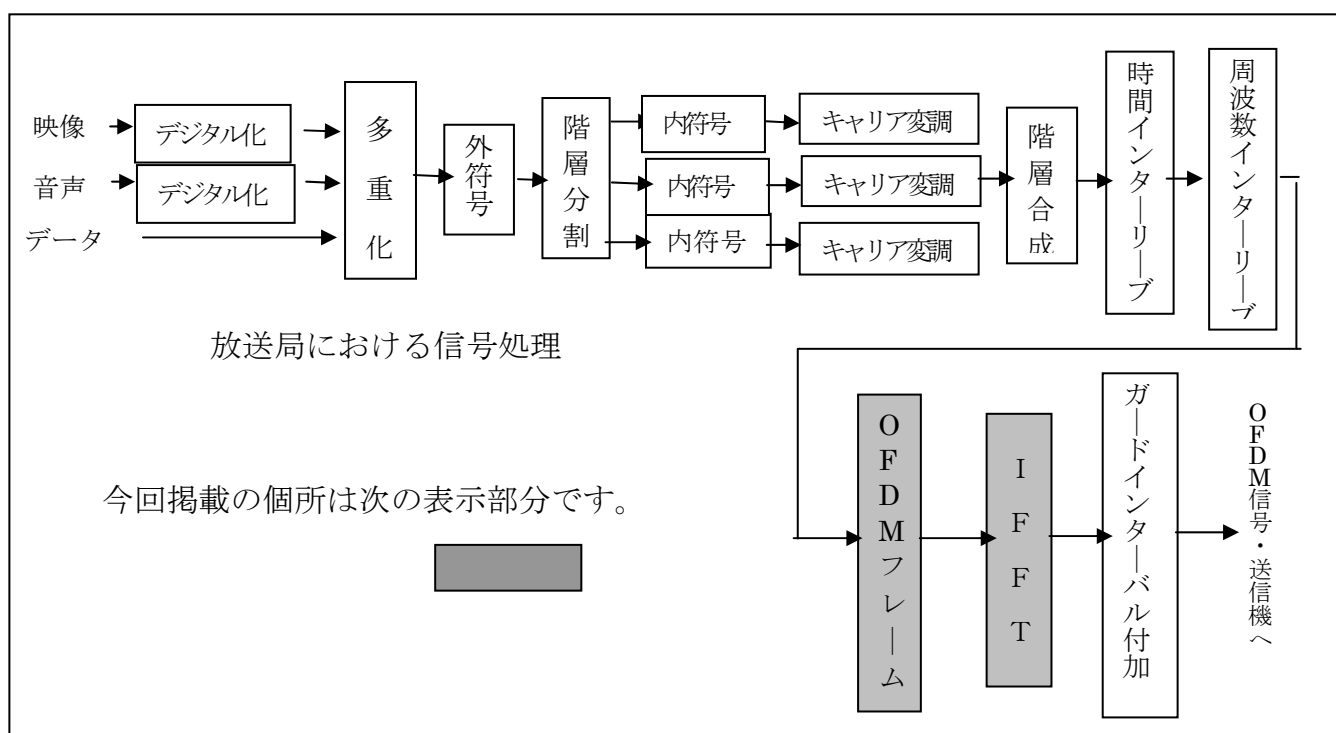




## <テレビ放送電波はどんな形?(その 10・OFDM)>



### ☆ OFDM 変調の入り口……セグメントに基づく階層伝送

地上デジタルテレビは、アナログテレビと異なり、映像信号、音声信号、データ放送用の信号はデジタル化され、それらは MPEG=2 というシステムで使用する周波数帯域を圧縮して、一つのデジタル信号の流れを作ります。さらに、誤り訂正符号を付加したりインターリーブなどによる一連のデータをあるルールで並び直し、搬送波に乗せて（変調して）送出するわけです。

このような伝送方式は ISDB-T 方式といい日本独自の方式で、セグメント単位で階層伝送ができることも大きな特徴です。

搬送波への変調の方法は、アナログテレビの場合は搬送波は映像用と音声用だけでしたが、デジタルテレビの場合は、マルチキャリア方式と

いって数千個の搬送波を用いる OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing ; 直交周波数分割多重)と呼ばれる伝送方法を用います。

