

## 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はどうか？
- 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

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

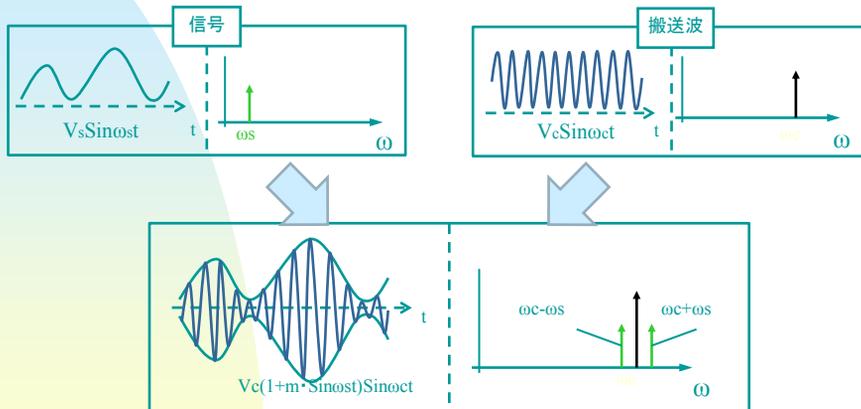
FM: 周波数

$$f_{FM}(t) = A_c \cos \left\{ \omega_c t + \theta_c + m_f \int_{-\infty}^t s(t) dt \right\} = A_c \cos \left\{ \omega_c t + \frac{m_f}{p} \sin pt + \theta_c \right\}$$

