

光ディスク用光機能膜のナノ構造変化の波動光学的評価

Optical evaluation of recording layer nano-structure in optical disks

入江 満
(Mituru IRIE)

光ディスクは、マルチメディア情報化時代の媒体として爆発的な普及が進んでいるが、さらに、e-Japan計画にもとづく電子文書化媒体としてデジタルデータの永続的保存に適した情報蓄積媒体（エターナル光ディスク）として新たな用途が期待されている。このため、本研究では、エターナル光ディスクの基礎的設計指針を確立することを目的とし、光ディスク用光機能膜のナノ構造変化を解明するための波動光学シミュレータの構築、環境劣化特性の実験的評価を実施し、エターナル特性について光ディスクの光機能膜の環境劣化要因を波動光学的立場から解析すると共に研究指針を確立するための調査を行い、エターナル光ディスク創生の可能性を検証した。

本論文では、高密度追記型光ディスク（DVD-R）に対する信頼性寿命について故障モデル推定にアイリング加速試験モデルと統計解析手法を適用し、統計的推定方法を検討した。

光ディスクの特性劣化要因は、記録膜を構成する機能薄膜が酸素や水分の拡散等による化学的反応によって生じる。劣化原因が反応速度論に従う場合には、外的ストレスと反応速度の関係をアレニウス則やアイリング則として加速試験評価が行なえることは広く知られている。本研究では、光ディスクの保管条件として温度と相対湿度のみを考慮したアイリング則の寿命推定モデルを採用し、アイリング式として

$$t = A \cdot \exp\left(\frac{E_s}{kT}\right) \cdot \exp(B \cdot R) \quad (1)$$

を用いた。ここで、 E_s は活性化エネルギー、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 R は相対湿度、 A 及び B は定数、 t は加速試験において寿命評価指標が寿命評価基準に到達するまでの時間（寿命データ）であり、拡散速度 D の逆数で与えられる。温度と相対湿度について条件の異なる加速試験を実施し、それぞれの条件下での寿命データを得れば、重回帰分析により(1)式の定数 A 、 B 及び E_s を算出することができ、アイリング式より期待寿命を推定することができる。

寿命データの統計分布は、対数正規分布 $f(t)$ を仮定し、その検証を行った。対数正規分布は、寿命データの対数が正規分布に従っている場合の分布であり、

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)^2\right], \quad t > 0 \quad (2)$$
$$= 0 \quad t \leq 0$$

で与えられる。ここで μ は対数平均、 σ は対数標準偏差を表す。

期待寿命の推定は、温度と相対湿度及び対数平均値のストレス条件を用いてアイリング式の係数を算出した結果、温度25℃、相対湿度50%の保管条件において信頼度を95%とした場合、95%の信頼水準で予測される期待寿命は、 6.05×10^5 (時間)＝約70年と推定することができた。

本論文では、寿命データ分布は、対数正規分布によってモデル化できること、加速試験によって故障モードが変化せず、加速試験を有効に適応できることを実験的に明らかにした。さらに、アイリング式の実験式を導出し、統計解析により、信頼度を95%とした場合、95%の信頼水準で区間推定される期待寿命を算出した。