

3 コールドストレージの最新動向

ストレージネットワーキング・インダストリ・
アソシエーション (SNIA) 日本支部

コールドストレージの概要

集中型のメインフレームから、クライアントサーバモデルに代表される分散コンピューティングに移行したことで、ITの構成要素も多様な役割を持つようになった。現在では、オンプレミスのストレージシステムについても、用途/データ入出力性能/可用性/コストに応じたさまざまなものが用いられている。それらを図-1に示す。

プライマリストレージはアプリケーション要件（データ入出力性能/可用性）を満たすことが優先され、性能重視型HDD（回転数が15,000RPM、または、10,000RPM）が使用されていたが、最近ではSSDや専用設計のオールフラッシュアレイ（AFA）の利用も増えている。

セカンダリストレージは、アプリケーションが一時的に使用するファイルやデータを格納するため、もしくは、バックアップやデータ転送のソースの目的で使用され、価格性能比が重視されるためSSD/HDDが利用されている。

それ以外の用途のストレージとしては、障害対応や業務継続のためのデータ保護（バックアップ/災害対策（DR））、そして、コンプライアンスや長期間保管ニーズに対応するためのアーカイブもデータ管理の観点から重要となる。こちらは性能よりもコスト（電気代などの運用コストも含む）やデータ完全性が重視され、目的に応じて多様なストレージメディアが利用されている。まだ明確な定義はないものの、この領域が「コールドストレージ」と呼ばれる。

ストレージシステム環境を、上記のように目的とコストに応じた各種のストレージシステムで構成することを「ストレージ階層化」と呼ぶ。ここ数年

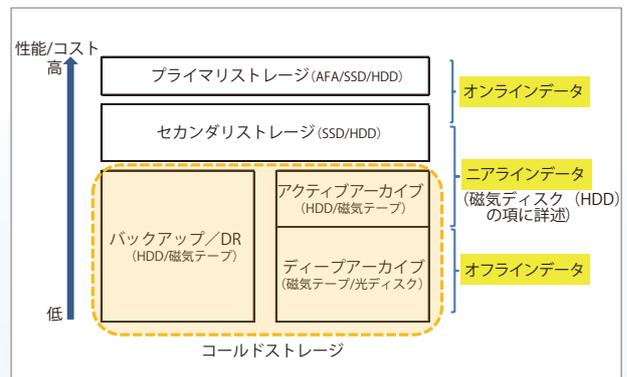


図-1 ストレージシステムの構成

は、この階層にクラウドサービスが加わったことで、ユーザにとっては選択肢が増えたことになるが、逆に各階層の使い分けについての試行錯誤が続いている状態とも言える。

増加し続けるデータに対して階層間のファイルやデータ移行を手作業で行うことは事実上不可能なので、ここではソフトウェアによる自動化が必須となる。ファイルやデータを情報管理ポリシーに基づいてストレージ階層間で自動的に移行させるシステムは、2003年以降、ILM（情報ライフサイクル管理）と呼ばれるようになった。従来のオンプレミスでは、バックアップソフトウェア、各種アーカイブソフトウェア（ファイル用、E-メール用、特定アプリケーション用、等）、ベンダ依存のスナップショット/レプリケーション機能を、ユーザが組み合わせて運用の一環として実施することが多かった。最近ではこれらソフトウェアが互いの機能を取りこむ機能拡張を行っており、統合管理を実現するCDM（Copy Data Management, コピーデータマネジメント）を謳うソフトウェアやアプライアンス製品も利用可能となっている。

