

論文の内容の要旨

論文題目 コリニアホログラフィー
氏 名 堀米 秀嘉

近年のインターネット環境とモバイル通信環境の急激な発達などにより、2020年には全世界のデジタルデータ生産量が年間 40ZB を超えると予想されている (ZB [ゼタバイト]: 1 ZB = 1,000 EB = 1,000,000 PB = 1,000,000,000 TB)。しかし、このような膨大な情報のうちの 80% は、情報をアーカイブデータとして長期保管しなければならないもので、クラウドなどに代表されるデータセンターでは、アーカイブのための費用の増大が大きな問題となっている。

そのような背景から、光ディスクストレージの持つ長期間保存性と低消費電力の特徴に着目し、「コールドストレージ」として Blu-ray Disc を用いたアーカイブストレージシステムの試験運用が始まっている。しかしながら、従来の光ディスクは基本的に 2 次元的な記録媒体への Bit by Bit 記録再生方式であるため、記憶容量と転送レートには限界がある。

一方、ホログラフィック光メモリーでは、厚みを持った体積的な記録材料中へ 2 次元的に配列されたページデータを一括して記録再生が可能であるため、超高密度・大容量と超高速データ転送速度を両立できると期待されている。しかしながら、光学系が複雑で、振動にも弱いいため、本格的な実用化は夢と言われている。

そこで、これまで例のなかった「ホログラム技術」と「光ディスク技術」の融合を試み、平行に進む一本の光とたった一つの対物レンズにより、ホログラムの記録再生を可能にする方式の実現を目指した。その結果、参照光パターンと情報光パターンを同じ空間光変調器 (SLM) に表示することで、本研究の目的を実現できることを見出し、本方式を、コリニアホログラフィーと命名した。コリニアホログラフィーでは、参照光と情報光が一つの同じ光軸上を同じ光路で伝搬するため、コモンパス光学系となり、光ディスクで広く利用されている光サーボ技術の融合が可能となった。これにより、連続回転するホログラム記録媒体に対しても 20nm オーダーのメカニカル精度で干渉縞の記録再生を実現することが可能となった。これにより、本研究は、実用的なホログラフィック光データストレージシステムにまで発展し、コリニア方式ドライブシステムのプロトタイプ機: ES-1 の完成にまで到達した。

以上の研究成果により、コリニアホログラフィーは、ホログラフィック光メモリーを真の実用化に導く有用な技術である事が示されたのみならず、ホログラフィック 3D プリンターに代表されるような、他のホログラフィー応用分野でも利用可能であることが具体的に示されたと考

えている。

本論文では、従来のホログラフィーと比較する形で、コリニアホログラフィーの原理について述べた。また、シミュレーション手法を用いてコリニア方式によって形成される干渉縞を、世界で初めて可視化した結果を示した。更に、コリニア方式による記録再生特性を評価する課程で、コリニアホログラフィーでは鋭いシフト選択性を有する事を見出し、世界で初めてコリニア方式による $3\ \mu\text{m}$ ピッチのシフト多重記録再生に成功した。これにより、光ディスク 1 枚あたりの容量が 1 TB を超える事が可能である事を、実証実験によって示した。

実用的なホログラフィック光ストレージシステムの設計指針を構築するために、コリニア方式において重要なシステムマージン項目を洗い出し、それぞれのマージンの値を実験により評価した。また、記録再生時の波長シフトに関係する波長マージンの評価を行なった結果、マルチモード発振した青色半導体レーザーを用いても、高品質のページデータの再生が可能である事を実験により示し、将来の、超小型光学ヘッドの実現可能性を示した。

上記の知見を活かして実用的な記録媒体構造と周辺の専用デバイスを新規に開発する事で、300 rpm で連続回転するホログラフィック光ディスク HVD の全面に、ES-1 を用いて On the Fly でページデータを記録再生する事にも成功した。なお、コリニアホログラフィーを用いた光ディスクフォーマット HVD (Holographic Versatile Disc) は、スイスに本部を置く国際標準化機関である Ecma International において、2007 年 5 月に世界標準規格として承認された。これは、ホログラフィック光メモリーの研究開発の歴史上初めての事であり、実用化と普及に向けた大きな一歩である。

本研究では、コリニアホログラフィーのコモンパス光学系の利点を生かし、光の位相多値階調情報を安定して記録再生する、光フェーズロックコリニア方式の基本原則も考案し、1 画素あたりに 3 2 階調 (5 bit) もの情報を付加した状態でも、実用域のエラーレートで位相値が読み出せる事を、世界で初めて実験により実証した。これを発展させ、参照光を位相コード化して多重記録する方法により、位相多値階調ページデータの位相コード多重記録再生にも、世界で初めて成功した。この成果は、今後のホログラフィック光メモリーの実用化開発に、新たな方向性を示すものである。

更に、物体光と情報光の偏光方向を制御したコリニアホログラフィー技術による、リップマン型ホログラムの露光形成原理を考案した。この技術を用いて、ホログラフィック 3D (画像) プリンター : CDP-1 を開発し、フルパララックスの情報を持った高解像度の 3D 立体画像の露光印刷に成功した。

これにより、コリニアホログラフィーがホログラフィック光メモリー以外の用途においても利用可能であることを示すと同時に、コリニアシフト多重による記録は 3D 画像の高解像度化に有効であることも示された。