

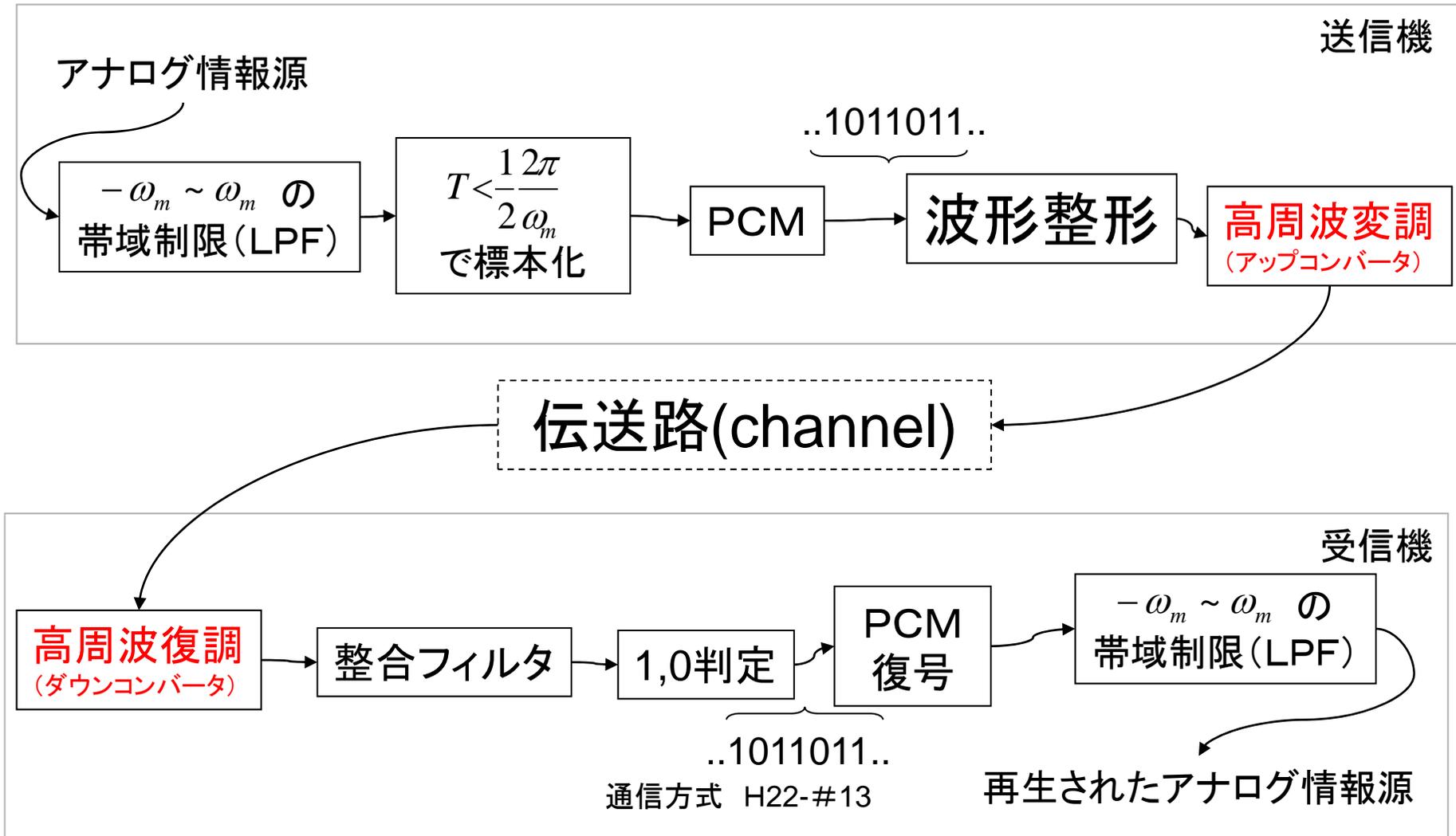
# 通信方式#13

H23-1-19

古川 浩

# 情報伝送系

## ～アナログ音声信号の伝達例



# 変(復)調の分類

	ベースバンド変調	高周波変調
アナログ	<p>パルス変調(6.2節~6.5節)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Pulse Amplitude Mod. (PAM)</li><li>Pulse Width Mod. (PWM)</li><li>Pulse Position Mod. (PPM)</li></ul>	<p>アナログ変調(3, 4, 5章)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Amplitude Mod. (AM)</li><li>Frequency Mod. (FM)</li><li>Phase Mod. (PM)</li><li>Single SideBand Mod. (SSB)</li></ul>
デジタル	<p>パルス符号変調(7章)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Pulse Code Mod. (PCM)</li><li>Delta Mod. (<math>\Delta</math>M)</li><li>Delta-Sigma Mod. (<math>\Delta</math>-<math>\Sigma</math>M)</li><li>Differential PCM (DPCM)</li><li>Adaptive <math>\Delta</math>M (A <math>\Delta</math>M)</li><li>Adaptive PCM (APCM)</li><li>Adaptive DPCM (ADPCM)</li></ul>	<p>デジタル(高周波)変調(8章)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Amplitude Shift Keying (ASK)</li><li>Frequency Shift Keying (FSK)</li><li>Phase Shift Keying (PSK)</li><li>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)</li><li>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</li></ul>

