

---

## PCM (パルス符号変調) 特集

---

PCM 通信方式の展望 .....	95
分配伝送形 PCM 通信方式 .....	102
ミリ波による PCM 信号の無線伝送 .....	114
PCM 用ダイオード・トランジスタ .....	118
PCM 通信装置の部品 .....	130
PCM 通信装置の構造 .....	135
試作 192 通話路 PCM 通信装置 .....	141

---

## PCM 通信方式の展望

## A General Survey of PCM Communications System

関 口 存 哉\* 芳 根 寛 樹\*\*  
Ikuya Sekiguchi Hiroki Yoshine

## 内 容 梗 概

PCM 通信方式は、従来の Analog 通信とはまったく質を異にする通信方式であり、高耐雑音特性を最大の特長とした通信方式である。

この通信方式は 1937 年、フランスにおいて発明されたが、当時は実現の裏づけがなくかえりみられなかった。その後、トランジスタの発明、半導体素子の発達とともに再認識され、今後、通信の主流を占めるものと言われている。

本文は PCM 通信方式の歴史、原理、ならびに現在開発が進められつつある応用分野について概説した。

## 1. 緒言：PCM 通信の沿革

PCM 通信方式は 1937 年フランスの A. H. Reeves 氏によって発明され、1939 年、フランスの特許として登録された<sup>(1)</sup>。その当時はこれを実現する手段の裏づけがなく、当分実用化されるとは考えられなかった。

大戦後、Bell 研究所がこの方式に注目し、特許を入手し基礎研究に着手した。戦後 4~5 年の間に数多くの研究がなされ、これが大部分現在の技術の基礎となっている。また当時、通信方式に関する純粋な理論として体系化されつつあった「情報理論」が PCM 通信方式の評価を行なうのに有効に役立ち、この方式が理論的にもすぐれた通信方式であることが認められた<sup>(2)</sup>。

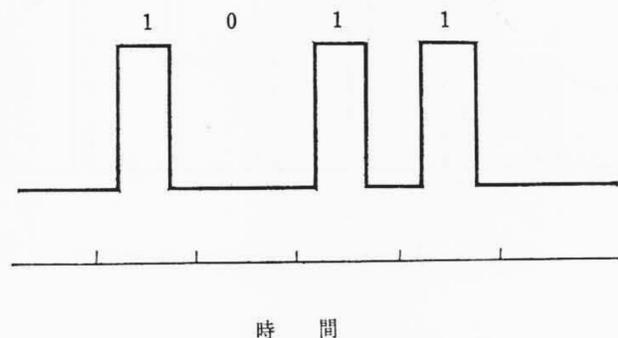
1947~1952 年の間に Bell 研究所では電子管を使用して PCM 方式により 96 通話路の無線伝送実験<sup>(3)</sup>を Murray Hill, New York 間 34 km で行ない、また同軸ケーブルを通しテレビジョンの伝送実験を行なった<sup>(4)</sup>。これらは実用というよりも、前期開発的なものである。実際に電子管しか得られなかった当時としては PCM のように複雑で、高い周波数成分を持つパルス扱うものの実現には困難があり、実用性はきわめて薄かったと思われる。

1948 年、トランジスタが発明され、半導体素子の急速な発達とともに PCM 通信方式がきわめて実現性のあるものとして再認識された。

Bell 研究所では、このような理論的にすぐれた特長のほかに、さらに将来 FDM 方式に比べ経済化されるとの見通しならびに時分割電子交換との整合面より、この方面の研究を強力に推進した。

まず、音声ケーブル多重化の研究を 1956 年頃より開始し、1958 年には 24 通話路の時分割多重 PCM 通信装置を完成し、New Jersey 州の Summit 局と South Orange 局との間で実用化実験を行なった。この実験により、いくつかの技術的問題のあることがわかり、さらに数年の研究期間を経て、1961 年に最終的な装置ができ、New Jersey 州の Newark 局と Passaic 局との間で再び実験が行なわれた。この結果はきわめて良好であり、1962 年春より Western Electric 社より「T-1」装置の名で量産された<sup>(5)</sup>。この方式は近郊市外の急速な発展に伴う市内外中継線の急増に対処するとともに低損失の実現を目的としているもので従来の短搬方式より経済的であり性能もきわめて高い。1962 年には 390 端局、1963 年には 2,000 端局あまりが全米に施設される予定といわれている<sup>(6)</sup>。

以上は主として、近距離回線の多重比を目的としたものであるが、一方、長距離用として導波管を伝送路とした mm 波 PCM 通信方式の研究も行なわれ、最近はまだ同軸ケーブルを伝送路とした PCM



第 1 図 2 進符号

方式が採り上げられており 1970 年までに実用化する予定で研究が進められている。この方式は近距離用のそれと異なり、従来の FDM 信号、テレビ、さらに数十群の T-1 の信号も伝送できる複合的な伝送形態をとっており、将来の幹線通信方式と考えられている。

一方、イギリス、ドイツ、フランスなどでも数年前より PCM 通信の研究が進められているが、その開発程度はアメリカに比べかなり遅れているとみられている。

わが国では数年前から日本電信電話公社電気通信研究所を初めとし、民間の数社が近距離方式の研究を行ない、それぞれ独自の技術を開発している。

電子交換に対する応用として、Bell 研究所が ESSEX<sup>(7)</sup> と称する伝送、交換を一体化した実験用交換機を 1959 年に発表し、PCM 電子交換の糸口を作った。続いて東京大学の並列電子交換機<sup>(8)</sup>、 $\Delta$  変調による交換機<sup>(9)</sup>、フランスの LCT の PCM 交換機など<sup>(10)</sup>、電子交換における研究も活発になりつつある。

また普通の PCM 方式が複雑な変調構造をもっている点に着目しこれを単純化した  $\Delta$  変調方式が 1951 年にフランスで発明された。その後オランダのフィリップスなどで、種々の改良が加えられ、軍用無線に利用されるなど独自の発展をとげている。また、計測値の伝送に対する応用も行なわれており、人工衛星 Telestar<sup>(11)</sup> の対地上テレメータリングには PCM 方式が用いられている。

