

ファクシミリ信号帯域圧縮装置

Reduced Time Facsimile Transmission

末 広 明 雄*
Akio Suehiro

小 原 晋*
Susumu Ohara

松 本 国 男**
Kunio Matsumoto

要 旨

ファクシミリ信号の統計的性質に着目し、情報の冗長を除去することにより圧縮を行なうファクシミリ信号帯域圧縮装置を研究しこれを発表したが、その後、電送書画の性質を分析し、符号構成および符号の伝送方法を改良することにより、さらに2倍程度の高圧縮が可能となった。この装置をファクシミリ装置に付加することにより、所要伝送周波数帯域を増大させることなく、電送速度を4~10倍に向上することが可能となる。

1. 緒 言

現在ますますファクシミリによる書画電送の需要が急激に伸びつつある。一方、伝送路の所要周波数帯域は電送速度に比例し、速く電送しようとすれば、それだけ広い周波数帯域を必要とする。現在使用されている伝送路の多くは、電信電話公社の市内、市外専用線および準専用線であり、この電話1回線分の周波数帯域でファクシミリの書画電送を行なうと、電送時間が長くなる(B-5判、4本/mmで約4分)。したがってこの高速化が要求されている。しかし上述のように、速く電送するためには広帯域の伝送路を必要とし、電話回線を数回線使用しなければならない。

ファクシミリ信号帯域圧縮装置はすでに報告した⁽¹⁾ように、ファクシミリ信号の統計的性質に注目し、画面の白黒の継続時間(Run Length)を符号化し、情報の冗長を除去して圧縮するものである。

今回は前回の報告⁽¹⁾後さらに電送書画の性質を分析し、符号構成および符号の伝送方法を改良することにより、さらに2倍程度の高圧縮が可能となった。一方、機器構成にも改良を加え、装置の価格を安くすると同時に高速符号伝送にも対処できるようにし、さらに符号誤りの処理機能を追加して、研究を行なっている。

本報告は、前回の報告⁽¹⁾のものからさらに研究した点を重点に述べる。

2. 圧縮装置の改良

ファクシミリ信号帯域圧縮装置のおもな改良点は、

- (1) 分割符号化2値伝送方式⁽¹⁾を用いた符号構成をさらに高圧縮を期待し、可変符号長3値伝送方式とし、前者の圧縮率をさらに2倍程度の高圧縮とした点。
- (2) 主メモリをダイナミックシフトレジスタ方式からランダムアクセスメモリ方式に変更し、前者の書込み指定位置までくる時間の待行列を作るバッファメモリを大幅に削減すると同時に、同じ装置でクロックの速度を切り換えることのみで、低速用のものから高速用のものまですべて動作できるようにした点。
- (3) 圧縮方式を白黒の継続する時間(Run Length)で符号化するため、伝送符号の各ビットはそれぞれ重さ(Weight)を持ち、重さの大きいビットが誤ると復号した画面が大きく乱れ、見にくい画面となるのでこのビット誤りを、情報量を増大させるパリティビットなどを付加することなく、受信端で誤りを検出し、処理することにより、画面の乱れを少なくした点。

の三つに分けられる。

2.1 可変符号長3値伝送方式

ファクシミリ信号帯域圧縮装置はファクシミリ信号のRun Lengthの統計的性質を利用しており、これはほぼポアソン分布⁽²⁾をなすことが知られている。分割符号化はRun Lengthの大きさにより符号長を何段階かに分割する方法で、B-5判、4本/mmとしたとき、Run Length符号化画像情報は、3ビットを1グループとし、5グループで1語を構成している。図1に示すように、各グループの第1

