

# デジタルデータ保存のためのメディア

平成 28 年 10 月 8 日

東京国立近代美術館フィルムセンター BDC プロジェクト

デジタル技術の進歩は非常に速く、メディアにおいても進展は著しい。メディアとしては、大きくは、光ディスク、磁気テープ、磁気ディスク、半導体の 4 種類がある。これまで、フィルムに記録され、保存されてきた映像や画像はデジタル化され、前述のメディアに保存されるようになってきている。これら 4 種類のメディアにはそれぞれ特徴がある。ここではその特徴と寿命について述べてみたい。寿命とは、記録したものが読み出せる期間と考えてよいが、寿命を決める要因は様々である。媒体の寿命そのものは勿論であるが、読み出すためのドライブの寿命、ハードウェアやソフトウェアのサポート期間、記録されたデータの初期状態などもデータの寿命を決める要因となる。

## 1. 光ディスク

<特徴>

光ディスクといっても種々の物があるが、ここでは CD (Compact Disc)、DVD(Digital Versatile Disc)、BD (Blu-ray Disc) を考える。これらは、120mm の円盤であるが、データを読み取るレンズの開口径が小さい程、高密度で記録でき、CD<DVD<BD の順で記録容量は大きくなる(図 1 参照)。いずれの場合も 1 枚に入る容量は、磁気テープ (たとえば LTO テープ 1 本) や磁気ディスクに比較して少ない。

2015 年には、BD より高密度なアーカイバルディスク (AD) がソニー、パナソニックから提案された。光ディスク 1 枚の容量としては、片面 3 層、両面で 300GB (第 1 世代) であり、今後、高密度符号間干渉除去技術を用いた 500GB のディスク (第 2 世代)、さらに、多値記録再生技術を用いた 1TB のディスク (第 3 世代) のロードマップが報告されている<sup>1)</sup>。2016 年現在、AD として、300GB の光ディスク 11 枚が一つのカートリッジに納められ、3.3TB の容量を持つものが発売されている<sup>2)</sup>。

光ディスクの重要な特徴は、下位互換性を維持している点にある。CD は 1982 年 10 月 1 日に発売されたが、現在でもドライブの供給は続いており、再生可能である。

記録層の材料としては、DVD では主として有機物である色素が用いられ、BD では無機物が用いられている。また、M Disc (Millenniata 社) や DataTresorDisc (NorthernStar 社) のように、金属/金属酸化物/セラミックが用いられるもの、あるいは GlassMasterDisc (Syylex 社) のように、フォトレジストで記録し、ガラスで封入されたものなども発表されている<sup>3)</sup>。

