

平成 14 年度
学士学位論文

ホログラフィ動画撮像系構成に関する検討

A Study of Electro Holography Imaging System

1030306 藤原 達也

指導教員 島村 和典

2003 年 2 月 24 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

ホログラフィ動画撮像系構成に関する検討

藤原 達也

ホログラフィは、3次元画像表現として優れた性質を持っているため、3次元表示の応用が期待されている技術である。また、ホログラフィテレビなどの研究も数多く行われてきた。本研究では、動画像を撮ることを目的とし、電荷結合素子 (CCD : Charge Coupled Device) や、液晶表示装置 (LCD : Liquid Crystal Display) を用いる電子的な手法により、ホログラムを作成するための実験系の構成法の検討を行う。

キーワード ホログラフィ, 撮像, 電荷結合素子, 液晶表示装置

Abstract

A Study of Electro Holography Imaging System

Fujiwara Tatsuya

Holography handling is a desired technology. It is expected to be utilized as a ideal three dimensional imaging media. Many researches were attracted to realize the holography television. In this research of mine, construction system creating and recording a hologram is examined for the purpose of holographyc image transmitter by using the charge coupled device (CCD:Charge Coupled Device). This research aims to contribute to the future holography communication system which reproduce the vivid full-colour moving image in near future.

key words Holography,imaging,CCD

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.1.1	青赤の色メガネや, 偏向メガネなどを用い両眼視差を利用する方法	1
1.1.2	コンピュータグラフィックス (CG) を用い 3D 表示をさせる方法	1
1.1.3	ホログラフィへの期待	2
1.1.4	撮像系機器性能の向上	2
1.2	研究の目的	3
第 2 章	ホログラフィ	4
2.1	ホログラフィの原理	4
2.1.1	光の干渉	4
2.1.2	ホログラム作成時の注意事項	5
2.2	アナログホログラフィ記録	5
2.3	干渉縞の間隔	6
2.4	アナログホログラフィの再生	7
2.5	ホログラフィの特徴	8
2.5.1	ホログラフィの長所	8
2.5.2	ホログラフィの短所	8
第 3 章	動画ホログラフィ	10
3.1	動画ホログラフィの応用	10
3.2	動画ホログラフィの制限	10
3.3	カラーホログラフィ	10
3.3.1	レーザー光カラーホログラフィ	11

第 4 章	デジタルホログラフィ	14
4.1	計算機合成ホログラム	14
4.2	光学的方法	14
4.3	ハイブリッドホログラフィー	15
4.4	デジタルホログラフィにおける技術的課題	15
第 5 章	撮像実験系構成法	16
5.1	本研究で用いる方法	16
5.1.1	方式決定に到る検討経緯	16
5.2	光学系の配置	17
5.3	使用機器説明	19
5.4	撮像実験結果	20
5.5	考えた可能性からの考察	22
第 6 章	考察	23
6.1	干渉縞の間隔について	23
6.2	今後行う撮像実験の変更点	24
6.2.1	物体光の光量が多い点	24
6.2.2	カメラの焦点が合っていない点	24
6.3	今後の研究課題	25
謝辞		26
参考文献		27
付録 A	ホログラフィ撮像に用いられる光学	28
A.1	ビームエキスパンダ：ケプラータイプ	28
A.2	凹面鏡	29

A.3 スペシャルフィルタ 29

図目次

2.1	アナログホログラフィ記録の代表的な光学系	6
2.2	y-z 面の断面図	6
2.3	アナログホログラフィ再生の代表的な光学系	7
2.4	参照光と回折光の関係	8
3.1	レーザー光カラーホログラフィの光学系	11
3.2	レーザー光カラーホログラフィの色再現	12
3.3	NTSC の色再現	12
5.1	系の配置図	17
5.2	系の配置写真	18
5.3	蛍光灯光下の物体と, 撮影された光	20
5.4	物体光のみ照射した際の光	21
5.5	参照光ありの色成分波形	21
5.6	物体光のみの色成分波形	21
A.1	ビームエキスパンダ: ケプラータイプ	28
A.2	凹面鏡の特性	29
A.3	スペイシャルフィルター	30

表目次

5.1	CCD スペック	20
6.1	物体光と参照光のなす角の違いによる干渉縞の幅	24

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景

近年, 自然の状態に近い臨場感を演出する立体動画表示に対する要望が高まりつつある. これを実現するために, 以下のような方法による立体の表示の研究が広く行われてきた [1].

1.1.1 青赤の色メガネや, 偏向メガネなどを用い両眼視差を利用する方法

人間の眼は, 日常的に左目と右目の見え方の違い (両眼視差) により生じたズレを奥行き情報として検出することにより, 立体として認識することができる. その認識方法を応用して左右の眼に対応する方向から見た両眼視差のある画像を, それぞれの眼に提示することにより立体視させることができる. 左右それぞれの眼に画像を提示するために, 青赤の色メガネや, 偏向メガネなどのメガネを用いる. しかし, 観察者は立体として認識しているにもかかわらず, 目のピントは常に画像が表示されているスクリーンを見続けることになり, 生理的な不自然さから観察者が疲れやすいという問題がある. また, メガネなどの特別な機器を必要とするため有用だとは言えない.

1.1.2 コンピュータグラフィックス (CG) を用い 3D 表示をさせる方法

明暗や陰影のつけ方により, 現実に近い立体感を与えることができる. このような画像処理は, コンピュータグラフィックスの分野において立体の構造, 位置関係を明確にする効果を生み出すことができる. しかし, 奥行き画像や立体画像は, 物体の前後情報のみを再現するにと

どまっているため、多方面から眺めることができない。このため、空間像を再現する上で不自然さが残る。

1.1.3 ホログラフィへの期待

ホログラフィを用いた技術は、光の波面を記録、再生することで、我々が日常で見る物体からの散乱光と同じ性質を持った光として記録し、再現することができる。これは、人間の眼の調節機能や輻輳に矛盾を生じないため、両眼視差を用いた技術に比べ視覚生理学の観点においてもごく自然に立体像として視ることができ、理想的な立体動画の表示方法と考えられている。また、観察者が特別なメガネ等を使用する必要がないという優れた利点を有している。この利点を生かし、ホログラフィを動画表示にも応用しようという研究が盛んになされており、ホログラフィテレビや、ホログラフィ映画などの実現が期待されている。

動画像を対象にした動画ホログラフィは、電子的な手法を用いることによりめざましい発展を遂げ、いくつかの研究成果も報告されている [2]。

1.1.4 撮像系機器性能の向上

動画像を電子的に撮像、記録するには光学的に発生させた干渉縞を CCD (Charge Coupled Device) など電気信号に変換して記録することにより、効率よく動画像をホログラムとして撮影できる可能性がある。CCD の性能は、近年の家庭用のデジタルスチールカメラや、デジタルビデオ (DV) などの機器の需要に後押しされるかのように飛躍的に性能が向上している。CCD の性能向上に伴い、以前では撮影できなかったような小さなものを撮ることが可能になってきており、ホログラム記録にも用いられ始めている。

