

氏 名	かみ 神	や 谷	なお 直	ひろ 浩
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)			
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3589 号			
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日			
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当			
学 位 論 文 題 目	航空機ディスプレイ用ホログラムの実用化研究			

論文調査委員 (主 査)
教 授 今 西 信 嗣 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 井 上 紘 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は航空機ディスプレイ用ホログラム、すなわちヘッドアップディスプレイ (HUD) 用ホログラフィックコンバイナの実用化に関する研究について述べたもので、8章からなる。

第1章は序論であり、本論文の目的と概要、HUD システムとその歴史、ホログラフィ技術の発展などについて述べ、ホログラフィックヘッドアップディスプレイ (H-HUD) が登場するに至った経緯についてまとめている。とくに、H-HUD ではコンバイナにホログラフィック光学素子を用いることから、表示視野角の拡大とコンバイナの持つ波長選択性を活用した高輝度表示が可能である点を強調している。

第2章では、ホログラフィの基礎理論と H-HUD の構成について述べ、ホログラフィックコンバイナとして実用に供するに必要なコンバイナの性能について考察したのち、これを製造する方法を工程と設備の両面から論述している。基礎理論では、とくに Fresnel-Kirchhoff の回折積分と Kogelnik が提唱した結合波理論について詳しく紹介するとともに、これらの基礎理論に対しホログラフィックコンバイナ開発の観点からの解釈と補足を加えている。H-HUD システムの構成では、電子回路部と光学系部に大きく分け、コンバイナがもっとも重要な構成要素であると述べている。光学性能を満たすためにコンバイナに求められる波長選択性、角度選択性、回折効率等のパラメータは許容範囲が極めて狭く、さらに回折効率の均一性や透過率といったディスプレイ製品としての視認性の基準や航空機搭載品としての耐環境性を満足する必要があると述べている。これらの諸条件を満たすためのコンバイナの製造環境や工程について詳述している。

第3章では、実際に製造されるコンバイナが理論から予想される特性を示さないことについて考察している。波長選択性や角度選択性がシフトすること、その特性曲線が非対称形状をとること、透過特性に一定のレベル低下があること、高次回折光の発生などをとりあげ、とくに高次回折光はゴースト表示の原因となり、パイロットの視認性を低下させる深刻な現象であると指摘している。さらに、厳密な結合波解析を含めた既存の理論は理想的に製作されたホログラムを対象としているため、現実のホログラムに適用できないと指摘している。

第4章では、現実のホログラム層について、厚み方向に不均一な体積変化が生じた場合の解析手法を論述している。現像工程中では、感光層の片側からしか薬剤が進入しないため、その厚み方向に沿って現像の進行速度に差が生じ、結果として傾斜した体積変化を起こす可能性がある。そのことを考慮して、ホログラム層を厚み方向に薄い層に分割し、層ごとに体積変化率を指定することで不均一な厚み変化を模擬することを提案している。この分割手法は、各層ごとに必要なパラメータ値を指定できるため、不均一な厚み変化に限らず、例えば誘電率が層ごとに変化する場合についても解析することができる。記録材料の露光量-誘電率変調特性が線形でない場合に適用し、回折次数が隣り合わない回折光同士でも、高次変調項によって、相互作用を行いうることを示している。

第5章では、表面に侵食がある現実のホログラムについて、第4章で述べた解析手法を適用している。つまり、湿式処理によって製造する場合に、ホログラム層の表面が薬剤処理中に浸食され、内部の格子構造が露出することにより表面格子が形成される。たとえば、重クロム酸ゼラチンを感光材料とするホログラムでは、格子はゼラチン分子の分子量の差として格

子が記録されるため、水ないし処理液への溶解性に影響する。そのため、記録材料の内部に存在する格子の断面が表面の起伏として現れる可能性がある。ホログラムの表面を原子間力顕微鏡で撮影することによってそれが実際に起きていることを示し、表面格子と内部格子が混在する系におけるはじめての解析について論述している。また、ホログラム内部波の強度分布を図示することにより、ホログラム層の厚みに比較して極めて薄い表面侵食が内部波の分布に強く影響することを明らかにしている。

第6章では、ホログラム内部の意図しない派生格子により多重露光現象が露光工程中に生じることについて論じている。多数の格子が存在する系ではあらゆる次数の内部波同士で相互作用が起こりうることで、その中にはブラッグ条件を偶然満足する次数の組合せが意外に多いことを見いだした。とくに、派生した格子ではその配置の関係上次数の縮退が生じ、ホログラムの外部からは主格子に対する高次回折光と見分けがつかないことが既存の理論ではどうしても説明のできなかったゴースト像発生理由であると主張している。

第7章では、第4章から第6章にわたって論じた個々の現象についての解析手法を統合したうえでの計算手法について論じている。これらの解析手法はそれぞれ独立であり、必要に応じて自由に組み合わせて利用することができる。すべての要素を統合した解析を行い、ホログラムの実測値へのフィッティングを試みることによって、既存理論ではできなかった高精度なシミュレーションを実現している。このシミュレーション結果を製造工程に反映させゴーストを抑制することによって、ホログラフィックコンバイナの実用化に成功したことを述べている。

第8章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、航空機ディスプレイ用ホログラム、すなわちヘッドアップディスプレイ（HUD）用ホログラフィックコンバイナを、表示視野角の拡大および高輝度表示の観点から、実用化することに成功した研究開発の結果をまとめたものであり、主な成果は次のとおりである。

1. 従来の HUD のコンバイナにはハーフミラーが使用されており、光学設計上の理由から表示視野角は狭く、また光利用効率の関係からシンボル表示を行うことしかできなかった。ホログラフィック HUD（H-HUD）を用いることにより、この2つの問題を解決した。
2. 現実のホログラムは、ゴースト表示の原因となり、またパイロットの視認性を低下させる深刻な高次回折光などの現象が現れるが、これらは既存の「厳密な結合波解析」では説明不可能であることを示している。
3. 「厳密な結合波理論」を拡大した解析手法を提案し、現実のホログラムに現れる現象の理解に成功している。
 - （1）ホログラム領域を厚み方向に分割し、層ごとに体積変化率を指定することで、ホログラム層の厚み方向に不均一な厚み変化を模擬する解析手法を提案した。この手法を記録材料の露光量一誘電率変調特性が非線形である場合の高次変調項について適用し、通常では相互作用を行わないはずの次数の隣り合わない回折光同士が、高次変調項を介して、相互作用することを明らかにした。
 - （2）湿式処理により製造したホログラムの表面を原子間力顕微鏡で撮影し、記録材料の内部に存在する格子の断面が表面の起伏として現れることを示し、表面格子と内部格子が混在する系における解析をはじめて行った。また、ホログラム層の厚みに比較して極めて薄い表面格子の状態がホログラム内部波の強度分布に強く影響することを示した。
 - （3）露光工程中内部反射により生じる派生格子が引き起こす多重露光現象について考察し、ブラッグ条件を偶然満足する次数の組合せが多いこと、それらが縮退して外部からは見掛けの高次回折光として観察されることを見出した。
4. 上記の解析結果を製造工程に反映させることによって、ゴーストを抑制し、ホログラフィックコンバイナの実用化に成功した。

以上要するに、本論文は、現実のホログラムに現れる現象を詳細に調べ、その要因を明らかにしたうえで、航空機ディスプレイ用ホログラムの実用化に成功したもので、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年1月29日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。