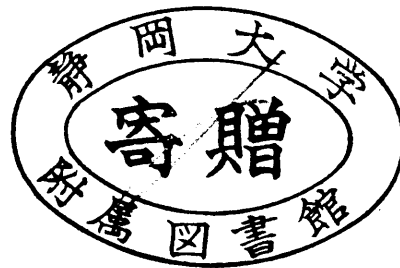


静岡大学博士論文

広帯域映像信号の光ディスク記録フォーマットと その再生システムに関する研究



1997年1月

日置 敏昭

あらまし

ビデオディスクは、放送メディアとは異なり、特別な設備を必要とせず、単独で応用分野に最適なシステムを構築できる特徴を持っている。そして、最近の次世代映像表現を可能とする広帯域映像信号処理技術の急速な進歩を背景に、多くの分野で、広帯域映像信号を再生するビデオディスク・システムの実現が求められるようになってきた。

本研究の目的は、ハイビジョン映像信号及び立体映像信号の広帯域映像信号を、ビデオディスク・システムの応用分野に最適化して光ディスクに記録するための信号記録フォーマットの確立と、そのディスク再生システムの構築にある。本論文は、その研究目的を達成するための4つの基本的課題である

- ①システムの応用分野で要求される再生時間、画質等のシステム・コンセプトの明確化
 - ②そのシステム・コンセプトに適合したディスク記録用映像信号形式の提案
 - ③映像信号、音声信号、制御信号等のディスク記録フォーマットの最適化
 - ④そのディスクを再生する実証システムの構築
- に関する研究についてまとめたものである。

まず、ハイビジョン用ビデオディスク・システムとしては、MUSE (Multiple Sub-Nyquist sampling Encoding)方式とベースバンド方式の広帯域映像信号それぞれについて、ディスク記録フォーマットの確立とその再生システムの構築をめざして研究を行った。MUSE方式の場合、民生用途の必要条件である映画ソフトを直径30cmのディスク1枚に収録するために、ディスク両面で120分のMUSE信号の再生をシステム・コンセプトとした。ディスク記録用映像信号形式に信号帯域幅8.1MHzのMUSE信号を採用し、レーザ波長670nm、NA0.55のピックアップを用いて、ディスク信号記録フォーマットを確立した。この研究成果を、ディスク規格「ハイビジョンLD規格：60Hz/1125ライン高精細テレビジョン—MUSE方式光学ビデオディスクシステム」として規格提案を行った結果、民生用規格に採用された。

一方、ベースバンド方式の場合は、100インチ以上の大画面で高画質映像を要求する業務分野での用途をめざして、輝度信号帯域幅20MHz、色差信号帯域幅6.7MHzのベースバンド信号を直径30cmのディスク1枚で60分連続再生することをシステム・コンセプトとした。まず、高画質と長時間連続再生を両立させたるために2チャンネル

ルTCI (Time Compressed Integration)映像信号形式とディスク両面同時再生方式を新しく提案した。そして、これらの提案を基に、MUSEシステムと同じ仕様のピックアップを用いてディスク信号記録フォーマットを確立した。このシステムは、これまでのディスクの欠点でもあったディスクの裏・表の概念も無く、取り扱いが非常に簡単になった。現在、ハイビジョン業務用ディスク・システム規格になっている。

次に、立体ビデオディスク・システムの場合は、両眼視差立体視を応用したフリッカレス立体方式とMPEG2 (Moving Picture Experts Group 2)立体方式の広帯域映像信号それぞれについて、ディスク記録フォーマットの確立とその再生システムの構築をめざして研究を行った。フリッカレス立体方式の場合は、2チャンネルの両眼視差方式立体映像を時分割立体表示する時の課題であったフリッカと垂直解像度劣化を解決した立体映像信号を、直径30cmのディスク1枚で60分再生することをシステム・コンセプトとした。まず、フリッカと画質劣化のない4:1インタレース倍速NTSC (National Television System Committee)立体映像信号形式を新しく提案した。この立体映像信号の信号帯域幅は、NTSC信号の2チャンネル分の8.4MHzであり、ほぼMUSE信号と同じ帯域幅であることから、再生システムにMUSE方式システムを使用できるディスク信号記録フォーマットを確立した。

もう一つの方式であるMPEG2立体方式は、2チャンネルNTSC信号を用いた両眼視差方式立体映像を、MPEG2方式デジタル信号圧縮することで、直径12cmのディスク1枚に60分以上の再生時間を実現することをシステム・コンセプトとした。レーザ波長635nm、NA0.6のピックアップでCD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)の4倍密度である3GBを達成した。そして、立体映像信号用に2.7Mbps×2チャンネル、オーディオ用に224kbpsを割り当てたデータ記録フォーマットを確立した。その結果、再生時間として立体ビデオディスク・システムとして十分な再生時間である70分を実現した。

以上、述べたように、従来のビデオディスク・システムの2～5倍の映像信号周波数帯域幅を必要とする4つのシステムにおいて、その応用分野に最適化したディスク信号記録フォーマットを確立するとともに、そのディスク再生システムを実現することができた。そして、それらのディスク信号記録フォーマットを社会に提案することで、光ディスクへの広帯域映像信号記録という新しい光ディスク信号記録技術の分野を築くことができた。

目次

第1章 緒言	
1.1 本研究の背景	2
1.1.1 ビデオディスク・システムの歴史	2
1.1.2 広帯域映像信号とそのディスク再生システム実現の要請	3
(1) ハイビジョン映像信号とビデオディスク・システム	5
(2) 立体映像信号とビデオディスク・システム	6
1.1.3 光ディスク信号記録技術の現状	7
1.2 本研究の目的	8
1.2.1 ディスク信号記録フォーマットを確立するための具体的課題	10
1.2.2 システム別ディスク信号記録フォーマット確立のための具体的課題	13
1.3 本論文の構成と概要	15
参考文献	17
第2章 光ディスクへの広帯域映像信号の記録と再生	
2.1 まえがき	18
2.2 システム・コンセプトに適合したディスク記録用映像信号形式	18
2.3 広帯域映像信号のFM変調記録	20
2.3.1 再生映像信号に対するクロストーク妨害	20
2.3.2 再生映像信号に対するディスクノイズ妨害	23
2.3.3 低搬送波FM変調記録による再生時間の長時間化	27
2.3.4 リニアエンファシスによる再生信号S/Nの改善	30
2.4 低搬送波FM変調記録と低域多重信号の相互干渉の低減	33
2.4.1 低搬送波FM変調信号の低域多重信号に対する妨害	34
2.4.2 低域多重信号の低搬送波FM変調信号に対する妨害	36
2.5 光ディスクからの信号の再生	39
2.6 むすび	43
参考文献	44
第3章 MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム	
3.1 まえがき	45
3.2 再生ピックアップの仕様	46
3.3 ディスク記録フォーマット	46
3.3.1 映像FM変調信号	47
3.3.2 パイロット信号	49
3.3.3 PCM音声信号	50
3.3.4 インデックス信号	53
3.4 MUSE方式に適合するディスク・カッティング	54
3.4.1 ディスク・カッティング装置	54
3.4.2 フォトレジスト膜厚とレーザ記録パワー	55
3.5 再生システムの構成	57
3.5.1 時間軸補正と映像再生	57
3.5.2 音声の再生	58
3.5.3 検索方式	59
3.6 ディスク及びシステム仕様	60

3.7	MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクの規格提案	62
3.8	むすび	63
	参考文献	65
第4章 ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム		
4.1	まえがき	67
4.2	両面同時再生方式	68
4.3	映像信号の2チャンネルTCI信号分割処理	70
4.4	ディスク記録フォーマット	72
4.4.1	ディスク記録線速度の最適化	72
4.4.2	トラックピッチの最適化	75
4.4.3	PCM音声信号	77
4.4.4	インデックス信号	77
4.5	ベースバンド方式に適合するディスク・カッティング	78
4.5.1	ディスク・カッティング装置	78
4.5.2	クロストーク・コントロールCLVディスク	79
4.5.3	ディスク両面の張り合わせ	81
4.6	再生システムの構成	81
4.6.1	ディスク両面同時再生ピックアップ制御	81
4.6.2	再生信号処理	82
4.7	ディスク及びシステム仕様	84
4.8	むすび	85
	参考文献	87
第5章 フリッカレス立体ビデオディスク・システム		
5.1	まえがき	88
5.2	パッケージ・メディアと立体映像	88
5.3	4:1インターレス倍速NTSC立体映像信号	90
5.4	ディスク記録フォーマット	92
5.4.1	倍速NTSC立体映像信号	93
5.4.2	パイロット信号	94
5.4.3	PCM音声信号	94
5.4.4	インデックス信号	95
5.5	ディスク・カッティング装置	95
5.6	再生システムの構成	97
5.6.1	時間軸補正と映像再生	98
5.6.2	音声の再生	98
5.7	立体映像再生方法	99
5.8	ディスク及びシステム仕様	100
5.9	むすび	101
	参考文献	102
第6章 MPEG2立体ビデオディスク・システム		
6.1	まえがき	103
6.2	広帯域立体映像信号とデジタルデータ圧縮技術	103
6.3	4倍密度CD-ROMディスクの開発	104
6.3.1	高分解能ピックアップ	104
6.3.2	ディスク・カッティング装置	105
6.3.3	4倍密度CD-ROMディスク	106

6.4 ディスク記録フォーマット	109
6.4.1 セクタ・インタリーブ	110
6.4.2 セクタ内の構造	111
6.5 再生システムの構成	112
6.5.1 ハードウェア構成	112
6.5.2 システム制御ソフトウェア	113
6.6 ディスク及びシステム仕様	114
6.7 むすび	115
参考文献	117
第7章 結論	118
謝辞	122
本研究に関する発表論文	123
<付録1>	128
<付録2>	133
<付録3>	138

第1章 緒言

音声や映像を記録する技術は、およそ100年の間に、急速な進歩を遂げてきた。その中でも、特にビデオディスクは近年、飛躍的に進歩した記録媒体といえる。一般にビデオディスクとは、回転するディスクを媒体として、映像や音声などを記録・再生するシステムを意味し、あらかじめ記録された映像・音声ソフトを再生して楽しむことが、その主目的である。

現在、映像・音声の記録・再生システムとして、最も普及しているのはビデオテープレコーダ（VTR）である。テープコストの安さと、長時間録画という長所を生かしてTV番組等を長時間連続的に記録し再生するという使い方で広く受け入れられている。しかし、VTRにはいくつかの欠点がある。テープ寿命が短い、ランダムアクセスが難しい等の問題があり、インタラクティブ的応用には全く不向きな記録媒体である。

一方、ビデオディスクの場合、VTRに比べて長時間の記録はできないものの、あるまとまった量のプログラムを記録・再生することができる潜在的記録容量の大きさ、ディスクという特長を生かした速い検索スピード、安価なディスクの複製などを実現することができる。そのため、近い将来に到来が予想される画像、音声、データといった各種メディアを同時に扱うマルチメディア社会において、テープに代わる映像記録媒体として期待されている。

特に、最近では、放送や映像関連分野において、NHKを中心にして開発されてきた高画質・高精細映像（ハイビジョン映像）や立体映像などの広帯域映像信号の実用化と応用が急速に進み、これらの広帯域映像信号を如何に高画質で長時間、限られた容量の光ディスクに記録するかが、実用的な光ビデオディスク・システムを実現する上での大きな課題となってきた。このような広帯域映像信号を記録する光ビデオディスク・システムを構築するためには、いろいろな要素を考慮する必要がある。すなわち、技術的要素を基本にして、システムの応用分野に必須な要素を明確にし、その応用分野に最適なディスク信号記録フォーマットを確立することが非常に重要である。このディスク信号記録フォーマットは、ディスク形状や映像信号、音声信号、ディスク制御信号等のディスク記録条件を規定するものであり、光ディスクのプレーヤごとの互換性を維持する上で、必要不可欠なものである。一般的には、システムの応用分野により、必要とされる映像信号処理技術、高密

度ディスク記録技術、音声信号多重記録技術、ディスク制御技術などの技術要素が大きく異なるため、応用分野に最適なディスク信号記録フォーマットもおのずと異なる。

本研究の目的は、1.2節の(A)～(D)のハイビジョン映像や立体映像を扱う光ビデオディスク・システムを応用分野別に最適化するためのディスク信号記録フォーマットの確立と、そのディスク再生システムの構築にある。本論文は、その研究目的を達成するための4つの基本的課題である

- ①それぞれの応用分野に適した画質、再生時間などのシステム・コンセプトの明確化
- ②そのシステム・コンセプトに適合したディスク記録用映像信号形式の提案
- ③映像信号、音声信号、制御信号等のディスク記録フォーマットの最適化
- ④そのディスクを再生する実証システムの構築

に関する研究についてまとめたものである。

1.1 本研究の背景

1.1.1 ビデオディスク・システムの歴史

最初のビデオディスクは、1961年にアメリカのスタンフォード大学研究所で行われた「ホトグラフィック・ビデオディスク」で、ディスク表面に濃淡で記録された信号を水銀ランプからの透過光の強弱で読みとる方式であった。1965年には、アメリカのアンペックス社が、磁気ディスクを用いる方法で、毎秒30枚の標準パターンを数秒～数分再生した記録がある。しかし、ビデオディスクとして各種方式の開発が本格的になったのは、1970年代になってからである。その記録・再生には、映像信号と音声信号をディスクの1本の連続した螺旋状トラックの中に凹凸状に記録し、その信号をレーザビーム・スポット又は接触針を用いて検出し、電気信号に変換している。代表的方式としては、1970年に発表された信号の読み取りに圧電現象を利用した圧電式のTED (Telefunken/Teledec/Decca)方式⁽¹⁾、1972年にフィリップス社が発表した光ディスク方式の基礎となるVLP (Video Long Play)方式⁽²⁾、1973年にRCA社が発表したV溝に刻み込まれた凹凸信号を導電性ディスクと電極再生針との間の静電容量変化を検出する静電式のCED (Capacitance Electronic Disc)方式⁽³⁾、1978年にビクター社が発表したCED方式を改良したVHD (Video High Density)方式⁽⁴⁾、フィリップス社とMCA社が発表したMCA/フィリップス規格⁽⁵⁾の光学式ビデオディスク・システムなどがある。

このように、これまで、数多くのビデオディスク・システムが研究されてきたが、それらは、いずれもNTSC (National Television System Committee)方式やPAL (Phase Alternation by Line)方式の信号帯域が4～5MHzの標準テレビ映像信号を如何に限られた容量のディスクに、画質劣化を押さえて長時間記録するかということを目標に置いたものであった。その多くは、画質が劣る、再生時間が短い、耐久性が不十分などの問題を解決することができないため淘汰され、最新の技術であるレーザを取り入れた光学式ビデオディスクだけが、現在まで生き残り、標準テレビ用ビデオディスクの中心的存在として技術的にも成熟してきている。この光学式の最大の長所は、ピックアップを記録面に接触させずに信号が読みとることができる点にある。従って、光学式では、ピックアップやディスクを磨耗させず、半永久的に劣化のない映像信号を再生することができる。

そして、その後の半導体レーザの低コスト化・短波長化と相まって、光学式ビデオディスク技術が、デジタルオーディオ用CD (Compact Disc)やコンピュータデータ用CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)として発展し、民生用エレクトロニクス分野や情報産業分野において広く応用されつつある。

ところが、最近では、NTSC方式やPAL方式などの標準テレビ放送の画質をはるかに越えるハイビジョン映像や立体映像の実用化とその進展により、次世代の新しい映像機器の開発が盛んに進められている。なかでも、幅広い応用展開が容易なパッケージ・メディアの代表である光学式ビデオディスク・システムの実用化が、民生用及び業務用を問わず多くの分野で強く求められている。こうした背景の下、1.1.2で述べる4分野の要請に従って、それぞれの分野に最適化した広帯域映像信号を光ディスクに記録するための信号記録フォーマットの確立と、そのディスク再生システムの構築を目的として研究を開始した。

1.1.2 広帯域映像信号とそのディスク再生システム実現の要請

最近では、現行のNTSC方式から次世代の新しい映像表現ができるテレビ方式の実現をめざした研究開発が盛んに行われている。我々が映像信号に求めるものは、究極的に何であろうか。それは、仮想現実 (Virtual Reality)である。この仮想現実を実現するにあたっては、二通りのアプローチが考えられる。一つは、高画質・高精細の映像を大画面で表示し臨場感を表現する方式である。これが、一般的にハイビジョンと呼ばれるHDTV (High Definition TV)方式である。そして、もう一つの方式が、現実の奥行き感を実

表1.1 HDTVと立体TVに必要な要素

必要な諸要件		HDTV	立体TV
高精細で鮮鋭な画像		○	○
鮮やかで忠実な色再現性		○	○
高コントラスト		○	○
安定な画像		○	○
広視野効果		○	○
奥行き・立体感	単眼立体視	○	○
	両眼立体視	×	○

際に表現することで、仮想現実を実現しようとする立体テレビ方式である。表1.1に、ハイビジョン映像と立体映像に必要な諸要件を列挙した⁽⁶⁾。これらの要件を満足するためには、現行のNTSC方式に比較して、はるかに広帯域な映像信号を取り扱う必要がある。表1.2に本論文で扱うハイビジョン映像信号と両眼視差立体映像信号のパラメータをNTSC映像信号と比較して示す。NTSC映像信号と比べて2倍以上の映像信号帯域をもつこれらの広帯域映像信号によって実現される仮想現実の映像表現は、これまでの家庭を中心とした放送サービス以外にも、多分野への応用展開が可能である。そして、最近、これらの信号を記録した光ディスクとその再生システムが、新しい映像文化を創造するクローズド・システムとして、各方面で強く望まれるようになってきた。

表1.2 各種広帯域映像信号とNTSC信号の比較

映像信号 パラメータ		ハイビジョン			両眼視差 立体映像信号	NTSC 映像信号
		スタジオ規格	ベースバンド信号	MUSE信号		
アスペクト比		16 : 9	16 : 9	16 : 9	4 : 3	4 : 3
走査線数 (本)		1125	1125	1125	1049	525
毎秒像数 (枚)		60	60	60	59.94	59.94
インタレース比		2 : 1	2 : 1	2 : 1	4 : 1	2 : 1
映像信号 帯域幅 (MHz)	輝度信号	Y : 30	Y : 20	8.1	8.4	4.2
	色差信号	P _B : 30	P _B : 6.7			
		P _R : 30	P _R : 6.7			

(1) ハイビジョン映像信号とビデオディスク・システム

ハイビジョンは、NTSC方式に代わる次世代テレビ方式として、NHKにより1970年に研究が開始された。これは、単に走査線が多くNTSC方式より高精細なテレビ方式という単純な発想ではなく、21世紀に向けて十分に長期の使用に耐えうる優れた性能を持つべきだというコンセプトに基づいている。そして、その本来のあるべき姿を追求するところから研究が始められ、画面特性に関する基本パラメータが視覚、聴覚の心理実験を元に研究され、画角、視距離、画面サイズ、画面形状等が決定された。表1.2にハイビジョン・スタジオ規格(BTAS-001, SMPTE 240M)⁽⁷⁾の主なパラメータを示す。このスタジオ規格の信号は、NTSC方式の輝度信号であるY信号(4.2MHz)と比べても7倍以上の情報量を持った広帯域映像信号になっている。ところが、ハイビジョン放送を行う場合、このスタジオ規格のままでは信号帯域が広すぎて、割り当てられた放送用伝送帯域で送ることができない。そこで、衛星放送の1チャンネル伝送帯域(27MHz)を利用して一般家庭への映像配信を可能にしたのが、MUSE(Multiple Sub-Nyquist sampling Encoding)方式ハイビジョンである(付録2参照)。これは、ハイビジョン映像信号を8.1MHzまでアナログ帯域圧縮する方式である。そして、1989年から衛星を利用したMUSE方式ハイビジョン放送がスタートした。このような社会環境の中、映画等の長時間再生を可能とするために、帯域圧縮されたMUSE信号を記録したMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムの実現が、民生用途の分野で強く望まれるようになってきた。このシステムに関しては、第3章で詳しく述べる。

一方、ハイビジョンは、放送だけにとどまらず、100インチ~200インチの大画面ビデオシアタ、工業用、医用、美術館、博物館などの非放送系分野で広く応用展開が進みつつある。このような高画質・高精細画像を取り扱う分野では、放送とは異なったクローズド・システムとして自由にシステム仕様を設計することができるため、帯域圧縮を使用しないシステムが望まれている。帯域圧縮を用いると信号伝達系の歪みにより、再生伸長時にその歪みが拡大し、信号伝達歪み以上の画質劣化をもたらすからである。この要望を満たすのが、第4章で述べるハイビジョン映像信号を帯域圧縮せず記録するベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムである。しかし、ベースバンド信号として、スタジオでの画像編集による画質劣化を見込んで決められたスタジオ規格をそのまま用いると90MHzもの信号帯域となり、人が観視することを考えると過剰品質であり無駄が多い。最終の分配品質の画質としては、輝度信号(Y)で20MHz程度、色差信号

(P_B 、 P_R) でそれぞれ各 5 ~ 7 MHz 程度⁽⁸⁾で良いと言われているため、これらの帯域幅まで帯域制限した信号をベースバンド信号としてディスクに記録するのが妥当である。この場合でも、30 MHz 以上の帯域幅を持つ広帯域映像信号を扱う必要がある。

(2) 立体映像信号とビデオディスク・システム

立体テレビ放送は、ハイビジョン放送の次の世代に位置づけられており、その映像情報量の多さと人間の立体視に関する視覚特性の複雑さにより、現在のところ、未だ完全に満足できる立体映像システムを構築するには至っていない。しかしながら、このような未熟とも言える立体映像でも多くの分野でその応用展開が図られている。特に、1985年に筑波研究学園都市で開催された国際科学技術博覧会で立体映像が上映されて以来⁽⁹⁾、各種方式の立体映像システムの実用化がなされてきたが、最も簡単で、最も効果的な立体視ができるのは両眼視差立体映像方式である(付録3参照)。そこで、この両眼視差立体映像方式を用いたビデオディスク・システムが民生用途として実用化された⁽¹⁶⁾。しかし、このシステムでは、NTSC映像信号の偶数、奇数フィールドに対して左目、右目用映像信号を交互に割り当ててディスクに記録したため、時分割立体視による垂直解像度の劣化とフリッカの発生が大きな問題であった。

一方、医療、教育、産業、CAD/CAM、アミューズメントなどの大画面の高画質映像を扱う業務用分野では、垂直解像度の劣化やフリッカが目立たない高画質立体映像システムが望まれている。そこで、この要望を満たすために研究したのが、第5章で述べるフリッカレス立体ビデオディスク・システムである。左目用と右目用のNTSC映像信号を解像度劣化及びフリッカが発生しない信号形式でディスクに記録し、左目、右目で、それぞれのNTSC映像信号を劣化無く見るようにシステム構築したものである。このシステムでは、それぞれの目にNTSC映像信号を用いるため、ディスクに記録する立体映像信号はNTSC映像信号の2倍の8.4 MHzの情報量を持つ広帯域映像信号となる。これは、表1.2に示すように、MUSE方式ハイビジョン映像信号と同等の信号帯域ある。

また、最近のNTSC映像信号技術動向として、テレビとコンピュータのプラットフォームの統合化をめざした映像信号や音声信号のデジタル化が急速に進みつつある。この影響により、光ディスク分野においてもデジタル・データ圧縮技術を用い、これまでの直径30 cmのNTSC方式ビデオディスクに代わって、直径12 cmの小型デジタル・ビデオディスクを実現するための研究が盛んに行われるようになってきた。このような技

術動向の中、小型システムで取り扱いが簡単、しかも高画質が得られる立体ビデオディスク・システムの実現が求められるようになってきた。この要望に対応したのが、第6章で述べるMPEG 2 (Moving Picture Experts Group 2) 立体ビデオディスク・システムである。MPEG 2 デジタル圧縮技術の導入、短波長レーザピックアップの開発によるディスクの大容量化、高速データ転送レートの実現により高画質立体映像再生を可能にした。

これらハイビジョン映像や立体映像がもたらす映像表現に対する多くの分野からの期待と、最近の半導体技術やデジタル信号処理技術の急速な進歩に支えられて、広帯域映像信号を扱うカメラ、ディスプレイ、記録機器、伝送機器、放送システムなどの開発が同時並行で進められている。そして、以上に述べてきた各種ビデオディスク・システムも、それぞれの応用分野におけるパッケージメディアの中心的存在として、その実現が強く望まれている。

1.1.3 光ディスク信号記録技術の現状

本研究が対象とするような広帯域映像信号を記録するビデオディスクは、これまでに全く存在せず、ビデオディスクと言えば、標準テレビ信号を記録したNTSC方式ビデオディスクを意味していた。これは、映画ソフトを直径30cmのディスク1枚に収録することをシステム・コンセプトとして、ディスク両面で120分の再生時間と42dB程度の再生映像信号S/N (Signal to Noise Ratio)を実現したものである。

このNTSC方式ディスク信号記録フォーマットの代表的パラメータを、表1.3に示す。波長780nmのレーザとNA

(Numerical Aperture)が0.5のレンズで構成されたピックアップによって約1.3 μ mのレーザビームスポット径が得られている。線速度を10.1~11.4m/s、トラックピッチを1.4~2.0 μ mと許容範囲を持たせることで、ディスク片面で41分~66分の再生時間を確保している。再生時間を長くするほ

表1.3 NTSC方式ビデオディスク信号記録フォーマット

映像信号記録	NTSC映像信号帯域		4.2 MHz
	映像FM周波数		8.1~9.3 MHz
	白黒周波数偏移		1.2 MHz
音声信号多重記録レベル	FM音声信号	CH 1	-30 dB (2.3MHz)
		CH 2	-30 dB (2.8MHz)
	EFM音声信号		-27 dB
ディスク仕様	ディスク直径		30 cm
	トラックピッチ		1.4~2.0 μ m
	記録速度		10.1~11.4 m/s
	記録エリア (半径)		55~145 mm
	再生時間 (両面)		120 分
ピックアップ仕様	レーザ波長		780 nm
	レンズ開口数NA		0.5

ど、クロストーク妨害や再生映像信号のS/N劣化を許容しなければならない。一方、映像信号をFM変調する場合の白黒周波数偏移は1.2MHzと狭く、またFM変調キャリア周波数(8.7MHz)をNTSC信号周波数(4.2MHz)の2倍以上と高く設定することで、FM変調によって生じる映像信号の高調波側帯波が、低域に周波数多重されている音声信号に対して妨害を与えにくい信号記録フォーマットとなっている。

この光ディスクの信号記録伝達特性をそのままにして、表1.2に示す8.1MHz~30MHzの映像信号帯域を持つ広帯域映像信号を記録しようとしても、信号記録伝達特性の信号帯域幅が狭く、広帯域映像信号記録は不可能である。ただし、大型サイズの大容量ディスクを高速回転させて信号記録伝達特性の広帯域化を実現すれば、広帯域映像信号の記録と実用的再生時間を確保することは可能である。しかし、これらの手法を用いれば、これまでのディスク製造設備が使用できないとか、ビデオディスク・システムの大型化や再生の不安定性等の問題が発生し、システムの応用展開が困難となる。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、ハイビジョン映像信号及び立体映像信号の広帯域映像信号を光ディスクに記録するための信号記録フォーマットの確立と、そのディスク再生システムの構築である。このディスク信号記録フォーマットは、ディスク形状や映像信号、音声信号、ディスク制御信号等のディスク記録条件を規定するものであり、光ディスクのプレーヤごとの互換性を維持する上で、必要不可欠なものである。そして、この研究成果であるディスク信号記録フォーマットを新たに提案し、ディスク互換性を保つためのフォーマットの統一に寄与することも重要な研究目的の一つである。

具体的には、1.1.2に述べた社会の要請に従って、それぞれ独自のシステム・コンセプトを持つ次の4種類のシステムのディスク信号記録フォーマットの確立と、その再生システムの構築を行った。

- (A) MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム
- (B) ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム
- (C) フリッカレス立体ビデオディスク・システム
- (D) MPEG2立体ビデオディスク・システム

これら4種類のいずれのシステムにおいても、ディスク信号記録フォーマットの確立とその再生システムを構築するための基本的課題は、次の4つに大きく分けられる。

①システム・コンセプトの明確化

ハイビジョン及び立体映像の応用分野別に要望される再生時間、画質、音質、コストパフォーマンス等のシステム・コンセプトを明確にすること。

②ディスク記録のための新しい映像信号形式の提案

限られた容量の光ディスクに効率よく広帯域映像信号を記録するために、新しいディスク記録用映像信号形式（映像信号、同期信号、ディスク制御信号、デジタル音声信号等の信号多重形式）を提案すること。

③ディスク信号記録フォーマットの最適化

映像信号、音声信号、ディスク制御信号等の各種信号を効率良くディスクに記録し、システム・コンセプトに適合した画質及び再生時間を確保するために、ディスク信号記録フォーマットを最適化すること。

④ディスク再生実証システムの構築

上記ディスク信号記録フォーマットで記録されたディスクを再生するための実証システムを構築し、ディスク信号記録フォーマットの有効性を確認すること。

これらの基本的課題は独立しているのではなく、図1.1に示す相関をもっている。まず、システム・コンセプトの明確化が最も基本的課題として存在し、最終的に、そのコンセプトに適合したビデオディスク・システムのディスク信号記録フォーマットを確立する。このディスク信号記録フォーマットは、再生システム間でのディスク互換性を維持するのに守らなければならない規則ごとであり、①～④のすべての研究成果が、ディスク信号記録フォーマットの確立にすべて集約される。

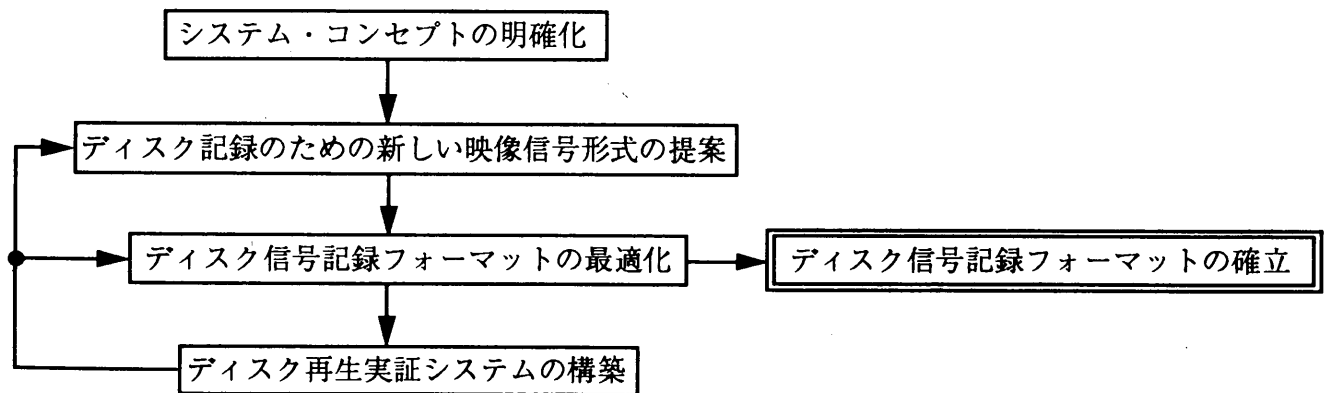


図1.1 基本的課題の相関

1.2.1 ディスク信号記録フォーマットを確立するための具体的課題

最も合理的に広帯域映像信号用ビデオディスク・システムを実現するには、現行のディスク製造設備を活かして、直径30cmまたは12cmのディスクで信号記録フォーマットを確立することである。つまり、この従来と同一サイズの限られたディスク容量に表1.2に示すNTSC映像信号の2～5倍の信号帯域を持つ広帯域映像信号を記録するには、レーザスポット径の縮小によるディスクの高密度化と各種ディスク信号記録方法の工夫と最適化とで、高画質と実用再生時間の確保を図るのが最善である。

(1) レーザ光の集光スポット径とディスクの高密度化

広帯域映像信号に対して十分な記録容量を得るためには、集光スポット径を小さくしてディスクの高密度化を実現することが基本的な対応である。

光ディスクは、レーザ光をレンズで集光することにより情報の記録・再生を行うため、記録密度はレーザ光の波長とレンズのNAで決定される。集光スポット径 ϕ は、

$$\phi = K \cdot \lambda / NA \quad (K: \text{constant}) \quad (1.1)$$

λ : レーザ波長, NA : レンズの開口数

で与えられ、レーザ波長が短いほど、または、レンズのNA (<1) が大きいほど、集光スポット径を小さくできることが分かる⁽¹⁰⁾。

半導体レーザの発振波長は、バンドギャップによって決まるため、容易に短波長化することは不可能である。現在、NTSC方式ビデオディスクに用いられているレーザは、一般に波長780nmのAlGaAs系半導体レーザである。最近、活性層をGaInPにした波長670nm、出力3～10mWのAlGaInP赤色半導体レーザが実用化されてきた⁽¹¹⁾。さらに、活性層へAlの添加⁽¹²⁾、(100)面から<011>方向にオフしたGaAs基板を利用した波長635nmの素子が開発されている⁽¹³⁾。このように、現状では、広帯域映像信号を再生するためのレーザ波長は、780、670、635nmに限定される。780nmレーザと比較して、短波長レーザ採用による記録容量の増加は、波長比の2乗に反比例するから、670nmレーザを用いると1.35倍、635nmレーザを用いれば1.51倍の容量増加を期待することができる。そして、例えばNAを0.5から0.55に大きくすると、NA比の2乗で効果があるため、さらに1.21倍

の容量増加が期待できる。ところが、レーザ波長の更なる短波長化には材料面での発展が必要であり、長期的な技術開発をまたねばならない。また、NAの大きな値のレンズを用いるとサーボ系に厳しい制約が課せられる。

例えば、

$$\text{焦点深度} = \lambda / (\text{NA})^2$$

$$\text{ディスクの傾き (スキュー) に対する許容度} \propto \lambda / (\text{NA})^3$$

$$\text{ディスクの厚みむらにたいする許容度} \propto \lambda / (\text{NA})^4$$

となり、レーザ波長の影響よりもNAの悪影響の方が大きい⁽¹⁴⁾。NAの値としては、市場でのディスクのソリや面振れの増加を考慮すると、一般的には0.5～0.6の間で選択するのが、システムの安定性を保つのに妥当であることがわかっている。

このように、短波長レーザや高NAのレンズを採用してレーザスポットサイズの縮小を行ったピックアップで、ある程度のディスクの高密度化を実現することができるが、広帯域映像信号をそのまま記録するには、まだ不十分である。システム・コンセプトに適合した画質と実用再生時間を確保したビデオディスク・システムを実現するには、次に述べるディスク信号記録方法の工夫や最適化が必要不可欠である。

(2) 高画質化と長時間化

光ディスクの場合は、アナログ記録またはデジタル記録のいずれの場合でも、ディスク上には凹凸のピットが形成されるだけで物理的構造の違いは全くない(付録1参照)。広帯域映像信号のディスク記録フォーマットを設計するにあたっての最適信号記録条件は、アナログ記録の場合は、再生時間の長時間化と再生映像の高画質化とのトレードオフで決まり、デジタル記録の場合は、大容量化とデータ誤り率を左右するC/N (Carrier to Noise Ratio)とのトレードオフで決まる。

表1.4に基本的ディスク信号記録方法を示す。この表の中で、システムを特徴づける最も重要な記録方法は、ディスクに記録する映像信号形式である。この映像信号形式には、映像信号の他に同期信号、ディスク制御信号等が含まれるが、支配的なパラメータは映像信号である。圧縮した映像信号を用いれば、ある程度の高画質を維持しながら長時間化が可能である。一方、ベースバンド映像信号を用いた場合は、高画質化は容易であるが、長時間化には課題が生じる。長時間化を実現するには、ディスクに信号を記録すると

きに何らかの工夫が必要となる。このベースバンド信号は、デジタル化すると信号伝送量が急激に増加（数百Mbps）するためデジタル記録は不可能である。結局、まず最初にシステムの応用分野を明確にし、必要とされる画質及び再生時間のシステム・コンセプトを明確にし、そのシステムに適した映像信号形式を考案することが研究を始める段階での最も重要な課題である。

アナログ記録とデジタル記録の両方に関連する基本的記録方法である狭トラックピッチ化や低線速度化は、長時間化（大容量化）には有効であるが、高画質化（高C/N化）の面では、クロストークやS/N劣化の悪影響が生じる。ここで、低線速度化は、アナログ記録の場合には、再生時間とS/Nの関係、デジタル記録の場合には、容量とC/Nの関係を支配する記録方法であり、狭トラックピッチ化は、更なる長時間化や大容量化をするための補足的記録方法である。この狭トラックピッチ化によってクロストークが生じるが、映像信号形式や信号記録方法を工夫して目立たなくすることが可能である。

また、アナログ記録特有の記録方法を見ると、低搬送波FM変調記録は、狭帯域信号伝達特性を利用した低線速度信号記録方法であり、再生映像信号S/Nを犠牲にして長時間化を実現している。そして、このS/N劣化を補うのが、エンファシスである。ところが、このエンファシスはS/N改善には有効であるが、高周波映像信号部分でピットの微小化が発生し長時間化に対して悪影響を与えるため、その最適化が課題となる。そして、高画質化と長時間化の両方に悪影響を与えるのが、ピット幅変調記録する音声信号やディスク制御信号等の周波数多重記録である。映像に対しては混変調妨害、長時間化に対してはピット微小化の悪影響を与えるので、その多重記録レベルの最適化が課題となる。

表 1.4 各種ディスク信号記録方法と画質及び再生時間への影響

記録方式 記録方法	アナログ記録		デジタル記録	
	高画質化	長時間化	高画質化	長時間化
映像信号形式 ・圧縮映像 ・ベースバンド映像	△ ◎	○ ×	△ 記録不可	○ 記録不可
狭トラックピッチ化	×	○	C/N	大容量化
低線速度化	×	○	×	○
低搬送波FM変調	×	○	×	○
エンファシス	○	×		
周波数多重	×	×		

1.2.2 システム別ディスク信号記録フォーマット確立のための具体的課題

それぞれ4種類のビデオディスク・システムに対する社会の要請や基本的課題の検討により明確にしたシステム・コンセプト及び具体的課題とその対応をまとめると以下のようになる。いずれのシステムにおいても、ディスク信号記録フォーマットの目標は、システム・コンセプトで違いはあるが、現行のディスクサイズである直径30cmまたは12cmのディスクで、60分または120分の再生時間と40～43dB程度の再生映像信号S/Nを実現することにある。

(A) MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム

1) システム・コンセプト

民生用途をめざしたシステムで、直径30cmのディスク1枚に映画ソフトの収録を可能にするため、MUSE信号を採用することでディスク両面で120分の長時間再生を実現する。

2) 具体的課題とその対応策

- ①高密度化：ピックアップのレーザスポット径を縮小する。
- ②長時間化：再生映像信号S/Nとして40dB以上を確保しつつ、低搬送波FM変調で記録し狭トラックピッチ化を図る。
- ③高音質再生：低搬送波FM変調記録に起因する高調波妨害の除去法を考案することで、 8×10^{-2} 以下のブロック・エラーレートでEFM音声信号を周波数多重する。
- ④ディスク制御：MUSE同期信号形式の欠点を補うディスク制御信号を周波数多重し、その周波数及び多重レベルの最適化で映像信号への混変調妨害の低減を図る。
- ⑤衛星モード音声：ディスクのドロップアウトに合わせてエラー訂正能力を強化する。

(B) ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム

1) システム・コンセプト

大画面表示の業務用途をめざしたシステムで、業務用途に必要とされる連続60分の再生時間と高画質映像再生を直径30cmのディスクを用いて実現する。

2) 具体的課題とその対応策

- ①高密度化：ピックアップのレーザスポット径を縮小する。
- ②高画質化：チャンネル特性差が知覚しにくくドロップアウト補正が容易な2チャンネル

ル分割映像信号形式を提案する。これに加えて、エンファシスの最適化を図る。

- ③長時間化：ディスク両面同時再生方式を提案する。再生映信号S/Nとして40dB以上を確保しつつ、低搬送波FM変調で記録し、狭トラックピッチ化を図る。
- ④高音質再生：低搬送波FM変調記録に起因する高調波妨害の除去法を考案することで、 8×10^{-2} 以下のブロック・エラーレートでEFM音声信号を周波数多重する。

(C) フリッカレス立体ビデオディスク・システム

1) システム・コンセプト

時分割立体ビデオディスク・システムで、左右の目にそれぞれ60枚/秒のインタリーブ映像を表示することでフリッカレスと高画質を両立させるとともに、ディスク両面で60分の再生時間を実現する。

2) 具体的課題とその対応策

- ①高画質立体映像：時分割立体視をしてもフリッカの発生や垂直解像度の劣化のない新しい立体映像信号形式を提案する。
- ②MUSEシステムとの互換性：ディスク制御信号を周波数多重し、その周波数及び多重レベルの最適化で映像信号への混変調妨害の低減を図る。
- ③高音質再生：低搬送波FM変調記録に起因する高調波妨害の除去法を考案することで、 8×10^{-2} 以下のブロック・エラーレートでEFM音声信号を周波数多重する。

(D) MPEG2 立体ビデオディスク・システム

1) システム・コンセプト

直径12cmのCD-ROMに両眼視差立体映像信号をMPEG2デジタル圧縮記録することで、ディスク1枚で60分の再生時間と高画質立体映像を実現する。

2) 具体的課題とその対応策

- ①大容量化：ピックアップのレーザスポット径を縮小し、狭トラックピッチ化と低線速度化を図る。
- ②高画質化：再生システムの高速度データ転送レートを実現し、MPEG2デジタル圧縮データの高ビットレート再生を行う。
- ③データ記録フォーマット：左目用映像データ、右目用映像データ、音声データ等のセクタ・インタリーブの最適化を図る。

いずれのシステムでも、ディスク信号記録フォーマットは、ディスク回転制御方式が異なるCAV (Constant Angular Velocity) ディスクとCLV (Constant Linear Velocity) ディスクの2種類のディスク (付録1参照) に関して確立する必要があるが、記録密度の高いCLVディスクに関する信号記録フォーマットを決めることが研究の中心となる。CAVディスクの信号記録フォーマットは、CLVディスクの結果に準じて決まる。

1.3 本論文の構成と概要

第1章は、本研究の背景として、まず最初にビデオディスクの歴史と最近のハイビジョンや立体映像信号などの広帯域映像信号の技術進歩とそれらの信号を記録したビデオディスク・システムの実現に関する社会の要請について触れている。次に、広帯域映像信号用ビデオディスク・システムを実現するには、現在の光ディスク記録技術のままでは不可能であり、縮小レーザスポット径によるディスクの高密度化に加えて、限られた容量で長時間化・高画質化を実現するために、映像信号形式、トラックピッチ、線速度、低搬送波FM変調記録、エンファシス、音声信号及びディスク制御信号の周波数多重記録等の最適化が重要であることを述べている。そして、光ディスク信号記録フォーマットを確立する具体的手法としては、応用分野で要求される画質、音質、再生時間等のシステム・コンセプトを明確にすることで、まず、コンセプトに合った映像信号形式を考案し、次に、ディスク再生実証システムの構築と各種信号記録方法の最適化により、限られた容量で長時間化・高画質化を実現しなければならないことを述べている。そして、章の最後で本研究の目的について述べている。

第2章は、広帯域映像信号用ビデオディスク・システムに共通な記録・再生時の課題に焦点をあて、検討を加えている。まず、記録する場合には、システム・コンセプトに適合した映像信号形式の研究が最も重要であることを述べている。次に、再生映像信号に対するクロストーク妨害及びディスクノイズ妨害に関して理論的解析を行い、高画質化及び長時間化に重要なパラメータに対して考察を与えている。また、低搬送波FM変調記録で生じる2つの課題である再生映像信号S/Nの低下及び低域多重信号との相互干渉に対して、それぞれ、エンファシスの最適化と高調波リダクション法を提案している。

一方、再生時の課題として、光ディスクの再生系伝達特性の歪みを取り上げ、その解決法を提案している。

第3章から第6章にかけては、第2章の共通課題の検討をふまえた上で、具体的なシス

テムの研究について詳しく述べている。

まず、第3章では、アナログ画像圧縮を用いたMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムに関するものである。映像信号帯域幅8.1MHzのMUSE信号を採用し、直径30cmのディスク両面で120分再生可能なディスク信号記録フォーマット及びそのディスク再生システムの研究について記述している。この研究に基づいて、著者は、「ハイビジョンLD規格：60Hz/1125ライン高精細テレビジョン—MUSE方式光学ビデオディスクシステム」⁽¹⁵⁾規格を提案した。この提案は、現在、5社共同提案として民生用規格に採用されている。

第4章は、ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムのディスク信号記録フォーマット及びそのディスク再生システムの研究に関するものである。この方式は、画像圧縮を用いず再生時間を多少犠牲にして、MUSE方式よりも高画質の映像再生を目指した方式である。直径30cmのディスク1枚で60分の長時間再生と高画質映像再生を両立させるために、ディスクの表裏にピックアップを配置して同時に信号を読みとる両面同時再生方式を新しく提案している。この業績は、現在、業務用ハイビジョン・ビデオディスク・システムの規格になっている。

