、記録容量の違いで何種類かあるが、その基本になっているのは 8 インチ FD で IBM が採用した通称 IBM フォーマットである。

図 3.53 に FD のトラックとセクターのフォーマットを示す。

FD のトラックは図 3.53 に示すようにプリアンブル、複数個のセクター、そしてポストアンブルで構成される。新しいディスクが挿入されるとイニシャライズ、あるいはフォーマットと呼ばれる動作を行う。すなわち、ディスクの全トラックにプリアンブル、セクター、そしてポストアンブルを記録する。ユーザーがデータ記録する時はデータフィールドのみが書き換えられる。

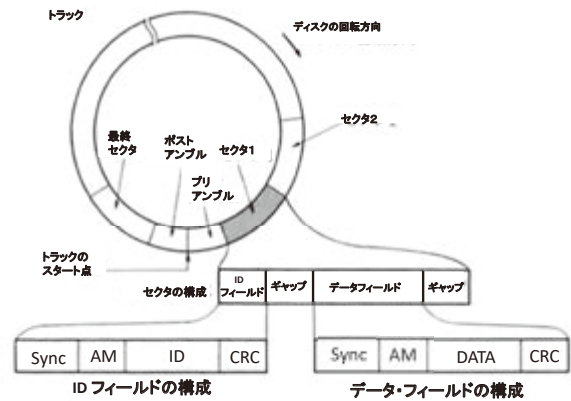


図 3.53 FD のトラックとセクター

トラックの開始点は FDD からのインデックス信号で決められるが、ドライブのインデックス検出器位置に誤差があるので、その信号のタイミングはドライブごとに少し異なる。誤差を吸収するためトラックのスタート点の前後にプリアンブルとポストアンブルを設けている。IBM フォーマットではフォーマット時に、この中に特殊なデータによるインデックス・マークを書き込む。

図 3.54 に示すように一つのセクターは ID フィールド、ギャップ、データフィールド、ギャップで構成される。

ID フィールドは Sync、AM1、ID、CRC で構成される。Sync は信号検出クロックを生成するための連続信号である。AM1（アドレスマーク 1）は続くデータが ID データであることを示す。ID は 4 バイトでバイトごとに、トラック番号、ヘッド番号、セクター番号、セクタ長が記録されている。CRC は ID が正しく読まれたかをチェックする CRC チェックバイトである。

データフィールドは Sync、AM2、データ、CRC で構成される。Sync はクロック生成用の連続信号、AM2（アドレスマーク 2）は後続のデータが読み出しデータであることを示す。CRC は読み出しデータのエラーチェックコードである。先述したように一度フォーマットした後はデータフィールドのみが書き換えられる。データフィールドの書き始めと終わりの位置はモーターの速度、FDD ごとの機械的な寸法誤差、イレズヘッドの動作タイミングの誤差で異なる。そのような変動で ID 情報が消されないように、ID フィールドとデータフィールドの間にはギャップ（Gap2、Gap3）が設けられている。

Gap4 の目的は主にフォーマット時の回転変動のバッファである。5.25 インチの IBM タイプのフォーマットでは 5 セクター / トラックでフォーマットをした時、ポストアンブル（Gap4）のバイト

数が単密度で37バイト、倍密度で94バイトで、1トラックの総記録容量に対して各々約1.2%、約1.5%であった。FDDのモーターの速度変動は2~2.5%あったため、フォーマティングでエラーを発生する可能性があった。

図3.54に1987年10月にECMAがISOに提案した記録形式に準拠したフォーマットを示す。

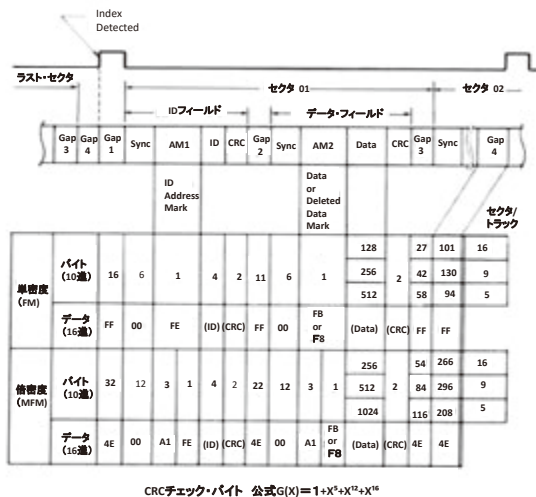


図 3.54 ISO タイプ 3.5 インチ MFD フォーマット

ソニーは3.5インチMFDDでは図3.55のIBM3740, IBMシステム34に準拠したフォーマットで倍密度1024バイト/セクターの時のセクター/トラックの数を4セクターにし、Gap4長が十分にとれるように推奨した。

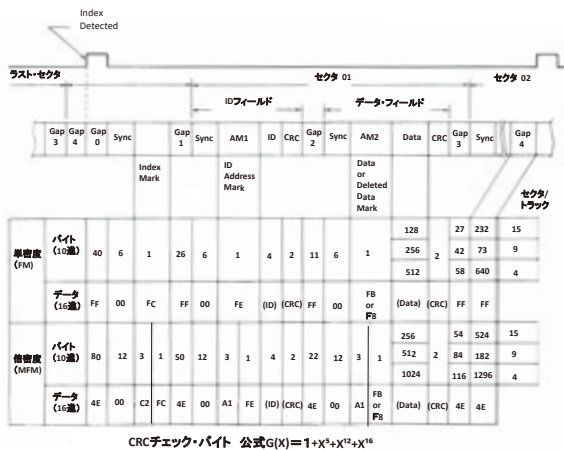


図 3.55 ソニー推奨 IBM タイプ 3.5 インチ MFD フォーマット

3.5 フロッピーディスクコントローラ (FDC)

3.5.1 フロッピー ディスク コントローラ概要

フロッピーディスクコントローラ (FDC) は二つの機能を持っている。一つはデータのシリアル・パラレル変換である。CPUのデータは8ビットの平行データ転送に対し、フロッピーディスクドライブ (FDD) は1ビットのシリアルデータ転送である。FDCはCPUからの8ビットデータを1ビットのシリアルデータに変換してFDDに入力し、またFDDからの1ビットのシリアルデータを8ビットのデータにしてCPUに送る。もう一つはFDDにスピンドルモーター、磁気ヘッドの送り等の制御信号を入力するとともに、データの読み書きが可能な状態か否かなどを把握することである。

このような機能はCPUで実行することが可能であるが、処理すべきことが決まっているのでソフトウェアで処理するよりはハードウェアでその機能を実行する方が、処理速度が速く、CPUの負担が少ないのでFDCが開発された。

1980年代の初期、FDCはNECと米国Western Digitalの2社が一般的であったが、ここではNEC系のFDC、μPD765Aでその内容と機能を説明する。

3.5.2 システム構成例

図3.56にFDDとCPUのインターフェースブロックを示した。FDCとCPUのメモリー間のデータのやり取りにはDMAコントローラを経由させる場合と、FDCがCPUと直接行く場合の二つが選択できるようになっている。一般的にCPUとFDCとのデータのやり取り以外にも同様の処理がある場合にはDMAコントローラを使い、FDCのみの場合はDMAコントローラを使わずFDCが直接CPUとデータのやり取りをする場合が多い。

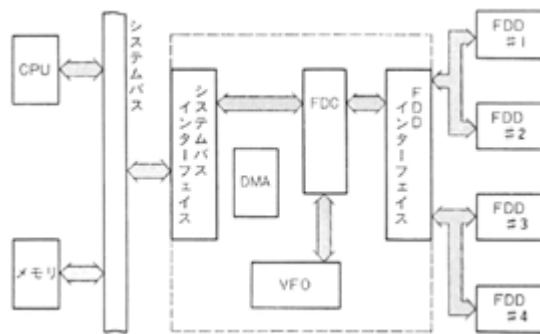


図 3.56 FDD と CPU のインターフェースブロック図

また、FDD と FDC の間には VFO 回路が必要である。VFO は FDD から読み出された、データとサンプリングクロックが合成された信号から、サンプリングクロックを生成する機能であり、フロッピーディスク装置システムでは必須である。

3.5.3 内部動作、機能

図 3.57 μ PD765A の構成で内部ブロックの動作と機能を説明する。

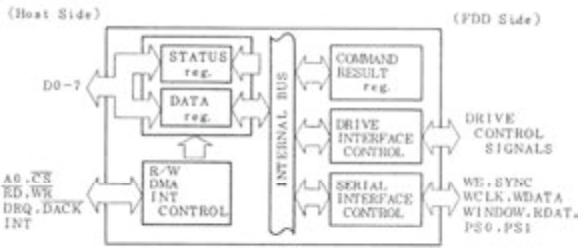


図 3.57 μ PD765A の構成図

①ステータスレジスタ (STATUS reg.)

FDC 内部の状態を示すリードオンリーレジスタで、CPU は任意にこのレジスタの内容を読み出すことができる。表 3.4 にその内容を示す。CPU は FDC に何らかの仕事を与える時は必ずこのレジスタの内容を読んで、FDC の状態を把握した後、仕事を与える必要がある。

②データレジスタ (DATA reg.)

FDC と CPU 間の各種データのやり取りを行うリード/ライトレジスタである。各種データは、コマンド、コマンドパラメータ、転送データおよびリザルトステータスである。

③ R/W、DMA、INT CONTROL

ステータスレジスタおよびデータレジスタへのデータのリード/ライト、DMA コントローラへの制御信号、INT 信号の発生を司る。

表 3.4 μ PD765 ステータスレジスタの内容

ビット	名称	略称	内容
D7	Request for Master	RQM	メイン・システムに対してデータをやり取りする準備が出来ていることを示す。 DIO(D6ビット)の状態により次の働きをする。 DIO=0のとき: メイン・システムがFDCへデータを送る場合で、メイン・システムがFDCにデータを書き込むとRQM=0となり、FDCがそのデータと引き取る時RQM=1となる。 ・C-Phase, コマンド待ち ・Non-DMAリードのE-Phase ・SEEK系のE-Phase DIO=1のとき: FDCがメイン・システムへデータを送る場合で、FDCがデータレジスタにデータをセットするとRQM=1となり、メイン・システムがそのデータを読み取る時RQM=0となる。 ・R-Phase ・Non-DMAリードのE-Phase(READ IDを除く)
D6	Data Input/Output	DIO	メイン・システムとFDCの間でやり取りするデータの方向を示す。 0のときはメイン・システムからFDCの方向、1のときはFDCからメイン・システムの方向である。
D5	Non-MDA Mode	NDA	Non-MDAモードでデータ転送(E-Phase)であることを示す。 C-Phase, R-Phaseではこのビットはリセットされている。
D4	FDC Busy	CB	C-Phase, R-Phaseまたはリード/ライトコマンドのE-Phaseであることを示す。(SEEK系のE-Phaseではセットしない)。このビットをセットしているときは次のコマンドを受け付けない。

④コマンドレザルトレジスタ

各種コマンドを実行した時の実行結果を記憶するレジスタ

⑤ドライブインターフェースコントロール (DRIVE INTERFACE CONTROL)

ドライブの入力部の制御を司る。

⑥シリアルインターフェースコントロール (SERIAL INTEFACE CONTROL)

データ系の処理を司る。

3.5.4 インターフェース回路

図 3.58 に FDC と 3.5 インチ MFDD 間のインターフェース回路例を示す。

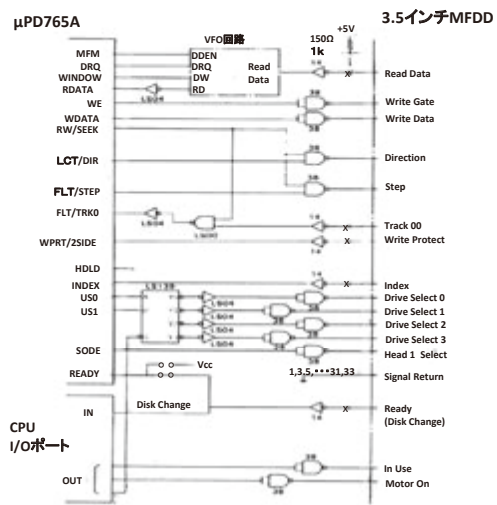


図 3.58 μ PD765A と 3.5 インチ MFDD のインターフェース

3.5.5 VFO 回路

FDD から読み出されたリードデータ (Read Data) はデータパルスとクロックパルスが混じったものであり、VFO 回路はリードデータからデータパルスとクロックパルスを分離し、データ信号 (RDATA) とデータウィンドウ (DW) を生成する回路である。一般の FDC (例えば μ PD765A) は VFO を内蔵していないので外部回路でこれを構成する必要がある。図 3.59 に VFO 回路の構成例を示す。

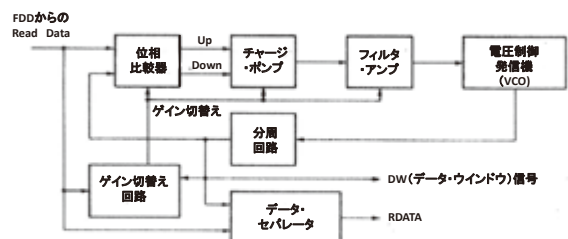


図 3.59 VFO 回路の構成例

各ブロックの機能を下記に説明する。

- ・位相比較器： FDD からの読み出しデータ (Read Data) と VCO の作ったウィンドウの中心点との位相比較をする。この結果、読み出しデータが早ければ VCO の周波数を上げる命令 (Up) を出し、ウィンドウが速ければ VCO の周波数を下げる命令 (Down) を出す。
- ・チャージポンプ： 位相比較器のパルス状の Up/Down 出力を、これに応じて電圧を上げ下げする 1 本の信号に変換する。
- ・フィルタアンプ： チャージポンプ出力を積分して緩やかな変化の直流信号にするとともに出力を VCO に最適なレベルに増幅する。
- ・VCO： 電圧制御発振器でフィルタアンプの出力電圧に比例した周波数で発信する。通常ウィンドウ信号の 2~4 倍周波数を中心値にしていることが多い。
- ・データ・セパレータ： FDD からの読み出しデータ (Read Data) をウィンドウの中心に並べ直す回路である。いったんクロックパルスとデータパルスに分離した後これをを行う。
- ・ゲイン切り替え回路： ロックイン時とデータ読み出し時の位相比較器、チャージポンプ、フィルタアンプを切り替える。

【参考・引用文献】

- 1) 嘉本秀年「私家版 データストレージの歴史」1999年11月30日
- 2) 「The Sony 3.5 inch Micro Floppy disk Drive OA-D30V」カタログ ソニー (株)
- 3) 「Micro Floppy disk drive Model OA-D30V Performance Specification」ソニー (株) April 1981
- 4) 「Model MP-F52W・MP-F52W-00D Product Specifications」ソニー (株) 1986年2月
- 5) ソニー (株) 伊藤元「3.5 インチ マイクロフロッピーディスクドライブのインターフェース」電子技術 1982年10月
- 6) 日本電気 (株) 勝呂元美「第5章 フロッピーディスク装置用コントローラ」トリケップス WS.3 1985年10月
- 7) ソニー (株) 宮沢明夫「第3章 フロッピーディスク媒体」トリケップス WS.3 1985年10月
- 8) 公開特許公報 昭 57-36463 記録再生装置 高橋廉 ソニー (株)
- 9) 公開特許公報 昭 57-36473 回転駆動装置 高橋廉、塚原信彦 ソニー (株)
- 10) 公開特許公報 昭 63-171484 ディスクカセット 高橋廉、塚原信彦 ソニー (株)
- 11) 実用新案広報 昭 63-43630 ディスク記録再生装置のヘッド駆動装置 高橋廉 ソニー (株)
- 12) 実用新案広報 昭 63-3019 回転駆動装置 高橋廉 ソニー (株)
- 13) 実用新案広報 昭 63-3020 回転ディスク装置 柳本薫 ソニー (株)
- 14) ソニー (株) 嘉本秀年、伊藤元、小柳秀樹「3.5 インチ マイクロ フロッピーディスクの設計」インターフェース 1983年5月
- 15) ソニー (株) 矢永雅治、塚原信彦、伊藤元「第2章 フロッピーディスク装置 (3.5 ")」トリケップス WS.3 1985年10月
- 16) ソニー (株) 中山正之「3.5 インチ マイクロフレキシブルディスク」電子技術 1981年10月
- 17) 「3.5 inch FDD STORY」第13回井深賞記念誌 1991年3月
- 18) 高橋昇司「フロッピー・ディスク装置のすべて」CQ出版社 1989年

4 | 3.5 インチ MFDD のビジネス開拓

1980年12月にニューヨークのホテルにて当時のソニー会長盛田昭夫が自らがワードプロセッサ、タイプレコーダーと3.5インチMFDDの製品発表を行った。また3.5インチMFDDについては他メーカーに対してソニーとして初めてのOEM供給を行うことも同時に発表した。翌日の新聞報道ではワードプロセッサよりも3.5インチMFDDの出現とそのOEM供給の発表の方が話題になった。

更に、1981年5月のシカゴでのNCC (National Computer Conference) では3.5インチMFDDの紹介を行った。3.5インチMFDDはNCCで最も興味のある製品のベスト3に選ばれ、ソニーの上層部や担当者が驚くほどの大きな反響を呼んだ。

一方、ソニーでは創立以来、ソニー内の部品部門で開発された部品はソニーブランド製品にのみ使用するというガイドラインがあった。つまり、ソニーはソニーブランド製品を他社と差別化するために社内に部品部門を持ち、その部品を他社に販売することは禁止されていた。そのため部品および装置を他社に販売する組織を持ち合わせていなかった。

好評なNCCでの結果を受けて、英文ワープロのマーケティング組織の中に3.5インチMFDDの販売を担当するNational Sales Managerを雇い、問い合わせのフォローアップを行うことにした。

1981年4月に発刊された“MINI-MICRO SYSTEMS”の“Sony enters OEM market with 3.5 inch floppy”の記事³⁾の中で、ShugartのVice President of MarketingのGeorge Sollmanは「ソニー3.5インチMFDDはいろいろ提案されている新しいフロッピーディスクの一つに過ぎない。8インチ、5.25インチFDDの市場にはほとんど影響を及ぼさないと考える。この市場はすでに約30社のドライブメーカーがひしめき厳しい競争が行われている。ソニーがFDDの大手OEM顧客を獲得するのは極めて困難と考える。現在の市場ではなく小型FDDを必須としている新しい市場を開拓することになるであろう。また、ソニーはOEMというソニーが一度も経験したことのないビジネスをしようとしている。FDDは最先端の技術が必要な製品であり、かつメディアは新しい標準の確立が必要である。これらはソニーにとってそう簡単なことではない」と述べている。また、L.F. RothschildのアナリストのJames Magidは「3.5インチMFDDが日本市場ではデファクト標準の製品になるかもしれない。しかし、

アメリカ市場では難しいであろう。ソニーは電卓で事務機ビジネスに進出したがうまくいかず撤退している。ましてソニーにとってOEMビジネスは初めてである」。Dataquest Inc.のJim Mooreは「OEMビジネスでは顧客は契約の条件をフレキシブルに対応することを要求し、また製品の仕様変更を受け入れることを期待している。まずソニーはコンシューマービジネスとOEMビジネスの基本の違いを学ぶ必要がある」。これらは当時のソニーの状況からすると的を射たコメントであった。

4.1 HP社、Apricot社

4.1.1 HP社

1981年5月のシカゴでのNCCの後、コロラド州のHP Greeley Division (当時はFort Collinsに間借りしていた) からサンプルの依頼があった。

HP Greeley Divisionはテープ、FDD、HDD、等と電源およびHP-IBインターフェース基板を筐体に入れた外部装置を、HP内のメインフレームコンピュータ、ミニコンピュータ、測定器、等のシステム部門に提供する役割を担っていた。

当時、HP Greeley DivisionはTandonの1Mバイト5.25インチFDDの機構部を購入し、HPが電気回路を設計したドライブを製造し、それに電源ブロックとHP-IBインターフェース基板を入れた装置を量産して出荷していた。

ソニーが1981年5月にNCCで3.5インチMFDDをOEM製品として発表すると、Greeley DivisionのSection Manager、Doug Cliffordは早速サンプルを取り寄せて検討を開始した。この新しいメディアがこれまでのフロッピーディスクの常識を超えて、ユーザーにとって非常に取り扱いやすいメディアになっていることに感銘を受けた。

HPは早速ドライブとディスクを入手して評価を開始した。

当時磁気ディスクの開発担当者であった平野隆康は回想する。

「評価の最大の課題は磁気ディスクの信頼性であった。HPには厳しい信頼性規格があり、磁気ディスクはMTBFで500時間を保証する必要がある。最初の磁気ディスクサンプルでは連続駆動48時間程度で

トルクが上がって使い物にならず、HP はソニーに改善を要求した。

ソニーは、急遽、二つの新しい技術を導入した。一つは磁気ディスク表面を研磨テープで研磨する Burnishing であった。Burnisher という機械を米国より購入し粗めの研磨テープで磁気ディスク表面を研磨することで、ヘッドとディスクの当たりの改善のみならずドロップアウト不良も画期的に改善された。

もう一つは、オーディオテープやビデオテープとは比較にならないくらい的大量の高級脂肪酸エステルを塗料に添加することであった。オーディオテープでは主に低速用の潤滑剤が用いられる。ビデオテープでは低速用の潤滑剤と高速用の潤滑剤が併用される。高速用の潤滑剤は、主にビデオテープのステル改善のために用いられていた。高速用の高級脂肪酸エステルを多量に入れると、ビデオテープでは走行特性が著しく劣化する。しかし、フロッピーディスクでは磁気テープのような走行特性は必要なく、ただ磁気ディスクが回転しているだけである。このため、ステル特性を改善する高級脂肪酸を数倍添加することが可能であった。

この二つの技術の組み合わせにより、トルク上昇とヘッド・クロッグイング（磁気ヘッドのギャップに摩耗した磁性粉が堆積し、信号の書き込み・読み取りができなくなる現象）を抑えることができた。これらの技術を盛り込んだサンプルを、当時のソニー仙台の磁気製品事業部の開発部長だった玉川惟正が HP に持参し、めでたく HP の信頼性の規準をクリアすることができた。今振り返ると、これらの技術はフロッピーディスク業界では当たり前の技術であった。」

1982年1月に当時コロラド州フォートコリンズ市にあった HP Greeley Division から至急に技術ミーティングをもちたいとの要請があり、ソニーアメリカの National Sales Manager の Miles Tintle と筆者はデンバーに飛び、雪の国道25号線を北上し HP に到着した。会議室に案内されるとそこには Section Manager の Doug Clifford、Project Manager の Scott Dehart 以下、十数名が集まっていた。

筆者は3.5インチFDDの企画、設計構想の概要、ユーザーの使い勝手を向上する手段、トラック密度を上げた手段、線記録密度を上げた手段、つまり、カートリッジの構造、磁気ディスクの磁性体材料、信頼性、センタリング機構、磁気ヘッド送り機構、等について詳細に説明した。HP側の出席者から様々な質問を受け、筆者はホワイトボードを使って4時間以上にわたって説明した。ミーティングが終わった後、Miles Tintle が「お前の英語はブローケンで聞き取りにく

いので、みんなが一生懸命に聞いてくれる。羨ましいよ。」と言ったのを覚えている。HPにとって転送レートを500Kbps、26ピンの信号コネクタを使うことは全く問題にならなかった。従来の5.25インチFDの転送レートの250Kbpsに比べて3.5インチMFDDの転送レート500Kbpsは性能が倍になると評価していた。

HPの動きは非常に速かった。このミーティング後、すぐにHPよりドライブと磁気ディスクの製品仕様書の要求があった。当時、ソニーはOEMビジネスをした経験はなく、対外的な製品仕様書のフォーマットをもっていなかった。取り敢えず社内の設計構想書の要約を英訳してFAXしたところ、「仕様書は製品に対する技術の契約書なので、ドライブの性能、機能、信頼性について絶対に守る項目に限定すること。仕様書に記載されている内容はすべてのドライブが満足していることが必要である。もう一度見直してほしい。また、仕様書に記載されている各項目と数値の測定方法、測定器を記述したドキュメント、ATP “Acceptance Test Procedure” を作成すること」との要求を受けた。HPの要求に沿って仕様書を書き直し、ATPを提出した。何度となくやり取りをして仕様書およびATPが完成し、合意に至った。

並行して、HPはソニーのドライブの製造工程の見学を希望した。英文ワープロと3.5インチMFDDの事業を担当していたソニー厚木工場第三事業部の管理部長に伝えたところ、「製造工程はソニーの最高機密の一つである。認められないと回答するように」との指示が出された。HPからは「工場監査（見学）はHPが外部から部品・製品を購入する時の必須の手続きなので、ぜひ説得して欲しい」と依頼を受けた。管理部長と何度も話をしたが合意は得られず、最後に事業部長の加藤に協力を仰ぎ、ようやく承認された。

HPとコンタクトを開始してからわずか1年足らずの1982年5月に、HPとソニー間で3.5インチMFDD、OA-D31Vの月産5,000台から1万台のOEM供給契約が締結され、最後に残った大きな課題の第3章3.6電気回路で説明した静電気が磁気ヘッドのフェライトコアに帯電することによるランダムエラーが解決し、量産出荷が始まった。

HPは9121D (Dual 3.5 inch floppy drive unit) (図4.1(a)、図4.1(b))、9121S (Single 3.5 inch floppy drive unit) を1982年夏に製品発表し市場導入を開始した。9121DはHP-IBインターフェースを備えたHPの最初のスタック可能な薄型ユニットであり、このフォームファクターはそれから10年間にわたって継続された。



図 4.1(a) HP 9121D Dual 3.5inch floppy disk drive unit



図 4.1(b) HP 9121D Dual 3.5inch floppy disk drive unit in system

また、同時に HP は 3.5 インチ MFDD、OA-D31V と HDD を入れた 9133A&B (Hard disk drive and 3.5 inch floppy disk drive unit) (図 4.2) を市場導入した。



図 4.2 HP 9133A&B Hard disk drive and 3.5inch floppy disk drive unit

その後、HP Greeley Division はソニーが 70 トラックから 80 トラックにして記憶容量を増やした 500K バイトの OA-D32V、そして両面 1M バイトの OA-D32W に於いてもソニーと共同で評価を行い、他の顧客に先駆けて市場導入を図った。これらの HP の 9133 シリーズの推移を表 4.1 にまとめた。

表 4.1 HP9311 シリーズ推移

	モデル名	3.5" MFDD アンフォーマット容量	HDD フォーマット容量
1982	9133A	473.5K/バイト	4.6M/バイト
	9133B		9.6M/バイト
1983	9133V	500K/バイト	4.8M/バイト
	9133XV		14.5M/バイト
1984	9133D	1M/バイト	14.8M/バイト
1985	9133H	1M/バイト	20M/バイト
	9133L		40M/バイト

Doug Clifford によると「1981 年当初から 2M バイトの 5.25 インチドライブの開発を進めていたが、幾つかの課題を克服するのが難しく、予定していた期日に導入するのを断念せざるを得ない状況になった。その状況でソニーの 3.5 インチ MFDD に注目し、これであれば HP の顧客を十分説得でき市場をリードできると判断した。ソニーにはできるだけ変更を求めず、ソニーが現行ドライブを速やかに確実に量産することを基本方針としてプロジェクトを進めた」とのことであった。

HP はソニーの 3.5 インチ MFDD にとって最初の大手 OEM 顧客であった。HP は OEM ビジネスの経験の全くなかったソニーに対し、製品を世の中に出すために技術面でもビジネス面でもお互いに協力する素晴らしいパートナーであった。Miles Tintle は「HP のビジネスプロセスは例外中の例外である。OEM ビジネスは普通ではこんなに簡単ではない。ソニーのマネジメントが HP にスポイルされるのが心配だ」とつぶやいていた。

ソニーと HP は 3.5 インチ MFDD をきっかけに、その後 5.25 インチ MO (光磁気)、DAT (4mm テープストリーマ)、CD-R/CD-RW、そして DVD-R/DVD+RW と多くのデータストレージ製品の企画、開発、ビジネスを共同で開拓することになった。

HP Greeley Division の General Manager の John Boose は「ビジネスが成功するためには基礎技術、製品化/製造、Marketing/Sales の 3 本の柱が必要条件である。ソニーは磁気記録、光記録の領域において基礎技術と製品化/製造に優れている、一方 HP は事務機およびコンピュータ市場に於いて顧客の潜在要求を理解し製品企画する Marketing、そして強い販売網を持っている。ソニーと HP は良いパートナーとなり得る」と言っていた。

HP はメインフレームコンピュータ、ミニコンピュータ、測定器、等でその技術と品質で非常に高い評判を得ており、HP が 3.5 インチ MFDD を採用し市場導入をしたことにより、FD および FDD 業界の 3.5 インチ MFD システムに対する見方は大幅に変わり、その後世界標準となる重要なステップであった。

もし、HPが3.5インチMFDDを採用していなければ、3.5インチMFDDは数多く提案されていた3~4インチFDDの一つとして消え去ったと思われる。

4.1.2 Apricot社

UKのバーミンガム市にR&Dセンターを持つApricot ComputerはカスタムBIOS、システムレベルのプログラミング、マザーボードのシルクスクリーン、メタルバンディング、システムの無線周波数テスト、等ICの設計以外殆ど自ら開発し、1980年代初頭に、彼らは世界で最も安全なx86ベースのPCを製造し、英国政府に独占的に販売していた。

1983年秋に、UKのApricot Computerは2台のソニー製3.5インチMFDDを搭載した世界最初のパーソナルコンピュータ、Apricot PC(図4.3)を月産2,000~3,000台で出荷を開始した。

Apricotのエンジニアリングチームは非常に優秀で、3.5インチMFDD、OA-D32Wのシステムへの組み込みをほとんどソニーからの技術支援なく完了させた。



図4.3 Apricot PC

4.2 Apple社

4.2.1 TwiggyとLisa

Appleは1977年にShugartのSA400の機構部に自社開発の電気回路を組み合わせた5.25インチFDDを2台搭載したApple IIを導入して大きな成功を収めていた。Appleにとってフロッピーディスクは最も重要な技術、装置であったので、ロスアンゼルスにフロッピーディスクドライブの開発・製造部門を新

しく設立し、独自の機構と回路を持った5.25インチFDD(開発コード名Twiggy)の開発を進めた。

Twiggyは5.25インチ両面ドライブで、片面に46トラック、トラックを6ゾーンに分けて、各ゾーンでスピンドルモーターの速度を変えて内周と外周での線記録密度の差を少なくし、GCR(Group Coded Recording)記録、両面で871Kバイトのフォーマット記憶容量を達成していた。また、フロッピードライブの制御専用には6504マイクロプロセッサを使っていた。またTwiggyのディスクはジャケットに収められていて外形は従来の5.25インチディスクと同じであった。しかし、ジャケットには従来のヘッドウインドウとモーター軸に対して対称な位置にもう一つヘッドウインドウが設けられていた。ドライブには2組の磁気ヘッドとパッドが設けられ、一方の組は磁気ヘッドが下、パッドが上、他方の組は磁気ヘッドが上、パッドが下で磁気ディスクを挟むようになっていた。また、この2組の磁気ヘッドとパッドは一つのアクチュエータに固定されており、ペアの一方が内周にあると、ペアの他方は外周に位置され一体で動くようになっていた。

1983年1月、Appleは自社製5.25インチFDD“Twiggy”を搭載したLisaを発表した。Lisaは革新的なユーザーインターフェースを備えていて大きな反響があった。しかし自社製5.25インチFDD“Twiggy”がまともに動作せずエラーが多発し、Lisaの量産の目処が立たない状況が続いていた。

4.2.2 Macintosh

Appleはオフィス向け高級機のLisaと平行して、個人向けの使いやすく安価なパーソナルコンピュータ、Macintoshを1983年6月に発表する予定であった。MacintoshにもAppleの自社製5.25インチFDDのTwiggyを使うことで開発を進めていたが、Twiggyが正常に動作せず開発は暗礁に乗り上げていた。LisaはHDDを搭載していたので動作はある程度ごまかすことができたが、MacintoshはHDDを搭載しておらず、FDDがメインメモリーの役割を担っており、Twiggyが動かないと全く機能しなかった。