OFDM の概念は、図 1 に示すように一連のデジタルデータを多数の搬送波にふるいわけ、並列に伝送します。

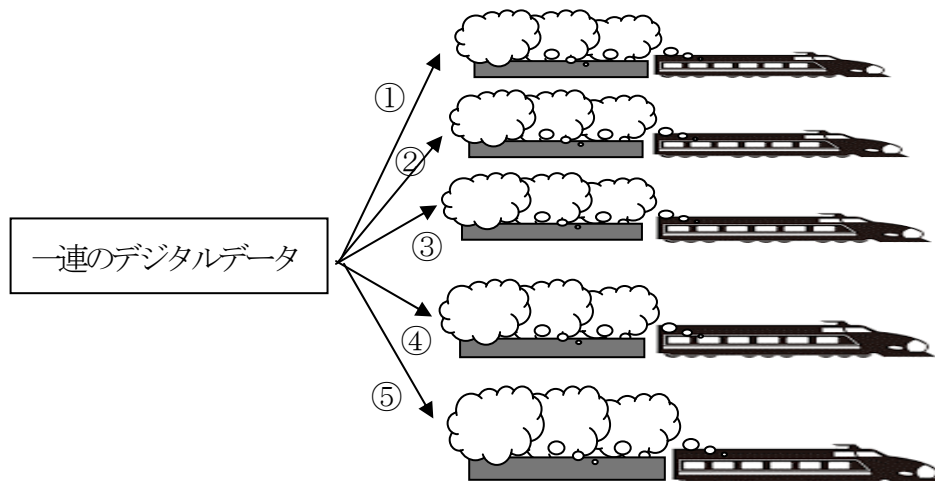


図 1 OFDM のイメージ

OFDM 波のモード 3 では、全体は 5617 本ものキャリアから成り立っていて、それらが約 1kHz の間隔でビッシリと並んでいます。それは、13 のセグメントという単位で分割されていて、一つのセグメントは、432 本のキャリアで構成されています。実際にデータを送るデータ・キャリアは 4992 本で、残りの 625 本は受信時の基準として必要なパイロット・キャリアなどです。

地上デジタル放送波の周波数スペクトラムの事例を 図 2 に示します。

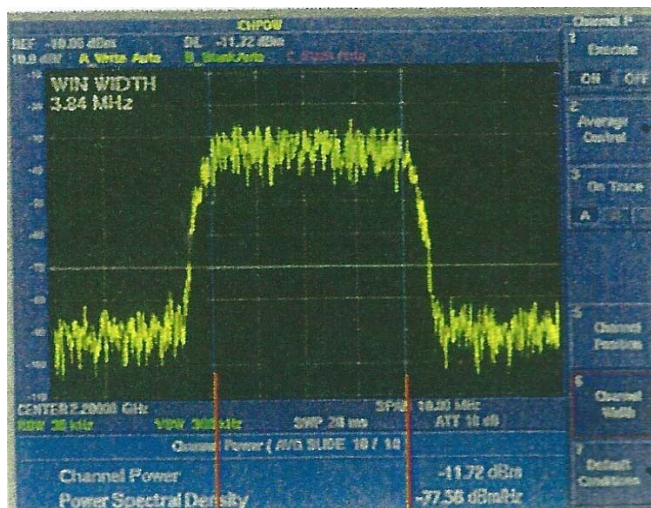


図 2 地上デジタル放送波のスペクトラム例

このセグメント 1 単位でセグメント内の各搬送波は、データ・キャリアの変調方式を変えて放送することができるようになっています。

受信機側では、これに合わせて必要なセグメントを受信します。これを階層伝送といい ISDB-T 方式では最大 3 階層の伝送が可能となっています。

地上デジタル放送では、一つのチャンネルの中で固定受信向けサービスと携帯・移動受信向けサービスが可能となるようセグメントごとに搬送波の変調方式や伝送した信号が誤って届いた場合の誤りを検出したり訂正する機能の強さを変えられるようになっています。

現在の放送では、固定受信向けサービスとしてハイビジョン放送、と標準放送 (SDTV) と、携帯・移動受信向けサービスとしてワンセグ放送の 3 階層の伝送が行われています。それぞれのデータ・キャリアの変調方式は、ワンセグ放送が QPSK、ハイビジョン放送は 64QAM、標準テレビ放送は QPSK になっています。

