

フロッピーディスクの長期保存対策 に関する調査報告書

令和4年度 国立国会図書館

(電子情報部電子情報企画課次世代システム開発研究室)



本報告書は、特記がある部分を除き、[クリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンス](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)の下に提供されています。

（はじめに）

国立国会図書館（以下「NDL」という。）は、納本制度¹により国内で発行された出版物を広く収集している。ここでいう「出版物」にはデジタル情報も含まれており、NDLはこれまでに、CD・DVD等のパッケージ系電子出版物、電子書籍等のオンライン資料、ウェブサイト等のインターネット資料など多様なデジタル資料を収集してきた。

納本されたパッケージ系電子出版物の中には、フロッピーディスク（以下「FD」という。）もあり、NDLは1万点以上を所蔵している。すでにFDの規格によっては対応するFDドライブの生産が終了しているものも存在するうえ、FD自体、物理的に不安定であり、長期保存に適した記録媒体とは言えない。そのため、NDLは、FDの保存対策に関する調査・研究に、断続的ではあるが10年以上前から取り組んでいる。また、所蔵するFDのマイグレーション作業も進めている。

本報告書は、令和3（2021）年度に特定非営利活動法人ゲーム保存協会²に委託して実施した、2件の調査（「FDの分析・再マイグレーション手順調査」及び「FD資料マイグレーション成果物の利用環境調査」³）の成果を編集した上で、NDLの電子情報部電子情報企画課次世代システム開発研究室が令和4（2022）年度に実施した長期保存対策手法に関する近年の技術動向調査の情報⁴及びFDの基礎知識を加えて、一つの報告書としてまとめたものである。

¹ 「納本制度」とは、図書等の出版物をその国の責任ある公的機関に納入することを発行者等に義務づける制度のこと。わが国では、国立国会図書館法（昭和23年法律第5号）により、国内で発行されたすべての出版物を、国立国会図書館に納入することが義務づけられている。納本制度のページ参照。

(<https://www.ndl.go.jp/jp/collect/deposit/deposit.html>)

² <https://www.gamepres.org/>

³ 概ね、本報告書の3.及び付録Bが「FDの分析・再マイグレーション手順調査」、4.が「FD資料マイグレーション成果物の利用環境調査」の調査内容に、それぞれ該当する。

⁴ 本報告書の1.、2.及び付録Aが該当する。

目次

フロッピーディスクの長期保存対策 に関する調査報告書	1
(はじめに)	2
1 FD の基礎知識	1
1.1 構造.....	1
1.2 記録方式	2
1.3 保存対策	4
2 FD のマイグレーション手法	7
2.1 一般的なマイグレーション手法.....	7
2.2 その他のマイグレーション手法.....	9
3 FD の分析・マイグレーション手順調査.....	11
3.1 FD の分析・マイグレーション手順調査の概要	11
3.2 問題なく読めた資料.....	11
3.3 データの完全な取得ができなかったもの.....	12
4 FD のマイグレーション成果物の利用環境調査	13
4.1 FD のマイグレーション成果物の利用環境調査の概要.....	13
4.2 資料の利用環境調査	13
4.3 マイグレーションの不備が判明した資料.....	14
4.4 利用環境の構築手法の調査	15
4.5 考察.....	18
参考文献.....	21

付録（別紙）

付録 A FD の保存に関する情報源

付録 B FD のマイグレーション手順書

1 FD の基礎知識

1.1 構造

FD は、磁気によってデジタルデータを記録した円盤を、塩化ビニールやプラスチック等によるジャケット及びケース（シェル）に格納したデジタル記録媒体である。1960 年代末に 8 インチ FD が登場して以来、1970 年代半ばに 5.25 インチ FD、1980 年代初めに 3.5 インチ FD が登場し、大型コンピュータからワープロ専用機、ゲーム、PC に至るまで広く利用された。その間、記録密度の高密度化（倍密度、高密度、倍トラック等）、サイズ・形状の多様化（2 インチ等）、大容量化（約 3MB、9MB 等）等、技術上の進展が見られた。[2]

一般的に広く用いられたのは 3.5 インチ FD、5.25 インチ FD であり、容量としては 1.4MB 程度かそれ以下であった。NDL が所蔵する FD の大部分を占めるのもこの 2 つである。3.5 インチ FD と 5.25 インチ FD の代表的な形状を図 1 に示す。

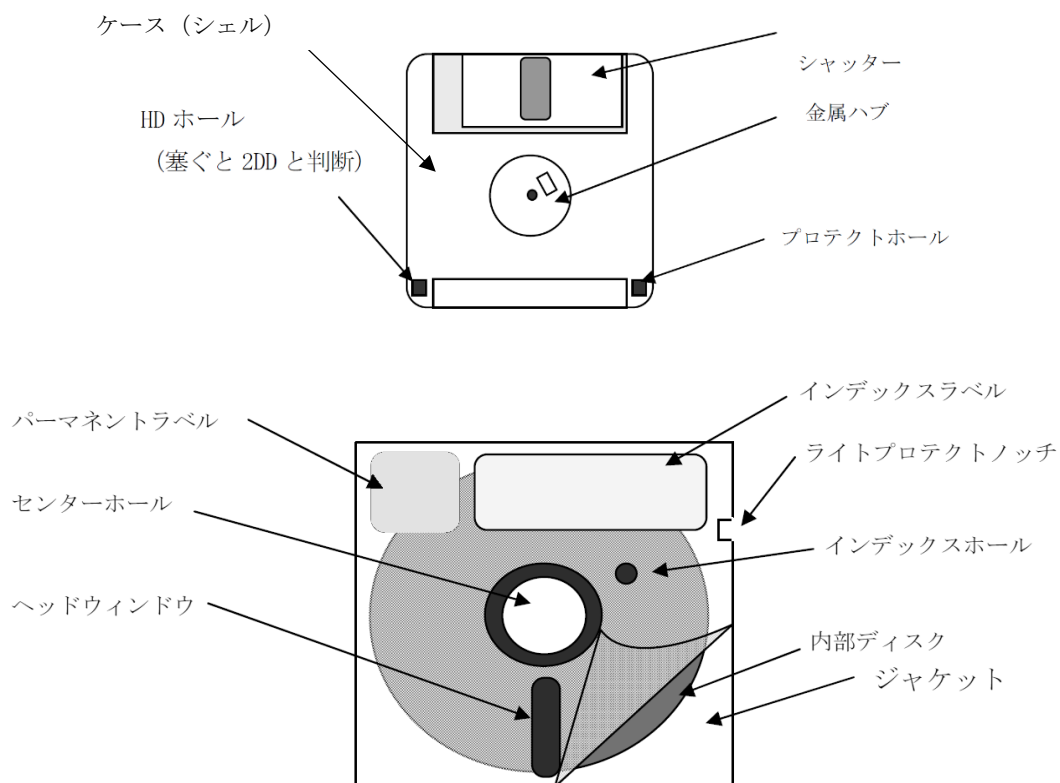


図 1 （上） 3.5 インチ FD の構造 （下） 5.25 インチ FD の構造[2]