第5章は、両眼視差立体視を用いたフリッカレス立体ビデオディスク・システムのディスク信号記録フォーマット及びそのディスク再生システムの研究に関するものである。フリッカが目立たないように、ディスクに記録する立体映像信号として4:1インタレース方式の倍速NTSC立体映像信号を新しく提案し、直径30cmのディスク両面で60分の再生時間を実現している。この立体映像信号は、その信号帯域幅がほぼMUSE信号と同じであるので、MUSE方式再生システムが共用できるディスク信号記録フォーマットを確立している。このシステムは、フリッカのない時分割立体システムとしての地位を確立し⁽¹⁶⁾、様々な分野で実用化されている。

第6章は、MPEG2デジタル圧縮技術を用いてデジタル記録を行った立体ビデオディスク・システムのディスク信号記録フォーマット及びそのディスク再生システムの研究に関するものである。波長635nmの半導体レーザを用い、4倍密度CD-ROMシステムを構築している。左目、右目用の2チャンネルMPEG2映像データを記録し、70分の再生時間を実現している。このシステムは、光ディスクが今後進んで行くであろう「小型大容量化」「デジタル信号記録」という技術動向に先鞭をつけるものである。

第7章は、本文の結論を要約し、将来展望を与えている。

<参考文献>

- 1) Dickopp, G. and Redlich, H.: "Design simplicity cuts costs for German color video disc system", Electronics, 48, pp.93-99 (1973)
- 2) W. van den Bussche, et al.: "Signal Processing in the Philips 'VLP' System", Philips Technical Rev., Vol.33, No.7, pp.181-185 (1973)
- 3) Keizer, E.O. and McCoy, D.S.: "The evolution of the RCA "Selectavision" video disc system - A historical perspective", RCA Rev., 39, pp.14-32 (1978)
- 4) 辻 重夫監修:" 光ディスクとビデオディスク", 昭晃堂 (1989)
- 5) Publication 857: Pre-Recorded Optical Reflective Videodisk System "Laser Vision" 60Hz/525Lines-M/NTSC, First Edition (1986)
- 6) 河島 和美:" H D T V開発技術", 電子技術, Vol.31, No.5, pp.23-35 (1989)
- 7) 規格B T A S - 0 0 1 : 1 1 2 5 / 6 0 高精細度テレビジョン方式スタジオ規格放送技術開発協議会 (1987)
- 8) 高木幹雄監修:" ハイビジョン記録技術", コロナ社, p.79 (1995)
- 9) 村上、野添、米田:" 多眼式カラー立体テレビジョン", テレビジョン学会技術報告, Vol.9, No.9, pp.33-38 (1985)
- 10) 尾上守夫監修:" 光ディスク技術", ラジオ技術社, pp.50-51 (1988)
- 11) 吉年慶一、山口隆夫:" 情報処理用半導体レーザ", オプトエレクトロニクス, No.7, p.135 (1991)
- 12) Itaya, K., et al.: "Electron. Lett." 26, pp.839 (1990)
- 13) Hamada, H., et al.: "12th IEEE Laser Conf. Davos", L-1 (1990)
- 14) 中島平太郎、小川博司:" コンパクトディスク読本", オーム社, P.17 (1988)
- 15) 日置敏昭:" ハイビジョンLD (MUSE方式ハイビジョンディスク) 規格", テレビジョン学会誌, Vol.48, No.3, pp.283-286 (1994)
- 16) 稲田修一編著:" 三次元映像", 昭晃堂, pp.19-22 (1991)

第2章 光ディスクへの広帯域映像信号の記録と再生

2.1 まえがき

広帯域映像信号を光ディスクに記録する場合、一般的にアナログ記録（FM変調記録）とデジタル記録の2つの信号記録方式が考えられる。特にアナログ記録の場合は、光ディスクに広帯域映像信号を記録する場合に考慮すべき点がデジタル記録に比べて数多くある。しかし、いずれの記録方式においても、長時間化と高画質化はお互いに相反する課題であり、そのトレードオフを如何に最適化するかが非常に重要である。

本章では、広帯域映像信号を記録又は再生する場合の各システムに共通な基本的課題に焦点をあてて、検討を加える。

ディスクへ信号を記録する場合の基本的課題に関しては、まず最初に、ディスク再生システムの基本的な画質及び再生時間を決定づける映像信号形式について検討を行う。次に、ディスクの高密度記録によって生じる再生映像信号に対するクロストーク妨害及びディスクノイズ妨害に関して理論的解析を進め、高画質化及び長時間化に重要なパラメータを導きだして検討を加える。また、再生時間の長時間化をめざした低搬送波FM変調記録によって生じる再生映像信号のS/Nの低下及び低域多重信号との相互干渉に対しては、エンファシスの最適化及び新しく実現した高調波リダクション法がそれぞれ有効であることを示す。

一方、再生時の基本的課題に関しては、光ディスクの再生系伝達特性の歪みを取り上げ、その解決法について検討を加える。

以下に、これらシステム共通の基本的課題に対する具体的対応に関して詳しく述べる。

2.2 システム・コンセプトに適合したディスク記録用映像信号形式

限られたディスク容量を使って、実用的なディスク信号記録フォーマットを設計する場合、最も重要なパラメータは、ディスクに記録するための映像信号形式である。この映像信号形式は、単に映像信号だけではなく、同期信号、ディスク制御信号やデジタル音声信号等によって構成される。

ディスク記録用映像信号形式を検討していく際には、光ディスク再生システムそのものの応用分野における最適な画質と音質、再生時間、ディスク制御方式及びコストパフォー

マンス等のシステム・コンセプトを明確にしておく必要がある。そのコンセプトに従ってディスク記録用映像信号形式を構成するための映像信号の処理方法、同期信号の付加方法、ディスク制御信号や音声信号の多重方法を考案する必要がある。

(1) 映像信号

一般的に、広帯域映像信号そのものをディスクに直接記録することは、ディスク容量及びディスク回転速度が限定されているため困難である。ディスクに記録するためには、信号帯域の狭帯域化が必要不可欠である。そのために手段としては、信号帯域圧縮（アナログ圧縮又はデジタル圧縮）や複数チャンネル分割等が考えられる。信号帯域圧縮の場合は、非常に狭帯域の信号に圧縮することが可能で、再生時間の長時間化を容易に実現することができるが、各種の歪みを受けて画質劣化を生じることが多い。

一方、複数チャンネルに分割した場合は、ディスク上に記録する信号トラックを複数用意しなければならないため、再生時間が犠牲になる。しかし、その再生映像は、歪みを受けにくいという特徴がある。

(2) 同期信号とディスク制御信号

映像信号形式の同期信号として正極性同期信号（付録2参照）又は負極性同期信号のいずれを用いるかは、それぞれの形式で一長一短がある。負極性同期信号は、検出が容易でありディスク回転制御信号としても用いることができるが、同期信号振幅分だけダイナミックレンジが低下し、ディスクへの信号記録効率が悪くなる。また、CLVディスクの場合、隣接トラック間での同期信号部分でのFM変調キャリアの周波数差が大きくなりクロストークの原因にもなる。

一方、正極性同期映像信号の場合は、ディスクへの信号記録効率は上がるが、一般的に負極性同期検出に用いられている簡単な振幅分離法で同期信号を検出することが不可能であり、ディスク回転制御に用いることは困難である。そのため、別のディスク制御用信号を用意する必要がある。

(3) デジタル音声信号多重方式（時分割多重と周波数分割多重）

デジタル音声信号をディスクに記録する場合、映像信号とは別に周波数分割多重する方式と映像信号の垂直ブランキング期間に時分割多重する方式が考えられる。周波数分割

多重記録の場合は、直線量子化デジタル音声信号による高音質再生が可能であるが、映像信号に対して混変調妨害を与える。

一方、映像信号の垂直ブランキング期間に時分割多重する場合は、映像信号に対して妨害を与えることはないが、容量的には十分ではなく圧縮デジタル音声信号を使わざるを得ない。高音質再生は不可能である。

以上、映像信号形式を検討するために必要な各種の信号について述べてきたが、これらのパラメータを決定するには、システム・コンセプトの明確化が必要であることが分かる。長時間再生と画質のいずれを重視するか、音質はどの程度必要か、ディスク制御方法をどうするか等は、システム・コンセプトに大きく依存しているため、そのコンセプトに合わせて映像信号形式を決定する必要がある。

この映像信号形式に関する具体的研究内容については、3章から6章の各システムが関連する章において詳しく述べることにする。

2.3 広帯域映像信号のFM変調記録

光ディスクに映像信号をアナログ記録する場合、FM変調した後、2値波形に変換してピットの形で記録することになる（付録1参照）。この時、望まれる再生時間と実用に耐えうるS/Nの良い再生映像信号や音声信号を得ることが、ディスク記録フォーマットを決定する上で必要不可欠である。この時に考慮しなければならない重要な課題について、以下に検討を加える。

2.3.1 再生映像信号に対するクロストーク妨害

ピックアップがディスクのトラックに沿ってトラッキングをしながら信号を読み取って行くとき、クロストークという問題が発生する。これは、ディスク表面で焦点を結んだレーザービーム径が有限であることと、記録時間をのばすためにトラックピッチを狭めて記録していることにより、トラッキング制御誤差やピックアップとディスクの傾きの変化でレーザービーム径が歪み、2つのトラックをまたがって同時に読むことに起因している。このクロストークは、結果的に再生映像信号に対して妨害を与え、S/Nの低下をもたらすことになる。

このクロストーク信号が、FM復調信号に対してどのような影響を与えるか理論的に検

討してみる。今、簡単のため、本来のトラックしている信号を $A \cos \omega_c t$ とする。これに、隣接のトラックからのクロストークによって漏れ込んでくる妨害信号を $B \cos \omega t$ とする。この時、ピックアップから得られる信号 $f(t)$ は、

$$f(t) = A \cos \omega_c t + B \cos \omega t \quad (2.1)$$

$$B/A \ll 1$$

で与えられる。

いま、クロストークによる妨害信号と本来のトラックから得られる再生信号との角周波数差を、

$$\Delta \omega = \omega - \omega_c \quad (2.2)$$

とおくと、

$$\begin{aligned} f(t) &= A \cos \omega_c t + B \cos(\omega_c + \Delta \omega)t \\ &= A \cos \omega_c t + B \cos \Delta \omega t \cos \omega_c t - B \sin \Delta \omega t \sin \omega_c t \\ &= A \sqrt{\left(1 + \frac{B}{A} \cos \Delta \omega t\right)^2 + \left(\frac{B}{A} \sin \Delta \omega t\right)^2} \cos\{\omega_c t + \theta(t)\} \quad (2.3) \end{aligned}$$

ただし、

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{\frac{B}{A} \sin \Delta \omega t}{1 + \frac{B}{A} \cos \Delta \omega t} \quad (2.4)$$

と書くことができる。即ち、本来のトラックから得られる R F (Radio Frequency) 信号が、隣接トラックからのクロストーク R F 信号の妨害を受けると、合成波は振幅が変動するとともに位相も同時に影響を受けて変化することになる。この信号を FM 復調器で復調する場合、リミタ回路により振幅制限を受けることにより振幅変動は取り除かれ、これが再生復調信号に影響することはない。つまり、最終的に再生映像信号に影響を与えるのは、位相変動である。FM 復調器から出力される信号成分 $u(t)$ は位相変動を時間で微分したものに等しいから、次の式のように表現することができる。

$$\begin{aligned}
u(t) &= \frac{d}{dt} \{ \omega_c t + \theta(t) \} \\
&= \omega_c + \frac{d}{dt} \theta(t) \\
&= \omega_c + \frac{\left(\frac{B}{A}\right) \Delta \omega \left\{ \cos \Delta \omega t + \frac{B}{A} \right\}}{1 + 2\left(\frac{B}{A}\right) \cos \Delta \omega t + \left(\frac{B}{A}\right)^2} \quad (2.5)
\end{aligned}$$

この式の最初の項は、本来のトラックを読むことによって得られるFM復調映像信号であり、第2の項がクロストークによる妨害信号によって影響を受けた成分である。普通は、クロストークによる妨害信号成分は、正規の信号に比べてはるかに小さい。つまり、 $B/A \ll 1$ の関係が成立することになる。この条件を上の式に当てはめると次のように簡略化できる。

$$u(t) = \omega_c + \left(\frac{B}{A}\right) \Delta \omega \cos \Delta \omega t \quad (2.6)$$

即ち、クロストークによる妨害信号の影響は、正規信号との差、即ち、ビート周波数の正弦波としてFM復調器の出力に現れる。その大きさは、正規信号と妨害信号の振幅比に比例するとともに、それらの周波数差に比例する。

以上のことから考えても、光ディスクへの信号記録フォーマットを考えていく場合、隣接トラックからのクロストークの影響を考慮していく必要がある。クロストーク信号と正規信号との振幅比を下げるのが一番簡単であるが、これは、トラック間隔を広げることであり、ディスクの記録密度を低下させることに他ならない。ディスクの記録密度を上げるためにはトラック間隔を狭め、ある程度の妨害を許容しなければならない。つまり、隣接トラックに記録される信号の周波数差 $\Delta \omega$ が大きく開かないようにディスク信号記録フォーマットを設計することが重要である。

CAVディスクの場合は、ディスク1回転で1フレームの映像信号が記録されるため、隣接するトラックの信号の間には、ほとんど角周波数差 $\Delta \omega$ は発生しない。その結果、クロストークの影響は無視することができる。つまり、このクロストークの問題は、CLVディスクの信号記録フォーマットを設計する場合に無視できなくなる。そして、このクロ

ストーク妨害は、負極性同期信号を持った映像信号の場合に顕著に現れる。それは、隣接トラックの同期信号部分と再生トラックの映像信号部分のFM変調キャリアの周波数差が大きくなるためである。

特に、ベースバンド方式ハイビジョンビデオディスクの場合は、負極性同期信号を採用しながら、トラックピッチも狭いためクロストークが発生しやすい。そこで、CLVディスクにCAVディスクの要素を取り入れたクロストーク・コントロールCLVディスク回転制御を行いクロストークが目立たない信号記録フォーマットを考案した。その詳細に関しては、第4章で述べる。

一方、正極性同期信号を採用しているMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクやトラックピッチが広いフリッカレス立体ビデオディスクの場合は、同期信号によるクロストークの影響が顕著になることはない。

2.3.2 再生映像信号に対するディスクノイズ妨害

光ディスクにFM変調記録する時のフォーマットを検討するに当たっては、ディスク基板が持っている、ディスク表面荒さ、ピット形状の誤差等によって生じるノイズの影響を考慮しなければならない。特に、高密度記録、広帯域信号記録ではそのノイズの影響が、非常に大きくなって来る。

このディスク基板ノイズを、かりにホワイトノイズとして仮定しそれがFM復調信号に如何に影響を及ぼすか理論的検討する。ディスクからのノイズ信号は

$$n(t) = \sum_{m=-M}^M \left[a_m \cos(\omega_c + \omega_m)t + b_m \sin(\omega_c + \omega_m)t \right] \quad (2.7)$$

$$\text{最大整数値 } M = \frac{B}{2\Delta f}$$

と表すことができる⁽¹⁾。この式で ω はキャリアの角周波数、 ω_m はノイズの角周波数、 Δf は基本周波数帯域、 B (Hz)は信号帯域幅である。

ここで計算を簡単にするためFM変調信号は、無変調と仮定して

$$s(t) = E_c \cos \omega_c t \quad (2.8)$$

とすると、信号とノイズの合成波は

$$s(t)+n(t) = \sqrt{\left\{E_c + \sum_{m=-M}^M (a_m \cos \omega_m t + b_m \sin \omega_m t)\right\}^2 + \left\{\sum_{m=-M}^M (b_m \cos \omega_m t - a_m \sin \omega_m t)\right\}^2} \times \cos\{\omega_c t + \theta(t)\} \quad (2.9)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{-\sum (b_m \cos \omega_m t - a_m \sin \omega_m t)}{E_c + \sum (a_m \cos \omega_m t + b_m \sin \omega_m t)} \quad (2.10)$$

となる。ここでFM復調した後に現れるノイズ出力としては、一般的に、 $E_c \gg n(t)$ であるから次のように表現することができる。

$$\begin{aligned} n_d(t) &= \frac{d\theta}{dt} \cong \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{E_c} \sum_{m=-M}^M (a_m \sin \omega_m t - b_m \cos \omega_m t) \right] \\ &= \frac{1}{E_c} \sum_{m=-M}^M \omega_m (a_m \cos \omega_m t + b_m \sin \omega_m t) \\ &= \frac{1}{E_c} \sum_{m=-M}^M E_n \omega_m \cos(2\pi f_m t + \theta_m) \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$E_n = \sqrt{a_m^2 + b_m^2}$$

ここで、FM復調出力に現れるノイズの電力スペクトラム $W_n(f)$ を考えると

$$W_n(\omega_m) = \frac{E_n^2}{2 E_c^2} \omega_m^2 \quad (2.12)$$

となる。

ここで、映像信号に含まれる最高周波数を f_M とすると、復調器出力には f_M 以上の周波数成分は不要なので、その部分をフィルタで除去する。この時、先に述べた、ノイズ成分もこのフィルタを通るため、 f_M 以上のノイズ成分は遮断される。その結果、FM出力に現れるノイズ電力出力は、(2.12)式から

$$N_o = \int_{-f_M}^{f_M} W_n(f) df = \frac{E_n^2 (2\pi)^2 f_M^3}{E_c^2 \cdot 3} \quad (2.13)$$

となる。

一方、FM変調する映像信号 $u(t)$ を次のように定義し、

$$u(t) = \Omega v(t) \quad \Omega : \text{振幅} \quad (2.14)$$

$$\max |v(t)| = 1$$

この映像信号をFM変調すると、FM変調信号 $s(t)$ は、

$$s(t) = E_c \cos \left\{ \omega_c t + \Omega \int v(t) dt \right\} \quad (2.15)$$

と表すことができる。

このFM変調信号をFM復調すると、復調器から得られる信号電力 S_o は、

$$S_o = \overline{u(t)^2} = \frac{\Omega^2}{2} \quad (2.16)$$

となる。

その結果、映像信号出力のS/Nは、(2.13)と(2.16)から次のように表現することができる。

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{3 E_c^2 \Omega^2}{2 E_n^2 f_M^3 (2\pi)^2}$$

$$= \frac{3 E_c^2 F_d^2}{2 E_n^2 f_M^3} \quad F_d : \text{周波数偏移} \quad (2.17)$$

次にS/NとC/Nの関係を見してみる。

信号帯域幅 B とするとC/Nに関しては、次の式が成立する。

$$\frac{C}{N} = \frac{E_c^2}{B E_n^2} \quad (2.18)$$

ゆえに、S/NとC/Nの関係については

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{3 F_d^2 B C}{2 f_M^3 N} \quad (2.19)$$

の関係が成立する。

ここまでは、一般的なS/NとC/Nの関係について考察したが、実際の映像信号の場合には新たに考察する必要がある。特に、復調された映像信号のS/Nに関しては、白レベル、黒レベルの間の信号の大きさとノイズの関係を表現するものである。即ち、信号の実効値ではなくP-P値を信号値として用いている。これを式で表現すると次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{S_D}{N_D} &= \frac{S_{p-p}^2}{\frac{E_n^2 (2\pi)^2 f_M^3}{3 E_c^2}} \\ &= \frac{3(2\Omega)^2 E_c^2}{(2\pi)^2 f_M^3 E_n^2} \\ &= 12 \frac{F_d^2 E_c^2}{f_M^3 E_n^2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

先程と同様に、S/NとC/Nの関係を求めると

$$\frac{S_D}{N_D} = 12 \frac{F_d^2 B C}{f_M^3 N} \quad (2.21)$$

の関係が成立する。一般的に、光ディスクは30KHzの解像帯域でC/Nが測定される

ため、(2.21)式は次のように変形することができる。

$$\frac{S_D}{N_D} = 12 \frac{F_d^2 \Delta f_{30}}{f_M^3} \left(\frac{C}{N}\right)^{30} \quad (2.22)$$

$$\Delta f_{30} = 30 \text{kHz}$$

即ち、再生映像信号の画質は、この式に基づいて理論的に評価することができる。これから分かるように、FM復調再生信号のS/Nは、周波数偏移 F_d と映像信号帯域 f_M に大きく影響される。特に、映像信号帯域 f_M を狭くすることに関しては、S/N向上の面から非常に有効な手段であり、第4章で詳述するように、ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスクの映像信号形式を決めるに当たっては、不要な垂直ブランキング期間を取り除き、可能な限り映像信号帯域 f_M を狭くする映像信号処理を行った。

また、周波数偏移 F_d を、単純に広くすることで画質を向上させることも可能であるが、結果的に信号帯域幅が広がり、再生時間の確保が困難となる。この問題について、次に詳しく述べる。

2.3.3 低搬送波FM変調記録による再生時間の長時間化

光ディスクには、映像信号がFM変調されて、その信号がピットの形でディスク上に記録される。ディスクにFM変調信号を記録する場合、限定された条件のなかで記録しなければならない。一般的に周波数変調は(2.15)式から次のように表現される。

$$s(t) = E_c \cos \left\{ \omega_c t + \Omega \int v(t) dt \right\}$$

ここで、 $\Omega v(t)$ は、広帯域映像信号を表す。今、単純化するために、 $v(t) = \cos \omega_m t$ とすると、

$$\begin{aligned} s(t) &= E_c \cos \left(\omega_c t + \Omega \int_0^t \cos \omega_m t dt \right) \\ &= E_c \cos \left(\omega_c t + \frac{F_d}{f_M} \sin \omega_m t \right) \end{aligned} \quad (2.23)$$

となる。ここで

$$\beta = \frac{F_d}{f_M} \quad (2.24)$$

とおくと、 β は変調指数と呼ばれる。このFM変調信号は、キャリアを中心とした上下側波帯に分解することができる。簡単にするために、 $E_c = 1$ とすると、

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_M t) \\ &= \cos \omega_c t \cos(\beta \sin \omega_M t) - \sin \omega_c t \sin(\beta \sin \omega_M t) \\ &= J_0(\beta) \cos \omega_c t \\ &\quad - J_1(\beta) \left[\cos(\omega_c - \omega_M)t - \cos(\omega_c + \omega_M)t \right] \\ &\quad + J_2(\beta) \left[\cos(\omega_c - 2\omega_M)t + \cos(\omega_c + 2\omega_M)t \right] \\ &\quad - J_3(\beta) \left[\cos(\omega_c - 3\omega_M)t - \cos(\omega_c + 3\omega_M)t \right] \\ &\quad + \dots \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} J_0(\beta) &\cong 1 - \left(\frac{\beta}{2}\right)^2 \\ J_n(\beta) &\cong \frac{1}{n!} \left(\frac{\beta}{2}\right)^n \quad n \neq 0 \end{aligned}$$

ここで、 $J_n(\beta)$ は、第一種ベッセル関数⁽²⁾である。

このように、変調信号が単一正弦波であるにも関わらず、搬送波の両側に、 ω_M おきに無限個の側帯波が発生することになる。その様子を図2.1に示す。すなわち、FM変調を行う場合、変調信号である映像信号より広い帯域幅の伝送容量が必要とされる。実際に、有効な部分の側帯波としては、98%以上の電力スペクトラムまでを必要帯域幅としてFM復調すれば、ほとんど、歪みは許容度の範囲に入るとされている。

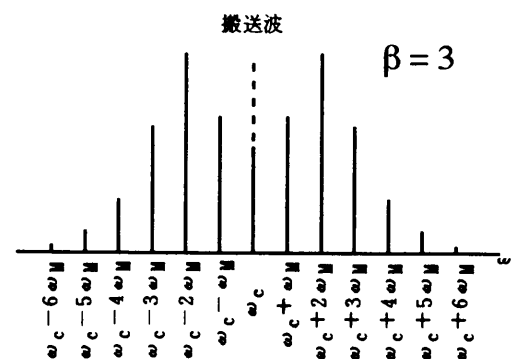


図2.1 FM変調の側帯波

そして、その時の必要信号帯域幅 B は、

$$B = 2(\beta + 1)f_M \quad (2.26)$$

であることが証明されている⁽²⁾。

しかし、光ディスクの場合、記録時間の長時間化を図るためにディスクの回転速度を可能なかぎり低く抑えているため、記録する映像信号のFM周波数偏移を大きくとることができない。そのため、変調指数を小さく設定しディスクに記録することになる。今、この変調指数を $\beta \ll 1$ の場合を考えると、FM変調信号の側波帯は次のように変化する。

$$B \cong 2f_M \quad (2.27)$$

となり、AM変調の場合と同じく、第一側波帯だけをフィルタで取り出せば良いという大きな特徴を見ることができる。即ち、(2.25)式は

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_M t) \\ &\cong \cos \omega_c t - \frac{\beta}{2} \left[\cos(\omega_c - \omega_M)t - \cos(\omega_c + \omega_M)t \right] \end{aligned} \quad (2.28)$$

のように単純化することができる。

この変調指数を小さく設定した低搬送波FM変調方式が、ディスクに記録する場合の特徴である。この低搬送波FM変調方式は、ディスクに長時間にわたり映像信号を記録する場合に、非常に効果的と考えられるが、一方では、大きな欠点も持っている。それは、本来のノイズ信号に強く、歪みが少ないと言うFM変調方式の最大の特徴を、この低搬送波FM変調では期待することができないのである。この様子を(2.12)式と(2.16)式の関係から図2.2に示す。一般的にFM変調は、周波数偏移 F_d より、変調信号周波数 f_M を小さく設定する。その結果、FM改善効果と呼ばれる本来のホワイトノイズより少ないノイズの映像信号を再生することができる。音声FM放送の場合は、 β が5～6が一般的である。しかしながら、光ディスクの場合、伝送帯域幅を狭くするため変調指

数を小さく設定する必要があり、周波数偏移より映像信号の最高周波数が大きくなってしまふ。そのため、再生映像信号のノイズが、高周波成分において、ディスク本来のノイズよりも多くなる。つまり、FM改善効果が期待できないのである。これを補うための方法の一つが、次に述べるエンファシスである。

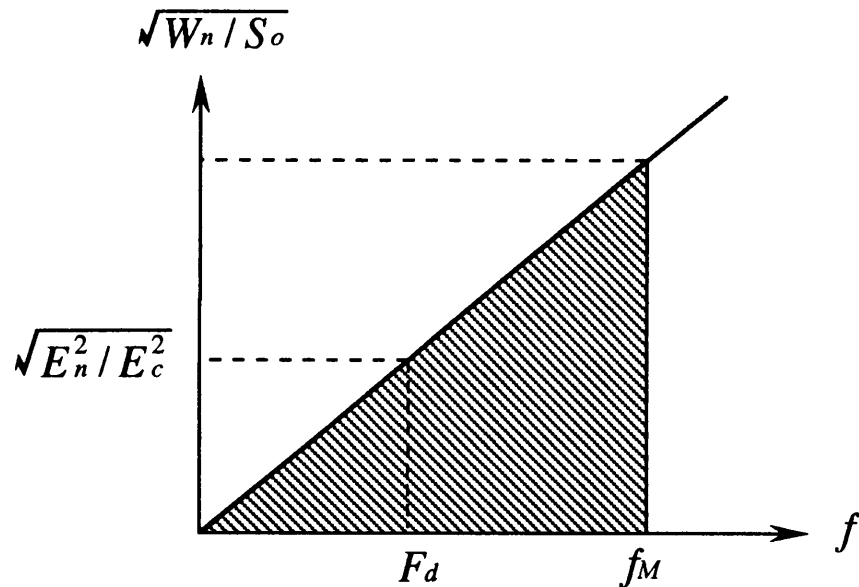


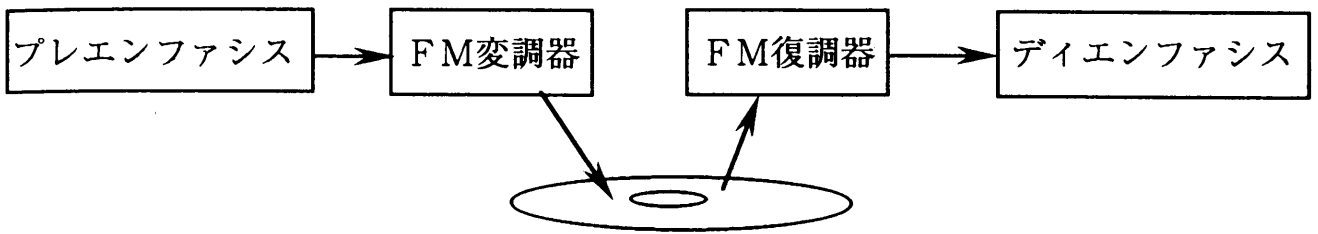
図2.2 低搬送波FM変調記録と再生信号ノイズ分布

2.3.4 リニアエンファシスによる再生信号S/Nの改善

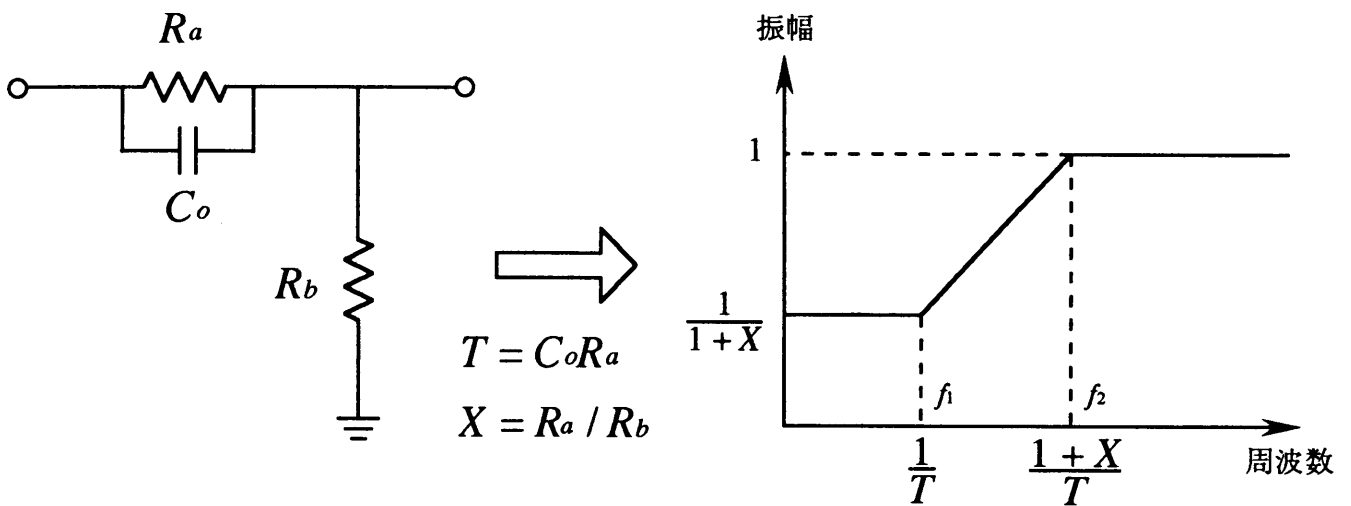
ディスクの基板ノイズをホワイトノイズと仮定しても、FM復調器から出力されるノイズは、すでにホワイトノイズではなく、その電力スペクトルは周波数の2乗に比例するような特性を持つ(図2.2)。特に、映像信号をFM変調して記録すれば、再生した映像信号の低周波成分に対してはノイズは少ないが、高周波成分にたいしてはノイズの量が飛躍的に増加し、画像の輪郭部分がノイズによって乱されるという現象が発生する。

これを解決するための方法としてリニアエンファシスが良く用いられる。図2.3に示すように、映像信号をFM変調する前に、プレエンファシス回路を通して、映像信号の高周波成分を強調する。これにより、映像信号は歪みを受けるが、FM復調された映像信号に対してディエンファシス回路を通すことで高周波成分を抑圧し、プレエンファシスで受けた映像信号の歪みを完全に取り除き元に復元している。

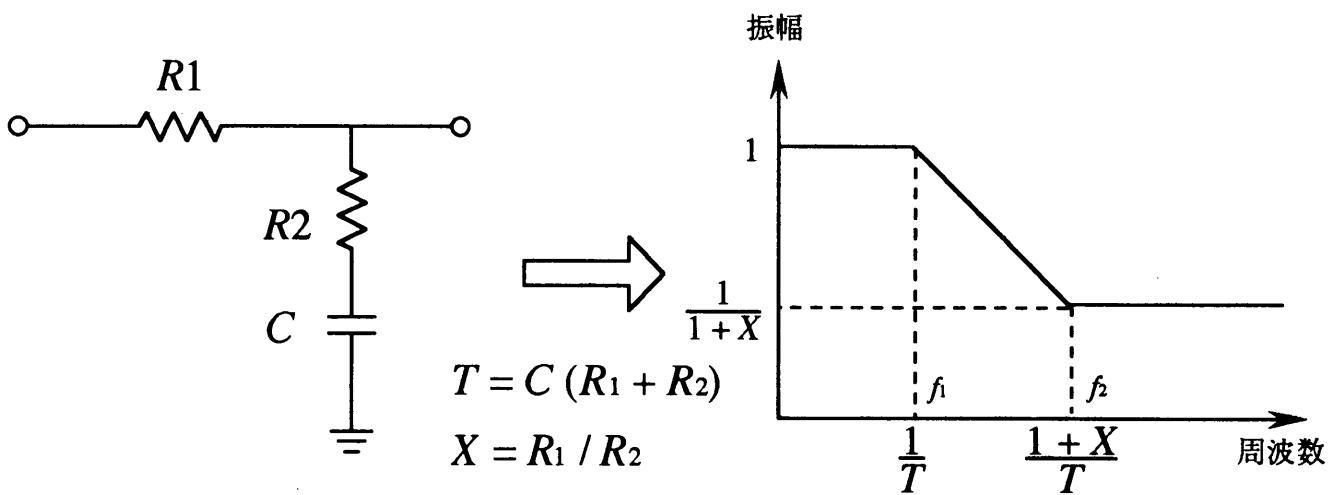
この一連の処理回路を通すことで、映像信号には影響を与えることなく、ノイズの高周波成分だけを抑圧することができる。ここで、プレエンファシスとディエンファシスのパラメータは、要求される映像信号S/Nに合わせて決定する必要がある。



(a) プリアンファシスとディエンファシスの構成



(b) プリアンファシス回路と周波数特性



(c) ディエンファシス回路と周波数特性

図2.3 プリアンファシスとディエンファシス

次に、図2.3 (c) のディエンファシス回路を基に、ディエンファシス利得を求める。このフィルタの伝達特性を計算すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
Y_o(\omega) &= \frac{R_2 + \frac{1}{j\omega C}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}} \\
&= \frac{1 + j\omega C R_2}{1 + j\omega C (R_1 + R_2)} \\
&= \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}
\end{aligned} \tag{2.29}$$

ディスク基板から発生するノイズは $W_n(f)$ で与えられるから、ディエンファシス回路を通過した後のノイズ電力を N_{OD} とすると、エンファシ利得 D は次の式のように表現できる。

$$\begin{aligned}
D = \frac{N_{OD}}{N_o} &= \frac{\int_{-f_M}^{f_M} W_n(f) \frac{1 + \left(\frac{f}{f_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2} df}{\int_{-f_M}^{f_M} W_n(f) df} \\
&= \frac{\int_{-f_M}^{f_M} f^2 \frac{1 + \left(\frac{f}{f_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2} df}{\int_{-f_M}^{f_M} f^2 df}
\end{aligned} \tag{2.30}$$

ここで、映像信号の最高周波数 $f_M \gg f_2$ とすると (2.30) は、次のように近似できる。

$$\begin{aligned}
D &\doteq 1 / (1 + X)^2 \\
&= 1 / m^2
\end{aligned} \tag{2.31}$$

$$m = 1 + X$$

ここで、 m は、エンファシス量である。

ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスクやフリッカレス立体ビデオディスクでは、このリニアエンファシスを採用しパラメータの最適化を行った。一方、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクの場合は、MUSE衛星放送信号との信号処理の共通化をはかるため、このリニアエンファシスの代わりに、衛星放送用エンファシスであるノンリニアエンファシス（付録2参照）を採用した。

特に、ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスクの場合、このリニアエンファシスだけでは十分なS/Nを得ることができないため、信号振幅方向に対して、つまり信号の大きさに依存するノンリニアエンファシスの追加とその最適化をはかり、必要とされるS/Nを確保した。これに関しては、第4章で詳しく述べる。

また、このリニアエンファシスを用いると高周波成分の多い画像輪郭部分の波高値が大きくなり、そのままFM変調器に入力すると、周波数偏移が増大し過変調を起こしドロップアウトの原因となる。これは、瞬間的な入力電圧の変化が、FM変調キャリアに対して非常に高い発振周波数を引き起こし、ディスクに記録するピットが非常に小さくなるからである。つまり、S/N向上のための手段が、かえって逆効果になる。この悪影響を取り除くために、周波数偏移を抑えピットサイズをレーザビームで読みとれる範囲に抑えるビデオクリップ回路を挿入して、ある程度以上に信号レベルが上がらないように信号をクリップしている。

2.4 低搬送波FM変調記録と低域多重信号の相互干渉の低減

音声信号と広帯域映像信号を光ディスクに記録する方法としては幾つかの方式が考えられるが、この論文に示す広帯域映像信号のディスク記録フォーマットでは、低搬送波FM変調信号とその低周波数帯域部分にEFM(Eight to Fourteen Modulation)音声信号⁽³⁾と呼ばれるデジタル音声信号を周波数多重する方式を採用した。その信号多重の様子を図2.4に示す。この方式では、2値化するとき、EFM音声信号と広帯域映像信号が互いに干渉して妨害信号を発生する。また、サイン波である低搬送波FM変調映像信号を低域多重信号でパルス幅変調を行うため、図2.5に示すように変調歪みが発生する。これは、デューティの変化量が本来Bであるべき所が、低搬送波FM変調波がサイン波のためCまで変化して、過変調になってしまうからである。

次に、どのような妨害信号が発生するかを理論的に検討するとともに、新しく研究した補正方法について述べる。

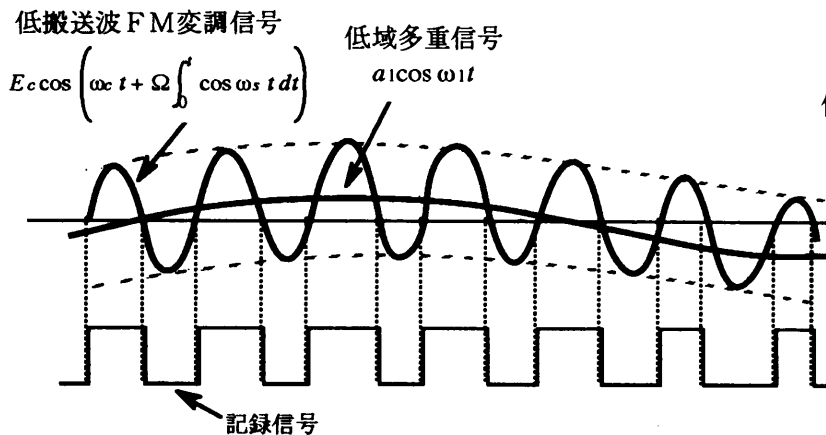


図 2.4 低搬送波 FM 変調信号と低域多重信号

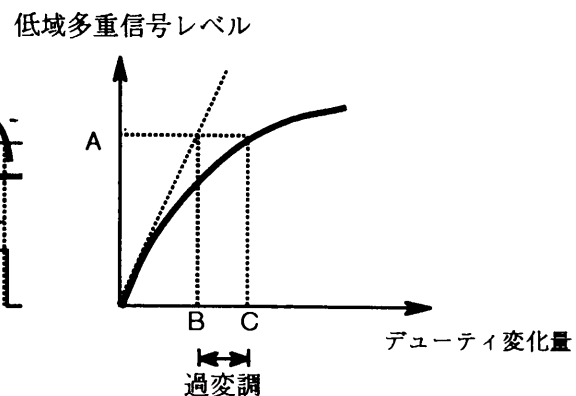


図 2.5 変調歪み

2.4.1 低搬送波 FM 変調信号の低域多重信号に対する妨害

低搬送波 FM 変調信号の低域多重信号への妨害の様子をスペクトラムで図 2.6 に示す。実際には、低域多重信号の低搬送波 FM 変調信号への妨害スペクトラムも存在するが、わかりやすくするために取り除いてある。

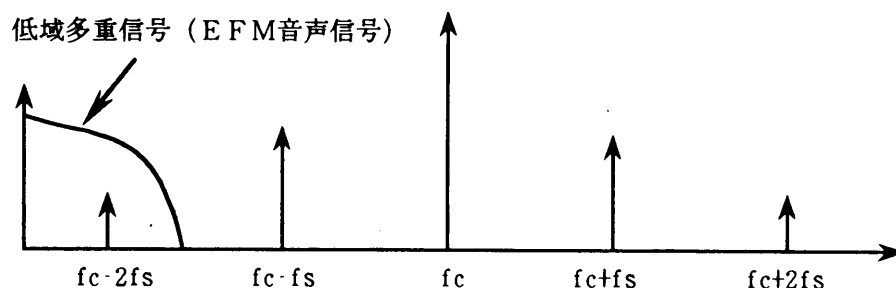


図 2.6 ディスク記録信号のスペクトラム

このスペクトラムを見て分かるように、変調指数を小さくした低搬送波 FM 変調信号といえども高調波の下側帯波は、直流成分の方まである程度存在しているため、低周波数帯域部分に多重している EFM 音声信号に対して妨害信号として働くことになる。これは、デジタルデータエラーの原因となる。特に、高周波成分のある詳細な映像の場合、その側帯波のエネルギー量が大きくなり、エラー発生量が訂正能力を越え、音声再生が不可能となる。そこで、図 2.7 に示すような EFM 音声信号への高調波妨害信号と過変調歪みを除去するために、新しい高調波リダクション法を考案した⁽⁴⁾。

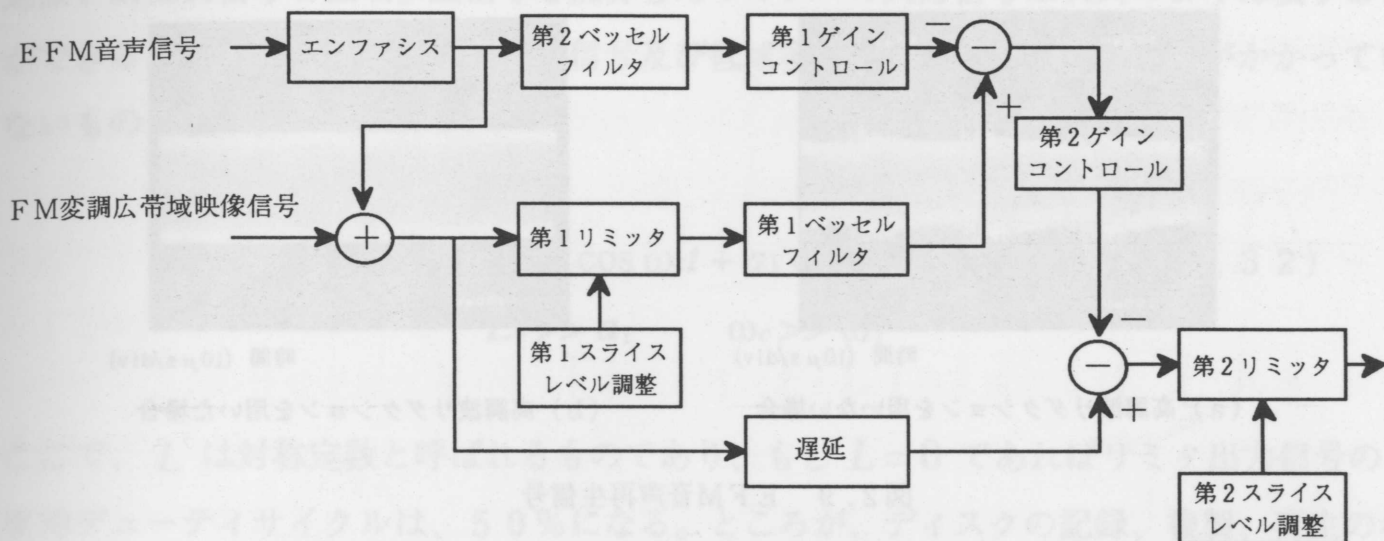
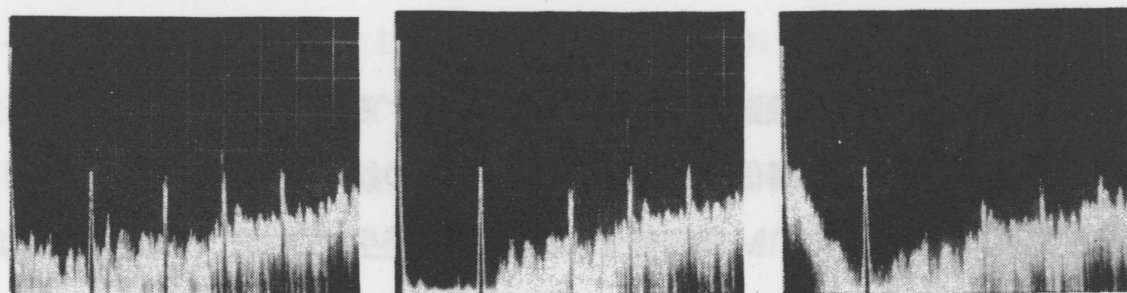


