長期保存用光ディスクの更なる信頼性向上に向けて

谷口昭史

1.　はじめに

昨今の爆発的なデジタル情報量の増加により、2023 年に世界中で生成及び複製されるデジタルデータの総量は、123 ZB（ゼタバイト: 1 ZB =1 兆 GB）に達し、その後も年平均成長率（CAGR）21%で成長し、2026 年までには 221 ZB 以上に達すると予測されている[1]。それに対して、世界のストレージ容量（設置ベース）は、2023 年には 11 ZB、CAGR 19%で 2026 年までには 21 ZB に成長すると予測されている。その結果、世界は生成されたデータの 10 %未満しか保存していない。全てのデータを保存又は保持する必要はないが、データ生成とストレージ容量の総量差が大きくなりすぎていることで今後深刻な問題を引き起こす可能性が高いと考えられる。

一方、データ保存に要するエネルギー消費量の予測では、大量のデータをオフラインの「コールド」ストレージに移動しない限り、現実的なエネルギー消費は達成不可能であることが指摘されている。全てのデータが、いつでも即座に利用できるオンラインの「ホット」ストレージ上にあるという環境は、エネルギー消費の観点から持続可能ではなく、現実的にも達成不可能なためである。

コールドストレージの主な目的は、頻繁には使用されないが削除できない重要なデータを保存するために、安価で安全かつ低消費電力のシステムをユーザに提供することである。ここで、コールドストレージの中でも特に光ディスクは、防水機能を有し、長寿命であり、その保存自体には電力を消費しないため環境負荷が小さく、また追記形ディスクは物理的に記録の改ざんができないため、保存データの安全性が高いなど、データアーカイブ用途に優れた基本機能を備えている。これらの特性により、災害時の被災から重要なデータの復旧や、超低消費電力で信頼性の高いデータアーカイブシステムの構築や管理が可能である。

このような理由から、光ディスクがデジタルデータのアーカイブ保存媒体として再認識され、その活用を積極的に推進することを目的として 2020 年度経済産業省・省エネルギー等国際標準開発において「長期データ保存用光ディスクの品質判別方法及び長期保存システムの運用方法に関する国際標準化」が採択された。当該プロジェクトの JIS 原案作成委員会として一般財団法人光産業技術振興協会（OITDA）に “光ディスクアーカイブグレード標準化委員会” が設置され、2022 年 11 月に JIS X 6257:2022 “長期データ保存用光ディスクの品質判別方法及び長期保存システムの運用方法”[2]が、JIS X 6257:2017 の改正版として制定された。一方、同規格の国際標準化に関しては、一般社団法人情報処理学会・情報規格調査会に設置されている ISO/IEC JTC 1/SC 23 の国内対応委員会である SC 23 専門委員会から、2022 年 7 月に New Project として国際提案が行われ、承認された。その後、SC 23 での必要な標準化手続きや規格策定作業を日本主導で行い、2023 年 11 月に ISO/IEC 18630:2023 “Information technology–Digitally recorded media for information interchange and storage–Quality discrimination method for optical disks and operating method of storage systems for long-term data preservation” [3]が発行された。

ここでは、JIS X 6257:2022 及び ISO/IEC 18630:2023 において、新たに規定した光ディスクアーカイブ

システム運用の概略について報告する。

2.　光ディスクを用いた長期保存に関連する標準規格

記録形光ディスクにおけるデジタルデータの記録品質は、光ディスクと記録ドライブの組み合わせが重要なファクターであり、特にアーカイブ用途では、高品質な光ディスクとその光ディスクに最適な記録を行うドライブの組合せを維持する必要がある。そのためにも基準が重要となるが、光ディスクは他のストレージメディアと比較して、図 1 に示すようなディスク物理、寿命推定、データ移行運用といった長期保存の品質維持のための標準規格が整備されており、これらに準拠した製品を使用することにより、信頼性の高いアーカイブシステム運用が可能である。