本稿では、コールドストレージに利用される各ス

■小特集 ■ ファイルシステムとストレージ

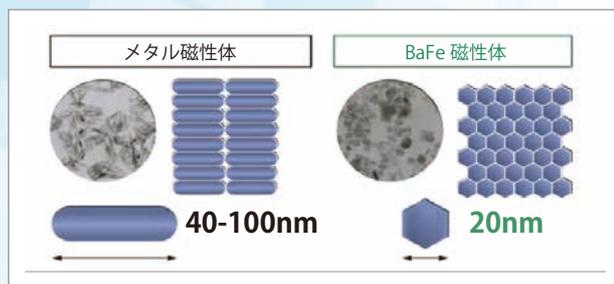


図-2 BaFe 磁性体

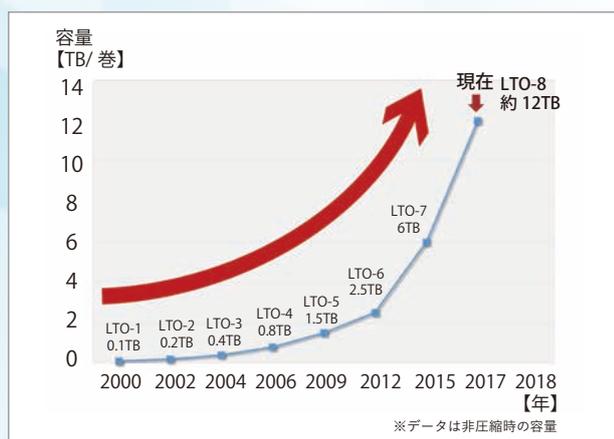


図-3 LTO の記憶容量の推移

ストレージメディアの特長を紹介した後、100年以上のデータ保管を実現するための超長期データ保管技術について説明する。

各コールドストレージメディアの特長

■ 磁気テープ¹⁾

テープの歴史と技術革新

磁気テープの歴史は、コンピュータが登場した約70年も前にさかのぼる。磁気ディスクの利用拡大に伴い、主役の座は奪われるものの、その後もバックアップやデータ交換用に使用され続けてきた。2000年頃まで使用されていたオープンリール型磁気テープの印象が強く、古いデータ記録媒体とのイメージを持たれがちだが、現在では、取り扱いを容易にするためカートリッジに収めた記録媒体として大きな進化を遂げている。

現在は、主にエンタープライズ向けに提供される大手システムベンダの独自規格と、オープンな規格であるLTO (Linear Tape-Open) が広く使用され

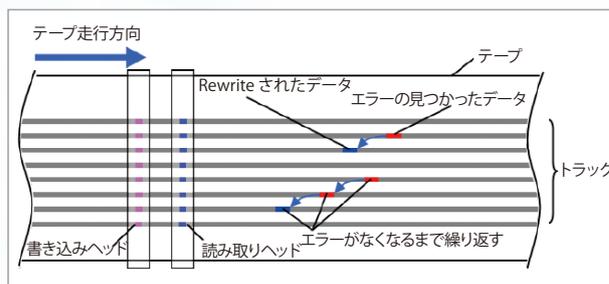


図-4 Read While Write 技術

ている。

記憶容量, 転送速度の向上

記憶容量の向上は、線記録密度、トラック密度の向上で図られているが、これに対応するため新たな磁性体の採用や、より長いテープをカートリッジに収めるために厚さをさらに薄くするなど、テープ媒体も大きな進化を遂げている。LTO-7で採用されたBaFe磁性体は、六角板状で結晶磁気異方性を持つ安定した物質で、これまでのメタル磁性体の2倍以上の高密度化が可能になっている(図-2)。

LTO-7の記憶容量は、初代LTO-1の約60倍、年率平均30%以上も向上している(図-3)。

また、データをシーケンシャルに記録するテープは、ランダムアクセスは苦手なため性能が低いと思われがちだが、データ転送速度は高く、LTO-7では300メガバイト毎秒(非圧縮時)を実現している。

データ保全に対する高信頼性技術

データストレージにとって重要なのが、書き込んだデータを確実に読み取れる信頼性である。テープはデータ保全に複数の信頼性技術を取り入れている。

テープドライブのヘッドは書き込み用と読み取り用が対になっており、書き込み直後にデータの読み取り確認を行う「Read While Write」が行われる。もし、書き損じがあれば、異なるトラックに書き込むなど、確実なデータ書き込みを行う(図-4)。

