

ハイビジョン(高品位テレビジョン)用デジタルVTRの開発

Development of High-Vision Digital VTR

高品位テレビジョン用の高品質VTRを目的として、デジタル記録方式を採用したVTRを世界で最初に開発し、SN比56dBの高品質な画像再生に成功した。

開発したVTRは、テレビジョン信号をデジタル符号の形で記録することにより、走査線数1,125本の高品位テレビジョンの特徴である高精細度で、臨場感にあふれた画面が忠実に再現できる。

高品位テレビジョン信号(輝度信号帯域20MHz、色信号帯域5.5MHz)を、合計約460Mビット/秒のデジタル符号に変換し、5チャンネルに分割して、磁気テープ上に記録した。

デジタル記録のため、画質劣化のない記録が可能で、放送分野だけでなく医療、印刷などの産業分野への応用も期待できる。

梅本益雄* Masuo Umemoto

江藤良純** Yoshizumi Etô

三田誠一* Seiichi Mita

荻原博友*** Hirotomo Ogiwara

1 緒言

高度情報化社会を担うニューメディアの開発が進められている中で、高品位テレビジョンは放送ニューメディア最大のものであるとして注目されている¹⁾。高品位テレビジョンでは、走査線が従来の525本から1,125本へと2倍以上に増加し、画面サイズの縦と横の比が従来の3:4から3:5に広がり、現在のテレビジョン放送より格段にきめ細かく、ワイドかつ臨場感にあふれたテレビジョン画像が得られる。したがって、高品位テレビジョンの信号の記録には、従来よりも格段に性能の向上したVTRが必要である。

日立製作所と日立電子株式会社は、高品位テレビジョン信号をデジタル符号の形で磁気テープ上に記録することを検討し、記録・再生の過程で画質劣化がなく、高品質な画像再生が可能な高品位テレビジョン用デジタルVTRを世界で最初に開発した。

本論文では、まず高品位用デジタルVTRの基本構成とその基本技術であるデジタル記録の特徴に触れ、次にこれを達成するための主要開発技術を述べ、最後に開発したデジタルVTRの仕様とその応用について紹介する。

2 基本構成とデジタル記録の特徴

開発した高品位テレビジョン用デジタルVTRの基本構成を図1に示す。

高品位テレビジョン用3原色信号は、輝度信号成分と2種類の色信号成分に分けられ、それぞれA-D変換器によってデジタル符号に変換される。

高品位テレビジョン信号の周波数帯域が、現行のテレビジョン方式の約5倍になるので、アナログ-デジタル変換して良質な画像を得るために、約460Mビット/秒のデジタル符号に変換した。このような超高速データを5チャンネルに分配し、5個の磁気ヘッドで並列記録した。

デジタル符号中の一つのビットは、磁気テープ上では約0.5 μ mの微小な長さに記録されるため、テープ上のきずや雑音の影響を受けやすい問題がある。これを解決するため、記録前に誤り訂正符号を付加し、これを用いて、再生デジタル符号中の符号誤りを自動的に検出し、訂正した。

