

システム開発

17-F-5

長期保存のための光ディスク媒体の開発に  
関するフイージビリティスタディ

報 告 書

— 要 旨 —

平成18年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 財団法人デジタルコンテンツ協会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

## 序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業等を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長：政策研究院 リサーチフェロー 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「長期保存のための光ディスク媒体の開発に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人デジタルコンテンツ協会に委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成18年3月

財団法人 機械システム振興協会



## はじめに

本報告書は、財団法人 デジタルコンテンツ協会が (DCAj) が、財団法人 機械システム振興協会から平成 17 年度事業として受託した「長期保存のための光ディスク媒体の開発に関するフイージビリティスタディ」の成果をまとめたものである。

近年、政府の取り組むe-Japan計画の推進に伴い、文化をはじめとした、行政、学術研究、医療、教育等の幅広い分野においてデジタルデータによるアーカイブが急速に増えつつあり、デジタルコンテンツ等のデジタルデータを長期保存することの必要性が従来に比して遥かに高まっている。

しかし、その一方で、デジタルデータの長期保存について技術的な根拠が明確にされておらず、将来が懸念されているのが実状である。

現在、デジタルコンテンツ等のデジタルデータの記録・保存には磁気テープ、磁気ハードディスク、光ディスクなどが用いられているが、前の2者は構造上、長期保存に適さない。一方、光ディスクは長期保存に適しているとされているが、それでも30年前後とも言われ、その実態は殆ど把握されていない。これは、公的に認められた保存寿命の推定方式が確立していないことも原因である。

デジタルデータの長期安定保存の実現は、e-Japan計画の描くデジタルコンテンツの充実と文化関連産業の育成、電子政府の実現、電子商取引の促進、人材育成等各種保存の円滑な運営のための重要な要素となる。

本フイージビリティスタディ (以下スタディという) は、これらの問題を鑑み、現状において条件を満たす可能性の高い光ディスクである記録形DVDにつき、調査、研究及びそのための基礎実験を行い、光ディスク媒体によるデジタルデータの長期保存化の実現を目指すものである。

本スタディの実施にあたり、ご指導・ご支援をいただいた関係の官庁、関係機関の各位に感謝の意を表します。

平成18年3月

財団法人 デジタルコンテンツ協会



# 目 次

序

はじめに

1	スタディの目的	1
2	スタディの実施体制	2
3	スタディの内容	6
第1章	試験装置・ソフトウェアの改善	7
1.1	まえがき	7
1.2	寿命劣化要因と寿命予測	8
1.3	評価ツール	13
第2章	現状の光ディスク媒体の保存寿命に関する調査	16
2.1	まえがき	16
2.2	評価条件の検討	17
2.3	評価対象ディスクの選択	20
2.4	測定装置と測定条件	21
2.5	初期品質の評価	23
2.5.1	評価結果	23
2.5.2	考察	33
2.6	加速劣化試験	37
2.6.1	加速劣化試験方法	37
2.6.2	加速劣化試験結果	40
2.6.3	考察	54
2.7	加速劣化試験結果のまとめと寿命推定	58
2.7.1	加速劣化試験における寿命評価指標	58
2.7.2	アレニウス法による寿命推定	60
2.7.3	ブートストラップ回帰分析法による寿命の区間推定	80
2.8	試験データから見た劣化要因の検討	89
第3章	寿命試験法の標準化動向	94
3.1	光ディスク加速寿命評価試験の国際標準化動向	94
3.2	記録済ディスクの管理方法	94



## 1 スタディの目的

デジタルコンテンツによる文化をはじめ、行政、学術研究、医療、教育等において幅広くデジタルデータによるアーカイブが急速に増えつつある。これらのデジタルデータ情報の記録及び長期保存において光ディスクが一番適しているとされているが、それでも寿命は30年前後とも言われ、その実態は殆ど把握されていない。これは、公的に認められた保存寿命の推定方式が確立していないことも原因である。

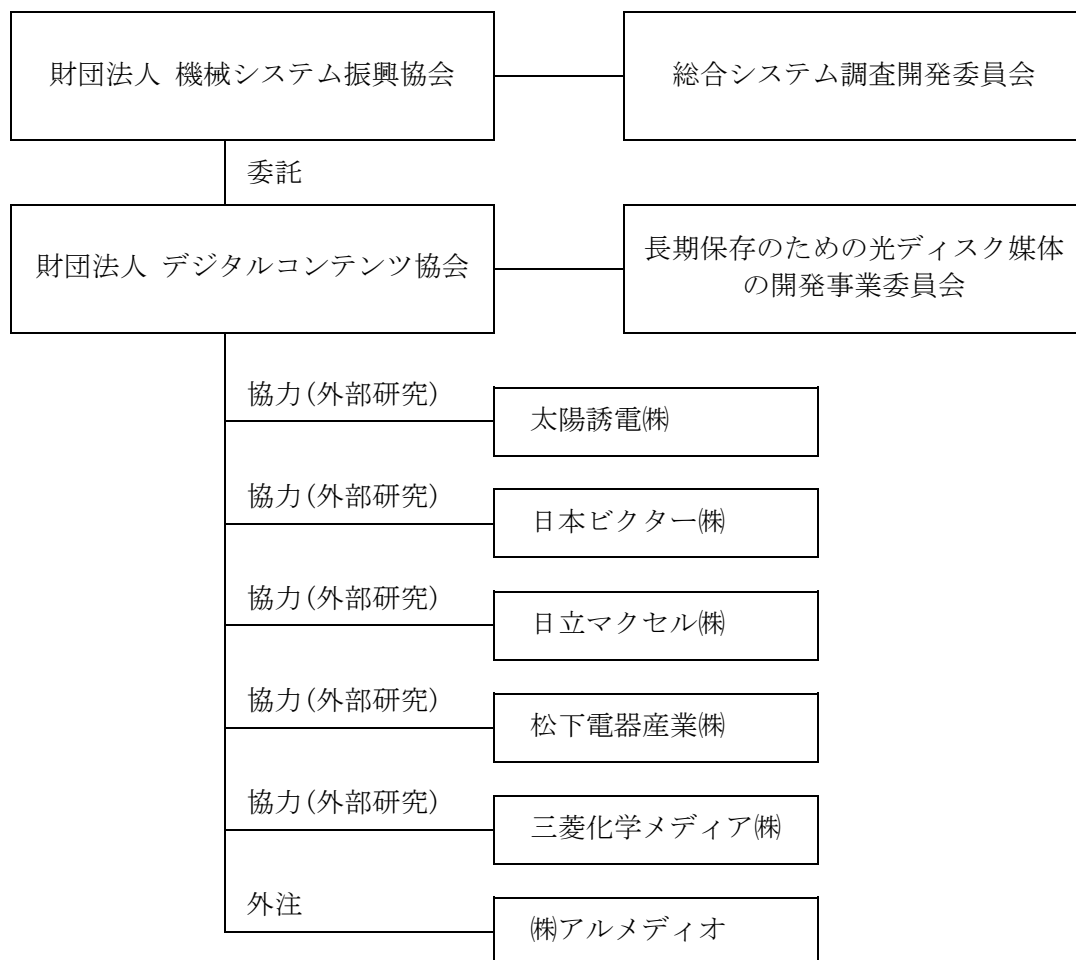
本スタディではこれらの問題を鑑み、現状で条件を満たす可能性の高い光ディスクである記録形DVDにつき、平成15年度の調査研究及び平成16年度スタディの成果を活かし、さらに評価データの拡充を実施して寿命推定法をより確実なものにするための基礎実験や評価データの統計的処理を行い、その結果を標準試験規格として提案し、光ディスク媒体の長期保存化を目指すものである。

具体的には、昨年度までの光ディスクの寿命加速試験方法と試験装置に関する研究での寿命推定結果ではDVD-R、DVD-RAMそれぞれに100年近いか、それ以上の寿命をもつと思われるものが存在することが明らかになった。この成果を踏まえ、光ディスクの寿命評価の各種試験や劣化したディスクの分析を通して得られた知見を基に光ディスクの劣化の要因を明確にし、長寿命光ディスク開発のための指針を明確にし次世代光ディスク媒体への適用拡大についても検討を行った。

## 2 スタディの実施体制

財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人デジタルコンテンツ協会内に当協会会員会社と外部有識者等からなる「長期保存のための光ディスク媒体の開発事業委員会」を設置してフィージビリティスタディを実施した。

また、一部の業務は、財団法人デジタルコンテンツ協会より専門の業者に外部研究・外注を行った。



## 総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

## 長期保存のための光ディスク媒体の開発事業委員会名簿

(順不同・敬称略)

委員長	日立マクセル株式会社 技術顧問	渡部 篤美
委員	株式会社NHKテクニカルサービス 事業開発センター制作 デジタルコンテンツ テクニカルマネージャー	澁井 栄蔵
委員	太陽誘電株式会社 記録メディア事業部 技術部	矢田 久佳
委員	株式会社東芝 デジタルメディアネットワーク社 コアテクノロジーセンター 技術顧問	菅谷 寿鴻
委員	日本放送協会 放送技術研究所 記録・メカトロニクス 副部長	清水 直樹
委員	松下電器産業株式会社 メディア制御システム開発センター 開発推進グループ グループマネージャー	赤平 信夫
委員	三菱化学メディア株式会社 セールスサポート本部 テクノロジーサービス部 マネージャー	佐藤 晋
オブザーバ	太陽誘電株式会社 記録メディア事業部 技術部 課長	辛 有明
オブザーバ	帝京平成大学 現代ライフ学部 情報サイエンス学科 教授	田中 邦麿

オブザーバ	日本ビクター株式会社 メディアカンパニー 記録メディア事業センター 技術部 技術2グループ長	神原 理
オブザーバ	日立マクセル株式会社 開発本部 次世代ディスクセンター センター長	田村 礼仁
オブザーバ	松下電器産業株式会社 パナソニックAVCネットワークス社 メディアビジネスユニット 技術グループ 主任技師	保田 昭
オブザーバ	三菱化学メディア株式会社 次世代商品戦略センター 2部長	竹島 秀治
オブザーバ	帝京平成大学 健康メディカル学部 教授	鈴木 儀一郎
オブザーバ	株式会社アルメディア 企画部 事業企画課 チーフ	沢井 健一
オブザーバ	株式会社アルメディア 企画部 事業企画課	平川 進介
事務局	財団法人デジタルコンテンツ協会 常務理事、(兼)事業開発本部長 事業開発本部 先導的事業推進部長 事業開発本部 先導的事業推進部 研究主幹 事業開発本部 先導的事業推進部 研究主幹	田中 誠一 大橋 淑郎 千葉 祐治 土屋 光久

### 3. スタディの内容

#### 1. 長寿命用開発 DVD の継続評価

平成16年度開発したディスクを用いて、寿命に達していないディスクの寿命試験継続、65℃における寿命試験の継続、統計的手法による寿命評価を行うための追加データを取得など平成16年度取得データの拡充を実施した。

#### 2. 短期間で媒体寿命の評価を行う方法の確立

- (1) 統計的手法による寿命評価分析に必要な追加データの取得を行い、統計的処理を行った。
- (2) DVD ディスクの寿命決定要素の分析を実施し、平成16年度データより判明している複数の要因と思われる原因の分析を実施した。
- (3) できるだけ短時間で寿命を評価するための簡易寿命評価法を提案した。この方法では、エラーレートの許容限界をDVDの規格値よりも低くして加速劣化試験を行う。

#### 3. 次世代光ディスク媒体への適用拡大

昨年度までDVD媒体に対して評価したが、次世代光ディスクであるBlu-rayディスク(BD)やHD-DVDの各媒体に対しての寿命評価方法の検討を実施した。

#### 4. 長寿命光媒体の仕様作成

DVD媒体は、100年程度の寿命を有するものが市販されていることが判明した。このような長寿命媒体を製造するための指針を示した。

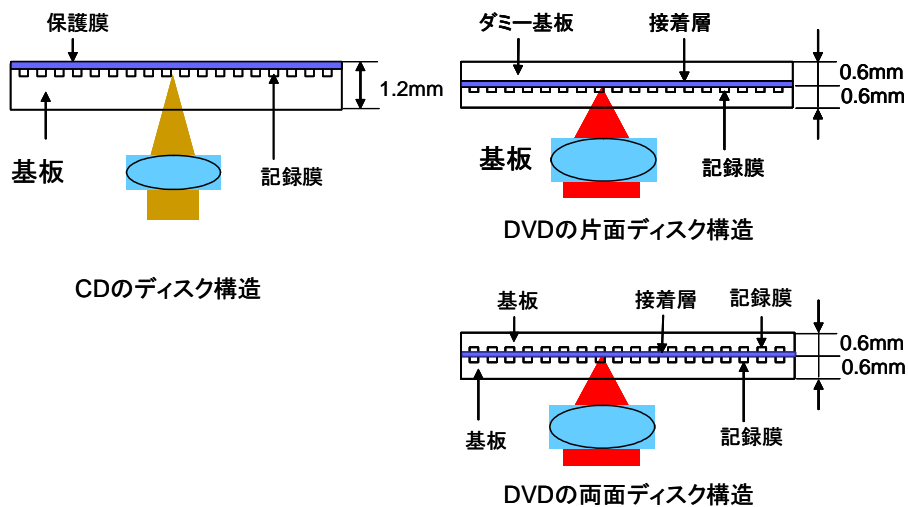
#### 5. DVD ディスクの寿命評価法の標準化

- (1) JIS化の推進関係機関((社)日本画像情報マネジメント協会など)と連携しJIS規格「電子化文書の長期保存方法」をまとめ、標準化に貢献した。
- (2) 光ディスクの寿命評価法の標準化の推進に関しては、米国商務省国立標準技術研究所(NIST)などと連携をはかりISOへの提案活動を開始した。

# 第1章 試験装置

## 1.1 まえがき

光ディスク媒体の寿命試験は、CD について、ISO/TC42 が国際規格として提案したものがある (ISO18921:2002)。CD ディスクは、図 1-1-1 (A) に示すとおり、1.2mm 厚のディスク基板の片側に記録膜のある非対称構造を持ち、吸湿性と熱膨張率の異なるポリカーボネート基板と金属膜+保護膜の一種のバイメタル構造をしている。このこともあり、温・湿度による加速試験は、80°C、70°C、60°C が用いられているが、一方では、試験結果が出るまでに長い時間かかるとの指摘がある。



(A) CD ディスクの構造

(B) DVD ディスクの構造

図 1-1-1 CD と DVD のディスク構造

これに対し、映像やデータの記録・保存用として、現在、記録形メディアの主流になりつつある記録形 DVD は、記録膜を内側にして、2 枚の 0.6mm 基板を貼り合わせた対称構造を有している (図 1-1-1 (B) 参照)。このため、記録形 DVD は、CD に比べ温・湿度の変化に強いことが予想され、高温で加速試験が可能となれば、寿命予測の試験期間を短縮できる。

これらを踏まえ、平成 15 年度の寿命試験では、記録形 DVD として、特徴の異なる DVD-R ディスクと DVD-RAM ディスクについて、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH の温・湿度の加速試験を実施し、これら寿命データ (寿命に到達していないものは予測) をベースに、アレニウス法によって寿命予測を行った。また、環境による劣化として、耐光性試験、耐ガス試験も実施した。

平成 16 年度のスタディでは、平成 15 年度、実施した温度・湿度試験で、まだ寿命となっていないものについて、引き続き加速試験を実施した。一方、寿命予測した結果が正しいか否かを実証する必要があり、このため、より低温度となる 65°C80%RH でも加速試験をスタートさせた。また、

平成 16 年度より記録形 DVD として、DVD-RW についても同様の条件で加速試験をスタートさせた。

平成 17 年度は、平成 16 年度に引き続き、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH で寿命に達していない DVD-R 及び DVD-RW の加速試験、及び平成 16 年度からスタートさせた、65°C80%RH での加速試験を継続して実施していく。

以下、1.2 では、DVD-R、DVD-RAM 及び DVD-RW に関する劣化の要因について、いろいろな視点から検討した。特に、平成 15 年度及び平成 16 年度の加速試験の知見から、異なる活性化エネルギーを持つ反応の可能性も出てきたので、これについても検討した。

1.3 では、平成 15 年度に調査した DVD-R 及び DVD-RAM の評価ツールに加え、平成 16 年度実施した DVD-RW に関する評価ツールを加えた。これらの評価ツールは、大半が市販されており、主にディスクの初期特性の評価や加速試験後の評価に用いられている。

一方、加速試験などで増加したエラーや欠陥などを、目視化できれば、寿命の判定と同時に、今後の開発指針を出す上で大いに役に立つ。平成 15 年度は、市販のドライブとパソコンとを用い、これにバイトエラーレートを測定する機能を持たせ、バイトエラーを画像として表示するソフトの開発を行った。平成 16 年度は、DVD-R や DVD-RW などセクタがアラインされていないディスクでもうまく表示できるようにした。また、バーストエラー長の分布が表示できるソフトを開発した。

平成 17 年度は、平成 17 年度開発したツールを用いて、DVD-R、DVD-RW、及び DVD-RAM について、加速試験前後のバーストエラーの分布を測定する。

以下、調査結果の詳細について報告する。

## 1.2 寿命劣化要因と寿命予測

### (1) DVD-R の劣化要因

DVD-R メディアの基本的な構造（図 1-2-1 参照）は、0.6 ミリの案内溝の付いた透明なポリカーボネート基板の上に順に色素層（記録層）、反射層を形成させて接着剤（その前に保護層を備えるものもある）でもう片方の 0.6 ミリ厚ポリカーボネート基板を貼り合せたものである。記録の原理としてはレーザー光を照射することで記録層である色素膜が熱せられ色素分子が分解することで記録ピットと呼ばれる記録痕を形成する。この記録ピットと未記録部分の間に屈折率（光学定数）変化及び物理的膜厚や基板形状の変化が生じる。再生の原理としては弱いレーザー光で、この変化を反射光量の差として読み取ることで再生信号が得られる。このように DVD-R は記録層に使われている色素を分解することで記録するという不可逆な化学変化を利用したものであるため 1 回記録いわゆるライトワンス型の光記録媒体である。

上記のことから、DVD-R のような有機色素膜と金属反射膜を備えた光ディスクに記録されたデータの劣化要因としては以下のものが考えられる。

高温高湿環境下で水分が層内に浸入し各層を劣化させていくこと、また屋外等で使用する際に受ける太陽光の影響などがある。さらには大気汚染が進んだ地域などで硫黄系ガス等の影響も考えられる。層構成のうちで最も寿命に関連する部分としては、記録を担う色素層であり、上述した熱・水分・光等の影響により記録層内で化学反応や物理的侵食が進行して情報の素となる記録

ピットが変質・変形し信号特性に影響が出始める。

また反射層においても水と熱が介在することで色素層・接着層との反応が起こるのであろうしまた大気中のガス、特に硫化水素ガスや亜硫酸ガス等による反射層との反応が想定される。また寿命は保存形態とも関連するがメディアに外的な圧力が加わるような場合、基板が反ってしまい信号特性に影響することがあり保存形態も寿命に関与する要因となりうる。そのため寿命予測に際してはこのような保存形態についても留意し、外的な圧力が加わらないようにして評価する必要がある。本来、寿命予測の観点として記録層に記録されたピットがどのように劣化していくかを見るべきものであるが、記録層以外の部分（反射層や接着層）の劣化も加わるため寿命予測を難しくさせている。昨年度に引き続き、このような劣化現象の把握を行うため各環境下での加速劣化試験を実施し DVD-R メディアの寿命への影響を調査した。

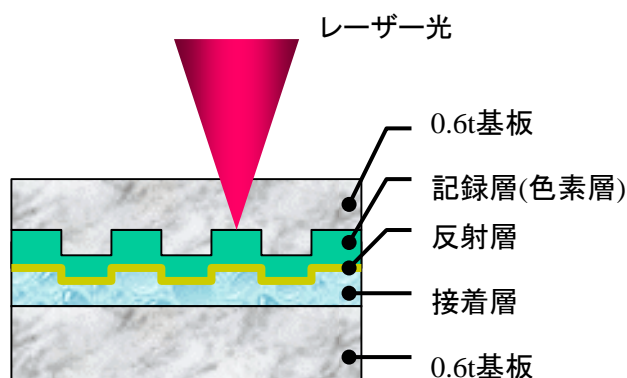


図 1-2-1 DVD-R 断面図

## (2) DVD-RAM、DVD-RW の劣化要因

DVD-RAM に用いられている記録材料は、結晶相の状態と非晶質相の状態との間の変化を利用した相変化記録材料と呼ばれるものが用いられている。この結晶・非晶質間の相変化は、原子配列の変化によるものであって、物理的な変化を極めて小さくしかつ可逆的な変化とすることが可能であるため、情報の書き換えが必要とされる光ディスク用記録材料として広く用いられている。

記録層を結晶相状態にするためには、記録層材料を結晶化温度以上に加熱することにより行い、また、記録層を非晶質相状態にするためには、記録層を一旦熔融させその状態を急冷させてランダムな原子配列をクエンチさせることによって行う。このように、記録層の温度を制御することによって結晶相と非晶質相とを作り出すことができるため、レーザー光の照射強度を変調することによって、記録層の相状態をコントロールして所定の情報を非晶質記録マークとして記録することが可能となる。

一方、結晶相と非晶質相の光学定数が異なるため、記録層の相状態を変化させることのない程度の弱いレーザー光を照射し、その反射光量を検出することによって、非晶質記録マークのありなしを判断することができ、情報の再生が可能となる。

この相変化記録層は一般にスパッタリングによって形成される。スパッタリングによって形成された相変化記録膜は各原子がランダムに配列された非晶質に近い状態にあるため、まずレーザー光を照射して、記録材料を結晶化温度以上に加熱することによって全面結晶状態にした後、非晶質マークを所定の位置に形成することによって情報の記録が行われる。

相変化材料を用いている DVD-RAM、DVD-RW に記録されたデータの劣化の主な要因としては、非晶質記録マークが結晶状態に変化して記録マークが消えてしまいデータの再生ができなくなる場合、また、記録層が腐食して局所的または全体的に反射率変化が生じてデータの再生ができなくなる場合の 2 つが考えられる。

上記に加えて、相変化に限らず光ディスク全般の劣化要因として、基板材料自身や、基板表面にハードコート層を形成しているものについてはそのハードコート材料自身、あるいは貼り合わせに用いる接着剤材料の劣化も、要因としてあげることができる。

### (3) 加速試験による寿命評価方法

DVD-R、DVD-RAM、DVD-RW における劣化要因、及び寿命を評価する方法を検討する。

DVD-R においては記録ピット内外での化学反応、また DVD-RAM、DVD-RW においては非晶質相の状態が結晶相の状態に変化する現象は反応速度論に従っていると考えられ、それらの変化に要する時間を  $t$  としたときに、

$$1/t \propto \exp(-E_a/kT)$$

なる関係式が成立する。ここで  $E_a$  は活性化エネルギーであり、記録材料に依存する定数、 $k$  はボルツマン定数、 $T$  は温度である。従って実使用環境温度での記録ピット (DVD-R)、非晶質マーク (DVD-RAM) の安定性を議論するには、 $E_a$  を求めることが重要である。さて、この式を変形すると

$$\ln(1/t) \propto -E_a/kT$$

となり、複数の温度での  $t$  を実験的に求めることによって  $E_a$  の値を求めることができる。昨年度の検討においては、実使用環境に比べて高い温度である 75°C、80°C、85°C の 3 条件を設定し、それぞれの温度での  $t$  を求めたが、本年度はこの 3 条件に加えて、より低温の 65°C での試験を行うこととした。より低温での試験を行うことによって、劣化原因が複数ある場合には劣化要因を切り分けることが可能になる場合があり、より厳密な寿命推定を行うことができる。

このように各温度条件でそれぞれの寿命時間を求めることにより、ある温度での寿命 (例えば 30°C80%RH) の推定が可能となる (アレニウス法)。なお、 $t$  の測定方法としては、データの保存という観点から、実ドライブでデータを再生したときの PI エラーやバイトエラーレート (BER) の増加から求める。

次に、腐食について検討する。

DVD-R については反射膜の腐食、DVD-RAM、DVD-RW については記録層が腐食することにより、それぞれのもつ光学定数が増加し、反射率や光の干渉状態が変わり、正常なデータ再生を阻害する要因となる。腐食の主なものとしては、酸化、硫化が考えられる。

このうちの酸化は反応速度論に従っておこるため、複数の温度での寿命を求めることにより、温度に対する酸化の活性化エネルギーを求めることができ、実使用環境での寿命を推定することが可能となる。また、酸化は湿度によっても変化するため、複数湿度環境での寿命測定から湿度に関する活性化エネルギーを求めることも重要である。

本検討においては、上記した 65°C、75°C、80°C、85°C の 4 条件に対して、湿度条件を 80%RH（相対湿度）と一定にして寿命推定を行うこととした。80%RH という条件は実使用環境の上限に近い条件であるため、この条件での寿命を推定しておけば、実使用環境においてはその寿命を下回ることはないと考えたためである。湿度条件を変えた試験については今回の検討には含まれず、今後継続的に行っていく必要がある。

ところで、劣化要因が複数ある場合、エラーレートの変化は図 1-2-2 のように、不連続点が生じるようなものになると考えられる。また、そのそれぞれが異なる活性化エネルギーを持つ反応である場合、そのアレニウスプロットは、図 1-2-3 に模式的に表すように、異なる傾きを持つ 2 本の直線が描けるが、実験的には、各温度において先に劣化する要因が見えてくるので、図の実線のように、途中で折れ曲がったものとなる。このような場合には、より高温で実測したデータのみから低温での寿命を正確に外挿して求めることができなくなる。従って、今年度の試験で行ったように、65°C などの低温域での試験が必要になる。また、要因 1 と要因 2 とを切り分けることができる場合、要因の切り分けを行った評価が、正確な寿命推定を行う上で重要である。例えば、要因 1 が記録膜の劣化に起因するものであり、要因 2 が基板表面のハードコートの劣化に起因するものである場合、ハードコート材料を改善することによって、記録膜の劣化による要因のみを評価することができ、正確な寿命推定が可能になる。

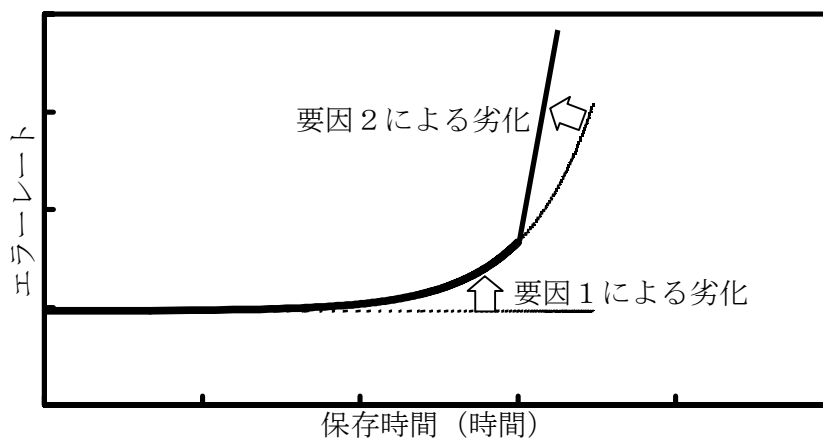


図 1-2-2 2つの要因がある場合のエラーレート変化模式図

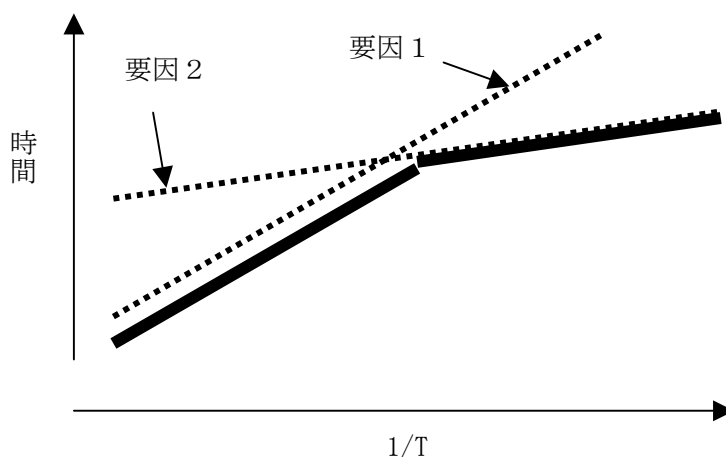


図 1-2-3 2つの要因がある場合のアレニウスプロット模式図

また耐光性の評価においては、太陽光に準じた波長分布をもつキセノンランプを備えた装置（キセノンウェザオメーター）を用いて光の連続照射を行い信号の劣化を追跡した。寿命推定としては試験の積算照度から、蛍光灯下の屋内環境にて記録面を暴露した場合の時間を換算した。この試験は主に色素層をもつ DVD-R に対して有用であり記録層が相変化材料である DVD-RAM、DVD-RW の劣化要因になるとは考えにくい、これまで DVD-RAM、DVD-RW に光暴露試験を行った例がないことから今回実施した。

本検討において、腐食の要因としてあげた硫化については、硫化水素ガス環境下での試験を行うことによって、その耐性を推定することが可能と考えられる。厳密には複数条件での試験が必要であるが、今回は環境準備の都合から、200ppm(50℃90%RH)という 1 条件での試験を行った。一概には言えないが、この濃度は温泉地での数百倍程度と想定される。

## 1.3 評価ツール

光ディスクの特性を評価するための評価項目としては、光学的特性、電気的特性、寸法・機械的特性等が挙げられる。ドライブ装置では、集光された記録再生ビーム・スポットが記録面、記録トラックに忠実に追従してはじめて良好な記録・再生が可能である。従って、良好な電気的記録再生信号特性を得るためには、光ディスクの光学的特性と並んで、光ディスクの寸法・機械特性も非常に重要である。

電気的記録再生信号特性として、記録データの再生信号だけでなく、トラッキング・サーボ等に使用される溝からの再生信号が評価される。溝信号はデータを記録する前後で形成される記録マークにより変化するため、データ記録前の溝特性（未記録信号特性）とデータを記録後の溝信号（記録後信号特性）が評価される。

記録再生信号特性の評価装置としては、ドライブを基にした評価装置といわゆるスピンスタードと言われる評価装置がある。

### ① ドライブを基にした評価装置

ドライブから各種信号を取り出し、記録再生信号特性の測定を可能にした評価装置であり、実ドライブでの特性を確認可能である。実ドライブと同様にデータの記録が可能である。

一般的に、各種信号特性を自動で簡易に測定可能である。ただし、ドライブが対応しているフォーマットのディスクしか評価できないという欠点もある。

### ② スピンスタード

スピンスタードは、ディスクを回転するスピンドル、記録再生用ピックアップ、サーボ回路、信号再生回路等からなる。再生信号を各種評価装置や評価回路に接続して、再生信号特性を評価する。データを記録する際には、記録データ波形をレーザー・ドライバーに入力して、様々な記録波形によりデータに記録が可能である。

一般的に、測定系を構築するために技術が必要である反面、各種フォーマットに対応できるというメリットがある。

機械特性の評価項目としては、ディスクの面振れ、反り、記録トラックの偏心量等がある。これらを測定するための評価装置としては、下記の2種類の原理に基づくものが用いられている。

### ① 光ピックアップを用いた評価装置

光ピックアップを用いた評価装置では、市販ドライブ装置と同じように、レーザー光を対物レンズで、光ディスクの記録面に集光し、集光したレーザー・スポットを、フォーカシング・サーボにより対物レンズを記録面と垂直方向に動かすことによって記録面に面振れに追従させると同時に、トラッキング・サーボにより対物レンズを記録面の半径方向に動かすことによって記録

トラックの偏心方向の振れに追従させる。この時の対物レンズの動きを検出して、光ディスク記録面の面振れ量と記録トラックの偏心量を測定する。

光ディスクの反りについては、上記測定により、光ディスクを半径方向、周方向の面振れ量をメッシュ状に求め、この変動わから周方向の反りと半径方向の反りが求められる。

## ② CCD センサーを用いた評価装置

CCD センサーを用いた評価装置では、スポット径 1 mm 以下の平行光を光ディスクの記録面に入射し、その反射光の位置の変動から周方向の反りと半径方向の反りを求める。

それぞれの特性の代表的特性例と測定装置例を図 1-3-1 に示す。市販又は内製の装置では、一つの装置でいくつかの特性が測定できるようになっており、図 1-3-1 中の矢印で示される\*1、\*2、\*3、\*4 のような組み合わせの特性を測定できる総合特性測定装置が販売されている。主な総合特性測定装置を上記\*1、\*2、\*3、\*4 で分類すると図 1-3-2 のようになる。ドライブで記録したデータをこれらの評価装置で評価することも可能である。

特性区分	代表的特性例	測定装置例				
		汎用測定器 専用測定器 (単項目)	ディスク専用総合特性測定器			
光学的特性	膜反射率 フォーカス	反射率測定器 光学特性測定器	*1	*2	*3	*4
電気的特性	ジッター 感度 (出力) エラーレート 変調度 分解能	スペクトラムアナライザー オシロスコープ タイムインターバルアナライザー ジッターメーター	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓
寸法特性 機械的特性	外径・内径 厚み 重量 偏芯 チルト 面振れ	三次元測定器 膜厚測定器 段差測定器 チルト測定器				
その他	耐久特性 耐侯特性					

図 1-3-1 評価特性区分と測定装置例

測定機分類	メーカー	測定器名称等	対応特性	方式	測定項目例	
*1	Audio Development	DVD-CATS	光学	○	光ビツ	
			電気	○	クアツ	
			機械	○	プ方式	
*1	エキスパート マグネティクス	DVDT-Rシリーズ	光学	○	光ビツ	
			電気	○	クアツ	
			機械	○	プ方式	
*1	浜松メトリックス	Discpro	光学	○	光ビツ	オフチカルチルト、反射率
			電気	○	クアツ	ランドレベル電圧、グループレベル電圧、PP電圧(TES)、TES/1G、モジュレーション
			機械	○	プ方式	面振れ量、面振れ加速度、偏芯量
*2	パルステック工業	RDC2000 DDU、ODUシリーズ	光学	○	光ビツ	
			電気	○	クアツ	
			機械	○	プ方式	
*2	シバソク	LM108A	光学	○	光ビツ	
			電気	○	クアツ	
			機械	○	プ方式	
*2	パナソニック モバイル・コミュニケーションズ	DVD-RAMディスク 評価システム	光学	○	光ビツ	反射率、透過率、オフチカルチルト
			電気	○	クアツ	エラーレート、ジッター、サーボ信号特性、HF信号特性
			機械	○	プ方式	
*3	小野測器	LMシリーズ	光学	△	光ビツ	オフチカルチルト、反射率
			電気	△	クアツ	オフチカルチルト、エラーレート、ジッター、サーボ信号特性、HF信号特性
			機械	○	プ方式	面振れ量、面振れ加速度、偏芯量、真円度、反り角
*4	BASLER	Basler REFERENCE	光学	○	CCD	反射率、透過率、オフチカルチルト
			電気	○	方式	
			機械	○		面振れ量、面振れ加速度、
*4	Dr.Schenk	MTシリーズ	光学	○	CCD	反射率、透過率、オフチカルチルト
			電気	○	方式	
			機械	○		面振れ量、面振れ加速度、
*4	Aeco	ARGUS	光学	○	CCD	反射率、透過率、オフチカルチルト
			電気	○	方式	
			機械	○		面振れ量、面振れ加速度、

図 1-3-2 主な総合特性測定装置の具体例

## 第2章 現状の光ディスク媒体の保存寿命に関する調査

### 2.1 まえがき

当協会は、コンテンツの流通・保護・保存の立場から、記録形媒体についても、CPRM (Content Protection for Recordable Media) などコピープロテクション技術が導入されている光ディスク媒体に関心を持っている。平成 15 年度は、予算の都合からこの条件を満たし、かつ現在、DVD レコーダなどで多く使われている記録形 DVD ディスクとして、追記形の DVD-R ディスクと書換形の DVD-RAM を選び、保存寿命に関する評価実験を実施した。

調査対象のディスクは、公平を期するため、基本的に市場に出回っている DVD-R ディスク及び DVD-RAM ディスクを、DCA j が一括して買い上げ、それを加速試験の対象ディスクとした。また、加速試験及び評価は、各々のメディアメーカーに依頼して行うが、これについても、データの信頼性を高めるため DVD-R ディスク及び DVD-RAM ディスクともに、各々 2 社で並行して実施した。実際に加速試験用いた温・湿度の加速条件は、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH である。

しかし、平成 15 年度は加速試験期間が十分取れなかったことから、各加速温度で、寿命と定めた基準値 (DVD-R の場合は連続する 8ECC ブロックで PI エラーが 280 個、DVD-RAM の場合は連続する 8ECC ブロックでエラーレートが  $9 \times 10^{-4}$ ) まで達しない評価ディスクが多数あった。このため、これらのディスクは、低温での寿命をアレニウス法で推定するのが困難であった。そこで、まだ 3 点の加速温度で寿命に達していないディスクについては、平成 16 年度も引き続き寿命に達するまで加速試験を行った。

アレニウス法による寿命予測の信頼性を上げるためには、平成 15 年度用いた加速温度より低い温度で寿命測定を行い、その値を寿命予測に反映させることが必要である。そこで、平成 16 年度は、平成 15 年度購入して寿命試験に用いたメディアについて、65°C80%RH で寿命試験を行うことにした。しかし、65°C80%の試験は寿命が 4000H 以上になるものと予想されるため、各評価者が独立に、これらの試験を行う恒温層を準備するのは難しい。そこで、平成 16 年度は、共通の大型恒温層を用いて、すべてのディスクを 65°C80%RH の条件で加速試験した。

一方、平成 15 年度は、書換形ディスクとして DVD-RAM を寿命予測の対象としたが、平成 16 年度は、DVD-RW も寿命予測の対象とした。評価対象のディスクについては、DVD-R ディスクや DVD-RAM ディスクの場合と同様、DCA j が市販ディスクを買い上げ、これを寿命試験に用いた。評価者については、予算の都合上 1 社とした。

以上、平成 15 年度及び平成 16 年度に実施した寿命試験について、その経緯を述べた。平成 17 年度は、平成 16 年度までに実施した、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH の加速試験で、まだ寿命に達していないメディア (DVD-R と DVD-RW の一部) について、引き続き各社の恒温槽を用いて加速試験を行った。

一方、平成 16 年度よりスタートした 65°C80%RH の加速試験では、予測とおり DVD-R、DVD-RW、DVD-RAM のかなりのメディアで寿命に達しなかった。また、DVD-R 及び DVD-RW については、輸送に用いた容器への収納に問題が発生し、途中から加速試験をやり直すなどのトラブルもあった。平成 17 年度は、これらを踏まえてまだ寿命に達していない DVD-R、DVD-RW、DVD-RAM の各目メディアについて、引き続き加速試験を実施した。

以下、2.2 では評価条件として、加速試験で寿命を判定するための劣化量の定義を行い、かつ、アレニウス法による寿命予測が可能な条件について検討した。また、加速試験の種類や加速試験条件などについても検討を行った。

2.3 では、平成 15 年度、評価実験に用いる DVD-R、DVD-RAM の対象ディスクの選定について検討を行い、DVD-R については 8 社ブランド、DVD-RAM については 5 社ブランドを購入