# 角度変調, Angle Modulation

(でもAMとは言わない!)

$$f_c(t) = A_c \cos \theta(t)$$
$$= A_c \cos \left[ \underbrace{\omega_c t}_{\text{搬送波}} - \underbrace{\theta_s(t)}_{\text{被変調波}} \right]$$

# 位相変調、Phase Modulation [PM]

$$f_c(t) = A_c \cos[\omega_c t - k_{PM} f_s(t)]$$

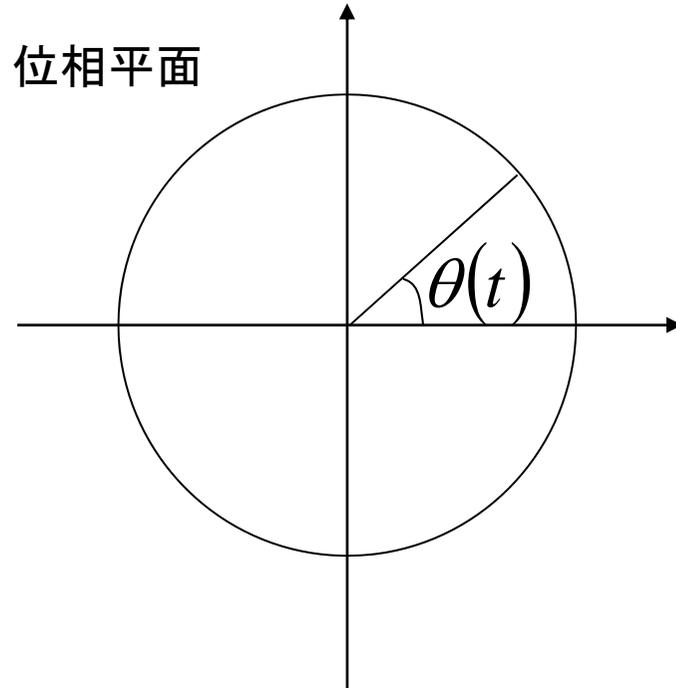
つまり、 $\theta_s(t) = k_{PM} f_s(t)$

## 周波数変調、Frequency Modulation [FM]

$$f_c(t) = A_c \cos \left[ \omega_c t - k_{FM} \int_{-\infty}^t f_s(t) dt \right]$$

つまり、 $\theta_s(t) = k_{FM} \int_{-\infty}^t f_s(t) dt$

# (角)周波数 $\omega$ とは・・・



$\cos \omega t$ 、つまり位相の回転する速さである。

FM変調波の位相  $\theta(t)$  の回転速度は・・・

$$\frac{d}{dt} \theta(t) = \omega_c - \underbrace{k_{FM} f_s(t)}_{\text{定義}} = \omega_c - \underbrace{\omega_s(t)}$$

