



Archival Disc

White Paper:

Archival Disc Technology

1st Edition

July 2015

SONY

Panasonic



Content

Content	1
1 Introduction (はじめに)	2
2 Optical Disc Technology (光ディスク/ドライブ技術進化一般論)	4
3 Archival Disc Technology (AD 技術)	5
3.1 Archival Disc Roadmap (アーカイバルディスクのロードマップ)	5
3.2 Disc Structure (ディスク構造)	6
3.3 New Recording Material (新しいディスク材料)	6
3.4 Physical Format (物理フォーマット)	7
3.5 Logical Format (論理フォーマット).....	9
3.6 Signal Environment (i-MLSE の説明).....	11
3.7 300GB AD Specifications (300GB のスペック)	12
4 Long time Archive (メディアの長期保存信頼性)	14
4.1 Media Life (メディアのライフ)	14
4.2 Tilt/Shock Tilt (長期のチルト、ショックチルトの信頼性)	15
5 Future.....	16

1 Introduction (はじめに)

ネットワーク環境の整備、及びコンピュータの処理速度の向上に伴って増加するインターネット接続機器から生成される音声・映像・動画などのデジタルデータは今後急速に増大し、米国のIT調査会社IDCによれば全世界で生成・保存されるデータ量は2020年に44ZB（ゼタバイト；ZB=10²¹Bytes）まで達すると予想されています（図1）。これら増大するデジタルデータは、コンプライアンス、学術研究、文化資産継承、更にはデータ分析による新たな価値提供の為に、長期保存（＝アーカイブ）するニーズが高まっています。特に、巨大データを扱うデータセンターを運用する事業者にとって、データの長期保存は大きなコスト負担を強いられる為、ストレージの低コスト化（初期導入、及び運用コスト）への期待は大きいといえます。この要望に応えられるストレージメディアとして、光ディスクは非常に有望ですが、今後のデータセンターでのニーズを満たすためには、更なる大容量化が必須と考えられます。



図1 2020年の全世界で生成、保存されるデジタルデータ量の予測

出典：IDC's Digital Universe, 「The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things」 Sponsored by EMC（2014年4月）

データセンター事業者が寿命の短いストレージメディアにデータを長期保存することを選択すると、継続的なデータ移行（データマイグレーション）に伴う投資は莫大なものとなり、結果的にデータセンターの経営を圧迫することになります。一方、光ディスクはデータマイグレーションなしに、50年以上に渡って安全にデータを保管することができ、データセンターは低コストでサービスの提供が可能になります。

多くのデータセンターは、空調設備を廃止することで、環境負荷が低く運用費用の安い、「グリーンデータセンター」を目指しています。光ディスクは、この「グリーンデータセンター」の実現要求を満足する、高いパフォーマンスを有しています。図2に全世界の主要都市の平均気温と平均相対湿度を示しました。光ディスクは図2の青い領域内のいかなる環境条件下においても、50年以上記録データを保持することが可能です。世界中のあらゆる都市で、より環境にやさしく、運用コストの安いデータセンターを実現するのが光ディスクなのです。

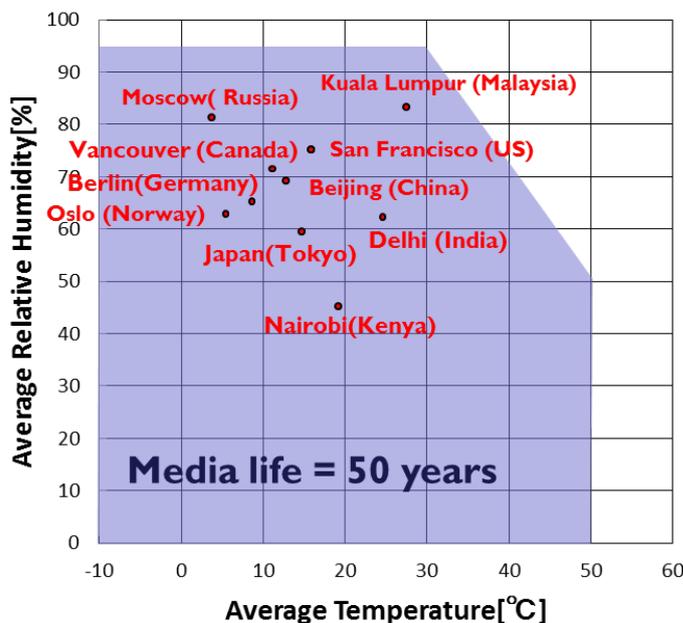


図2 全世界の主要都市の平均気温と平均相対湿度

また、光ディスクでは、レーザーを用いた非接触、かつ光学的なプロセスでデータの書き込み、及び読み出しを行っているので、データ記録層を保護膜で覆うことで、書き込み、読み出しの性能を損なうことなく高い環境耐久性を持たせることが可能です。光ディスクの高い環境耐久性を示す例を2つご紹介します。

