



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	電子ホログラフィを用いた接眼型立体表示装置および再生用光源の開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	米山, 拓応
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第15664号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90748
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuo_Yoneyama_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 米山 拓広

学 位 論 文 題 名

電子ホログラフィを用いた接眼型立体表示装置および再生用光源の開発
(Development of Eyepiece-type Three-dimensional Display and Light Source for
Electro-holography)

近年、立体像表示技術は映画やゲームなどのエンターテインメントを中心に目にする機会が増えてきた。また、遠隔医療や内視鏡手術など、医療機器への広がりも見せている。このような立体像表示装置に用いられるステレオグラムでは、左右の視点に視差を持つ平面画像を提示することで立体を錯覚させるため、焦点調節と輻輳の間に生じる矛盾により眼精疲労や 3D 酔いを誘発することが知られている。そこで、ヒトが立体を認識する際の生理的要因すべてを満たし、理想的な立体像表示技術として知られる電子ホログラフィの実用化が期待されている。

ホログラフィは物体から伝搬する光の波面を再現可能な技術であり、理論上は実物体と区別のない立体像を表示できる。立体情報は干渉縞としてホログラムに記録されており、再生時にコヒーレント光を照射することで物体が再生される。電子ホログラフィはホログラムの表示デバイスとして液晶パネルといった空間光変調器 (spatial light modulator:SLM) を用いる技術であり、ホログラムを電子データとして扱うため動画表現が可能である。また、ホログラムの記録過程をすべて計算機内の光波伝搬シミュレーションで行う計算機合成ホログラム (computer generated hologram:CGH) を用いることで、仮想物体の表現も可能であるという優れた特徴を持つ。

しかし、電子ホログラフィには (1) 大規模かつ複雑な装置を伴わなければ広い両眼視野を得られないといった再生装置に関する問題や、(2) 背反関係にある再生像解像感とスペックルノイズについて、これらに寄与する光源コヒーレンスの最適値が明らかになっていないといった光源に関する問題が残されており、未だ実用化には至っていない。本研究はこれらの問題に着目し、解決可能な再生装置および光源装置の開発を目的に行われたものである。

再生装置に関する問題である視野の狭さは、ホログラムを表示する SLM の空間分解能に起因する。ホログラフィはホログラムの持つ干渉縞を回折格子として、再生光源より照射された光波を回折させることで物体光を再現する。視野はこの回折角に応じて広がるため SLM には十分に高い空間分解能が求められるが、このような表示デバイスは一般には入手できない。したがって、現在入手可能な SLM では大きな立体像を両眼観察するには不向きである。先行研究では多数の SLM を並べて視野の拡大を図る装置も報告されているが、このアプローチでは装置の複雑化や大型化を招く。そこで本研究ではフーリエ変換光学系を利用した広視野再生装置を両眼の直後に 1 台ずつ配置することで、装置としては小型のまま両眼視可能な接眼型広視野再生装置を開発した。フーリエ変換光学系は SLM、光源、レンズ 1 枚から成る簡素な光学系であり、視域を狭めることで視野を拡大できるという特徴を持つ。したがって、視域を瞳孔程度のサイズまで縮小可能な接眼型の再生装置との親和性が高い。本論文では再生装置として提案装置 I~III を報告する。これらはいずれも左右の視点に 1 台ずつフーリエ変換光学系による広視野再生装置を設けた接眼型立体表示装置であり、瞳孔間距離調整機構と両光学系の光軸角度調整機構を備える。提案装置 I は視野拡大に重点的にフォーカスし、

フーリエ変換光学系に 2 枚目のレンズを追加することで大幅な視野拡大を図る装置である。提案装置 II では実在感と利便性を向上させるため、時分割重畳によるカラー表示の実装、単レンズおよび短焦点化による小型化、およびそれに伴い増大する配置誤差影響を補正するための誤差補正法を提案し、適用した。提案装置 III では利用シーン拡大を狙い、提案装置 II の光学系をヘルメットに固定することで HMD(head mounted display) 化に成功した。

光源に関する問題であるスペックルノイズは、コヒーレンスの高さに起因するものである。ホログラフィは原理上コヒーレンスの高さに応じて再生像の解像感が高くなるが、それに伴いスペックルも強く発現するため、両者のバランスの取れた最適コヒーレンス値を明らかにすることが望まれる。LD や LED,sLED(super luminescent light emitting diode) など、コヒーレンスの異なる光源を用いて再生像品質への影響を調査した例はあるが、コヒーレンスとしては離散的な値しか選択できなかったため最適値を求めるには不十分であった。そこで本研究では高出力な広帯域光源としてプロジェクタの黄色蛍光体光を使用し、角度調整機構を備えたダイクロイック LPF(long pass filter) および SPF(short pass filter) にて透過帯域幅可変 BPF(band pass filter) を透過させることで時間的コヒーレンスと無段階で制御可能な光源装置を提案した。

本論文は以下に示す 7 章により構成される。第 1 章では、代表的な立体表示技術としてステレオグラム方式を例に立体視要因を踏まえてホログラフィの優位性と実用上の問題点を説明し、本研究の背景と目的について述べている。第 2 章では電子ホログラフィの電子データ取得法として CGH 計算の原理について述べている。第 3 章では電子ホログラフィにおいて SLM の性能による視野と視野の制約について説明し、フーリエ変換光学系を用いた視野の拡大法、およびそれに伴う再生像表示空間の拡大法、共役像除去法について説明している。また、これまで報告されてきた電子ホログラフィ再生装置について、その用途や構成とともに特徴を述べている。第 4 章ではこれまで段階的に開発した提案装置 I—III について、その原理、構成にあわせて、フーリエ変換光学系における物体座標計算法、時分割カラー化法および表示奥行き誤差補正法、光源と再生像の解像感の関係について、それぞれ述べている。いずれの装置も従来型の再生装置と比較して視野が大きく拡大され、客観評価および主観評価を通して正しい奥行きに再生像を表示可能であるという結果が示された。第 5 章では提案光源装置について述べている。光源コヒーレンスとスペックルの関係について説明し、時間的コヒーレンスを制御するための帯域幅調整機構、および明るさ向上のために利用するプロジェクタ用高出力蛍光体光源について述べ、それらを踏まえて提案光源装置の構造を説明する。実験では帯域幅が 6nm~60nm の範囲で調整可能であり、発光面積あたりの明るさは高輝度 LED と同等以上であることが示された。また、CGH 再生実験では光源帯域幅に応じて再生像の解像感とスペックルノイズが変化することが確認でき、光源コヒーレンスの最適値調査に有用な装置であることを明らかにした。第 6 章では第 4 章から第 5 章で述べた提案装置について俯瞰視点で考察を加え、最後に第 7 章で本論文のまとめと今後の展望について述べている。

以上を通して、小型で広い両眼視野の再生装置を開発することに成功した。本装置は意図した奥行きに再生像が表示可能であることと、カラー再生に対応していることにより、実在感の高い立体像を表示可能である。また、時間的コヒーレンスを無段階調整可能な光源装置の開発にも成功した。これにより再生用光源に求められるコヒーレンスの最適値を明らかにすることができるようになった。