記録したデータにはECC (Error Check and Correction) が付加されており、後の読み取りでデータに欠損が生じていてもエラー訂正が行われる。LTOの場合、15%のデータが正しく読み取れなくてもデータを再生することができる。

さらに、ECC を付加したデータの塊（サブデータセット）をテープ上に縦横両方向に広く分散させて書き込むインターリーブ機能によって、テープの長手方向の欠損や複数トラックに跨る横手方向の欠損が生じてデータが読み出せるように対策されている。

HDD のように密封されていない、空气中に晒されているテープ媒体であるが故に、さまざまなデータ保全のための技術が用いられている。

テープの今後

テープの進化は今なお続いており、LTO の場合、近いうちに LTO-8 がリリースされる予定である。LTO コンソーシアムでは、さらに LTO-10 までのロードマップを公表している²⁾。第 10 世代ではカートリッジあたりの記憶容量は約 48 テラバイトになる見込みである（本稿執筆時点）。

シーケンシャルにデータを記録するテープはデータ圧縮技術や暗号化技術との親和性も高く、規格にも取り入れられている。大容量、高性能、高信頼性、低コストといった特徴でコールドストレージ用メディアとしての期待も高い。

■ 光学ディスク

光ディスクの変遷

光ディスクの歴史はメインストリームを見れば、1982 年発売の CD から始まり、1996 年の DVD、2003 年の Blu-ray（以下 BD）と続くが、音楽・映像用、データ用など用途に応じて多数の派生バージョンが開発されてきた。円盤状メディアをレーザーで読み書きする点は共通であるが、何回も初期化が可能な ReWritable ディスクと、書き込み後は削除も改ざんも不能となる Write Once ディスクに二分される。記録時に磁気を併用したもの（MO、UDO 等）や、ディスクをカートリッジに収めて取り扱いを容易にしたもの（例：Professional Disc）もある。

商用光ディスクは、780、650、405nm のいずれかの波長のレーザーで読み書きされる。同じメディア形状（12cm）のまま容量を増やすため、トラック密度だけに頼らず、線密度向上、記録膜の多層化、両面化などが実施されてきたが、35 年前の CD が現

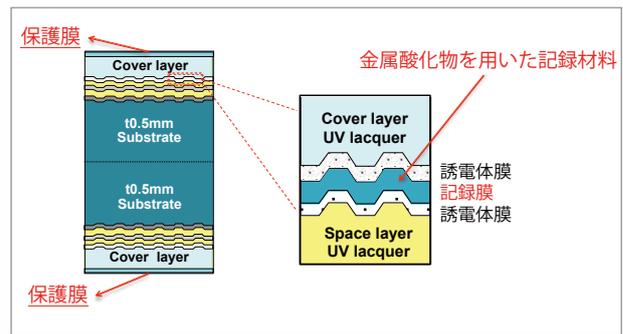


図-5 アーカイバル・ディスク規格

在の BD ドライブで読み出させることから分かるように、一般に後方互換性が高く、大変長寿命なメディアである。また元来、光ディスクには温湿度変化に強いという特徴があるが、BD ではさらに表面に硬質な保護膜を施すことで傷を防ぎ、長期間のアーカイブにも安心して使用可能である。

アーカイバル・ディスク規格

さて、コールドストレージとして利用する場合の光ディスクの課題は容量と転送速度である。これらの課題を解決するものとして、2014 年にアーカイバル・ディスク（Archival Disc：以下、AD）という規格がパナソニックとソニーにより発表された。