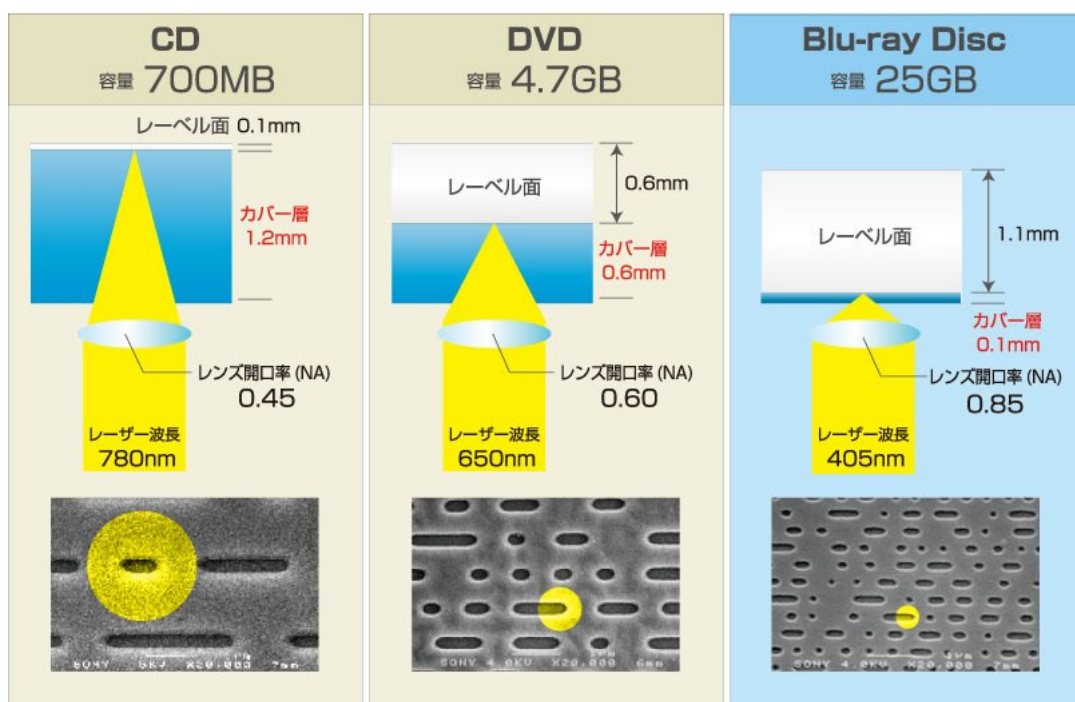


図1. 種々の光ディスクの記録密度

([http://www.nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201001sony/img/p2\\_img2\\_l.jpg](http://www.nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201001sony/img/p2_img2_l.jpg))

### <寿命>

媒体自体の長期保存性を確認するため、寿命推定試験に関する国際規格 ISO/IEC16963:2011 (Information technology-Digitally recorded media for information interchange and storage-Test method for the estimation of lifetime of optical media for long-term data storage) が 2011 年に制定された。これは、2015 年に BD を含む形で改訂された (ISO/IEC16963:2015)。国内では、ISO/IEC16963:2011 に対応する JIS X 6256 が制定されている。前述の AD は ISO16963 を参考にした測定で、保存データの 95% が残存する時間を寿命として推定した場合、50°C 環境下で 50 年、25°C 環境下で 1,000 年以上という寿命が報告されている<sup>4)</sup>。また、アーカイブ用途を謳った市販のある BD について、NPO 法人アーカイブディスクテストセンター(ADTC)が行った評価で、数百年から数千年の推定寿命が報告されている<sup>5)</sup>。ただし、この試験は、温度と湿度に関する劣化だけを取り扱っており、光、腐食ガス、汚れ等については取り扱っていない。色素を記録層に用いている光ディスクでは、温湿度以外に、光による劣化試験も必要であろう。フランス国立試験所が光ディスクを評価した結果では、DVD と M Disc の保存性は同等であり、GlassMasterDisc が高い長期保存安定性を示した<sup>6)</sup>。

また、記録されたデータの初期エラーレートが高いと、読み出し不能になるまでの寿命も短くなる。初期エラーレートはディスクのみならず、ドライブにも依存する。ディスクとドライブの相性が悪いと、初期エラーレートが高くなるので、注意が必要である。

実際のエラーレートがどの程度であるのかは、測定可能であり、この機能が搭載されたドライブがあれば、リフレッシュやマイグレーションのタイミングを知ることができる。この機能を搭載した業務用のドライブは発売されているが、民生用のドライブには搭載されていない。

公益社団法人、日本文書情報マネジメント協会（JIIMA）では「長期保存用光ディスクを用いたアーカイブガイドライン」2013年10月1日<sup>7)</sup>あるいは、「光ディスク取扱い上の注意」平成23年8月10日<sup>8)</sup>を報告しているので参照されたい。