一番目は海水に対する耐久性です。記録済の光ディスクを5週間に渡って海水に浸した後でも、洗浄、乾燥させることで、何の問題もなくデータの再生が可能です。

二番目は太陽嵐に対する耐久性です。光ディスクへのデータの記録は電磁効果を使っていないので、保存データは太陽嵐からも全く影響を受けることはありません。

ここまで述べてきたように、光ディスクは、低環境負荷、低運用費用、高耐久性といったデータセンターの要求に応えるストレージメディアとして非常に有望ですが、更なる大容量化が必須と考えられます。この大容量化を実現した新しい光ディスクが、本 white paper でご紹介するアーカイバルディスク (AD :Archival disc) になります。

2 Optical Disc Technology (光ディスク/ドライブ技術進化一般論)

日本が世界に誇る産業の一つとして光ディスクがあり、音楽や映像にかかわる商品として、これまで、Compact Disc ; CD、Digital Versatile Disc ; DVD、Blu-ray Disc™という形で進化してきました。

最初の 12 cm 光ディスクが世に出たのは、1982 年 10 月 1 日の CD のリリースでした。CD は高音質の音楽を身近で手軽に楽しめる商品として世界中に広まりました。また当時、パーソナルコンピュータ用の基本ソフトの規模がフロッピーディスク数 10 枚を必要とするほど大きくなりましたが、これを CD-ROM で供給することで、IT 用途における光ディスクの地位は揺るぎないものとなりました。

CD の次代を担う光ディスクは、映画に代表される映像情報含めて AV 用途として検討が始まりましたが、一方 CD の市場が背景にあった為、IT 用途との統合を可能にするものであると同時に、動画コンテンツの記録を可能にするために、記録容量の増加が不可欠でした。このような環境の中で生まれた DVD は、光源のレーザーを赤外から赤色に短波長化し、同时对物レンズの開口数(N.A. :numerical aperture)を 0.60 に上げることで記録再生光のスポットサイズを縮小し、それに対応して記録マークサイズとトラック間隔を縮小することで高密度記録を可能にしました。更に片面 2 層ディスクの実現により最大約 9GB の記録容量を実現しました。

光源を青紫色まで短波長化し、対物レンズの N.A. を 0.85 に上げることで、DVD の約 5 倍の記録容量を実現したのが Blu-ray Disc™です。Blu-ray Disc™の記録容量は、両面 3 層ディスクの実現により、ディスク 1 枚で最大 200GB まで到達しています(図 3)。更にデータビット長の縮小により、DVD と同じ回転数であっても、余裕をもってデジタル HD 映像の記録再生が可能な転送レートを実現しています。

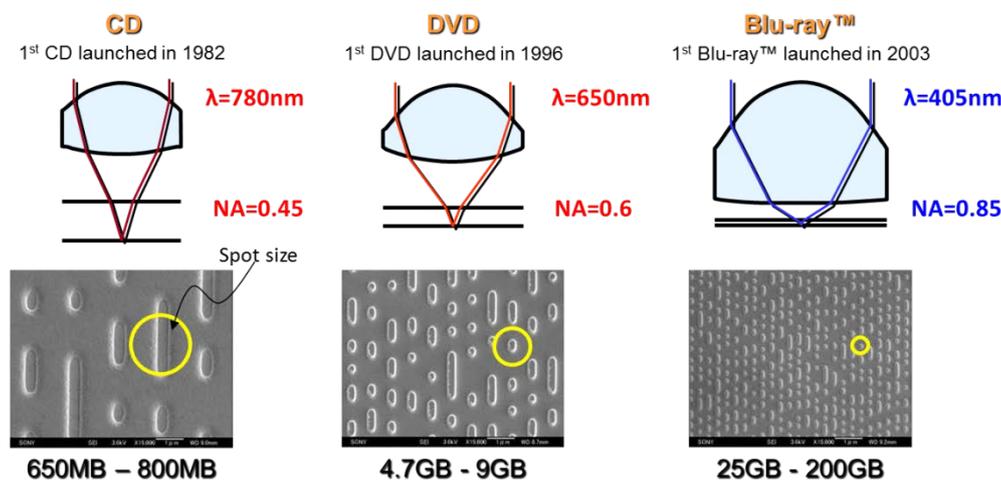


図 3 CD、DVD、Blu-ray Disc™の再生スポットと記録マーク形状

また、CD から DVD、Blu-ray Disc™への光ディスクの進化の過程で、DVD の記録再生装置は CD を、Blu-ray Disc™の記録再生装置は CD と DVD をそれぞれ記録再生できるという下位互換を実現することで、お客様の利便性を損なうことなく新しい規格を導入してきました。この様な進化を続けて来た光ディスクの次の応用分野として、今後爆発的に増加するデジタルデータを、安心して高速で記録再生することを目的とした、アーカイバルディスク(Archival Disc ; AD)を、パナソニック株式会社とソニー株式会社で規格化し、ご紹介ができる状況となりました。本 White Paper では、AD のコンセプトと、新たに導入した技術の概要について以下に記させていただきます。