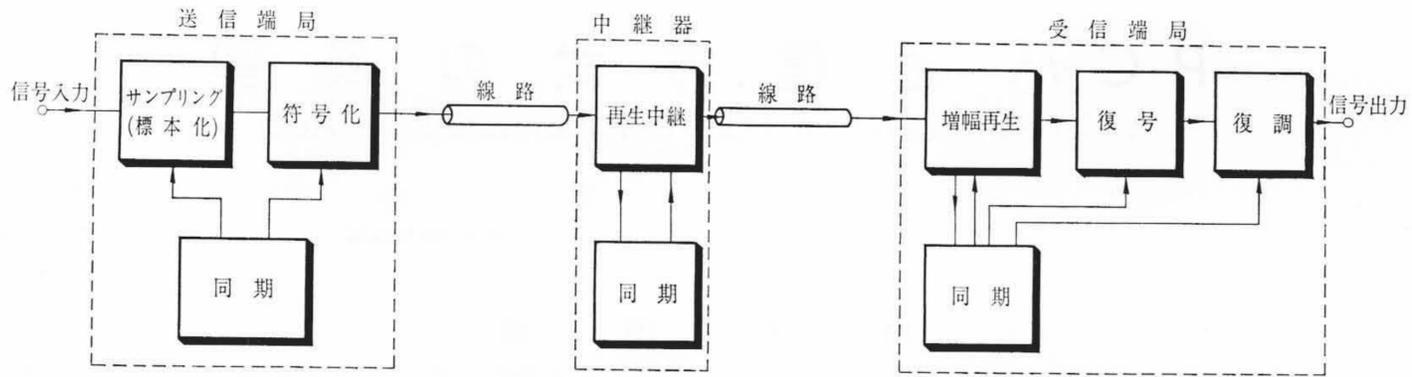
2. PCM 通信方式の原理<sup>(12)(13)</sup>

PCM とは Pulse Code Modulation の略で、パルス符号変調ということである。すなわち、送るべき音声、映像その他の信号の瞬時値を、たとえば第 1 図に示すような一連の符号(図においては 1011)に変え、これを送り出し、受信側においてはこの符号を復号し、もとの信号に直す。マイクロ波、ミリ波などを介して通信を行なう場合には、さらにこの符号波形によって高周波(搬送波)を振幅、または周波数変調する場合もある。この時の変調法を PCM-AM, PCM-FM と称する。

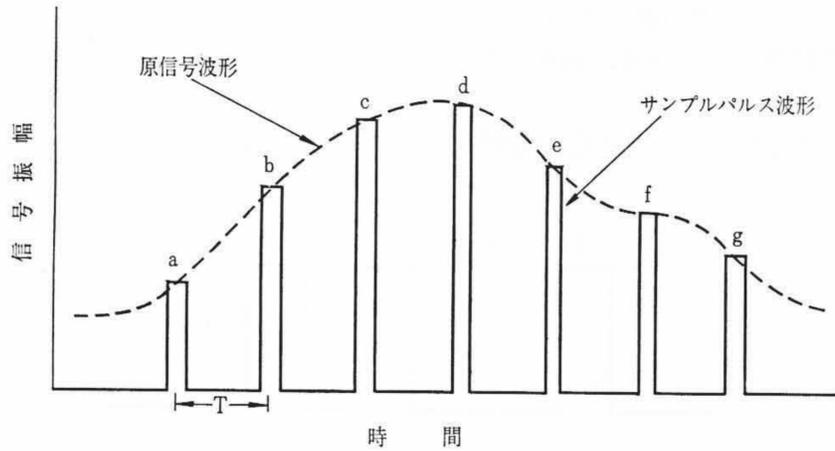
従来の一般の通信方式のように連続波形を用いて通信するものを

\* 日立製作所中央研究所 工博

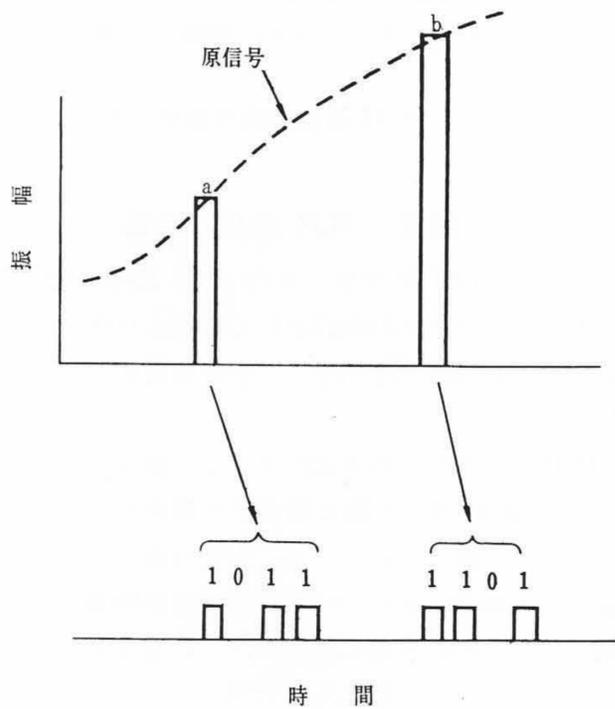
\*\* 日立製作所中央研究所



第2図 PCM 通信の原理的構成図



第3図 Sampling (標本化)の説明図



第4図 符号化 ((a)のような標本化パルスの振幅を (b)のような符号化パルスに変換)

Analog 通信と総称し、PCM 方式のように不連続波形による通信を Digital 通信と称する。Digital 通信の中には従来の電信，データ伝送も含まれることになる。Analog 通信と Digital 通信の本質的な違いは Analog 計算機と Digital 計算機との差と同一である。

第2図は PCM 通信の系統図の原理説明図である。系は大別して送信端局，中継器，受信端局と，これを結ぶ線路よりなる。線路は多対音声ケーブル，または搬送ケーブルであってもよく，同軸ケーブルまたは導波管であってもよい。または無線機による電波の空中伝播であってもよい。

送信端局は標本化(サンプリング)回路，符号化回路(符号器)，同期回路よりなる。標本化回路において，一定の周期で信号の瞬時値(サンプル値)を取り出し，これを符号化回路で符号化したのち，線路に送出する。同期回路は標本化，符号化に必要なパルス波を供給する。