再生においては、電子的な走査により高速に実時間でホログラム像を表示できる液晶表示パネル (LCD : Liquid Crystal Display) がホログラム表示装置として適していると言える。LCD も以前に比べ高精細化がなされており今後の性能向上が期待できる。

1.2 研究の目的

前述したとおり、動画ホログラフィに関する技術は撮像系に CCD, LCD などを用いることにより、これまで動画像の撮像が困難であったホログラフィ分野において格段の進歩を遂げさせてきた。また、撮像系機器の発展に伴い今後ますますの発展が期待できる。

本研究では、CCD を用い干渉縞をデジタル化し記録する。その後、記録した干渉縞を LCD に表示させ LCD に直接参照光を照射し再生することを想定し、動画像の記録さらに、通信系による転送を行うことを目的とした撮像光学系の構成について検討を行う。

第 2 章

ホログラフィ

本章では、本研究の土台となるホログラフィの基本的な原理と、光学系を用いてのホログラフィを記録、再生する際に基本となる、光源にレーザー、記録素材に感光板を用いて記録、再生を行うアナログホログラフィについて説明する。そして、ホログラフィの特徴として長所と、短所を述べる。

2.1 ホログラフィの原理

ホログラフィとは、干渉と回折を応用した技術である。光の振幅と位相の両方を記録することができ、強度分布しか記録できない写真技術と違う大きな特徴でもある。また、ホログラムに記録された振幅と位相により、3次元物体像を再生することができる [3]。

2.1.1 光の干渉

光は電磁波であり、波として z 方向へ進行する様子は次の式で表わされる。

$$E = A_0 \sin[k(z - ct) + \phi] \quad k = 2\pi / \lambda \quad (2.1)$$

E は電気ベクトル、 A_0 は光の強度、 k は真空中の波数、 λ は光の波長、 c は光速、 t は時間、 ϕ は光の位相を示している。真空中での二つの光波 E_1, E_2 を

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= A_1 \sin[\omega t + \phi_1] \\ E_2 &= A_2 \sin[\omega t + \phi_2] \end{aligned} \right\} \quad (\omega \text{ は角速度}) \quad (2.2)$$

とすると、干渉光の強度 I は

$$I = E^2 = (E_1 + E_2)^2 \quad (2.3)$$

$$= (A_1^2 + A_2^2)/2 + A_1 A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (2.4)$$

となる。ここで、 $A_1 A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)$ において、 $\phi_1 = \phi_2$ のときに2つの光は互いに強め合い、 $\phi_1 - \phi_2 = \pi$ のときに弱め合う干渉が起き、これが縞模様として現れ干渉縞となる。

2.1.2 ホログラム作成時の注意事項

ホログラフィを作成する際には、非常に微細な構造を持つ干渉縞を記録するため、振動や空気の揺らぎなどにより干渉縞の状態が数 μm でも変化するとホログラムの質に大きな影響が出る。そのため以下の点に注意する必要がある。

- 遮光：作業中は、外光の影響を防ぐために暗室の中で行う。レーザー光の調節を容易にするためでもある。また、使用している部品もできるだけ余計な光を反射しないものを用いる。アナログホログラフィの記録材料には感光材料を用いるため、無駄な感光を起こさないようにするためでもある。
- 除振：光学系の安定のためホログラムの記録、再生は一般に光学定盤の上で行う。できれば除振機構を有するものが望ましく、振動源から遠くないできるだけ静かな環境で行う。波面が乱れると再生像の質が著しく低下するため、ホログラムの光学系を構築する場合に一番注意する必要がある。
- 光学系：参照光と物体光の光路長は同じ長さにする。ミラーは表面反射鏡を用いる。

2.2 アナログホログラフィ記録

レーザの光を2つに分け、一方の光を物体に当てると、物体の各点から反射光が生じる。この反射光はあらゆる方向に広がる。この光は物体光と呼ばれ、通常我々が物体を見る際に知覚する光と同じ性質を持っている。

もう一方の光は記録材料に当てる. この光を参照光と言ひ, 光源であるレーザー光と物体光の位相が, どれだけずれているかを記録するために照射する.

物体光と参照光の干渉により干渉縞が生じる. その干渉縞を記録材料によって記録する.

図 2.1 はアナログホログラフィの代表的な記録光学系である.

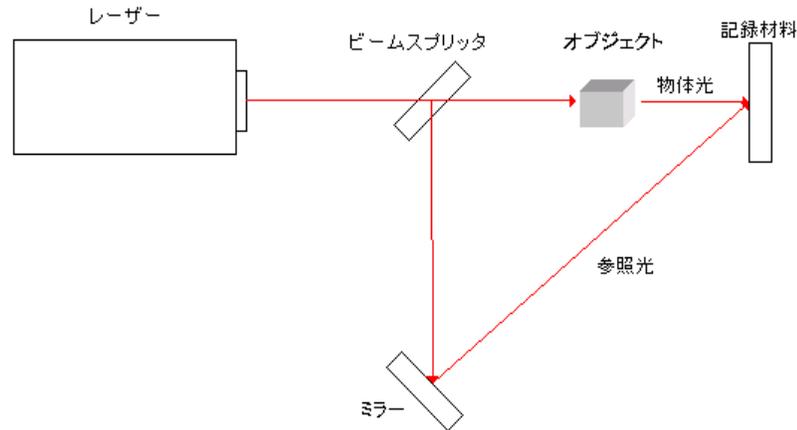


図 2.1 アナログホログラフィ記録の代表的な光学系

2.3 干渉縞の間隔

参照光と、物体光により生じた干渉縞の間隔 p は、反射光と参照光のなす角を θ とすると

図 2.2 のようになり

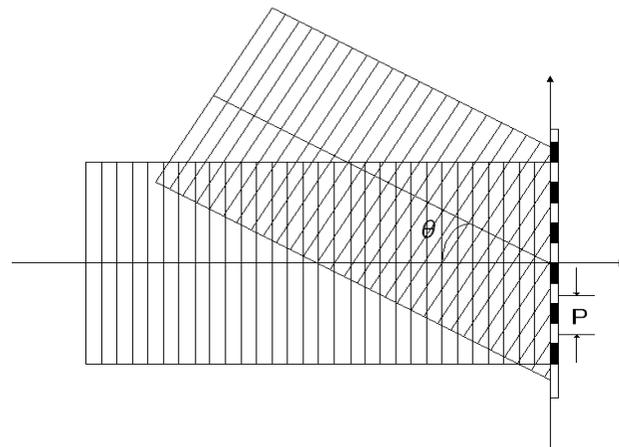


図 2.2 y-z 面の断面図

以下の式

$$p = \lambda / \sin\theta \quad (2.5)$$

を使い, 求めることができる.