図2.7 高調波リダクション及び過変調補正回路

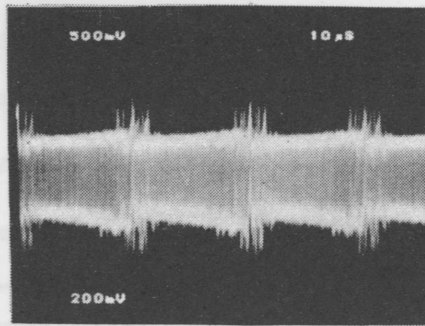
まず、低搬送波FM変調された広帯域映像信号から第1ベッセルフィルタで低周波数帯域に生じる不要高調波成分とEFM音声信号成分を取り出す。次に、EFM音声信号に第1ベッセルフィルタと同じ特性の第2ベッセルフィルタで遅延を加えた後、上記信号からEFM音声信号成分を除去する。この結果、得られる信号が不要高調波と過変調歪み信号成分である。次に、元の低搬送波FM変調信号とEFM音声信号の周波数多重信号をベッセルフィルタと同じ遅延をした後、この妨害信号成分を逆相で加える。以上の結果、2値化しても不要高調波や過変調歪みの妨害を受けることのない周波数多重信号が得られた。

この様子を、図2.8に示す⁽⁴⁾。図2.8(a)は、本来の低搬送波FM変調信号の周波数スペクトラムの写真で、低周波数帯域部分で不要高調波成分がみられる。図2.8(b)は、高調波リダクション回路を通した場合で、不要高調波成分と過変調歪み成分は除去されている。図2.8(c)は、その除去された部分にEFM音声信号を多重した場合のスペクトラムである。



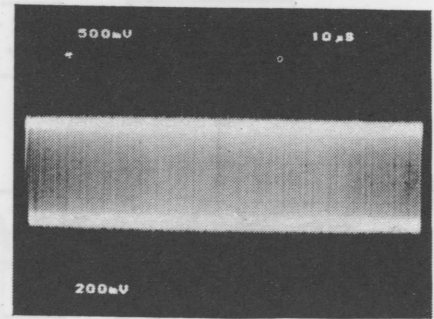
(a) 高調波リダクション回路なし (b) 高調波リダクション回路あり (c) EFM音声信号多重

図2.8 高調波リダクションの効果



時間 (10 μ s/div)

(a) 高調波リダクションを用いない場合



時間 (10 μ s/div)

(b) 高調波リダクションを用いた場合

図2.9 EFM音声再生信号

図2.9は、時間軸方向から観察したものであり、(a)は高調波リダクションをかけずにそのままディスクに記録した場合の再生EFM音声信号で、(b)は高調波リダクションをかけてディスクに記録した場合の再生EFM音声信号の写真である⁽⁵⁾。高調波リダクションを使用しないで単に周波数多重した場合は、再生EFM音声信号にパルス状の不要高調波がノイズとなって妨害を与えている。一方、高調波リダクションを通した場合は、妨害のない再生EFM音声信号が得られた。このように、低搬送波FM変調信号と低周波数帯域にEFM音声信号を周波数多重して記録する場合は、この高調波リダクション回路を通してディスクに記録することが必須の条件である。

また、光ディスクの特性として、低域成分ほどそのノイズ量は増加するため、EFM音声信号を記録するにあたっては、その低周波数成分を強調するエンファシス回路を通して記録した。このエンファシス回路の特性⁽⁶⁾を、図2.10に示す。

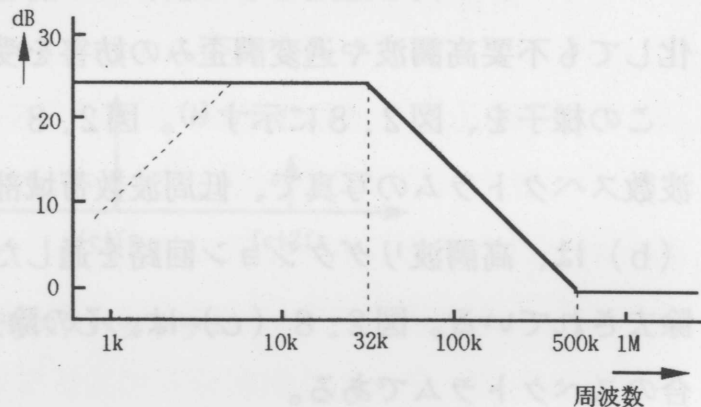


図2.10 EFM音声信号のエンファシス

2.4.2 低域多重信号の低搬送波FM変調信号に対する妨害

これまで、低搬送波FM変調信号の低域多重信号への妨害の解析を行ったが、実際には、低域多重信号の低搬送波FM変調信号への妨害も発生する。この妨害信号は、復調された広帯域映像信号にビート信号となって現れる。低域多重信号としては、EFM音声信号やディスク回転制御用のパイロット信号が周波数多重されている。図2.4から、低搬

送波FM変調信号と低域多重信号を加算したリミタへの入力信号は次式のように表すことができる。ここで低搬送波FM変調信号及び低域多重信号ともそれぞれ変調がかかっていないものとする。

$$A(t) = L + E_c \cos \omega_c t + a_1 \cos \omega_1 t \quad (2.32)$$

$$E_c \gg a_1 \quad \omega_c \gg \omega_1$$

ここで、 L は対称定数と呼ばれるものであり、もし $L=0$ であればリミタ出力信号の平均デューティサイクルは、50%になる。ところが、ディスクの記録、複製、再生の各段階で、それが50%であることは保証できない。書き込みレーザの強度変化、フォトレジストの感度、現像処理時間、複製ディスク製作工程（付録1参照）などによって、その対称性は、崩れてしまう。これらによって引き起こされる対称性の歪みは、リミタの入力においてオフセットとして現れる。つまり、 $L \neq 0$ と表現することができる。このオフセットの効果が、リミタ出力に対してどのような影響を及ぼすか考察するために、リミタ出力 $B(t)$ をフーリエ変換すると

$$B(t) = a_{00} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} a_{m0} \cos m\omega_c t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} a_{0n} \cos n\omega_1 t$$

$$+ 2 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} [\cos (m\omega_c + n\omega_1)t + \cos (m\omega_c - n\omega_1)t]$$

$$a_{mn} = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\pi}^{\pi} B(t) \exp[-j(m\omega_c t + n\omega_1 t)] d\omega_c t d\omega_1 t$$

$$(2.33)$$

となる(7)。

このスペクトラムを図2.11に示す。図2.11(a)は、リミタに入力される信号で、低搬送波FM変調信号のメインキャリアと低域多重信号しか存在しないが、リミタを通ると、図2.11(b)のような混変調妨害信号を生じる。メインキャリア及びメインキャリア高調波の両サイドに、 $(m\omega_c + n\omega_1)$ 、 $(m\omega_c - n\omega_1)$ の混変調妨害が存在する。この $m\omega_c$ とその側帯波である $n\omega_1$ は、純粋な振幅変調関係を示している。この図2.11に於いて、ドットで示した信号スペクトラムは、 $L \neq 0$ の時、つまり、入力信

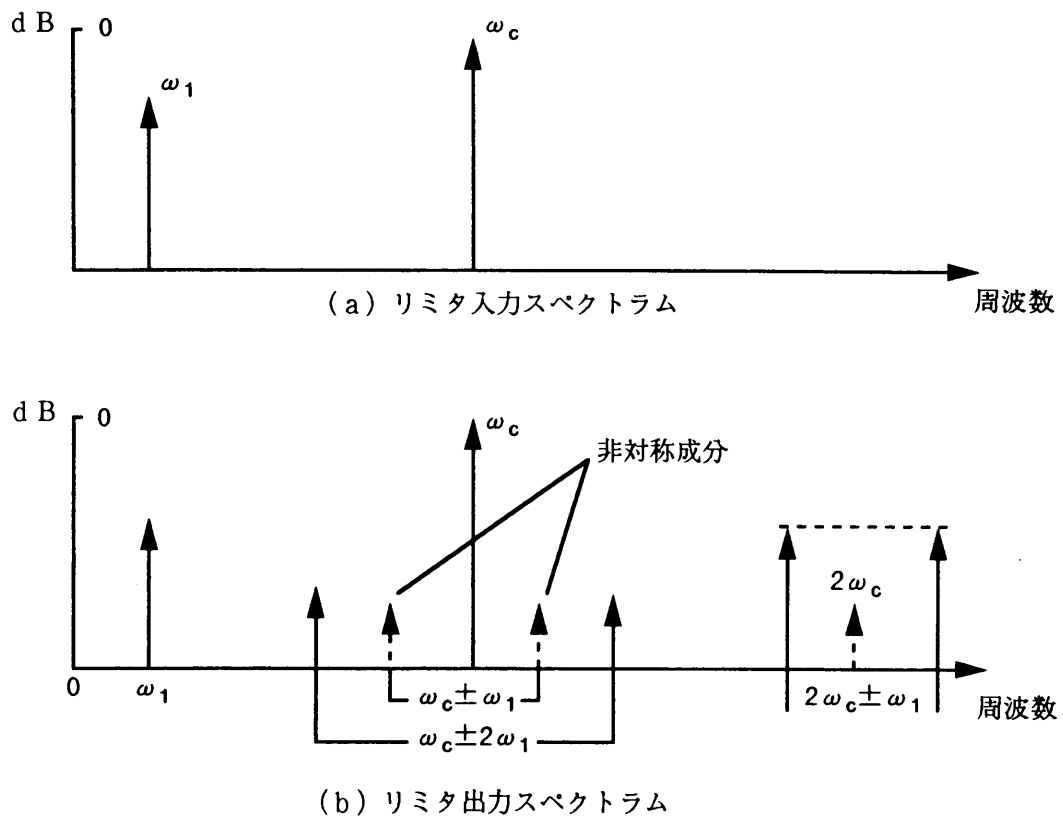


図 2.1.1 低域多重信号の FM 変調信号に対する混変調妨害

号の非対称性に大きく依存しており、もし、 $L=0$ ならば、全く現れない成分である。いずれにしても、これらの混変調成分は、振幅変調成分として現れているから、もし、ディスク記録時にオフセットを持ったまま信号を記録したとしても、ディスクの再生系伝達関数において、信号振幅特性、位相特性とも線形であれば、FM 復調される広帯域映像信号に何の影響も与えることはない。ところが、一般的には、ディスク再生系伝達関数において、信号の振幅・周波数特性は完全に線形に維持することは困難であり、この混変調成分が再生広帯域映像信号に対してビート妨害を発生する。

以上のことから考えて、光ディスクに低搬送波 FM 変調信号と低域多重信号を同時に記録する場合、低域多重信号の多重レベルの最適化を図らなければならない。このビート妨害は、広帯域映像信号だけでなく、MUSE 方式ハイビジョン・ビデオディスク・フォーマットの場合の垂直ブランキング期間に多重された PCM 音声信号に対しても妨害を与え、データエラーの発生原因となる。この多重レベルの最適化に関しては、第 3 章の MUSE 方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムにおいて詳しく述べる。そして、この最適多重レベルは、他のシステムでも共通であることを確認した。

2.5 光ディスクからの信号の再生

光ディスクから信号を読みとる場合の再生特性は、ピックアップの性能に大きく依存する。ピックアップのレーザの波長が有限であるため、読みとるビットサイズに限界がある。そのため、ディスクから再生される信号は周波数的に平坦では無く、必ず高域特性の劣化が発生することになる。ここでは、この高域特性の劣化が再生信号に及ぼす影響について理論的に検討する。

光ディスクの信号記録フォーマットを決めるに当たって最も重要なものは、再生可能な信号周波数帯域である。これは、再生系ピックアップレンズのNAと再生レーザビームの波長によって限定される。ここで、ディスクに記録した信号を読みとる場合の周波数特性 $H(\omega)$ について検討を加える。 $H(0) = 1$ として正規化して用いると、OTF (Optical Transfer Function) は、次の式で表現される。

$$H(\omega) = T(\omega) \exp \{i\theta(\omega)\} \quad (2.34)$$

$T(\omega)$: MTF (Modulation Transfer Function)

理想的な光学系の場合は、物体の構造を空間周波数スペクトルに分解したとき、すべてのスペクトルを減衰や変形なく像面に伝えることができ、OTFが $H(\omega) = 1$ である。しかし、実際には、回折の影響があるため、無収差系のOTFは

$$\begin{aligned} H(\omega) / H(0) &= \left(1 - \frac{\omega}{2ak}\right) & \omega \leq 2ak \\ &= 0 & \omega > 2ak \quad k = 2\pi / \lambda b \end{aligned}$$

$2a$: レンズの開口 b : レンズの像側主面から像面までの距離 (2.35)

と表現することができる(8)。

この時のカットオフ周波数 f_{co} は、

$$f_{co} = (2NA / \lambda) V \quad (2.36)$$

V : 線速度

となる(8)。

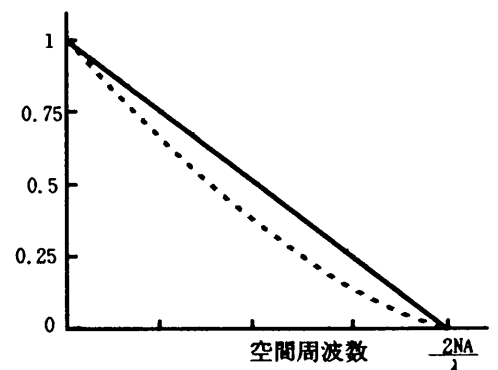


図 2.12 対物レンズのOTF

以上の式からわかるように、光ディスクから信号を読み出す場合、位相変動は存在せず、振幅変動が直線と考えることができる（図2.12）。このような光学特性が、FM復調された映像信号にどのような影響を及ぼすか検討してみる。FM変調信号の場合、変調指数が小さいと、(2.28)式のように表現することができる。光ディスクから信号を読みとる過程での伝達特性で、(2.28)式は、次のような変化を受ける。

$$\begin{aligned}
 s_a(t) &\cong \cos \omega_c t - \frac{\beta}{2} [(1 + \alpha) \cos (\omega_c - \omega_s) t - (1 - \alpha) \cos (\omega_c + \omega_s) t] \\
 &= \cos \omega_c t - \frac{\beta}{2} [\cos (\omega_c - \omega_s) t - \cos (\omega_c + \omega_s) t] \\
 &\quad - \alpha \frac{\beta}{2} [\cos (\omega_c - \omega_s) t + \cos (\omega_c + \omega_s) t] \quad (2.37)
 \end{aligned}$$

α : ω_c を中心とした振幅変動量

ここで

$$\alpha \frac{\beta}{2} [\cos (\omega_c - \omega_s) t + \cos (\omega_c + \omega_s) t] \quad (2.38)$$

は、振幅変動成分であり、再生時にリミタを通せば取り除くことのできる成分である。即ち、リミタを通すことで、左右対称の側帯波を再生することができ、元の(2.28)式のFM変調信号そのものとなるため、光学系の周波数特性の影響は全く無いことになる。つまり、このような理想的な信号再生系では、FM変調信号を歪みなく再生することができる。

ところが、実際には、レンズ収差や焦点ずれなどの要因で図2.12の点線のように歪んでしまう。これを補正するのがイコライザである。特に、信号系の伝達歪みに非常に敏感なMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムにおいては精度の高いイコライザが必須である。

MUSE信号の無歪み伝送条件として、次の項目が上げられる⁽⁹⁾。

- ①振幅特性が、8.1 MHz (−6 dB) の点を中心に点対称なロールオフ特性となること。
 - ②伝送帯域内で位相特性が直線であること (群遅延時間偏差は±5 ns 以内)
- 一方、信号処理回路で等化できる振幅周波数特性は、±2.0 dB、群遅延時間偏差

は、±20 ns くらいある⁽¹⁰⁾ためディスク再生システムから出力される信号は、この範囲に入れば良いことになる。図2.13は、MUSEディスクから再生された信号の振幅及び位相の周波数特性であり、信号再生系の振幅特性の直線性からのずれにより振幅特性が許容限度を越えた歪みを受けており、このままでは、MUSEデコード後の再生画像にリングング等の大きな画質劣化をもたらす。

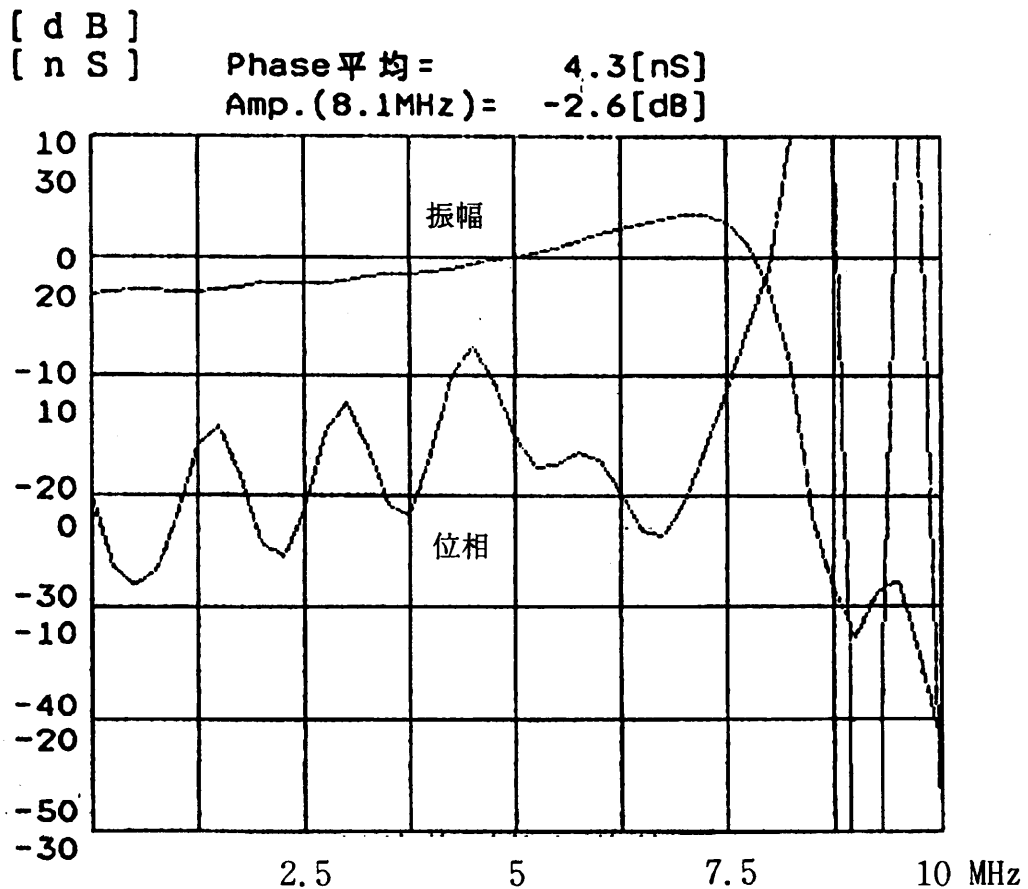


図2.13 イコライザ無しの振幅/位相特性

そこで、この歪みを補正するイコライザに図2.14に示す反射型イコライザを採用し、補正の最適化を行った。このイコライザの伝達特性は

$$\begin{aligned}
 & \sin \omega t - K \left\{ \sin \omega(t - \tau) + \sin \omega(t + \tau) \right\} \\
 & = \sin \omega t - 2K \sin \omega t \cos \omega \tau \\
 & = (1 - 2K \cos \omega \tau) \sin \omega t \qquad (2.39) \\
 & \qquad \qquad \qquad 2K \leq 1
 \end{aligned}$$

であり、位相を変化させずに振幅の高域特性を持ち上げる特性を実現することができる。図2.15に、このイコライザを通した後の振幅・位相特性を示す。振幅・位相特性とも許容範囲内に補正されており、反射型1タップのイコライザで再生信号歪みを除去することができるのを確認した。

信号系の伝達歪みに特に敏感なMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムにおいて使用可能なこのイコライザは、他のシステムにおいても使用可能である。

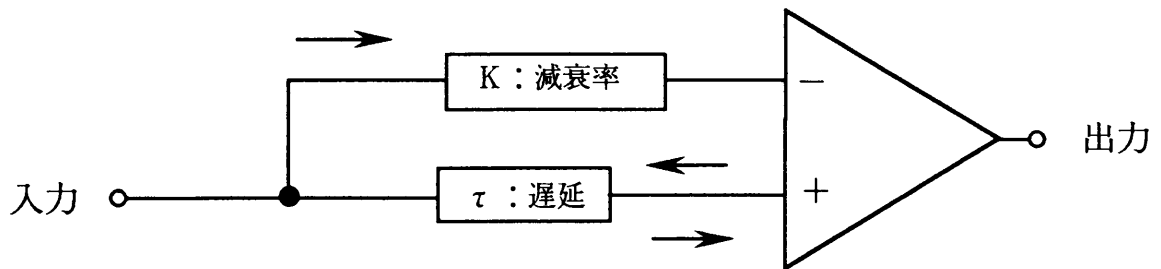


図2.14 反射型イコライザの構成

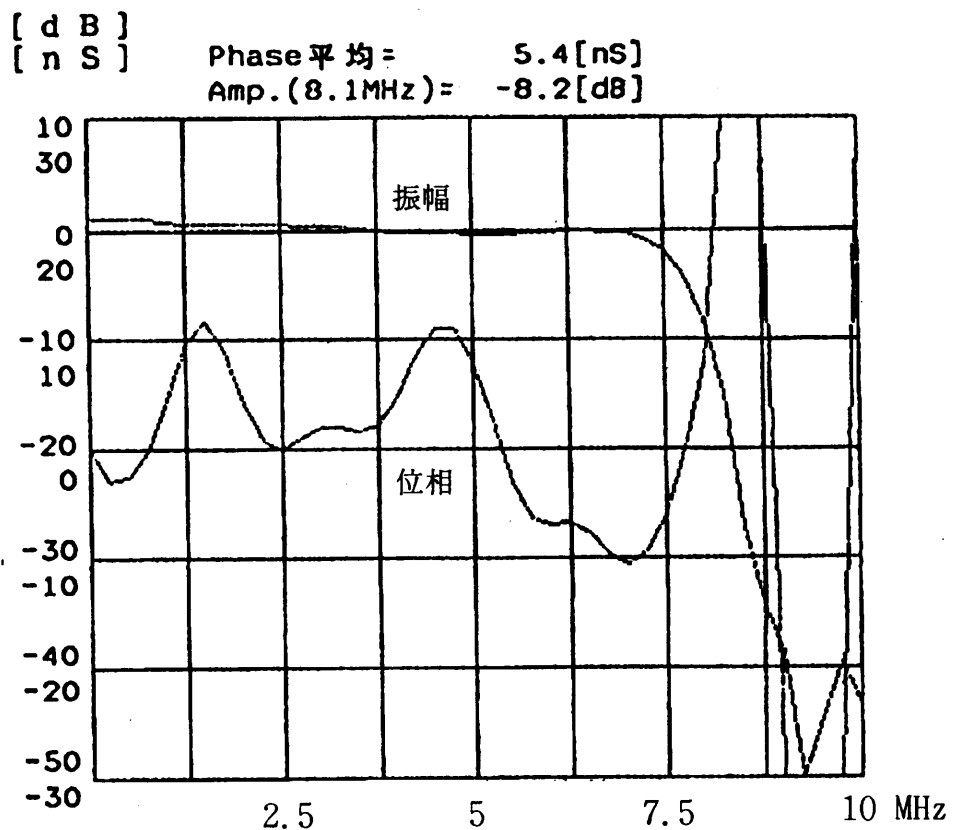


図2.15 イコライザ後の振幅/位相特性 ($\tau = 28 \text{ n s}$)

2.6 むすび

光ディスクに広帯域映像信号を記録・再生するには、長時間再生と高画質の両方を満足するように、ディスク信号記録フォーマットの各種パラメータを最適化する必要がある。しかし、これらのパラメータは独立に扱うことはできず、お互い関連をもっているため非常に複雑である。本章では、本論文で述べる各光ディスク・システムに共通の基本課題に関して理論的考察を進めるとともに、それに基づいたディスク信号記録フォーマットの主要パラメータを如何に最適化したかについて述べた。

以下にその主要パラメータの最適化についてまとめる。

- ①まず最初に、システム性能を決定するディスク記録用映像信号形式を決定するには、システム・コンセプトの明確化が重要であることを指摘した。
- ②クロストーク妨害と再生信号 S/N 、ディスクノイズと再生映像 S/N の関係式を求め、高画質化に必要な主要パラメータを明らかにした。これらのパラメータは、各システムのディスク信号記録フォーマットを確立するとき有用である。
- ③低搬送波FM記録による S/N 低下を補正する手段として、基本的なリニアエンファシスの最適化で対応したが、一部のシステムではノンリニアエンファシスを用いることで、 S/N の不足を補う必要があることを指摘した。
- ④低搬送波FM変調信号とEFM音声信号を周波数多重して2値記録する場合に生じる映像への妨害や不要高調波の音声信号への妨害に対して、多重レベルの最適化と新しく実現した高調波リダクション法により問題解決できることを明らかにした。
- ⑤再生システムでのピックアップレーザ波長、光学系の再生信号伝達特性による歪みを反射型1タップイコライザで最適化できることを確認した。

なお、各システム固有の課題への対応に関しては、それぞれのシステムに関連する章で詳しく述べる。

<参考文献>

- 1) 瀧保夫: "通信方式", 電子情報通信学会, コロナ社, pp.196-200 (1971)
- 2) Taub, Schilling: "Principles of Communication System", McGraw-Hill, pp.113-151 (1971)
- 3) 規格 I E C 9 0 8 "System Description Compact Disc Digital Audio", N.V Philips and Sony Corporation
- 4) 森田芳彦、日置敏昭、渡部浩志、山田誠、日比野克俊、外山建夫: "MUSEビデオディスクの音声記録法", テレビジョン学会技術報告, Vol.12, No.17, pp.43-48 (1988)
- 5) 外山建夫、日置敏昭、森田芳彦、柳瀬修治、浅野武彦: "ハイビジョン用光学式ビデオディスク", SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.19, No.1, pp.24-33 (1987)
- 6) Immink, et al: "Digital Audio Modulation in the PAL and NTSC Laservision Video Disc Coding Formats", IEEE Tran. on Consumer Electronics, Vol. CE-29, No.4, pp.543-550 (1983)
- 7) M.R. de Haan : "SIGNAL PROCESSING IN OPTICAL VIDEO DISC RECORDING" Philips Research Laboratories
- 8) 尾上監修: "光ディスク技術", ラジオ技術社, pp.57-58 (1989)
- 9) 二宮祐一: "MUSE-ハイビジョン伝送方式", 電子情報通信学会, コロナ社, pp.184-192 (1992)
- 10) 大塚吉道、小幡伊和男: "MUSE方式における帯域圧縮技術", テレビジョン学会技術報告, Vol.14, No.56, pp.7-12 (1990)

第3章 MUSE方式

ハイビジョン・ビデオディスク・システム

3.1 まえがき

ハイビジョン放送がスタートしたことにより、民生用途のハイビジョン・ビデオディスク・システムが多方面から求められるようになってきた。そこで、システム・コンセプトを検討した結果、現行のNTSCビデオディスク・システムがディスク片面で60分（両面：120分）の再生時間を持っているため、ハイビジョン・ビデオディスク・システムも同等の再生時間を持つことが必須の条件であると判断し、研究を開始した。

この再生時間の長時間化には、信号帯域圧縮技術は必要不可欠であり、アナログ帯圧縮を行ったMUSE信号を映像信号として記録することにした。表3.1にそのMUSE信号の基本的パラメータを示す。このMUSE信号は、NTSC信号のほぼ2倍の8.1MHzまで帯域圧縮したにも関わらず、伸長後の情報量はNTSC方式に比べ5倍以上の高精細の画像を表現できる特徴を持っている。このMUSE方式を光ディスクに応用すれば長時間のハイビジョン映像をディスクに記録することが可能となる。1984年、波長780nmの半導体レーザーを用いて、片面30分（両面：60分）再生可能なMUSE方式ビデオディスク・システムを初めて実現し⁽¹⁾⁽²⁾、1988年に業務用として最初に実用化を行った⁽³⁾。そして、それらの研究成果をもとに、1991年、短波長670nmのレーザーを用いて、片面60分（両面：120分）の長時間再生が可能なMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムを実現した。そして、このディスク信号記録フォーマットを民生用規格として規格提案を行った⁽⁴⁾。

この章では、この長時間再生MUSE方式ビデオディスク・システムの信号記録フォーマット、ディスク・カッティング、再生システムの構成を中心に述べる。

表3.1 MUSE信号の基本諸元

圧縮方式	動き補正多重サンプリング
色信号多重	線順次TCI方式
走査方式	1125本/60Hz 2:1インタレース
MUSE信号帯域幅	8.1MHz (-6dB)
リサンプルクロック	16.2MHz
水平帯域幅	Y信号 20MHz (静止部分) 16MHz (動画部分)
	C信号 7.2MHz (静止画部分) 4.0MHz (動画部分)
同期形式	正極性同期

3.2 再生ピックアップの仕様

NAの大きな対物レンズを用いると、ビームスポット径を小さく絞ることができ光ディスク上の微小ピットまで読むことができる。しかし、その反面、焦点深度が浅くなり、ディスクの厚みムラやソリの影響を受けやすくなるため、ディスク側に要求される精度が非常に厳しくなる。民生用ディスクの量産を考えた場合、NAをある程度低くして、市場におけるディスクのばらつきや変形に対応する必要があることから、NA 0.55のレンズを採用した。

一方、半導体レーザに関しては、波長670nmの新規に開発したAlGaInP系の屈折率導波型の低アスペクト比赤色半導体レーザを採用した(4)。ピックアップの仕様を表3.2に示す。集光特性として、直径1.07 μ mのスポット径が得られた(5)。また、このピックアップのMTFを、片面30分再生MUSEディスク用ピックアップと比較して図3.1に示す(5)。ピット長0.46 μ mにおいて、60dBのC/Nが得られた。

表3.2 ピックアップの仕様

レーザ波長	670 nm
対物レンズ NA	0.55
コリメータレンズ NA	0.15
フォーカスエラー検出	Astigma
トラッキングエラー検出	3-Beam
アクチュエータ	Slide bearing type
サイズ	H25×W50.5×L63.5mm

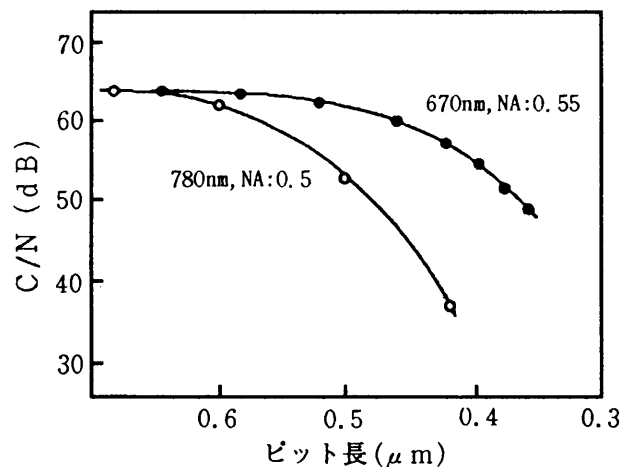


図3.1 ピックアップのMTF特性

3.3 ディスク記録フォーマット

ディスク上に記録する信号は、次の4種類に大別できる。ハイビジョンの再生映像信号としては、一般的に40dB以上のS/Nが要求されているため(6)、それを目標にディスク信号記録フォーマットの設計を行った。

- ①映像FM変調信号
- ②パイロット信号
- ③インデックス信号
- ④PCM音声信号 (周波数分割多重と時分割多重)

以下、それらの各信号について具体的に説明する。図3.2にこれらのスペクトラムを示す。これらディスクパラメータの検討には、表3.2仕様の小型ピックアップを用いた。インジェクションによる成形ディスクから所望のS/Nを持った映像信号を再生するため、記録条件の検討、特にFM周波数偏移とFM変調キャリア周波数、パイロット信号、EFM音声信号⁽⁷⁾のディスク記録条件の最適化を行った。なお、再生時間としてディスク片面で60分を実現するために、線速度を14m/s、トラックピッチを1.12 μ mとした。

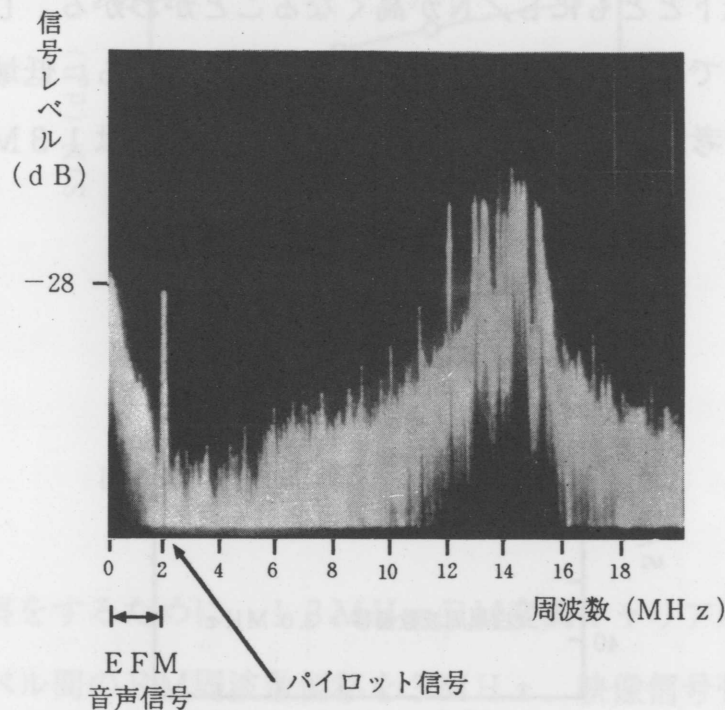


図3.2 ディスクに記録される各種信号のスペクトラム

3.3.1 映像FM変調信号

映像FM変調信号のパラメータを決定するに当たっては、再生信号のS/Nに関係するFM周波数偏移と再生時間を決定づけるFM変調キャリア周波数の最適化が課題である。なお、この最適化に当たっては、実用化した片面30分再生MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム⁽⁸⁾のディスク記録フォーマットとの互換性を考慮した。

(1) FM変調キャリア周波数の最適化

周波数偏移を広げることは、ピックアップのMTFに対し、その利用範囲を広げることである。しかし、特に高い周波数ではC/Nが急激に低下するため、映像信号のS/Nの低下を招く可能性がある。片面30分再生のMUSEディスクの場合では、FM変調キャ

リア周波数を14MHzとし、黒レベルを12.5MHz、白レベルを15.5MHzに設定していた。この周波数配置をそのまま使用すると、白レベルのピット長が $0.45\mu\text{m}$ となり、図3.1からみても、C/Nが60dBに達しないため白レベルのS/N劣化が危惧される。そこで、FM変調キャリア周波数を1MHz以上下げて13MHz以下で最適化の検討を行った。この時の白レベルのピット長は $0.48\mu\text{m}$ であり、C/Nは60dBを越えている。

図3.3にFM変調キャリア周波数と再生MUSE信号のS/Nの関係を示す⁽⁵⁾。FM変調キャリア周波数の低下とともにS/Nが高くなることがわかる。しかし、その増加する割合は無視できるものであり、ほぼ全体で、43dBと言えらる。低域にEFM音声信号を周波数多重することを考慮すると、FM変調キャリア周波数は13MHzが適切であると判断した。

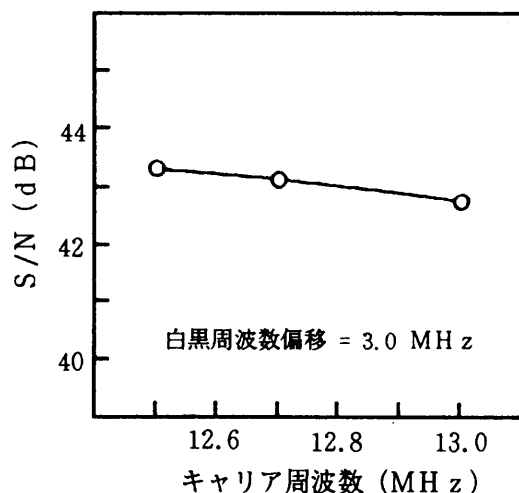


図3.3 FM変調キャリア周波数と再生MUSE信号S/N

(2) FM周波数偏移の最適化

MUSEディスクは、MUSE信号をFM変調して記録するため、再生信号のS/N向上には周波数偏移を広くすることが有効である。しかし、MUSEディスクでは映像信号の低周波数帯域にEFM音声信号を周波数多重したため、もし、周波数偏移を広くすればMUSE映像信号の下側帯波が増加し、EFM音声信号に対して妨害が発生することになる。また、白レベル記録信号周波数が高くなるため、微小ビットが発生し、S/Nはあまり高くない。図3.4に周波数偏移と再生MUSE信号のS/Nの関係を示す⁽⁵⁾。

EFM音声信号を多重した方が、混変調妨害により0.5~1dB前後のS/N劣化が見られる。周波数偏移が3.5MHz程度までは、周波数偏移を広くするに伴いS/Nも

向上するが、3.5 MHzを越えたあたりからS/N向上の傾きが小さくなる。周波数偏移が3 MHz～3.5 MHzまで変化した時、S/Nとして約43 dB～43.7 dBが得られた。片面30分再生MUSEディスクとの互換性の点から周波数偏移は同等であることが望ましいことと、EFM音声信号への高調波妨害を考慮して、周波数偏移を3 MHzに設定するのが妥当であると判断をした。

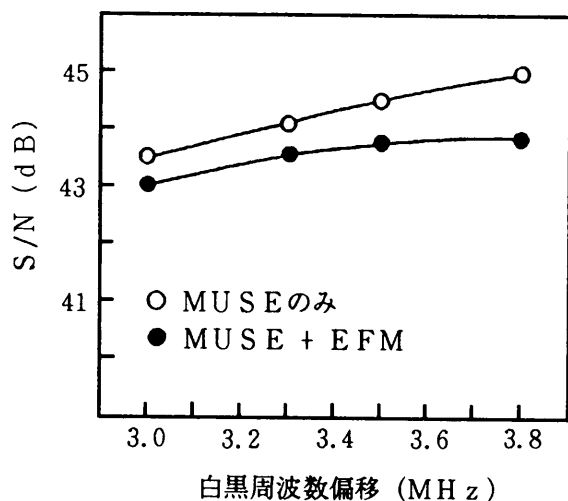


図3.4 FM周波数偏移と再生信号S/N

ここで理論的考察をするために、13 MHz FM変調キャリア周波数の $(C/N)_{30}$ を62 dB、白黒レベル間のFM周波数偏移を3 MHz、映像信号帯域幅を8.1 MHzとして(2.22)式に代入して理論的再生S/Nを求めると34 dBとなる。また、MUSE信号には、衛星放送用にS/N改善度が9.5 dBといわれるノンリニアエンファシスがかけられている(付録2参照)。以上の結果を総合すると、再生映像信号S/Nは43.5 dBとなり、図3.4のEFM信号の妨害を無視した実験値と等しい値である。

3.3.2 パイロット信号

ディスクに記録されるMUSE信号は、限られた衛星放送電波帯域内で伝送効率を高め、S/Nを向上させるため、映像信号レベル内に同期信号がある正極性同期を採用している(付録2参照)。しかし、NTSC信号で用いる従来の振幅分離方式では、容易にその同期信号を検出することができない。結局、ディスク回転制御や時間軸補正をMUSE信号の同期信号を基準に行うことは複雑であり妥当とは言えない。

そこで、この問題を解決するために映像FM変調信号にパイロット信号を周波数多重で

記録し、この信号を元にディスク回転制御や時間軸補正を行った。パイロット信号周波数は、再生時の映像信号とのビート妨害が目立たないように、水平同期周波数 ($f_H = 33.75 \text{ kHz}$) とインタリーブング (Interleaving) 関係になるように f_H の半整数倍に選び、かつ EFM 音声信号の周波数多重を可能とするため、EFM 音声信号の周波数帯域より高い周波数の $(135/2) f_H [= 2.278125 \text{ MHz}]$ とした⁽¹⁾。図 3.5 に、パイロット信号の多重記録レベルが映像信号と時分割 PCM 音声信号に与える妨害の様子を示す⁽⁹⁾。ここでは、映像妨害の知覚距離と時分割多重 PCM 音声信号のデータエラーを調べた。このパイロット信号の多重記録レベルは、パイロット信号による映像への妨害と時間軸補正の精度の兼ね合いで決定する必要がある。図 3.5 に見られる時分割 PCM 音声信号のデータエラーの増加は、時間軸補正の精度の悪さが要因である。以上の結果、パイロット信号の多重記録レベルは無変調 FM キャリアに対して -28 dB 前後が適切であると判断した。

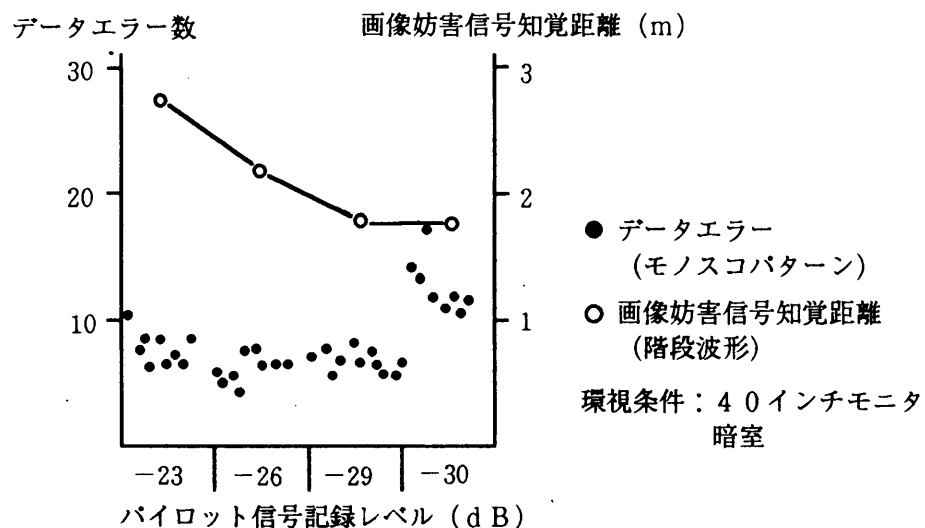


図 3.5 パイロット信号の多重記録レベルとその影響

3.3.3 PCM 音声信号

ハイビジョン・ビデオディスクの音声信号は、将来の発展を考慮すると、PCM 記録であることが望ましい。そこで、次の 2 種類の音声記録フォーマットを採用した⁽¹⁰⁾。

- ① 周波数分割多重 PCM ステレオ音声
- ② 時分割多重 PCM ステレオ音声

次に、これら 2 種類の信号について具体的に述べる。

(1) 周波数分割多重PCMステレオ

MUSE方式ビデオディスクは、パイロット信号より下の周波数領域に2MHz程の帯域余裕を設けた。そして、ここにCDに採用されているEFM音声信号を周波数分割多重で記録を行った(図3.2)。このようにEFM音声信号を周波数多重することで、信号帯域20kHz、量子化ビット数16ビットのオーディオ特性を得ることができた。MUSE信号は、時分割多重音声を含んでいるが、この時分割多重音声が発生した大きなドロップアウトの影響を受け易いことを考えると、訂正能力の高い周波数分割多重音声(EFM音声信号)を利用することはディスク・システムとして必須である。このEFM音声信号の周波数分割多重により、ビット長が短くなり、ビットデューティの管理が厳しくなるが、3.4.2で述べるように現在のディスク製造技術で十分対応が可能であることを確認した。

EFM音声信号を多重記録する際、その多重レベルが大きすぎるとビットの短小化が起こり、再生映像信号のS/N低下が発生する。一方、多重レベルが低い場合は、再生したEFM音声信号のS/N低下によりEFM復調データエラーが増加する。図3.6にEFM音声信号の多重レベルとブロックエラーレート(BER)の関係を示す⁽⁵⁾。ここで、EFM音声信号多重レベルは、パイロット信号の多重レベルと同様に、無変調FMキャリアに対する値である。EFM音声信号の多重レベルを映像への妨害が目立たない-28dBに設定した時、再生信号のブロックエラーレートは 1×10^{-2} 以下となり、実用上、問題のないレベル(8×10^{-2} 以下)⁽¹¹⁾であることを確認した。

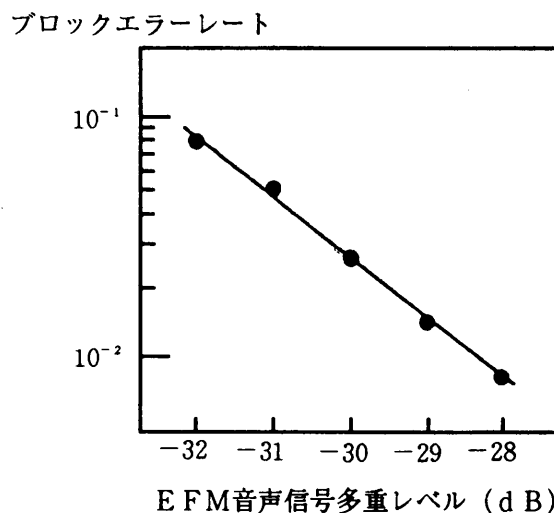


図3.6 EFM音声信号多重レベルと再生信号ブロックエラーレート

(2) 時分割多重PCMステレオ音声

衛星放送に用いられるMUSE音声信号

は、その垂直帰線期間に3値信号でベースバンド多重されている。ここで使用されるPCM音声フォーマットはNIDPCM (DPCM Audio Near Instantaneous Compression Expanding) と呼ばれる準瞬時圧伸差分PCM方式⁽¹²⁾を使用している。構成としては、現行衛星放送のAモード、Bモードに対応したものである。符号化方式のフレームは、同期パターン、制御符号、レンジ、DPCM音声データ、独立データ、訂正符号からなる。誤り制御方式はBCH符号を短縮化し、1訂正2検出 (SEC, DED) としたBCH (82, 74) 符号である。この方式では400ビット