中継路においては受信した符号パルスを増幅成形し，これにより新しいパルス波を再生し，再び線路に送出する。また，同期回路は入力波よりパルスの繰返し周波数成分を取り出し，これにより再生回路を動作させ，一定の周期でパルス波を再生する。

受信端局は，増幅再生回路(端局中継器)，復号回路，復調回路，同期回路よりなる。

受信したパルス波は，中継器とほぼ同一内容の増幅再生回路によって再生され，復号器により元の標本値に戻される。これを復調(平均値検波，または包絡線検出)を行なって，原信号を得る。同期回路は入力パルス波よりパルスの繰返し周波数成分を取り出し，これにより再生，復号，復調の回路を動作させる。

次にこれら通信系の各部の機能について説明する。

### 2.1 サンプリング

原信号が第3図に示すように時間に対し，連続波形である場合，その瞬時値をすべて符号に変えることは，有限の時間に無限数の符号を作る必要を生じ，実際上不可能である。このため Sampling (標本化)を行ない，標本化された信号を符号化する。

すなわち第3図に示すように，適当な周期のパルスにより原信号の瞬時値 a, b, c, …… g を抜き取るのである。これは，原信号の振幅に比例した振幅をもつ振幅変調パルス波に直すことに相当する。こ

のようなパルス波を復調する場合には，適当な回路により，その envelope を取り出せば原信号が得られる。このように連続した波形の中から有限個の振幅のみを取り出して送り，これを復調しもとの連続波形を得た場合には若干の情報量が失われて，ひずみが生ずるように思われるが必ずしもそうではない。

原信号のもつ周波数成分の最高値が  $W_0$  であるとするとき，

$$T < \frac{1}{2W_0} \dots \dots \dots (1)$$

の周期で標本化した場合，標本化による伝送によって，なんらのひずみも生じないこと，すなわち原信号の情報量を失うことなしに完全に伝送し得ることが証明されている。これを染谷-Shannon の定理という。

たとえば電話の場合，音声の最高周波数を 4 kc に制限して伝送するのが普通であるから，標本化の周期は 125  $\mu$ s 以下，またはパルスの繰返し周期数にして 8 kc 以上であればよいことになる。テレビジョンの場合，信号の最高周波数を 4 Mc とすれば，標本化の周期は 0.125  $\mu$ s，パルスの繰返し周波数にして 8 Mc となる。

### 2.2 符号化

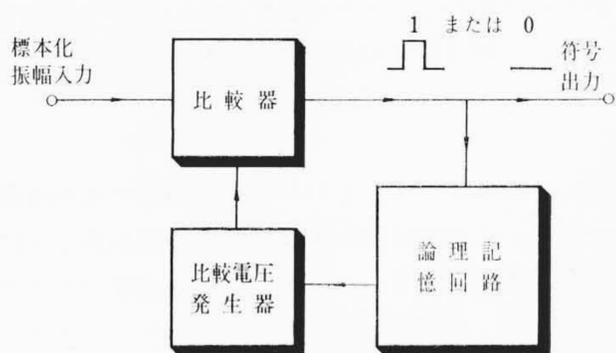
標本化を行なった後，標本化パルスの振幅(すなわち原信号の振幅の瞬時値)を符号化する。第4図に示すようにパルスの振幅 a をたとえば「1011」，振幅 b を「1101」というように符号化する。「1」はパルスが存在することを意味し，「0」はパルスが存在しないことを示す。

一つの振幅を表わす符号の数(0も数える)を bit (ビット)という。第4図の場合4ビットである。一般にビットの場合，「1」，「0」の組合せによって得られるパターン数は  $2^n$  個である。

たとえば3ビットの場合について考えると第1表に示すように，

第1表 3ビットの場合の符号の組合せ

振 幅 値	符 号
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111



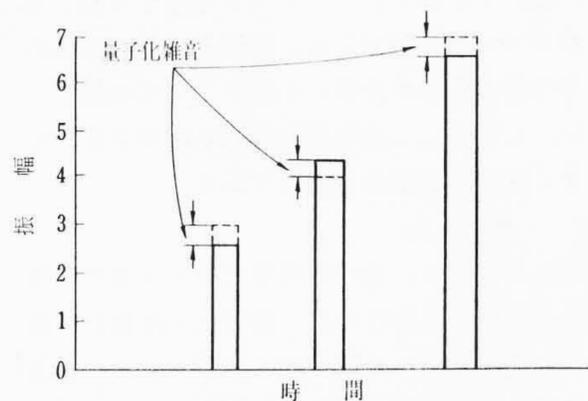
第6図 帰環形符号器の構成図

$2^3=8$  個の組合せが得られる。したがって、8 個の振幅を表わすことができる。

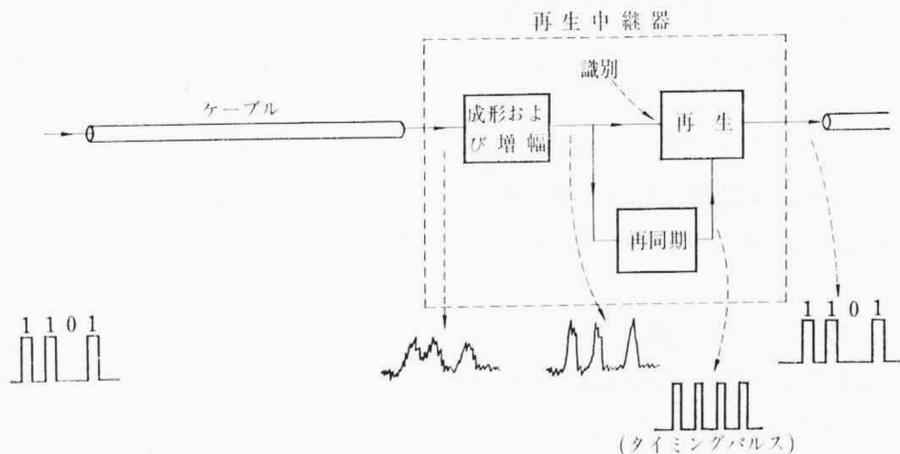
一般に有限個の符号の組合せでは有限個の数値しか表わすことができないのはもちろんである。ところが、原信号が連続波形であれば、無限個の数値を取り得るから、これを有限個の符号の組合せで表わすことはできない。それで、いわゆる四捨五入の手法が必要となるのである。このように送るべき信号の振幅を四捨五入して有限個の振幅レベルに直すことを量子化と称する。量子化することによって、信号にひずみの生ずることはもちろんである。たとえば3ビットの場合第5図のように、「0」より「7」まで8個のレベルを符号化し得るので、信号の振幅を第5図の点線に示すようにもっとも近いレベルにそろえる。この場合、切捨てまたは切り上げた量を量子化雑音と称する。信号にこれだけ余分のものが加わったものと考えればこれを一種の雑音と考えてよく、信号にひずみが生じたものと考えればひずみとも見られる。しかし信号が存在しなければ生じないものであるから、一般の雑音とは性質を異にする。