## 2. 磁気テープ

### <特徴>

磁気テープは、磁気材料がポリエチレンナフタレート（PEN）やアラミド樹脂といった薄いフィルム（5ミクロン程度）に塗布あるいは蒸着されている。磁気テープの最大の特徴（長所）は記録容量が大きいことである。映画では、1秒間に24フレーム（コマ）の画像が一般的に記録されており、作品としては非常に大きなデータ量となる。そのため、BDCプロジェクトで訪問した諸外国のフィルムアーカイブ、メジャースタジオでは例外なく、磁気テープを保存用途に使用して、映画を保存していた。磁気テープではLTFS（Linear Tape File System）と呼ばれるファイルシステムにより、記録されたデータが通常のファイルとして取り扱えるようになっている。磁気テープの主要メーカーのひとつである富士フィルムでは、バリウムフェライト（BaFe）という技術を用いて磁性体を微細化し、高密度化と長期保存性を両立している。またソニーではスパッタ方式で非常に微細な磁性体薄膜を形成して高密度化を進めている<sup>9)</sup>。技術は異なるが、LTOテープの容量増加に関するロードマップが描かれ（図2参照）、将来的にはLTO1巻当たり150TBを超える記録容量が可能であるとされている。

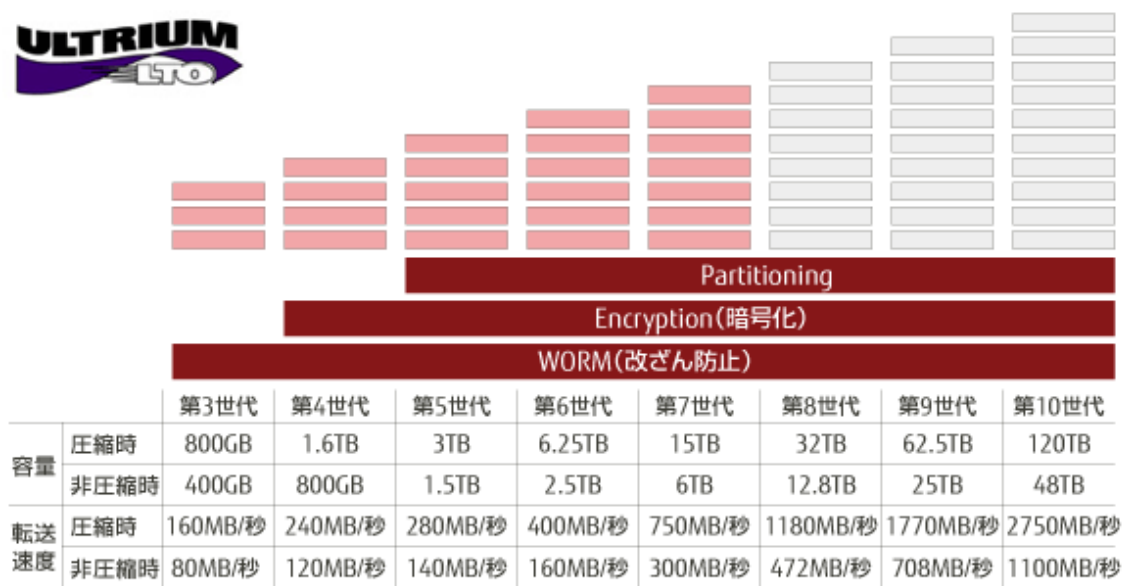
磁気テープの他の特徴としては、容量増加に伴い、システムが変更されることが挙げられる。3から5年で世代交代が行われ、最新のシステム（ドライブ）では2世代前のテープまでしか再生できない。したがって、10年前後には、一度すべてのデータを新しいシステムに置き換える、いわゆるマイグレーションを行う必要がある。

もう一つの特徴としては、現状では磁気テープは、ビジネス用途のみで、民生用が無いことが挙げられる。磁気テープを用いたアーカイブガイドライン（初版）が、2015年3月20日にJIIMAより発行されている<sup>10)</sup>。

### <寿命>

2006年に、社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）は、磁気記録媒体標準化専門委員会を新設し、LTO3テープの寿命推定を行った。ここでの寿命は、読み出し不能の原因を磁