までのバーストエラーの訂正が可能であり、これは約0.73Hのドロップアウトに相当する。しかし、この信号は、ディスクで発生するドロップアウトに対して非常に弱いことを確認した⁽¹⁰⁾。ディスクに発生するドロップアウト分布を図3.7に示す。新しいディスクの場合、0.3H以内のドロップアウトしかないが、古いディスクでは、長いドロップアウトが増加し、時には1H以上にも及ぶ。家庭での使用を考慮すると、ディスクには不十分な訂正能力である。訂正できないエラーが発生することは、放送の場合とは異なって、パッケージメディアの性格上許されないものであり、量産時の歩留まりに影響を与える。従って衛星放送よりも誤り訂正能力を向上させた音声強化モードをMUSE信号規格の中に追加した。その誤り制御方式には、フレーム同期信号と制御符号を除くビットインタリーブマトリクス of 各行の82ビットに対して、生成多項式 $X^{15} + X^{14} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^4 + X^3 + 1$ の短縮化DEC・TED・BCH (82, 67) 符号化を行う方式である⁽¹³⁾。その結果、800ビット、1.46Hまでのドロップアウトつまり直径0.6mmの信号欠落があっても訂正可能な信号フォーマットが実現した。

1フレーム中のビット配分を図3.8に示す⁽¹⁴⁾。衛星放送方式と全く同等にNIDPCM方式の音声信号を垂直ブランキング期間に多重してディスクに記録した。その理由

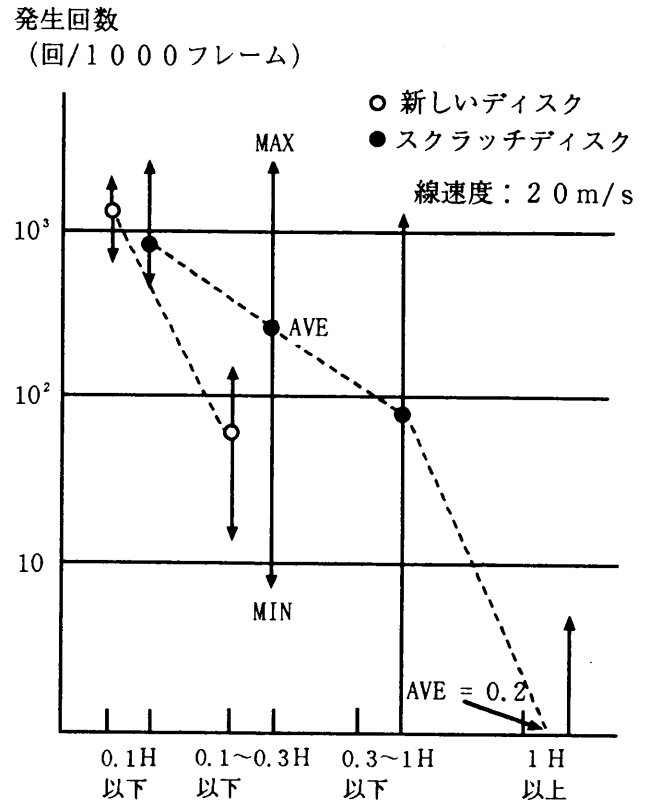


図3.7 ドロップアウトの大きさと発生量

符号を用いて記録した。この符号は、周波数が2倍になるという欠点があるが、クロック再生及びエラー検出の点において非常に有効である。ビットレートは2.025Mbpsである。リードイン、リードアウト、TOC、チャプタ、アドレス情報を記録した。

	同期	X6 X5 X4 X3 X2 X1 X0	ラインNo.
Lead-in	FFD	C1 C2 F1 F2 F3 F4 F5	53,54~1079,1080
	FF5	L F F F F X X	1123& 1124
Program	FF5	F1 F2 F3 F4 F5 X X	1123 奇数フレーム
	FF5	L C C C C X X	1124
	FF5	F1 F2 F3 F4 F5 X X	1123 偶数フレーム
	FF5	F1 F2 F3 F4 F5 X X	1124
Lead-out	FF5	L E E E E X X	1123 & 1124

- ・ X : ダミーコード (通常F)
- ・ L : CAV (0), CLV (1) の判別
- ・ F1F2F3F4F5: プログラムアドレス (Binary)
- ・ C1C2F1F2F3F4F5:
 - C1C2 : BCDコード
 - (00) : 総チャプタ数 (F1F2F3F4F5)
 - (01) ~ (35) : アドレス情報 (F1F2F3F4F5)
 - (36) : 収録フレーム数 (F1F2F3F4F5)
- ・ リードインエリアでは、53,54, 80,81~1052,1053, 1079,1080ラインの計74ライン37組にチャプタ情報を含むTOC (Table of Contents)を多重する
(ペアラインには、同一コードが記録される)

図3.10 インデックス信号

3.4 MUSE方式に適合するディスク・カッティング

ディスク再生時間の長時間化は、光ディスクに記録する信号の高密度化にある。それには、まずディスク線速を遅くして記録ピット長を短くすることとトラック間ピッチを狭くすることである。ところが、ディスクに記録される最小ピットの長さは、白レベル映像信号のFM変調キャリア周波数だけに依存するのではなく、MUSE信号のエンファシスやパイロット信号及びEFM音声信号の周波数多重の影響でさらに短くなる。

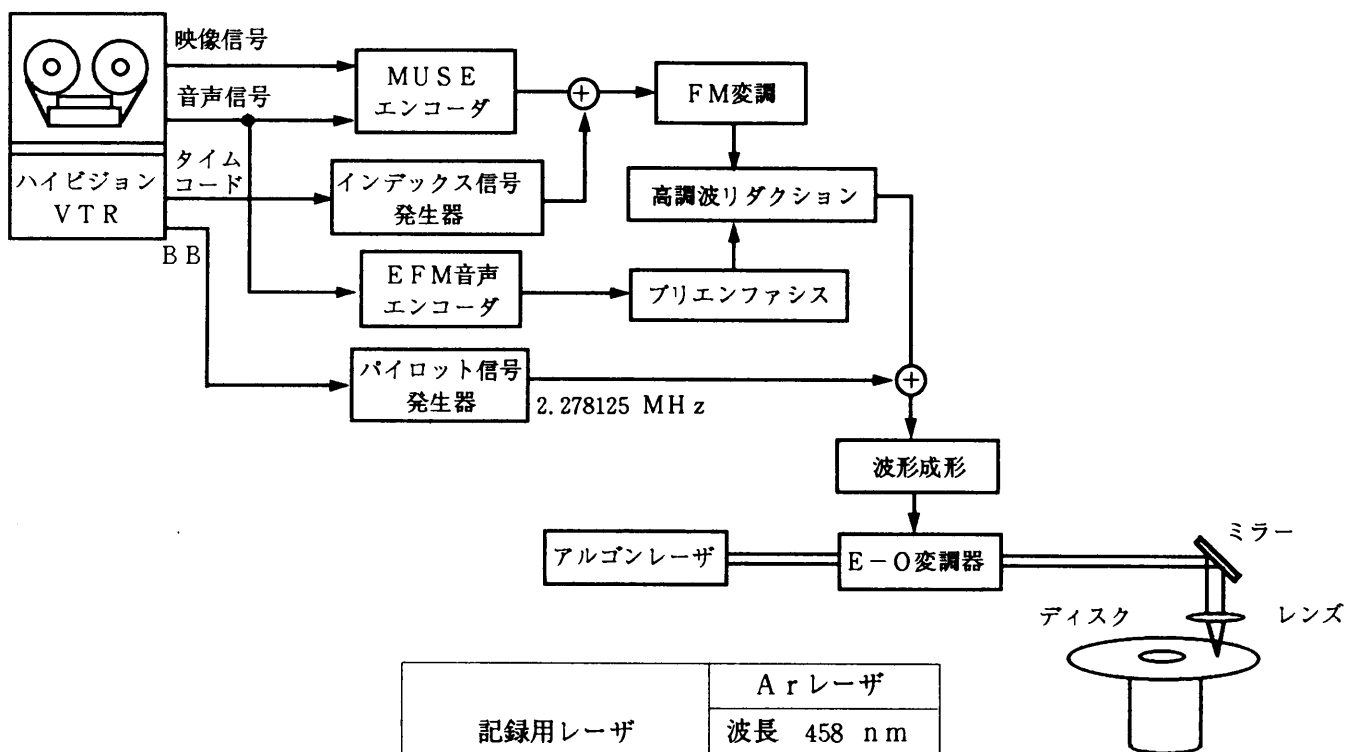
このような条件の中でも、安定したディスクカッティング条件を容易に設定できることが、ディスク信号記録フォーマットを確立する上で非常に重要な要件である。

3.4.1 ディスク・カッティング装置

MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクのカッティングに使用したカッティング装置では、高密度記録に対応するためにArイオンレーザ(458nm)とNAが0.92の対物レンズを採用した。これにより、約0.3μmの微小なピットをフォトレジスト上に形成することが可能となった。カッティング装置の諸元とディスク原盤の記録系の構成

を図3.11に示す(15)。

ハイビジョンVTR、テレシネ (Telecine) 等からの信号は、MUSEエンコーダに入力してMUSE信号に変換する。この信号をクランプで直流再生した後、垂直ブランキング期間にインデックス信号及び時分割多重PCM音声信号を付加する。次に、FM変調器で変調した後、エンファシスされたEFM音声信号を多重し、映像信号及び時分割多重PCM音声信号の不要高調波成分を削減する。そして、パイロット信号を周波数多重した後、波形整形で2値信号に変換してアルゴンレーザをE-O(電気-光)変調器で光強度変調し、ガラス原盤に塗布したフォトレジストを感光させて信号を記録している。



記録用レーザ	Arレーザ
	波長 458 nm
	出力 400 mW
レーザノイズ除去帯域	~ 3 MHz
E/O変調器 応答時間	約 4 ns
対物レンズ	NA : 0.92

図3.11 ディスク記録系の構成

3.4.2 フォトレジスト膜厚とレーザ記録パワー

フォトレジストは、光の照射によって化学反応を起こす感光性高分子材料の1つである。ディスクへの記録はガラス板上に塗布されたフォトレジストをレーザ光で露光することにより行なう。フォトレジストは現象処理により、照射された部分がエッチングされ、

この部分がピットとなる。光ディスクにおいては、このピットの深さが重要なパラメータとなる。ピットが形成されている部分に照射された再生ビームは、ピット底面及びそれ以外の部分で反射されるが、このとき各々の部分で反射された光が、お互いに打ち消しあうような位相差が生じた時に最も効率よく再生信号が得られる。この位相差を発生させるための条件は、ピットの深さを d 、再生に使用するレーザ光の波長を λ 、基板の屈折率を n とすると、原理的には $d = \lambda / 4n$ となる。したがって、フォトレジストは、ガラス板全体にわたって均一に、この条件を満たす厚さになるように塗布しなければならない。

この条件式から分かるように、フォトレジスト層の最適の厚さは再生に使用される半導体レーザの波長に依存する。図3.12にフォトレジスト層の厚さと再生映像の S/N の関係を、 NA が0.6のピックアップで測定した結果を示す⁽¹⁵⁾。このグラフから、フォトレジスト膜厚は、1250 Åが最適であると判断した。

また、カッティングのレーザパワーが最適値からはずれるとピットデューティが変化し、ピット長に対する変化率が大きくなる。このピットデューティのずれは、EFM音声信号を周波数多重する帯域内のノイズを増加させるため、EFM音声信号復調時のデータエラーが増加する。図3.13に設定パワーに対して±5%変化させた時のエラーレートを示す⁽¹⁵⁾。EFM音声信号を多重するには、ブロックエラーレートは 8×10^{-2} 以下でなければならないため、パワー変動を5%の範囲におさえなければならないことが分かった。

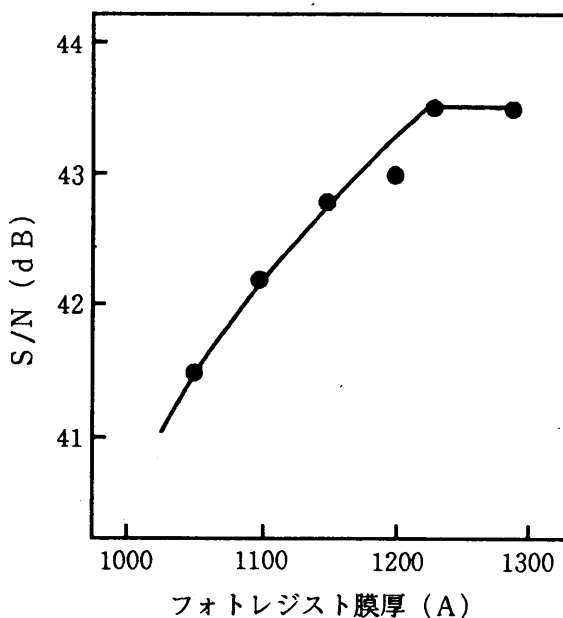


図3.12 フォトレジスト膜厚とディスク再生 S/N

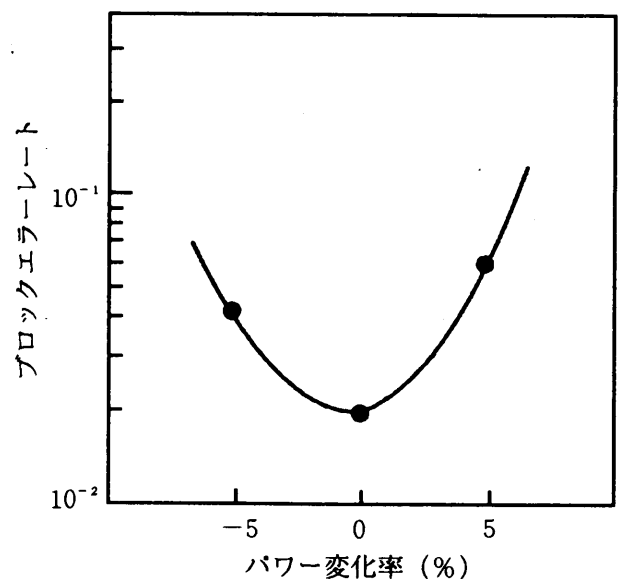


図3.13 記録パワーとエラーレート

パイロット信号成分は、再生RF信号からBPF (Band Pass Filter)で取り出される。そして、ドロップアウト時の欠落を防ぐためPLL (Phase Locked Loop)回路で補正された後、ディスク回転制御に用いられる。一方、時間軸補正は、まず、FM復調されたMUSE信号を、パイロット信号を8通倍して作ったMUSE信号帯域幅の2倍以上のクロックでA/D変換してメモリに一時蓄積し、その後、基準クロックで読み出しながらD/A変換を行う。この時、ドロップアウトが発生した部分はサンプリングパターンが同じ2H前の信号と置き換えている⁽⁸⁾。A/D変換時のクランプに関しては、MUSE信号が正極性同期であるため同期信号を使用することが困難である。そこでアドレス信号からクランプ信号を作成しMUSE信号のクランプライン（参考資料2）をクランプしている。

このようにして出力されたMUSE信号を、MUSEデコーダに送ることで元のハイビジョン信号にデコードすることができる。

また、外部同期機能も持たせ、外部信号に同期して再生できるようにした⁽¹⁶⁾。

3.5.2 音声の再生

ディスクには、時分割多重音声信号と周波数多重音声信号が記録されている。この再生方法のブロック図を図3.15に示す。時分割多重音声信号は、MUSEデコーダ内で同期検出して得たクロックやSYNC信号を利用して垂直ブランキング期間の音声信号を取り出し、時間軸伸長を行う。この信号を再生したときのアイパターンを図3.16(a)に示す⁽¹⁰⁾。このアイパターンは、MUSEデコーダ内で周波数変換した後にD/A変換したものである。また、2本の時間軸方向の横軸は、3値データのスライスレベルを示している。一方、周波数多重音声信号は、プレーヤからのRF信号をLPFを通して音声信

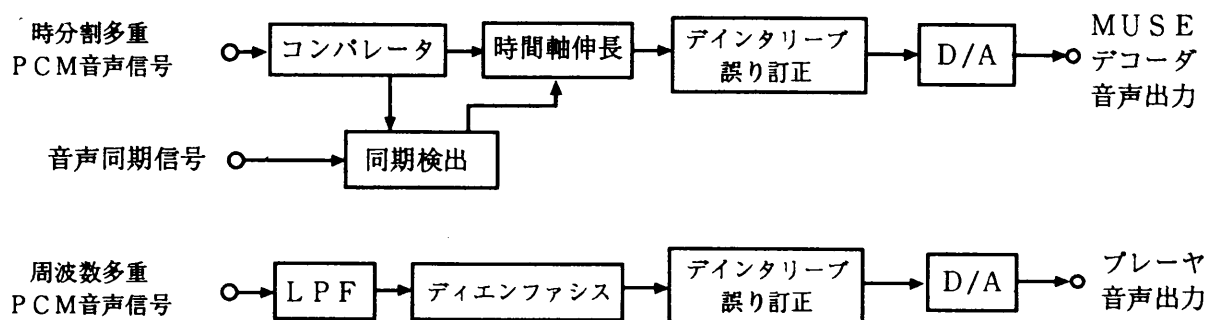


図3.15 音声再生のブロック図

号成分を取り出して等化した後に、プレーヤ内のE F M音声信号再生デコーダに送られ音声を再生する。図3.16 (b) にそのアイパターンを示す⁽¹⁷⁾。このように、音声再生方法には、M U S E デコーダ出力音声とプレーヤ出力音声の2通りの方法がある。

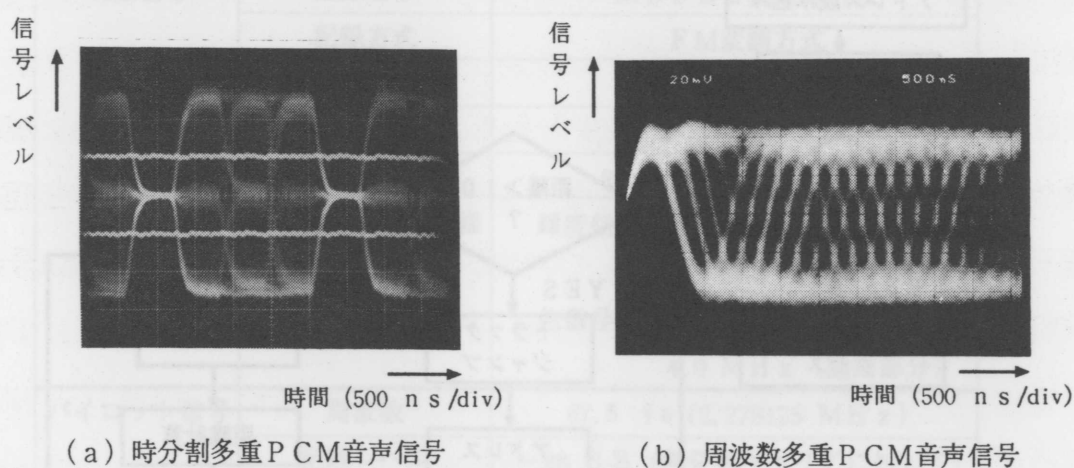


図3.16 P C M音声信号のアイパターン

3.5.3 検索方式

光ディスクは、任意の情報の検索が迅速であるという特長を持っているが、今回のM U S E方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムもディスク上に記録されたアドレス信号を利用して、任意の映像を短時間で検索することが可能である。

しかし、M U S E信号が正極性同期を持っているため、M U S Eデコーダ内での同期検出がすぐには安定しないという欠点がある。そのため、このシステム独特の検索方式を開発した。まず、目的の画像を検索する場合、そのアドレス番号を検索用マイコンに入力する。マイコンでは、目的のアドレスの数10フレーム前を（例えば30フレーム）アドレスとして、まず、遠距離から目標アドレストラック近傍まではピックアップを移動する。次に、目標アドレスの近傍から目標アドレスまでの位置決めは、ピックアップのトラックジャンプで行う。ここで、目的のアドレスより数10フレーム手前まで検索する理由は、M U S Eデコーダ内が正極性同期を信号の繰り返しを利用して検出しているため、この検索したトラックから目的のアドレスまで通常再生を行って再生信号を通常再生状態にしてM U S Eデコーダに同期を検出させるためである。そして、目的のアドレスを通過する時点で再生映像の出力を開始する。静止画検索の場合は、目的のアドレス以降はデコーダのフレームメモリへの書込を禁止して目的の静止画像を繰り返し再生する。従来のビデオディスクでは、C L Vディスクの場合、静止画再生などのトリックプレイが不可能であった

が、このようにフレームメモリを持つことで、CAV、CLVにかかわらず静止画再生画可能である。なお、フローチャートを図3.17に示す(17)。

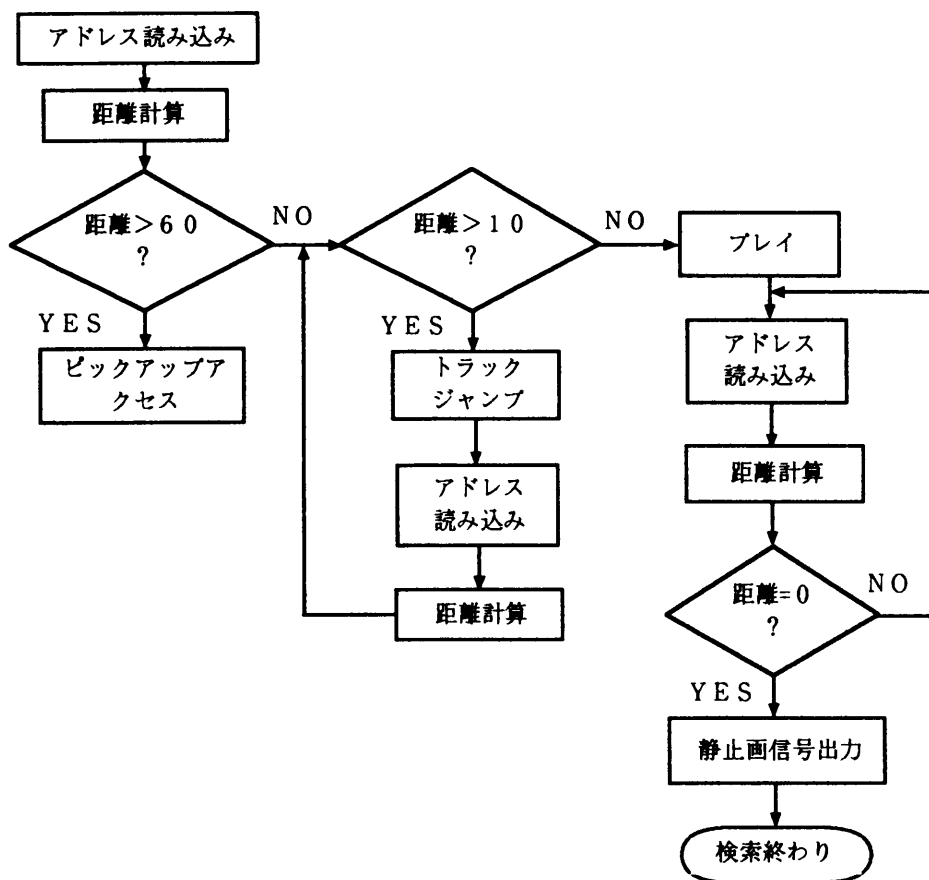


図3.17 ディスク検索のフローチャート

3.6 ディスク及びシステム仕様

以上の検討の結果えられた長時間再生が可能なMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク及びシステムの仕様を表3.3、表3.4に示す。そして、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・プレーヤの外観を図3.18に示す。

表3.3 ディスクの仕様

ディスクのモード ディスクパラメータ	CAV	CLV
記録半径 (mm)	95~145	55~145
ディスク回転数 (rpm)	1800	2430~920
線速度 (m/s)	18~27	14
トラックピッチ (μm)	1.12	
記録時間 (片面) (min)	34	60
ディスク直径 (mm)	300	

表 3.4 MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムの仕様

映像信号	記録信号	MUSE帯域圧縮信号	
	記録方式	FM変調方式	
	白黒周波数偏移	3 MHz	
	映像FM周波数	11.5 ~ 14.5 MHz	
	記録信号帯域幅	8.1 MHz (-6 dB)	
	再生信号水平帯域幅	輝度信号	20 MHz (静止部分)
	色信号	7.2 MHz (静止部分)	4.0 MHz (動画部分)
パイロット信号	周波数	67.5 fH (2.278125 MHz)	
	記録レベル	-28 dB (無変調キャリアに対して)	
音声信号	多重方式	周波数分割	時分割
	サンプリング周波数	44.1 kHz	MUSE音声 (Aモード、Bモード)
	再生帯域幅	20 Hz ~ 20 kHz	
	量子化ビット数	16 ビットリニア	
ピックアップ 仕様	レーザ波長	670 nm	
	対物レンズ NA	0.55	



図 3.18 プレーヤ外観

3.7 MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクの規格提案

この研究成果で得られた片面60分再生のMUSEディスク記録フォーマットのパラメータを、民生用ハイビジョン・ビデオディスク規格として規格提案を行った。その結果、民間の4社⁽⁸⁾の賛同が得られ、多少のパラメータの変更の後、「ハイビジョンLD規格：60Hz/1125ライン高精細テレビジョン—MUSE方式光学ビデオディスクシステム」⁽¹⁴⁾規格として民生用規格に採用された。その主な仕様を表3.5に示す。

この民生用規格では、ピックアップに波長670nmの赤色半導体レーザとNA0.55の対物レンズを用いることを基本としており、CLVディスクの線速度は、13.8～15.2m/s(CAVディスク：1800rpm)、トラックピッチは、1.1μmである。本来、放送用の番組伝送制御信号に用いられているMUSE信号フレーム(付録2参照)のNo.564ラインをディスク用に解放することを要望した結果、プレーヤ内のみでの使用で許可がおりたため、この部分にアドレス、及びコントロール信号を多重した。民生用に実用化する場合、実際には60分を多少越える余裕が必要とのことで、トラックピッチと、FM変調キャリア周波数が多少変更されているが、再生映像信号S/N等に関しては、本章の研究結果とほぼ同じ値が得られている。

表3.5 民生用規格MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム仕様

信号記録	映像信号	MUSE信号
	音声信号	MUSE音声信号
		EFM音声信号(多重レベル：-28±1dB)
キャリア周波数	12.5MHz	
白黒周波数偏移	3.8MHz	
パイロット周波数	2.278125MHz	
ディスク仕様	ディスク径	φ300mm
	記録領域	55～145mm
	線速度	13.8m/s～15.2m/s
	トラックピッチ	1.1μm
	再生時間	120分
ピックアップ仕様	レーザー波長	670nm
	対物レンズ NA	0.55

3.8 むすび

本章では、民生用途の必要条件である片面60分（両面：120分）長時間再生を実現するために、ハイビジョンMUSE信号を採用し、そのMUSE信号を光ディスクにFM変調記録したMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムの研究について述べた。波長670nm、NA0.55のピックアップを用いて実現することを基本に、システム仕様の要件及びディスク信号記録フォーマット確立のための各種信号の記録条件を検討した結果をまとめると以下ようになった。

- ①線速度14m/s、トラックピッチ1.12 μ mのディスクにFM変調キャリア周波数13MHz、白黒レベル間のFM周波数偏移3MHzでMUSE信号を記録することで、43dBの再生映像信号S/Nと片面60分（両面：120分）の再生時間を実現した。
- ②エンファシスは、ディスク用に特別設ける必要はなく、衛星放送用ノンリニアエンファシスを共用できることを確認した。
- ③時間軸補正とモータ制御用にパイロット信号を $(135/2)f_H$ [=2.278125MHz]のインタリーブ周波数で周波数多重記録した。その視覚妨害と時間軸補正精度に関して実験を行ったところ、記録レベルが無変調キャリアから-28dB程度に設定する必要があることが分かった。
- ④第2章で述べた高調波リダクション法を用いてEFM音声信号を周波数多重記録した結果、-28dBの多重レベルで 1×10^{-2} 以下のエラーレートを実現できた。これにより、直線量子化音声信号の記録が可能になった。
- ⑤ディスクに発生するドロップアウトを調べた結果、ディスクが古くなれば1Hを越える長いドロップアウトが発生するため、衛星放送用時分割多重PCM音声の訂正能力では不足であることを明らかにした。そして、ディスク用に訂正能力が2倍の音声強化モードをMUSE音声形式に導入した。
- ⑥ドロップアウト補正方法に関しては、サンプリングパターンが同じ2H前のMUSE信号に置き換えることで十分であることを確認した。
- ⑦本提案を基に作成した「ハイビジョンLD規格：60Hz/1125ライン 高精細テレビジョン-MUSE方式 光学ビデオディスクシステム」規格が、民生用規格として採用された。

以上の結果、再生時間として民生用途の応用分野における必要条件である両面120分（CLV）の収録が可能なディスク信号記録フォーマットを確立することができた。音声信号としては周波数分割多重、時分割多重の2方式で記録することで、衛星放送音声との互換性確保と高音質直線量子化音声の再生の両方を実現した。家庭用マーケットにおいて、ディスク再生時間の長時間化だけが重要ではない。各社のプレーヤ間でのディスク互換性が非常に重要である。今回、この研究成果を基にディスク信号記録フォーマットを提案することで、ディスク規格を一つにまとめたことは、ディスクの互換性維持が重要な民生用マーケットを考えた場合、有意義なことである。

<参考文献>

- 1) 日置敏昭、外山建夫、森田芳彦、渡部浩志 (三洋電機)、二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一 (NHK): "高品位ビデオディスクの信号フォーマット" 光メモリシンポジウム'85, pp.227-232 (1985)
- 2) T.Toyama, Y.Morita, T.Hioki, O.Ohta, Y.Ishii (SANYO), Y.Ninimiya, Y.Ohtuka, Y.Izumi, S.Goushi (NHK): "Optical Video Disc for High Definition Television by the MUSE", SMPTE Components of the Future, pp.232-240 (1985)
- 3) Toshiaki Hioki, Tateo Toyama, Yoshihiko Morita, Hiroshi Watanabe, Katsutoshi Hibino, Makoto Yamada: "HI-VISION OPTICAL VIDEO DISC", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.34, No.1, pp.72-77 (1988)
- 4) 吉年慶一、山口隆夫: "情報処理用半導体レーザ", オプトエレクトロニクス, No.7, P.135 (1991)
- 5) 土屋洋一、寺崎均、伊藤敏雄、太田修: "高密度ハイビジョンディスクの記録再生", テレビジョン学会技術報告, Vol.15, No.75, pp.1-6 (1991)
- 6) Fujio et al.: "High Definition Television System-Signal Standard and Transmission" SMPTEJ., Vol.89 (1980)
- 7) 規格 I E C 9 0 8 "System Description Compact Disc Digital Audio", N.V Philips and Sony Corporation
- 8) 日置敏昭: "次世代テレビハイビジョンMUSEビデオディスクプレーヤ", エレクトロニクス10号, pp.89-92 (1991)
- 9) 森田芳彦、外山建夫、日置敏昭、渡部浩志、山田誠、日比野克俊; "光学式MUSEディスク", テレビジョン学会技術報告, Vol.11, No.36, pp.1-6 (1987)
- 10) 森田芳彦、日置敏昭、渡部浩志、山田誠、日比野克俊、外山建夫: "MUSEビデオディスクの音声記録法", テレビジョン学会技術報告, Vol.12, No.17, pp.43-48 (1988)
- 11) "デジタルAV規格ガイドブック", テレビジョン学会編, オーム社, p.86 (1994)
- 12) 二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一、岩館祐一: "MUSE方式の開発", NHK技術研究, pp.32-35 (1987)

- 13) 菅原秀樹、竹ガ原俊幸、崇浩志、杉山文夫：“音声ベースバンド多重方式による MUSEビデオディスクの試作”，テレビジョン学会全国大会，7-7，
pp. 157-158 (1989)
- 14) 日置敏昭：“ハイビジョンLD (MUSE方式ハイビジョンディスク) 規格”，
テレビジョン学会誌，Vol. 48, No. 12, pp. 41-44 (1994)
- 15) 土屋洋一、寺崎均、伊藤敏雄、太田修：“ハイビジョン用光ディスクの高密度記録技術”，SANYO TECHNICAL REVIEW, VOL. 23, NO. 1, pp. 80-89 (1991)
- 16) 日比野克俊、日置敏昭、渡部浩志、森田芳彦、峯近重和：“MUSEディスクを用いたハイビジョン3Dシステム”，テレビジョン学会技術報告，Vol. 14, No. 20,
pp. 83-88 (1990)
- 17) 外山建夫、日置敏昭、森田芳彦、柳瀬修治、浅野武彦：“ハイビジョン用光学式ビデオディスク”，SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol. 19, No. 1, pp. 24-33 (1987)

第4章 ベースバンド方式

ハイビジョン・ビデオディスク・システム

4.1 まえがき

第3章では、ハイビジョン信号が持つ広帯域映像信号を、MUSE方式帯域圧縮を利用して光ディスクに長時間記録するためのディスク信号記録フォーマットについて述べた。しかし、このMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムによる再生画像は、絵柄により帯域圧縮の悪影響が目立つ場合がある。

一方、ハイビジョンシアタや博物館などの業務用分野においては、スクリーンサイズが100インチ以上を越えることなど珍しいことではなく、そのような環境下においても、ハイビジョン本来の高精細で臨場感溢れる映像を鑑賞するには、可能な限りの高画質な映像が必要である。このような画質優先の業務用機器では帯域圧縮を行わず、ベースバンド信号をできるだけ忠実に再生できるビデオディスク・システムが求められる。

しかし、ベースバンド方式の広帯域映像信号をそのまま記録することを考えると、実用的な連続再生時間が確保できないという問題が発生する。また、ディスクの裏と表にそれぞれ独立の映像信号を記録すると再生途中でプログラムが中断するというディスク固有の欠点もある。そこで、これらの問題を解決するために新しく両面同時再生方式を提案した。この方式は、ベースバンド信号を2チャンネルの信号に分割して、各々のチャンネル信号をディスクの各面に記録した後、ディスク両面を2個のピックアップで同時再生するものである。本方式により、ディスク両面を一体化して扱うことが可能になり、ベースバンド方式で長時間再生が初めて実現された。

著者は、まず最初にレンズのNA0.5、レーザ波長780nmのピックアップを用いて、30分の両面同時再生を実現した⁽¹⁾⁽²⁾。その後、更なる長時間化をめざしてMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムと同じピックアップ（NA：0.55、レーザ波長：670nm）を採用して研究を進めた結果、60分の両面同時再生を実現することができた。

この60分両面同時再生技術は、30分両面同時再生技術を発展させたものであるため、本章では、60分両面同時再生ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムについて詳しく述べることにする。

4.2 両面同時再生方式

高画質ベースバンド方式のハイビジョン・ビデオディスク・システムを開発するにあたり高画質と実用的な使いやすさを追求するために、以下に述べるコンセプトを満足するようなディスク信号記録フォーマットを実現することを研究目標においた。

- ①ベースバンド方式ハイビジョン映像として業務用的応用でも十分に満足できる高画質を得るために、輝度信号の帯域幅20MHz, S/N40dB以上とする。
- ②プログラムの連続再生時間を60分以上とする。開発に先立ち、あらかじめ調査した業務用映像ソフトの再生時間分布を図4.1に示す⁽³⁾。このデータは、東京テピアライブラリー他に保存されている業務用ハイビジョン映像ソフトの再生時間を集計したものである。これにより、60分のプログラム連続再生時間を持つディスクを開発すれば、業務用映像ソフトの99%をカバーできることが分かった。

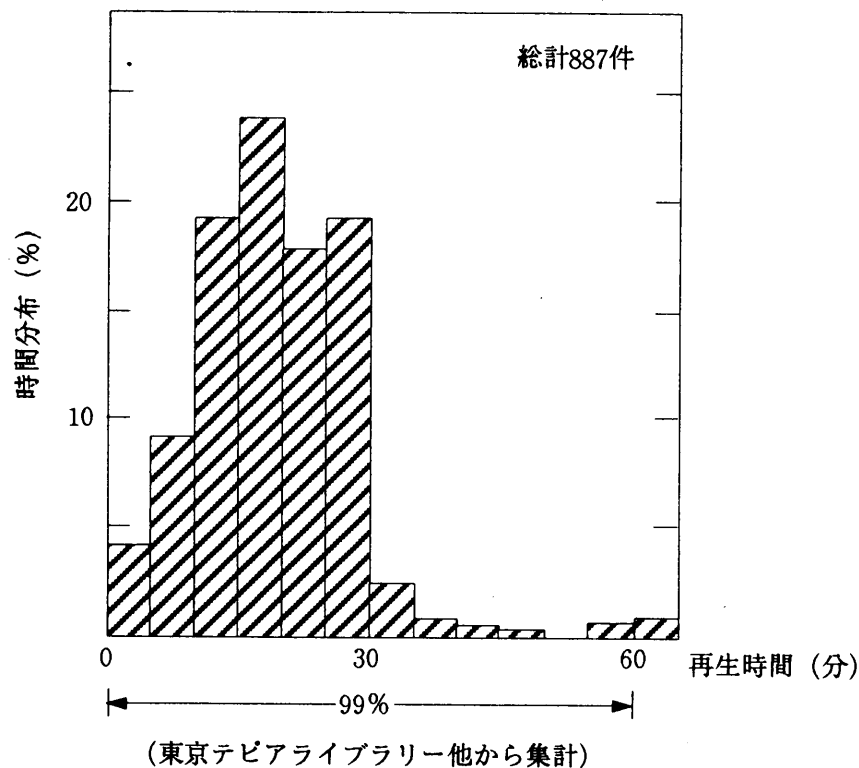


図4.1 業務用映像ソフトの再生時間分布

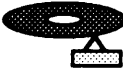

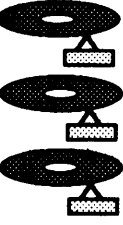
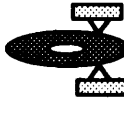
- ③現行NTSC用ビデオディスクより単純で取り扱いやすいシステム構成とする。とくに、業務用を考えた場合、無人運転が行われたり、全く電気機器に慣れない人たちが取り扱う可能性が非常に多い。

④MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクのディスク・カッティング設備や信号再生ピックアップの光学系を利用できるシステム構成とし、コスト的に問題が発生しないようにすること。

このように、実際にディスクの信号記録フォーマットの設計や再生プレーヤシステムを構築する場合、多方面の条件を考慮して決めて行く必要がある。

ハイビジョン・ベースバンドのような広帯域映像信号を信号帯域圧縮せずにディスクに記録するには幾つかの方法が考えられるが、それぞれのディスク再生方式は全く異なる。第一にはディスク回転数を上げることにより、単位時間当たりの記録情報量を増加させて、広帯域映像信号をそのまま1チャンネルで記録した場合のレーザ1ビーム高速回転再生方式がある。第二には、ハイビジョン・ベースバンド信号を複数のチャンネルに分割してディスクに記録した場合のマルチチャンネル再生方式が考えられる。このマルチチャンネル再生方式には、ディスク上に複数のスパイラルトラックを形成して分割記録した場合のマルチビーム再生方式⁽⁴⁾、複数枚のディスクに分割記録した場合のマルチディスク同時再生方式⁽⁵⁾、ディスクの両面に分割して記録した場合の両面同時再生方式などである。これら各再生方式について多方面から比較検討をしたのが、表4.1である。

表4.1 再生方式の比較

方式	1ビーム 高速回転	マルチ ビーム	マルチ ディスク 同時再生	両面 同時再生
ディスクと ピックアップ の構成				
長時間 連続再生	×	×	○	○
ディスク 回転数	×	○	○	○
現行設備 との共用	○	×	○	○
システム 構成	○	○	× ×	△

○：適している（有利）、△：普通、
×：不適（不利）、××：極めて不適

この表から見て、全く新しい方式である両面同時再生方式でディスク信号記録フォーマットの確立と再生システムの構築を行うのが、研究目標に最も適していると判断した。この方式の特長をまとめると以下のようになる。

- ①プログラムの連続再生時間は片面再生の場合に比べて2倍となる。
- ②プログラム再生の途中でディスクの裏表の反転をする必要が無く取り扱いが容易。
- ③ディスクの片面だけを考えれば、MUSE方式ハイビジョンビデオディスクと同じ1チャンネル記録となるので、現行のディスク製造設備との共用が可能となる。

以下に、両面同時再生方式を実現するために新たに開発したディスクへの信号記録フォーマット、ディスクの製造方法、プレーヤシステムの構成要素技術等について述べる。

4.3 映像信号の2チャンネルTCI信号分割処理

映像信号をディスクに記録するための映像信号形式を設計するに当たっては、次のことを重視した。

- ①記録する映像周波数をなるべく低くすること。そのためには、不必要な信号は削除して記録しない。
- ②ドロップアウトが発生したとき、できるだけ補正しやすいように映像信号の配列を考案すること。
- ③ディスクの回転むらによって生じる時間軸誤差の補正信号に関して、最適な多重方式を考案すること。

ハイビジョンとしての高画質性能を得るために、記録する映像信号の帯域幅として、輝度信号Yは20MHz、色差信号 P_B , P_R は6.7MHzに設定した。そして、輝度信号は231/135の時間軸伸張を行い、色差信号は線順次化した後、77/135の時間軸圧縮を行った。そして、これらの信号を時分割多重することで2チャンネルのTCI (Time Compressed Integration)信号に分割した。図4.2にその様子を示す⁽⁶⁾。ディスクの一方の面(A面)に記録されるAチャンネルの信号を奇数ラインの輝度信号と P_R 信号から、もう一方の面(B面)に記録されるBチャンネルの信号を偶数ラインの輝度信号

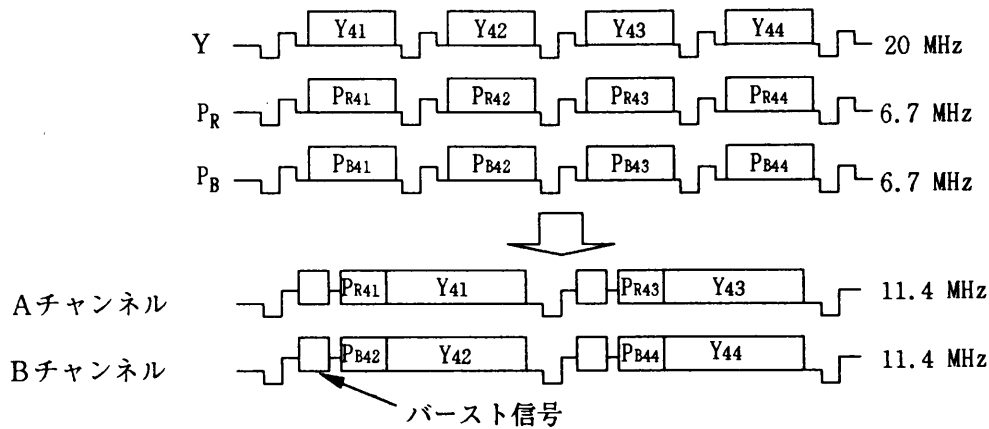


図4.2 TCI信号分割方式

と P_B 信号から形成した。1つのラインに記録する輝度信号と色差信号は、もとのハイビジョン信号中、同じ水平ラインの輝度と色差信号である。両面同時再生用ディスクの場合、2つのチャンネルをディスクの表と裏に配置するため、たとえドロップアウトが発生しても、両面同時に発生する確率は非常に少ない。従って、連続したラインの信号欠落はほとんど発生しないため、1ラインディレイのドロップアウト補償が非常に有効となった。また、2つの色差信号を独立して別チャンネルに記録したことで、各色差信号のチャンネル特性に依存した色むらの発生を抑えることができた。

図4.3にTCI信号の波形を示す。1Hは1760サンプルで構成され、同期信号に28サンプル、バースト信号に6サンプル6周期のサイン波、色信号(C)に414サンプル、輝度信号(Y)に1242サンプルを割り当てた。再生時の時間軸制御のためにバースト信号や負極性同期信号を付加した。

