

# 次世代光ディスク技術

## Next-Generation Optical Disc Technologies

渡部 一雄

■ WATABE Kazuo

CDを皮切りに、DVDやブルーレイディスク<sup>(注1)</sup>といった大容量の光ディスクが世代を追って普及してきた。市場はこれまでコンシューマー中心であったが、次世代光ディスクでは、大容量に加えて長期保存性や耐環境性が求められる業務用中心へと変化していくことが予測される。しかし、光源の短波長化による高密度化が青紫色半導体レーザーで一定の極限まで達し、次世代光ディスクはこれまでとは異なる大容量化手法を採る必要が出てきた。

今回東芝は、大容量化技術の一手法であるホログラフィックストレージ<sup>(注2)</sup>の実用化技術を開発した。これにより、記録媒体の温度変化に伴う再生データの劣化と記録時の振動による記録不良を補償することができる。

High-capacity optical discs including CDs, DVDs, and the Blu-ray Disc™ are now widely used as recording media for various purposes, and there is growing demand for a next-generation optical disc in the enterprise market that can store information for long periods and offer enhanced environmental robustness in addition to large-capacity storage. However, as high-density recording utilizing shorter-wavelength light sources such as the blue-violet laser for Blu-ray Disc™ reaches its performance limit, new technologies other than shortening of the wavelength are required for the next-generation optical disc, including multilayer recording, holographic data storage, near-field recording, and so on.

To fulfill these requirements in the enterprise market, Toshiba has developed novel holographic data storage technologies for practical application comprising a temperature compensation technology and a vibration compensation technology for use during the recording process.

### 1 まえがき

光ディスクは、CDを皮切りに、DVD、ブルーレイディスクと大容量化を遂げてきた(図1)。この過程では、それぞれの規格で用いられる光源レーザーが世代を追うごとに短波長化され、高密度化されることが基本であった。これは、記録再生光スポット径が波長に比例するためである。これら3世代の光ディスク規格に続く次世代光ディスクは、第4世代光ディスクとも呼ばれ、青紫色レーザーを用いた光ディスクシステムが開発された2000年代初頭から研究開発が活発化した。現在も近接場記録、超解像記録、多層記録、ホログラフィックストレージなど、様々な大容量光ディスク技術が研究されている。

しかし、いずれの方式も光源のいっそうの短波長化(紫外線レーザーの利用)を基本とはせず、第3世代、すなわちブルーレイディスクと同じ青紫色レーザーを光源としている。紫外域では従来の光学素子の吸収が大きいこと、半導体レーザーの開発が進んでいないこと、などが要因である。その点において、第4世代光ディスクは、これまでの世代とは異なり、パラダイムシフトとも呼ぶべき手法変換を導入する必要がある。

(注1) Blu-ray Disc™ (ブルーレイディスク)、Blu-ray™ (ブルーレイ) は、ブルーレイディスクアソシエーションの商標。

(注2) 記録媒体に同時に照射した参照光と情報光の二つの光束が重なり合った部分に、3次的に発生した干渉縞(じま)をデータとして記録する技術。

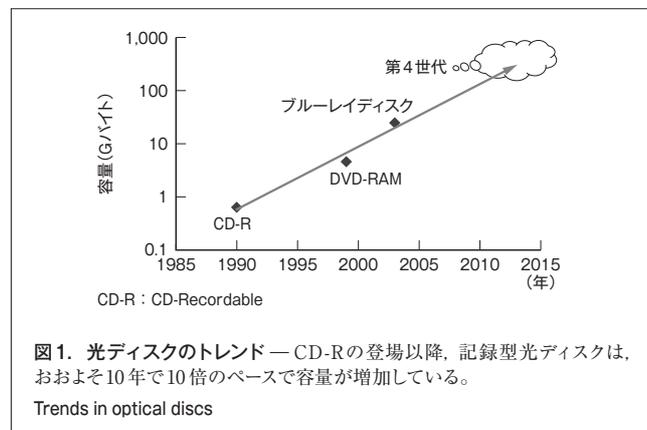


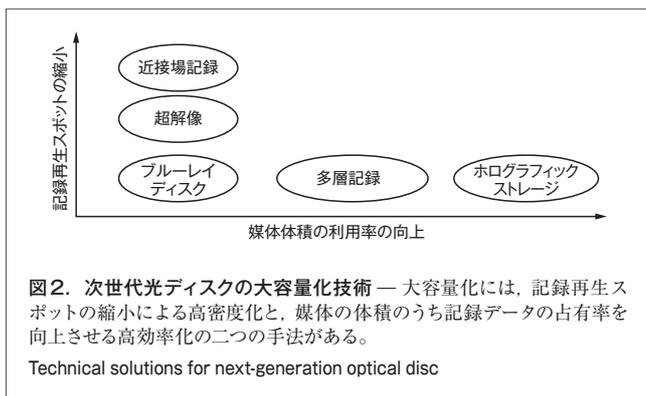
図1. 光ディスクのトレンド—CD-Rの登場以降、記録型光ディスクは、おおよそ10年で10倍のペースで容量が増加している。