気金属の酸化として加速試験が行われ、ユーザーが 25℃で保管した場合の寿命を 19.1 年と推定した<sup>11)</sup>。2015 年には、富士フィルムから、磁性体以外のバインダーポリマー、潤滑剤も含めた磁気テープの保存性に関する報告があり、LTO テープの寿命は 25 年以上と推定された<sup>12)</sup>。ただし、前述のように、LTO のロードマップでは、システムが変更されるため、10 年以内にはすべてのデータを新たなテープにマイグレーションする必要がある。



注：第1世代から第5世代までは圧縮時の容量は、2:1圧縮とし、第6世代から第10世代までは圧縮時の容量は、2.5:1圧縮を前提としています。

ソース：LTOプログラム。LTO Ultriumのロードマップは予告なく変更されることがあり、目標値を表しています。Linear Tape-Open, LTO, LTOロゴ, Ultrium, およびUltriumロゴは、米国およびその他の国におけるHP, IBM およびQuantumの登録商標です。

図2. LTO ロードマップ。

(<http://www.fujitsu.com/jp/products/computing/storage/tape/eternus-lt/feature/025/>)

### 3. 磁気ディスクドライブ (HDD)

#### <特徴>

磁気ディスクドライブは磁気材料がディスク上に蒸着されている点では磁気テープと同じであるが、記録・再生ヘッドも同じ装置内に組み込まれている。磁気ディスクはコンピューターやサーバー、ストレージといった様々なところで使用されているが、上記の光ディスクや磁気テープと異なり、使用する頻度が高いデータに用いられることが特徴である。これはデータへのアクセス速度が速く、迅速にアクセス可能な状態（HOT なデータ）にできるからである。しかしながら、磁気ディスクは高速で回転しており、大きなエネルギーを必要とする。

磁気ディスクの容量は、磁性体の微粒子化、垂直記録、ビットパターン、熱アシスト、He 充填といった技術により、高密度化が進展している。米 HGST 社からは 10TB のモデルが出荷されている。

一方、近年では、多くの磁気ディスクをアプリケーションにより、一つの大きなストレージとみなして利用できる仮想化技術が進展している。このことにより、容量は無限大とみなすこともできる。

#### <寿命>

HDD の寿命については正確なデータは乏しい。注意が必要なのは、家電量販店で販売されている HDD と業務用のサーバー向けでは、モデルそのものが異なる点である。サーバー用は、筐体、封止法が異なり、ディスクそのものも初期エラーが少ないものが選別されている。価格も高価であるが、それでも寿命は 5 年程度とされている（メーカーへのインタビューより）。磁気の安定性は、寿命を決めるとは考えられていないが、高速駆動部分があるため、衝撃や摩耗、汚れやほこりが寿命に影響を与えたと考えられる。

ストレージやサーバーの展示会でインタビューすると、ベンダーからは HDD は壊れるものとしてシステムを設計しているという答えが多く帰ってきた。仮想化技術が進み、多くの HDD を組み合わせて、一つの大きなシステムが構成されており、データも複数の HDD に分散され、冗長化されている。システム中の一つの HDD が壊れても、別の HDD に取り換えれば、データは復元される。ただし、このような大規模なシステムが構築できない、例えば個人ユーザーでは、ミラーリング（複製）といったような対策が必要と考えられる。

## 4. 半導体 (SSD)

#### <特徴>

記録媒体として半導体が使用されている身近な例は、USB メモリーや SD カードである。半導体メモリーはフラッシュメモリと呼ばれることもある。近年では、サーバベースのフラッシュメモリーが出現している。価格は、SATA-HDD より安価で、SAS-HDD に近づいている。将来的には、オールフラッシュメモリーのデータセンターが予想されるほど、その進展は著しい<sup>13)</sup>。今後、半導体メモリーのストレージとしての使用が加速されてゆくと考えられる

フラッシュメモリーの特徴は、高速にアクセスできる点である。現在では、まだ、容量では HDD に及ばないが、駆動部が無く静かで、エネルギー消費量が少ない。容量としては、48 層 TLC で 32GB のメモリーが登場している<sup>14)</sup>。