符号パルス数、すなわちビット数を増すほど振幅のレベルの数が増すので、量子化雑音は減少する。電話の伝送の場合、7ビット、すなわち  $2^7=128$  のレベルに直して符号化すれば、量子化雑音は人間の耳で検知できなくなるといわれている。テレビジョン信号の場合、5ビット、すなわち  $2^5=32$  のレベルでも伝送できる。

信号の振幅を符号に変換する、いわゆる符号器にはいろいろな形式のものが用いられるが、ここでは比較的多く使用される帰環形符号器について述べよう。帰環形符号器は第6図に示すように、比較器、比較電圧発生器、論理記憶回路とよりなっている。比較器は標準化された信号入力振幅と比較電圧の発生器の出力とを比較して信号振幅の方が大であれば「1」、小であれば「0」を出力として出す。論理記憶回路は比較電圧発生器の出力を制御する。3ビットの場合を例にとり、入力の振幅がたとえば5.2であったとすると最初比較電圧発生器の出力として最高レベルである7の1/2すなわち3.5を出す。5.2の方が大であるため「1」が出力として出る。この結果、論理記憶回路は信号振幅が3.5より大であると判断し、比較電圧として5.5を出す。信号振幅は5.5より小であるため、符号出力には



第5図 量子化



第7図 再生中継器の原理的構成図

「0」が出る。この結果、論理記憶回路は信号振幅が3.5と、5.5の間にあると判断し、比較電圧として4.5の値を出す。信号振幅は4.5より大であるため符号出力として「1」が出る。このようにして符号列「101」が得られる。結局符号器は入力振幅が4.5と5.5の間にあること、すなわち5であると判断する。このように符号器は符号化と同時に、量子化の操作も行なうことになる。

### 2.3 中 継

「1」と「0」の組合せである符号系列のパルス波がケーブルなどの線路を通して伝送される場合を考えよう。パルスは徐々に減衰し、その波形も多くの場合、だんだんとくずれて行く。したがってこれを途中で増幅し、成形して再送出するの必要を生ずる。これを行なうのが中継器である。Analog通信とDigital通信とでは中継の方式に大きな差がある。

Analog通信の場合には、減衰した信号をなるべくもとの波形がくずれぬように忠実に増幅し送出する。これに対し、Digital通信の場合には入力パルスを成形、増幅し、これによって新しいパルスを作り送出する。いわゆる「再生中継」によって雑音の除去を行なうことができる。次に再生中継方式における基本的機能をあげる。

- (i) パルス波の成形
- (ii) パルス波の増幅
- (iii) パルスの識別
- (iv) パルス再生および再同期

第7図に再生中継器の原理的構成図を示す。ケーブルを通過して中継器の入力部に達したパルスは、高周波成分の減衰によりくずれ雑音成分を含んでいる。成形回路によって波形が矯正され、「1」と「0」との差が分明になる。このパルスと、別に入力波より抽出した同期用のタイミングパルスとを用いて再生回路を動作させ、新しい時間位置の正しい、雑音を含まないパルスを発生させこれをケーブルに送出する。

再生中継器の特長とするところは、

- (a) パルス波に混入した雑音成分を完全にとり取り、新しいパルスを送出する。したがって、原理的には中継を多数繰返しても信号の品質が悪化しない。

(b) 中継ごとに新しいパルスを発生するので系のレベルが安定である。温度その他による信号の値の変動が多数の中継によって相加しない。したがって自動利得制御も簡単なものでよく回線の切換えも容易である。

#### 2.4 復号化

受信端局においては、受けた符号パルスを元の信号に戻すためまず復号化を行なう。符号化と比較して復号化はかなり簡単である。第1表に示すビットの場合について説明しよう。3個の符号に対し第1番目の符号に $2^2$ の重みを持たせ、第2番目の符号に $2^1$ 、第3番目の符号に $2^0$ の重みを持たせる。たとえば、振幅「5」に対応する符号「101」において

$$\begin{array}{ccccccc} (1 \times 2^2) & + & (0 \times 2^1) & + & (1 \times 2^0) & = & 5 \\ \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \\ \text{第1番目の符号} & & \text{第2番目の符号} & & \text{第3番目の符号} & & \end{array}$$

上のような計算過程に対応する操作を行なえば、「5」という振幅が得られる。このような操作を具体的には回路によって行なうわけである。

#### 2.5 復調

復号化された信号は送信側におけるサンプルパルス、すなわち第3図に示すと同様な波形となる。この包絡線を検波すれば元の信号波形が得られる。

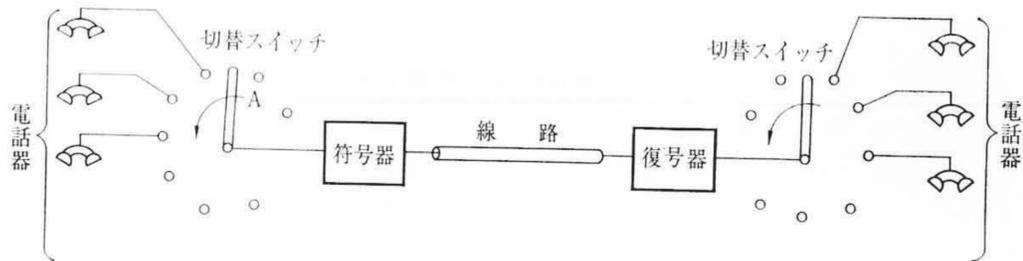
#### 2.6 圧伸

電話機に向って話す人間の音声の強さは、人により、時により20~30dB程度の変化がある。もし、最も大なる音声の場合に、たとえば7ビット、すなわち128のレベルで符号化するように装置を設計したとすると、音声の小さいときには音声の振幅の最高値が最高のレベルに達せず、少ないレベル数で送られることになる。つまり、低い音声のひずみが多くなることになる。このため音声通信のPCM装置では、送信側において低い音声は大にし大なる音声は圧縮し、また受信側ではこれと逆の操作を行ないひずみの生ずることを避ける回路を用いる。これを行なうのが圧伸器である。