3 Archival Disc Technology (AD 技術)

3.1 Archival Disc Roadmap (アーカイバルディスクのロードマップ)

AD 規格のロードマップは、図 4 に示したように、ディスク 1 枚あたりの記憶容量が 300GB のシステムを、第 1 世代として 2015 年夏以降に市場導入していくことを目指しています。その後両社が保有する技術をベースに、1 ディスクあたりの記憶容量を第 2 世代で 500GB、第 3 世代では 1TB に拡大していく計画です。それぞれの世代で使用する技術は下記の通りです。

① 第 1 世代：両面 3 層ディスク技術、狭トラックピッチクロストークキャンセル技術

ディスク側では基板上の案内溝と溝間の両方に信号を記録するランド&グループ記録方式を導入し、トラック密度を向上させ、それによる隣接トラック間のクロストークノイズは、新開発のクロストークキャンセル技術を適用することにより、読み取りエラーのない十分な再生信号品質を確保します。

② 第 2 世代：第 1 世代+高密度符号間干渉除去技術

高線記録密度に伴い低下する再生光スポットの分解能を補正するため、ドライブ装置に次世代符号間干渉除去技術を導入し、光学系やディスクなどデバイス側の開発負担を抑えてディスク 1 枚あたり 500GB までの容量アップを達成します。

③ 第 3 世代：第 2 世代+多値記録再生技術

多値記録再生技術、及び高 SNR 光学系を導入し、ディスク 1 枚あたり 1TB の大容量を実現します。

全ての世代でベースの光学パラメータや 3 層ディスクの構造を変えずに大容量化を進めるため、ディスクの製造コストダウンやドライブ装置側の下位互換性が実施しやすくなります。ディスクでは新たに高信頼性、及び高 SNR の記録材料を開発し、アーカイブ用途に適しつつ高密度記録を可能にすることで、各世代の記録容量アップに貢献していきます。

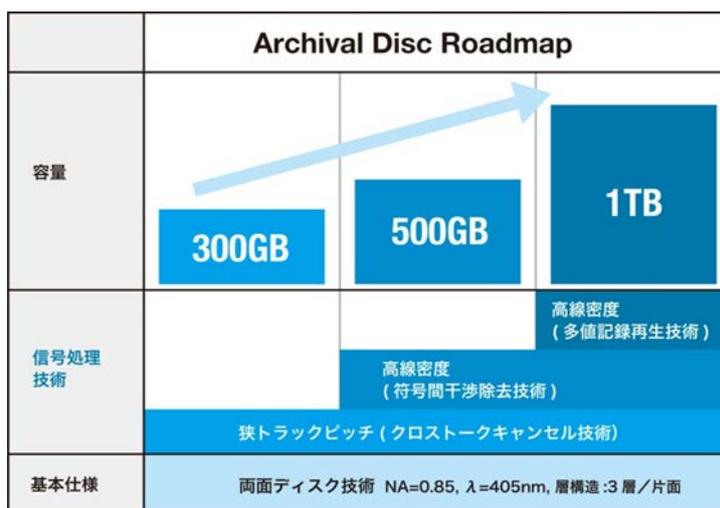


図 4 AD 規格ロードマップ

3.2 Disc Structure (ディスク構造)

AD ディスクの構造は、信頼実績のある従来の光ディスクで採用されている 3 層積層タイプを両面化したものであり(図 5)、かつ両面逆スパイラル構成を新規に導入することで、両面同時記録再生が可能になり転送レートの向上を果たします。また、アドレス構造は今後の記録信号の高線密度化時にもそのまま適用できるものを導入し、ディスク形状の変更なしに第 2 世代以降の高容量対応ドライブシステム構築を可能としています。

