四重誤り訂正方式4倍速CD-ROM用LSI

CD-ROM LSI Series with High Error Correction

磯　佳実*　*Yoshimi Iso*
竹内敏文**　*Toshifumi Takeuchi*
河村政美*　*Masami Kawamura*

4倍速CD-ROMドライブ

4倍速CD-ROMドライブ
システムの高転送レート化が急速に進む中で，4倍速再生，200 msの$\frac{1}{3}$シークタイム，六重誤り訂正機能，および低価格センサレスメカニズムを実現した。

CD-ROM(Compact Disc Read-Only Memory)システムはパソコン(パーソナルコンピュータ)のマルチメディア化に伴い，また家庭用テレビゲームのメディアとして，生産台数が急激に増加してきた。CD-ROMドライブの課題は，データ転送レート，データ アクセス タイム，データの信頼性，価格などであるが，急激な価格低下，4倍速，200 ms程度のアクセスが一般的となった現在，重要な課題はデータの信頼性である。パソコン用CD-ROMシステムではCIRC(Cross Interleaved Reed-Solomon Code)という高度な誤り訂正符号に加え，さらに付加訂正符号が採用されている。しかし，4倍速という高速化に伴い，訂正符号の持つ能力をすべて引き出せていないのが現状である。また，大きな傷に対する読み出しクロック再生のPLL(Phase-Locked Loop)にも問題があった。

このたび，データ信頼性の高い低価格4倍速用CD-ROM用LSIキットを開発した。このキットを使用することにより，訂正不能の場合に行う再読み出し(リトライ)処理頻度を低減し，実質的なデータ転送レートを上げることができる。また，付加訂正符号を持たないビデオCDシステムでは，映像のノイズが低減できる。

* 日立製作所 半導体事業部　** 日立製作所 マルチメディアシステム開発本部

1 はじめに

CD-ROMシステムはパソコンのマルチメディア化に伴い，FDD(Floppy Disc Drive)，HDD(Hard Disc Drive)に次ぐ第三の周辺記憶装置としてその地位を築いた。CD-ROMシステムはオーディオCDシステムから発展してきたものであり，大容量，低価格，大量複製が容易，メディアの劣化が少ないという長所がある。その反面，データ転送レートが低い，アクセスが遅い，データ信頼性が低い，書き込めないなどの欠点がある。転送レートについては，標準速から2倍速，4倍速と改善が図られ，現在では600 kバイト/sの速度が一般的になってきた。アクセス速度については，システムがCLV(線速度一定)方式を採用しているためHDDに比べれば格段に遅いが，種々の改良が行われ200 ms程度までになった。

このような状況の中で，CD-ROMシステムの重要な課題はそのデータ信頼性である。ここでは，データ信頼性の高い4倍速CD-ROM用LSIキットの主な特徴と評価結果について述べる。

2 CD-ROMドライブのデータ信頼性

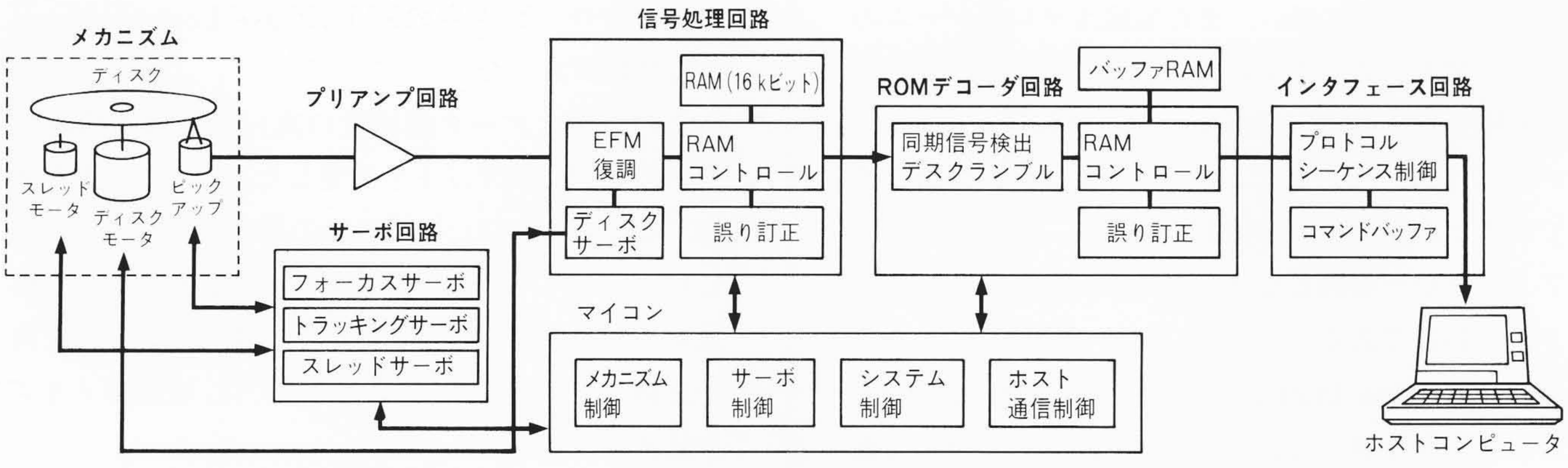
オーディオCDシステムではもともとCIRCという高度な誤り訂正符号を採用し，処理を行っている。この符号では，C1系列で最大2シンボルまでの誤りが，C2系列では最大4シンボルまでの誤りがそれぞれ訂正可能である。この誤り訂正回路は通常CD信号処理LSIに内蔵されるが，訂正能力を上げようとすれば回路規模は大きくなり，訂正に要する時間も長くなる。オーディオデータの場合，ここで訂正不能となると，オーディオデータの連続性という特徴を生かして，次の回路ブロックで平均値補間や前値保持などの補間処理を行う。ところが，連続性のない一般データを扱うCD-ROMでは，このような補間処理は無意味である。