式 2.5 より, 干渉縞の間隔は $1 \mu\text{m}$ 以下から数 μm と非常に狭くなることが分かる. 物体光と参照光のなす角は, $30^\circ \sim 45^\circ$ 程度がよいと言える [4].

2.4 アナログホログラフィの再生

前述の方式により記録したホログラム (アナログホログラフィの場合には現像作業が必要) に参照光を照射すると, 別の方向に回折して進む光が生じる. 回折とは, 光が物体の影の領域に回り込むことにより, 本来の直進する方向から異なる方向へ進む現象を指す. この回折光は再生光と呼ばれ, 記録しておいた物体光と全く同じ性質を持った光であるため 3 次元像として観察することができる. もう一方のレーザー光は, 遮光板により光を遮っておく. この操作を図 2.3 で示す.

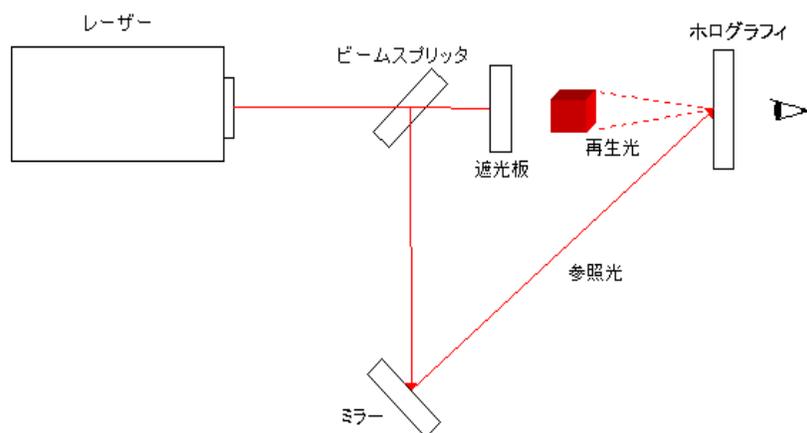


図 2.3 アナログホログラフィ再生の代表的な光学系

記録された干渉縞の間隔と, 入射角度により回折される方向が決まる. (図 2.4 (a))

また, 図 2.4 (b) に示すように, ホログラムの照明光を当てた側にはホログラムを透過して見

ることにより、物体が記録時に存在した位置に虚像として見る事ができる。また、回折光が存在する位置に像が出来る場合を実像と呼び、スクリーン等に写すことにより見る事ができる。

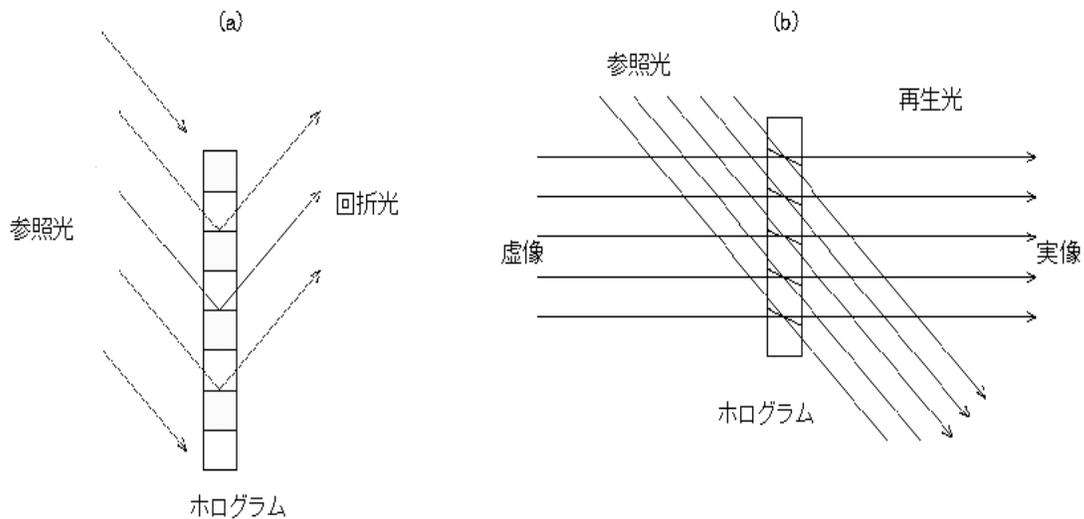


図 2.4 参照光と回折光の関係

2.5 ホログラフィの特徴

ホログラフィの特徴として、長所と短所を次にあげる。

2.5.1 ホログラフィの長所

1.1.3 でも述べたが、日常で見る物体からの散乱光と同じ性質を持った光として記録し再現することができるホログラフィは、立体視の生理的要因とされる両眼視差、ピント調節、輻輳、運動視差すべてにおいて矛盾のない立体像を作り出すことができる。

2.5.2 ホログラフィの短所

ホログラフィの短所の最たるものは、光学系の複雑さである。まず、ホログラムを記録、再生両方にレーザー光を用いる必要がある。(補足：この後で述べる計算機のみを用いた方法

はこれに該当しない) レーザー光はコヒーレント光であり、光の位相がそろっているので光の干渉性に優れている。従って、光の干渉によって生じる干渉縞を用いるホログラフィ技術では、レーザー光が光源として主に用いられている。しかし、レーザー発振器をはじめ、光学系の機器には精密さが要求され、一般に高価である。レーザー発振器を用いず、レーザー光と同等の特性を持った光を作り出すことは、現在のところ困難である。最近では、レーザーポインタなどに用いられている半導体レーザーが比較的安価な値段で入手できるようになってきたが、

- 出力の安定性
- コヒーレント性 (発振波面の精度)
- ビームダイバージェンス (拡がり角, 光ビームの射出される平行性)

以上の点において、発振波長・出力が似通っている He-Ne レーザーに劣っているため、質のよいホログラムを安価に作成するためには、半導体レーザーなどの安価なレーザーの性能向上が望まれる。

さらに、レーザー光はビームを拡げてしまうと光が弱くなってしまい、大型の物体の記録、再生は困難である。

また、2.1.2 でも述べた記録、再生する際の制約の多さも合わさり、ホログラフィ技術の発展の大きなマイナス要因になっていると考えられる。

第 3 章

動画ホログラフィ

本章では, 2 章で説明したホログラフィの動画ホログラフィへの応用, また動画ホログラフィを作成する際の制限, ホログラフィのカラー化について述べる.

3.1 動画ホログラフィの応用

動画ホログラフィ技術を用いて, 立体映画や立体テレビなどマルチメディアへの応用が期待されている [8]. さらに, バーチャルリアリティなど立体映像を用いることにより, 臨場感の高い映像が求められてきている. また, 宇宙空間や医学分野におけるシュミレーション技術としても有効と考えられている.

3.2 動画ホログラフィの制限

ホログラムのための干渉縞を記録するには, 感光材料への露光時間の問題や, それに伴う被写体の動きの制限により動画のアナログ的な方法を用いた撮影は困難であるといえる. そこで, ホログラフィを動画として記録保存する方法としては, デジタルホログラフィを用いる方法がよいと考えられる. デジタルホログラフィについては, この後の第 4 章で説明を行う.

