

# まずは:アナログ通信の信号と変調

- まず音声、映像情報を電気信号に
- 電気信号を通信のためのキャリア変調
- 振幅変調 (AM変調)
  - 搬送波(キャリア)の信号強度包絡線を変化
  - DSB(搬送波パワーを省略)パワー節約
  - SSB(両翼サイドバンドを片翼に)周波数節約
  - S/Nはどうなる?
- 位相変調 (PM)、周波数変調 (FM) ←あとで勉強します

# アナログ伝送のための変調方式

- 振幅変調 (AM)
- 角度 (位相・周波数) 変調 (PM・FM)  
→ 搬送波の位相タイミング・中心周波数をずらす
- **キャリア周波数 $\omega_c$ より変調周波数 $p_s$ はずっと遅い**
- 高速変調には装置の高速化、電波の帯域幅必要

# 何を変調する?:

AM: 振幅

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t = A_c \cos \omega_c t + \frac{mA_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \}$$

PM: 位相

$$f_{PM}(t) = A_c \left\{ \cos(\omega_c t + \theta_c + ms(t)) \right\}$$

FM: 周波数

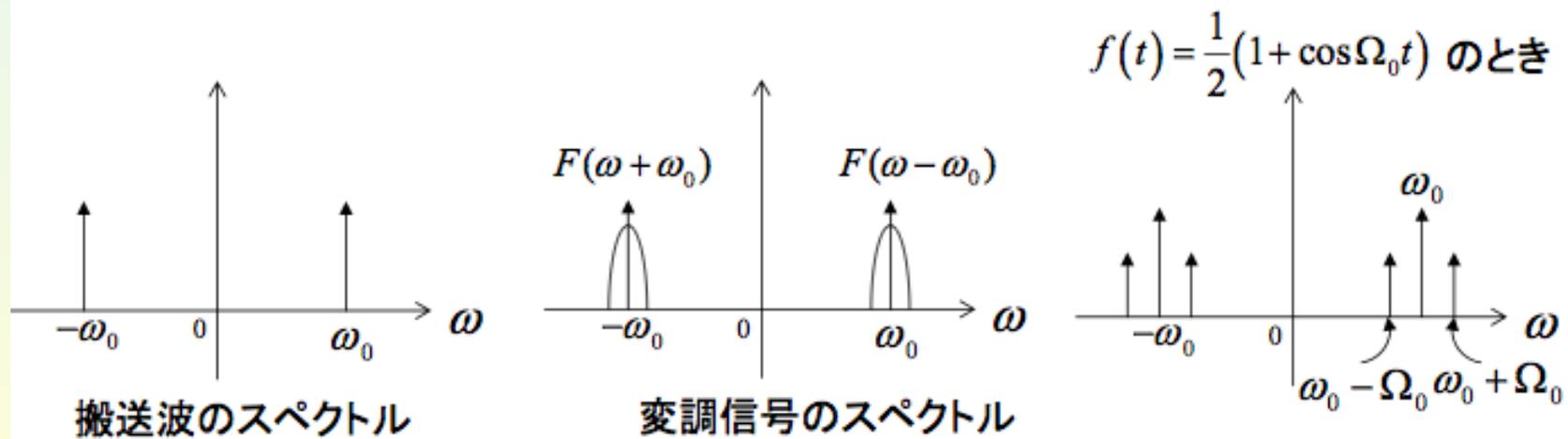
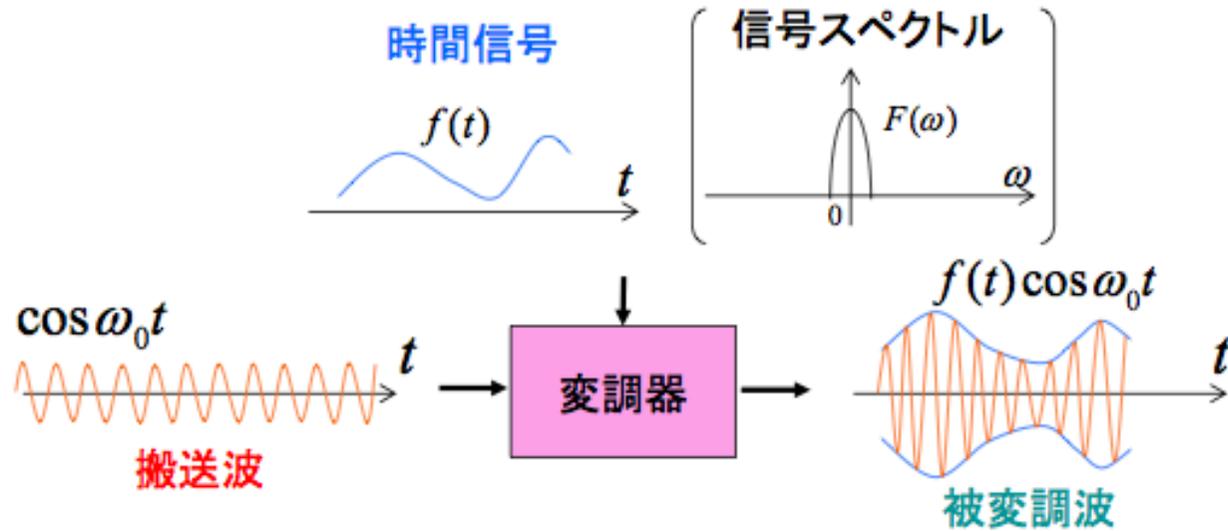
$$f_{FM}(t) = A_c \left\{ \cos(\omega_c t + \theta_c + m \frac{ds(t)}{dt}) \right\} = A_c \left\{ \cos \omega_c t + m \frac{m}{p} \sin pt + \theta_c \right\}$$