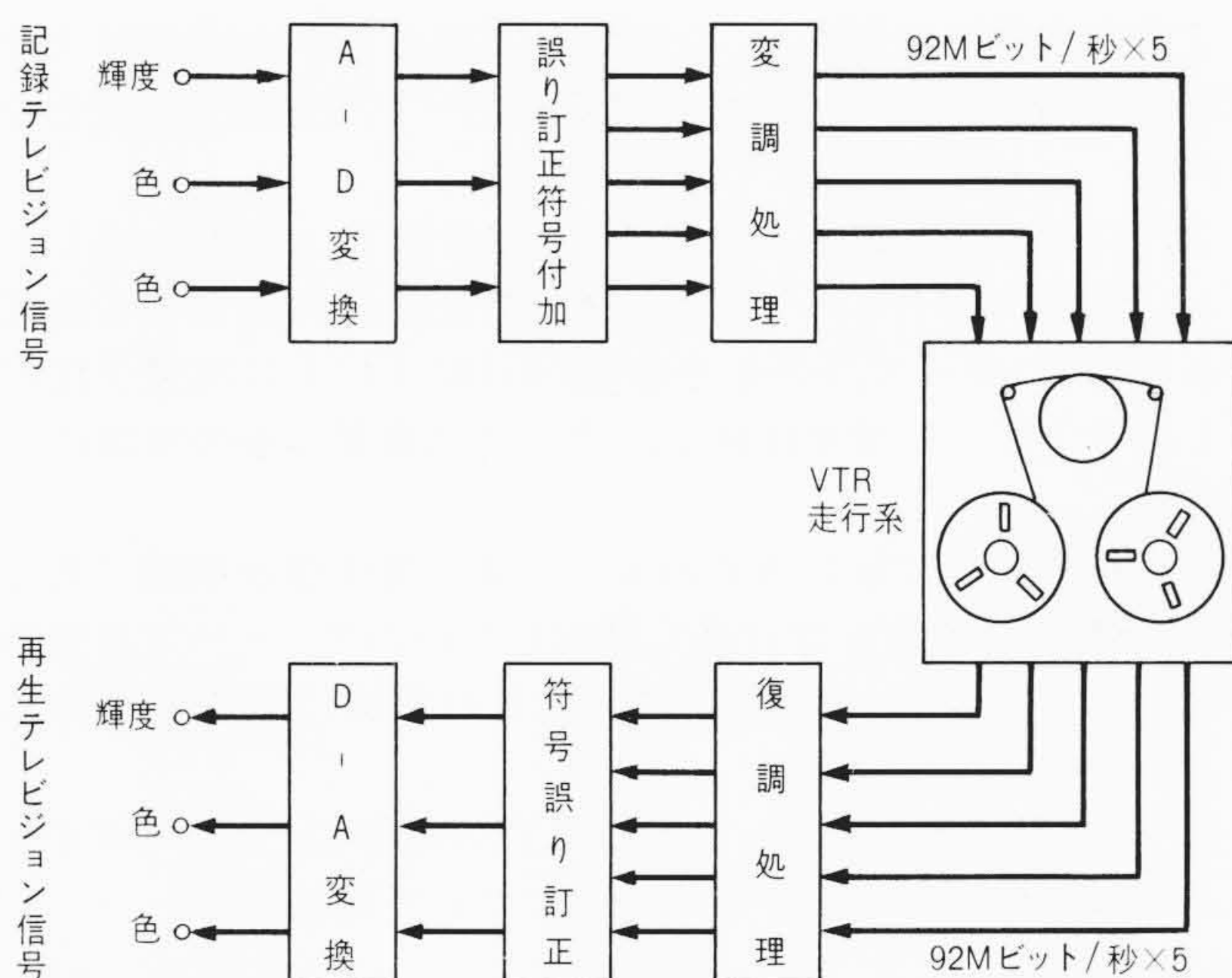


図1 高品位デジタルVTRの基本構成 高品位テレビジョン信号を全体で460Mビット/秒の符号化信号に変換し、5チャンネルに分割して磁気テープ上に記録した。

また、磁気ヘッドには低い周波数成分を再生しにくい性質があるので、画像信号の性質を利用した変調処理方式によって、デジタル符号を低周波成分の少ない符号に変換して記録した。再生された信号は、復調処理によって元のデジタル符号に逆変換される。

このような誤り訂正処理と変復調処理によって、デジタル-アナログ変換後の再生テレビジョン信号は記録・再生過程に起因する画質劣化がない。この結果、デジタルVTRの再生画質はアナログ-デジタル変換時の標本化周波数と量子化ビット数だけで定まり、極めて高画質の再生画質が得られる。

また、高品位デジタルVTRはテープ消費量の点でも、従来のアナログFM記録方式による場合に比べて有利である。図2は高品位VTRでのデジタル記録方式とアナログ記録方式のテープ消費量を現用テープで比較したものである。