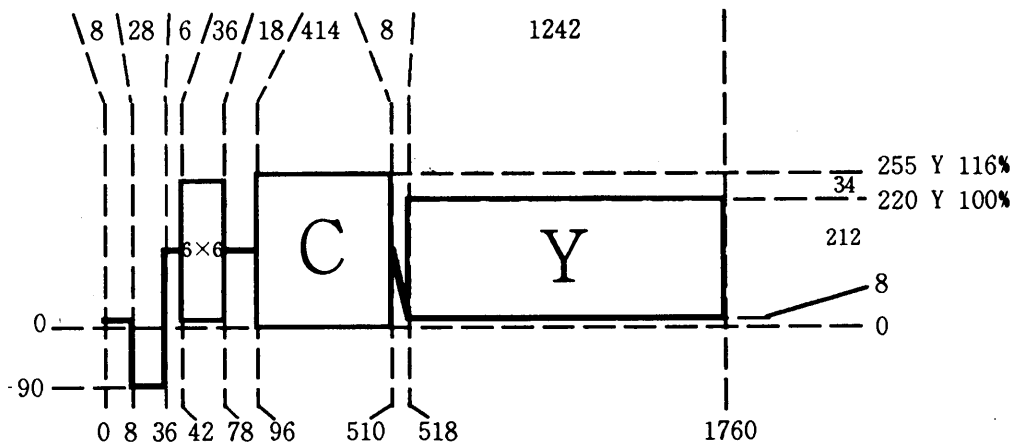


図4.3 TCI信号のレベルとタイミング

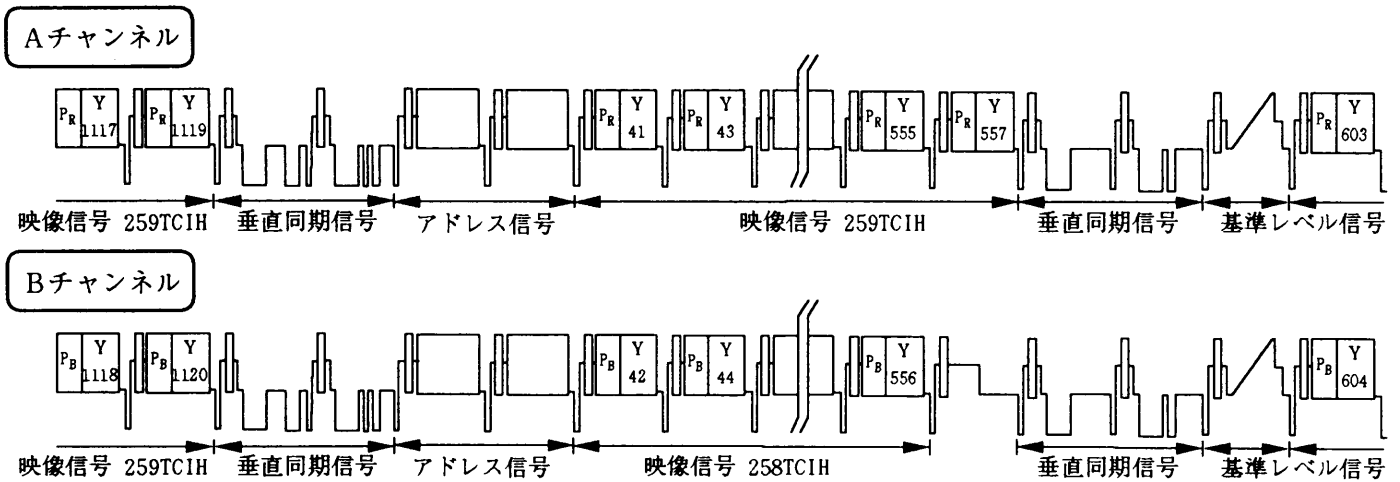


図 4.4 TCI フレーム構成

また、ハイビジョン信号の水平走査線 1125 本から、垂直ブランキング期間の 75 本を削除して 1050 本に設定した。この信号を 2 チャンネル分割して、各 TCI 信号 1 チャンネル当たりの走査線を 525 本としてディスクに記録した。1125 本の信号すべてをディスクに記録する場合に比べて、75 本削減することで、ディスク上の記録信号帯域幅を 6.7% 低減することができた。この結果、ディスクの線速度を落とし、再生時間をそれだけ伸ばすことが可能となった。この TCI 信号は、図 4.4 に示すように有効映像信号 518 ラインのほかに、フレーム番号などを記録するアドレス信号が 2 ライン、チャンネル間のレベル合わせのための基準レベル信号が 1 ライン、垂直同期信号が 4 ライン挿入されたフレーム構成になっており、不要な情報をすべて削除した⁽⁶⁾。

4.4 ディスク記録フォーマット

ピックアップに採用した対物レンズと半導体レーザは、第 3 章で述べた MUSE 方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムと同じである。対物レンズは、NA が 0.55、赤色半導体レーザは、反射導波路型 AlGaInP の波長 670 nm で、最大出力 5 mW である。フォーカスエラー信号は、非点収差法を用い、トラッキング誤差信号は、3 ビーム法を用いた。

4.4.1 ディスク記録線速度の最適化

ディスクに記録できる信号周波数は、ピックアップのレーザビーム径とディスク回転速度に依存する。まず、最初にディスク記録線速度を最適化を行った。図 4.5 に、ディスクに記録する信号の周波数スペクトラムを示す⁽⁶⁾。各々の TCI 信号は、11.4 MHz

の信号帯域幅を持ち周波数変調されている。50%のグレイレベルを14.85MHzに設定し、黒レベルから白レベルの周波数偏移を2.2MHzに設定した。

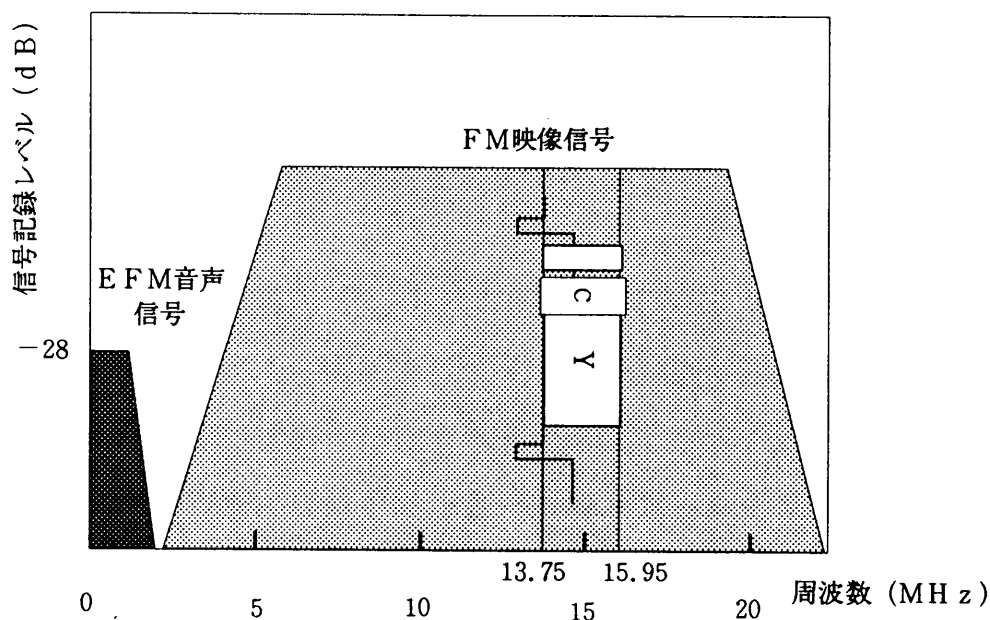


図4.5 ディスク記録信号スペクトラム

ピックアップを通してピットを読み出した場合、図3.1から分かるようにC/Nが60dBとなるピットサイズは、 $0.46\mu\text{m}$ である。読み出される白レベルキャリアを15.95MHzとすると、線速度は14.7m/s前後でなければならない。図4.6にディスクの線速度と再生された映像信号のS/Nの関係を示す⁽⁶⁾。この図から分かるように再生映像信号のS/Nとして線速度14.7m/sで42.7dBを得た。この再生信号S/Nの中には、エンファシスによるS/N改善効果の値が含まれている。その効果について理論的考察を加えながら次に詳しく述べる。

まず、第2章の計算式(2.22)に図4.5のFM映像信号パラメータを代入すると、再生映像信号のS/Nとしては、24.7dBとなる。また、リニアエンファシス m を3.5とすることで、理論的S/N改善度10.9dB(実測値:10.7dB)を得ることができる。しかし、この改善度では、満足できるS/Nが得られない。さらに、このリニアエンファシス量 m を大きくすることでS/Nを改善することも考えられるが、信号の高周波成分が過度に強調され、画像の白のエッジ部分が黒くなる反転現象が発生しやすくなる。そこで、反転現象が発生しにくいノンリニアエンファシスを追加し最適化を図った。このノンリニアエンファシスは、信号振幅によってその周波数特性が変化するため、ディエンファシス回路特性との不整合で生じる波形歪みを最小限にする回路特性管理が必要で

ある。図4.7にそのノンリニアエンファシス特性を示す。振幅が -30 dB で周波数が 10 MHz の信号で 9 dB のエンファシス特性となるようにした。このノンリニアエンファシスの S/N 改善度を実際に測定した結果、 7.5 dB を実現していることが分かった(7)(8)。リニアエンファシスとノンリニアエンファシスの合計 S/N 改善度である 18.2 dB を加えると 42.9 dB の理論値が得られる。これは図4.6の実験値とほぼ同じ値を示している。

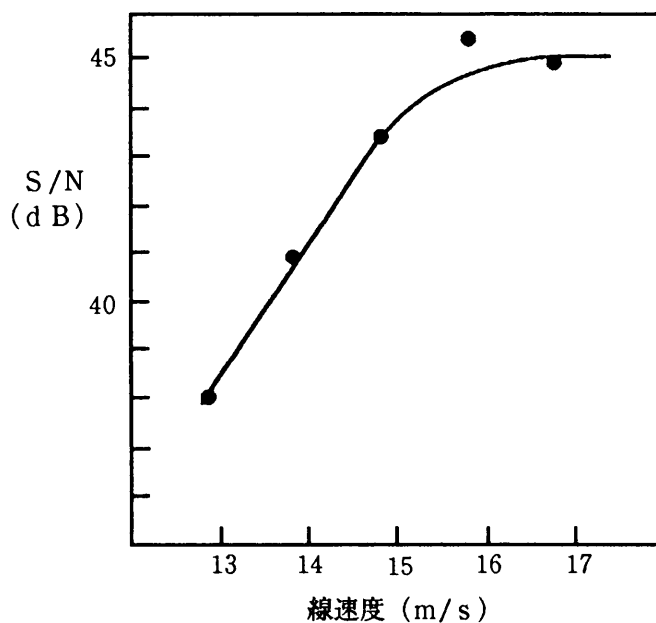


図4.6 ディスクの線速度と再生映像信号 S/N (CAVディスク)

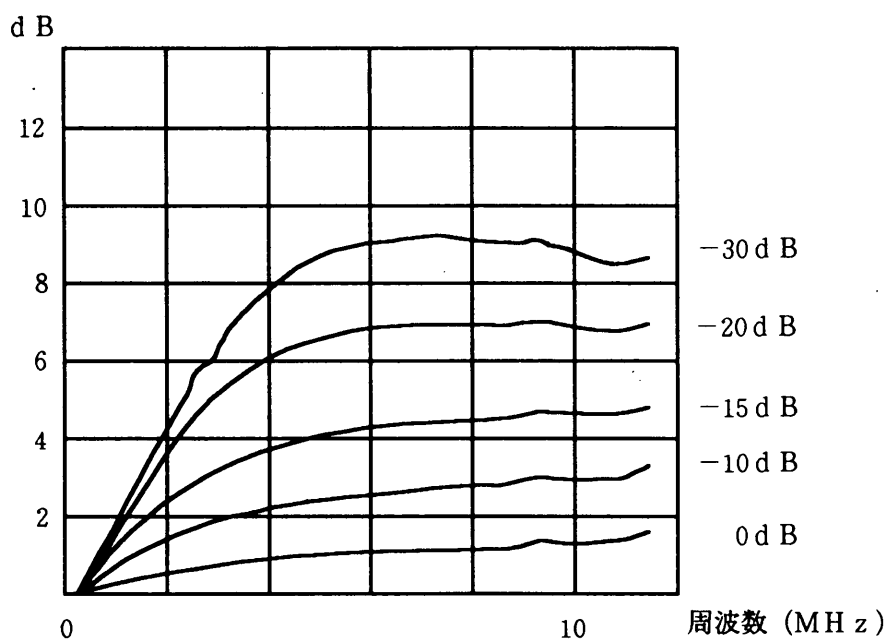


図4.7 ノンリニアエンファシスの特性

一方、C信号のS/Nは、時間軸伸長による低周波ノイズがY信号より目立つため、Y信号のS/Nよりも良くなければならない。そこで、図4.3に示すようにC信号振幅をY信号振幅より20%大きく記録した。色差信号は、100%飽和度を越えることは少なく、大きくしても問題はない。この結果、Y信号より1.6 dB良いS/Nが得られた。さらに、C信号のラインシーケンシャルのP_B, P_R変換のための平均値補完により、さらに1.7 dB改善した⁽⁷⁾。総合的に、Y信号より3.3 dB良いS/Nを実現した。

4.4.2 トラックピッチの最適化

ディスクの再生時間の長時間化に関しては、ディスクの回転線速度とともにトラックピッチを狭くすることも非常に重要なファクタである。しかし、この狭トラックピッチ化を行えば、クロストークの問題が発生する。このクロストークの影響を評価するためにディスクに2フレームおきに白と黒の映像信号を記録し、FM復調されたベースバンド映像信号に対するクロストークの量を評価した。そのクロストーク量は、クロストークS/Nとして表される。図4.8に、クロストークS/Nとトラックピッチの関係を示す⁽⁶⁾。この図からわかるように、1.07 μmのトラックピッチで40 dBの再生映像信号S/Nが得られ、一応、ハイビジョン映像信号に必要とされる40 dB以上を達成している。しかし、図4.3のTCI信号で分かるように、同期信号部分は黒レベルよりさらに低いキャリア周波数となるため、より大きなクロストーク妨害が発生することになる。これに対する対策は、ベースバンド・ディスク・カッティングの項で詳しく述べる。

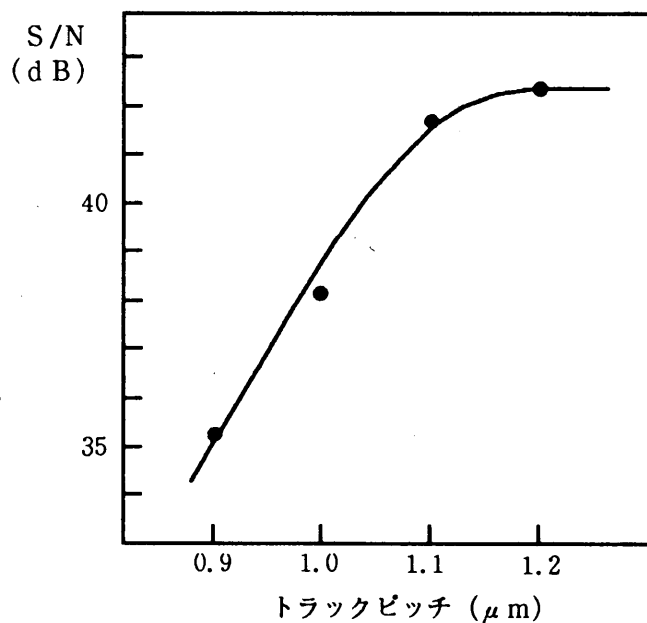


図4.8 トラックピッチと再生信号S/N

また、高NAを持つ対物レンズを採用したピックアップでは焦点深度が浅く、ディスク表面とピックアップの傾き角度がビーム径に影響しクロストークの発生原因となる。そのため、非常に精度の高いピックアップ機構とラディアルサーボのメカニズムが要求される。図4.9、図4.10はラディアルとタンゼンシャルのスキューに対する再生映像信号S/NとEFM音声信号のブロックエラーレートの関係を示す⁽⁶⁾。ラディアルサーボは、P-P値で1度以内にコントロールしなければならないことがわかる。一方、タンゼンシャルの方向に関しては、±0.5度以内にメカニズムの調整を行った⁽⁶⁾⁽⁸⁾。

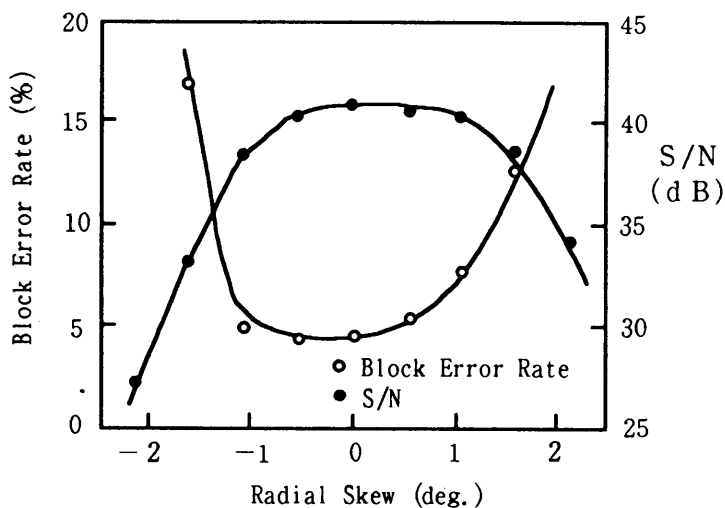


図4.9 ラジアルスキューのエラーレート及び再生信号S/Nに対する影響

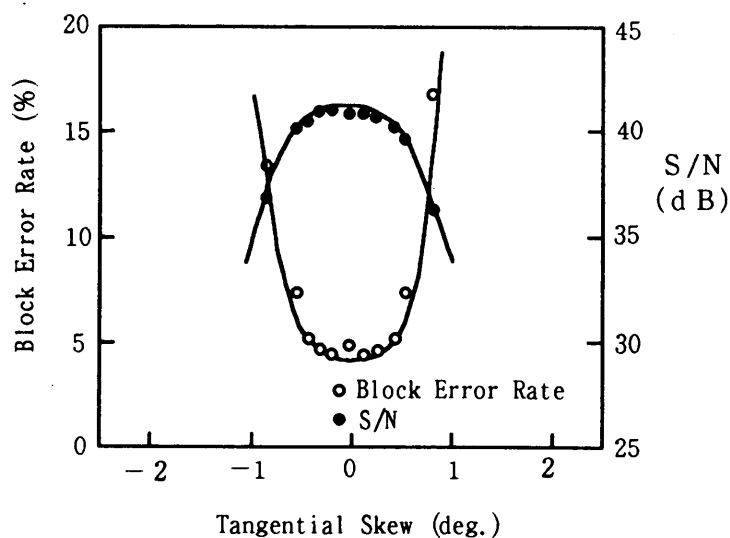


図4.10 タンゼンシャルスキューのエラーレート及び再生信号S/Nに対する影響

4.4.3 PCM音声信号

PCM音声信号を記録するに当たっては、垂直ブランキング期間に時分割多重する方式と低周波数帯域部分に周波数多重する方式が考えられる。MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクはその両方に対応するようにディスク信号記録フォーマットを設計した。

このベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスクの記録映像信号は、できるだけ記録映像周波数を下げるために垂直ブランキング期間が除去されているため、音声データを時分割多重するのは不可能である。結局、EFM音声信号⁽⁹⁾を低域多重記録することにした。周波数多重方式のほうが、一部にデータが集中する時分割多重よりも、ディスクに生じるドロップアウトに対して強いからである。ハイビジョン映像の音声信号は、その画質の良さに対応して、高音質多チャンネル再生が望ましい。そこで、EFM音声信号をディスクの両面に周波数多重記録することで、サンプリング周波数44.1kHz、量子化ビット数16ビットの4チャンネルデジタル音声記録を実現した。

EFM音声信号を周波数多重すると、ビットサイズが影響を受け、記録条件が非常に厳しくなる。記録条件の検討の結果、線速度14.7m/sで 4×10^{-2} のブロックエラーレートまで押さえ込むことができた。

EFM音声信号は、再生映像信号のS/Nに影響を与えないレベル、つまり、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクと同様に、無変調FMキャリアレベルに対して-28dBで記録を行った。

4.4.4 インデックス信号

両面同時再生方式のディスクを再生する場合、両面の同じフレームの信号を2つのピックアップで同時に読みとらなければならない。このフレーム同期合わせのコントロールやフレーム検索のために、両面の映像信号の垂直同期期間にフレームごとに表4.2に示すインデックス信号を多重した。具体的には、バイフェーズ変調された28ビットデータを1フレームに連続2回繰り返して記録した。

また、プログラム開始以前のリードイン期間では、ディスクコントロール用の信号としてTOC (Table of Contents)信号を記録した。このTOC信号に、総チャプタ数、ボリュームナンバー、最終アドレス等のディスク情報や、チャプタ情報(最大チャプタ数:30)などの多彩な情報をのせることで、各種ソフトウェアアプリケーションに対応できるようにした。

表4.2 インデックス信号表

	同期	X 4	X 3	X 2	X 1	X 0	
Lead-in	8	8	F	F	F	F	
		1~6 (チャプタ番号)	(偶数)	(未定義)	チャプタ開始上位アドレス (Binary 2桁)		
			(奇数)		チャプタ開始下位アドレス (Binary 3桁)		
		7 (ディスク情報)	0	2	総チャプタ数 (BCD 2桁) (0~30)		
			1	(未定義)	ボリュームナンバー (BCD 2桁) (11~99)		
			2	(未定義)	最終アドレス (Binary 2桁)		
			3	最終アドレス (Binary 3桁)			
4	Disc-Flag	(未定義)	(未定義)				
Program	F	プログラムアドレス (Binary 5桁) (00001~最終アドレスまで)					
Lead-out	8	0	D	D	D	Disc-Flag	

(注)

- ・ X 0の後に、さらに0が4ビットある
- ・ T O C情報はプログラムの開始直前に少なくとも150フレームかつ少なくとも3回入っている必要がある
- ・ Disc-Flag: A c h/B c h, C A V/C L V

4.5 ベースバンド方式に適合するディスク・カッティング

基本的なディスクカッティング装置の構成は、カッティングレーザが、波長458nmのArレーザで、対物レンズのNAが0.92である。MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクと同じである。また、フォトレジスト膜の厚さに関しても同様に1250Åで良いことが分かった⁽⁶⁾。

4.5.1 ディスク・カッティング装置

図4.11にディスク原盤のカッティング装置の構成を示す⁽⁶⁾。ディスクはA面とB面を別々にカッティングして、それぞれのディスクの裏面を張り合わせて完成する。当然、A面とB面は相互に逆回転でカッティングを行った。

また、A面、B面を別々にカッティングするには、ディスクの回転制御が重要である。両面の各フレームにおいて、同じ回転数で記録しなければならない。CAVの場合は、常に回転数が1フレーム1回転(1800rpm)で記録するため問題は発生しないが、CLVディスクの場合、A面、B面の各フレームで正確に回転数を合わせつつ線速度一定の条件で記録する事が必要である。そこで、CLVディスク・カッティング時には、精度の確保が困難な書き込みピックアップのディスク半径情報からディスク回転速度を決めるのではなく、映像ソースであるVTRのタイムコードを基準にスピンドルモータの回転数を

管理して、常にディスクのA面とB面において、同一フレーム映像に対する回転数が一致するように制御を行った。

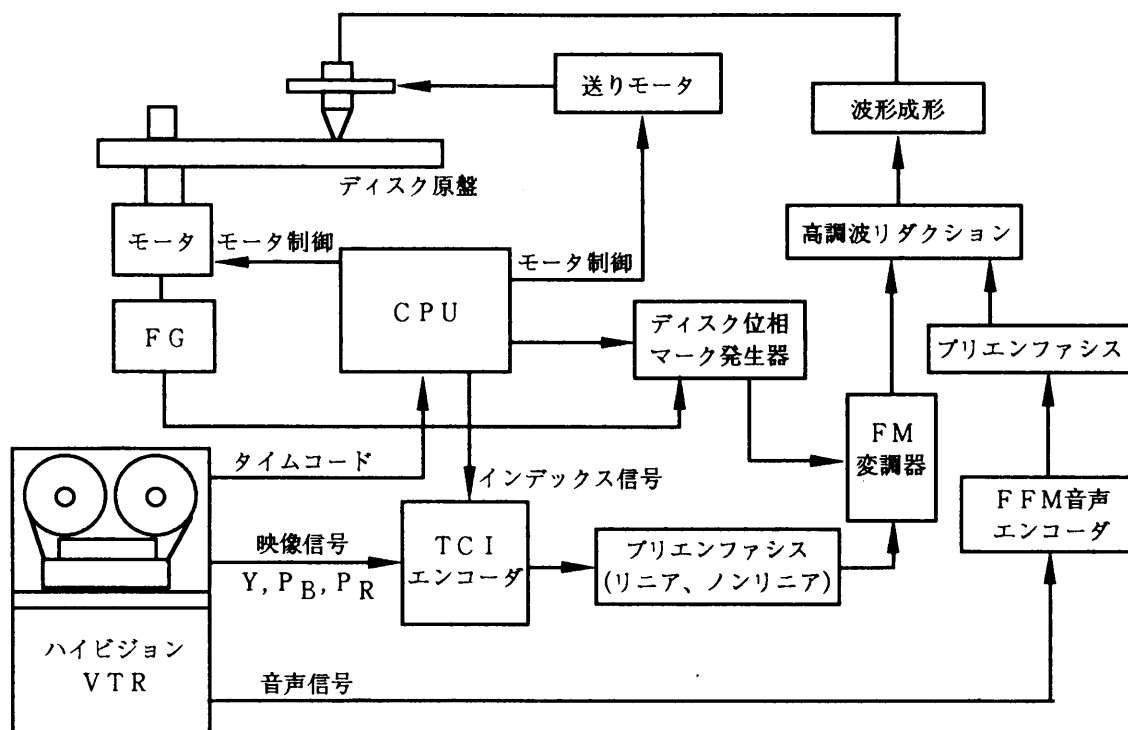


図4.11 ディスク・カッティング装置

4.5.2 クロストーク・コントロールCLVディスク

ベースバンド方式ビデオディスクの場合、トラックピッチが $1.07\mu\text{m}$ とMUSE方式ビデオディスクに比べて非常に狭く、ディスク信号記録フォーマットを設計する場合、特にクロストークの問題を考慮する必要がある。

MUSE信号の場合、正極性同期を採用しているため、同期信号がクロストークとして隣接トラックに妨害を与えることは少ないが、このベースバンド方式ビデオディスクの場合、負極性同期を採用しているため、同期信号部分において、隣接トラック間のFM周波数差が最大となり、第2章(2.6)式で見たように、クロストーク妨害が発生しやすくなる。CAVディスクの場合、1回転で1フレームの映像信号が記録されており、隣接トラック間の位相は合っているため、同期信号によるクロストークの問題は全くないが、CLVディスクの場合に問題となる。そこで、ベースバンド方式のCLVディスクに関しては、従来のCAVディスクとCLVディスクを組み合わせたディスク回転制御方式を開発してクロストークのコントロールを行った(図4.12)。

水平同期周波数 15.75kHz であるTCI信号を記録する場合に、1回転当たり5

25H記録する（回転数1800rpm）ことを基本パターンとして、これより内周の高回転領域側に於いては、1回転当たり、524H、523H、522H・・・、また外周の低回転領域側に於いては、1回転当たり526H、527H、528HというCAV記録領域を順次設けることで、隣接トラックとの水平同期信号の位相のそろった（H並びのとれた）ディスクとすることで、問題となる隣接トラックからの水平同期信号のクロストーク漏れが最小となるCLVディスクを実現した。

各CAV領域のディスク回転数は次の式で表現される。

$$\frac{15.75 \times 10^3}{525 + K} \text{ rps} \quad (4.1)$$

この時、 K は整数値である。ディスク線速度が V_p を越えた減速領域では、ディスク2回転ごとに K の値を1/10だけ増加させ、ディスク線速度が V_0 になるまでディスク回転数を落としている。このディスク回転を急速に下げれば、CAV領域を広く設けることができるが、ディスクの角速度が大きくなり、ディスクの回転制御が不可能となる。この時のディスク内周の回転数を減速する最大角速度を、ディスク・カッティング装置のディスク回転制御能力から -1.54 rad/s^2 以内であることとした。

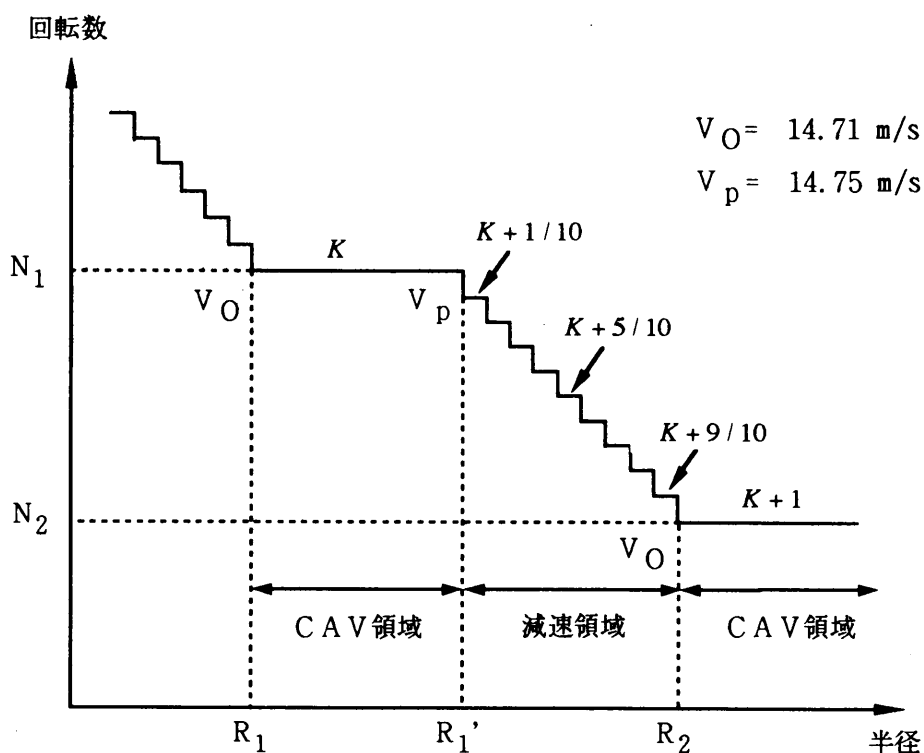


図4.12 ディスク回転数制御方式

4.5.3 ディスク両面の張り合わせ

ディスク回転数を正確に管理してディスク・カッティングを行っても、両面のディスク張り合わせ角度に大きな差があると、両チャンネル間の再生信号時間差も拡大する。特に、CLVディスクの場合、両チャンネルの時間差は、図4.13のように、連続的に広がる特性となる。この時間誤差は再生時にフレームメモリで吸収できるが、これに必要なメモリ量を決定するために、ディスクの張り合わせ誤差について検討をおこなった。

まず、ディスク張り合わせ誤差を管理できるように、ディスク上に張り合わせ基準マークをディスク・カッティング時に記録した。これは、ディスクの最外周部に単一キャリアで記録したブロックを設けて、ディスク上の記録信号位相を目で判断できるようにしたものである。このマークを用いて、A、B面の位相を管理しながら、かつ、ディスクの重量

バランス差が最小となるように張り合わせた場合の、A、B面の角度差のばらつきを測定した。その結果、ディスク成形機の違いなどによる重量アンバランスのため、両面張り合わせ角度誤差が最大±45度発生することが分かった⁽⁸⁾。この張り合わせ誤差でCLV外周部で両チャンネル間の再生時間誤差は0.23フレームとなる。従って、再生システムで、この時間誤差を許容できるように、メモリコントロールのシステム設計を行った。

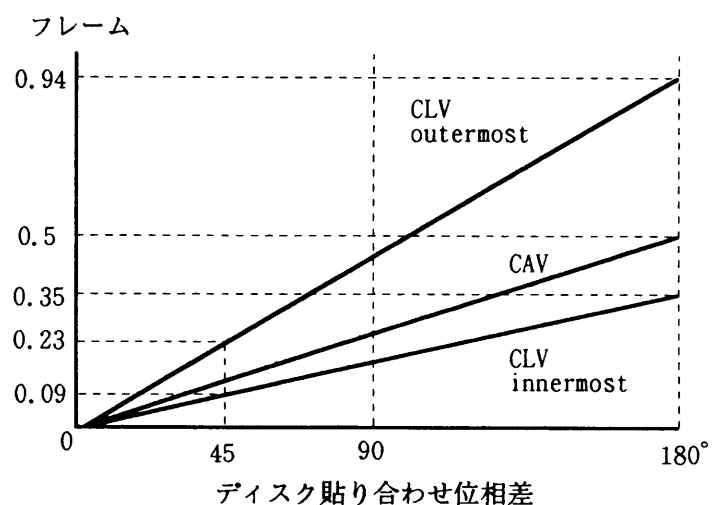


図4.13 再生TCI信号のチャンネル時間差

4.6 再生システムの構成

両面同時再生方式を実現するには、再生システムにおいてA面、B面の再生信号の時間差を補正する必要があるため、両面に配置しているピックアップサーボ、フレームメモリ管理、再生信号処理などが重要となってくる。

4.6.1 ディスク両面同時再生ピックアップ制御

プレーヤは両面同時再生方式とするために、上下2つのピックアップと処理回路を配置した。図4.14に再生回路のブロック図を示す⁽¹⁾。両面のピックアップサーボは各々独立したサーボ回路で対応し、制御は基本的に独立している。

両者のトラッキングの位置は、再生信号にフレーム単位で多重した各チャンネルのアドレスデータをもとに、同一フレームをトラッキングするように制御されている。ディスク再生を開始するとき、まず2つのピックアップは、それぞれ1つの目標アドレスフレームに対して独自にアクセス動作をし、各々目標のアドレスフレームを検出して待機する。そして、両面の頭だしができた時点で再生を開始する。再生中は、2つのピックアップのトラッキング動作は常に同じフレームを再生するように同期して行う。特殊再生に関しては、両面のトラックジャンプのタイミングや回数を同期させて、フレームメモリの書き込みの制御をすることで、スチル、スキャン、スローなどを実現した。

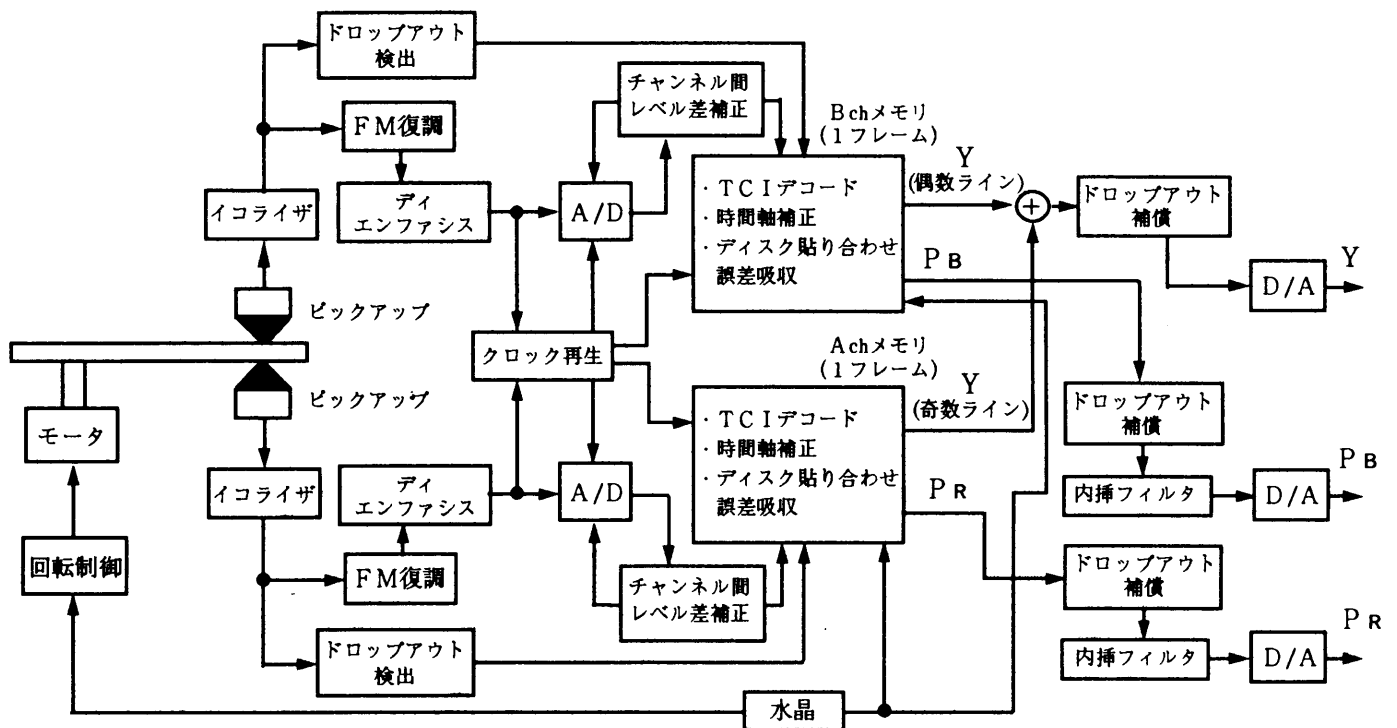


図 4. 1 4 再生回路ブロック図

4. 6. 2 再生信号処理

ピックアップで取り出したRF信号は、それぞれドロップアウト検出、FM復調、ディエンファシス、A/D変換の各信号処理が施されて、フレームメモリに記録される。この際、2チャンネルの再生復調信号レベルは、1フレームに1ライン挿入されている図4. 4に示す基準レベル信号が規定値になるようにAGC (Automatic Gain Control) がかけられる。また、ディスクの偏心などによる時間軸変動誤差を補正するために、バースト信号を用いて再生TCI信号に同期したクロックを発生させ、このクロックを基準にTCI信号をフレームメモリに入力している。このフレームメモリは、書き込みと読み出しが非同期で行えるように構成しており、読み出しを水晶クロックで行うことにより、時間軸補正

回路を構成している。このときに、ディスクの張り合わせ誤差による両チャンネル間の再生時間誤差も同時に吸収している。

また、このフレームメモリには、プレーヤからの出力信号を外部同期信号に同期させる機能を持たせたために、メモリの読み出しは、外部同期信号によって規定されるタイミングで行う必要がある。このときに、メモリの書き込み、読み出しのオーバーラップを防ぐために、メモリへの書き込みタイミングは、外部同期による読み出しタイミングと一定時間以上ずらしておく必要がある。ディスクの回転サーボはA面の再生信号を基準に行われるため、A面の再生信号をフレームメモリに書き込むタイミングは回転サーボで制御可能である。しかし、B面に関しては、張り合わせ誤差分を考慮して制御しなければならない。特に、CLVディスクの場合、両チャンネルの時間差は、図4.13に示したように、ディスク外周に行くに連れて連続的に広がる特性となる。そこで、CAVディスクかCLVディスクか、先行して再生しているのがA面かB面かを判別して、最外周で両チャンネルの読み書きの追い越しが起こらないように、ディスクの回転位相を判別した上で再生を行う。図4.15に示すCLVディスクの再生タイミング条件に合致した時、信号の読み出し再生を行うように設定した⁽⁸⁾。このフレームメモリからの読み出しの際に、輝度信号と色差信号の分離、輝度信号の時間軸圧縮、色差信号の時間軸伸張、ドロップアウト補正、色差信号の垂直補完を行ってハイビジョン信号を復元している。

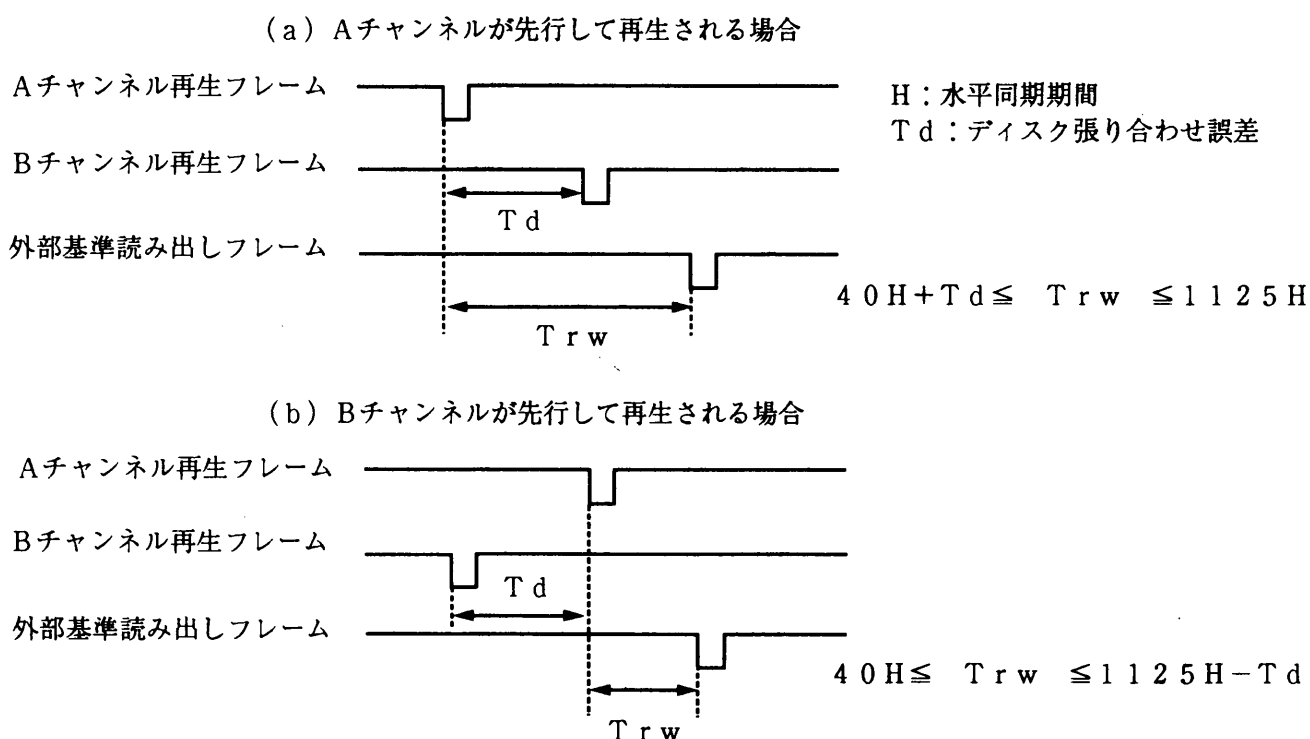


図4.15 ディスク再生条件

4.7 ディスク及びシステム仕様

表4.3は、以上の実験結果から得られたディスク仕様を示す。そのときのトラックピッチは、 $1.07\mu\text{m}$ であり、線速度は、 14.7m/s である。再生映像信号のS/Nは、40dB以上が得られた。現行のNTSCディスクと同じ30cmのCLVディスクで、連続60分の再生を実現することができた。

表4.3 ディスク仕様

ディスクのモード ディスクパラメータ	CAV	CLV
ディスク径 (cm)	30	
トラックピッチ (μm)	1.07	
回転数 (rpm)	1800	2550~960
線速度 (m/s)	14.9~27.5	14.7
記録半径 (mm)	79~146	55~146
連続再生時間 (min)	30	60

また、システムの仕様を表4.4に、その外観写真を図4.16に示す。光ディスクの特長である高速検索性能を生かした各種プログラム再生やリピート再生機能を持たせるとともに、フレームメモリを利用したCLVディスクでのスチルなどの特殊再生を実現した。また、ディスク両面にピックアップを配しているため、ディスクを裏返して装着した場合でも、再生チャンネルを判別しスピンドルモータを逆回転して再生を行うことができる。

輝度信号帯域幅20MHz、色差信号帯域幅6.7MHzの高画質映像を1枚のディスクで連続60分再生できるビデオディスク・システムを実現することができた。

表4.4 ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムの仕様

信号再生方式		ディスク両面同時再生方式
映像信号	記録信号	2チャンネルTCI信号
	TCI信号帯域	11.4 MHz
	記録方式	FM変調記録
	白黒周波数偏移	2.2 MHz
	映像FM周波数	13.75~15.95 MHz
	リニアエンファシス	$m = 3.5$, $T = 0.3\mu\text{s}$
	ビデオクリップ	ホワイト: 250% , ダーク: -150%
	ノンリニアエンファシス	9 dB (at -30 dB 振幅, 10MHz)
	再生映像信号帯域	輝度信号 Y: 20 MHz 色差信号 PB, PR: 6.7 MHz
音声信号	多重方式	周波数多重
	多重レベル	-28 dB
	チャンネル数	2+2チャンネル
	サンプリング周波数	44.1 kHz
	量子化ビット数	16ビット
	再生帯域	20 Hz ~ 20 kHz
ピックアップ仕様	レーザ波長	780 nm
	対物レンズNA	0.55

の60分連続再生時間を実現した。

- ⑤2種類のエンファシスの最適化を行い、リニアエンファシス ($m=3.5$) でS/N改善度10.7 dB、ノンリニアエンファシスでS/N改善度7.5 dBを実現した。
- ⑥両面のディスクを張り合わせる時に生じる、ディスクバランス誤差による張り合わせ誤差が±45度以内に入ることを確認するとともに、再生システムのメモリ書き込み・読み出しコントロールの最適化を行った。
- ⑦トラックピッチが狭いことで発生するクロストークに対しては、クロストーク・コントロールCLVディスク制御方式でディスク・カッティングすることで、画面上のクロストークを目立たなくした。
- ⑧MUSE方式と同様に、高調波リダクション法を用いてEFM音声信号を-28 dBで記録することで、ブロックエラーレートとして 4×10^{-2} を実現した。

以上の結果に基づいて、筆者が実現したベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムでは、輝度信号帯域幅20 MHz、色差信号帯域幅6.7 MHzの高画質映像と60分の連続再生時間が得られた。この得られた仕様は、現在のほとんどの業務用途において十分であり、今後、ハイビジョンの高画質を活かした応用分野の拡大を期待することができる。また、これまでのディスクの欠点である表・裏の概念をなくしたことで、システムの取り扱いが非常に簡単になったといえる。

現在、このベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムは、ハイビジョン業務用ディスク・システム規格の一部に採用されている⁽¹⁰⁾。