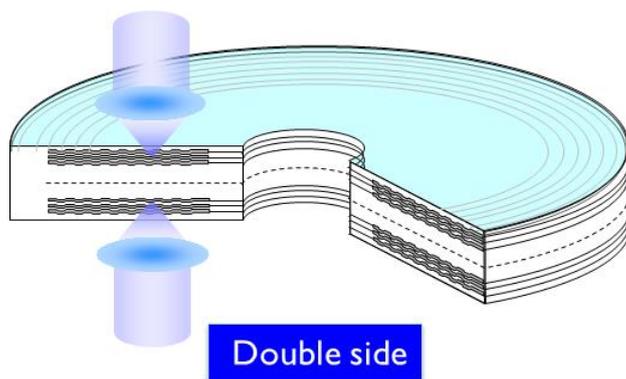


図 5 AD のディスク構造

3.3 New Recording Material (新しいディスク材料)

AD ディスクでは、記録材料を保護膜で挟んだシンプルな 3 層構造を採用しており、記録時にはレーザー光の照射によりエネルギーが与えられることで記録マークが形成されます。また、本記録材料は適度な光吸収を持たせ、高線速記録の為に十分な記録感度設計が可能な構成となっているため、高い記録レートを実現しつつ、高い保存信頼性も併せ持っています。ディスク生産の観点では、本記録膜材料は導電性が高く、DC 電源での低真空度での高レートスパッタ成膜が可能であるため、タクトタイムが早いというメリットがあり、低コストメディアには最適な材料選択が実現できます。さらに、後述する 3.5 Logical Format で新たな交替管理方式を採用することにより他層の記録状態からの影響課題を乗り越えることで、記録膜の光学設計の自由度を増加させ、メディアの低コスト化に貢献しています。

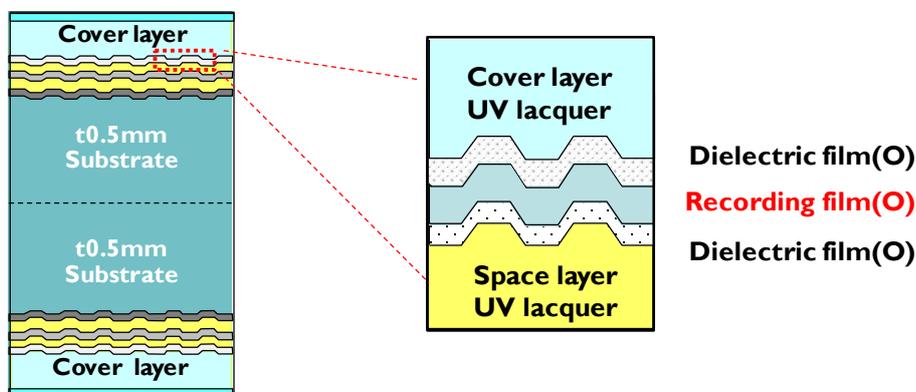


図 6 AD ディスクの記録層

3.4 Physical Format (物理フォーマット)

本章では AD の物理フォーマットで導入された新規技術についてご説明します。

① ランド&グループ記録技術とクロストーク低減技術

AD は、従来の光ディスク技術をベースに、1 層あたりの記録容量を最大限に高めるため、ランド&グループ記録技術とクロストーク低減技術を適用しています。これにより、半径方向の記録密度を Blu-ray Disc™ 比 1.4 倍まで高められています。後述する 3.5 Logical Format で新たな交替管理方式を採用することにより、サーボエラー信号のクロストーク課題を乗り越えて、狭トラックピッチを実現しています。

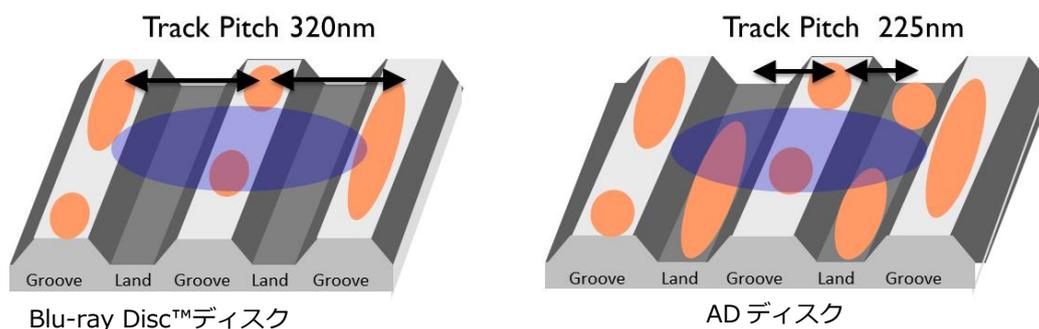


図7 ランド&グループ記録

② 物理アドレスフォーマット

光ディスクのトラックには、指定されたデータの記録再生位置に即座にアクセスできるようにするため、トラックの蛇行により物理アドレスが設けられています。従来のグループトラック記録ではグループトラックのみに物理アドレスが設けられていましたが、AD の特徴であるランド&グループ記録を実現するため、グループトラックとランドトラックのどちらでも物理アドレスが取得できるように新たなフォーマットを採用しました。さらに、AD の物理アドレスフォーマットは、記録されたデータを再生するときの再生信号に対してトラックの蛇行が与えるノイズを十分に小さく抑えるとともに、高い読み出し性能も確保できています。