3.3 カラーホログラフィ

動画ホログラフィを用いての, 立体映画や立体テレビを作成する際に, 単色なものを作ったとしても, 通常のテレビ, 映画においてカラーが一般に浸透していることから, 受け入れられ

ないであろうことは容易に想像できる。よって、動画ホログラフィを開発すると同時にカラーホログラフィへのアプローチを行っていく必要がある。

ここではその一例であるレーザー光カラーホログラフィの考察をする。

3.3.1 レーザー光カラーホログラフィ

レーザー光再生カラーホログラフィにおいて、カラーホログラムを作るには、赤（R）、緑（G）、青（B）の3色のレーザー光の組み合わせが望ましい。カラーホログラフィを撮像する際の光学系の案を図 3.1 示す。

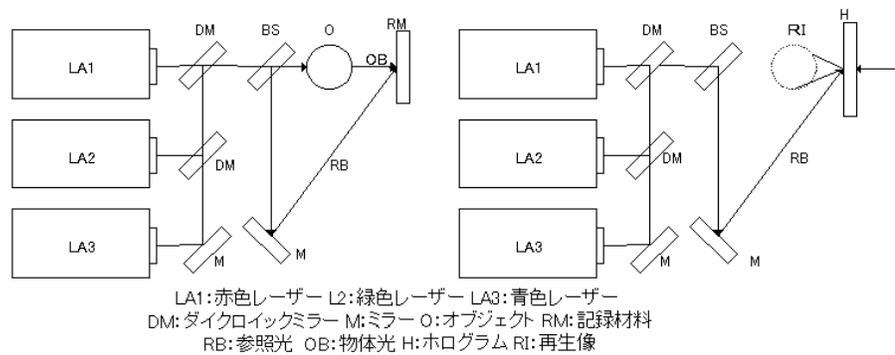


図 3.1 レーザー光カラーホログラフィの光学系

図 3.1 は、3 色のレーザーをダイクロイックミラーで束ねることにより、従来の方法と同じ様に記録、再生を行う方法である。

軽便に連続発振さえ得るレーザー光の組み合わせとして

- 赤：He-Ne レーザー（632.8nm）青：Ar レーザー（488nm）緑：Ar レーザー（514.5nm）

が考えられる。これらの光の CIE 色度図上の配置を図 3.2 (a) に示す。

CIE 色度図とは、人間の目で知覚可能な波長領域を図示したものである [6]。光源の色は、光源の分光放射輝度と、それを見る人の目の分光応答度（感度）によって決まる。この分光応答度は三つの等色関数で表され、それぞれの関数によって光源を測定した値を三刺激値という。この三刺激値から xy の座標を計算し、その座標を指定すると色が決まるようになっている。

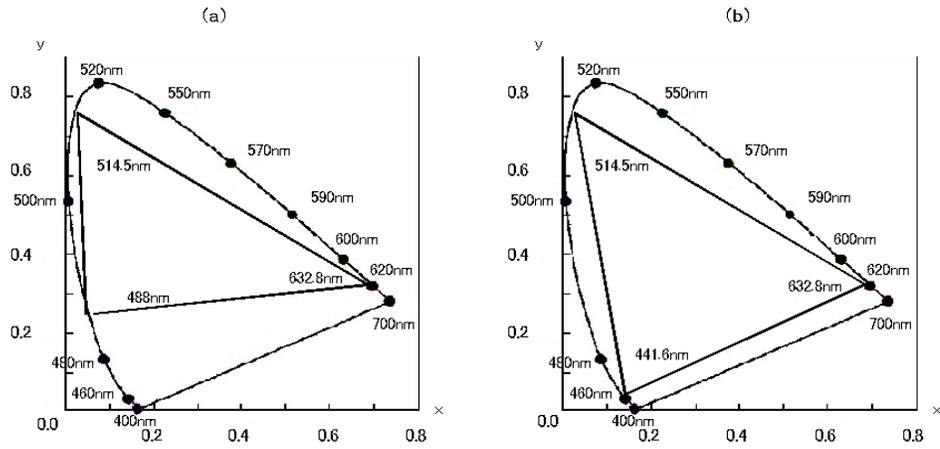


図 3.2 レーザー光カラーホログラフィの色再現

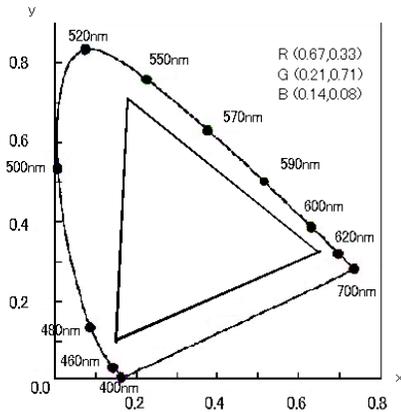


図 3.3 NTSC の色再現

る。x と y の値を色度図上にプロットし、それぞれを線で結んだ三角形の領域が表示できる色の範囲ということになる。図 3.3 は、日本と米国で一般的に使われるテレビの映像信号方式 NTSC の色再現である。

図 3.2 (a) においては、NTSC に比べても青領域が弱いことが分かる。青色レーザーに He-Cd レーザー (441.6nm) を選ぶことにより図 3.2 (b) に示すような三角形となり青領域の改善ができることが分かる。また He-Cd 白色レーザは、赤 : (635.5nm, 636.0nm) 緑 : (533.7nm, 537.8nm) 青 : (441.6nm) の光を同時発振することができ、可視光全体をカバーする光を得られるため、これを用いた研究も行われている [7]。光源が増えると、再生の際に 3

色のレーザー光がそれぞれ回折するため、合計 9 個の像が現われるなど新たな問題が出てくる。その問題も随時解決していく必要がある。

上記の 3 色レーザーの組み合わせの中では、赤：He-Ne レーザー（632.8nm）青：He-Cd レーザー（441.6nm）緑：Ar レーザー（514.5nm）が望ましい。この組み合わせは、テレビの映像信号よりも範囲が大きく、十分な色を表示するホログラフィ像が得られることが予想される。

しかし、現在我々の手元には He-Ne レーザーと Ar レーザーの 2 種類しかない。これらを用いて実験を行う場合は青領域の弱さを補ってやる必要が出てくる。

解決方法としては、

- 図 3.1 において赤色、緑色は同時に照射、その間は青色を遮光板などにより光を遮っておき、赤色、緑色の照射が終わりしだい今度は反対に、青色のみを別途照射することにより青色光の干渉縞を得る。その干渉縞をデジタルホログラフィ（4 章参照）の計算機合成ホログラムなどの技術を用いて補正（青みを強くする）することができると考えられる。しかし、この方法は静止した物体を撮影するときのみ有効であり、動画像を記録することができない。