## 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

教科書:  
P101,102

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

搬送波  
 $f_c(t) = A_c \cos \omega_c t$

信号波  
 $s(t) = A_s \cos pt$

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

**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!  
帯域フィルタでここだけ抜出す→

\*倍角の公式を使うと  
 $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$

$V_{out} =$

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

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

# AM復調回路: 包絡線検波器

教科書:  
P104-106

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

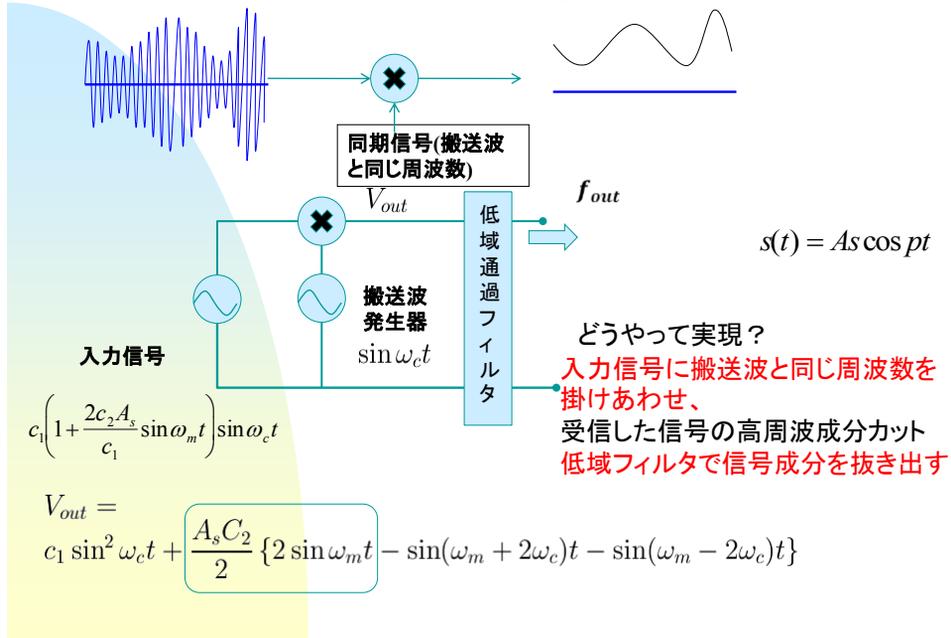
**検波回路**

**どうやって実現?**

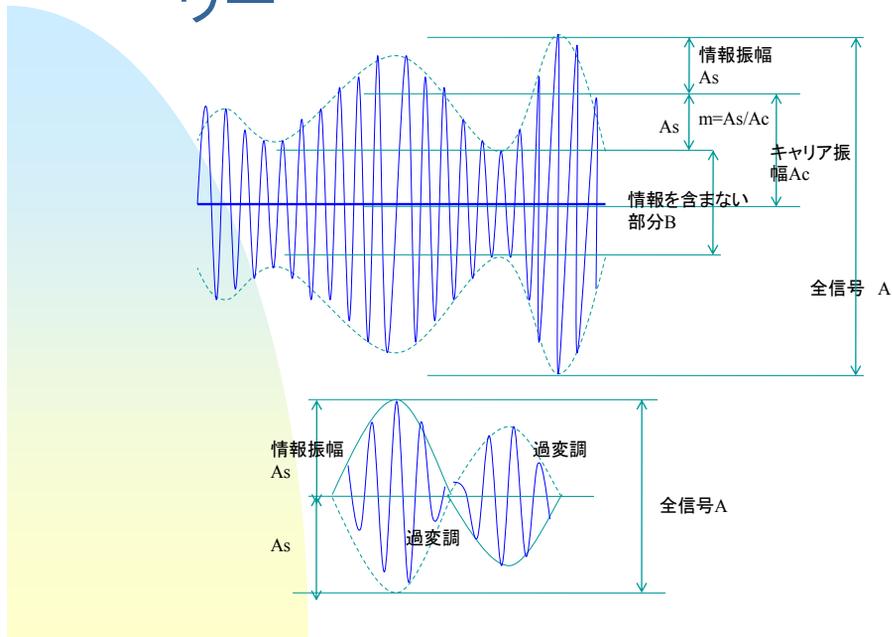
±の交流信号を整流して+信号に  
受信した信号の高周波成分カット  
低域フィルタで山の頭変化  
だけ抜き出し!

# AM復調回路:同期検波器

教科書:  
P104-106



# 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

- 信号側帯波パワー

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

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

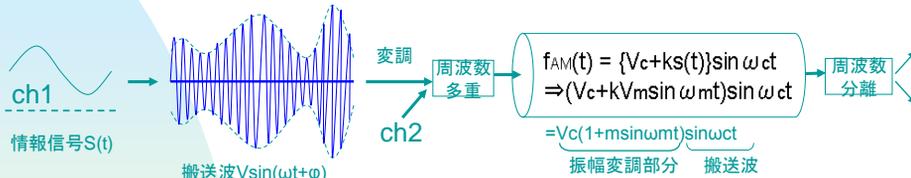
- トータルパワー

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

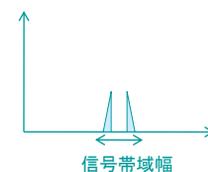
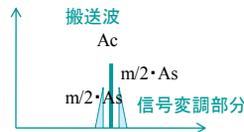
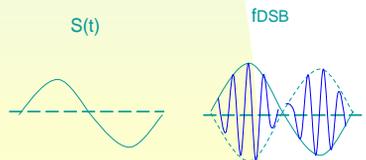
- m=0.5なら8/9はキャリア信号パワー m=1でも2/3

## 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

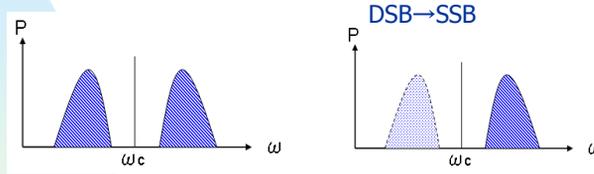


- DSB (搬送波抑圧振幅変調)