#### <寿命>

半導体メモリーは、絶縁体で囲まれた浮遊ゲートに電荷を貯めることで、データを記録する。電荷は電圧により絶縁層を通り抜けて、貯められたり、放出されたりする。この電子の移動が繰り返されると、絶縁層が劣化して、メモリーの寿命が短くなる<sup>15)</sup>。一般的な半導体メモリーの寿命は、多くの予想があるが、書き換え回数 1,000 回から 10,000 回後の寿命は、比較的長いもので、10 年程度と予想されている<sup>16)</sup>。また、サンディスク社からは、書き込み 1 回のみで、100 年保存可能を謳った SD-WORM カードが販売され、警察で採用されている<sup>17)</sup>。

半導体メモリーを用いた、超長期保存システムの提案もある。書き込み 1 回の場合、浮遊ゲートに蓄えられた電荷は 1,000 年以上保持可能であり、データも保存でき、マイグレーション不要というものである<sup>18)</sup>。この場合、問題となるのはデータをいかに読み出すかという、エミュレーション技術である。また、電荷保持以外に配線の安定性も課題となるであろう。

## 5. その他のデジタルデータの保存メディア

### <フィルム>

フィルムはアナログ記録の代表選手の一人と考えられ、実際、重要な役割を担ってきている。カラーフィルムで 100 年、白黒フィルムで 500 年の期待寿命があり、その保存性や試験方法についても種々の標準が制定されている（表 1 参照）。実際、100 年以上のフィルムも残っており、こういった実績から、デジタルデータをフィルムに記録して保存するという試み（Bits on Film）も行われている。フィルムにはコンテンツデータ以外に、コーデックに関する情報、アナログ画像との対応等、どのようにデジタルデータを再生するのかが、アナログ情報として記録することができ、OAIS\*に照らしても、完成度の高い保存システムとして提案されている。以下にその例を示す。

・ ARCHVATOR Project ; 感光材料産業界のコンソーシアムで行われた、マイクロフィルムにデジタルデータ記録して長期保存しようとするプロジェクト<sup>19)</sup>。商品化されている。  
・ Monolith ; スイス、バーセル大で開発され、商品化された“Bits on Film”システム。フィルムにデジタルデータを記録するとともに、プログラムとそのアルゴリズムがフィルム中に記載され、将来、フィルムのみが残ったとしても解読可能とされる<sup>20)</sup>

\*OAIS (Open Archival Information System) ; デジタルデータの長期保存を実現するために NASA が作成した参照モデル<sup>21)、22)</sup>

### <石英ガラス>

デジタルデータの長期保存を行う素材として、耐熱性や耐水性に優れた石英ガラスを用い、フェムト秒パルスレーザーでデジタルデータを刻印した後、光断層撮影法で読み出す手法が開発されている。石英ガラスに保存されたデータは数億年安定に存在すると報告されている<sup>23)</sup>

表1. フィルムの保存に関する ISO 標準

	ISONo	発行年	内容	旧No
1	18901	2002	処理済銀ゼラチンタイプの黒白フィルム-安定性の仕様	10602
2	18902	2007	処理済イメージング材料-アルバム、フレーミング、保存材料	10214
3	18903	2002	フィルムおよび印画紙-寸法変化の測定方法	6221
4	18904	2000	処理済写真フィルム-潤滑度の決定方法	5769
5	18906	2000	写真フィルム-安全写真フィルムの仕様	543
6	18907	2000	写真フィルムおよび印画紙-楔式脆さ試験	6077
7	18908	2000	写真フィルム-耐折強さの求め方	8776
8	18909	(1993)	処理済写真カラーフィルム、印画紙-画像安定度の測定方法	10977
9	18910	2000	写真フィルムおよび印画紙-カール測定方法	4330
10	18911	2000	処理済安全フィルム-保存方法	5466
11	18913	2003	イメージング材料-耐久性-用語	
12	18915	2000	酸化に対する銀画像の化学変化の評価方法	12206
13	18916	2007	処理済イメージング材料-封入材料の写真活性試験	14523
14	18917	(1993)	ヨードアモロス・メチンブルー・硫化銀を用いた残留薬品の決定法	417
15	18918	2000	処理済写真乾板-保存要領	3897
16	18920	2000	処理済写真印画紙-保存要領	6051
17	18922	2003	処理済写真フィルム-引っ掻き抵抗性の測定方法	-
18	18924	2000	アレニウスタイプ予測の試験方法	15640
19	18931	2001	湿度測定および制御の推奨	-