この様子を 図 3 地上デジタル放送階層別サービスに示します。

この例は、全てのセグメントを情報レート (全情報のうち誤り訂正などの付加情報を除いた情報の比率) が大きい方式で変調し固定受信向けにハイビジョン放送を行う場合と

12 セグメントでハイビジョン放送を行い、残り

1 セグメントを電波の変動に強い方式で変調し携帯受信向けにサービスする場合を示しています。

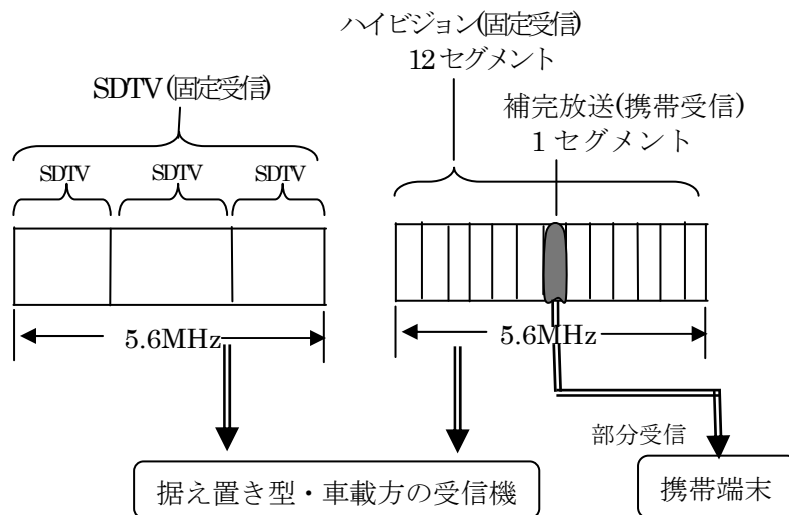


図 3 地上デジタル放送階層別サービス

☆ OFDM の変調はフーリエ変換にて

電波による放送や通信は、一般に正弦波（sin 波ともいう。）である搬送波を変調することで情報を伝送します。搬送波N本の OFDM 信号では、図 4 に示すように 0 から N-1 番目までの全ての搬送波が QPSK や