このためCD-ROMシステムでは，従来のオーディオ再生データの外側に付加訂正符号(付加ECC)という誤り訂正符号(C3)を設け，さらに誤り訂正処理を行っている。この処理は通常，CD-ROMデコードLSIで行われる。

一般的にディスクの傷，ごみや指紋などによる読み出しデータの欠落による誤りは，より前段階で処理したほうが効果は高い。傷の種類によって種々ケースはあるが，例えば誤りなしを100点満点として，ある長さの傷に対してC1で二重訂正を行ってC2で二重訂正を行った場合と，C1で二重訂正を行ってC2で四重訂正を行った場合を比較してみる。その結果は，前者が70点，後者が90点であり，それぞれC3訂正を行った場合は前者が80点，後者が100点満点というイメージである。しかし，4倍速CD-ROMでは訂正処理時間や回路規模の制約から，C2での四重訂正は行われていなかった。

ディスク読み出し信号からクロック，データを抽出するPLL回路にも問題がある。このPLL回路の実現方法にはアナログ方式とディジタル方式があり，それぞれ一長一短がある。すなわち，アナログ方式は低CN(Carrier-to-Noise)比，細かい傷に対してクロックとデータ抽出の誤りが少ないが，大きな傷で一度ロックがはずれたあとの引き込みには時間がかかる。ディジタル方式は引き込みは早いが，定常再生ではノイズに弱い。

今回，このような問題を解決した4倍速，低価格CD-ROM用のデータ信頼性の高いLSIキットを開発した。ア



注：略語説明 EFM (Eight to Fourteen Modulation)，マイコン (マイクロコンピュータ)，RAM (Random Access Memory)

図1 CD-ROMシステムの構成
CD-ROMドライブは，メカニズム，プリアンプ回路，信号処理回路，およびサーボ回路から成るCDプレーヤー部に，ROMデコーダ回路とホストインタフェース回路が追加されている。

ナログ・ディジタル両方式のPLLを備え，「C1：二重訂正」，「C2：四重訂正」の能力を持つプリアンプ(プリアンプリファイア)・サーボICと信号処理LSIである。

3　CD-ROMドライブの構成と動作

日立製作所のCD-ROM専用LSIキットの特徴について述べる前に，一般的なCD-ROMドライブの構成と動作について述べる。

3.1　CD-ROMドライブの構成

パソコン用CD-ROMドライブのシステム構成を**図1**に示す。CD-ROMドライブは，メカニズム，プリアンプ回路，信号処理回路，ROMデコーダ回路，ホストインタフェース回路，サーボ回路，およびマイコンで構成する。