AD は両面で合計 6 層の記録層を持ち、BD と同じ 405nm の青紫色レーザーで読み書きするもので、図-5の基本構造を持つ。記録には Land & Groove 方式を採用してトラック密度を BD に比べて 42% 向上させ、12cm のディスク 1 枚で 300 ギガバイトを実現している。読み書きは両面同時に行い、1 ペアのオプティカル・ピックアップで 90 メガバイト毎秒の転送速度が出る。実際の AD 応用商品では、複数のピックアップを搭載したドライブの制御技術や、複数ドライブを並列化して使用する制御技術により 300 メガバイト毎秒以上のデータ転送速度を達成している。AD 規格は、読み出しの後方互換性は保ったまま、ディスク 1 枚で 1 テラバイトの容量となる第 3 世代までの開発が予定されている。

コールドストレージとしての光ディスク

貴重なデータを長期間、安全かつ安価にアーカイブするためには、さまざまな条件を考慮する必要がある。その中でも忘れがちなのは災害に対する耐性

■小特集 ■ファイルシステムとストレージ

である。10～30年といった長期間、一定の温湿度環境でメディアを保管することは大変困難であるが、光ディスクは許容する温湿度の範囲が広く磁気にも頼らないため、空調停止、水害等による一時的な超高湿度、あるいは太陽嵐による強力な電磁波といった不測の事態を乗り越えるためには理想のコールドストレージとなる。

■磁気ディスク (HDD)

企業や官公庁の情報システムにおける代表的なストレージメディアの使い分けは、「オンラインデータ」の格納にはHDDを用い、「オフラインデータ」の格納には磁気テープを用いるというものだった。

2001年のエンロンの粉飾決算事件を受けて、アメリカ政府は投資家保護の観点から、いわゆるSOX法（サーベンス・オクスリー法）を2002年7月に施行した。このとき、企業に存在する資料のほとんどが電子データで作成されていたが、米国の民事訴訟の手続きの1つであるDiscovery（証拠開示制度）を電子的に行う必要性が高まり、e-Discovery（電子的証拠開示）なる用語が広く使われるようになった。e-Discoveryでは、企業に存在するすべての電子データから訴訟に関係する電子データを収集し提出しなくてはならない。しかし、企業内に存在するオフラインの電子データ量は膨大であり、訴訟に関連するものだけを漏れなく把握し収集することは簡単ではない。従来の「オフラインデータ」から必要なデータを収集するのは困難であり、SOX法の対象となるような電子データを指す用語として「ニアラインデータ」が生まれた。「ニアラインデータ」は、「オンラインデータ」ほど継続的に頻繁にはアクセスされないが、必要な場合には「オフラインデータ」よりも早いアクセスが要求され、この用途にはHDDが広く使用されている。

これ以降、「アクティブアーカイブ」、「ディープアーカイブ」なる用語が出てきたのも、こういった動きを反映したものと思われるが、「アクティブアーカイブ」にはHDD、「ディープアーカイブ」には磁気テープを使用する、というのが一般的である。

コールドストレージとしてのHDDの適用範囲としては、ニアラインデータの格納、あるいは、アクティブアーカイブ用途というのが1つのコンセンサスと思われる。SOX法などのコンプライアンス用途に加えて、高解像度（4K/8K）動画編集用途や、高精細医療データの格納、監視カメラ画像の解析など、データアクセスのレイテンシ要件が厳しい場合にはHDDが広く使用されている。

現在、市場に出回るHDDの大半が3.5インチや2.5インチサイズのプラッタを採用している。3.5インチの容量重視型HDD（回転数が7,200RPM、あるいはそれ以下）の容量は10テラバイト前後となっている。今後もSMR（瓦記録方式）、HAMR（熱アシスト磁気記録方式）のような新規技術によりHDDの容量増加は続き、2020年には20テラバイトに達すると予想されている。

■半導体メモリ (SSD)

近年、NANDフラッシュの容量単価下落により、サーバやノートPCの搭載用として、SSDがHDDの市場を奪いつつある。実際、SSDでコールドストレージ市場を狙うベンダも出てきているが、本稿執筆時点においては、容量重視型HDDとSSDの容量単価はまだ大きな開き（約10倍）があるため、コールドストレージへの適用は一般的ではない。現在メーカーでは容量密度を向上するための研究開発（さらなる3D構造の多層化や記憶セルの多値化）が行われており、DWPD（Drive Writes Per Day：1日に書き込めるデータ量の上限）仕様の緩和などの手段と併せてSSDの容量単価はさらに下がる可能性がある。これにより、将来的にはアクティブアーカイブ分野など、コールドストレージへの展開も期待される。

