

# 第1章 單位·係數

## 1.1 單位

S, V, A, Hz ---  
秒 電壓, 電流 周波數

$\lambda$ : 波長 = 光速度 / 周波數,  $300 \text{ [MHz]} = 1 \text{ [m]}$

$\pi$ : 圓周率,  $180^\circ$ , 3.14 ---

rad (radian),  $360^\circ / 2\pi = 57.296^\circ$



dB:  $\log(P_1/P_2)$

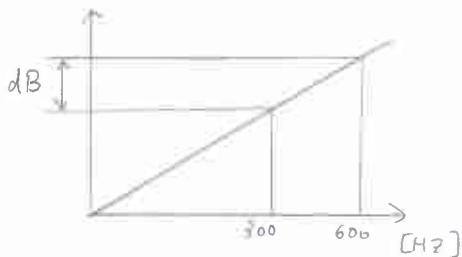


bits

bps: bits/second

byte: 8 bits

Oct (Octave) 倍音



$\frac{\text{左 Hz}}{\text{係數}} \sim \frac{\text{右 Hz}}{\text{單位}}$

## 1.2 係数

p	ピコ	$10^{-12}$	$= \frac{1}{10^{12}}$
n	ナノ	$10^{-9}$	
$\mu$	マイクロ	$10^{-6}$	$= 0.000001$
m	ミリ	$10^{-3}$	$= \frac{1}{1000}$
c	センチ	$10^{-2}$	$= 0.01$
d	デシ	$10^{-1}$	
da	デカ	$10^1$	
h	ヘクト	$10^2$	
k	キロ	$10^3$	
M	メガ	$10^6$	
G	ギガ	$10^9$	
T	テラ	$10^{12}$	
P	ペタ	$10^{15}$	
E	エクサ	$10^{18}$	

1992年からSI単位を使用

$$\text{力の大きさ} : \overset{\text{ニュートン}}{N} : 9.8 N = 1 \text{kgw}$$

$$\text{圧力} : \overset{\text{パスカル}}{Pa} : 98 \text{KPa} = 1 \text{kgw}$$

$$\text{長さ} : \mu\text{m} : 1 \mu\text{m} = 1 \text{ミクロン}$$

$$\text{音圧} : \overset{\text{デシベル}}{dB} : 1 \text{dB} = 1 \text{ホン}$$

$$\text{熱量} : \overset{\text{ジュール}}{J} : 4.2 \overset{\text{ジュール}}{J} = 1 \text{cal}$$

## 1.3 キツヤ文字

大文字	小文字	呼称	用途
A	$\alpha$	アルファ	$\alpha$ = 定数
B	$\beta$	ベータ	$\beta$ = 定数
$\Gamma$	$\gamma$	ガンマ	$\Gamma$ = 伝搬定数
$\Delta$	$\delta$	デルタ	$\Delta$ = 偏移, $\delta$ = 角度
E	$\epsilon$	イプシロン	$\epsilon$ = 誘電率
Z	$\zeta$	ゼータ	
H	$\eta$	イータ	$\eta$ = アンテナ開口角
$\Theta$	$\theta$	シータ	$\theta$ = 位相角
K	$\kappa$	カッパ	$\kappa$ = 定数
$\Lambda$	$\lambda$	ラムダ	$\lambda$ = 波長
M	$\mu$	ミュー (2170)	$\mu = 10^{-6}$
N	$\nu$	ニュー	
$\Xi$	$\xi$	クサイ	

大文字	小文字	呼称	用途
O	o	オミツドウ	
$\Pi$	$\pi$	パイ	$\pi = \text{円周率 } 3.14$
$\rho$	$\rho$	ロ-	$\rho = \text{反射角}$
$\Sigma$	$\sigma$	シグマ	$\Sigma = \text{総和}$
T	$\tau$	タウ	$\tau = \text{時定数}$
$\Phi$	$\phi$	ファイ	$\phi = \text{位相角}$
X	$\chi$	カイ (カイ)	
$\Psi$	$\psi$	Psi	$\psi = \text{位相角}$
$\Omega$	$\omega$	オメガ (オ-ム)	$\Omega = \text{抵抗}, \omega = \text{角速度}$