Trends in optical discs

ここでは、大容量化手法の概要と、その一手法であるホログラフィックストレージについて東芝が開発した技術を述べるとともに、これまでの光ディスクが担ってきた音楽や、標準映像、高精細映像の記録などの応用分野が次世代でどのように変化するのかについて考察し、その市場展望について述べる。

### 2 大容量化技術の動向

ブルーレイディスクを基準とした大容量化の手段は大きく分けて、記録再生光スポットの縮小と、媒体体積の利用率向上の二つの方法が挙げられる(図2)。記録再生スポットを縮小



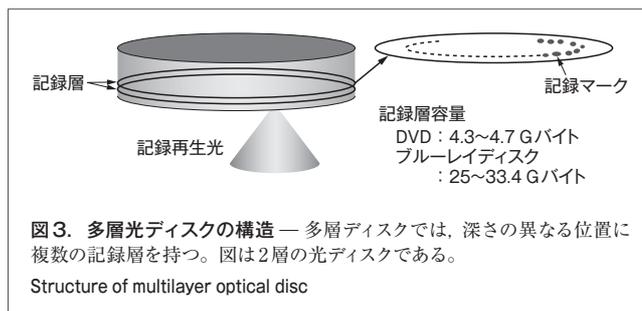
して、より細かく記録マークを形成する方法としては、超解像技術と近接場記録技術がある。前者は、特殊な層を設けた記録媒体を用いて、後者は特殊な対物レンズ (Solid Immersion Lens) を用いてそれぞれ記録再生スポットを縮小する技術である。一方、媒体の体積のうち、情報記録に用いる領域を増加させて大容量化を図る技術として多層記録技術とホログラフィックストレージ技術がある。

次世代光ディスクにおいて、記録再生スポットの縮小は前述のように光源の短波長化が期待できないため、高密度化の余地が比較的少ない。一方、記録媒体における記録層の体積占有率は現状では低いため、体積利用率増加のほうが大容量化の余地が大きいと考えられる。特に、このうち多層記録技術は、現行技術の延長線上にあり、記録再生装置の構造や構成は現行から大きく逸脱しない。一方ホログラフィックストレージは、データの記録方式が、ビット単位からページ単位へと大きく変化する。また、記録原理も反射率変化マークの記録から、ページデータ画像の干渉縞 (じま) 記録へと根本的に異なる方式を用いる。したがって、記録再生ドライブの構造や構成は、現行とは大きく異なる。このため、多層記録技術が比較的開発期間が短いのに対し、ホログラフィックストレージ技術は長期間の開発が必要になる。

### 3 多層記録技術

DVDやブルーレイディスクでは、情報を数～十数ビット単位でマークとして記録する。記録マークは、記録層面内でスパイラル状に連なって記録される。一つの記録層面内の情報量は、DVDで4.3～4.7 Gバイト、ブルーレイディスクで25～33.4 Gバイトである (図3)。

ディスクの片面から記録再生できる記録層を複数持つようにして、ディスク当たりの記憶容量を増やす技術が多層記録技術である。DVDでは、1回記録型2層ディスク (DVD-R DL) が製品化されている。一方、ブルーレイディスクでは、1回記録型と書換え型の両方で2層及び3層ディスクが製品化されており、容量は最大で100 Gバイトである。

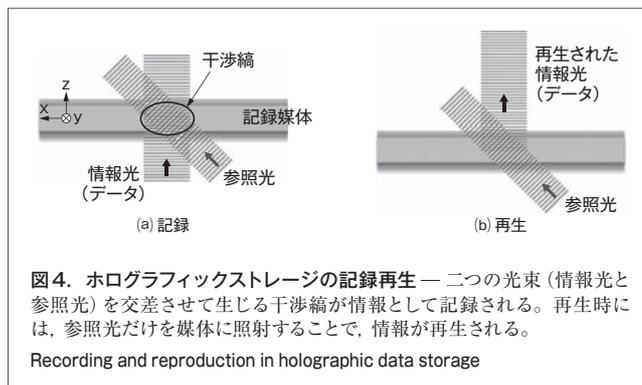


記録再生光が片面から照射されて、複数の層のいずれかを記録再生するため、ディスク表面に近い記録層 (図3では2層のうち下側の記録層) は半透過層となっており、ディスク表面から遠い記録層にも十分な光量が到達するように設計されている。