■コールドストレージサービス (クラウド)

コールドストレージの商品形態として、ストレージデバイス、ストレージシステムといった有形のものに加えて、近年ではクラウドサービスの重要性が高まっている。これは、パブリッククラウド

の IaaS (Infrastructure as a Service) の一環として、コールドストレージサービスを提供するものであり、2015 年ごろから、著名な IaaS プロバイダは揃ってこのサービスを提供するようになってきた。

クラウドにおける汎用のストレージサービスとして、オブジェクトストレージサービスを提供することが一般に行われている。コールドストレージサービスは、オブジェクトストレージと論理構造（任意長バイト列であるオブジェクトとオブジェクトの入れ物であるコンテナあるいはバケットの 2 階層構造）、API (Application Programming Interface)、運用が同等あるいは類似性の高いサービスとして提供されることが多いが、アクセス頻度が比較的低いデータの長期保管を主な用途として想定した設計・運用・商品化が行われている。すなわち、標準仕様のオブジェクトストレージサービスと比較して、容量当たりの保管料金が数分の一から一桁低い金額に設定されている一方で、以下のようなサービス仕様・サービスレベル上の差異があることが多い。

- アクセス性能や可用性が低いことがある
- データの読み込み前の復元処理が必要なことがあり、1 時間から数時間の待ち時間を要する
- データの書き込み・検索・復元・読み込みなどの料金が高く設定されていることがある。少量データの処理に特に課金されることもある
- 最低保持期間満了前にデータを削除した場合、早期削除料金として最低保持期間分の保管料金が課金されることがある

2017 年現在における主要なコールドストレージサービスとしては、Amazon Web Services の Glacier および S3 Infrequent Access、Google Cloud Platform の Nearline Storage および Coldline Storage、Microsoft Azure の Block BLOB Cool、Oracle Storage Cloud Service の Archive Storage などがあげられる。

データの長期保管にかかわる運用管理の負担、特に災害対策として複数拠点のデータのリプリケーションを管理することや、ストレージシステムの世代交代や媒体の経年変化に対応するデータ移行作

業などの負担を軽減し、ストレージの TCO (Total Cost of Ownership) を低減するという観点からは、コールドストレージサービスは有力な選択肢であるといえる。一方で、大量のデータを特にクラウド外に取り出す場合の課金や、クラウドサービスプロバイダの長期にわたるビジネスの継続性といった課題も考慮しておく必要がある。

超長期データ保管

■ 背景

2015 年 2 月、「インターネットの父」の 1 人といわれる Vinton Gray Cerf 氏 (Google 副社長) は、米国科学振興協会 (AAAS) の年次会合で「21 世紀は将来の歴史家から忘れ去られるだろう」と述べ、今さまざまな記憶媒体に保存されている文書やデータは、消失する危機にさらされていると警鐘を鳴らした。

電子技術の圧倒的な利便性のため、情報のデジタル化は今後もますます進む。そのような状況にあっても、情報の中には色々な性格のものがあられ、100 年以上の保管が必要なものもある。

現在、電子メモリ技術のほとんどはシステムに組み込まれ、その寿命は、システム寿命と同程度である。システムから独立して 100 年あるいはそれ以上の期間、情報を保管することは考慮されていない。超長期間安定に情報を保管できるメモリ技術は、超長期保管の必要性に対する社会的認識の欠如のため、ほとんど顧みられることがなかった。電子技術が生まれて 70 年足らずであることを考えると、無理のない話なのかもしれない。しかし、今我々は社会、文化、産業に関する多くの貴重な情報が回復不能な消失につながる危険性が増大している状況に気付く必要がある。このような状況の下、コールドストレージに対する期待の 1 つとして、システム寿命と独立に長期にわたり情報を保管できる機能が期待される³⁾。