三角関数加法定理

$$\cos(pt) \cdot \cos(\omega_c t) = \frac{1}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \}$$

# AM

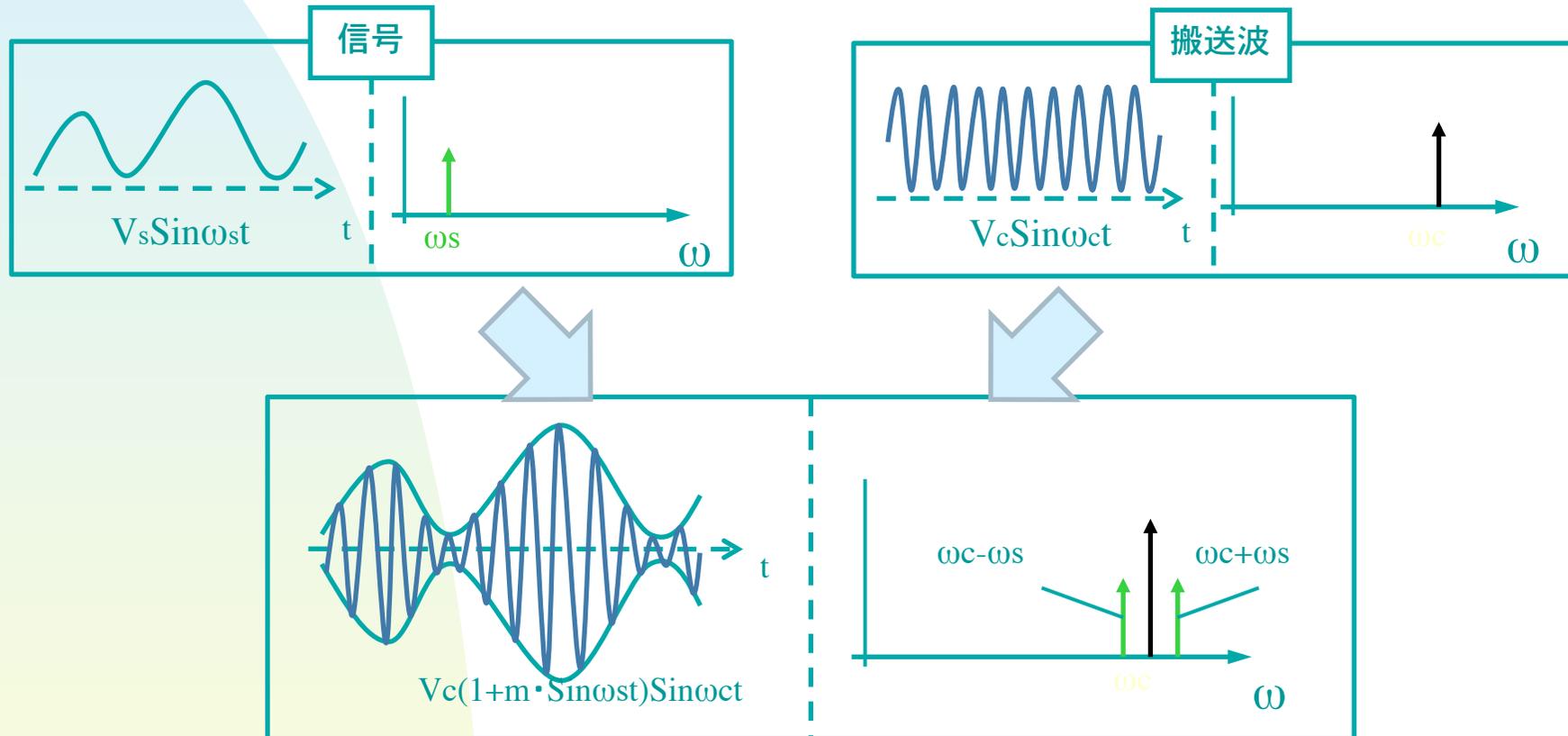
## 時間信号の変調



# 振幅変調 (AM)

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t = A_c \cos \omega_c t + \frac{mA_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \}$$

信号波形(アナログ)×搬送波がアナログ変調→そのときのスペクトルは?



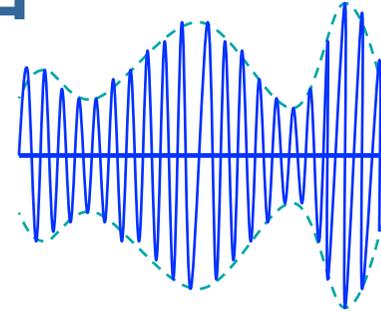
- キャリア周波数より変調周波数は遅い(狭い)
- 高速変調は伝送帯域幅が最高周波数の2倍以上必要