した。平成 16 年度実施した 65°C80%の加速試験は、平成 15 年度購入したディスクを用いた。また、平成 16 年度新たに加速試験に追加した DVD-RW については、平成 15 年度の選定方法を参考に、5 社ブランドのディスクを購入した。これらのディスクは、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH の恒温での加速試験及び 65°C80%RH での加速試験の両方に用いた。

2.4 では、各々のディスク評価のための測定装置と具体的な評価条件を述べ、2.5 で初期品質の評価を行い、2.6 では、各々のディスクに対する加速劣化試験の具体的な方法と試験結果を述べ、2.7 で、これらの結果を基にアレニウス法に従って寿命推定を行った。

## 2.2 評価条件の検討

平成 15 年度、DVD-R ディスクと DVD-RAM ディスクの評価試験について、(1) 初期品質の評価試験、(2) 温度加速試験、(3) 耐光試験及び耐ガス試験の 3 項目について述べた。平成 16 年度から加速試験に追加した DVD-RW ディスクは、平成 15 年度と同じ評価条件で実施した。平成 17 年度は、寿命に達していないメディアについて加速試験のみ継続した。念のため、これら 3 項目の試験条件については、以下に述べる。

### (1) 初期品質の評価試験

各種寿命試験は、市販媒体を購入して行うが、試験にあたり、これら媒体の初期特性を把握する必要がある。寿命劣化と関連する測定項目として、DVD-R ディスク、DVD-RW ディスク、DVD-RAM ディスクでは、若干の違いがある。加速実験の結果、異常値などが出た場合、初期値と比較することで、何が原因で劣化したかなどの把握に役立てることができる。なお、加速試験にかけるディスクは、すべて初期特性を測定した。

DVD-R 及び DVD-RW は、初期特性の測定項目として

反射率、信号変調度、Asymmetry、PI エラー、ジッター  
ラジアルチルト、タンジェンシャルチルト

を測定することにした。なお、PI エラーが連続する 8 ECC ブロックで、280 個を超えるディスクについては、加速試験は行うものの寿命予測は行わないことにした。

DVD-RAM ディスクの初期特性は、バイトエラーレート、ラジアルチルト、タンジェンシャルチルトを測定することにした。なお、バイトエラーレートが  $9 \times 10^{-4}$  を超える媒体については、加速試験は行うものの寿命の予測は行わないことにした。

### (2) 温度加速試験

1.2 の(3)項で、アレニウス法により、寿命が推定できることを述べた。ここでは、その適用について、より厳密に考えてみる。

加速試験においては、劣化量が  $dx/dy=K$  ( $K$  は加速係数) を満たす場合、一般に加速試験が適用できる。

$x$  が、温度、湿度、圧力、イオン拡散、電解など様々な因子による関数の場合は、より複雑なアイリングモデルを使うことになる。しかし、これが温度だけの関数の場合、加速試験がより簡単なアレニウス法を適用することができる。

1.2 の(3)項で、反応により変化が現れる時間を  $t$  とした時

$$1/t \propto \exp(-Ea/kT)$$

なる関係にあり、いろいろな加速温度で、 $Ea$  を求めることで寿命推定ができることを述べた。

この場合、劣化量は温度の関数で、 $dx/dT=K$  ( $K$ :定数) を満たす場合、アレニウス法を適用できることを示している。つまり、加速温度付近での劣化の変化量が同じ程度であれば、アレニウス法による寿命推定が可能なことを示している。

一方、DVD ディスクの寿命を判定するためには、加速試験による劣化量について明確な定義が必要となる。DVD-R ディスクでは、DVD-ROM ディスクと同様、エラー訂正前、連続する8 ECC ブック(図 2-2-1 参照)で、少なくとも 1 バイトのエラーを持つ PI 行の数は 280 個以下とすることが規格で定義されている。つまり、8ECC ブロック×37856B に対し、280 個の PI エラーなので、バイトエラーレートは、ほぼ  $9 \times 10^{-4}$  に相当する。なお、PI 行に 1 バイト以上のエラーが生じる場合もあるので、厳密なバイトエラーレートの測定ではないが、一つの PI 行は 182 バイトなので、大きな差異は生じないと考えられる。

そこで、DVD-R ディスク及び DVD-RW ディスクの評価実験では、PI エラーが 280 個に達したとき、寿命とし、それに達する時間を測定することにした。

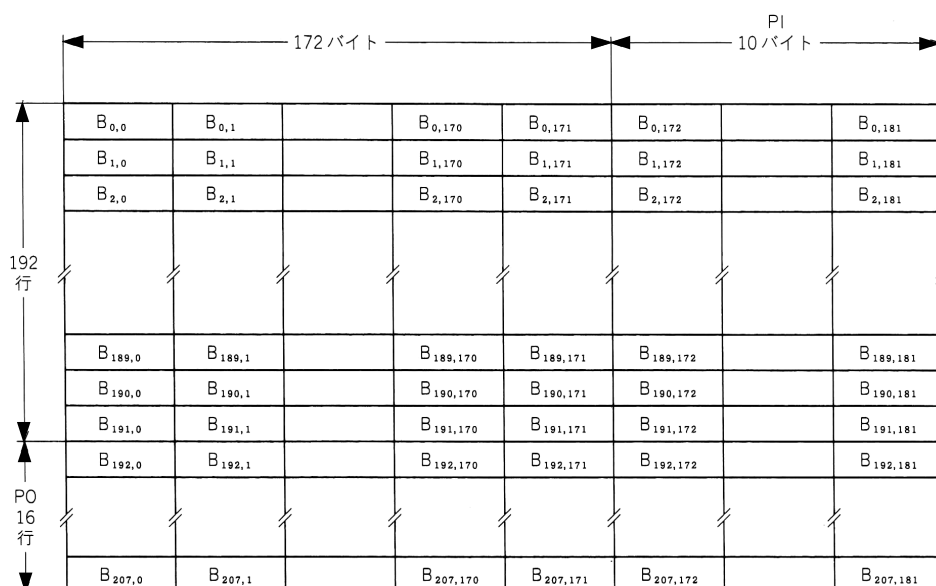


図 2-2-1 ECC ブロックの構成

一方、DVD-RAM ディスクの場合は、DVD-R ディスクや DVD-RW ディスクのように、PI エラーの定義はない。そこで、PI エラー280 個に相当する劣化量として、バイトエラーレートが  $9 \times 10^{-4}$  に達した時、これを寿命とし、これに達する時間を測定することにした。

以上から、温度加速試験における評価基準については決まった。一方、加速条件について、ISO/FDIS18921 (CD-ROM の寿命試験) では、下記の、温度・湿度の 5 水準で試験が行われている。

80°C85%RH、70°C85%RH、60°C85%RH、80°C70%RH、80°C55%RH

しかしながら、今回の試験では、各社の加速試験炉を借用して行うことから、

- ① 湿度について大きな変更ができないこと、及び条件を一致させる必要がある
- ② 加速温度が低いと結果が出てくるまでには時間がかかり過ぎ、年度内の調査報告として間に合わない
- ③ DVD ディスクは対称構造を持っていることから、CD ディスクに比べ温度加速に強いことが予想される

などを考慮し、以下の 3 水準で試験を行うことにした。

85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH

高温での加速試験は、比較的短い時間で寿命測定ができるメリットがある。上記の 3 つの温・

湿度条件については、各々の評価者が手持ちの恒温槽を用いて、加速試験を行うこととした。大まかではあるが、各々の温度で寿命に達した時間を計り、それらの比をとれば、加速係数を求めることができる。この係数が、概ね一定であればアレニウス法が使えると判断してもよさそうである。

一方、高温で予測したアレニウス法が低温領域で使えるかは、上記の温度より低い温度で寿命を測定することで、その検証が可能となる。温度範囲としては、60℃～65℃程度が適切と見られるが、平成15年度の加速試験で、75℃で3000H程度の寿命を持つメディアの存在が予測された。このため、できるだけ1年で試験結果が得られることを期待し、10℃のスパンを取って、65℃80%RHで加速試験を行うことにした。

平成16年度は、DVD-RWディスクを含めると5社が加速試験を実施するが、すべての会社が65℃80%RHの条件で、1年間恒温槽を占有することは極めて難しい。そこで、65℃80%RHに限って、大形恒温層1台で、すべてのディスクの加速試験を行うことにした。

65℃80%RHでの加速試験・評価の手順は、

5社が5枚のディスクへ信号の書き込み、初期値を測定する。スケジュール管理の下、

- ①5社からディスクを配送
- ②規定の温・湿度勾配で装填、加速試験、規定の温・湿度勾配での取り出し
- ③5社へディスクを配送
- ④5社で担当するディスクの評価データを収集

で、①～④を1サイクルとし、効率的な加速試験を行った。

### (3) 耐光試験及び耐ガス試験

これらの試験は、一般にはあまり行われない。しかし、DVD-Rディスクでは、太陽光など紫外線を含む強い光が、媒体寿命を劣化させることが報告されている。そこで、今回は、有機色素材料を用いているDVD-Rディスクだけではなく、無機の相変化材料を用いているDVD-RWディスクやDVD-RAMディスクについても、耐光性試験及び耐ガス試験を行うことにした。

#### ① 耐光性試験

陽光と類似の光暴露試験を行う。

#### ② 耐ガス試験

ディスクに影響を与える可能性のあるガスとして、温泉地同等以上のガス濃度の硫化水素ガスで暴露試験を行う。

## 2.3 評価対象ディスクの選択

DVD は一般に次のように分類される。

- (1) 再生（読み出し）専用のもの …………… DVD-ROM
- (2) 記録（書き込み）可能なもの
  - (a) 追記型（1回だけ記録できるもの） …………… DVD-R
  - (b) 書換型（繰り返し消去・記録できるもの） …………… DVD-RAM、DVD-RW など

本スタディでは、ディスクへの記録（書き込み）をユーザ側で行うことを想定しているため、上記(2)を評価の対象とした。また、(a)追記型と(b)書換型では、ディスクへの記録方法に基本的な相違があるため(前者が有機色素の化学変化と基板の熱変形によりディスクへの記録を行うのに対し、後者は非晶質と結晶の相変化により記録を行う)(b)書換型については数種類が存在する。本スタディでは、それらの中から、DVDレコーダなどで多く使われていて、かつコピープロテクション技術の導入されているDVD-RAMを評価の対象として選択した。

評価は市販品を用いて行ったが、DVD-R及びDVD-RAMディスクともに多くの市販品が流通していることから、どのメーカー(またはブランド)のものを購入するかなどについて委員会で検討を行い決定した。本来ならできるだけ多くの市販品について評価することが望ましいが、試験期間も限られており、また個々の市販品を評価することが目的ではないため、一定の数量をまとめて購入可能な市販品という条件に合う下記(図2-3-1)のものを選んだ。

なお、DVD-Rの方がメーカー(またはブランド)の数が多いため、評価の対象もDVD-Rを多くした。また、海外メーカー(またはブランド)のものをできるだけ多く含めるようにし、国内メーカー(またはブランド)のものとの比較が行えるようにした。ただし、現状では国内市場で多数流通しているものは台湾製品に限られていることから、結果的には、海外メーカー品はすべて台湾製となった。

ディスクの種類	メーカー (またはブランド)	型番	仕様等
DVD-R	太陽誘電	DVDR-D47SPY10P	4.7GB 4倍速
	Maxell	DR47B.1P10S	4.7GB 4倍速
	三菱化学メディア	DHR47U5	4.7GB 4倍速
	TDK	DVD-R47X5G	4.7GB 4倍速
	Ritec (Spark) *	DVD-R4.7G 4X1P	4.7GB 4倍速
	CMC*	DVD-R4.7PW4XSLIM5P	4.7GB 4倍速
	Optodisc (Radius) *	RDR470-005-204	4.7GB 4倍速
	Princo (SuperX) *	DVD-R4.7 4XPW10P	4.7GB 4倍速
DVD-RAM	Panasonic	LM-HC47LS5	4.7GB 3倍速 カートリッジ無
	Maxell	DRMC94B.1P	9.4GB 3倍速 TYPE4
	Ritec (Ridata) *	DVDRAM-47P-5PK	4.7GB 2倍速 カートリッジ無
	Optodisc (Radius) *	RDM470-005-20	4.7GB 2倍速 カートリッジ無
	Prodisc (SmartBuy) *	SDVD-RAM94 (T4) PC	9.4GB 2倍速 TYPE4
DVD-RW	TDK	DVD-RW47X5G	4.7GB 2倍速
	三菱化学メディア	DHW47U5	4.7GB 2倍速
	Victor・JVC	5VD-RW47B	4.7GB 2倍速
	Radius*	RDW470-005-202	4.7GB 2倍速
	Sailor*	78-4781-000	4.7GB 2倍速

\*印は台湾メーカー(またはブランド)

図2-3-1 評価対象ディスク

## 2.4 測定装置と測定条件

### (1) DVD-R

#### (a) 測定装置

##### 1) データの記録

データを記録する際には、下記の2種類の市販ドライブを用いて4倍速記録した。

- ①ソニー製 DVD-R/RW ドライブ DRU-500
- ②パイオニア製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105

##### 2) 機械特性評価

機械特性の評価には、下記の2種類の評価機を用いた。

- ①アドモン製反り角測定機 S3DL-12N
- ②小野測器製機械特性評価装置

#### (b) 測定条件

##### 1) 測定標準環境： 温度 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 10\% \text{R.H.}$

##### 2) 測定条件

- ① 測定項目：反射率  $R_{\text{top}}$ 、信号変調度  $I_{14}/I_{14h}$ 、Asymmetry、PI エラー、Jitter を測定した。
- ② 測定箇所：半径 24mm、40mm、50mm の3箇所各 4000 Physical Sector 分を測定した。  
※ 今回の評価の主目的は信号の保存性能確認にあるため、初期記録箇所と同一箇所を再生する Archival 評価のみで行った。

##### 3) チルト測定条件

ディスク半径 23~58mm (5mm 単位) で測定し、その最悪値を使用した。

### (2) DVD-RAM

今回の各種試験では RAM の代表的特性として主に2つの特性（電気特性として BER：バイトエラーレート、機械的特性としてチルト）について評価を行った。

以下にその測定装置と測定条件の概要を示す。

#### (a) 測定装置 (図 2-4-1)

##### 1) BER (バイトエラーレート)

松下電器製ドライブ LF-D200 + 計測用 PC (測定用内製ソフト)

※ 記録/再生とも固定の1台のドライブを使用した。

##### 2) チルト (Radial Tilt, Tangential Tilt)

Aeco 社製「ARGUS」



図 2-4-1 BER 測定装置 (左) と ARGUS (右)

(b) 測定条件

1) 測定標準環境： 温度  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $50 \pm 10\% \text{R. H.}$

2) BER 測定条件

① BER 測定箇所：全ユーザゾーン (Zone 0-34) の中央付近連続 32 ECC ブロック

② BER 測定信号：全メディアとも各 ECC ブロック毎にランダム信号を 2 倍速記録 (1 回記録) し、再生/データコンペアを行い、エラーバイト数をカウント。

③ 全ゾーン終了後に  $\text{BER} = \text{エラーバイト総数} / \text{記録バイト総数}$  を算出。

※ 今回の評価対象サンプルについては 3 倍速メディア (国内 A, B ブランド) と 2 倍速メディア (台湾 C, D, E ブランド) の 2 種類があったが測定条件を統一するため、同一ドライブにてすべて 2 倍速記録を行った。

※ 今回の評価の主目的は信号の保存性能確認にあるため、初期記録箇所と同一箇所を再生する Archival 評価のみで行った。

3) チルト測定条件

チルト測定位置：ディスク半径 23~58mm (1mm 単位)

(3) DVD-RW

(a) 測定装置

1) データの記録

データの記録は下記の市販ドライブを用い、すべてのディスクを 2 倍速記録で行った。  
パイオニア株式会社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-107、Firm. Ver. 1.13

2) 電気特性評価

電気特性の評価には、下記の測定装置を用いた。  
エキスパートマグネティックス社製 DVDT±R/RW106

3) 機械特性

ドクターシエンク社製 Prometheus MT-136

(b) 測定条件

1) 測定標準環境： 温度  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $50 \pm 10\% \text{R. H.}$

2) 測定条件

① 測定項目： 反射率 R14H、信号変調度 I14/I14H、Asymmetry、PI エラー、ジッターを測定した。

② 測定箇所： 半径 24mm、40mm、50mm の三箇所各 4000 Physical Sector 分を測定した。

※ 今回の評価の主目的は信号の保存性能確認にあるため、初期記録箇所と同一箇所を再生するアーカイバル評価のみで行った。

3) チルト測定条件

ディスク半径 25~57mm (8mm 単位) で Radial、Tangential を測定した。

## 2.5 初期品質の評価

市販ディスクの特性のばらつきを確認するため、加速劣化試験を行うディスクの初期品質の評価を行った。

### 2.5.1 評価結果

#### (1) DVD-R

市場で購入した国内メーカー A、B、C と台湾メーカー E、F、G、H の 7 種類の DVD-R ディスクについて、初期の記録再生特性を評価した。

##### (a) DVD-R 評価者 1 の評価結果

評価者 1 はパイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 を用いて 4 倍速記録し、エキスパートマグネティクス社製 DVDT-R2 評価機を用いて、反射率 R14H、信号振幅 I14/I14H、Asymmetry、PI エラー、Jitter の評価を行った。評価結果を図 2-5-1-1 に示す。また、測定に用いたディスクのブランド毎のばらつきを図 2-5-1-3 に示す。

##### (b) DVD-R 評価者 2 の評価結果

評価者 2 はソニー社製 DVD-R/RW ドライブ DRU-500 を用いて 4 倍速記録し、エキスパートマグネティクス社製 DVDT-R2 評価機を用いて、反射率 R14H、信号振幅 I14/I14H、Asymmetry、PI エラー、Jitter の評価を行った。評価結果を図 2-5-1-2 に示す。また、測定に用いたディスクのブランド毎のばらつきを図 2-5-1-4 に示す。

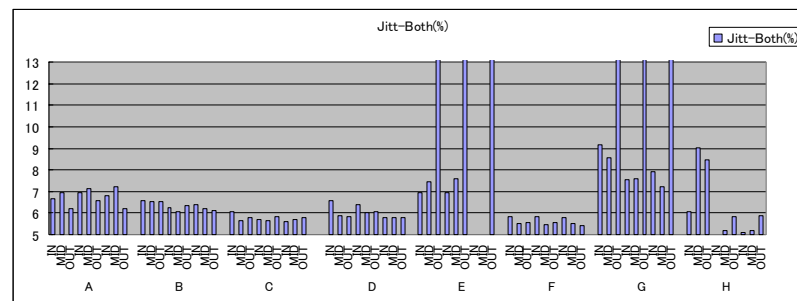
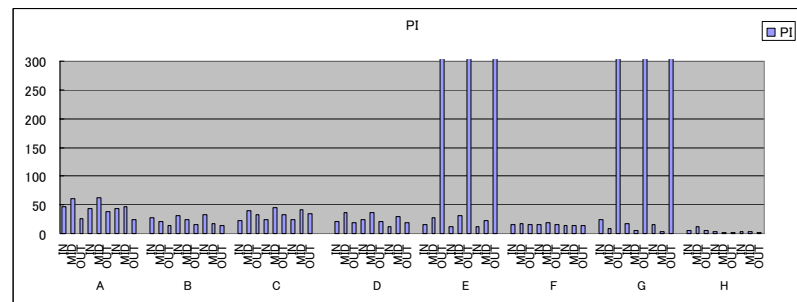
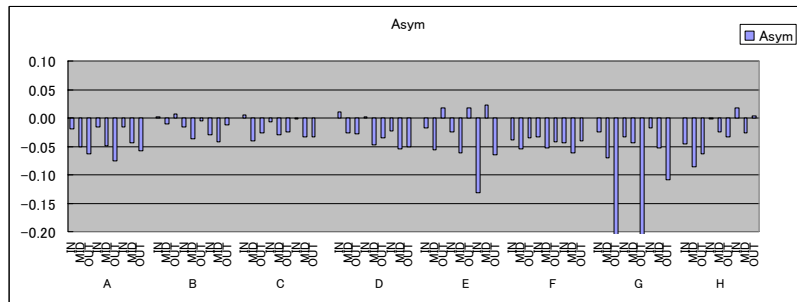
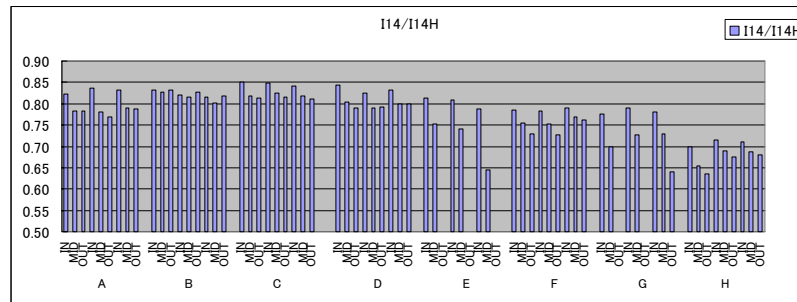
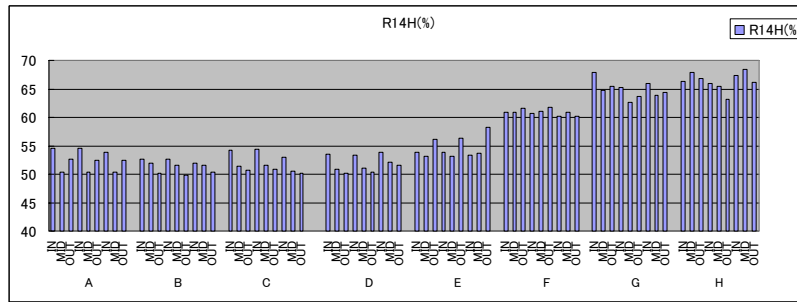


図 2-5-1-1 パイオニア DVR-105 で記録したディスクの初期特性 (評価者 1)

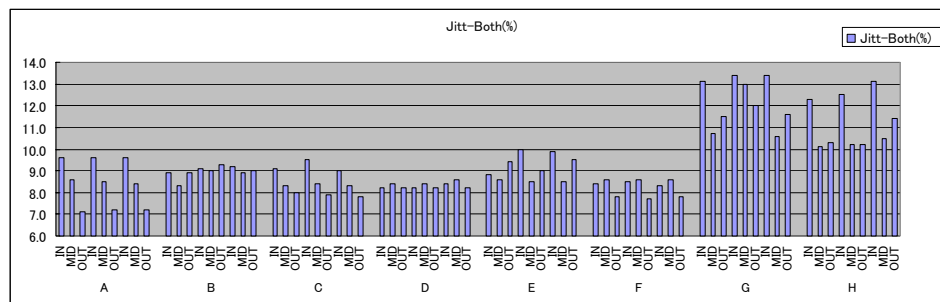
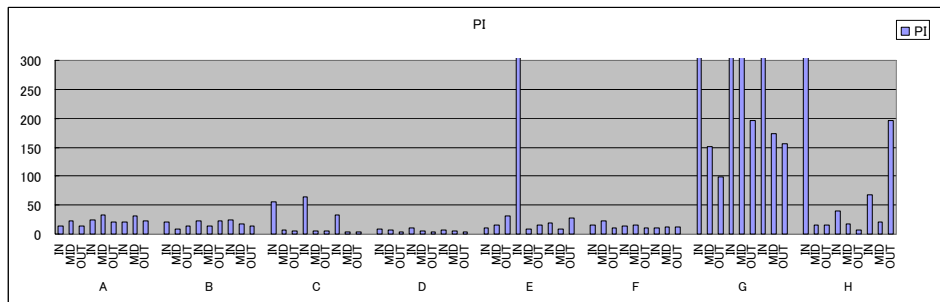
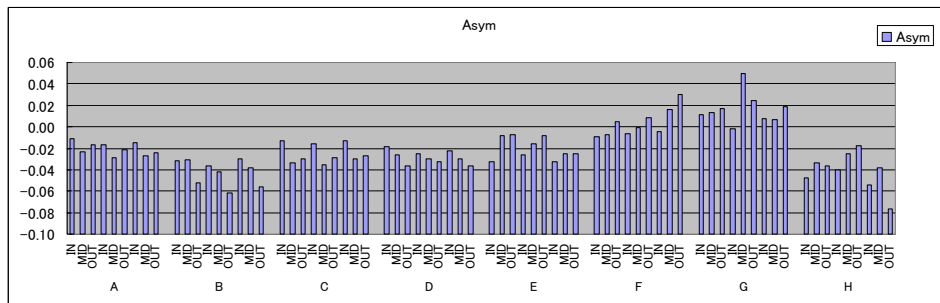
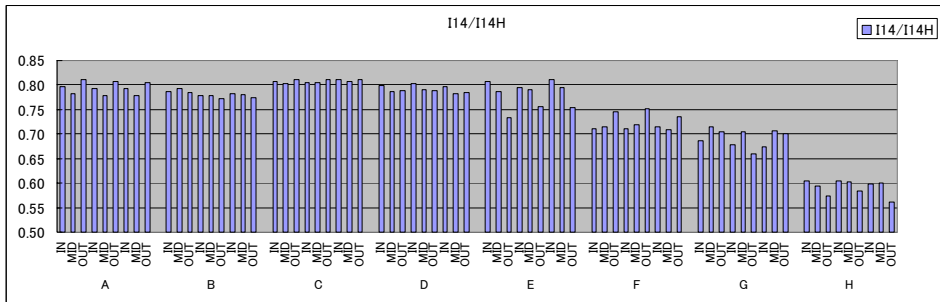
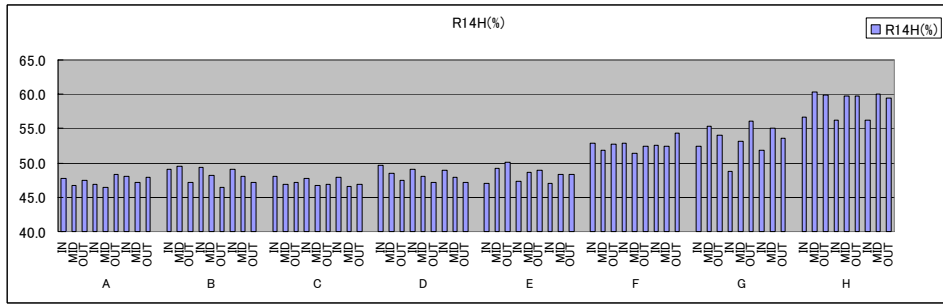
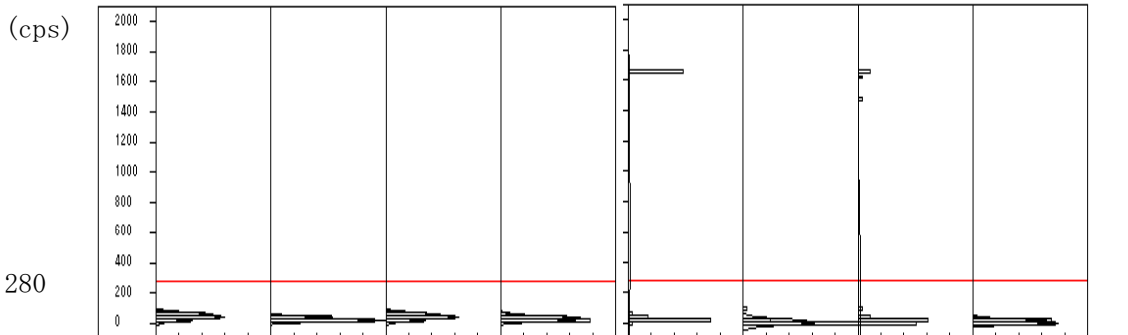


図 2-5-1-2 ソニーDRU-500 で記録したディスクの初期特性 (評価者 2)

国内 A、 B、 C、 Dブランド

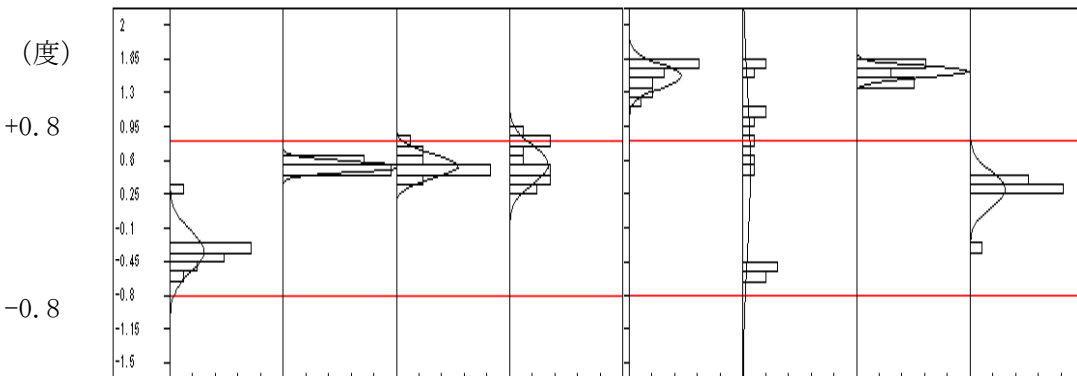
台湾 E、 F、 G、 Hブランド

<PI エラー>内周、中周、外周



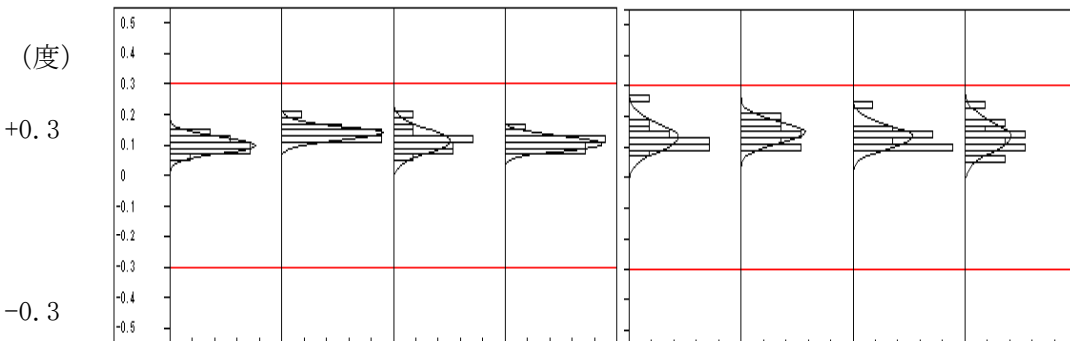
平均値	45.8	26.4	43.6	30.6	569.5	8.1	208.5	9.2
標準偏差	11.6	7.2	20.9	12.1	782.6	16.1	8.7	

<R-Tilt> r=58mm



平均値	-0.34	0.54	0.54	0.55	1.49	0.50	1.51	0.29
標準偏差	0.22	0.05	0.12	0.19	0.12	0.87	0.05	0.18

<T-Tilt> r=58mm



平均値	0.09	0.14	0.11	0.11	0.13	0.15	0.13	0.14
標準偏差	0.03	0.02	0.04	0.02	0.05	0.03	0.04	0.05

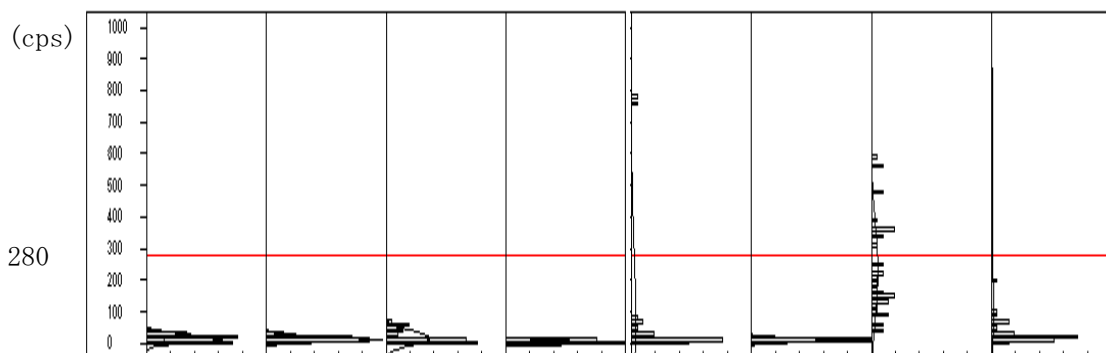
図 2-5-1-3 DVD-R 各ブランドの初期主要品質ばらつき (評価者 1)

記録ドライブ : パイオニア DVR-105

国内 A、B、C、Dブランド

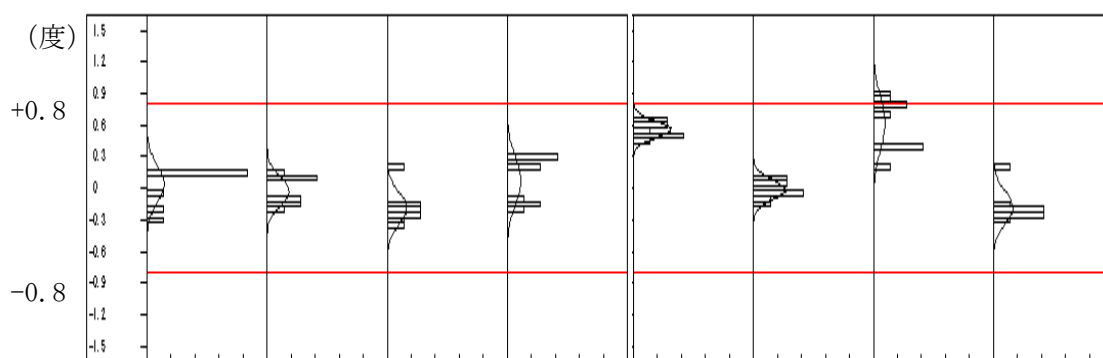
台湾 E、F、G、Hブランド

<PI エラー>内周、中周、外周



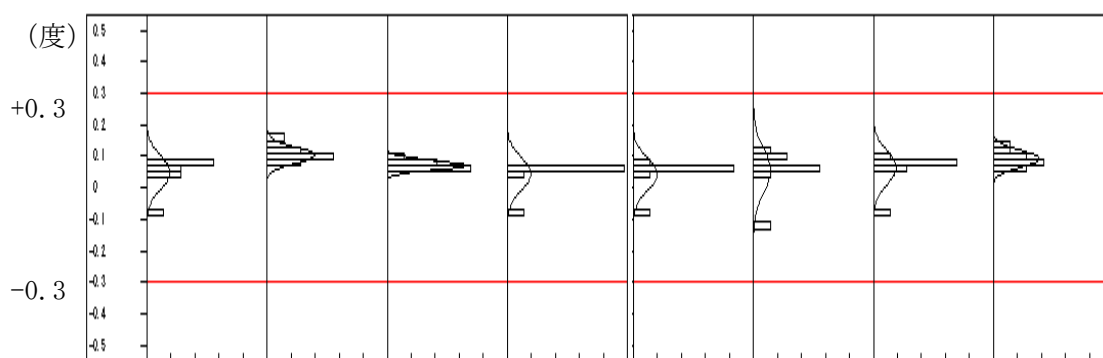
平均値	14.8	13.7	15.9	4.3	81.2	9.8	228.8	115.5
標準偏差	11.6	7.2	20.9	2.9	231.3	3.7	149.0	558.2

<R-Tilt> r=58mm



平均値	0.041	-0.030	-0.193	0.073	0.558	-0.016	0.615	-0.181
標準偏差	0.174	0.136	0.154	0.222	0.079	0.092	0.257	0.154

<T-Tilt> r=58mm



平均値	0.048	0.104	0.072	0.044	0.042	0.055	0.064	0.092
標準偏差	0.051	0.025	0.014	0.050	0.050	0.069	0.052	0.026

図 2-5-1-4 DVD-R 各ブランドの初期主要品質ばらつき (評価者 2)  
記録ドライブ: ソニーDRU-500

## (2) DVD-RAM

### (a) 評価者3の評価結果

5種類（国内2ブランド、台湾3ブランド）の各ディスク（サンプル数  $n=1$ ）について2.4項で述べた測定装置により初期品質評価として以下の特性測定を実施した。（下記数値はDVDフォーラム等の公式規格値）

① バイトエラーレート (BER)	—
② Radial Tilt(以降 R-Tilt と呼ぶ)	$\pm 0.7^\circ$ 以内
③ Tangential Tilt(以降 T-Tilt と呼ぶ)	$\pm 0.3^\circ$ 以内

この評価結果を図 2-5-1-5 に示す。

BER（バイトエラーレート）についてはCブランドの内周部でやや高いものを除き、全ユーザ Zone（No. 0~34）平均値は国内2ブランド（A,B）、台湾3ブランド（C,D,E）とも  $10^{-5}$  台にあり、ゾーン間でのばらつきに多少のくせがあるものの全体的に比較的良好であった。

チルト値（R-Tilt, T-Tilt）については台湾ブランド品でかなり大きな値を示すものがあった。

T-Tilt 値については国内、台湾ブランドともかなり良好で規格を十分満足するものの、台湾Dブランド品等ではR-Tiltの内周部～外周部での傾きが大きく、外周部で規格をオーバーする傾向が認められた。

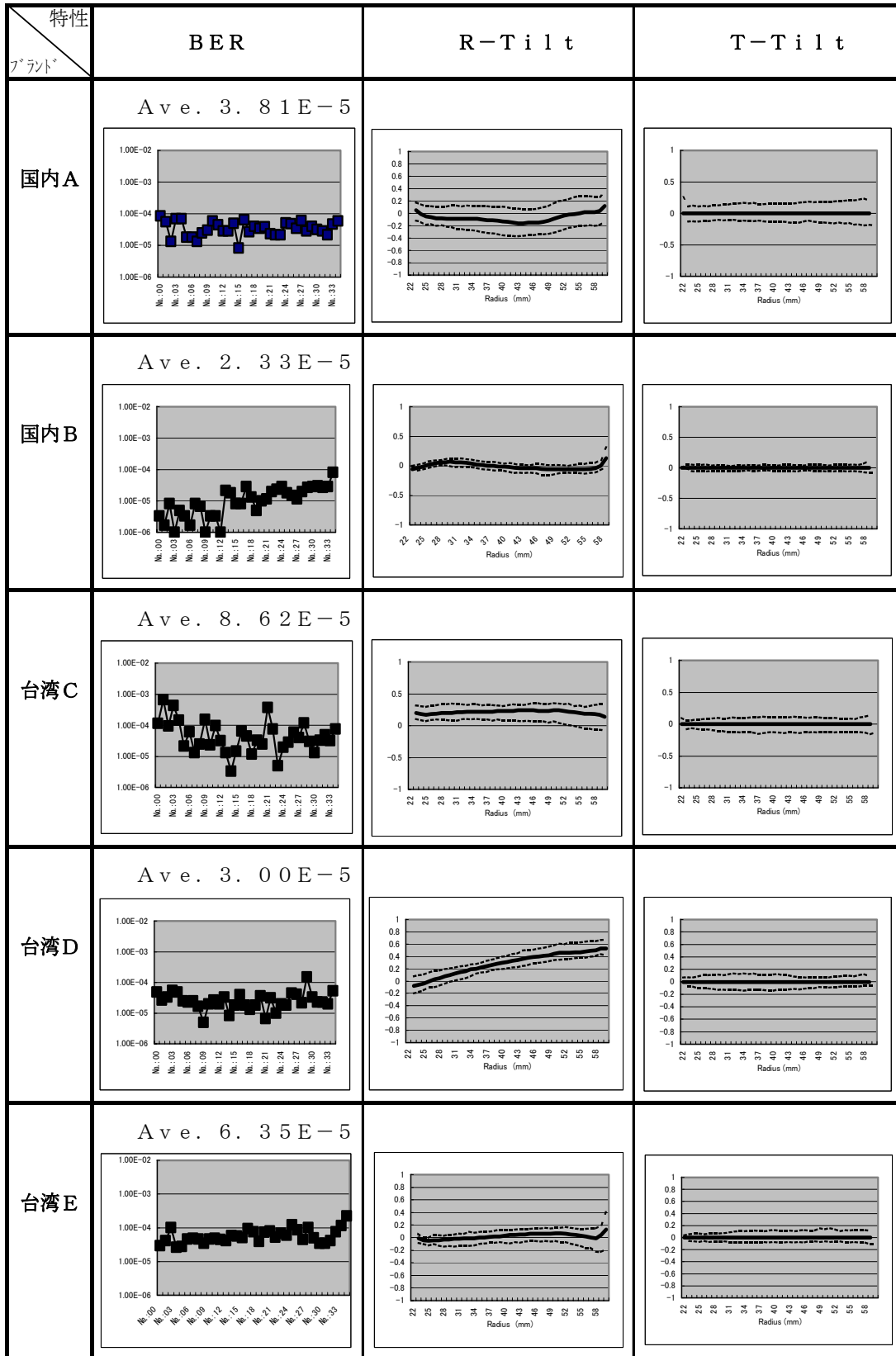


図 2-5-1-5 DVD-RAM 各ブランドの初期品質 (各サンプル数 n=1)