アナログ方式のSN比(信号対雑音比)は、磁気ヘッドのトラ

* 日立製作所中央研究所

** 日立製作所中央研究所 工学博士

*** 日立電子株式会社小金井工場

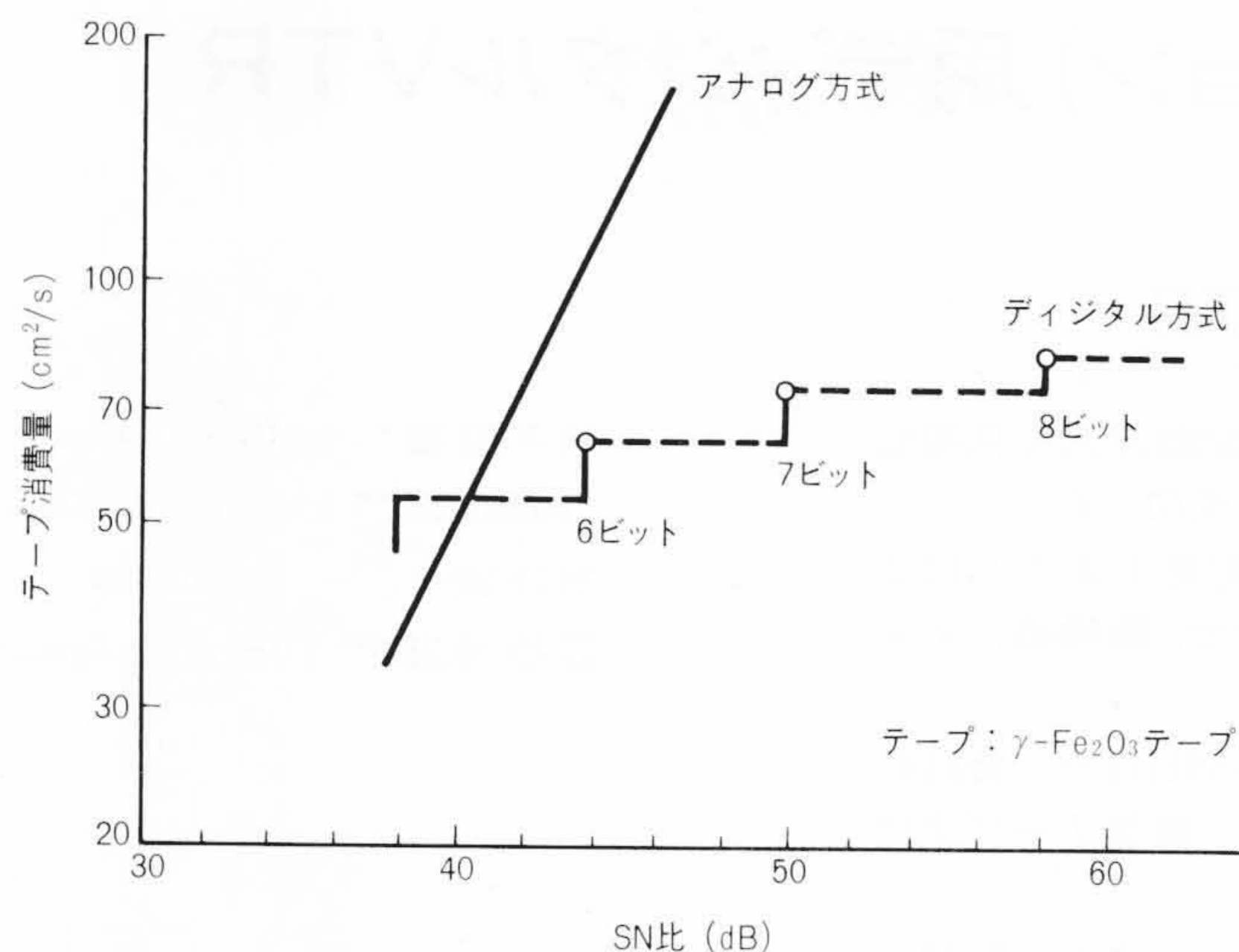


図2 高品位VTRでのSN比とテープ消費量 高品質化を目指す、デジタル方式がテープ消費量の点から有利となる。

ック幅の $\frac{1}{2}$ 乗に比例する。このため、SN比を2倍(6 dB)上げるには4倍のトラック幅が必要で、テープ消費量も4倍となる。

これに対しデジタル方式では、量子化ビット数を M とすると、SN比は 2^M に、一方テープ消費量は M に比例する性質がある。したがって、SN比を2倍(6 dB)上げるには量子化ビット数を1ビット増せば良く、テープ消費量は $\frac{1}{2}$ の増加にとどまる。

高品位テレビジョン方式のように高品質画像が前提である場合、SN比はできるだけ高く設定したいので、テープ消費量の点からデジタル記録方式が将来の主流になると思われる。

以下、次章で高品位デジタルVTRの開発上でキーポイントとなる高速デジタル記録技術について詳述する。

3 高速デジタル記録技術

3.1 符号誤り訂正方式

符号誤りに対する補償は、コンピュータの主記憶メモリ、磁気ディスク、磁気テープをはじめ、各種のデータ通信分野、更に最近ではDAD(デジタルオーディオディスク)などで広範囲に検討されている。これに対してデジタルVTRでは、高速、高密度記録のため、伝送路(すなわち、磁気テープ)での符号誤りが非常に多い²⁾(ビット誤り率で 10^{-4} 程度)。

デジタルVTRでの符号誤りとしては、

- (1) 磁気テープの磁化特性自身に起因する雑音や再生前置増幅器の増幅素子に起因する雑音によって発生する、主に1ビット単位の符号誤り(ランダム誤り)
- (2) 磁気テープの磁性面に付着したごみやきずによって、磁性面と磁気ヘッドの間にスペーシングが発生し、再生信号が欠損(ドロップアウト)して起こる数十ビットから数百ビットにわたる符号誤り(バースト誤り)がある。

高速すなわち広帯域化すると、上記(1)の雑音の影響が大きくなり、高密度化して記録波長、トラック幅が狭くなると(1)の雑音の影響とともに(2)のドロップアウトの影響が顕著になる。

更に、高品位デジタルVTRは上記のように記録すべきデータ量が極めて多量で、誤り訂正符号に十分な割当てが確保しにくいという制限がある。

これらの条件を考慮して、映像信号のうち水平帰線期間の同期信号は再生側で再挿入できるものであるため、水平帰線期間の信号を記録しないで誤り訂正符号に割り当てた。これによって、記録データ量の増加を抑えた。

このような冗長度(18%程度)の誤り訂正符号によって、上記符号誤りに対して効果的な訂正を行なうため、

- (1) ワード単位の誤り訂正が可能なb隣接符号の採用
- (2) バースト誤りに対するインタリーブ構成
- (3) 画質に大きな影響を与える上位4ビットの重点的な訂正などを行なった。

図3に誤り訂正符号を付加したときのデータブロック構成を示す。画像データはサブブロックと呼ばれる単位ごとにまとめられ、複数個のサブブロックに対して誤り訂正符号もサブブロック単位で付加される。誤り訂正符号が付加されたデータブロックは、上のサブブロックから順々に矢印の方向に従って磁気テープ上に記録される。