1.2 記録方式

FD の磁気記録円盤本体は、図 2 に模式的に示すように、「トラック」及び「セクタ」という要素に区画される。以下、各要素について概説する。

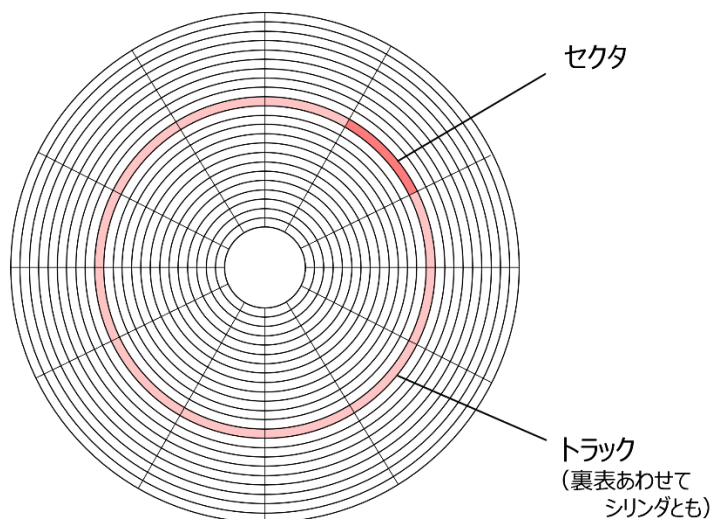


図 2 FD の盤面の構造

1.2.1 記録面

FD はデータを面に記録する。片面にのみ記録可能なものと両面に記録可能なものがある。両面に記録可能なものは片面の倍の容量の記録が可能となる。

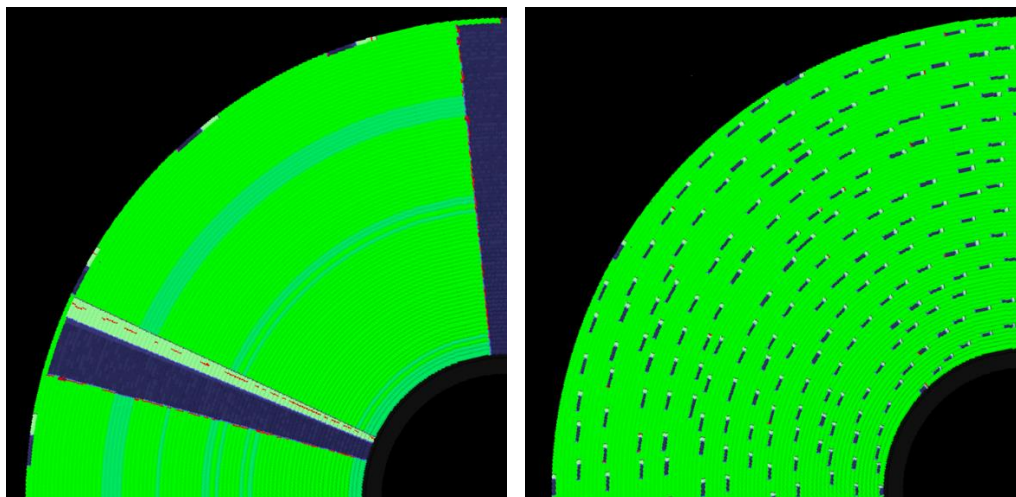
1.2.2 トラック

各記録面は、トラックと呼ばれる同心の円環状の領域に分割される。同一円盤の異なる面（表裏）の同じ位置にあるトラックを、ひとまとめにしてシリンダと呼ぶ。データは外周部から記録されることが普通であり、シリンダは最外周を 0 として 0, 1, 2, … と数える。シリンダ数（面当たりのトラック数）は 35～40 程度のもの（シングルトラック密度）と、その倍のトラック密度となる 77～80 程度のもの（ダブルトラック密度）の 2 つに大別される。

ドライブのヘッドはトラックの上を走査する。盤面の磁性体にはトラックの周方向を向いた磁界があり、トラックへのデータの記録は、トラック上で適当な間隔ごとにこの磁界の向きを反転することで行う。読出しの際は磁界の反転箇所をパルス波として出力し、そのパルス波をデジタル信号へ変換する。デジタル信号のパルス波への変換方法としては、FM 方式、MFM 方式、GCR 方式などが知られている。[15]

1.2.3 セクタ

トラックはさらにセクタと呼ばれる小領域に区分される。一般的なフォーマットの場合、1トラック毎のセクタ数は一定となり、内周部ほどセクタの密度が高くなる（ただし、トラック毎のセクタ数が一定とならないフォーマットも存在する（図3参照））。1セクタあたりの容量は256バイト、512バイト、1,024バイトが一般的である。



（左）ワープロ専用機用 5.25 インチ FD の例。図で切り取った 1/4 の範囲では、最外周トラックに 4 つのセクタ、それより内周のトラックにはそれぞれ 1 つのセクタが確認できる。実際、この FD では、0 トラック（最外周）のみ 16 セクタ/周（256 バイト/セクタ）であり、以後 79 トラックまでは 5 セクタ/周（1024 バイト/セクタ）となっている。