③ ゾーンフォーマットシステム

AD では、トラックの蛇行による物理アドレスに対するデータの記録線密度の比率を制御するゾーンフォーマットシステムを採用しています。AD のゾーンフォーマットシステムでは、所定のゾーンフォーマットに従って、読み出した物理アドレスからデータのブロック単位のデータアドレスを得ることにより、任意の位置に対するデータの記録再生を実現しています。

これらの新規導入技術により、以下のメリットが得られます。

安定なランダムアクセス

読み出し性能を大きく高めた新たな物理アドレスフォーマットの採用により、厳しい温度環境や長期保存後などの条件においても、安定にランダムアクセスを行うことができます。

ディスクのビット単価の低減と将来にわたる互換確保

従来の光ディスクでは、ディスクのトラック構造の変更を伴いながらデータの記録線密度を高めてきましたが、ADのゾーンフォーマットシステムでは、ディスクの物理的なアドレス構造を変えることなく、ゾーンフォーマットのパラメータをアップデートすることで、データの記録線密度を高めることが可能となっています。このため、本ゾーンフォーマットシステムを採用したADは、記録密度を向上させる度にフォーマットを変える必要がないため、将来的なディスクのビット単価の低減に有利です。また、ディスクの物理的な構造を変えないことにより、下位互換を容易に確保することができ、常に最新のドライブシステムを用いて、長期保存したディスクに記録されたデータを高い信頼性をもって再生することができます。

3.5 Logical Format (論理フォーマット)

3.5.1 Disc management

AD ディスクは両面 3 層構造のランド&グループフォーマットですが、ユーザーにとっては大容量の光ディスクとして扱うことが可能です。また、両面逆スパイラル構造を採用したことで、両面同時アクセスもできます。さらにランドとグループを同時に記録することも可能なので、多数の光学ヘッドを使用することで転送レートの向上も実現できます。加えて、管理情報 (Disc Management) としては片面で閉じた構成となっているので、ドライブ装置の構成に依存することがなく、またディスク上の物理位置に対応した一意の LSN (Logical Sector Number) が定義されているので再生互換も容易に達成できます。また欠陥管理機能 (Defect Management)、論理上書き機能 (LOW ; Logical Over Write) も具備しているため、従来の光ディスクを制御することが可能なファイルシステムであれば、容易に AD を制御することが可能です。

3.5.2 Defect Management

AD では、欠陥管理機能を備え、ユーザー領域中に欠陥ブロックが存在した場合でも、ディスクの内周側、及び外周側のスペア領域に代替記録することにより、データの信頼性を高めることが可能となっています。

加えて、AD では新たにランド&グループ記録に伴うサーボエラー信号へのクロストーク変化や他層の記録状態による影響に対して、記録データの信頼性を向上させる交替管理機能を具備しています。実アクセスを伴わずに管理情報のみを用いた記録制御対応が実現可能になり、新たな記録制御のパフォーマンス低下を最小化するとともに、ユーザーは記録制御を意識する必要がなくなります。またスペア領域や欠陥管理情報領域等の配置については、奥の層から順に記録する使用方法も考慮した、追記型に最適なフォーマットを採用しています。

3.5.3 Recording Management

AD では従来の追記型光ディスクとの互換確保を重視して、シーケンシャル記録モードを採用しており、既存のアプリケーションを容易に AD に適用することが可能です。AD でも、従来の光ディスクと同様に、シーケンシャル記録可能な領域範囲である SRR (Sequential Recording Range) を同時に複数個確保することもできます。SRR を複数設定することで、追記可能な位置を複数個所確保することが可能です。

AD では、クローズするために未使用領域を埋める必要はないので、DVD のような従来のシーケンシャル記録メディアと比較してクローズ動作時間の短縮が実現できます。更に線形置換可能なディフェクトマネジメントにより、以前に記録されたユーザーデータへの LOW が可能となっています。

3.5.4 OPC Area Management

AD では従来よりも多くの領域を記録調整用に割り当てることを可能にするため、ディスクドライブ装置から任意の領域に OPC (Optimum Power Control) 領域を配置できる構成を採用しています。OPC 領域の配置情報である OPCRI (OPC Range Information) を DDS (Disc Definition Structure) 中に定義することで、ディスク全体の容量増加に対して、繰り返しの使用可能回数も同等以上を確保しています。