### (b) 評価者4の評価結果

各ブランド（国産2社、台湾産3社）のディスク（n=1）について初期品質の評価として、ドライブでのバイトエラーレート（BER）測定と、ドライブで記録した箇所のジッターを、DVD-RAM テスターを用いて行った。ドライブでの記録再生条件として、データパターンはA1100のランダムデータを記録し、ドライブとしてHLDS製JR-2とPanasonic製LF-M621の2台を用いた。またDVD-RAM テスターとしてはシバソク製LM330Aを用い、ランドトラック及びグルーブトラックの両方についてジッターを測定した。BERの測定結果を図2-5-1-6に、ジッターの測定結果を図2-5-1-7に示す。

ディスク	J R - 2 (HLDS)	L F - M 6 2 1 (Panasonic)
国内 Aブランド	1.76E-05	9.04E-05
国内 Bブランド	7.16E-05	9.04E-06
台湾 Cブランド	2.62E-05	1.24E-05
台湾 Dブランド	2.52E-04	6.33E-05
台湾 Eブランド	8.57E-05	1.47E-05

図2-5-1-6 初期BER

ディスク	G/L	記録ドライブ		仕様
		J R - 2	L F - M 6 2 1	
国内 Aブランド	G	6.8	8.2	< 9.0
	L	6.6	8.3	< 9.0
国内 Bブランド	G	8.3	7.5	< 9.0
	L	8.5	7.5	< 9.0
台湾 Cブランド	G	8.6	9.1	< 9.0
	L	7.6	9.0	< 9.0
台湾 Dブランド	G	7.3	7.1	< 9.0
	L	7.9	7.0	< 9.0
台湾 Eブランド	G	9.6	8.9	< 9.0
	L	8.8	8.8	< 9.0

G：グルーブトラック、L：ランドトラック

図2-5-1-7 初期ジッター

上記の結果より、ドライブで記録した場合、台湾Dブランド品をドライブJR-2で記録した場合を除いてBERは10<sup>-5</sup>台あるいはそれ以下の結果が得られた。また、ドライブで記録した箇所のジッターは国内Aブランド、国内Bブランド、台湾Dブランドにおいては規格の9.0%を下回る結果が得られた。その他のディスクにおいては規格値を大きく超えるものは見当たらなかった。

### (3) DVD-RW

市場から購入した国内ブランドのA(台湾製)、B(日本製)、C(シンガポール製)、E(台湾製)と、台湾ブランドのD(台湾製)の5種類のDVD-RWについて、初期の特性を評価した。

#### (a) 評価結果

2.4項で述べた測定装置と測定方法によって、各ブランド(各社30枚、合計150枚)を評価した。

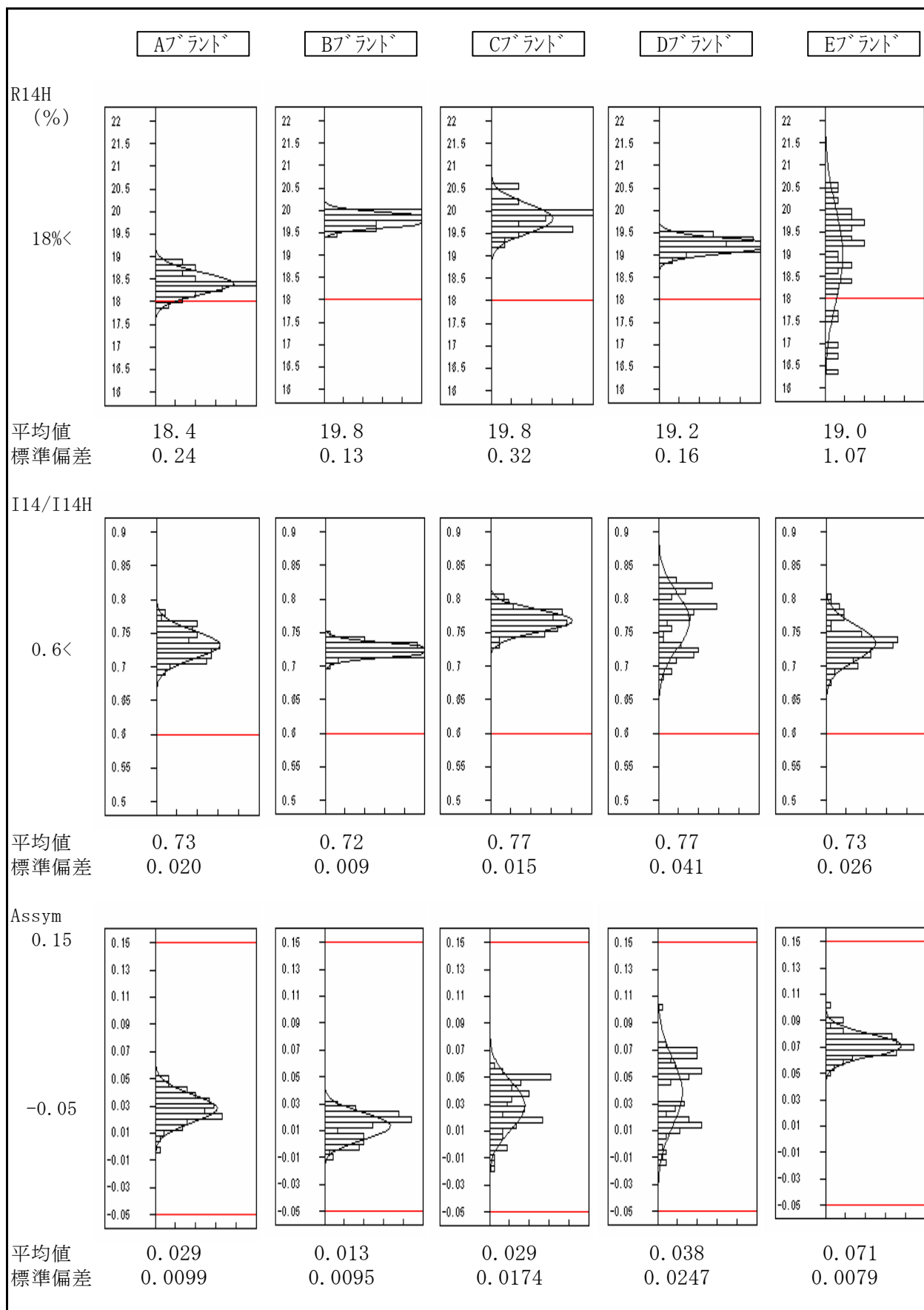


図 2-5-1-8(A) DVD-RW 各ブランド別初期主要特性分布

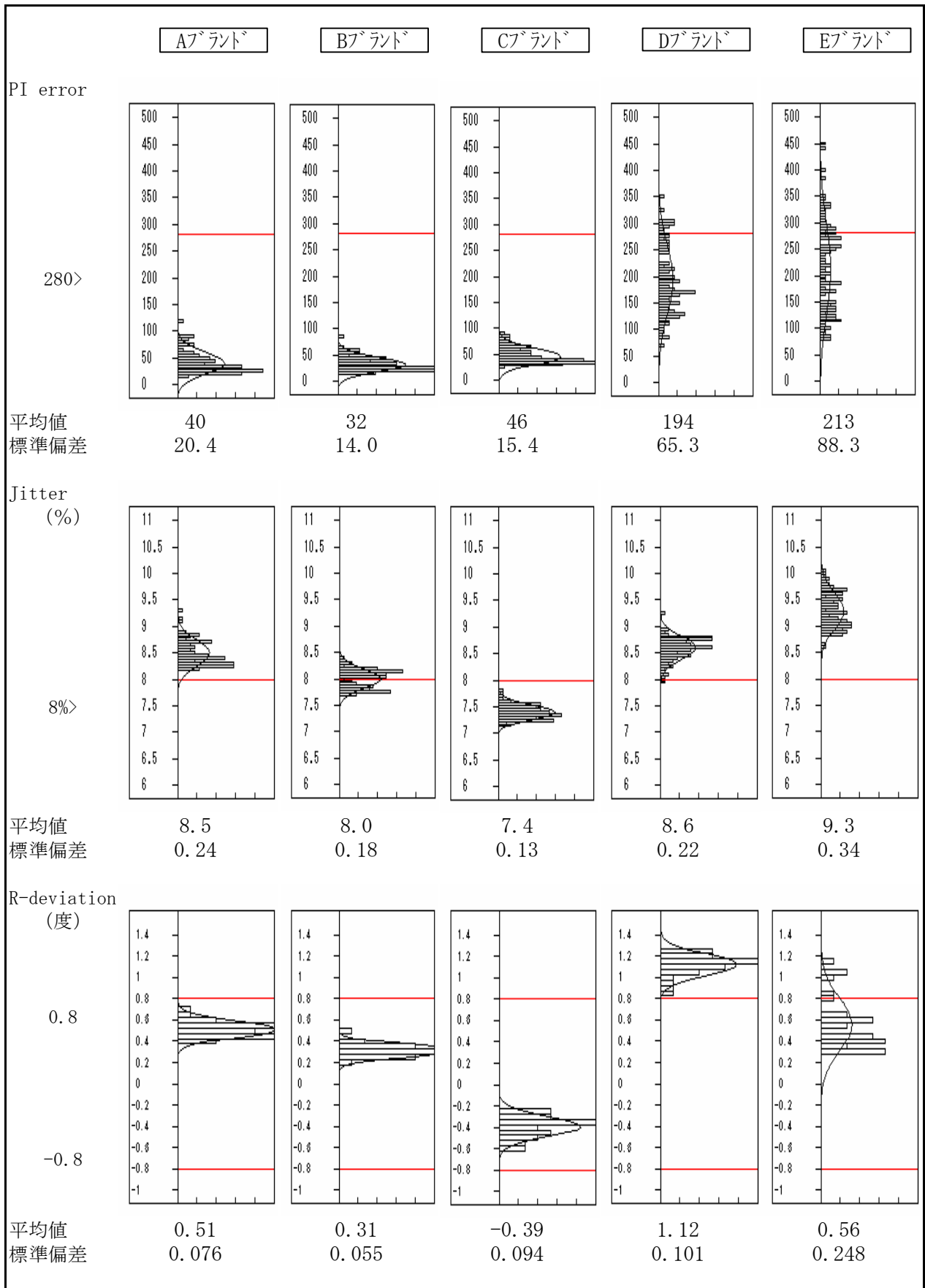


図 2-5-1-8(B) DVD-RW 各ブランド別初期主要特性分布

この評価結果を図 2-5-1-8(A)、(B)に示す。各ブランド別に初期主要特性の分布をヒストグラムで表した。R14H は測定半径位置による値の傾向があるため、50mm の値のみをプロットした。また、R-tilt は反り方向において絶対値の大きい方の値の分布をプロットし、状態を見やすくした。そのほかの値はサンプル数 30、サンプルあたりの測定箇所 3 箇所、計 90 点の分布である。

初期記録時に、Aブランド (2 枚)、Cブランド (1 枚) Dブランド (4 枚)、Eブランド (1 枚) のディスクにおいて記録面表面傷によると推測できる書き込み停止が発生した。これらは不良ディスクであるが、この評価の主目的は保存特性であるため、これらのディスクは除外した。

## 2.5.2 考察

### (1) DVD-R

全ての国内メーカ製ディスクでは、差はなく、良好な結果が得られたが、一部の台湾メーカ製ディスクについては、初期から問題があることが確認された。

パイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 で記録した場合、台湾製ディスク G は、中周で記録中にエラーが発生し、記録が中断したものがあつた。

また、パイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 で記録した場合のディスク E と G、及び、ソニー社製 DVD-R/RW ドライブ DRU-500 で記録した場合のディスク E、G と H で、初期から外周の PI エラーが規格値 280 を大幅に超えたディスクがあつた。ディスク E と G で PI エラーが悪い原因は、図 2-5-2-1 に示すように、外周で半径方向の Tilt (R-tilt) が規格値の  $0.8^\circ$  を超えているためと考えられる。

図 2-5-1-3 と図 2-5-1-4 の PI エラーの分布を見ると、ディスク E、G については評価者 1 と評価者 2 で異なる結果となっている。記録するドライブにより、反りに対する許容範囲が違うため、このような違いが起きていると推測される。

パイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 で記録したディスクは、ソニー社製 DVD-R/RW ドライブ DRU-500 で記録したディスクに比べ、Asymmetry が低めに記録されていた。

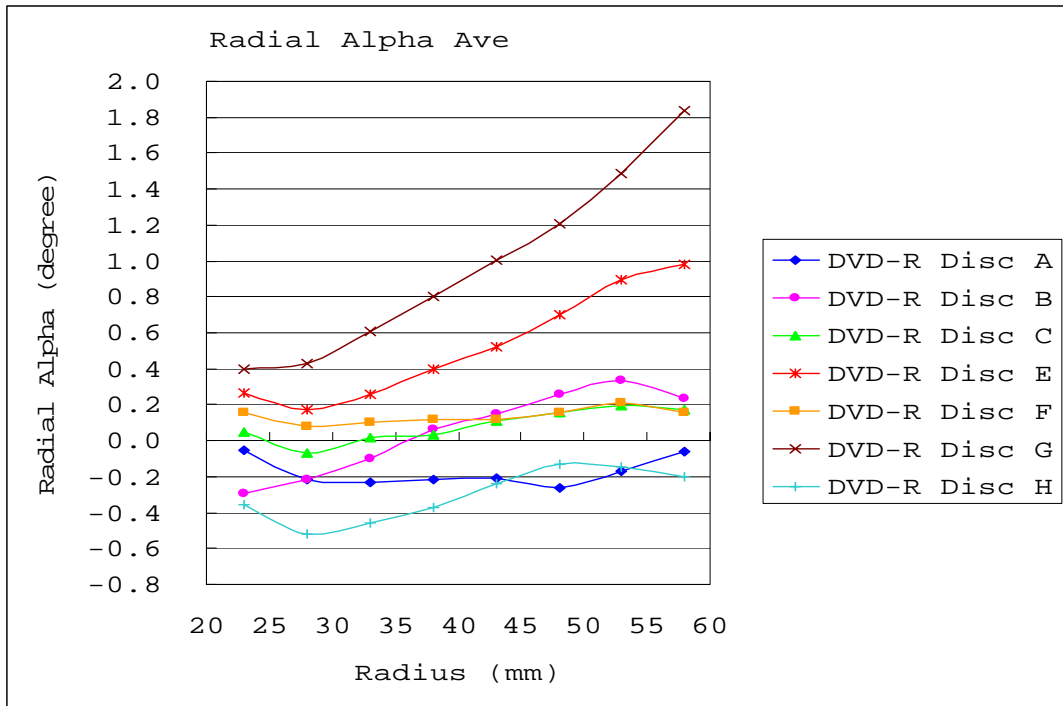


図 2-5-2-1 R-tilt の測定結果

## (2) DVD-RAM

### (a) 評価者 3 の場合

5ブランドのDVD-RAMの初期品質確認について各サンプルn=1ではばらつきを含めて判断がつかないため、次のステップ（加速劣化試験等）での初期値確認を兼ねて各ブランドn=25の評価を行った。その測定結果を図 2-5-2-2 に示す。

チルト値については比較的最大となりやすい最外周付近（r=58mm 付近）にて正負記号に関係なく絶対値が大きい方を Max 値としてプロットしている。分布図上、正負両側に各々ピークが見られるのはそのためである。統計値として分布センターを表す算術平均値と標準偏差値、チルトの大きさを表す絶対値平均値を各図の下に示した。

BER 分布については国内 2ブランドが比較的低いレベルでばらつきが小さい傾向にあるのに対して台湾 3ブランドでは分布が広くばらつきが大きい傾向にある。

チルト値についても同様な傾向が認められ、R-Tilt 値の分布は台湾ブランドでばらつきが大きい傾向がみられる。

国内ブランド品に対して台湾ブランド品での品質ばらつきは大きい傾向にあるものの、基本的にはほとんどのブランド(Dブランドを除く)でBER、チルトに関する初期品質は確保されていると判断されるので次ステップの加速劣化試験を実施することとした。

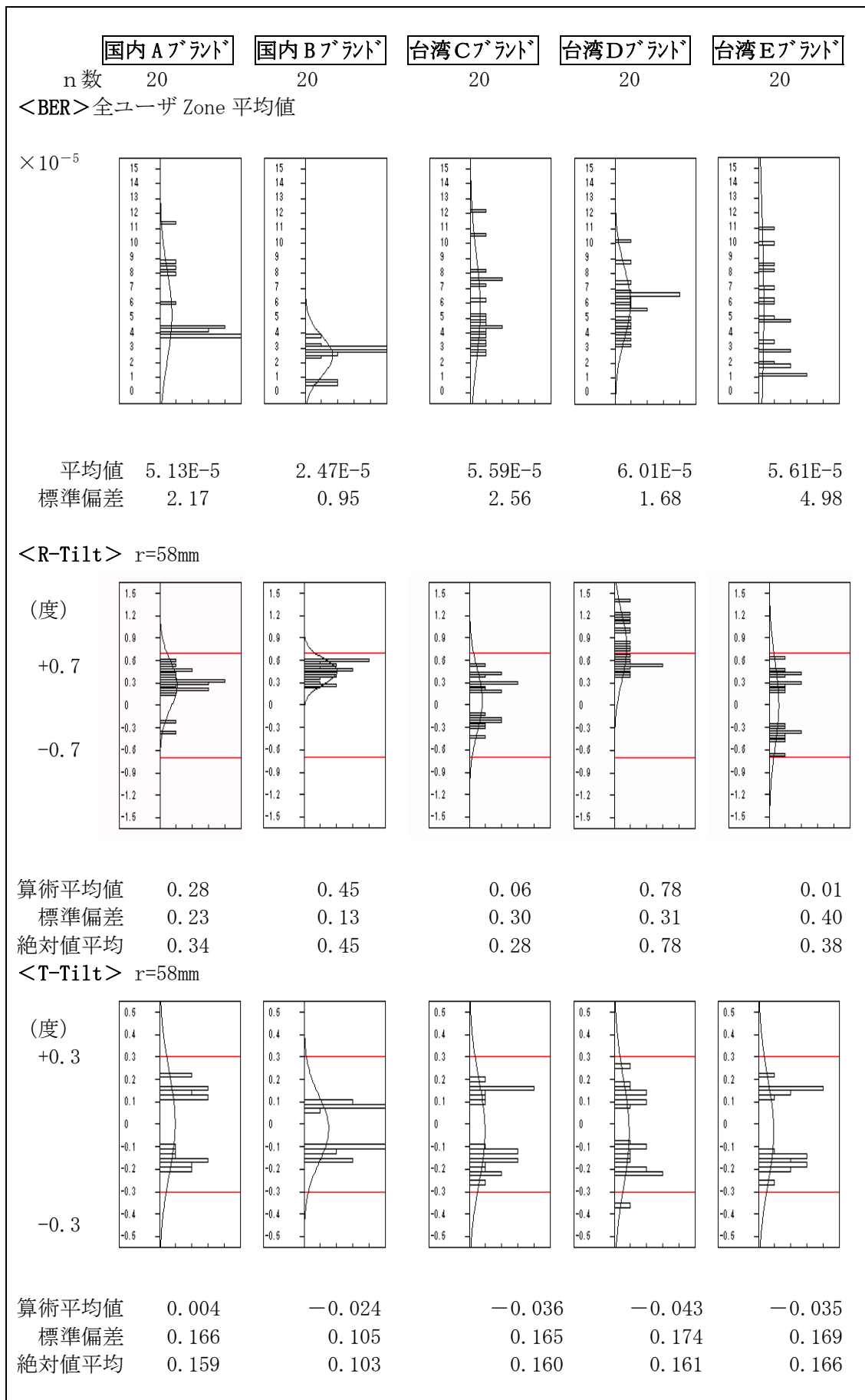


図 2-5-2-2 DVD-RAM 各ブランドの初期主要品質ばらつき

## (b) 評価者4の場合

5ブランドのDVD-RAM 初期品質確認において、各サンプル n=1 ではばらつきを含めて判断がつかないため、次のステップでの初期値確認を兼ねて各ブランド n=14 の評価を行った。その測定結果を図 2-5-2-3 に示す。

BER については、国内 B ブランド、台湾 C ブランドがばらつきが小さく、台湾 D ブランド、台湾 E ブランドでは BER が悪い ( $5 \times 10^{-5}$  以上) ディスクが出現している。

これら結果から、各ブランドのディスクとも初期品質は確保されていると判断し、加速環境試験を実施することとした。

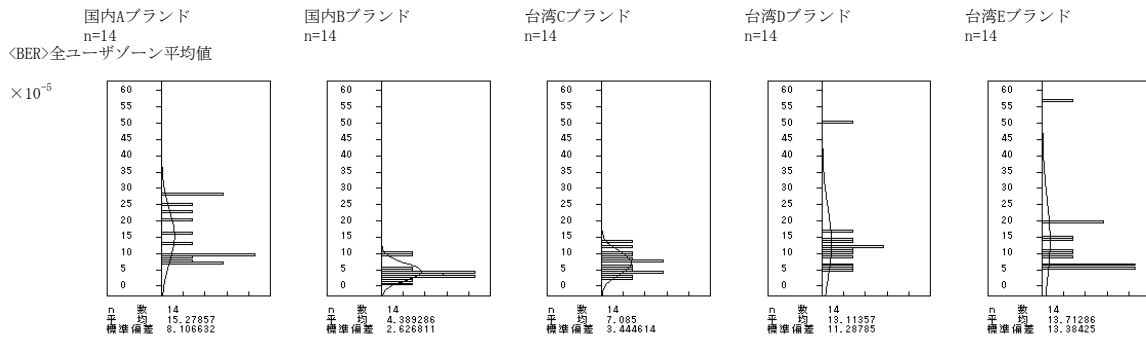


図 2-5-2-3 DVD-RAM 各ブランド品の初期 BER ばらつき

## (3) DVD-RW

初期品質は、各特性において平均値、ばらつきにブランド間の差が大きいことが確認された。参考として DVD 規格を表示したが、市販ドライブでの書き込みであり、この値を超えていた場合直ちに規格からはずれているというわけではない。今回のサンプルは数量が各社 30 枚であり、製造番号から判断して同一ロットであると考えられ、特性の分布としては狭い範囲になると推測できる。しかし、分布が非常に広がったり、PI エラーや R-tilt 初期特性において大きく DVD 規格を超えているサンプルがあり、ディスクの設計品質、管理品質にメーカーの違いが現れている。また、ヒストグラムからでは読みにくいですが、測定半径位置により値の中心値が大きく異なるサンプルもある。これらの初期値から、特に、D ブランド、E ブランドのサンプルは初期の書き込み不良が発生することは容易に推測できる。

## 2.6 加速劣化試験

### 2.6.1 加速劣化試験方法

一昨年度から今年度にかけて実施した加速劣化試験は以下の3種類で、試験時間、評価項目等について若干の差はあるが基本的な試験条件はDVD-R, DVD-RAM, DVD-RW 共通とした。

#### (1) 温湿度試験

温度が劣化反応を加速する仮定にたつて寿命推定を行うアレニウス法を用いた。昨年度の3水準(85℃, 80℃, 75℃湿度80%R. H. 共通)の温湿度試験にて許容限界値に達しなかったディスクの継続評価と新たな温度水準(65℃80%R. H.)を追加してデータの信頼性向上を図った。なお、75~85℃の3環境については各評価者の所有する恒温槽を用いたが65℃環境では試験占有時間が長くなるため、評価者毎の恒温槽確保が困難であったため、外部(株式会社アルメディオ)の恒温槽を専用機として確保し、全種類のディスクを投入することとした。このため、65℃サンプルについては他の環境にはなかった「輸送条件」要因も考慮する必要が生じた。

#### (2) 耐光性試験

太陽光同等の光暴露状態で長時間ディスクを放置した時の影響を確認するための試験として実施した。

#### (3) 耐ガス試験

温泉地同等以上のガス濃度とされる硫化水素ガスを用い、長時間暴露状態とした時の影響等を確認するための試験として実施した。

なお、この各試験での特性確認項目は以下のとおりである。(数値はDVDフォーラム等の公式規格値)

##### 1) DVD-R

① PIエラー	≤280
② Jitter	≤8.0%
③ 反射率 R <sub>top</sub>	45~
④ 信号変調度 I 14/I 14h	≥0.6
⑤ Asymmetry	-0.05~0.15
⑥ チルト (R-tilt, T-tilt)	±0.8° 以内, ±0.3° 以内

##### 2) DVD-RAM

① BER (バイトエラーレート)	—
② チルト (R-tilt, T-tilt)	±0.7° 以内, ±0.3° 以内

##### 3) DVD-RW

① PIエラー	≤280
② Jitter	≤8.0%
③ 反射率 R <sub>top</sub>	18~23
④ 信号変調度 I 14/I 14h	≥0.6
⑤ Asymmetry	-0.05~0.15
⑥ チルト (R-tilt, T-tilt)	±0.8° 以内, ±0.3° 以内

DVD-R, DVD-RAM, DVD-RW で特性確認項目が異なるのは各々のフォーマットに対応している測定システム等の機能差に負うところがある。

寿命の指標として、DVD-R, DVD-RW ではPIエラー値、DVD-RAMではBER値変化を確認すること

とし、それ以外の特性項目はこの指標特性変化要因を調査する目的で確認した。

## (1) 温湿度試験

### (a) 温湿度加速劣化試験装置

各評価者にてほぼ同様な設備使用のため、下記には代表例を示す。

TABAI ESPEC 製 PR-1KTH (図 2-6-1-1)

### (b) 加速劣化試験条件

- ① 加速温湿度条件： 温度 65℃、75℃、80℃、85℃／湿度 80%RH
- ② 測定サンプル数： 1 試験環境あたり n=3~5／社 (記録は n=5)
- ③ サンプル投入形態：全メディア カートリッジなし、トレー使用で縦置き
- ④ 環境慣らし条件： 投入前 同温度 30分 → 環境投入  
取り出し 同温度ドライ 12Hr → 室温放置 12Hr

## (2) 耐光性試験

### (a) 加速劣化試験装置

スガ試験機製 キセノンウェザーメーターXL75 (図 2-6-1-2)

### (b) 加速劣化試験条件

- ① 光暴露条件： 38W/m<sup>2</sup> (ブラックパネル 40℃／湿度 70%RH)
- ② 照射時間： 別途サンプルメディア種類毎に決定
- ③ 測定サンプル数： n=1／各ブランド
- ④ サンプル投入形態：全メディア カートリッジなし、記録面側を照射



図 2-6-1-1 温湿度試験装置



図 2-6-1-2 耐光性試験装置

### (3) 耐ガス試験

#### (a) 加速劣化試験装置

山崎精機研究所製 定流量フロー形ガス腐食試験装置 G-100HT (図 2-6-1-3)

#### (b) 加速劣化試験条件

- ① 光暴露条件： 硫化水素ガス濃度 200ppm (50°C90%R. H..)
- ② 暴露時間： 別途サンプルメディア種類毎に決定
- ③ 測定サンプル数： n=1/各ブランド
- ④ サンプル投入形態： 全メディア カートリッジなし



図 2-6-1-3 耐ガス試験装置

## 2.6.2 加速劣化試験結果

### (1) 温湿度試験結果

#### (a) DVD-R

今年度は、一昨年度から行っている 75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の試験と、寿命推定の精度を向上させるために昨年度から行っている 65°C80%RH の試験を継続して行った。65°C の試験において、75°C よりも激しい劣化が発生する等、予想よりも劣化が大きかったため詳細調査したところ、この試験で使用していた輸送容器に問題があることが判明した。使用した容器はディスクの外周部に圧力がかかる構造であったため、外周の PI エラーが大きくなってしまい劣化が加速した。圧力がかからない輸送容器でやり直しの試験を行った結果、外周部の PI エラー上昇もなくなった。これらの経緯から今回の寿命推定には 65°C80%RH については再試験での結果を使用する。65°C80%RH 再試験については、寿命予測が可能とされるディスク A, B, C, D について行った。

#### 1) 評価者 1 の試験結果

評価者 1 はパイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 を用いて 4 倍速記録し、65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH で加速劣化試験を行った。この時の、PI エラーの変化の様子を図 2-6-2-1 (A), (B) に示す。ここで PI エラーは、同一条件で加速劣化試験を行った 65°C は 5 枚、75°C、80°C、85°C は 3 枚のディスクの 3 測定位置 (内・中・外) の平均値を用いた。

ディスク B の 85°C の 2000~3000 時間で PI エラーの悪化が見られるが、その後、元に戻っていることから、85°C80%RH の加速環境で悪化した反りが戻る前に測定してしまった等の測定上の問題があったと推測される。このため、これらは異常値として加速劣化寿命の推定には使わないこととした。

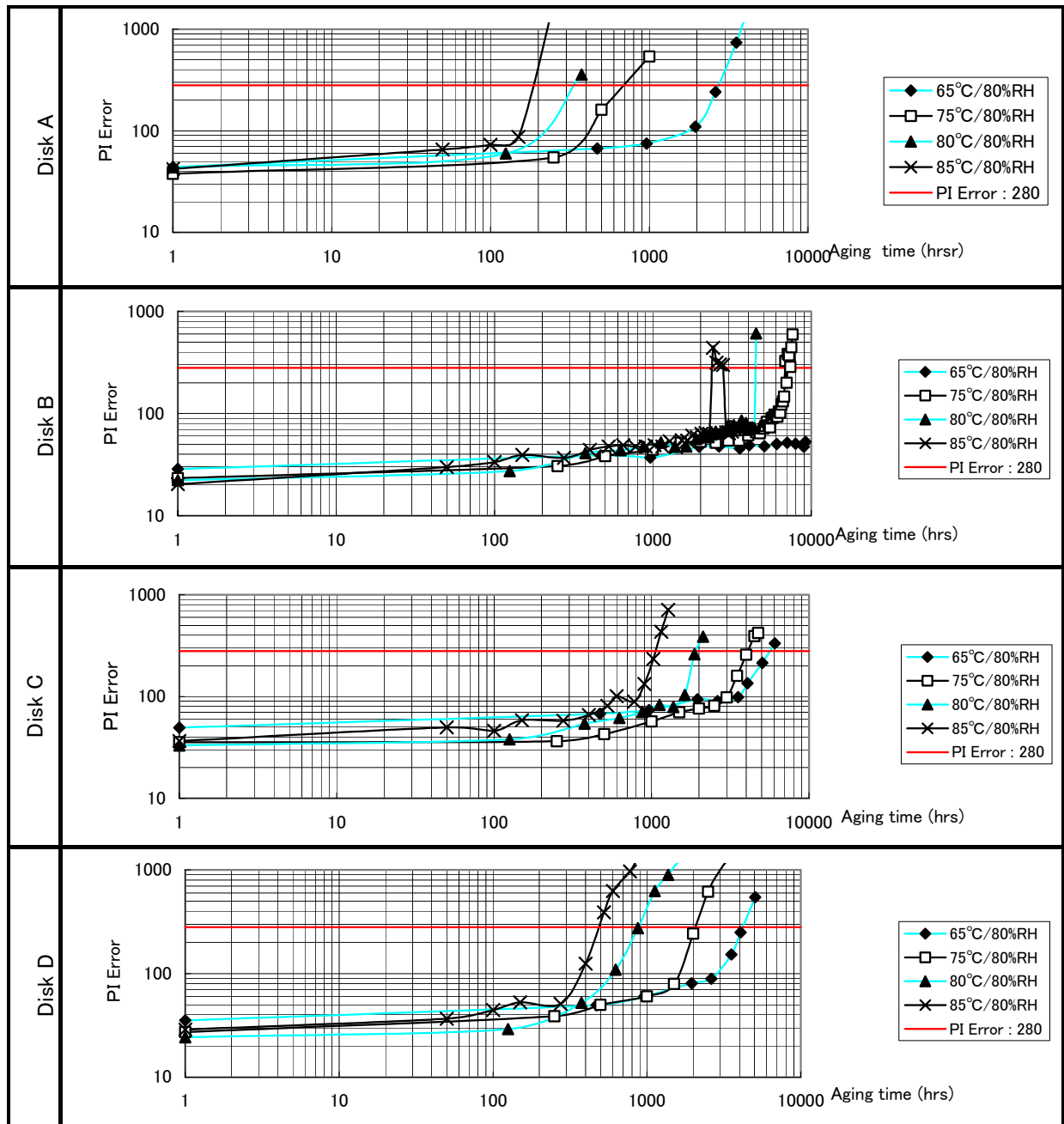


図 2-6-2-1(A) パイオニア DVR-105 で記録したディスクの温湿度試験結果

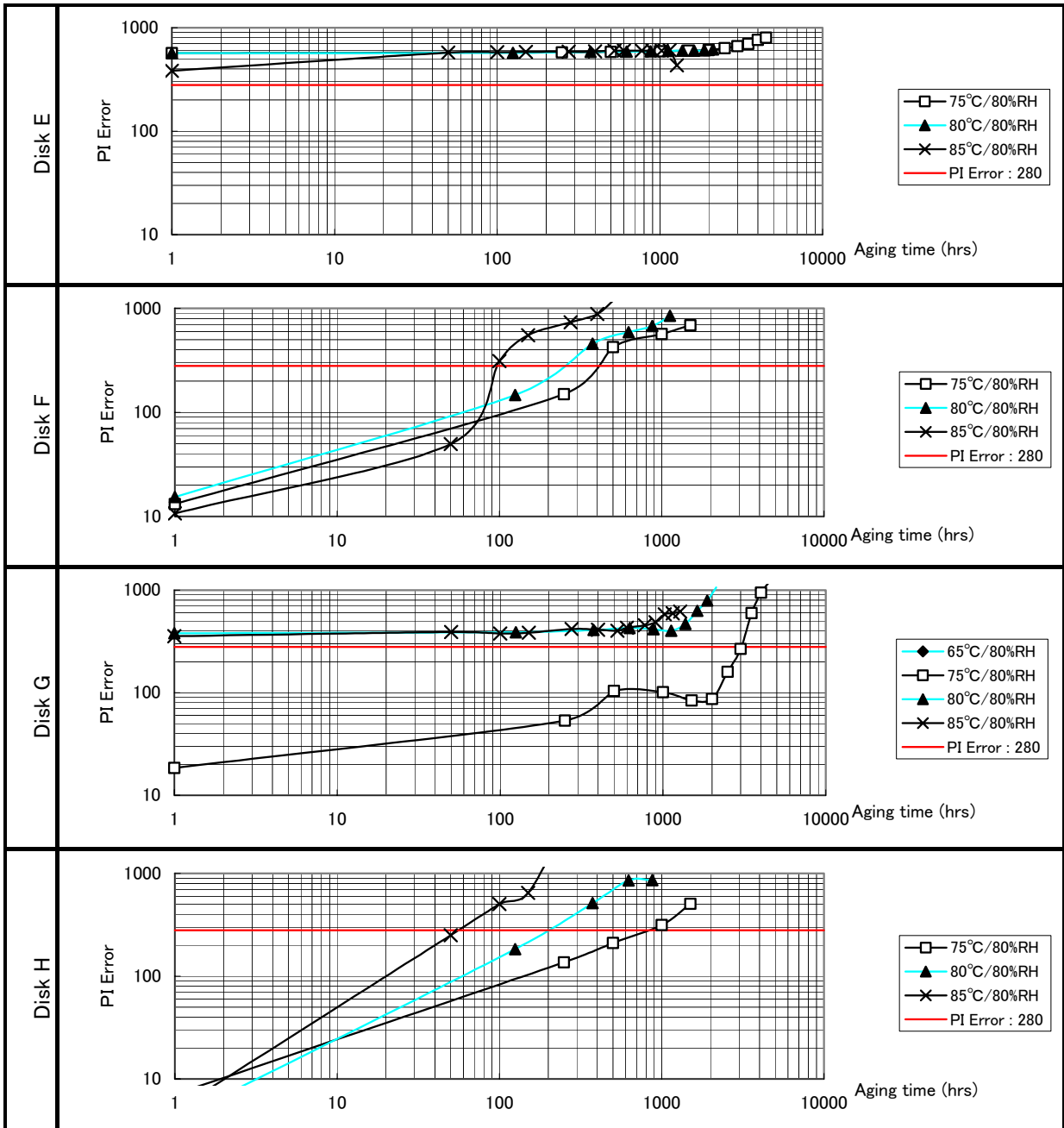


図 2-6-2-1(B) パイオニア DVR-105 で記録したディスクの温湿度試験結果

2) 評価者 2 の試験結果

評価者 2 はソニー社製 DVD-R/RW ドライブ DRU-500 を用いて 4 倍速記録し、評価者 1 と同様の試験を行った時の、PI エラーの変化の様子を図 2-6-2-2(A), (B) に示す。