（右）Macintosh 用 3.5 インチ FD の例。図で切り取った 1/4 の範囲では、最外周トラックに 3 つのセクタ、最内周トラックに 2 つのセクタが確認でき、内周と外周で密度が異なっている。この FD では、内周と外周の記録密度を一定に近づけるため、16 トラック毎にセクタの密度が変わっている。

図3 セクタ数がトラックによって変わる FD（青い部分がセクタの切れ目）

1.2.4 FD のフォーマット

記録面、トラック内の記録密度、トラック密度等のフォーマットを、図4のように「2D」、「2DD」、「2HD」等の英数字で表すことがよく行われる。また、NDL 所蔵の FD の中に多く見られたフォーマットとその概略を表1に示す。

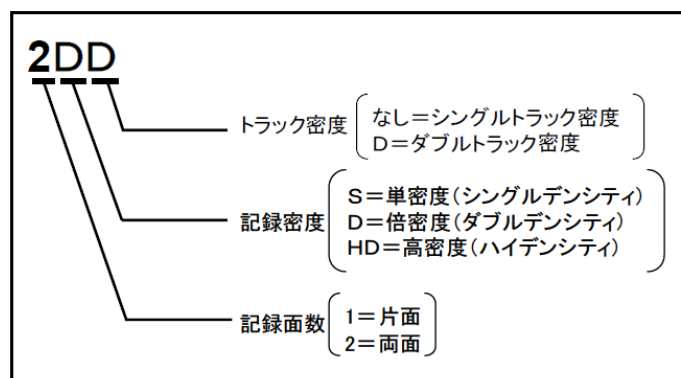


図 4 FD のフォーマット略称[1]

表 1 NDL 所蔵 FD のフォーマット例

機種・説明	記憶容量(Byte)	面数	シリンダ数	セクタ数/ トラック	容量/セクタ (Byte)
PC/AT 機用 2HD	1,474,560 (1440KB)	2	80	18	512
PC-98 用 2HD	1,261,568 (1232KB)	2	77	8	1024
PC/AT 機用 2DD	737,280 (720KB)	2	80	9	512
PC-98 用 2DD	655,360 (640KB)	2	80	8	512

1.3 保存対策

1.3.1 寿命・劣化要因

FD の物理的な寿命については複数の文献で述べられているが、良好な環境であっても 10 年というものの[3]、同様の環境であれば 5～10 年というものの[4]、30 年程度[5]とするもの等、さまざまな見解がある。

劣化要因としては、次の点が挙げられることが多い。[1][6][7]

○磁性体の消失

FD のデータは盤面に接着された磁性体によって保持される。FD はドライブのヘッドと盤面が直接接触するため、読み取るたびにディスクは摩耗していく。そのため、繰り返し利用すると磁性体の消失につながる。また、熱等による変化で磁性体と盤面をつなぐ接着剤が剥がれ、磁性体が消失することがある。

○磁気の劣化

FD はデータを微小な領域の磁性体によって記録しているため、大きな磁場にさらされると磁性が消失する。周囲の温度変化や、隣接するディスク等の微細な磁場の影響等でも徐々に磁性が失われていく。

○ケース（シェル）及びジャケットの歪み及び劣化

盤面そのものは正常であっても、特に 3.5 インチ FD の場合、ケース（シェル）の歪み等により正常にディスクを回転させることができなくなり、データが正常に読み出せなくなる。この場合、ケース（シェル）の交換等により修理可能な場合がある（付録 B を参照）。

○カビ被害

湿度の高い日本で特に深刻な劣化要因としては盤面のカビ被害が存在する。カビに代表されるディスクの盤面の汚れや異物は、その箇所のデータの亡失につながる。また、汚損のあるディスクを無理に読み込むと、同心円状に盤面を削り取ったり、読取りドライブのヘッドを破損したりする場合がある。さらには、破損したドライブで別のディスクを読んしまうことによる被害の拡大もあり得る⁵。

また、上に挙げた物理的な劣化以外にも、FD には読取り装置等の利用環境の維持の問題がある。例えば 5.25 インチ FD のドライブはすでに生産を終了しているため新品での入手は難しく、かつ現在一般的に用いられている PC に接続するには特殊な機器を要する。⁶

以上を総合的に勘案すると、FD を長期保存に適した媒体と見なすことは難しい。長期保存すべき資料を FD の形で所蔵している場合は、可能な限り速やかに対策を行うことが望ましいと言える。

1.3.2 マイグレーション

FD に保存したデータの長期的な保存のためには、FD のデータを別のより安全な媒体⁷に複製する作業を行う必要がある。このような作業をマイグレーション（migration）と呼ぶ。FD のマイグレーション作業の詳細については次章で述べる。

1.3.3 保管環境

FD のデータの長期保存のためにはマイグレーションの実施が必須だが、マイグレーション実施の有無にか

⁵ カビの除去方法等については付録 B を参照。

⁶ さらに、物理的な劣化と再生環境維持以外のリスクとして、FD 自体がデータの書き換えが可能なメディアであることも挙げられる。プロテクトホール/ライトプロテクトノッチ（図 1 参照）を閉じれば不要な書き込みを避けることが可能だが、FD 内のデータを書き換えながら動作させることを前提とする資料も存在する（一部のゲーム等）。そのため、資料の保存という観点からすると、FD の受入時点でバックアップやマイグレーション作業を行っておくことが理想的である。

⁷ 光ディスク、磁気テープ、複数台のハードディスク・サーバ、それらの組み合わせ等。

かわらず、原資料である FD についても可能な限り長期保存がなされるよう措置を講じる必要がある。

FD の保管に特化した先行研究や報告は本調査の過程では確認できなかったが、一般的に次のような環境で保管するのが望ましいとされている（付録 B も参照）。[5][6][8]

- 低温・低湿度⁸
- 急激な温湿度変化がない
- 塵埃がない
- 周囲に磁気を帯びたものがない
- 通気性がよい
- 圧力や余計な力がかからない（横向きに積み重ねて置いたり、狭い間隔に押し込めたりすることは避ける）

⁸ NDL では、FD は通常の図書資料と同様書庫（温度 22℃、湿度 55%を目安に年間を通じて大きな変化がないよう調整）で保管している。NDL におけるマイグレーション実施時に、カビや磁性体の消失等の理由で失敗したと考えられるものはごく一部にとどまっているため、この程度の温湿度を維持できれば大きな問題はないと考えられる。

