

第3章 変調の基礎

3.1 正弦波の3要素と変調

変調 (modulation) とは、情報を表現している信号 (変調信号という) を、与えられた伝送路に適した周波数 (通常、高い周波数) の信号に変換する作業である。

多くの古典的な変調、特にアナログ変調では、目標とする周波数付近の正弦波 (搬送波という)

$$c(t) = A \cos(2\pi ft + \theta) \quad (3.1)$$

の振幅、周波数、位相、あるいはそれらの組み合わせで変調信号を表現することで実現される。アナログ変調は、アナログ波形である変調信号によって、搬送波である正弦波の、振幅 (A)、周波数 (f)、位相 (θ) というの3つのパラメータを、変化させることで実現される。このことは、デジタル変調でも同様である。

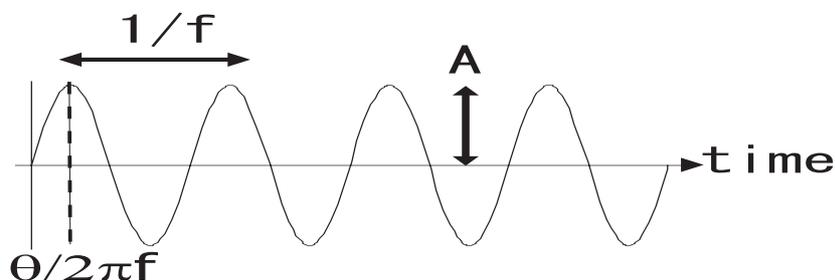


図 3.1: 正弦波搬送波のパラメータ

しかしながら、アナログ変調とデジタル変調では変調信号の性格が異なる。アナログ変調では、変調信号は情報源の出力であり、通常無限の可能性を持つ複雑な波形である。これに対しデジタル変調では、情報源出力は情報系列である。そして、変調信号はこの情報系列を表現するように設計された人工的な波形で、有限の時間内においては有限の可能性しか持たない。このような違いから、アナログ変調では、変調を無線周波数の正弦波 (搬送波) のパラメータを情報により「ゆすぶり」「調子を変える」ことと理解するのがわかりやすいのに対して、デジタル変調では情報系列と無線周波数信号波形のマッピングと考える方が理解が容易となる。

3.2 変調の基本的分類

情報波形 (アナログ)、情報系列 (デジタル) を搬送波周波数の波形にマッピングする手法である変調技術には多種多様なものが存在する。以下ではこれらの変調のうち、もっとも基本的なものとして、搬送波の振幅、周波数、位相によって情報を表現する手法の例を紹介する。

3.2.1 振幅変調

信号振幅で情報を表現する。もっとも古典的な変調方式である。中波や短波の AM (Amplitude Modulation) が代表的。電波の断続によるモールス信号も、信号振幅を 1 (送信) か 0 (送信断) の 2 値で変化させるもっとも簡単なデジタルアナログ変調 (ASK: Amplitude Shift Keying) である。

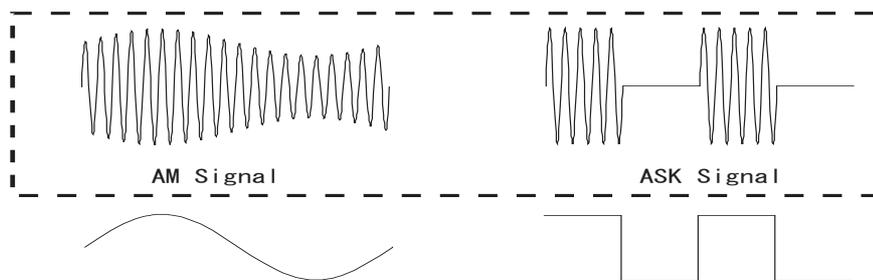


図 3.2: 振幅変調

3.2.2 周波数変調

信号周波数で情報を表現する。アナログでは、超短波帯の放送 (FM: Frequency Modulation) が代表的。アナログコードレス電話やワイヤレスマイクでも用いられる。デジタル FM 変調 (FSK: Frequency Shift Keying) は、欧州を中心に世界的に普及している携帯電話の GSM 方式で採用されている。電波の振幅が情報を表さないため、信号強度の変調に強いが、必要周波数帯域が広がる傾向がある。