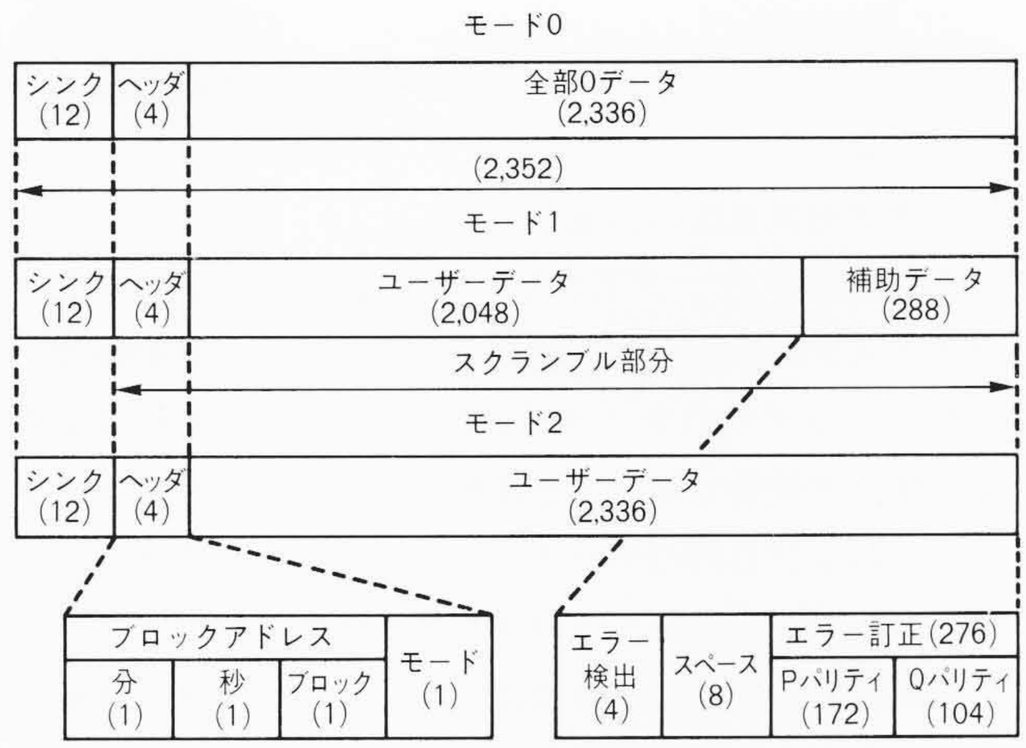
プリアンプ回路は，ピックアップのホトダイオードから出力されるディスクからの読み出し信号に波形等化，増幅処理を行い，信号処理回路に出力する。信号処理回路ではPLL回路により，クロック，データの再生を行って復調処理，誤り検出，誤り訂正(C1，C2)処理を行い，ROMデコーダ回路に再生信号を出力する。また，同期信号処理，CLV処理を行い，ディスクモータの回転数制御を行う。

ROMデコーダ回路は，同期信号検出，デスクランブル処理を行った後，データの信頼性を向上させるため，よりいっそう深い誤り訂正(C3)を行う。その後，ホストインタフェース回路でホストコンピュータとのデータ通信を行う。ホストインタフェース回路にはバスの形式により，SCSI(Small Computer System Interface)，ATAPI(AT Attachment Packet Interface)などの専用のインタフェース回路が使用される。

サーボ回路には，光ピックアップの焦点をディスクの記録面に制御するフォーカスサーボ，記録トラックに追従させるトラッキングサーボ，およびピックアップ全体の移動や高速アクセスに使用するスレッドサーボがある。また，マイコンはCD-ROMシステム全体のシステム管理，およびホストコンピュータとの通信制御を行う。

3.2　訂正不可能な場合の処理

パソコン用CD-ROMの誤り訂正は通常二つの階層から成っており，誤り訂正符号は両階層とも二重化リードソロモン符号である。ROMデコーダ回路の入力信号となるCD-ROMの物理フォーマットを**図2**に示す。モード1ではユーザー データ エリア2,336バイトのうち288バイトを誤り検出訂正(C3)のために使用している。ビデオCDでは，モード2のフォーム2という誤り訂正符号のないフォーマットを使用している。記録容量を大きくするためである。



注：(　)内の数字はバイト数を表す。

図2　CD-ROMの物理フォーマット
CD-ROMの物理フォーマットは，音楽用CDの時系列化されたディジタル信号を2,352バイトごとに物理セクタで区切り，各セクタに同期信号12バイト，ID信号4バイトを付加して構成されている。

パソコン用CD-ROMではC3訂正まで行って，なお訂正不可能な場合は，データ転送をいったん中断し，C3訂正を繰り返すか，もう一度データを読みにいってC1，C2，C3訂正を行うリトライ処理を数回から数十回繰り返す。それでも訂正できない場合には，読み出し速度を標準速などに落としてリトライするものもある。この場合，読み出し信号の帯域を狭くすれば，信号のCN比も改善でき，効果は大きい。いずれにせよ，実質的なデータ転送レートは著しく低下する。