#### 2.7 時分割

多数の音声、または各種の信号を同時に、時分割で一つの伝送路を通して比較的経済的に送り得ることがPCM通信方式の一つの特長である。時分割通信の模型的原理図を第8図に示す。図のように、送信、受信のおのにおに回転切換スイッチがあり、これに多数の電話器が接続されているものとする。両方のスイッチが同じ速度で同じ位相で同方向に回転し切替えを行なうならば、一組の符号器、線路、復号器を通して同時に多数の通話が行なわれることになる。この場合、スイッチングによって前に述べたサンプリングが自動的に行なわれていることになる。スイッチの速度はサンプリングの条件より決まり、電話の音声の場合8kc以上のサイクルであることが必要になる。また、符号復号器はある通話路の端子に接続されている瞬間に符号化、復号化を行なう必要があるため、通話路の数が多いほど多いほど高速性が要求される。しかし一方、通話路数が多いほど経済性は増す。

実際の装置ではこの切替スイッチに相当するものは、トランジスタ、またはダイオードによるゲート回路である。従来の周波数分割多重通信装置(すなわち普通の搬送端局)において、通話路に高価なる波器を必要とするのに対し、時分割PCM装置では数本の半導体素子を用いるだけで良いため端局の価格が比較的安くなる。時分割の方式では、送受のスイッチの切替えが同位相に行なわれる必要があり、これが保たれないと通信に大きな障害を生ずる。したがって「同期」を取ることが重要な技術となる。この方法として多くの方法が考案されているが、いずれも同期用の弁別可能なパルスを1フレ



第8図 時分割通信の模型的原理図

ームごとにそう入し各チャンネルの位相を検知している。

#### 2.8 各種PCM変換方式

以上に説明した符号化形式のほかに、オランダのフィリップス研究所において開発された $\Delta$ 変調と称する符号化形式がある。これは信号のある瞬時値をその少し前の瞬時値と比較して、振幅が大ならば正のパルスを、小ならば負のパルスを送出するというやりかたで符号化するものである。これは信号の微分値を情報量として送る形式のものである。

長所としては、

符号化装置が著しく簡単になり、したがって経済的でもあり高速度の場合に適している。また時分割多重通信の場合通話路ごとに符号器をおいても経済的に問題なく、この方法により装置のアナログ的な部分を極度に減らし、不安定さを少なくすることができる。

欠点としては、

- (a) 伝送に要する周波数の帯域幅が、普通のPCM方式と比較して約1.5倍となる。
- (b) 微分情報による伝送形式であるため、直流分が伝送されない。
- (c) 同じ理由で、伝送中にパルスの誤りがあるとその影響がその後まで続く。

$\Delta$ 変調方式に対し、東京大学では $\Delta\Sigma$ 変調方式を發明した。これは、 $\Delta$ 変調方式の回路に積分回路を加えたもので、上記の欠点のうちb,cは改善されている。

#### 2.9 PCM通信方式の特長

以上に述べたPCM通信方式の説明にいろいろの特長があることを述べたが、これをまとめると次のとおりである。

##### (A) 長所

##### (1) 対雑音特性

- (a) 雑音に対して強い。
- (b) 中継を重ねても雑音が相加することがない。  
(雑音……熱雑音、漏話、干渉雑音など)

##### (2) 対ひずみ特性

増幅器などの非直線性によるひずみの影響により信号の質が低下しない。

##### (3) 通信容量

通信容量が現在の各種通信方式のうちで最大。

##### (4) 経済性

高級なる波器を必要としないため、時分割多重度の多い場合端局の価格が安くなる。

##### (5) 安定性

再生中継器を使用し得るため、中継系のレベル変動が相加せず安定である。

##### (6) 装置の大きさ

ろ波器を使用せぬため装置が小形となる。

##### (B) 欠点

- (1) 伝送に要する周波数帯域幅が大。

##### (C) 新しい問題

- (1) 同期

第2表 市内局間音声ケーブル多重化各種方式の比較

	D S B 搬 送		F M 搬 送	時分割多重
会 社 名	Kellogg	Lenkurt	Panhandle	W. E.
方 式 名	K-24A	81A	X	T-1
通 信 路 数	24	24	20	24
伝 送 路 形 式	4線	4線	4線	4線
中 継 器 間	25 dB max	20 dB 標準	20 dB 標準	31 dB 標準
許 容 損 失	(480 kc)	(400 kc)	(3.36 kc)	(772 kc)
最 大 適 用 距 離	350 dB	260 dB	400 dB	80 km
	(480 kc)	(400 kc)	350 kc	
架 寸 法	架:幅 48 cm 高さ 80 cm 1システム	架:幅 48 cm 高さ 3.5 m 4システム	架:幅 48 cm 高さ 3.5 m 1システム	架:幅 58.4 cm 高さ 3.5 m 3システム

- (2) 符号器, 復号器, 再用中継器など新しい回路の開発  
アナログ回路とデジタル回路の混在
- (3) 部品, 符号器, 中継器などの高品質部品, 圧伸回路用のダイオードなど。

3. PCM 通信方式の応用

3.1 市内電話局間音声ケーブルの多重化<sup>(14)</sup>

3.1.1 アメリカにおける状況

アメリカにおいて, 市内電話局間音声ケーブルの多重化を必要とした理由は次のとおりである。

- (a) 大都市近郊地区の開発, 人口移動およびこれに伴う小都市の吸収, 合併により長い市内中継線の需要増加が著しい。全 Bell 系の市内中継線の増加率約 5%/年 に対し, 長い市内中継線は 10~15%/年 である。
- (b) 通話品質向上のため, 市内中継線の低損失化が強く要求されている。