# AM変調送信回路

$$s(t) = A_s \cos p t$$



$$f_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

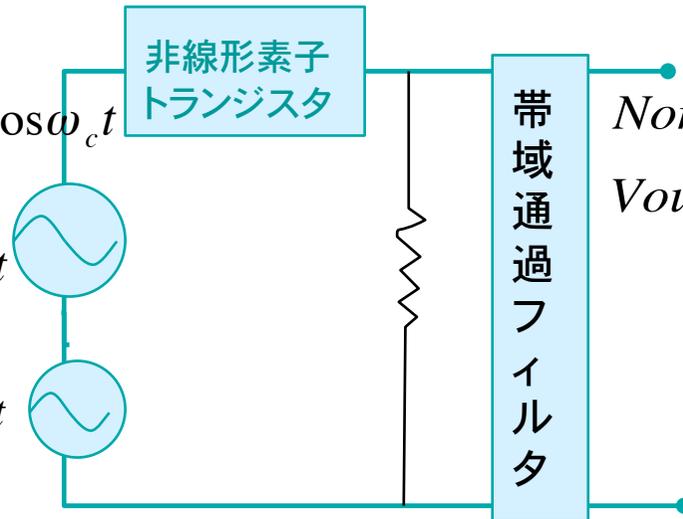


Input

$$V_{in} = A_s \cos p t + A_c \cos \omega_c t$$

$$f_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

$$s(t) = A_s \cos p t$$



Nonlinear

$$V_{out} = c_0 + c_1 v_{in}(t) + c_2 v_{in}^2(t)$$

倍角の公式

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$$

$V_{out} =$

$$c_0 + c_1 A_c \cos \omega_m t + \frac{c_2}{2} (A_c^2 + A_s^2) - \frac{c_2}{2} (A_c^2 \cos 2\omega_c t + A_s^2 \cos 2\omega_m t)$$

$$+ c_1 \left( 1 + \frac{2c_2 A_s}{c_1} \sin \omega_m t \right) \sin \omega_c t$$

どうやって実現?

信号を足し算して非線形なトランジスタに入れる

→非線形成分で足し算のかけ算成分が出る!

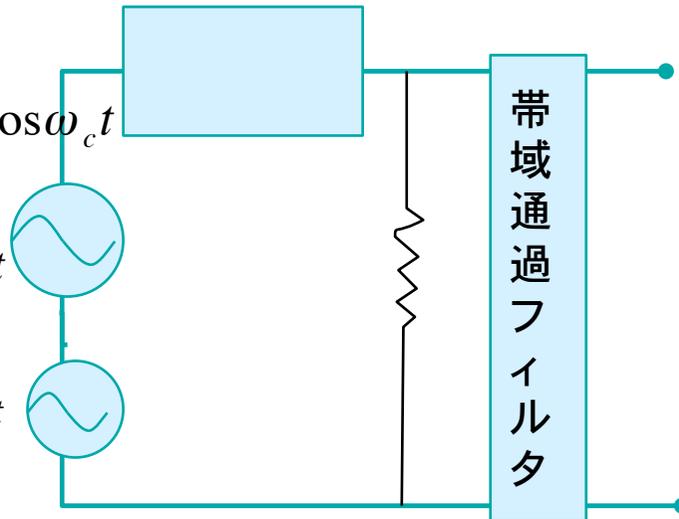
フィルタでそこだけ抜き出し!

Input

$$V_{in} = A_s \cos pt + A_c \cos \omega_c t$$

$$f_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

$$s(t) = A_s \cos pt$$



どうやって実現?

信号を足し算して非線形な  
トランジスタに入れる

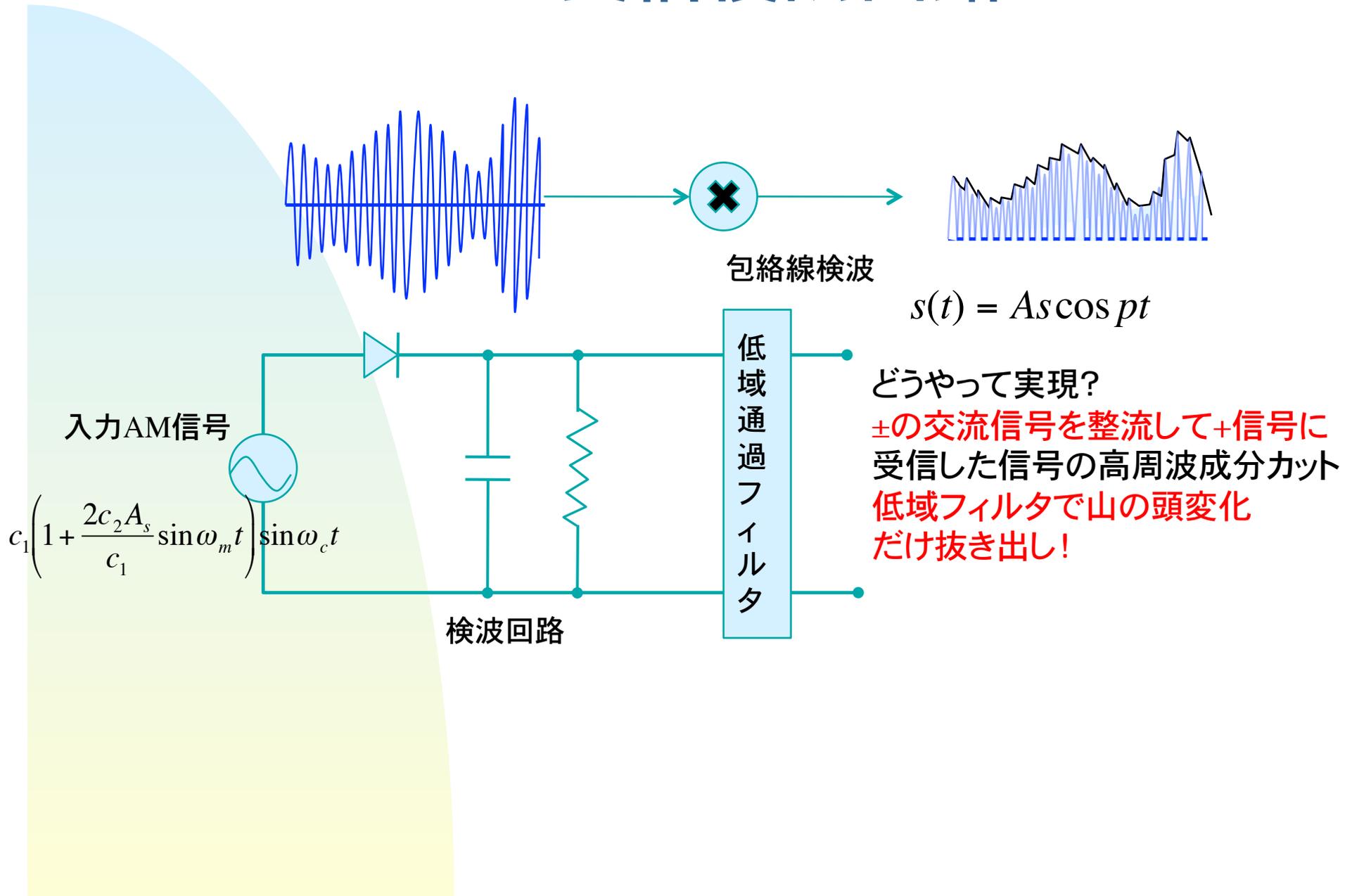
→非線形成分で足し算の  
かけ算成分が出る!