ビデオCDプレーヤの場合は連続性が重要なため，C2で誤りが訂正できなくてもデータを送り出す。このため，映像にノイズが発生する。

以上のことから，C2までで可能なかぎり誤りを訂正しておくことがいかに重要であるかが理解できる。

4　CD-ROMの技術動向と日立製作所のLSIキットの特徴

4.1　CD-ROMの技術動向と半導体ニーズ

(1)　データ転送レートの高速化

ディスクの回転数を上げ，読み出し速度を2倍速，4倍速と高速化してきた。6倍速機も登場している。このような高速化にはプリアンプの通過信号帯域の広帯域化，サーボの広帯域化，信号処理速度，特に誤り訂正回路の高速化が必要である。また，ディスクに記録されているオーディオデータは標準速で再生する必要があるた

め，プリアンプの波形等化，サーボ帯域などの標準速対応も必要である。

(2) アクセス速度の高速化

CD-ROMのデータアクセス時間は，ピックアップ全体をディスクの半径方向に移動させるスレッド移動時間，目的トラックでのディスク回転数を整定させるCLV整定時間，密検索でレンズを移動させるトラックジャンプ時間，および目的のデータがレンズ位置にくるまでの回転待ち時間から成る。このうち最も時間のかかるスレッド移動時間を短縮させるには，高速にスレッドを移動させる必要がある。低価格ドライブではトラック数をカウントして移動するトラックカウント方式が多く，通常プリアンプで生成されるトラック横断信号の高精度化と広帯域化が要求される。

(3) データの高信頼性

4倍速再生では標準速に比べ，読み出し信号の周波数帯域が4倍広くなる。このためノイズは6 dB増加する。信号レベルは同等なので，CN比が6 dB劣化する。このCN比の劣化を補償するために，信号処理回路にはノイズに強いPLL回路と，強力な誤り訂正回路が要求される。

(4) 低価格化

CD-ROMドライブの低価格化には，ピックアップ，ディスクモータ，スレッド機構を含むメカニズムの低価格化が必須(す)である。従来の高価な機種では，速度センサを搭載したリニアモータ方式のスレッド機構が採用されたが，低価格機種ではセンサレスのギヤ送り方式のスレッド機構が主流となる。そのため，高速トラックカウント方式に対応できるトラック横断信号生成回路が要求される。このほか，半導体などの部品点数の低減，無調整化も要求される。

4.2 CD-ROM専用LSIキットの特徴

日立製作所は，上記4倍速CD-ROMドライブの半導体ニーズに適合したCD-ROM専用LSIキットを開発した。バイポーラプロセスで構成したプリサーボIC HA12188(56ピン)と，0.8 μm C-MOSプロセスで構成したCD-DA信号処理LSI HD49235(80ピン)である。その機能一覧を**表1**に示す。

(1) プリサーボIC

プリアンプ回路とサーボ回路とを1チップに収めた。プリアンプ部では，4倍速再生に十分な周波数帯域を確保すると同時に，標準速でも最適な波形等化特性が得られるように，2系統の帯域切換回路を内蔵した。サーボ部でも標準速と4倍速で最適な特性を得るため，2系統の位相補償回路を内蔵して切換を可能とした。トラックカウント方式で高速アクセスを実現するため，4倍速動作時には100 kHzのトラック横断信号を生成可能とした。標準速，2倍速，4倍速と3系統の切換が可能である。

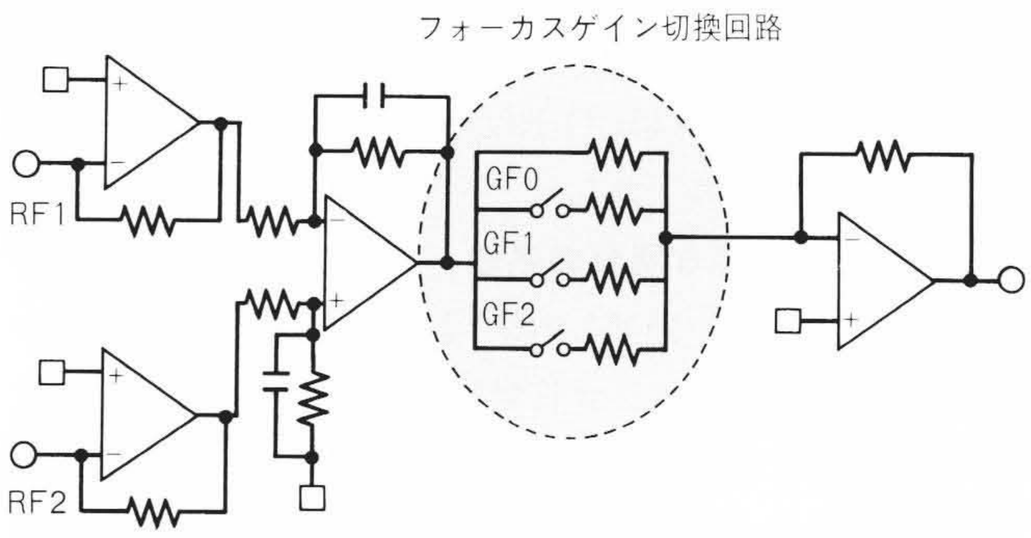
ディスクの傷を検出した場合，後段の信号処理回路でPLLを切り換えるための傷信号を出力する機能を内蔵している。