わが国における状況はアメリカほど長距離の需要が多くはないがこれと似た傾向になっている。

市内ケーブルの多重化において考慮すべきことは,

- (a) 搬送用として作られたケーブルではないので, 対間の漏話が多くこれが雑音になる。またダイヤルパルス, その他の雑音が非常に多い。
- (b) 中継区間が短いので, 端局の価格が安くないと経済性が得られない。

多重化の方式にしては, 次の3種が考えられる。

BSB (Both Side Band) 搬送方式

FM 搬送方式

時分割多重 PCM

アメリカにおいて用いられているこれらの方式の例と, それらのおもな仕様を第2表に示す。表より見られるとおり, 周波数分割搬送方式でも SBS 方式よりは, はるかに価格を下げている。したがって現在の価格の比較だけでは PCM 方式が格段と有利であるとする理由は少ないのである。

Bell 系において市内ケーブルの多重化に PCM 方式を採用した理由は次のとおりである。

- (a) 周波数分割の搬送方式では, ろ波器の価格が全体の 25~35% を占めるが, ろ波器は長年月検討しつくされているので, これが今後格段に安くなる予想はない。これに対し, PCM 方式では高級なる波器を必要とせず, PCM の価格の 20% を占める半導体部品は現在すでに相当安くなっており, 今後も価格の低下を予測し得る(ちなみに, T-1 に用いられている 1 端局 277 本のトランジスタの平均単価は, 1962 年 10 月で 433 円となっている)。
- (b) 端局価格のうち, 共通部分の占める率の多い (T-1 の場合 60~70%) PCM 方式の方が多重化による利点が出やすい。

第3表 アメリカ Bell 系における PCM 方式 (T-1) と短搬 (N-1) との建設計画

	T-1 (24 ch)	N-1 (12 ch)
1962	390 端局	3,700 端局
1963	2,334 端局	2,600 端局

- (c) 中継線は許容損失が少なく, 安定な回線を得るのにはレベル変動がきわめて小さくなければならない。これには線路の損失変動がレベル変動に無関係な PCM または FM 方式が有利である。
- (d) 市内の既設のケーブルは雑音漏話が大きいので AM よりも PCM 再生中継による方が通話品質が良くなる。
- (e) 市内中継線はトラフィック需要の変動などの理由で, 種々の方向に回線網を組替えることがある。この場合, PCM 方式は回線のレベルが安定しているので組替えが容易である。

以上のように Bell では価格, 通話品質, 回線運用から多角的に検討して PCM の採用にふみきったのである。特に, 1953 年の通話品質調査 (Opinion Test) の結果, 5~10 年間に品質を改善することが要求されていたことが, これに大きく影響している。Bell における T-1 方式の建設計画と, 参考のため, 従来の SSB 搬送方式 N-1 の計画を合わせて第3表に示す。N-1 は 12 通話路の短距離搬送方式 (真空管式) である。価格は前期の各種方式 T-1 よりもはるかに高い。

3.1.2 T-1 方式概要<sup>(15)</sup>

- (1) 通話路数: 24 ch
- (2) 変調方式: 音声 7 ビット, 信号 1 ビットの普通二進
- (3) 圧伸方式: ダイオードによる近似対数圧縮
- (4) 符号化方式: 局部復号器制御による直線符号器
- (5) フレーム同期方式: 1 ビット同期パルスの 4 kc/s, on, off による 1 ビットシフト方式
- (6) 監視方式: フレーミングパルスによる常時監視
- (7) 使用中継線: 19~22 番ゲージ
- (8) 標準中継間隔: 6,000 ft
- (9) 中継器方式: 入力駆動による完全再生
- (10) 線路周波数: 1,544 Mc/s
- (11) 電力供給: 重信回線による端末供給
- (12) パルス波形: バイポーラーパルスによる 1,544 Mc/s 繰返し
- (13) 構成: 端局装置は幅 23 インチ, 高さ 11 フィート 6 インチの標準架に電源を含み 3 SYSTEM (72 ch) が実装されている中継器は直径 9 インチ, 長さ 24 インチの円筒容器に 25 SYSTEM の中継器を収容している。

3.1.3 分配伝送形 PCM 方式

PCM 方式はすでに述べたとおり, 従来の搬送方式に比べ高級なる波器を使用しないので, 本質的に価格低減の可能性を有しているが, 24 ch PCM 方式の価格構成を調べてみると搬送方式と異なり, 通話路部と共通部の価格比率がまったく逆になっている。たとえばアメリカの K-24A 方式での共通部価格 17%, 通話路部 83% が T-1 方式では, 共通部 25%, 通話路部 75% となっている。このことは PCM 方式の場合, 多重度をあげることが原理的に通話路当たりの価格低下の積極策の一つとなると予想される。しかしながら, 一方, 方式的にみると伝送路の繰返し周波数が多重度に正比例して上るため伝送路として既設局間中継線のように, 中継器設置場所に制約のある場合は, 伝送路の通信容量の面で制限が生じ, 多重度を勝手に上げることができない。この点を解決し

ようとしたのが分配伝送方式で、高速符号化された符号化パルスを分配回路を通し複数本の線路で伝送し、受信側においてこれを集合し元の信号に直す方式である。この方式により線路の通信容量の問題を解決し、通話路当たりの経済化を大幅に行なうことをねらったものである。(詳細は本特集の“分配伝送形 PCM 通信方式”参照)

### 3.2 電子交換への応用

交換機の構成は音声信号を取り扱う、通話路系と、制御信号を取り扱う制御系に分けることができる。制御系のみを電子式、通話路系を機械式で行なうものを半電子交換、通話路系も電子式で行なうものを全電子交換と呼んでいる。この全電子交換方式の場合、通話路信号を PCM 信号化して取り扱えば信号全体が、Digital 信号となり、伝送系、交換系の一体化の可能性が生じる。これを、Integrated Communication System と言って通信の一つの理想形態と考えられている。このような PCM 交換についての研究は、最近徐々に高まりアメリカでは、Bell 研究所で、一つのモデルとして ESSEX 方式、わが国では東京大学の並列 PCM 交換方式が実験交換機として試作された。次に PCM 交換方式の特長をあげる。