フィルタでそこだけ抜き出し!

*Nonlinear*

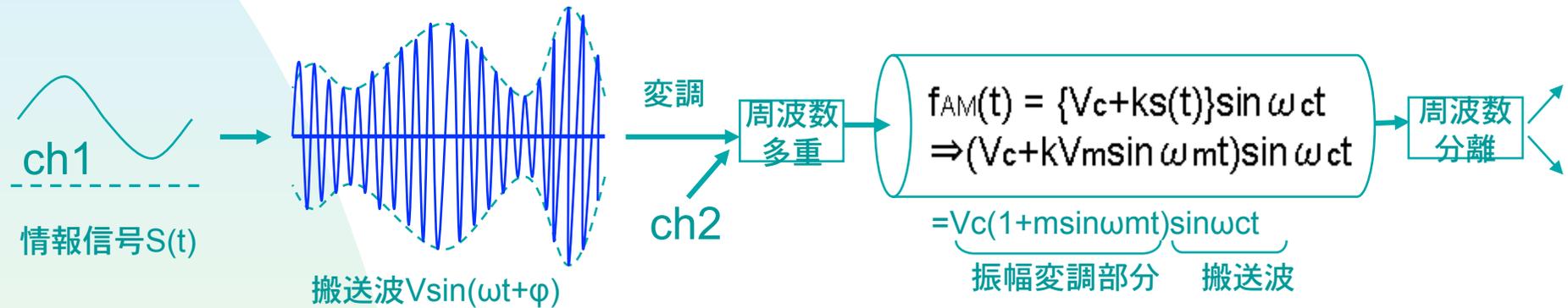
$$V_{out} = c_0 + c_1 v_{in}(t) + c_2 v_{in}^2(t)$$

# AM受信復調回路

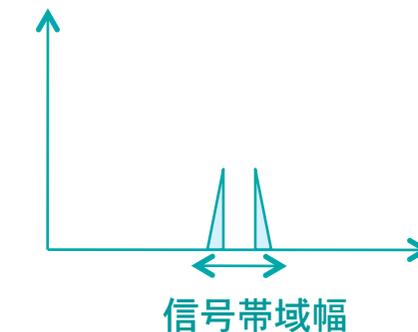
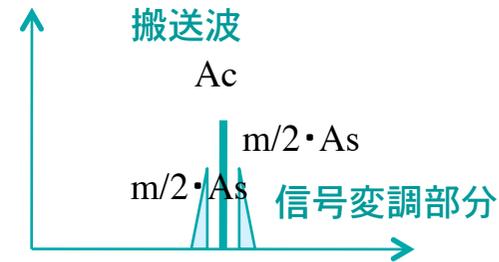
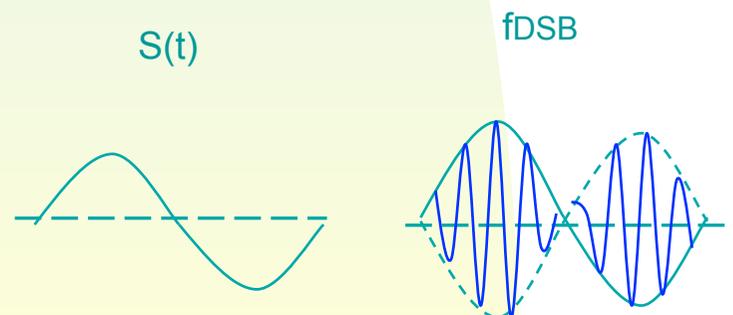