表1 HA12188，HD49235機能一覧

4倍速CD-ROM用LSIキットは，バイポーラプロセスで構成したプリサーボIC HA12188(56ピン)と，0.8 μm C-MOSプロセスで構成した信号処理LSI HD49235(80ピン)から成る。

型名	機能
プリサーボ HA12188	プリアンプ回路とサーボ回路を1チップ化
	4倍速動作対応
	プリアンプのイコライザの2系統切換回路搭載
	フォーカス，トラッキングのゲイン，位相補償の2系統切換回路搭載(サーボ)
	アクセス時のアクチュエータの移動方向判別
	自動調整用フォーカス，トラッキングのゲイン切換回路(8段階)搭載(サーボ)
	100 kHz帯域のトラックカウント検出回路を搭載(サーボ)
信号処理 HD49235	4倍速再生
	4倍速再生時にC1：二重，C2：四重エラー訂正能力実現
	データストローブにアナログ・デジタルの2系統のPLL回路を搭載
	アクセス時の128段階のCLVドライブ電圧(PWM)可変機能搭載
	CLVゲインの切換機能搭載(10段階)
	L/R出力逆転，ソフトミュート
	同期検出保護能力の強化(12フレーム)

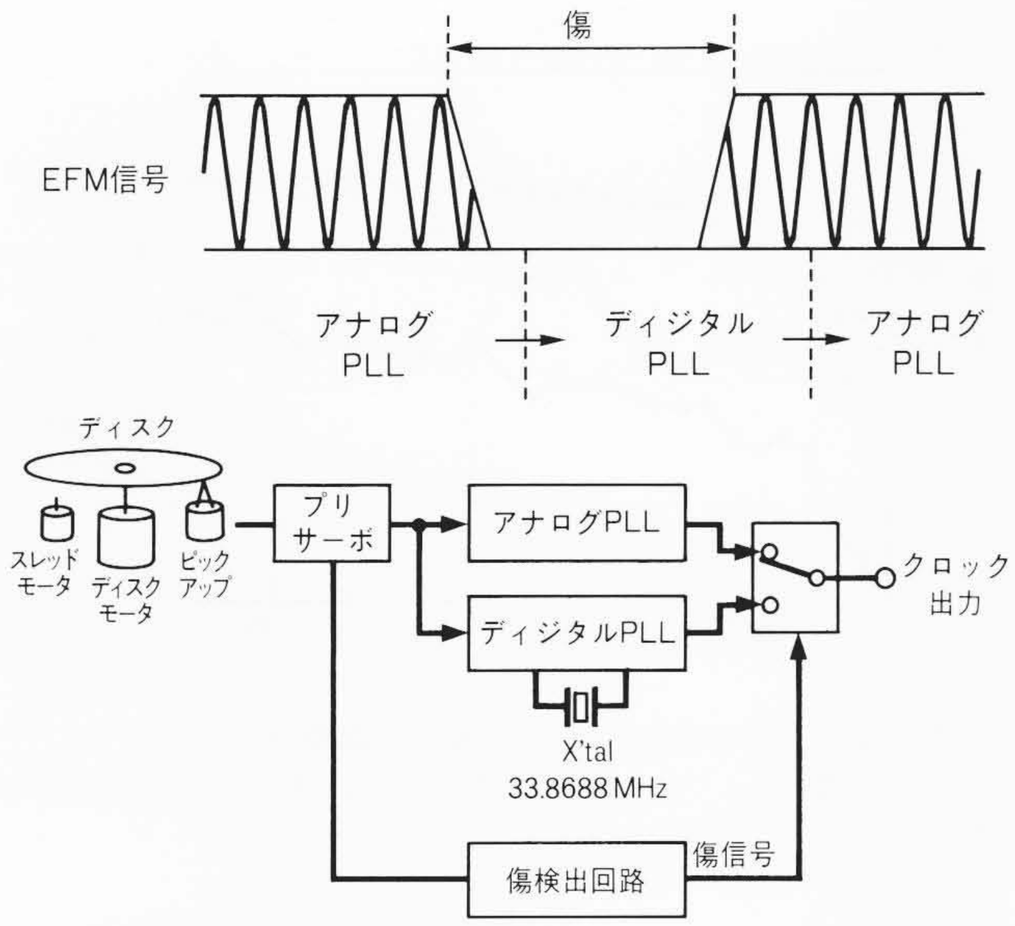
注：略語説明 PWM(Power Width Modulation)
L/R(Left/Right Audio Channel)
CLV(Constant Linear Velocity)