2 FD のマイグレーション手法

2.1 一般的なマイグレーション手法

2.1.1 イメージ化

FD のマイグレーションは、米国議会図書館[11]、英国図書館[12]をはじめ、多くの機関で実施されている⁹。

FD に限らずマイグレーションを実施する際には、媒体全体に記録されたデータをビット列レベルで忠実に読み出しそのまま記録するイメージ化と呼ばれる手法が用いられることが多い。ファイルの単純なコピー（2.2.1 参照）と比べてより詳細にデータを取り出すことができ、原資料の情報をより正確に残すことができるためである。

イメージ化を用いたマイグレーションは、ドライブと接続した PC があれば可能である。しかし、FD の場合、ドライブの他に KryoFlux や Pauline 等専用の機器（後述）を導入し、それを経由して PC からデータを読み取る場合が多い。その理由としては次の点が挙げられる。[9][10]

○多様なフォーマットへの対応

1.2 に記載のとおり、FD へのデータの記録は様々なフォーマット（面/セクタ/シリンダ数、セクタの容量、パルス波への変換方式、ファイルシステム）で行われる。特定のフォーマットのディスクを正確に読み取れるかどうかは、FD ドライブ自体の性能に加え、PC が FD ドライブの制御に用いるハードウェア（Floppy Disk Controller と呼ばれる特殊な部品で行われることが多い）やソフトウェアの性能に依存する。そのため、単に FD ドライブを導入するだけではすべてのフォーマットへ対応できるとは限らず、マイグレーション実施可否の判断は専門的な見地からの判断が必要となる。

KryoFlux や Pauline 等の機器は、FD ドライブを細かく制御し、1 つのソフトウェアでマイグレーションを行うことを可能とするため、より少ない労力で多様なフォーマットへ対応することができる。

○より詳細なデータ読取りへの対応

1.2.2 に記載したとおり、FD に記録されているデータは、最も細かいレベルでは磁界の反転間隔を示すパルス波となっている。KryoFlux や Pauline はこのパルス波のレベル（raw stream 等と呼ぶ）で FD のデータを読み取ることが可能であり、一般的なイメージ化よりも詳細な単位で原資料に記録された情報を保存することが可能となる。

○プロテクトやエラーのあるディスクへの対応

フロッピーディスクにはコピープロテクトがかけられていることがある。プロテクトは、FD に規定外の数のトラックやセクタを作成する、意図的にエラーのあるセクタを含める、等様々な方法で行われる。KryoFlux や

⁹ 付録 A に NDL が把握している各機関の情報をまとめている

Pauline はドライブの精密な制御やストリームレベル（データに変換する前の磁界反転のタイミングのレベルでデータを記録する）でのデータ吸出しが可能なので、大部分のディスクについて、プロテクトの影響を受けることなくディスクの情報をコピーすることが可能である。また、劣化等によりエラーがあるディスクの場合も、ドライブで原理的に読み取ることでできる最も詳細なデータを残すことが可能となり、後に修復できる可能性が上がる。

2.1.2 FD 保存のためのデバイス

保存目的で FD のデータを読み取る専用の機器としては、以下に紹介する KryoFlux や Pauline が挙げられる。

○KryoFlux [13]

KryoFlux は、2009 年頃に、Software Preservation Society が開発した FD 保存用のデバイスである。この機器を介して FD ドライブを接続し、専用のソフトウェアから操作することで、FD からのストリームレベル（raw stream）でのデータ抽出やその可視化、抽出したデータの各種の形式のイメージへの変換、読み取ったデータの別の FD への書き戻し等が可能となる。

FD からのデータ抽出や復元等で現在最もよく用いられているデバイスであり、米国議会図書館、英国図書館をはじめ数多くの機関で導入されている。日本語の情報ではないが、アーキビストが作成したガイドなど、学習のためのリソースも数多く見つけることができる¹⁰。

KryoFlux の購入は公式ページのリンクから可能である。個人や趣味での利用の場合 100～160 ユーロ程度で購入可能だが、大学、図書館、文書館、博物館等での利用の際には特別なライセンス契約が必要となる（機関ライセンスの費用や条件等は公式 HP からは確認できない）。

○Pauline [14]

Pauline は、2020 年頃に、特定非営利活動法人ゲーム保存協会（日本）が、La Ludothèque française¹¹及び MO5.com¹²（いずれもフランス）等と協力して開発した FD 保存用のデバイスである。Pauline の開発には KryoFlux の開発に関わったメンバーも参加しており、KryoFlux の不足点を解消することを目的に開発がすすめられた。KryoFlux と比較した際の主な改善点として次の点が挙げられている。

➤ オープンソースでの公開

- Pauline はハードウェア（FPGA の設定や回路図等）、ソフトウェア共にオープンソースとして公開されており、専門的な知識があれば誰でも自由に開発が可能である。

➤ ハードウェア面の強化

¹⁰ 詳細は付録 A のリンク集を参照。

¹¹ <https://www.laludothèque.fr/>

¹² <https://mo5.com/>

- ・ Pauline は KryoFlux より拡張性の高いハードウェアを採用しており、FD の回転速度の計測等必要に応じた機能の拡張が容易に行える。

➤ ソフトウェア面の強化

- ・ 読み取ったデータの可視化、分析のための専用ソフトウェアが用意されている。また、KryoFlux は USB で PC と接続するが、Pauline はネットワーク越しでの接続を想定しており、ウェブブラウザ等からも操作が可能である。

Pauline は後発デバイスということもあり、上記のように KryoFlux と比べて高機能であるが、令和 4（2022）年 12 月現在では公開されている情報や導入事例が少ない。そのため現時点では、専門的な知識又は開発者のサポートなしで導入・利用するのは難しい¹³。

2.2 その他のマイグレーション手法

2.1 に記載したマイグレーション手法は専用の機器の導入が必要であり、若干のコストや技術を要する。本節では、上記以外のマイグレーション方法を紹介し、その留意点も合わせて紹介する。