磁気テープで発生するバースト誤りが、図3のデータ構成上で水平方向に現われるのに対し、誤り訂正は垂直方向に演算する。サブブロックの長さを発生するバースト誤りの長さより十分長く設定しておく、バースト誤りも垂直方向に見れば1ワード誤りとなる(インタリーブ構成)。

なお、符号誤りの画質に与える影響は上位ビットほど大きく、視覚評価実験の結果、上位4ビットの誤りを保護(訂正)すると、誤りの影響はほぼ完全に排除することが分かった。

よって、上位4ビットを重点的に訂正することにし、垂直方向2ワードの上位4ビット、すなわち合計8ビットを新たに1ワードと見立てて訂正符号を演算することにした。

垂直方向の誤り訂正符号は、ワード単位で誤り訂正可能なb隣接符号を用いた。この訂正符号に上記の2画素一括訂正方式を適用し、訂正後の誤り率を約一けた改善した。

3.2 変調処理技術

VTR記録再生系ではロータリトランス、磁気ヘッドの周波数特性のため、直流成分が再生できない。このため、再生波

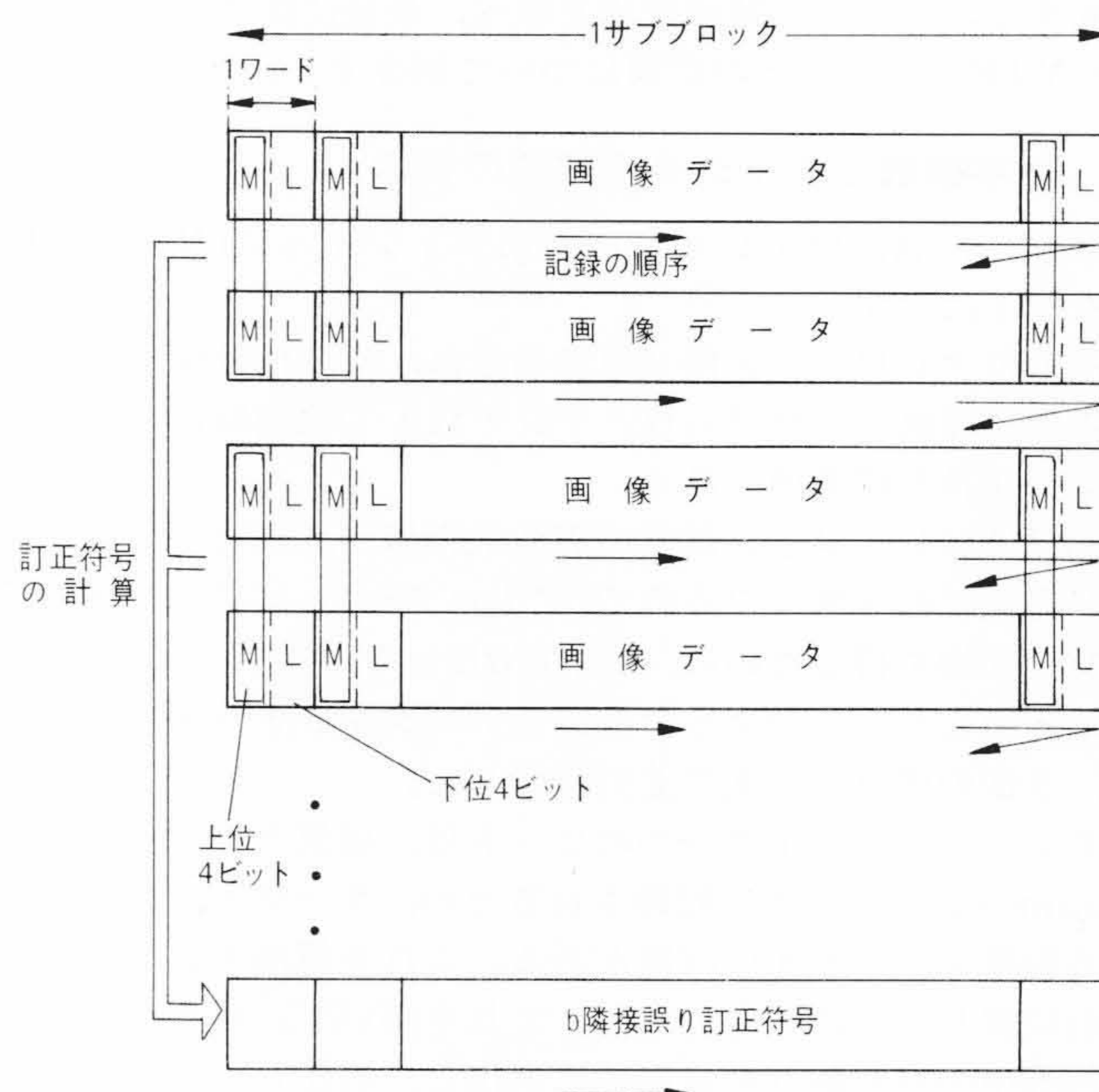


図3 データブロックの構成 バースト誤りに対するインタリーブ構成及び画質に大きな影響を与える上位4ビットを重点的に訂正する方式によって、効率的な誤り訂正を行なった。