# 搬送波抑圧両側波帯(DSB)振幅変調

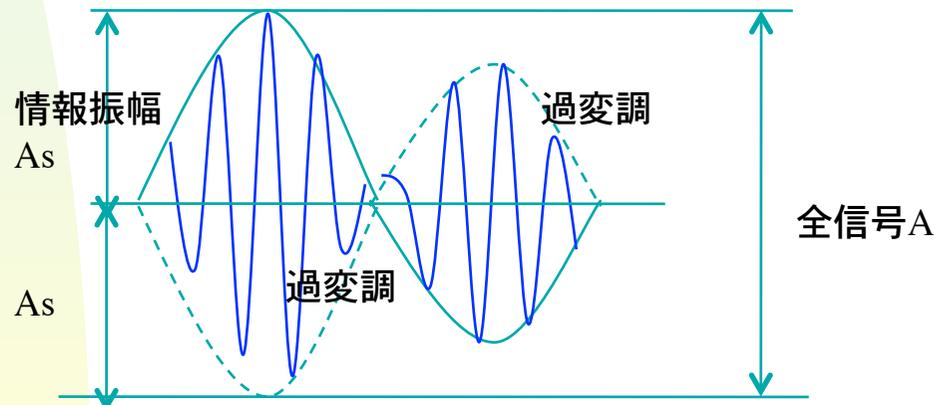
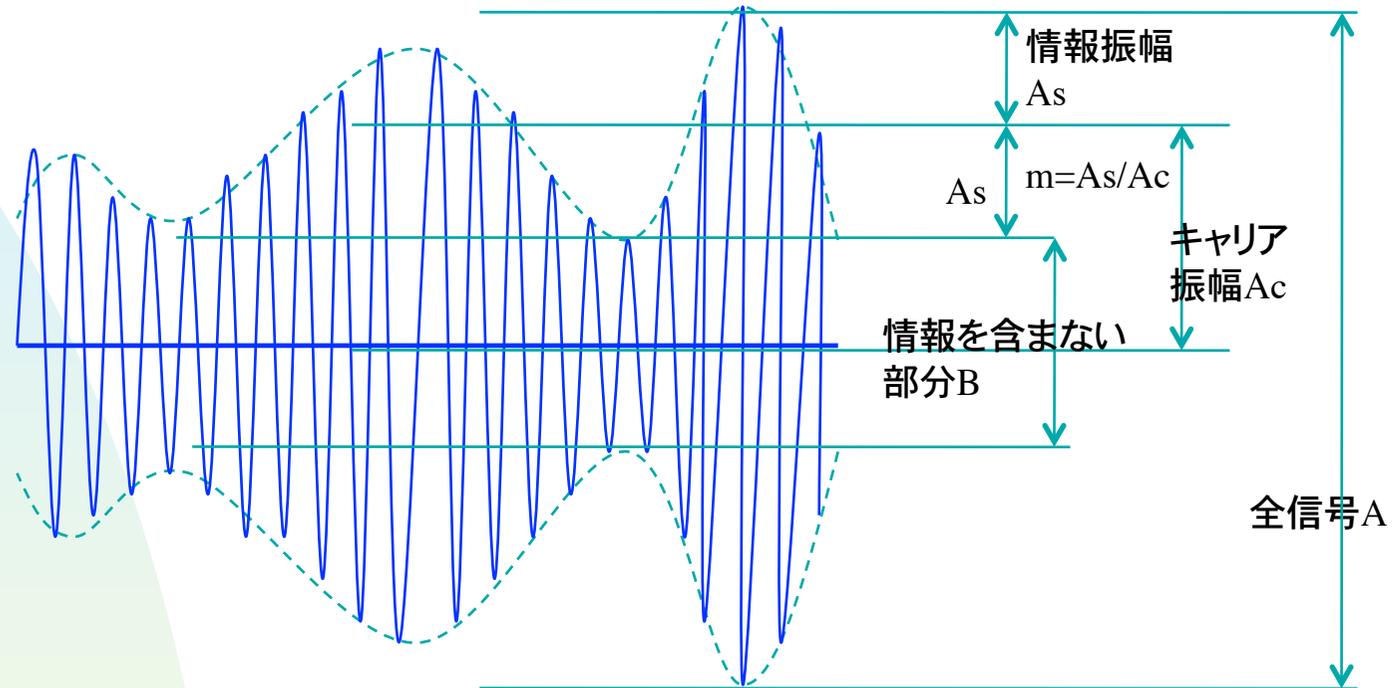
- 振幅変調 (AM変調) → 搬送路 (キャリア) の信号 強度包絡線 を変化



- DSB (搬送波抑圧振幅変調)



# 波形振幅と変調信号パワー



# パワーと帯域の節約

- どれくらい節約?

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t = A_c \cos \omega_c t + \frac{mA_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \}$$

- 搬送波パワー

$$P_c = \left( \frac{A_c}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{A_c^2}{2}$$

- 信号側帯波パワー

$$P_s = \left( \frac{m A_c}{2 \sqrt{2}} \right)^2 = \frac{m^2 A_c^2}{4 \cdot 2} = \frac{m^2}{4} P_c$$

- トータルパワー

$$P = P_c + 2P_s = \frac{A_c^2}{2} \left( 1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

- $m=0.5$ なら8/9はキャリア信号パワー  $m=1$ でも2/3

# AM受信信号:雑音耐性

## ■ 振幅変調 (AM変調) 強度包絡線検波、白色雑音の場合

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t + noise(t) \quad \text{包絡線} \quad v_{out} \approx A_c(1 + m \cos pt) + noise(t)$$

信号電力

$$\frac{A_c^2}{2} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

雑音電力

$$N_i = \omega_m N / \pi$$

S/N比

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,AM} = \frac{\pi V^2 (2 + m^2)}{4 \omega_m N}$$

包絡線S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM} = \frac{\pi m^2 V^2}{4 \omega_m N}$$