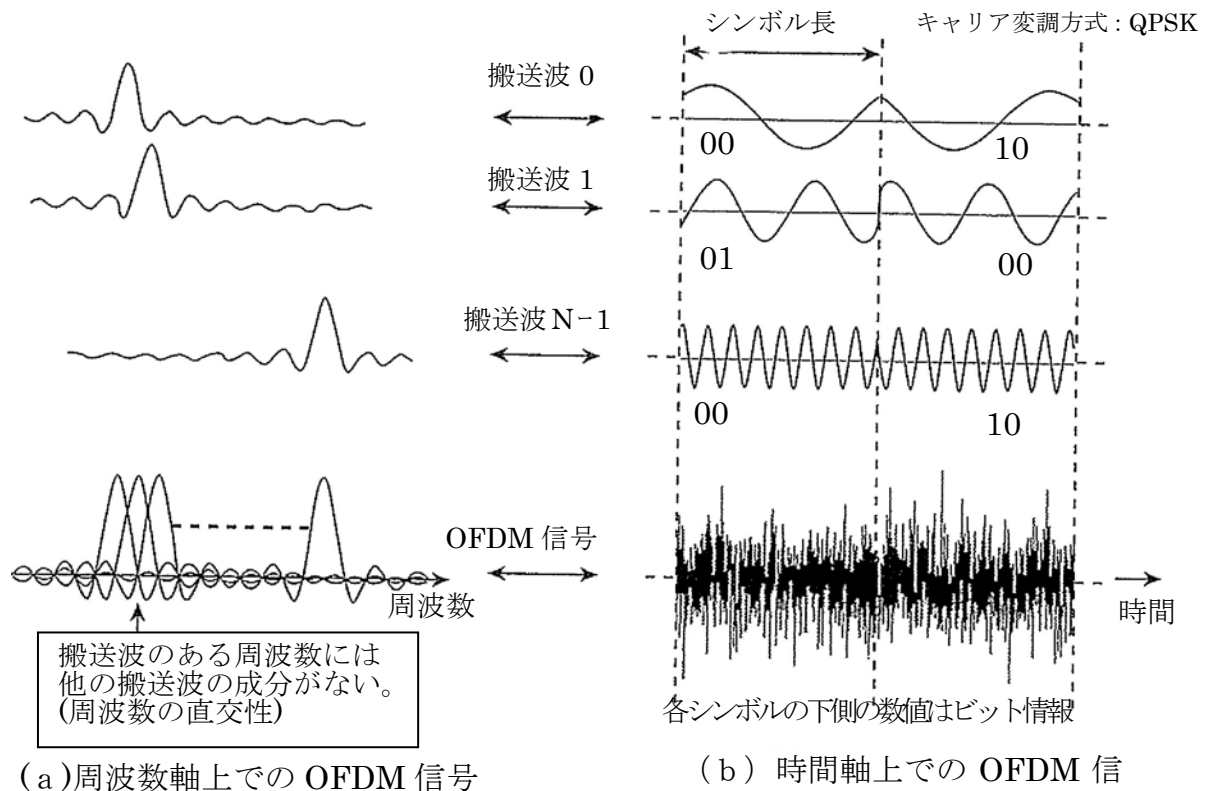


図 4 時間軸と周波数軸上における OFDM 信号の概念

64QAM などデジタル変調され、これらを全て加え合わせたものが OFDM 信号となります。

図 4 (b) に示すように、一定期間の信号波形をシンボル、シンボル時間の長さをシンボル長と呼びます。

搬送波 0（基本波）は、QPSK 変調で最初のシンボルは 00、次のシンボルは 10 で変調した例を示しています。また、搬送波 1 は、同じ QPSK で変調し、最初のシンボルは 01、次のシンボルは 00 で変調した例で、搬送波 1 の周波数は搬送波 0 の 2 倍となっています。OFDM では、このシンボルについて、全ての搬送波間で同期が取られ、同じタイミングでシンボルが切り替わる仕組みになっています。

地上デジタル放送用の OFDM では、数千本の搬送波を使用しますが、搬送波の間隔（キャリア間隔）の逆数をシンボル長とすることにより、搬送波どうしの干渉を防いでいます。

例えば、搬送波の間隔を 1kHz とすると、シンボル長は 1ms になります。このとき、OFDM 信号は、図 5 のように、ある 1 つの搬送波のピーク点では他の搬送波はゼロになっています。

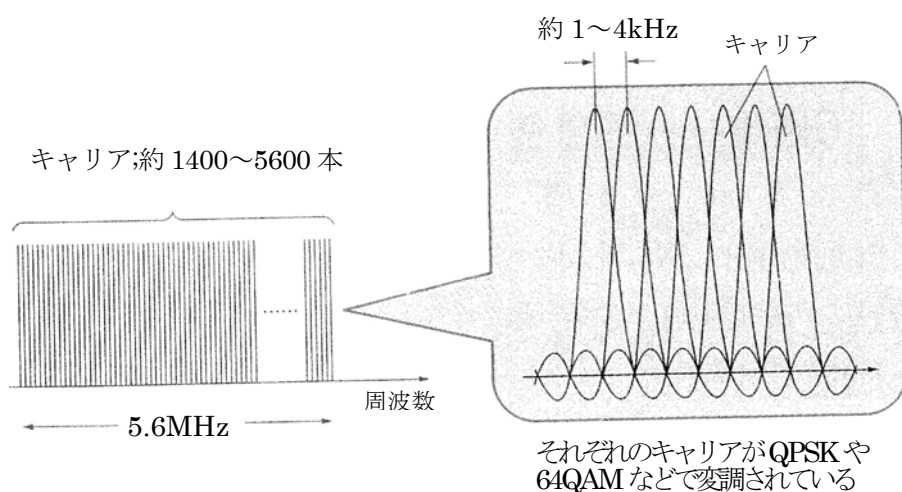


図 5 OFDM 信号の様子

このため、一つ一つの搬送波の情報（振幅情報と位相情報）を他の搬送波から分離して、誤りなく取り出すことができます。

このように、隣り合う搬送波がお互い干渉しあわない条件が成り立っている場合、それぞれの搬送波は、「直交」しているといいます。OFDM 波は、文字通り「直交している多数の波に情報を分割して多重する」伝送方法です。

数千本ものキャリアを個々に発信させてそれぞれに変調をかけて合成するという膨大な処理をアナログ回路で行うことは困難です。このため、実際の OFDM の変調は、デジタル信号処理による FFT(高速フーリエ変換)で行います。すなわち、一個の「逆フーリエ変換用 LSI」というデバイスにより一挙に OFDM 波を発生させることができるのです。

逆フーリエ変換 (IFFT : Inverse Fast Fourier Transform) という演算では、並列に入力された数千個のデータを周波数軸上に並んだ各搬送波に



割り付け、それらを時間軸上に変換しています。

地上デジタル放送では、搬送波の本数が異なる複数のモードを備えています。移動受信を優先する場合、搬送波の本数を少なくし搬送波の間隔を広くすることにより、移動受信の際に発生するドップラーシフト（搬送波の周波数ずれ）に強くなります。

一方、搬送波の本数を多くすると、シンボル長を長くすることができ、それに伴いガードインターバルも長くなりマルチパス妨害に強くなります。ガードインターバルに関しては次回に解説します。

#### ☆ OFDM の変調の回路構成事例

アナログ回路による OFDM 変調方式は、ハードウェアの規模がとてつもなく大きくなるため、精度が低下したり、受信側での同期復調が困難になります。このため OFDM 変調の原理は、以前から分かっていたが、近年のデジタル信号処理技術の向上があって初めて実用化がなされました。