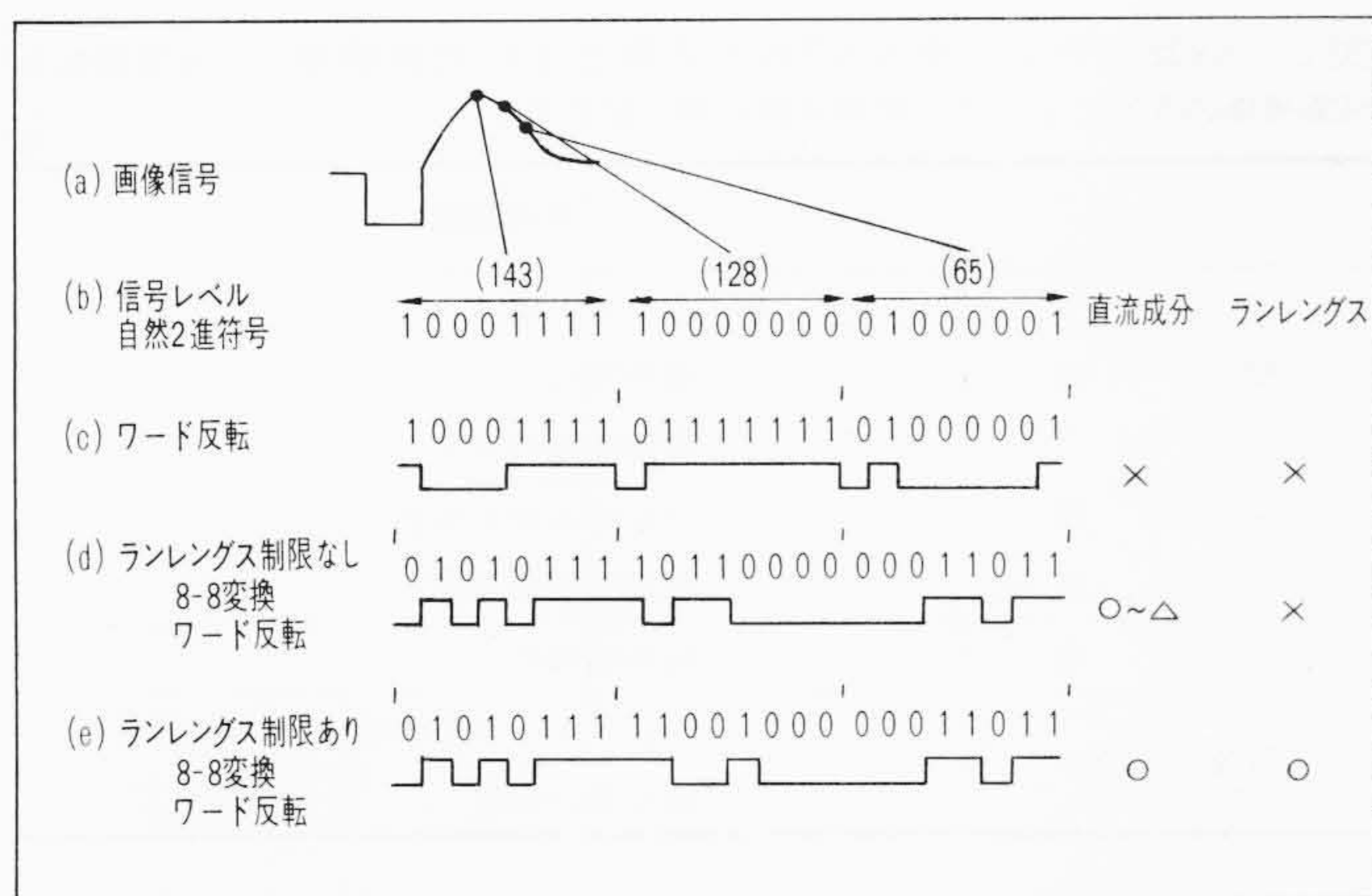


図4 画像信号からランレングス制限符号への変換例 ランレングスを制限して直流成分や磁気記録系の波形干渉を抑える。

形が劣化し、符号誤りの発生の大きな原因の一つになっている。これに対処する技術が変調処理技術で、直流成分をもつ画像符号を直流成分の少ない符号に変換する技術である。

これには大別して下記の三つの方法が提案されている。

- (1) 符号の変化点の数を制限する方法(8-9変換符号)³⁾
- (2) 画像の相関性を利用する方法[8-8変換ASE(Adapted Spectral Energy)符号]⁴⁾
- (3) 符号をランダム化する方法[スクランブルドNRZ(ノンリターンゼロ)符号]⁵⁾

高品位テレビジョン信号では従来より標本化周波数が高いため、画像の相関性が期待でき、(2)の8-8変換符号が適用可能である。今回、符号誤りの発生を更に防止するため、1あるいは0の連続数(ランレングス)を制限することにした。

図4に、画像信号をランレングス制限符号に変換した一例を示す。同図(a)は画像信号で、(b)はその標本値を自然2進符号で表わしたものである。この自然2進符号で、画素ごとに符号反転すると、(c)のように直流成分の発生を少し防げるが、常に直流成分の発生を抑えることはできない。

