



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	広視野プロジェクター型電子ホログラフィ表示装置の開発およびスペックル低減に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	伊藤, 泰雄
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第15546号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/89454">https://hdl.handle.net/2115/89454</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Yasuo_Ito_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 伊藤 泰雄

### 学位論文題名

広視野プロジェクター型電子ホログラフィ表示装置の開発およびスペックル低減に関する研究  
(Development of Projection-type Electro-holographic Display Device with Wide Visual Field Angle  
and Study on Speckle Reduction)

コロナ禍により一年遅れで開催された、2021年の東京オリンピックでは4K・8Kの番組が数多く設定され、フルハイビジョン(2K)を超える高精細な映像視聴がより身近な存在となり、4K・8Kといった高精細画像になると画像に「立体感」も加わり、より臨場感のある映像を体感できるようになった。一方、2009年に3D映画「アバター」が大ヒットしたこともあり、2010は3D元年と云われてから既に久しい。3D映画は基本的に両眼視差を利用した立体表示技術を利用したもので前述の4K・8K高精細画像とは比べ物にならない立体像を体感できるものである。

ところで、人が現実世界にあるとき、視覚を介して3次元空間を知覚・認識しており、知覚・認識する要因には生理的要因と絵画の手がかりといわれる経験的要因とがある。基本的な要因は生理的要因であり、左眼右眼各々で異なった像を認識することで立体視する両眼視差、水晶体の厚みを調整することで遠近の焦点を合わせる調節、両目で遠点・近点を見る場合、遠点では眼球を外向きに、近点では眼球を内向きに動かす輻輳、とがある。

「アバター」など多くの3D映像呈示方式は、これら要因の両眼視差情報のみを呈示する方式となっており、人間の立体知覚の他の生理的要因である輻輳と調節に矛盾が生じ、その結果、不快感、疲労感などいわゆる3D酔いという症状が見られたりする。

一方、3D映像呈示方式のなかで、対象物体の波面情報を呈示するホログラフィ技術は、人が現実世界にあるときと同様の情報を知覚・認識することになるので、理想的な3次元表示技術であると云われている。

1990年以降においてホログラフィ技術とデジタル計算機技術の融合である電子ホログラフィ技術が発展し、さらに、2000年以降においてコンピュータ利用技術、MEMSに代表されるマイクロデバイス技術の進歩により、多くの電子ホログラフィ表示装置が提案されてきた。

電子ホログラフィ表示装置では、LCDなどの空間光変調器(SLM)が表示デバイスとしてよく利用され、実用上十分な視野角30度以上を満たすには可視光波長程度の画素ピッチが必要とされている。然しながら、現状の半導体デバイス製造技術では数 $\mu\text{m}$ 程度にとどまっており、製造技術が早い時期に飛躍的進歩をとげることは期待できず、それゆえ現状デバイスを利用しながらも視野角を広げる技術が望まれている。

また、電子ホログラフィ表示装置では光量的に有利なことから半導体レーザーが再生照明光としてよく用いられ、その特性としてコヒーレンス(可干渉性)が高いために、再生画像を観測する際、コヒーレント光の干渉による粒状ノイズ、即ちスペックルノイズが再生画像に重畳され画質が劣化するという課題がある。画質劣化は実用化を推し進める上で大きな妨げであり、画質改善のため、このスペックルノイズを低減する技術も望まれている。

一つ目の視野角を拡大する課題に対し、従来手法では空間光変調器(SLM)を複数並べ、それにより視野角を拡大する技術がある。然しながら、この従来技術においては、SLM毎に分割される画像のつなぎ処理が複雑であることや、SLM毎にレンズを配置する必要があり光学系が大掛かりとなり装置全体が大きくなるという欠点があった。本研究では、従来技術の欠点に鑑みて、プロジェクター型にすることにより広視野角が期待でき、かつ配置に自由度があり、装置自体も小型化

