

## 論文審査の結果の要旨

氏名： 华 杭波

博士の専攻分野の名称： 博士（工学）

論文題名： Image Quality Improvement of Volume Hologram Printer with Digital Filter  
(体積型ホログラムプリンタのデジタルフィルタによる画質改善に関する研究)

審査委員： (主査) 教授 吉 川 浩

(副査) 教授 細 野 裕 行 准教授 山 口 健

本論文の研究領域は、3次元表示技術、中でも計算機合成ホログラムの出力装置の一つである体積型ホログラムプリンタのための画質改善方法の提案と評価である。近年、電子計算機の性能の著しい向上により1千億画素をこえる高解像度のホログラムを計算機により生成することが可能となり、そのための出力装置としてのホログラムプリンタが注目され、盛んに研究が行われている。ホログラムプリンタとしては、多数に視点からの2次元画像を集積するホログラフィックステレオグラムに基づくものが実用化され、商業化もなされている。しかし、ステレオグラム方式は、ホログラム本来の利点である光の波面を再生するかわりに光線で近似したものであるため、奥行きが深い被写体では像のボケが生じることが問題であった。そこで、最近ではホログラム本来の波面再生に基づくプリンタの研究が行われている。このプリンタでは、2次元構造の干渉縞を記録する方式と、3次元構造の干渉縞を記録する方式に大別できる。3次元構造を記録する方式は像の再生において波長選択性があり、白色光でホログラムを再生した場合にフルカラーで被写体と区別のできない3次元の再生像を得られる利点がある。しかし、3次元構造の干渉縞であるため、これを直接計算機で合成したり出力したりすることは実用的ではない。そのため、まず2次元構造の干渉縞を計算機で合成して液晶パネルなどの空間光変調器に出力し、レーザにより再生した3次元像を3次元構造の干渉縞として光学的に転写するプリント方式が提案された。その際に使用する液晶パネルはビデオディスプレイ用であるためにホログラムに要求される解像度より3~4桁低いものである。そのため、1回の転写ではホログラムの一部分しか印字できないので、縦横に多数の要素ホログラムを転写することで大きなホログラムを出力する。この要素ホログラムは、個々のサイズが2~4ミリメートル程度であるため、隣接する要素ホログラムの位置がずれて重なりや隙間ができると網目状の模様が見えて再生像の画質が低下してしまう。この問題の解決策として、要素ホログラムを縦横に50%ずつ重ねるプリント方式が提案され、効果が確認されている。しかし、50%重ねると同じ場所に4回ホログラムが転写されるために、印字速度は25%に低下してしまう。そこで、申請者は重ねる割合を減少させる方式を提案して、数値シミュレーションによりその有効性を示した。たとえば、重ね印字の割合を周囲の10%とすると、印字速度は重ね無しに比べて81%に抑えられ、50%重ね印字に対しての速度は3.24倍となる。この時、印字するホログラムデータに何も処理をしないと重なった部分の輝度は重ならない部分の再生像の2倍になり、網目の問題が発生する。そこで、ホログラム周辺の輝度を段階的に減少させて輝度の変化がわからないようにする必要がある。ただし、プリンタに送るデータは液晶に表示する平面ホログラムの干渉縞であるのに対し、輝度を制御するのは平面ホログラムからの再生像になる。そこで申請者はホログラムの性質を利用して、ホログラムの干渉縞をフーリエ変換してその振幅情報に対して空間フィルタを適用し、フーリエ逆変換により再生像の周辺輝度を制御したホログラムのデータを得る方法を提案した。このデジタルフィルタ処理の有効性を再生シミュレーションにより確認した。申請者は実際のプリンタによる出力実験も試みていて、いずれは実際の出力結果でもその有効性が示されるものと考えられる。

以上のように、本論文は、体積型プリンタのデジタルフィルタによる効率的な画質向上手法を提案してその有効性を示したものである。以下、論文の章立てに沿って審査の内容を報告する。

論文は、第1章の序論から第6章の結論に至る全6章から構成されている。

「第1章 Introduction (序論)」では、ホログラムに関する研究の発展から本研究の背景と目的、本論文の構成および用語の定義についてわかりやすく説明されている。本章では、本研究の課題を明確に

浮き上がらせており、本論文の重要性が明確にされている点で評価できる。

「第2章 Background Knowledge (基礎原理)」では、光学的なホログラムの原理から、波面の記録と再生、計算機によるホログラムの合成、体積型ホログラム、フルカラー体積ホログラム、ホログラムの特徴、フリンジプリンタなどを解説している。本章では、後の章の理解に必要な項目についてについてわかりやすく説明されている点で評価できる。

「第3章 Volume hologram printer (体積型ホログラムプリンタ)」では、本研究で扱っている体積型ホログラムプリンタの基本的原理と光学的転写のための最初のホログラムの構成及びホログラムの計算方法について説明している。

「第4章 Volume hologram printer system (体積型ホログラムプリンタシステム)」では、プリンタの光学系の概要と光学転写部分の説明、フルカラー化とシステム全体について説明している。

「第5章 Improve quality of volume hologram (体積型ホログラムの画質改善)」は、本研究の核となる部分であり、申請者の提案したデジタルフィルタの理論と計算機合成ホログラムへ適用方法を説明している。また、提案したデジタルフィルタを部分的に重ねる印字方式に適用した場合の有効性を再生像の数値シミュレーションにより確認し、再生像の輝度の急激な変化が抑えられることを示した。本章では、申請者の提案手法が画質改善に有効であることを明確に示しており、本論文の重要性が明確にされている点で評価できる。

「第6章 Conclusion (結論)」では、申請者の行った研究の成果や今後の課題を述べている。

申請者の研究は、高画質で忠実な3次元再生像が得られる体積型ホログラムプリンタの画質を改善する具体的な方法を提案しており、数値シミュレーションによりその有効性も示している高く評価できる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するために必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士(工学)の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和3年2月18日