Ar レーザーは青色、緑色両方の光を出すことができるが、同時発振できないため、3 色同時発振の必要があるカラー動画ホログラフィの実験を行う際は、現在の所有の機器では青色領域の不足があるため、青色のレーザーを新規に導入することが望ましい。

第 4 章

デジタルホログラフィ

デジタルホログラフィとは、ホログラフィを光学的に、あるいは、計算機によって作り出す技術である。近年の計算機性能の向上、CCD の高性能と LCD の解像度の向上により可能になり、活発に研究されるようになってきた [2]。

本章では、デジタルホログラフィの例を説明する。

4.1 計算機合成ホログラム

計算機合成ホログラム (CGH : Computer Generated Hologram) は、コンピュータ・グラフィックス (CG) などの計算機上での画像を元に、光学的な計算を行いホログラフィパターンを電氣的に作成、再生を行う方法である。

ホログラムとして記録される干渉縞は、物体の形が分かれば回折と干渉の原理を用いて計算をすることにより求めることが可能である。物体は立体であるため、計算量は膨大なものとなるが、近年の計算機の高速化によりかなり複雑なものでも計算が可能となっている。計算結果は光の波長程度の干渉縞となるため、非常に高い精度でホログラムを作成する必要がある。

4.2 光学的方法

物体にレーザーを照射し、干渉縞を直接カメラの受光部に当て、電気信号に変換、それを記録することによりホログラムを作成する方法である。再生時は、記録したホログラムを電子的にアクセスできる表示装置に表示し、参照光を照射することにより再生を行う方法である。

アナログホログラフィを撮影、再生する場合と似通った点が多く、いままでに研究されてき

た方法を用いることにより、発展させることができる可能性がある。

4.3 ハイブリッドホログラフィー

ハイブリッドホログラフィーでは、光学的に撮影されたホログラムを光学的に再生するときと等価の回折計算を行なうことにより再生像を得る。または、反対に計算機合成ホログラムによって作成されたホログラムに、参照光を当てることにより再生像を得る方法である。

ホログラムの撮影光学系、再生光学系のどちらか一方のみで再生像を得ることができるという利点があり、再生された像を比較することも可能である。

4.4 デジタルホログラフィにおける技術的課題

- CCD,LCD の解像度の不足

1.2.1 において、CCD、LCD の性能の向上について述べたが、以前に比べ格段に性能の向上は見られものの、良質のホログラフィ像を得るための性能不足は否めない。この問題は、将来においては機器の性能向上により解決されるであろう問題だが、不足しているものを補うための方法も考えていく必要もある。

第 5 章

撮像実験系構成法

本章では、構成する実験系の決定、実験光学系の構築、実際に撮像を行い、それを踏まえての技術的課題を述べる。

5.1 本研究で用いる方法

本研究では、4章で述べた光学的方法を用いて撮像系の構成を行う。光学的方式の選択理由としては、光学的方式が持つ特徴が、動画ホログラフィを撮像する際に、CGHより有利であると考えためである。そのハイブリット方式は撮像に光学的方式の選択も可能であるため候補からはずした。

5.1.1 方式決定に到る検討経緯

光学的方法を用いて撮像する際の特徴として、CGHでの撮像では作れないような複雑な物体の撮像を行うことができると考えられる。この考えの背景として、現在のテレビ、映画があげられる。テレビや映画などで映像を作る際には、2種類の方法が挙げることができる。一つは、カメラを用いる方法。もう一つはCGを用いる方法である。この二つを比べた際に、カメラを用いた方が綺麗な映像を得ることができることは、容易に想像できる。最近の3DCG技術により、本物と変わらないような映像も出てきているが、カメラを用いた方が有利であることは明らかである。

このことは、本研究において撮像系を構成する際にも、カメラを用いる方法に光学的方式、CGを用いる方式にCGHとして当てはめて考えることができ、光学的方法を用いるほうが