2.2.1 ファイルの単純なコピー

現在、3.5 インチ FD については USB での接続が可能なドライブが市販されており、一般的な Windows 端末でもプラグアンドプレイで利用が可能である。そのような場合のマイグレーション方法の 1 つとして、エクスプローラ等を用いた単純なファイルのコピーが挙げられる。この場合、2.1 の方法と比べ次のような懸念がある。

- ディスク全体の情報を取得することができない（空とされている領域であっても、削除されたファイルの情報等が残っている場合がある）
- 隠しファイル等のコピーに失敗する恐れがある
- 意図せず FD 内のデータに変更を加えてしまう懸念がある

ただし、対象が比較的新しい FD であり、単にデータの受け渡しに一時的に用いられたものであることが明らかであり、他にマイグレーションの選択肢がない、といった場合については、この方法を採用することにも一定の合理性がある。

¹³ NDL は 2021 年度より Pauline を導入してのマイグレーションを実施している。

2.2.2 PC と FD ドライブのみを用いたイメージ化

FD のイメージ化自体は、FD ドライブに接続した PC があれば基本的には実施可能である¹⁴。そのため、PC と FD ドライブのみを用意し、特に専用の機器は介さずにマイグレーションを行うということも状況によっては考えられる。その場合、多様な FD フォーマットに機器やソフトウェアが対応している保証はないため、この方法を取る場合は、作成したイメージファイルの容量やその内容物を資料本体の情報の記述と照らし合わせるなど、別の方法でマイグレーション結果を検証することが望ましい。

¹⁴ Pauline を導入する以前、NDL ではシステムポート社の「コンバートスター16」のユーティリティである「仮想 FD ファイル変換」や DiskExplorer, HFVExplorer 等のツールを用いて、ベタ形式イメージ（特にメタ情報等は加えずにセクタの情報をそのまま順番に連結した形式）でイメージ化を行っていた。[1] なお、海外文献では、Windows の場合は FTKImager を、Linux の場合は Guymager や DD コマンドを用いる例が紹介されている。

3 FD の分析・マイグレーション手順調査

NDL では、FD の保存対策に関する調査・研究に、断続的に 10 年以上前から取り組んでいる。マイグレーション作業も実施しており、1 万枚を超える所蔵 FD のうち 9 割程度の作業を令和 4（2022）年度までに完了している。

ただし、前章までで見たとおり、この 10 年で KryoFlux の普及など FD の長期保存に関する技術は飛躍的に発展した。そのため、マイグレーション手順の見直し及び既作業分のマイグレーション成果物の確認が必要となり、令和 3（2021）年度に改めて FD のマイグレーション手順に係る調査を実施した。

3.1 FD の分析・マイグレーション手順調査の概要

NDL における令和 2（2020）年度までの FD のマイグレーション作業は、PC と直接接続された FD ドライブを用い、適当なツールでベタ形式イメージファイルを作成するというものであった。[2] その作業の過程で、FD 本体の破損が判明したり、データの読み取り時にエラーが発生したりと、最終的な成果物を作成できなかった FD がこれまでに 250 枚程度存在していた。

本調査では、これらの FD に対し、Pauline 及び専門的な機材を用いた環境で分析を行い、可能なものについては再度マイグレーションを実施した。

なお、本件ではあわせて、Pauline を用いた今回のマイグレーション手順について、後々手順書として使えるような形で文書化を行った。その結果は付録 B にまとめている。

3.2 問題なく読めた資料

○過去のマイグレーション作業時に物理的な問題が判明し作業を行わなかった FD

FD のケース（シェル）に破損がある、ドライブに入れると異音が鳴る、ディスク本体がスムーズに回らない、等の理由により、過去の NDL での作業時にマイグレーションを見送った FD があった。

これらについては、付録 B 3-2～3-5 に記載のあるとおり、FD の表面のケアや FD の円盤の取出し等を実施することで、40 枚のうち 29 枚を無事に読むことができた。

○過去のマイグレーション作業時の環境では対応できなかった FD（Macintosh 3.5 インチ 2DD）

Macintosh 用の 3.5 インチ 2DD については、過去の NDL のマイグレーション環境では全くデータを読み取ることができなかった。これらについては、Macintosh 用の機器を用いることで、84 枚のうち 83 枚を無事に読むことができた。

○過去のマイグレーション作業時の環境では対応できなかった FD（Macintosh 以外）

Macintosh のように明確にフォーマットが分かっていたわけではないが、同一のシリーズや出版社の資料が全て失敗するなどの理由から、データの破損ではなくフォーマットへの非対応やプロテクトの存在が疑わ

れた資料群があった。123 枚のうち 108 枚を無事に読むことができた。最終的には、2D 形式やプロテクトのかかった FD であると判明した例が多かった。

○その他

マイグレーション作業には未着手であったものの、作業の困難が予想された、エレクトーン用の FD について作業を実施した。3 枚中 3 枚を無事に読み取ることができた。

3.3 データの完全な取得ができなかったもの

今回改めて実施した再度のマイグレーション作業によっても読むことができなかった FD は、全部で 27 枚あった。その中でも、問題が特定できたものとできなかったものがあった。ただし、データの破損自体が意図的なものである場合もありえるため、未知のプロテクト手法が理由である可能性も存在する。

○問題個所が特定できたもの（14 枚）

- FD そのものに目で確認できるようなダメージがある（歪んでいる、傷があるなど）
- 読み込みながら異常を確認できるようなダメージがある（異常な音が出ることで判定）

○問題個所が特定できなかったもの（13 枚）

FD の見た目は綺麗で、特に異音もないが、エラーが出るものがあった。エラーの原因としては次が考えられる。

- 外見からは確認できないものの、磁性体が劣化していた。
- 同じメーカーの FD で似たような壊れ方をしているものがあったため、そのメーカーが使っている FD の素材などに起因してエラーが生じた。
- 保管の際にデータが破損するような何らかの事象が起こった。

再度のマイグレーションが不可能だった資料についても、次のような対応が可能であるため、引き続き現物の保管と調査を継続する予定である。

- リカバリー（エラーが小さい場合は周囲の情報等からエラー箇所を補正できる可能性がある）の実施
- エラー箇所の詳細確認（エラー位置がデータを含まない部分であれば、特に問題なくそのまま使える）
- 劣化を抑えながら保管を続け、将来的に別の新技術で読める日を待つ（例えば、磁性体を直接確認する技術は、非常に高コストではあるが現時点で存在する）
- 代替となる同一の FD の調査を行う