## ■ (DSB) 同期検波 検波の場合

$$\frac{A_c}{2} \left\{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \right\} + noise(t)$$

信号電力

$$P = 2P_s = \frac{A_c^2}{4}$$

雑音電力

$$N_i = \omega_m N / \pi$$

S/N比

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,DSB} = \frac{\pi V^2}{4 \omega_m N}$$

同期検波S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,DSB} = \frac{\pi V^2}{2 \omega_m N}$$

## ■ (SSB) 同期検波 検波の場合

→いろいろ計算すると同様になる

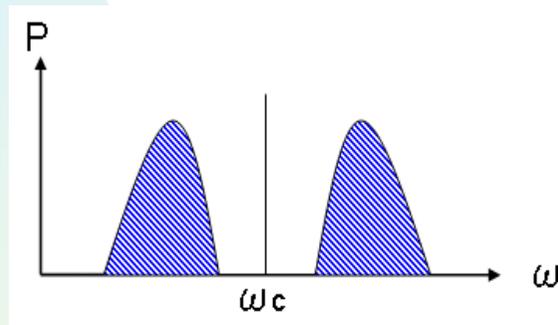
パワー半分S/N比半分→同じパワーで等価

同期検波S/N

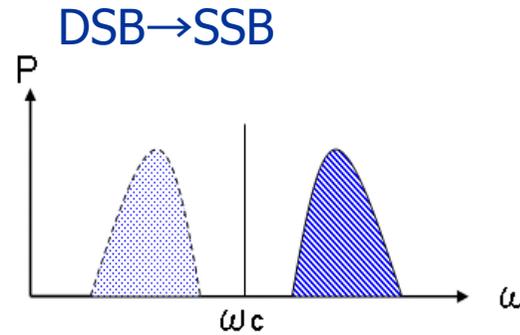
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,SSB} = \frac{\pi V^2}{4 \omega_m N}$$

# 単側波帯(SSB)振幅変調

②キャリア伝送用に変調



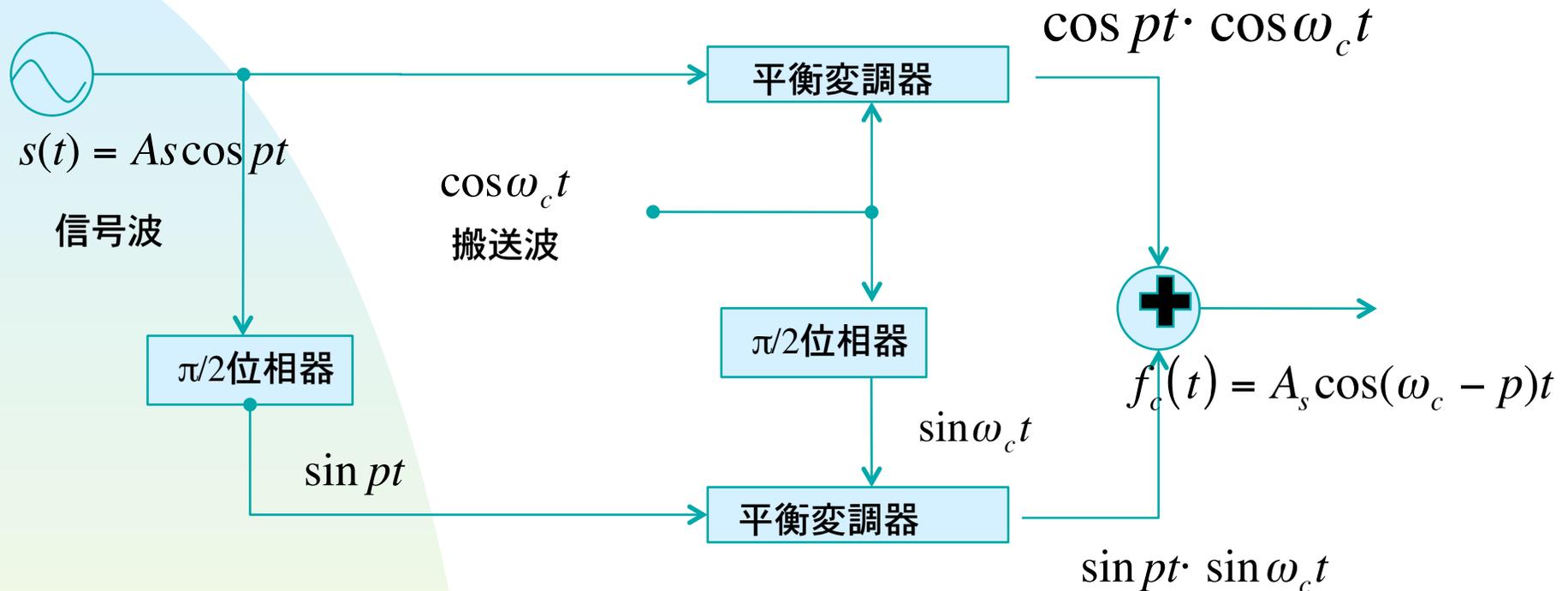
③変調パワーと周波数の節約



**注意！ 再生法：**

受信した後、**キャリア信号を再び乗算する。**  
片側側帯波信号からコピーして  
逆側側帯波を再生し、  
**もとの形に戻してから 信号処理をおこなう。**