となり、周波数に情報を乗せている。  
ゆえに周波数変調と呼ぶ

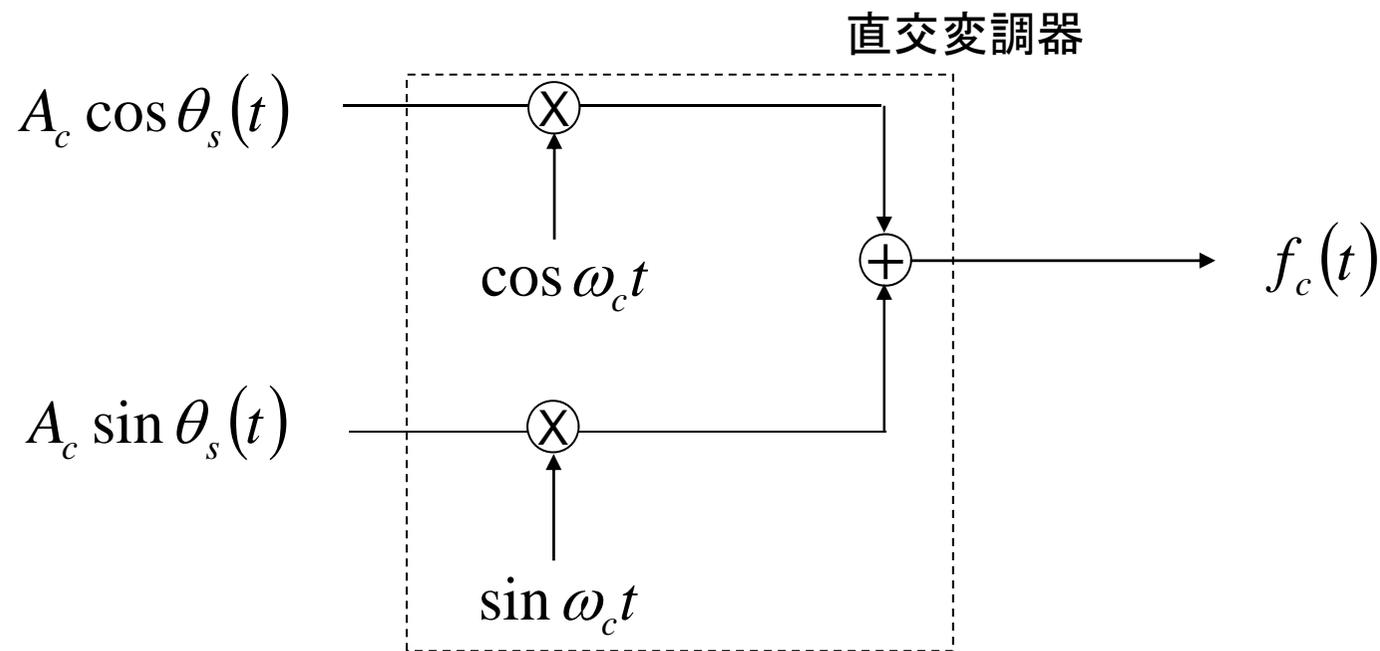
# PMとFMの類似性

PMは  $\frac{d}{dt} \theta_s(t) = k_{PM} \frac{d}{dt} f_s(t)$  を被変調波とするFMとみなせる。

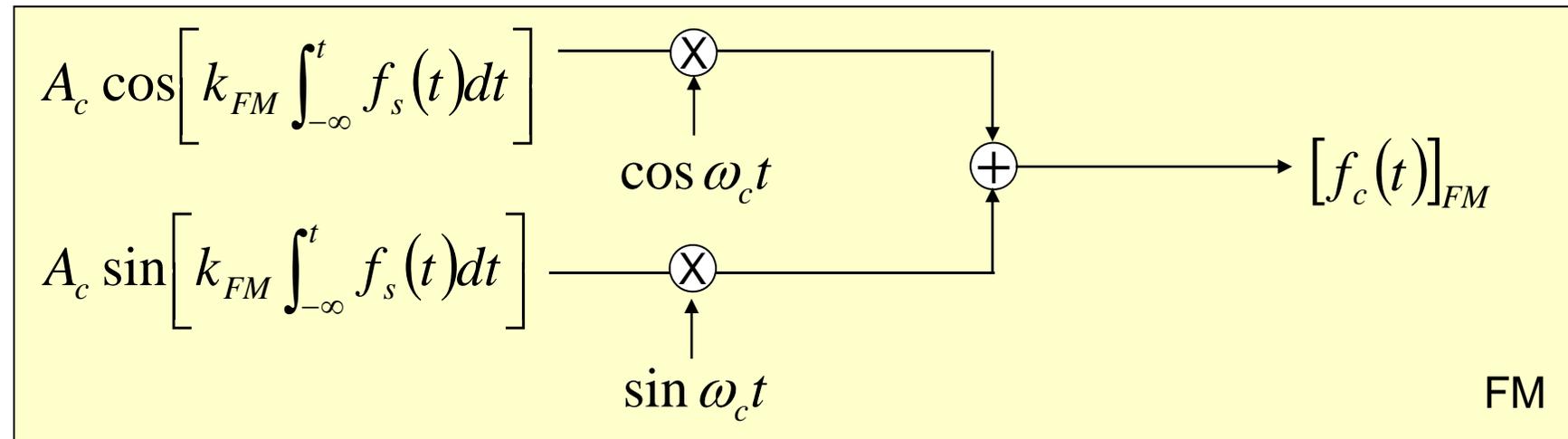
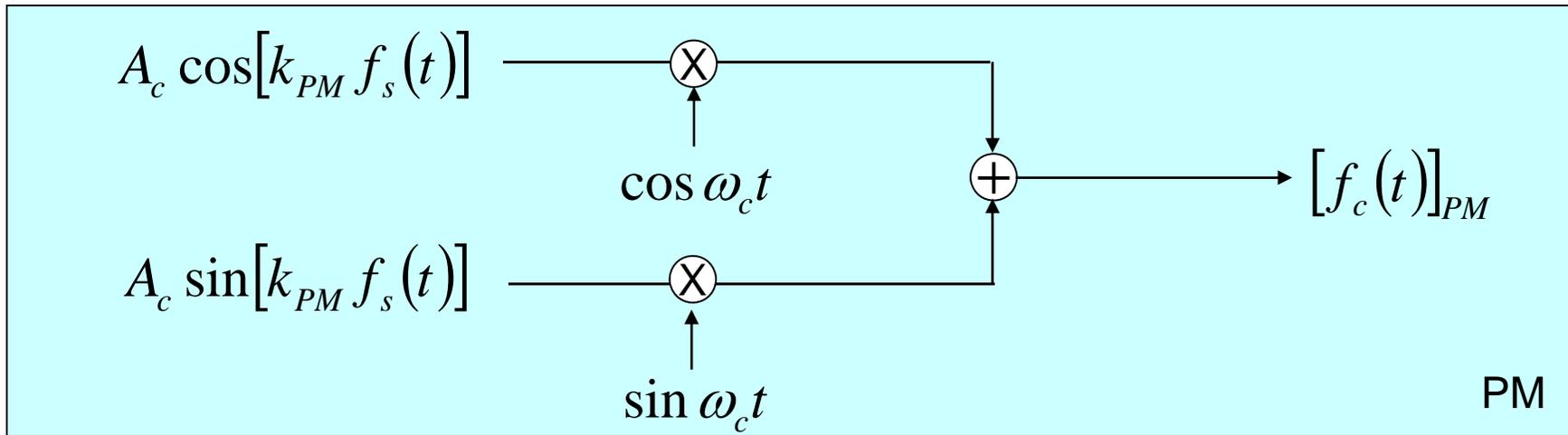
FMは  $\int_{-\infty}^t \omega_s(t) dt = k_{FM} \int_{-\infty}^t f_s(t) dt$  を被変調波とするPMとみなせる。