可能であることから、プロジェクター型電子ホログラフィ表示装置を提案した。提案装置は、両眼立体視する構成をとり、広い視野角を有し、かつフルカラー動画が呈示可能なものである(以上に関しては1章~3章にて記述される)。

二つ目のスペックルノイズを低減する課題に関しては、4章、及び5章にて言及される。

スペックルノイズを低減するには照明光のコヒーレンスを下げることが考えられ、LEDは半導体レーザーに比べてコヒーレンスが低い。然しながら光量面で劣るため再生画像が暗くなる欠点がある。コヒーレンスの低い光源としてスーパーluminescentダイオード(SLED)やランダムレーザーなどもあるが、ランダムレーザーは実用化されておらず、またSLEDは大変高価でありコスト的にデメリットが大きい。本研究では、マルチモード光ファイバー内においては注入された光波はランダムな全反射を繰り返しながら伝搬するため、多くの光導波モードが存在し、各々の導波モードはファイバーの摂動に対して非常に敏感であるという現象に着目し、ボイスコイル型アクチュエータでファイバーを駆動することで、電氣的に再生照明光のコヒーレンスを制御し、スペックルノイズ低減を実施する手法を提案した。光ファイバーを円筒型圧電トランスデューサ(PZT)で振動する従来例はあるが、この方法では振動振幅制御が難しい上に、高圧の高周波駆動回路が必要でありコスト的にデメリットが大きい。以上の内容に関しては4章にて記述される。

5章では、4章で述べた手法で、再生照明光のコヒーレンス度がどのように変化するかを評価するため、極力容易に評価可能な手法として選択した、Youngの二重スリット干渉実験でコヒーレンス度を評価する手法に関して言及する。

6章では、提案するプロジェクター型電子ホログラフィ表示装置の性能評価と提案する手法でのスペックルノイズ低減効果の検証、及び再生照明光のコヒーレンス度評価結果に言及する。

提案した装置の大きさは、単眼部で $WLH=100[\text{mm}] \times 400[\text{mm}] \times 170[\text{mm}]$ と小型サイズで、視野角は10.5度と通常の電子ホログラフィ装置の視野角3.2度の3倍以上であることを確認できた。また、両眼立体視に必要な両眼視差と奥行情報の呈示も精度よく表現されていることも確認された。装置の解像度は約1.7(本/mm)であり、使用したSLMピッチと光学系で決定される解像度限界のおよそ半分であることも確認された。

提案する手法でのスペックルノイズ低減評価に関しては、スペックルノイズ低減効果の指標となるスペックルコントラスト値とアクチュエータ駆動周波数との間には特に相関性は見られず、アクチュエータ駆動振幅との間には負の相関性が強いという知見が得られた。さらには、駆動振幅が1.6mmのときに、スペックルコントラスト値は最大で50%以下にまで低減可能であることが実証された。

再生照明光のコヒーレンス度評価に関しては、再生照明光のコヒーレンス度とアクチュエータ駆動振幅の間には正の相関性があることが確認され、アクチュエータ駆動なし、即ち振動振幅0mmにおいては、再生照明光コヒーレンス度が0.88であったものが、駆動振幅1.6mmではコヒーレンス度が0.67まで低下することを確認した。即ち、スペックルノイズ低減を計るには、再生照明光のコヒーレンスを低減することが有効的であることを実証した。

最後にまとめとして、本研究で提案した広視野角の小型プロジェクター型電子ホログラフィ表示装置は通常の電子ホログラフィ表示装置よりも3倍以上大きな視野角を提供可能なことを実証し、また、提案したスペックルノイズ低減手法は電子ホログラフィ再生照明光のコヒーレンスを電氣的に制御し、再生画像に重畳されるスペックルノイズを電氣的に制御可能であることを実証した。

本研究で提案された技術は、電子ホログラフィ技術の実用化という観点からすればまだまだ未熟と云わざるを得ないが、実用化を目指す上において布石としての価値は充分にあると確信している。