HPからAppleに移りMacintoshのAnalog Engineeringの責任者だったGeorge Crowは、HPがソニー製3.5インチMFDDを採用し市場で高い評価を得ていることをHPの友人から聞いていた。Macintoshのこの状況を打開するために、George CrowはHPの友人に頼んでソニー製3.5インチMFDDを譲ってもらった。自分の責任範囲ではなかったが、早速、評価しこのド

ライブの完成度が高いことを確認すると、上司である Macintosh の開発の責任者 (Director of Macintosh Division) の Bob Belleville に 3.5 インチ MFDD を検討することを提案した。Bob は Steve Jobs にソニーの 3.5 インチ MFDD を検討することを勧めたが、Steve は Twiggy にこだわった。しかし、Twiggy の目処が立たない状況が続き、ついに 3.5 インチ MFDD を検討することを承認した。George Crow 曰く「Apple 内で掃除夫も 3.5 インチ MFDD を使うべきだと言い始めた」。

ソニーはそれまでにシリコンバレーのクパチーノ市の Apple 本社を訪問して、3.5 インチ MFDD ミーティングをもっていたが、1983 年 1 月に Apple が Lisa に内製の 5.25 インチ FDD を搭載して発表したのを知り、3.5 インチ MFDD が採用される可能性はなくなったと判断していた。

4.2.3 ソニー「テル プロジェクト」

1983年3月10日に突然、Steve Jobs 以下Bob Belleville、購買責任者の Brian Robertson らの一行がソニー厚木工場を訪問した。ソニーからはソニー全体のノンコンスーマ事業を統括する副社長の森園正彦、営業担当常務の宮本敏夫、英文ワープロと 3.5 インチ MFDD の事業担当の第三事業部長の加藤善郎、課長の田中義禮、プロジェクトリーダーの筆者が出席した。

ミーティングの冒頭で Steve Jobs は未発表の Macintosh が如何に画期的なパーソナルコンピュータかを説明し、その Macintosh に 3.5 インチ MFDD を採用することを検討していると伝えた。ソニー側はソニーの英文ワープロの機能と特長を詳しく解説し、3.5 インチ MFDD もその一つであると説明した。ミーティングの途中で Steve Jobs が「両面ヘッ드의準備はできているか？ サンプルを見せてほしい」と尋ね、ソニーは用意していたサンプルを見せた。Steve Jobs が「これはソニー製か？」と尋ね、ソニーが「そうです」と答えた後、雰囲気は大きく変わった。Jobs は Macintosh 用カスタムドライブの説明をすることなくミーティングを切り上げた。Jobs はソニー厚木工場から都内のホテルへの移動の車中で「ソニーは 3.5 インチ MFDD のビジネスにコミットしていない。また嘘をついたので信用できない。今後ソニーと話し合うことを禁止する。アルプス と 3.5 インチ MFDD の開発を進めるように」と指示を出した。

当時アルプスは Apple から Apple II 用の 5.25 インチ FDD の生産委託を一手に受けていて、世界最大のドライブメーカーになっていた。Jobs 一行はソニー

を訪問する前にアルプスを訪問し、アルプスでの 3.5 インチ MFDD の開発状況を詳細に聞いており、ソニーが見せた両面ヘッドはアルプス製だったのだ。

ソニーの出席者は、Jobs が気まぐれな振る舞いをする人との評判を聞いていたこともあり、Jobs が途中で退席したにもかかわらずミーティングは成功裡に終わったと理解していた。

Macintosh の開発責任者の Bob Belleville は Steve Jobs の「アルプスを 3.5 インチ MFDD の開発パートナーとすること」の指示に対して、アルプスはまだ 3.5 インチ MFDD ドライブの試作段階であり一度も量産をした経験がなく、アルプスだけに頼るのはリスクが高いと考えた。そして Sony of America にコンタクトして至急日本からエンジニアを Apple 本社に派遣するように依頼した。

ソニーはこの依頼を Apple が Macintosh にソニー製 3.5 インチ MFDD を採用する意思表示とみなして「テル プロジェクト」を発足させた。この名前はシラーの戯曲「ウィリアム テル」でウィリアム テルが息子の頭の上のリングを見事に射貫く物語にちなんで付けられた。

4 月 6 日に筆者はシリコンバレーのクパチーノ市 Bandlely Dr の Macintosh Division を訪問した。受付では Bob Belleville と George Crow が待っていた。オフィス スペースに案内されると、そこには卓球台、ビリヤード台、アーケードゲームマシン、無料の飲み物の自動販売機、そしてハーレーダビッドソンのオートバイが置かれていて、とてもコンピュータを開発しているオフィスには見えなかった。

会議室に案内され、George Crow から Macintosh の状況とこれからやるべきことの説明を受けた。Macintosh システムはフロッピードライブ以外ほぼ完成しているので、できる限り他の変更なしに 3.5 インチ MFDD を使えるようにしたい。つまり Apple 内製の 5.25 インチドライブ、Twiggy のインターフェース仕様で 3.5 インチ MFDD を変更することであった。

主な変更点は下記であった。

(1) インターフェース

Macintosh は 20 ピンのコネクタを使用して、その中に電源、GND、そして入出力信号が配置されていた。(表 4.2 Macintosh 3.5 インチ MFDD インターフェース) またドライブへのコマンド信号、ドライブからの各種ステータス信号、および Read Data は、4 本ライン (SEL、CA2、CA、CA0) でデコードされて定義され、RD 信号に載せるよう

定義されていた。(表 4.3 Macintosh 3.5 インチ MFDD のコマンド)

George Crow は PLA (Programmable Logic Array) を用いて Macintosh からの信号を一旦 PLA に取り込み、PLA から 3.5 インチ MFDD の従来のインターフェース信号の定義に変換する設計を終えていた。

表 4.2 3.5 インチ MFDD Macintosh インターフェース

ピン番号	信号名	ピン番号	信号名
1	GND	2	CA0
3	GND	4	CA1
5	GND	6	CA2
7	GND	8	LSTRB
9	Eject	10	/WRTGATE
11	+5	12	SEL
13	+12	14	/ENBLE
15	+12	16	RD
17	+12	18	WRTDATA
9	+12	20	/CSTOUT

表 4.3 3.5 インチ MFDD Macintosh コマンド表

SEL	CA2	CA1	CA0	RD信号
0	0	0	0	/DIRITN
0	0	0	1	/STEP
0	0	1	0	/MOTORON
0	0	1	1	Eject
0	1	0	0	RDDATA(Head0)
0	1	1	0	/Single Side
0	1	1	1	/DRVIN
1	0	0	0	/CSTIN
1	0	0	1	/WRTPRT
1	0	1	0	/TKO
1	0	1	1	/TACK
1	1	0	0	RADATA(Head1)
1	1	1	0	/READY
1	1	1	1	/REVISED

(2) 線記録密度一定

Macintosh の DOS (Disk Operating System) は Zone CAV を前提に設計されている。つまりフロッピーディスクの 80 トラックを 16 トラックごとに五つの Zone に分け、各 Zone の線記録密度がほぼ一定になるように記録する。そのため、Macintosh の CPU はドライブからタコパルス (スピンドルモーターの回転速度を知らせるパルス) を受け取り、目的の Zone でスピンドルモーターが所定の速度になるように加速あるいは減速の指示をドライブに送る。

標準ドライブの 3.5 インチ MFDD、OA-D31V は 600rpm の一定回転数であった。Macintosh 用ドライブ、OA-D34V は Macintosh CPU からの信号でモーターの速度が可変にできるようにモーター駆動回路の変更を行った。表 4.4 にトラック Zone とそ

のモーターの回転数、セクター数、セクター・シーケンスを示す。

また、記録回路と再生回路定数を Zone CAV の線記録密度に合わせて変更した。

表 4.4 3.5 インチ MFDD Macintosh Zone CAV とセクタシーケンス

トラック番号	回転数 (rpm)	トラック Zone	1トラックのセクター数	セクタシーケンス
0-15	394	1	12	0-6-1-7-2-8-3-9-4-10-5-11
16-31	429	2	11	0-6-1-7-2-8-3-9-4-10-5
32-47	472	3	10	0-5-1-6-2-7-3-8-4-9
48-63	525	4	9	0-5-1-6-2-7-3-8-4
64-79	590	5	8	0-4-1-5-2-6-3-7

(3) Apple GCR

一般の 3.5 インチ MFDD は MFM の記録方式を採用していたが、Macintosh は Apple 独自の 6-8 変換 GCR (Group Coded Recording) を採用していた。この変換は Macintosh の CPU と IWM チップ (Intelligent Wozniak Machine) で処理され、WRITE DATA として送られた。ドライブ回路では Zone CAV と AppleGCR に適した記録回路と再生回路の定数の変更を行った。

(4) Eject Motor

Macintosh では CPU の処理の途中で磁気ディスクが取り出されないような仕様になっていた。すなわち、ドライブには手動のディスクのイジェクトボタンがなく、処理が終了すると CPU が磁気ディスクのイジェクト命令をドライブに出す仕様になっていた。

ソニーの標準ドライブはこのようなホスト CPU による磁気ディスクをイジェクトする機能は備えていなかった。見栄えはかなり悪かったが、窮余の一策でドライブ後部にモーターを取り付け、CPU からの信号でモーターを回転させイジェクトレバーを後部から強引に引っ張ることにした。

(5) 評価装置

フロッピードライブを動作させ、エラーレートの評価するためには測定器が必要である。標準仕様のフロッピードライブには評価装置が市販されていた。しかし、Macintosh 用のフロッピードライブはコントロール信号、モーター速度、転送レート、記録方式すべてが Apple 固有であり、市販の評価装置は使えなかった。Apple 内では Macintosh ベースでフロッピードライブ評価ソフトを開発し、Macintosh を使ってフロッピードライブの評価ができるようにしていた。ソニーにも同様の評価環境が必要であり、Macintosh をソニーに提供する

ように要請をした。George Crow が Bob Belleville にその要請を伝えると、Bob はその場で Resource Manager の Larry Kenyon を呼び、至急、Apple II で Macintosh をエミュレートした評価プログラムを開発するように指示をした。Macintosh はまだ発表前であり Apple 社外に持ち出すことは論外であった。

筆者が Macintosh 部門に滞在した3日間は George Crow とずっと会議室にこもってドライブ変更の設計をしていたが、その間 Bob Belleville は会議室の机の片隅に座って進捗を見守り、必要な情報があると担当のエンジニアを呼んで指示をした。ある時、Bob Belleville が「嘉本さん、すぐこちらに入ってください」とクロゼットの中に誘導した。後で聞いたところによると Steve Jobs が突然 Lab に現れたので、Jobs が筆者と顔を合わせないようにクロゼットに隠したとのこと。(このエピソードは後に Walter Isaacson 著のベストセラー「Steve Jobs」に記載され世界的に知られることになった。)

これらの変更を終えると、回路図および変更内容をソニー厚木工場のドライブの設計メンバーに送った。彼らはそれを受け取ると突貫で基板の版下を書き上げ、並行してプリント基板の試作・製造をしているソニー羽田工場に時間単位でラインを予約した。完成した版下を手で持ち込み、予約したラインでプリント基板を作成し基板を持ち帰った。スピンドルモーター担当の精密機器事業部も Macintosh 用モーターを早急に試作した。新しい回路を受け取ってから2週間足らずの4月20日、それらを組み立てて1台目ドライブが完成した。記録再生の評価をしてみたところ、全く性能が出なかった。その理由を探ったところ、ソニー仙台の磁気ヘッドのチームがコストを下げることを目的に新規の磁気ヘッドを採用していたことが判明した。急遽、従来の構造の磁気ヘッドを入手すると、再度5台のドライブを組み立てた。Apple II ベースのシステムで評価し、ほぼ問題なく動作することを確認した。

5月2日に筆者はこの5台のドライブを持って Macintosh Division を訪問し、早速、Macintosh に接続して機能をチェックしたところほぼ完璧に動作した。

5月3日の午前中には Bob Belleville が、筆者と Apple の5~6人のメンバーとのミーティングを設定した。3.5 インチ MFDD の企画、センタリング方式、

磁気ヘッド送り機構、磁気メディア、磁気ヘッド等について詳細な質問がされ、筆者が答えた。後でわかったが、このメンバーは Apple 内製ドライブ責任者の John Moon と彼の部下であり、3.5 インチ MFDD の内容とソニーのレベルを確認することを目的に設定された会議だった。

5月4日、George Crow と筆者は 3.5 インチ MFDD ドライブを恒温槽に入れ、エラーレートのエージング試験を設定し、夕食に行った。夕食の後、Lab に戻ると、そこに Steve Jobs が立っていた。George Crow が「ソニーのエンジニアの嘉本さんです」と紹介すると、Steve Jobs は握手を求め、「素晴らしいドライブ、おめでとう！ 明後日、一緒に食事をしよう」と招待した。

5月6日の食事会には Steve Jobs、Bob Belleville、George Crow そして筆者が参加したが、Jobs は開口一番「嘉本さん、ソニーを辞めて Apple に転職して 3.5 インチフロッピードライブの開発をしないか？」と提案した。筆者が「どういうことですか？」と尋ねると、Jobs は「計画では Macintosh はこの6月に発表の予定であった。しかし、フロッピードライブが動作せず発表の見通しが立てられないでいる。私は 3.5 インチフロッピードライブを使うことに決めた。しかし、ソニーはフロッピーディスク事業に真剣ではなく、また信用できないと思っている。あなたが Apple に来て、フロッピードライブの開発を指揮し完成させて欲しい」と説明した。筆者が「今回、Macintosh 用 3.5 インチフロッピードライブを短期間に準備できたのは、ソニー内のドライブ事業部、モーター事業部、磁気ヘッド事業部のエンジニア達が協力したことによる。このドライブを速やかに完成し量産するにはソニーを使うのが不可欠であり、私はソニー内で協力するのがよいと思います」と答えた。Jobs はしばらく思案した後、「わかった。私は 3.5 インチドライブをソニーに依頼することを決めた。至急1か月以内に 200 台作って提供してほしい」と要求した。

筆者が「ドライブを1か月以内に 200 台生産して出荷するためには、直ちに部品を発注し、また工場の手配をしなくては間に合いません。今晚、日本に電話をしてそのお願いをします。この 200 台にかかった費用をカバーして必ず購入することをコミットしてください」と言うと、Jobs は「わかった」と答えた。

ソニー製 3.5 インチ MFDD の Macintosh 搭載が決まった瞬間であった。

筆者は夕食が終わりホテルに帰ると早速に、当時、副事業部長だった松山政義に電話をした。松山は快諾し、すぐさま部品発注と工場の手配と関連部門への依頼を指揮した。200台のドライブは6月20日にAppleに向けて出荷された。7月には300台、8月には200台の出荷がされた。

その間、並行してApple内では3.5インチMFDDを収めるためMacintosh筐体の設計変更が行われた。FDDはCRT、CPUメイン基板とともにMacintoshの筐体の中に収められていたため、CRTから強烈な磁気ノイズが発生した。そのノイズをフロッピーの磁気ヘッドが拾うので、厚いアルミニウムでドライブをシールドした。最も深刻だったのは、動作中のMacintosh筐体内の温度上昇であった。Macintosh筐体内にはCPUロジック基板回路、電源回路、CRTとその駆動回路、そして3.5インチMFDDが入っていた。動作中にこれらのデバイスが発生する熱で磁気ディスク周辺の温度が70℃近くまで上昇し、磁気ディスクの使用上限温度の60℃よりはるかに高くなった。その原因はMacintosh筐体に外気を循環させるためのスリットが全く設けられていなかったためであった。これではフロッピーディスクは正常に動作しないことを工業デザイナーのJerry Manockに説明したところ、彼は新しい筐体のデザインに着手した。それから数日後、Jerry Manockが血相を変えてやってきて、「Steveが通り掛かり、通風スリットの入った新しい図面を見つけて、このスリットは認められないと図面を破ってゴミ箱に捨ててしまった」と訴えた。Jobsは工業デザインに対して大変センシティブで、Macintoshの筐体にスリットを入れることを厳しく禁止していた。George Crowはペリカンの口のような大きなファンで筐体の中の空気をかき回すことも考えたが、効果はなかった。磁気ディスクを60℃以上の環境で使うとベースフィルムの軟化が始まり、磁性特性も劣化するので絶対に避ける必要があった。Bob Bellevilleのオフィスに行き、このことを説明したところ、急遽、Bobは筆者を伴ってJobsのオフィスに行き通風用のスリットの必要性を説明した。なんとかSteveの了解を得ることができ、Jerry Manockはスリット付きのMacintoshの新しい筐体の設計に取り掛かることができた。

7月上旬にSteve Jobs一行は再度ソニー厚木を訪問した。ソニー側からは森園、宮本、加藤、田中、筆者が参加した。Jobsはソニーに3.5インチMFDDを

採用することを伝え、量産価格を交渉した。ソニー側は清水の舞台から飛び降りる覚悟で100ドルを提示したが、Steve Jobsは1台50ドルを要求した。厳しいやり取りの後、常務の宮本が「真ん中をとって75ドルでどうですか？」と提案して、合意に至った。ちなみにその時HPに1台145ドルで販売しており、75ドルでは完全な赤字であった。ドライブ事業としては厳しいスタートとなった。

また、このミーティングの席上、Steve Jobsはソニーのドライブを採用する条件として、「第2世代のフロッピードライブの目標仕様を提示して、ソニーがただちに開発に着手し、1年以内に商品化すること」をコミットすることを要求し、ソニーは了解した。

これを受けて第三事業部内に第2世代3.5インチMFDDの開発チームが発足した。

一方、このミーティング後ただちにMacintosh用3.5インチMFDD、OA-D34Vの量産準備が進められ、9月には量産が開始され10月17日に初期ロット2,000台が出荷された。その後、Macintoshの発表まで月産2万台の出荷が継続された。

しかし、すべてが順調だった訳ではなかった。ソニーのラインで最初のロットで磁気ディスクのセンターリング不良が多発した。調べた結果、駆動ピンを支える板バネが疲労してバネ力がなくなっていることが判明し、モーターを全数改修した。

更に深刻な不良はAppleのMacintoshの製造ラインで発生した。AppleのFremont工場では最初のOA-D34V 2000台を組み込んだMacintoshに24時間の高温エージングを行ったところ不良が多発した。調査の結果、セカンドソースとして使ったステッピングモーターの周囲温度が高くなると特性が劣化し、電源投入直後のキャリブレーション動作で脱調することがわかった。Fremont工場にて対象のステッピングモーターを搭載したドライブを恒温槽に入れて全数選別を行った。恒久対策はセカンドソースのステッピングモーターの性能向上とバラツキを抑えること、またドライブのマイクロプロセッサのプログラムを変更し電源投入後のキャリブレーション時のステッピングモーターの駆動パルス間隔を変えた。

Macintoshは1984年1月23日にDe Anza大学の「Flint Center for Performing Arts」で発表された。Jobsは「今のところ、歴史に名を残すパソコンはたった二つしかない。一つは1977年に発表されたApple II、もう一つは1981年に発表されたIBM PC。Lisaの登場から1年後の今日、我々は歴史に名を残す三つ目の製品を発表することになる。Macintoshだ。



図 4.4 初代 Macintosh

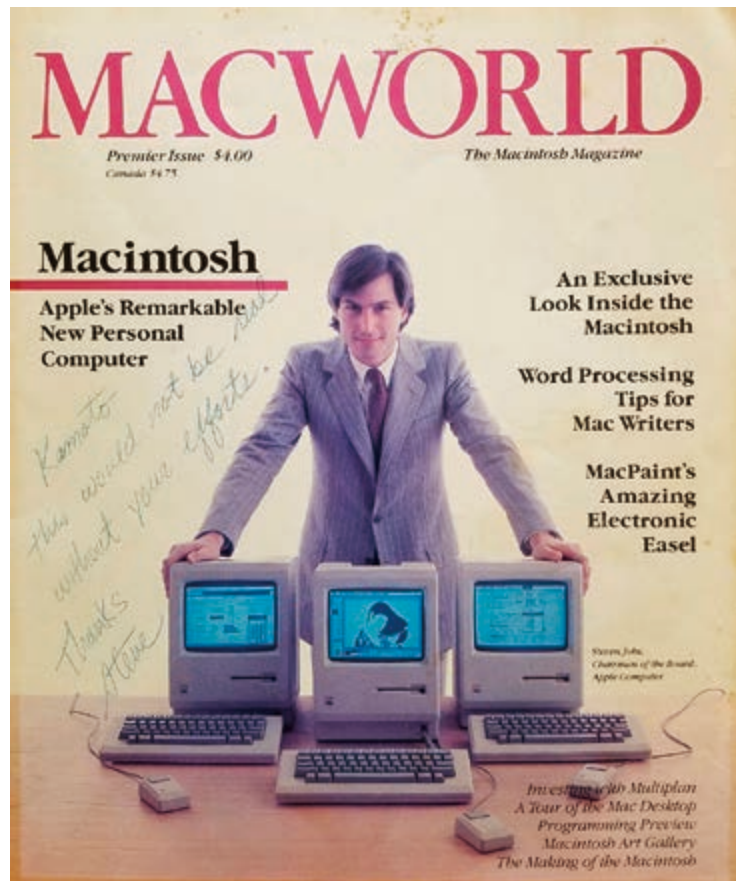


図 4.5 Steve Jobs からのプレゼント

我々はこの2年間、Macの開発に取り組んできた。その成果はInsanely great ‘メチャクチャすごい’と、Macintoshを紹介した。(図4.4) MacintoshはHDDをまだ搭載しておらず、代わりに3.5インチ(400Kバイト)の片面倍密度フロッピーディスクドライブ、OA-D34Vを搭載していた。この400Kバイトのフロッピーディスク1枚に、MacのOSと二つのアプリケーションが入っていた。

筆者はこの発表に招待され出席した。発表の後、Steve Jobsは筆者に「MAC WORLD」の創刊号をプレゼントしてくれた。その表紙には“Kamoto, this could not be real without your efforts. Thanks, Steve”と記されている。(図4.5) また“IN APPRECIATION HIDETOSHI KAMOTO, AppleComputer”と刻印されたプレートを埋め込んだMacintoshを1台、筆者に贈与してくれた。

OA-D34Vは1984年の夏には毎月20万台を出荷することになった。

HPに続いてAppleが3.5インチMFD/MFDDをMacintoshに採用したことにより、3.5インチMFD/MFDDはFDD市場に於いてデファクト標準となった。ANSI、ECMA、ISOの国際標準への大きなステップであった。

【参考・引用文献】

- 1) 高橋昇司「フロッピーディスク装置のすべて」CQ出版株式会社、1989年
- 2) 嘉本秀年「私家版 データストレージの歴史」1999年11月30日
- 3) 「Sony enters OEM market with 3.5 inch. floppy」MINI-MICRO STSTEMS、April 1981より筆者が主旨を汲んで翻訳
- 4) 「MAC WORLD」Jan, 1984より筆者が主旨を汲んで翻訳
- 5) 「伝説のデビューから25年、初代Macを振り返る」<https://www.itmedia.co.jp/pcuser/articles/0901/24/news010.html>
- 6) Frank Rose「West of Eden」 Viking、1989年
- 7) Walter Isaacson「Steve Jobs」 Simon & Schuster、2011年

【George Crow】

Macintoshのアナログエンジニアリングの責任者。CRT回路、電源回路等を設計。Apple内製の5.25インチFDDが動かないためMacintoshの開発が暗礁に乗り上げている状況の中、HPから3.5インチMFDDを取り寄せ評価。これこそがMacintoshにふさわしいフロッピーディスクだと3.5インチMFDDをSteve Jobsに強く勧め、Jobsを説得した。MacWorldの創刊号でGeorge Crowは「1983年5月はMacintoshの外筐の金型発注のギリギリの期限であったが、フロッピーディスクドライブが決まっていなかった。その状況下でソニーは極めて短期間に3.5インチMFDDを持ち込み、それは見事に動作した。これからMacを使う人たちはMacに多くの魅力を見出すであろうが、3.5インチフロッピーディスクは最大の魅力の一つだ」⁴⁾と述べている。

George Crowは3.5インチMFDD導入が決まり軌道にのると、フロッピーディスクの責任をApple内製5.25インチの責任者だったJohn Moonに譲り、本来のアナログエンジニアリングの責任者に戻った。彼は3.5インチMFDDの体験からソニーとの関係を継続することを望み、彼が責任をもっていた音響用IC、電源、白黒モニター、トリニロンモニター等のビジネスをソニーと行った。特にトリニロンモニターは従来の白黒モニターのOEM価格の2倍程度していたが、Macintoshの高精細度の特長とマッチして大ヒット製品となった。

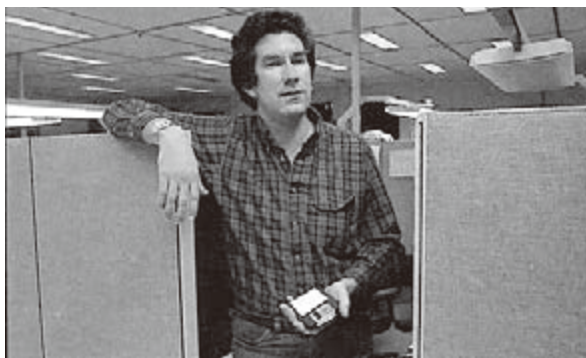


図4.6 George Crow
3.5インチMFDD Macintosh搭載の功労者

5 | 次世代 3.5 インチ MFDD の開発

3章で第1世代の51mm高さの3.5インチMFDDの企画と開発を説明した。5章では第2世代の両面1Mバイト31mm高さの3.5インチMFDD、更に両面2Mバイト3.5インチMFDDそして両面4Mバイト3.5インチMFDDの企画と技術内容を説明する。

5.1 第2世代1Mバイト3.5インチMFDD (2DD)

5.1.1 企画

1983年7月の初旬にAppleのSteve Jobsはソニー厚木工場を訪問し、Macintoshにソニーの第1世代3.5インチMFDD採用をすることを正式に伝えた。その席で採用の条件としてJobsはソニーがただちに第2世代のドライブの開発に取り掛かることを要求した。

第1世代のドライブと第2世代のドライブの比較を表5.1に示す。

- ・記憶容量を2倍：両面1Mバイト
- ・ドライブ高さを半分：25.4mm (25.4mmを目指したが、カートリッジ自動挿入機構&排出機構を入れ31mmとなった)
- ・Track to Track アクセスタイム：6msec
- ・消費電力を半分：3W
- ・ディスクの自動挿入を標準装備
- ・ディスク排出機構を標準装備
- ・価格は50ドル以下

事業部長の加藤はこの目標仕様に加えて、ドライブは自動ロボットで生産できることを加えた。

ソニーの第三事業部に第2世代のドライブの開発チームが結成され、OEM価格50ドルを目指して「50

プロジェクト」と命名された。

5.1.2 薄型化の実現

薄型化を実現するためにはステッピングモーターの小型化とディスクモーターを含むシャーシ構成が課題であった。

(1) ヘッド駆動機構

30mmを実現するためには、スチールベルトと偏平ステッピングモーターを使う方法と、リードスクリューと小型PM (Permanent Magnet) 型ステッピングモーターを使う方法の二つが考えられた。そこで、両者の価格および問題点の比較を行った。



スチールベルトタイプの基本構成部品はハイブリッド型ステッピングモーター、プーリー&スチールベルトであり、リードスクリュータイプではPM型ステッピングモーター、リードスクリュー、軸受け部、その他板金部品である。モーターの比較では、ハイブリッド型は内部構造が複雑であり、コイルブロックの数が多いため、PM型に比べて約3倍程度の価格である。プーリー&スチールベルトとリードスクリューの比較では、リードスクリューの方がやや高い程度であり、トータルコストで比較するとリードスクリュータイプはスチールベルトタイプのコストの60~70%に収まる。

スチールベルトタイプの問題点は、モーター軸と軸受間のラジアル方向ガタがヘッドの位置精度に直接影響を与えることであり、プーリー径の誤差、振れ、スチールベルトの厚さむら等の影響もあり、135tpiでの量産が疑問であった。ただし、3msecのTrack to Track アクセスタイムの実現は容易である。

リードスクリュータイプでは、第1世代のドライブでの100万台を超える生産台数に裏付けされたknow-howと後述する位置精度の良さがあり、第2世代ドライブでもリードスクリュータイプを採用することにした。

ステッピングモーターの外形寸法はφ30mm以下であれば使用可能であり、外形寸法に比例して発生トルクも大きくなる。しかしロータマグネットの慣性モーメントも大きくなり、コイルへの入力電流を同じにして比較すると“発生トルク/慣性モーメント”は外径が小さいほど大きい。つまりアクセス

表5.1 第1世代3.5インチMFDDと第2世代1MB3.5インチMFDD

項目		第1世代3.5インチMFDD OA-DXX Series	第2世代1MB3.5インチMFDD MP-FXX Series
外形	高さ	51mm	31mm
	横幅	102mm	101.6mm
	奥行	130mm	150mm
	重量	650g	470g
フロントパネル			
アクセスタイム	Track to track	12msec	6msec
	Average	350msec	175msec
	Settling	30msec	15msec
ディスクモーター	Start Time	400msec	200msec(TBC)
	瞬時回転変動	±2.5%	±1.0%
	1周回転変動	±2.5%	±1.5%
消費電力		6W	2.6W
信頼性	MTBF	8000POH	10000POH

タイムの高速化と低消費電力化を実現するためには市場性の良い小型φ20mmのステッピングモーターを使用することにした。ただしステッピングモーターを小径化すると発生トルクの絶対値は小さくなり、キャリッジ負荷の影響する割合が大きくなるため、キャリッジの軽量化を図り、またキャリッジガイド軸とリードスクリューの位置を低負荷になるよう設計した。

更にFDDの取り付け姿勢差も考慮し、図5.1に示す構成にした。ガイド軸とリードスクリュー間の距離をなるべく短く、キャリッジ軸受間の距離をなるべく長く、キャリッジ上のヘッド取り付け位置はリードスクリューの中心線上に近づけることを基本的な考えとした。これによりガイド軸部分での摩擦が減少し、さらに軸受が持っているガタによる位置精度エラーが小さく抑えられた。

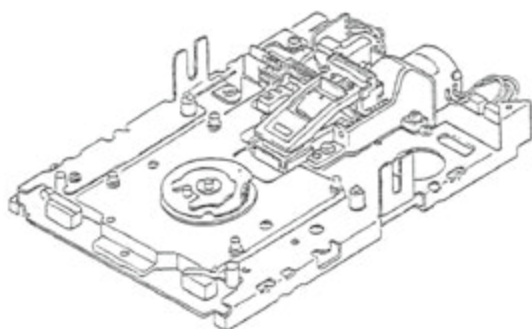


図5.1 シャーシとヘッド駆動機構

また、ステッピングモーターはリードスクリューをモーター軸とする構造にし（図5.2）、回路基板もステッピングモーター部分を逃げる必要がなく有効に使うことが可能になった。

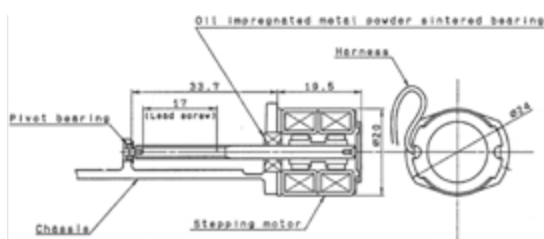


図5.2 φ20リードスクリュー一体ステッピングモーター

(2) ディスク駆動機構

図5.3に第2世代3.5インチMFDD、MP-Fシリーズのディスクモーターの構造を示す。第1世代3.5インチMFDD、OA-Dシリーズではディスク駆動機構の全高は25mmであり、シャーシ穴を利用して位置決めをした後に固定する構造であった。

MP-Fシリーズでは全高を15mmに抑え、軸受をシャーシに直接形成する構造とし、また、モーター用コイル、サーボ回路、R/W回路、コントロール回路を1枚の基板に収めた。更にヨークを回転可能としたことにより、鉄損が減少し無負荷時消費電流も少なく抑えることができた。また、FDDとして組み立て後のアジマス精度についても、ディスクモーター取り付け時に発生する誤差要因がないため非常に有利であった。全高を低くすると軸受間距離が短くなり、軸振れが発生しやすくなるがこのような軸受構造にすることにより、軸受間の距離を長く保つことができ、OA-Dシリーズとほぼ同等の性能が得られた。