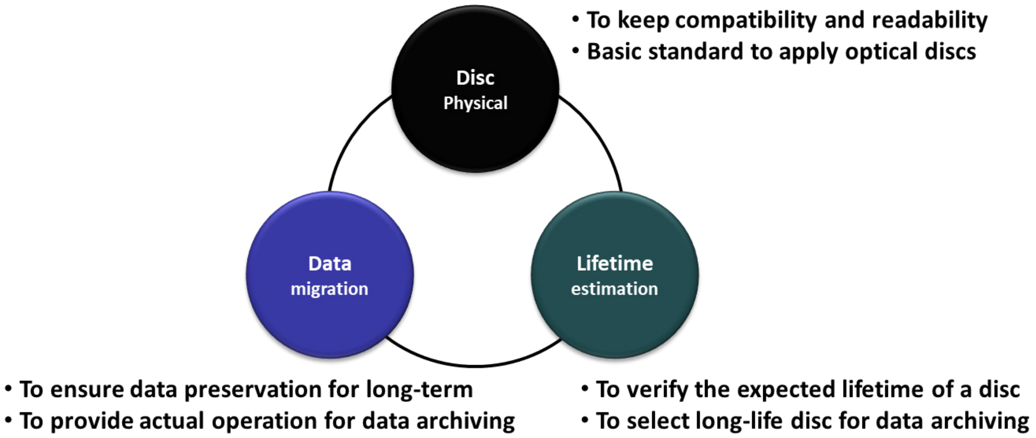

図 1　光ディスクによるデータアーカイブに必要な規格カテゴリ

それぞれの規格カテゴリ毎に、現在適用可能な主要な標準規格を表 1 に示す。

表 1　光ディスクを用いた長期保存に関連する標準規格

(a)　ディスク物理

ディスク物理				
標準規格　(国際|国内)		ディスクタイプ（追記形）	策定団体　(国際|国内)	
ISO/IEC 23912	JIS X 6249	DVD-R SL	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA
ISO/IEC 12862	JIS X 6252	DVD-R DL	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA
ISO/IEC 30190	JIS X 6230	BD Recordable (SL/DL)	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA
ISO/IEC 30191	JIS X 6231	BD Recordable (TL/QL) , (DSD)	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA

(b)　データ移行・運用

データ移行･運用				
標準規格　(国際|国内)		対象ディスク	策定団体　(国際|国内)	
ISO/IEC 29121	JIS X 6255	for CD, DVD, BD writable discs	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA
N/A	JIS Z 6017	for CD, DVD, BD writable discs	N/A	JIIMA
ISO/IEC 18630	JIS X 6257	for CD, DVD, BD Recordable discs & Read-only discs	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA

(c)　寿命推定試験

寿命推定試験				
標準規格　(国際|国内)		対象ディスク	策定団体　(国際|国内)	
ISO 18921	N/A	for CD-ROM	ISO/TC 42	N/A
ISO/IEC 10995	N/A	for DVD writable discs	ISO/IEC JTC 1/SC 23	N/A
ISO/IEC 16963	JIS X 6256	for CD, DVD, BD writable discs	ISO/IEC JTC 1/SC 23	OITDA

これらの標準規格のうち、JIS Z 6017 及び JIS X 6257 については、国立国会図書館での電子化文書作業の指標や、JIS 準拠の光ディスクと記録ドライブの組み合わせを認証することを目的として公益社団法人 日本文書情報マネジメント協会（JIIMA）が運用している JIIMA 認証制度「アーカイブ用光ディスク製品認証制度」[4]として活用され、デジタル資料の長期保存及び電子図書館化の推進に寄与してきている。

3.　JIS X 6257:2022 及び ISO/IEC 18630:2023 の概要

光ディスクの長期保存システムとしての品質判定基準を規定した JIS X 6257:2022 及び ISO/IEC 18630:2023 は、経済産業省の「長期データ保存用光ディスクの品質判別方法及び長期保存システムの運用方法に関する国際標準化」プロジェクトの成果として新たに制定された規格であり、技術的な規定内容は同一である。保存されたデジタルデータの安全性を確保するために、情報の消失及び書換えを回避するだけではなく非改ざん性の重要性に着目して、CD、DVD 及び BD の再生専用形と追記形光ディスクを適用範囲とし、データの記録再生品質と長期保存に対する更なる信頼性の向上を図ることを、その目的としている。

3.1　追記形光ディスクの品質判別基準と初期品質検査

長期保存における記録データ信号の劣化低減を図るため、両規格では、まず高品質な追記形光ディスクと最適に記録できるドライブとの組合せに関して規定し、さらに使用する光ディスクに関しては、長期保存性能を担保するため、ISO/IEC 16963 による寿命推定試験を義務付けている。

追記形光ディスクの品質判別方法としては、記録データ信号を再生し、そのデータエラー値と寿命推定試験の結果との組み合わせによって、定量的に表 2 に示す 3 つの品質グレード区分（グレード 10、グレード 30 及びグレード 100）のいずれに該当するかを判別する。