#### (a) 通話品質

PCM 方式では、いったん符号パルスに変換した後は、この符号パルスは雑音ひずみなどの影響を受けず交換、伝送を繰り返しても品質が悪化しない。電子交換の場合、現在の機械リレーの接点に相当するものはトランジスタ、またはダイオードなどの半導体素子となるのがほとんど確実に予想されるが、アナログ信号ではこれらの素子の非直線性の影響を受ける。PCM の場合、これらの素子は単にスイッチング素子として働くに過ぎない。大容量の交換機の場合、交換用接点での漏話が問題となるが符号パルスはこれに対しても強い。また伝送系、交換系の特性変動により受信点で信号出力が変化しないのできわめて安定な系となる。

#### (b) 経済性

加入者ケーブル、中継線ケーブルが多重化されるために線路費が著しく縮減される。しかも符号器、復号器などは送信側と受信側とに必要なだけで、途中の伝送系には不要であるから、伝送系のみを PCM 方式とする場合と比較してはるかに経済になる。このほか時分割系の一般的特長として交換に必要な接点の数が空間分割の場合に比べ著しく少なく、この面でも経済になる。また接点の半導体部品がスイッチとしてのみ作用するので、仕様がきびしくないと安価なものを使用できる。

交換機がデジタル回路よりなるため、きわめて小形になり床面積の減少による経済性が得られる。

#### (c) 運用面

伝送系の符号パルスのレベルが安定しているため、必要に応じ回線の切替えが容易にできる。

#### (d) その他

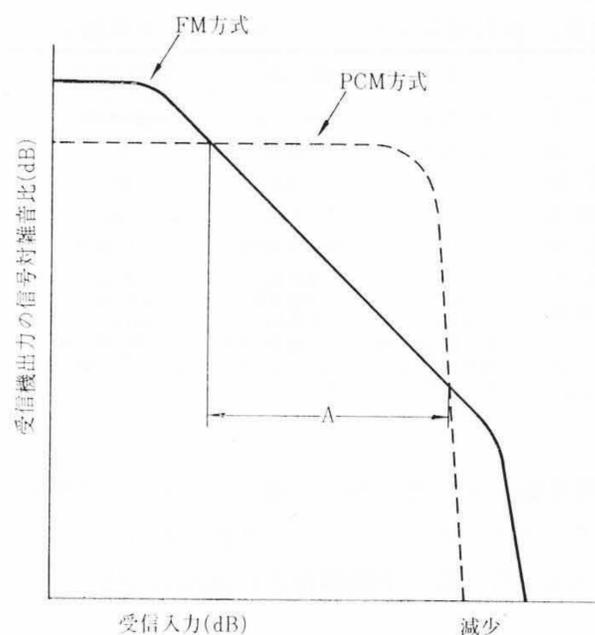
信号がパルスであるため制御系との関連が簡易になる。電子交換方式はこのような特長を有する反面、素子の信頼度、機械交換系との共存、交換系全体の同期など、解決を必要とする幾つかの基本問題も残されており、これらの解決が PCM 交換導入の一つのかぎともなっている。

### 3.3 無線通信に対する応用

PCM 通信方式は次のような理由により、無線伝送には向かないものと一般に考えられていた。

(a) 他の方式と比較して、同一の信号量を同一の質で伝送するのに、電波の周波数成分の帯域幅はるかに広がる。したがって電波の使用上不経済となる。

(b) 無線の場合フェーディングがあり、大気の状態によって受



第9図 無線伝送における FM 方式と PCM 方式の信号対雑音比の比較

信入力に変化する。したがって送信電力に余裕をとる必要があり、送信電力が小さいという利点が失われる。

(c) 受信機の受信帯域幅が広いので Threshold (受信入力が増じた場合、雑音の影響で信号対雑音比の急激に下がる点の入力値) が高くなる。

電波の周波数帯域幅は、振幅変調方式と比較して約10倍の帯域幅を要する。FM 方式と比較するとこれほど大きな差は無いが、それでも PCM 方式の方が帯域幅は大きくなる。

第9図は FM 方式と PCM 方式との信号対雑音比の (SN 比) 受信入力に対する関係を示したものである。FM 方式では受信入力が大なるときには SN 比が大きく、受信入力が増減するにしたがって SN 比も減少し、Threshold においては急激に SN 比が低下する。PCM 方式では、ある程度受信入力が高いと SN 比は一定(量子化雑音できる値)であり、ある受信入力より急激に SN 比が低下する。

図中、記号 A で示した受信入力の範囲では PCM 方式のほうが SN 比は大となる。したがって、PCM 方式ではフェーディングがなければ送信電力を減らすか、空中線利得を下げて受信入力の低いところで良好な SN 比で通信し得る。しかし、フェーディングがあるとそれだけ余裕をとる必要があるから PCM といえども送信電力を減らす訳にはいかない。

以上の理由で、PCM 通信方式は無線に向かないと思われてきたが、最近は無線に使用できるという説が出てきた。その理由は次のとおりである。

(a) PCM 方式では、電波が他の隣接した電波よりの干渉を受けにくい。したがって、電波の割り当ての間隔をつめたり、一つの電波を水平偏波と、垂直偏波との二つの波に分けて割り当てるなどすれば、FM 方式と同程度まで電波の経済性を向上し得る。

(b) PCM 方式では無線機を固体電子化しやすくなるので、中継装置を固体電子化し小形に安く作り、中継間隔を小にしてフェーディングを少なくする。そうすれば送信電力がきわめて小さくて済み、無線機はますます固体電子化しやすくなる。

(c) 現在のマイクロ波通信回線では、無線機関係(局舎、空中線などを含む)の価格に比して搬送端局の価格がきわめて高い。したがって時分割 PCM 端局を用いることにより、回線全体の価格を著しく下げることができる。いいかえれば無線機関係に多少金を余計かけてもよい。

最近日本電信電話公社では以上の点も考慮して、公社のマイクロ

波回線を PCM 方式に換えることの検討を開始した。

無線に対する PCM 方式の応用において考慮すべきことは次のとおりである。

- (a) PCM 電波どうし、または PCM 電波と FM 電波の干渉特性に関する資料がまったくない。これを得ることが今後の研究課題である。
- (b) 無線機の固体電子化、経済化が必要。
- (c) 日本電信電話公社の回線の場合、既設の周波数分割方式とまったく異質であるため、回線設計上の接続、分岐などの面に困難を生ずる。
- (d) 10,000 Mc 以上の準ミリ波またはそれに近い周波数は、雨その他によるフェーディングが多いため、これを避けると中継距離がたとえば数 km という程度にきわめて短くなる。
- (e) 電波の変調形式の比較考察。PCM-FM, PCM-PM, PCM-AM など。