# 角度変調波の生成法

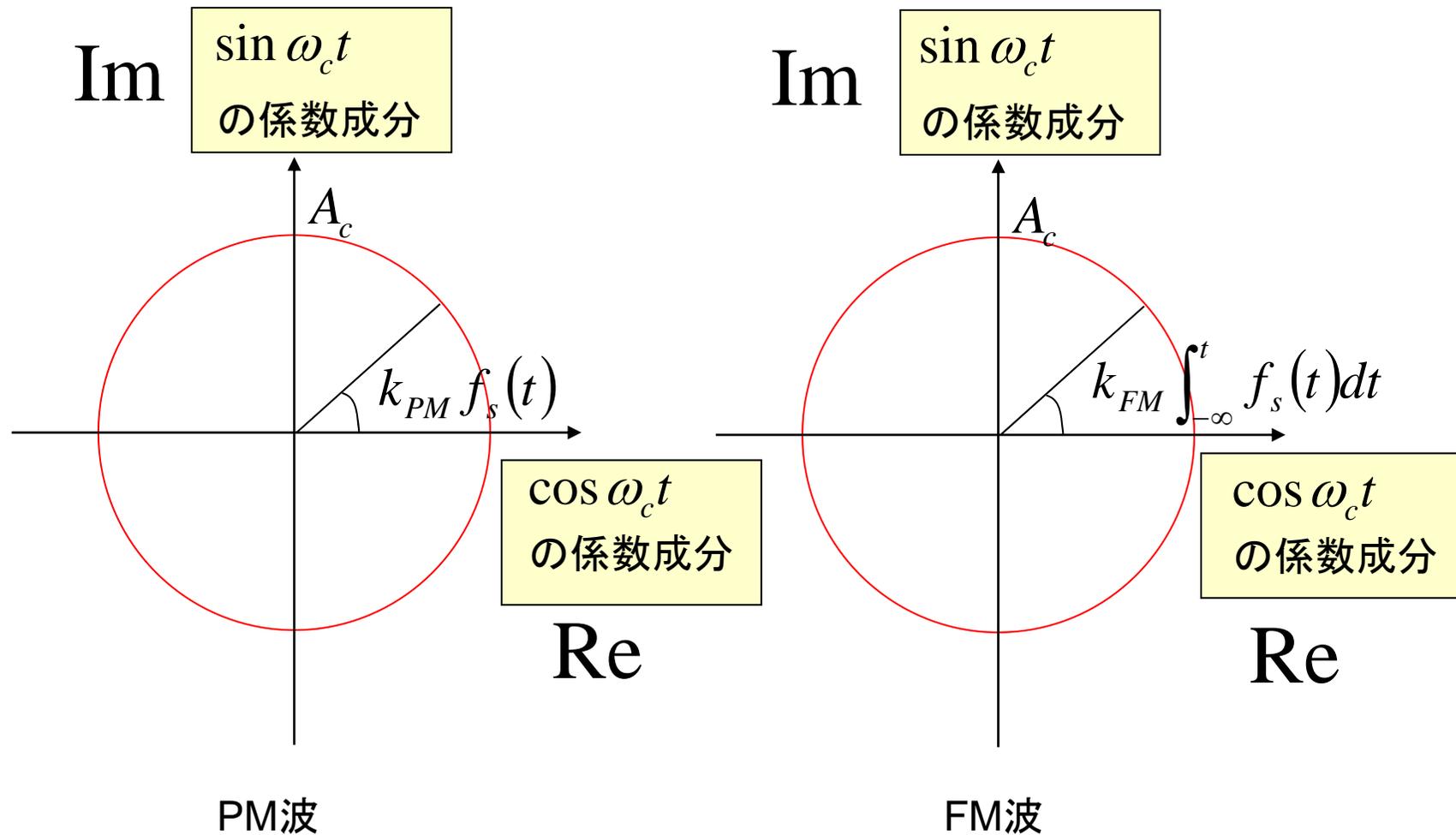
$$f_c(t) = A_c \cos[\omega_c t - \theta_s(t)]$$
$$= A_c \cos \theta_s(t) \cos \omega_c t + A_c \sin \theta_s(t) \sin \omega_c t \quad \text{より}$$