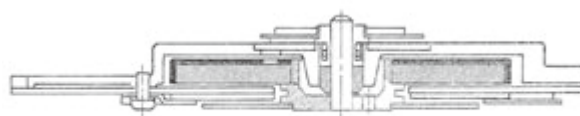


図5.3 ディスクモーター構造

5.1.3 高性能・高信頼性技術

(1) ヘッド位置決め機構

MP-Fシリーズは外径φ20mmのPM型ステッピングモーターとリードスクリューを用いてヘッドを移動させる構造である。このような構造をとった場合、ステッピングモーター関係で発生するヘッドの位置精度に影響を与える誤差要因として次の項目がある。

- ①ステッピングモーターの静止角度誤差
- ②ステッピングモーターのヒステリシス
- ③リードスクリューの加工精度

更にFDDとして発生する誤差要因として、温湿度膨張や両面の場合にはSide0とSide1のヘッドオフセットの精度も考えられるため、ステッピングモーター関連では±10μmが許容限度と考えられる。

ステッピングモーターの静止角度誤差については、モーターが4相であれば4ステップ/トラックとすればモーター自体の静止角度誤差は少なくなるがアクセスタイムを短縮できない。そこで静止角度誤差は累積しないため2ステップ/トラックとすればヘッドの移動距離に変換した時の静止角度誤差の影響は1/2になる。つまり、PM型の場合±5%が実力であるが、2ステップ/トラックとすれば2.5%に抑えられ、ハイブリッド型の実力値2~3%と同等になる。(±2.5%は±4.7μmに相当する。)

リードスクリューの加工精度は加工時の管理を徹

底する必要があるが、現状で $\pm 5\mu\text{m}$ に入っていた。

モーターの発生するトルク自体が小さく、モーターに加わる負荷トルクから計算するとヒステリシスだけで許容誤差の $\pm 10\mu\text{m}$ を超えてしまう結果になってしまった。しかしヒステリシスはモーターをある停止位置へ両方向から回転させるために発生するものであり、常に最終停止位置に同方向から回転させるようにすれば発生しない。これを利用してステッピングモーターのコントロール方式を工夫し、ヒステリシスを少なくする方法を考案した。つまりトラック $N - 1$ およびトラック $N + 1$ からトラック N へヘッドを移動させる時に、ステップセトリングタイム間に数回ステッピングモーターを微小振動させ最終的に同方向から回転させて停止させればヒステリシスはほとんど発生しないことが確認できた。この方法を採用したことにより図 5.4 に示すようにステッピングモーターの $\theta - T$ 特性と負荷トルクから決まるヒステリシスを大幅に減少させることができた。

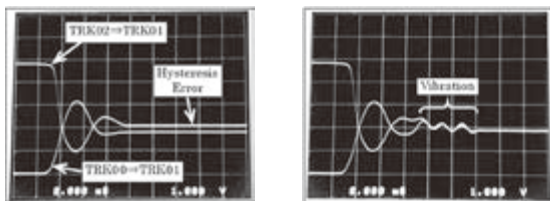


図 5.4 ステッピングモーターのヒステリシス除去

これらの対策の結果、①、②、③を加算してもステッピングモーター関連の精度は $\pm 10\mu\text{m}$ 以下にすることができた。

(2) ディスクモーターの特性改善

MP-F シリーズではディスクモーター単体が存在せずドライブの Ass'y 段階でモーターが組み立てられる。このため、設計当初から無調整を前提に進めた。また、コストを下げるためにヘッドロード機構をなくし、ディスク挿入時にヘッドは常時ディスクに接触するが、ディスクの寿命を確保するために記録・再生時にモーターをオンし、それ以外ではオフにすることにした。したがってモーターのスタートアップ過度特性を良くする要求があり、また、Macintosh では Zone ごとにディスクモーターの速度が異なるため、Zone が変わった時のモーターセトリングタイムを短くすることは必須であった。

この無調整化、過度特性の改善を実現するためデジタルサーボを採用し、更に従来の回転数制御デジ

タルサーボシステムに替えて新しいデジタルサーボシステムを導入し良い結果を得た。

従来のモーター制御システムは図 5.5 のような構成であり、基本的に基準信号の周波数とモーターからフィードバックされる FG 信号の周波数との偏差をパルスデューティに比例させるか、もしくは偏差に比例したアナログ出力を出すかして、回転数を比例制御しようとするものである。結果として、次の欠点が残った。

- ・二つの周波数は原理的に定常偏差をもつ。
- ・同様に対負荷特性をもつ。
- ・目的回転数に到達するまでにオーバーシュートおよび振動が避けられず、制定までに時間がかかる。

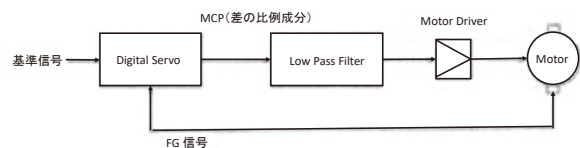


図 5.5 従来の Motor 制御システム

そこで MP-F シリーズには図 5.6 に示す構成を採用した。この回路では 1 時点前の FG 周期のデータをメモリーしておき最新データとの比較を行うという演算が追加されており、これは制御理論に於ける微分制御に相当するものである。

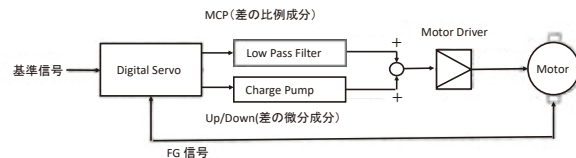


図 5.6 新 Motor 制御システム

この制御方式により従来の制御方式の三つの欠点を全て克服した。

- ・定常偏差はロジック IC の発振子の誤差以外はもたず調整が不要である。
- ・対負荷特性はサーボ脱出域までは完全にフラットな特性である。
- ・整定時間はトルクを大きくするため大径のロータを採用したにもかかわらず、従来 (図 5.7) に比べて、図 5.8 に示すように大幅な改善が得られた。

この微分制御を含んだサーボ IC は市販されておらず、汎用ロジック IC で実現しようとする、かなりの大規模な回路を組むことになってしまう。そこで、このサーボ回路とインターフェースのコント

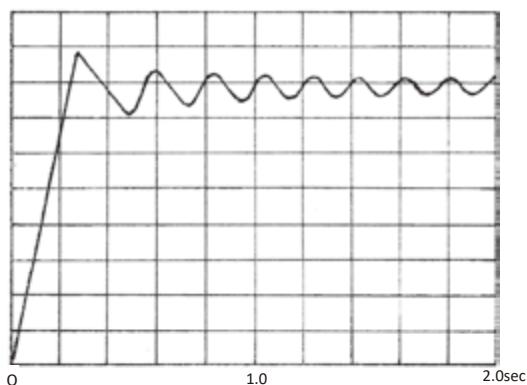


図 5.7 従来の Motor 制御システムのスタート特性

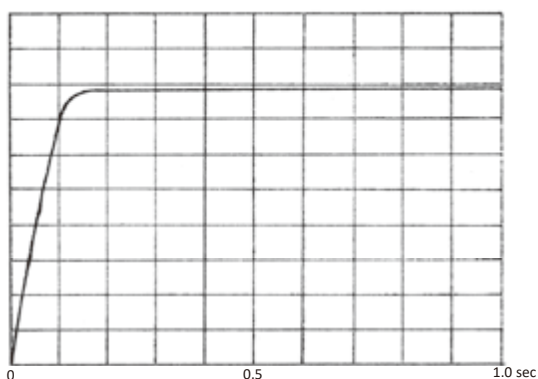


図 5.8 新 Motor 制御システムのスタート特性

ロール回路とともにカスタムのロジック IC を開発した。その結果、電気回路はカスタムのロジック IC、リードライト IC、ディスクモーター駆動 IC、ステッピングモーター駆動 IC の構成を実現できた。

5.1.4 高生産性へのアプローチ

3.5 インチ MFDD が ANSI、ECMA、ISO そして JIS で標準化されたことにより、多数のドライブメーカーが 3.5 インチ MFDD の市場に参入してきた。また、Steve Jobs の要求の 50 ドル OEM 価格を実現するためにも、生産性の高いドライブを設計することが不可欠であった。

(1) ヘッド

高生産性の新しいアプローチとして図 5.9 のような短磁路長ヘッドを開発した。このヘッドは、従来ヘッドと異なり、ヘッドコイルをベース面 (Side 1 ではジンバル面) よりギャップ側に出しトータル磁路長を短くし、後ろ側にコイルのはみだしがなく薄型になったことである。それとともにヘッドチップの製造工程上二つのヘッドチップをコアの加工工程から双生児のようにペアで加工し、ギャップ側での最終カットを行った時点で同時に 2 個のヘッドチッ

プが完成するという、大変生産性の高いプロセスを導入した。これは、アライメントの自動化と合わせてローコスト化に大きく貢献した。

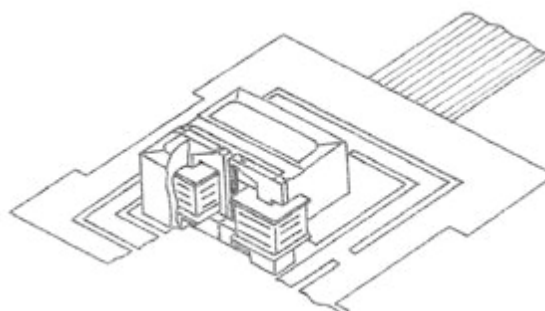


図 5.9 短磁路長ヘッド

(2) ディスクモーター

FDD のヘッドギャップのアジマス、オフセットは、シャーシ上のヘッドの動きの基準となる軸 (ガイド軸) とディスクモーターのスピンデルセンターとの相対的な位置関係で決まる。すなわち、シャーシ上にスピンデルセンターを精度良く配置することで互換性を確保する上で最も大切なアジマス、オフセット等の精度が決まる。

3.5 インチ MFDD のトラックとヘッドギャップの関係は、図 5.10 に示すように RW ギャップとイレーズギャップの位置はスピンデルセンターの法線に対して各々 0.35mm オフセットした位置に配置され、イレーズヘッドによる消しすぎ、消し残りを極力抑えるようにしている。したがって、スピンデルセンターの X 方向のずれは、オフセットの関係をくずすことになる。また、ディスクモーターのチャッキング面とヘッドの高さはヘッドの当たりに影響を及ぼす。第 1 世代のドライブではシャーシおよびモーターの基準となる面をかなり厳しい精度で押さえて、特性を確保した。

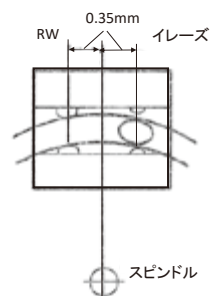


図 5.10 3.5 インチ MFD ヘッドアライメント

一方、第2世代のドライブでは既述のようにディスクモーター単体の構造をやめ、シャーシをそのままモーターの軸受けとして利用した。また、メイン基板上にモーターコイルを配置し、従来あったモーター基板とメイン基板のコネクションもなくした。

従来の構造だとモーター側、シャーシ側にそれぞれ X-Y 方向の基準となる部分、高さ方向の基準となる部分の計4か所の高精度部分が必要であったが、第2世代では1か所のマシニングで済み、生産性の向上に貢献した。

(3) PC 基板

第2世代の FDD モデルに於いては下記の課題に挑戦した。

- ・シャーシ対向面に部品を持ってきてメカ部の隙間に配置し、部品の高さがドライブの厚さに影響を与えないこと。
- ・ほとんどの部品を半田面に持ってきて部品面の負担を軽くすること。
- ・モーターコイルをメイン基板上に配しモーター一体構造をとること。
- ・基板のマウントおよびチェックは完全自動で行うこと。

結果として、ケミコン、インダクタを除くすべての C、R 部品をチップ部品化して半田面に配し、自挿対応するとともに、ミニフラット IC のマウントには、ロボットによる位置決めからレーザー半田付けという新しい工程を実現し、基板供給から最終検査まで完全自動化を達成した。

レーザー半田付けは、ディップ時の残り半田の利用というユニークなプロセスで、半田面にすべての半田付け部品を配置したメリットが活かされた。また、ミニフラット IC の自動マウントの方法としてリフロー法を採らなかったことにより、基材の自由度が広がった。

(4) シャーシ構成

図 5.11 に第2世代シャーシの構成を示す。その主な特長は下記である。

- ・すべてのパーツはシャーシに対して上あるいは下から取り付けることができ、ネジも上下方向のみである。
- ・基板がシャーシに突き当たって配置されているため、工程上の電気チェックが下からのピンボードにより他のメカ部にストレスを与えることなく自動的に行える。

- ・モーターが基板およびシャーシと一体構造であるため、厚み方向のロスが少ない。
- ・外部との取り付け部はシャーシとは別の板金を使っているため、取り付け側の歪みは板金で吸収され、シャーシ上のヘッド位置決め機構に影響を与えにくい。

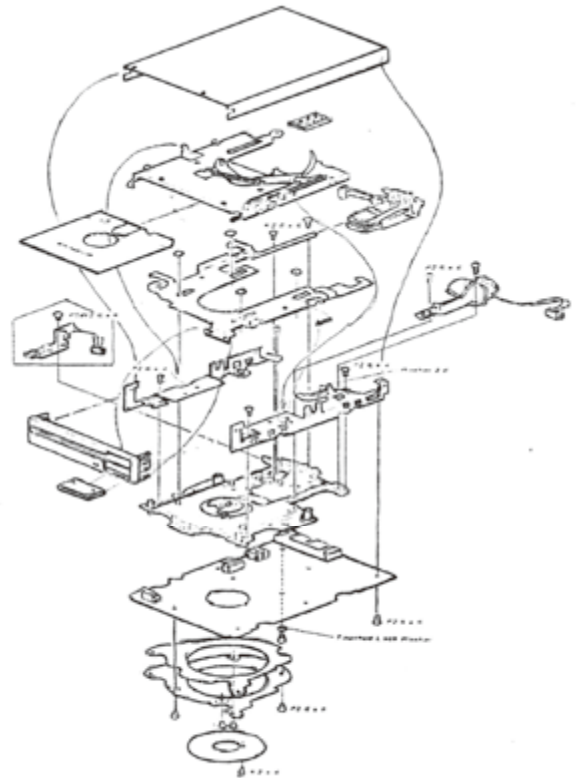


図 5.11 第2世代 3.5 インチ MFDD シャーシ構成

5.1.5 第2世代 3.5 インチ MFDD Macintosh 用モデル

3.5 インチ MFDD の Macintosh 用モデルのインターフェース信号は第1世代とディスクモーターの制御方法を除いて第1世代と同様であった。

Macintosh のディスクフォーマットは Zone CAV となっていて、Zone ごとにディスクモーターの速度は異なる。第1世代ではドライブは TACH パルスを出力し、Mac の CPU がモーター速度を計測して所定のスピードになるように加速・減速の信号をドライブに入力した。第2世代では Macintosh の CPU がドライブにディスクのトラックを指定すると、ドライブの新しく設計したカスタムロジック IC がディスクモーターの速度になるようにコントロールするようにした。これによりディスクモーターのセトリングタイムを短縮でき、ドライブの性能を向上することができた。また、Macintosh を用いることなくドライブ独自

で各トラックのモーター速度が決まるので、製造ラインでの電磁変換系の測定が容易になった。

第2世代の標準モデルを図5.12に、Macintosh用モデルを図5.13に示す。標準モデルとMacintosh用モデルで異なるのは回路基板とカセコンのみで、他の機構はすべて共通である。Macintosh用モデルではカートリッジをMacintoshの表面パネルの手前2cm程度まで押し込むと、後は自動的に引き込まれる自動挿入機構を持ち、また、カートリッジの排出はCPUからの命令で自動的に行われる。また、緊急事態にはMacintoshの筐体に設けられた小さな穴からクリップを差し込み手で排出（イジェクト）できるようになっている。

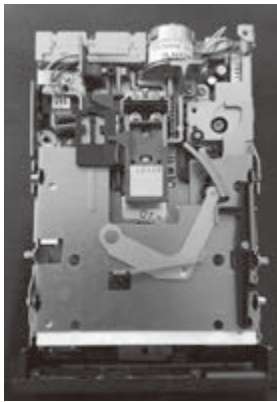


図 5.12 両面 1MB 30mm 標準モデル

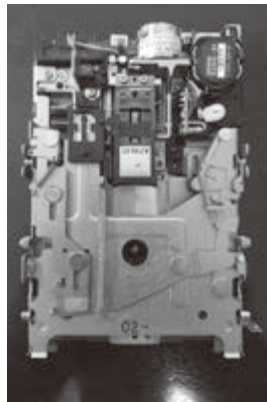


図 5.13 両面 1MB 30mm Macintosh モデル

Macintoshモデルの最大の難題はカートリッジの自動挿入機構であった。設計担当者が半年近く試行錯誤したが、満足する機構はできなかった。そこで、当時、第2世代FDDの自動化製造ロボット開発の責任者であったソニー生産技術本部の部長の今常義に協力を求めた。今はロボットの開発を中断し、彼の5人のメカエンジニアに自動挿入機構の仕様を説明し、各自に独自構想で自動挿入機構を設計させ、部品を発注し、組み立てを行った。完成後、5人全員が集まって各々が自分の機構を説明し、お互いに評価し合い、最も素性の良いと思われる機構を推薦した。このプロセスを1.5か月で完了した。

図5.13がその機構である。もし、今のリーダーシップがなかったならば、Macintosh用の第2世代3.5インチMFDDの成功はなかったのではと思う。

5.2 2Mバイト3.5インチMFDD(2HD)の開発

1985年7月25日にソニーは1.6Mバイトおよび2.0Mバイトの記録が可能な3.5インチFD“HD”を発表した。その後10月には、ソニーは2.0Mバイトの3.5インチMFDD、MP-F73Wを発表した。MP-F73Wは2.0Mバイト“2HD”と1.0Mバイト“2DD”の両方のディスクとも読み書きが可能であった。

国内各社は1.6Mバイトおよび2.0Mバイト対応の3.5インチMFDDを一斉に発表し、1986年3月末までには10社の発表があった。当時、NTTが5.25インチFDで1.6Mバイトを推進しており、日本では3.5インチドライブも1.6Mバイト対応のドライブを準備し、日本メーカーはどちらかと言えば2.0Mバイトよりは1.6Mバイトドライブが業界標準になることを期待していた。

一方ソニーは2Mバイトの3.5インチドライブを強力に推進した。その理由として、記録容量は大きいに越したことはなく、その当時、IBM PC互換市場で使われているディスクは1Mバイト5.25インチFDがほとんどであったが、3.5インチ“2HD”の片面に5.25インチ両面のデータを移すことができた。また、スピンドルモーター速度を300rpm一定で2Mバイトディスクでは500Kbps、1Mバイトディスクでは250Kbpsの標準転送レートになる。一方、1.6Mバイトディスクで転送レートを500Kbpsにするにはモーター速度を360rpm、1Mバイトディスクで250Kbpsの転送レートにするには300rpmと二つの異なったモーター速度を持つドライブが必要になる。

1987年4月にIBMがIBM PS/2を発表し2Mバイト3.5インチMFDDを搭載したことにより、この論争の決着がついた。

表 5.2 3.5インチMFDD 2Mバイトと1Mバイトの仕様の比較

主な仕様	2Mバイト	1Mバイト	
ディスク	磁性材料	Co-γFe ₂ O ₃	Co-γFe ₂ O ₃
	抗磁力(Oe)	720	625
	残留磁束密度(G)	750	700
	角型比	0.7	0.7
	配向性	0.95	0.95
	塗布厚(μm)	0.9	1.9
ヘッド	R/Wギャップ(μm)	0.7	1.7
	R/Wギャップとイレースギャップ距離(μm)	350	700
	RWギャップ幅(μm)	131	131
	巻き数	160x2	160x2
	記録密度(bpi)	17434	8717
装置	ディスク回転数(rpm)	300	300/600
	データ転送速度(Kbps)	500	250/500
	電気特性	2Mバイト	1Mバイト
記録電流	1.0	1.0	
1F出力(トラック00)(mV)	3.88	6.64	
2F出力(トラック79)(mV)	1.64	3.49	
分解能(トラック79)(%)	74.2	80.3	
オーバーライト(トラック00)(dB)	-30.0	-32.0	
ピークシフト(トラック79)(ns)	240	191	

出典：日経エレクトロニクス 1986年5月5日号
P.134表6を基に改変

1Mバイト3.5インチMFDDと2Mバイト3.5インチMFDDのディスク、ヘッド、ドライブの仕様の比較を表5.2に示し、主な変更を以下に説明する。

5.2.1 磁気ディスクとカートリッジ

(1) カートリッジ

図5.14に2Mバイト3.5インチMFDの外形図を示す。カートリッジの右下に2Mバイトディスクであることをシステムが判別できるようにIDホールを設けた。またディスクを目視で認識するためにカートリッジの右上に図5.15に示す“HD”マークを設けた。それ以外は1Mバイト3.5インチMFDと同じである。

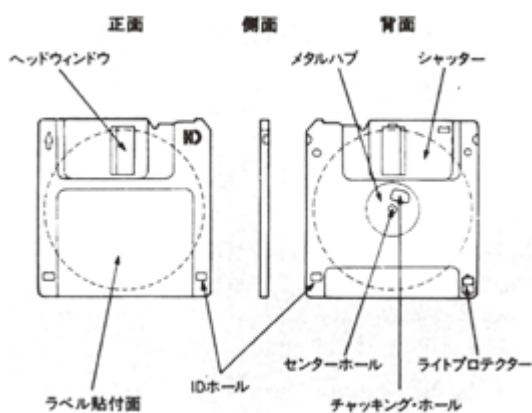


図 5.14 2MByte 3.5 インチ MFD



図 5.15 2MByteMFD “HD” マーク

5.25インチFDでは1Mバイトディスクと1.6Mバイトディスクが存在するが、システムがその種類を判別する手段が備わっておらず、市場で大きな混乱が生じた。3.5インチMFDシステムでは、IDホールがあることによりドライブ、およびコンピュータシステムがディスクの種類を検出できるようにした。また、市場での品質を維持するため、ソニーが各メディアメーカーへの1.6M/2Mバイト

ディスクの製造・販売のライセンスの条件として、ディスクがソニーの指定した性能を満足することとし、その証としてHDマークを付けることを義務付けた。

(2) 磁気ディスク

2Mバイトディスクに於いては、図5-16、図5-17に示すようにメタルハブの径を31mmから2mm狭くして29mmにした。これはディスク内周での磁気ヘッドの当たりを改善するためである。磁気ディスクはメタルハブのツバの部分に接着されている。ツバの部分は金属なので、ディスクのベースフィルムより硬いため、磁気ヘッドがツバに近づくとディスクの上下方向の自由度が少なくなりヘッド当たりが悪くなる。それを改善するためツバの幅を狭くする変更を加えた。

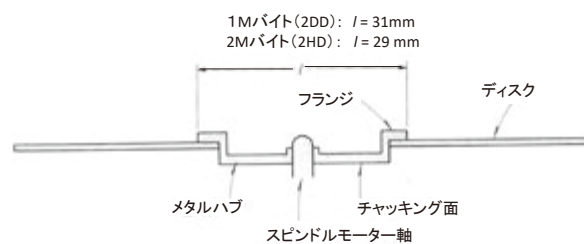


図 5.16 3.5 インチディスクの断面

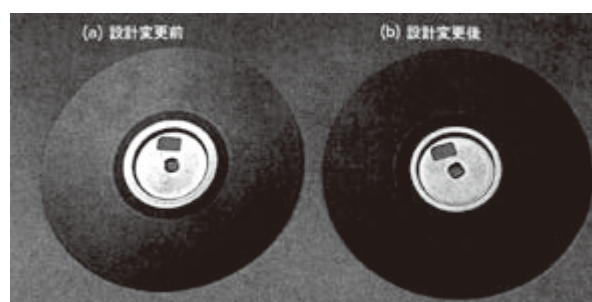


図 5.17 3.5 インチ MFD
1Mバイト(2DD)と2Mバイト(2HD)ディスク
出典：日経エレクトロニクス 1986年5月5日号 p.135
図 10

2Mバイトの記憶容量を実現するために抗磁力(Hc)を1Mバイトディスクの625 Oeから720 Oeに上げた。また、磁性体の塗布厚を1Mバイトディスクの1.9μmから薄くし、2Mバイトディスクでは約半分の0.9μmにした。

0.9μmの塗布厚はソニーでは、全く未知の厚みであった。磁気特性の実現とともに信頼性の確保が大きな課題であった。

ソニー仙台の磁気製品事業部でフロッピーディスク開発担当者の平野隆康は回想する。

「IBM PS/2に採用されることとなった1987年の初頭、IBM ボカラトン市のPS/2部隊から緊急の呼び出しがきた。低温でディスクを起動すると、かなりの確率でヘッドとコンタクトしているディスクの塗膜がすっかり剥がれてしまう現象（See through）が起きて大問題となっており、至急、原因を究明し対処するようにとの要請だった。実際に、再現テストをすると何と50%くらいの確率で塗膜が剥がれてしまった。低温での静摩擦抵抗が高く、剥がれたのだった。塗膜強度を上げる硬化剤の割合は、これまで塗料の15%程度の含有量だったが、これを30%に増やしたところ、無事、低温下での塗膜剥がれを解決することができた。」

5.2.2 磁気ヘッド

磁気ヘッドは2Mバイトの記録再生を実現するために2Mバイト用R/Wヘッドのギャップ長を1Mバイト用ヘッドの $1.7\mu\text{m}$ から狭くし、 $0.7\mu\text{m}$ と短くした。またR/Wギャップとイレーズギャップとの間隔も $700\mu\text{m}$ から $350\mu\text{m}$ と短くした。

2Mバイト磁気ヘッドの最大の課題は下位互換を確保するため、2Mバイトディスク(2HD)だけではなく1Mバイトディスク(2DD)も記録再生できるようにすることであった。特に1Mバイトドライブで記録された1Mバイトディスク(2DD)を2Mバイトドライブに挿入し、古いデータに新しいデータを重ね書き記録すると、古いデータの消し残りが存在する。この消し残りを規定の値以下にするには、ヘッドのDepthを厳しくコントロールする必要があった。

当時、ソニーのメカトロニクス事業部で2Mバイトヘッドの評価を担当していた前田秀穂は、次のように回想している。

「当時、メディアは装置をちゃんとすればいつかはスペック内の製品ができるものと理解していた。しかし、磁気ヘッドはギャップおよびDepthをコントロールして作ることができなかった。Depthをコントロールするには、ヘッドの加工工程でDepthをヘッド単体で測定する必要があったが、その方法が確立されていなかった。試作されたヘッドをドライブに組み込んで、ディスクに実際に信号を記録して出力波形を測定してヘッドの選別をした。最初、数百個のヘッドを入手して、測定してみると良品は数個しかなかった。特にDepthに大きく依存する1Mバイトディスク(2DD)との下位互換性がとれる良品は1個

か2個しかなかった。上司から『下位互換がとれるものが1個あるということは、可能性が証明されたということだ。同じものを作れば良いのだ』と励まされた。多くのヘッドチップを切断して不良品と良品を比較し、良品となったヘッドのギャップとDepthの寸法になるよう加工方法、測定方法を決めていった。2Mバイトヘッドを完成できたのは、ソニー仙台の磁気製品事業部のヘッドグループと一体になって2Mバイトヘッドで1Mバイトディスク(2DD)への記録再生が必ず実現できると信じて進めたから。それが成功した理由だと思います」。

5.2.3 1インチ高さドライブ

IBMには、新しい製品・技術を導入するに当たりRFI (Request for Information) とRFQ (Request for Quotation) という二つのフェーズがある。RFIはどんな製品をどんな技術で実現しているか調査する目的で発行され、各社は自社の現在・近い将来に提供できる製品と技術を記述してIBMに提示する。一方RFQは、IBMが購入前提でその製品の仕様が記載され、それを満足する製品の価格、可能生産数量、納期を回答することが期待されている。1981年に3.5インチMFDDをOEM製品として発表後、ソニーは何度となくIBMからRFIを受け取り回答していた。

1986年中頃のソニーはIBMから1インチ高さの2Mバイト3.5インチMFDDのRFQを受け取った。ソニーは前年の10月にドライブ高さ31mmの2Mバイト3.5インチMFDD、MP-F73Wを発表し販売活動をしていたので、MP-F73WをベースにRFQに回答した。それに対して、IBMの購買責任者からミーティングの要請があった。ソニーのコンポーネント営業本部長と筆者がボカラトン市の彼のオフィスを訪問すると、購買責任者は、「ソニーはRFQの意味を理解していない。RFQに記載されている仕様書は購入仕様書であり、この仕様から1点でも逸脱していると選考の対象外となる。IBMのRFQではドライブの高さを1インチと指定しているが、ソニーの回答は31mmである。ソニーは3.5インチフロッピーディスクとドライブのテクノロジーとビジネスをリードしてきているので、IBMのベンダーとなることを期待している。ぜひ、IBMの仕様に合致したドライブのRFQの回答を提出し直してほしい」と我々に伝えた。

早々にドライブ高さを1インチにしたRFQの回答をIBMに再提出した。同時にソニー内に、急遽、IBM向けの「F10プロジェクト」が結成された。F10プロジェクトの目標は高さ1インチの2Mバイト3.5

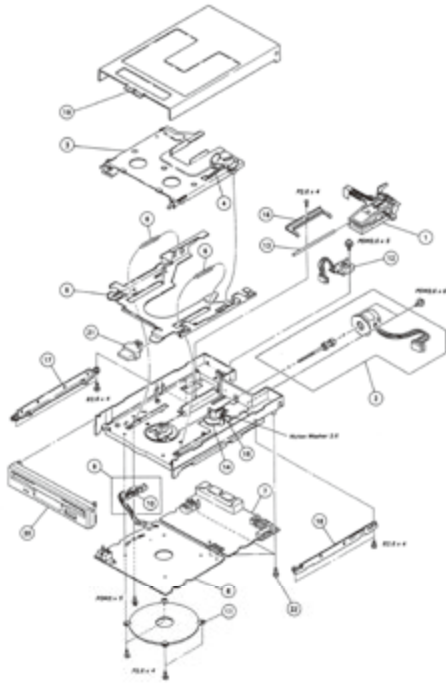


図 5.18 MP-F17W 2MB 3.5 インチ MFDD 分解斜視図

インチ MFDD、MPF-17W を半年で設計し、量産を立ち上げることであった。MP-F17W (図 5.18) は半年後の 1987 年春には量産に入り、IBM への出荷が開始された。

IBM は 1987 年 4 月に IBM PC/AT の後継機として大々的に IBM PS/2 (図 5.19) を導入した。IBM は PS/2 で当時 Compaq などによる PC/AT 互換機が台頭し始めていた PC 業界に対し、大胆で野心的な仕様変更を行い、IBM の主導権回復を意図した。しかし Micro Channel Architecture (MCA) や OS/2 は広くは普及しなかったが、VGA、PS/2 ポート、3.5 インチフロッピーディスク (720K/1.44M) は、IBM PC 互換機の仕様としてデファクトの標準となった。



図 5.19 IBM PS/2 シリーズ

IBM が PS/2 に 3.5 インチ MFDD を標準搭載したことにより、その後、すべての PC 互換機メーカーは新機種 of FDD には 3.5 インチ MFDD を採用した。そして 3.5 インチ MFDD の市場は 1987 年後半から

急速に拡大した。ソニーは IBM、DELL、Compaq、Tandy、DEC、Sun Micro、Bull、Siemens、Olivetti、等、大手 PC メーカーを獲得した。

5.2.4 19mm (3/4 インチ) 高さドライブの開発

シチズン時計が 1989 年 3 月に厚さ 19mm (3/4 インチ) の超薄型 3.5 インチ MFDD を最初に発表した。

ソニーに於いても今後ノート型パソコンが確実に伸び、厚さ 1 インチより薄型の 3.5 インチ MFDD が必要であろうとの予測から、1988 年の初めに高さ 19mm の開発に着手した。

生産設備とマンパワーの観点から、19mm ドライブの開発に当たっては厚さ 1 インチドライブに対しても、大きなメリットが出せるような開発アイテムとし、下記の 2 項目を選んだ。

- ・機構系の開発アイテムとして、従来のアルミダイカストシャーシから板金シャーシへ方向転換を図る。
- ・電気基板の実装開発として、1 インチドライブの 2 枚の基板を 1 枚基板にし、さらに片面リフローを実現する。