一方、記録層を更に増やす技術の開発も行われている。ブルーレイディスクでは、最大4層の記録層を持つ多層ディスク (容量128 Gバイト) が規格化されている。また、学会などでは、最大16層の記録層を持つ、512 Gバイト容量の1回記録型ディスクの報告がなされている<sup>(1)</sup>。このような多層記録型ディスクの特長は、大容量化に伴う記録再生装置の変更が比較的少なくて済むことである。記録層を多層化すると、ディスク表面からもっとも遠い層にも十分な光量が到達するように各層の半透明度をこれまでより更に上げる必要がある。このため、SN比 (信号とノイズの比) の低下や層間クロストークの増加といった課題が予測されるが、従来の記録再生ドライブの部品や構成の工夫により克服できると考えられる。したがって、製品化のロードマップ上は、多層ディスクは比較的短期の開発対象として加えることができる。この場合、多層化のレベル、すなわち層数は開発の過程において、大容量ニーズと製品の信頼性を考えて最適化していく必要がある。

### 4 ホログラフィックストレージ技術

ホログラフィックストレージの記録再生原理を図4に示す。ホログラフィックストレージでは、情報を記録するために情報光と参照光と呼ぶ二つの光束を用いる。記録する情報は2次



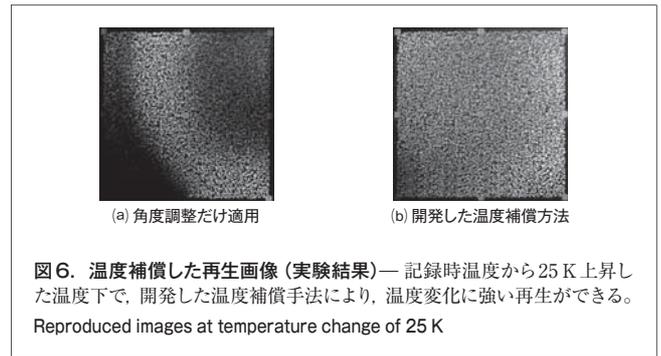
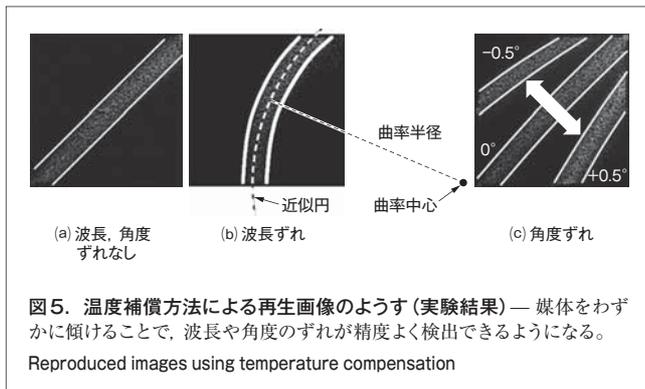
元コード (ページデータ) として情報光に重畳され、記録媒体上に照射される。記録媒体には参照光が同時に照射され、二つの光束が重なった部分に3次元的に発生する干渉縞をデータとして記録する。これにより前章の多層記録技術と比べて、記録媒体の体積を更に余すところなく使うことができる。情報を再生するときには、参照光だけを干渉縞に照射することで、記録時に用いた情報光が再生される。この干渉縞はサブミクロンオーダーの微細構造であり、情報を記録するときには参照光と情報光の相対変動が十分小さいことが要求される。

したがって、従来のビット記録型の光ディスクと比べて、長所と短所がある。長所としては、媒体の体積全体を情報記録に使うことによる大容量化の他に、多くのデータ (例えば1 Mビット) を一度に媒体に記録できる高転送レートがある。一方、短所としては、記録媒体の温度変化に伴う再生データの劣化と、記録時の振動の影響による記録不良などが挙げられる。このため、ホログラフィックストレージの実用化にはこれらの弱点の克服が欠かせない。当社では、これらの弱点を補償する技術を開発したので以下に述べる。