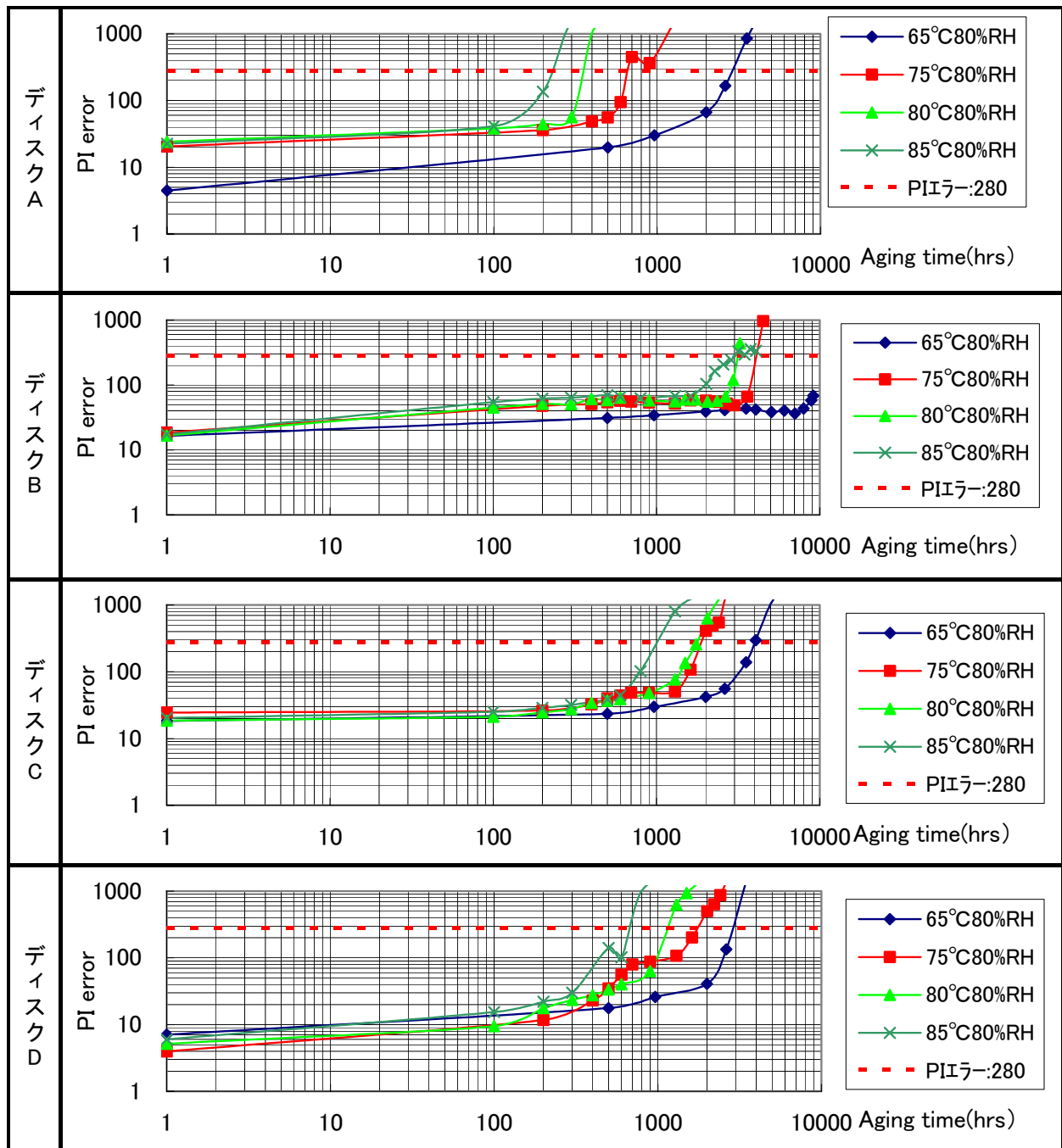


図 2-6-2-2(A) ソニーDRU-500 で記録したディスクの温湿度試験結果

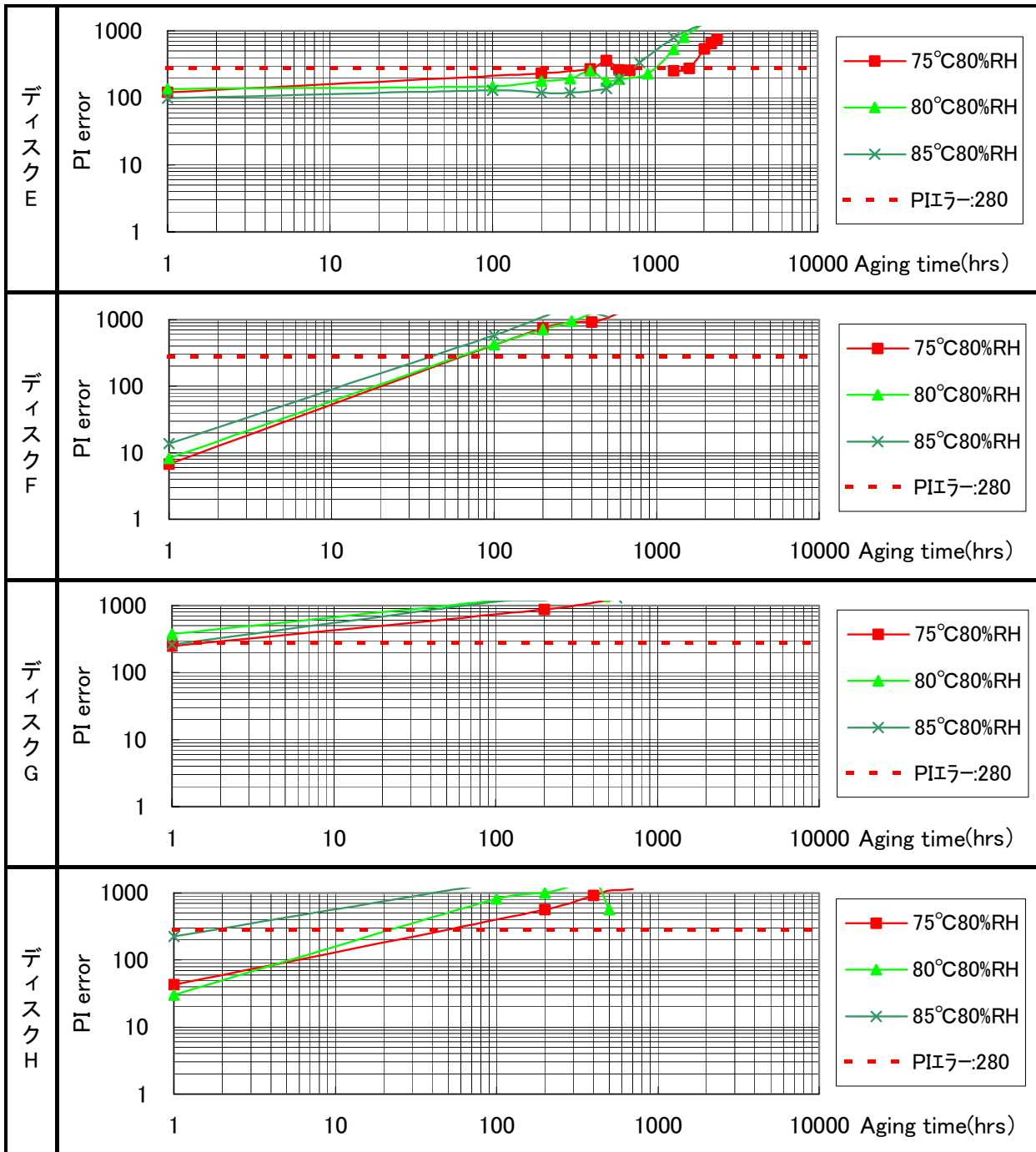


図 2-6-2-2(B) ソニーDRU-500 で記録したディスクの温湿度試験結果

(b) DVD-RAM

2) 評価者4の試験結果

評価者3と同様、5ブランドのディスクについて、65°C/80%RH、75°C/80%RH、80°C/80%RH、85°C/80%RHの4つの環境でのバイトエラーレート(BER)の時間変化を測定した。その結果を図.2-6-2-4(A)~(D)に示す。BERは1枚のディスクの全領域における平均値であり、75°C、80°C、85°Cの環境においてはディスク3枚ずつ、65°Cの環境においてはディスク5枚ずつについて測定を行った。

なお、65°Cの環境における測定は、平成16年度の「長期保存のための光ディスク媒体の開発に関するフェージビリティスタディ」における測定を継続して行ったものである。

すべての環境において、ほぼすべてのディスクのBERが許容限界値である $9E-4$ を越え、各環境での加速劣化寿命を求めることができた。65°Cの環境においては、台湾Cブランドのうち1枚のディスクでBERが $9E-4$ 以下であったので、このディスクについてはBERの実測値データを外挿して65°Cでの加速劣化寿命を推定した。

平成16年度すでに報告したように、BERが許容限界値に達しなかったディスクのうち、国内Aブランドのディスクにおいて新しい劣化モードが明らかになった。ディスク表面の白濁である。国内Aブランドディスクにおいては、75°C環境に1736時間、80°C環境に1736時間投入したディスクの表面に白濁が生じた。図.2-6-2-3に80°C環境に1736時間投入した後のディスクの表面状態の顕微鏡写真を示す。白濁の生じたディスクはBER測定用ドライブで検知不能となって、寿命試験の継続ができなくなった。他のブランドのディスクにおいてはこの現象は生じておらず、ディスク表面の白濁はAブランド固有の劣化モードであると考えられる。

従って、Aブランドディスクにおいては、ディスク表面の白濁が生じる直前までのBER実測値から関数近似によって外挿を行い、加速劣化寿命を推定した。

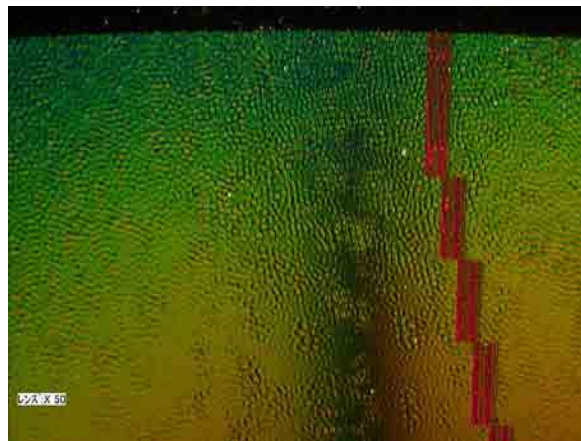


図.2-6-2-3 国内Aブランドディスクの表面白濁

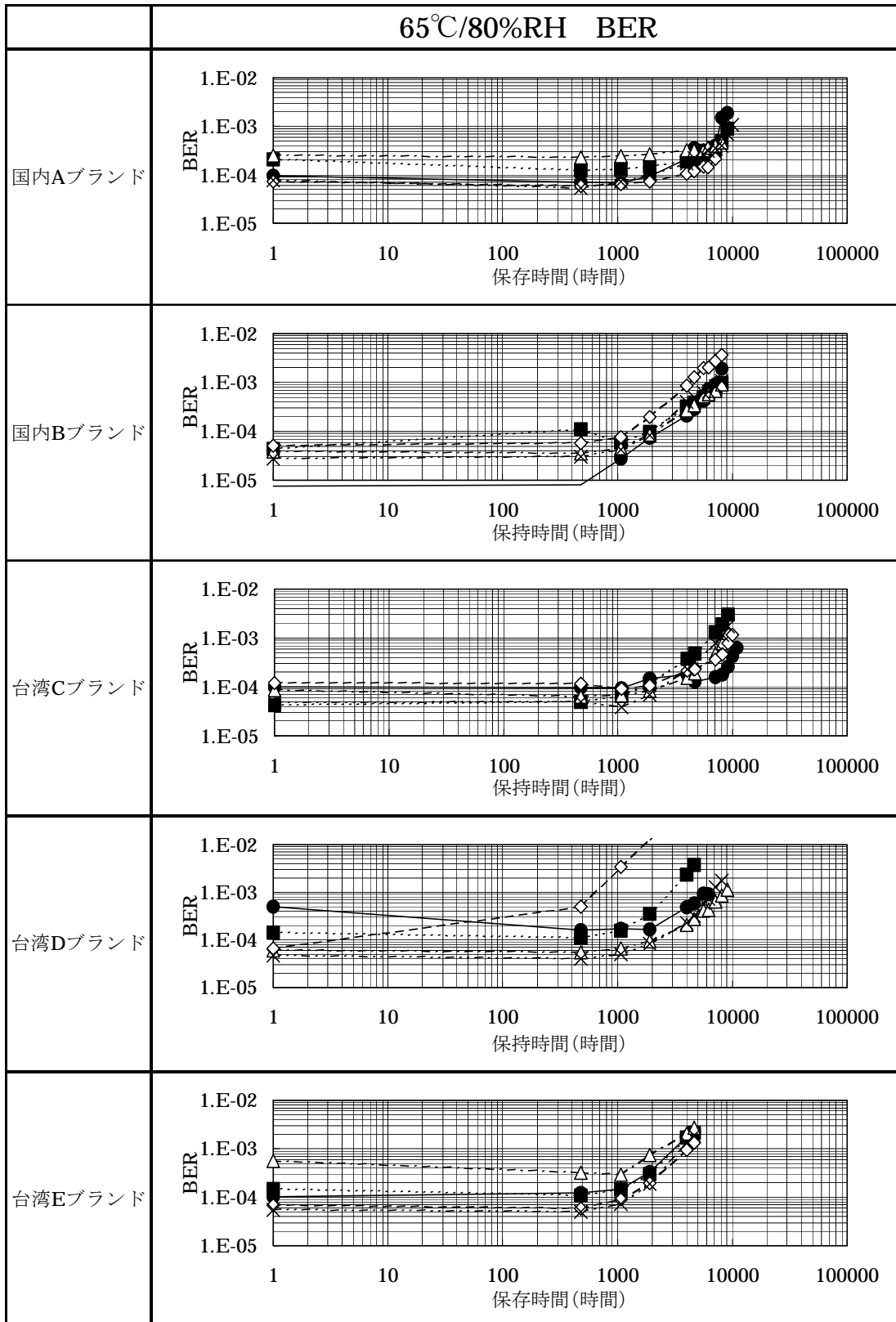


図.2-6-2-4(A) 65°C/80%RHにおける BER 変化

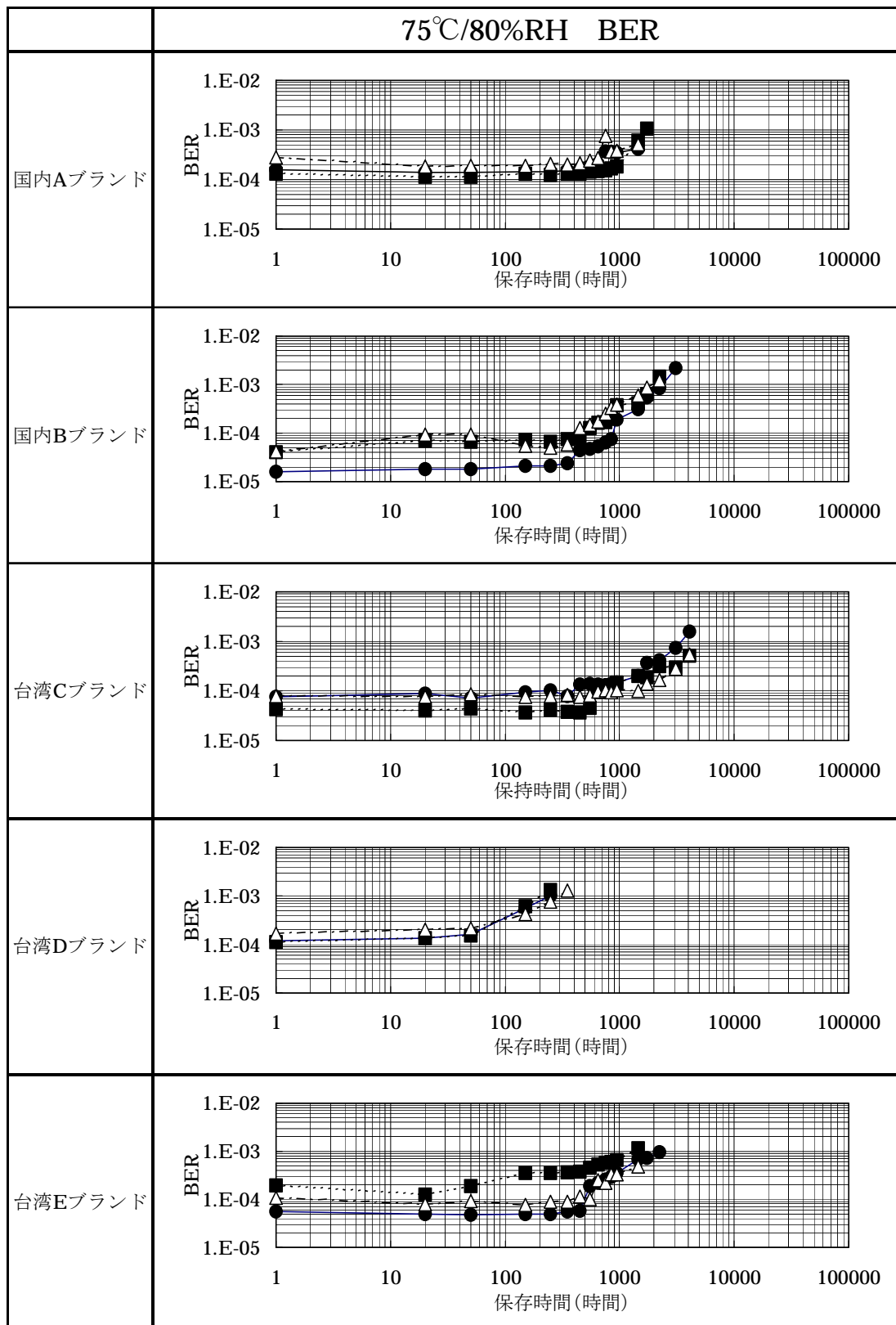


図.2-6-2-4 (B) 75°C/80%RH における BER 変化

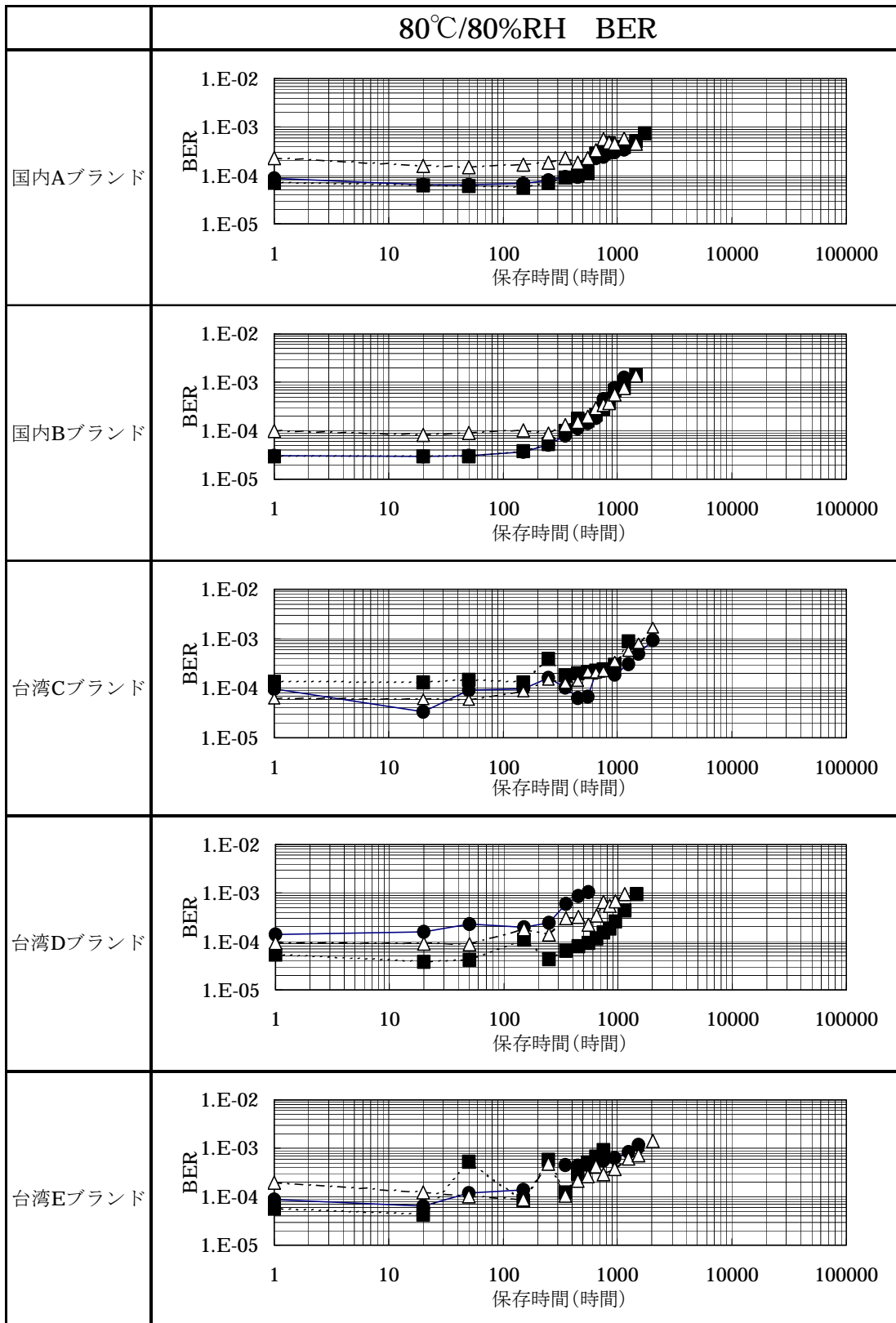


図.2-6-2-4 (C) 80°C/80%RH における BER 変化

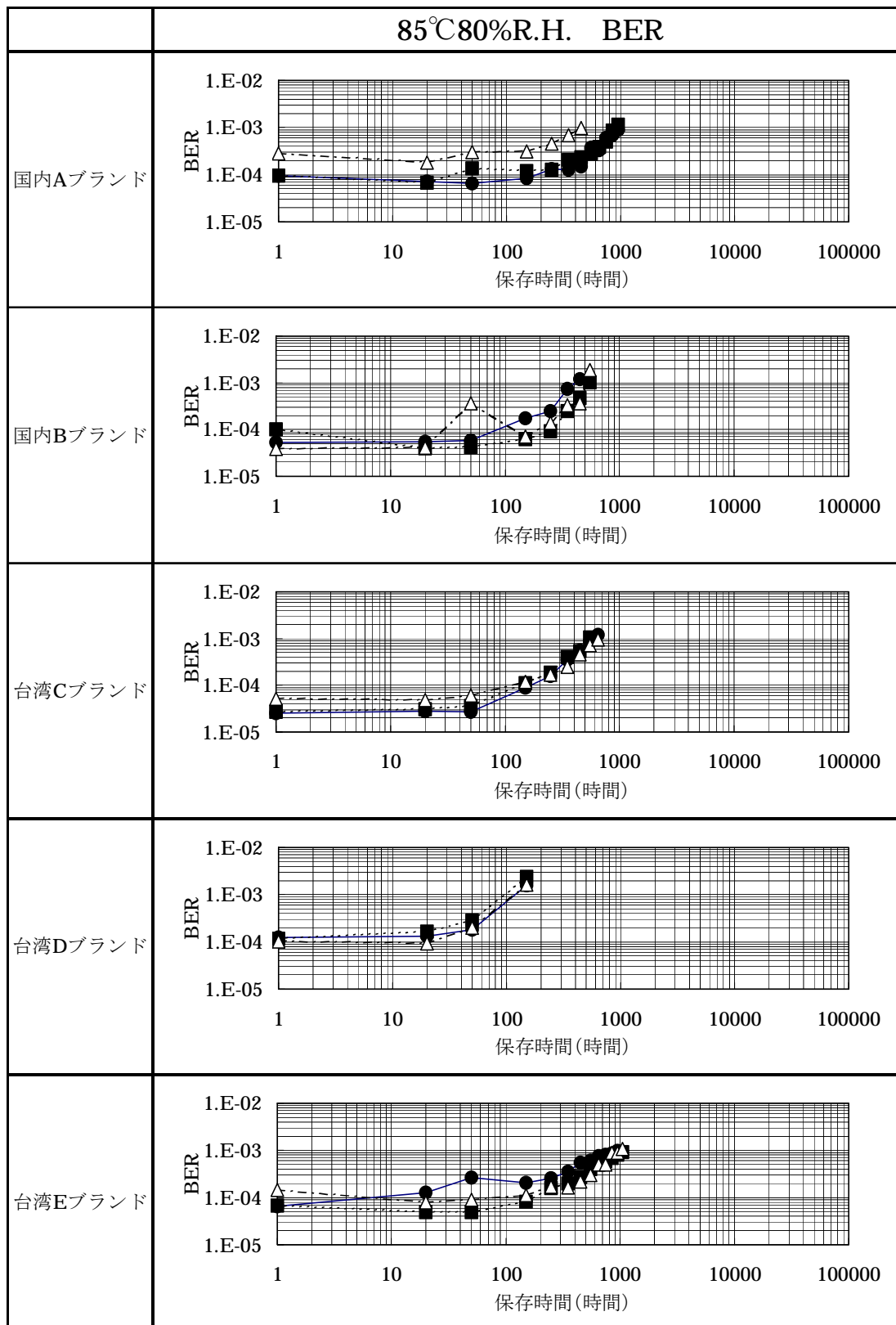


図.2-6-2-4 (D) 85°C/80%RH における BER 変化

(c) DVD-RW

評価者 5 は、5 ブランドの各ディスク (各サンプル数 n=5) について 4 環境 (65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH) の加速試験を実施し PI エラーの変化結果を図 2-6-2-5 に示す。

グラフは、各特性について各環境での経過時間における n=5、3 測定位置の全データの平均値をプロットした。寿命予測において重要な特性である PI エラーの値で、加速劣化試験の結果読み取りが不可能になったサンプルについては、PI エラーがとりうる最大値を代入した。その他の特性値は測定不能になった場合、前回の値を代入した。

結果は初期特性と同様、ブランド間の差が顕著に現れた。また、温湿度試験環境が記録特性ばかりではなく、サンプルによっては機械特性である反りに大きく影響を与えた。ブランド毎の試験結果状況は次のとおりである。

A ブランドは、温度が高い環境では許容限界値(PI error:280)に早く達したが、65°Cの環境では約 8500 時間と長時間で、試験範囲では温度の影響が大である。また、反りは変化量が少なく、初期値よりも値が小さくなる方向に、かつ、このブランドだけがマイナス方向に変化した。ただ、R14H の低下が大きく、初期値も低かったためにサンプルによっては規格値の 18% を大きく割り込み、12%まで低下している。寿命到達サンプルに外観上の変化は少なく、65°C の環境でのみ小さな斑点が観察できた。限界点付近の PI エラーの上昇は比較的緩やかである。

B ブランドはすべての試験環境において許容限界点に達する時間が最も長かった。反りはラジアル方向で 85°C環境において最大 0.76 度まで変化した規格内(0.8 度)に収まっている。限界点付近の PI エラーの上昇は急なものがある。

C ブランドは、高温 (80°C、85°C) では長い耐環境時間を示したが、低温 (65°C) では短めであった。寿命到達サンプルは膜に外観上の変化があり、しみのような模様が見られた。また、限界点付近の PI エラーの上昇は急なものがある。

D ブランドは、65°Cの寿命に対して 85°Cは極端に短いという結果になった。さらに、同じ温度環境でもサンプルによる差が非常に大きく出た。許容限界値に達したディスクは、特に長い時間経過したものほどしみのような模様が膜に見られた。また、どの試験環境でも R-tilt がプラス側に大きく、同じような経過時間で現れた。

E ブランドはすべての環境で非常に短い寿命となった。初期値も悪く、分布も大きいため、すぐに許容限界値に達した。またそれらのサンプルはすべて全面に膜の変質が見られた。4つの温度環境のすべてにおいて、高温側 3 条件で 24 時間、65°Cで 500 時間の 1 回目の評価において寿命に達した。特に反りは初期値において-0.8 度とすでに規格 (±0.8 度) を外れていたが、すべての試験環境において大きく+側に変化し、+2.5 度と大きく規格から外れた。

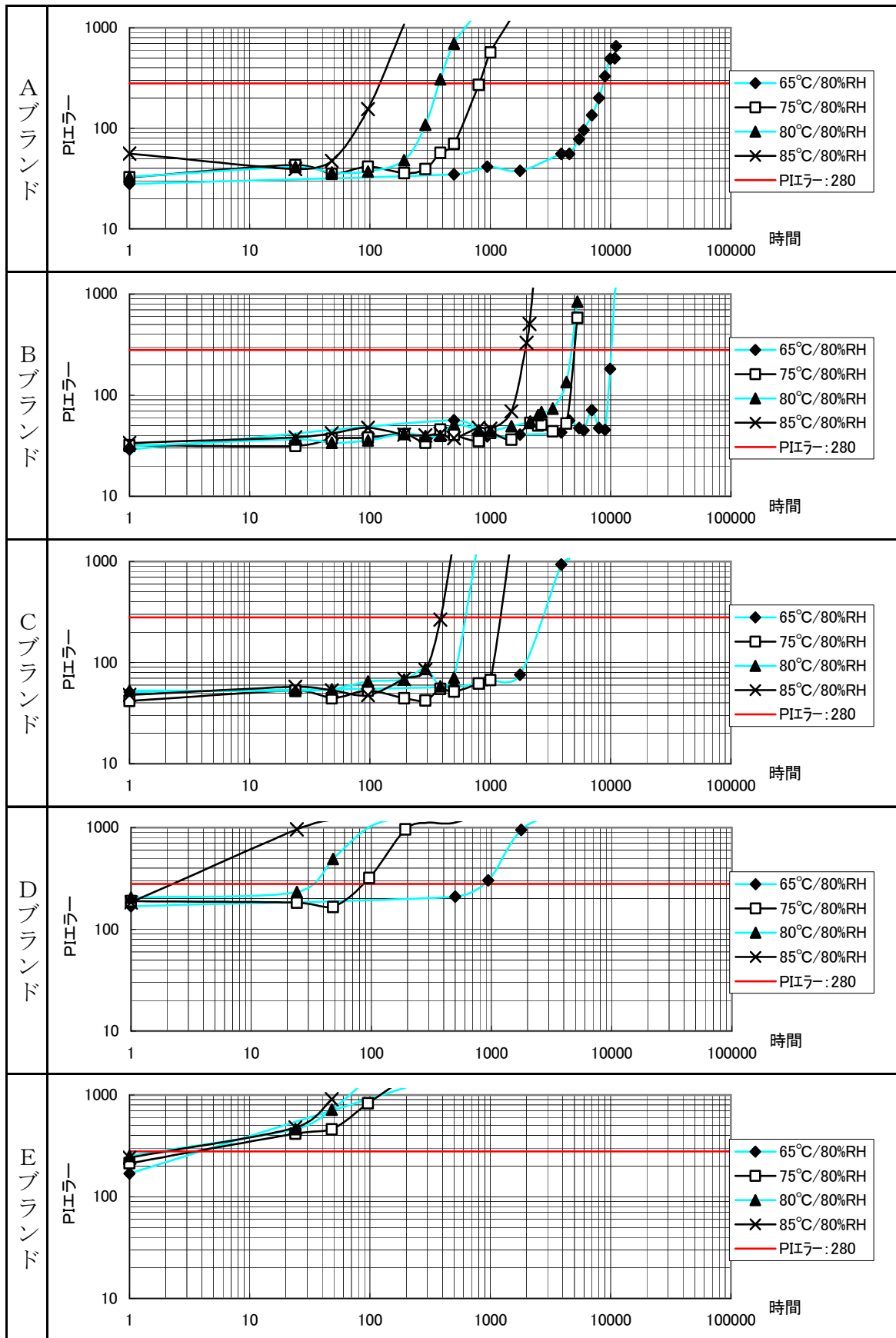


図 2-6-2-5 温湿度試験における PI エラーの変化

## (2) 耐光性試験結果

### (a) DVD-R

平成 16 年度までに行った耐光性試験の結果を示す。耐光性試験は DVD-R については評価者 1 のみが行った。ディスク A、B、C、D、E、F、G、H をパイオニア社製 DVD-R/RW ドライブ DVR-105 を用いて 4 倍速記録し、耐光性試験を行った。昨年度までの 48、72、96 時間の暴露試験に加え、本年度は 120、144 時間の暴露試験を行った。ディスク F は 120 時間以降、ディスク H は 48 時間以降、測定ができなかった。

### (b) DVD-RAM

#### 2) 評価者 4 の場合

耐光性試験については、平成 15 年度に行った検討結果であり、本年度は新たな追加試験等は実施していない。

5 ブランド (各  $n=1$ ) について初期の BER 測定後、96、192 時間の暴露試験をした。5 ブランド中、BER 上昇が顕著に見られるディスクはなかった。

### (c) DVD-RW

相変化記録を用いている DVD-RW には光による影響はないと考えがちであるが、特性には次のような結果となった。

A ブランドは R14H、I14/I14H、Asymmetry に影響が出た。特に R14H は、72 時間で 13.3% にまで低下した。しかし、PI エラー、チルトはほとんど変化しなかった。

B ブランドは同様に R14H、I14/I14H に少し変化が出た。PI エラーはほとんど変化しないが、R-tilt は規格内ではあるがマイナス側に 0.5 度変化をした。

C ブランドは R14H、I14/I14H、Asymmetry が大きく変化した。PI エラーはほとんど変化がないものの、R-tilt が大きくマイナス側に変化し最大値で -1.17 度になった。

D ブランドは他ブランドと比較して記録特性の変化は少ないものの、PI エラーが変化をし始めた。R-tilt もプラス側に大きく外れていたのがマイナス側に 0.6 度変化した。キセノンランプの光そのものが特性に影響を与えたかどうか判断しにくいだが、この耐光性試験はディスクに影響を与えた。

E ブランドは記録特性の変化は少ないものの、PI エラーは劣化が始まった。初期値が大きく、ばらつきも大きいいため、光がエラーに影響を与えたかどうかは判断できない。

耐光性は今回の試験範囲においては、初期値が安定している A、B、C ブランドの寿命推定に大きな影響を与えないと判断する。

### (3) 耐ガス試験結果

#### (a) DVD-R

平成16年度までに行った耐ガス試験の結果を示す。耐ガス試験についても耐光性試験同様、評価者1のみが行った。ディスクA、B、C、D、E、F、G、Hをパイオニア社製DVD-R/RWドライブDVR-105を用いて4倍速記録し、対ガス試験を行った。昨年度の48時間暴露に加え、72、96、120時間の暴露試験を行った。

#### (b) DVD-RAM

耐ガス性試験については、平成15年度に行った検討結果であり、本年度は新たな追加試験等は実施していない。

5ブランド(各n=1)について初期のBER測定後、96、192時間の暴露試験を行った。5ブランド中、BER上昇が顕著に見られるディスクはなかった。

初期、96時間暴露後、192時間暴露後に測定を行った。ガス試験によってBERの増加はほとんど見られず、耐ガス性については問題がないレベルであると考えられる。

なお、外観等については各ディスクとも変色等の顕著な変化は見られなかった。

#### (c) DVD-RW

耐ガス試験はDVD-Rと同一の試験装置を用い、他試験と同様の初期記録したサンプルを48時間暴露させた。

耐ガス試験は記録特性にはほとんどブランドに影響を及ぼさなかったが、EブランドのPIエラーは大きく変化した。BブランドのPIエラーも変化しているように見えるが、1ポイントだけ取り扱い傷によると思われる少し高い値が含まれている。D、EブランドのR-tiltは温湿度試験と同じ方向に変化があった。

## 2.6.3 考察

### (1) DVD-R

#### (a) 温湿度試験

評価者1が試験した結果では、同じ試験条件でも、ディスクBのように85°C/80%RHでも1000時間以上もほとんどPIエラーの増加が見られないディスクもあれば、ディスクF、Hのように100時間以下で許容限界値（PIエラー：280）を上回ってしまうディスクもあり、かなりブランドにより劣化の様子が異なった。

ディスクBは劣化が遅く、75°Cでは7000時間前後で3枚とも許容限界値に達し80°Cでは4500時間で3枚中1枚が測定不能となったが、65°Cでは9200時間、85°Cでは3400時間まで試験が進んだが許容限界値にはまだ達していない。ディスクE、Gについては、初期からPIエラーが許容限界値を超えており、アレニウス法で寿命を推定することはできなかった。

PIエラーと加速時間との関係を見ると、ディスクF、HではPIエラーは加速時間のLog関数的に増加したのに対し、ディスクA、C、Dでは指数関数的に増加した。この違いは、PIエラーの増加要因が違うことに由来するものと考えられる。

評価者2が試験した結果ではディスクA、B、C、Dは初期のPIエラーは低く、ディスクA、Dについては比較的明瞭な温度依存性が確認できた。ディスクCについては75°C80%RHと80°C80%RHで同程度の結果となっているが、温度条件が5°C間隔だったため、試験槽の環境条件のばらつき等でこのような状態になったと考えられる。ディスクBについては65°C80%RH以外は、寿命に達した。65°C80%RHは、8893Hr経過後わずかにPIエラーが上がりはじめたが、寿命である許容限界値にはまだ達していない。ディスクE、G、Hについては初期からPIエラー値が高く、E、F、G、Hについてはアレニウス法で寿命を推定するための加速試験寿命値を得ることができなかった。

また、2.6.2(1)(a)で述べたように、ディスクの外周部に圧力がかかる構造の容器を輸送や保管に使用すると、外周のPIエラーの劣化を加速することが判明した。このことから信頼性試験を行う際は輸送形態や保管する際に用いるケースについても十分に留意する必要がある。

#### (b) 耐光性試験

ディスクHは48時間後以降は測定できない程、激しく劣化した。ディスクH以外のディスクでも、PIエラーの増加が観察されたが、72時間までは規格上限値280を上回っておらず、72時間以上の寿命が確認されている。

48時間後以降は測定できなかったディスクHは、耐光性試験後、記録層が褪色していることから、記録層が激しく劣化しているものと推測される。

今回、試験に用いた耐光試験機は26600lxであり、これに投入時間を掛けると積算照度が算出される。72時間での積算照度は

$$26600\text{lx} \times 72\text{時間} = 1915200\text{lx} \cdot \text{時間}$$

となる。これは照度500lxの蛍光灯の下に置いた場合は

$$1915200\text{lx} \cdot \text{時間} / 500\text{lx} / 24\text{時間} \approx 160\text{日}$$

程度に対応することとなる。

耐光性の指標としては**European Wool Reference #5 (ISO-105-B02 参照)**があり、これ以上の耐光性があれば通常の衣類並みの耐光性があり実用上、問題ないとされている。今回、試験に用いた耐光性試験機の場合、**European Wool Reference #5**が変色する時間は44時間程度であり、ディスクH以外のディスクでは72時間以上の耐光性が確認されており、実用上、問題ないと言える。

#### (c) 耐ガス試験

暴露48時間までは、どのディスクもPIエラーの増加は観察されなかった。ディスクHのみ、72時間でPIエラーの上昇が見られた。

今回、試験した硫化水素濃度は200ppmであり、温泉地（<1ppm）の数百倍に相当する。一水準の試験であったため明確な加速係数を求めるに至っていないが、50℃90%RHの環境とあわせて、暴露48時間の耐久性は、想定される通常的环境下で問題ないことを示した結果と思われる。