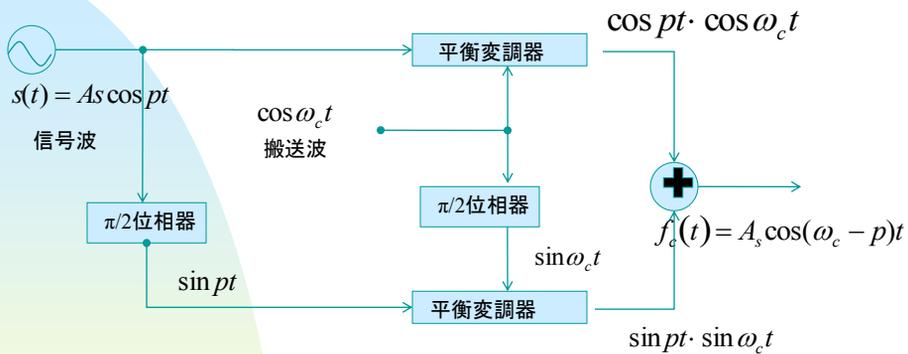
## 単側波帯(SSB)振幅変調

- 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。**

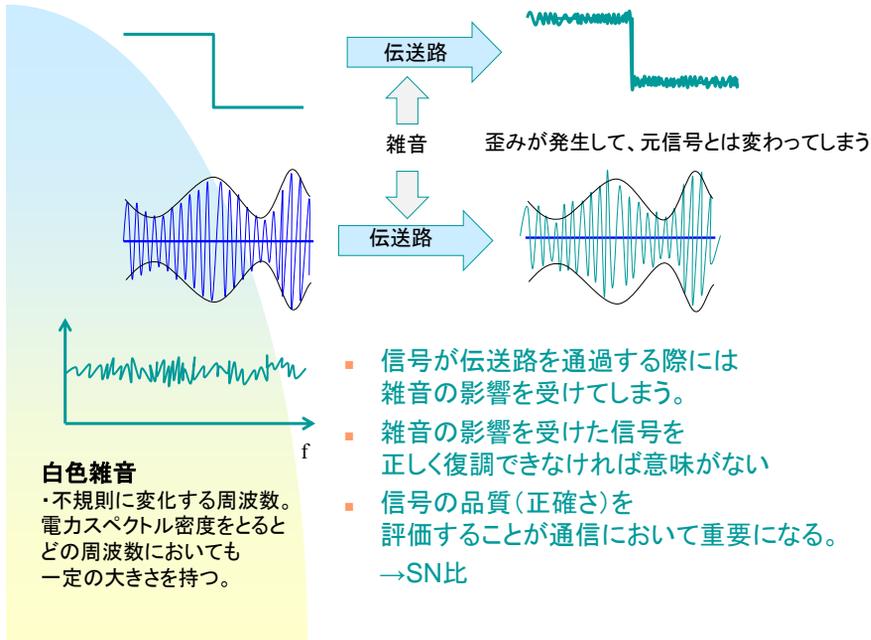
## SSB変調送信回路



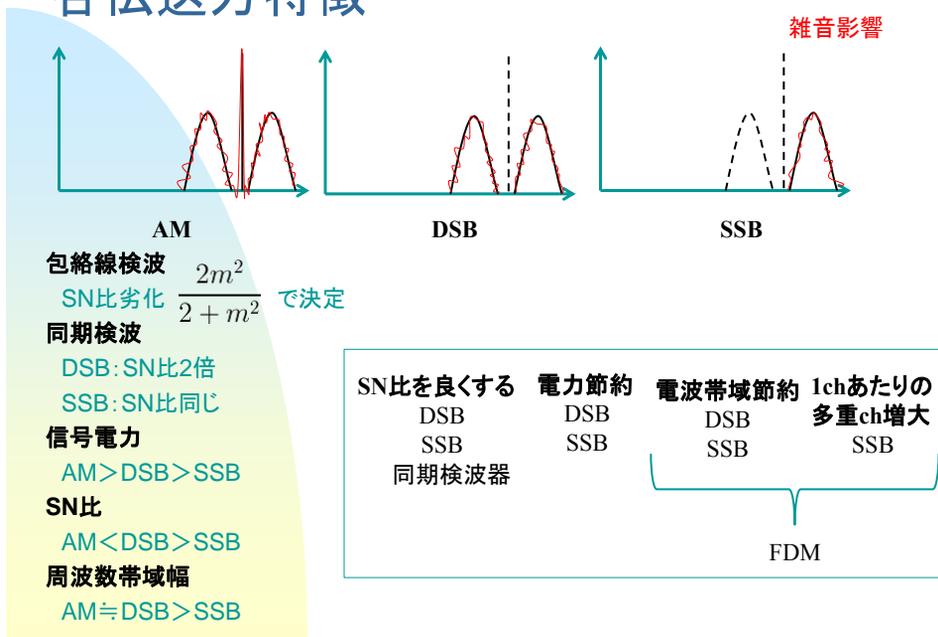
どうやって実現？  
 信号の直交位相の裏コピー作成  
 搬送波の裏コピーも作成  
 合波して  $A_s \cos(\omega_c + p)t$   
**成分キャンセル！**

どのくらいの帯域？パワー？ ↑  
**半分以上の帯域、 $m=1$ の**  
**AM変調の1/3のパワー、**  
 でも送信受信回路構成は面倒

## 雑音について



## 各伝送方特徴



## AM送信信号電力:雑音電力

- 振幅変調 (AM変調) 強度包絡線検波、白色雑音の場合 包絡線

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

信号電力

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

雑音電力

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

入力S/N比

包絡線受信S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM} = \frac{m^2 A_c^2}{4N_{in}}$$

- (DSB) 同期検波検波の場合

$$\frac{A_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \} + noise(t) \quad \text{同期検波受信S/N}$$

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

$$N_{in} = \frac{2\omega_m N}{2\pi}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,DSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,DSB} = \frac{A_c^2}{2N_{in}}$$

同期検波受信S/N

- (SSB) 同期検波検波の場合

$$P = P_s = \frac{A_c^2}{8}$$

