

第2章

音声信号をアップサンプリングしてからFM変調する  
プログラムを作成する

# アナログ無線通信 1… FM変調波の送信

藤井 義巳



写真1 Python上でFM変調波を生成しADALM-PLUTOから送出するまでを体験する

本章ではアナログ無線通信方式の原理を説明します。題材としては、デジタル信号処理をとってもシンプルに表現できるFM(周波数変調)方式を取り上げます。

FM変復調の原理を一通り説明した後、送信実験としてPython上でFM変調波を生成し、ソフトウェア無線用RF送受信機ADALM-PLUTOを使って送信テストを行います(写真1)。

## FM変調のあらまし

### ● 振幅は一定で周波数が変動する

FM(Frequency Modulation, 周波数変調)とは、その名の通り搬送波の周波数を変調波の振幅に応じて変化させたものです。式で表すと次のようになります。

$$f_m = \sin(2\pi f_c + A_s)t$$

ここで $A_c$ は信号波の振幅とします。通常、信号波も音声などの波の性質を持った信号なので、 $A_s$ は時々刻々と変化し、 $A_s$ の値が正の方向に増大すると $f_m$ の周波数は高い方に变化し、逆に $A_s$ の値がマイナス方向に増大すると、 $f_m$ の周波数は低い方に变化します。このように搬送波の周波数成分だけを变化させ、振幅成分は常に一定の強さの信号を使って通信を行う方式をFM(周波数変調)方式の無線通信と呼びます。

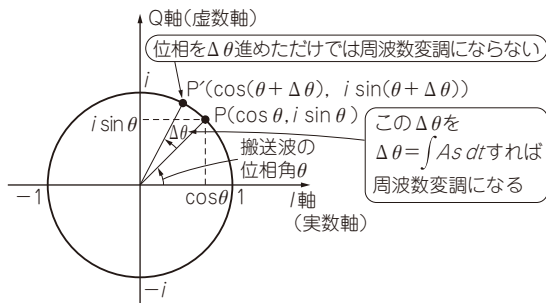


図1 位相の変化 $\Delta\theta$ は信号波を時間積分すれば周波数変調できる

### ● FM変復調の原理

特集の4時間目でI-Q表現について学びました。FM変復調はこのI-Q表現を用いてシンプルに説明できます。周波数変調は搬送波 $A_s = \sin(2\pi f_c t)$ の $f_c$ を信号波 $A_s$ の振幅に比例して変化させることで搬送波に信号波を乗せると説明しました。

ここで、図1を見てください。搬送波 $A_c$ がある時刻 $t$ に $\theta$ の位相角だったとします。この $\theta$ を正の方向に $\Delta\theta$ だけ増加させ、 $\theta + \Delta\theta$ としています。これだけだと $\Delta\theta$ だけ位相を進めただけなので、周波数を変化させたことにはなりません。ところが、この位相の変化を蓄積(積分)していき、その積分した値の分だけ位相を進め(遅らせ)ると、これは立派な周波数変調となるのです。

式で書けば、

$$\Delta\theta = \int A_s dt$$

ということで、最初から信号波 $A_s$ を積分した値を位相の変化分 $\Delta\theta$ としておくことで周波数変調を行うことができます。

### ● デジタルFM変調処理

デジタルFM変調処理では、信号波 $A_s$ があったとき、まずはこの信号を積分します。積分と聞いてしり込みされた方も居るかもしれませんが、安心してください。デジタル信号処理の世界では、積分は積算