この二つの開発アイテムを実現し、19mm 高さドライブ、MPF220 はシチズン時計より約 1 年遅れの 1990 年 6 月に量産がスタートした。

5.3 4M バイト 3.5 インチ MFDD (2ED)

1980 年に片面 437K バイト 3.5 インチ MFDD は、1983 年に片面 500K バイト、両面 1M バイト、そして 1985 年両面 2M バイトと互換性を保って進化してきた。ソニーは 2M バイトの後には 10M バイトの開発を進めていた。その理由は 2M バイトを超えた記録容量を達成するには、磁気ヘッドの位置決めによるサーボシステム、出力信号を上げるためのディスクの回転数アップ (転送レートアップ)、等で、FDC (Floppy Disk Controller) を新しくする必要があり、市場で受け入れられるためにはその変更に見合うだけの記憶容量のアップが必要と考えていた。

一方で、東芝は磁性体として Ba フェライト塗布媒体を用いた 4M バイト用ディスクの提案をした。図 5.20 に示すように従来の塗布媒体 (Co- γ -Fe₂O₃) の磁性体は長手方向に磁化 (面内記録) されるが、Ba フェライトは垂直方向に磁化 (垂直記録) され、線記録密度を大幅に上げることができる。

東芝は 1985 年 11 月に Ba フェライト塗布型垂直

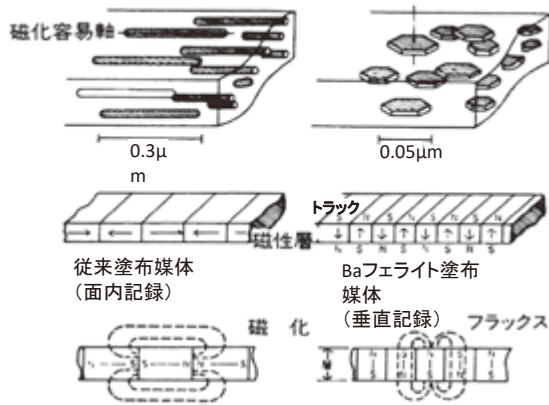


図 5.20 面内記録と垂直記録

メディアを用い両面で4Mバイトの3.5インチフロッピーディスクとドライブの試作を公表した。³⁾ その主な仕様を表5.3に示す。

表 5.3 東芝4Mバイト3.5インチMFDD

	Baフェライト・4MバイトMFDD	汎用1MバイトMFDD
Unformat記憶容量(バイト)	4.0M	1.0M
Format記憶容量(バイト)	2.99M	0.74M
最大線記録密度(Kbpi)	35.0	8.7
データ転送レート(bps)	1M	0.25M
セクター数/トラック	36	9
トラック密度(tpi)	135	
トラック数	80×2	
回転数(rpm)	300	
ヘッドの形状	先行イレーズ型	トンネルイレーズ型
装置の外寸法(mm)	100(幅)×140(奥行)×40(高さ)	
磁性材料	Baフェライト	Co-γFe ₂ O ₃
保磁力(Oe)	750	650
カートリッジ外寸法(mm)	94(幅)×90(奥行)×3.3(厚さ)	

Baフェライトを使うことにより最大線記録を34,868 bit/inchと2Mディスク(2HD)の2倍にすることにより、記憶容量4Mバイトを実現している。トラック密度は135tpi、スピンドルモーターの回転数は300rpmと2Mバイトドライブと同じとした。したがってデータ転送レートは2Mバイトドライブの倍の1Mbit/secとなっている。

Baフェライト磁性体の垂直抗磁力Hcは750 Oe、飽和磁化Msは120emu/cc、角型比(垂直異方性)SQRは0.54である。Baフェライト磁性粉は直径0.05 μmの六角板状である。塗布型でも垂直異方性があり、配向をなくしても自然に60%程度の垂直配向性がある。カートリッジおよびディスクの形状は従来の3.5インチMFDと全く同じである。

従来のディスクと互換性を確保するため、記録/再生用磁気ヘッドはフェライトのリング型を用いている。リング型ヘッドを用いてもBaフェライトの垂直異方性のために、Co-γ-Fe₂O₃などの面内磁気膜に比べて高周波(短波長)記録/再生特性が良くなり、孤立転移密度は30Kbit/inch程度までフラットな再生出力特性を示し、出力はCo-γ-Fe₂O₃より20%以上大

きい。

記録/再生ヘッドのギャップは0.35 μm(媒体層厚は1 μm)。このギャップで長波長の信号の上に短波長を重ね書き記録をすると、媒体の表面だけにしか記録されず深層の長波長消去が不十分となる。そこで東芝の4MバイトBaフェライトシステムでは、消去を確実にするため、記録/再生ヘッドの前に先行イレーズヘッドを設け、以前に記録された信号を先行イレーズヘッドが消去した後、記録/再生ヘッドが新しいデータを記録する。

図5.21を使って説明をする。(a)は従来の1M/2M記録の場合である。媒体の磁性の厚さが記録波長に対して十分薄い場合には重ね書き記録をしても以前に記録された信号は消去できる。一方(b)は4Mバイトの場合である。高記録密度を達成するために記録ヘッドのギャップは狭く、また磁性層は3 μmと厚い。長波長の信号を記録した上に短波長の信号を重ね書き記録をすると深層の長波長成分が消去されず残る。(c)これを解決するために、記録ヘッドに先行して消去ヘッドを設け、以前の信号を完全に消去した後新しい信号を記録する。

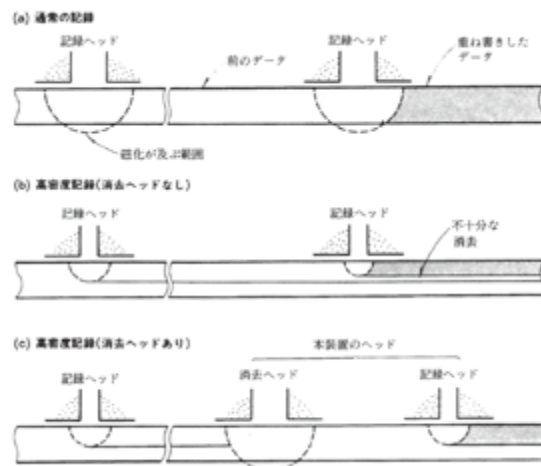


図 5.21 重ね書きと先行消去の磁性層の状態

出典:日経エレクトロニクス 1985年12月30日 p.53 図2

図5.22に4Mバイト用ヘッドのギャップ配置を示す。先行イレーズヘッドのギャップ長は2 μm、記録/再生ヘッドギャップと先行イレーズヘッドギャップの距離は200 μmである。

一方、1972年にIBMが導入して以来、フロッピーディスクはIBMのフォーマットが使われている。IBMフォーマットではR/WヘッドがIDフィールドのIDを読み、所定のセクターであることを確認した後、データ・フィールドに新しいデータを記録する。先行消去ヘッド方式では、R/Wギャップが記録を始

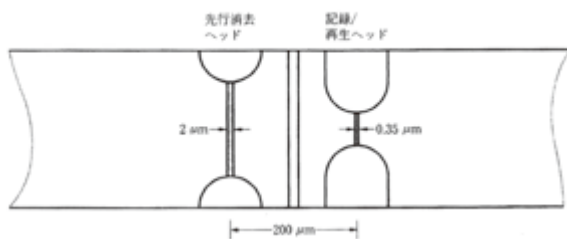


図 5.22 4 Mバイト用磁気ヘッドのギャップ配置
 出典:日経エレクトロニクス 1985年12月30日 p.53
 図 3

める時には先行消去ギャップは既に所定のデータ・フィールドの途中に来てしまっている。したがって、先行消去方式のドライブの採用に当たっては、IDフィールドとデータ・フィールドの間のギャップ長を長くする、等の変更が必要であった。

東芝はこのフォーマットに対応した新しいFDC (Floppy Disk Controller) を用意した。

先行消去ヘッドは市場に多く出回っている1Mバイトそして2Mバイトのメディアとの書き込み・読み取りの互換性を確保するためにも必須であった。

東芝は1988年に4Mバイト(2ED)3.5インチFDDの製品の導入を行ったが、当初は専用ワープロなど、ニッチ市場で使われた。最初にパソコン/ワークステーションに標準搭載したのは米NeXT社である。1990年10月に発表したNeXT stationに2.88MバイトのFDDを内蔵した。

1989年にIBMは4Mバイト3.5インチMFDDのRFQを発行した。その時点でソニーは先に述べたように4Mバイトシステムをスキップして10Mバイトを開発していたが、IBMのRFQを受けて急遽、4MバイトMFDD、MP-F40Wの開発に着手した。このドライブは1Mバイトおよび2MバイトFDとの下位互換を確保していた。そしてソニーは東芝を押さえてIBMの4MバイトMFDDのビジネスを獲得することができた。1991年6月12日に4Mバイト3.5インチMFDDを標準搭載し、IBMはPS/2 Model 57SXを発表した。

東芝は4MバイトMFDとMFDDを推進するため、積極的に技術を公開し互換ドライブ、互換ディスクを生産するメーカーグループを作った。また、OS側もMS-DOS5.0では内部ディスク・パラメータ・グループに2.88Mバイト(アンフォーマット4Mバイト)のパラメータが追加された。FDDメーカーも、シチズン時計、セイコーエプソン、ソニー、チノン、ティアック、東芝、松下通信工業、三菱電機、Y-Eデータなど主要なメーカーが量産に入った。また、ディスク

メーカーも花王、化成パーベイタム、コニカ、住友スリーエム、ソニー、TDK、東芝、日立マクセル、富士写真フィルムなど、ほとんどのメーカーが生産を開始している。

しかしながら期待に反して、4MバイトMFD/MFDDはほとんど普及しなかった。IBMが積極的に主力ラインアップへの展開を図らなかったことが表面的な理由である。1991年頃にはすべてのPCはハードディスクドライブを搭載し、4MバイトMFDDを使うにはPC内に新規FDCが必要となり、ドライブの価格も2Mバイトドライブに比べて5割増し、等のハンディキャップがある。実情はそれらを考慮すると4MバイトMFD/MFDDを採用する積極的なメリットがなかったためと考えられる。

結局、採用したのはIBMの1部の機種のみで、業界の主流になり得ないまま忘れ去られた。

5.4 3.5インチMFDD仕様まとめ

表5.4に3.5インチMFDDの主要製品(ソニー製品モデル名)とその仕様をまとめた。

両面倍密(2DD)のOA-32Wはドライブ高さが51mmであるが、MP-F50シリーズは31mmと低くした。

また、表5.5に3.5インチの500Kバイトから4Mバイトのディスクとドライブの互換を示す。表でわかるように、新しい世代のドライブは市場に出回っている旧世代のディスクの読み書きができる下位互換を保証している。

図5.23にソニーの各世代の代表的なドライブの写真を示す。

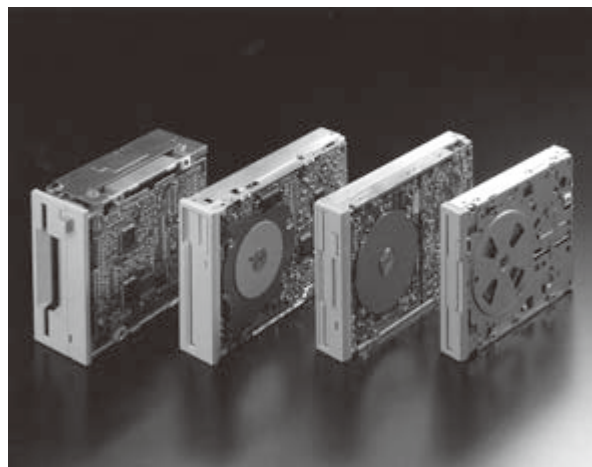


図 5.23 ソニー3.5インチMFDDの変遷

表 5.4 3.5 インチ MFDD 主要製品仕様一覧

項目	片面倍密度(1DD)	両面倍密度(2DD)		両面高密度(2HD)	両面超高密度(2ED)
	OA-D30V	OA-D32W	MP-F50シリーズ	MP-F17シリーズ	MP-F40シリーズ
記憶容量 (バイト)	437.5K	1M	1M	2M	4M
線記録密度 (bpi)	7610	8717	8717	17434	34868
トラック密度 (tpi)	135	135	135	135	135
シリンダー数	70	80	80	80	80
トラック数	70	160	160	160	160
R/Wヘッド数	1	2	2	2	2
アクセスタイム(msec)	15	12	6	3	3
平均故障間隔(MTBF)	8000	8000	10000	30000	30000
消費電力 (W)	7.5	6	2.6	1.1	1.1
高さ (mm)	51	51	31	25.4	25.4
重量 (g)	700	650	470	425	425
商品化された年	1980	1983	1985	1987	1990

表 5.5 3.5 インチ FD と MFDDD 互換表

ディスク	ドライブ	略称	1DD	2DD	2HD	2ED
	名称	略称	UF容量(バイト)	500K	1M	2M
片面 倍密度 倍トラック密度	1DD	500K	○	○	○	○
両面 倍密度 倍トラック密度	2DD	1M	×	○	○	○
両面 高密度	2HD	2M	×	×	○	○
両面 2倍高密度、倍トラック密度	2ED	4M	×	×	×	○

○: Read/Write可能、△:Readのみ可能、×:Read/Write不可
UF: Unformat

参考文献

- 1) ソニー株式会社 矢永雅治、塚原信彦、伊藤元「第2章 フロッピーディスク装置 (3.5")」トリケップス WS 3 1985年10月
- 2) 「32mm厚以下の薄型が主流になった3.5インチ型フロッピーディスク装置」日経エレクトロニクス 1986年5月5日
- 3) 今村他、昭和60年度電子通信学会、半導体・材料部門全国大会、論文番号35、1985年11月
- 4) 「Baフェライト塗布垂直媒体を用いた4Mバイトの3.5インチ型フロッピーディスク装置を試作」日経エレクトロニクス 1985年12月30日
- 5) 「東芝・垂直磁気記録フロッピーディスク、商品化の最短コースを選ぶBaフェライト粒子の開発で突破口」日経メカニカル 1986年9月22日
- 6) 「3.5inch MFDD STORY 第13回井深賞記念誌」ソニー株式会社 1991年3月
- 7) 嘉本秀年「私家版 データストレージの歴史」1999年11月30日

6 | 3.5インチMFD及びMFDDの標準化とライセンス活動

3.5インチMFDおよびMFDDの標準化活動については第2章で概要を述べたが、ここでは詳細を説明する。

6.1 標準化活動

6.1.1 デファクトスタンダード

1980年末にソニーは3.5インチMFDDを搭載した英文ワードプロセッサ「シリーズ35」を発表した。この新しいワードプロセッサを普及させるためには、そのコンポーネントとなる3.5インチマイクロフロッピーディスク(3.5インチMFD)がどこでも入手可能な流通環境が必要であるとソニーは考えた。そこで、3.5インチMFDの標準化を行うことを決め、まず、徹底したデファクトスタンダードを進める道を選択した。

これにより、3.5インチMFDおよびMFDDはソニーとしてOEM供給も行う製品となった。製品発表後には複数の大手のPCメーカーに3.5インチMFDとMFDDのサンプルを提供して積極的に評価依頼の活動を進めた。

1982年にはHPのメンバーが弁護士を帯同してソニーの厚木工場に来訪し、3.5インチMFD/MFDDのOEM供給についての正式な契約締結がなされた。この契約ではHPはソニーから3.5インチMFDDを3年間で27万台、月間で7,500台を購入することになっていた。

当時ソニーがワードプロセッサ用として生産していたのは月産80台であり、その100倍程度にも及ぶほどの生産台数が求められた。HPとのOEM供給契約には、HPから技術指導を受けるといった条件も盛り込まれた。当時、HPは5.25インチFDDの大手メーカーのTandonから機構部を購入し、自社製電気回路を組み合わせて5.25インチFDDを開発・製造していた。

このHPとの協業を通じて、ソニーはFDとFDDの評価方法に関する技術を高めることができ、その品質はコンピュータメーカーの要望を満たす水準まで向上することができた。またHPとの契約締結は技術水準の向上だけではなく、その採用により新しい3.5インチMFDとMFDD自体が既存のFDとFDDと同等以上の性能と品質を有していることをコンピュータ業界からも認知されることに繋がった。

HPが3.5インチMFDとMFDDを市場導入した後、Appleからもソニーの3.5インチMFDとMFDDの本格的な採用検討の話があった。当時のAppleはApple IIが爆発的な人気となっており、1980年には全世界で10万台、1984年には200万台を超える販売をしていた。そしてAppleではSteve JobsがApple IIの次世代PCとして、誰にでも簡単に扱えるコンピュータ、Macintoshプロジェクトを立ち上げていた。このMacintoshにソニーの3.5インチMFDDが搭載されれば、3.5インチMFDDの年間台数はHP向けのおよそ10倍となる100万台が見込まれ、実質的なデファクトスタンダードが達成できると見込まれていた。

1983年3月にはSteve Jobs一行がソニーに来訪し、OEM供給契約に関する会議が行われた。しかし、Steve Jobsはその会議でソニーがOEMビジネスに真剣でない判断し、3.5インチMFDDをMacintoshに採用はするが、ソニーではなくアルプスに開発および製造をさせるという判断を下した。当時アルプスはApple II用5.25インチFDDの生産委託を受け、世界最大のFDDメーカーであった。しかし、その会議に同行していたMacintoshの技術責任者のBob Bellevilleは「アルプスだけに任せるのは心配である。Steve Jobsには内密にソニーの3.5インチMFDシステムを引き続き評価したい」という判断をし、ソニーに至急エンジニアをAppleに派遣することを依頼した。

ソニーは4月初旬にAppleにエンジニアを送り、Jobsには秘密にしながら3.5インチMFDDをMacintosh用カスタムモデルに変更する設計を行った。ソニーはMacintosh独自仕様の3.5インチMFDDを3週間の短期間で完成させ、5月初旬には提供した。このドライブはほぼ完璧に動作した。ソニーが真摯にAppleの要求に応えたことにより、Steve Jobsはソニー製の3.5インチMFDDをMacintoshに搭載することを決めた。そして1983年7月に再びJobs一行がソニーを来訪して、ソニーとApple間でOEM供給契約が締結された。

このOEM供給契約締結を機にソニーは当時世界一の3.5インチMFDおよびMFDDの製造会社となり、また実質的なデファクトスタンダードが達成されることになった。

6.1.2 デジュール スタンダード (標準化団体によって定められた標準規格)

ソニーは3.5インチMFDとMFDDを1980年12月に製品発表し、続いて1981年6月にNCC (National Computer Conference) の年次学会で技術内容の発表を行った。また、松下電器、日立製作所、日立マクセルが1981年12月に3インチコンパクトFD/FDDを発表した。

このような中で、米国のFD/FDD関連の企業はこのままだと3~4インチFD/FDD市場は日本企業に独占されてしまうのではないかという危機感を持った。そして1981年11月にShugart Associatesを中心とした米国のFDとFDDメーカー13社が集まり、MFDの標準規格化を行うためのコンソーシアム、MIC (Micro Industry Committee) が結成された。このMIC結成の目的は米国の企業が自ら企画した3~4インチのFDとFDDの規格をまとめ、米国の標準にしようというものであった。しかしMICに参加した会社は8インチ、5.25インチのFDとFDDを製造しているので、従来のソフトジャケットの3.5インチFDの提案を検討することにした。3.5インチのソフトジャケットFDのサンプルを作成し、ポテンシャルの顧客にソニー3.5インチMFDとの比較調査を実施した。結果は、ソニー3.5インチMFDが圧倒的に好評であることがわかった。また、ソニーが3.5インチMFDシステムを発表した当初には信頼性や量産性に対する懸念もあったが、HPが市場導入したことにより、その懸念も払拭された。

そこで、MICはソニーの3.5インチMFDをベースにしてMIC案をまとめ、米国規格協会(ANSI)に提案することでまとまった。MICはソニーに対してMICへの参加を呼びかけたが、ソニーはMICに加入はせずオブザーバーとして参加し、MICに対して必要なデータの提供や協力を行うことにした。その理由は、ソニーは既に3.5インチMFD製品を市場に出している、MICが標準規格として定める規格がソニー製品の技術仕様と異なると困ること、また国内メーカーの日立製作所や松下電器産業への配慮でもあった。

1983年1月中旬にソニー、HPそしてMICの各会社からのメンバーがサンノセ市のVerbatim本社に集まり、ANSIに提案する会議をもった。MICはソニーの3.5インチMFD仕様に対していくつかの変更を要求した。話し合いの結果、MICとソニーは「マニュアルシャッターを自動シャッターに変更」、「トラック数を70から80に変更」、「ライトプロテクターを

透過型に変更」の3点を反映させることで合意した。ANSIの提案内容には直接関係しないが、ソニーの基準ディスクの磁性体の塗布厚について厳しい議論がなされたが合意が得られた。

そして1983年1月下旬にソニーとMICは連名で米国のANSIに3.5インチMFDの規格を提案した。このようにして米国のフロッピーディスクとドライブメーカーの心情を損なうことなく、米国にてソニー3.5インチMFDが標準規格として成立した。

6.1.3 欧州での活動と国際規格化

米国にて3.5インチMFDの標準規格化が成立した後、ソニーは国際標準規格団体ISOに3.5インチMFDについて標準規格化を提案する活動を進めた。国際標準規格を成立させるためには欧州諸国の協力が必要であるため、まずは欧州コンピュータ工業会(ECMA)に3.5インチMFDの標準規格化の提案を行った。そして、ECMAの代表から1984年に開催されたISO会議で3.5インチMFDの規格の提案が行われた。

このISO会議ではソニーの3.5インチMFD以外にも他のMFDの規格案として、3インチ、3.25インチ、IBMから4インチがそれぞれ提案された。しかし、この頃には既にソニーの3.5インチMFDはHPとAppleが採用し量産出荷をしており、実質的なデファクトスタンダードとなっていた。IBMからの提案である4インチMFDはデータ記憶容量として1MBにも満たず、またその他の点でもソニーの3.5インチMFD製品に対して劣る性能となっていた。そのため、審議メンバーの大多数は、デファクトスタンダードとなっており高品質のソニーの3.5インチMFDのみに関心があり、それ以外の規格は審議そのものが先送りとなってしまった。そして、1984年11月にISOのMFD規格として3.5インチMFDの規格が成立した。

6.1.4 日本国内での活動

日本国内では1981年12月に日立製作所、松下電器産業および日立マクセル連合から3インチコンパクトFDの製品が発表された。そして、ソニーがANSIでの規格成立に続き日本国内でも標準規格化を進めようとした頃には、日本では既に二十数社にも及ぶ強固な3インチコンパクトFD連合が結成されていた。これは、ソニーが国内のメーカーにあらかじめ仁義を切らずに海外で3.5インチMFDの標準化を進めていたことに対するある種の反発でもあり、国内のメーカーの多くは3インチコンパクトFDの規格を推す方針に固

まっていた。更に当時の通商産業省や日本工業規格(以下、JIS)の委員会としても、日本で開発された小型FDを産業として成功させるためにも、日本国内で2種類の小型FDの規格が存在している状態からどちらかの規格に統一する必要があると考えていた。また、当時ソニーは国内のこれらの関係機関との繋がりが弱いこともあって、JISの委員会では3インチコンパクトFDの標準規格化の勢いが優勢となっていた。

しかし、世界的にみれば既に3.5インチMFDがデファクトスタンダードとなっており、更にデジュールスタンダード(標準化団体によって定められた標準規格)でもANSI、ECMA、ISOとも標準規格として3.5インチMFDで固まりつつあった。世界の流れに反して3インチコンパクトFDの標準規格化を進めようとしていることについて、JISの委員会はISOとECMAの事務局からクレームを受けた。

このことがソニーにとって追い風となった。ソニーは1983年6月に業界の百数十社を集めて東京と大阪で懇談会を行った。そこで海外で採用に繋がった3.5インチMFDシステムの優位性、キーパーツの供給体制、受け入れられやすいライセンス条件、等をソニーの事業責任者達が直接説明する機会をもった。そして、主要ドライブメーカーに対しては、懇談会の後すぐに技術者がドライブのサンプルを持って個別に訪問して技術フォローアップを行った。このような地道な努力を積み重ねて契約を一つ一つ締結してライセンスを増やしていった。最終的には日本国内でも3.5インチMFDがJISの標準規格として採用されることとなった。

6.2 ライセンス活動

ソニーは3.5インチMFDについては、ディスクとドライブのチャッキング機構等の数多くの基本特許と、かつ順守すべきドライブ仕様、ディスクの寸法や形状をカバーする意匠権を保有していた。そして、ソニーはフォーマットフォルダーとしてディスクとドライブの各社とライセンス契約を締結していった。

1980年代当初は国内では3インチコンパクトFD規格が小型FDの標準規格として固まりつつあったこともあり、ソニーの3.5インチMFDの標準化を図るため各社に対して受け入れられやすいライセンス条件を設定し、ライセンス契約を締結していった。

1990年代前半にはPCが家庭や学校などに急速に普及が進み、3.5インチMFDの世界全体の製造量と

して、ドライブは年間約8,000万台、ディスクは約20億枚となっていた。しかし、3.5インチMFDの製造元としては製造コストの安い香港や中国のメーカーの割合が増えてきており、また、これらのメーカーの中にはソニーとライセンス契約を締結していないメーカーも多く含まれていた。この結果、3.5インチMFD製造量の全体の内のおよそ1/3をライセンス未取得メーカーによる製品に占められてしまう状況となっており、これらライセンス未取得メーカーによるダンピング行為が発生して市場価格が下落、またライセンス未取得メーカーの一部の粗悪品の流通による3.5インチMFDの品質に対する信頼性の喪失にも見舞われていた。

このため、ソニーは市場での公正な競争による販売と、品質の維持を目的としてライセンス未取得メーカーに対する3.5インチMFDの厳しいライセンス活動を行うことになった。この活動に於いては、単にライセンスの数を増やすことが主目的ではなく、新しいライセンス条件が受け入れられる一定の資金力があり品質も担保できるようなメーカーとのライセンス契約の締結を目的としたものであった。

6.3 その他の活動

3.5インチMFDの市場の健全な競争と粗悪品の流通を防ぐために、ライセンス未取得メーカーに対して厳しいライセンス活動を行ったが、話し合いによる交渉が難航することもあった。そのため、新たなライセンス活動と並行して、代表的な一部のライセンス未取得メーカーに対して特許侵害訴訟を提起することにより交渉を促進させる活動も進めた。しかし、ライセンス未取得メーカーの中にはライセンスオファーや警告を無視する会社もあり、上記の対応だけではライセンス未取得メーカーによる製品の流通を防ぐには至らなかった。そこで、これらメーカーに対抗する方法として、3.5インチMFDの主要市場である米国の税関にライセンス未取得メーカーのリストを提出して、これらメーカーにより米国に輸出される製造品を同国の税関で差し止めてもらうことにより、ライセンス未取得メーカーの製造品の市場流通を防ぐ対応を行った。

また、3.5インチMFDに用いられるキーパーツの磁気記録媒体を製造するためには高度な技術が必要であり、当時の中国メーカーの技術では自ら当該部品を製造することはできず、彼らは日本メーカーからの輸入に依存していた。そこで、この部品を供給する日本

メーカーに対してライセンス未取得メーカーに対する当該部品の供給は特許権の間接侵害にあたることを警告し、当該部品の供給を思いとどまらせることにより特許存在国でライセンス未取得メーカーが3.5インチMFDの製造を行うことを困難にさせるようにした。

こうした活動によって、ライセンス未取得メーカーによるソニーに無断での3.5インチMFDの製造による特許侵害を防ぎ、また当該ライセンス未取得メーカーによる製造品が市場に流通されることを防ぐことで3.5インチMFDの市場の健全な競争と製品の品質管理を行っていった。

6.4 タイムライン

- ・1979年：
ソニーがワードプロセッサのコンポーネントの一つとして3.5インチMFDの開発に着手
- ・1980年12月：
ソニーが3.5インチMFDの製品発表およびOEM供給を行うことを発表
- ・1981年11月：
米国にて3.5インチMFDに関するコンソーシアムMICが結成
- ・1981年12月：
日立製作所、松下電器産業、日立マクセル連合が3インチMFDを発表
- ・1982年5月：
HPとソニーが3.5インチMFDのOEM供給契約を締結
- ・1983年1月：
ソニーとMICでANSIに規格提案
- ・1983年5月：
Appleが自社製品に3.5インチMFDの採用を決定
- ・1983年6月：
日本メーカーに対して懇談会を開催。3.5インチMFD／MFDDのライセンス条件も発表しライセンス活動を開始。
- ・1984年4月：
ISO会議の開催
- ・1984年11月：
ISOの情報処理特別委員会で3.5インチMFDの規格化決定
- ・1984年12月：
JISに3.5インチMFDの規格原案提出

7 | 大容量 3.5 インチ FDD

東芝が Ba フェライト磁性体を使った 4M バイト 3.5 インチ MFD/MFD(2ED) を提案し、1991 年 6 月に IBM が PS/2 Model 57SX に採用したことにより、4M バイトまでの業界標準が決まったことは第 5 章で述べた。

その後、次の業界標準を目指し大容量の 3.5 インチ FD/FDD が提案された。その技術内容を 10M~20M バイトと 100M~200M バイトに分けて紹介する。

4M バイトを超えた容量を実現するために、各社から①ヘッド位置決めサーボ方式、②新しいディスク磁性体材料とヘッド、③エラー訂正、④新規変調方式、等の技術を用いた大容量 3.5 インチ FD/FDD が提案された。大容量 FD/FDD は既に市場に普及している 3.5 インチ MFD を読み書きできる（下位互換）ことが必須とされていた。

また、各社の異なったサーボ方式、ディスクフォーマット、インターフェース等の基本仕様が乱立している状況では、デファクト標準の大容量 FD/FDD を確立することができないので、国内各社の仕様を統一する試みがなされた。

従来の 3.5 インチ MFDD と CPU 間には汎用の FDC (Floppy Disk Controller) が普及していたが、大容量 3.5 インチ FDD と CPU 間には新規の FDC が必要であった。

にはトラック密度または線記録密度、あるいはその両方を向上させなければならない。

従来の 3.5 インチ MFDD のトラック密度は 135tpi (track/inch) であり、ヘッド駆動にはステッピングモーターによるオープンサーボ方式を用いられていた。しかし、オープンサーボ方式でのトラック密度は 200tpi が限界とされ、それ以上のトラック密度を達成するには何らかのクローズドサーボ方式が必要であり、各社固有のサーボ方式が開発された。

また、線記録密度を上げるための新しい磁気記録媒体、磁気ヘッド、変調方式、ディスク回転数、等が提案された。さらに PC の標準 FDD として採用されるには、既に市場にある 1M バイト、2M バイト 3.5 インチ MFD との下位互換を実現するため、大容量 3.5 インチ FDD は 1M/2M バイトディスク用と大容量ディスク用の両方の磁気ヘッドとディスク回転数を備える必要があった。

複数の提案がなされたが、業界標準となるのは一つの方式のみであり、その方式を複数のメディアメーカーとドライブメーカーがサポートする必要がある。即ち、磁気ディスク磁性体、記録容量、記録フォーマット、サーボ方式（サーボ信号パターン）、変調方式、トラック密度、線記録密度、回転数、等が統一され、複数のメディアとドライブメーカーが供給している状況にする必要がある。

各社が異なった仕様のメディアとドライブを開発し評価用サンプルを提供している状況では、その一つが業界標準になることは困難であった。

そこで日本電子工業振興協会（以下、電子協）の「小型フレキシブルディスク調査委員会」は、日本のフロッピーディスクとドライブメーカーを集め、10M

7.1 大容量 3.5 インチ FDD (10M~20M バイト)

1990 年前後に 4M バイトを超え 20M バイト程度までの容量を持つ 3.5 インチ FDD の提案が各社からなされた。主な提案を表 7.1 に示す。容量を上げるため