## （2）DVD-RAM

### （a）温湿度試験

一般的な傾向として、国内ブランド品に比べて台湾ブランド品の試験結果はばらつきが大きい傾向が見られた。例えば、評価者3が行った試験において、80℃/80%RHでの台湾Cブランド品、Dブランド品や、85℃/80%RHでの台湾Eブランド品においては、測定を行った3枚のディスクのBER変化の仕方にばらつきが観察される（Fig. 2-6-2-4 (C)、(D)）。また、評価者4が行った試験において、台湾Dブランド品では75℃/80%RHでの加速劣化寿命よりも80℃/80%RHでの加速劣化寿命のほうが長い、すなわちより高い温度での加速劣化寿命が長いという、反応速度論に従わない現象が見られている（Fig. 2-6-2-6 (B)、(C)）。これは、75℃/80%RHの試験に用いたディスクと80℃/80%RHの試験に用いたディスクとの品質ばらつきによる可能性がある。従って、品質ばらつきが大きい製品の真の実力把握を行うためには、そのばらつきを考慮した試験方法が必要となる。

前項で述べたように、昨年度の試験では現れなかった新たな劣化モードが、国内Aブランドディスクにおいて観察された。ディスク表面の白濁である（Fig. 2-6-2-5）。この現象は他の4ブランドのディスクでは観察されなかったことから、Aブランドディスクに固有の劣化モードであると考えられる。この白濁を評価者4が調べたところ、ディスク表面に形成されたハードコート層材料が凝集したものであることがわかった。この凝集による白濁によってディスクがドライブで検知不能となったと思われる。ドライブが検知不能になる直前のBER実測値を見ると（Fig. 2-6-2-6 (B)、(C)）、BERが上昇している傾向が見られるが、このBER劣化は、記録膜の劣化（非晶質マークの結晶化など）と、ハードコート凝集による白濁との複合要因によって生じている可能性がある。正確な寿命予測を行うためには、これらの複合要因を切り分けることが重要である。また、複合要因のうちの一つと考えられるハードコートの凝集を取り除くことによって、より長寿命の媒体を開発できる可能性がある。長寿命ディスクの開発については第4章で詳細に述べる。

### （b）耐光性試験

耐光性試験においては、一部のディスクでBERの増大が見られたほかはほとんどのディスクで顕著なBERの増大は見られなかった。BER増大がみられた一部のディスクにおいてはR-Tilt変化が見られており、これが原因である可能性があるが確認が必要であるが、今回試験を行ったディスクは、長時間の光暴露に対して実用的に十分な品質を持っていると考えられる。

### （c）耐ガス試験

耐ガス性試験においては、どのディスクも顕著なBERの増大は見られなかった。今回試験を行ったディスクは、硫化水素ガス暴露に対して実用的に十分な品質を持っていると考えられる。

## （3）DVD-RW

### （a）温湿度試験

各環境における特性の変化は、基本的に温度との関連がある結果となった。ただし、各ブランドの耐環境時間には大きな差があり、後で述べる予測される寿命も差のあるものになった。

結果の中で、PI エラーや反りに注目すると、短い時間で許容限界値を超える D、E ブランドは、初期特性の値も規格から外れていたりと、ばらつきも大きい傾向があるといえる。

結果のグラフは各測定条件の平均でプロットを行ったが、短い時間で寿命を迎えた D、E ブランドは n=5 の中でばらつきも大きく、平均値がその測定条件の傾向をすべて示すことはできない。

温湿度加速試験での劣化の状況はブランドにより異なることがわかった。

A ブランドは特性劣化後の外観にてほとんど変化が見られず、また変化も比較的穏やかなことから、PI エラーの増加に関しては記録膜のマーク、特に 3T マークが変質により劣化した(図 2-6-3-1 参照) と推測する。R14H の低下が大きく反射膜の変質もあるが、I14/I14H の上昇が見られ、記録膜も何らかの変質があるようである。

B ブランドは劣化したサンプルが少ないが特性劣化が急激であることから反射膜の腐食であると考えられる。

C ブランドは SEM-EDS 観察の結果、反射膜の銀イオンの変移、変形が見られ、劣化時には肉眼でしみ(図 2-6-3-2 参照) のようにはっきり見える変化が現れる。反射膜の材質的傾向であると推測する。

D ブランドも反射膜の劣化が確認されたが、SEM-EDS 観察で反射膜内の銀の硫化が発生していると考えられる。

E ブランドは反射膜の銀が酸化している。(図 2-6-3-3 参照) これは水分の遮蔽効果が不足していることによって発生していると推測できる。

相変化記録を利用した DVD-RW は、記録後の放置時間による反射率の低下や、マークの変化のほかに記録膜、反射膜の腐食などがあり、これらがブランド間の劣化時間の差を作っていると推測できる。

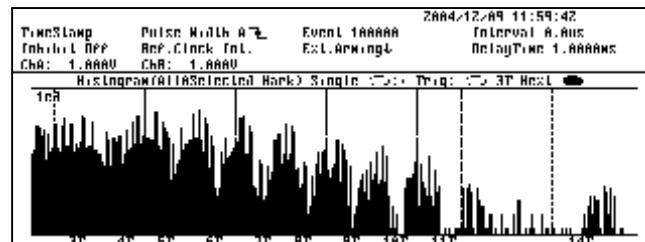


図 2-6-3-1 A ブランドの試験後のマーク長分布

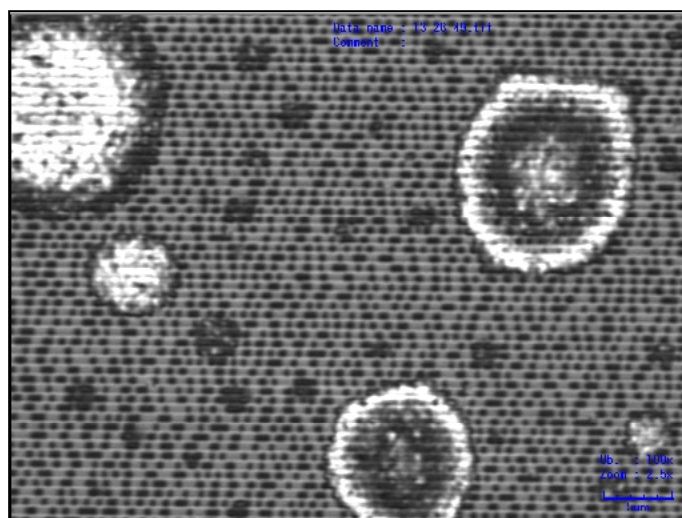


図 2-6-3-2 C ブランドの試験後のしみ

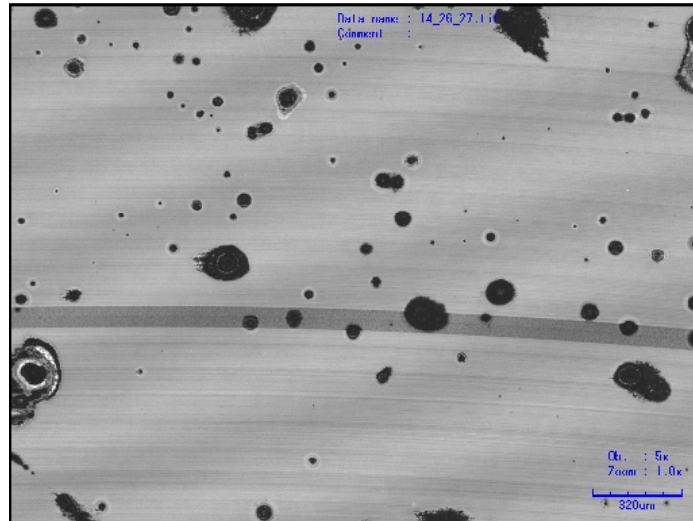


図 2-6-3-3 Eブランドの試験後の腐食

#### (b) 耐光性試験

キセノンランプによる耐光性試験はEブランドのみPIエラーの上昇が見られたが、他のブランドにおいてPIエラーはほとんど変化がなかった。ただし、R14H、I14/I14Hに対しては、温湿度試験以上に、光によるエネルギーが、記録されたマークに影響を与えたようで、変化が見られた。また、ランプの紫外線がディスクに塗布されている接着剤、ハードコート剤、印刷インクなどのUV硬化樹脂に作用し、反りの変化も見られた。ただ、長期保存においてディスクを日光が当たるようなところに置くわけではないので、暗所あるいはケースなどに入れて保存すればPIエラーにまで影響を与えることはないであろう。

#### (c) 耐ガス試験

硫化水素ガスによる試験においてもEブランドのみPIエラーの上昇が見られたが、他のブランドではすべての特性でほとんど変化を起さなかった。Eブランドにおいては、硫化水素ガスがポリカーボネート性のディスクを透過したとは考えにくく、耐ガス試験の試験環境が50°C90%RHであるため、温湿度試験から推測しても硫化水素ガスではなく、温度湿度が影響を与えたと考察する。よって、耐ガスは今回の試験範囲においては、寿命推定に大きな影響を与えないと判断する。

## 2.7 加速劣化試験結果のまとめと寿命推定

### 2.7.1 加速劣化試験における寿命評価指標

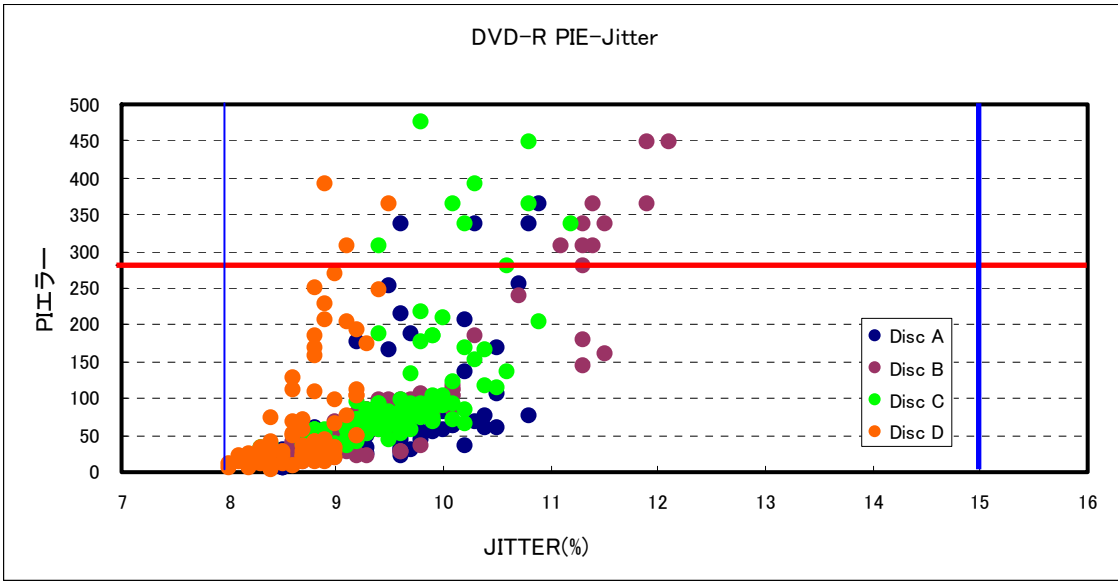
この研究では光ディスクの寿命を、記録されたデータが正しく再生できる期間と定義し、評価指標としては、エラーレートを用いている。これは、記録されたデータが正しく再生されるか否かを直接的に判断する指標としてエラーレートが最も適しているとの考えに基づく。

一方では、ジッターの方が評価指標として適しているという意見もあるので、本年度は過去に蓄積したデータを用いた検討を行っている。図2-7-1はジッターとエラーレート(PIエラー)の相関をDVD-RとDVD-RWについて示す。これは、4種類の温度で行った加速試験の過程で得られたジッターとPIエラーの相関を示したもので4種類の温度のデータをまとめて示している。図中のA、B、C・・・はブランド名を示すが、DVD-RとDVD-RWでは同じ記号でもブランドは異なる。

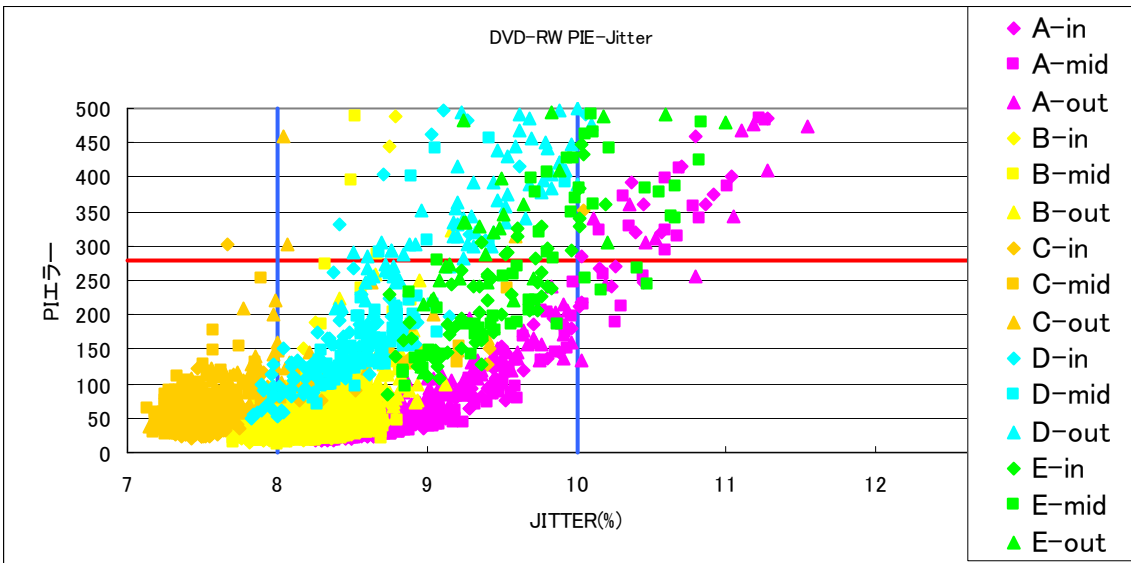
図によると、同じブランドで見るとエラーレートもジッターも試験時間が進むにつれて増加する傾向は同じであるが、エラーレートが規格値を越えた時点で寿命が来たという判断基準をとる限り、評価指標として適しているのはエラーレートであることがわかる。このデータより、ジッターがある値を超えたら寿命が来た(エラーレートが規格値を越えた)と判断することは極めて困難であることもわかる。

特に、ジッターが規格値の8%以下でもPIEが280を超える場合がある点には注意を要する。これは、ディスクの欠陥に基づくバーストエラーであると考えられ、エラー訂正もやりにくいものである。このようなエラーは、ジッターを評価指標とする限り検出できない。

本研究では、エラーレートの限界値として規格に定められている値を用いることとし、DVD-R及びDVD-RWではPIエラー=280とした。DVD-RAMでは規格に定められていないので、PIエラー:280に相当する値としてBER=9E-4とした。



(a) DVD-R



(b) DVD-RW

図 2-7-1 ジッターとPIエラーの相関

## 2.7.2 加速劣化試験結果のまとめと寿命推定

### (1) DVD-R

#### (a) 評価者1の場合

2.6.2 で得られた結果をもとにアレニウス法により寿命推定を行った。この際、PI エラーが許容限界値の 280 を超えた時点を加速劣化試験寿命とした。加速劣化試験前に PI エラーが既に許容限界値 280 を超える測定値があったディスク E と G は寿命推定不能であると判断した。ディスク G はディスク毎に初期特性のばらつきも大きく、この点でも寿命推定に適さないと判断した。また、ディスク B は 75°C80%RH では 700 時間前後で 3 枚とも許容限界値に達し 80°C80%RH では 4500 時間で 3 枚中 1 枚のエラーが増加して測定不能となったが、65°C80%RH (9200 時間まで) と 85°C80%RH (3400 時間まで) では PI エラーが 80 以下で PI エラーの許容限界値よりもかなり小さく、寿命推定できる程には劣化が進んでいない。このため現時点では寿命推定はできないと判断した。ディスク B については継続評価が必要である。

これらの結果からアレニウス法により下記の手順で寿命を推定する。

- 1) 65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の各加速条件で PI エラーが許容限界値 280 に達するのに要した時間（加速劣化試験寿命）を求めた。
- 2) 上で求めた加速劣化試験寿命をプロットし、アレニウス法により、保存環境 25°C80%RH と 30°C80%RH での寿命を推定した。

1) で求めた各ディスクの各加速条件で加速劣化試験寿命を図 2-7-2-1 に示す。昨年度は温湿度試験時間が短く（特に 65°C80%RH）、一部、外挿で加速劣化寿命を求めたが、本年度は、ディスク B 以外は全て実測で加速劣化寿命を求めることができた。

寿命推定の精度を向上させるため追加した 65°C80%RH の条件の有効性を検証するため、ディスク A、C、D については、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の 3 加速条件でのデータをもとにしたアレニウス・プロットと 65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の 4 加速条件でのデータをもとにしたアレニウス・プロットの 2 種類を作成した。ディスク F、H については、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の 3 加速条件でのデータをもとにしたアレニウス・プロットのみを作成した。これから求めた各ディスクの推定寿命は図 2-7-2-2 のようになる。

ディスク A、C、D はばらつきが小さく、各条件での加速劣化寿命の測定点がほぼ直線上にのりアレニウス・プロットで寿命予測が可能と考えられる。ディスク E、F、G、H は、ディスク間で加速劣化試験寿命のばらつきが大きく、寿命推定を行うには適さない。ディスク H は、耐光性試験でも 48 時間後には、色素記録層が退色し記録特性が測定できないほど劣化が進み、高寿命媒体としては適していないと言える。

次に 65°C80%RH の試験の有効性について、ディスク A、C、D の 75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の 3 加速条件でのデータをもとにしたアレニウス・プロットと 65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RH の 4 加速条件でのデータをもとにしたアレニウス・プロットから求めた推定寿命を比較した結果も図 2-7-2-2 に示す。ディスク C、D では、3 条件から求め推定寿命と 4 条件から求めた推定寿命でかなりの隔りがある。従って、正確な寿命推定を行うためには、長期間を要するが少なくとも 65°C80%RH の試験は必要と考える。

なお、Asymmetry が寿命に及ぼす影響については実験した結果を、4.1 に記載している。

PIエラー基準値280に達するのに要した時間																	
Disc	Disc A				Disc B				Disc C				Disc D				
	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	
1	2749	659	321	183	9200時間まで劣化が十分進んでおらず寿命推定不可能	6970	4428	3400時間まで劣化が十分進んでおらず寿命推定不可能	4730	4273	2334	1195	4296	1958	906	474	
2	2662	724	321	227		7110	4500時間まで劣化が十分進んでおらず寿命推定不可能	6066	5235	1719	1176	4160	1977	879	463		
3	2645	674	327	241		7240	6970	3540	2371	940	4510	2322	858	549			
4	2652	-	-	-		-	-	-	-	-	5250	-	-	-	4112	-	-
5	3195	-	-	-		-	-	-	-	-	6046	-	-	-	3945	-	-
Average	2781	686	323	217	-	7106	-	-	5812	4349	2141	1104	4205	2085	881	495	

PIエラー基準値280に達するのに要した時間																
Disc	Disc E				Disc F				Disc G				Disc H			
	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C
1	ディスク枚数不足のため試験できず	ディスク枚数不足のため試験できず	ディスク枚数不足のため試験できず	ディスク枚数不足のため試験できず	ディスク枚数不足のため試験できず	258	246	103	ディスク枚数不足のため試験できず	3087	初期特性不良で寿命指定不可能	899	ディスク枚数不足のため試験できず	452	71	37
2						435	215	96		3013	初期特性不良で寿命指定不可能	943		450	111	
3						471	243	94		2896	1457	初期特性不良で寿命指定不可能		1394	258	48
4						-	-	-		-	-	-		-	-	-
5						-	-	-		-	-	-		-	-	-
Average	-	-	-	-	-	388	235	98	-	2999	-	-	-	930	260	66

図 2-7-2-1 各ディスクの各加速条件で加速劣化試験寿命  
(PI エラー基準値 280 に達するのに要した時間)

Disc	75、80、85°Cのデータを用いて求めた推定寿命		65、75、80、85°Cのデータを用いて求めた推定寿命		備考
	25°C80%RH	30°C80%RH	25°C80%RH	30°C80%RH	
A	76年	34年	165年	69年	
B	-	-	-	-	劣化が進んでおらず 継続評価必要
C	1852年	719年	33年	20年	
D	1289年	478年	98年	48年	
E	-	-	-	-	初期特性不良
F	-	-	-	-	ディスクばらつき大
G	-	-	-	-	初期特性不良 ディスクばらつき大
H	-	-	-	-	ディスクばらつき大

図 2-7-2-2 寿命推定結果

(b) 評価者2の場合

2.6.2(1)で温湿度試験を行ったディスクについて、65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RHにおける加速劣化試験寿命を求めた。PIエラー値は、同一条件で加速劣化試験を行った3枚のディスクの3測定値(内・中・外)の平均値を用いた。

これらの結果からアレニウス法により下記の手順で寿命を推定した。

- 1) 図2-6-2-2(A)、(B)から65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RHの各加速条件でPIエラーが寿命の許容限界値である280に達するのに要した時間を求めた。その際、まだ、PIエラーが280に達していないディスクに関しては、関数近似による外挿線から280に達するのに要した時間を求め、推定値とした。(図2-7-2-3)
- 2) 上で求めた時間を図にプロットし、アレニウス法により、保存環境25°C80%RHと30°C80%RHにおける寿命を推定した。

得られたディスクA、B、C、Dのアレニウス・プロットより寿命を推定し、図2-7-2-4に示した。評価者1と同様に、65°C80%RHの条件の有効性を検証するため、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RHの3加速条件からと、65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RHの4加速条件からの加速試験寿命をもとに、2種類のアレニウス・プロットを作成した。なお、ディスクBは65°Cの加速試験寿命に達していないが65°Cの条件では10000時間を越えると予測されるので、外挿値を、10000時間として、4加速条件の作成を行った。また、ディスクE、F、G、Hは初期状態でのPIエラー値が大きいこと、さらにディスク間で許容限界値に達するのに要した時間のばらつきが大きく、今回の試験からは、ばらつきを含めた寿命推定のみでなく平均的な寿命推定をすることも困難であると考えられ、除外した。

ここで、ディスクA、C、Dの3加速条件からの推定寿命と、4加速条件からの推定寿命を比較すると、評価者1と同様に推定値に大きな差がある。今回得られたアレニウス・プロットの勾配は、メーカー毎に大きく異なっており、その結果、得られた加速試験寿命と実環境での推定寿命が必ずしも比例関係にないことは注目すべきである。

PIエラー基準値280に達するのに要した時間														:外挿値		
Disc	Disc A				Disc B			Disc C				Disc D				
	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C
1	2910	1197	324	213	劣化が進んでおらず9148Hrで寿命推定不可能	3731	3195	2461	4220	2320	1812	920	2740	1840	1210	630
2	2940	627	327	211		3666	3148	4070Hrで値の予測困難	4010	1745	1680	930	2750	1740	1085	650
3	2690	657	345	221		5516	3147	—	3850	1820	1805	950	2730	1670	1020	650
4	2850	—	—	—		—	—	—	4270	—	—	—	2710	—	—	—
5	2760	—	—	—		—	—	—	3920	—	—	—	2750	—	—	—
平均	2830	827	332	215	—	—	—	—	4054	1962	1766	933	2736	1750	1105	643
予測値	—	—	—	—	10000	4304.3	—	2461	—	—	—	—	—	—	—	—

予測値：関数近似による外挿で求めた、加速劣化試験寿命の推定値

PIエラー基準値280に達するのに要した時間																
Disc	Disc E				Disc F			Disc G				Disc H				
	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C	65°C	75°C	80°C	85°C
1	—	1685	1135	213	ディスク枚数不足のため試験できず	55	80	55	ディスク枚数不足のため試験できず	10	初期特性不良で寿命推定不可能	8	ディスク枚数不足のため試験できず	71	96	初期不良
2	ディスク枚数不足のため試験できず	15	初期不良	211		60	66	48		10	3	118		54	17	
3	—	455	1250	221		7	52	13		7	8	88		38	13	
4	—	—	—	—		—	—	—		—	—	—		—	—	
5	—	—	—	—		—	—	—		—	—	—		—	—	
平均	—	718	1193	215	—	41	66	39	—	9	—	6	—	92	63	15
予測値	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

-図 2-7-2-3 各ディスクの各加速条件で加速劣化試験寿命  
(PIエラー基準値 280 に達するのに要した時間)

Disc	75, 80, 85°Cのデータを用いて求めた推定寿命		65, 75, 80, 85°Cのデータを用いて求めた推定寿命		備考
	25°C80%RH	30°C80%RH	25°C80%RH	30°C80%RH	
A	297年	117年	189年	78年	
B	13年	9年	33年	21年	65°C、75°C、85°C外挿
C	22年	13年	13年	8年	
D	85年	42年	9年	6年	
E	—	—	—	—	アレニウス法適用不可
F	—	—	—	—	アレニウス法適用不可
G	—	—	—	—	初期特性不良
H	—	—	—	—	初期特性不良

図 2-7-2-4 寿命推定結果

(c) まとめ

評価者 1 と評価者 2 の許容限界値到達時間実測値のデータをすべてまとめ、アレニウス・プロットを行った。その結果を図 2-7-2-5(A)～(D)に示す。ただし、寿命推定できる程には劣化が進んでいないディスク B と、加速劣化試験前に PI エラーが既に許容限界値 280 を超える測定値があったディスク E、G、H は寿命推定不能であると判断し除いた。図中、△は評価者 1 の加速劣化寿命実測値（あるいは推定値）、◆は評価者 2 の加速劣化寿命実測値（あるいは推定値）である。また○はすべての測定値の平均値であり、この平均値を用いて行った外挿を実線で示した。

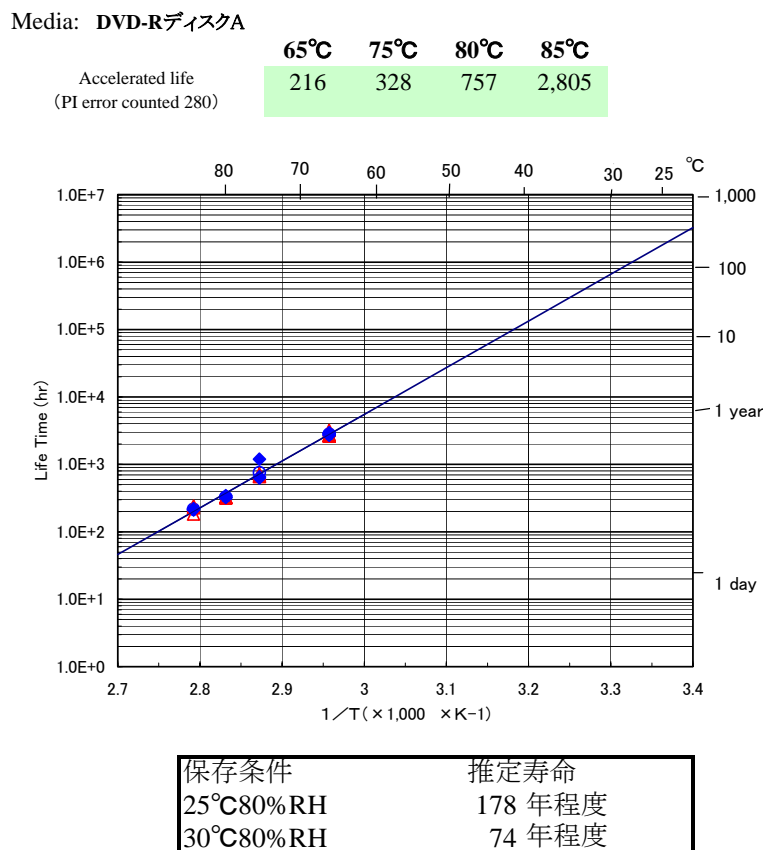


図 2-7-2-5(A) DVD-R ディスク A のアレニウス・プロット（評価者 1 及び 2 の実測値使用）

Media: DVD-RディスクC

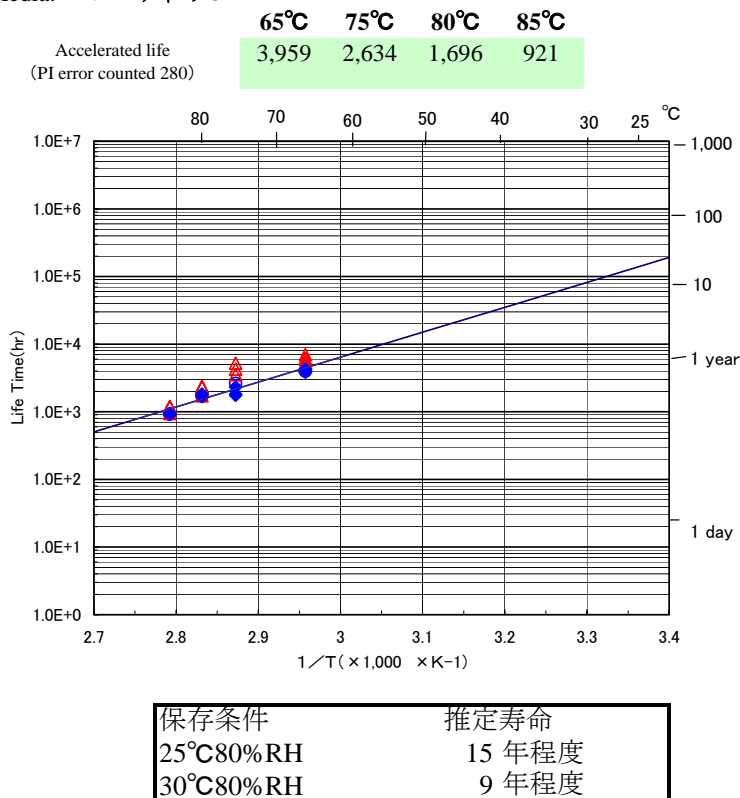


図 2-7-2-5(B) DVD-R ディスク C のアレニウス・プロット (評価者 1 及び 2 の実測値使用)

Media: DVD-RディスクD

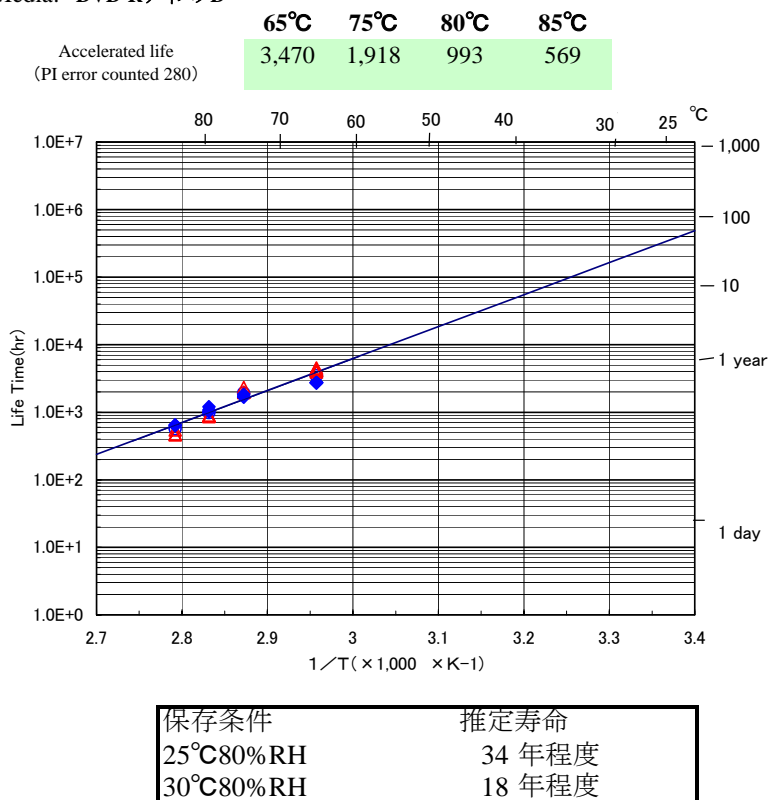


図 2-7-2-5(C) DVD-R ディスク D のアレニウス・プロット (評価者 1 及び 2 の実測値使用)

Media: DVD-RディスクF

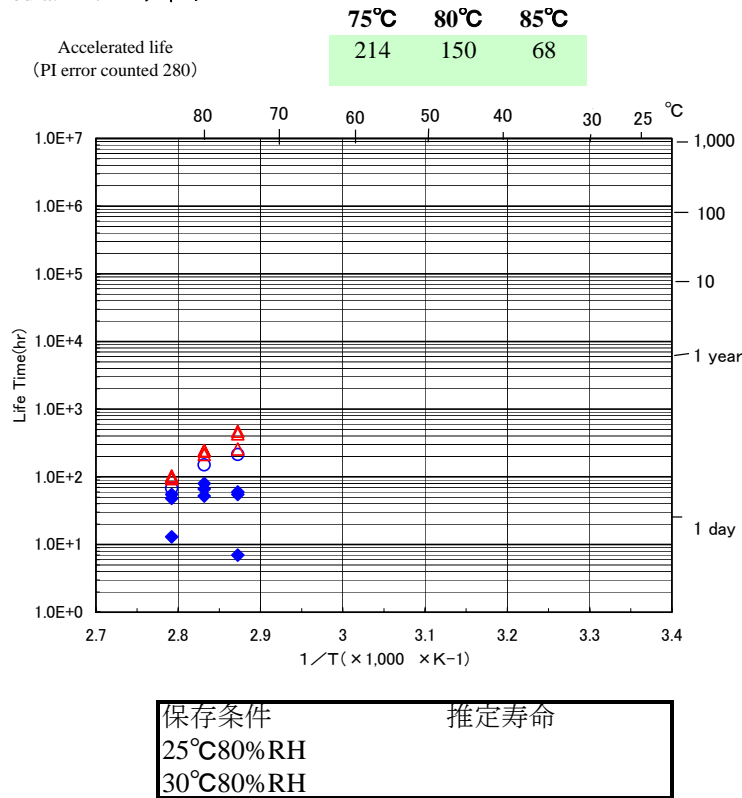


図 2-7-2-5 (D) DVD-R ディスク F のアレニウス・プロット (評価者 1 及び 2 の実測値使用)

図 2-7-2-5 (A)、(B)、(C)に示すように、ディスク A、C、D はばらつきが小さく、各条件での加速劣化寿命の測定点がほぼ直線上にのりアレニウス・プロットで寿命予測が可能と考えられる。一方、ディスク F は、図 2-7-2-5 (D)に示すように、加速劣化寿命の測定点のばらつきが大きく、寿命推定は困難と考えられる。これらをまとめたものを図 2-7-2-6 に示す。

Disc	25°C80%RH	30°C80%RH	備考
A	178 年	74 年	
B	-	-	劣化が十分進んでおらず 継続評価必要
C	15 年	9 年	
D	34 年	18 年	
E	-	-	初期特性不良
F	-	-	ディスクばらつき大で推定困難
G	-	-	初期特性不良
H	-	-	初期特性不良

図 2-7-2-6 寿命推定結果 (まとめ)

今回の試験結果から台湾ブランド 4 社は、初期段階から十分な特性が得られないものや、加速劣化試験において著しい変化を示すものであった。各水準での寿命を求めるにあたり、初期

より基準値を超えているものは除外せざるをえず、基準値を超えていなくても初期値が基準値近傍のものは、固体差など変動要因を多く含むことになり、寿命推定に値する品質水準ではないと考えられる。一方国内ブランド4社は、ブランド間で若干の差があるものの、総じて基準内品質からの緩やかな変化を示した。

これら変化を活性化エネルギーで説明できると考えて、アレニウス法による常温での寿命推定を行った。昨年度は試験水準が5°C間隔であったため、試験誤差の影響を大きく受けてしまったと考えられ、今年度は精度を上げるために昨年度の試験条件よりも低い65°Cのプロットを加えた。

これら試験結果からアレニウス法による常温での寿命を推定したところ、国内ブランド品については、数十年～100年程度の寿命であるとの結果を得た。信頼度高い寿命予測には、今回の65°Cのような比較的低温での環境を加えて試験を行うことが有効である。

## (2) DVD-RAM

### (a) 評価者3の場合

平成17年度は以下の2点を実施することにより、寿命推定の精度向上を図った。

- ① 平成16年度までの評価期間内においてBER値が許容限界値(9E-04)に達しなかったディスクの追跡評価を実施し、各環境でのディスク実測値を把握する。
- ② 平成16年度から始めた65°C80%RHでの保存試験を継続する。

その結果、追加した65°C80%RH含めてほとんどの試験において各ブランド、各ディスクの許容限界値到達時間を把握することができた。

この許容限界値到達時間の一覧表を図2-7-2-7に示す。

65°C80%RHについては国内Aブランド、台湾Eブランド品の一部にて許容限界値に到達していないため、保存・評価を継続中であり、報告書作成時点での実測データから到達時間を関数近似による外挿で求めた。

同じく国内Aブランド80°C80%RH, 75°C80%RHの一部ディスクについても保存・評価途中時点にてディスク表面の白濁発生により、ドライブ認識不能となったため、やむなくそれまでの実測データから到達時間を関数近似による外挿にて推定した。

上記実測・推定時間を使用してアレニウス・プロットにより推定した結果の一覧表を図2-7-2-8に示す。

\*但し網掛け数値は近似式推定値

		BER=9E-04 到達時間実測値 (Hr)				
		国内 A	国内 B	台湾 C	台湾 D	台湾 E
85℃	ディスク 1	586	590	925	178	288
	ディスク 2	587	599	600	146	244
	ディスク 3	539	529	1249	209	876
	平均値	571	573	925	178	469
80℃	ディスク 1	1946	1472	1692	570	1613
	ディスク 2	2616	1388	1179	431	1061
	ディスク 3	1700	1310	4636	1101	587
	平均値	2087	1390	2502	701	1087
75℃	ディスク 1	4859	3776	3253	284	6076
	ディスク 2	4252	2745	2587	464	3383
	ディスク 3	3460	3380	4246	563	5593
	平均値	4190	3300	3362	437	5017
65℃	ディスク 1	10249	6329	8493	2469	6010
	ディスク 2	13543	8758	9243	1151	10337
	ディスク 3	8864	6782	7213	579	10647
	ディスク 4	10819	6547	7292	2504	8209
	ディスク 5	8529	7565	8047	3886	14450
	平均値	10401	7196	8058	2118	8801

図 2-7-2-7 許容限界値(BER=9E-04)到達時間実測値

	30℃80%RH 保存での寿命推定時間			備 考
	H17 年度推定	H16 年度報告書	H15 年度報告書	
試験温度条件	H15 年度+ 65℃	H15 年度+ 65℃	85℃、80℃、75℃	
国内 A ブランド	431 年程度	1367 年程度	245 年程度	
国内 B ブランド	166 年程度	95 年程度	129 年程度	
台湾 C ブランド	66 年程度	49 年程度	96 年程度	
台湾 D ブランド	75℃、80℃での寿命逆転データ等から推定不能とした			
台湾 E ブランド	913 年程度	464 年程度	54 年程度	

注) 温度条件 (網掛け) : 定義寿命に達せず外挿データが多かった条件

図 2-7-2-8 DVD-RAM 各ブランド品アレニウス・プロット寿命推定結果

上記結果のように国内ブランド品で保存条件を 30℃80%RH. と仮定した時約 166~431 年、台湾ブランド品にて約 21~913 年という推定結果が得られた。