<参考文献>

- 1) 日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志、浅野賢二、寺崎均、峯近重和：“ベースバンドハイビジョンビデオディスク(研究速報)”，テレビジョン学会誌，Vol.46，No.3，pp.351-353(1992)
- 2) 日置敏昭：“VideoDisk Player Accomodates 1125/60 HDTV Signals Without Bandwidth Compression”，Broadcast Technologies '92 JEEE，pp.28-29(1992)
- 3) Seiichiro Takahashi, Toshiaki Hioki, Yoshihiko Morita, Hiroshi Watanabe, Makoto Yamada, Kenji Asano：“Baseband HDTV videodisc player”，International Workshop on HDTV '92, Vol.1, 32, pp.1-7(1992)
- 4) K.Tachibana et al.：“Optical Disc System for Wideband High Definition Video Signal”，IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.35, No.3, pp.208-215(1989)
- 5) 栗山 仁：“パイオニアハイビジョンビデオディスクHLD-V100”，ビデオα，写真工業出版社，Vol.16，No.8，pp.111-117(1990)
- 6) Yoshihiko Morita, Hiroshi Watanabe, Makoto Yamada, Kenji Asano, Toshiaki Hioki：“HIGH DENSITY VIDEO DISC FOR HDTV BASE BAND SIGNAL”，IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.40, No.3, pp.387-393(1994)
- 7) Katuhito Matsushita, Takashi Ohnaka, Nobuhiro Hosohara, Osamu Ikeda, Tatsuo Tanaka：“The Optical Disc System for Baseband HDTV Signal” SPIE Vol.1656 High-Resolution Sensors and Hybrid Systems, pp.242-251(1992)
- 8) 森田芳彦、渡部浩志、寺崎均、西川義信、森山雅博：“ベースバンド方式ハイビジョンビデオディスク技術”，SANYO TECHNICAL REVIEW, VOL.25, No.1, pp.26-34(1993)
- 9) 規格IEC 908 “System Description Compact Disc Digital Audio”
N.V Philips and Sony Corporation
- 10) “デジタルAV規格ガイドブック”，テレビジョン学会編，オーム社，pp.90-91(1994)

第5章 フリッカレス立体ビデオディスク・システム

5.1 はじめに

これまでの章で述べてきた大画面・高画質を実現するハイビジョン映像は、バーチャルリアリティを実現する一つ的手段ではあったが、このハイビジョン映像の次の世代の映像表現として、実際に奥行き感を表現することのできる立体映像システムも多くの分野で期待されている。この種の立体映像信号は、左目用と右目用の別々の情報含んでいるため、光ディスク・システムを構築するには、ハイビジョン・ビデオディスクと同様に広帯域映像信号の記録・再生技術が必要である。

立体映像を実現する手段は多種多様である。これまで研究されてきた各種システムと現在の技術水準から考えると、技術的に簡単であり、かつ効果的な自然画像が得られる方法としては、左右両眼視差映像をメガネを用いて立体視する方式（付録3参照）が最も適切である。しかし、この両眼視差立体方式を現行のNTSC信号に応用してCRT上に時分割立体表示を行った場合、次の節で述べるようなフリッカの発生や垂直解像度の劣化といった問題が発生する。そこで、これらの問題を解決するために新しく4:1インタレース倍速NTSC立体映像信号を提案した。この信号は、NTSC信号の2倍の8.4MHzの広帯域映像信号であり、MUSE信号帯域幅とほぼ同等である。

本章では、第3章で述べたMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクとの再生互換を考慮して研究したフリッカレス立体ビデオディスク・システムについて詳しく述べる。

5.2 パッケージメディアと立体映像

立体映像は、テレビ放送よりも、むしろ映画などのパッケージメディアがその中心であった。テレビ放送でも、過去数回、放映されたことはあるが、長続きはしていない。これは、メガネを持っていない視聴者にとっては、立体映像は全く意味をなさないからである。最近のパッケージメディア（ビデオディスク、VTR）の進歩は、立体映像を気軽に楽しむ機会を増やしつつある。最近、注目されている立体映像装置は、ビデオディスクを応用したものが多し。

図5.1に、従来方式の立体ビデオディスク装置の原理図を示す⁽¹⁾。ディスク上には、左目・右目用映像信号が記録されており、再生するときは、フィールド単位で左目・右目

用画像を交互に読み出す。これが、時分割立体映像信号である。この映像信号を立体視する場合、映像信号と同期した液晶シャッターメガネを用いて左右の目にフィールド単位で振り分ける必要がある。この結果、左右いずれの目に入る画像枚数も1秒間30枚となり、フリッカのある立体映像になってしまう。このフリッカを目立たなくするには画面輝度を暗くするか、メガネにフィルタを付加して光透過率を下げればよい。しかし、これでは、立体映像が暗くなってしまふ。

一方、解像度の点から見た場合、図5.1(a)に示すように、テレビ信号の第1フィールド、第2フィールドをそれぞれ左目・右目に振り分けているために、片方の目に入る画像走査線は262.5本と本来の半分になり、垂直解像度が劣化してしまう。このように従来の立体映像は、画面が暗く、フリッカや解像度劣化の問題が存在していた。

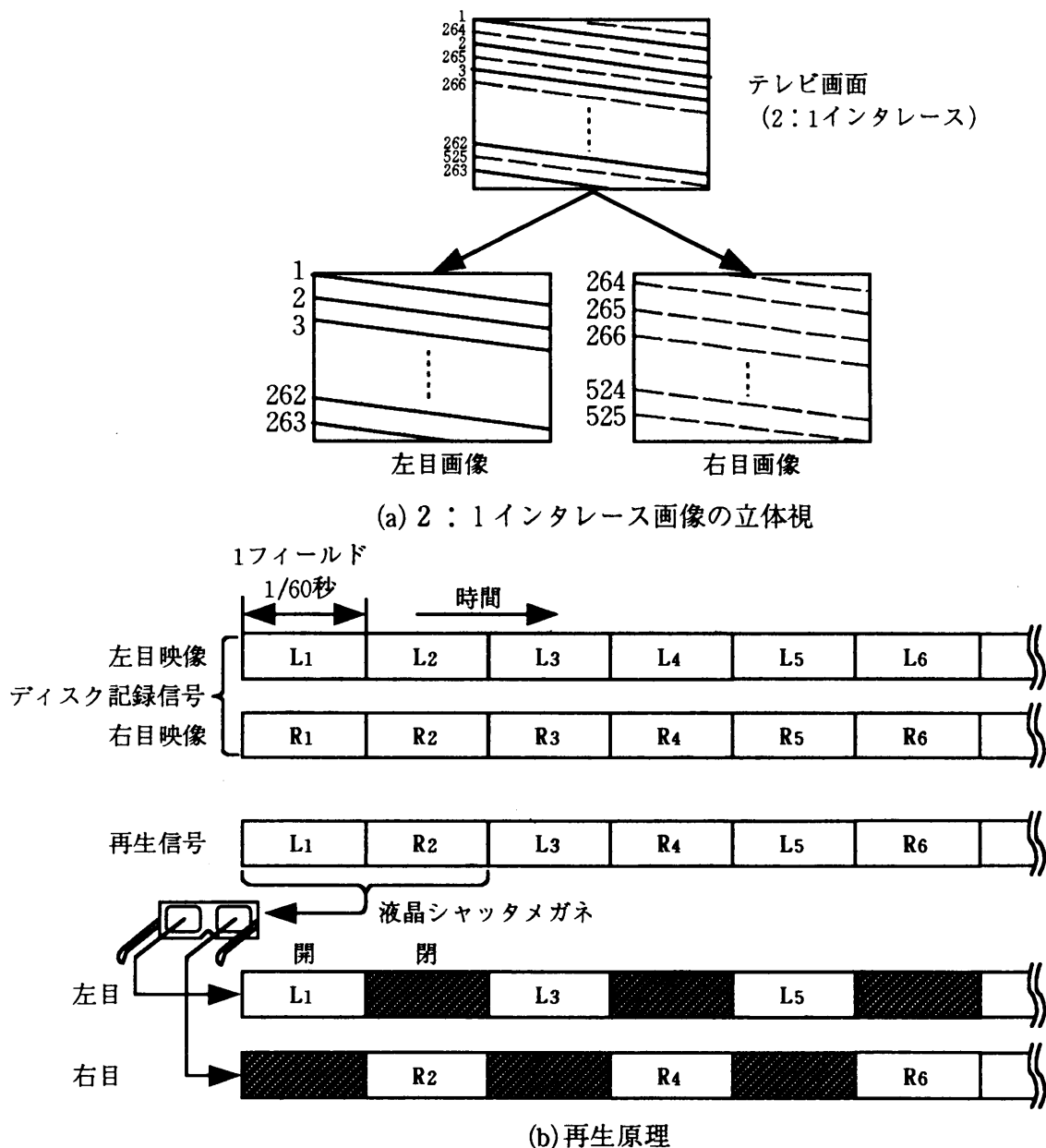


図5.1 従来方式の立体映像の原理

5.3 4 : 1 インタレース倍速NTSC立体映像信号

倍速NTSC立体映像信号は、図5.2に示すように、左右二つのNTSC立体映像信号をそれぞれフィールド単位で1/2に時間圧縮して、 $L_1 \rightarrow R_1 \rightarrow L_2 \rightarrow R_2 \rightarrow L_3 \rightarrow \dots$ の順に接続することで得られる。この信号のフィールド周波数は120Hzでありフリッカは感じられない⁽²⁾。

NTSC映像信号の場合、各フィールドにおける水平同期信号の位相は $H/2$ ずれている。よって、単純に左右二つのNTSC映像信号を接続したのでは、 L_1 と R_1 、 L_2 と R_2 のフィールドのつなぎ目で水平同期信号の位相連続性が失われる。同様に、NTSC映像信号には色信号サブキャリアが $(455/2) \cdot f_H$ (f_H はNTSCの水平同期周波数)の周波数で多重されており、フィールドのつなぎ目で色信号サブキャリアの位相不連続が発生する。

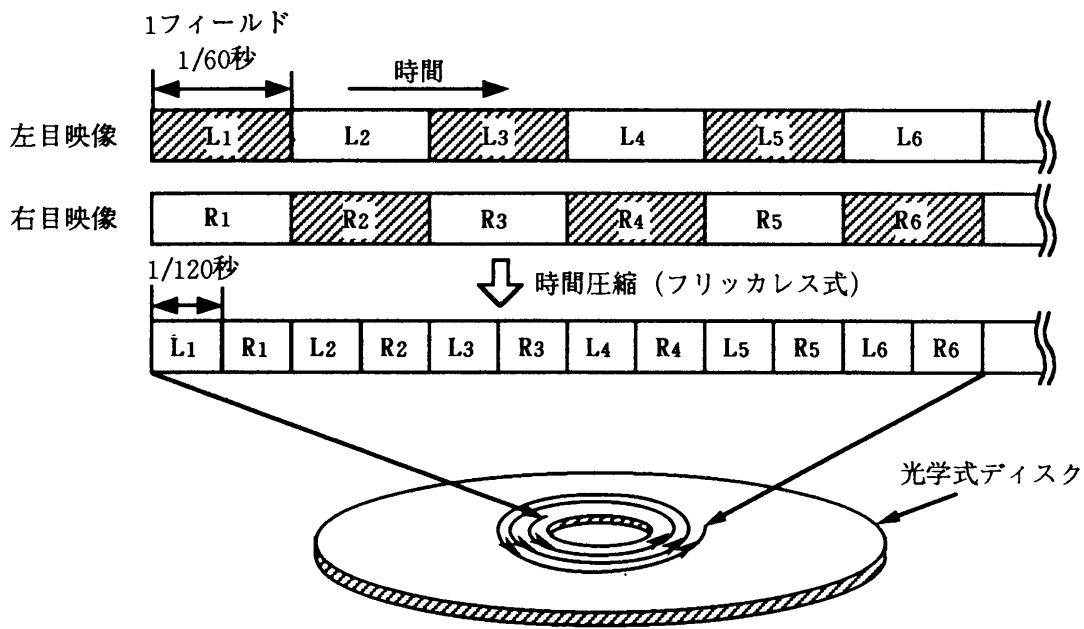
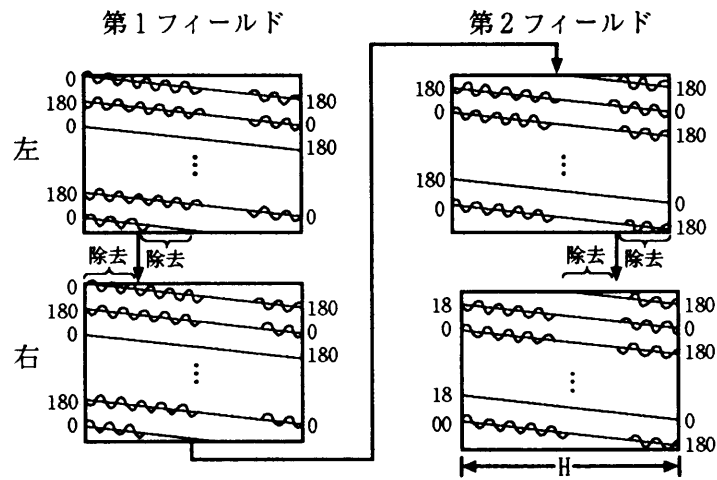


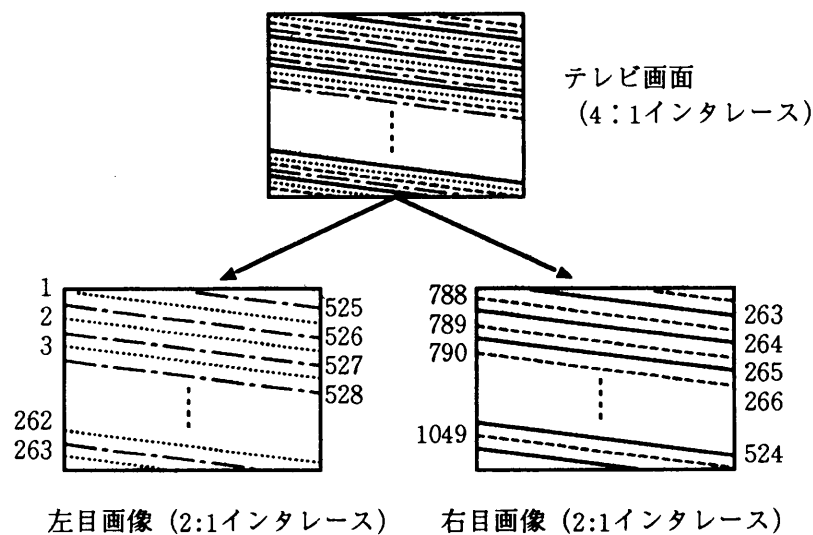
図5.2 倍速NTSC立体映像信号

本システムではこれらの問題を解決するために、新しく4 : 1 インタレース方式を考案した。この様子を図5.3 (a)に示す⁽³⁾。左目用映像の第1フィールドと右目用映像の第1フィールドの接続部において、各フィールドの最初、又は最後の走査線を $H/4$ (H は1水平走査期間)ずつ除去して接続する。第2フィールドの接続部においても同様のことを行う。このような接続を行うことによって水平同期信号、及び色信号サブキャリアの位相連続性を保つことが可能となった。図中、0, 180とあるのは、その走査線の始点及び終点における色信号サブキャリアの位相角度である。

また、この時分割立体映像信号は、左目映像の第1フィールドから始まって右目映像の第2フィールドで終わるまで4フィールドで1フレームを構成し、その走査線の本数は本来の1050本より1本少ない1049本である。1フィールド当たり262.25本の4:1インタレースを形成している。図5.3 (b) は、この4:1インタレースの様子を示したものである。これを液晶シャッターメガネにより左右映像に分離してみると、1フレーム当たり524.5本の走査線を持つ2:1インタレース映像となっていることが分かる。これは、本来のNTSCと全く同等の画質であり、従来のように立体映像の垂直解像度が半分になるようなことはない。



(a) サブキャリアの連続性



(b) 4:1インタレース画像の立体視

図5.3 4:1インタレース

図5.4に4：1インタレース用の垂直同期信号の波形を示す。通常のNTSC映像信号の垂直同期信号には、水平同期信号の連続性を保ち、かつ2：1インタレースを正確に行うためにH/2ごとに等化パルスが挿入されている。この4：1インタレース倍速NTSC立体映像信号の場合にも同様の理由から、H/4ごとに等化パルスを挿入した。

以上の結果、得られる4：1インタレース倍速NTSC立体映像信号の諸元をまとめると表5.1のようになる。各パラメータは概ねNTSC映像信号の2倍である。

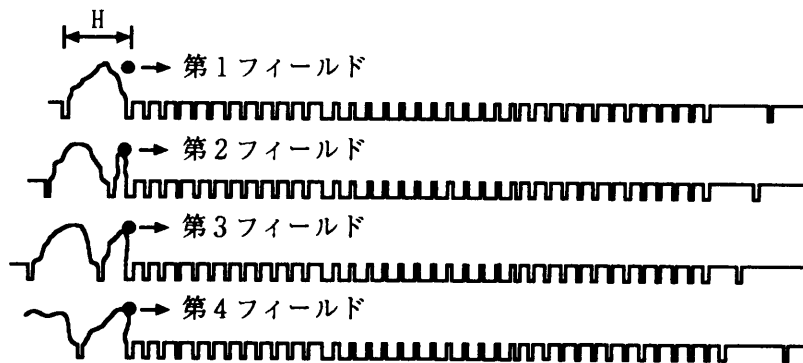


図5.4 4：1インタレース垂直同期信号

表5.1 倍速NTSC立体映像信号のパラメータ

信号名	周波数
垂直同期 f_{V3D}	$2f_v$
水平同期 f_{H3D}	$2f_H \cdot 1049/1050$
サブキャリア f_{SC3D}	$2f_{sc} \cdot 1049/1050$
ビデオ信号帯域	8.4 MHz

(注： f_v, f_H, f_{sc} は、NTSC信号の周波数)

5.4 ディスク記録フォーマット

倍速NTSC立体映像信号の信号帯域幅は8.4 MHzである。これは、第2章で述べたMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクに記録したMUSE信号の帯域幅8.1 MHzとほぼ同等である。よって、フリッカレス立体ビデオディスクの信号記録フォーマットを設計するに当たっては、レーザ波長が780 nm、レンズのNAが0.5のピックアップを持った片面30分再生のMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク⁽⁴⁾との互換性を前提に行った。これは立体映像システムの応用としては、長時間再生の要望がなく、CLVディスクの片面で30分の再生ができれば十分だからである。

ディスクに記録する信号としては、次の四つが挙げられる。

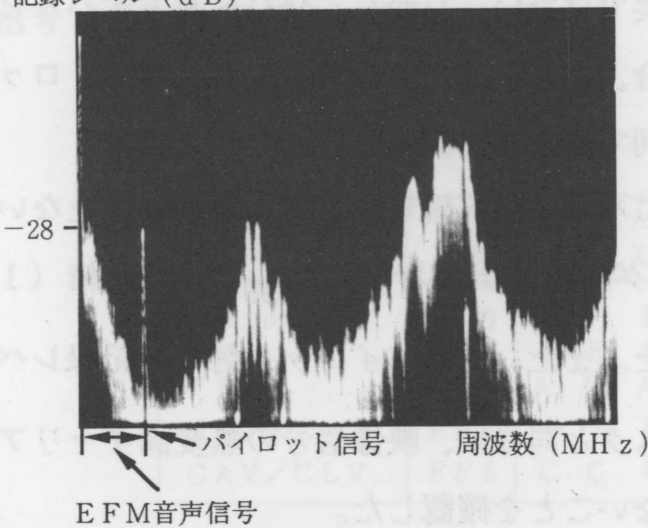
- ①倍速NTSC立体映像信号
- ②パイロット信号
- ③PCM音声信号
- ④インデックス信号

以下、これらの各信号について具体的に述べる。

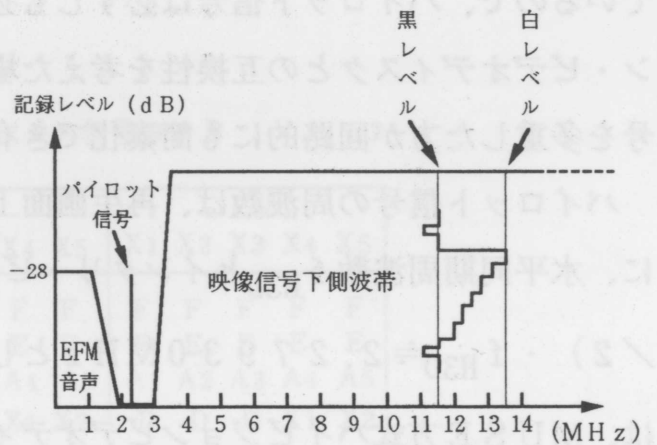
5.4.1 倍速NTSC立体映像信号

映像信号の記録には、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクと同じく、低搬送波FM変調方式を用いた。倍速NTSC立体映像信号の場合、図5.5の写真(a)に示すように⁽³⁾、色信号のカラーサブキャリアに非常に大きなエネルギーが存在している。このような大きなエネルギーがあると、低搬送波FM変調方式の第2側帯波といえども無視できない。そこで、この第2側帯波が映像信号の基本帯域に入り込まないように、FM変調キャリアを映像信号の約1.5倍になるように設定した。黒レベルで11.5MHz、白レベルで13.5MHzである。

記録レベル (dB)



(a) 記録信号スペクトラム写真



(b) 記録信号アロケーション

図5.5 記録信号スペクトラム

第3章の図3.1に半導体レーザの波長が780nmで、レンズNAが0.5のピックアップのMTFを示す。線速度を18m/sとすると映像信号の白レベルの周波数でピット長は0.66 μ m程度となりC/Nで63dBが得られる。以上のパラメータを第2章

の計算式(2.22)に代入するとS/Nとして31dBが得られる。また、この立体映像信号に記録するとき用いるエンファシス量は $m=3$ であるため、9.5dBのS/N改善度が期待できる。その結果、再生立体映像として40.5dBのS/Nが得られることになる。立体映像を立体視した場合、視覚的に6dBほどS/Nが向上すると言われていたため、視覚的には総合S/Nは46.5dBとなる。CAVディスクの場合、記録可能領域は半径95~145mmの範囲で、トラックピッチを $1.65\mu\text{m}$ に設定したため、再生時間は約17分となった。

また、CLVディスクの場合は、線速度を 18m/s で半径55~145mmに記録することで約30分の再生時間を確保した。

5.4.2 パイロット信号

第3章で述べたMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムでは、ディスクの回転制御及び映像信号の時間軸補正を行うためにパイロット信号を周波数多重した。これは、前述のMUSE信号が正極性同期であり、現行のビデオディスクが行っているような負極性同期による回転制御や、カラーバースト信号による時間軸補正ができないからである。倍速NTSC立体映像信号は負極性同期であり、またカラーバースト信号も含まれているので、パイロット信号は必ずしも必要ではない。しかし、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクとの互換性を考えた場合、この立体ビデオディスクにもパイロット信号を多重した方が回路的にも簡素化でき有利であると判断した。

パイロット信号の周波数は、再生画面上にパイロット信号による妨害が目立たないように、水平同期周波数 f_{H3D} とインタリービング関係になるような f_{H3D} の半整数倍 $(145/2) \cdot f_{H3D} \doteq 2.27930\text{MHz}$ とした。また、このパイロット信号の記録レベルは、MUSE方式ハイビジョンビデオディスクと同様に、映像信号の無変調キャリアに対して-28dBのレベルで多重すれば問題ないことを確認した。

5.4.3 PCM音声信号

フリッカレス立体ビデオディスクの音声信号は、高音質のPCM音声記録であることが望ましい。図5.5の記録信号スペクトラムに示すように、パイロット信号周波数をMUSEディスクの場合とほぼ同じに設定したため、パイロット信号より下の周波数領域に2MHz程の帯域余裕ができた。この部分にPCM音声信号を周波数多重した。PCM音声

信号としては、互換性の観点からMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクと同様に、EFM音声信号⁽⁵⁾を採用した。これにより、量子化ビット数が16ビット、音声帯域が20kHzのステレオ高音質音声を実現した。また、記録レベルは、パイロット信号と同じく-28dBとした。

5.4.4 インデックス信号

ディスク上には大量の画像が記録可能であり（CAVで30600フレーム、CLVで54000フレーム）、その中から任意の1フレームを検索したり、プログラムの頭出しをするために、フレームごとにアドレス信号を多重した。このアドレス信号は5桁のBCD（Binary Coded Decimal）符号であり、マンチェスタ符号を用いて変調した後、垂直同期信号より後の部分に多重した。ビットレートは、 $f_{SC3D}/2 = 3.58 \text{ bps}$ である。

このマンチェスタ符号は、周波数が2倍になるという欠点はあるものの、クロック再生及びエラー検出の点において非常に有効である。

その他にディスクに記録するコントロール信号として、プログラムの始めを示すリードイン信号、終わりを示すリードアウト信号、チャプタ信号、CAV/CLV判別信号などがある。表5.3にこれらをまとめて示す⁽⁶⁾。なお、これらの信号の前に、12ビットの同期信号（16進FF5）を付加した。

表5.3 インデックス信号コード

ディスクのモード インデックス	同期	CAV					CLV				
		X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5
Lead-in	FF5	0	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Lead-out	FF5	0	E	E	E	E	F	E	E	E	E
アドレス	FF5	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
チャプタ	FF5	D	D	D	X1	X2	D	D	D	X1	X2
CAV/CLV	FF5	C	C	C	C	C	F	C	C	C	C

5.5 ディスク・カッティング装置

図5.6に倍速NTSC立体映像信号変換回路のブロック図を示す⁽⁷⁾。2台のカメラ、VTR、テレシネなどを同期駆動して得られる左目用及び右目用の2つのNTSC映像信号をそれぞれA/D変換器に入力する。そして、 $4f_{sc}$ のクロックで同時にサンプリングし、各8ビットのデータに変換する。このデジタルデータを左右の各チャンネルの第1、

第2フィールドメモリに交互に記録する。そして、記録のときの2倍の速さ、正確には $8f_{sc} \cdot (1049/1050)$ のクロックで、図5.2に示されるような順番 ($L_1 \rightarrow R_1 \rightarrow L_2 \rightarrow R_2$) で読み出す。この信号に4:1インタレース垂直同期信号を付加した後、D/A変換することで、フリッカのない倍速NTSC立体映像信号を得ることができる。

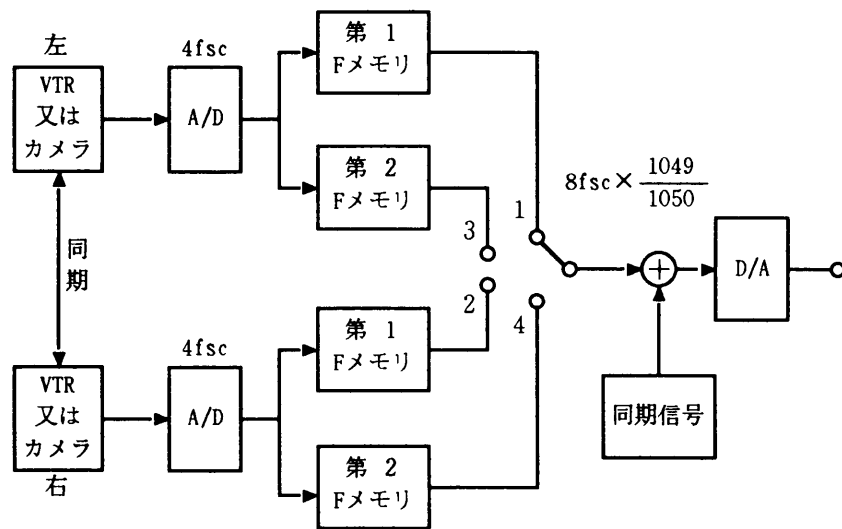


図5.6 倍速NTSC立体映像変換

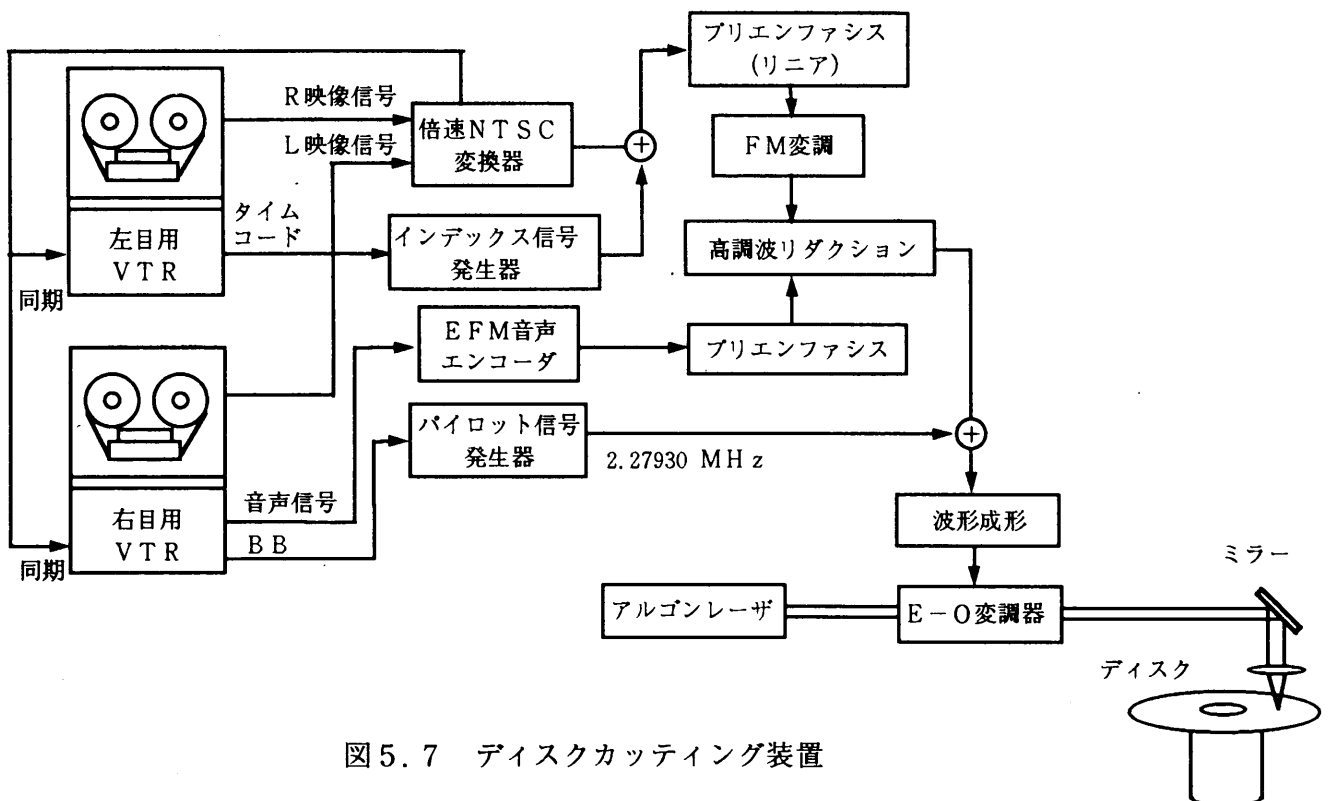


図5.7 ディスクカッティング装置

次に、この信号をディスクに記録する構成図を図5.7に示す。まず、倍速NTSC立体映像信号の垂直ブランキング期間内にマンチェスタ符号化したインデックス信号をベースバンド多重した後、リニアエンファシスをかけてFM変調する。そして、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスクのカッティング装置と同様にFM変調された映像信号とEFM音声信号を周波数多重した後、FM変調によって生じる映像信号の高調波側帯波成分を減少させる処理を行った。そして、この高調波側帯波成分が取り除かれた部分に、パイロット信号を多重した後、波形整形により2値信号に変換してアルゴンレーザをE-O（電気-光）変換器で光強度変調することで、ガラス原盤に塗布したフォトレジストを感光させ信号を記録している。

5.6 再生システムの構成

図5.8に再生システム系全体の構成ブロック図を示す。基本的には第3章のMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムで再生できるようにディスク信号記録フォーマットを決めたため、再生システムの構成はほぼ同じであるが、一部で信号処理を変更している。

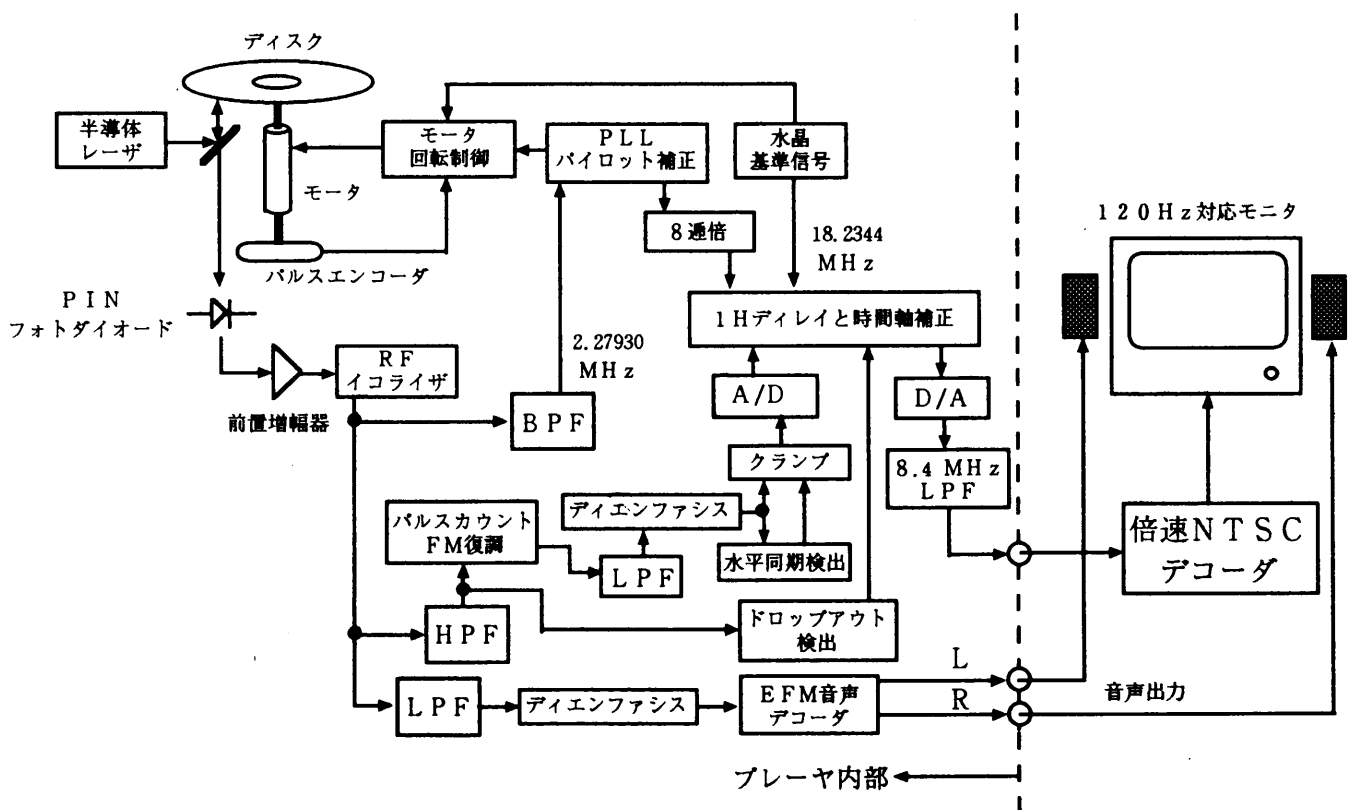


図5.8 再生システムブロック図

5.6.1 時間軸補正と映像再生

MUSEディスクと同様にパイロット信号成分は、再生RF信号からBPFで取り出され、ドロップアウトによるパイロット信号欠落を防ぐためにPLL回路で補正された後、ディスクの回転制御と時間軸補正に使用される。このディスク信号記録フォーマットのパイロット周波数は、先に述べたように、MUSEディスクの場合と多少異なっているため、システムの基準クロックをそれに合わせて多少変更する必要があるが、回路構成は共通に使用することができる。

光ディスクから反射されたレーザ光は、PINホトダイオードで光電変換され、前置増幅器で増幅後、RFイコライザで等化される。これにより、ディスクから再生されたFM映像信号の再生系伝達歪みを補正することができる。その後、HPFでパイロット信号及び低域多重EFM音声信号を除去した後、FM復調を行う。復調には、パルスカウント復調方式を採用している。復調出力は、ディエンファシス回路を経て、時間軸補正された後、倍速NTSC立体映像信号として出力される。

時間軸補正の前のA/D変換におけるクランプは、倍速NTSC立体映像信号が負極性同期を持っているため容易に同期検出することができ、MUSEディスクの場合よりも簡単にクランプを行うことができる。一方、ドロップアウトに関しては1H前の信号と置き換えている。

倍速NTSCデコーダ部ではこの倍速NTSC立体映像信号からカラーサブキャリアを抜き出して色復調を行い、マトリックス回路を通してR、G、B信号としてフィールド周波数が120Hzに対応したディスプレイに入力して立体映像の表示を行う。

5.6.2 音声の再生

図5.8に示すように低域に記録したEFM音声信号は、ディスクからのRF信号をLPFに通した後、取り出される。そして、ディエンファシスされた後にEFM音声デコーダ回路でディンタリーブ及び誤り訂正を行い、D/A変換することで、サンプリング周波数44.1kHz、量子化ビット数16ビットの高音質な2チャンネル音声信号が再生される。この周波数多重したEFM音声信号の再生アイパターンを図5.9に示す⁽⁶⁾。

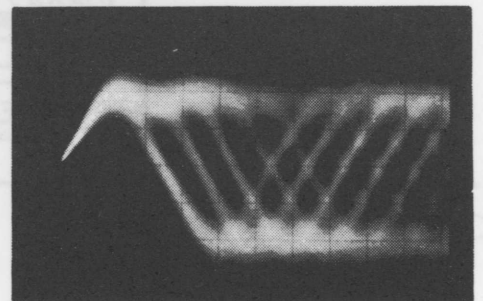


図5.9 EFM音声信号アイパターン

5.7 立体映像再生方法⁽⁶⁾

図5.10に本システムを用いた代表的な立体映像再生方法を示す。CRT及びプロジェクタは、いずれも120Hzフィールド周波数で動作するものである。

- (a) の方式は、CRT上に映し出された立体画像を液晶シャッターメガネを介して見る方法で、家庭用など、少人数で見るのに適している。本システムでは、液晶シャッターメガネを赤外線リモコンで制御することによりワイヤレスとし、煩わしさを少なくしている⁽⁸⁾。
- (b) の方式は、(a)の方式を変形したものであり、CRT画面の前に液晶シャッターを置き、これを偏光メガネで見る方式である。この方式では、CRT画面と同じ大きさの液晶シャッターが必要であるが、メガネの構成が簡単になる利点がある。
- (c) の方式は、2台のプロジェクタの前に偏光フィルタを置き、これを偏光メガネを介して見る方式であり、それぞれのプロジェクタは左右どちらかの映像だけを投写するようにシャッター制御信号によりコントロールされている。このプロジェクタを用いた方式は、多人数で見るのに適している。

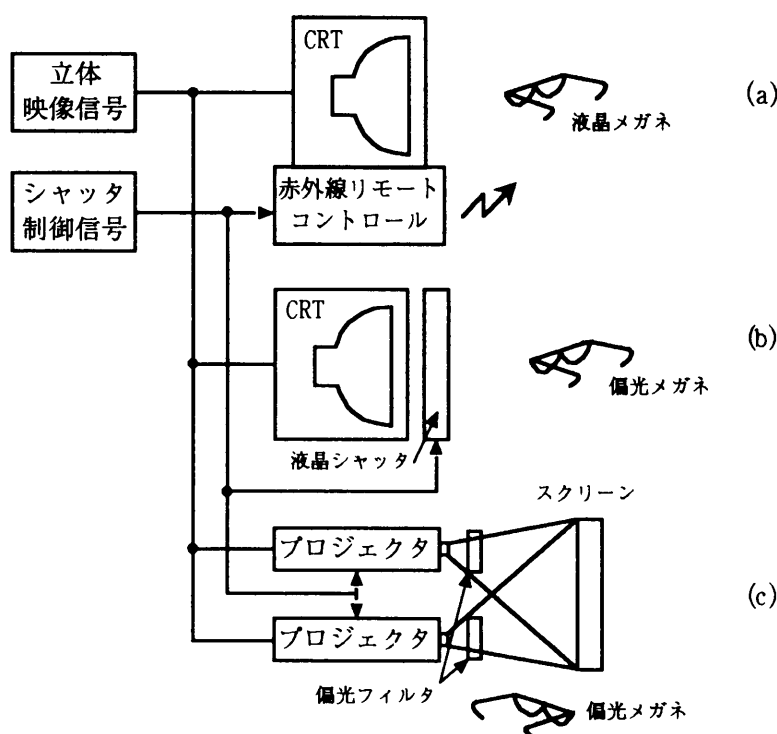


図5.10 立体映像再生方法

上述したいずれの方式も、本システムのフリッカレス立体映像信号の使用が可能で、フリッカ及び解像度劣化のない明るい立体映像を得ることができた。

また、映像信号を立体で再生する必要がない場合は、シャッタ制御信号を用いて左右どちらかの映像をディスプレイ内でブランキングすることにより、簡単に2次元映像再生を行えるようにした。この場合は、NTSC方式の映像を見ていることに等しい。

5.8 ディスク及びシステム仕様

今回開発したフリッカレス立体ビデオディスク・システム及びディスクの仕様を表5.4、表5.5に示す。

表5.4 ディスク仕様

ディスクのモード ディスクパラメータ	CAV	CLV
記録半径 (mm)	95~145	55~145
ディスク回転数 (rpm)	1800	3100~1200
線速度 (m/s)	18~27	18
トラックピッチ (μm)	1.6~1.65	
記録時間 (両面) (min)	34	60
ディスク直径 (mm)	300	

表5.5 フリッカレス立体ビデオディスク・システムの仕様

映像信号	記録信号	倍速TSC立体映像信号
	記録方式	FM変調方式
	白黒周波数偏移	2 MHz
	映像FM変調	11.5~13.5 MHz
	エンファシス	$m=3$, $T=0.39\ \mu\text{s}$,
パイロット信号	周波数	72.5f _{HSD} (2.27930 MHz)
	記録レベル	-28 dB (無変調キャリアに対し)
音声信号	サンプリング周波数	44.1 MHz
	再生帯域幅	20 Hz~20 kHz
	量子化ビット数	16ビットリニア
ピックアップ仕様	レーザ波長	780 nm
	対物レンズNA	0.5

5.9 むすび

本章では、両眼視差方式の時分割立体映像表示の課題であったフリッカと垂直解像度の劣化を解決する新しい映像信号形式を提案するとともに、MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムを再生システムとしたフリッカレス立体ビデオディスク・システムの研究について述べた。システム仕様の要件及びディスク信号記録フォーマット確立のための各種信号の記録条件を検討した結果をまとめると以下のようになった。

- ①フリッカと垂直解像度の劣化が無い高画質立体映像を実現するために、垂直同期周波数120Hz、走査線数1049本の4:1インタレース倍速NTSC立体映像信号を提案した。
- ②4:1インタレース倍速NTSC立体映像信号の信号帯域幅は8.4MHzであり、MUSE信号の信号帯域幅8.1MHzとほぼ同等である。そのため、再生システムに波長780nm、NA0.5のピックアップを用いた片面30分再生MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システムを用いることをシステム仕様の基本とした。
- ③線速度18m/s、トラックピッチ1.65 μ mのディスクにFM変調キャリア周波数12.5MHz、白黒周波数偏移2MHzで映像信号を記録して、片面30分（両面：60分）の再生時間を実現した。
- ④リニアエンファシスの最適化を行い、エンファシス量 $m=3$ とし9.5dBのS/N改善で十分であることを確認した。
- ⑤モータ制御及び時間軸補正用信号として、周波数が $(145/2) f_{H3D}$ のパイロット信号を周波数多重した。また、その多重レベルが無変調キャリアから-28dBの値が最適であることを確認した。
- ⑥MUSEディスクと同様に、高調波リダクション法を用いてEFM音声信号を無変調キャリアから-28dBの値で周波数多重記録し、直線量子化音声の記録を実現した。

以上の結果に基づいて著者が開発したフリッカレス立体ビデオディスク・システムは、ディスク1枚に左目、右目の情報を記録しているため、系統的に小規模であり取り扱いが簡単である。フリッカ及び解像度劣化がない画質の良さから、アミューズメント分野、医療、コンピュータグラフィックス、工業用などの各種方面での応用が可能である。

<参考文献>

- 1) 平田 渥美、鈴木清明：“ 3次元ディスプレイ—種々の方式とテレビジョンへの応用—”，テレビジョン学会誌，Vol.41，No.7，pp.610-618(1987)
- 2) 磯野春雄、安田稔：“ 時分割立体視の成立条件”，テレビジョン学会技術報告，Vol.10，No17，pp.19-24(1986)
- 3) T.Hioki, T.Toyama, Y.Morita, H.Watanabe (SANYO), H.Isono, M.Yasuda, H.Kusaka, M.Yamada (NHK): "Flickerless 3D Laser Video Disc System", SMPTE Television Technology in Transition, pp.95-106(1988)
- 4) Toshiaki Hioki, Tateo Toyama, Yoshihiko Morita, Hiroshi Watanabe, Katsutoshi Hibino, Makoto Yamada: "HI-VISION OPTICAL VIDEO DISC" IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.34, No.1, pp.72-77(1988)
- 5) 規格 I E C 9 0 8 "System Description Compact Disc Digital Audio" N.V Philips and Sony Corporation
- 6) 日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志、寺崎均、外山建夫：“ フリッカレス立体ビデオディスク”，SANYO TECHNICAL REVIEW, VOL.20, NO.2, pp.9-15(1988)
- 7) S.Minechika, T.Hioki, K.Hibino, H.Watanabe: "FLICKER-FREE 3D MONITORING SYSTEM", THREE DIMENSIONAL MEDIA TECHNOLOGY, PROCEEDINGS OF THE 1989 INTERNATIONAL CONFERENCE, pp.145-153(1989)
- 8) 日置敏昭：“ フリッカレス光学式立体ビデオディスク”，テレビ技術，1988年1月号，pp.20-25(1988)