#### 4.1 温度補償技術<sup>(2)</sup>

安価で良好な記録特性を持つフォトポリマーは、近年ホログラフィックストレージ媒体として広く用いられつつある。しかし、ほとんどのフォトポリマーは大きな熱膨張係数を持っているため、温度変化により再生画像の劣化を生ずることが知られている。この劣化を補償する技術として、再生時の参照光の波長と媒体への照射角度を閉ループ制御により調整する新しい方法を考案した。

この温度補償アルゴリズムとして、記録媒体を意図的にわずかに傾けて再生した画像から、波長ずれと照射角度ずれを検出する方法を新たに考案した (図5)。情報再生時に媒体を一定方向にわずかに傾けると再生画像において細い棒状の領域だけ輝度が高くなる。この棒状領域の曲率半径や輝度分布を観測することで、理想的な波長や参照光照射角度からのずれを算出することができる。このずれ信号取得及び、波長と角度の補正、画像取得を含むフィードバック制御系を構築し、波長と照射角度を最適化する。



開発した温度補償方法と従来の方法により補正して取得した画像を図6に示す。従来の方法では再生画像に明らかな輝度むらが残るのに対して、開発した方法では輝度むらが大きく改善されることがわかる。

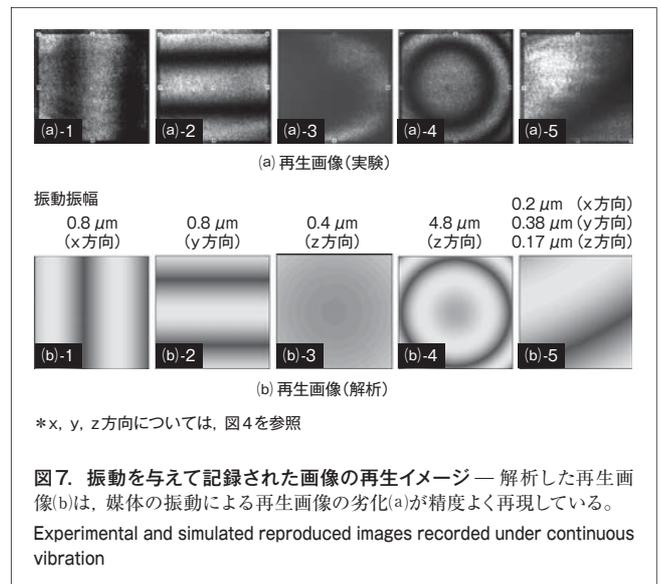
#### 4.2 記録時振動補償技術<sup>(3)</sup>

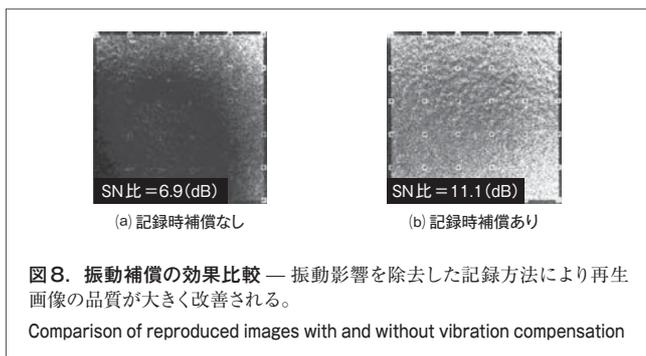
DVDやブルーレイディスクでは、対物レンズとディスクの相対距離がフォーカサーボによりサブミクロンオーダーで制御されている。ホログラフィックストレージでは、情報の記録に用いる情報光と参照光のうち、情報光だけが対物レンズを通るため、対物レンズと記録媒体の相対距離を制御しても十分とは言えない。そこで、フォーカス制御は行わずに、記録時の振動の影響を低減する技術を開発した。

開発の第一段階として、記録時の振動が記録再生画像にどのような影響を与えるのか、実験と解析により分析した。

媒体を様々な方向に振動を与えながら記録した画像の再生イメージを図7(a)に示す。サブミクロンオーダーの振幅の振動により、画像に周期的な輝度むらが現れたり ((a)-1, 2, 4), 全体的に暗くなったりする ((a)-3) 現象が確認された。