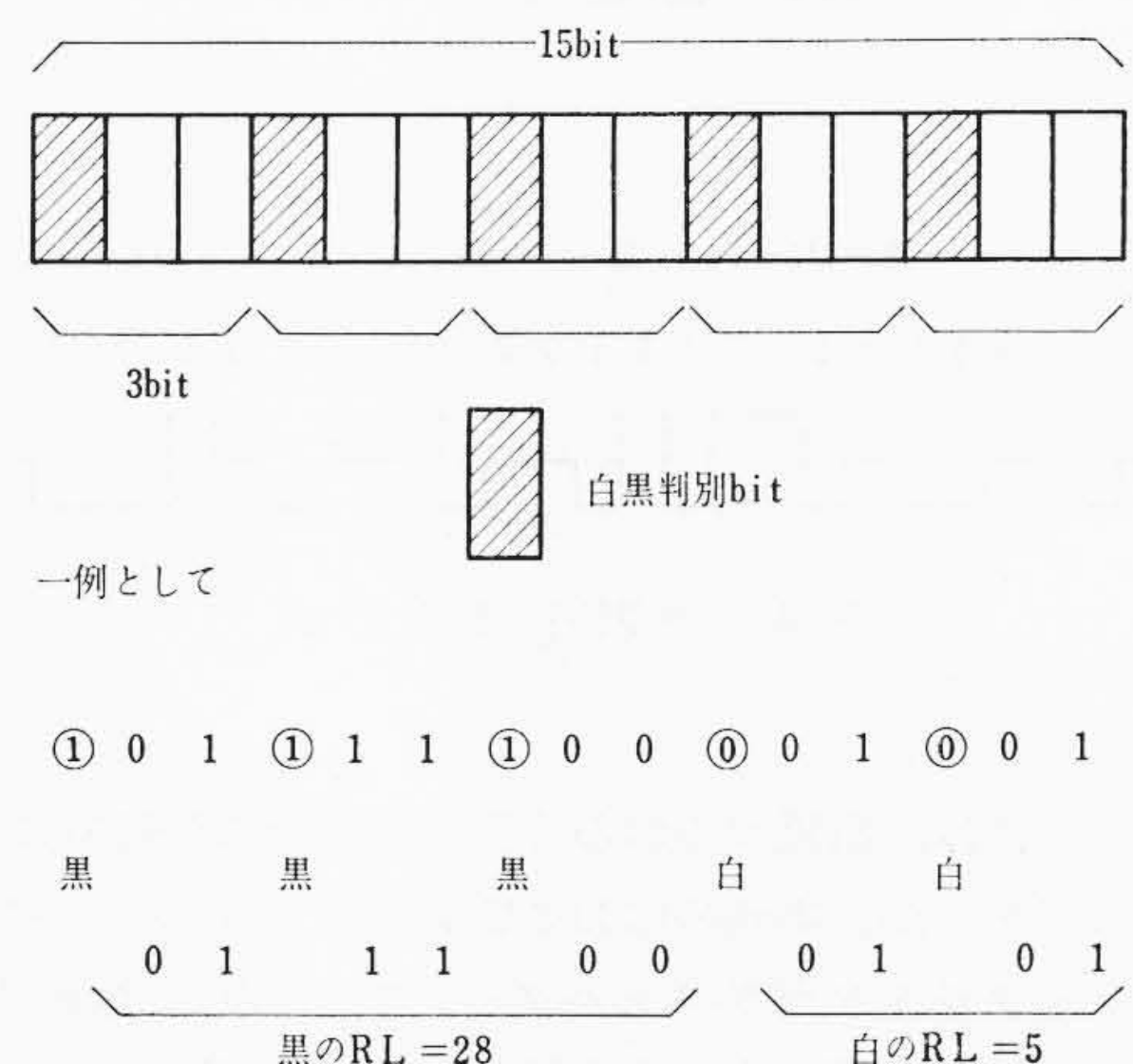


図1 分割符号化2値伝送方式

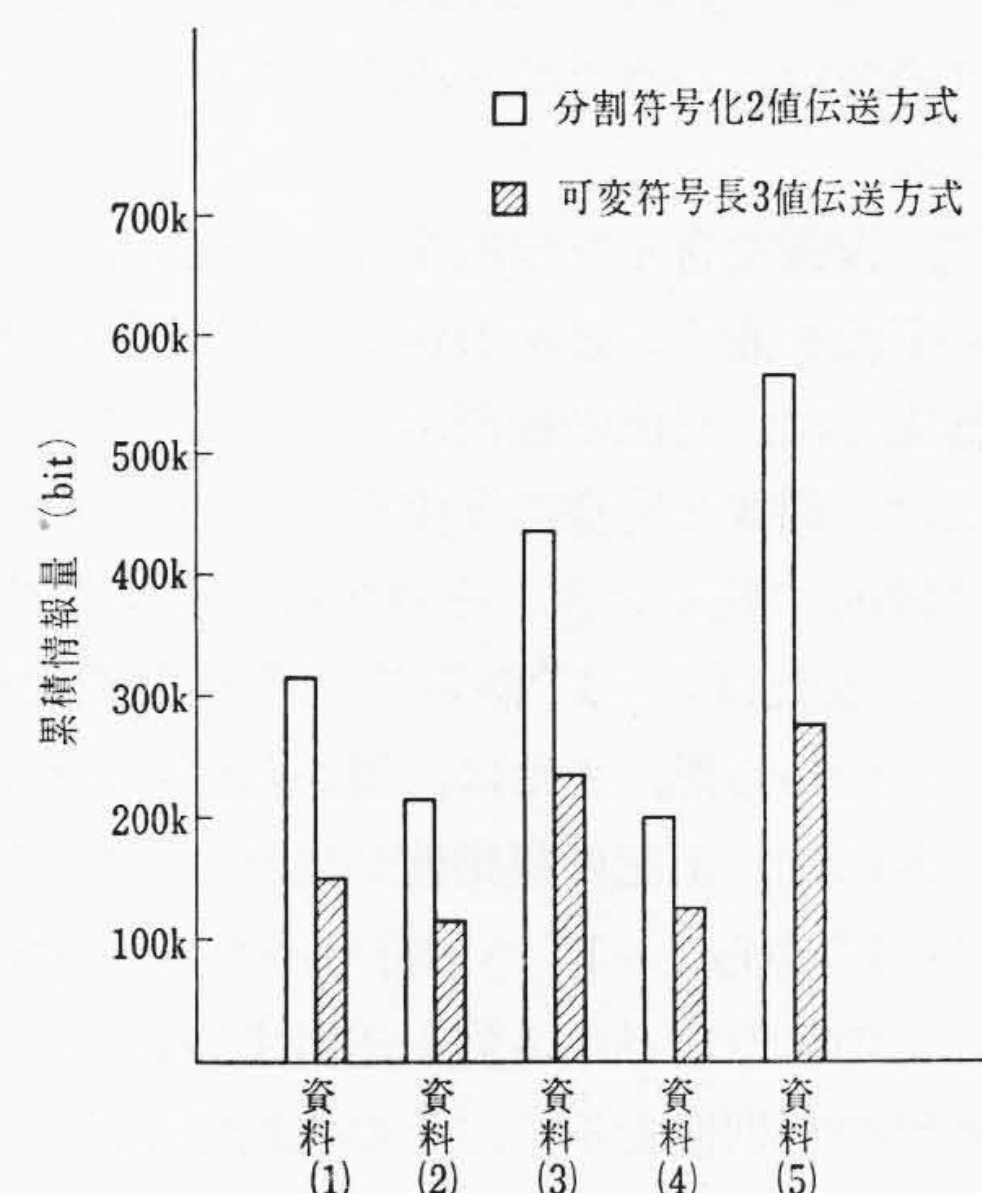


図2 二つの方式による情報量の比較

* 日立製作所戸塚工場

** 日立製作所東北営業所

ビットは、白黒の判別ビット(黒“1”で白“0”), 第2, 第3ビットは、画像情報の継続長を示している。この場合、符号の伝送形式は2値伝送を前提としているが、2値伝送ゆえに分割符号化方式を取らざるを得ず、白黒判別ビット、符号のグループ分割損によるビットが増加し、情報量の増大を余儀なくされていた。したがって、この白黒判別の情報を時間方向のビット情報でなく、電圧方向の極性情報として処理すれば解決できることがわかる。

2.1.1 各紙面の画素数

分割符号化2値伝送方式と、可変符号長3値伝送方式とでは、その情報量が実際の画面でどのくらい差があるかを見てみると、図2のようになる(この実際の画面はあとに示す)。この結果、可変符号長3値伝送方式にすると、さらに約2倍の圧縮が期待できることがわかる。

2.1.2 3値符号への変換

白黒判別情報を極性情報に変換する方法は図3, 図4に示すように二とおり考えられる。

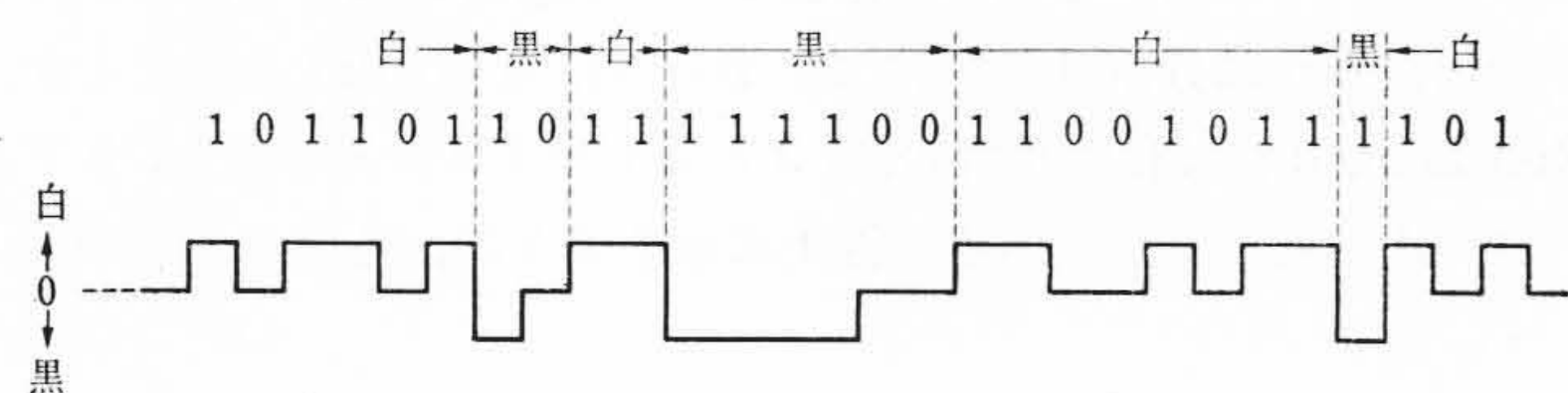


図3 極性分離方式

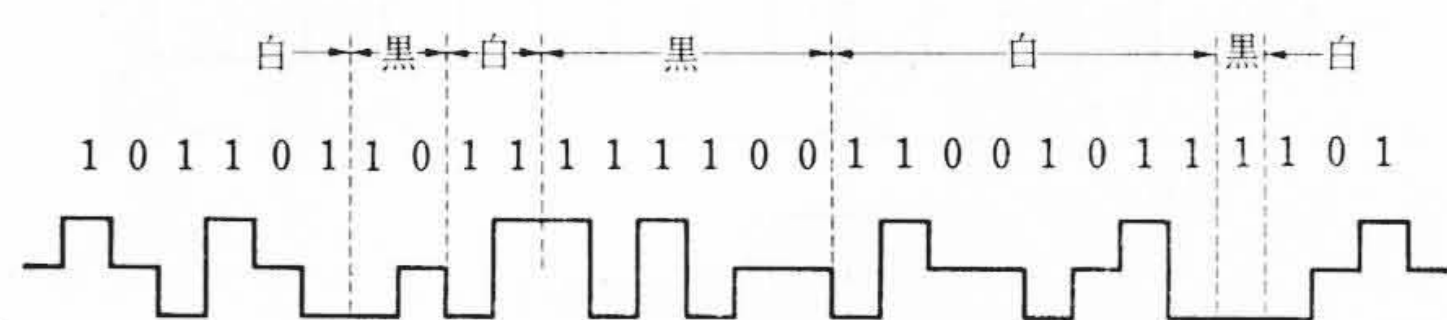


図4 規則性識別方式

図3の方法は、白黒おのおのの符号を完全に極性別にして伝送するものであるが、書画の白および黒の発生確率で、白黒変化の激しいファクシミリ用テストパターンでも、黒は全体の10%にすぎない。また相関を表わす条件付確率PW(W), すなわち、白の次にまた白である確率は0.96~0.99に及び、一方、黒の次また黒である確率PB(B)は非常に小さい。

このことからわかるように、伝送される極性別符号の数が大きく異なり、ほぼその変動が直流的になる場合がある。同時に、白黒の切り換りの多いところでは交流的となり、その変動範囲が非常に大きくなる。

一方、変調、復調を含んだ伝送系は、一般にトランスなどを用いているため直流を通すことが困難で、白黒符号を極性別に取る図3の符号構成では、直流の補正がむずかしくなる。

図4の方法は、図3と同様に3値符号であるが、白または黒の同一極性が連続的に続くとき、その2進表示数の“1”が“+1”から“-1”へ、または“-1”から“+1”へと順次交互に切り換わるパルスで、白から黒、または、黒から白のように異極性に切り換わったときには、上記の規則性が乱れて、“+1”から“+1”へ、または“-1”から“-1”へと符号パルスが変化する。

送信側からこのようなパルス列を送出すると、受信側では、入力信号の極性別の規則性をみて、その規則性が乱れた点から次に乱れる点までを、白または黒の信号の符号長として検出される。ある規則性の乱れから次の規則性の乱れまでが、白であるか黒で