第6章 MPEG 2 立体ビデオディスク・システム

6.1 まえがき

前章までのシステムでは、直径30cmの光ディスクにアナログ（FM変調）で広帯域映像信号の記録を行ってきた。ところが、最近のマルチメディア環境を睨んだ動きとして、すべての情報をデジタルで処理しようという傾向が加速的に進みつつある。このような環境の中、CD-ROMディスクを用いた立体ビデオディスク・システムの実現が望まれるようになってきた。CD-ROMを使用すれば、ディスクサイズが直径12cmと小型であるため、システム全体の取り扱いが簡単にできるという特徴がある。

これまでのCD-ROMに記録するデジタル映像信号の代表は、MPEGデジタル圧縮規格⁽¹⁾で規定されたパッケージメディアをターゲットとしたMPEG1⁽²⁾である。このMPEG1は非常に圧縮率が高いため、再生システムでのデータ転送レートを1.15Mbpsと非常に低くできるものの、再生画質に関しては、レーザディスク等と比較すると垂直解像度が半分しかなく、劣化が顕著である。即ち、このMPEG1を用いて、そのまま立体用の左目、右目用の2チャンネルの広帯域映像信号を記録したとしても、実用的なシステムを構築することは不可能である。

そこで、これらの問題を解決するために、高速転送レートCD-ROMシステムを構築して高画質対応のMPEG2デジタル圧縮データの記録を可能にするとともに、ディスクの大容量化を図り再生時間の確保を行った。本章では、現在、最も波長の短い635nm短波長レーザ⁽³⁾をピックアップに採用して実現した4倍密度CD-ROMに、MPEG2デジタル圧縮立体映像信号を記録したMPEG2立体ビデオディスク・システムに関する研究について詳しく述べる。

6.2 広帯域立体映像信号とデジタルデータ圧縮技術

高画質化のためには、データ圧縮比を下げデータ転送レートを上げる必要がある。ただし、現行のCD-ROMをそのまま回転数を上げることでデータ転送レートを上げて用いても、1枚のディスクにおける再生時間が短くなり、実用上問題が生じる。仮に、データ転送レートを現行のテレビ放送並みの画質が得られる4Mbpsとした場合には、現行のCD-ROMのディスク回転数を4倍程度に上げる必要があるが、再生時間は1/4の1

5分程度まで短くなってしまふ。したがって、高ビットレートのMPEG2を採用し、かつ立体映像という広帯域映像信号を長時間再生するためには、ディスクの大容量化、すなわち高密度化が必須条件である。

以下に、MPEG2立体ビデオディスク・システムの研究に際して実現したCD-ROMディスクの高密度化技術、その高密度ディスクに立体映像データを記録するためのディスク記録フォーマット、ディスクに記録されたデータを読み出すシステム制御技術といったシステムを構成する要素技術に関して述べる。

6.3 4倍密度CD-ROMディスクの開発

4倍密度CD-ROMディスクは、高密度ディスクカッティング、短波長半導体レーザー搭載の高分解能ピックアップといった要素技術、要素部品の開発により実現されたものである。以下に、これらに関して詳しく述べる。

6.3.1 高分解能ピックアップ

現行CDで用いられる780nmレーザーよりも短波長の635nmAlGaInP系赤色半導体レーザーを使用した高分解能光ピックアップを開発した。このピックアップの信号再生特性向上のために、NAが0.6の対物レンズを採用した。

635nm赤色半導体レーザーの利用と、ピックアップ光学系の最適化を図ることで、回折限界にはほぼ近い、 $0.9\mu\text{m}$ ($1/e^2$)のスポット径が得られた(図6.1)。

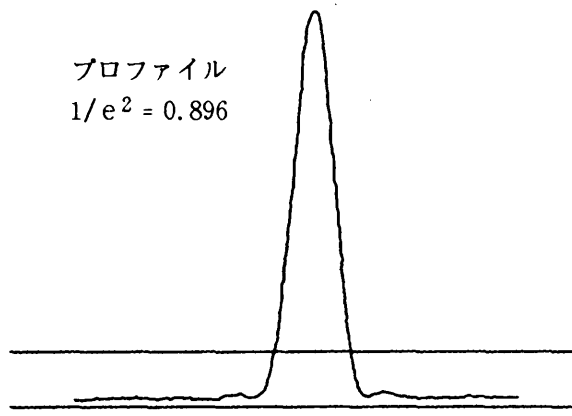


図6.1 ピックアップレーザービーム径

今回、開発した高分解能ピックアップの主な仕様を表6.1に示す(4)。

表6.1 ピックアップ仕様

対物レンズ NA	0.6
レーザ波長	635 nm
対物レンズ出射パワー	0.3 mW
エラー信号検出	
フォーカス	非点収差法
トラッキング	3ビーム法

6.3.2 ディスクカッティング装置

4倍密度ディスクを実現するには、ピット長を、現行のCD-ROMの半分にする必要がある。そのような、小さなピットで、実用上十分なC/Nを得るには、ディスク・マスタリング行程及び複製行程(付録1参照)の開発が必要である。そのため、ディスク・マスタリング行程のスタンパに形成されるピットの形状及び品質を向上させるために、Krレーザをもちいたカッティング装置を開発した。ディスク・カッティング装置の構成を図6.2に示す(5)。

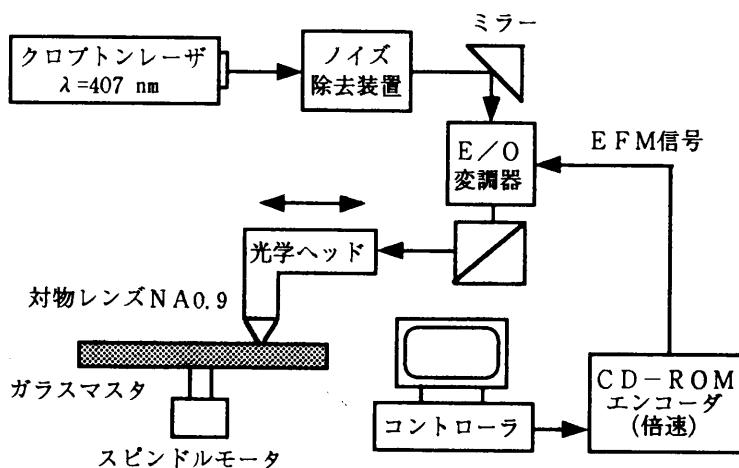


図6.2 ディスク・カッティング装置の構成

小さなピットで良いC/Nを得るには、カッティング装置のレーザ波長を短くする必要がある。これまでのアナログFM変調記録の場合では、458nmのArレーザを用いたが、このディスクの開発に当たっては、407nm波長のKrレーザとNA0.9の対物

レンズを用いることでビームサイズを絞った。その結果、半径0.3ミクロン以下の小さなピットを記録することが可能となった。映像、音声データはエンコード装置で符号化され、レーザビームをON/OFFしてディスク表面に塗布されているフォトレジストを感光させてピットイメージを記録する。

6.3.3 4倍密度CD-ROMディスク

4倍密度CD-ROMディスクの物理フォーマットを決定するため、635nm短波長の赤色半導体レーザピックアップを用いてディスクパラメータの検討を行った。デジタル信号記録の場合は、トラックピッチと線速度がその主要なパラメータである。

(1) トラックピッチ

ディスクの記録密度を上げるにはトラックピッチを狭くし、記録線速度を遅くしなければならない。しかし、トラックピッチを狭くしすぎると隣接トラックからのクロストークが増大する。デジタル記録の場合のクロストークは、これまで述べてきたFM変調記録の場合のように隣接トラックとの周波数差に比例して増加するようなことはなく純粋にクロストーク量がそのまま妨害信号となる。つまり、記録信号周波数に無関係にトラックピッチだけに注目したクロストーク量から適切なトラックピッチを決定すればよい。そこで、クロストークのトラックピッチ依存性を評価した結果を図6.3に示す。

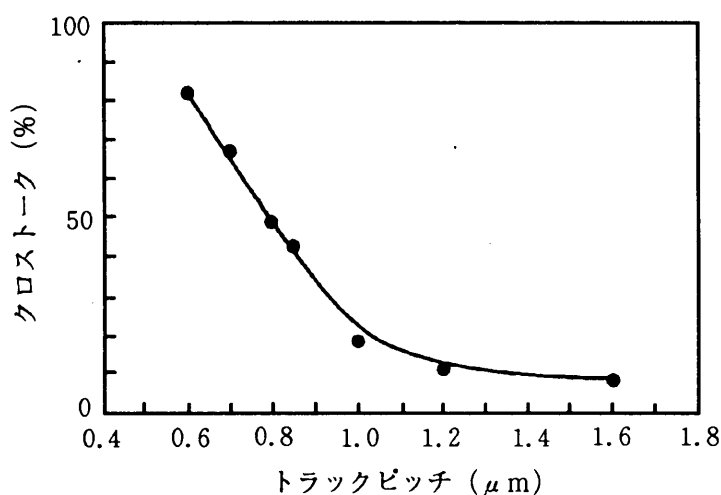


図6.3 クロストークのトラックピッチ依存

ここでクロストークとは、オントラック時の再生RF信号の大きさと、トラックとトラックの間をトラッキングした場合の両側トラックからのRF信号の漏れ込みの大きさと

の比である。図6.3が示す⁽⁵⁾ように、トラックピッチが $0.8\ \mu\text{m}$ のとき、約50%のクロストークが得られた。

次に、トラッキングエラー信号のトラックピッチ依存性を図6.4に示す⁽⁵⁾。

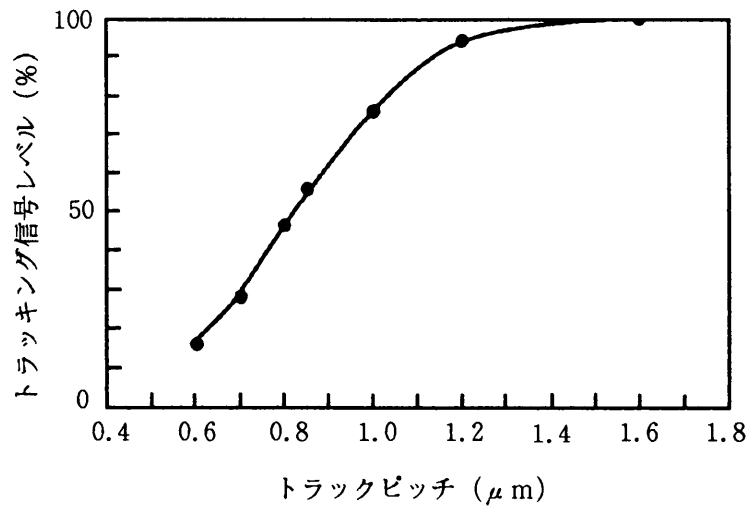


図6.4 トラッキングエラー信号のトラックピッチ依存性

トラックピッチの変化とともにトラッキングエラー信号の大きさも変化し、トラックピッチが $0.8\ \mu\text{m}$ のとき、現行CDにおける $1.6\ \mu\text{m}$ のときと比べ、約50%に減少している。なお、トラッキングエラー検出方式には、3ビーム方式を採用した。

現行CD規格においては、クロストークは50%以下に規定されているので、トラックピッチが $0.8\ \mu\text{m}$ 以上であれば、CD規格を満足することになる。また、トラッキングエラー信号量としても、サーボ回路系のゲインを上げることで対応できるため、トラックピッチを $0.8\ \mu\text{m}$ 程度で十分な制御信号が得られることが検証できた。

(2) 線速度

再生ピックアップの周波数特性により、ピット長が長いほどC/Nは高くなるため、記録線速度は速い方が望ましい。しかし、この値は必要再生時間とトラックピッチの許す範囲で設定しなければならない。そこで、トラックピッチを $0.8\ \mu\text{m}$ とし、EFM信号の最大周波数信号である3T信号におけるC/Nの記録線速度依存性を評価した。その結果を図6.5に示す⁽⁵⁾。再生時の線速度は記録線速度の4倍である。記録線速度の低下に伴いC/Nは低下するが、記録線速度が $0.6\ \text{m/s}$ でのC/Nは、53dBが得られ、実用上十分といわれる50dBを越えている。

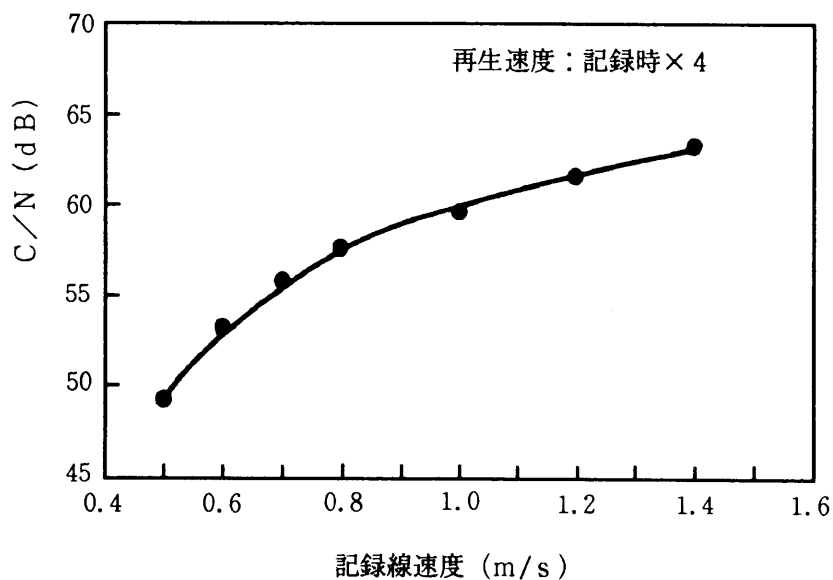


図 6.5 C/N比の線速度依存性

(3) ディスク仕様

以上の検討結果から、トラックピッチ $0.8 \mu\text{m}$ 、記録線速度 0.6 m/s の条件で十分使用可能なディスクが得られることが分かった。このトラックピッチと線速度の組合せは、現行CD-ROM (トラックピッチ $1.6 \mu\text{m}$ 、線速度 1.2 m/s) の4倍となる条件である。更に、レプリカディスク量産時のマージンを考慮して、表6.2の条件でレプリカディスクを試作した。トラックピッチを $0.85 \mu\text{m}$ 、記録線速度を 0.6 m/s としたときの値である。記録容量は3Gバイトとなる。

表 6.2 4倍密度ディスク仕様

直径 (mm)	120
厚さ (mm)	1.2
トラックピッチ (μm)	0.85
最短ビット長 (μm)	0.42
記録半径 (mm)	25~58
記録容量	3Gバイト
記録フォーマット	CD-ROM mode-2

図6.6にそのディスク表面の顕微鏡写真を示す⁽⁵⁾。ピット長、トラックピッチが半分になっていることが分かる。このディスクを波長635nmのピックアップで、2倍速(2.4m/s)再生したときのブロックエラーレートは 3×10^{-3} 以下と、現行CDと同等な特性が得られた。図6.7に再生信号のアイパターンを示す⁽⁵⁾。

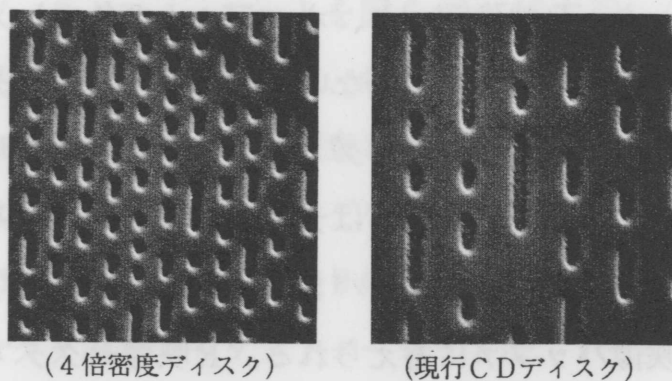


図6.6 ピットの顕微鏡写真

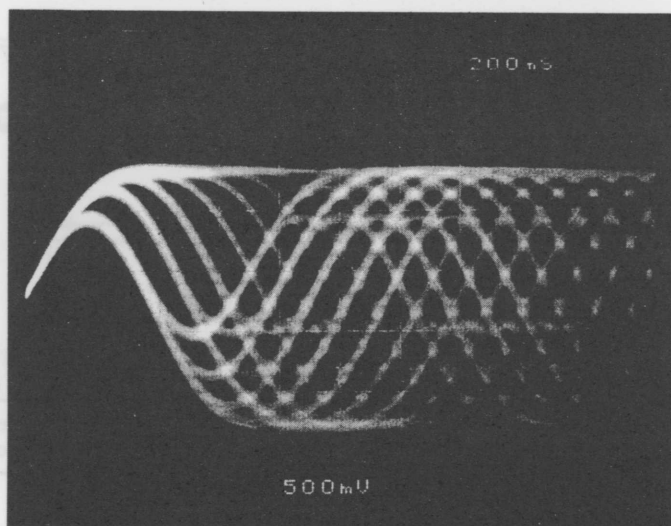


図6.7 再生信号のアイパターン

6.4 ディスク記録フォーマット

この4倍密度CD-ROMディスクの開発により、CDサイズのディスクを用いて左目用と右目用の2チャンネルの広帯域信号をMPEG2を用いて画像圧縮しても実用上十分な再生時間が確保できるMPEG2立体ビデオディスク・システムの実現が可能となった。次に、立体用映像データ及び音声データのディスク記録フォーマットについて具体的に述べる。

6.4.1 セクタ・インタリーブ

立体映像を再生する場合、左目（L）と右目（R）用2チャンネル映像データと音声データが、同期再生されなくてはならない。図6.8に、再生システムでのデータフローを示す⁽⁶⁾。ここで、VL/VRはL/R映像データ・セクタ、Aはオーディオ・セクタ、Pはパディング・セクタを表す。1セクタは2352バイトで構成される。

このように、L映像データ、R映像データ、オーディオの各エレメンタリ・ストリームをセクタ単位に切り分けて、データを記録しないパディング・セクタとともにインタリーブして、ディスクに記録した。このパディング・セクタは再生時の時間調節のため、必要に応じて挿入する。再生時、これら各セクタはディスクから順次読み出される。そのセクタがオーディオ・セクタなら、オーディオ・バッファに一時、蓄えられる。また、L映像セクタのデータなら、L映像バッファに蓄えられる。R映像セクタでも同様である。そして、デコードの時刻になると、データは各デコーダに送られデコードされる。

このように、バッファの蓄積量はセクタ・インタリーブに依存するため、ディスク作成の際には、各デコーダのバッファが、オーバーフローあるいは、アンダーフローを起こさないようなインタリーブを行う必要がある。そこで、ディスク記録データを作成するオーサリング・システムに、各デコーダ・バッファ量をシミュレートしながらセクタ・インタリーブを決定するアルゴリズムを持たせた。

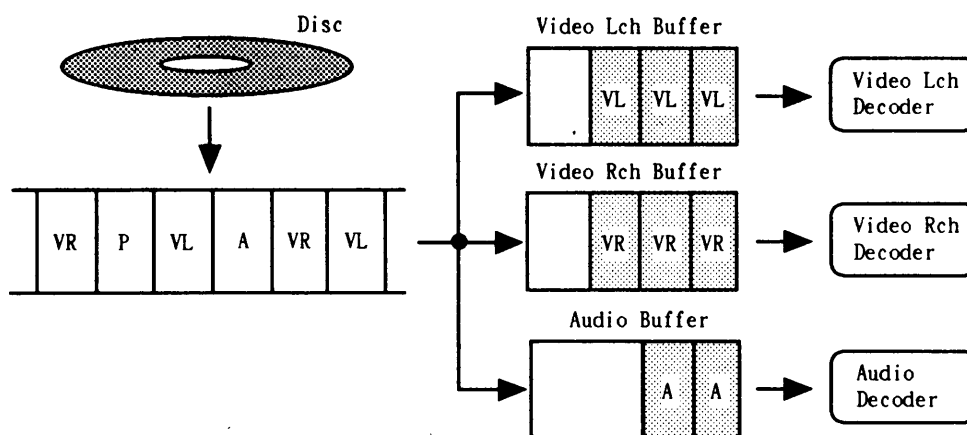


図6.8 再生システムにおけるデータの流れ

6.4.2 セクタ内の構造

ここでは、セクタ内のデータ構造を示す。セクタ内のデータ階層としては、

- ① CD-ROM mode-2 (Yellow Book) レベル⁽⁷⁾
- ② MPEGシステム・レイヤ

の2つに大別することができる。

まず、セクタ内のデータ・フォーマットを図6.9に示す⁽⁶⁾。CD-ROMのセクタは2352バイト単位で構成される。そして、各セクタはCD-ROM mode-2で決められた2336バイトのユーザデータが用意されている。このユーザデータ領域の先頭2バイトには、今回独自に定義したサブヘッダを付加した。これには、そのセクタの属性(e.g. オーディオ・セクタ)が記される。残りの2334バイトにMPEGビット・ストリームを割り当てた。セクタ内のデータ・フォーマットは、1セクタ、1パック、1パケットの構成となっている。また、各セクタ内のシステム・レイヤの基本構成は、MPEG1システム・パートに従った。MPEGの規格において、パックヘッダは12バイトの固定

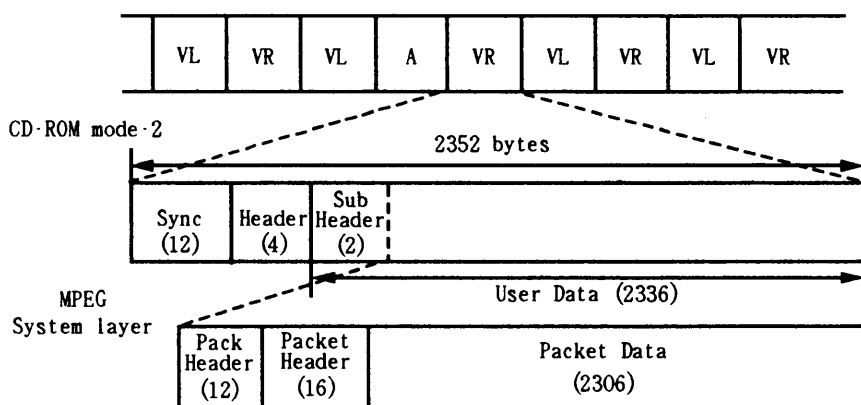


図6.9 セクタ内のデータフォーマット

長である。パケット・ヘッダは可変長を取り得ることを規定しているが、今回は、パケット・ヘッダも固定長とし、バイト長は16バイトとした。よって、パケット・データのバイト長は2306バイト固定である。このパケット・データには、MPEGビデオ・ストリーム、MPEGオーディオ・ストリーム、パディング・データのいずれかを割与えることになる。具体的には、MPEG2を用いて圧縮した右目用と左目用の2チャンネルの映像データと、MPEG1を用いて圧縮したオーディオ・データを割り当てている。この時

の立体映像信号ビットレートは2.7Mbps×2チャンネル、音声ビットレートは224kbpsである。そして、これらエレメンタリ・ストリームやタイム・スタンプ等が含まれる各種ヘッダ情報の各セクタへの配置は、バッファ使用容量の変動が最小限になるようにオーサリング・システムによって制御されている。

6.5 再生システムの構成

この再生システムの中心は、4倍速4倍密度CD-ROMドライブと、MPEGデコーダ信号処理回路、システム制御ソフトウェアである。以下に、各々について詳しく述べることにする。

6.5.1 ハードウェア構成

今回、開発したMPEG2立体ビデオディスク・システムのブロック図を図6.10に示す⁽⁶⁾。4倍密度CD-ROMには、MPEG2を用いて圧縮した右目用と左目用の2チャンネルの映像データと、MPEG1を用いて圧縮したオーディオ・データを記録している。このデータは、CD-ROMから4倍速で読み出される。そして、4倍速CDデコーダ、4倍速CD-ROMデコーダによってデコードされる。CD-ROMドライブは、SCSI I/Fを通じてメイン制御システムより制御される。メイン制御システムはCD-ROMドライブから読み出されたMPEGストリームの解析とデコードを行う。構成と

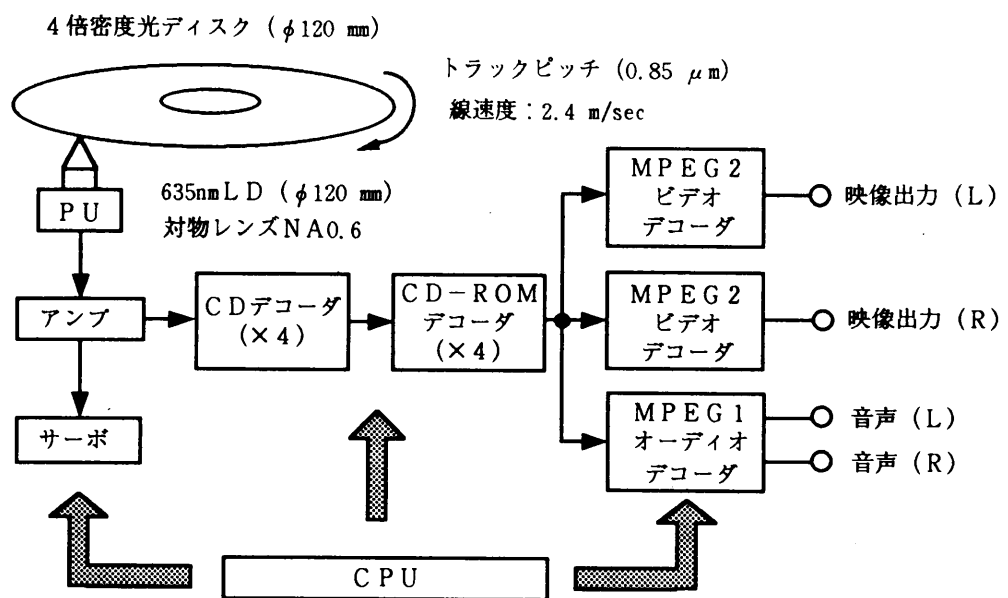


図6.10 再生システムのブロック図

しては、16ビットCPUとシステムROM/RAMが全体を制御する。そして、MP EGストリームのデコードはMP EGビデオ/オーディオ・デコーダでデータ伸長が行われ元の左目、右目用の立体映像信号に変換される。各デコーダには、一時的なMP EGストリーム・バッファリング用のRAMを持っている。出力としては、L/Rのコンポジット映像出力とS端子出力、オーディオがL/Rのステレオ出力を備える。

6.5.2 システム制御ソフトウェア

近年、マルチメディア機器のシステム制御ソフトウェア開発において、リアルタイム性の保証が必須となりつつある。ここでいうリアルタイムとは、要求時間内に処理を確実に終えるということの意味する。本再生システムにおいても、いくつかのリアルタイム処理がある。映像と音声の同期再生、CD-ROMから各デコーダへのデータ転送、各デコーダの処理等である。今回、これら各処理の基盤となるリアルタイムOSを開発した。このリアルタイムOSを搭載することで、各処理のリアルタイム性を保証している。このリアルタイムOSの特長点として、次のことが挙げられる。

①MP EGストリームとの同期を実現

このリアルタイムOSに、MP EGに適した機能を持たせるために、システム・クロックをMP EGの基準クロックである90kHzの倍数とした。そして、タイム・スタンプ同期実現のため、本リアルタイムOSで専用タイマルーチンを用意した。よって、各タスクの動作が簡単にMP EGストリームの時系列と同期させることができた。

②軽量なサイズ

本リアルタイムOSは、プログラムサイズが小さく、非常に軽量である。これにより、民生品への応用も可能である。

③アプリケーション移植のFlexibility

一般的に、リアルタイムOSを用いることで、ソフトウェア構成を疎結合にすることが可能である。これにより、アプリケーションの移植性が高まりデコードチップの変更など、仕様変更が起こった場合でも、柔軟に対応できる。

今回開発したリアルタイムOSにより、MP EG2の圧縮データをデコードするビデオデコード・タスク、オーディオデコード・タスク、映像と音声の同期再生を司るAVタス

ク、SCSI インターフェースからのデータ転送タスク、プレーヤの操作・表示を行うアプリケーション・タスクの平行処理を実現した。各タスクの構成を図6.11に示す(6)。ただし、矢印は、タスク間において情報交換があることを示す。

これらタスクの中で、AVタスクについて触れておく。AV同期を司るAVタスクは一定の周期で起床され、ビット・ストリームに記録されているタイム・スタンプ情報を元に最初のセクタがデコードを開始する時間になったときに、ビデオ、オーディオ・タスクに対してデコード開始の指示を行う。プレーヤを制御する上で、映像と音声の同期再生は、このシステムの中で重要な位置を占める。

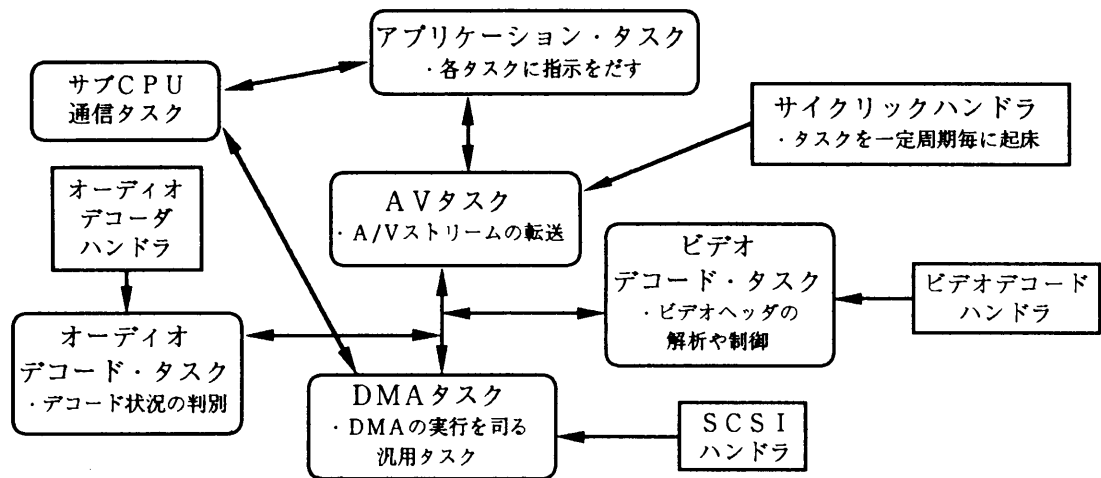


図6.11 各タスクの構成

6.6 ディスク及びシステム仕様

表6.3に今回開発したMPEG2立体ビデオディスク・システムの仕様を示す。データ記録フォーマットには、CD-ROM mode-2を採用した。これは、データ誤りが許されないコンピュータ・データとは異なって、動画プレーヤでは厳格なエラー訂正が必要ないため、エラー訂正能力が低い分だけデータ容量が多いフォーマットを選択するのが最適であると判断したからである。

なお、MPEG2立体ビデオディスクプレーヤの写真を図6.12に示す。

表6.3 MPEG2 立体ビデオディスク・システムの仕様

映像信号	映像圧縮方式	MPEG2
	映像ビットレート	3D: 2.7 Mbps × 2 ch
音声信号	音声圧縮方式	MPEG1
	音声ビットレート	224 kbps
再生信号	再生時間	70分
	出力	NTSC × 2チャンネル
ピックアップ仕様	レーザ波長	635 nm
	対物レンズNA	0.6

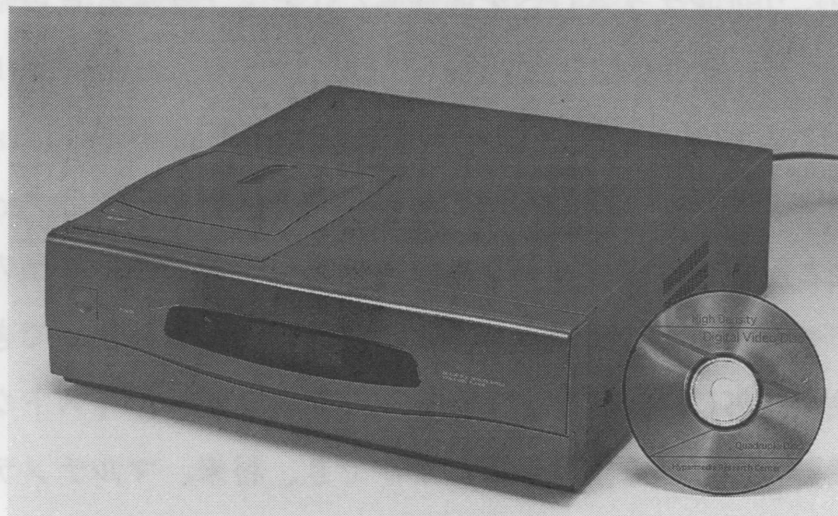


図6.12 プレーヤの外観

6.7 むすび

本章では、波長635 nmのレーザを用いて4倍密度CD-ROMディスクを実現し、MPEG2デジタル圧縮した広帯域立体映像信号を記録したMPEG2立体ビデオディスク・システムの研究について述べた。立体映像用ディスク信号記録フォーマット確立のために、4倍密度ディスクの信号記録条件や再生システム仕様の要件を検討した結果をまとめると以下のようになった。

4倍密度CD-ROMに関しては、次の結果を得た。

- ①波長635nm、NA0.6のピックアップを使用して、EFM信号の最高周波数のC/Nとして53dBが得られた。また、ブロックエラーレートは、 3×10^{-3} を実現することができた。
- ②トラックピッチ0.85 μ m、最短ビット長0.42 μ mとすることで現行CD-ROMの4倍密度に相当する記録容量3GBを実現した。

また、システム要件やディスク信号記録フォーマットに関しては、以下の結果を得た。

- ①再生システムとしてCD-ROMの4倍速度再生システムを構築し転送レート5.6448Mbpsのデータ転送レートを実現した。
- ②立体映像信号用ビットレートとして2.7Mbpsを、2チャンネル音声ビットレートに224kbpsを割り当てることで再生時間70分を実現した。
- ③データ再生制御用にリアルタイムOSを開発したことで、映像と音声の同期再生が実現できた。

以上の結果に基づいて筆者が実現したMPEG2立体ビデオディスク・システムでは、ディスクの大容量化と映像信号のデジタル圧縮技術により、12cmの小型ディスクに左目用、右目用2チャンネルの広帯域立体映像信号を記録することができた。そして、このシステムは立体映像以外に、静止画、動画、グラフィック、テキストなども同時に扱えるマルチメディア機器への発展を期待することができ、将来、マルチメディア社会のパッケージメディアの中心的存在になると考える。

<参考文献>

- 1) ITU-T Rec. H. 222.0 ISO/IEC13818-1~3
- 2) ISO/IEC 11172-1~3
- 3) H. hamada, R. Hiroyama, S. Honda, M. Shono, K. Yodashi, and T. Yamaguchi:
"IEEE J. Quantum Electron" 29(1993)1844.
- 4) 寺崎均、土屋洋一、市浦秀一、加藤清三、太田修："赤色レーザピックアップを用いた高密度CD-ROMの検討", 1993年電子情報通信学会秋期全国大会講演論文集, C-364, pp.5-74 (1993)
- 5) T.Hioki: "QUADRUPLE DENSITY CD-ROM", OPTOELECTRONICS-Devices and Technologies, Vol.10, No.3, pp.381-392 (1995)
- 6) Yuichi Kanai, Atushi Shimizu, Kazuya Ogawa, Yousuke Mizutani, Megumi Makino, Toshiaki Hioki: "MPEG2 3D PLAYER SYSTEM", IEEE Transactions Consumer Electronics, Vol.41, No.3, pp.716-723 (1995)
- 7) Compact Disc Read Only Memory System Description, ISO 10149, N. V Philips and Sony Corporation

第7章 結論

次世代の映像表現を可能とする最近の広帯域映像信号処理技術の急激な進歩を背景に、広帯域映像信号を記録したビデオディスク・システムの実現の要望が高まってきたなかで、この研究が始まった。本研究の目的は、ハイビジョン映像及び立体映像の広帯域映像信号を光ディスクに記録するためのディスク信号記録フォーマットの確立と、そのディスク再生システムの構築である。

本研究が対象にしたのは、次に示す4種類のビデオディスク・システムである。各システムとも、応用分野からの要請による独自のシステム・コンセプトを持っている。

①ハイビジョン・ビデオディスク・システム

- ・民生用途のMUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム
- ・業務用途のベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム

②立体ビデオディスク・システム

- ・フリッカと垂直解像度劣化のないフリッカレス立体ビデオディスク・システム
- ・小型ディスクにデジタル記録したMPEG2立体ビデオディスク・システム

これらのシステムのディスク信号記録フォーマットの研究は、まず最初にシステム・コンセプトを明確にし、ディスク記録用映像信号形式を考案することである。そして、ピックアップのレーザスポット径の縮小によるディスクの高密度化と、映像信号、音声信号、ディスク制御信号等の記録方法の工夫とにより、ディスク1枚で60分または120分の再生時間、40～43 dB程度の再生映像信号S/Nを実現することである。

以下に応用分野の要請に最適化し、提案を行った各システムのディスク信号記録フォーマットの主要な部分を総括することで、本研究のむすびとする。

(A) MUSE方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム

MUSEハイビジョン放送が開始された背景の下、ディスク1枚に映画ソフトを収める民生用途をめざして、直径30 cmのディスク両面で120分のMUSE信号再生をシステム・コンセプトとした。まず、レーザ波長670 nm、NA0.55のピックアップで1.07 μ mのスポット径を実現してディスクの高密度化を図った。そして、そのスポット径を基本にディスク信号記録フォーマットを確立する研究を行い、以下の結果を得た。

- ①MUSE信号をFM変調キャリア周波数13MHz、白黒周波数偏移3MHzの低搬送波FM変調し、線速度14m/s、トラックピッチ1.12μmで記録して、ディスク両面で120分の再生時間と43dBの再生映像信号S/Nを実現した。
- ②EFM音声信号を高調波リダクション法を用いて、映像信号に対する混変調妨害が目立たない-28dBの多重レベルで周波数多重した結果、 1×10^{-2} のブロック・エラーレートを実現できた。
- ③ディスク制御信号であるモータ制御及び時間軸補正用パイロット信号を、周波数 $(135/2)f_H [= 2.278125\text{MHz}]$ 、多重レベル-28dBで周波数多重記録することで、制御精度と混変調妨害を満足することを確認した。

そして、以上の研究成果は、「ハイビジョンLD規格：60Hz/1125ライン 高精細テレビジョン-MUSE方式 光学ビデオディスクシステム」規格として民生用規格に採用されている。

(B) ベースバンド方式ハイビジョン・ビデオディスク・システム

民生用途のMUSE方式とは対照的に、100インチ以上の大画面で高画質映像を要求する業務用途をめざして、輝度信号帯域幅20MHz、色差信号帯域幅6.7MHzのベースバンド信号を直径30cmのディスク1枚で60分連続再生することをシステム・コンセプトとした。まず、高画質と長時間連続再生を両立させるために次の提案をした。

①2チャンネルTCI映像信号形式の提案

ドロップアウト及びチャンネル間特性差の影響を減らした輝度信号と色信号の信号配列と不要垂直ブランキング期間の除去により、1チャンネル当たりの11.4MHzの信号帯域幅を持つTCI映像信号形式を提案した。

②ディスク両面同時再生方式の提案

2チャンネルTCI映像信号をそれぞれディスクの両面に記録し、再生するときはディスク両面から同時に信号再生するという長時間再生方式を提案した。

これらの提案を基に、MUSE方式ビデオディスク・システムと同じピックアップ仕様でディスク信号記録フォーマットを確立する研究を行い、以下の結果を得た。

- ①TCI映像信号をFM変調キャリア周波数14.85MHz、白黒周波数偏移2.2MHzで低搬送波FM変調し、線速度14.7m/s、トラックピッチ1.07μmで記録して、連続再生時間60分と再生映像信号S/N40dBを実現した。このS/N

を得るために、リニアエンファシス ($m=3.5$) で S/N 改善度 10.7 dB 、ノンリニアエンファシスで S/N 改善度 7.5 dB を実現した。

② EFM 音声信号を高調波リダクション法を用いて、映像信号に対する混変調妨害が目立たない -28 dB の多重レベルで周波数多重した結果、 4×10^{-2} のブロック・エラーレートを実現できた。

③ 狭トラックピッチで発生するクロストークに対しては、CAV と CLV 記録が混在するクロストーク・コントロール CLV 記録方式の開発で解決した。

この研究で得られた再生時間、再生映像画質は、ほとんどの業務用途において十分であり、このシステムは、ハイビジョン業務用ディスク・システム規格になっている。

(C) フリッカレス立体ビデオディスク・システム

2チャンネルの両眼視差方式立体映像を時分割立体表示する時の課題であったフリッカと垂直解像度の劣化を解決した立体映像信号を、直径 30 cm のディスク両面で 60 分再生することをシステム・コンセプトとした。まず、上記課題を解決する次の提案をした。

① 4 : 1 インタレース倍速 NTSC 立体映像信号形式の提案

フリッカと垂直解像度の劣化がない高画質立体映像を実現するために、垂直同期周波数 120 Hz 、走査線数 1049 本の 4 : 1 インタレース倍速 NTSC 立体映像信号形式を提案した。この信号帯域幅は、MUSE 信号と同等の 8.4 MHz である。

この提案を基に、波長 780 nm 、 $NA 0.5$ のピックアップでディスク信号記録フォーマットを確立する研究を行い、システム・コンセプトを満足する以下の結果を得た。

① FM 変調キャリア周波数 12.5 MHz 、白黒周波数偏移 2 MHz で低搬送波 FM 変調し、線速度 18 m/s 、トラックピッチ $1.65 \mu\text{m}$ で記録して、ディスク両面で 60 分の再生時間を実現した。リニアエンファシスの最適化を行い、エンファシス量 $m=3$ で 9.5 dB の S/N 改善度を実現した。

③ MUSE システムで再生可能とするため、モータ制御及び時間軸補正用パイロット信号を、周波数を $(145/2) f_{H3D}$ [$=2.27930 \text{ MHz}$]、多重レベルを -28 dB で周波数多重することで、制御精度と混変調妨害を満足することを確認した。

② EFM 音声信号を、高調波リダクション法により混変調妨害が目立たない -28 dB の多重レベルで周波数多重記録を行った。

以上の結果に基づいて実現したフリッカレス立体ビデオディスク・システムは、ディス

ク1枚に記録しているため、系統的に小規模であり取り扱いが簡単である。フリッカ及び解像度劣化がない画質の良さから、各種方面で応用されている。

(D) MPEG2立体ビデオディスク・システム

2チャンネルNTSC信号を用いた両眼視差方式立体映像をMPEG2デジタル圧縮し、直径12cmのディスク1枚で60分以上の再生することをシステム・コンセプトとした。まず、レーザ波長635nm、NA0.6のピックアップの開発で実現された0.9 μ mのスポット径を基にCD-ROMの高密度化を行い、以下の結果を得た。

①トラックピッチ0.85 μ m、最短ピット長0.42 μ mとすることで現行CD-ROMの4倍密度に相当する記録容量3GBを実現した。

②EFM信号の最高周波数のC/Nとして53dBが得られ、ブロック・エラーレートは、 3×10^{-4} を実現することができた。

そして、このディスク容量をもとに高画質立体映像が再生できるデータ記録フォーマットの研究を行い、以下の結果を得た。

①4倍速度CD-ROMデコードチップを採用し、5.6Mbpsのデータ転送レートのディスク再生システムを構築した。

②立体映像信号ビットレートとして2.7Mbps/チャンネルを、2チャンネル音声ビットレートに224kbpsを割り当てることで再生時間70分を実現した。

以上の結果に基づいて実現したシステムは、立体映像以外に、静止画、動画、グラフィック、テキストなども同時に扱え、マルチメディア社会におけるパッケージメディアの中心的存在になると考える。そして、このシステムは、光ディスクが今後進んで行くであろう「小型大容量化」「デジタル記録」という技術動向に先鞭をつけるものである。

以上述べてきたように、これらのシステムのディスク信号記録フォーマットの確立とそのディスク再生システムの開発研究を通して、「広帯域映像信号の光ディスク記録技術」という新しい分野を構築することができた。かつては、NTSC映像信号をアナログ記録する技術がそのすべてであったが、最近のデジタル技術の進歩により、映像信号の広帯域化とデジタル信号記録が、今後さらに加速的に進展していくことが予想される。このような技術動向のなか、本研究の研究成果である広帯域映像信号の光ディスク記録技術は有効であり、大いに役に立つものと確信する。

謝 辞

本論文をまとめるにあたって、終始熱心なご指導と数々の有益なご教示をいただきました静岡大学大学院電子科学研究科長の安藤隆男博士、静岡大学電子工学研究所・教授畑中義式博士、静岡大学工学部・教授池田弘明博士、教授久保高啓博士、助教授下平美文博士に深く感謝し、厚く御礼申し上げます。