表 7.1 10~20M バイト大容量 3.5 インチ FDD

製造メーカー	Unformat 容量 (バイト)	Format 容量 (バイト)	最大線記録密度 (bit/inch)	トラック密度 (track/inch)	平均アクセスタイム (msec)	ディスク回転数 (rpm)	ドライブ高さ(mm)	媒体	下位互換	出荷時期 (91年7月時点)
日本電気	13.28M	10.18M	36.7K	423.3	未公表	360	25.4	メタル	R/W: 1M/2M	90年10月出荷
松下通工	16M	11.1M	35.1K	542	40	600	41	メタル	R: 1M/1.6M/2M	未定
東芝	16M	12.5M	35.1K	542	70	1500	32	BaFe	R: 1M/1.6M/4M	未定
YEデータ	27.8M	22.5M	48.7K	677	50	1080	41	メタル	R: 1M/1.6M/4M	未定
Brier Technology	25M	21.4M	26K	777	35	720	41	BaFe	R/W: 1M/2M	91年9月量産
Insite Peripherals	25M	20.8M	24.2K	1250	65	720	25.4	γFe ₂ O ₃	R/W: 1M/2M	91年8月量産
シチズン 時計	26.6M	20.6M	62.9K	540	50	600	25.4	メタル	R/W: 1M/2M	未定

表 7.2 電子協の大容量 3.5 インチ FDD 素案

	10Mバイト	20Mバイト	40Mバイト
アンフォーマット容量(バイト)	13.28M	27.96M	51.40M
フォーマット容量(バイト)	10.18M	21.42M	40.30M
最大線記録密度(bits/inch)	36.5K	52.4K	78.8K
トラック密度(tracks/inch)	431	542	542
ZBR(Zoon Bit Recording)	なし	あり	あり
記録変調	MFM	2-7RLL	未定
回転数(rpm)	360/300	750	未定
インターフェース	従来のFDC	SCSI	SCSI
セクタ当たりの誤り訂正用ビット数	16ビット(CRC)	32バイト(リード・ソロモン)	未定(リード・ソロモン)
下位互換性			
1Mバイト	R/W可	最低でもR可	未定
1.6Mバイト	R/W可	最低でもR可	未定
2.0Mバイト	R/W可	最低でもR可	未定
4.0Mバイト	最低でもR可	最低でもR可	未定
13.3Mバイト	NA	R/W可	R/W可
21.4Mバイト	NA	NA	R/W可
標準化の段階(1991年3月時点)	電子協がJIS素案を作成、工業技術院が1991年度中にJIS原案を作成し、JISへ。	電子協が1991年度中にJIS素案を作成。1992年度に工業技術院がJIS原案を作成する。	電子協が調査・検討中

バイトを超える大容量 3.5 インチ FDD の統一仕様を JIS に提案することを試みた。

表 7.2 に 1991 年 3 月時点の提案を示す。

7.1.1 10M バイト大容量 3.5 インチ FDD

電子協のフォーマット容量 10M バイト FDD の JIS 原案は、日本電気が 90 年 4 月に発表した FD1335H/C とほぼ同様である。日本電気は新規の FDC を開発し、その FDC は従来のドライブと PC と FDC 機能に加え、新しく 10M バイトドライブに対応した FDC 機能を持っていた。記録変調方式は従来と同様に MFM、またサーボ方式として磁気によるセクタサーボ、ディスク磁性体はメタルを採用した。日本電気は 1990 年 10 月に出荷を開始していた。

しかし、1991 年 6 月に IBM が 4M バイトの 3.5 インチ MFD (2ED) を IBM PS/2 Model 57SX に搭載

することを発表したこと、さらに 20M バイト FDD の量産が始まろうとしている状況で、業界では「10M バイトは容量が中途半端」との声が多かった。

7.1.2 20M バイト大容量 3.5 インチ FDD

1991 年中頃、シチズン時計、YE データ等の日本メーカーが 20M バイトを超える大容量 3.5 インチ FDD の発表をしていた。一方、米 Brier Technology と米 Insite Peripherals が 1991 年中に量産出荷を予定していた。各日本メーカーは自社仕様の大容量 FDD 規格を棚上げにして、電子協で標準化している FDD に期待をしていた。(表 7.3)

(1) Insite Peripherals

Insite Peripherals は PC への標準搭載を目指し、トラッキングサーボとして独自開発した「光によ

表 7.3 20M バイト大容量 3.5FDD の比較

製造メーカー	米Brier Technology	米Insite Peripherals	電子工業振興協会が進める標準化(案)
製品名	BT3020/3225	I325VM	
アンフォーマット容量(バイト)	25M	25M	27.96M
フォーマット容量(Mバイト)	21.4M	20.8M	21.42M
線記録密度(bits/inch)	26K	24K	約52.4K
トラック密度(tracks/inch)	777	1250	542
ZBR	あり	なし	あり
記録変調	(1-7)RLL	(1-8)RLL	(2-7)RLL
平均シーク時間(msec)	35	65	TBD
回転数(rpm)	720	720	750
サーボ方式	磁気による連続サーボ	光による連続サーボ	磁気によるセクタサーボ
媒体	Baフェライト	Baフェライト	メタル
インターフェース	SCSI	SCSI	SCSI
下位互換性	BT3020: なし BT3225: 1.44MB/720KBディスクとのR/W互換性あり	1.44MB/720KBディスクとのR/W互換性あり	2.88MB/1.44MB/1.2MB/720KB/640KBディスクとのRの互換性を可能を計画
外形寸法(幅×奥行×高さ)mm	100×143.8×40.6	100×147.8×40.6	TBD
重量(g)	726	450	TBD
使用電源	+5V、+12V	+5V	TBD
消費電力	動作時9W	動作時6W、非動作時1W	TBD
開発状況	1991年9月に量産予定	1991年8月に量産予定	電子協が91年度中にJIS素案を作成する予定

る連続サーボ」方式、Floptical Technology を採用した。ハードディスクドライブで広く用いられている磁気によるセクタサーボではディスクにサーボ信号を書き込むのに5~10分かかかるが、光による連続サーボではわずか2秒程度で終わる。

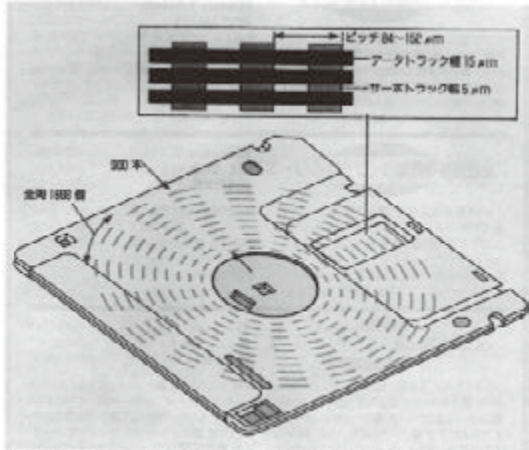


図 7.1 Insite トラックと光サーボパターン
出典：日経バイト 1991 年 6 月号 p.136 図 2

光による連続サーボ方式は図 7.1 に示すように、CD 生産の技術に応用したプレス工程によってディスク面に同心円状に幅 5 μ m、間隔 15 μ m、ピッチ 84 から 152 μ m の溝をプレスする。この溝に光を当ててトラッキング・サーボ情報として使う。

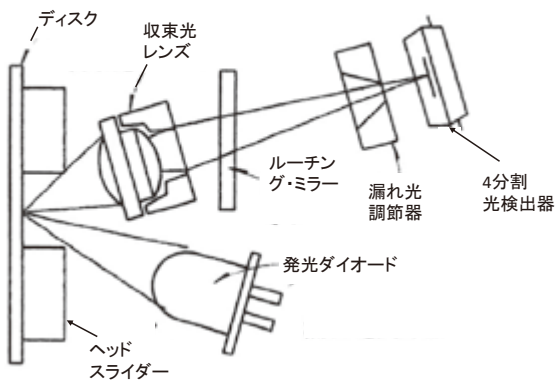


図 7.2(1) 光ピックアップの構造

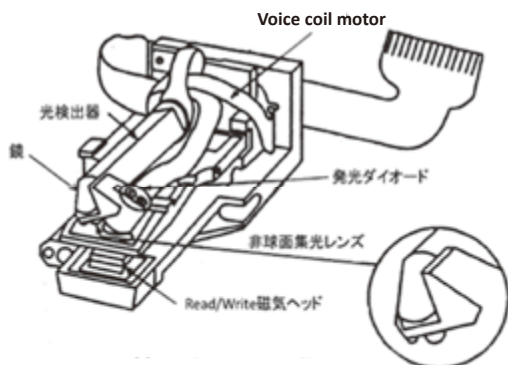


図 7.2(2) Insite 磁気ヘッドと光ピックアップのブロック

ドライブでは磁気ヘッドと光回路部品を合体したブロックをヘッドアームに取り付ける。光回路部品は CD プレーヤーのピックアップに似ている。図 7.2(1) に示すように磁気ヘッドスライダの真ん中には光を通すための穴が開いており、発行ダイオードの光がこの穴を通してディスクに当たる。この反射光がレンズで集光され、鏡を經由して光検出器に達する。

図 7.2(2) に実際の構成を示す。

溝のない部分の反射光は強く、溝の部分は弱い。この映像を光検出器に投影する。図 7.3 に示すように光検出器は 4 分割されており、ヘッドが通過した位置によって光検出器からの電気信号の位相が変わる。この位相差をトラッキング情報としてフィードバックする。

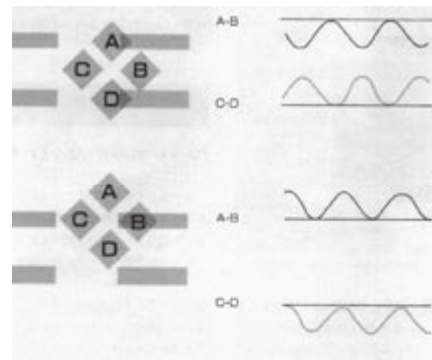


図 7.3 Insite 光サーボのトラッキング
出典：日経バイト 1991 年 6 月号 p.137 図 4

ヘッドアームはステッピングモーターとボイスコイルモーターを併用している。すなわちステッピングモーターでヘッドを目的トラックの付近まで駆動して、目的トラックに近づくとボイスコイルモーターに切り替え、目的トラックへの移動と目的トラックでのクローズドサーボを行う。

ヘッドブロックは 1M/2M 用磁気ヘッドチップも備えていて 1M バイトおよび 2M バイトのディスクへの下位互換を確保している。

Insite は Floptical Technology を松下電器、Omega、日立 Maxell 等にライセンスし、FTA (Floptical Technology Association) という団体を設立して従来の標準の 3.5 インチ MFD/MFDD を置き換えることを試みた。しかし Insite のドライブは Silicon Graphics が SGI Indy シリーズに採用、Commodore International が Amiga 3000 に推奨したが、そのトータル販売数量は 7 万台程度であったと推定されている。

(2) Brier Technology

Brier Technology は PC への標準搭載を主目的とせず、ワークステーションなどのより高速性を要求するシステムの外部記憶装置としての利用をターゲットとした。そのため、より高速性を重要視し、ヘッドをリニアボイスコイルモーターで駆動し、平均シーク時間 35ms を実現した。(初期モデルを発表後、下位互換をもったモデルも追加している。)

ディスクの磁性体は Ba フェライトで、4M バイト FD として一般に販売されているものと全く同じであった。ディスクはディスクメーカーが出荷時にサーボ信号を書き込んで販売する。

Brier Technology は図 7.4 に示すように磁性層の表層にデータ信号を記録し、サーボ信号は低周波で磁性層の深層に記録するという「磁気による埋め込みサーボ」を採用している。サーボ信号に比べてデータ記録周波数が十分高ければ、データ信号を記録してもサーボ信号を消すことはない。

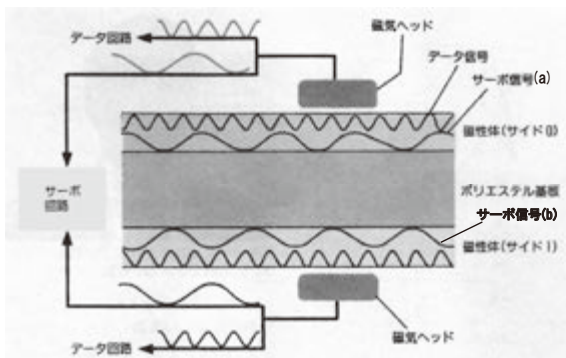


図 7.4 Brier Technology サーボ信号の深層記録
出典：日経バイト 1991 年 6 月号 p.138 図 5

サーボ信号パターンを図 7.5 に示す。ディスクのサイド 0 には (b) で示したパターンで、サイド 1 には (a) で示したパターンでサーボ情報が書き込んである。FDD の両面にあるサーボヘッドでサーボ信号を読み取り、サイド 0 とサイド 1 から検出したパルス信号の間隔からヘッドの通過位置を検出する。通過位置の検出誤差は $\pm 0.25 \mu\text{m}$ とのこと。

(3) 電子協の標準化案

電子協は国内各メーカー間の互換性がないままでは大容量 FDD の市場は拡大しないとの判断から、10M バイトに続いて 20M バイトの大容量 3.5 インチ FDD の統一仕様の検討を開始した。

下位互換を重視し、先に決めた 10M バイトの読み書きを可能にし、従来の 1M バイト (2DD)、2M バイト (2HD) のディスクとの読み書きも必須とし

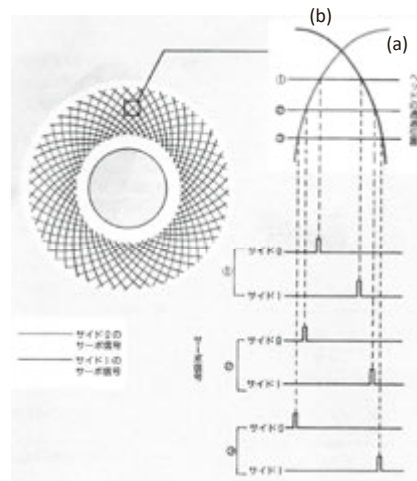


図 7.5 Brier Technology サーボ信号パターン
出典：日経バイト 1991 年 6 月号 p.139 図 6

ている。

トラッキングには磁気によるセクタサーボ方式を採用する。図 7.6 にセクタサーボのサーボパターンと信号を示す。サーボ信号は各トラックの中間の位置でデータセクタの間にサーボ領域に位置 (A、B) をずらして記録されている。ヘッドが正しい位置にある時は、A 領域からの信号と B 領域からの信号は等しくなる (サーボ信号②)。ヘッドが正しい位置からずれた場合には、A と B からの信号に差を生じる (サーボ信号①と③)。セクタサーボはハードディスクドライブのトラッキングに広く用いられている方式である。この方式のメリットは、トラッキングサーボ用に特別なディスクが不要で、かつドライブも一つのヘッドでデータ記録再生とサーボ信号の記録再生ができることである。ハードディスクドライブではディスクをスピンドルモーターに固定した後、サーボ信号を記録しディスクは出し入れされない。したがってトラックは限りなく同心円である。一方、フロッピーディスクドライブでは

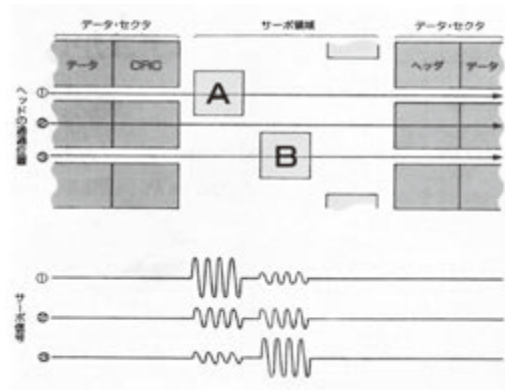


図 7.6 セクタサーボのサーボパターンと信号
出典：日経バイト 1991 年 6 月号 p.140 図 7

ディスクが交換されるので、そのトラックには偏心がある。またディスクの基板も温湿度で変形する。セクタサーボでトラッキングエラーを抑えられるかが課題である。

7.1.3 10M~20Mバイト大容量3.5インチFDDのビジネス

10M~20Mバイト大容量3.5インチMFDDは1990年前後に多くのメーカーが独自仕様の製品を提案・出荷し、また日本では電子協を中心にして統一した仕様を確立する試みがなされた。しかし、結果として大きなビジネスになることはなかった。

10M~20Mバイト大容量3.5インチMFDDは従来のドライブに比べて線記録密度、トラック密度を上げるのに多くの構成部品が必要とされ、更に下位互換に備えなくてはならないので、ドライブおよびディスクの材料費および加工費も従来に比べて格段に高くなっている。一方、従来のドライブとディスクは急激に価格が下がっていた。IBMを始めとするPCメーカーは、「市場で普及している2DD、2HDのディスクを読める3.5インチMFDDを標準装備することは必須である。下位互換を持った10M~20Mバイトのドライブとディスクの価格差は相当ある。この価格差をエンドユーザーは受け入れてくれるのか?」と問い、これに対してPCメーカー各社は「イエス」と言える積極的なメリットを見出すことができなかつたと考える。

7.2 大容量FDD (100M~200Mバイト)

100M~200Mバイトの大容量FDDとして、ここではIomegaのZip (100Mバイト)、SuperDisk (120Mバイト)、MD-Data (140Mバイト)、HiFD (200Mバイト) について説明する。

7.2.1 Zip¹⁾

(1) IomegaとZipの歴史

Zipドライブを開発したIomega Corporation (以後、Iomega) は1980年にIBMのアリゾナ州ツーソン工場からスピンアウトした16人のエンジニアによって創立された。彼らは流体力学のベルヌーイの定理 (Bernoulli Constant) を応用し、固定した円盤 (ベルヌーイ・プレート) を接近させてフロッピーディスクを回転させ、ディスクとプレート間に流れる空気流の吸引力によりディスク面に力を加え、面を安定させる方式を開発した。Iomegaは8

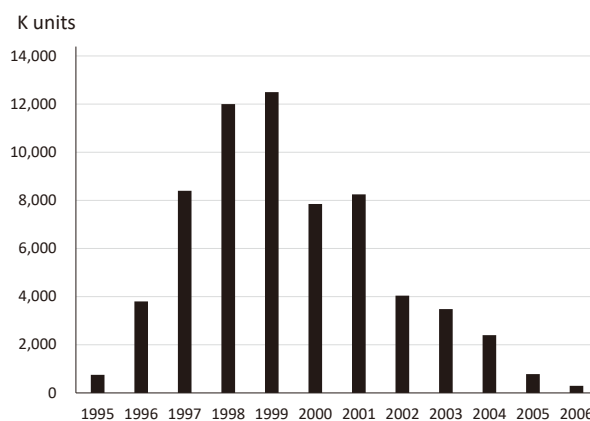


図 7.7 Zip 出荷台数

インチフロッピーディスクで1983年に容量10Mバイト、続いて20Mバイトを開発した。1985年には5.25インチのディスク2枚を一つのカートリッジに入れた容量20Mバイトの製品を発表した。その後44Mバイト、90Mバイト、150Mバイト、230Mバイトと新製品を1994年まで継続して導入した。

1994年1月に新しくCEOとしてKim Edwardsが就任した。彼は、ゼロから製品ラインアップを見直すこととし、30の重点セグメントで1,000余りの顧客の記憶装置についての潜在ニーズを4か月間かけて調査した。その結果がZipの基本構想となった。それは小型で100Mバイトの記憶容量、高速転送レート、装置の価格200ドル以下、ディスクの価格20ドル以下であった。販売戦略として、まず入手しやすい価格でドライブを提供し、顧客を確保して市場を拡大し、その上で汎用品のディスクは利益を確保した価格で販売するというを決めた。従業員から名前を募集し「Zip」と決めた。

そしてそれまでの開発プロジェクトを中止し、エンジニア達をZipに集中させ、6か月後の1994年11月のCOMDEX、1995年のMacWorldで製品発表とデモンストレーションを行った。Iomegaは図7.7に示すようにZipを1995年75万台、1996年380万台、1997年840万台、1998年1,200万台、1999年1,250万台と急速に伸ばしたが、その後毎年大幅に減少し、2007年には統計データから消えてしまった。

1995年から1999年2Qの間のIomegaの売上と税引き前利益の推移を図7.8と図7.9に示す。売上は1995年から1997年の間、年間を通して順調に伸びている。

しかし、1998年に入り売上成長は止まって減少に転じ、税引き前利益は減益に転じ、1998年、1999年と大幅な赤字を計上している。

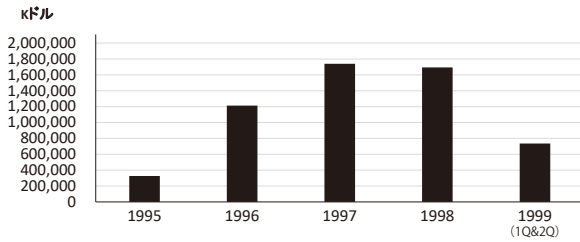


図 7.8 lomega 売上

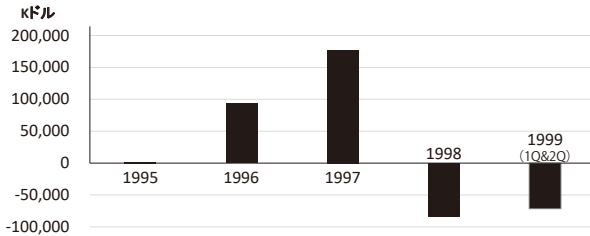


図 7.9 lomega 税引き前利益

この原因を考察する。1998年にソニーはCD-R/RWドライブを本格的に市場導入した。このドライブはCD-Rディスクに一度だけであるが記録でき、また何度も記録をしたい用途にはCD-RWディスクを使うことができた。このCD-R/RWドライブの最大のメリットは、記録したディスクをユーザーがPCに標準装備され広く使われているCD-ROMドライブで読めることである。したがって個人で作成したデータを他の人に渡し、相手は手元のPCに装備されたCD-ROMドライブで読むことができた。また、記憶容量はZipの100Mバイトに対して650Mバイトと圧倒的に多く、またCD-R、CD-RWのメディアの価格も安価であった。ソニーは、全世界のアフターマーケットの記憶装置市場に強い販売組織を持っているHPのColorado Memory Systems Divisionと提携して市場導入を図った。並行してIBMを始めとするPCメーカーに、将来CD-ROMドライブと1.44Mバイト3.5イ

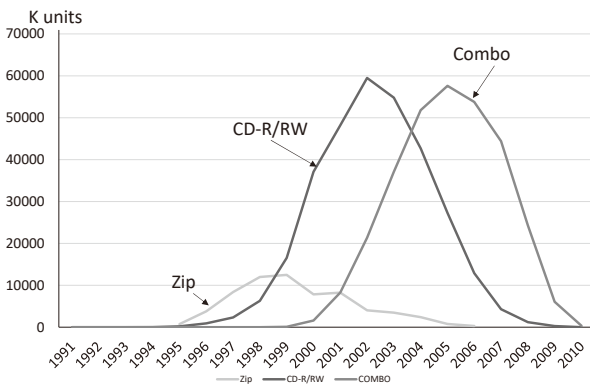


図 7.10 Zip, CR-R/RWドライブとComboドライブの出荷台数

ンチMFDDを一つのドライブで置き換えることを提案した。次世代としてCD-ROMがDVD-ROMに移行するのに合わせて、“Combo”ドライブを導入した。“Combo”はCD-R/RWのディスクを読み書きでき、CD-ROM、DVD-ROMが読めるドライブであった。

図7.10にZipとCD-R/RWドライブ、Comboドライブの出荷台数の実績を示す。CD-R/RWドライブとComboドライブの普及とともにZipは市場から消えた。

(2) Zipの仕様と技術

Zipの最大の特徴は企画の当初から従来の3.5インチMFDDとの下位互換を捨て、高速で大容量なリムーバブルのフロッピーディスクシステムを目指したことである。

また15年間独自に開発し培ったベルヌーイの定理(Bernoulli Constant)を応用したベルヌーイ・プレート方式(Bernoulli plate stabilization plate)で、フレキシブルディスクと磁気ヘッドの安定したコンタクトと信頼性を確立していた。また、それ以外の要素技術はハードディスクドライブ業界で採用されている要素技術をできる限り流用した。表7.4に主な仕様を示す。

表 7.4 Zip 100, Zip250の主な仕様

製造メーカー	Omega Corporation	
製品名	Zip 100	Zip 250
フォーマット容量(バイト)	100M	250M
線記録密度(bits/inch)	45978	72098
トラック密度(tracks/inch)	2116	3315
ZBR	4 zone	8 zone
記録変調	1-8 RLL	
ECC	4バイトCRC、48バイトECC(Interleaved Reed Solomon)	
平均シーク時間(msec)	29	
回転数(rpm)	約3000	
サーボ方式	セクタサーボ	
媒体	2層メタル粒子(ATOMM)	
インターフェース	ATAPI	
下位互換性	なし	
外形寸法(幅×奥行×高さ)mm	101.4×25.4×163.6	
重量(g)	460	
使用電源	5V±5%	
消費電力	4.0W	

図7.11に示すように、ディスクはプラスチックのケースに収められている。ヘッドが入り出す部分は金属製のシャッターで覆われていて、カートリッジがドライブに挿入されるとシャッターが自動

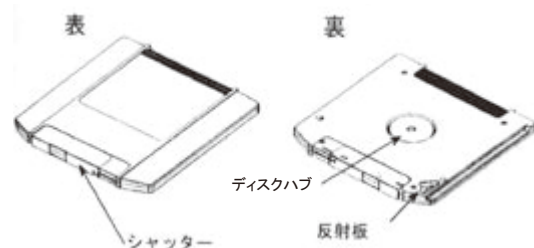


図 7.11 Zip ディスク カートリッジ

で開く。カートリッジの内面にはライナーが貼り付けられていて、磁性面に付着した埃内容などを吸着する。

ドライブにカートリッジが挿入されて動作状態にある時のディスクとヘッドの位置を図 7.12 に示す。またその時のディスク、ヘッド、ボイスコイルモーター (VCM) の位置関係の見取り図を図 7.13 に示す。

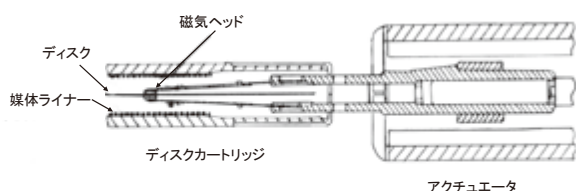


図 7.12 ディスクとヘッドの位置関係

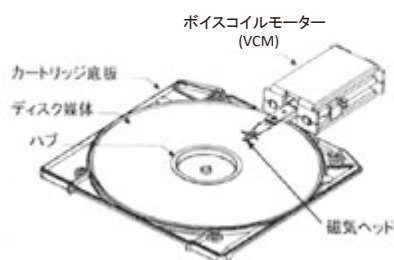


図 7.13 ディスク、ヘッド、VCM見取り図

Zip の場合は独自技術によりフレキシブルなディスクをカートリッジの内で回転させ、ディスクの面ブレを $50\sim 100\mu\text{m}$ の範囲に抑えることができた。しかし目標とする線記録密度を達成するには、磁気ヘッドの R/W ギャップとディスク表面のスペースを $30\sim 50\text{nm}$ 前後に保つ必要がある。これを実現するためにハードディスクドライブに使われている軽量で面追従性の良いナノスライダを採用し、更にスライダ面に 2 本の切り込みを入れ、4パッド型ナノスライダにして浮上量を最適化した。ディスク面ブレを $50\sim 100\mu\text{m}$ に抑え、この 4パッド型ナノスライダを使用したことにより RW ギャップとディスク表面のスペースを約 40nm にコントロールできるようになった。

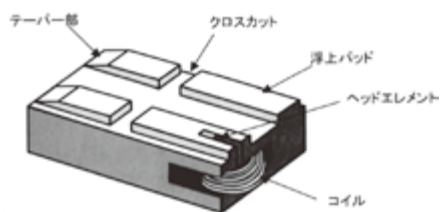


図 7.14 Zip の 4パッド型ナノヘッドスライダ

Zip は磁性体として富士写真フィルムが開発した ATOMM (Advanced super Thin layer and high Output Metal Media) を採用した。その構造は PET (Poly-Ethylene-Terephthalate) のベースフィルムの上に非磁性体の酸化チタンを主成分とする中間層を付着させ、その上に超薄膜 (Zip 用は $0.4\mu\text{m}$) のメタル粒子磁性層がコーティングされる。この中間層と磁性層を同時に 2 層コーティングする独特の生産方式により、磁性層を $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ の膜厚でかつ面の粗さも大幅に低減し、分解能、S/N、耐久性も良いディスクを実現している。

7.2.2 SuperDisk (LS-120)

SuperDisk は、松下寿電子工業、三菱電機と Imation (USA 3M のストレージ プロダクト グループ) が共同開発したりムーバブル磁気ディスクメディアであり、1996 年に発売された。フォーマット記憶容量は 120M バイトで、従来の 1M バイトおよび 2M バイトのディスクと下位互換を確保していた。技術は Insite Peripherals が開発した “Floptical” をもとに改良している (7.1.2 の (1) を参照のこと)。また、2M バイト 3.5 インチ MFD に 32M バイトのフォーマットをすることが可能であった。Parallel Port、USB、ATAPI、SCSI のインターフェースを持った製品ラインアップを揃え、PC、Apple Macintosh、Workstation のアフターマーケットで販売された。また、松下電器の Digital Camera PV-SD4090 および PV-SD5000 に採用された。

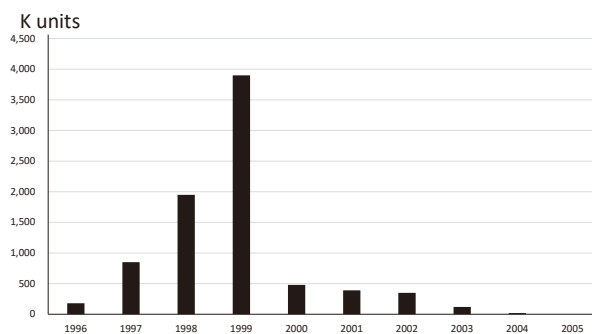


図 7.15 SuperDisk ドライブ出荷台数

図 7.15 に SuperDisk ドライブの出荷台数を示す。SuperDisk ドライブはポスト 3.5 インチ MFDD としてはかなり成功した。しかし CD-ROM でのブートが可能になると FD の「OS インストール時の起動用」という重要な役割が消えてしまい、そもそも FD がなくなってしまう。すると SuperDisk は速度が遅くて容量の少ないメディアに位置付けられた。2000 年に 240MB と拡張されたが、CD-R/RW ドライブが

導入されると、CD-R/RW ドライブは記録済み CD-R あるいは CD-RW ディスクが市場普及している CD-ROM ドライブで読めること、記憶容量が 650M バイト、ディスクが安価、等の圧倒的なメリットがあり、SuperDisk は Zip と同様に 2000 年には急激に出荷台数が減り、2004 年には市場から姿を消した。

7.2.3 MD-Data

1992 年 11 月、ソニーでは Mini Disc の初代モデル MZ-1 が華々しくデビューした。オーディオ用 MD と並行して PC 市場向けの MD-Data もソニー本社総合研究所で開発されていた。この部隊とそれまで FDD の開発を行ってきたメンバーを FDD 事業部に結集し、データストレージ事業本部は大々的に MD-Data の開発に乗り出した。

MD-Data は容量 140M バイト、転送レート 1.2Mbit/sec と、3.5 インチ MFDD に比べて容量で 100 倍、転送レート 5 倍の性能であった。ソニーはこれを 1994 年 3 月の CeBIT で発表し、CeBIT ベストプロダクト賞を獲得した。そして 1994 年春に PC 内蔵用 1 インチ高さドライブを、1995 年にはソニーブランドで外付けタイプを出荷したが、残念ながら販売は全く振るわず、初出荷から 1 年半後の 1995 年秋、早々と MD-Data ビジネスの撤退を決めた。この間の出荷台数は累計約 5,000 台であった。

なぜ期待に反して MD-Data ビジネスが浮上しなかったのか。まず、ハードディスクに加えて CD-ROM が急速に普及し、PC ユーザーの FDD への依存度が 80 年代よりずっと小さくなっていたことが挙げられる。既に機能分化のはっきりしてきた PC 用記憶装置の中で、独自の位置付けや特長を強力にアピールできない限り、市場に新フォーマットを受け入れる余地はない。MD-Data がアピールできるのは、オーディオ用 MD との互換性であり、MD の普及に伴うドライブとメディアの低価格化であった。