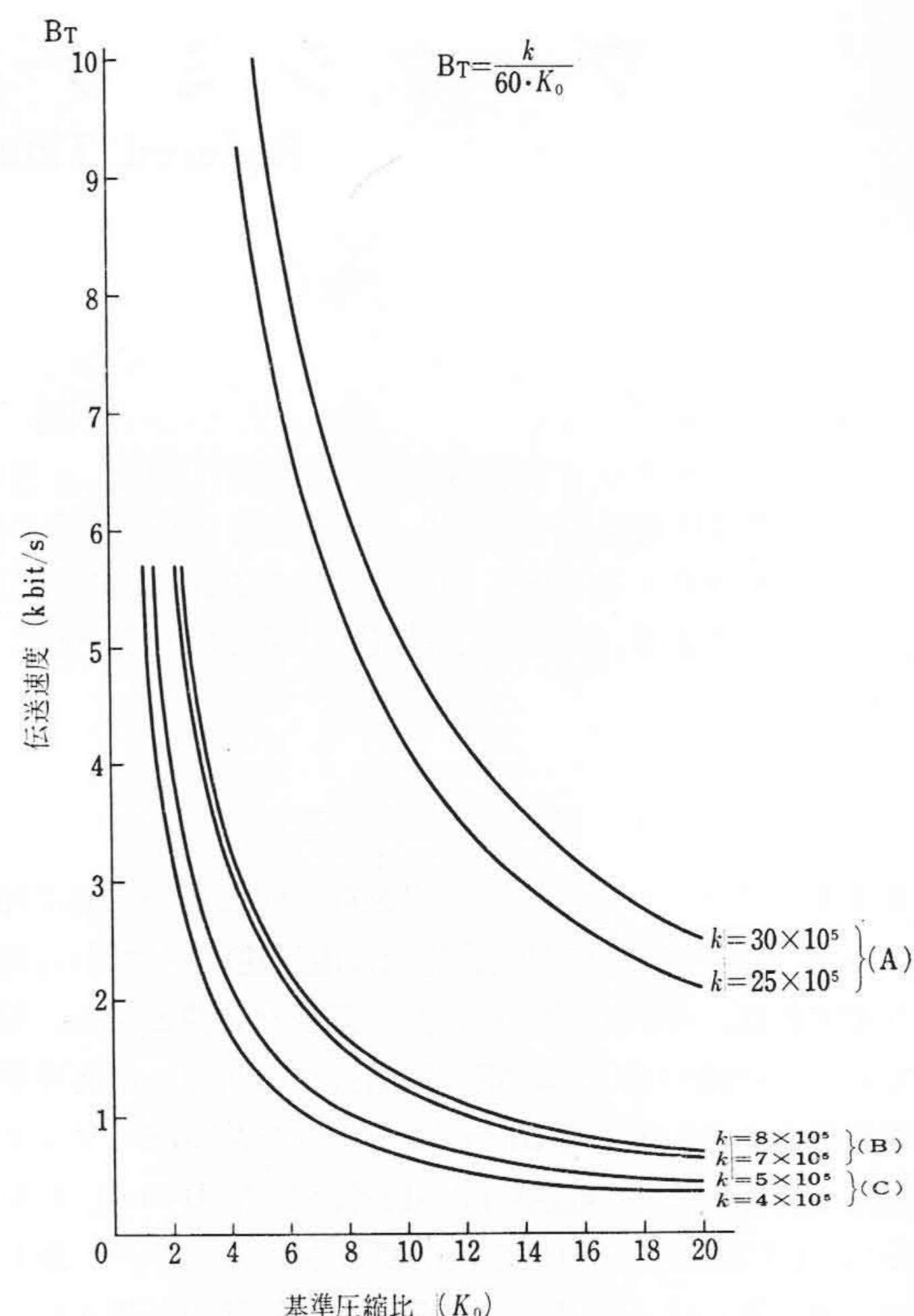


図5 基準圧縮比と伝送能力

あるかは、同期信号の位相より決定される。したがって、符号誤りによりこの規則性がわからなくなっても、その1走査のみに終わり、この符号誤りはあとで述べる処理を行なうため、受信画面上には誤って記録されることはない。

2.1.3 3値符号の伝送

先に述べた3値符号の伝送について検討する。まず伝送に要求される伝送能力について述べる。ファクシミリ機の解像度を d l/mm, 回転数を N 回転/分 とすると、紙面の主走査方向の長さが l mm, 副走査方向の長さが L mm のとき、1秒間に発生する画素数 B_0 は、 $B_0 = l \cdot N \cdot D / 60$ となる。圧縮装置の基準圧縮比*を K_0 として $l \cdot N \cdot D = k$ とすると、圧縮後の1秒あたりの発生画素数 B_1 は $B_1 = k / K_0 \cdot 60$ と表現される。また送受信に必要な伝送時間が、ファクシミリ機の電送時間にはほぼ等しいか、それ以下であることを送受信器への要求と考えれば、伝送能力を B_T bit/s として $B_T \geq k / K_0 \cdot 60$ となる。この関係をグラフに示すと図5となる。(A)群の曲線の k は48 kHz帯のファクシミリの場合にだいたい対応しており、(B)群の曲線の k は12 kHz帯のファクシミリに対応した k とだいたい一致している。(C)群の曲線は12 kHz帯のファクシミリよりさらに電送速度の遅いものに対応している。ここでたとえば $K_0 \geq 6$ の値をとりうる紙面を想定したとき、12 kHz帯のファクシミリ信号を音声帯域で伝送する場合、伝送速度は2,200 bit/s程度必要である。また48 kHz帯のファクシミリ信号を12 kHz帯で伝送する場合、8 k bit/sの伝送能力が必要である。このことは逆に上述程度の伝送能力を持たせても、 $K_0 \geq 6$ という制限がつくということである。なお紙面の複雑さと、得られる K_0 との関係についての測定結果は図12, 図13に示してある。しかし紙面を限定して、じゅうぶん大きな K_0 が得られる保証がある場合(たとえば、記者原稿、漫画などのように $K > 10$ の場合)には、伝送速度も音声帯域で1.5~1.6 k bit/s, 12 kHz帯で5 k bit/s程度でじゅうぶんとなり、同時に高い圧縮率が得られたことになり圧縮不可能紙面も

なく、本方式の特長が生かされる。ともあれ要求される伝送能力は3値で1.5 k bit/s 以上(音声帯域), 5 k bit/s 以上(12 kHz 帯)程度が必要であろうと思われる。

一方、最近のモデムの高能率化の傾向として多相位相変調方式、残留側帯波多値振幅変調方式がとられているが^{(3)~(5)}, 本圧縮方式に適用するかぎり、前者の場合には白黒判別情報の時間系列へのそう入、グループ構成に起因する冗長ビットの発生によって、伝送情報が2倍程度となり適当でない。したがって本圧縮方式では3値残留側帯波振幅変調方式により、マークビットの極性変換の乱れに白黒の判定を表現し、高能率な伝送を行なうのが有利と思われる。

以下に一例として、普通第3規格第1種市外専用線を対象に行なった伝送の検討を示すことにする。伝送路の振幅特性は0.6~2.7 kHz ではかなり平坦(へいたん)な特性が得られ、データ符号のスペクトルの広がりをこの範囲に収めると、伝送路の振幅特性による影響はあまり関係なく、ほぼ VSB フィルタの特性で伝送路の振幅特性が決定するといつてよい。問題はむしろその遅延特性で、一般に周波数に関する2次曲線でかなり良い近似が得られる。ここでは位相特性として $B(\omega) = a(\omega - \omega_c)^3$ を与えている。VSB 特性にはワグナーの減衰で近似して、

$$A(\omega) = 1 / \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{2n}}$$

とする。

データとして単一パルスを考え、そのスペクトルは変調前のスペクトル整形、復調後の低域フィルタ、その他の要素によって、 ω_m でゼロとなる全余弦形下降を持つものと考え、信号スペクトルを

$$S(\omega) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\omega\pi}{\omega_m} \right)$$

とする。このような条件のとき、同期復調波形は次式で表現される。

$$E_D(t) = \frac{H}{8\pi} \int_0^{\omega_m} \left[1 + \cos \frac{\omega\pi}{\omega_m} \right] \times \left[\frac{\cos(\omega t - a\omega^3)}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega + \omega_c}{\omega_p} \right)^{2n}}} + \frac{\cos(\omega t - a\omega^3)}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c - \omega}{\omega_p} \right)^{2n}}} \right] d\omega$$

ここに、 H : 振幅規格化係数、 a : 回線の遅延特性に関する係数
 ω_m : 信号スペクトルの広がり、 ω_c : 搬送角周波数、 ω_p : ワグナー特性の3 dB 減衰の角周波数、 n : ワグナーの次数、そしてこれらに $\omega_m = 2\pi \times 2,200$ Hz, $\omega_p = 2\pi \times 2,200$ Hz, $\omega_c = 2\pi \times 2,400$ Hz なる値を与え、 $n=5$ とすると $A(\omega)$ は $\omega = 2\pi \times 2,700$ Hz でじゅうぶん減衰している。このとき、

$$a = 0.25 \times 10^{-11}, 0.22 \times 10^{-11}, 0.16 \times 10^{-11}, 0.08 \times 10^{-11}$$