# SSB変調送信回路

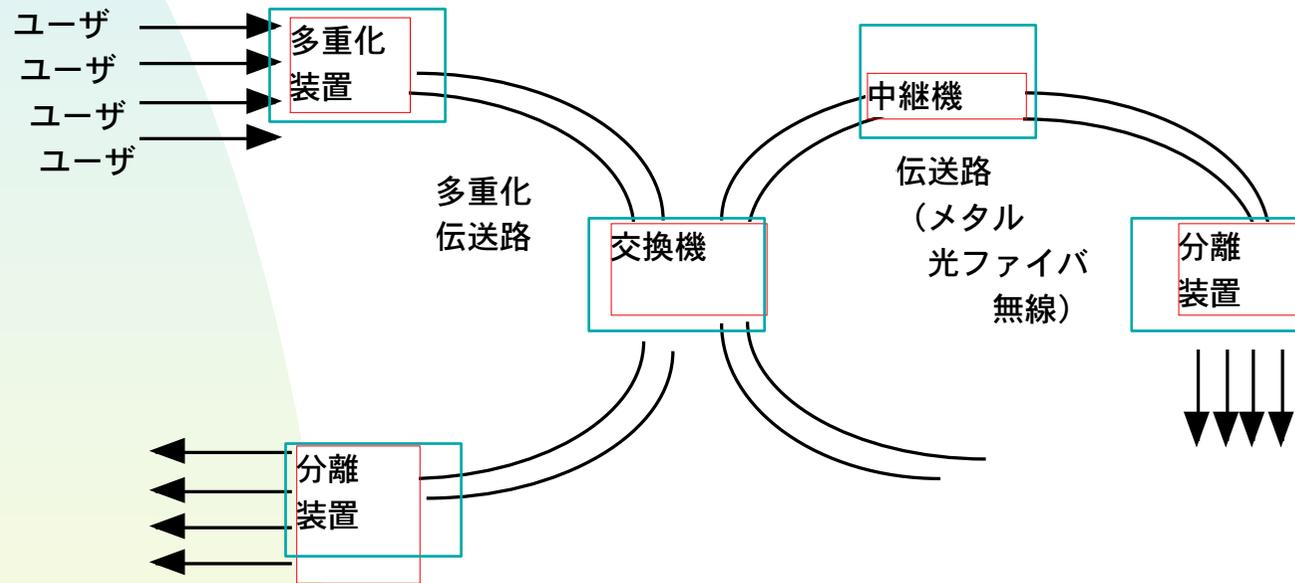


どうやって実現?  
 信号の直交位相の裏コピー作成  
 搬送波の裏コピーも作成  
 合波して  
 $A_s \cos(\omega_c + p)t$   
 成分キャンセル!