8-8変換符号では、まず、ワードの重み(1ワード内の1の個数)の順序で8ビットの符号256個を並び替え、これを画像のレベル0から255に対応(8-8変換)させる。変換後の符号を画素ごとに反転させると、(d)のように隣接符号間で、1と0の数が等しくなることが多く、直流成分の発生がかなり防止できる。しかし、(d)からも分かるように隣接符号間で1又は0が連続することがある。

隣接符号間の1又は0の連続数(ランレングス)を検討した結果、ランレングス6で利用できるワード数すなわちレベル数は196である。

このランレングス制限符号を用いると、直流成分の抑圧とともに、いわゆる変調信号の最大磁化反転幅 T_{max} が制限され、磁気記録系の非線形な波形干渉の影響が小さくなり、符号誤りの発生を防止できる。

記録再生実験によって、従来のランレングスを制限しない場合に比べて約 $\frac{1}{2}$ けた誤り率を改善できることが分かった。

なお、ランレングス6の196レベルは8ビットで表現できる256レベルよりも少なくなり、デジタルVTRの再生画像のSN比が59dBから56dBに劣化する。ただし、この値はSN比として十分高い値であり大きな問題でない。

以上の方式上の検討とともに、記録アンプ、再生回路の広帯域化、磁気テープ・ヘッド系の周波数劣化を補償する等化

回路の高性能化を行ない、再生画像の符号誤り率を 10^{-8} 以下にすることができた。

4 仕様

開発した高品位デジタルVTRは、日本放送協会提案の1,125本方式の高品位テレビジョン信号を8ビットのデジタル符号に変換して、磁気テープに記録することにより、SN比56dBの高品質な画像が得られる。

図5にその外観を示す。装置は三つの部分に分かれている。右側はデジタル信号処理用ラックで、左側の上はVTR走行系である。VTR走行系の下は磁気ヘッド出力からクロック信号とデータ信号を抽出する信号処理部及び走行系のシリンダモータ駆動電源部である。

表1は開発した高品位デジタルVTRの主な仕様である。放送用タイプCヘリカルスキャンVTRを改造した走行系でテープ走行速度、シリンダ回転数が、タイプCヘリカルスキャンVTRの通常の値より2倍の値を採用している。

表1 高品位デジタルVTRの仕様 開発した高品位テレビジョン用VTRの仕様を示す。

記 録 方 式	デジタル記録方式	
テ ー プ 幅	1 in	
走 行 系	タイプC準拠	
走 行 速 度	48.8cm/s	
シリンダ回転数	7,200rpm	
チャネル数	5	
映像信号帯域	輝度 20MHz	色 5.5MHz (線順次)
標本化周波数	46MHz	11.5MHz
ビット数	8ビット	8ビット
S N 比	56dB	56dB