表 2　追記形光ディスクの品質判別基準

品質グレード	光ディスクの種類			寿命の推定値
	CD-R	DVD-R, ＋R	BD レコーダブルディスク	
	試験／検査項目			
	最大 C1 エラー	最大 PI SUM 8	最大 RSER　及び最大バーストエラー	
グレード 10	110 未満	140 未満	5.0×10^{-4}未満　及び 800 バイト未満	10 年以上
グレード 30	80 未満	100 未満	3.5×10^{-4}未満　及び 800 バイト未満	30 年以上
グレード 100	80 未満	100 未満	3.5×10^{-4}未満　及び 800 バイト未満	100 年以上

また、記録済みの光ディスクを長期保存する前に行う初期品質検査では、データエラーを測定し、表 2 によって、その品質グレードに応じた初期品質を判定する。記録済み光ディスクの全数においてデータを記録した全領域を検査し、表 2 に規定するデータエラー品質を満たさない場合、又は訂正不能エラーが発生した場合には、再作成し品質を満たすことを確認後、保存する。

3.2　光ディスクの定期品質検査

保管している光ディスクは定期的にデータエラーを検査し、品質を判定する。グレード 30 及びグレード 100 の追記形光ディスクの定期品質検査時のデータエラー区分を、表 3 に示す。

表 3　定期品質検査時のデータエラー区分

区分		光ディスクの種類		
		CD-R	DVD-R, ＋R	BD レコーダブルディスク
		検査項目		
		最大 C1 エラー	最大 PI SUM 8	最大 RSER 及び 最大バーストエラー
1	良好な状態	110 未満	140 未満	5.0×10^{-4}未満 及び 1,200 バイト未満
2	1 年以内に対策	110 以上　220 未満	140 以上　280 未満	5.0×10^{-4}以上 1.0×10^{-3}未満 及び／又は 1,200 バイト以上 1,900 バイト未満
3	直ちに対策	220 以上	280 以上	1.0×10^{-3}以上 及び／又は 1,900 バイト以上

再生専用形光ディスクの場合も、表 3 に示すデータエラー区分を保存前の初期品質検査及び定期品質検査に適用する。

対策が必要となった際には、追記形光ディスクの場合は再作成する。再生専用形光ディスクの場合は再入手、又は可能な場合は、追記形光ディスクにデータ移行する。

定期品質検査の頻度は、抜き取り検査で約 5 年ごとを目安としているが、保存するデータの保存計画と合わせてユーザが頻度を決定できるとしている。

3.3　BD レコーダブルディスクの欠陥管理（DM：Defect Management)

光ディスクの記録層に生じた欠陥等による記録データ信号の劣化に対して、記録データの交替処理を行い記録品質の信頼性を向上する欠陥管理（DM）の運用方法が、BD レコーダブルディスクに対して規定された。欠陥管理そのものは BD デバイスに標準搭載されている技術であるが、JIS X 6257 及び ISO/IEC 18630 に規定されている記録データ品質（表 2）を担保するように交替処理を行うことを標準化したものである。

図 2 に、DM を使用する場合の交替処理のイメージを示す。欠陥の影響があり規定が満足できないと判断した記録単位（クラスタ）を、あらかじめ予約しておいたディスク内外周のスペアクラスタに代替記録する。

ディスク上から微細な欠陥を全てなくすことは現実的ではなく、エラー訂正アルゴリズムにより対応する

が、比較的大きな欠陥（長いバーストエラー）が存在する場合は、長期保存中に欠陥が成長して品質劣化につながる可能性が懸念される。

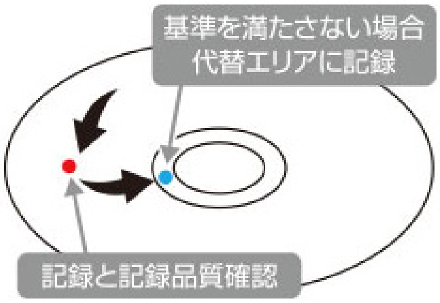

図２　DM の交替処理のイメージ

図３に、記録済みディスクを高ストレス条件下（80℃/80%RH）に暴露した際の時間経過によるバーストエラー長の変化を観測した一例を示す。縦軸はバーストエラー長、横軸はディスク上の個々のバーストエラーの位置、奥行きが時間経過である。これから、ばらつきはあるものの暴露時間（青→橙→灰）に依存して欠陥が成長する傾向にあることがわかる。従って DM により、長いバーストエラーを避けることで、長期保存の信頼性向上に貢献できると考えられる。