$$N_{in,SSB} = \frac{\omega_m N}{2\pi} = \frac{N_{in}}{2} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{in,SSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,SSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

## AM受信信号:雑音の損得

- (AM変調) 強度包絡線検波受信、白色雑音の場合

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

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM} = \frac{m^2 A_c^2}{2N_{in}}$$

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

m=1でも1/3

- (DSB) 同期検波受信の場合

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,DSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,DSB} = \frac{A_c^2}{2N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,DSB} = 2 \left(\frac{S}{N}\right)_{in,DSB}$$

- (SSB) 同期検波受信の場合

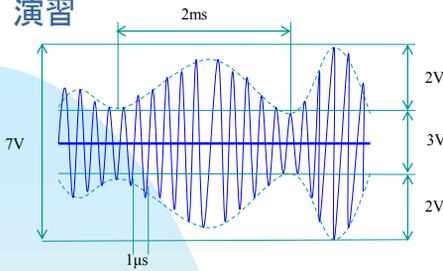
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,SSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,SSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,SSB} = \left(\frac{S}{N}\right)_{in,SSB}$$

SSBパワー半分でS/N比も半分→同じパワーで比較すれば等価

演習



R=1[Ω]のとき

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}$$

- Ac (キャリア振幅)
- m (変調度)
- fc (キャリア周波数)
- fm (信号周波数)
- B (占有帯域幅)
- W (使用帯域)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out} \quad (\text{包絡線検波})$$