注：略語説明 RF (Radio Frequency)

図3 フォーカスゲイン切換回路

ICに内蔵したラダーネットワークを，A-Dコンバータを内蔵したマイコンで制御しゲインの自動調整を行う。



注：略語説明　X'tal（クリスタル）

図4　PLLクロック再生回路
傷を検出した場合には，引き込み特性の優れたディジタルPLL回路に切り換える。

また自動調整化のため，焦点，トラッキングループの各利得，トラッキングエラー信号のバランスをマイコンの命令で変化させるラダーネットワーク回路を内蔵している（**図3**参照）。

(2)　信号処理LSI

ディスクからの読み出し信号からクロック，データを再生するPLL部には，CN比劣化に対するエラーレートが良好なアナログPLLと，バースト性の傷に対して引き込みの早いディジタルPLLの2系統を搭載した。通常再生時はアナログPLLを使用し，傷検出時にはディジタルPLLに切り換えるシステムとした（**図4**参照）。これにより，ランダム，バーストの傷に対しても良好な特性を得ることができる。

誤り訂正回路は複雑な訂正演算処理を効率的に行うため，マイクロプログラミング方式を採用している。この方式は，演算回路，各種レジスタ，RAM，ROMなどの回路から成り，プログラムに従って訂正処理が実行できる。このため，回路は比較的小規模で実現可能であるが，演算アルゴリズムによって処理時間が左右される。

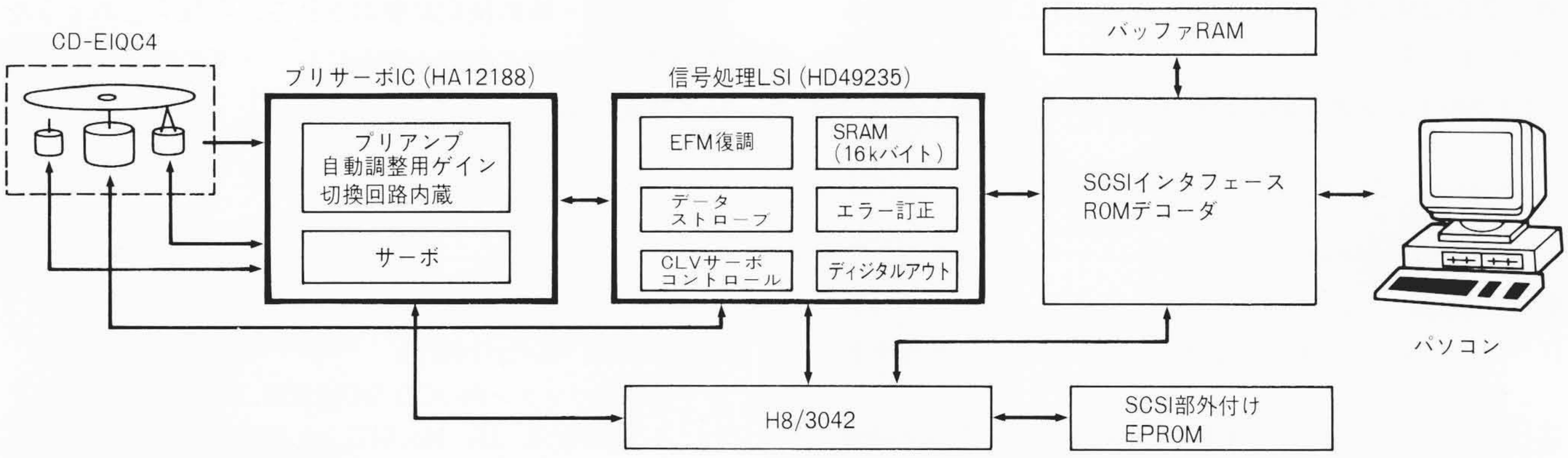
そこで，C1とC2の訂正演算処理を時分割で効率よく行うアルゴリズムとすることにより，4倍速動作時でもC1での2シンボル訂正，C2での4シンボル訂正を可能とした。