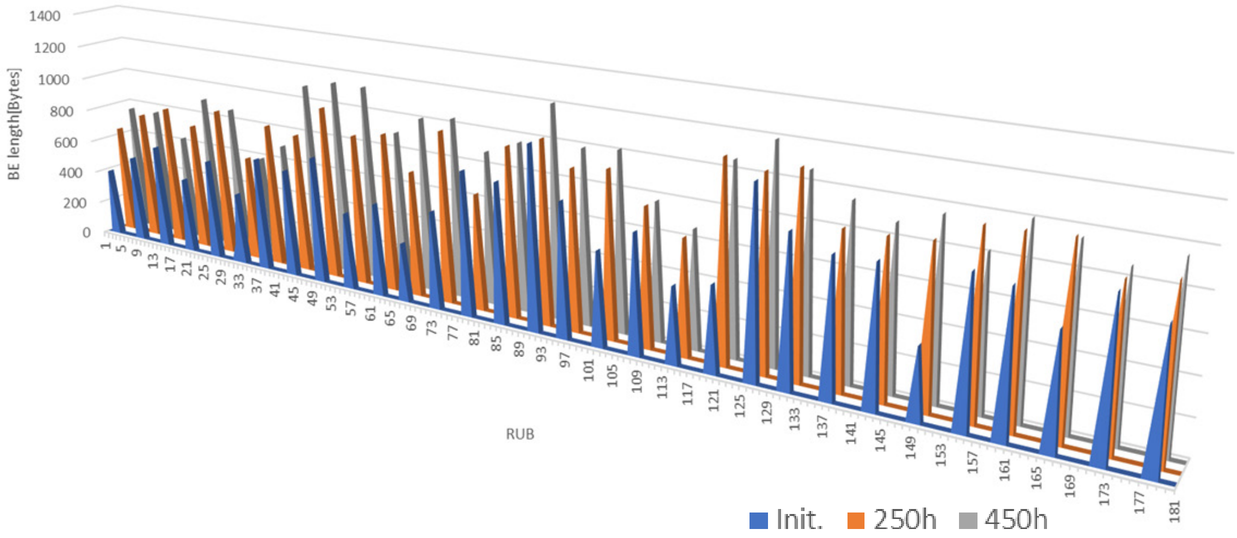

図３　高ストレス条件下におけるバーストエラー長の観測結果

以上のように、DM を採用することにより以下の利点が挙げられ、アーカイブ市場の拡大と長期保存用途として更なる信頼性の向上が期待できる。

1）ディスク製造の量産性向上によるコスト削減

2）初期記録品質の向上

3）保存中の欠陥成長による品質劣化の可能性低減

4.　結び

長期保存用光ディスクの更なる信頼性向上に向けて、新たに制定された光ディスクアーカイブシステム運用の標準規格 JIS X 6257:2022 及び ISO/IEC 18630:2023 の概要について報告した。

ユーザは、十分な寿命をもつ高品質な光ディスクを選択でき、記録適合性が確認されたドライブにより初期記録品質を担保し、定期品質検査に基づいてデータ復元のための保存品質を継続的に監視することが可能となる。

両標準規格は、光ディスクをデジタルデータのコールド（アーカイブ）ストレージ媒体として活用するために欠かせない機能の標準化であり、世界に先駆けてこれを社会実装し国際展開していくことにより、我が国の社会基盤整備のみならず、データストレージ分野における国際産業競争力強化を図ることを目的としたものである。

爆発的に増加するデジタル情報のストレージ分野において、低消費電力のシステム構築により光ディスクが持続可能な社会に貢献すると共に、貴重なデジタルデータを安心、安全に長期保存するため、幅広く活用されることを期待する。

【谷口昭史（パイオニア株式会社、ISO/IEC JTC 1/SC 23 国際議長）／情報記録分野】

参考文献

[1] IDC Global DataSphere and StorageSphere Forecasts, Mar.2022

[2] JIS X 6257:2022，長期データ保存用光ディスクの品質判別方法及び長期保存システムの運用方法

[3] ISO/IEC 18630:2023, Information technology—Digitally recorded media for information interchange and storage—Quality discrimination method for optical disks and operating method of storage systems for long-term data preservation

[4] https://www.jiima.or.jp/certification/arcive_opticaldisk/（2023.12.4 現在）

＊本文書の著作権は、一般財団法人光産業技術振興協会に帰属します。