と与える。

これらの条件は図6(B), 図6(C)に示されている。この条件のもとでの復調波形の計算結果は図6(A)に示すとおりであり、遅延に関する係数 a の増加とともにハンプの増加する様子がわかる。またこれらの波形から1,600 bit/s (1符号幅に搬送波3/2サイクル), 2,400 bit/s (1符号幅に搬送波1サイクル)のおのおの場合の符号くり返しのときの3値アイパターンは図7, 図8に示すとおりである。図7は $a = 0.25 \times 10^{-11}$ で、さして大きな遅延等化は必要ない場合であるが、図8では $a = 0.08 \times 10^{-11}$ でかなりの等化の必要が予想される。このアイの開口からみて2,400 bit/s はかなりの困難が予想される。したがって今回、装置の構成の複雑さ、価格などから1,600 bit/s を採用した。

2.2 記憶回路

前回の装置に使用された記憶回路としては、MOS のダイナミッ

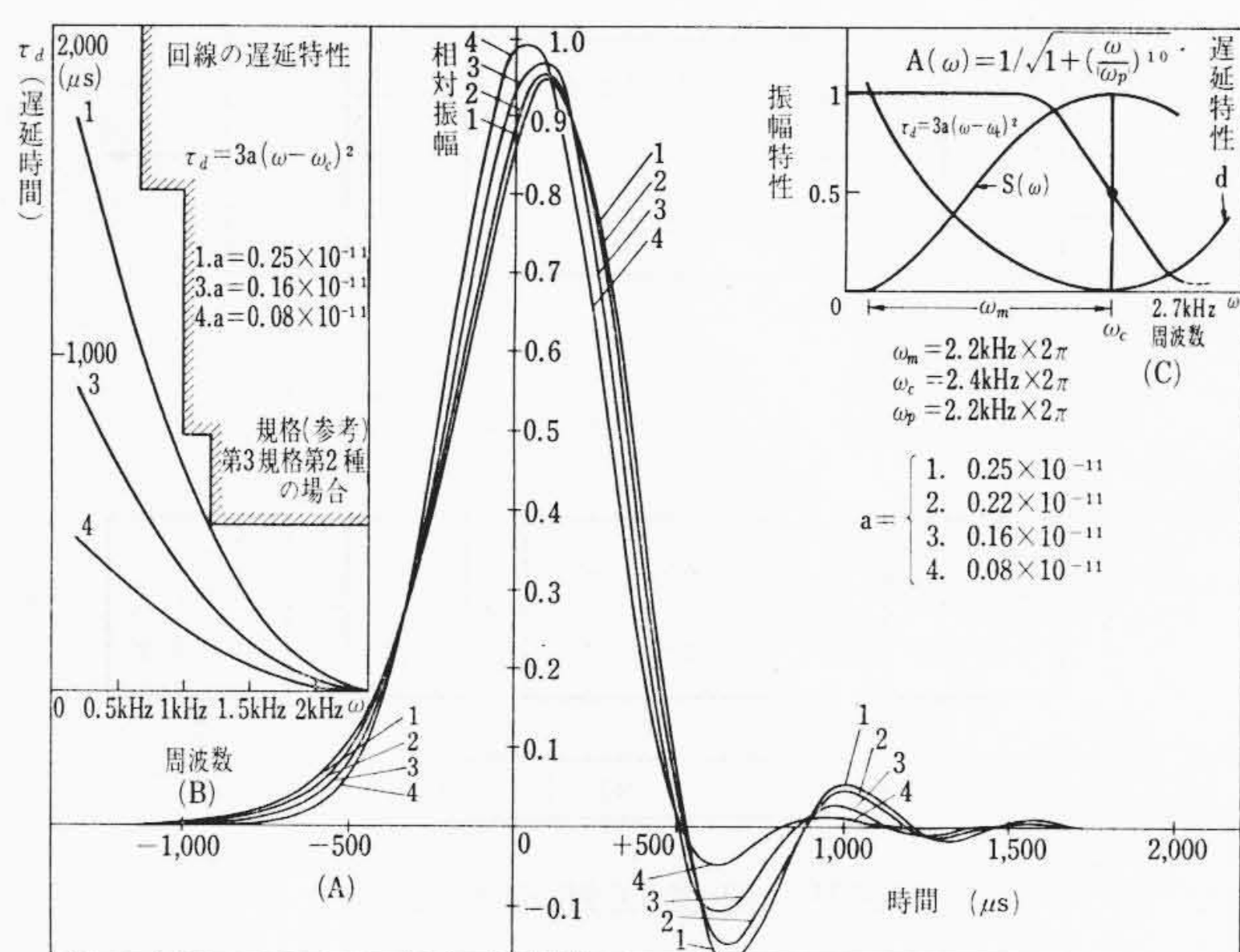


図6 復調波形

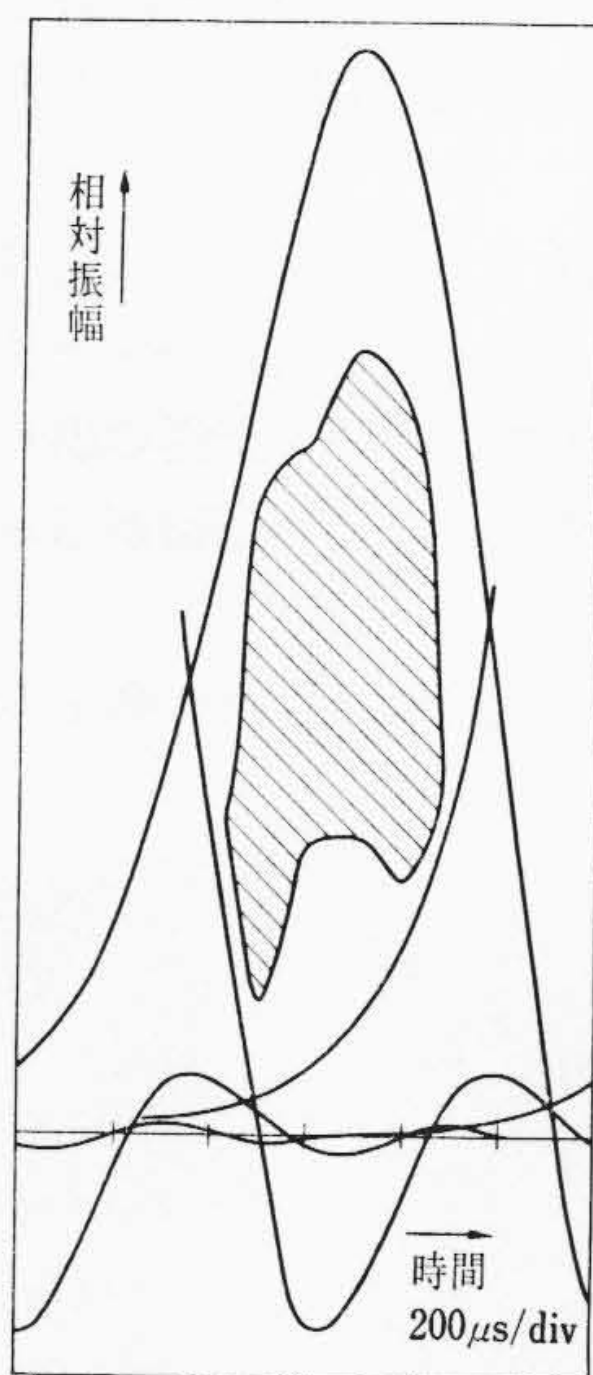


図7 1,600 bit/s 3値
アイパターン

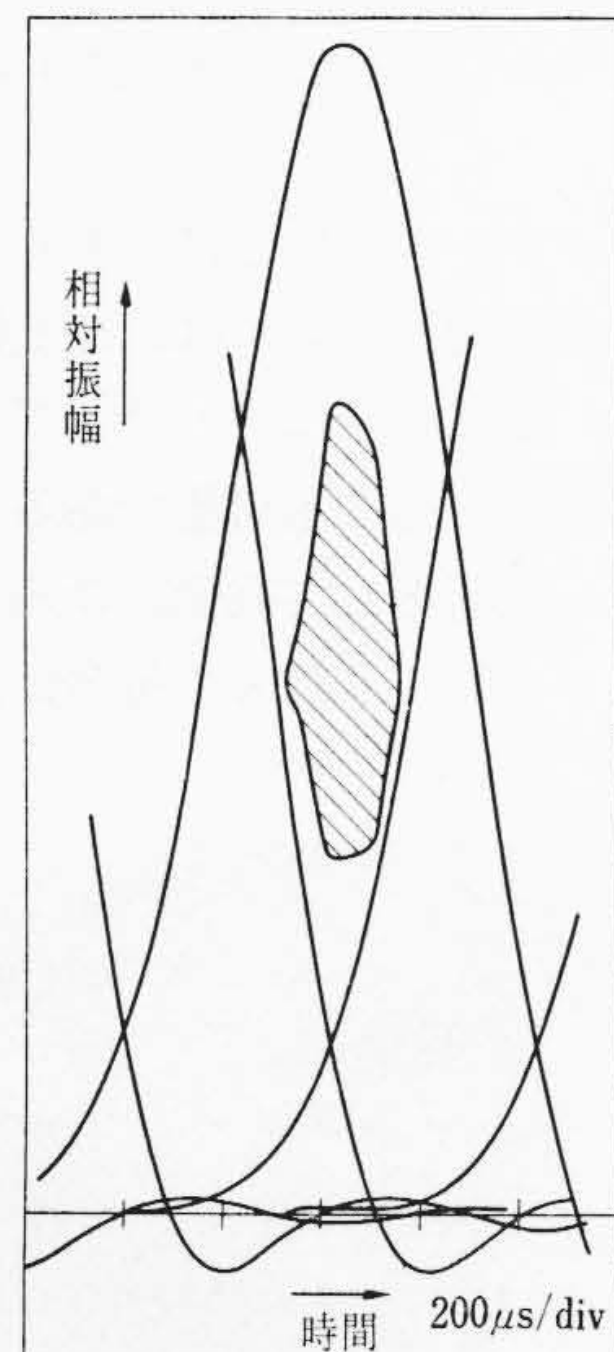


図8 2,400 bit/s 3値
アイパターン

クシフトレジスタ⁽¹⁾を用いたもので、シフトレジスタをリング状に配列して、これを伝送路の速度に合わせて回転させることにより情報を記憶している。これに情報を記憶するには、入力情報をアドレスレジスタによりシフトレジスタの指定の位置に順次書き込んでいくが、入力情報はそのときの画面によりバースト的に発生する(ファクシミリの1走査が白のみ、または黒のみの場合は変換した情報は少なく、1走査に白黒の切り換えが多い場合は変換した情報は多い)。したがって、このバースト的に発生する情報を記憶回路に順に詰めて記憶するため、待行列を作るバッファメモリが必要となる。このバッファメモリは、情報が短時間に多くはいつてくる場合を想定して、この容量を大きくしておかなければならない。

この記憶回路は図9に示すように、ランダムアクセスメモリを使用することにより、符号を書き込むごとに書込みアドレスレジスタを歩進し、伝送路の速度に合わせた読出しアドレスレジスタにより読み出し、このレジスタの数が書込みアドレスレジスタの数を追い越すような場合(メモリがからになったとき)、読出しアドレスレジスタを止め、この期間、伝送路にダミーコード⁽¹⁾を送出する。

この記憶の動作は送信、受信ともほぼ同じ動作となる。

2.3 符号誤りの処理

すでに述べたように、伝送符号のそれぞれのビットは重さを持つ

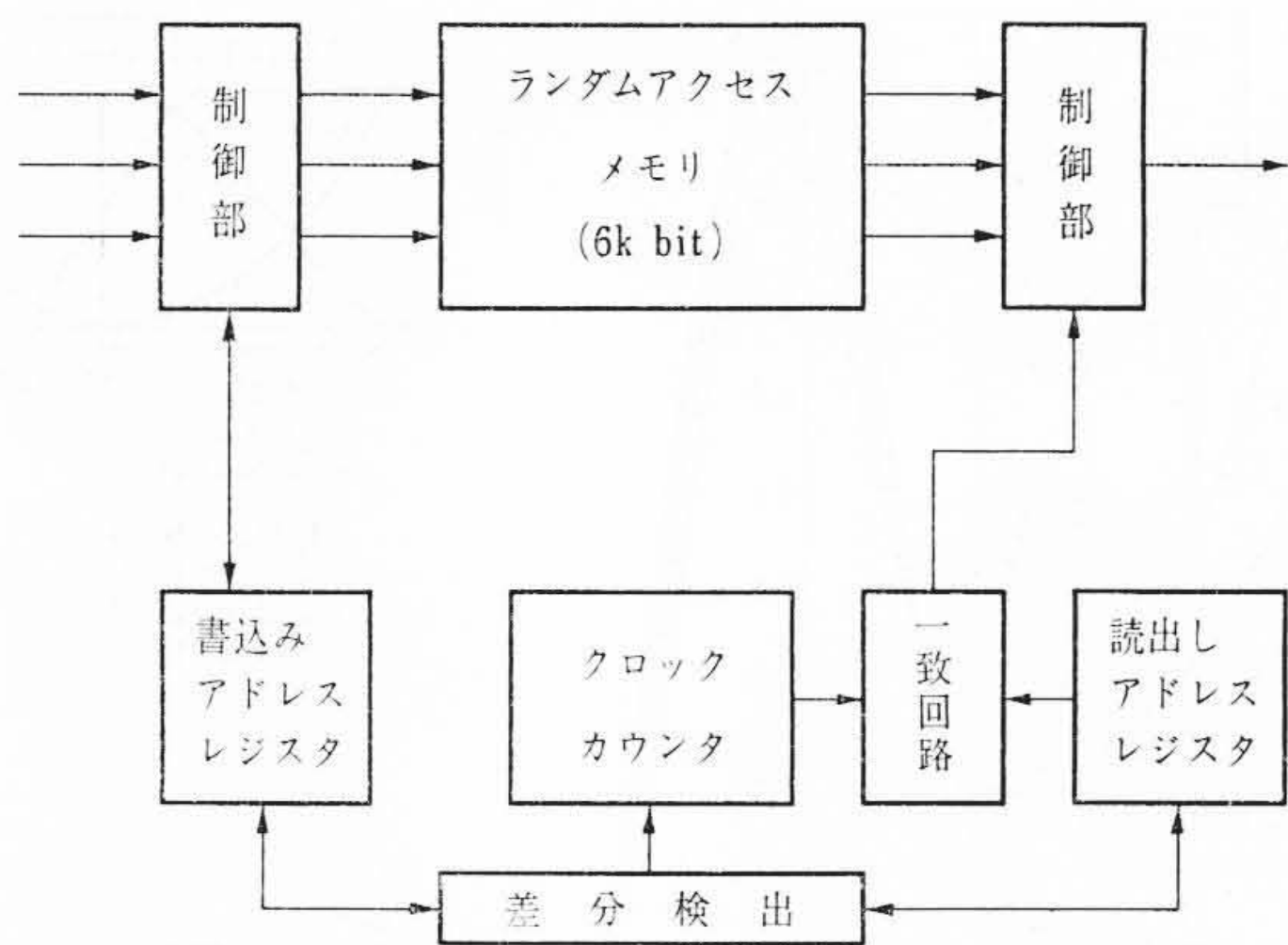


図9 記憶回路構成図

ている。この重さの大きいビットが誤ると、これを復号した場合、受信画面に乱れが生じ、図10のように黒い筋がはいったり、文字の位置がずれたりする（ただし1走査内のみ）。このように符号を送る以上、当然符号誤りは起こるもので、この処理が重要となる。

ファクシミリ信号はリアルタイムで発生するため、一般に符号誤りの処理を行なうには、送受信端それぞれに全画面情報のメモリを設け、伝送符号にパリティビットを付加して、データ伝送の誤り制御と同様の方法も可能であるが、これは制御のための回路が煩雑となり、装置として高価になる。

ファクシミリ信号の符号伝送の場合、伝送路の符号誤り率を 10^{-4}

表1 装置の方式および仕様

項 目	方 式 (I)	方 式 (II)
対 象 ファクシミリ 装 置	300形中速ファクシミリ装	400形高速ファクシミリ装
紙 サ イ ズ	B-4 判 (以 下)	
画 線 密 度	8本/mm (以 下)	
伝 送 帯 域 幅	3 kHz	12 kHz
伝 送 速 度	1.6 k bit/s (2.4 k bit/s)	7.5 k bit/s
帯 域 圧 縮 比	2, 3, 4, 6, 8, 10 可 変*	
符 号 化 方 式	2進 12 bit 符 号 化	
記 憶 方 式	○ ランダムアクセスメモリによる差分記憶方式 ○ 6階級分割による特殊符号化による記憶 ○ 記憶容量 1 k bit~20 k bit (オプション) ○ 記憶素子 Mos IC	
符 号 変 換 方 式	可 変 符 号 長 3 値 方 式	
符 号 伝 送 方 式	VSB・AM 方 式	
復 号 方 式	符 号 一 致 検 出 方 式	
同 期 信 号	ス タ ー ト ス ト ッ プ 方 式	
符 号 誤 り 処 理	受 信 端 に お け る Run Length 監 視 方 式	