5　CD-ROMデモンストレーションシステムの評価結果

開発したLSIキットの能力を評価するため，評価用デモンストレーションシステムを試作した。このシステム構成を**図5**に示す。ピックアップメカニズムは日立製作所のCD-E1であり，スレッド送り機構はセンサレスギヤ方式である。プリサーボICはHA12188を，信号処理LSIはHD49235を，ROMデコーダインタフェースはSCSIを，マイコンは高性能16ビットマイコンH8/3042をそれぞれ使用した。仕様は標準速，4倍速対応であり，サーボゲインなどの調整は，H8/3042のA-D（Analog-to-Digital）コンバータで信号を取り込み，自動調整とした。アクセスには，HA12188のトラック横断信号を使用した。

標準ディスクでは4倍速と標準速でHA12188の波形等化特性を切り換えることにより，それぞれ最適なアイパターンを得ることができ，良好なエラーレートを得ることができた。

アクセスは4倍速時で210 msを実現した（ディスクの20分から40分往復の$\frac{1}{3}$アクセス）。内訳は「スレッド移



注：略語説明　EPROM（Erasable Programmable ROM）

図5　デモンストレーションシステムのシステム構成
4倍速CD-ROM用LSIキットと，高性能マイコンH8/3042でシステムを構成した。

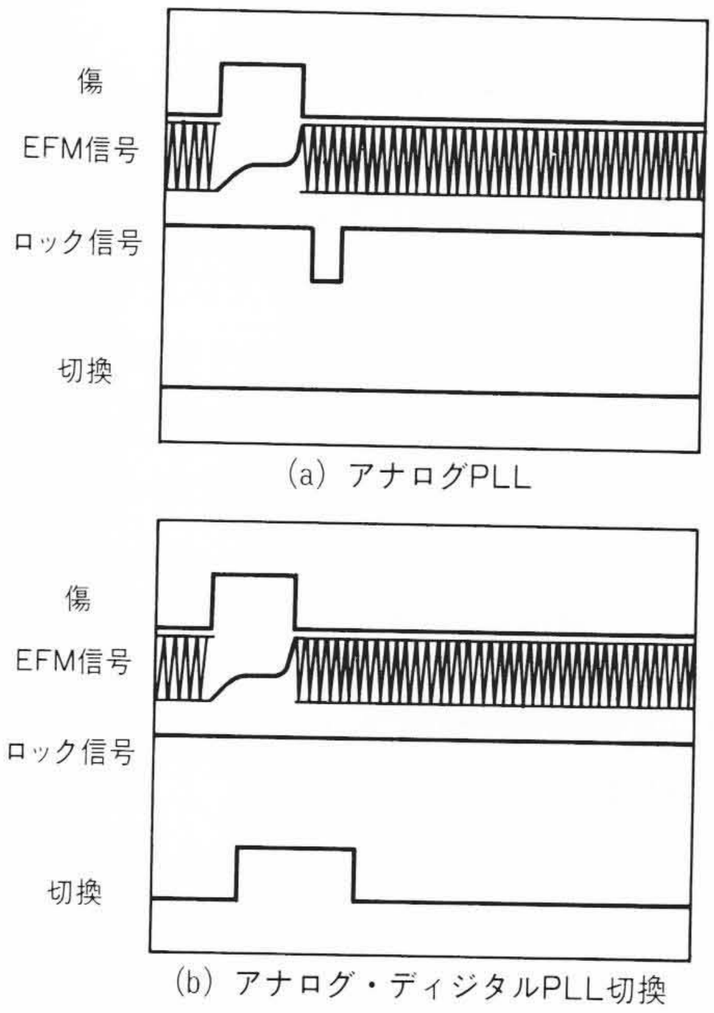


図6 1.2 mmの傷に対するPLL特性
アナログPLL固定のとき，(a)ではPLLのロックがはずれるが，傷を検出してディジタルPLLに切り換えた場合の(b)ではロックがはずれない。

動：130 ms」，「CLV整定：20 ms」，「トラックジャンプ(密検索)：35 ms」，「回転待ち時間：25 ms」である。130 ms程度のスレッド移動時間であればトラック横断信号周波数は90 kHz以下であり，カウントミスをほとんど起こさない。