今回、この論文をまとめる機会を与えていただいた三洋電機株式会社常務取締役研究開発本部長の桑野幸徳博士、ハイパーメディア研究所所長の鈴木治氏、本研究に携わる機会を与えて頂くとともに、本研究を遂行するにあたり終始変わらず有益なご指導とご助言をいただいた前ハイパーメディア研究所所長の石井泰弘氏、ハイパーメディア研究所記録メディア研究部部長の外山建夫氏、東京情報通信研究所所長の太田修氏、ハイ・リビング商品開発研究所の課長柳瀬秀治氏に深く感謝いたします。

また、MUSE方式ビデオディスクの開発にあたってはNHK放送技術研究所の二宮祐一博士、フリッカレス立体ビデオディスクの開発にあたってはNHK放送技術研究所の磯野春雄博士をはじめとするNHK関係各位のご指導、ご助言に厚くお礼申し上げます。

本研究は、三洋電機株式会社研究開発本部 旧開発研究所、旧情報通信システム研究所、旧AV研究所、ハイパーメディア研究所の光ディスク・システムの開発に携わった研究者の努力と協力により成し遂げられたものです。関係の方々に厚く御礼申し上げます。特に、三洋マービックメディア（株）の森田芳彦氏、ハイパーメディア研究所の渡部浩志氏、日比野克俊氏、浅野賢二氏、高橋誠一郎氏、市浦秀一氏、土屋洋一氏、寺崎均氏、水谷陽介氏、小川和也氏、金井雄一氏、清水敦志氏、牧野恵氏、所優子氏、半導体事業本部MOS-LSI事業部の山田誠氏、AV事業本部AV商品開発研究所の峯近重和氏には、ここに重ねてお礼を申し上げます。

最後に、いつも励まし、支援してくれた両親である日置孝夫、愛子、殿村貞治、文子、兄弟姉妹そして妻の恭子に感謝して謝辞といたします。

本研究に関する発表論文

1) 高品位ビデオディスクの信号フォーマット

日置敏昭、外山建夫、森田芳彦、渡部浩志 (三洋電機)

二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一 (NHK)

光メモリシンポジウム' 85, pp.227-232 (1985)

2) Optical Video Disc for High Definition Television by the MUSE

T.Toyama, Y.Morita, T.Hioki, O.Ohta, Y.Ishii (SANYO)

Y.Ninimiya, Y.Ohtuka, Y.Izumi, S.Goushi (NHK)

SMPTE Components of the Future, pp.232-240 (1985)

3) Optical Video Disc for High Definition Television by the MUSE

Tateo Toyama, Yoshihiko Morita, Toshiaki Hioki, Osamu Ohta,

Yasuhiro Ishii (SANYO), Yuichi Ninimiya, Yoshimichi Ohtuka,

Yoshinori Izumi, Seiichi Goushi (NHK)

SMPTE Journal, Vol.95, No.1, pp.25-29 (1986)

4) MUSE VIDEO DISC

Yoshizumi Mano, Yasuhiro Ishii, Tateo Toyama,

Toshiaki Hioki, Hitoshi Terasaki, Yoshihiko Morita

HDTV COLLOQUIUM 87, Vol.1, 4.8.1-4.8.10 (1987)

5) Flickerless 3D Laser Video Disc System

T.Hioki, T.Toyama, Y.Morita, H.Watanabe (SANYO)

H.Isono, M.Yasuda, H.Kusaka, M.Yamada (NHK)

SMPTE Television Technology in Transition, pp.95-106 (1988)

6) HI-VISION OPTICAL VIDEO DISC

Toshiaki Hioki, Tateo Toyama, Yoshihiko Morita

Hiroshi Watanabe, Katsutoshi Hibino, Makoto Yamada

IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.34, No.1, pp.72-77 (1988)

7) FLICKER-FREE 3D MONITORING SYSTEM

S.Minechika, T.Hioki, K.Hibino, H.Watanabe

THREE DIMENSIONAL MEDIA TECHNOLOGY

PROCEEDINGS OF THE 1989 INTERNATIONAL CONFERENCE, pp.145-153 (1989)

8) 3D HDTV VIDEO DISC SYSTEM

Katsutoshi Hibino, Toshiaki Hioki, Yoshihiko Morita

Hiroshi Watanabe, Makoto Yamada, Kenji Asano

IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.36, No.3, pp.555-559 (1990)

9) ベースバンドハイビジョンビデオディスク (研究速報)

日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志、浅野賢二、寺崎均、峯近重和

テレビジョン学会誌, Vol.46, No.3, pp.351-353 (1992)

10) Baseband HDTV videodisc player

Seiichiro Takahashi, Toshiaki Hioki, Yoshihiko Morita

Hiroshi Watanabe, Makoto Yamada, Kenji Asano

International Workshop on HDTV '92, Vol.1, 32, pp.1-7 (1992)

11) HIGH DENSITY VIDEO DISC FOR HDTV BASE BAND SIGNAL

Yoshihiko Morita, Hiroshi Watanabe, Makoto Yamada

Kenji Asano, Toshiaki Hioki

IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.40, No.3, pp.387-393 (1994)

12) QUADRUPLE DENSITY CD-ROM

Toshiaki Hioki

OPTOELECTRONICS-Devices and Technologies, Vol.10, No.3, pp.381-392 (1995)

13) MPEG2 3D PLAYER SYSTEM

Yuichi Kanai, Atushi Shimizu, Kazuya Ogawa, Yousuke Mizutani

Megumi Makino, Toshiaki Hioki

IEEE Transactions Consumer Electronics, Vol.41, No.3, pp.716-723 (1995)

2. 研究会

- 1) MUSE方式による高品位テレビジョン用光学式ビデオディスク
外山建夫、森田芳彦、日置敏昭、石井泰弘 (三洋電機)
二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一 (NHK)
電子通信学会技術研究報告, Vol.84, No.202, pp.9-14 (1984)
- 2) 高品位光ビデオディスクの信号フォーマット
日置敏昭、外山建夫、森田芳彦、渡部浩志、石井泰弘 (三洋電機)
二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一 (NHK)
テレビジョン学会技術報告, Vol.10, No.4, pp.47-52 (1986)
- 3) 光学式MUSEディスク
森田芳彦、外山建夫、日置敏昭、渡部浩志、山田誠、日比野克俊
テレビジョン学会技術報告, Vol.11, No.36, pp.1-6 (1987)
- 4) フリッカレス3Dレーザビデオディスクシステム
渡部浩志、外山建夫、日置敏昭、森田芳彦 (三洋電機)
磯野春雄、安田稔、日下秀夫、山田光穂 (NHK)
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.87, No.331, pp.51-57 (1988)
- 5) MUSEビデオディスクの音声記録法
森田芳彦、日置敏昭、渡部浩志、山田誠、日比野克俊、外山建夫
テレビジョン学会技術報告, Vol.12, No.17, pp.43-48 (1988)
- 6) MUSEディスクを用いたハイビジョン3Dシステム
日比野克俊、日置敏昭、渡部浩志、森田芳彦、峯近重和
テレビジョン学会技術報告, Vol.14, No.20, pp.83-88 (1990)
- 7) 高精細ビデオディスクプレーヤ
村島弘嗣、浅野賢二、日置敏昭、西川義信
テレビジョン学会技術報告, Vol.15, No.50, pp.25-30 (1991)
- 8) ハイビジョンベースバンドビデオディスク
森田芳彦、渡部浩志、浅野賢二、日置敏昭
テレビジョン学会技術報告, Vol.17, No.52, pp.25-30 (1993)

3. 口頭発表

- 1) MUSE方式による高品位テレビジョン用光学式ビデオディスク
外山建夫、森田芳彦、日置敏昭、石井泰弘 (三洋電機)
二宮祐一、大塚吉道、和泉吉則、合志清一 (NHK)
画像電子学会研究会, Vol.10, 82nd, pp.47-52 (1986)
- 2) フリッカレス光学式立体ビデオディスク装置
日置敏昭、外山建夫、原田好夫、近藤弘 (三洋電機)
磯野春雄、安田稔、山田光穂 (NHK)
テレビジョン学会全国大会, 7-8, pp.165-166 (1987)
- 3) フリッカレス光学式立体ビデオディスク装置
日置敏昭、外山建夫、森田芳彦、渡部浩志
電気関係学会関西支部連合大会, G14-6, G392 (1987)
- 4) フリッカレス3Dモニタリングシステム
峯近重和、日置敏昭、日比野克俊、渡部浩志
テレビジョン学会全国大会, 21-2, pp.505-506 (1989)
- 5) ハイビジョン3D
浅野賢二、日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志
テレビジョン学会全国大会, 9-10, pp.159-160 (1990)
- 6) ハイビジョンビデオディスク
渡部浩志、森田芳彦、峯近重和、浅野賢二、寺崎均、日置敏昭
テレビジョン学会全国大会, 9-1, pp.165-166 (1991)
- 7) ハイビジョンビデオディスクプレーヤ
山田誠、日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志
電気関係学会関西支部連合大会, G14-8, G372 (1991)
- 8) ハイビジョンベースバンド/MUSEビデオディスクプレーヤの開発
渡部浩志、森田芳彦、山田誠、峯近重和、日置敏昭
電子情報通信学会, D-221, p.228 (1994)

4. その他の発表

- 1) 外山建夫、日置敏昭、森田芳彦、柳瀬修治、浅野武彦：
ハイビジョン用光学式ビデオディスク
SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.19, No.1, pp.24-33 (1987)
- 2) 日置敏昭：液晶シャッターメガネを用いた立体ビデオディスク
エレクトロニクス10号, pp.76-80 (1987)
- 3) 日置敏昭：光学式立体ビデオディスクプレーヤー
電波新聞ハイテクノロジー第404号 (1987)
- 4) 日置敏昭、森田芳彦、渡部浩志、寺崎均、外山建夫：
フリッカレス立体ビデオディスク
SANYO TECHNICAL REVIEW, VOL.20, NO.2, pp.9-15 (1988)
- 5) 日置敏昭：フリッカレス光学式立体ビデオディスク
テレビ技術, 1988年1月号, pp.20-25 (1988)
- 6) 日置敏昭：ハイビジョンVDP (ビデオディスク) 開発技術
電子技術, Vol.31, No.5, pp.40-44 (1989)
- 7) 日置敏昭：次世代テレビハイビジョンMUSEビデオディスクプレーヤー
エレクトロニクス10号, pp.89-92 (1991)
- 8) 日置敏昭、峯近重和：次世代テレビハイビジョンベースバンドビデオディスク
エレクトロニクス11号, pp.73-76 (1991)
- 9) 日置敏昭：MUSEハイビジョンディスクプレーヤーの概要と信号記録
日経ニューメディア, 1988年11月, pp.59-62 (1988)
- 10) 日置敏昭：ベースバンドハイビジョンVDプレーヤー
電波新聞ハイテクノロジー第563号 (1992)
- 11) 日置敏昭：VideoDisk Player Accomodates 1125/60 HDTV Signals
Without Bandwidth Compression
Broadcast Technologies '92 JEEE, pp.24-33 (1987)
- 12) 日置敏昭：ハイビジョンLD (MUSE方式ハイビジョンディスク) 規格
テレビジョン学会誌, Vol.48, No.3, pp.283-286 (1994)

<付録 1 >

1. 光ビデオディスクの信号記録・再生原理

一般的に、ビデオディスクは直径30cm,厚さ1.2mmのPMMA(アクリル)製の円盤の片面に映像信号や音声信号等の信号を記録し、信号記録面どうしを張り合わせて1枚のディスクとしている(図1.A)。ディスク上の記録信号は、凹凸の有無の2値信号であり、デジタル信号を記録する場合もアナログ信号を記録する場合でも、全く同じ記録形態である。ディスクからの信号再生は、レンズによって集光されたレーザービームをピットに照射し、その反射光をレンズを通して検出する。ピットの深さは、再生レーザー波長の約1/4である。集光スポット上にピットが存在すると、回折現象と位相干渉によりレンズに戻る光量が減少するため、ピットの有無を光の強度変化として検出することができる。情報は、そのピットの長さ及び間隔の変化によって記録される。

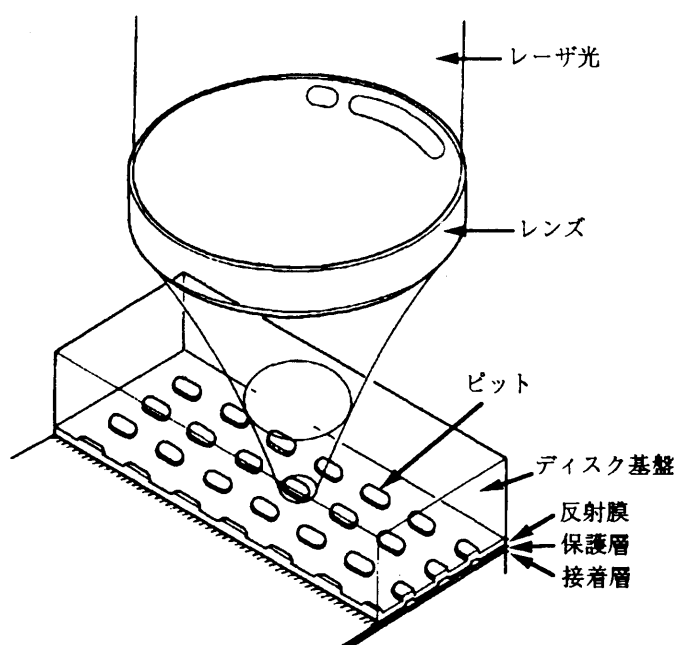


図1.A 光ディスクの構造

次に、ディスクの記録原理について説明するために、アナログ記録の場合の信号変調波形とピットとの関係を図1.Bに示す。ビデオディスクには、FM変調された映像信号とそれより低い周波数帯域に音声信号、制御信号等が記録されている。周波数変調された映像信号に(FM変調又はデジタル変調された)音声信号を加算した後、一定のレベルで

スライスし、1, 0の2値情報に整形した信号でレーザー光をON, OFFさせディスク上にピットを形成する。このピットの形状を見て分かるように、FM映像信号はピットの位置の変化、音声信号はピットデューティ比の変化として記録されていることになる。このように、アナログ記録の場合は、それらピット長及びピット間隔が連続的に変化するが、デジタル記録の場合は、一定の決められた数種類の値をとる。

つまり、アナログ記録又はデジタル記録に関わらず、ピットの形状の正確さが再生画像や音質に大きく影響することになる。

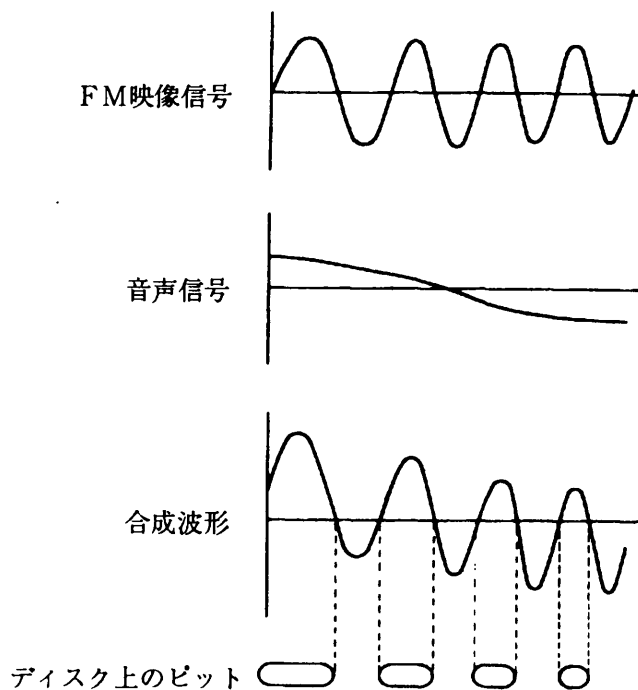


図1.B 記録信号とディスク上のピット

2. ディスクの製造工程

ディスクの製造工程は、大まかに分類してニッケルスタンパ作製までのマスタリング行程、ニッケルスタンパからレプリカディスクを作製する複製行程からなる。これらの行程で最も重要なことは、如何にピットを正確にレプリカディスク上に記録するかということである。ピットの歪みは、再生信号にノイズとして影響を与えることになる。

(1) マスタリング行程

光ディスクは非常に記録密度の高い記録媒体である。図1.Cに一例としてMUSE方式ビデオディスク作製のためのマスタリング行程を示す。まず、ガラス板にフォトレジスト(感光樹脂)を均一に塗布し、フォトレジスト原盤を作製する。フォトレジスト原盤に対する信号記録は、レーザーカッティング装置により行う。フォトレジスト原盤は高速回転をしながらアルゴンレーザーのON, OFFにより露光され、フォトレジスト上に潜像が形成される。アルゴンレーザーのON, OFFの源信号は、FM変調波形により作られた1, 0の2値信号である。この1, 0の2値信号により光変調器を駆動しレーザー光の強度変調を行う。レーザースポットは、半径方向に一定ピッチで移動する。レーザービームで記録された

レジスト原盤を現像すると露光部分のレジストが溶出し、レジスト面上に凹状のピットが形成されマスター原盤となる。この表面にメッキ電極として銀やニッケルの導電膜をスパッタリング等で形成し、ニッケルメッキを行う。マスター原盤からメッキによって作られたものがニッケルマスタであり、CDのように1タイトルから1万枚を越えるような大量複製を作る場合には、さらに、これより孫取りを行い複数のスタンパを作製する。

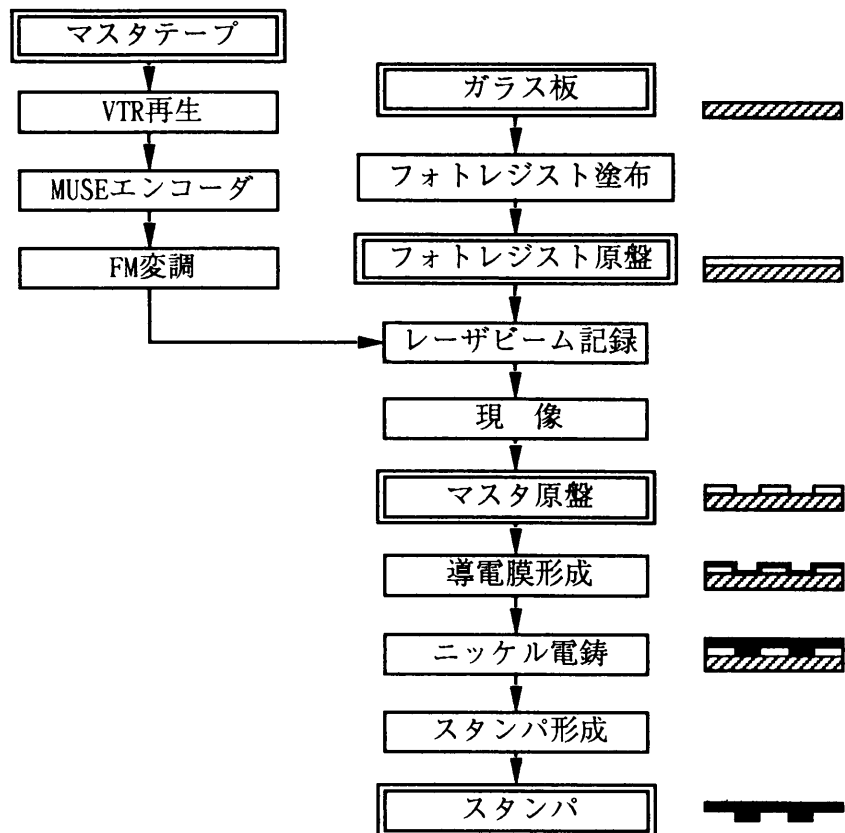


図1.C MUSE方式ビデオディスクのマスタリング行程

1万枚未満の場合には、通常マスタをそのままスタンパとして使用する

場合が多い。スタンパとして使用するニッケル盤は、ディスク複製用装置に適した厚さ（射出成形の場合、約0.3mm）に整えられ、芯だし、内外周打ち抜きという行程を経て、ニッケルスタンパの完成となる。

(2) 複製行程

複製行程は、主に、スタンパを用いてディスク基板の成形、ディスク基板への反射膜の形成、ディスク張り合わせ行程からなる。図1.Dに複製行程を示す。

ディスク基板の成形として、最も良く使用されているのは、射出成形法であり、射出成形に用いられる成形装置は、ディスクにサブミクロンのピットを形成するという極めて高い

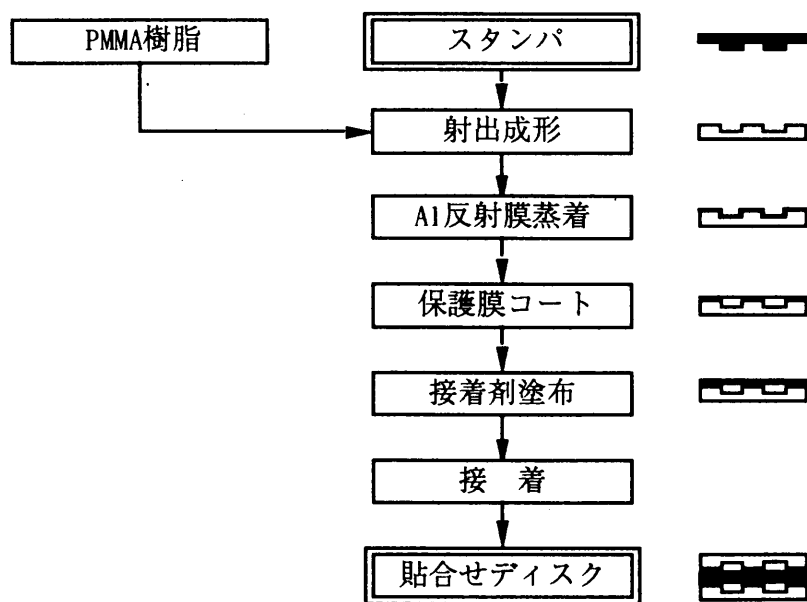


図1.D MUSE方式ビデオディスクの複製行程

性能をクリアするために非常に高い精度と技術が要求される。ディスク基板の成形で要求される性能としては、基板の透明性、転写性、寸法精度、そり歪みがないこと、複屈折が小さいこと等である。ディスクの高密度化につれて、転写性や寸法精度、平滑性等のディスク成形にたいする要求は、益々厳しくなってくる。

MUSE方式ビデオディスクの場合、成形行程で作製されたディスク基板に、主に蒸着法によりアルミニウムの反射膜が形成される。その後、反射膜の上に保護膜がコートされ、さらに接着剤塗布後、2枚のディスク基板が貼り合わされる。

3. ディスク回転制御方式 (CAVとCLV)

ディスクの回転制御方式にはいくつかの方式があるが、その代用的な方式が、CAV (Constant Angular Velocity) 及びCLV (Constant Linear Velocity) と呼ばれる方式である。それぞれ長所、欠点ををを持っているため、その応用の仕方が異なる。光学式ビデオディスクの信号記録フォーマットを決定するに当たっては、記録条件の厳しい、CLV方式のディスク信号記録フォーマットを検討することがその中心となる。CAVの仕様は、その結果から従属的に決まる。

(1) CAV方式

光学式ディスクの回転数を常に一定に保つディスク回転制御方式である。光学式ディスクに映像信号を記録する場合、1回転に画像が1フレームになるように記録されるため、1秒間に30回転となる。ディスク回転数は一般的に、rpm (revolution per minute) で表現されるから、1800rpmとなる。この方式は、ディスク内周、外周でも同一の記録周波数であるため、外周部に行けば行くほど、記録密度は下がることになり、ディスク全体として記録容量を大きく稼ぐことはできない。ディスクの再生時間 P は、次の式で表すことができる。

$$P = \frac{r_2 - r_1}{1800t_p} \quad \text{min.}$$

r_2 : 外周半径, r_1 : 内周半径, t_p : トラックピッチ

この方式のディスクは、容量が少ないもの、1回転で1フレームの映像が記録されているため、隣接トラック間の画像の位相が全く同じく、トラックジャンプにより前後のフレームに容易に移動できる。そのため、静止画像、特殊再生（スロー、ファースト等）を中心としたソフト再生に向いている。また、隣接トラックとのクロストークが多少あってもCLV方式に比べFM復調映像信号にノイズとなって現れにくいいため、トラックピッチを多少狭くしても高画質の映像を記録・再生することが可能である。

(2) CLV方式

ディスクの記録容量を最も大きくできる方式であり、ディスク半径に反比例した回転速度になるように回転モータを制御して、記録再生するトラックの線速度がディスク上どこでも一定になるようにしている。そのためディスク上のどの位置でも記録・再生条件がほぼ同じで良いと言う利点がある反面、ディスク回転用モータのトルクが大きい必要がある。このディスクの回転数 R は、次の式で表現される。

$$R = \frac{v}{2\pi r} \times 60 \quad rpm$$

v : 線速度, r : 再生半径

また、再生時間 P は、次の式で表すことができる。

$$P = \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)}{60vt_p} \quad \text{min.}$$

CLVディスクの場合、特殊再生のようなトラック間ジャンプを用いた再生方法には、向いていないが、線速度とトラックピッチを検討することで、最も記録再生時間を長くとることができる。しかし、長時間再生を実現するためにトラックピッチを狭くすると、隣接トラックに記録される映像信号どうしの相関が全くなり、クロストークの影響が再生画面上で顕著になってくる。

<付録 2 >

1. ハイビジョンとMUSE信号

ハイビジョンはNTSC方式に比べ約5倍の信号帯域幅を持っている。すなわち、ハイビジョン信号を伝送するには、広い帯域の伝送路が要求される。現在、ハイビジョン番組は、放送衛星を使用して放送されている。これは広帯域映像信号を高品質で全国に放送することができるという理由からである。しかしこの衛星放送の1チャンネル当たりの帯域幅(27MHz)をもってしても、ベースバンドハイビジョン信号をFM変調で送るには狭すぎる。そこで、新しい信号帯域圧縮技術がNHKにより開発された。この帯域圧縮技術はMUSE (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding) 方式と呼ばれ、22MHz帯域幅の信号を8.1MHzの帯域幅に変換することができる。

1.1 MUSEによる帯域圧縮の原理

MUSE方式の帯域圧縮は、人間の視覚特性を利用している。人間の目は、

- ①画像の斜め方向の解像度は、水平、垂直の方向に比べて低い
- ②動物体に対する解像度は、静止物体の場合より大幅に低い
- ③空間方向にも、時間方向にも不連続性に対して感度が高い
- ④動いている物体は見つけやすく、動物体に注目する

という特長を持っている。

MUSE方式は、①と②の性質を用いて帯域圧縮を行い、かつ③と④に対しては画質を損なわないようにしている。実際の帯域圧縮はサンプリング周波数を低減して行っている。図1.BにY信号の静止領域のサンプリング法を一例として示す。図1.Aは、そのサンプリングによって信号帯域がどのように変化するかを現したものである。まず、ハイビジョン入力信号を21~22MHzのLPFを通して、48.6MHzのサンプリング周波数でA/D変換した後、Y/C分離する。ここでのスペクトルは図1.A(a)のようになる。これを原始サンプリングとしてフィールドごとに1画素ずつオフセットしたフィールドオフセットサブサンプリングを行うと、サンプリング周波数は24.3MHzとなる(図1.B)。これにより、図1.A(b)のようにY信号の12.15MHz以上の成分が折り返される。この信号を帯域12MHzのLPFを通して高域成分を取り除く。こ

のフィルタリングにより、フィールド間サブサンプルで間引かれたサンプリング点を周辺の画素から内挿してサンプリング周波数を再び48.6 MHzのサンプリング周波数にする。次に、この48.6 MHzのサンプリング周波数の信号から、足りない画素を内挿してサンプリング周波数97.2 MHzとし、それを1/3に間引くことによりサンプリング周波数32.4 MHzの信号に変換している。つぎに、フレーム間及びライン間で水平方向に1画素のオフセットをもたせて、1画素おきにサンプル値を間引く（フレームオフセットサブサンプリング）と、サンプリング周波数は16.2 MHzとなる。これをD/A変換して8.1 MHzのLPFを通せば図1.A(c)の信号帯域幅に圧縮できる。

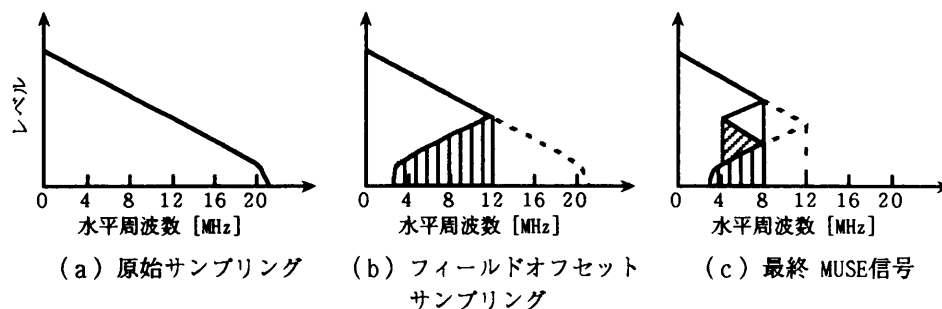


図1.A Y信号の静止領域でのサンプリングによる周波数スペクトラム

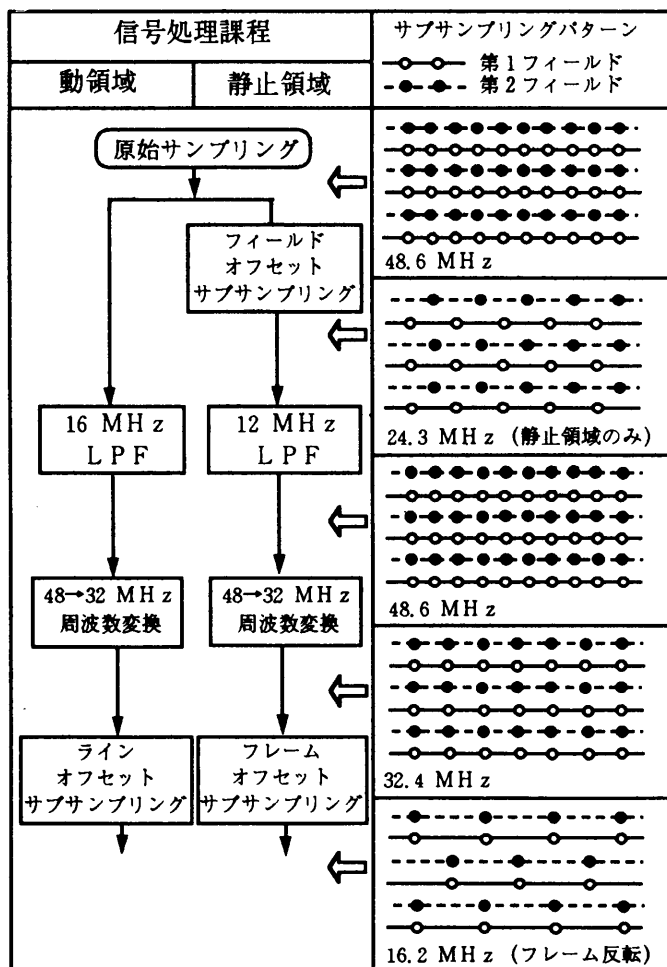


図1.B Y信号のサンプリング法

一方、C信号の場合も動領域と静止領域では異なっている。図1.Cに一例としてR-Yのサンプリングパターンを示す。C信号は線順次化しているのでB-Y信号は図で2H（H：ライン）ずれたラインにサンプリング点を持っている。

以上の処理により、輝度信号20MHz、色信号7.2MHzの二つの信号を8.1MHzの帯域幅を有する一本の信号に変換している。こうして作られたMUSE方式による信号のフレーム構成を図1.Dに示す。

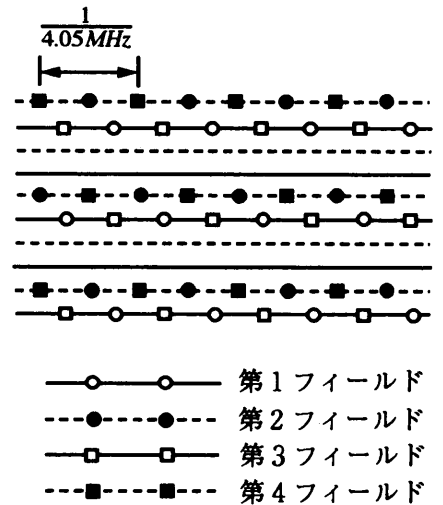


図1.C 色信号のサンプリングパターン

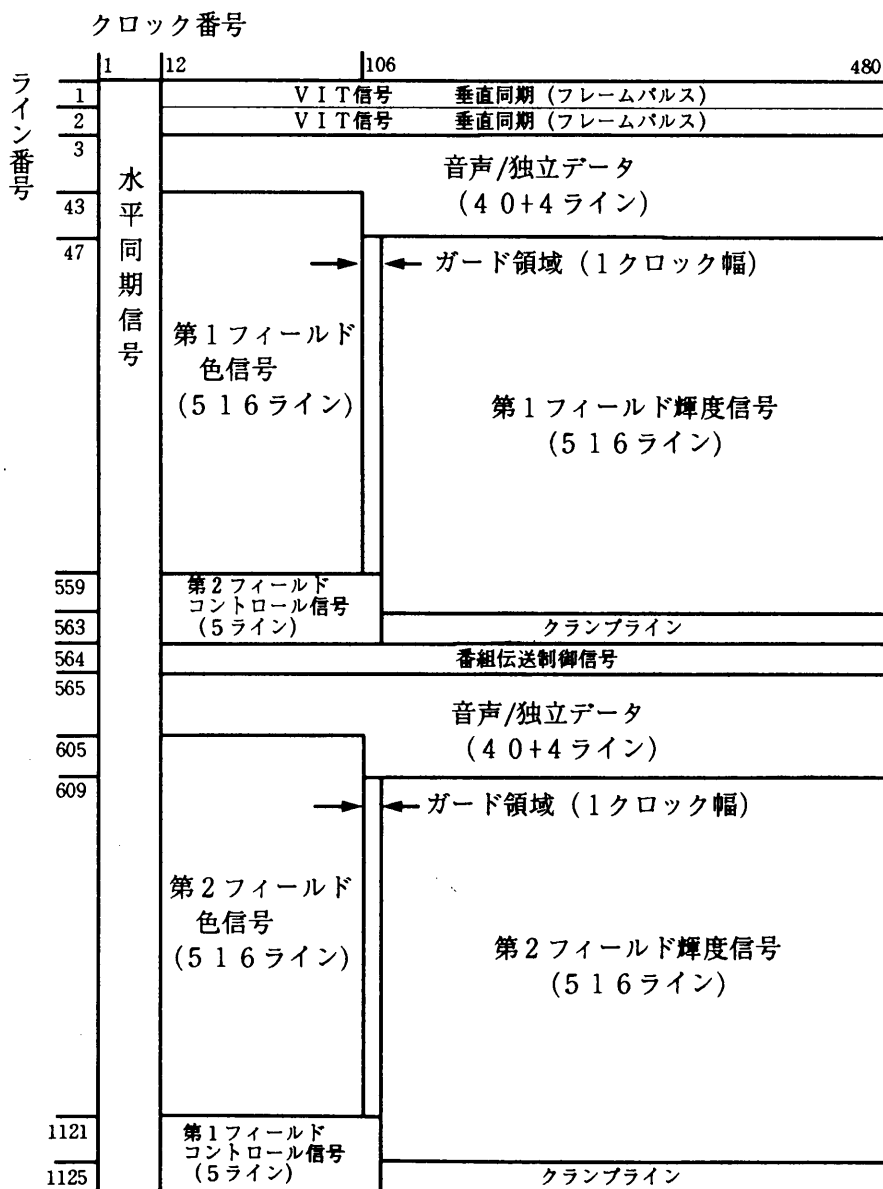


図1.D MUSE信号のフレーム構成

1.2 水平同期信号

MUSE方式は、サンプル値アナログ伝送を基本としており、デコーダ側では、リサンプルクロックを正確に再生する必要がある。リサンプルクロックの位相がわずかでもずれると波形歪みが発生し、画面上ではリングング妨害となって現れる。このような厳しい条件に対して、正確な位相を確保するため、図1.Eに示すような同期信号波形を用いている。水平同期信号は、映像の50%のレベルを持ち、ラインごとにその極性が反転する波形である。この立ち上がり部分、あるいは、立ち下がり部分はサンプリング周波数の1/4の正弦波の半サイクルとなるような波形である。従来のような負極性同期信号をとらなかった理由は、同期信号分レベルの分だけS/Nを改善するのが目的であり、これによる利得は3dBである。

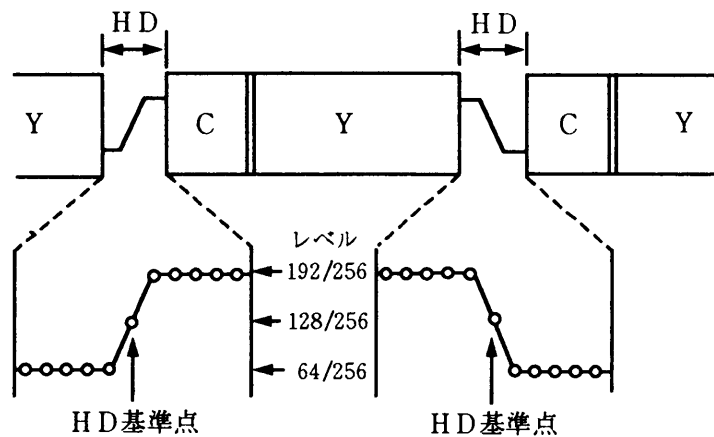


図1.E MUSEのTCI信号の構成と正極性同期信号

1.3 ノンリニアエンファシス

図1.FにMUSE信号にかけられている、ノンリニアエンファシスの構成を示す。映像100%の方形波を入力した時のFM変調における周波数アロケーションを示す。入力信号に対して強いエンファシスをかけると、大きなオーバーシュート（本方式では映像信号の4倍位に達する）が生じ、このオーバーシュートがRF帯域である27MHzを越えると過変調雑音を生じる。このノイズは、画面上では、エッジの直後に発生するノイズとなって現れる。このような現象を防ぐためにオーバーシュートの部分だけを非線形処理を行い振幅を抑圧しRF帯域内に納まるようにする。デコーダでは、この逆の特性を持つディエンファシスをかけて元の信号にもどしている。この場合の、FM改善度は9.5dBに設定されている。

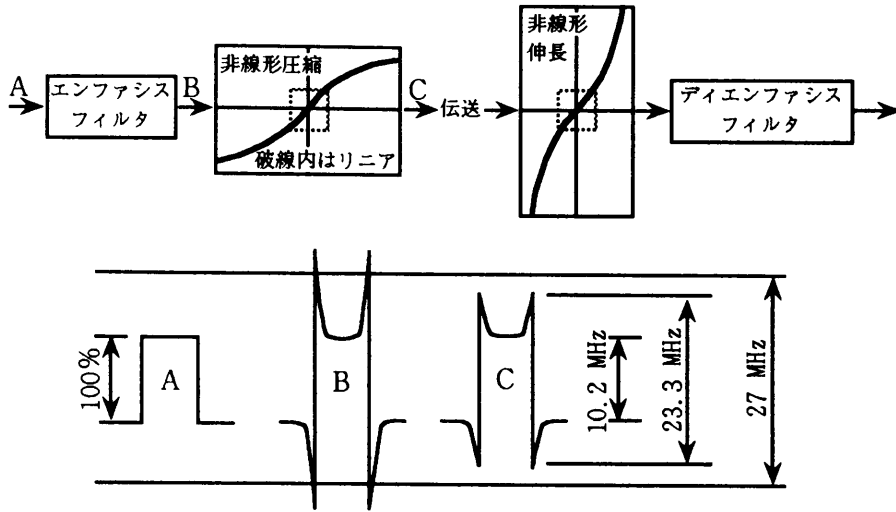


図 1. F ノンリニアエンファシスの構成

<付録 3 >

1. 立体視の原理と各種立体映像表示システム

人間は、いろいろな視覚の要因から立体感を知覚している。例えば、両眼視差、運動視差、幅輦、単眼の調節機能などがそれである。これらの中で、立体視に関して特に重要な要因となっているのは、両眼視差である。この両眼視差というのは、左右の目が離れていることにより生じる網膜上の像のずれを意味しており、人間は、このずれの大小を大脳の視覚中枢で遠近感として知覚している。遠い物体ほどそのずれは小さく、近くの物体ほどずれは大きくなる。

図 1. A に、両眼視差による立体視の仕組みを示す。例えば、テレビ画面上に左目用画像 L_1 、右目用画像 R_1 を表示して、それぞれの画像を左目・右目で知覚すれば、人間の脳は、テレビ画面より奥の P_1 の位置に物体が存在するよう感じる。他方、 L_2 、 R_2 のように画像を表示した場合、テレビ画面より前の位置である P_2 に物体が存在するよう感じる。これは、単なる目の錯覚ではなく、実際の物体の立体視と全く同等なのである。

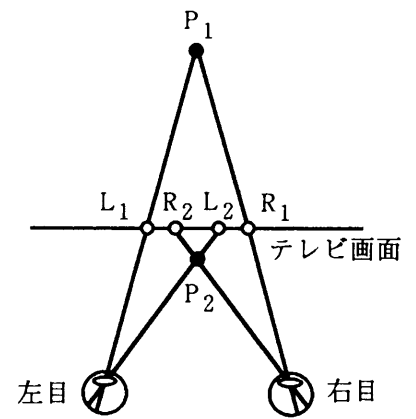


図 1. A 両眼視差による立体視

メガネを用いて立体映像を見るシステムとしては、表示方法（CRTディスプレイ又はプロジェクタ）や映像を見る人間の数によって様々な組み合わせが考えられる。図 1. B に、各種立体映像表示システムの構成を示す。

(1) 偏光立体方式

偏光メガネを通して立体視する代表的なシステムを図 1. B (a) に示す。この 2 台のプロジェクタに、それぞれ、左目・右目の映像信号を入力する方法は、多人数で立体映像を同時に見る場合に適している。この方式の欠点は、2 台のプロジェクタを必要とすることであるが、その反面、フリッカが発生しないという長所がある。

(2) 時分割立体方式

この方式は、左目用・右目用映像信号をフィールド (Field) 順次に並べて、1チャンネルで伝送できるようにしたものである。図1.B (b) に示すのが、その代表的なシステムである。この方式では、左目用と右目用の映像信号が交互に伝送、表示されるため、左目用映像が表示される時左目に画像が入り、右目用映像が表示される時右目に画像が入るようなシャッタ装置が必要となる。図1.B (c)、(d) は、表示装置の前面にシャッタ機能を持たせたもので、偏光メガネで見ることができる。ただ、これらの方式では、通常のテレビ信号のフォーマットに従って立体映像を伝送した場合、左目用・右目用の画像がフィールド順次で表示されるため、左右いずれか一方の目に入力される画像枚数が1秒間に30枚と減ってしまい、フリッカが発生するという欠点がある。

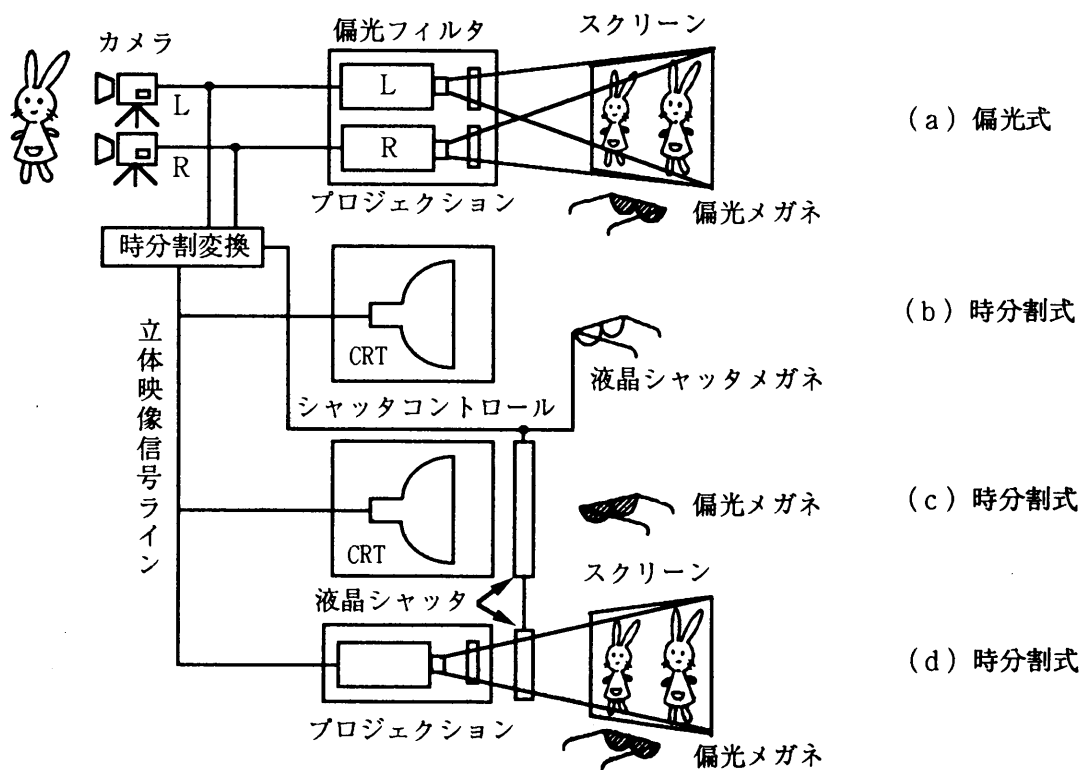


図1.B 各種立体映像表示システム