* 帯域圧縮比は電送画面内容によって決定される。

~ 10^{-6} 程度とし、電送画面の大きさを B-5 判~B-4 判程度として画線密度を 4 本/mm~8 本/mm としたとき、一画面での誤りの発生は 1 回~100 回程度である。この程度の誤りであれば、画面内の 1 走査が抜けたり、誤まったりしても実際には画品質がほとんど低下しないことから、受信端で復号ファクシミリ信号の 1 走査の長さを監視し、この値が正しくなければ符号誤りがあったとして、この 1 走査の信号を無効として画面には記録しない。

この方法により、全画面情報のメモリを設けず、伝送符号の数を増大させるパリティビットも付加せずに誤り処理ができる。

図11は、図10と同一条件で誤り処理を行なった受信画面を示したものである。したがって、この誤り処理は非常に効果のあることがわかる。

3. 圧縮装置の方式

装置の基本方式は表1に示すとおりである。

4. 紙面と基準圧縮比

種々の複雑さの紙面について、その基準圧縮比 K_0 を測定した。ここで、 $K_0=1$ は紙面の累積 Run Length 数/1 紙面の累積 2 進変換情報量で、図12は測定対象紙面を示したものである。紙面は B-5 判で短辺走査である。解像度は 8 本/mm であり、その結果は図13に示されている。

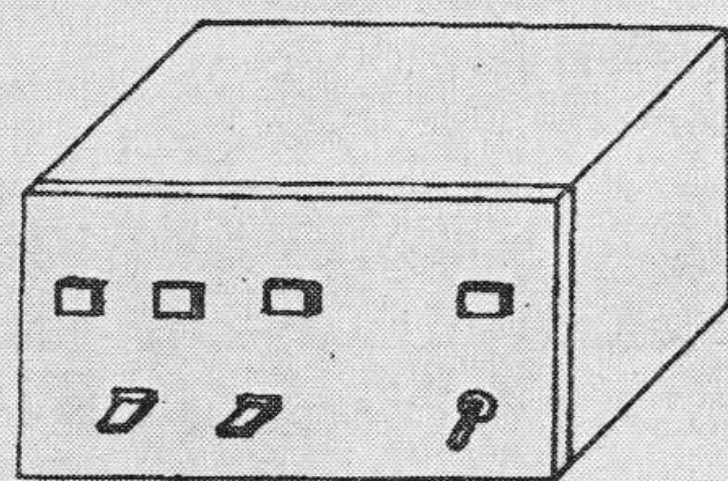
電送画面内容により圧縮比は異なるが、相当細かい画面(資料 No. 1)でも基準圧縮比は $K_0=10$ で、この程度の画面まで電送できれば、特殊な用途(たとえば新聞紙面

FBC3 帯域圧縮装置

本装置はファクシミリ信号の白および黒の継続する長さを符号化し、その冗長性を下げることにより情報の圧縮を行うもので、使用する伝送帯域幅が一定の場合には、伝送時間を従来の $1/2$ から $1/6$ に、伝送時間が一定の場合には、伝送帯域幅を従来の $1/2$ から $1/6$ に各々、圧縮します。

この情報圧縮の度合(圧縮比)は伝送する画面の内容によって定まり最も適した伝送時間、伝送帯域幅で送られます。

これは当社のファクシミリ装置 MODEL 400 (伝送帯域幅 48kHz, B-5 版伝送複写時間 41 秒)を使用し、伝送帯域幅を従来の $1/4$ (12kHz) に圧縮して伝送した画面です。



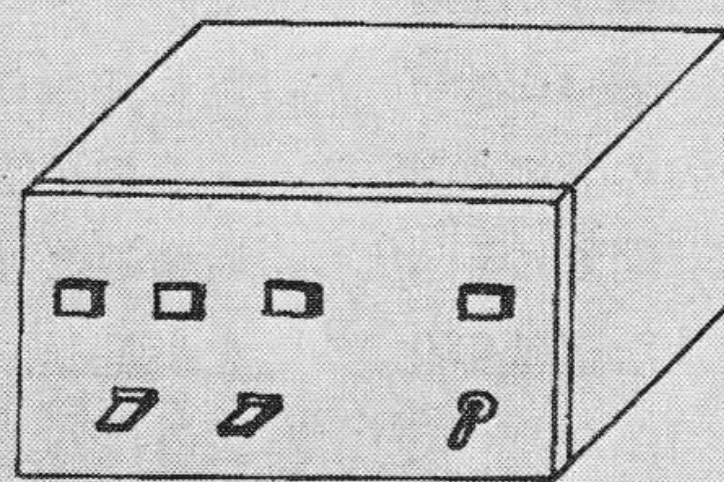
FBC3 帯域圧縮装置

FBC3 帯域圧縮装置

本装置はファクシミリ信号の白および黒の継続する長さを符号化し、その冗長性を下げることにより情報の圧縮を行うもので、使用する伝送帯域幅が一定の場合には、伝送時間を従来の $1/2$ から $1/6$ に、伝送時間が一定の場合には、伝送帯域幅を従来の $1/2$ から $1/6$ に各々、圧縮します。

この情報圧縮の度合(圧縮比)は伝送する画面の内容によって定まり最も適した伝送時間、伝送帯域幅で送られます。

これは当社のファクシミリ装置 MODEL 400 (伝送帯域幅 48kHz, B-5 版伝送複写時間 41 秒)を使用し、伝送帯域幅を従来の $1/4$ (12kHz) に圧縮して伝送した画面です。



FBC3 帯域圧縮装置

図10 符号誤り処理を行なわないときの受信画面 (符号誤り率 10^{-5}) ($\times 1/2$)図11 符号誤り処理を行なったときの受信画面 (符号誤り率 10^{-5}) ($\times 1/2$)