これらの現象は、振幅のピーク位置で記録された2個の干渉縞から再生された2個のホログラムが互いに干渉したものと





考え、この現象を再現する解析モデルを構築した。このモデルによる解析結果を図7(b)に示す。(a)、(b)それぞれの同じ番号の画像は同一条件で振動を与えたものである。実験と解析結果を比べると、よく似た画像劣化が生じており、この解析モデルが妥当であることが確認できた。

この解析モデルの妥当性が確認されたことから、振動によって二重のホログラムが記録されるのを避けることが画像劣化に効果的であると考え、媒体と光学系の相対変位量に基づいて、記録光を間欠照射させて実質的に振動の影響を軽減する方法を考案した。振幅 $0.4\ \mu\text{m}$ の振動を与え続けた状態でデータ記録を行った結果を図8に示す。新たに考案した記録方法を用いた場合((b))は、この方法を用いなかった場合((a))と比べて明らかな画質改善が見られ、この記録方法の有効性が確認できた。

## 5 次世代光ディスクの市場

ストレージを取り巻く環境は、ここ数年で大きな変化を見ている。タブレット型PC(パソコン)などに代表されるODD(光ディスクドライブ)やHDD(ハードディスクドライブ)を搭載しないPCの台頭と、SSD(ソリッドステートドライブ)の市場導入である。このため、PCへのODDの搭載率は全体として低下している。市場全体としては、PCやコンシューマー機器向け市場のストレージは、半導体ベースのストレージの構成率が増加していくことが予測される。

一方、ユーザーの扱う情報量は増加の一途を辿(たど)っており、今後も指数関数的に上昇するというのが一般的見方である。情報の所在も個人所有の機器のストレージから、ネットワーク上のストレージへと移行が進むと予測され、クラウド<sup>(注3)</sup>に代表されるエンタープライズ向け機器のストレージ容量の増加は急速に進むことが予想される。エンタープライズ向け機器では、取り扱う情報をアクセス性や重要度などで細分化して効率よく運用することが求められる。

(注3) インターネットや通信事業者ネットワーク上に存在するサーバから提供されるサービス。

このため、その目的に適したストレージデバイスを選択することが運用上の鍵となる。例えば、アクセス頻度は極端に少ないが、長期にわたって保管する必要性が高いデータは、高速だが比較的高価なSSDに保存するのは効率が悪い。このような目的では、SSDやHDDに保管するよりも、長期保存性と耐環境性に優れた光ディスクに保管して、ネットワークから取り外したオフライン管理とするのがコスト面で効率が良い。また、ディスクを装置から取り出して保管することで、長期保管時のエネルギー消費量の低減、いわゆるグリーン化に寄与することもできる。

このように、次世代光ディスクの市場は、CD、DVD、及びブルーレイディスクが担ってきた音楽や映画などのコンシューマー向けの配布媒体を中心とした役割から、業務用のデータアーカイブ(長期保存記録)媒体としての役割へと、大きく変化することが予想される。つまり、次世代光ディスクは、前述の技術的な変革に加え、市場での役割にも大きな変化が生じると考えられる。したがって、次世代光ディスクでは、このような市場変化を想定した仕様構築が求められることとなり、この点を考えて開発を進めていく。

## 6 あとがき

CD、DVD、及びブルーレイディスクに続く第4世代と呼ばれる次世代光ディスクの技術について、大容量化手法の技術動向を述べるとともに、その一手法であるホログラフィックストレージ技術について当社が開発した実用化技術を述べた。また、次世代光ディスクの市場が、これまでのコンシューマー市場中心から業務用市場中心へと変化が予測されることを述べた。

次世代光ディスクの開発においては、技術的变化とターゲット市場の変化を見極めて開発を進めていく。

## 文献

- (1) Inoue, M. et al. 512GB recording on 16-layer optical disc with Blu-ray Disc based optics. Proc. of SPIE. **7730**, 2010, 77300D-1 - 77300D-6.
- (2) Usui, T. et al. Temperature Compensation Servo Algorithm for Holographic Data Storage. Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 2010, 08KD04-1 - 08KD04-2.
- (3) Usui, T. et al. "Investigation and Reduction of Signal Deterioration Caused by Submicron Vibration on Holographic Data Recording". Technical Digest of International Symposium on Optical Memory. Hualien, Taiwan, 2010-10, The Japan Society of Applied Physics (JSAP), The Magnetics Society of Japan (MSJ), and Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA). 2010, p.228 - 229.



渡部 一雄 WATABE Kazuo

ODD事業統括部 技術担当参事。  
光ディスク装置の技術開発に従事。日本光学会、米国光学学会会員。  
ODD Div.