4 FD のマイグレーション成果物の利用環境調査

NDL における令和 2（2020）年度までのマイグレーション作業の作業過程で、特に問題が発生せずデータを抽出できた FD は、全部で約 4,300 枚ある。これらは、PC と直接接続された FD ドライブを用い、ベタ形式イメージファイルを作成したものであるが、抽出したデータの閲覧利用に当たっては、次の課題が存在していた。

- 原資料の刊行当時の OS や依存するソフトウェア等、イメージファイルの利用環境整備の問題
- 古い作業年度のものについて、現在の水準から見てマイグレーション不備が存在する可能性

4.1 FD のマイグレーション成果物の利用環境調査の概要

本調査では、NDL がこれまでに特に問題が発生せずマイグレーションできた 4,300 枚分のイメージファイルについて、仮想環境及びエミュレーション環境等を用いた利用方法の調査を行った。代表的な利用環境については、実際にエミュレーション環境を構築して資料の動作確認を実施した。また、その過程で発覚したマイグレーション不備等についても調査することとした。

4.2 資料の利用環境調査

○資料本体に記載された情報からの調査

タイトル、資料本体の画像（マイグレーション時に FD 本体や付属冊子等で利用環境のある個所を撮

表 2 資料本体の記載から抽出した情報

項目	記載例
媒体	3.5 インチ 2HD 等
媒体のフォーマット情報	1.25MB 等
対応機種	PC-9800 シリーズ等
対応機種その他	98NOTE 等
モデル型番	VM 以降等
対応 OS	MS-DOS 等
OS その他	漢字 Talk 等
OS バージョン	3.1 以上等
必要アプリケーション	Word 等
アプリケーションバージョン	98 等
必要ハードウェア	ハードディスク等
その他ハードウェア	マウス等
OS 組み込み	必要、可能、等
ハードディスクインストール	必要、可能、等

影した写真があったものに限る）を参照し、利用環境等の情報を抽出した。確認したのは主に表 2 の項目である。作業は、記載されているアプリケーション名や OS、該当機種の名前など、当時の PC に対する知識を持つ者が実施した。

○イメージファイルからの利用環境推測

上記作業でも利用環境が明らかにならなかったイメージファイルの調査のため、イメージファイルからフォーマット情報を確認し、利用環境を推測した。調査対象となるイメージファイルはいずれもベタ形式であり、イメージファイルのファイルサイズから、表 1 に代表されるような一般的なフォーマットとして推定することが可能と考えられた。

しかし、問題点として、同一サイズでも異なるフォーマットであるディスクが存在し、また、同一フォーマットでも多機種での利用を想定したディスクである可能性もあるため、確実な利用環境を決定するには、実際に動作確認を行うことや、説明書等の情報を再度精査する等の必要性があった。そのため、本作業はあくまで、資料本体からの情報で利用環境が判定できなかった資料に対する補助的な調査という位置づけで行った。

○ファイルからの利用環境推測

イメージファイルで使用されているファイルシステムが FAT 等一般的なものである場合は、イメージファイルからの機械的なファイル抽出が可能である。そのようなイメージファイルに対しては、ファイルの拡張子（例えば、X68000 Human68k 環境下で使用される、「.X」等）や特徴的なファイルからの利用環境推測を行った。しかし、大半の抽出されたデータは LZH ファイルなどの圧縮されたデータであり、展開用の実行ファイルとして機種依存のない lha.exe が含まれているイメージであったため、利用環境の決定には至らなかった。

4.3 マイグレーションの不備が判明した資料

「資料の利用環境調査」の作業の過程で、資料情報から得られた利用環境とイメージファイルの容量が一致しない例が多く見つかった（3.5 インチ 2HD の Macintosh 用ディスクは 1.44MB であるはずが、成果物が 720KB となっている例等）。該当資料のうち一部をサンプル的に Pauline でマイグレーションしたデータと比較したところ、本来の容量のイメージファイルが作成できたため、本来の容量に達していない状況でイメージ化が打ち切られているファイルが成果物に含まれていることが判明した¹⁵。

状況の確認のため、これら不備を含む可能性のあるイメージファイルについては、機械的な手順での判定（イメージファイルのファイルシステムが FAT の場合、そこからファイル抽出が問題なくできるか等）を実施した。結果として、全体（約 4,300 枚）の 5 分の 1 程度に何らかのマイグレーション不備が見られ、

¹⁵ ただし、利用していたツールの情報等を確認したが、このような事象が発生する原因の特定はできなかった。

一部には破損が明確に認められるイメージファイルもあることがわかった¹⁶。

4.4 利用環境の構築手法の調査

利用環境調査の結果判明した環境の例を表 3 にまとめる。

表 3 NDL 所蔵 FD の利用環境の例

動作ハードウェア環境	PC-9800 シリーズ、PC-9821 シリーズ、PC/AT、PS/V、X68000、Macintosh、J-3100、HP100LX/200LX、FM-TOWNS、MSX、Solaris/NEWS などのワークステーション、MIDI 用データ、EL-900m などのエレクトーン
動作 OS 環境	MS-DOS（複数のバージョン）、Windows（3.0～95）、MSX-DOS、N88(86)-DiskBASIC、DOS/V（PC DOS/V や MS-DOS/V など）、OS/2、Human68k、漢字 Talk、MacOS、BTRON
動作アプリケーション環境（一部）	4th Dimension、Access、AfterDark、Aldas PageMaker、ATOK7、Ballade for Windows、Borland C++、dBASEIV、dbMAGIC、Delphi for Windows、Director、Excel、Exchange、F-1DATABOX、FCAI、Fortran、Freelance、HyperCard、Illustrator、informix-SQL、JG、JGAWK、JW_CAD、Lotus 1-2-3、Mathamatica、MATLAB システム、Microsoft マクロ・アセンブラ、Borland ターボアセンブラ、MiniCad、Motif、MS-C/C++、Visual C++、N88-BASIC インタプリタ、Office、Outlook、PageMaker、Paradox for Windows、PhotoShop、PowerPoint、Project、Pspice、QuarkXPress、Quick BASIC、QuickTime、REXX、SG-CAD、Sound Canvas、StatView、Symantec C++、The CARD、Turbo C、Turbo C++、TURBO pascal、Visual C++、Visual dBASE、VisualBASIC、VJE-β、VZ エディタ、Word、Word Basic、Word Pro、Works、アシストカルク、アプローチ、オーガナイザー 97、カブリ、クラシック・ロード 3、クラリワークス、スーパーエスコン、タワー、パーソナル日本語 TEX、ファイルメーカーPro、ミュージ郎、ロータスノーツ、ロータスフリーランス、一太郎、一太郎 Office、花子、桐、銀河英雄伝説 EX、銀河英雄伝説Ⅳ、五郎、三四郎、三國志Ⅲ、三國志Ⅳ、松、大戦略Ⅳ、大戦略Ⅴ