### 3.4 導波管伝送への応用

超多重長距離方式として導波管を伝送路とした mm 波 PCM 方式がある。これについては、Bell 研究所でかなり大がかりな研究を行なって来たものであるが、昨年あたりより機器の経済性、特に中継器に使用する進行波管の信頼度、経済化が十分でないため、この方面の固体電子化が進むまで実用化研究を一時中断し、基礎研究のみを続けることとなった模様である。

### 3.5 同軸ケーブル伝送への応用

導波管線路に代わって新しくとりあげられたものに、同軸ケーブル PCM 方式がある。この方式は同軸ケーブルに課する特性の要求が従来の搬送方式と異なり、漏話などでかなり特性を落してもよいことからケーブルの経済化が考えられ、したがってシステム全体の経済化が期待される。また Bell 研究所で開発を進めている方式は伝送路の繰返し周波数 220 M bit で、最終的には 450 M bit 程度の実用化を考えている模様である。

この方式の特長は、従来の FDM 方式との分岐接続ならびに数十群の T-1 信号、テレビ信号などを時分割的に多重化伝送することも可能な模様で、非常に特色のあるものとなっている。

この同軸ケーブルを用いる方式は、イギリス、ドイツ、フランスにおいても基礎実験を行なっている模様であるが、詳細なことははっきりしない。

### 3.6 光による通信への応用

光による通信方式は、今のところまったく海のものとも山のものともわからない状態にある。しかし、これが実用化される場合には PCM 方式がきわめて有望になるであろう。その理由は、PCM による振幅変調が光の広帯域変調法として最も有利なことにある。

### 3.7 テレメータリング

テレメータリングに対する PCM 方式の応用において特長となることは、計測値を正確にしかも精度良く伝送できることと、直流値を安定に送り得ることである。ビット数を増加すれば、3けたでも4けたの数字でも送ることができる。アナログ伝送の場合に4けたの数字を送るためには、伝送系の信号対雑音比が 80 dB 以上であることが必要となり実現が困難となるであろう。

計測値の PCM 伝送の例として、人工衛星 Telstar の対地上テレメータリングがある。これは 120 ch 時分割で 8 ビット、そのうち、2 ch はフレーム同期用、1 ビットはビット同期に用いられている。サンプリングは 1 分に 1 回のわりで、きわめて低速の PCM である。人工衛星内で 118 の計測値が PCM の符号系列に変換され、この符号系列によって 3 kc の副搬送波に周波数変調 ( $\pm 225$  cps) しこの副搬送波によりさらに 136 Mc の電波を振幅変調し、地上に送信して

いる。

### 3.8 テープレコーディング

PCM 方式によるテープレコーディングはいまだ実用されていないが、次のような特長をもっている。

- (a) テープ雑音のまったくない再生が得られる。
- (b) 録音、再生を繰り返しても信号の品質が低下しない。
- (c) 信号対雑音比が低くてよい場合、ヘッド、トラック幅を小さくすることができる。
- (d) 直流、または超低周波まで録音することができる。

しかし、一方において、

PCM の信号パルス波は原信号よりはるかに高い周波数成分を有する。

ことが技術的な問題となる。

これに対し、「分配方式」を適用することが考えられる。すなわち多重トラックを用い、このトラックにパルスを分配録音するのである。原理は電話局間ケーブルの多重化とまったく同じである。この方法で一つのトラックにおけるビット周波数を低下させ、録音を容易にすることができる。この場合も、トラック数を任意に変えることにより、テープ速度を任意に変え得るといふ機器設計の自由度が生ずる。

## 4. 結 言

以上に述べたとおり、PCM 通信方式は通信の広い分野にわたって応用面をもち、将来大部分の通信がこれに置き換えられる可能性のあるきわめて有望な方式である。方式的に理想のものであるだけでなく、Device との関係においても理想的な面を持っている。すなわち従来の搬送方式におけるろ波器のように、技術的に行きづまりつつある Device を用いる必要がなく、将来はマイクロモジュール、固体回路なども積極的に利用し、装置を超小形化して行くこともできる。超小形化の技術により装置の信頼性、経済性の向上と保守、運用の面での効果が期待される。

一方、PCM の技術は、アナログとデジタルとの混合という特殊な面をもち、回路技術においても、部品技術においても今後研究すべき多くの問題をもっている。

本特集は、日立製作所における PCM 通信技術開発の一端を紹介したものである。

終わりに臨み、PCM 通信方式開発全般にわたり、ご指導とご激励をいただいた関係者各位に深甚な謝意を表するものである。

## 参 考 文 献

- (1) 通信工学講座：三木七郎 p.58 特許の項参照
- (2) B. M. Oliver, J. R. Pierce, C. E. Shannon: I. R. E. Vol. 36, No. 11 1948年11月 p.1324
- (3) L. A. Meacham, E. Peterson: B. S. T. J. Vol. 27, 1948年11月, p. 43
- (4) W. M. Goodall: B. S. T. J. Vol. 30, 1951年1月, p. 33
- (5) C. G. Davis: B. S. T. J. 41, 1962年1月
- (6) 前田：電子技術 6, 2, Feb. 1964
- (7) H. E. Vaughan: B. S. T. J. 38, 1959年7月, p. 909
- (8) 尾佐竹, 秋山：信学誌, 昭和35年6月, p. 219  
尾佐竹, 秋山ほか：電気通信学会, 通信方式研究専門委員会資料, 昭和37年12月
- (9) 猪瀬, 安田, 河合, 高木：信学誌, 昭和36年9月, p. 1322
- (10) P. Mornet: Electrical Communication. Vol. 38, 1, 1963, p. 23
- (11) R. C. Chapman: B. S. T. J. 42, 4-1, 1963年7月(Telstar特集号) p. 1027
- (12) 喜安, 宇野：信学誌, 昭和28年10月, p. 583
- (13) 星子：信学誌, 昭和38年2月, p. 247
- (14) 前田：施設, 15, 6, Jun. 1963
- (15) Daniel F. Hoth: A. I. E. E. Fall Meeting, 1962年10月, Chicago