綺麗な像を撮像できるのではないかと考えたため、光学的方式を用いた撮像実験系の構築を行った。

5.2 光学系の配置

初段階の撮像系として、単色の静止像の撮影、デジタル記録系を考えた。

光学系の設置を図 5.1 に示す。

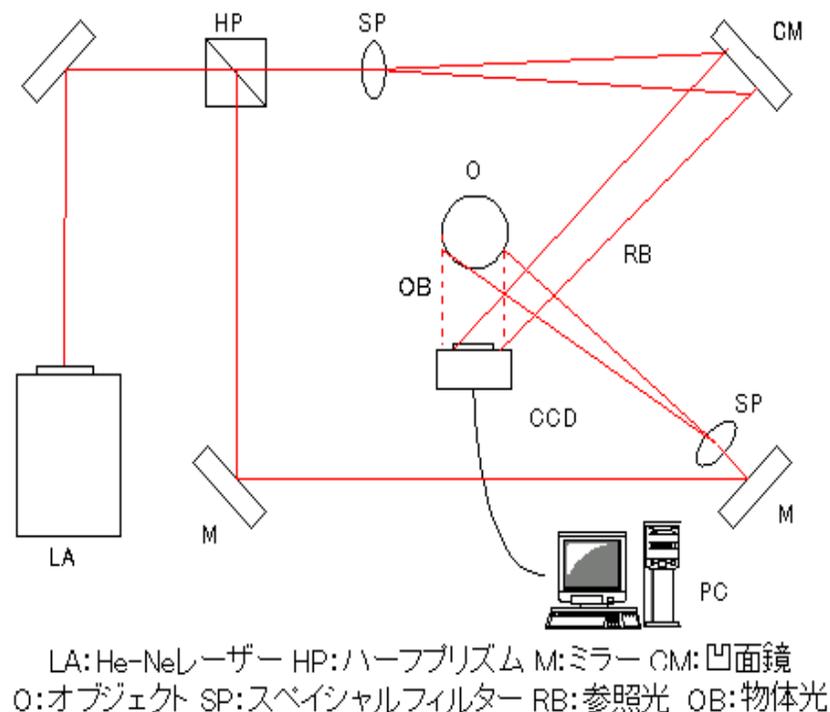


図 5.1 系の配置図

また、配置写真を図 5.2 に示す。

図 5.1 を元に、ホログラムを CCD で記録するまでの手順を説明する。

- ハーフプリズムを用いてレーザー (He-Ne) の光を 2 つに分ける。
ハーフプリズムにて透過した光を参照光とし、反射した光を物体光とする。

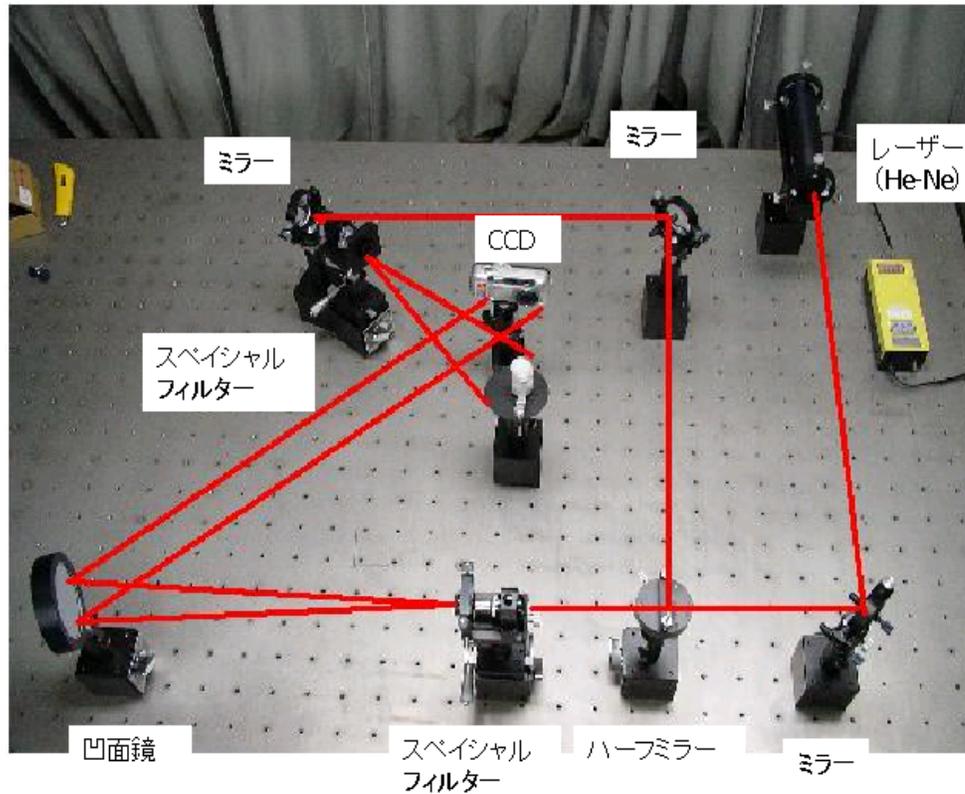


図 5.2 系の配置写真

- 参照光

ハーフプリズムにて透過されたレーザー光は、スペシャルフィルターを用いてレーザー光を広げ、その先にある凹面鏡により平行光にし参照光として照射した。スペシャルフィルターと凹面鏡との距離は、スペシャルフィルターについている対物レンズの焦点距離 f_1 (16.3mm) + 凹面鏡の焦点距離 f_2 (500mm) としている。

- 物体光

ハーフプリズムにて反射されたレーザー光は、ミラーにより参照光の光路長と物体光の光路長が等しくなるようにミラーを配置し、スペシャルフィルターによりレーザーの光を広げオブジェクトに照射した。物体光の光量はスペシャルフィルターの位置により調節することができる。

- 参照光と物体光を CCD に照射することにより干渉縞を撮る

また, 参照光と物体光の角度は 45° とした.

5.3 使用機器説明

- レーザー

He-Ne レーザー 波長 632.8nm 出力 10mW

- 平面ミラー

ガラス表面にアルミニウム (Al) を蒸着させ表面反射鏡にしたものを使用. 表面保護のためフッ化マグネシウム (MgF_2) をコーティングしてある.

- ハーフプリズム

反射光と透過光を 1:1 で分割する. プレート型のハーフミラーと違い反射光と透過光の光路長は同じになる. また, 光軸のずれもなくゴーストが発生しないのが特徴である.

- スペシャルフィルタ

レーザー光を広げるために使用. スペシャルフィルタは, レンズとピンホールで構成されており, レンズの集光位置にピンホールを配置することで, レンズに付着したごみなどによる回折光を遮ることによりきれいな波面を作ることができる. レンズには倍率 10, 焦点距離 16.3mm の対物レンズ, ピンホールにはピンホール径 $10 \pm 1.0\mu m$ のものを使用した.

- 凹面鏡

直径 100mm 焦点距離 500mm のものを使用. コーティングは上に書いてある平面ミラーと同じ. 焦点距離からの拡散光を平行光にすることができるため参照光として使用した.

- CCD

ソニー DSC-FX77 のカメラを用いた.

その CCD の仕様を, 表 5.1 に示す.

サイズ	1/1.8 型
総画素数	410 万画素
スキャン方式	インターレース スキャン
カラーフィルター	原色フィルター
画素サイズ	3.1 μm

表 5.1 CCD スペック

5.4 撮像実験結果

図 5.3 (b) は, 図 5.3 (a) を図 5.1 の配置図に基づいて機器を配置し, 撮影した結果である.

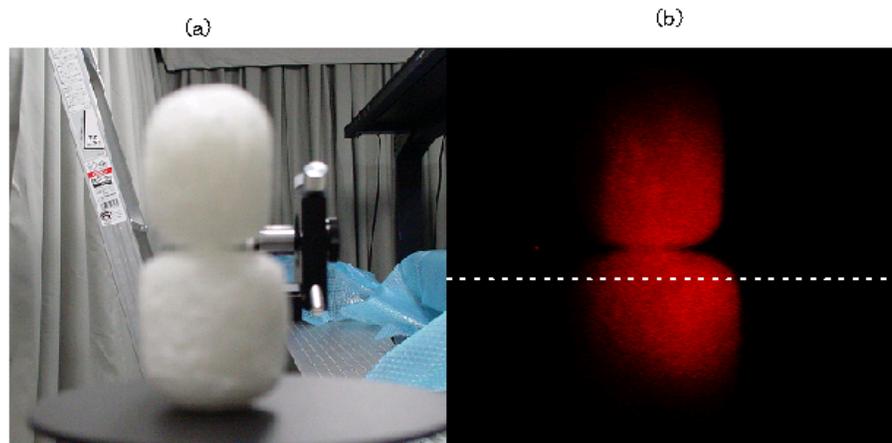


図 5.3 蛍光灯下での物体と, 撮影された光

今回は, 再生実験が行えなかったため, この結果が干渉縞を記録できていると断定が出来ない. この撮影した画像から考えることができる可能性を以下にまとめる.

1. これは, 干渉縞である.
2. 物体光が記録されただけで, 干渉縞が生じなかった.
3. 物体光の光量が強すぎたため, ほかの細かな光として重畳されている干渉縞を CCD が感知できなかった.
4. カメラのピントが合っていない.