但し、この推定結果に関しては一昨年度、昨年度(H15、H16)報告内容とやや異なった推定値になっている。

国内B、台湾C、Dではほぼ類似の結果が得られたものの、ディスク表面に白濁が発生した国内Aブランド品、亀裂が発生した台湾Eブランド品等は寿命データ分布、推定結果の差が比較的大きい。これはディスクの表面白濁(ハードコート剤凝集)や亀裂現象発生が環境温度に負うところが大きいためと考えられる。

但し、全体的傾向としては国内A、Bブランド品に対する評価は(評価者3、4とも)比較的安定して類似傾向の結果になっている。

この差異については原因の一つとして国内ブランド品の初期品質、加速試験品質に比べて台湾ブランド品の品質のばらつきが大きいことの影響が考えられる。

より精度の高い寿命推定を行う上ではその品質ばらつきを考慮したサンプリング試験法、及びサンプル数量が必要と思われる。また、今回試験に使用したディスクでは市販品購入時の時間的制約上、3ブランド(国内B、台湾C、D)は片面タイプ、2ブランド(国内A、台湾E)は両面タイプと異なったタイプが混合した状態の評価となった。一般に片面、両面タイプでは利用される貼り合せ接着材料等の系統も異なってくるため、相対評価精度向上を図るためにはサンプルディスクのタイプを統一する等の配慮も必要と思われる。

#### (b) 評価者4の場合

2. 6. 2の温湿度試験結果からアレニウス法による寿命推定を行った。

本年度の試験においては、ほとんどの試験において各ブランド、各ディスクのBERが $9E-4$ を越え、許容限界値到達時間を測定することができた。台湾Cブランドのディスク1については、BERが $9E-4$ に到達しなかったため、実測データから到達時間を関数近似によって推定した。また、ブランド国内Aブランドの $80^{\circ}\text{C}80\%RH$ 、 $75^{\circ}\text{C}80\%RH$ の一部ディスクにおいては、前述したようにディスク表面の白濁によってドライブ検知不能となったため、それまでの実測データから到達時間を関数近似によって推定した。

実測値、推定値を含めて、許容限界値到達時間の一覧表を図2-7-2-9に示す。

図2-7-2-9の結果を用いて各メーカーのディスクについてアレニウス・プロットを行い、寿命の推定を行った。その結果を図2-7-2-10に示す。

台湾Dブランドについては、 $80^{\circ}\text{C}$ の加速劣化寿命より $75^{\circ}\text{C}$ の加速劣化寿命が短くなるという逆転現象が生じたため、外挿が困難であり、 $30^{\circ}\text{C}$ で寿命推定を行っていない。

		BER=9E-4 到達時間実績 (Hr)				
		国内 A	国内 B	台湾 C	台湾 D	台湾 E
85℃	ディスク 1	952	389	563	124	876
	ディスク 2	864	532	525	104	1036
	ディスク 3	425	505	625	121	959
	平均値	<b>747</b>	<b>475</b>	<b>571</b>	<b>116</b>	<b>957</b>
80℃	ディスク 1	1705	1015	2006	467	1301
	ディスク 2	1643	1203	1238	1424	746
	ディスク 3	1744	1239	1611	1127	2209
	平均値	<b>1697</b>	<b>1152</b>	<b>1618</b>	<b>1006</b>	<b>1419</b>
75℃	ディスク 1	2126	2307	3369	231	2120
	ディスク 2	1649	1942	5130	199	1216
	ディスク 3	2019	1799	4860	280	1808
	平均値	<b>1931</b>	<b>2016</b>	<b>4453</b>	<b>237</b>	<b>1715</b>
65℃	ディスク 1	7568	7047	12223	5496	2726
	ディスク 2	9165	7893	5900	2478	2795
	ディスク 3	9114	8030	8365	8277	2150
	ディスク 4	10079	4085	9397	560	3865
	ディスク 5	9630	7406	7401	6496	3224
	平均値	<b>9111</b>	<b>6892</b>	<b>8657</b>	<b>4661</b>	<b>2952</b>

網掛けの数値は近似式による推定値

図 2-7-2-9 許容限界値到達時間

	推定寿命 今年度結果	備考	推定寿命 昨年度報告
国内 A ブランド	(138 年程度)	参考値 (ハードコート白濁有 り)	(556 年程度、ただし HC 白濁あり、参考値)
国内 B ブランド	181 年程度		96 年程度
台湾 C ブランド	305 年程度		664 年程度
台湾 D ブランド	—	ばらつきが大きく アレニウスによる 推定不可	—
台湾 E ブランド	3 年程度		4 年程度

図 2-7-2-10 アレニウス法により求めた 30℃での推定寿命

国内Aブランドにおいては、30℃で138年程度という、非常に長い推定寿命が得られた。ただしAブランドにおいては、前述のように75℃及び80℃環境でハードコート層の凝集による白濁という別の要因によってBERが劣化しており、特に75℃のアレニウス・プロットが近似直線からやや外れている傾向にある。白濁による劣化を切り分けた試験を行う必要があるが、今年度はより低温である65℃の加速劣化寿命を求めることができたため、信頼性の高い結果になったと考えられる。

国内Bブランドにおいては、30℃で181年程度という、非常に長い推定寿命が得られた。Bブランドは各温度における実測値のばらつきが小さく、信頼性の高い結果が得られたと考えられる。

台湾Cブランドにおいては、65℃での加速劣化寿命を求めることができ、30℃で305年程度と、非常に長い推定寿命が得られたが、評価者3によると66年程度という結果が得られている。これは、台湾Cブランドにおいては、品質のばらつきによる測定値のばらつきが、国内A及びBブランドに比べてやや大きいためであると考えられる。これについては評価者3の結果と合せ、以下の(c)で考察する。また、台湾Cブランドにおいては、高温側(75℃、80℃、85℃)の3点を外挿した直線の傾きに比べて、低温側(65℃、75℃)の2点を外挿した直線の傾きが小さくなっている。このことは、高温側と低温側で劣化のメカニズムが異なっている可能性もあるため検討が必要である。

台湾Dブランドにおいては、80℃の加速劣化寿命より75℃の加速劣化寿命が短くなるという逆転現象が生じたため、外挿が困難であり、30℃で寿命推定を行っていない。このようにばらつきの大きいブランドのディスクについては寿命推定を行うことができない。

台湾Eブランドにおいては、約3年の推定寿命となった。ただし、実測値のばらつきが大きいためアレニウス・プロットの信頼性については検討が必要である。これについては評価者3の結果と合せ、以下の(c)で考察する。なお、実測値のばらつきはディスク品質のばらつきに起因するものと推定される。

## (c) まとめ

評価者3と評価者4の、許容限界値到達時間実測値のデータをすべてまとめ、アレニウス・プロットを行った。その結果を図2-7-2-11(A)～(E)に示す。図中、△は評価者3の加速劣化寿命実測値(あるいは推定値)、◆は評価者4の加速劣化寿命実測値(あるいは推定値)である。また\*はすべての測定値の平均値であり、この平均値を用いて行った外挿を実線で、評価者3及び4がそれぞれ行った外挿を点線(評価者3)、一点鎖線(評価者4)で示した。

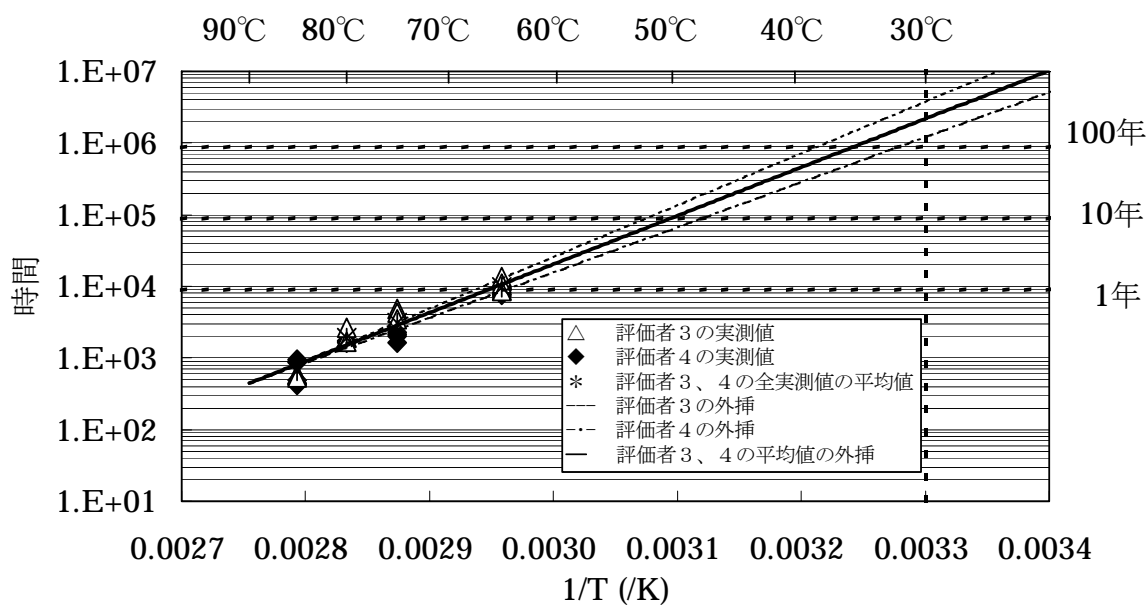


図 2-7-2-11 (A) 国産 A ブランド品のアレニウス・プロット (評価者 3 及び 4 の実測値使用)

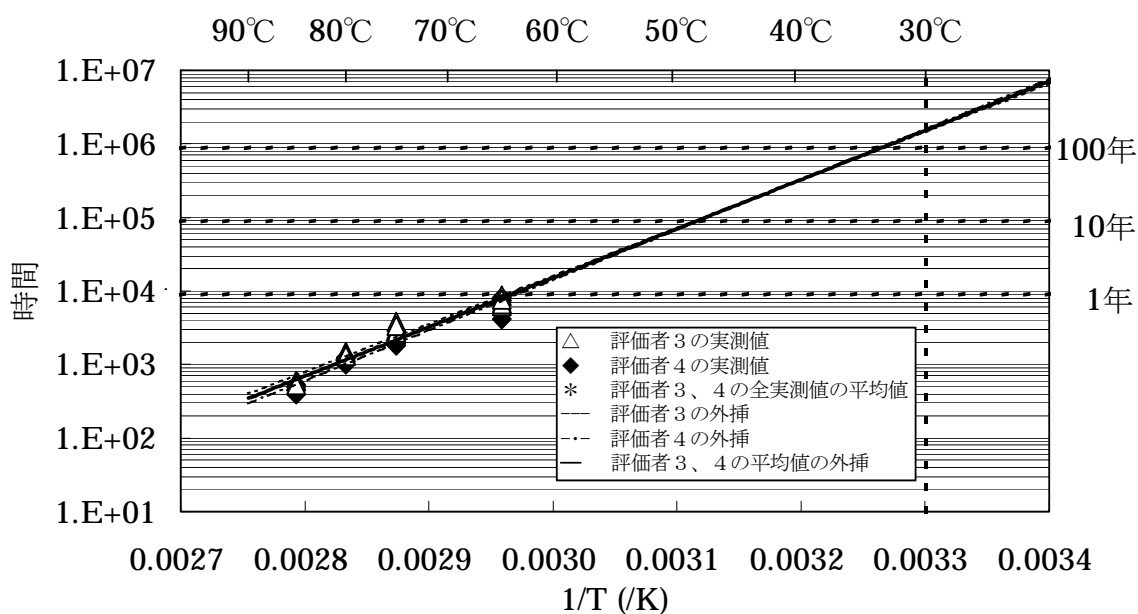


図 2-7-2-11 (B) 国産 B ブランド品のアレニウス・プロット (評価者 3 及び 4 の実測値使用)

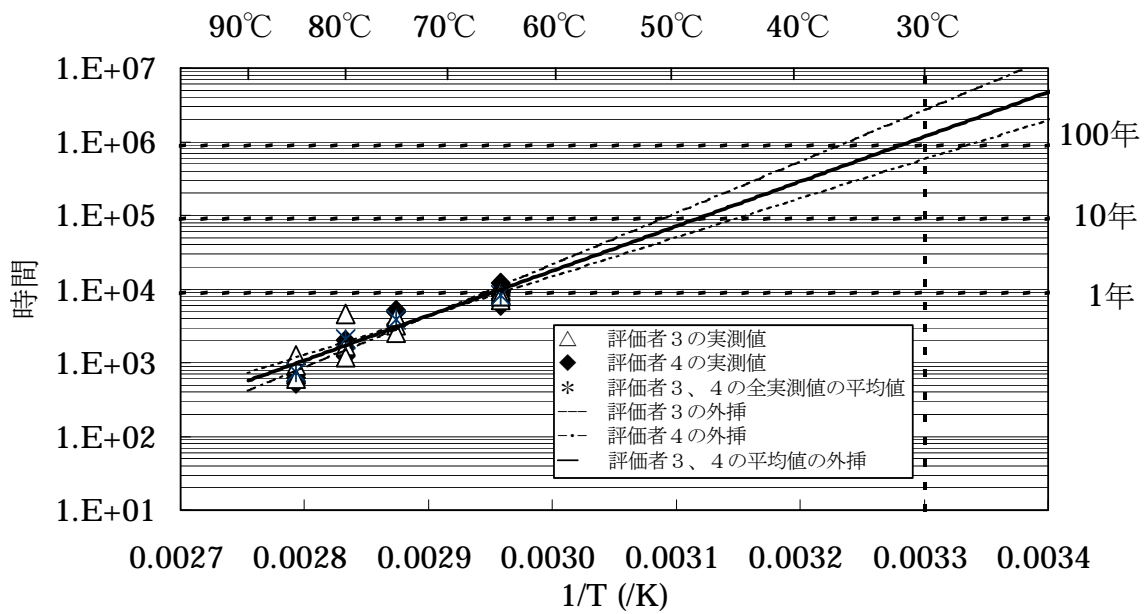


図 2-7-2-11(C) 台湾 C ブランド品のアレニウス・プロット (評価者 3 及び 4 の実測値使用)

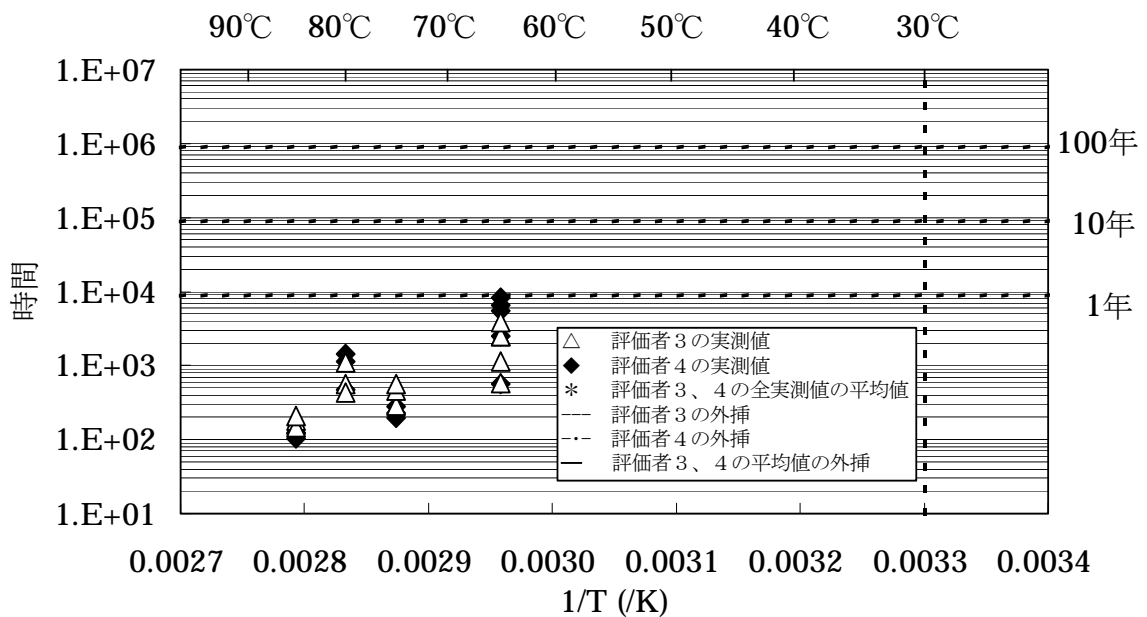


図 2-7-2-11 (D) 台湾 D ブランド品のアレニウス・プロット (評価者 3 及び 4 の実測値使用)

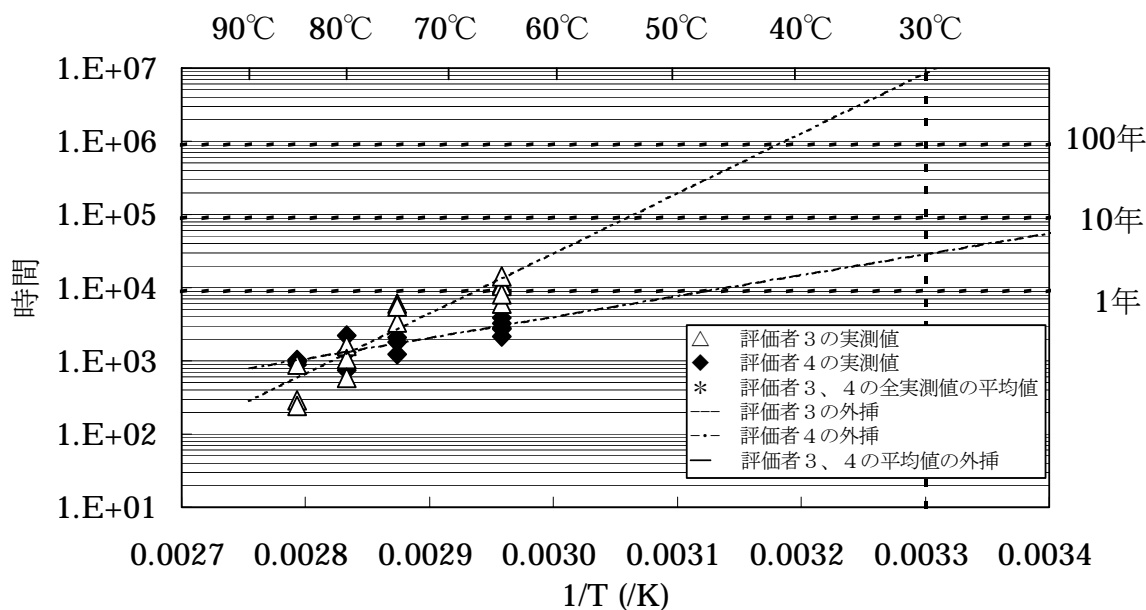


図 2-7-2-11 (E) 台湾 E ブランド品のアレニウス・プロット（評価者 3 及び 4 の実測値使用）

国産 A ブランド及び、国産 B ブランドにおいては、評価者 3、4 の実測値のばらつきが小さく、また両者の推定寿命にも大きな差はない。国産 A ブランドは、評価者 3 による推定寿命は **431** 年、評価者 4 による推定寿命は **138** 年であり、両者の差は **3** 倍程度である。国産 B ブランドは、評価者 3 による推定寿命は **166** 年、評価者 4 による推定寿命は **181** 年であり、両者の差はほとんどない。これら 2 ブランドは、ディスク品質ばらつきが小さいため実測値のばらつきが小さく、アレニウス・プロットによって推定した推定寿命の信頼性は高いといえる。

台湾 C ブランドについても、評価者 3、4 の実測値のばらつきが比較的小さい。推定寿命は、評価者 3 では **66** 年、評価者 4 では **305** 年と **5** 倍程度である。このブランドにおいても、実測値のばらつきは小さく、アレニウス・プロットによって推定した推定寿命の信頼性は高いといえる。

台湾 D ブランド、台湾 E ブランドは実測値ばらつきがきわめて大きく、アレニウス・プロットからの寿命推定は困難である。台湾 E ブランドはそれぞれの評価者で寿命推定を行っているが、評価者 3 による推定寿命は **913** 年、評価者 4 による推定寿命は **3** 年と **100** 倍以上の大きな違いがあり、その値の信頼性はきわめて低いといえる。これらはディスクの品質ばらつきに起因するものと考えられる。

以上より、国産 A ブランド、国産 B ブランド、台湾 C ブランドにおいては、今回の試験で寿命の推定が可能、台湾 D ブランド及び台湾 E ブランドは今回の試験では寿命推定は困難と結論付けられる。これらをまとめたものを図 2-7-2-12 に示す。

	30°C80%RHでの推定寿命	備考
国内 A ブランド	(250 年程度)	参考値 75°C、80°Cでハードコート白濁有り
国内 B ブランド	175 年程度	
台湾 C ブランド	134 年程度	
台湾 D ブランド	推定不可能	ディスク品質ばらつき大きく推定困難
台湾 E ブランド	推定不可能	ディスク品質ばらつき大きく推定困難

図 2-7-2-12 DVD-RAM 各ブランド品のアレニウス・プロットによる推定寿命 (まとめ)

### (3) DVD-RW

加速劣化試験寿命の判定はサンプルディスク毎の内、中、外周の3点のPIエラーの平均値を、試験放置時間毎にディスク別にプロットし、各サンプルの許容限界到達時間を求めた。各ブランドの65°C80%RH、75°C80%RH、80°C80%RH、85°C80%RHそれぞれの加速条件における許容限界到達時間を図 2-7-15 に表す。

これらのサンプル毎、及び平均の加速劣化試験寿命と温度の関係を図 2-7-2-13 にプロットし、アレニウス法により、25°C80%RH 及び 30°C80%RH 保存環境での寿命推定の検討を行った。これらより求めた各ブランドのディスクの推定寿命は図 2-7-2-14 のようになる。

：外挿値

		加速劣化試験寿命 (Hr)				
		Aブランド	Bブランド	Cブランド	Dブランド	Eブランド
85 °C 80%RH	ディスク 1	103	1797	331	3	14
	ディスク 2	101	1765	345	2	5
	ディスク 3	137	1765	395	3	2
	ディスク 4	105	2054	395	88	0
	ディスク 5	116	2200	394	1	3
	平均値	<b>113</b>	<b>1916</b>	<b>372</b>	<b>19</b>	<b>5</b>
80 °C 80%RH	ディスク 1	487	4603	543	42	0
	ディスク 2	345	4440	542	25	2
	ディスク 3	394	4421	535	25	4
	ディスク 4	320	4484	541	52	15
	ディスク 5	398	4625	537	93	11
	平均値	<b>389</b>	<b>4514</b>	<b>539</b>	<b>47</b>	<b>7</b>
75 °C 80%RH	ディスク 1	1242	4726	1066	236	2
	ディスク 2	763	4729	1067	59	41
	ディスク 3	785	4740	1074	76	3
	ディスク 4	695	4758	1066	83	0
	ディスク 5	826	4693	1059	418	13
	平均値	<b>855</b>	<b>4729</b>	<b>1067</b>	<b>175</b>	<b>12</b>
65 °C 80%RH	ディスク 1	8670	10117	2980	1009	30
	ディスク 2	18260	10129	2081	934	33
	ディスク 3	8547	9562	3908	1358	38
	ディスク 4	7849	10910	4209	963	43
	ディスク 5	8187	9899	2034	608	41
	平均値	<b>10303</b>	<b>10124</b>	<b>3043</b>	<b>974</b>	<b>37</b>

図 2-7-2-13 各ブランドの各加速条件での加速劣化試験寿命

ブランド	推定寿命 (年)		備考
	25°C/80%	30°C/80%	
A	49000	11000	長推定寿命、ただし他特性に問題あり
	16000	3700	外挿値を除いた値
B	45	27	
C	65	32	低温側ばらつきあり
D	(1500)	(400)	ばらつきが大きく推定不可
E	X	X	初期特性、ばらつき大、推定不可

図 2-7-2-14 寿命推定結果

A ブランドは 65°C 条件の 1 サンプルを残し、すべて許容限界に達した。65°C、75°C、80°C、85°C、各温度とも寿命のばらつきも少なく温度と寿命の指数関数グラフ上で直線状に並んでいるため、寿命推定が可能であるように見える。しかし、高温側での寿命が短いため、推定寿命は 30°C において 11000 年と異常に大きな値となった。他の 4 枚のディスクの値と大きく異なる外挿値となった許容限界に達していない 65°C 条件の 1 枚の値を除外しても 3700 年となる。他の特性（反射率）が規格を大きく外れる変化から判断して、65°C の環境においてもディスクの劣化はかなり進んでいると考えられる。このブランドは温度による寿命への影響が大きいことは容易に推定できるが、このような長い推定寿命を持つと判断するにはデータ不足である。

B ブランドは 65°C、75°C、80°C、85°C のすべての試験環境においてもっとも長い許容限界到達時間が得られたが、高温側と低温側での時間の差が少ないため、推定寿命としては 30°C において 27 年という短い結果になった。

C ブランドは高温側で比較的長い到達時間であったが、低温側で短い結果となったことで、30°C における推定寿命は 32 年となった。65°C 環境で多少ばらつきが大きい各試験環境の傾向は直線状である。

D ブランドは各条件の平均値でプロットすると推定寿命は 400 年ほどになるが、65°C 以外の高温側の限界達成時間のばらつきが大きく、平均値を使つての寿命推定は精度が低いと考える。

E ブランドはほとんどのサンプルが一回目のデータ取りで寿命に達してしまうなど、あまりにも品質が悪く、初期値の大きいばらつきを見ても、推定に値しないと判断する。

これらのアレニウス法による寿命推定の検討から言えることは次のとおりである。

- ① 初期値が大きくばらつくサンプルは、加速劣化試験でもばらつきが大きく、推定できない。  
(D、E ブランド)
- ② 高温だけの評価ではアレニウスの近似線が逆転することもあり、室温での寿命の推定ができない。  
(A ブランド、B ブランドの関係)
- ③ 初期値、加速劣化試験のばらつきが少ないサンプルは、2 環境で寿命の推定が可能である。  
(A、B、C ブランド)
- ④ 高温でも耐久時間の長いものがあり、限られた時間で寿命を推定できない場合がある。  
(B ブランド)
- ⑤ 今回の評価は管理されたドライブによる PI エラーの変化をもとに寿命を推定したが、今回

の推定寿命が長くても、他の特性が著しく劣化した場合、一般的な使用においては使用上問題を起こす可能性がある。

(A ブランド)

これらの条件を満たせば、寿命の予測は可能であると判断する。

また、温湿度試験 4 環境 (65°C、75°C、80°C、85°C80%RH) に加え、85°C70%RH の環境での加速劣化試験を実施した。評価方法は他の環境と同じである。

A、B、C ブランドは 85°C80%RH の結果と大きな差はなく、湿度条件 10%の違いは湿度による加速劣化試験の傾向が出るまでには至らなかった。D、E ブランドはここでも大きなばらつきが生じ、評価には値しないと判断した。

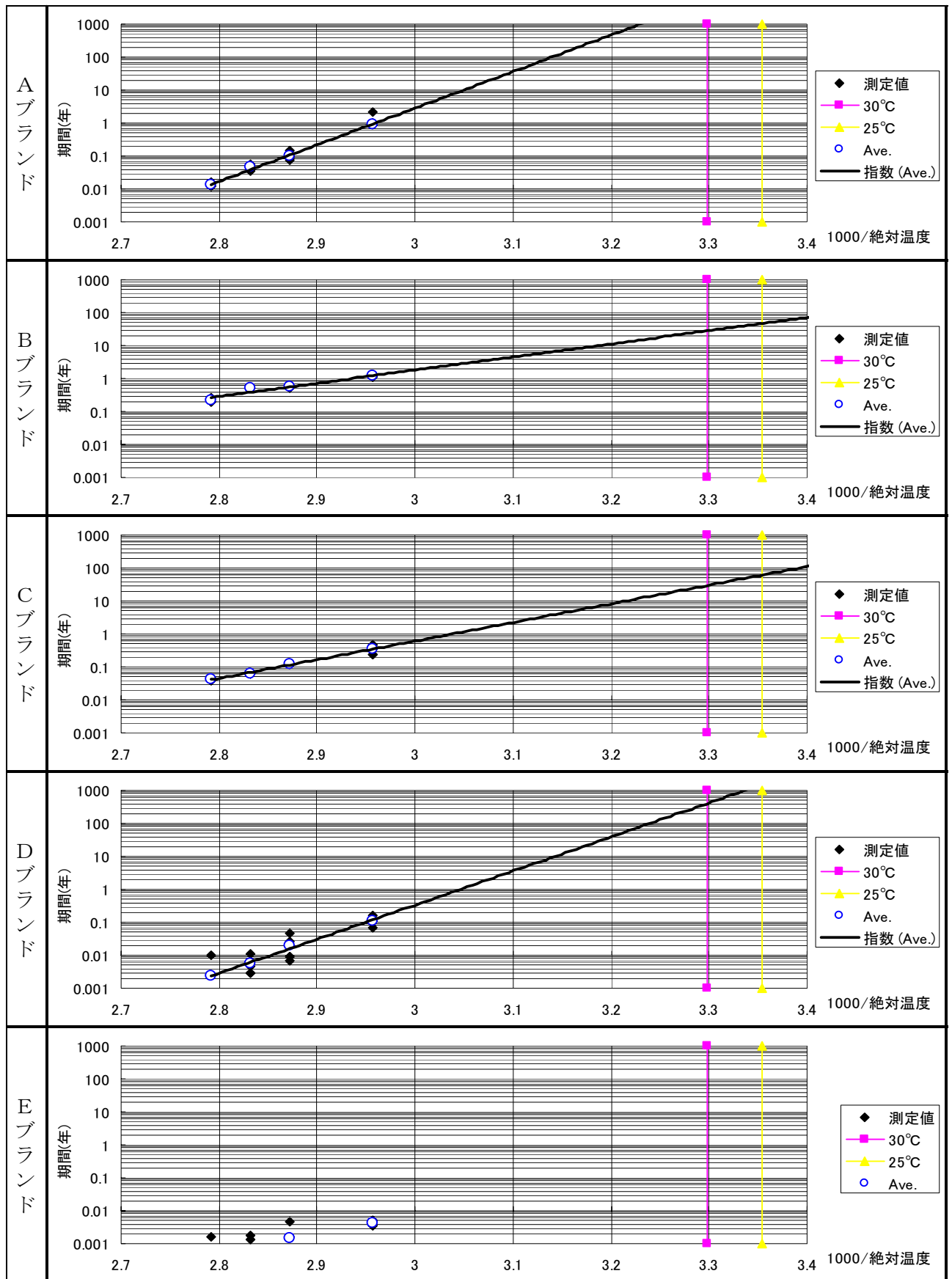


図 2-7-2-15 アレニウス法による寿命推定

## 2.7.3 ブートストラップ回帰分析法による寿命の区間推定

### (1) ブートストラップ回帰分析法による寿命の区間推定

図2-7-3-1~11は、温湿度加速試験によって得られた、各温度におけるディスクの寿命を、DVD-RAM、DVD-RW、DVD-Rについて示している。この表の中で、BER=9 と記した行に示された数字はエラーレートの許容限界を BER=9E-4 とした場合の各温度における各ディスクの寿命を時間で示している。同様に、BER=4.5 と記した行の数字はエラーレートの許容限界を BER=4.5E-4 とした場合の寿命時間である。このデータを用いてブートストラップ回帰分析法により寿命を推定する方法を以下に示す。

統計処理をするための一つのプロセスとして、まず、各温度から一つのディスクの寿命数値を選んだブロックを作るわけであるが、2-7-3-1 のデータから、例えば、図中にハッチングで示すように、85°Cからは2列目（ディスク2）の数値、80°Cからは1列目（ディスク1）の数値、75°Cからは4列目（ディスク4）の数値、そして65°Cから8列目（ディスク8）の数値が選ばれたとする

```
t1=:587 1946 2126 9114 (PI=280 の時の寿命時間の一つの組)
```

```
t2=:566 1389 1698 7851 (PI=140 の時の寿命時間の一つの組)
```

この対数値を y1, y2 と置く。

```
]y1=:log t1(NB. log=:^.)  
6.37502 7.57353 7.662 9.11757  
]y2=:log t2  
6.33859 7.23634 7.43721 8.9684
```

さらに、y1, y2 を “x = : 1, %273.15+85 80 75 65” で 65°Cから 85°Cまでの回帰直線を求めてみると

```
]b1=:y1 %. X  
_36.5101 15433.7  
]b2=:y2 %. X  
_36.1712 15250.1
```

のように算出される（最初の数値が回帰直線の切片で、後の数値が回帰直線の勾配である）。この係数を用いて、常温(25°C)のときの寿命時間(の対数値)を予測すると

```
]s1=:+/(1,%273.15+25)*b1  
15.2549  
]s2=:+/(1,%273.15+25)*b2  
14.9779
```

といった値が得られる。この指数値(対数変換の逆変換)

```
]T1=:exp s1 (NB. exp=:^)  
4. 21828e6  
]T2=: exp s2  
3. 19768e6
```

が求める寿命時間になる。さらに年数に直して

```
]Y1=:T1 % 8766(=24×365.25)  
481.21  
]Y2=:T2 % 8766  
364.782
```

といった結果が得られる。

各温度のブロックからランダムに選んで、このような演算を N 回繰返して

```
Y11,Y12,Y13,……… ,Y1N  
Y21,Y22,Y23,……… ,Y2N
```

といった結果を得る。これらの平均値

```
M1 = (Y11+Y12+Y13+……… +Y1N)/N  
M2 = (Y21+Y22+Y23+……… +Y2N)/N
```

が、それぞれ  $PI=280$ 、 $PI=140$  のときの常温( $25^{\circ}C$ )での寿命時間(年)の推定値を与えることになる。  
さらに標準誤差もそれぞれ

$$S1 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y1i - M1)^2 / N(N-1)}$$
$$S2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y2i - M2)^2 / N(N-1)}$$

のように算出される。従って

```
(M1-2S1,M1+2S1) , (M2 -2S2,M2+2S2)
```

が、それぞれ  $PI=280$ 、 $PI=140$  のときの常温( $25^{\circ}C$ )での寿命時間(年)の区間推定を与えることにな

る。これが「ブートストラップ回帰分析法による寿命の区間推定」と呼ばれている方法である。

## (2) ブートストラップ回帰分析法による寿命推定結果

「J 言語」と呼ばれているプログラミング言語で“pair”という関数を定義する。左引数には繰返し回数を、右引数には 85°C、80°C、75°C、65°Cでの寿命時間のデータをブロックにして入力すると、常温(25°C)のときの推定寿命(年)、それぞれの標準誤差(この値の2倍を平均値にプラス・マイナスして信頼区間を得る)が示される。N=10,000として、図2-7-3-1~図2-7-3-11のデータに“pair”という関数を適用した結果は図2-7-4-1~図2-7-4-3のようになる。

また、繰返し回数をN=100,000とした場合の結果を図2-7-5-1~図2-7-5-3に示す。

図2-7-4-1~図2-7-4-3と図2-7-5-1~図2-7-5-3を比較すると推定寿命はほぼ同じであり、繰返し回数はN=10,000で十分であることがわかる。

## (3) 結果の検討

DVD-RAM ブランドAの推定寿命において、図2-7-4-1に得られた569年という結果を、アレニウス法により得られた図2-7-2-12の結果と比較する。図2-7-2-12では、30°Cにおける寿命が求められており、25°Cの寿命は求められていないが、図より25°Cの点の寿命を見ると約500年であり、両者はほぼ一致する。同様にブランドB、Cについて比較すると、両者はほぼ2倍の範囲で一致している。ブランドD、Eについてはデータにばらつきが大きくアレニウス法では寿命推定不可と判断したディスクであるが、これらのディスクは図4-7-4-1においても標準誤差が非常に大きくなっている。DVD-RW、DVD=Rについてもほぼ同様である。

次に、BER=9E-4、PIE=280をエラーレートの許容限界とした場合と、BER=4.5E-4、PIE=140を許容限界とした場合の比較を行う。前者の方が寿命が長くなる傾向が強いが、両者で寿命がほぼ同じものもある。DVD-RAMのブランドDでは、両者の関係が逆転しているがこのディスクは、ばらつきが大きく寿命推定不可と判断されたディスクである。総じて見ると、BER=4.5E-4、PIE=140として求めた寿命は、BER=4.5E-4あるいはPIE=280を下回ることはないと判断されるので、寿命試験時間を短縮したい場合にはこのエラーレートを許容限界として寿命試験を行うことも考えられる。

RAM	ブランド	A									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	BER=9	10249	13543	8864	10819	8529	7568	9165	9114	10079	9630
	BER=4.5	7325	10567	8305	8991	7635	7155	7860	7851	8728	8274
75°C	BER=9	4859	4252	3460	2126	1649	2019				
	BER=4.5	2660	3385	2735	1698	1263	1204				
80°C	BER=9	1946	2616	1700	1705	1643	1744				
	BER=4.5	1389	1430	1348	1335	1302	699				
85°C	BER=9	586	587	539	952	864	425				
	BER=4.5	488	566	449	692	734	248				

図 2-7-3-1 (DVD-RAM ブランド A のデータ) (BER の単位は E-4)

RAM	ブランド	B									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	BER=9	6329	8578	6782	6547	7565	7047	7893	8030	4085	7406
	PI=140	4173	5713	4531	4609	5855	5648	5262	5242	2712	4382
75°C	BER=9	3776	2745	3380	2307	1942	1799				
	BER=4.5	2713	1967	2249	1618	1495	1106				
80°C	BER=9	1472	1388	1310	1015	1203	1239				
	BER=4.5	1216	1055	996	750	876	890				
85°C	BER=9	590	599	529	389	532	505				
	BER=4.5	543	550	463	290	441	456				

図 2-7-3-2 (DVD-RAM ブランド B のデータ) (BER の単位は E-4)

RAM	ブランド	C									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	BER=9	8493	9243	7213	7292	8047	12223	5900	8365	9397	7401
	BER=4.5	6712	7587	5033	5335	5585	10146	4477	6891	7922	5312
75°C	BER=9	3253	2587	4246	3369	5130	4860				
	BER=4.5	2633	1966	2399	2346	3814	3736				
80°C	BER=9	1692	1179	4636	2006	1238	1611				
	BER=4.5	1220	851	3639	1458	1025	1092				
85°C	BER=9	925	600	1249	563	525	625				
	BER=4.5	671	425	957	399	387	448				

図 2-7-3-3 (DVD-RAM ブランド C のデータ) (BER の単位は E-4)

RAM	ブランド	D									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	BER=9	2469	1151	579	2504	3886	5496	2478	8277	660	6496
	BER=4.5	1860	829	237	1823	2798	3794	2004	6290	429	5109
75°C	BER=9	284	464	563	231	199	280				
	BER=4.5	203	343	372	123	114	156				
80°C	BER=9	570	431	1101	467	1424	1227				
	BER=4.5	406	317	708	310	1158	685				
85°C	BER=9	178	146	209	124	104	121				
	BER=4.5	137	110	136	69	58	67				

図 2-7-3-4 (DVD-RAM ブランド D のデータ) (BER の単位は E-4)

RAM	ブランド	E									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	BER=9	6010	11337	10647	8209	14450	2726	2795	2150	3865	3224
	BER=4.5	3856	9314	6967	5590	8987	2074	2114	1353	2612	2383
75°C	BER=9	6076	3383	5593	2120	1216	1808				
	BER=4.5	4190	2774	3639	1102	541	1332				
80°C	BER=9E	1613	1061	587	1301	746	2209				
	BER=4.5	911	566	535	502	521	1043				
85°C	BER=9E	288	244	876	876	1036	959				
	BER=4.5	194	99	619	398	582	624				