3.5.5 User Area Management

ADでは3層構造のランド&グルーブフォーマットを採用しています。ユーザーがアクセス可能な領域であるUser領域（ボリューム空間）には、論理アドレス（Logical Sector Number : LSN）が割り振られ、ユーザーからはLSNによってアクセスできます。LSNの付与方式は、以下の図8の通りです。

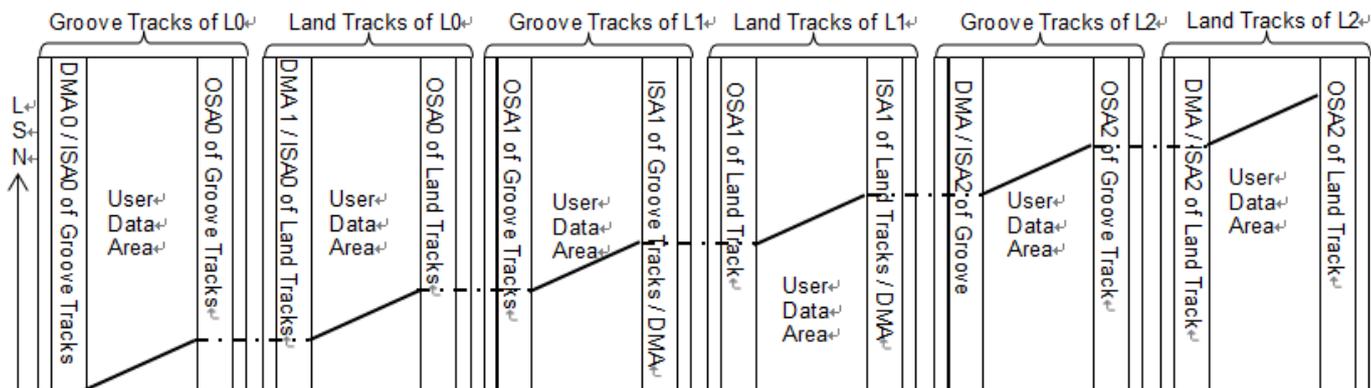


図8 LSN付与方式

具体的には、LSNは、L0層のGroove側の内周側から外周側に向かって順に割り当てられ、続いてL0層のLand側の内周側から外周側に向かって順に割り当てられます。さらにL0層の次はL1層に外から内の方向で、その次はL2層と、このルールで付与されます。

なお、ユーザー領域（論理空間）は記録面毎に個別に配置されますが、ドライブ装置及びその上位層の対応により、両面をあわせて1つの論理空間（1ボリューム）として扱うことも可能です。

3.6 Signal Environment (i-MLSE の説明)

AD ディスクの再生信号品質評価には、i-MLSE(Integrated Maximum Likelihood Sequenced Error)という指標を用います。これは PRML (Partial Response Maximum Likelihood) の検出原理に基づいた指標であり、精度よく再生信号品質を定量化することができます。図 9 は 300GB 容量(第 1 世代)における各種再生ストレス印加時の i-MLSE とシンボルエラーレート(SER)との測定結果で、両者が非常に高い相関関係にあることが分かります。