また、物体光のみを照射したものを撮り、それを図 5.3 (b) との比較を行った。図 5.4 に物体光のみを照射したものを撮影した写真を示す。

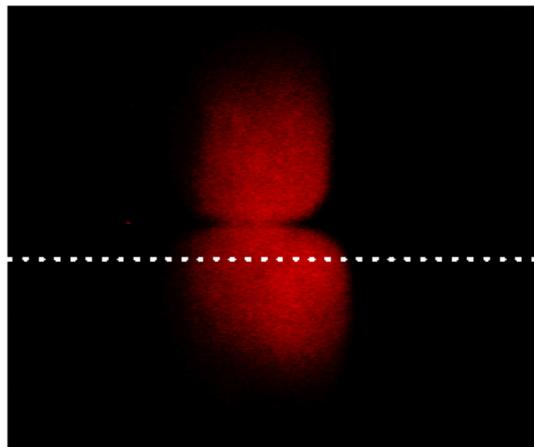


図 5.4 物体光のみ照射した際の光

比較には、フリーの画像処理ソフト ImageNos[9] を用い、画像の任意の位置の水平方向の色成分波形の比較を行った。それぞれの色成分波形を図 5.5, 図 5.6 に示す。

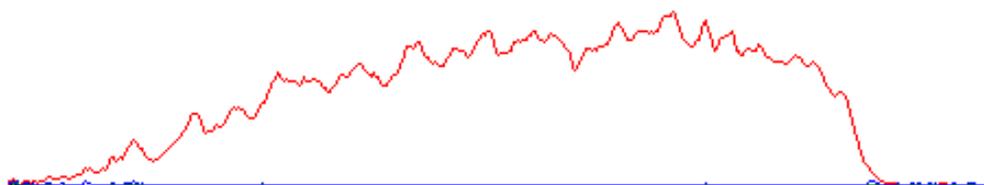


図 5.5 参照光ありの色成分波形

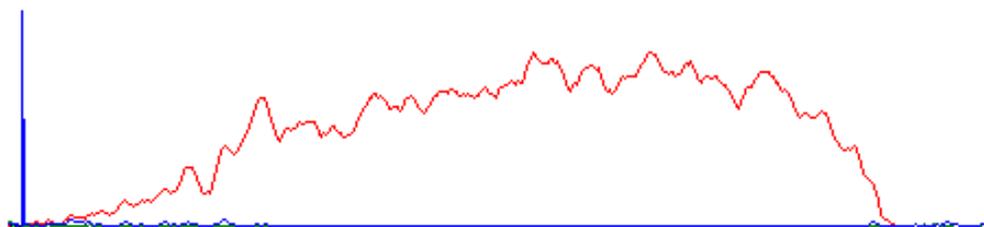


図 5.6 物体光のみの色成分波形

5.5 考えた可能性からの考察

図 5.5, 図 5.6 は, 非常に似通った色成分波形であることが見て取れる. 色成分波形がほとんど変わらないとすると, 図 5.3 (b) は物体光を照射しただけの物とほとんど変わりがないと考えられ, このことより, 1 番の”干渉縞である”は限りなく可能性が薄く, 2 番 3 番の可能性が高いと思われる.

また, わずかな波形の違いは 4 番である”カメラのピントが合っていない”ことにより, 違いが出てきたものと推測される. その他にも, 使用したカメラのオートフォーカスにより, 暗室の中での撮影の際は光源があればそれにピントをあわせて撮影している可能性もある. ピントのほかにも, シャッターを押す際にブレが生じたことも考えられる. わずかな可能性として, 参照光を当てたことによる干渉も起こっていると考えられる.

さらに, 撮影された物には, 図 5.5 から見ても分かるように微小の濃淡が見て取れる. これは, 粗面をレーザーで照明したとき, ランダムな光の干渉によりできる, スペックルパターンと呼ばれるランダムな強度分布を持った干渉パターンが現れたものと考えられる.

そして, これらの考察から求まる結論は, 再生系を構築し参照光を当てることにより像が出てくれば, 干渉縞が取れていると判定できる. そのためにも, 再生系の構築を至急行う必要がある. また, 物体光の強さが原因であったならば, 参照光, 物体光それぞれに減衰フィルターを用いて減衰率を変化させつつ撮影することにより, 干渉縞を撮影できる可能性もある. それに伴う参照光と物体光との最適な値を求める必要も出てくる.

第 6 章

考察

本章では, 5 章で行った光学的方式を用いての光学系の構成, 実験の考察を行う.

6.1 干渉縞の間隔について

まず, 今回使用した CCD の解像度が足りているかという問題がある. 式 2.5 より, 干渉縞の間隔は $p = \lambda / \sin\theta$ であることを示した.

この式に, 今回使用した機器の値 He-Ne レーザーの波長 $\lambda = 632.8nm$ 物体光と参照光のなす角 $\theta = 45^\circ$ を代入すると.

$$p = \lambda / \sin\theta = 0.895 \mu m \quad (\lambda = 632.8nm \quad \theta = 45^\circ)$$

物体光と, 参照光の角度を変えることにより干渉縞の間隔を広げることができるが, 質のよいホログラムができる最小の角度 $\theta = 30^\circ$ を代入すると.

$$p = \lambda / \sin\theta = 1.266 \mu m \quad (\lambda = 632.8nm \quad \theta = 30^\circ)$$

また, 使用した CCD の画素サイズは $3.1 \mu m$ である.

上記の計算結果より, 以下のことが言える.

- 一般に, 良質なホログラムが得られる角度 $30^\circ \sim 45^\circ$ の間では, サンプリング定理より CCD の解像度が足りないのは明らかである.
- 干渉縞の間隔が CCD 画素サイズを下回っており, 良質なホログラムを得ることは困難であると言える.

このため、 θ の値をさらに小さくする必要が出てくる。 θ の値を小さくした場合を表 5.2 に示す。

$\theta = 20^\circ$ のとき	$\theta = 10^\circ$ のとき	$\theta = 1^\circ$ のとき
$p = 1.850 \mu\text{m}$	$p = 3.645 \mu\text{m}$	$p = 36.270 \mu\text{m}$

表 6.1 物体光と参照光のなす角の違いによる干渉縞の幅

表より、物体光と参照光のなす角が $\theta = 10^\circ$ より小さい場合ならば CCD 画素サイズに合った干渉縞間隔であると言える。しかし、物体光と参照光のなす角を小さく設定しすぎると、再生時に虚像と実像が重なって見えてしまうという問題が生じる。実験においては $\theta = 45^\circ$ を用いたが、今後は干渉縞の間隔のことも考慮に入れていく必要がある。

6.2 今後行う撮像実験の変更点

本撮像実験は再度実施することを考えているが、5.5 の考察を踏まえ、撮影状態を以下に変更し実施する予定である。

6.2.1 物体光の光量が多い点

ハーフミラーで分岐した直後に減衰板を配置し、相対的に参照光のエネルギーを増す。減衰板には可変式 ND (Neutral Density) フィルターを用い、その減衰率を変化させ最適な値を見つけ出す。

6.2.2 カメラの焦点が合っていない点

今回用いた CCD は、デジタルカメラの中に入っているものを利用している。このカメラにはオートフォーカスが内臓されており、わずかなブレも許されないホログラフィの撮像において、手動でのピント合わせが困難である。

カメラの焦点を合わすために、撮影の際カメラのピントを合わせるための板を、カメラとの距離がなるべく最短になる場所に置き、シャッターを半押しし、焦点を合わせた後、板をはず