どのくらいの帯域? パワー?  
 半分以下の帯域、 $m=1$ の  
 AM変調の1/3のパワー、  
 でも送信受信面倒

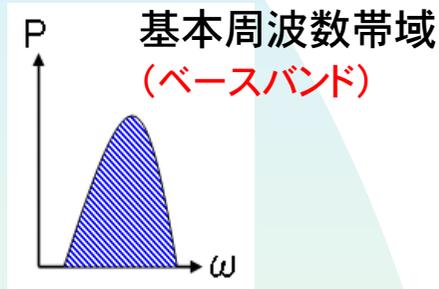


# 複数ユーザのネット共有： 多重／分離、回線・周波数共有、交換

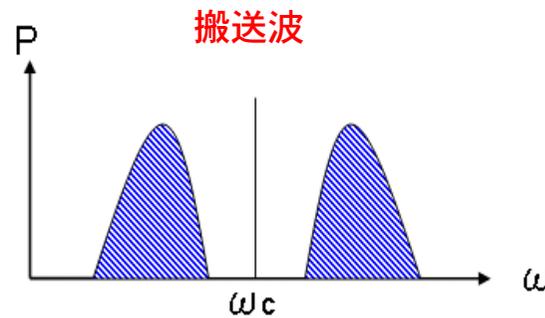


# 帯域の交通整理：周波数をシフトさせ詰め込む

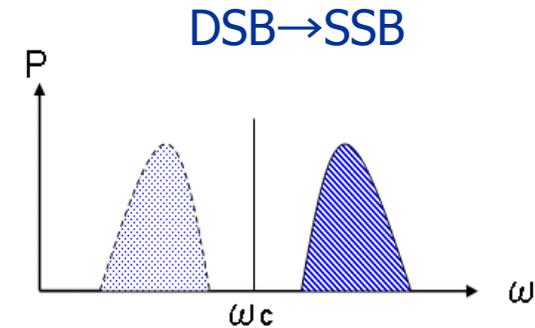
①情報信号スペクトル



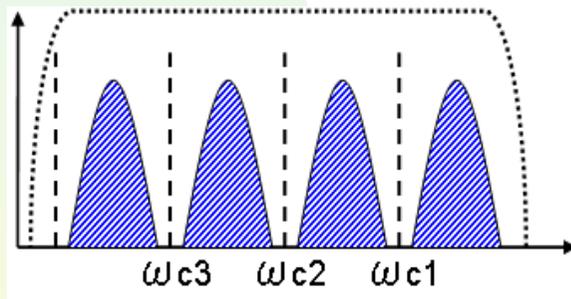
②キャリア伝送用に変調AM



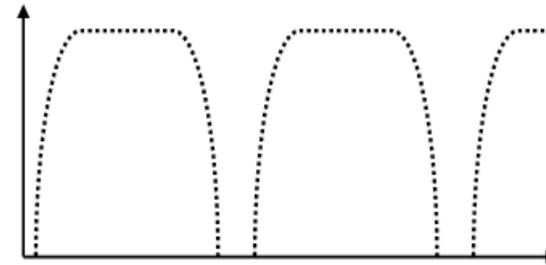
③変調パワーと周波数の節約



④異なる周波数のチャネル多重



⑤群変調方式多重



- FDM(周波数分割多重): 詰め込む密度  
AM,DSBなら最高周波数の2倍以上の帯域必要  
SSBならベースバンドの帯域でOK

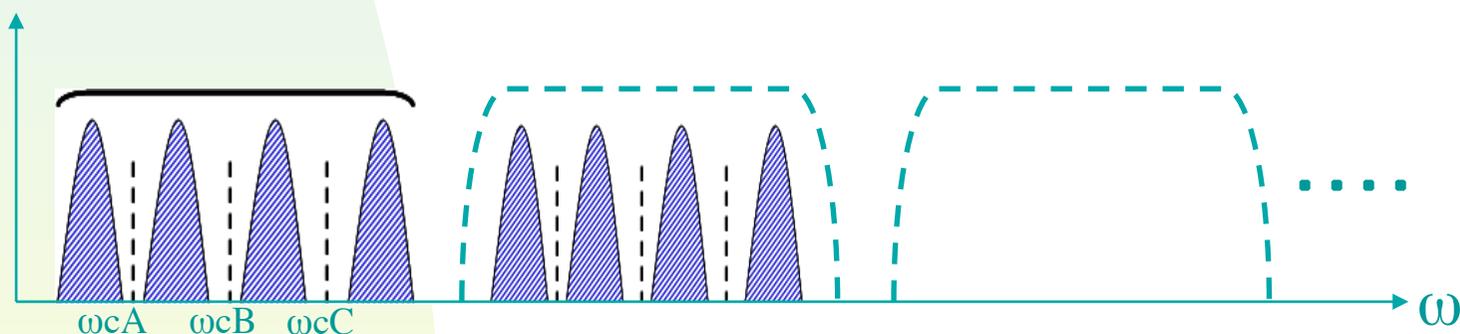
# FDMハイアラキー:周波数分割多重通信

(教科書:p59~p60)

アナログ信号(ベースバンド)

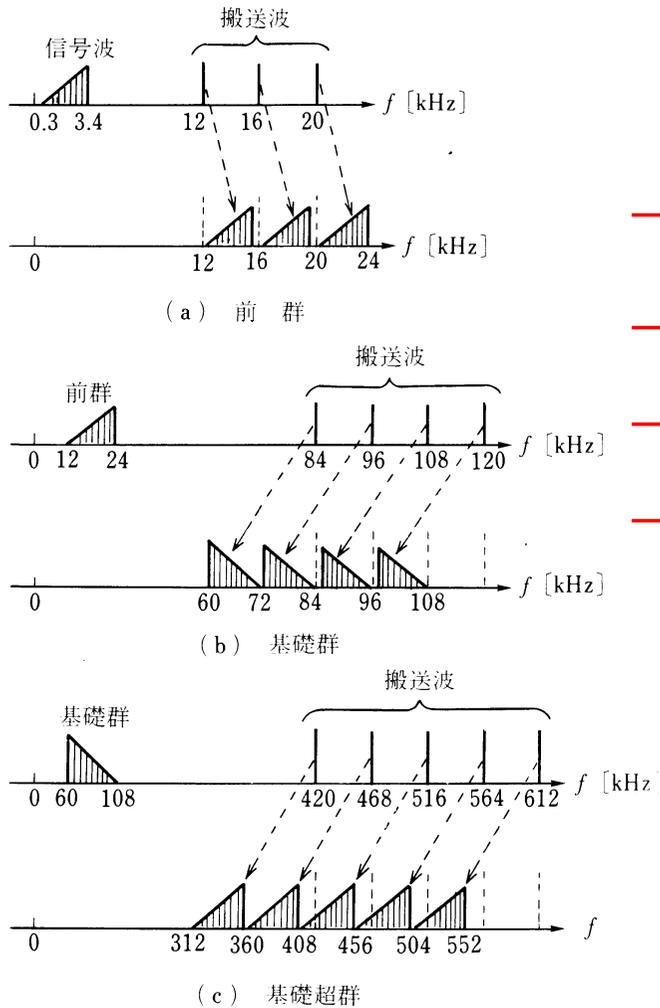
⇒異なる搬送波周波数に載せて変調 多重 FDM:周波数分割多重

1. ユーザチャンネルごとにキャリア周波数をずらす:→前群(かたまり)形成
2. 複数チャンネルを基本群としてまとめてキャリア周波数をずらす  
→まとめてずらせた方が回路の種類も数も簡単



「群変調方式」の多段の群による多重の組み方:「FDMハイアラキー」

# FDMハイアラキー



一人4kHz

一群12kHz

一群48kHz

一群240kHz  
+32kHz

群の階層	チャンネル数	群の構成	周波数帯域	帯域幅
前群	3	3×音声	12~24kHz	12kHz
基礎群 G	12	4×前群	60~108kHz	48kHz
基礎超群 SG	60	5×基礎群	312~552kHz	240kHz
基礎主群 MG	300	5×基礎超群	812~2044kHz	1.232 MHz
基礎超主 SMG群	900	3×基礎主群	8.52~12.4MHz	3.872 MHz
基礎巨群 JG	3600	4×基礎超主群	42.6~59.7MHz	17.,07 MHz