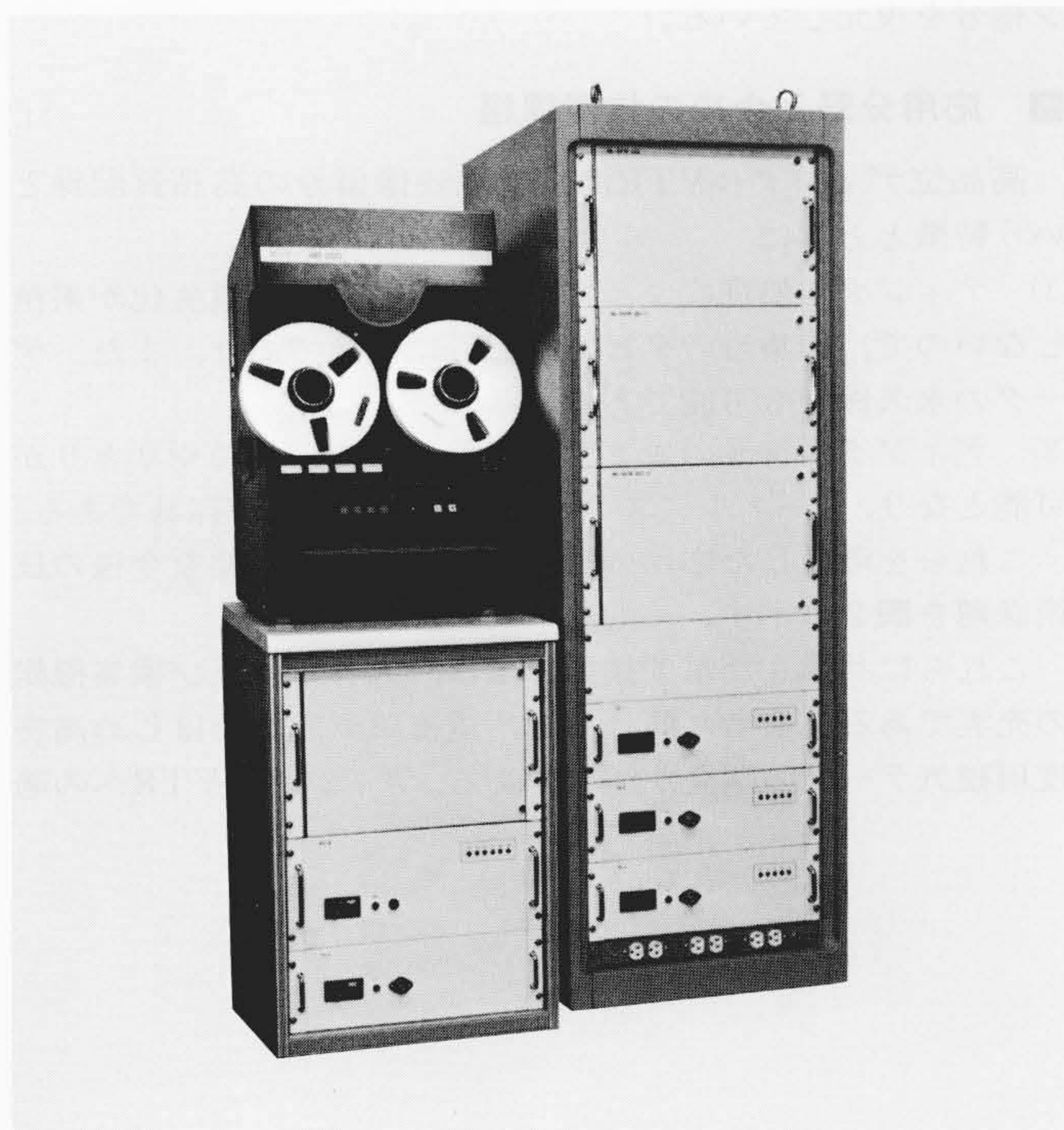


図5 高品位デジタルVTR 左側がVTR走行系、右側がデジタル信号処理系である。大きさは全体で幅100×奥行75×高さ180(cm)である。

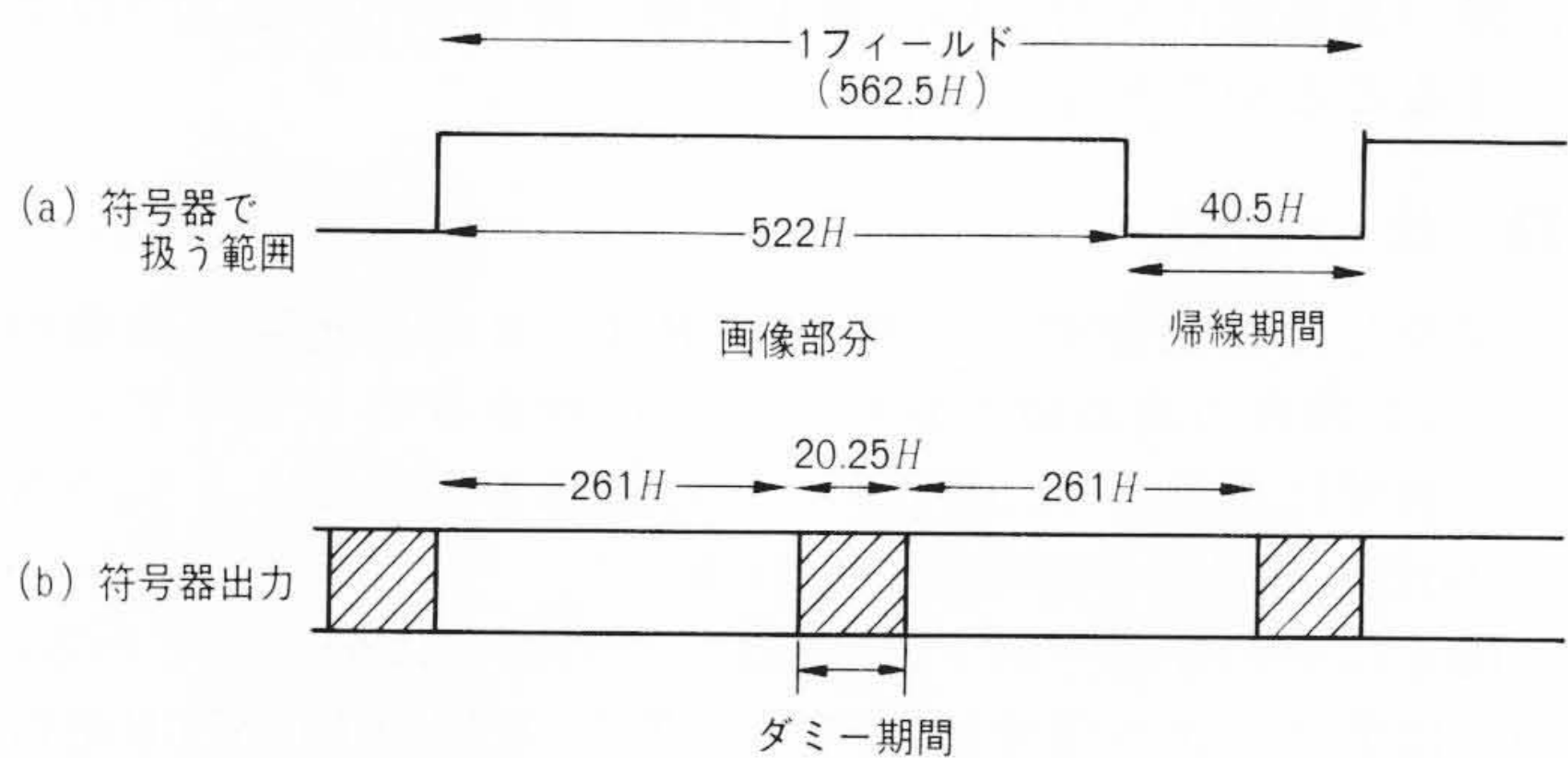


図6 1フィールドの記録パターン 1フィールド間に2回のダミー期間を設けて、画像信号を2分割して記録する。

輝度信号及び色信号の標本化周波数はそれぞれ46MHzと11.5MHzで4：1の整数比に選んだ。

2種類の色信号は水平方向の信号帯域(5.5MHz)にマッチングするように、垂直方向の信号帯域を制限し、走査線ごとに交互に記録する。

輝度信号と色信号を合わせた記録信号全体のデータ速度は約460Mビット/秒で、5チャンネルに分配し、5個の磁気ヘッドで並列記録した。一つの磁気ヘッド当たりの記録データ速度は92Mビット/秒である。

磁気テープは従来の放送用1inヘリカルスキャンビデオテープがそのまま使用可能である。

図6は高品位デジタルVTRでの記録パターンと画像信号の関係を示したものである。符号器では高品位テレビジョン信号1フィールド分のうち522H(Hは1水平走査期間を示す。)の画像部分をデジタル符号化する。1フィールドにシリンダは2回転するので、磁気テープと磁気ヘッドの非接触期間が2回現われる。このため、同図(b)に示すように、ダミー期間を設け、画像データを前後に2分割して記録する。再生時に、ダミー期間より長い期間のデータが記憶できるメモリを用意して、ダミー期間を取り除いて元の高品位テレビジョン信号を復元している。

5 応用分野と今後の技術課題

高品位デジタルVTRは広帯域映像信号の高品質記録という特徴とともに、

- (1) デジタル処理によってダビング時にも画質劣化が累積しないので、編集時のダビング記録に最適であり、また、データの永久保存も可能である。
- (2) デジタル符号のままで周辺機器との信号のやりとりが可能となり、トータルシステムのデジタル化が容易である。

これらを考慮した応用分野と、その実現に必要な今後の技術課題を表2に示す。

これらに共通した重要技術課題は、大容量化及び編集機能の充実である。前者に関しては、垂直磁気記録をはじめ高密度用磁気テープの開発が活発である。デジタルVTRへの適

表2 高品位デジタルVTRの応用とその技術課題 大容量化と編集機能の充実によって、応用分野が更に拡大する。