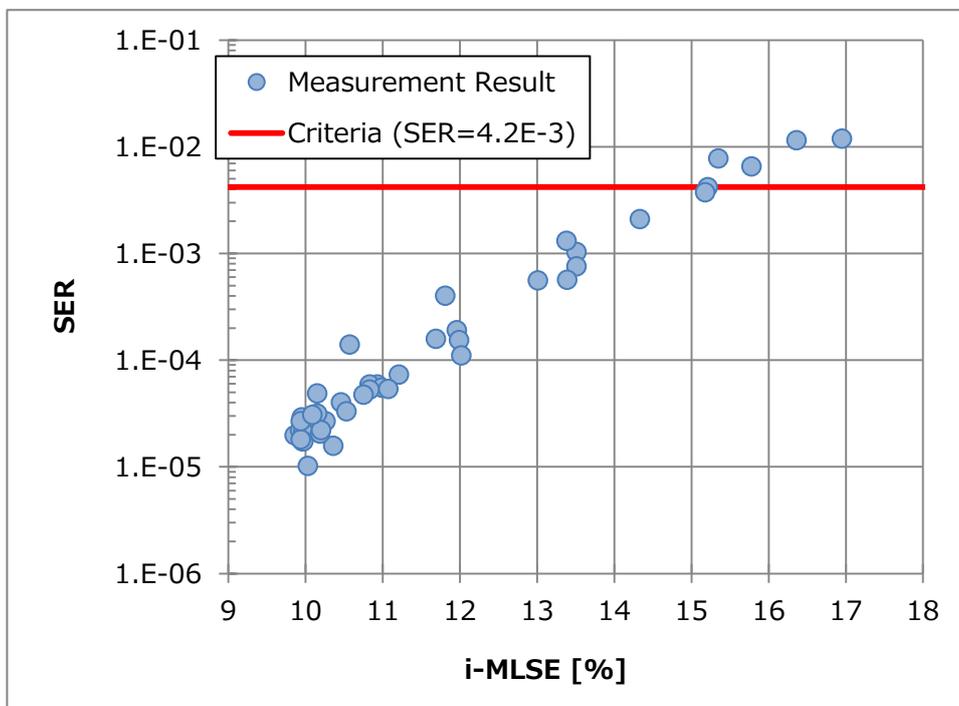


図 9 信号品質評価指標 i-MLSE と SER

3.7 300GB AD Specifications (300GBのスペック)

ADディスクの主要なパラメータを以下の表1に示します。ADの記録再生装置はBlu-ray Disc™を記録再生できるという下位互換を容易に実現するために、Laser wavelength、NA、Cover Layer thickness等の主要パラメータは、Blu-ray Disc™のパラメータと同仕様としています(※Blu-ray Disc™ white paper 参照)。ADディスクは、100GB Blu-ray Disc™仕様と比較して、トラックピッチを1/1.422倍、線密度を1.055倍、両面で2倍とすることで、300GBの容量を実現しています。ADディスクの最高データ転送レートは359.65Mbpsとなっています。

表1 ADディスクの主要パラメータ

【Main parameters】	【Specifications】
Laser wavelength	405nm
NA	0.85
Disc diameter	120mm
Total nominal thickness	1.2mm
Double sided disc	Triple Layer (TL)/Side
Cover Layer thickness	57.0um
Recording polarity	High to Low
Recording method	Land & Groove
Data Zone inner radius/ outer radius	24mm/58mm
Track pitch	0.225um
Addressing method	Wobbled Grooves with addresses
Channel modulation	17PP
Error correction code	64KBLDC+BIS
Total efficiency	81.738%
Maximum user data transfer rate	359.65Mbps
Nominal Channel bit length	53.0099nm
Nominal Data bit length	79.5149nm
User data capacity 120mm	300.00572GB

AD ディスクの各層における i-MLSE/R-SER (Random-SER) のスペック(defined in 3.6 Signal Environment)は、表 2 に記載しています。

表 2 AD ディスク各層の i-MLSE と RSER のスペック

【Signal Quality Evaluation Index】	【Specifications】
i-MLSE required for disc with Tester	L0 \leq 11.0% L1 \leq 11.5% L2 \leq 12.0%
R-SER required for disc with Tester	\leq 2.0E-4

4 Long time Archive (メディアの長期保存信頼性)

4.1 Media Life (メディアのライフ)

3.3 章でも述べましたが、AD ディスクで採用している記録層は、耐酸化性、耐腐食性が非常に高く、高い信頼性を確保できています。また、レーザーによるマークの形成は、本記録材料の構造（形状）変化で実現されるので、記録された信号は、高い保存信頼性があります。記録データのアーカイバル特性として、図 10 に保存信頼性の実測結果を示します。

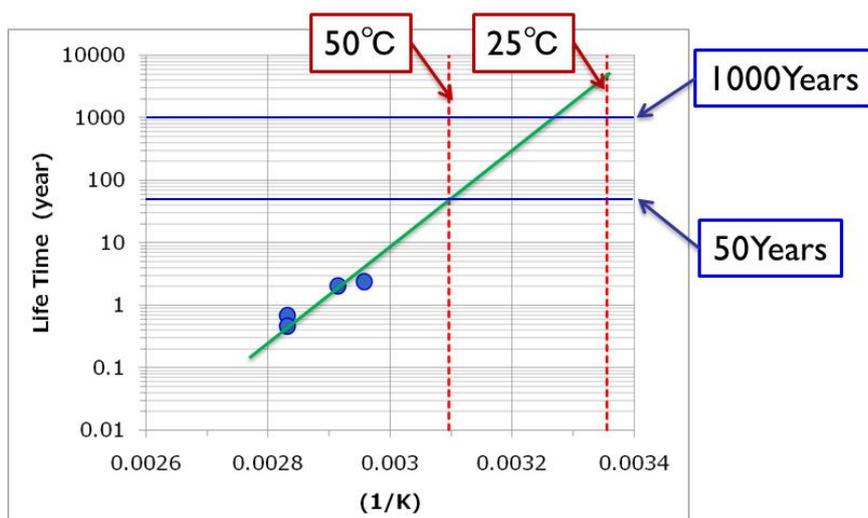


図 10 AD ディスクの長期保存信頼性

環境試験は、ISO16963 に準拠し、65℃80%、70℃75%、80℃70%、80℃80%の4つの条件で行いました。試験結果からアレニウスの式を用いて加速係数を算出することで、環境温度 25℃と 50℃で再生データエラーレートがクライテリアに到達するまでの時間を求めました。新規開発の記録材料を使用した AD の推定寿命は、50℃環境下で 50 年、常温環境下では 1000 年以上という申し分のない予測結果になっています。