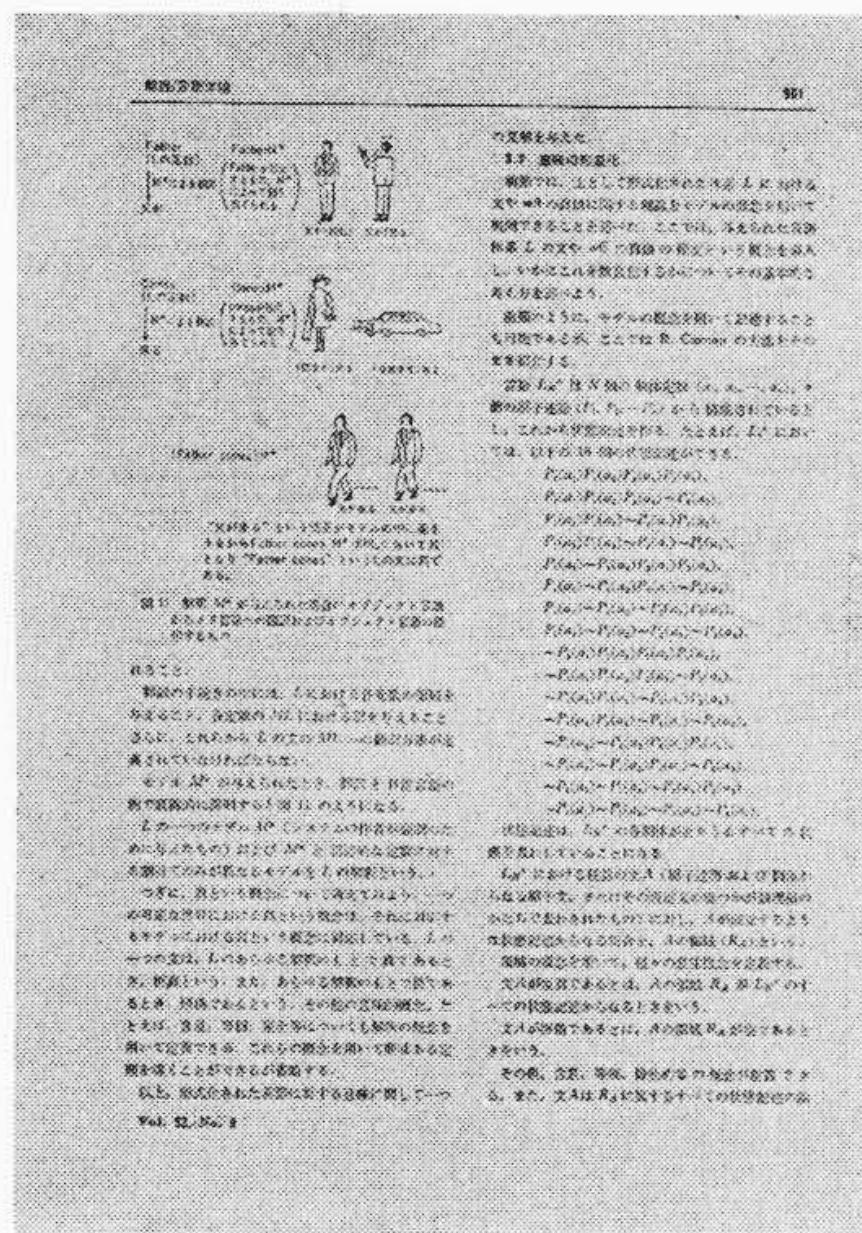
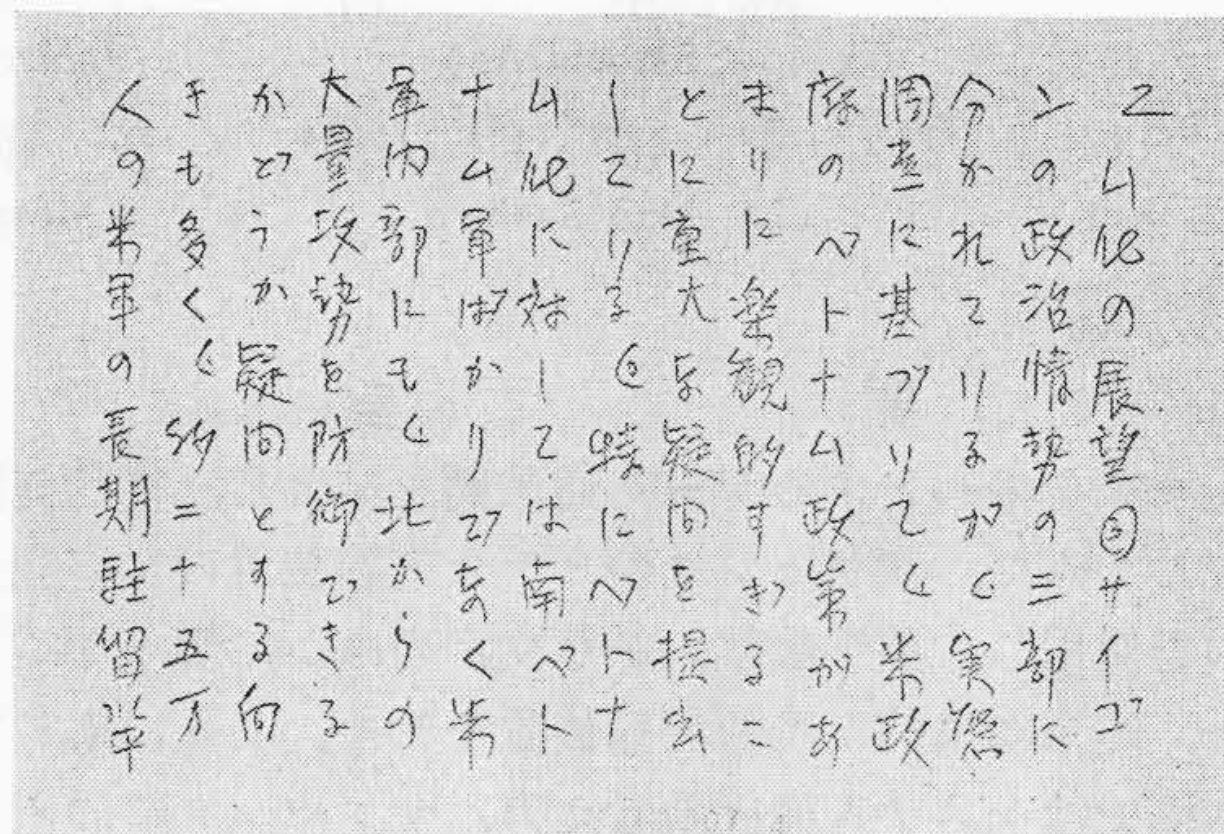
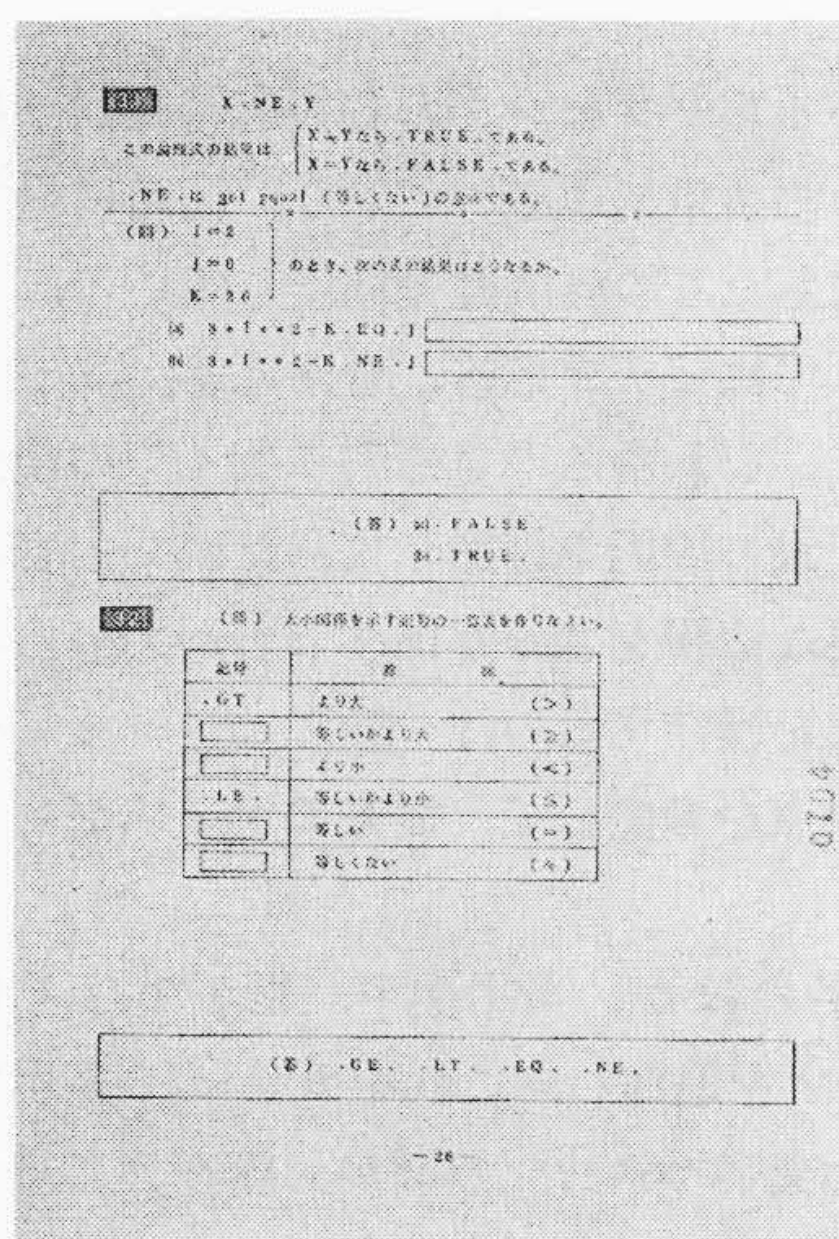
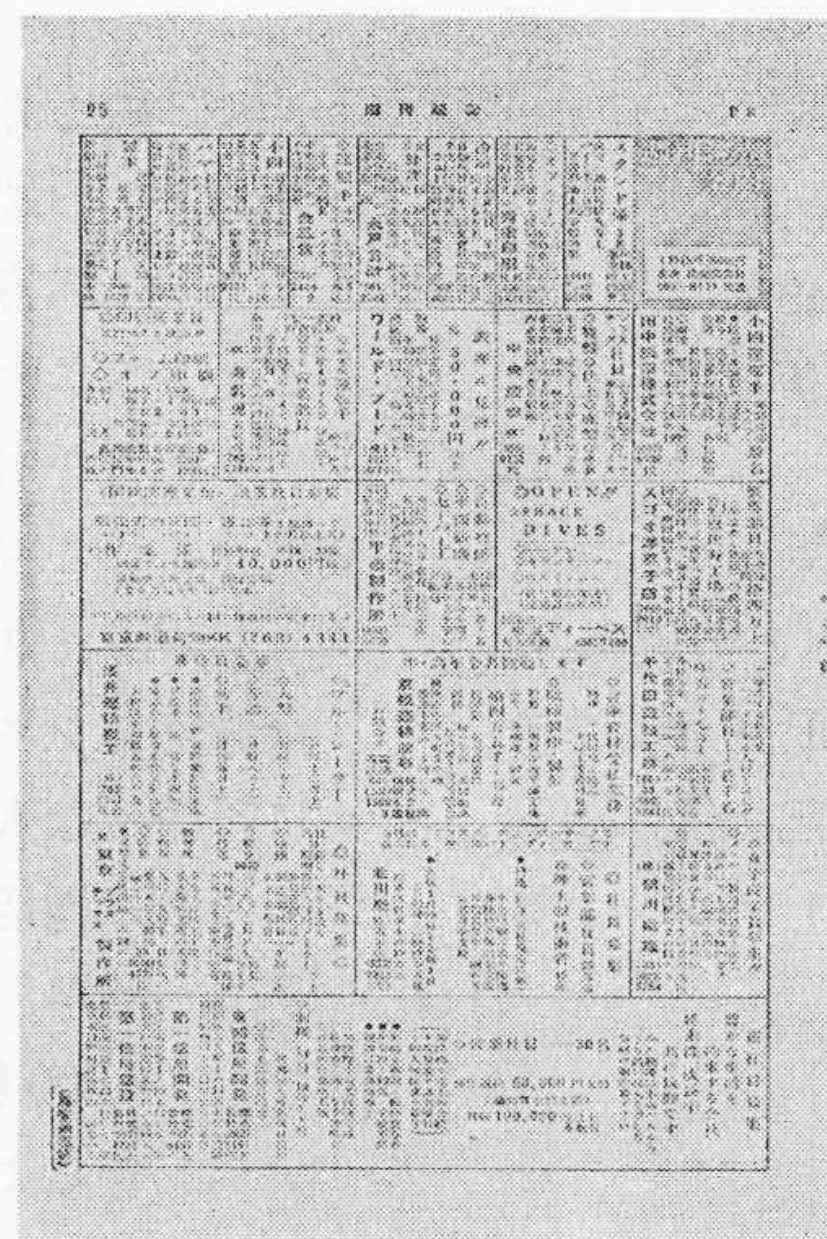
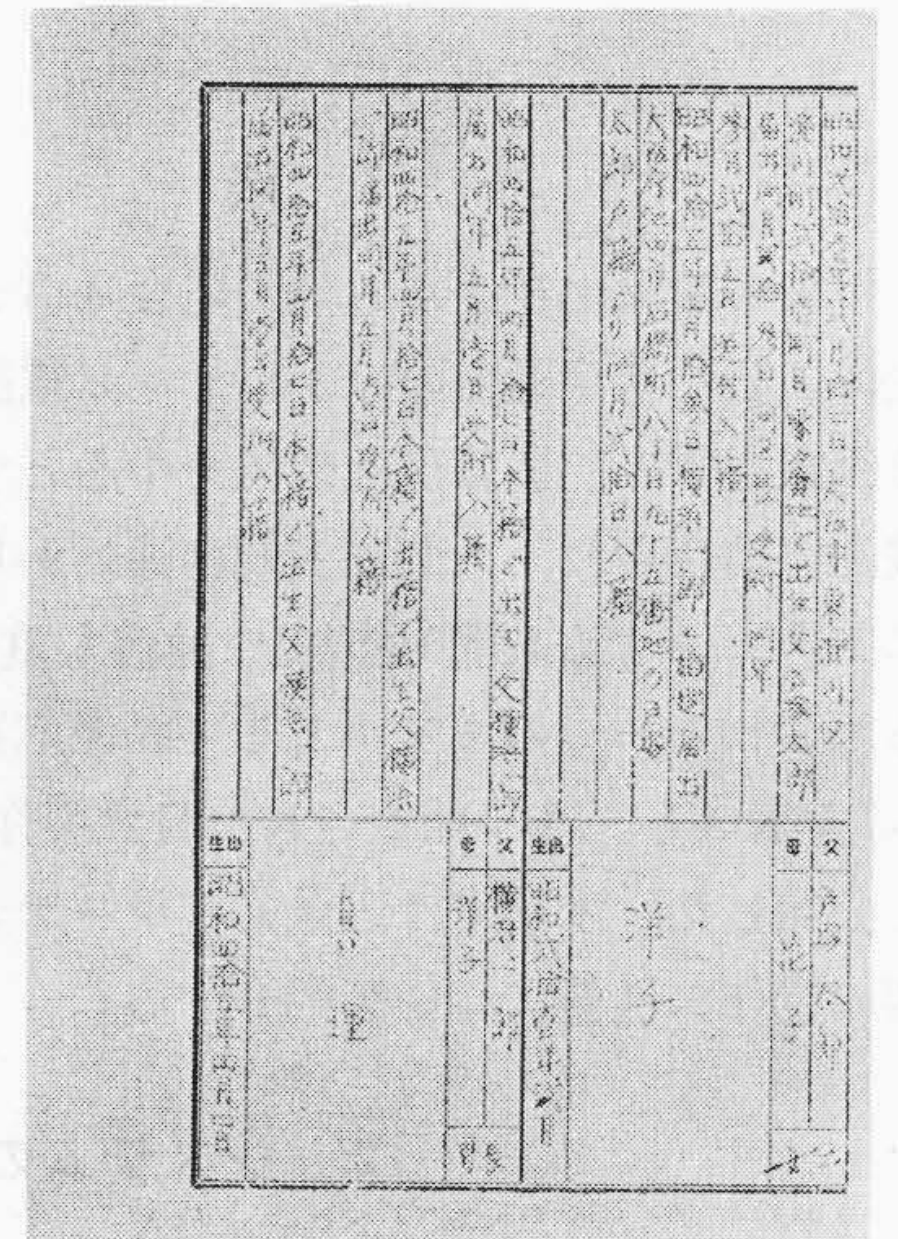