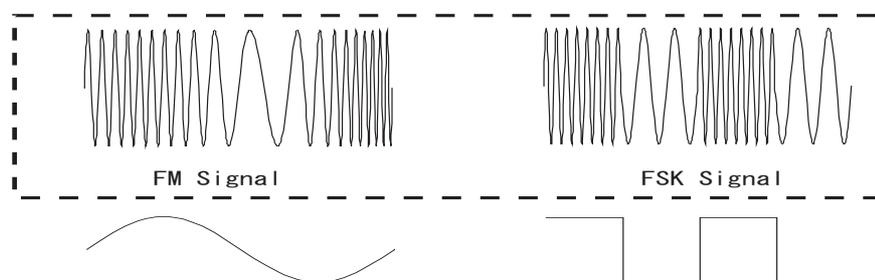


図 3.3: 周波数変調

3.2.3 位相変調

信号の位相で情報を表現する。周波数と位相は、数学的には微分積分の関係であり、アナログ変調では、位相変調 (PM: Phase Modulation) と周波数変調は、同じ変調と理解することができる。この関係は、デジタル位相変調 (PSK: Phase Shift Keying) の場合も同様である。特に変調指数が小さい FSK については、PSK とみなすことで理解が深まる。しかし変調指数が大きな FSK や、位相の変化の急峻な PSK は、それぞれ別の変調と考える方が理解が容易である。PSK は、PHS や日本国内の携帯電話を始め幅広く使用されている。信号強度が情報を担わないため、信号強度変動がある無線回線に向いている。

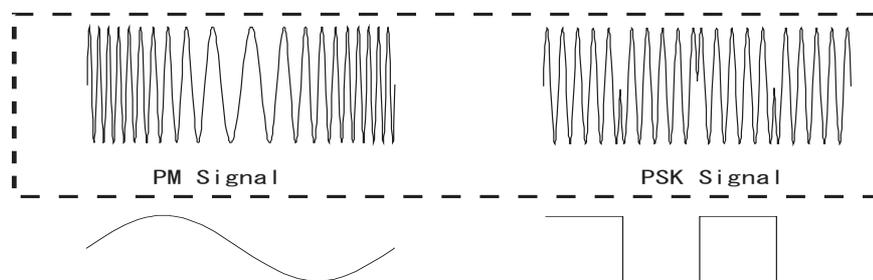


図 3.4: 位相変調

3.2.4 さらに高度な変調

上で紹介した3通りの変調は、多様な変調の中の極一部である。たとえばアナログ系の振幅変調の場合でも、搬送波成分電力を抑圧したり、搬送波の上下の周波数に存在する側波帯の一方を抑圧したり除去したりするようなことが行われている。また送信波形が有限個しかないデジタル変調ではさらに多様な変調方式が存在する。たとえば搬送波の3つのパラメータのうち2つ以上を同時に変化させるもの(図3.5)や、さらに高度な数学的処理を行ったものなどがある。これらの高度な変調については章を改めて説明する。

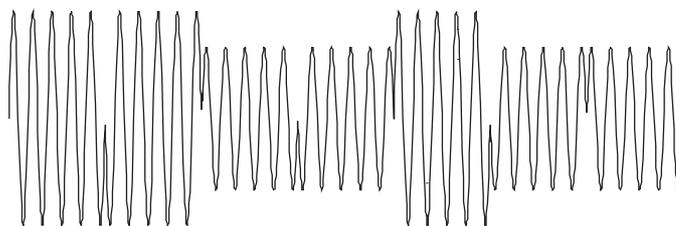


図 3.5: 振幅位相変調波形の例