■ デジタル情報保管のマイグレーション戦略

記憶媒体、システム、インタフェースなどの寿命

■小特集 ■ ファイルシステムとストレージ

が数10年しかない状況において、デジタル情報を長期にわたり保管しようとする、今のところ取り得る戦略は、一定の期間ごとに記憶媒体、システム、インタフェースのすべてを最新のものに移行させるというマイグレーション戦略のみである。継続的にマイグレーションを実施し続けることが可能であれば、100年後、1000年後においても情報を理解し活用することができる。

デジタル情報のマイグレーションにあたっては、情報本体のみならずメタデータ（保存メタデータ）も正しく、適切に移行されねばならない。デジタル情報の本体は、1, 0のビット列によって構成されており、それのみではまったく意味が理解できない。フォーマット情報、属性情報などのように人間に理解できる形式すなわち文章、画像などに変換するために必要な情報がメタデータである。もしも、メタデータの移行にミスがあると全体のマイグレーション完了後にデータの復元ができない場合もあり得る。本来、デジタル情報にとって人間に理解できる形に復元するために必要なメタデータは、マイグレーションの有無に関係なく本体データとセットになるべきものである。メタデータの重要性はすでに認識されており2000年に米国においてOAIS（Open Archival Information System）というデジタル情報保存の参照モデルが作られている。SNIA（Storage Networking Industry Association）からも、その後さらに改良したSIRF（Self-contained Information Retention Format）というデジタル情報保存の参照モデルが提案されている。

現在唯一の保管戦略であるマイグレーションは、複雑な作業であり多大なコストが発生することが報告されている。そのため、たとえ遠い将来に恩恵をもたらす可能性のある情報でも、継続的に経済的価値を生まない情報は放棄につながる（図-6）。また、

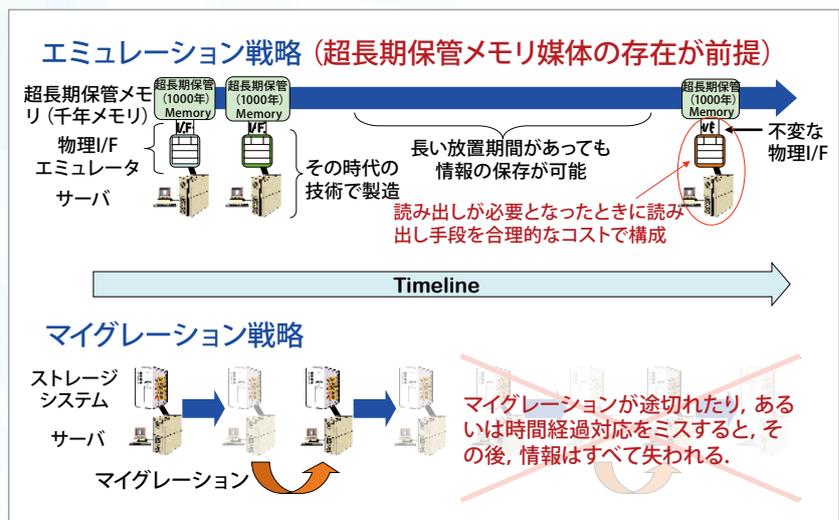


図-6 エミュレーションとマイグレーションの比較

そもそもマイグレーションを“行う”という“意思”が必要である。意思の主体が消失すると、継承は途切れ、数十年を経ると情報は完全に消失することになる。また、複雑な作業であるためミスが生じやすい。ミスに気づかずに放置されると、結果として消失につながる。マイグレーションは高コストかつ脆弱な戦略であると言わざるを得ない。