だが実際はそれをアピールするどころか、それに逆行する戦略が立てられた。すなわち次のような方針が採られたのである。

- ・ MD プレーヤー/レコーダーにかからないデータ用メディアが導入され、オーディオ用メディアにはデータを記録できないようにした。
- ・ PC 内蔵 FDD への置き換えが可能ないように 1 インチ高さのドライブを設計した。そのため新規設計部分が多く、高価格にせざるを得なかった。
- ・ インターフェースを SCSI にした。SCSI は市場として Macintosh と Workstation にしかなく狭

かった。

- ・ 優れたドライブであるとの驕りから、PC メーカーから Royalty を取るという非現実的な方針を打ち出し、自ら PC 業界での標準採用の道を閉ざした。

MD は AV 部門が主導して開発されたフォーマットであり、PC 業界への知見不足が MD-Data の戦略を誤らせたと言えるかもしれない。

7.2.4 HiFD

1996 年の秋、ソニーで再び大容量 FDD の話が持ち上がった。

当時 FDD 業界では、1995 年 3 月に Iomega が 100M バイトの Zip ドライブを導入して大躍進していた。同じ頃、ミツミはスワンと組み、HP の Mass Storage グループを加えて、UHS と呼ばれる 128M バイトの FDD を 1997 年下期に導入しようとしていた。ソニーは当時、大容量 FDD に関心を持っていなかったが、HP とミツミがそれぞれソニーに UHS を共同開発しようと働きかけてきた。そこで急遽、ソニー独自技術で大容量 FDD を開発することを決め、1997 年 1 月にプロジェクトが発足した。図 7.15 にドライブとディスクの写真を、また、表 7.5 にドライブの仕様を示す。



図 7.16 ソニー HiFD 3.5inch MFDD

表 7.5 ソニー HiFD 仕様

アンフォーマット記憶容量	両面 240 Mバイト
フォーマット記憶容量	両面 200 Mバイト
ディスク直径	86mm
シェル外形寸法	96mm×90mm×3.3mm
トラックピッチ	9 μm
トラック密度	2822tpi
線記録密度	91Kbpi
変調/復調方式	PRML(16-17code)
転送速度	最大 3.6Mバイト/sec

主な特徴は下記のとおりである。

- ・ 大容量 200M バイト

新たに開発した超薄層塗布型メタルディスクと、デュアル ディスクリフト ギャップ ヘッドの採用により、大容量フロッピーディスクとしては最大の 200M バイトを実現した。画像や音声のよ

うな大容量のデータファイルを容易に取り扱うことができる。

・高速転送速度と高速アクセス

高い線記録密度と、3,600回転/分 (rpm) の高速ディスク回転により、最大3.6Mバイト/secの高速転送速度を実現した。また、デュアルディスクリットギャップヘッドをハードディスクと同様の浮上型にし、同時にヘッドの駆動にはボイスコイル・モーターを採用したことで高速アクセスを可能にした。

・現行3.5インチFDDとの記録・再生互換

デュアルディスクリットギャップヘッドにより、現行の3.5インチFDとの記録・再生互換を実現した。本システムを採用したドライブで現行の3.5型フロッピーディスク(2DD/2HD)からデータの読み出しができるだけでなく、書き込みも可能なため、現在ユーザーが数多く所有している3.5型フロッピーディスクを有効に利用できる。

・高信頼性

ヘッドローディングをソフトに行う新機構の開発により、ディスクの摩耗を低減した。また、エラー訂正機能の搭載により高い信頼性を確保した。加えて、カートリッジには新しいシャッター形状を採用し、チリや埃が内部に進入しにくい構造になっている。

1998年11月には2万台を生産し、ソニーブランドでソニーの販売網に出荷するとともにIBMに評価用ドライブを提出した。ところがIBMでの評価に於いて、ヘッドがディスクを傷付ける現象が全数傾向で発生し、必要とされる信頼性規格を満たさないことがわかった。出荷したドライブは急遽回収され、種々の技術検討が1998年暮れから1999年2月にかけて行われた。そして、1999年2月末、この問題は応急処置では対応できないとの判断がなされ、HiFDの基本技術を再度検討して開発をやり直すことが決まった。新たな出荷目標を1999年秋とし、市場導入計画も見直すことになった。

約1年間の基礎検討の結果、下位互換を確保してHiFDを量産することは困難との判断がなされ、市場導入は断念された。最大の課題は磁気ヘッドであった。下位互換を確保するためには一つのヘッドブロックに1M/2M用ヘッドチップとHiFD用のヘッドチップを入れることになり、形状が大きくなった。1M/2Mディスクが挿入され300rpmで回転する時のヘッドとの当たりを確保し、ディスクの信頼性を確

保することはできた。HiFDディスクが挿入されるとディスクは3,600rpmで回転する。この状態で磁気ヘッドはディスク表面上に空気層数十nmで安定に浮上する必要がある。しかし、ドライブに振動・衝撃が与えられると磁気ヘッドは浮上姿勢を安定に保つことができず、ディスク表面に衝突し磁性膜を傷付けデータを破壊した。ヘッドブロック浮上姿勢を保つためのいくつかの試みがなされたが、信頼性を保証して浮上させるヘッドの開発の見通しが立たなかった。

HiFDの失敗の根源は、1990年以降ソニーがFDDの技術開発を中断したことにある。既に述べたように一度はFDDに見切りをつけて、設計・開発リソースをMD-Dataに完全にシフトさせた。その結果、FDD技術には6年間のブランクができ、高密度記録のヘッド、メディア、トライボロジー、ECC等の技術が絶えてしまった。特にフロッピーディスクを高速で回転させた時のディスク表面の安定性、磁気ヘッド表面と磁気ディスク表面間の100nm以下の保証、また、振動・衝撃時のヘッドブロックの姿勢、等、多くの基本的開発をスキップして製品設計を行った。

しかし、一方で技術的な課題がなくHiFDが計画どおり量産されたとしても、CD-R/RWドライブが導入されると、他の大容量FDDと同様に市場から消えることになったであろう。

参考・引用文献

- 1) 金子峻著「Zipの挑戦」オーム社 1999年6月
- 2) 「FDD市場推移データ (from 1980 to 2010)」、テクノリサーチシステム
- 3) 「ODDの市場推移データ (from 1991 to 2019)」、テクノリサーチシステム
- 4) 「ヘッド位置決め制御の改善で最大12.5Mバイト、406.4TPIを達成した3.5インチ型フロッピー」日経エレクトロニクス 1986年8月25日
- 5) 「精度±3μmのサーボ技術で容量12Mバイトを実現した3.5インチ型フロッピーディスク装置」日経エレクトロニクス 1986年11月17日
- 6) 「サーボと高密度媒体の採用で容量アップが進むフロッピーディスク」日経エレクトロニクス 1987年1月26日
- 7) 「20Mバイトの3.5インチフロッピー、埋め込みサーボを採用」日経エレクトロニクス 1987年11月2日
- 8) 「東芝の特許公開で4Mバイトを超えるフロッピーの普及近づく」日経エレクトロニクス 1987年11月16日

- 9) 「容量 9.34M バイトのフロッピー装置を日本電気の PC-8800 シリーズで採用」 日経エレクトロニクス 1988 年 3 月 21 日
- 10) 「日電の 9.34M バイト 3.5 インチフロッピーディスク装置、大容量フロッピーの離陸は間近い、水面下で進む標準化の進展次第」 日経エレクトロニクス 1988 年 5 月 30 日
- 11) 「‘Floptical’ disk drive stores 20.8Mbyte of data」 Electronic Design August 11, 1988
- 12) 「容量 20M バイトの 3.5 インチ FDD, 250 ドルで登場、光サーボ方式採用でトラック密度 1250TPI へ」 日経エレクトロニクス 1988 年 9 月 5 日
- 13) 「容量 16M バイト、平均アクセス 50ms の 3.5 インチ FDD を松下も商品化」 日経エレクトロニクス 1988 年 11 月 14 日
- 14) 「互換性を保ちつつ大容量化進む 3.5 インチフロッピー」 日経バイト 1989 年 4 月
- 15) 「離陸する大容量 3.5” FDD 精密メーカーと制御がかなめ」 日経メカニカル 1989 年 8 月 7 日
- 16) 「アンフォーマット容量 50M バイトの 3.5 インチ FDD を量産開始」 日経バイト、1990 年 2 月
- 17) 「下位完全互換で 28M バイトの 3.5 インチ FDD を開発、4M バイトの次の標準をねらう」 日経エレクトロニクス 1990 年 7 月 9 日
- 18) 松川茂、他 3 名「3.5 インチ 16MB フレキシブル磁気ディスク装置」 National Technical Report Vol.36 No.5, Oct 1990
- 19) 「13.28 M バイトの 3.5 インチ FDD、電子協が JIS 素案作成、27.96M バイトと 51.4M バイトも検討」 日経エレクトロニクス 1991 年 3 月 25 日
- 20) 「決め手欠く大容量 FDD、離陸する 2.88M バイト、10M バイト以上は先行き不透明」 日経バイト 1991 年 6 月
- 21) Sony Japan プレスリリース 「ソニーと富士フィルム、現行 3.5 型フロッピーディスクシステムと互換性を持つ大容量 200MB の 3.5 型フロッピーディスクシステム『HiFD』を共同開発」 www.sony.co.jp (in Japanese). October 14, 1997.
- 22) 嘉本秀年「私家版 データ ストレージの歴史」 1999 年 11 月 30 日

8 | 3.5 インチ MFDD ビジネスの俯瞰

フロッピーディスクドライブ (FDD) は、IBM が開発をして 1970 年に 8 インチを発表し、IBM のエンジニアだった Alan Shugart が興した Shugart Associates が 1976 年に 5.25 インチミニ FDD を世に出した。さらにソニーが 1980 年に 3.5 インチ MFD と MFDD を発表した。そして 2009 年にソニーが 3.5 インチ MFDD の生産を中止し、フロッピーディスク産業は終焉となった。

この間 40 年間、数多くのサイズそして容量のフロッピーディスクとドライブが提案されたが、結果としてデファクト標準となったのは、IBM の 8 インチ FDD、Shugart Associates の 5.25 インチミニ FDD、そしてソニーの 3.5 インチ MFDD のみであった。

フロッピーディスクの業界では新しいドライブは下位互換、すなわち新しい高容量のディスクを読み書きできると同時に、市場にある古いディスクも読み書きできることが必須であったことから、革新的な技術を導入したドライブがなかなか受け入れられなかった。

そんな状況下、ソニー 3.5 インチ MFD と MFDD は例外的に受け入れられ世界標準となった。この要因は下記の 3 点が考えられる。

- ・ パーソナルコンピュータの出現に伴い、小型のフロッピーディスクとドライブが望まれていたこと
- ・ ソニーの提案したフロッピーディスクの使い勝手が従来の 8 インチ、5.25 インチのフロッピーディスクに比べて圧倒的に良かったこと
- ・ ディスクの位置決め画期的な発明が用いられていたこと

この章では 3.5 インチ MFD と MFDD ビジネスの来歴を俯瞰する。

8.1 3.5 インチ MFDD の出荷台数

図 8.1 に 1980 年から 2010 年間の年ごとのフロッピーディスクドライブの出荷台数を示した。1980 年から 2010 年の 30 年間の 8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチのドライブの出荷台数累計は 19.0 億台であった。そのうち 90% の 17.1 億台が 3.5 インチドライブであった。

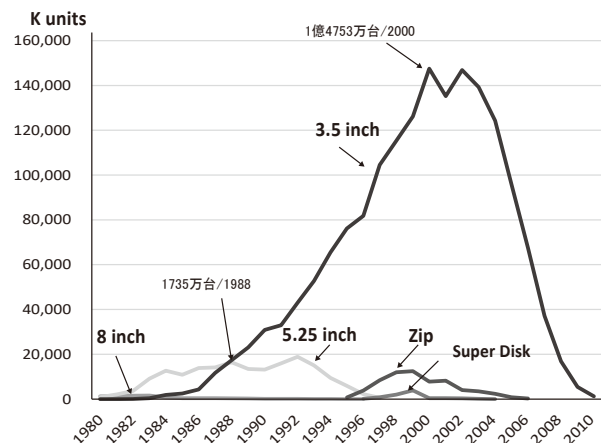


図 8.1 全世界 FDD の年間出荷台数の推移

また、1980 年にソニーが発表したドライブで記録された 437.5K バイトのディスクと下位互換を維持しながら、500K バイト (1DD)、1M バイト (2DD)、そして 1986 年に 2M バイトの記憶容量ドライブとディスク (2HD) に進化し、2M バイトのドライブとディスクが 2010 年まで出荷された。この間、多くのメーカーが 2M バイトを超える 3.5 インチフロッピーディスクドライブの市場導入を試みたが、2M バイトディスクとドライブを置き換えることはできなかった。

3.5 インチ MFDD は 1982 年に HP の周辺機器に、そして 1984 年に Apple の Macintosh に採用されてスタートしたが、世界標準となるきっかけは 1987 年 4 月に IBM が 2M バイト 3.5 インチ MFDD を IBM PS/2 に標準装備したことであった。それから IBM および PC 互換機メーカーは一斉に新機種からそれまでの 5.25 インチミニ FDD を 3.5 インチ MFDD に切り替えた。図 8.1 でわかるように 3.5 インチ MFDD の出荷台数は 1987 年より急速に増え、1988 年には 1,735 万台そして 2000 年にはピークの 1 億 4,753 万台に達した。

図 8.2 に 1991 年から 2011 年間の PC と 3.5 インチ MFDD の年間出荷数を示した。この図でわかるように、3.5 インチ MFDD の出荷台数は 2003 年頃まで PC の出荷台数とほぼ同じで、PC に標準搭載されて PC の伸びと同期して伸びた。その間、1998 年に Apple が iMac を発表した。これは PC 業界でフロッピーディスクドライブの標準搭載をなくした最初の機種であった。しかし、IBM、Compaq、DELL、HP 等の PC メーカーは追従せず、2003 年までは 3.5 インチ MFDD の出荷台数は PC の出荷台数とほぼ同じ

であった。しかし、2004年以降3.5インチMFDDを搭載したPCは急激に減り、2010年には3.5インチMFDD、すなわちフロッピーディスクドライブの出荷は統計上なくなった。

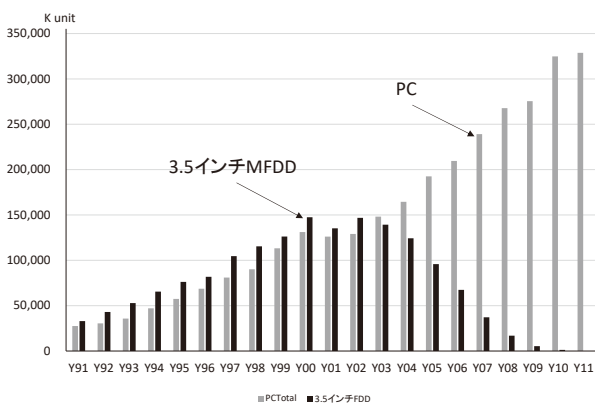


図 8.2 PC と 3.5 インチ MFDD の出荷台数

Apple が iMac へのフロッピーディスクドライブの標準搭載をやめた 1998 年頃から、3.5 インチ MFDD の役割は、それまでに記録・保管されている膨大なディスクを読むためのみに必要であり、それ以外の役割は他のテクノロジーが既に担っていた。顧客が使う機会は多くないがドライブの OEM 価格が 1 台 6 ドルまで低下していたため、PC メーカーにとってはコスト負担にならないので標準搭載したと考えられる。

フロッピーディスクの役割がどのようなテクノロジーによって置き換えられたかは第 9 章で詳しく説明する。

8.2 3.5 インチ MFDD の単価と売上金額

図 8.3 に導入から 2010 年に収束される間の平均価格の推移を示した。ドライブの平均単価は数量の増加とともに急激に低下し、1988 年には 72.9 ドルであったが、2000 年には 11.2 ドルになった。そしてドライブ

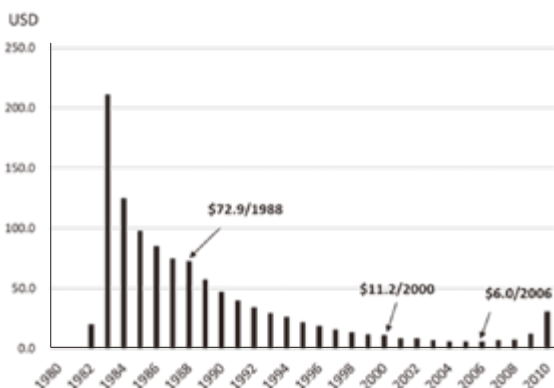


図 8.3 3.5 インチ MFDD 単価

の出荷台数が減少に転じた 2004 年以降も下がり続け、2006 年には 6.0 ドルまで下落した。

図 8.4 に 3.5 インチ MFDD 業界全体の売上金額を示した。業界の売上金額は 1980 年に 3.5 インチ MFDD が導入されて以降急激に伸び、1988 年には 1,264 百万ドルに達した。その後、出荷台数は大幅に伸びたが価格が大幅に低下したため売上金額は頭打ちとなり、2000 年にピークの 1,658 百万ドルに達した。その後は出荷台数が急速に減り単価は低下し続け、売上金額は加速的に減少した。

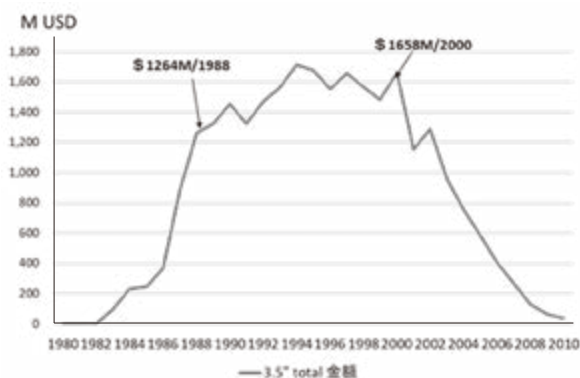


図 8.4 全世界 3.5 インチ MFDD 出荷金額

更に、日本メーカーは急速に進んだ円高に苦しめられた。図 8.5 に示すように 1988 年には 128 円 / ドルだった為替レートは、2000 年は 108 円 / ドルそして 2010 年には 88 円 / ドルまで円高が進行した。日本のドライブメーカーが 1998 年に 72.9 ドルだったドライブを 2006 年には 6.0 ドルまで下げることができたのは驚異である。



図 8.5 円と US ドルの為替レート

8.3 3.5 インチ MFDD のドライブ メーカーシェア

3.5 インチ MFDD の出荷台数がピークであった 2000 年のドライブメーカーのシェアを図 8.6 に示す。ミツミ電機 20.7%、三星電機（サムソン）14.2%、NEC 13.9%、TEAC 13.4%、松下通信工業 13.4%、ソニー 9.0%と続く。

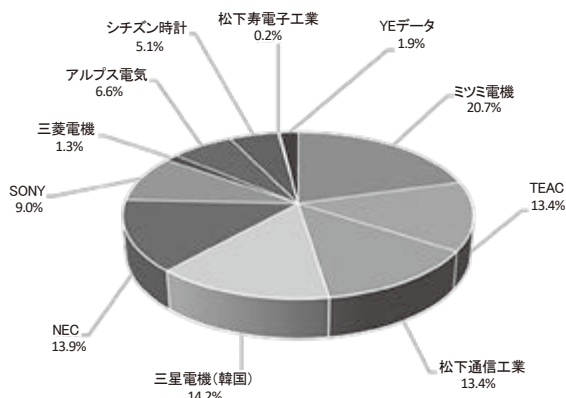


図 8.6 2000 年の 3.5 インチ MFDD メーカーシェア

IBM が 3.5 インチ MFDD の標準搭載を決めた後にいくつかの台湾メーカー、韓国メーカーが 3.5 インチ MFDD 市場への参入を試みた。しかし、チャッキング機構、磁気ヘッドとディスクの摩擦のコントロール、ヘッドのアライメント等、ノウハウを必要とする工程があり、顧客を満足させる性能・信頼性を確保して生産することができなかった。結果として、3.5 インチ MFDD のメーカーは三星電機（サムソン）を除いてすべて日本メーカーであった。

8.4 3.5 インチ MFDD 日本メーカーと機種名

表 8.1 にアンフォーマット容量 250K バイトから 4M バイトまで出荷した日本メーカー名と機種名をリストアップした。わかっているだけで 20 社が 256 機種の市場導入を行った。

表中の略称と名称のドライブ仕様は下記のとおりである。

- 1D : 250KB、片面、倍密度、40トラック
- 2D : 500KB、両面、倍密度、40トラック
- 1DD : 500KB、片面、倍密度、80トラック
- 2DD : 1MB、両面、倍密度、80トラック
- 2HD : 1.6MB、両面、高密度、77トラック
- 2HD : 2MB、両面、高密度、80トラック
- 2ED : 4MB、両面、超高密度、80トラック

3.5 インチ MFDD ではドライブの高さ（厚さ）が大きな差別要因となった。

表中の *1~*9 はドライブの厚さの種類を示し、その厚さとコメントは下記のとおりである。

- *1 : 51mm 厚、ソニーの第 1 世代ドライブのみ
- *2 : 40~44mm 厚、5.25 インチドライブの標準 41mm に合わせた企画
- *3 : 35mm 厚
- *4 : 30~32mm 厚、ソニー第 2 世代ドライブ
- *5 : 28~29mm 厚
- *6 : 17.8~19.5mm 厚
- *7 : 15mm 厚
- *8 : 12.7mm 厚
- *9 : 11.0mm 厚、ノート PC 用に薄型に特化してシチズン時計が提案
- *なし : 1 インチ厚、デスクトップ PC 用の標準ドライブ

デスクトップ PC には 1 インチ厚のドライブが標準として使われた。ノートブック PC には薄型ドライブがプレミアム価格で使用された。

8.5 3.5 インチ MFD の出荷枚数、単価、売上金額

図 8.7 は全世界のフロッピーディスクの出荷枚数を示す。1980 年から 2010 年の 8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチフロッピーディスク全部の累積台数は 489 億枚であり、そのうち 3.5 インチディスクの累積枚数は 355 億枚で全体の 73%であった。

IBM の PS/2 の 3.5 インチ FDD の標準搭載以後、ディスクの出荷枚数も急速に増加し、1995 年のピーク時には 34 億 8,000 枚に達した。

図 8.8 に 3.5 インチディスクの単価の推移を示した。1982 年に OEM 価格 7.25 ドルで売られた 3.5 インチディスクは、IBM が PS/2 で採用し業界標準になった 1988 年は 1.75 ドルに、年間最高出荷となった 1995 年には 0.26 ドルに、そして 2008 年には 0.10 ドルにまで低下した。

図 8.9 に全世界の 3.5 インチ MFD の売上金額の推移を示す。図でわかるように、ディスクの売上金額は 1992 年の 1,820M ドルをピークに急激に減少していった。

図 8.1 のドライブの出荷台数と図 8.7 のディスク出荷枚数の推移をみると、その傾向がかなり異なっている。この理由を推察するため、過去 3 年間に出荷された 3.5 インチドライブの台数（市場で使われているド

表 8.1 3.5 インチMFDDメーカーと機種一覧

略称	片面・倍密度 1D	両面・倍密度 2D	片面・倍密度 ・倍トラック 1DD	両面・倍密度 ・倍トラック 2DD	両面・高密度 ・倍トラック 2HD 1.2MB	両面・高密度 ・倍トラック 2HD1.44MB	2ED2.88Mバイト
アンフォーマット 記憶容量	125Kバイト	250Kバイト	500Kバイト	1Mバイト	1.6Mバイト	2Mバイト	4Mバイト
アルプス電気	FDV113A*2 FDV114A*2	FDV123A*2 FDV124A*2	FDV213A*2 FDV214A*2 DFL313*2 DFM413*4	FDV223A*2 FDV224A*2 DFL413*2 DFM413*4 DFP423A/D DFP423E/F	DFP683A/D DFP683E/F	DFL731*2 DFM713*4 DFP723A/D DFP723E/F DF334H DF354H/N	DFR883F
沖電気				GM3403BU			
キャノン	MD353*4 MD3101 MD3102	MD352*4 MD3201 MD3202	MD351*4 MD3301 MD3302	MD350*4 MD3401 MD3402	MD3541		
コバル			F-3503*4	F-3504*4 F-3534			
三協精機	FDU-350S*2 FDU-360S*4	FDU-350D*2 FDU-360D*4	FDU-355S*2 FDU-365S*4	FDU-355D*2 FDU-365D*4 FDU-380	FDH-480 FDH-485	FDH-580	
シチズン時計				OMDT-20A ONDT-50A OPDA-10A OSDC-00A OSDC-29J OSDD-00A UODC*6: UODD*6:	ORDA-00A OSDB-00A UODB*6: UIDB*6:	OSDA-00A OSDA-78J/L OSDA-20J-HD OSDE-78J UODA*6: UIDA*6: VIDA*7 WIDA*9 ZIDA-78A ZIDE-58A XIDE*8	
セイコーエプソン	SMD-110*2 SMD-150*2	SMD-120*2 SMD160*2	SMD-130*2 SMD-170*2 SMD-270 SMD-470	SMD-140*2 SMD-180*2 SMD-280 SMD-480 SMD-480L SMD-389*2 SMD-380	SMD-220 SMD-420L SMD-320	SMD-349*2 SMD-240 SMD-440L SMD-340 SMD-1040*6: SMD-1300 SMD-1340	SMD-1060*6:
ソニー			OA-D30V*1 OA-D31V*1 OA-D32V*1 OA-D33V*1 MP-F52V*4 MP-F53V*4	OA-D32W*1 OA-D33W*1 MP-F52W*4 MP-F53W*4 MP-63W MP-F11W	MP-F83W*4 MP-F18W	MP-F73W*4 MP-F17W MPF420 MPF520 MPF920 MPF820*8 MPF720*8	MP-F40W
チノン	F-351*2	F-352*2	F-353*2 F-353E*4	F-354*2 F-354E/C*4 F-354L		F-357L	
TEAC			FD-35EN*2	FD-35FN*2 FD-135FN FD-235F FD-335F*6:	FD-35GN/GFN*2 FD-135GFN FD-235GF FD-335GF*6:	FD-35HFN*2 FD-135HFN FD-235HF/HG FD-235HS FD-335HF/HS*6: FD-05HF/HG*8 FD-CR7	FD-235J/JS G FD-335J/JS*6:
東芝			ND-353A/S*2 ND-351S/T	ND-354A/S*2 ND-352S/TA ND-352SH/TH	ND-355S/TA	ND-356S/TA ND-3561	PD-201*2 PD-210 PD-211
日本電気			FD1034*2	FD1035*2 FD1036A*4 FD1037A	FD1135C/D*2 FD1136C*4 FD1137C/D FD1138C/D*6:	FD1137H FD1138H*6: FD1139H*7 FD1148H*6: FD1231H/T/M FD1238H/T*8	
ビクター			MDP-30*5 MFD-3503Z*4	MDP-40*5 MFD-3103Z*4			
日立					HFD716A*2		
富士通		FDM1100A*2 FDM1110A*2		FDM1200A*2 FDM1210A*2 M2532L*4 M2532K	M2533L*4 M2524L*4 M2533K M2534K	M2536L*4 M2536K M2537K	
ブラザー			FB-510*2 FB-015*5	FB-600 FB-620	FB-700 FB-710	FB-800	
松下通信工業	JU-312*4 JU-313*4 JU-314*4		JU-322*4 JU-323*4 JU-324*4 JU-252	JU-362*4 JU-363*4 JU-364*4 JU-253 JU-243A JU-253A	JU-386*4 JU-255 JU-255A	JU-394*4 JU-396*4 JU-256A JU-257 JU-257T JU-257A JU-226A*8 JU-227A*8	
松下電子部品			EME-112	EME-212 EME-213 EME-214			
三菱電機			MF351*2	MF353*2 MF353B*4 MF353C	MF354*2 MF354B*4 MF354C	MF355*2 MF355B*4 MF355C	MF356F
ミツミ	D351		D355*3 D355K*4 D355T	D357*3 D357K*4 D357T	D358T D358F*8 D358T7 D358F2*8	D359K*4 D359T/D353T D359F/D353F*8 D359G/D353G*8 D359M/D354M	
YE-DATA		YD-620*2 YD-625*2		YD-640*2 YD-645*2 YD-645C YD-646C	YD-665B*2 YD-665C YD-666C YD-686C	YD-701 YD-702 -6238D -6537D -6638D/6639D YD-702*8	YD-740

*1: 50mmH *2: 40-44mmH *3: 35mmH *4 30-32mmH *5:28-29mmH *6: 17.8-19.5mmH
*7: 15mmH *8:12.7mmH *9: 11.0mmH *なし: 1インチ
<http://radioc.web.fc2.com/column/fddlist.htm>

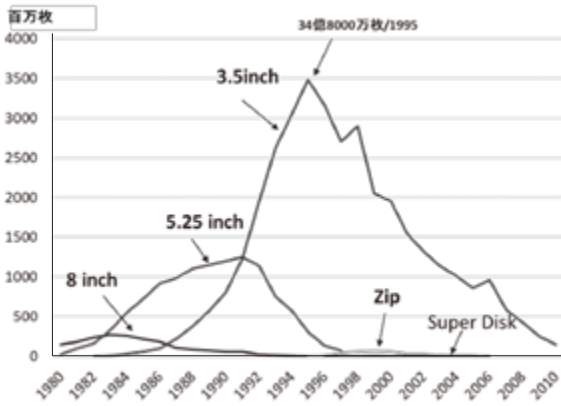


図 8.7 全世界フロッピーディスク出荷枚数の推移

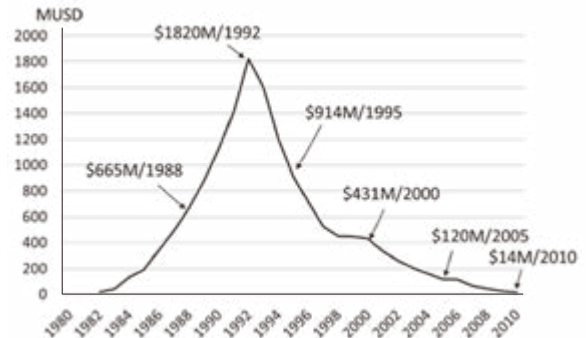


図 8.9 全世界 3.5 インチ MFD の売上金額

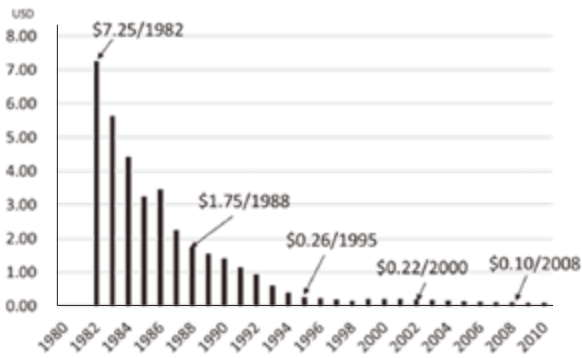


図 8.8 3.5 インチ MFD の単価

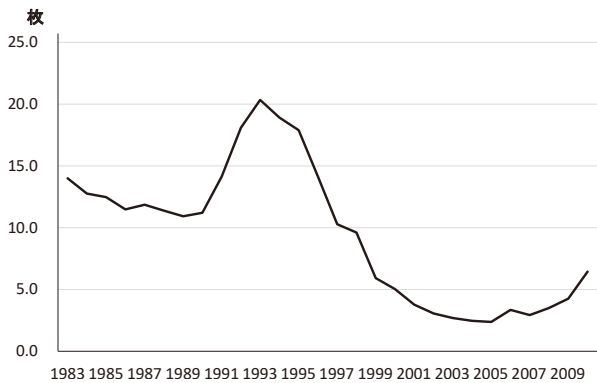


図 8.10 ディスク出荷枚数 / 過去 3 年間ドライブ出荷台数

ライブの想定台数) でその年に出荷されたディスクの枚数を割ったグラフを図 8.10 に示す。

1990 年以降ディスク枚数が急増しているのは、OS およびアプリケーションのプログラムサイズが増加していったためである。1995 年に Microsoft は OS Windows 95 を発表し、CD-ROM ドライブをブートデバイスに追加した。PC メーカーは一斉に CD-ROM ドライブを標準搭載し始め、それ以降、OS およびアプリケーションソフトウェアの配布はフロッピーディスクから CD-ROM に切り替わったと考えられる。