# PM波、FM波の生成回路

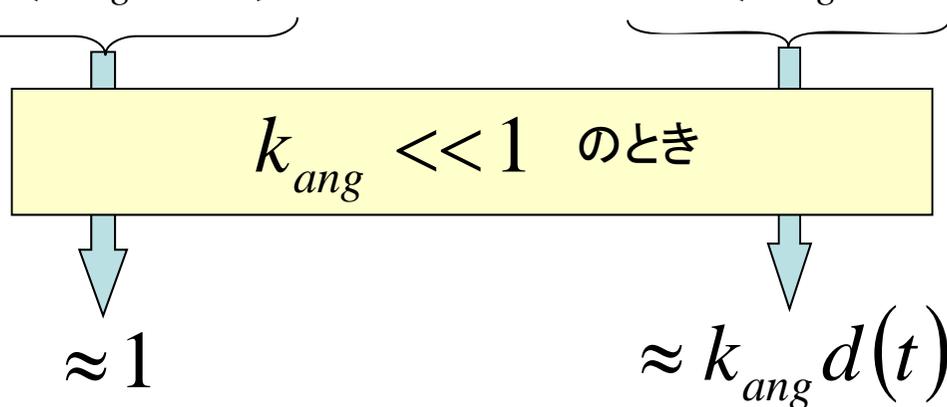


# 0-IF平面で眺めたPM波とFM波



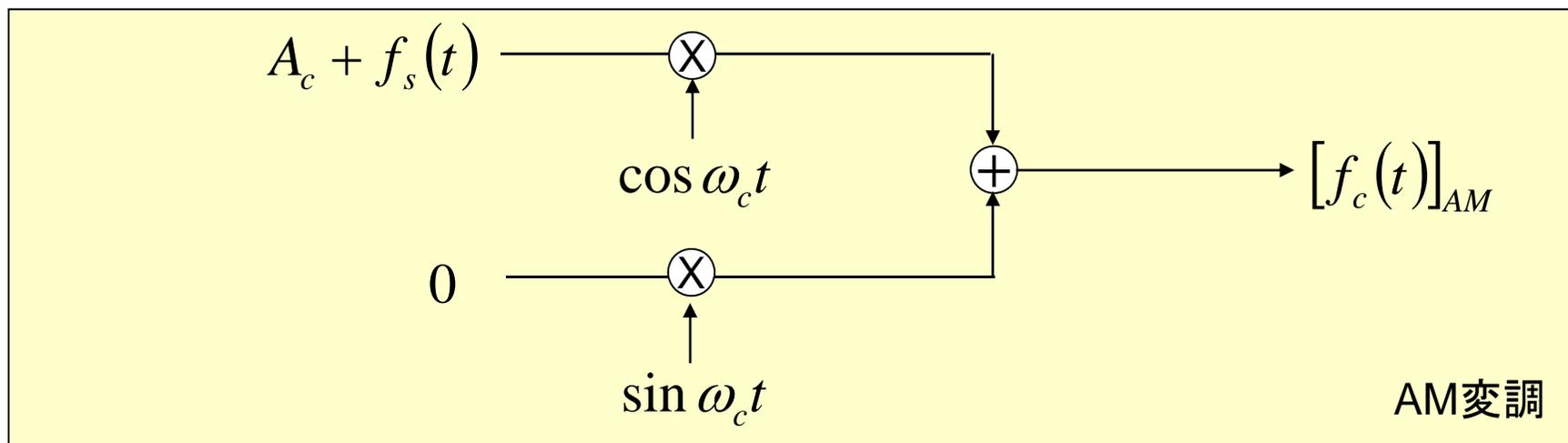
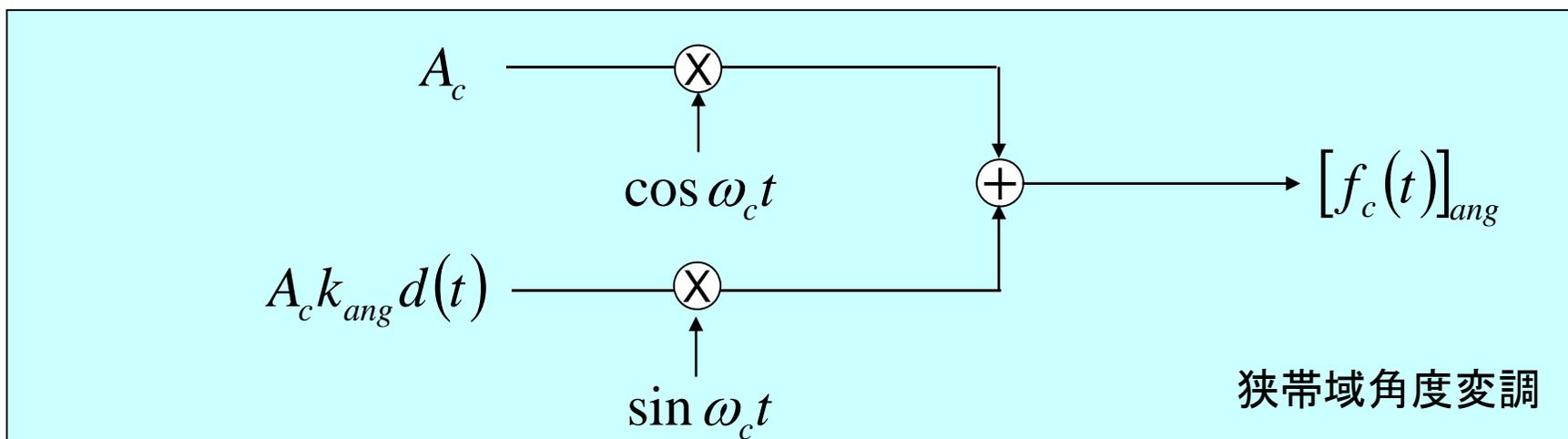
# 狭帯域角度変調 (Narrowband Angle Modulation)

$$f_c(t) = A_c \cos \theta_s(t) \cos \omega_c t + A_c \sin \theta_s(t) \sin \omega_c t$$
$$= A_c \underbrace{\cos \{k_{ang} d(t)\}} \cos \omega_c t + A_c \underbrace{\sin \{k_{ang} d(t)\}} \sin \omega_c t$$