■ デジタル情報保管のエミュレーション戦略

現代の我々に、何が将来の人々に恩恵をもたらす情報なのかを理解することは難しい。ただ、コストがかからず、安定に情報を保管でき、かつ将来読み出しが可能なシステムがあれば、より多くの情報を将来に残せる。その意味で、より望ましい保管戦略としてエミュレーション戦略が考えられる（図-6）。

エミュレーション戦略とは、長期間放置されても情報を消失しない堅牢な記憶媒体の存在を前提とし、その媒体から情報の読み出しを将来の何時の時点においても可能とするシステムを再構築（エミュレーション）することが可能な仕組みを作るというものである。マイグレーション戦略はすべての世代に等しくコスト負担を強いるものであるのに対し、エミュレーション戦略は、情報に価値を認め保管する世代と情報を得て利用しようとする世代にコスト負担（情報を保管するコストと情報を読み出すためのエミュレータを作るコスト）を求め、情報を利

活用しない中間の世代にはコスト負担を求めないという合理的なコスト構造を持つ。

エミュレーション戦略実現のためには、次に示す課題を解決する必要がある。

- (1) 長期間放置されても情報を消失しない堅牢な記憶媒体（長寿命なコールドストレージ）を開発する。
- (2) エミュレータを再構築するための設計・製造情報を保全する。なお、設計・製造情報もメタデータの1つと考えられるため、(3)と同様の方法で保全が行われる。
- (3) 必要なメタデータをすべて(1)内に保存する、あるいは、一部を(1)内に保存し、そのほかに必要なメタデータのすべてを保全する公的機関のような社会的な仕組みを作ることが必要である。データセンターのような大規模なメモリシステムの場合は、必要なメタデータをすべて保全することが可能であるが、個人の場合は難しい。個人、小規模データベースに対する対応として、国会図書館のような公的な機関にその時代の主流のフォーマット、再生ソフト、環境情報などを保全する必要がある。

まずは、(1)の超長期保管対応のコールドストレージの実現を目指すことが重要である。実現の見通しが出てきた時点で(2)および(3)の仕組み作りを進めることが望まれる。

現時点で1000年以上の情報保持能力のあるデジタルメモリとしては、日立製作所が開発した石英ガラスを使ったメモリがある。1000℃に2時間熱しても情報が消えることはなく、室温であれば3億年のデータ保持が可能とされている。DVD 並み

のビット面密度を実現しており、読み出し装置は顕微鏡である。課題は、データの書き込み環境の制約とビットコストである。

より簡便な100年以上の保存を実現できる半導体系メモリ技術開発は、現在国の研究プロジェクト(JST CREST)で進められている。

また、光ディスクの中には100年以上のデータ保持を謳ったものもあり、読み出し環境の保障がなされれば、超長期データ保管技術の候補となり得る。

コールドストレージの今後

低コストかつ長期間にわたってデータを保存するために、さまざまなデバイスやサービスの開発がしのぎを削った結果、コールドストレージと呼ばれる技術領域に発展した。今後も、個々のデバイスの技術的な進化や新しい候補デバイスの登場は継続する見込みで、ユーザにとっては選択肢が増え利便性が高まることが期待される。また、コールドストレージは今後も日本が世界をリードすることが可能な技術分野であり、産学官で連携して海外に向けて情報を発信していくことが重要である。

参考文献

- 1) JEITA：テープストレージ動向<2017年版>，http://home.jeita.or.jp/upload_file/20170526145619_fwjYr6K1gi.pdf
- 2) LTO Consortium：WHAT IS LTO TECHNOLOGY?，<https://www.lto.org/technology/what-is-lto-technology/>
- 3) (独) 科学技術振興機構：科学技術未来戦略ワークショップ「超長期保存メモリ・システムの開発」，<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/WR/CRDS-FY2012-WR-07.pdf>
- 4) 喜連川優：ストレージ技術～クラウドとビッグデータの時代～，オーム社，東京（2015）。
- 5) 喜連川優：ストレージネットワークワーキング技術，オーム社，東京（2005）。

（2017年9月30日受付）