参考・引用文献

- 1) TSR FDD 市場推移データ (from 1980 to 2010) をもとに著者が加工 (図 8.1、図 8.2、図 8.3、図 8.4、図 8.6、図 8.7、図 8.8、図 8.9、図 8.10)
- 2) 表 8.1 3.5 インチ MFDD メーカーと機種一覧 <http://radioc.web.fc2.com/column/fddlist.htm> より著者が加工

【元 FDD メーカー技術者のつぶやき】

高橋昇司は 1974 年から 2005 年まで、約 30 年間フロッピーディスクドライブ業界に身を置いていた。8 インチ、5.25 インチの FDD の開発を YE データで、3.5 インチ MFDD そして Iomega の 1.8 インチ小型 FDD “CLik!” の開発をシチズン時計で行った。その間、「新フロッピーディスク装置とその応用ノウハウ」「フロッピーディスク装置のすべて」(CQ 出版社)を執筆し、「フロッピーディスク装置設計・応用の要点」(日本工業技術センター)を監修し、日本に於けるフロッピーディスク装置の技術の普及に貢献した。

① 互換性

3.5 インチ FDD の製造は本家ソニーの他に、当初は国内 20 社以上が参入、FDD の製品化を行い、世界中のシステムメーカー、PC メーカーにドライブの供給を行った。それらの FDD はデータが書き込まれた FD を通して、他社のドライブとの互換性を維持しなければならないわけで、本家ソニーは JIS、ANSI 等の規格化も含め各社の互換性維持の苦勞が大きかったに違いない。

FDD の検査に使う標準ディスクには、主にヘッドの位置を信号から読み取って位置調整・検査を行うアライメントディスクと、ヘッドの磁気特性を調べ、エラーレートを確認するリードライトディスクがあり、ともにゴールドディスクをソニーより購入し、それをもとに各社で大事に複製（シルバーディスク、更に下の作業用ディスク）を作成、これをドライブ組み立て時に使い調整・検査をした。ディスクの素材 PET フィルムは温度膨張、湿度膨張するので、特に 1 ミクロンメートル程度の精度が必要なアライメントディスクの保管、複製の作成は 23℃ 50% の恒温恒湿室で行う必要があった。

② FDD 製品開発

FDD は FD を介して自社はもちろん、他社との互換性も取る必要があり、勝手な規格のドライブは作れない。逆に言うと如何に普通で特長のない他社と同じ物を作るかが重要で、各 FDD メーカーができるのは、小型化、薄型化、軽量化そして低価格化であった。

③ 小型化

FDD の平面的な小型化は FD の大きさ（90 × 94 × 3.3mm）が決まっているので難しく、当初のソニー製品が奥行き 130mm、幅 102mm であったのに対し、奥行きはソニー推奨サイズの 150mm が主流になった。幅は 4 インチ 101.6mm が主流で、一部 96mm と狭くなった程度である。

④ 薄型化

FDD 開発の第 1 主戦場は薄型化で、当初のソニーのドライブは厚み 51mm（2 インチ）であるが、その後 1984 年にシチズン時計が上面から FD を入れるトップロード方式で半分の 1 インチ 25.4mm FDD を発表した。FD を前面から挿入するフロントロード方式では、各社様々に薄型化し、40mm、32mm、28mm、25.4mm、そしてノート PC にも搭載するため更に薄い FDD の開発が進み、19.5mm、17mm、15mm、12.7mm 更に 11mm まで薄型化した。

FD の厚みが 3.3mm、装着時の上下動が 2mm 程度、その下にディスクチャッキング機構と駆動のモーターを配置し、更にディスク着脱時には上ヘッドと FD のシャッターが当たらないように上ヘッドは FD 上面より更に上にあげなければならないことを考えると薄型化の難しさがわかる。

結局主流になったサイズはデスクトップ PC 用では 25.4mm FDD、ノート PC 用では 12.7mm FDD であった。

⑤低価格化

そして最大の戦場がFDDの低価格化であった。システムメーカーからの毎半期、毎四半期のコストダウン要求に向け、涙ぐましい努力がされた。1985年3.5インチFDDのOEM単価は約200ドルであったのが、終盤の2005年頃には5ドル台まで下がったといわれた。実に1/40のコストダウンである。

この実現のため、できることはすべてやるは当然で、機構の見直し、組み立てやすさの見直し、シャーシの加工なし検討、材料の見直し、部品の見直し、部品ベンダーの見直し、当然IC化、LSI化、生産地・生産工程見直し等々。

一例で、主要部品のシャーシは強度、形状の自由度、加工による精度、互換性に絡む温度膨張係数との関係、対ノイズ性等からアルミダイキャストが主流であったが、その後アルミの板金化、鉄板とプラの複合、鉄板のみを曲げ絞りで、更に全プラスチックも使われた。

また、FDD組み立て調整には当然自動化が迫られた。組み立て場所も国内首都近郊から地方へ、更に海外展開が進み、最終的にはほとんどのメーカーが中国へ工場を移した。そして、主要部品の調達も現地化をしていった。

⑥そして最後は

2000年頃のFDD年間生産数約16,000万台、売り上げ25億ドルのFDDマーケットであったが、戦ったのは韓国サムスンを除けば国内メーカーのみ（生産地は中国が多かったが）であった。これは互換性保証の難しさと、途中からの参画では急激なコストダウンに追いつけなかったためと思われる。

FDDビジネスとしては当然次の製品開発を進め、従来FD互換を捨てた小型化、高容量化、高速化で価格アップを目論み、いろいろな規格が提案されたが、結果的にうまくいかず、従来FDDの規模に近いビジネスは成り立たなかった。

そして最後まで量産を続けたFDDメーカーは皆“残存者利益”を夢見ていたと思うが、残存者利益が生まれる環境（メーカーが数社以下？）になる前に、時代が変わってPCへの搭載がなくなり、気が付いたら2010年頃にはマーケットがなくなっていたというのがFDDビジネスであった。

以上、FDD市場で戦った戦友に捧ぐ。元シチズン時計(株) 高橋昇司

9 | リムーバブルメディアの役割とテクノロジーの推移

1970年代の後期そして1980年代初期のマイクロコンピュータそして初代のパーソナルコンピュータ(PC)では、フロッピーディスクが下記のすべての役割を担っていた。

- ・プライマリストレージ
- ・OS、アプリケーションソフトの配布
- ・個人のデータの保管、個人のデータの交換

以下、FDDの担っていた役割を各々どのテクノロジーがとって代わったかを説明する。

9.1 プライマリストレージ

1970年代の後期、1980年代初期のマイクロコンピュータおよびワードプロセッサに於いてはFDDがプライマリストレージの役割を担った。HDDがなかったためOSをFDDで起動し、起動後、アプリケーションソフトのディスクをFDDに入れて動作させた。高級機は2台のFDDを搭載し、一方にOSを入れ、他方にアプリケーションソフトとデータディスクを入れて使用した。

1980年代の初期にHDDの価格が一般のマイクロコンピュータ、ワードプロセッサ、パーソナルコンピュータに使えるまで低下すると、FDDのプライマリストレージの役割はHDDによってただちに置き換えられた。

IBMが1981年8月に初代のIBM PCを発表したが、それには2台の5.25インチFDDが搭載されていて、FDDがオンラインメモリの役割を果たしていた。続いてIBMは1983年に次期モデルのIBM PC XTを導入した。PC XTには10MバイトのHDDと360Kバイトの5.25インチFDDが標準搭載されていた。HDDは導入当初からFDDに比べて記録容量、アクセス時間、高転送レートのすべてで圧倒的に優れていたため、PCの性能は飛躍的に向上した。したがって、その後PCにはHDDとFDDを各々1台搭載するのが標準になった。

ここで簡単にHDDの歴史を報告する。

IBMは1973年に開発コード名「画期的なウィンチェスタ ディスクドライブ (Winchester Disk Drive)」と呼ばれる技術を使ったハードディスク装置、IBM 3340を導入した。この装置には30Mバイト

の容量のディスクドライブが2台組み込まれていたことから、ウィンチェスタ社の有名な30-30型ライフル銃にちなんでこう名付けられた。

ウィンチェスタ ディスク以前のハードディスク装置では、データを記録するディスク部分を取り替えるタイプが一般的であった。ハードディスク装置は非常に高価なものであり、ヘッド部分や回転装置、制御部分などをそのままにして、記録ディスクの部分(ディスクパックという)だけを交換することにより、比較的安価に容量を増やすことが可能としていた。だがその反面、大容量化や高速化はあまり進まなかった。

ウィンチェスタ ディスクドライブの特長は下記の3点である。

- ・アルミニウム板に磁性体を塗布したディスクをスピンドルモーターに固定して交換不可とし、筐体に完全に密封した
- ・ディスクを高速回転させ磁気ヘッドをディスク表面から数 μm 浮上させて記録・再生をした
- ・また、スピンドルモーターが停止している時、磁気ヘッドはディスク表面に接触した状態で保持され、モーターが回転すると磁気ヘッドとディスク表面の間の空気流で浮上するCSS方式(Contact Start Stop)を採用した

製造工程でサーボおよびデータフォーマットを磁気ディスクに記録しディスクを交換不可とする構想により、下記のようなHDDの特長を実現した。

- ・複数ディスクの各トラックの偏心量を大幅に減らすことができ、トラック間アクセス時間を短縮
- ・高密度トラックすなわち大記憶容量化
- ・スピンドルモーターの回転数を上げ高転送レートが可能
- ・筐体に密封したことにより埃・ゴミ等の侵入を防ぎ、筐体内の磁気ディスクの環境を生産工場の状態に維持できることにより、ヘッドの浮上高さを下げ、線記録密度を上げることが可能
- ・ディスクが交換できないので市場で過去に出荷されたディスクとの互換が不要。したがって、HDDを一つの部品として扱うことができ、メディア、ヘッド、スピンドルモーター等の技術が進歩すると逐次それを取り入れ、記録容量、データ転送レート等の性能を向上させたドライブが継続的に導入が可能

HDDの面記録密度の向上は1980年代末までは年

率 30% 程度で進化したが、1990 年代に入って IBM が IBM-0681 に新しい記録再生方式として PRML (Partial Response Maximum Likelihood)、1991 年に IBM-0663 に MR ヘッド (Magnetoresistive head) を導入したことにより、面記録密度の進化は更に加速され、年率 60% のペースになった。(図 9.1 参照)

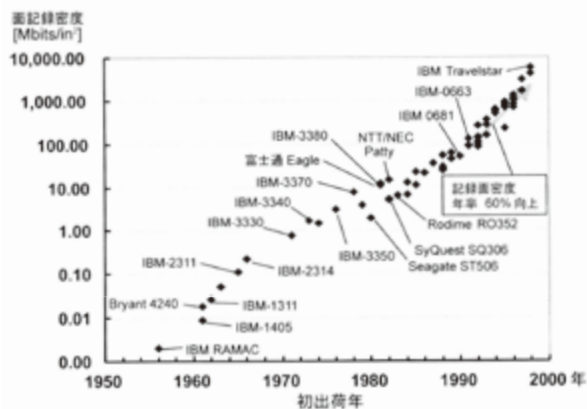


図 9.1 HDD 面記録密度の進歩の歴史⁴⁾

また、ノートブック PC、PDA、Tablet 等の小型機器に対応して HDD のドライブ (ディスク) サイズも 5.25 インチ、3.5 インチ、2.5 インチ、1.8 インチ、1.3 インチと導入された。各々のサイズの HDD の導入時期、メーカー名、記録容量は下記のとおりである。

- ・ 5.25 インチ HDD、1980 年、Seagate、5M バイト
- ・ 3.5 インチ HDD、1983 年、Rodime、5M バイト
- ・ 2.5 インチ HDD、1988 年、Prairie Tek、20M バイト
- ・ 1.8 インチ HDD、1991 年、Integral Peripheral、21M バイト
- ・ 1.3 インチ HDD、1992 年、HP、10M バイト / 20M バイト / 40M バイト
- ・ 1 インチ HDD、1990 年、IBM、340M バイト

各々のサイズのドライブはメディア、ヘッド、サーボ、等の技術の進化とともに記憶容量が増え、ビット当たり価格も指数関数的に低下した。顧客は新機種の企画に応じて各々のサイズを選ぶことができた。

2000 年代後半からパソコンの高級機には SSD (Solid State Drive) が採用されるようになった。SSD はフラッシュメモリーを用いて従来の HDD とプラグコンパティブルにした製品で、HDD に比較して機構部がないため小型化、軽量化、省電力化ができ、また、起動時間が短く、騒音がなく、耐環境性に優れていた。

9.2 OS とアプリケーションソフトの配布

当初パーソナルコンピュータに於いて FD の担っていた大きな役割の一つが OS とアプリケーションソフトの配布であった。この役割は 1990 年代前半から次第に CD-ROM ディスクによって置き換えられていった。

その経緯を振り返る。CD は 1980 年にソニーと Philips により音楽用 LP を置き換える目的で発表された。ソニーは 1982 年 10 月に最初の CD プレーヤー CDP-101 を発売、1985 年に CD-ROM ドライブも導入した。導入当初、CD-ROM ドライブは自動車の修理部品カタログ等、非常に特殊な市場で使われているのみであった。

この状況を大きく変えたのは Apple であった。1985 年に Steve Jobs が辞任し、John Sculley が Apple の事実上の責任者になった。1987 年に Sculley は CD-ROM ドライブを Macintosh に搭載する準備を進めることを COO の Jean Lou Gasse に指示した。1987 年に出版された自伝「Odyssey」で Sculley は「大容量のデータを安い媒体で配布する時代がくる。その媒体として CD-ROM が最適であり、自分は CD-ROM を推進したい」と述べている。Apple は 1987 年に Macintosh のオプションとしてソニー製の 80mm 高さの CD-ROM ドライブを導入、1989 年には 40mm 高さの CD-ROM ドライブを発売し、出荷台数は月 2 万台と大幅に増えた。John Sculley は CD-ROM ドライブを強力に推し進めようとしていたが、Apple の No.2 の Jean Lou Gasse は CD-ROM に懐疑的であった。「CD-ROM のソフトウェアで一度見て、もう一度見たいものはない。それは商品ではない」と彼はソニーとのディナーの席でしばしばこぼしていた。彼は翌 1990 年に Apple を辞任した。

1991 年初めに Sculley は翌年のクリスマス商戦にむけて CD-ROM ドライブをすべてのデスクトップ Macintosh に標準搭載することを指示し、「購入価格 100 ドル」プロジェクトをスタートさせた。ソニーにもその要請が届いたが、その時ソニーは CD-ROM ドライブを 1 台 320 ドルで売っていたこともあり、100 ドルのドライブの実現は難しいと断った。このプロジェクトに真剣に取り組んだのは松下寿電子工業(株)であった。松下寿の 100 ドル CD-ROM ドライブは、計画より半年遅れたが 1993 年の 6 月から出荷された。一方、Apple は当初の計画どおり 1992 年のクリスマス商戦には従来のソニー製 CD-ROM ドライブを標準搭載した Macintosh を発売した。CD-ROM ドライブを搭載

した Macintosh モデルと非搭載モデルの価格差をソニーからの CD-ROM ドライブの購入価格の 200 ドルに設定した。当時、CD-ROM ドライブの外部装置は 700 ドル以上したので、200 ドルの差で CD-ROM ドライブ付きの Macintosh が手に入るとあって、ほとんどの Macintosh ユーザーは CD-ROM ドライブ搭載モデルを購入した。それによりソニーの CD-ROM ドライブ出荷台数は月 20 万台と飛躍的に伸びた。1992 年には 183 万台であった CD-ROM ドライブの市場は、松下寿の 100 ドル CD-ROM ドライブが 1993 年の 6 月から導入されたことにより 1993 年 851 万台、1994 年 1,969 万台と大きく拡大した。またドライブの一般的な OEM 価格も 1992 年 190 ドル、1993 年 150 ドル、1994 年 120 ドルと低下した。

当時、OS とアプリケーションソフトのデータ量は急速に増大し、1.44M バイトの容量しかない 3.5 インチ FD で配布すると数十枚のディスクが必要であった。一方、CD-ROM ディスクは 650M バイトの容量を持ち、3.5 インチ FD と 450 倍の差があり、ほとんどのデータを CD-ROM ディスク 1 枚に収納できた。これはソフトウェアベンダーにも PC ユーザーにも非常に大きなメリットであった。また、CD-ROM ディスクの製造設備は音楽用 CD ディスク用をそのまま使えたので、CD-ROM のための設備投資が不要でディスクの製造コストも安価であった。

1993 年と 1994 年は CD-ROM 市場の 7～8 割が Macintosh とそのアフターマーケットであったが、1995 年にはこの状況が一変した。その原因は次のようなものである。

- ・ Apple の Macintosh が CD-ROM ディスクおよびドライブで成功したこと
- ・ ドライブの OEM 価格が 100 ドルを切り 93 ドルになったこと
- ・ FDD の容量を遥かに超えるアプリケーションソフトが一般的になり、ソフトウェアベンダーが CD-ROM でソフトを配布し始めたこと
- ・ 更に 1995 年に Microsoft が OS Windows 95 を発表し、CD-ROM ドライブをブートデバイスにした。それにより IBM も IBM 互換機メーカーも一斉に CD-ROM ドライブを標準搭載し始めたこと

これらにより図 9.2 に示すように CD-ROM ドライブの出荷台数は 1995 年に 4,122 万台、1996 年に 5,200 万台、1997 年に 7,757 万台、1998 年に 1.03 億台と PC の出荷台数のほぼ同じ台数で増加していった。

CD-ROM ディスクが普及するにつれ、各メーカー

はドライブのディスクの回転速度を速くすることで差別化を図った。CD-ROM ドライブの転送レートは初期には音楽用 CD と同じ（1 倍速と呼ばれ、150K バイト / 秒の転送速度）であったが、1995 年から 2 倍速、4 倍速、8 倍速、16 倍速、24 倍速、32 倍速と新しい PC モデルの導入に合わせて高速化し、2006 年末では 52 倍速と、CD-ROM の材質のポリカーボネートが遠心力で破壊する限界まで進化した。

FD から CD-ROM の流れは DVD-ROM に受け継がれた。DVD-ROM は記憶容量が 4.7G バイトと CD-ROM の 7.2 倍あり、また転送レートは 1 倍速で 1,350K バイト / 秒と CD-ROM の 9 倍の速度である。また、DVD ドライブは DVD-ROM だけでなく、CD-ROM も読めることもあり、OS、アプリケーションソフトのデータ量が増えるにつれ、CD-ROM ディスクでは容量が不足して DVD-ROM ディスクが使われ、DVD ドライブの出荷が増えていった。

図 9.2 に FDD、CD-ROM ドライブ、CD-R/RW ドライブ、Combo ドライブ、DVD-ROM ドライブ、DVD-W ドライブおよび PC の出荷台数の推移を示した。

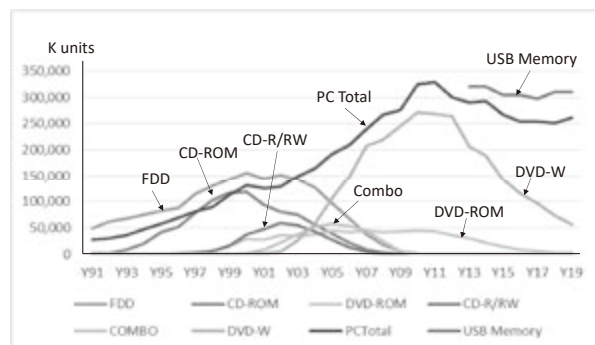


図 9.2 PC とリムーバブルストレージドライブの出荷台数推移

図 9.2 で、CD-R/RW ドライブは CD-ROM ディスクを読むことができ、また Combo ドライブおよび DVD-W は CD-ROM ディスクと DVD-ROM ディスクを読むことができる。このグラフを配布用ディスクドライブの観点から FDD、CD-ROM 系ドライブ (CD-ROM ドライブ + CD-R/RW ドライブ)、DVD-ROM 系ドライブ (DVD-ROM ドライブ + Combo ドライブ + DVD+W ドライブ) でまとめたグラフを図 9.3 に示す。

このグラフ (図 9.3) から CD-ROM 系ドライブの出荷は 1993 年頃にスタートして 2000 年頃ピークとなり、DVD-ROM 系ドライブが 2000 年頃からスタートするとその増加とともに減少していることがわかる。DVD-ROM 系ドライブの出荷台数は 2005 年頃に PC

の出荷台数とほぼ同じになり、PC とほぼ同じように 2012 年頃まで増加した。しかし、2012 年以降急速に減少していった。

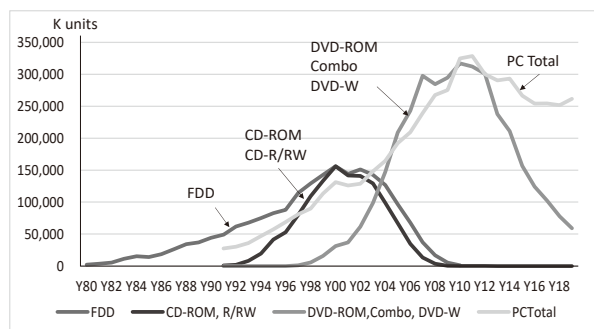


図 9.3 配布用リムーバブルストレージドライブの出荷台数

2000 年後半からの DVD-ROM 系ドライブの台数の減少は、高速インターネットが普及し、OS およびアプリケーションソフトの配信はネット配信に移行したためである。ネットワーク経由の方がパッケージメディア（CD-ROM、DVD-ROM）よりコストが安く、またソフトウェア流通チャネル短縮、プッシュによるアップデート、顧客データベースの管理等、すべてにおいて圧倒的に優れていた。

【日本の CD-ROM/DVD-ROM ドライブの産業】

CD-ROM、DVD-ROM とも日本で生まれた技術であった。しかしビジネスとして見た時、その産業は成功したとは言えない。1995 年に CD-ROM ドライブが IBM-PC 業界に採用され、市場は急速に拡大し、ドライブのスピンドルモーターの速度が半年ごとに倍になった。そのため、最先端の信号処理 IC のチップセットとピックアップを開発する必要があった。開発エンジニアは昼夜を問わず働き続け、ドライブのサンプルを顧客に届け評価を受けて合格すると、それから 1 か月以内に量産出荷することになった。評価で落ちると他のドライブメーカーが入り、その顧客とのビジネスは半年間はなしとなった。

速度競争は 2、4、8、16、24、32 倍速と続いた。ドライブの価格は新速度の導入月は大体 100 ドル / 台で、半年後に 70 ドル程度になり生産終了、を繰り返していた。しかし、24 倍速を超えたあたりからスピンドルモーターの速度を変えても光ピックアップの移動時間があまり速くならないので CD-ROM ドライブの実質の性能には差がでない状況になった。

その状況で台湾の複数のドライブメーカーが 30 ドル台の見積もりを顧客に提示した。当時日本の CD-ROM ドライブメーカー約 20 社が競合していたが、日本メーカーは台湾メーカーの価格を無視した。しかし、台湾メーカーのドライブは多少の不具合はあったと思われるもののビジネスを獲得し、アツという間に台湾が CD-ROM ドライブの生産拠点となった。日本メーカーはすぐ DVD-ROM ドライブの時代がきて、その時に再度ドライブビジネスを取り戻せると判断したがそうはならなかった。

後日、台湾メーカーの CEO と話す機会があり、30 ドル台の価格が提示できた理由を尋ねた。彼によると「CD-ROM ドライブが PC に標準搭載されると、その市場は年間数量約 1 億台である。この業界ではトップ 3 社しか生き延びることはできない。ということは、年間 1 社 3,000 万台、月に約 300 万台を製造することになる。月に約 300 万台を製造する前提で各部品、組み立てコスト、管理費、等を見積もると 30 ドル台で作ることは可能であると判断した。この業界では限界コストを把握できる会社のみが生き延びる」。当時、日本メーカーで最も多く台数を作っていたのは松下寿で、それでも 40~50 万台 / 月であった。

世界中のほとんどすべての PC は台湾の ODM が設計・製造し、PC メーカーは企画と販売を行っている。CD-ROM、DVD-ROM ドライブは初期の頃は Compaq、HP、IBM 等の PC メーカーが選定し、台湾の PC の ODM に指定していたが、CD-ROM、DVD-ROM ドライブがコモディティになると台湾の ODM がベンダーの選定を行った。ODM のトップとドライブメーカーのトップは懇意であり、お互いに戦略を共有していることも台湾のドライブベンダーが市場を独占できた大きな力だったと推察する。

9.3 個人のデータの保管、個人のデータの交換

1990年の後半にはユーザー個人のデータは3.5インチMFDの記憶容量の1.44Mバイトより大きくなっていった。しかし、それまでに3.5インチMFDに蓄えたデータが手元に多くあり、それを使う時には3.5インチMFDDが必要であった。また、他の人にデータのコピーを渡す時、3.5インチFDに入れて渡すと相手のシステムには3.5インチドライブが備わっており読み出しができた。したがってPCメーカーは3.5インチMFDDの記憶容量不足は理解しながらも、3.5インチMFDDをPCの標準搭載から外すことができなかった。

一方、2Mバイト3.5インチMFDDの容量が不足していることは明らかであった。第7章2節に記したように、1994年11月のIomegaがZip100を発表して1995年に急速に市場を獲得し始めた。また、松下電器は1995年4月に書き換えが可能な片面650Mバイト光ディスクのPD (Phase-change Disc) を発表した。PDディスクの大きさは一般的なCDやDVDなどと同様の直径12cm (5インチ) で、ディスクは四角いカートリッジに収容され、ドライブに入れるとシャッターが開き使用できるようになっていた。赤色レーザー光を用いた相変化記録技術を採用しており、約50万回の書き換えが可能であった。また、HDDと同様にトラックは同心円状で、セクタライズされたフォーマットを採用し、コンピュータがデータを扱う上では理想的ディスクであった。

1997年当時、東芝のDVDがソニー/Phillipsが提案したMMCD (Multi-media CD) を打ち負かしてビデオ用ディスクの業界標準となることが決まっていた。また、DVDフォーラムは1998年4月に記録可能なDVDディスクとして松下電器が提案した2.6GバイトのDVD-RAMディスクを提案することに決めた。DVD-RAMの基本フォーマットは松下電器の提案したPDと同様であり、データ記録に適したフォーマットであった。その一方、PDに記録されたディスクは市場のCD-ROMドライブで読むことができなかった。またDVD-RAMで記録されたディスクは、ビデオ用のDVDドライブでは読むことができなかった。当初、提案されたDVD-RAMの容量は2.6Gバイトであり、DVDビデオの4.7Gバイトに対して記憶容量が大幅に不足しており、DVD-RAMはビデオ記録が目的ではなく、コンピュータのデータ記憶を目的に企画された。

各PCメーカーは松下電器が提案した記録可能な12cm光ディスクとしてPDおよびDVD-RAMをサポートしようとしていた。1997年の時点ではIBMとCompaqは既にPDのサポートを表明し、DELL、Apple等のPCメーカーはDVD-RAMが実現することを期待していた。

1997年1月にソニーに於いて、データストレージ部門の光ディスクドライブ (CD-ROMドライブ、CD-R/RWドライブ、DVD-ROMドライブ、DVD-RWドライブ) の組織変更が行われ、パーソナルストレージ事業部が設立された。それを機にソニーの光ディスクドライブ戦略の見直しが行われ、次に示すような新しい戦略が決められた。(図9.4参照)

- ・CD-ROMドライブのビジネスはできるだけ速やかに収束する
- ・新CD-R/RWドライブを個人のデータの保管、個人のデータの交換用の戦略製品として位置付け、製品開発と市場開発を行う
- ・DVD-ROMドライブの開発は継続するが、Comboドライブ (CD-R/RWでDVD-ROMディスクを読めるドライブ) を本命にする
- ・DVD+RWドライブを企画・開発する。その後、一度だけ記録できるDVD-Rの記録機能を加えたDVD+RW/Rの市場導入をする
- ・CD-RW/RおよびDVD+RWが記録できるSuper Comboを導入する

図9.4で、DVRは家庭向けのビデオ記録用の装置である。東芝は標準テレビジョン放送 (SDTV) の画像デコードの1チップICを完成し、世界最初のDVDビデオプレーヤー、SD-3000を1997年11月1日に販売した。一方、標準テレビジョン放送 (SDTV) の画像エンコードは大型コンピュータで処理されて行われていた。業界の1997年当初の見解としては、2時間のSDTV信号をリアルタイムで処理しDVDビデオの4.7Gバイトに帯域圧縮することは困難とされていた。したがってビデオを記録するメディアとして4.7Mバイトより大きな容量を持つ別の光ディスクが必要と思われ、DVD-RAM、DVD+RWとは別の容量の大きなビデオ記録用光ディスク標準化が模索されていた。しかし、1997年の暮れにPhilipsがリアルタイムで2時間のSDTV画像の圧縮をできるICを発表したことから、4.7GバイトのDVD±R/RWで2時間のSDTV画像が記録できることになった。そのため、ソニーの家庭用ビデオの記録装置DVRは見直しが必要となった。また、東芝・松下電器が主導したDVDフォーラムも、コンピュータ用データ記録を目的と

してビデオ画像の記録を考慮していなかった DVD-RAM の戦略について見直しが必要となった。それに加えて日亜化学がブルーレーザを開発し、光記録密度が飛躍的に向上する可能性を示唆した。ソニーは DVR の開発をホールドし、記録容量を 25G バイトまで上げ HD ビデオの画像を記録する方向に大きく転換した。また東芝・松下電器も、1998 年 4 月に DVD-RAM を発表した時は 2.6G バイトだった容量を、1999 年 11 月には 4.7G バイトにすると発表した。

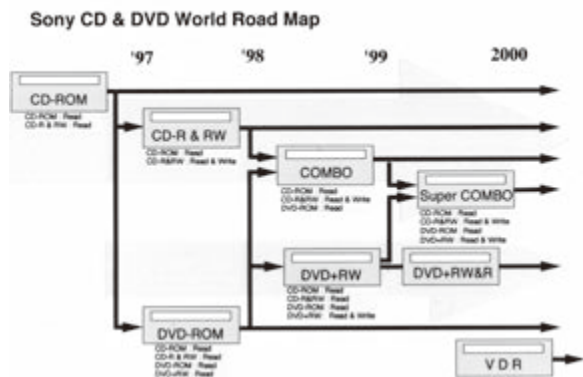


図 9.4 Sony CD & DVD World Road Map (as of 1997)

1996 年～1997 年当時の記録可能メディアの役割を図 9.5 に示した。記録可能なドライブとメディアは大きく二つの役割を持っている。一つは個人のデータの保管 (Personal) である。この役割は、Zip 等の大容量フロッピーディスクあるいは東芝・松下電器の提案している PD 光ディスクでも果たすことができる。もう一つの役割は、Public メディアを読むことができ、自分で作ったデータ・画像を Public に配布あるいは他の人とデータ交換することである。この二つの役割を一つのドライブで可能にできるのが CD-R/RW ドライブであり、配布用メディアが CD-R と CD-RW である。つまり、CD-R/RW ドライブは既に業界標準となった CD-ROM ディスクを読むことができ、CD-R/RW ドライブで記録された CD-R あるいは CD-RW メ

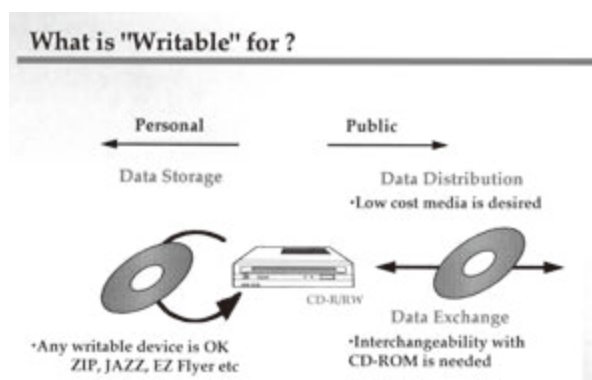


図 9.5 CD-R/RW の特長と役割

ディアは、既に市場 PC に標準装備されている CD-ROM ドライブで読むことができたのである。

Zip の場合、Zip で書かれたメディアを他の人に渡し、その人が読むためには Zip ドライブを持っていないてはならない。また PC には CD-ROM ドライブ用スロットと 3.5 インチ MFDD 用スロットが用意されているが、CD-ROM ドライブスロットに CD-R/RW ドライブを入れれば筐体の変更なしで大容量記録機能を標準装備することができる。