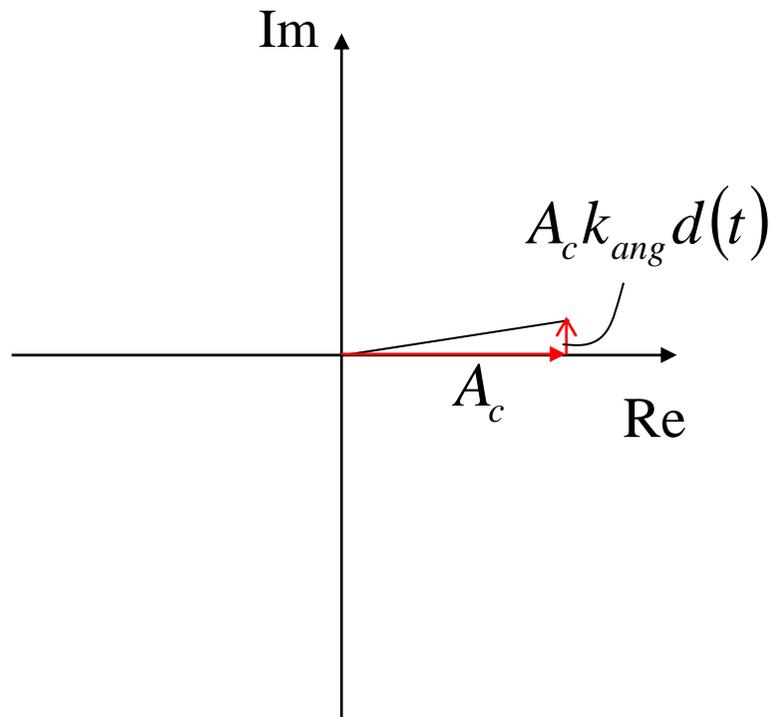
このような角度変調を特に狭帯域 FM(PM)という。

# 狭帯域角度変調波の発生方法 ～AM波との類似性

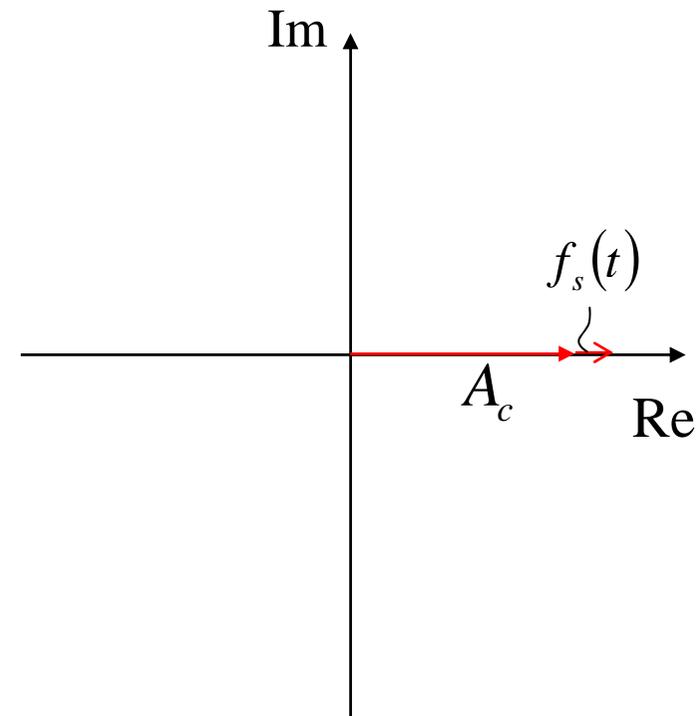


# 狭帯域角度変調波とAM波の類似性

狭帯域角度変調波



AM波



# FM波の変調指数

被変調波として  $f_s(t) = A_m \cos \omega_m t$  を考える

$$\begin{aligned} [f_c(t)]_{FM} &= A_c \cos \left[ \omega_c t - k_{FM} \int_{-\infty}^t f_s(t) dt \right] \quad \text{より、} \\ &= A_c \cos \left[ \omega_c t - k_{FM} A_m \frac{\sin \omega_m t}{\omega_m} \right] \end{aligned}$$