○利用環境構築の難易度評価

調査で判明した利用環境の中から、代表的なものを選び、利用環境構築の難易度の評価を行った。利用環境の構築は、仮想環境、エミュレーション環境（以下「エミュレーション環境」という。）の利用を第一とし、それが不可能である場合は、FD ドライブエミュレーションによる置き換えなどを行うことを想定し

¹⁶ 本件への対応については、明らかにデータが途中で切れており代替手段もないものなど、対応の優先度の高いものから Pauline 等専門的な機材で再マイグレーションを実施することを検討している。

た。実機のドライブを利用することは想定しなかった。

前提として、エミュレーション環境で利用を行う場合、実機、OS 及びアプリケーションの保有は必須である。そのため、まず、これらの利用環境を構築する上で、令和 3（2021）年度時点における入手難易度について検討した。

PC-9800 等については中古販売を行っているショップもあるものの、現在、実機、OS、アプリケーションのいずれについても、ネットオークションでの入手が最も一般的な手段である。そのため、入手難易度はネットオークション（ヤフーオークション）での過去 3 か月における落札商品数を指標とした。結果を表 4 及び 5 に示す。

表 4 実機の落札件数

機種名	落札件数	入手難易度 (※)
PC-9801 シリーズ	1653	-
PC-9821 シリーズ	2919	-
PS/V	2	2286
X68000 (pro/xvi/expert/ace)	415	11
Macintosh (Plus/SE/Quadra/Centris/Performa/Classic/Power)	722	6
J-3100	45	101
HP100LX/200LX	128	35
FM-TOWNS	98	46
MSX	295	15
Solaris/NEWS などのワークステーション	6	762
EL-900m	4	1143

※「入手難易度」は、もっとも入手しやすい PC-98 系の件数（PC-9801 と PC-9821 の和）を 1 としたときの相対的な落札件数の逆数として算出

表 5 OS の落札件数

OS 名	落札件数	入手難易度 (※)
MS-DOS (6.2/5.0)	123	1.0
Windows 3.0	0	入手困難
Windows 3.1 (PC-98)	34	3.6
Windows 95	25	4.9
MSX-DOS	14	8.8
N88(86)-DiskBASIC	51	2.4
DOS/V (MS-DOS 6.2/V, PC DOS)	38	3.2
OS/2	9	13.7
Human68k	9	13.7
漢字 Talk7	60	2.1
MacOS	93	1.5
BTRON	2	61.5

※「入手難易度」は、もっとも入手しやすい MS-DOS を 1.0 としたときの相対的な落札件数の逆数として算出

○エミュレーション環境の選択

入手難易度調査の結果を踏まえ、エミュレーション環境について調査した。エミュレーション環境の選択は以下の基準で実施した（上のものほど重要度が高い）。

- 使用許諾条件として、バイナリ利用であっても商用利用には制限もしくは事前の許諾や費用が必要なものは除外した
- 動作環境は OS 依存のないものを優先し、OS に依存する場合は Windows 10 での使用を基本とした。他のランタイムが必要な場合は適宜インストールするものとした（Java など）
- ライセンス上再配布が可能であるもの、あるいは公式の配布元に現在もアクセスできるものを入手可能と見なし、使用方法のマニュアルが言語を問わず、初期導入から実際の起動まで記載されているものを選択した
- ソースリストが公開されているものを優先した
- その他、BIOS などが不要なエミュレータもしくは、別で実装された、いわゆる Pseudo BIOS が存在する場合は、そちらを利用することとした

結果として、各ハードウェアについて、表 6 のエミュレーション環境を選択した¹⁷。

表 6 選択したエミュレーション環境

機種	エミュレーション環境
PC-9800/PC-9821 シリーズ	Neko Project 21/W https://simk98.github.io/np21w/index.html
PC/AT DOS/V	DOSBox-X https://dosbox-x.com/
Macintosh	SheepShaver https://sheepshaver.cebix.net/
X68000	XEiJ https://stdkmd.net/xeij/
FM-TOWNS	津軽 http://ysflight.in.coocan.jp/FM/towns/Tsugaru/j.html
J-3100	DOSVAXJ3 https://www.nanshiki.co.jp/software/dosvaxj3.html
MSX	BlueMSX http://bluemsx.msxblue.com/jindex.htm
Windows 系	Neko Project 21/W もしくは DOSBox-X のエミュレータ環境に Windows をインストール

4.5 考察

FD のマイグレーション成果物の利用環境調査作業において明らかになった、課題及び検討項目は以下のとおりである。

○不備のあったイメージファイルの再マイグレーション

成果物のイメージファイルには、容量が不足しているなど、不備のあるものが見られた。これらの FD については、可能であれば再マイグレーションを実施するのが望ましい。また、イメージファイルの破損に限らず、オーバートラック部（通常はデータを格納しないトラック）にシリアルナンバーと思われるデータが記録されている FD などもあり、そのようなデータの欠落が他のイメージにも存在する可能性は十分にあり得る。

以上から、Pauline などのマイグレーション環境が安定的に供給可能であり、かつ FD の劣化損傷がまだ少ない現段階で、再度全ての FD のマイグレーションを行うことが理想的である。