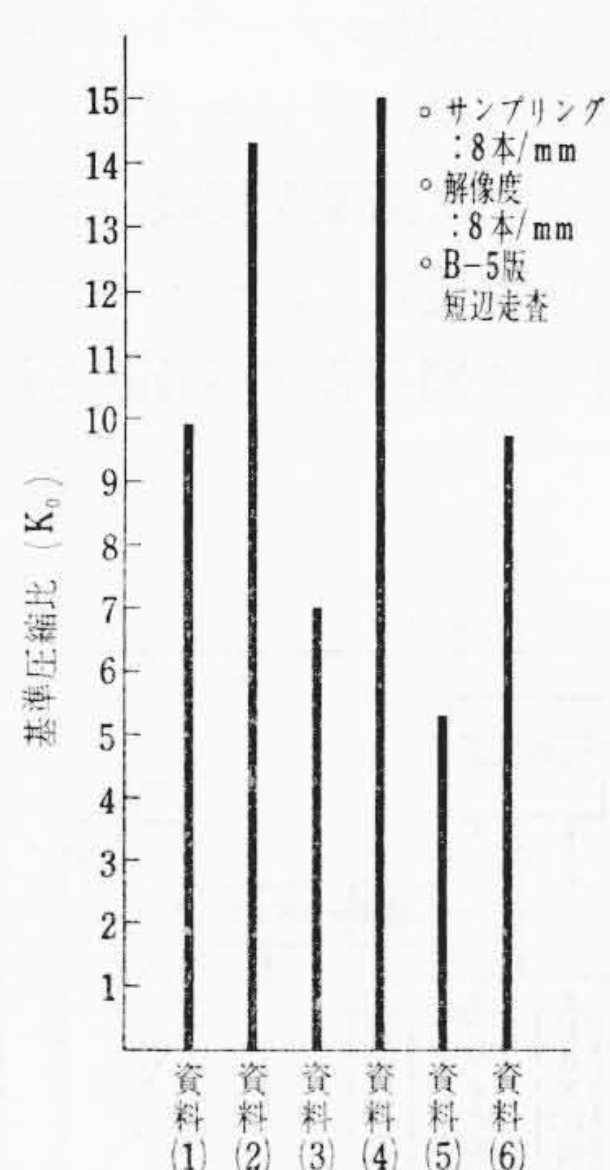
No. 1 ($K_0=9.9$)No. 2 ($K_0=14.3$)No. 3 ($K_0=7$)No. 4 ($K_0=15$)No. 5 ($K_0=5.3$)No. 6 ($K_0=9.7$)図 12 資料 ($\times 1/4$)