最大周波数偏移: 変調指数、被変調波の振幅により変化

$$m_f = \frac{k_{FM} A_m}{\omega_m} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \quad \text{をFMの変調指数と定義する。}$$

$$[f_c(t)]_{FM} = A_c \cos \left[ \omega_c t - m_f \sin \omega_m t \right]$$

# 狭帯域FM

狭帯域FMとは、経験的に、

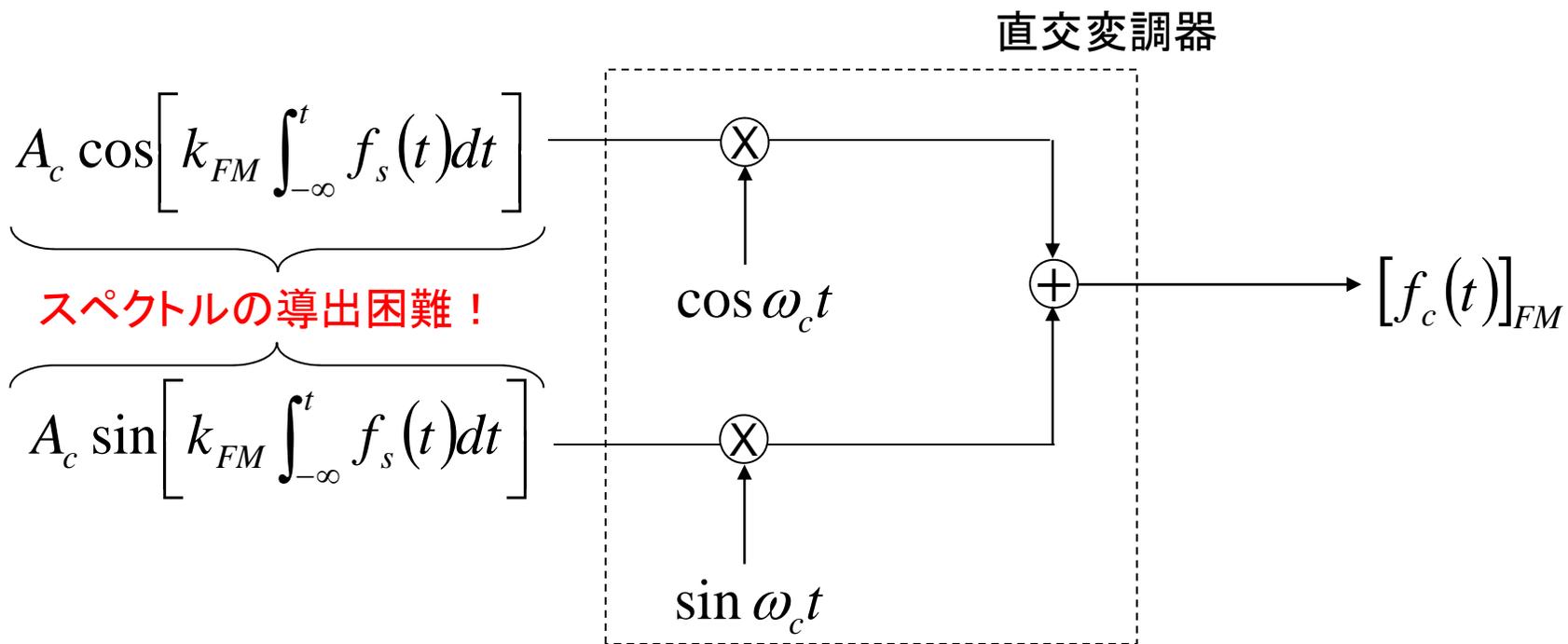
$$m_f \leq 0.5$$

の場合をさす

# FM波のスペクトル

- 導出の考え方

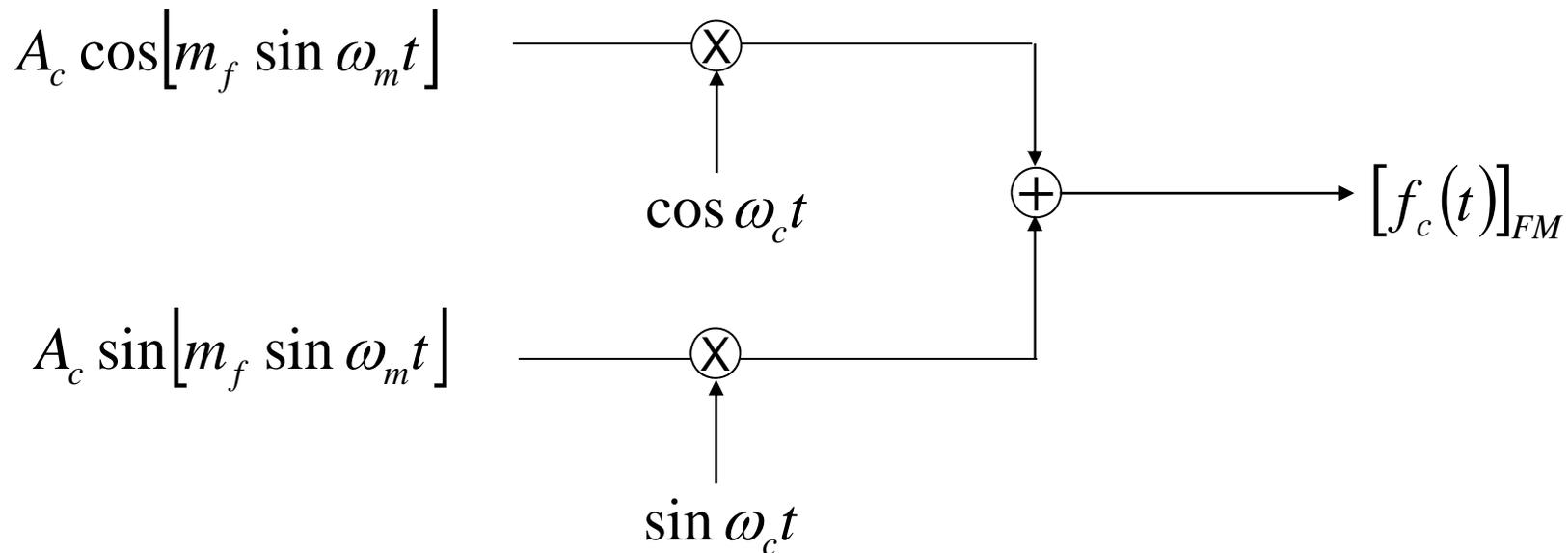
- FM波生成回路(直交変調器)への2つの入力信号のスペクトルを導き、それらのcos, sin変調後のスペクトルを足し合わせることで導く