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}}$$

を求めて、

を求めよ。

解答

$$A_c = 2.5[V]$$

$$A_s = 1[V]$$

$$m = \frac{A_s}{A_c} = \frac{1}{2.5} = 0.4$$

$$f_c = \frac{1}{1 \times 10^{-6}} = 1[MHz]$$

$$f_m = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 0.5[kHz] = 500[Hz]$$

$$B: 1[kHz]$$

$$W: 999.5 \sim 1000.5[kHz]$$

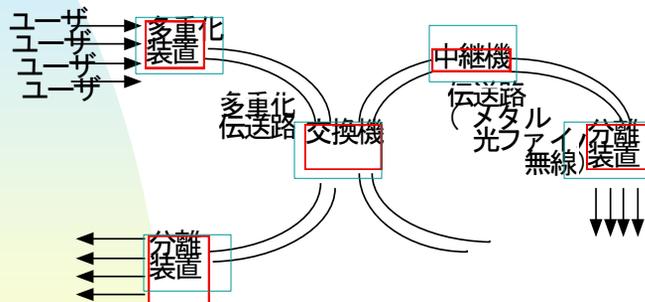
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in} = \frac{(2+m^2)A_c^2}{4N_{im}} = \frac{(2+0.4^2)2.5^2}{4N_{im}} = \frac{3.375}{N_{im}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out} = \frac{m^2 A_c^2}{4N_{im}} = \frac{0.4^2 * 2.5^2}{4N_{im}} = \frac{0.25}{N_{im}}$$

(包絡線検波)

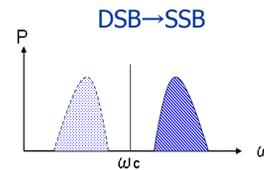
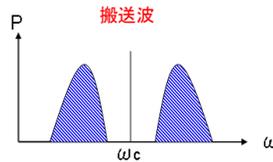
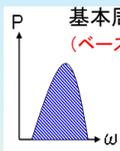
$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}} = \frac{0.25}{\frac{3.375}{N_{im}}} = \frac{0.25}{3.375} = 0.07407...$$

複数ユーザのネット共有:  
多重／分離、回線周波数共有、交換

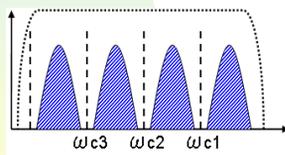


## 帯域の交通整理: 周波数をシフトさせ詰め込む

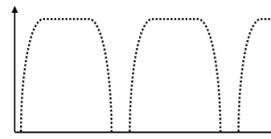
- ①情報信号スペクトル    ②キャリア伝送用に変調AM    ③変調パワーと周波数の節約



- ④異なる周波数のチャンネル多重



- 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

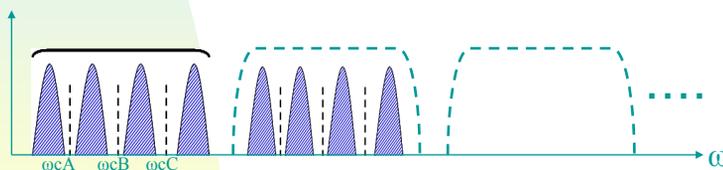
## FDMハイアラーキ: 周波数分割多重通信

(教科書: p59~p60)

アナログ信号(ベースバンド)

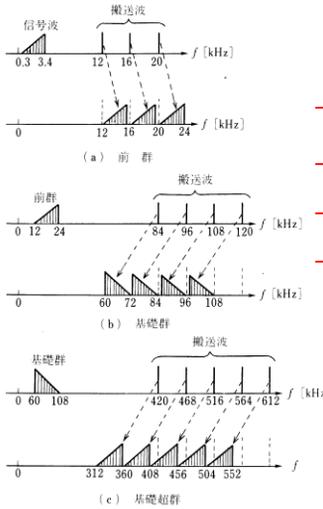
⇒異なる搬送波周波数に載せて変調 多重 FDM: 周波数分割多重

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ハイアラーキ」

# 基幹系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

## アクセス系無線：既に周波数は輻輳

●すいている5GHz帯を活用する