図 2-7-3-5 (DVD-RAM ブランド E のデータ) (BER の単位は E-4)

RW	ブランド	A				
	ディスク	1	2	3	4	5
65°C	PI=280	8670	18260	8547	7849	8187
	PI=140	7181	12203	6470	7067	6361
75°C	PI=280	1242	763	785	659	826
	PI=140	1017	566	584	546	642
80°C	PI=280	487	345	394	320	398
	PI=140	374	288	320	275	318
85°C	PI=280	103	101	137	105	116
	PI=140	78	72	111	88	96

図 2-7-3-6 (DVD-RW ブランド A のデータ)

RW	ブランド	B				
	ディスク	1	2	3	4	5
65°C	PI=280	10117	10129	9562	10910	9899
	PI=140	9940	9975	9215	10827	9371
75°C	PI=280	4726	4729	4740	4758	4693
	PI=140	4465	4475	4482	4475	4428
80°C	PI=280	4603	4440	4421	4484	4625
	PI=140	4354	3985	3900	4208	4415
85°C	PI=280	1797	1765	1765	2054	2200
	PI=140	1626	1586	1577	1921	2150

図 2-7-3-7 (DVD-RW ブランド B のデータ)

RW	ブランド	C				
	ディスク	1	2	3	4	5
65°C	PI=280	2980	2081	3908	4209	2034
	PI=140	2077	1897	2278	3994	1846
75°C	PI=280	1066	1067	1074	1066	1059
	PI=140	1022	1024	1031	1022	1015
80°C	PI=280	543	542	535	541	537
	PI=140	517	516	508	514	510
85°C	PI=280	331	345	395	395	394
	PI=140	295	306	383	385	368

図 2-7-3-8 (DVD-RW ブランド C のデータ)

R	ブランド	A									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	PI=280	2749	2662	2645	2652	3195	2910	2940	2690	2850	2760
	PI=140	2155	2046	2144	2082	2363	2342	2646	2273	2581	2427
75°C	PI=280	659	725	674	1197	627	657				
	PI=140	436	518	435	629	605	619				
80°C	PI=280	321	321	327	324	327	345				
	PI=140	213	206	215	305	307	312				
85°C	PI=280	183	227	241	213	211	221				
	PI=140	159	178	191	187	162	204				

図 2-7-3-9 (DVD-R ブランド A のデータ)

R	ブランド	C									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	PI=280	4730	6066	6970	5250	6046	4220	4010	3850	4270	3920
	PI=140	3693	4328	5166	3936	4650	3585	3499	3664	3534	3534
75°C	PI=280	4273	5235	3540	2320	1745	1820				
	PI=140	3598	4018	3034	1903	1597	1655				
80°C	PI=280	2334	1719	2371	1812	1680	1805				
	PI=140	1986	1523	2048	1799	1683	1137				
85°C	PI=280	1195	1176	940	920	930	950				
	PI=140	1049	1037	819	812	976	832				

図 2-7-3-10 (DVD-R ブランド C のデータ)

R	ブランド	D									
	ディスク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65°C	PI=280	4296	4160	4510	4112	3945	2740	2750	2730	2710	2750
	PI=140	3615	3411	3706	3271	3026	2626	2634	2565	2449	2632
75°C	PI=280	1958	1977	2322	1840	1740	1670				
	PI=140	1684	1687	2042	1531	1368	1359				
80°C	PI=280	906	879	858	1210	1085	1020				
	PI=140	682	710	660	976	950	933				
85°C	PI=280	474	463	549	630	650	650				
	PI=140	406	394	448	600	611	611				

図 2-7-3-11 (DVD-R ブランド D のデータ)

ディスクのブランド		BER=9E-4	BER=4.5E-4
A	推定寿命 (年)	569	493
	標準誤差 (年)	7.11	6.87
B	推定寿命 (年)	967	381
	標準誤差 (年)	6.01	3.24
C	推定寿命 (年)	503	499
	標準誤差 (年)	5.29	6.17
D	推定寿命 (年)	897	1008
	標準誤差 (年)	20.7	27.2
E	推定寿命 (年)	1193	1217
	標準誤差 (年)	43.5	52.2

図 2-7-4-1 DVD-RAM の推定寿命 (繰り返し : 10,000)

ディスクのブランド		PI=280	PI=140
A	推定寿命 (年)	86539	46210
	標準誤差 (年)	1348	600
B	推定寿命 (年)	13.2	13.4
	標準誤差 (年)	0.188	0.194
C	推定寿命 (年)	66.2	33.2
	標準誤差 (年)	0.609	0.428

図 2-7-4-2 DVD-RW の推定寿命 (繰り返し : 10,000)

ディスクのブランド		PI=280	PI=140
A	推定寿命 (年)	171	129
	標準誤差 (年)	0.740	0.601
C	推定寿命 (年)	29.8	16.2
	標準誤差 (年)	0.259	0.114
D	推定寿命 (年)	44.9	29.0
	標準誤差 (年)	0.436	0.272

図 2-7-4-3 DVD-R の推定寿命 (繰り返し : 10,000)

ディスクのブランド		BER=9E-4	BER=4. 5E-4
A	推定寿命 (年)	560	490
	標準誤差 (年)	2. 24	2. 21
B	推定寿命 (年)	962	376
	標準誤差 (年)	1. 87	1. 01
C	推定寿命 (年)	507	504
	標準誤差 (年)	1. 69	1. 97
D	推定寿命 (年)	899	1015
	標準誤差 (年)	6. 51	8. 54
E	推定寿命 (年)	1268	1279
	標準誤差 (年)	15. 3	17. 9

図 2-7-5-1 DVD-RAM の推定寿命 (繰り返し回数 : 100, 000)

ディスクのブランド		PI=280	PI=140
A	推定寿命 (年)	87534	46601
	標準誤差 (年)	429	191
B	推定寿命 (年)	12. 9	13. 1
	標準誤差 (年)	0. 059	0. 061
C	推定寿命 (年)	66. 3	33. 8
	標準誤差 (年)	0. 192	0. 137

図 2-7-5-2 DVD-RW の推定寿命 (繰り返し回数 : 100, 000)

ディスクのブランド		PI=280	PI=140
A	推定寿命 (年)	172	130
	標準誤差 (年)	0. 231	0. 189
C	推定寿命 (年)	29. 6	16. 2
	標準誤差 (年)	0. 081	0. 036
D	推定寿命 (年)	44. 3	28. 7
	標準誤差 (年)	0. 137	0. 085

図 2-7-5-3 DVD-R の推定寿命 (繰り返し回数 : 100, 000)

## 2.8 試験データから見た劣化要因の検討

### (1) DVD-R

#### (a) 評価者 1 の場合

温湿度試験での外観の変化の様子を調べた。ディスク A、B、E、F、G、H は外観の変化が認められた。ディスク H については、昨年度の分析で色素記録層と金属反射層の両方がダメージを受けていることがわかっている。それぞれのディスクで外観の変化が違うことから、劣化メカニズムも異なることが推測される。

また、ディスク H は、耐光性試験でも記録層の褪色が確認され、色素の劣化が発生したと考えられる。その他のディスクについては、外観上の大きな変化は認められなかった。

#### (b) 評価者 2 の場合

温湿度試験での外観変化の様子を調べた。ディスク A、D、E、F、G、H には加速試験での劣化と思われる外観の変化が認められ、なかでも台湾ブランド 4 社品は顕著であった。B の気泡については接着層の気泡と思われ、加速試験により成長したものか定かでない。

外観の変化は、色素記録層及び金属反射層、またはどちらか一方が変質して変色していく変化と、欠陥が成長していく変化とに大別された。

### (2) DVD-RAM(2)

#### (a) 評価者 3 による検討

今回の加速劣化試験において劣化現象の指標とした特性は BER (バイトエラーレート) である。DVD-RAM の BER 評価については全ユーザーゾーン (Zone 0~34) の各ゾーン中央部付近において連続した 32ECC ブロックの信号を 1 回記録し、以降同一箇所の繰り返し再生の BER 評価を行った。ゾーン毎の BER 値についてはデータ数が 35 組と多く、1~2 章における検討では測定結果の複雑化を避けるためにも全ゾーン総平均値での検討を行ってきたが 2 章の考察ではもう少し詳細な BER 分布状態についても検討しておく必要がある。

高温の 85°C や低温の 65°C では BER の許容限界値、BER 増加変化点のばらつきも大きかったため、評価者 3 は 4 つの加速温湿度環境での実測データの中からほぼ全ブランドのディスクで明確な BER 増加変化が確認され、かつ同じ時間軸で 5 ブランドの相対評価が可能な 80°C 80%RH. 1040Hr ポイントでのデータ及び測定サンプル中心に着目して観察を行った。

みかけの (リードエラー部が除外された) BER 値が比較的低いものの、再計算値は全体平均値を 2~3 桁上昇させるほどのレベルにあり、台湾 D ブランドと同等レベルの実質 BER と考えた方が良い。このリードエラーの発生は Zone. 23~34 (中周~外周) 付近に局所集中傾向が見受けられた。

1040Hr 保存後時点では国内 A ブランド品には BER 増加同様、顕著な特徴がなかったものの、台湾 C,D,E ブランド品にはそれぞれ異なった特徴的な (スパッタ面) 表面変化が観察された。

- 1) 台湾 C ブランド品：腐食と推定される信号記録面上に散在する微小突起
- 2) 台湾 D ブランド品：腐食と推定されるディスク全面の微小扁平状凹凸
- 3) 台湾 E ブランド品：信号記録面上の同心円状亀裂 (クラック)

\* この亀裂が台湾 E ブランド品のみに発生した BER 測定時のリードエラー原因と推定される。

国内 B ブランド品にも表面の数、サイズは異なるものの台湾 C, D ブランド表面類似の微小突起又は微小扁平状凹凸が観察された。寄与率までは不明だが各ブランド品についての BER 分布、表面状態観察結果から、BER 値増加（劣化）の主原因になっているのはこの表面状態変化と推定される。なお、上記台湾 C, D, E 各ブランド品同一環境条件保存品について表面の n 増し観察を行ったが、類似表面変化が各 n=3 全数で観察された。

平成 15 年度に行った 3 水準温湿度（85℃、80℃、75℃各湿度 80%RH）による加速環境試験、アレニウス・プロット寿命推定の精度を向上するとともに推定結果を検証するために定義寿命（BER=9E-04）に到達していなかったサンプルディスクの環境保存・評価を継続した。それとともにより低温水準にあたる 65℃80%RH 環境を追加し、各ブランド n=5 の追加条件試験を実施した。

今回の追加試験により、昨年度中の試験では見出すことができなかつたいくつかの現象が確認された。

1) 特に顕著な表面変化は認められず、BER 増加が一番少ない傾向にあった国内 A ブランドのディスク表面に白濁が発生し、評価用ドライブでの認識、評価が不能になった。

評価者 3 が確認できた内容は、以下の 4 点である。

- ① 5 ブランドのディスクの中で国内 A ブランドのみで発生した。
- ② 85℃80%RH 環境 1000Hr 以内（各ブランドのほとんどのディスクが定義寿命 BER 到達）では国内 A ブランド品でもこの現象は発生しなかった。
- ③ 80℃80%RH 環境では約 1700Hr、75℃80%RH 環境では約 3000Hr 以上で国内 A ブランドディスク全数傾向で同現象が確認された。
- ④ 評価者 4 の評価でも同様な現象は確認されており、評価者 4 の解析から基板表面ハードコート層の凝集物と推定される。

2) 台湾ブランド E ディスクで特徴的に観察されたディスク記録面の亀裂現象として、評価者 3 が確認できた内容は、以下の 3 点である。

- ① 5 ブランドのディスクの中で台湾 E ブランドのみで発生した。
- ② 85℃80%RH 環境 1000Hr 以内、80℃80%RH 環境 1500Hr 以内で発生した。（全数傾向）
- ③ 75℃80%RH 環境 5400Hr、65℃80%RH 環境 4000Hr（現時点）では台湾 E ブランド品でも同亀裂現象は発生していない。

昨年度の報告書でも考察されているように複数の劣化要因をもつディスクにおいては単純モデルでのアレニウス・プロットによる寿命推定は難しい。すなわち、上記 2 つのブランド品については複数の劣化要因を持っていると推定されるので精度の高い寿命推定は期待できないと考えられる。

## (b) 評価者 4 による検討

評価者 3 と同様に、温湿度試験における BER の上昇の主要原因について考察を行うため、各ブランドのディスクの BER が各ゾーンでどのように変化しているかを調べた。

評価者 4 においては、BER が  $9E-4$  ( $9 \times 10^{-4}$ ) を超えるサンプルを実際に確保できた環境が  $85^{\circ}\text{C}80\%RH$  であったため、 $85^{\circ}\text{C}80\%RH$  のサンプルの結果について述べる。

評価結果より、BER の変化はほぼディスク全面にわたって平均的に起こっており、内周部あるいは外周部から悪くなるなどの大きな半径依存は見られない。ただし、台湾 E ブランド品においては内周部に局所的に BER が劣化している個所が見られる。温湿度試験後の台湾 E ブランド品を顕微鏡で観察したところ、信号記録面上に亀裂状の欠陥が観察された。

1 章 1.2 において、DVD-RAM の寿命劣化要因として、非晶質マークの結晶化によるもの、酸化などの腐食によるものを検討した。これらの要因はどちらも反応速度論に従って生じる現象であり、ある活性化エネルギーを有するアレニウスの関係式に従う。

国内 A ブランド、国内 B ブランドにおいては、評価者 3 と評価者 4 のアレニウス・プロットはほぼ一致した結果が得られており、活性化エネルギーを持つ過程で劣化が起こっていると考えらることに十分妥当性がある。従って、アレニウス・プロットからの外挿した推定寿命の値にも妥当性があると考えられる。なお、アレニウス・プロットから活性化エネルギーを求めると、国内 A ブランドは  $1.34\text{eV}$ 、国内 B ブランドは  $1.28\text{eV}$  であった。

国内ブランドに関して、寿命推定をより確実なものとするには、より低温での寿命試験を行う必要がある。4.2 で検討したように、活性化エネルギーを持つ過程として結晶化と酸化の 2 要因を挙げ、実験ではこれら 2 つを切り分けて測定できないことを述べた。また、これらはそれぞれ異なる活性化エネルギーを持っている可能性がある。このように、異なる 2 要因による劣化過程がある場合には、実験的にはどちらか一方の要因での劣化のみの測定しかできないので、高温での測定から求めたアレニウス・プロットをそのまま外挿できない可能性がある。

一方、台湾ブランド品においては、評価者 3 と評価者 4 の結果が大きく異なるケースや、より低温での保存寿命の方が短いアレニウス・プロットの逆転現象などが見られた。そのため、活性化エネルギーの値に妥当性があるとは言いがたく、従ってアレニウス・プロットから求めた推定寿命の妥当性に疑問が残る。

評価者による結果の違いや、アレニウス逆転現象の原因としては、ディスク間の品質ばらつきが考えられる。また、台湾 E ブランド品に見られた亀裂状欠陥のように、アレニウス・プロットには従わない、破壊のような現象による劣化が生じている可能性もある。

品質ばらつきについては、 $n$  数を大きくする、あるいはディスクに記されている製品管理番号のより近いものを用いる、など、より精度を上げる方法を検討する必要がある。またアレニウスに従わない破壊などの劣化要因については、そのメカニズム検討を行うことも重要であるが、破壊が起こらないより低温での試験も有効と考えられる。

### (3) DVD-RW

相変化記録である DVD-RW のアーカイバルにおける PI エラー劣化の要因を、加速劣化試験の結果からまとめると、

- (a) 反射膜の変質
- (b) 記録膜の変質
- (c) 反りの変化

の3つに大きく分けられる。しかし、2.6 加速劣化試験にも述べたように同じ部位の劣化であっても劣化のメカニズムはいくつか存在しており、そのメカニズムによって PI エラーに及ぼす影響が異なる。ある劣化メカニズムは PI エラーに徐々に現れ、あるものは突然現れる。各ブランドの製品設計の違いにより様々な要因が重なり合って、各試験条件での許容限界値 (PI エラー: 280 個) に達するまでの時間の差が現れた。たとえば、今回の試験でも反射膜の変質としては、酸化、硫化、変移が観測された。

この章では、膜の変化が認められたサンプルについての分析から劣化の要因を分析した。

加速劣化試験において、外観上の変化が認められたサンプルは、C, D, E の3ブランドである。

#### ① Eブランド 65°C80%RH500 時間試験品

このサンプルは、外観でディスク全面に金属が腐蝕したように見える。ディスクをスパッタ膜に沿って剥がし、その剥離面を SEM-EDS (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer) で分析した。得られたスペクトルより剥離した箇所は反射膜と隣接する誘電体層の間と判断した。元素のマッピングを作成したが、その結果として

- ・ 腐蝕の発生した部分の反射膜から Ag がなくなり、誘電体膜上に Ag を検出。
- ・ 誘電体膜側で検出された Ag に応じて、S や O が多く検出されることはない。
- ・ 反射膜の Ag が失われて部わからは O が多く検出されている。

誘電体膜上の Ag に応じて S は検出されていない。反射膜の Ag が失われた部分に O が検出されたことで、ポリカ側からの水分の進行で Ag の酸化が発生したと推測する。

#### ② Dブランド 65°C80%RH3883 時間試験品

このものは、外観で金属が腐蝕したように見える。信号読み出し面側から、全面に異状が認められる。反対側からは印刷により確認できない。剥離させた後、光学顕微鏡、SEM-EDSでの分析を行った。光学顕微鏡で見ると、異状な部分は円形に変色したものの集合体であり、この部分の存在によって膜の剥れ方が変化している。SEM-EDSでの分析では、剥離面に露出している層は反射膜か、誘電体膜である。元素毎のマッピングを形成してみると、以下のことがわかる。

- ・ ダミー基板側剥離面の反射膜の Ag が失われている部分がある。
- ・ 信号基板側剥離面において、Ag がない部分は、C や O が検出されており、Zn、Sb などの記録層、誘電体層に含まれる元素が検出されていない。
- ・ 同じであるはずの Zn と S の分布に違いがある。
- ・ Ag は腐蝕した部分では全スパッタ層に渡って存在している。

これらのことから、Ag の硫化が進み、この過程で記録層の両側にある誘電体膜に含まれる S と結合し、全層にわたって Ag<sub>2</sub>S を形成したと推測する。

③ Cブランド 85°C80%Rh500 時間試験品

外観上、中外周部分にしみのようなものが認められる。このディスクを剥がして剥離面をSEM-EDSで分析した。剥離面の元素より、反射膜と誘電体の界面で剥れたことが確認できた。異状な部分では、誘電体側が凸、反射膜側が凹の形状変化が発生している。元素マップによれば、誘電体膜側の凸に応じて、記録層の組成物であるSbが確認できた。反射膜の凹の部分は、他元素が認められず、酸化、硫化の発生はないと判断する。

④ Cブランド 65°C80%Rh3883 時間試験品

このサンプルは外観上、最内周部分で金属が腐蝕したように見える部分がある。光学顕微鏡で見ると、頻度は少ないが外周部分にも確認できる。このディスクを剥離すると反射膜と誘電体膜の間で剥れた。異状な部分は反射膜側でのみ認められ、誘電体側には、この異状な部分に対応したものは認められなかった。

Cブランドについては、65°Cと85°Cの2環境を分析した。双方とも反射膜の表面に形状の変化を生じている。65°C試験品は、反射膜の形状変化の初期段階であり、進行したものが85°C試験品ではないかと推測する。境界面の形状が変化し、組成的には酸化、硫化を含めて変化がない。Agの性質から変移が発生したのではないかと推測する。

## 第3章 寿命試験法の標準化動向

### 3.1 光ディスク加速寿命評価試験の国際標準化動向

従来 I S O / T C 42 で C D 関係の加速寿命評価試験に関して検討されていたが、DVD になってから、大きな動きはない。代わりに米国では O S T A，日本では D C A j が活発に活動を開始した。O S T A では O D A T (Optical Disk Archive Test) 委員会を設立し、N I S T の B a y e r 氏とソニーの S m i t h 氏とで活動を開始している。D C A j は長寿命光ディスク媒体開発プロジェクトの一環として、寿命評価試験短縮化の研究を行っており、そこで採取したデータを S C 2 3 及び O S T A などの会議に提出して規格作成に貢献している。

光ディスクの標準化を担当している S C 2 3 は従来から媒体の互換性関係の国際標準規格を開発してきた。しかし、近年の長寿命媒体の必要性の増大に対応して、寿命評価方法の規格作成にも積極的に関与するとの表明を行った。特に帝京平成大学田中邦彦教授が委員長を務める日本委員会である S C 2 3 専門委員会は寿命評価関係のアドホック委員会を設立し、積極的に活動を行っている。S C 2 3 は参加委員が光ディスク及び光ディスクドライブの製造会社から派遣された技術者という専門家集団であるので、今後この方面に貢献することが望まれる。

### 3.2 記録済みディスクの管理方法

一旦記録を行ったディスクは、管理を十分に行う必要がある。そのための国際標準規格としては

- a. 安全のために定期的に生誤り率の評価を行う必要がある。
- b. 媒体の取扱を慎重に行う必要がある。
- c. 保存条件を規定する必要がある。

生誤り率の測定のための国際標準規格としては I S O / T C 171 で開発している I S 23868 (Electronic imaging - Monitoring and verification of information stored on optical media) がある。内容は U D 0 (Ultra Density Optical) と DVD の 2 種類のディスクに関する規格が混在している。しかも、T C 1 7 1 は DVD に関する情報不足から誤りが多いので、S C 2 3 専門委員会で再作成を行おうという意見が出ている。

記録媒体の取扱規格には I S O / T C 42 で開発した I S 18938 (Imaging materials - Optical discs - Care and handling for extended storage) がある。

媒体の保存条件規格には I S O / T C 42 で開発した (Imaging materials - Multiple media archives - Storage environment) がある。図書館などで多種類の媒体にデジタルデータを保存する場合の保存条件である。フィルム類が含まれるために通常の事務所環境よりも温度は低めである。

## 第4章 光ディスク寿命評価法の確立と長寿命

### 光ディスクの開発

#### 4.1 長期保存のための光ディスク媒体の検討

##### 4.1.1 まえがき

本項では本年度の研究によって明らかになった長寿命光ディスク開発のための指針を示す。評価した光ディスクの中には、かなり高い信頼性を持つものの、さらに、長寿命化できる可能性を持った光ディスクがある。これらのディスクは、温湿度加速試験によるエラーレートの劣化カーブに不連続点が見られる。これは不連続点以降でそれ以前と異なる要因による劣化が進むことを示しており、その劣化要因を分析して対策すればさらに長期の寿命を達成できると考えられる。そのような見地に立ってDVD-RのAブランドとDVD-RAMのAブランドについて検討した。これらは、2つの劣化要因を持っていると考えられ、2つ目の要因を除くことによって一層の長寿命を実現できることが予想された。次節でその要因の分析と劣化要因の除去結果について述べ、開発の指針を示す。

試験したディスクの中には、初期性能が規格を満たさないものや、極端に寿命の短いものがあり、このようなディスクの劣化要因を分解して明らかにすることはきわめて難しい。このようなディスクについては、まず、生産管理、品質管理をしっかりやることが望まれる。ある程度の品質に上げることが、劣化要因を分析する上でまず必要である。

##### 4.1.2 劣化ディスクの分析と劣化要因の除去による長寿命ディスクの実現

###### (1) DVD-R

温湿度加速試験において、ディスクAについては、劣化曲線に不連続点があり、劣化が複合要因によって進んでいることが予見できた。そこで、2つ目の要因を特定すべく実験を行った。まず、Asymmetryが大きく出ていることが劣化を促進している原因ではないかと考えて、その影響を求めた。Asymmetryの初期値の温湿度試験への影響を確認するため、記録パワーを振って記録し、Asymmetryを変化させたディスクについて、80°C80%RHでの加速劣化試験を行った。375時間からPIエラーが上昇し始め、この上昇は、Asymmetryが0%付近でも、-10%付近でも同じ程度であることが確認された。従って、今回用いた評価系では、初期にAsymmetryが低く記録されたことが、温湿度試験におけるPIエラーの上昇に大きな影響を与えていないことが確認された。

続いて、接着剤の影響について検討した。ディスクAとディスクAの接着剤のみを変更したディスクA'について、パイオニア製DVD-R/RWドライブDVR-105で記録パワーを振って記録し、80°C80%RHでの加速劣化試験(Asymmetryの影響を確認するために行った試験と同じ試験)を行った。

ディスクAは、375時間からPIエラーが上昇し始めたのに対し、接着剤を変更したディスクA'は、750時間後もPIエラーの上昇が見られず、ディスクAよりも劣化が抑えられていることがわかった。ディスクA'については、今回は80°C80%RH、一条件での温湿度試験のみであり、アレニウスプロットによる寿命推定はできないが、接着剤はディスクの劣化に大きな影響を与えており、

接着剤の改良は長寿命ディスクを開発する上で重要な要素であることを明らかにすることができた。

(b) DVD-RAM

国内 A ブランドディスクのハードコート層のみを変更したディスク A'の、85°C80%RH、80°C80%RH、75°C80%RH、65°C80%RH の4条件での加速劣化試験を、平成 16 年度に引き続き行った。それぞれの条件においてディスク 2 枚ずつを準備し、ディスク A と同様に BER の測定を行った。結果を図 4-1-2-1 に示す。

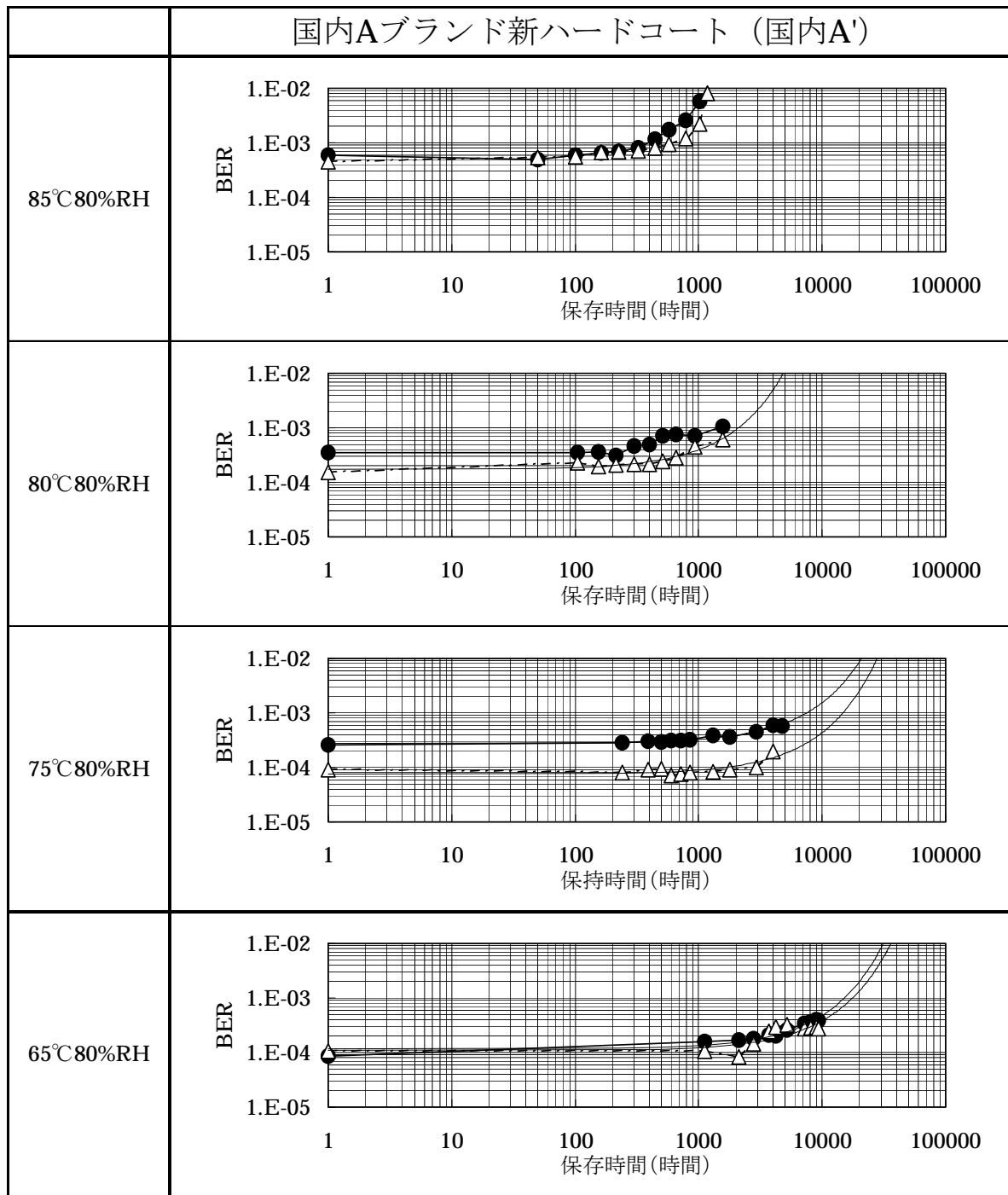


図 4-1-2-1 新ハードコートを用いた国産 A ブランドの BER 変化

ディスク A においては、80°C80%RH で 1736 時間後、75°C80%RH でも 1736 時間後にディスク表面に白濁が生じ、ディスクをドライブ検知することが不可能になって、エラーの測定が不可能になった。一方、新しいハードコートを用いたディスク A' においては、85°C80%RH で 1185 時間後、80°C80%RH で 1565 時間後、75°C80%RH で 3992 時間後、65°C80%RH で 9298 時間後でもディスク表面に白濁は生じなかった。

ディスク A においてはハードコートの凝集によって表面が乱反射している様子が観察されるが、ディスク A' においてはハードコートの凝集はまったく見られないことがわかった。白濁の兆候がまったく見えず、また、75°Cの試験ではディスク A で白濁が生じた時間である 1736 時間を超えた 3992 時間に達しても白濁がまったく生じていないことから、ディスク A に対して改善されている。

ディスク A' については、85°Cでは 2 枚のディスクで BER が許容限界値を超え加速劣化寿命の実測が可能になった。80°Cでは 1 枚のディスクで加速劣化寿命の実測が、もう 1 枚では実測データからの関数近似による推定が可能になった。75°C、65°Cでは BER の許容限界値を超えていないが、BER の上昇が見られており、関数近似による推定が可能になった。これらをまとめて図.4-1-2-2 に示す。またこの図には白濁の生じたディスク A の加速劣化寿命の平均値をあわせて示す。

		BER=9E-4 到達時間実績 (Hr)	
		ディスク A' (新ハードコート)	ディスク A (現行ハードコート)
85°C	ディスク 1	355	ディスク 3 枚 (図. 2-7-10 参照)
	ディスク 2	532	
	平均値	444	
80°C	ディスク 1	1273	ディスク 3 枚 (図. 2-7-10 参照)
	ディスク 2	1973	
	平均値	1623	
75°C	ディスク 1	6885	ディスク 3 枚 (図. 2-7-10 参照)
	ディスク 2	14153	
	平均値	10519	
65°C	ディスク 1	14433	ディスク 5 枚 (図. 2-7-10 参照)
	ディスク 2	16834	
	平均値	15634	

図 4-1-2-2 新ハードコートを用いたディスクの加速劣化寿命

ディスク A' において、85°Cの加速劣化寿命は 444 時間と、ディスク A の 747 時間に対して短くなったが、これは試験を行ったディスクの初期 BER が悪かったことに起因していると考えられる。

初期 BER が悪かった原因は新ハードコートの欠陥によるものであり、新ハードコートディスクの試作を試作ラインで行ったことによると考えられる。

80°Cでの試験においては、加速劣化寿命がディスク A'では 1623 時間となり、ディスク A の平均値 1697 時間と近くなった。このことは、ディスク A においては、BER 劣化の 2 つの要因、記録膜劣化とハードコート凝集は、ほぼ同じ時間で BER に影響を及ぼしていることを示していると考えられる。

75°Cでの試験においては、ディスク A'の加速劣化寿命の推定値が 10519 時間となり、ディスク A の平均値 1931 時間より長くなった。また、65°Cでの試験においても、ディスク A'の加速劣化寿命の推定値が 15634 時間となり、ディスク A の平均値 9111 時間より長くなった。このことは、ハードコート凝集による BER 劣化が起りにくくすれば、より長寿命の媒体が得られる可能性を示している。

図 4-1-2-2 の結果より、ディスク A とディスク A'のアレニウスプロットを行った。その結果を図 4-1-2-3 に示す。図中●はディスク A の、□はディスク A'の加速劣化寿命平均値を示しており、点線がディスク A の、実線がディスク A'の外挿直線を示している。ディスク A'では、欠陥等によって初期の BER がディスク A よりも悪いこと、試験したディスクが 2 枚であったことなどから測定値のバラツキが大きく、正確な寿命推定は困難であるが、ディスク A よりも長寿命である可能性を示すことができた。

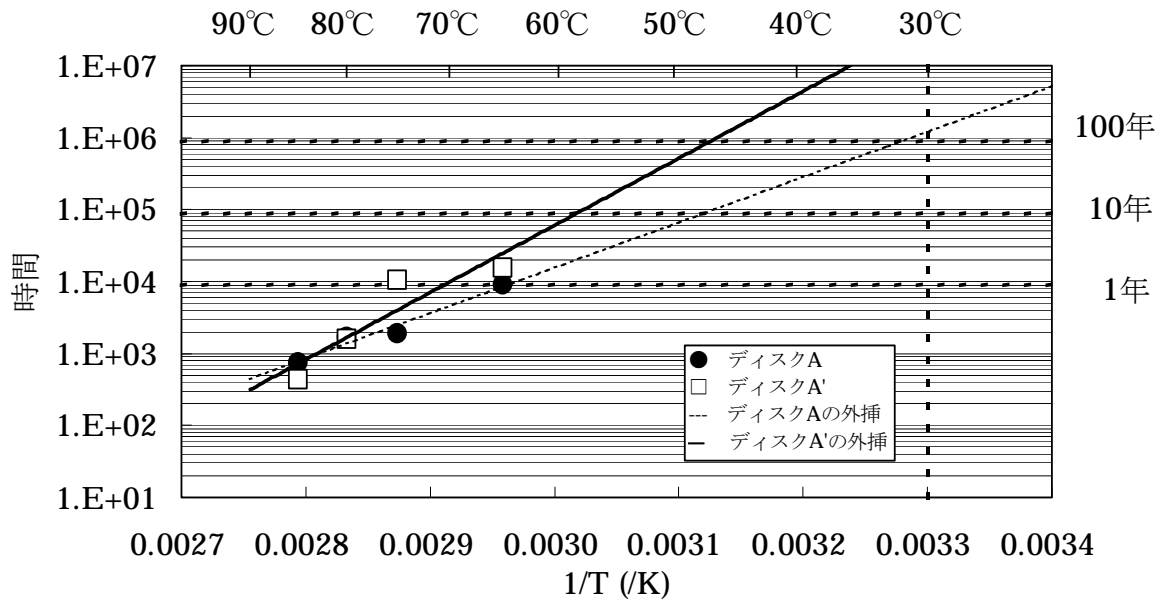


図 4-1-2-3 ディスク A 及び A'のアレニウスプロット寿命推定

### 4.1.3 長寿命光ディスク開発の指針

前項に示したように、加速試験における劣化の様子を見ると、劣化のカーブが不連続になる場合がある。このような不連続が現れた場合、その時点から後はそれまでと違った2つ目の要因が支配的になることを示している。前項に示したように、2つ目の要因が何であるのかを分析し、その要因を除くことができればより長寿命のディスクを得ることができる。ただし、このような分析のできるディスクは、生産管理、品質管理精度が高く、かなりの信頼性を確保してあるディスクであることを知っておかなければならない。

## 4.2 光ディスクの寿命評価法

### 4.2.1 加速試験による寿命評価法

2章では、DVD-R ディスク、DVD-RAM ディスク、DVD-RW ディスクの加速試験後の寿命データ（予測を含む）とこれに基づくアレニウスプロット、そして 30°C80%RH 及び 25°C80%RH の寿命予測を行った。4章の 4.1 では、1) DVD-R ディスクの接着剤による寿命劣化の改良 2) DVD-RAM ディスクのハードコートで生じた凝集による寿命劣化の改良の実験を行い、いずれの場合にも大幅な改善が見られたことを述べた。

これら加速試験データや劣化要因の分析、寿命劣化の改良などから、現時点で得られている DVD-R ディスク、DVD-RAM ディスク、DVD-RW ディスクについて、寿命評価の妥当性の検証と今後の対応について検討してみた。

#### (1) DVD-R ディスク

国内 4 社、台湾 4 社の合計 8 社のブランドディスクについて、評価者 1 と評価者 2 の 2 社で加速試験を実施した。台湾 E 社、F 社、G 社、H 社のディスクは、初期特性が悪く、また高温での加速試験でバラツキが大きくかつ寿命が短いことなどから、以下の検討から外した（図 2-6-2-2(A), (B) 参照）。そのため、以下では国内 3 社、台湾 1 社の 4 社のブランドディスクについて検討した。

国内 A 社ディスクは、評価者 1 及び評価者 2 とともに 85°C~75°C の加速試験で寿命に達したが、まだ 65°C では寿命に達していない。このため、30°C での寿命予測は確定しない。しかし、85°C~75°C での寿命及び 65°C の推定寿命のいずれでも C 社ディスクより大幅に悪いにもかかわらず、30°C での予測は 100 年程度と長い。このディスクは、接着剤の改良で高温での寿命が長くなることが確認されている。来年度、65°C での寿命が確定すれば、アレニウス法を使って 30°C での寿命推定は可能となるが、その寿命推定が正しいかは、PI エラー以外の評価項目なども考慮する必要がある。今後、ディスク C と比較しながら劣化メカニズムを解明することで、低温での寿命予測をする上で貴重なデータが収集できる可能性がある。

国内 B 社ディスクは、評価者 1、評価者 2 とともに 2000H 以上の加速試験を行っているが、すべての試験温度で寿命の確定も予測もできないなど、温・湿度加速試験に対し、極めて安定なディ

スクである。来年度、引き続き加速試験を継続するが、85℃～65℃で寿命が確定し、そしてアレニウス図から寿命が予測できるかはわからない。寿命の確定と低温での寿命推定ができるようになれば、このディスクをレファレンスとして、DVD-Rの寿命推定ができる可能性は高い。

国内C社ディスクは、評価者1では85℃で寿命が確定したものの80℃、75℃ではまだ確定せず、推定値である。評価者2では85℃～75℃で寿命がすべて確定し、65℃について推定値である。高温での寿命は900Hを超えるが、85℃と75℃との寿命が近い。これをもとにアレニウス図から予測すると、30℃で36年となるが、評価者1のデータも含めると、バラツキは大きくなるが、推定寿命はもっと長くなりそうである。来年度、65℃までの寿命が確定すれば、寿命推定は可能と考えられる。