次に，傷テストディスクの評価結果について述べる。PLLの切換効果について**図6**に示す。4倍速で1.2 mmの傷を通過した場合のPLL切換なし〔同図(a)〕と，PLL切換をした場合〔同図(b)〕の比較結果である。それぞれ4本の波形は，上からディフェクト(傷)信号，読み出し(EFM)信号，PLLのロック信号(Highがロック)，PLLの切換信号(Highがディジタル)である。同図(a)ではPLLのロックがはずれるが，同図(b)ではロックしたままであることがわかる。

C2での4シンボル訂正の効果について述べる。4倍速

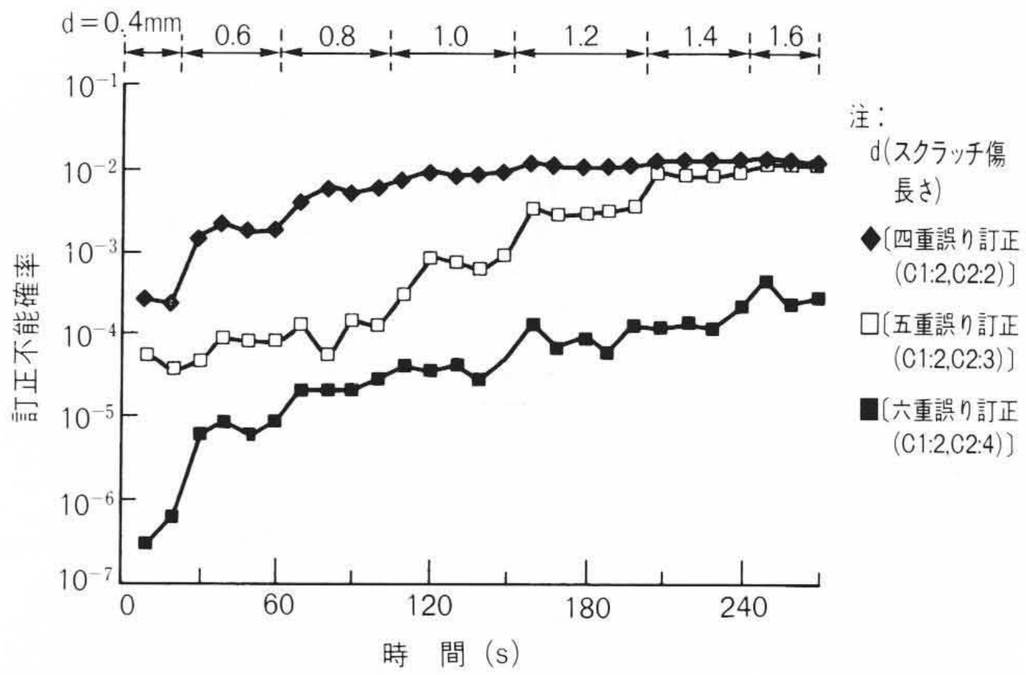


図7 4倍速時の誤り訂正不能確率の傷特性
「C2：四重訂正」では，「C2：三重訂正」に比較して，訂正不能確率を$\frac{1}{10}$から$\frac{1}{100}$に低減できる。

再生で横軸を傷の長さ，縦軸をC2訂正不能確率の相対値で表したものを**図7**に示す。3本の線は上から「C2：二重(シンボル)訂正」，「三重訂正」，「四重訂正」の結果である(HD49235の訂正能力をマイコンコマンドで可変して測定した)。明らかに四重訂正が優れていることがわかる。また，傷の大きさが小さいほど顕著である。

6 おわりに

ここでは，データ信頼性の高い4倍速CD-ROM用LSIキットの主な特徴と評価結果について述べた。ディスクの傷などによるデータの欠落に対してCD-ROMドライブのリトライ処理頻度を低減し，実質的転送レートを向上させることができる。また，MPEG(Moving Picture Experts Group)と組み合わせたビデオCDなどのシステムでは，映像ノイズを低減することができる。

これからも，CD-ROMはますます高性能化され普及していくと予想される。専用LSIも半導体の微細化に伴い，より高機能・高集積化が要求される。今後もこのようなニーズにこたえるため，さらにシリーズの拡充を図っていく考えである。

参考文献

1) 真利，外：CD-オーディオからパソコンへ，コロナ社(1990)
2) O. Kawamae, et al.：A High Speed Signal Processing for Quadruple Speed CD-ROM，IEEE Trans. on C.E., Vol.40，No.3(1994-8)
3) 低価格パソコン向けCD-ROM装置，日経エレクトロニクス，1994．9．12，No.617，pp.129～136