4.2 Tilt/Shock Tilt (長期のチルト、ショックチルトの信頼性)

AD ディスクは約 0.6mm 厚の A 面ディスクと B 面ディスクを背中合わせに貼り合わせた対称構造をしています。これは DVD と類似した構造で、長期保存したときに生じる反り(チルト)が少なく、その後ドライブ装置で再生するときの再生信号品質劣化を防ぐことができます。CD や Blu-ray Disc™ のような片面構造ディスクの場合は、プラスチック基板と樹脂接着層や記録層が一方方向に積層されるため、長期保存中に各層が面内方向に異なる割合で収縮もしくは伸長することがあります。このためディスクの表面または裏面方向に僅かに変形していき、チルトとなって現れます。両面ディスクではその歪みが A 面側と B 面側で互いにほぼ相殺することになるため、チルトを抑えることができます。

また、両面对称構造は長期保存時だけでなく、ディスクがドライブ装置に装着された直後の周囲温度上昇に対しても有効です。片面構造ディスクの場合、ドライブ装置が駆動開始することによるドライブベイ内の温度上昇だけでチルトが発生しやすく、記録再生用のレーザーのスポット品質が劣化する等の不具合が発生しかねませんが、両面对称構造ではこの温度上昇によるチルトの発生も抑制することが可能です。但し、たとえ両面对象構造の AD であっても、長期保存時には過度の加重や歪みは禁物ですので、ディスクを適切なカートリッジや保管ケースに収め、垂直もしくは水平な状態で保管することが推奨されます。

5 Future

第3章のロードマップで説明しましたように、ADでは第1世代の後、第2第3と進化することを目指しています。そのための準備は既に開始されており、私たちは具体的な検討を進めています。

第2世代では同じ物理構造のディスクで、さらに高線密度化することにより、500GBの容量となります。高線密度化に伴い低下する再生光スポットの分解能を補正するために、次世代符号間干渉除去技術を導入します。その結果、光学系とディスクを変えずに500GBの高線密度でデータの記録再生ができることが確認されています（図11）。

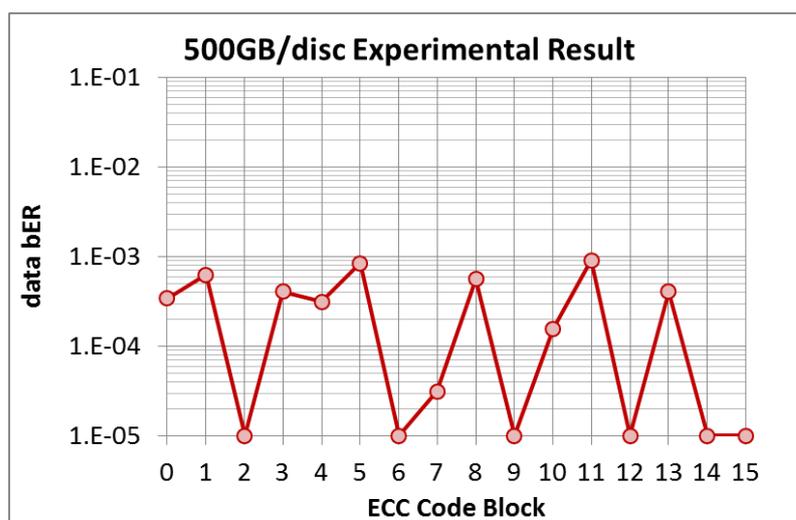


図11 第2世代ADの記録再生性能

第3世代では、新たに高信頼性及び高SNRの記録材料のディスクと、高SNRの光学系を開発します。これらの高いデバイス性能をベースに、その性能を最大限に活かす多値記録再生技術を導入することによりデータの記録線密度をさらに高め、1TBの大容量を実現します。

このように、AD規格は、信頼実績のあるBlu-ray Disc™と同じレーザー波長、NA、ディスク層構造を基本仕様として、狭トラックピッチ化する技術と高線密度化する技術をアップグレードしていくことにより記憶容量を大きくする進化を続けます。AD規格は今後増大するデータを低コストでアーカイブするために有望なストレージなのです。