図 13 紙面と標準圧縮比

の電送) 以外は実用上問題なく、高速度の経済的なファクシミリ電送ができる。

5. 結 言

以上、ファクシミリ信号帯域圧縮装置の三つのおもな改良点につ

いて述べた。この改良装置について種々の検討を行なった結果、圧縮動作は、その使用される伝送路の帯域幅によって、変復調器およびクロックの切換えを行なうのみで、低速用のものから高速用のものまで同一の回路形式を使用することができる。また、従来から問題となっていた伝送符号誤りによる受信画面の乱れも、受信端で復号したファクシミリ信号の1走査の時間長を監視することにより、符号誤りを検出し処理することにより、伝送画品質についても、ほぼ満足できるものが得られた。これを用いることにより、高速度の経済的なファクシミリ電送ができる。なお本改良とは別に、新聞紙面および網点写真の帯域圧縮についても検討を進め一応の結論を得ているが、これは別に報告する予定である。

終わりに、本方式について種々のご指導を賜った関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 末広：日立評論 52, 1101 (昭45-12)
- (2) 山本：“ファクシミリ信号の統計的性質と帯域圧縮に関する一検討” 通研実報第16巻第5号
- (3) 砂川, 須貝, 清水：“広帯域データ伝送用4相位相変調方式” 通研実報第18巻第8号
- (4) Soffel, R. O. and F. G. Spack: “Sage Data Terminals” AIEE Trans. Part 1, Vol. 77, pp. 872~879, 1958
- (5) E. R. Kretzmer: “Telephoning Data Faster” Bell Laboratories Record. (August. 1969)