応用分野	技術課題
放 送	カセット化
	長時間化
	編集機能の充実
映 画 印 刷	フレーム数の変更
	編集機能の充実
医 療	超高精細化
画像ファイル	コンピュータとの接続
	誤り率の低下

用を考えると、なお走行安定性、ドロップアウトなどの改善が必要である。また後者に関しては、デジタル記録の特徴を生かした新しい機能について現在検討中である。

6 結 言

高品位テレビジョン用の高品質VTRを目的として、世界で最初にデジタル記録方式を採用したVTRについて技術開発を行なった。

- (1) 直流成分の発生を防止するランレングス制限符号を開発し、デジタル磁気記録での符号誤りの発生を大幅に低減した。
- (2) 符号誤りを効率良く訂正する方式として、画質への影響が大きい上位4ビットを重視する2画素一括訂正方式を開発した。

これらの技術によって4.6×10⁸ビット/秒の高速デジタル記録を達成し、SN比56dBの画像再生を実現した。

高品質化にはテープ消費量の点からもデジタル記録方式が主流になることが予想され、今回の技術開発によってその基盤が確立できた。今後更に応用を展開してゆくには、大容量化に必要な高速・高密度磁気テープ、ヘッド及び変復調処理技術のいっそうの高性能化が必要である。

最後に、高品位テレビジョン用デジタルVTRの開発に当たり、その基盤となる広帯域記録技術について御指導いただいた日本放送協会放送技術研究所の関係各位に対し深く感謝する。

参考文献

- 1) 小西, 外: 放送の将来と情報化社会, 電子通信学会誌, 67巻, 1号(昭59-1)
- 2) 平野, 外: デジタルVTRの誤り訂正, 修整方法, テレビジョン学会誌, 35巻, 7号(昭56-7)
- 3) 三田, 外: 1/2インチテープを使用したデジタルVTRの検討, 電子通信学会 技術研究報告MR83-9(昭58-6)
- 4) J.Heitmann: Digital Video Recording, New Result in Channel Coding and Error Protection, SMPTE Journal Vol.93(1984)
- 5) K.Yokoyama, et al.: An Experimental Digital Video Tape Recorder, SMPTE Journal, Vol.89(Mar.1980)