¹⁷ 選定後、実際の資料を用いての動作検証を実施したが、本報告書では検証作業の詳細は省略する。

○利用環境の整備

調査した多くのイメージファイルが、比較的 OS に依存しないフォーマット構造であった。このことは具体的な環境の推定としては障害であった。

イメージファイル内に含まれるデータからも利用環境推定が可能か検討したが、汎用的なファイル形式のもの（テキストや LZH 圧縮されたファイル）や、アプリケーション依存しているデータ（一太郎や Word など）であるために利用環境の機種を特定すること自体が無意味である資料の存在が多く認められた。

そのため、明らかな機種依存イメージ（Macintosh 専用フォーマットのイメージや X68000 専用など）以外は、当時広く普及していた機種（PC-9800 シリーズ）をベースに利用環境調査を行うことでよいと考えられる。

また、イメージから抽出されたデータは実行形式のアプリケーションが多いが、イメージの完全な調査のためには実際の実行手順などの情報が必要であり、最終的には説明書など付随する資料の参照が別途必要であると思われる。

実的な利用環境調査の上で検討すべき項目としては、使用に必要な各種 OS やアプリケーションの準備がある。一太郎や Word などの専用ファイル形式によるデータが含まれる資料が多く存在する一方で、場合によってはバージョン間の互換性がない可能性がある。

下位互換を保ちつつ流通している OS やアプリケーションも存在するが、多くは既に新規購入が不可能である。

○エミュレータについて

調査にあたっては、仮想環境としてのソフトウェアエミュレータを利用環境として用いたが、エミュレータの使用には種々の問題が存在する。

エミュレータの動作には実機に対して提供された BIOS などのデータが必要な場合が多い。一部機種ではメーカーからライセンスフリーとなったものも存在し、また有志によって同様の動作が可能なライセンスフリーの BIOS が作成された機種も存在する。しかしそれらはごく一部の機種にとどまり、場合によっては実機と異なる挙動を行うこともありえる。そのためエミュレーションを行う場合も、対象機種の実機所有が望ましいと考えられる。

その上で、実機から BIOS などのデータを入手する必要があるため、動作可能な実機の入手が望ましい。しかし既に発売から 40 年近く経過した機器も存在するため、確実な動作保証付きの機器を新規購入することは困難であり、先程のアプリケーションと同様に中古販売店やオークション市場での入手が現実的な選択肢と考えられる。

また BIOS などのデータ抽出作業自体に、ある程度の知識及び技術が必要である。

次に、エミュレータおよびその環境で利用する OS やアプリケーションのライセンス及び動作の問題がある。今回選択したエミュレータは、令和 3（2021）年度現在、使用許諾上の問題がないと思われるものであるが、これらは個人もしくは団体の有志による開発が殆どであり、開発の継続は保証されていない。また、開発者側が使用許諾条件の変更や非公開化などを自由に行えるため、突然使用不能、入手不能とな

る事態も起きうる。

アプリケーションも複数の PC へ 1 ライセンスでインストール可能とするものもあれば、1 PC に 1 ライセンスが必要なものもあり、アプリケーションの複製やエミュレータでの複数使用において、使用許諾条件に抵触する可能性もある。

また、今回利用環境として構築したエミュレータについても、その動作精度はエミュレータ毎に異なっている。実際に使用し、正しくエミュレーションが行われない場合は、実機での確認が必要になることも想定される。

さらに現時点でのエミュレータ利用環境自体の保存も必須である。将来的には Windows 自体が存在しなくなる可能性もあり、現在の PC/AT 機の仕様も変化していくことが想定されるため、Windows を保存していても、ベースの使用環境が利用不能となる時代が来ることも考えられる。

参考文献

※以下の URL の最終アクセスは、いずれも令和 5（2023）年 3 月 23 日。

- [1] 国立国会図書館. (2007). 『電子情報の長期保存対策に係る調査報告書（平成 18 年度）』. <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/999251>
- [2] 国立国会図書館. (2008). 『電子情報の長期保存対策に係る調査報告書（平成 19 年度）』. <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8977844>
- [3] J.d.Biersdorfer. (2005). The Lifespan of a Diskette. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2005/12/29/technology/circuits/the-lifespan-of-a-diskette.html>
- [4] Government of Canada. *Computer hard disks and diskettes – FAQ – Canada.ca*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/care-objects/electronic-media/computer-hard-disks-diskettes-faq.html>
- [5] David H. Ahl. (1983). Floppy disk handling and storage. In *CREATIVE COMPUTING VOL.9, No.12*. https://www.atarimagazines.com/creative/v9n12/205_Floppy_disk_handling_and_.php
- [6] Caralie Heinrichs, Emilie Vandal. (2019). *Digital Preservation Guide: 3.5-Inch Floppy Disks*. <https://biblio.uottawa.ca/omeka2/linking-cultures/files/original/3bed48a813ef348a3873c0c50cb066ec.pdf>
- [7] Gough Lui. (2013). *Project Kryoflux – Part 2: Why Bother with it?* <https://goughlui.com/2013/04/21/project-kryoflux-part-2-why-bother-with-it/>
- [8] ゲーム保存協会. (2011). 「フロッピーディスクの長期保管のために」. <https://www.gamepres.org/2011/07/29/floppyconservation/>
- [9] Jennifer Allen, et al. (2018). *The Archivist's Guide to KryoFlux*. <https://github.com/archivistsguidetokryoflux/archivists-guide-to-kryoflux>
- [10] John Durno. (2016). *Digital Archaeology and/or Forensics: Working with Floppy Disks from the 1980s*. <https://journal.code4lib.org/articles/11986>
- [11] Amanda May. (2021). *Kilobytes of Cultural Heritage: Preserving Collections on Floppy Disks*. <https://blogs.loc.gov/preservation/2021/08/kilobytes-of-cultural-heritage-preserving-collections-on-floppy-disks/>
- [12] Digital Preservation Coalition. 'Flashback': Preservation of legacy digital collection, British Library. <https://www.dpconline.org/events/digital-preservation-awards/flashback-british-library>
- [13] Kryoflux Products & Services Ltd. <https://www.kryoflux.com/>

- [14] ゲーム保存協会. (2020). 「フロッピー保存の新時代が始まります！」.
<https://www.gamepres.org/2020/05/15/pauline-tanjo/>
- [15] 高橋昇司. (1989). 『フロッピー・ディスク装置のすべて』. CQ 出版