(東京国立近代美術館フィルムセンター 特定研究員 大関勝久)

## 本文の注

---

- 1) White Paper:Archival Disc Technology 1<sup>st</sup> Edition July 2015
- 2) <http://www.tokushu-papertrade.jp/digimon/mon-blog/2016/04/100.html>
- 3) <http://www.syylex.com/technology.html>
- 4) White Paper: Archival Disc Technology 1<sup>st</sup> Edition July 2015
- 5) [http://www.mcmedia.co.jp/enterprise/pdf/report\\_dl\\_j.pdf](http://www.mcmedia.co.jp/enterprise/pdf/report_dl_j.pdf)
- 6) "Durability of recordable DVD±R and DVD made of glass(Syylex) at elevated temperature and humidity", LNE, June 2012
- 7) [http://www.jiima.or.jp/pdf/Opticaldisk\\_acive\\_guideline201310.pdf](http://www.jiima.or.jp/pdf/Opticaldisk_acive_guideline201310.pdf)
- 8) [http://www.jiima.or.jp/pdf/disk\\_20110810.pdf](http://www.jiima.or.jp/pdf/disk_20110810.pdf)
- 9) <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201404/14-044/>
- 10) JIIMA、“磁気テープを用いたアーカイブガイドライン”、2015年3月20日（初版）
- 11) JEITA、“データテープメディアの寿命評価”、2009年1月
- 12) Kazuhiko Katayama, Yuka Chinda, Osamu Shimizu, Yasumoto Goto, Mayumi Suzuki and Hitoshi Noguchi, Program and Proceedings of The 1<sup>st</sup> International Conference on Advanced Imaging, PP21-24
- 13) SNIA 会長講演, Japan IT week, 2016.5.11
- 14) [https://www.toshiba.co.jp/about/press/2015\\_08/pr\\_j0402.htm](https://www.toshiba.co.jp/about/press/2015_08/pr_j0402.htm)
- 15) 松川尚弘、“NAND フラッシュメモリの書き換え条件とデータ保持寿命”、東芝レビュー、Vol66、NO.9、P24、2011
- 16) B.M.Lunt, Archiving 2011Final Program and Proceedings, PP29-33
- 17) <http://dc.watch.impress.co.jp/docs/news/376355.html>
- 18) 小林敏夫、日本写真学会誌、第75巻、1号、33頁、2012年
- 19) O.Plata and R.Bjerkestrand, Final Program and Proceedings of Archiving 2012,PP101-104、 B.H.Brudell and K.M.Drake, Final Program and Proceedings of Archiving 2014, PP79-83
- 20) A.Wassmer and P.Fornaro, Final Program and Proceedings of Archiving 2013,PP103-106
- 21) ISO14721:2003
- 22) <http://drf.lib.hokudai.ac.jp/drFML/pptWCpikarGev.ppt>
- 23) T.Watanabe, R.Imai, S. Mori, T. Mine, T. Shintani and K.Watanabe、 Program and Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Advanced Imaging 2015, PP25-28



本レポートは、東京国立近代美術館フィルムセンターの「映画におけるデジタル保存・活用に関する調査研究事業」(BDCプロジェクト)における調査内容の一部を、BDCブログ用に編集したものです。