# FM波のスペクトル導出～1

$f_s(t) = A_m \cos \omega_m t$  の場合を考える。

変調指数  $m_f = \frac{k_{FM} A_m}{\omega_m}$  を考慮すると



# FM波のスペクトル導出～2

FM変調波の複素ベースバンド表現

$$f_{c,BP}(t) = A_c \cos[m_f \sin \omega_m t] - jA_c \sin[m_f \sin \omega_m t]$$

$f_{c,BP}(t) \Leftrightarrow F_{c,BP}(\omega)$  とすると、求めたいFM変調波のスペクトルは、

$$[F_c(\omega)]_{FM} = \frac{1}{2} \left\{ F_{c,BP}(\omega - \omega_c) + F_{c,BP}^*(-\omega - \omega_c) \right\}$$

で与えられる。つまり、

$$F_{c,BP}(\omega) \text{ が求められれば良い。}$$

# FM波のスペクトル導出～3

$f_{c,BP}(t) = A_c e^{-jm_f \sin \omega_m t}$  で表現できる。これは周期 $T=2\pi/\omega_m$ の周期関数  
したがって、フーリエ級数で与えられる。

$$f_{c,BP}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_m t}$$

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{-jm_f \sin \omega_m t} e^{jn\omega_m t} dt \\ &= \frac{1}{T} \int_{-\pi/\omega_m}^{\pi/\omega_m} e^{j(n\omega_m t - m_f \sin \omega_m t)} dt \\ &= J_n(m_f) \end{aligned}$$

これを第1種ベッセル関数と  
いう。教科書の付録1参照

# FM波のスペクトル導出～4

結局、

$$f_{c,BP}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) e^{jn\omega_m t} \quad \text{となり、}$$

両辺をフーリエ変換すると、

$$F_{c,BP}(\omega) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) 2\pi\delta(\omega - n\omega_m) \quad \text{となる。}$$

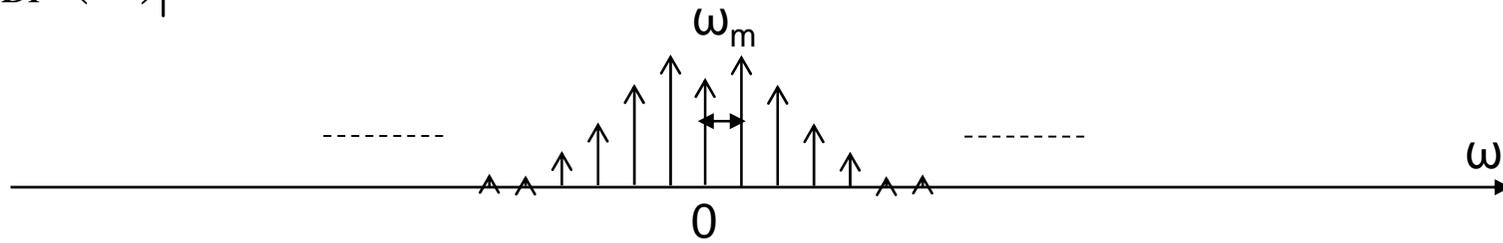
実際のFM波のスペクトルは、

$$[F_c(\omega)]_{FM} = F_{c,BP}(\omega - \omega_c) + F_{c,BP}^*(-\omega - \omega_c)$$

より、 $\pm\omega_c$ を中心とするスペクトルとなる。

# FMスペクトルの一例

$$|F_{c,BP}(\omega)|$$



$$|F_c(\omega)|$$

複素信号なので必ずしも偶関数ではない



# FMの帯域幅

定義  $B = 2(m_f + 1)\omega_m$

上記定義に従うと、帯域B内に変調信号の全送信エネルギーの90%以上が含まれる。それを帯域と定めるのである。厳密には帯域は $\infty$ である。

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \text{ より、 } B = 2\Delta\omega + 2\omega_m$$

$m_f \gg 1$ ならば、周波数偏移 $\Delta\omega \gg \omega_m$ なので、  $B \approx 2\Delta\omega$

変調指数 $m_f$ が十分に大きい場合、FM変調波の帯域幅は被変調波の帯域幅によらない。

# 角度変調波の電力

$$f_c(t) = A_c \cos[\omega_c t - \theta_s(t)] \quad \text{より}$$

$$\overline{f_c^2(t)} = \frac{1}{2} A_c^2$$

となり、変調信号の振幅にのみ比例する。