し撮影する。

またその他にも、結像板を用いて干渉縞を結像板に投影し、結像板に映し出された干渉縞を撮影ことにより、ピント合わせを行うことも可能であると推測される。結像板を用いる際は結像板の素材も考慮する必要がある。

その際、カメラをしっかりと固定し、ブレないようにする必要がある。ブレを最小限に抑えるためにも、リモートリリースケーブルを使用するほうが望ましい。

6.3 今後の研究課題

最後に、今後の研究課題について述べる。

1. 構築した実験系において、実際に干渉縞を撮影する。
2. 同時に再生系も構築することにより実際に CCD で撮影した干渉縞を用いてできた再生像の確認を行い、その再生像の評価を行う必要がある。
3. 本研究では、単色光のみを用いて実験用光学系の構築を行ったが、カラーホログラフィの記録、再生の検討も行っていく必要がある。カラーホログラフィーは、3.3.1 において RGB 三色のレーザーを用いることにより実現が可能であると述べた。それに伴い、レーザーの選定も行う必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご鞭撻を頂いた高知工科大学工学部情報システム工学科の島村 和典教授に心より感謝いたします。さまざまなご助言を頂き、副査をお願いした岡田 守教授、清水 明宏教授をはじめとする諸先生がたに感謝いたします。また、本研究を進めるにあたり同じテーマで研究を行い、お忙しい中貴重なご意見を賜りました本大学院生の三谷 乙弘氏に深く感謝します。

参考文献

- [1] 増田千尋; "3次元ディスプレイ", 産業図書.
- [2] 佐藤甲癸; 液晶デバイスを用いた動画ホログラフィ研究の展望; ディスプレイアンドイメージング Vol.2, No.4, pp.309-315.(1994).
- [3] 辻内順平; "ホログラフィー", 裳華房.
- [4] 辻内順平; "ホログラフィックディスプレイ", 産業図書.
- [5] 高野誠, 阪本邦夫, 高橋秀也, 志水英二; ホログラフィックステレオグラムを用いた3Dムービー, 画像ラボ Vol.9, No.1, pp.30-33.(1998).
- [6] 「All About Color...」, <http://www.d2.dion.ne.jp/yoshih/> (2003/2/24 現在)
- [7] 高野邦彦, 佐藤甲癸; 白色光源とLCDを用いたホログラフィ立体テレビの特性改善, ディスプレイアンドイメージング Vol.8, No.3, pp.209-216.(2000).
- [8] 佐藤甲癸; ホログラフィ技術の現状と今後の課題, 3次元画像コンファレンス 2001(2001).
- [9] 「ImageNos」, <http://www.geocities.co.jp/SiliconValley/2489/> (2003/2/24 現在)

付録 A

ホログラフィ撮像に用いられる光学

ここではホログラフィ撮像に用いられる光学の解説を行う。

A.1 ビームエキスパンダ：ケプラータイプ

ビームエキスパンダは、レーザー光などを平行にするために用いられる。

両方のレンズを焦点距離 $f_1 + f_2$ 離して配置すると図のような光路をもつ。このビームエキスパンダは望遠鏡にも用いられている。

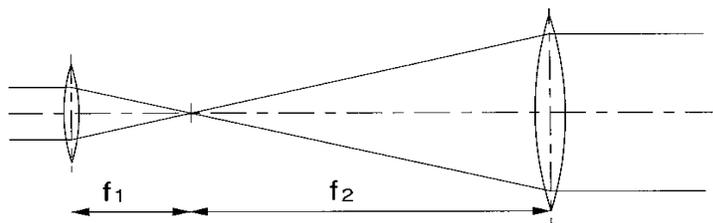


図 A.1 ビームエキスパンダ：ケプラータイプ

A.2 凹面鏡

凹面鏡は、焦点位置からの拡散光を平行光にしたり、平行光を焦点位置に集光させる場合に使用する光学部品である。レンズに比べ大口径でも安価なため利用されることが多い。

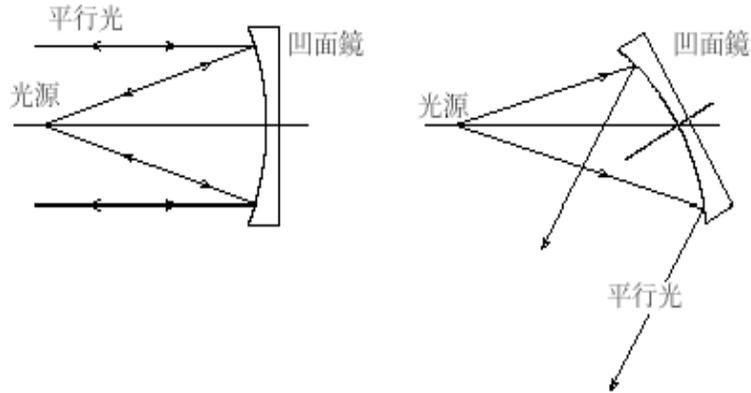


図 A.2 凹面鏡の特性

A.3 スペシャルフィルタ

スペシャルフィルタは、レンズとピンホールで構成されレンズの集光位置にピンホールを配置することで、ゴミやレンズの傷などによる不要な干渉縞を取り除き、ノイズのない綺麗な拡散光を作る。

ピンホール径の決定

ピンホールは、使用する光源の波長、対物レンズ焦点距離からピンホール径を計算する必要がある。また、ピンホール径はビームスポット径の約 2 倍の大きさのものがよい。ピンホール径の決定は以下の式を用いて行う。

$$d = \frac{4f\lambda}{\pi\omega}$$

$$D = 2d = \frac{8f\lambda}{\pi\omega}$$

f : 対物レンズの焦点距離

: 入射光のビーム径 (強度が $1/e^2$)

: 使用光源の波長

d : 集光位置でのスポット径

D : ピンホール径

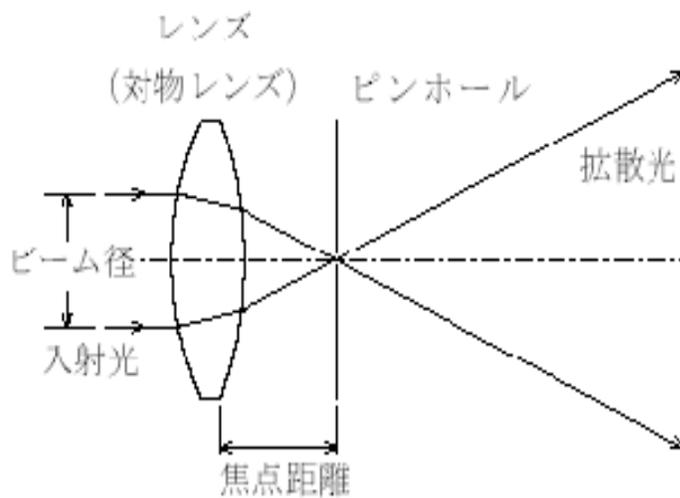


図 A.3 スペシャルフィルタ