国内D社ディスクは、85℃～75℃で、評価者1及び評価者2ともに寿命は確定した。85℃での寿命は500Hを超え、75℃では1800H程度で、85℃～75℃の範囲で、国内A社ディスクの寿命を上回っている。65℃は寿命の推定値ではあるが、これを入れたアレニウス図からの30℃での寿命を予測すると、評価者1は118年、評価者2は13年となり大きな差がでた。来年度、65℃での寿命が確定すれば寿命推定は可能になると考えられる。

以上の寿命考察から、85℃～65℃の範囲で、国内B社ディスクの寿命が確定すれば、これを寿命推定のレファレンスとして使用できそうである。国内C社ディスクは、65℃での寿命が確定すれば、高温側の寿命が900Hを超えていることから、もう一つのレファレンスとして使える可能性があると考えられる。

## (2) DVD-RAM ディスク

国内2社、台湾3社の合計5社ブランドディスクについて、評価者3と評価者4の2社で加速試験を実施した。65℃での加速試験で、5枚のディスクすべてが寿命に達したのは、評価者3では、台湾D、評価者4では台湾Eで、それ以外はすべて予測値となっている。評価者3及び評価者4のデータをまとめて、アレニウスプロットした図が、図2-7-2-11(A)～(E)である。

国内Aは、80℃、75℃の加速試験で1700Hを超えたところで、ディスク表面にハードコートの凝集(白濁)が生じ寿命が確定できなくなった。また、65℃では寿命に達せず、寿命は推定値である。このため、30℃での寿命予測値(図2-7-2-12)は、現時点では参考データである。なお、このディスクではハードコートを改良することで、80℃、75℃で寿命が延びることが確認された。今後加速試験を継続することができれば、65℃の寿命データを得ることができ、寿命推定が可能になるものと考えている。

国内Bは、2社間の測定のバラツキが小さく、極めて安定したディスクである。65℃での寿命は、まだ推定値ではあるが、30℃での寿命推定値として85年が得られている。2社のデータを合わせてもバラツキが少ないことから、かなり高い確度で寿命予測が可能と見られる。このディスクは、DVD-RAMの寿命推定のレファレンスディスクとして使用可能と思われる。

台湾Cについては、30℃で103年程度と推定したが、65℃が推定値で、各温度での寿命にもバラツキがある。このディスクは、高温側でレファレンスとなる国内Bメディアより寿命が長いですが、データのバラツキが大きい。65℃の寿命データが確定すれば、寿命推定が可能かも知れない。しかし、バラツキが大きいことから、このタイプのディスクはレファレンスとしては使えないも

のと思われる

台湾 D については、65℃で寿命が確定しているため、確定値として推定が可能のはずである。しかしながら、各温度での寿命データが大きくばらついているため、30℃での寿命推定は困難である。また、85℃、80℃、75℃のすべてで、他社ブランドより寿命が短いので、保存メディアとしては適さないと考えてよさそうである。

台湾 E については、65℃での寿命が評価者 3 で確定していない。また、各温度での寿命データにバラツキがある。無理して 30℃での寿命を推定すると、数年～100 年となり、有効な見積もりとは言えない。このブランドは、85℃、80℃での寿命の平均値が高いが、一方バラツキが大きいため、このようなディスクは長寿命メディアとしては適さない。

以上の寿命考察から、DVD-RAM については、65℃での寿命が確定すれば、5 社のうち 3 社のディスクについて寿命予測が可能であり、推定寿命も 100 年程度はあるものと見られる。

一方、レファレンスと考えられる国内 B ブランドは、85℃での寿命が 500H 以上ある。寿命の平均値がこの時間を大きく下回るディスクやバラツキの大きいディスクは保存に適さないと考えられる。

### (3) DVD-RW ディスク

国内 3 社、台湾 2 社の合計 5 社ブランドについて、評価者 5 が 85℃80%、80℃80%、75℃80%、65℃80%の温度で加速試験を実施した。85℃～75℃での加速では、B ブランドを除き、他の 4 社のブランドはすべて寿命に達した。また、65℃での加速試験では A 社及び B 社ディスクを除き、すべての温度で寿命に達している。図 2-7-2-15 にこれらのアレニウスプロット図を示す。なお、D 社及び E 社のディスクは、PI エラーの初期特性が悪くまた各々の温度での寿命のバラツキも大きい。寿命予測が困難なディスクなので、以下の考察から外した。

国内 A 社ブランドのディスクは、85℃、80℃、75℃の寿命が全体的に短い。特に 85℃での寿命は、B 社ディスクの 1/18 以下の 110H 程度しかないなど、特異なディスクではあるが、測定バラツキは少ない。65℃の寿命は、まだ寿命に達していないので、推定値である。この推定値を用いて 30℃での寿命を予測すると、極めて大きな数値となり、アレニウス法による寿命推定に疑問が残る。初期の反射率が規格の最低値(18%)を下回り、また 65℃では PI エラー(図 2-6-2-5)がまだ寿命に達してはいないものもあり、R14H (反射率)が 12%まで低下するサンプルもある。

劣化のメカニズムはまだ解明できていないが、3T 信号が劣化していることから記録マークの消失などが生じていると予測できる。また、R14H 信号のレベルが規格値の 18%を大きく下回ることから、記録膜全体の変質も考えられる。反射率が大きく低下すれば、読めない装置も出てくるので、このような場合、PI エラーだけで判断してよいかは疑問が残る。この種のディスクでは、65℃よりもっと低温側で加速試験をする必要がある。

国内 B 社ブランドは、85℃で寿命 (2000H) に達したものの、80℃、75℃では、2600H 経過してもまだ寿命に達していない。また、65℃では 4500H 経過でも寿命劣化の変化は見られない。このため、アレニウス法で寿命予測するのに必要なデータが得られていないことから、引き続き加速試験を継続する必要がある。現時点でわかったことは、A 社ディスクに比べ、高温でも極めて寿命が長いことである。65℃の寿命が確定すれば、このディスクを DVD-RW ディスクの寿命予測

のためのリファレンスメディアとして使用できる可能性がある。

国内C社ブランドは、すべての加速試験温度で寿命となっており、30°C80%での寿命を42年と推定できた。このディスクは、85°Cでは、A社ディスクよりも3倍も寿命が長い、一方65°Cでは2700H程度で、A社ディスクのそれよりも低い。加速試験の劣化ディスクは、目視でもしみが見え、反射膜の腐食が生じているものと見られる。

以上の考察から、高温で長寿命のB社ディスクは、65°Cで寿命が確定すれば、このディスクをDVD-RWディスクのレファレンスとして用いることができそうである。一方、A社ディスクは、高温での寿命試験から得た寿命から30°Cの寿命予測をするには疑問があり、低温側での加速試験が必要であろう。また、反射率の大幅な低下もあることから、PIエラーだけで寿命予測していいのか、という疑問も残る。

#### 4.2.2 簡易寿命評価法

これまで、記録形DVDディスクの保存寿命をアレニウス法によって推定できないか、加速試験を行ってきた。温湿度加速試験の試験温度は平成15年度においては85°C、80°C、75°Cの三つの温度について行ったが、平成16年度からは念のために使用温度により近い65°Cにおける試験も追加して行った。65°Cという試験温度は一年前後の時間で寿命試験を完結できる温度の中で最も低い温度を選択した結果、決めたものである。DVD-Rディスクでは、すでに9000時間以上の加速試験を行ってもまだ結論が出ていないものもあるが、そのほかのディスクについては65°Cにおける試験も含めて一応の結論が得られた。

DVD-Rのアレニウスプロットにおいては、65°Cにおける寿命が必ずしも85°C、80°C、75°Cの3点から引いた直線状に乗らない場合が多い。従って、より使用条件に近い65°Cにおける寿命を加えて、30°Cあるいは25°Cにおける寿命を推定することが望ましい。

一方、DVD-RAM及びDVD-RWにおいては、85°Cから65°Cまでの4つのプロットがほぼ直線に乗っていることから、85°C、80°C、75°Cの高温側の3つの温度による加速試験により寿命を推定できると思われる。このことは寿命試験時間をできるだけ短くする上で重要な知見である。なお、DVD-RとDVD-RAM及びDVD-RWの違いは劣化要因の違いによるものと思われる。

以上の見地に立って、寿命試験に必要な時間を検討した結果を表4-2-2-1～4-2-2-3に示す。ここでは、上記の検討結果に基づいてDVD-Rでは、65°Cの試験に必要な時間、DVD-RAM及びDVD-RWでは、75°Cの試験に必要な時間を示している。これまでに述べた寿命試験ではエラーレートの限界値をDVD-R及びDVD-RWではPIE:280、DVD-RAMではBER:9E-4としたので、これらの表では、まず、エラーレートの限界値を上記の値とした表の上の欄の値をみる。

表4-2-2-1によると、DVD-Rの寿命試験に必要な時間は6970時間である。ただし、Bブランドについては、まだ、寿命を評価できるところまでディスクの劣化が進んでいないので、寿命試験にはさらに多くの時間が必要である。このディスクについては、これまでの試験結果からある時間以上の寿命を持っていると評価する方法を工夫したい。DVD-RAMでは、表4-2-2-2に示すブランドのうちDとEは、バラツキが多く寿命評価できないという結論になっているので、A、B、Cの内、一番時間の長いものを選ぶと、必要な寿命試験時間は5130時間となる。表4-2-2-3によると、DVD-RW

の寿命試験に必要な時間は 4758 時間となる。

以上、寿命試験に必要な時間を評価したが、もし、より短期間の加速試験で、記録形 DVD の寿命推定できれば貴重な情報を長期間保存するユーザにとっては、寿命の認定を短時間で行えるので、大きな恩恵が得られる。

寿命試験の短時間化に対応する一つの試案を以下に提案する。

それは、エラーレートの限界値を上記述べた値の半分、すなわち、DVD-R 及び DVD-RW では、PIE:140、DVD-RAM では、BER:4.5E-4 として寿命を求める方法である。このような条件とすれば当然、寿命は短く出るわけであるが、実際の寿命はここで得られた寿命よりは長いという結論は出せる。試験時間がどの程度になるかを表 4-2-2-1~4-2-2-3 から求めると、DVD-R では 5166 時間、DVD-RAM では 3814 時間、DVD-RW では 4482 時間となる。

この他、寿命試験を簡略化する以下の方法も考えられる。加速寿命試験先立って、あるいは、加速寿命試験の途中で、①データの信頼性を表す重要項目の初期特性が規格値を満足するか、②耐光性試験や耐ガス試験で大きな変化がないか、そして、③高温で加速試験を行ったとき、寿命のパラツキが水準以下か、④重要特性項目が初期値と比較して大きく変化していないか、⑤ディスクの表面や記録膜などに大きな変化が生じていないか、などをチェックして悪いデータが出れば、その時点で寿命試験を中止する方法である。これにより、多数のブランドのディスク寿命を評価する場合に、作業量を大幅に減らすことができる。また、車載機器などのアプリでは、高温での動作や保存を必要としていることから、高温試験での寿命を、判断基準に組み入れることも一つの方法であろう。

ブランド PIE 限界値	A	C	D
280	3195	6970	4510
140	2363	5166	3706

各ブランド 10 枚のディスクの中で、65°C の試験時間が最も長いものを選択した。

PIE:280 の場合と 140 の場合の最長時間を示すディスクは必ずしも同じディスクではない。

図 4-2-2-1 DVD-R の所用加速寿命試験時間 (65°Cにおける時間)

ブランド BER 限界値	A	B	C	D	E
9E-4	4859	3776	5130	563	6076
4.5E-4	3385	2713	3814	372	4190

各ブランド 10 枚のディスクの中で、75°C の試験時間が最も長いものを選択した。

BER:9E-4 の場合と 4.5E-4 の場合の最長時間を示すディスクは必ずしも同じディスクではない。

図 4-2-2-2 DVD-RAM の所用加速寿命試験時間 (75°Cにおける時間)

ブランド PIE 限界値	A	B	C
280	1242	4758	1017
140	1017	4482	1031

各ブランド 10 枚のディスクの中で、75℃の試験時間が最も長いものを選択した。

PIE:280 の場合と 140 の場合の最長時間を示すディスクは必ずしも同じディスクではない。

図 4-2-2-3 DVD-RW の所用加速寿命試験期間 (75℃における時間)

### 4.2.3 長期保存ディスクの管理法 (ドライブとの関係を考慮したエラーレート管理)

日本画像情報マネジメント協会(JIIMA)では、電子化文書の長期保存に関する JIS 規格をまとめた。ここでは、企業が説明責任を果たすための文書、特許情報や、法律で長期保存を義務付けられている重要な文書などを長期保存する場合の規定が定められている。ここで、長期とは10年～30年と定義されている。このような目的の保存媒体として DVD ディスクが推奨されているが、この場合には、細心の注意を払ってディスクを取り扱うとともに、ドライブと関連させたメンテナンスを行うことが必要である。

#### (1) 保存媒体の選定

保存媒体として DVD ディスクを選定する場合には、十分な品質管理を行うとともに本報告に示すような寿命試験を行い十分な寿命を持つことを明らかにしているメーカーの製品を選ぶことが重要である。

#### (2) 記録媒体の保存

記録済みのディスクを長期にわたって保存する場合には、記録メディア工業会がそのホームページに示す環境条件を保つことが重要である。しかし、同工業会が示す 15℃～25℃に保つことが難しい場合には本報告の対象温度である 30℃まで範囲を広げても良いと思われる。ただし、この場合は後で示す定期点検を行い、保存を確実なものにすることが重要である。

#### (3) 記録媒体と記録・再生ドライブ

重要な情報を保存する場合、信頼性の高い光ディスクを選択することが重要であるが、一方では、書き込みや読み出しを行うドライブの品質についても十分に配慮する必要がある。非常に多くの製品が販売されているだけに、その品質をユーザが的確に把握することはなかなか難しい。そこで、エラーレートを測定できるドライブを選ぶとともに、次のような手順でエラーレートをチェックすることが望ましい。

#### (a) 記録時のエラーレートチェック

情報を書き込んだ時点で、しっかりと書き込まれていることを確認する。そのためには、エラーレートを測定しその値が以下に示す基準値を上回る場合には、再度書き込みを行う。この場合、書き込みには最初に書き込んだものとは違うドライブを用いることが望ましい。それにより基準値以下のエラーレートが得られれば、ディスクは正常であると判断し長期保存に入ってよい。基準値としては本報告でエラーレートの許容限界値とした値の1/3程度の値とすることが望ましい。すなわち、PI エラー：100 以下、BER:3E-4 以下とする。十分な寿命を有する良質なディスクに正しく書き込めばエラーレートはこの値以下になることが我々のデータより示されている。

#### (b) 定期点検

特に法律で長期保存を定められた重要な情報を保存する場合には、書き込んだ後も定期的にエラーレートを点検する必要がある。3年ごとにエラーレートをチェックし、その値が以下に示す基準値を超えた場合には、次の(c)項に示すチェックをした後に一年以内に新しい光ディスクに書き直すことが必要である。この場合のエラーレートの基準値は本報告の許容限界値の1/2程度とすることが望ましい。すなわち、PI エラー：140 以下、BER：4.5E-4 以下とする。エラーレートが上記の値以下であれば、次の3年は余裕をもってデータを保持できる。

#### (c) エラーレートが基準値を超えた場合の処置

エラーレートが基準値を超えた場合には、まず、その原因がディスクにあるのか、ドライブにあるのかを確かめなければならない。一般の人が行える簡便な方法は、ドライブを複数台用意しておき、エラーレートが基準値よりも大きくなった場合には、他のドライブで同様の測定を行い、それでもエラーレートが大きければディスクの劣化と判断し、データを新しい媒体に書き換える方法である。判断が難しい場合にはドライブメーカーの専門家に判断を求める必要がある。

#### (d) エラーレートをチェックできるドライブ

現在までに JIIMA が把握しているところでは、少なくとも3社が文書の長期保存を想定して、エラー訂正前のエラーレートを計測できるドライブを開発中である。これが発売されると DVD-R、DVD-RAM、DVD-RW のいずれのディスクについてもエラーレートを計測することが可能となる。また、これらの3社は販売したドライブのメンテナンスについても受託する計画であるのでエラーレートを正しく測定する環境が整うことになる。しかしながら、これは業務用を想定したものであり、一般のユーザが使用するには高価である。一般のドライブにそのドライブメーカーが提供するソフトをインストールすればエラーレートを測定することが可能になるような環境作りをドライブメーカーにお願いしたい。

## 第5章 次世代光ディスク媒体への適用拡大

### 5.1 まえがき

本スタディでは、記録形 DVD メディア(DVD-R/RAM/RW)を対象に、その保存寿命について、加速劣化試験による寿命推定法を論じてきた。一方、DVD マーケットの成熟や高精細映像（ハイビジョン）へのニーズの高まりに合わせ、次世代光ディスクの開発・商品化が始まっている。現在、次世代光ディスクとして、HD DVD と Blu-ray の二つのフォーマットが作成され、Blu-ray は 2004 年に実用化され、HD DVD も今年中に市場投入が始まると見られる。これら次世代光ディスクでは、記録再生に 400nm 程度の青色レーザを使い、DVD に比べてより高 NA(開口数)の対物レンズを用いることで、DVD に比べ数倍の高密度・大容量化を実現している。

ここでは、そのような次世代光ディスク媒体に対して、本スタディで得られた知見がそのまま適用できるかを検討してみる。

### 5.2 次世代光ディスクの概要

光ディスクの物理的な記録密度は用いるレーザの波長と対物レンズの開口数(NA)によって決まる。光ディスクにおいては透明な基材あるいは保護材を通して記録材料層上にレーザ光を絞って記録再生を行うので、レンズとディスクの相対的な傾き(チルト)による収差が発生する。この収差は NA の 3 乗に比例し基材(保護材)厚さに反比例するので、NA を大きくするには基材厚を小さくするのが有利である。

レーザは記録に使うには数～数 10mW の高出力のものが必要であるが、レーザ技術の進歩により短い波長のものが使えるようになってきた。またディスクの構造も、樹脂成形技術や貼合せ技術、オーバコート技術といった製造プロセスの技術により進歩してきた。

図 5.2-1 に CD 及び DVD と次世代光ディスクである HD DVD と Blu-ray のディスク構造を示す。CD はレーザ光の入射側と反対の端面に記録膜がある。DVD 及び HD DVD は記録膜を内側にして 0.6mm 基板を 2 枚貼り合わせた構造を持つ。Blu-ray は、0.1mm の保護層を通し入射側の端面に記録膜があり、構造上は CD と類似している。

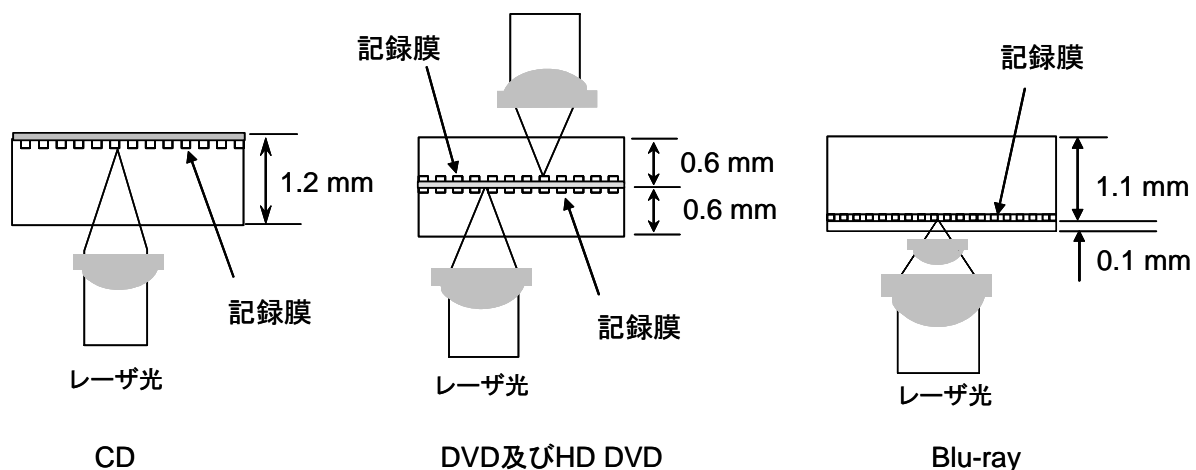


図 5.2-1 ディスク構造

図 5.2-2 に CD 及び DVD と比較した次世代光ディスク、HD DVD 及び Blu-ray の主要パラメータを示す。ディスクは、いずれも直径が 120 mm、厚さが 1.2 mm、で、基材（基板）にはポリカーボネートが使用されている。ディスクの容量は、各々のディスクの構造に依存し、片面か両面か、1 層か 2 層かによって異なる。HD DVD は 1 層あたりの容量は 15GB（書換形は 20GB）である。DVD と同じ構造を持つので同じ製造プロセスが使える。大容量化は、DVD と同様、2 層化、両面化によって実現しており、最大 60GB まで可能である。一方、Blu-ray は高 NA 化によって面記録密度を高めて大容量化を実現しており、1 層あたりの容量が 25GB、2 層構造で 50GB と片面当たりの容量が大きい。

記録媒体の保存寿命を左右する記録膜は、ROM 形では CD から Blu-ray まで、全て同様の金属反射膜が使われている。追記形では、CD 及び DVD が有機色素膜を用いていたのに対し、HD DVD と Blu-ray では、有機色素膜に加え無機相変化膜が用いられている。書換形では、CD から Blu-ray まで、全て同様の無機相変化膜が用いられている。

このように、ディスク構造や記録密度、容量などに違いはあるが、CD から Blu-ray まで、基板（基材）に使われている材料や記録膜はほぼ同じものが使われている。このため、長期保存した場合の振る舞いは、似たものになることが推測できる。

フォーマット パラメータ		CD	DVD	次世代	
				HD DVD	Blu-ray
容量(GB) 120 mm	片面 (1層/2層)	0.78(0.65)	4.7/8.5	15,20/30	25/50
	両面 (1層/2層)	—	9.4/17	30,40/60	—
レーザ波長 (nm)		780	650	405	
対物レンズ NA		0.5(0.45)	0.6	0.65	0.85
ディスク厚みと基材		1.2 mm、ポリカーボネート			
記録膜	ROM	金属反射膜			
	追記形	有機色素膜		有機色素膜 無機相変化膜	
	書換形	無機相変化膜			
主な用途		音楽 データ	ビデオ データ	ハイビジョンビデオ データ	
実用化		1983年	1996年	2006年	2004年

図 5.2-2 光ディスク媒体のフォーマットの比較

### 5.3 次世代光ディスク媒体の寿命予測

5.2 で述べたように、次世代の光ディスク媒体においても基本的な構造や記録再生原理は同じで、記録材料や、基材・保護材といった構成材料も同じである。従って、保存寿命に関わる劣化モードは、本スタディで論じたものと同じであると予測できる。

基材・保護材はポリカーボネートや紫外線硬化性の樹脂であり、貼合わせの接着剤、ハードコート材料も同様の材料系が使われている。厚さや要求精度は異なるが、保存に関わる劣化は同じ現象になると容易に予測できる。また、記録材料も有機色素や相変化材料でその材料は細かい組成比等は変わるものの、材料系としては大きく変わるものではないようである。劣化のモードも酸化や加水分解、相変化材料であれば結晶化など、同一であることが推察できる。

以上のことより、本スタディで検討した、寿命予測の手段としての加速劣化試験もそのまま次世代の光記録媒体でも適用できることが期待できる。

### 5.4 まとめ

以上のように、青色半導体レーザと高 NA レンズを用いる次世代光ディスク媒体においても、その基本的な記録原理、構造・材料系は同一であるので、本スタディで検討した加速劣化試験による寿命予測の方法を使うことができると考えられる。

## 第6章 長寿命光ディスクの応用展開

DVD 光ディスクは記録材料や周辺技術など日本を中心に開発・実用化され、世界へ拡がりスタンダードとなった記録機器の代表例である。コンピュータのデータ記録・保存、ソフト・コンテンツ配布やビデオ記録メディアとして幅広く利用されており、日常生活・業務で欠くことのできない記録メディアとなっている。次世代光ディスクにおいても日本の技術開発が世界をリードしており、2006 年から本格的な普及が期待される。

一方、他の記録メディアやネットワーク環境など、光ディスクを取り巻く周辺状況は大きく変わりつつある。光ディスクと同様に可換型記録メディアである HDD やフラッシュメモリの技術的進歩が著しい。大容量化、小型化により、例えば、携帯型の音の蓄積メディアは MD(Mini Disc)から小型 HDD やフラッシュメモリにシフトしつつある。また、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)、FTTH(Fiber To The Home)などネットワーク環境の高速化、高機能化も急激に進んでいる。インターネットから得られる情報量は格段に増えており、音楽や映像コンテンツをコンテンツプロバイダーからダウンロード・購入することがごく普通になり、流通にも大きな変動が始まっている。さらに、コンピュータを導入する家庭が増え、家電のデジタル化、カメラ付携帯電話や高精細デジタルカメラ・ビデオの普及など、家庭でも音や映像、文字情報などデジタルデータを簡単に取り扱えるようになった。

このような状況の中、光ディスクの特長である長期保存性を活かした応用展開を探るため、主要な応用分野への適用性や課題について考察した。

### 6.1 ビデオレコーダ用メディア

光ディスクを用いたビデオレコーダは、1999 年に最初の製品が市場に登場した後、着実な技術進歩とともに機能や操作性などが大きく向上してきた。また、ハードウェアと記録メディアの低価格化も進み、2003 年末から光ディスクを用いたビデオレコーダが家庭へ急速に普及してきている。

DVD と HDD や VTR との組み合わせや、複数テレビチャンネルの同時録画、HDD の大容量化による長時間録画や追いかけ再生など利便性の高い機能が実現されている。また、Blu-ray ディスクや HD DVD を用いたハイビジョン対応の第 2 世代のビデオレコーダも、2006 年から本格的な普及が期待されている。可換型の記録メディアはテープから光ディスクへとシフトしつつあり、光ディスクは VTR に代わる映像保存メディアとして定着してきている。

また、2007 年度にはサーバ型放送の開始が検討されており、運用規定の整備など準備が進められている。サーバ型放送では、放送局はメタデータと呼ばれる番組情報を映像に付加して放送し、視聴者は HDD など蓄積装置付きの TV 受信機で受信する。視聴者はメタデータを利用して、例えば、いつでも最新のニュース・天気予報や、番組のハイライト部分のみの視聴などを行うことができる。また、インターネットとの連動による、番組補完情報の取得も可能である。さらに、個人の趣向にあわせて、例えば映画やドラマなどジャンルを特化したパーソナルなテレビ視聴を実現することができる。

このようにビデオレコーダや TV 受信機の高度化にともない、光ディスクは保存メディアとしてさらに利用されると考えられる。それには記録メディアの長寿命化の実現や高品質保持が重要である。また、これまで CD、DVD と記録・読み出し互換性が保たれてきたように、将来にわたって読み出し装

置または技術が継承されることが必要である。

## 6.2 放送アーカイブ用記録メディア

放送分野では、NHK アーカイブスが 2003 年から活動している。NHK アーカイブスでは番組 45 万 3 千件、ニュース 125 万 9 千項目のコンテンツをおもに VTR テープで保存している。これらは映像素材として番組制作に活用されており、光ディスクは番組制作用参照動画 (MPEG4) の大容量データベースの記録メディアとして利用されている。

また、視聴者向けに、各放送局の専用端末から過去の放送番組を視聴できる「番組アーカイブス」というサービスを行っており、2005 年末で視聴できる番組数は 5000 タイトルである。他の放送局でも番組アーカイブの構築が進められており、一部ではインターネットによる動画番組配信サービスも始まっている。

この他、業務用ビデオカメラとして光ディスクカメラが開発されている。従来のテープに比べ、操作性や編集サーバとの親和性が高いことなどから、海外の放送局でも採用されており、今後さらなる普及が期待される。

インターネット放送やデジタル放送などの多チャンネル化とともに、今後、コンテンツの重要性がますます高まると考えられる。そのため記録メディアの長期保存性や、著作権管理、セキュリティの強化などが重要であり、大容量映像データベース用記録メディアとして光ディスクへの期待が大きい。

## 6.3 医療情報の保存

医療関係では、2006 年度までに 400 床以上の病院の 6 割以上・全診療所の 6 割以上・**表員**の 7 割以上が電子カルテ及びレセプトの電算処理に対応することを目標に、情報化及びそのための基盤整備が進められている。これにより、医療記録のデータ化・保存、及びこれにともなうレセプト (保健明細書) 請求行ための効率化を図ることができる。また、患者や来院者が複数の病院を多重して診療を受ける場合に、連携した医療行ための実施も可能となる。

現在、厚生省を中心として保健医療福祉情報システム工業会 (JAHIS) 等が医療情報の標準化策定を積極的に推進し、医療機関の相互接続実証実験やロードマップの作成を行っている。保存義務のある医療情報の電子メディアへの保存については、真正性・見読性・保存性の 3 点の確保が求められており、それに沿った保存規格の策定が検討されている。しかし、記録メディアの選定までは規定されておらず、利便性の高い長寿命光ディスクの適用が期待される。

## 6.4 公文書の電子保存

公文書を扱うアーカイブの分野では「実際の経験に裏付けられていないメディアは使わない」との考え方が一般的である。このため、百年以上情報を保存できることが実証されている、紙やマイクロフィルムなどの記録メディアだけが使用されてきた。しかし、紙やマイクロフィルムは電子記録メディアに比べて記録密度が低く情報当たりのコストも高い。非常に多くの保存スペースを必要とし、コンピュータなどの電子情報機器との高速なデータ転送や親和性にも課題がある。

光ディスクは高い記録密度から大幅なスペースの節約が可能である。また情報当たりのコストが安価であり、電子情報機器との親和性が高く、膨大な公文書の保存に適している。

長期保存性に優れた光ディスクを公文書の保存用メディアとして適用を図っていくためには、記録メディアの長期保存寿命の実証が必要不可欠である。また、記録媒体の保存性のだけでなく、さらにそのデータを再生するためのシステムやソフトなどの動作環境の維持を含めて総合的な仕組みを構築する必要がある。

## 6.5 文化財の利活用・情報保存

東京、奈良国立博物館について、国内で3つ目の九州国立博物館が2005年に開館した。博物館は、日本と世界の歴史・文化に関わる文化財を保存し、継承し、活用していくための施設である。文化財の活用については様々な角度から電子情報化が検討されており、静止画像等のデータベース化も進んでいる。九州国立博物館を含め、多くの博物館、美術館や図書館でインターネットを介して所蔵物の閲覧が可能である。電子情報化によりいつでもだれでもどこからでも日本や世界の文物の情報を入手し調査することができるだけでなく、展示による文化財の劣化を避けることができる。

膨大な量の高精細静止画像や映像情報データの保存が必要となっており、高密度・大容量な長寿命光ディスクの果たす役割が重要となる。

以上、長寿命光ディスクの主な応用分野について適用性や課題をまとめた。これ以外にもセキュリティ関連、例えば監視カメラの記録用途などさまざまな応用が考えられる。長寿命光ディスクの早期実現が期待される一方、メディア開発とともに、長期間にわたる互換性の確保についても検討する必要がある。

最後に、長寿命光ディスクの実現が、私たちの生活の豊かさ、便利さや文化的な向上に繋がることを期待したい。

### 参考文献

- [1] 日本記録メディア工業会、DVDメディア消費者調査報告書  
(平成15年度版)
- [2] 光産業技術振興協会、光ディスク平成16年度調査報告書
- [3] デジタルコンテンツ協会、DVD応用システムに関する調査研究  
(平成15年度版)

## 第7章 研究結果のまとめと今後の展開

### 7.1 研究結果のまとめ

#### 7.1.1 加速試験による光ディスクの寿命評価

平成15年度はDVD-R、DVD-RAMについての寿命評価試験をスタートしたが、平成16年度には、DVD-RWの寿命評価をも加えた。また、平成15年度の温湿度加速試験では、研究期間が限られていたこともあって、できるだけ短時間のうちに寿命評価を行うことを目的に、85℃、80℃、75℃の3つの温度による試験を行ったが、平成16年度からは、比較的常温に近い65℃における試験を追加し、平成15年度から始めた85℃、80℃、75℃の高温による寿命試験の妥当性を検証することとした。65℃という温度は平成15年度に得られたデータより、1年前後の期間に寿命データを得られることが期待できる最低の温度として選択したものである。また、平成16年度の試験を継続しても、試験の期間中には寿命限界に達しないディスクがあった。そこで、平成17年度も継続して同じ4つの温度条件における加速寿命試験を行った。

5℃刻み、トータル10℃の温度幅で行った平成15年度からの加速寿命試験に比べると、平成16年度以降はトータル20℃の温度幅での試験を行ったわけで、より、精度の良い寿命推定を行うことができた。

その結果、DVD-RとDVD-RW及びDVD-RAMでは傾向の違う結果が得られた。DVD-Rでは、65℃における寿命データによりアレニウスプロットの傾斜が変わってくるのが判明した。65℃を含めた寿命推定が必要である。一方、DVD-RAM、DVD-RWでは、高温側の3つのポイントと65℃のポイントが同じ直線状に乗っており、高温側の3点による寿命推定が可能である。この違いは、ディスクの劣化要因が異なるためであると思われる。しかし、このような寿命推定ができるのは、バラツキの小さいディスクに限られる。バラツキの大きいディスクではアレニウスプロットのより寿命を推定するための直線を引くことが困難である。寿命を推定できたディスクにおいても、DVD-Rではブランドにより大きな違いがある。100年以上の寿命が推定されるものとバラツキは小さいが寿命が数十年以下と推定されるものがある。劣化要因の分析をさらに進める必要がある。DVD-RAMではバラツキの小さいものは50年あるいは100年以上の寿命をもつと推定される。DVD-RWにおいて、10,000年の寿命が推定されるディスクが存在したが、このディスクは寿命試験の途中で反射率の低下が大きく、規格値を大きく下回っているため、ドライブによってはデータの読み出しができなくなる可能性もある。寿命を断定せず、さらに検討が必要である。

今年度までの、寿命試験ではDVD-R、DVD-RAMについては6サンプル（2評価者トータル）、DVD-RWについては5サンプルによる試験を行った。しかし、製品によってはバラツキの多いものもあり、寿命の推定が困難なものがあった。今後は、さらに多くのサンプルを使用するか、統計的な手法を使った寿命推定を行う方法を検討する必要がある。なお、バラツキの大きいディスクについては、寿命の推定を無理に行っても推定寿命自体にもバラツキが大きくなり、余り意味がない。

本年度に行った寿命推定は多大の時間をかけて行ったわけであるが、次々に出てくる新製品の寿命評価を適正なタイミングで効率よく行うためには、簡便で短時間に実施できる寿命評価法の

開発が重要である。そのための時間短縮の手段として 4.2.2 項で簡略化寿命評価手法を提案した。

### 7.1.2 長寿命光ディスクの開発

本報告では、長寿命光ディスクの開発指針を示した。評価した光ディスクの中には、バラツキが小さく品質は良いと考えられるものの、さらに、長寿命化できる可能性を持った光ディスクがある。第4章で、DVD-R、DVD-RAM それぞれ一つのディスクを例にとり寿命が改善できることを実例として示した。これらのディスクは、温湿度加速試験によるエラーレートの劣化カーブに不連続点が見られ、不連続点以降はそれ以前と異なる要因による劣化が急速に進むことを示している。その劣化要因を分析して対策すればさらに長期の寿命を達成できる。それぞれのメーカーでこの手法を参考にさせていただきたい。ただし、この手法は、生産管理、品質管理がかなり良くなされており、バラツキが少ない製品についてのみ適用可能なものであり、バラツキが大きく品質の悪い製品では要因の分析が難しく改善策を立てるのも難しい。

### 7.1.3 長期保存を行う場合の管理法

重要な情報を保存する場合、信頼性の高い光ディスクを選択することが重要であるが、非常に多数の製品が販売されているだけに、その品質をユーザが的確に把握することはなかなか難しい。日本画像情報マネジメント協会（JIIMA）では、10年～30年間の長期保存を考慮して「電子化文書の長期保存方法」を JIS 規格としてまとめた。この規格化に際しては DCAj もデータを提供して協力した。その結果、以下のような管理をすることが重要であることが規格に盛り込まれている。

- (a) 情報を書き込んだ時点で、しっかりと書き込まれたことを確認する。そのためにエラーレートを測定しその値が基準値を上回る場合には、再度書き込みを行う。
- (b) 法律に保存を定められた特に重要な情報を保存する場合には、書き込んだ後も定期的にエラーレートを点検することが望ましい。例えば、3年ごとにエラーレートをチェックし、その値が基準値を超えているような場合には、新しい光ディスクに書き直すことが望ましい。

## 7.2 今後の展開

今後の展開のために早急に解決すべき課題は以下のとおりである。

### 7.2.1 長寿命光ディスクの認定機構の設立

本研究では、統計的手法も含めて、光ディスクの寿命を推定する方法を提案した。また、DVD ディスクについては書き込み速度の向上などの製品改良が頻繁に行われるので、できるだけ簡便な手法で、できるだけ短時間のうちに寿命を評価する手法を確立することが重要であるので、その手法についても一つの提案を行った。

今後は、中立公平な立場で光ディスクの寿命を評価認定するための機関の設立を検討すること

が必要である。

### 7.2.2 DVD ディスクの寿命推定手法の国際標準化

OSTA は ECMA を経て ISO に光ディスクの寿命評価法の標準化を進めようとしている。この動きは、我々 DCAj と軌を一にするものである。OSTA も DCAj が寿命に関する多くのデータを持っていることを知っており、協力して標準化を進めることを希望している。SC23 とも協力しつつ標準化を進めてゆきたい。この標準化は、(1)の認定機関を設立する上でも重要なよりどころを提供するものである。

### 7.2.3 光ディスクの寿命評価試験

光ディスクの寿命評価法の標準化を SC23 などの場で推進するにあたり、OSTA などの海外の機関からの提案との整合を図るためには、これまで DCAj が進めてきた条件に加えて、新たな条件における寿命評価試験を追加する必要がある。この追試を推進することにより新しい国際標準化に貢献して行きたい。また、必要に応じて、新しく市場に出てくる光ディスクについても寿命評価試験を実施したい。

### 7.2.4 エラーレートを測定できるドライブとその普及

現在のところは、エラー訂正前のエラーレートを測定できるドライブは限られているが、JIIMA が把握しているところでは少なくとも 3 社がエラーレートを測定できるドライブを開発中であり、近いうちに発売される見込みである。これらの 3 社はメンテナンスも含めて契約する方針なので、DVD-R、DVD-RAM、DVD-RW いずれに対してもエラー訂正前のエラーレートを測定する環境が整いつつある。しかしながら、これは業務用を想定したものであり、一般のユーザが使用するには高価である。一般のドライブにそのドライブメーカーが提供するソフトをインストールすればエラーレートを測定することが可能になるような環境作りをドライブメーカーにお願いしたい。本研究で得られた DCAj のデータはこのようなドライブの普及の必要性を示している。



— 禁無断転載 —

システム開発 17-F-5

長期保存のための光ディスク媒体の開発に関する  
フィージビリティスタディ (要旨)

平成18年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会  
東京都港区三田一丁目4番28号  
TEL 03-3454-1311

委託先 財団法人デジタルコンテンツ協会  
東京都千代田区一番町23番地3  
TEL 03-3512-3903