新 CD-R/RW ドライブの開発目標を下記に記す。

- ・ CD-ROM ドライブとしての最高性能をもつこと。具体的には当時の CD-ROM の最高速度である 24 倍速再生を目指す
- ・ 記録時のスピードも業界最高水準とする。CD-R ディスクの記録を 4 倍速、CD-RW ディスクの記録を 6 倍速とする
- ・ 目標 OEM 価格を 130 ドルとする。その根拠は、当時最高速度の CD-ROM ドライブの価格が 70 ドル程度、3.5 インチ MFDD の価格が 30 ドル程度であり、それに 30% のプレミアムを加えて 130 ドルを目標とする
- ・ 製品の出荷開始を 1 年後の 1998 年 4 月とする

これを実現する最大の課題は、当時のソニー会長の 大賀から CD-R と CD-RW を一般市場に販売する許可を得ることであった。CD-R はもともと音楽用 CD のマスターを作る前の試作用ディスクとして企画された。CD-R ドライブと CD-R ディスクを一般消費者に販売すると、音楽 CD の海賊版が容易にできることからソニーでは禁止とされていた。光ディスクドライブ事業部の CD-R ドライブ部の部長、君塚が大賀に説明に行き了解を得た。

当時の CD-R/RW は少量生産であったために回路の集積化はされておらず、また光ピックアップだけでも 100 ドル近くしていた。目標の新 CD-R/RW ドライブの価格、性能を実現するためには、ソニーの半導体事業本部が LSI の開発に、また部品事業本部の光デバイス事業部が自動化を前提にした CD-R/RW の光ピックアップの開発に早急に着手する必要がある。

これらのグループを説得するには新 CD-R/RW ドライブのビジネスが確実に立ち上がることを示す必要があった。残念ながら、ソニーブランド販路や VAR (Value Added Reseller) 経由での販売に依存しては多くて月 3～4 万台しか期待できない。また、IBM を始めとする PC メーカーは前述のように松下電器の PD をすでに使用しているか、DVD-RAM が導入されるのを期待していた。そこでアフターマー

ケットで大きな力を持っている HP CMS (Colorado Memory System) Division に白羽の矢を立てた。当時 HP CMS Division は PC 市場向けのテープ記憶装置を始めとしてバックアップ用記憶装置に特化した製品開発と販売チャンネルを持っていて、世界最大シェアを誇っていた。1997 年 4 月に HP CMS の責任者の Jerry Shea とソニーとのミーティングが、オランダのaintフォーヘンのホテルで朝食をとりながら行われた。彼はソニーの新 CD-R/RW の構想に非常に興味を持ち、3 週間後に彼の下での 5 人のエンジニアをソニーに派遣して具体的な商品設計に関する話し合いが始まった。HP CMS はエンジニアと一緒に Product Marketing 担当の VP もソニーに派遣した。彼はソニーの半導体事業本部と部品事業本部の光デバイス事業部に対して、HP CMS が当時どのような製品をどの地域にどのくらいの数量を販売しているかを説明し、新 CD-R/RW ドライブの企画が実現すると最低でも月 20 万台は売れるとコメントした。この説明会の後、半導体事業本部と部品事業本部の光デバイス事業部は各々緊急プロジェクトチームを作り開発に着手した。

このドライブがまだ試作段階の 1997 年 9 月に、HP CMS は新 CD-R/RW を導入することを約束し、ソニーは月産 20 万台の出荷がほぼ確実に見込めるようになった。

HP CMS と並行して PC メーカーへの紹介を進めた。フロリダ州のボカトン市の IBM の PC 購買責任者を訪ねて、CD-R/RW ドライブの説明を行った。彼からは「CD-R/RW の良さは理解した。しかし、IBM は既に PD とその先の DVD-RAM にコミットしている。ソニーもその方針に沿って協力してほしい」との要請を受けた。このミーティングから程なく、IBM よりソニー社長の出井あてに、同様の内容のレターを受け取ったが、ソニーは CD-R/RW が PC ユーザーにとって大きなメリットがあり、PC 業界にとっても有益だとの返事をした。また、オースチン市の Dell でも説明を行った。Dell の Storage 担当の Director は会議の途中で「このミーティングはナンセンスだ。ソニーはストレージ業界の敵だ！」と激怒し、ノートで机を叩いて途中で退席した。

1997 年秋のラスベガスでの Comdex の会場で行われた「Data Storage '97」のパネルディスカッションで、筆者は約 600 人の業界関係者を前にして壇上でソニーの光ディスク戦略を紹介した。パネルディスカッションが終わると DVD コンソーシアムのメンバーが筆者を取り囲み、如何にソニーが業界にとって有害な

動きをしているかを言及した。

新 CD-R/RW ドライブ、CRW-100 は予定より 3 か月遅れの 1998 年 7 月に出荷が開始され、1998 年末にはソニーの CD-R/RW ドライブの出荷は月 60 万台となった。

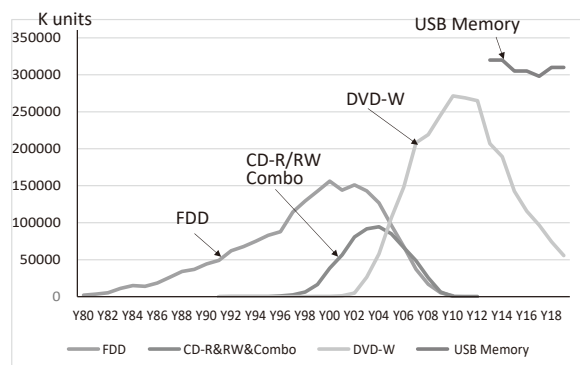


図 9.6 個人データ保管・交換用リムーバブルドライブ出荷推移

CD-R/RW ドライブと Combo (CD-R/RW と DVD-ROM) ドライブの全世界の年間出荷台数は 1998 年 630 万台、1999 年 1,670 万台と急速に増加し 2004 年に 9,450 万台とピークに達し、PC 標準搭載ドライブとしての地位を確立した。そしてその後、DVD で読み書きできる DVD-W ドライブの出荷台数の増加とともに、2005 年以降 CD-RW ドライブは減少していった。(図 9.6 参照) またこの図から FDD の出荷台数も DVD-W ドライブの増加とともに減少していることがわかる。

DVD-W ドライブは PC の出荷台数とともに順調に伸び、2010 年にピークの 2 億 7,000 万台に達し、その後は急速に減少した。これは OS、アプリケーションソフト等の配布が DVD-ROM から高速インターネットに移行したことが主な理由であった。

また個人データの保管には USB メモリーが使われ、個人のデータもネットワーク経由で交換されるようになった。図 9.6 に USB メモリーの出荷台数も掲載した。2013 年から 2019 年に毎年およそ 3 億個が出荷されている。

DVD の記録メディアの種類とそれが使用できるドライブを表 9.1 に示す。

図 9.7 に光ディスクの各ドライブの OEM 価格の推移を示した。すべてのドライブはその機能・性能に関係なく数量の増大とともに 10 ドル台に低下している。1997 年に DVD-RAM と DVD+RW のフォーマットの標準化を両陣営が話し合った時に、各陣営エンジニア達が他の陣営の方式では「量産価格 1,000 ドルを切ることは難しい」と応酬していた。生産台数が増えると

ともに、生産コストは飛躍的に低下することを歴史が証明している。

出荷されたUSBメモリーの1個当たりの平均記憶容量を図9.8に示した。2013年にはUSBメモリーの平均容量は8Gバイトであったが年々増加し、2018年には37Gバイトに達し、今後も増加すると予測されている。

表 9.1 DVD 記録メディアの種類

DVD記録メディアの種類	説明
DVD-R	一度だけ記録ができる。記録したデータは変更・削除は不可。“ファイナライズ”を行っていない場合、かつ書き込み可能な容量が残っているときには追記可能。DVDドライブで再生する場合は“ファイナライズ”が必要。
DVD-RW	約1000回のデータの記録、書き換え、削除が可能。DVDドライブで再生する場合は“ファイナライズ”が必要
DVD+R	一度だけ記録ができる。記録したデータは変更・削除は不可。“ファイナライズ”を行っていない場合、かつ書き込み可能な容量が残っているときには追記可能。記録型DVDの中では再生可能なDVDドライブが多く、配布用メディアとして適している。
DVD+RW	1000回以上のデータの記録、書き換え、削除が可能。DVDドライブでの再生が可能。ただし対応していないドライブもあり。
DVD-RAM	およそ10万回のデータの記録、書き換え、消去が可能。Windows XPでは標準サポートされており、特別なライティングソフトを使用することなく使える。DVD-RAM対応のDVDドライブのみで再生可能。

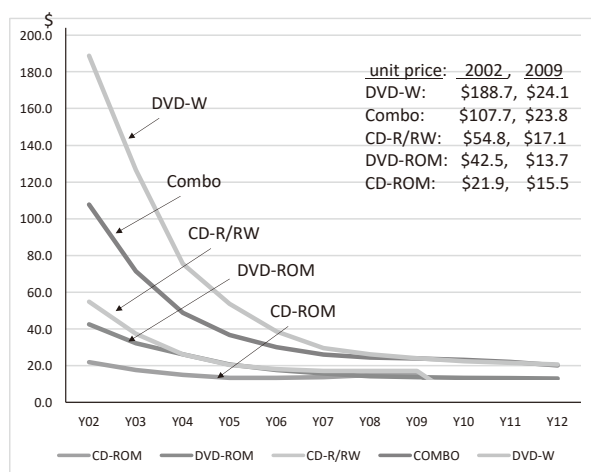


図 9.7 光ディスクドライブ価格推移

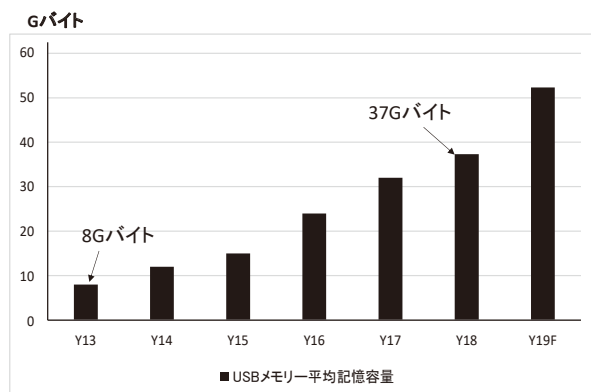


図 9.8 USBメモリーの平均記憶容量

参考資料

- Warner, M. “Flying magnetic transducer assembly having three rails” U.S. Patent 3,823,416 (Filed: Mar. 1, 1973 Issued: Jul 9 1974)
- Frush, Donald Irwin. “Apparatus and method for avoiding defects in the recording medium within a peripheral storage system” U.S. Patent 3,997,876 (Filed: May 6, 1975, 1973 Issued: Dec 14, 1976)
- Mulvany, R. B. “Engineering Design of a Disk Storage Facility with Data Modules” IBM Journal of Research and Development (Vol. 18 1974)
- 金子峻著「Zipの挑戦」第2編 磁気ディスク歴史 オーム社 1999年6月
- 「FDD市場推移データ (from 1980 to 2010)」 テクノリサーチシステム
- 「ODDの市場推移データ (from 1991 to 2019)」 テクノリサーチシステム
- 「PCトータル市場推移データ (from 1991 to 2019)」 テクノリサーチシステム
- 「Study of NAND Market」 テクノリサーチシステム
- 「DVDの種類」 ソニーホームページ <https://www.sony.jp/support/vaio/beginner/howto/009/index.html#pageheader>
- 嘉本秀年「私家版 データストレージの歴史」 1999年11月30日
- John Sculley「Odyssey」 Harper & Row 1987年

10 | 終わりに

1980年に導入された3.5インチMFDとMFDDは下位互換を維持しながら30年間にわたって出荷され続け、そしてその終息とともにフロッピー技術も市場から消えた。その間、17.1億台のドライブと355.0億枚のディスクが出荷された。

フロッピーディスクの基本技術はIBMによって開発され、それは「円盤シートに磁性体を塗布したディスクを回転させ、磁気ヘッドとディスクの磁性体をコンタクトさせて記録/再生を行う」ことであった。1970年にIBMが8インチ、1976年にShugart Associatesが5.25インチFD/FDDを導入した。

その状況下で1980年にソニーは、ディスクの使い勝手を画期的に向上させた3.5インチMFDとMFDDを発表した。1982年にHPが周辺機器装置に採用したことにより業界でその技術が認められ、続いて1984年にAppleが初代Macintoshに、そして1987年にIBMがPS/2に3.5インチMFDDを全面的に採用したことによりデファクトの世界標準になった。データストレージで日本メーカーの提案がデファクトの世界標準となったのは3.5インチFD/FDDが最初であった。その最大の理由は、従来のフロッピーディスクにとらわれずに、ユーザーの使いやすさを最大限に訴求した企画にあったと考える。

汎用メディアのデファクト・スタンダードになるのは1種類しかない。音楽のデファクト・スタンダードの配信メディアはまずはLP/EPレコードであり、CDによって置き換えられるまでレコードの時代が続いた。記録用メディアはコンパクトカセットであった。それを置き換えるべくLカセット、マイクロカセット、DAT、MD等が導入されたが、広くは普及しなかった。そして、ネットワークの音楽配信が始まり、今やスマートフォンの機能の一部となった。

動画のデファクト・スタンダードの配信メディアはVHSであった。VHSがデファクト・スタンダードになると、βカセットは世の中から消えた。VHSを置き換えるべく8mmカセットが商品化されたが、動画の流通メディアとしてのVHSの地位は揺るがなかった。そしてその後、DVDの出現によりその地位を譲った。

PCの汎用メディアも同様であった。3.5インチMFD/MFDDがデファクト・スタンダードになると、競合していた3インチ、3.25インチ、4インチFD/FDDは市場から消えた。その後、1980年の後半に新

たデファクト・スタンダードを目指して多くの2〜3インチの超小型FD/FDDが提案されたが、いずれも普及することはなかった。また1990年代には10M〜20Mバイト、100M〜200Mバイトの大容量3.5インチFD/FDDが提案された。これらはヘッド位置決めサーボ、エラー訂正、新チャンネルコーディング、新磁性体ディスク材料、磁気ヘッド、等の先端技術を使い、大容量を実現していた。しかし、これらの大容量FD/FDDも2Mバイト3.5インチFD/FDDを置き換えることはできなかった。

筆者が経験したデータストレージの歴史を振り返って、ビジネスを立ち上げるためには次の項目を満たすことが必要と考える。

- ①ユーザーの課題の把握と、他のテクノロジーとのベンチマーク (Product Marketing)
- ②課題を解決するためのテクノロジーの開発 (R&D)
- ③量産する力 (Engineering & Manufacturing)
- ④製品をユーザーに届ける力 (Sales & Sales Marketing)

2Mバイト3.5インチMFD/MFDD以降、数多くの超小型FD/FDDと大容量3.5インチFD/FDDの市場導入が図られたが、市場で受け入れられることなく消えていった。この原因として、FD/FDD業界に上記①のユーザーの課題を把握し、他のテクノロジーとFDテクノロジーとのベンチマークが不足していたと考える。すなわち、フロッピー技術がその課題を解決するテクノロジーとして光記録技術、半導体技術、高速ネットワーク等の技術に比較して優位性があるかの判断が甘かった。

さらに②の課題を解決するためのテクノロジーの検証も甘かったと考える。大容量フロッピーディスクの最大の優位点として、従来のフロッピーディスクとの下位互換を謳っていた。フロッピーディスクの基本テクノロジーは、磁気ヘッドとディスクのコンタクト記録再生である。一方、大容量FD/FDDでは線記録密度を上げるためにディスクを高速回転し、ヘッドをディスク上で浮上させる必要があった。またヘッドユニットは大容量ディスク記録再生用ヘッドと従来ディスク記録再生用ヘッドの二つの磁気ヘッドを備えており、その質量が大きかった。大容量ディスクが挿入されるとディスクは高速回転し、大容量磁気ヘッドは数十ナノメートルの間隔を安定に保ちながらディスク

上を浮上することが必要であった。また従来のディスクが挿入されるとディスクを 300rpm で回転させ、従来磁気ヘッドとディスクはコンタクトして記録再生をする。大きな質量のヘッドユニットをフレキシブルなディスク上で安定して浮上させるのは至難の技であり、本来のフロッピーディスクテクノロジーから逸脱していた。このことを理解し体系だった研究開発を行い、信頼性が確認される必要があった。そして、それを実現するためのコストが、大容量FD/FDDを製品化する価値があるか、①のベンチマークをもとに判断すべきであった。

フロッピーディスクの技術は2Mバイト3.5インチFDが実質最後となり、その役割は光ディスク、フラッシュメモリー、高速ネットワーク等にとって代われ、フロッピーディスクとドライブテクノロジーは終焉を迎えた。

3.5インチMFD/MFDDは2人の企画者と、それに加えて3人のエンジニアで開発がスタートし、多くの人達に助けられながら世界標準になった。この足跡を国立科学博物館の「技術の系統化報告書」として残すことができたのは望外の喜びである。

筆者が現役時代には次のことを信条にしていた。

「成功する秘訣は、成功するまでやること」

「プロジェクトを中止するのは上司ではなく、プロジェクトリーダーが断念した時」

筆者はデータストレージというソニーにとって新しい領域のビジネスに携わった。HPを始めとするデータストレージの分野でProduct Marketingの見識のある顧客にソニーのポテンシャルを伝え、顧客の見識と要求を理解し、顧客が望む製品を実現することが筆者のミッションであった。コンピュータ用データストレージそしてOEMというソニーにとっては新しいビジネスだったこともあり、私のエネルギーの50%以上は社内の説得に使われたと考える。

筆者が経験から学んだことは、新規ビジネスの立ち上げにおいてトップマネジメントの指示・命令を言葉どおり進めるとかなりの確率で失敗するということだ。なぜなら彼らはこの領域に関して素人であり、日々彼らの1%の時間もこの領域のことを考えていないからだ。プロジェクトリーダーの役割は、成功シナリオを立案し、トップマネジメントそして周りの人を説得し、成功するまでやり抜くことである。

11 | 謝辞

まずソニーのシステム開発部の部長であった加藤善郎氏に謝辞を捧げたい。彼の卓越したプロジェクトマネジメントなくしては3.5インチMFD/MFDDの成功はあり得なかったと思う。

筆者に新しい企画を提案する機会を与え、対抗していた従来のプロジェクトチームとディベートさせることにより、新企画の構想を固めることができた。そして新企画の開発を許可した後も、従来の旧プロジェクトも並行して進め、お互いを競争させ、新企画の開発に目処が立ったところで従来プロジェクトを解散させた。また、ソニー内の磁気メディア、磁気ヘッド、スピンドルモーター等の各事業部の上層部に根回しをし、担当エンジニア達が自由に問題を解決できるようにアレンジした。そして、製品発表を1980年12月と定め、開発期間を1年足らずに限定したことも、要素技術とシステムの選択を容易にしたと考える。

更に筆者の直属の上司であった田中義禮氏に感謝したい。田中氏は3.5インチ「ゴロンタプロジェクト」のプロジェクトマネージャーとして初期から技術開発、HPを初めとするビジネス開拓を指揮し、またANSI、ECMA、ISO、JISでの3.5インチMFDDの標準化を牽引し、3.5インチMFD/MFDDに大きな貢献をされた。

今回、報告書をまとめるにあたり、40年前に一緒に3.5インチMFDおよびMFDDの企画を行い、開

発をした下記の方々に連絡を取ることができ資料提供、サンプルの貸与、当時の苦労話、また執筆内容の確認等をお願いしたところ快く承諾していただいた。

ここに心から感謝を表したい。

高橋 廉氏：企画、機構部全般

塚原信彦氏：ヘッド送り機構、

ディスクチャッキング機構

南 雅文氏：電気アナログ回路

伊藤 元氏：コントローラ

早坂英昭氏：磁気ヘッド

平野隆康氏：磁気ディスク

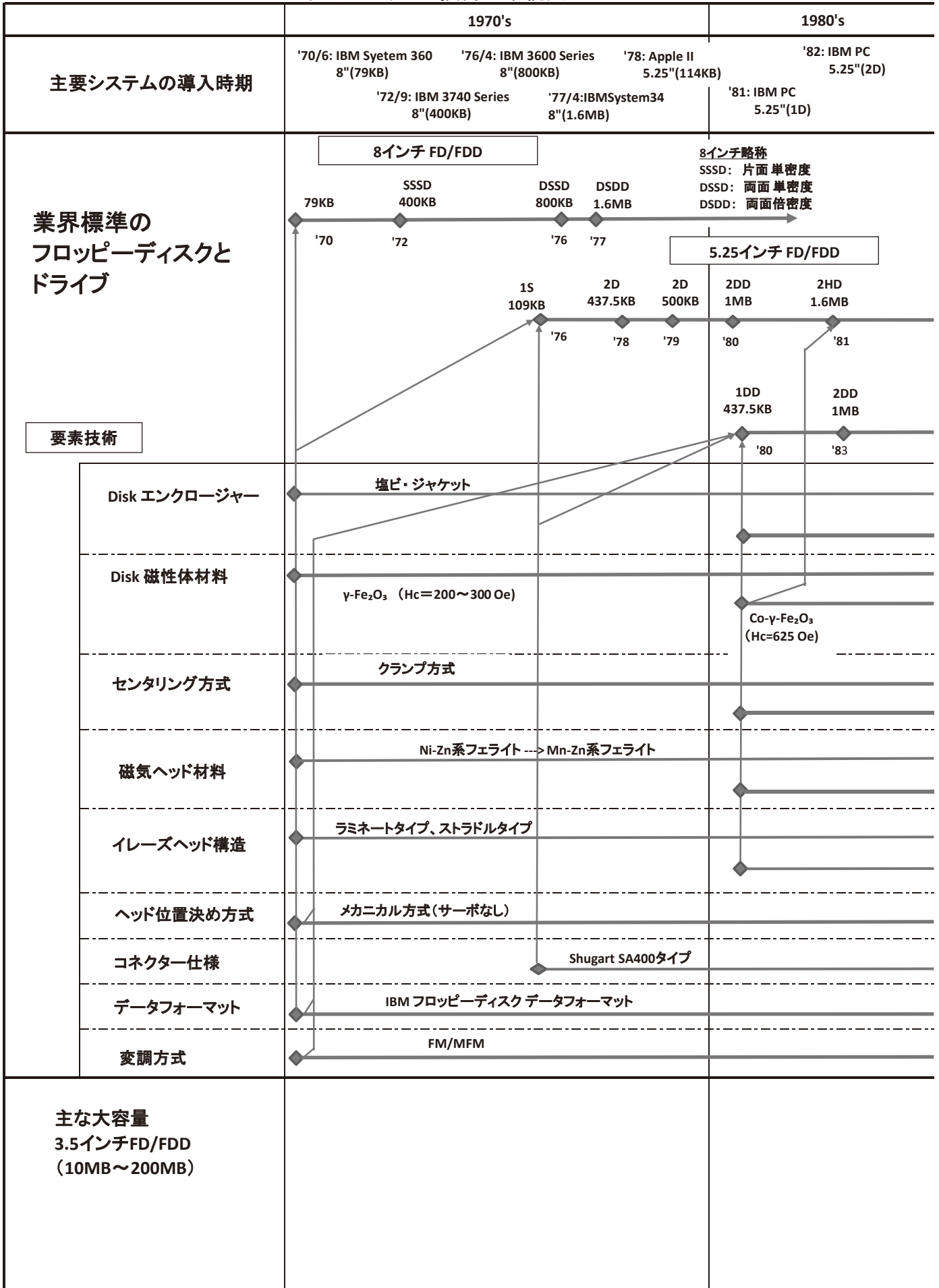
根本常夫氏：カートリッジ

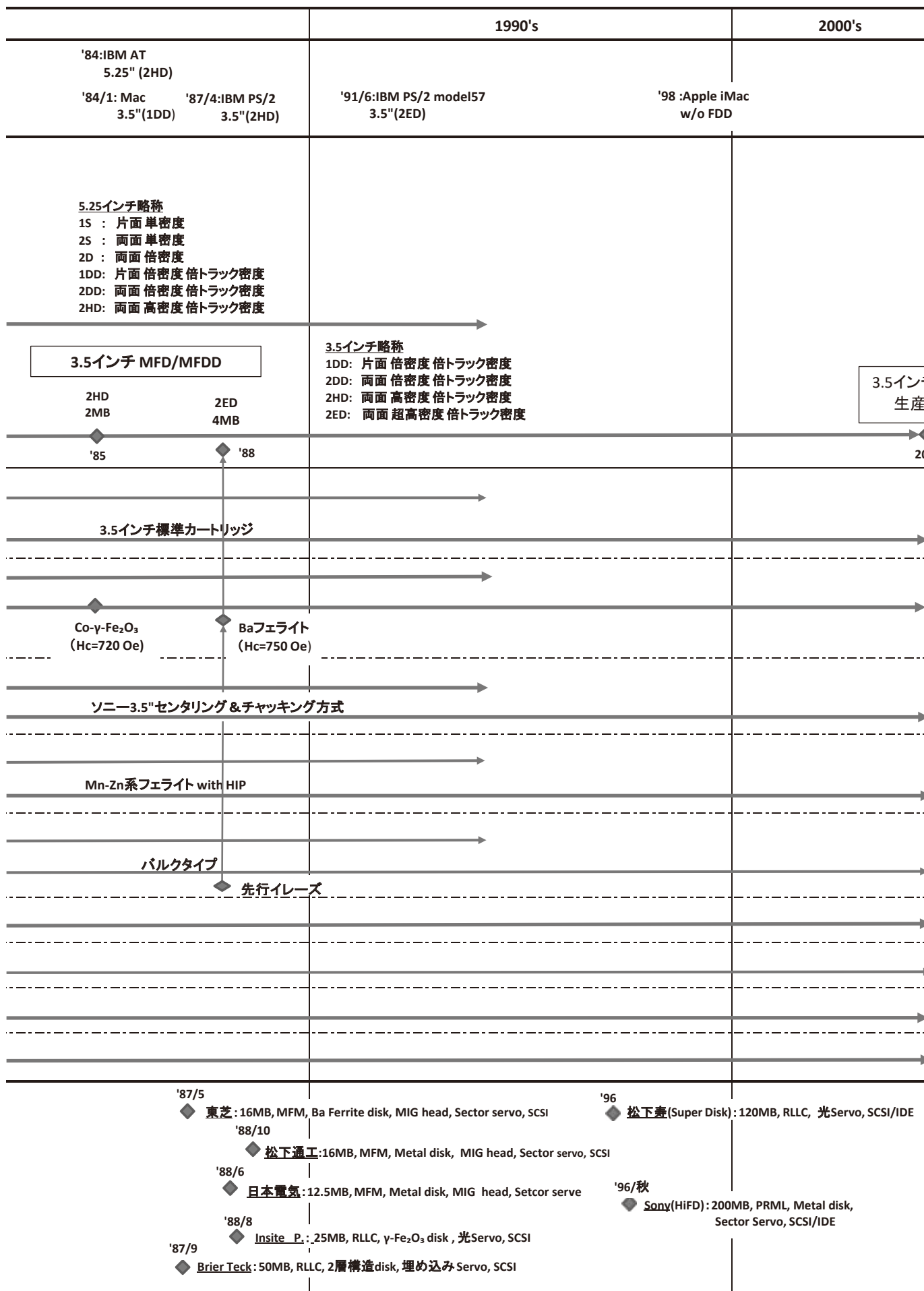
更にFDD技術を長年リードされてきた高橋昇司氏からはフロッピーディスクとドライブに関する多くの資料と各種のドライブおよびディスクサンプルの貸与、また著書の「フロッピーディスク装置のすべて」、「最新フロッピーディスク装置とその応用ノウハウ」の中の図面・文章の参照・引用の許可をいただいた。

TSR（テクノシステムリサーチ）社からはフロッピーディスク/ドライブ、光ディスクドライブ、フラッシュメモリーの来歴データを提供していただいたことにより、リムーバブルメディアの業界の推移を数値で考察し報告することができた。

本調査をまとめるにあたってご協力をいただいた全ての方々に、この場を借りて厚くお礼を申し上げます。

フロッピーディスクとドライブ技術の系統図





フロッピーディスク、ドライブ及びシステムの所在確認

番号	名称	製造年	製造者	所有者	所在地	選定理由	備考
1	OA-S3300	1981年	ソニー(株)	ソニー(株)	三井倉庫サライチエーモンソリューション株式会社 東北OPC 宮城営業所内 宮城県多賀城市栄2-1-1 MUJロジパーク仙台1	2台の3.5インチMFDDを搭載したソニー-英文ワープロのコントロールユニット。3.5インチMFDDの企画の基となったシステム	ソニー-広報CSR部で保管
2	OA-D30V	1981年	ソニー(株)			世界初の3.5インチMFDD	所在確認できず。将来の調査のため掲載
3	Micro Floppydisk Singel Side	1981年	ソニー(株)	筆者		世界初の3.5インチMFD	ソニー(株)にて保管しているか調査依頼中
4	OA-D32W	1983年	ソニー(株)	筆者		両面1MB51mm高さ3.5インチMFDD	
5	Double Density FD MFD-2DD	1983年	ソニー(株)			両面1MB3.5インチMFD	ソニー(株)にて保管しているか調査依頼中
6-1	MP-F52W	1985年	ソニー(株)	筆者		第2世代両面1MB31mm高さ3.5インチMFDD	
6-2	MP-F51W	1985年	ソニー(株)	筆者		Macintosh用の第2世代両面1MB31mm高さ自動挿入・排出機構付き3.5インチMFDD	
7	MP-F17W	1987年	ソニー(株)			両面2MB1インチ高さ3.5インチMFDD	所在確認できず。将来の調査のため掲載
8	High Density FD MFD-2HD	1987年	ソニー(株)	筆者		両面2MB3.5インチMFD	ソニー(株)でも保管しているか調査依頼中
9	MVC-FD5	1997年	ソニー(株)	ソニー(株)	東京都港区港南1丁目	世界初の3.5インチMFDD内蔵デジタルスチルカメラ	ソニー(株)広報CSR部で保管
10	MP-F40W	1990年	ソニー(株)			両面4MB1インチ高さ3.5インチMFDD	所在確認できず。将来の調査のため掲載
11	Extra High Density FD MFD-2ED	1990年	ソニー(株)			両面4MB3.5インチMFD	ソニー(株)にて保管しているか調査依頼中

<参考>フロッピーディスク、ドライブ及びシステムの所在確認(海外)

番号	名称	製造年	製造者	所有者	所在地	選定理由	備考
1	Apple II w/dual FDD units	1977年	Apple Inc	所有者		5.25インチ FDD装置2台を備えた世界初の個人向PCでPC普及の先駆けとなった。	確認中
2	IBM PC Model 5150	1981年	IBM	Computer History Musium	Computer History Musium Mountain View 1402 N Shoreline Blvd. CA94043 USA	初代IBM PC。IBM互換PC業界のスタートとなった機種。5.25インチ FDDを2台内蔵。	確認中
3	Macintosh 128K	1984年	Apple Inc			初代Macintosh。 3.5インチMFDDを1台内蔵したPCの歴史上、エポックメイキングとなったPC。	確認中
4	IBM PS/2 Series	1987年	IBM			最初に3.5インチMFDDを全面採用したIBM PCモデル。以降IBM PC互換機は5.25インチから3.5インチFDDに急速に切り替えられた。	確認中

「フロッピーディスクとドライブの技術とビジネス発展の系統化調査」

報告書冊子との相違点(正誤表)

ページ	段落	行	共同研究編 第14集 冊子版 2021年3月	全文PDF版 2021年8月 (正)
1		要旨 下から1~2(4文字)	億	億
6	左	上から11~12(2文字)	億	億
7	右	上から8	43FD	53FD
7	右	表2.1(a) 3行3列目	34FD	43FD
7	右	表2.1(a) 3行4列目	35FD	53FD
16	囲み記事	5行目	1987年	1997年
108		所在確認 11行3列目	1987年	1997年
108		<参考> 3行7列目	.5.25	5.25
108		<参考> 4行7列目	PC。	PC。
108		<参考> 5行7列目	5..25	5.25

※1

※1 2021年11月追記