図 6 に OFDM 変調器の回路構成例を示します。

ここで送信データは、各キャリアに振り分けられますがキャリアの変調方式が QPSK であれば 2 ビットずつ、64QAM であれば 6 ビットずつ割り当てられます。キャリアごとに割り当てられたデータは、それぞれ QPSK または 64QAM の変調方式に合わせて、シンボル座標に変換します。これをデータのマッピングといいます。

そして、周波数  $f_1 \sim f_n$  までの  $n$  本のベクトル情報を一度に IFFT で生成される時間軸波形が OFDM の 1 シンボルとなり、これを繰り返すことで連続した OFDM 波が作られます。

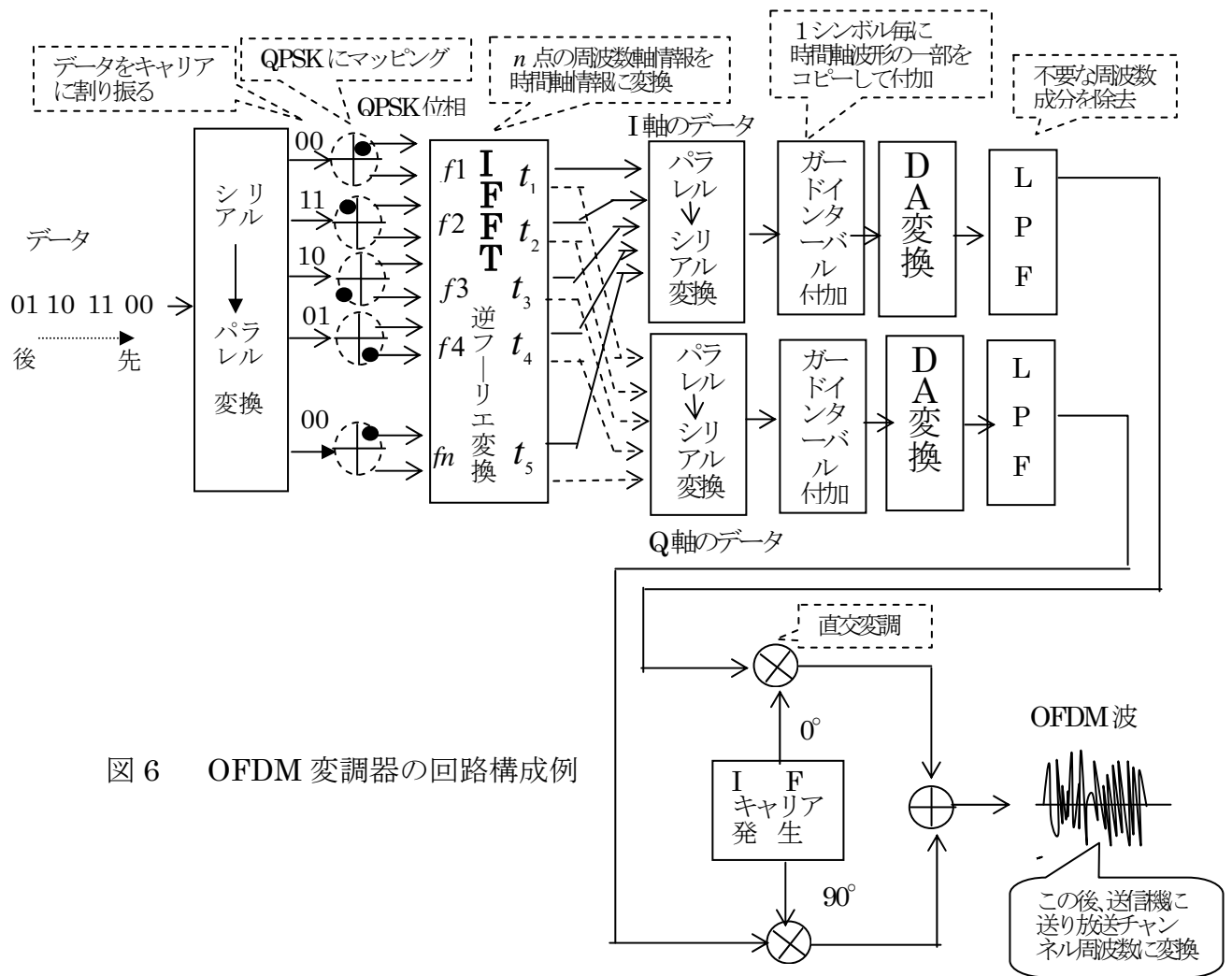


図6 OFDM変調器の回路構成例