# 1.4 日本古来の係数

倍数			分数		
$10^1$	十	デカ da	$10^{-1}$	十分 d	デシ d
$10^2$	百	ヘクト h	$10^{-2}$	百分 c	セント c
$10^3$	千	キロ k	$10^{-3}$	千分 m	ミリ m
$10^4$	万		$10^{-6}$	微 μ	マイクロ μ
$10^8$	億		$10^{-9}$	ナノ n	ナノ n
$10^{12}$	兆	テラ T	$10^{-12}$	ピコ p	ピコ p

## 第2章 伝送量の定義

### 2.1 dB

$$10^x = 100$$

$$x = 2$$

$$\left[ \begin{array}{l} a^x = n \\ \Rightarrow \log_a n = x \end{array} \right]$$

対数

$$2 = \log_{10} 100$$

常用e (common logarithm)

$$10^x = 1000$$

$$3 = \log_{10} 1000$$

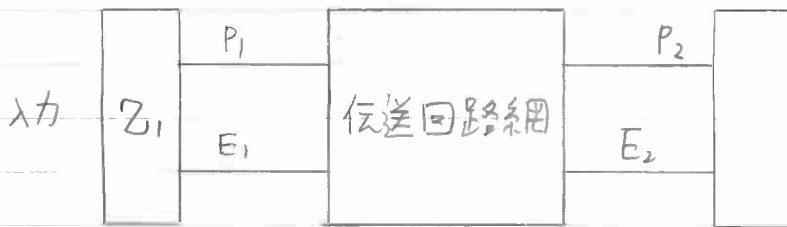
$$\log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{ [bel]} \quad \text{--- (1)}$$

$$\log_e \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{ [neper]} \quad \text{--- (2)}$$

## 2.2 電力比のdB

### 電力の比

$$10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) [\text{dB}] \quad \dots (3)$$



$P_1 < P_2$  : 利得 ,  $P_1 > P_2$  : 減衰

$P_1 < P_2$  として  $P_2/P_1 = 2$  の場合

$$10 \log_{10} 2 = 10 \times 0.3 = 3 [\text{dB}]$$

$$10 \log_{10} 5 = 7 [\text{dB}]$$

$$10 \log_{10} 10 = 10 [\text{dB}]$$

$$10 \log_{10} 100 = 20 [\text{dB}]$$

$P_1 > P_2$  として,  $P_2/P_1 = 1/2$  の場合

$$10 \log_{10} (1/2) = -10 \log_{10} 2 = -3 [\text{dB}]$$



## 2.3 電力の絶対値のdB

基準電力を1mWとした場合の絶対レベルP[W]は

$$10 \log_{10} P/1 \text{ [dBm]}$$

$$1[\text{mW}] = 0[\text{dBm}]$$

{	W 基準	dBW
	kW 基準	dBK
	$\mu$ W 基準	dB $\mu$

$$0.1[\text{mW}] = 1/10 \quad -10 \text{ dBm}$$

$$10[\text{mW}] = 10 \quad 10 \text{ dBm}$$

$$1[\text{W}] = 1000[\text{mW}] \quad 30 \text{ dBm}$$

$$10[\text{W}] \quad 40 \text{ dBm}$$

$$50[\text{W}] \quad 47 \text{ dBm}$$

$$200[\text{W}] = 200000[\text{mW}] \quad 53 \text{ dBm}$$

$$100[\mu\text{W}] = 0.1[\text{mW}] \quad -10 \text{ dBm}$$

$$10[\mu\text{W}] = 0.01[\text{mW}] \quad -20 \text{ dBm}$$

## 2.4 電圧・電流のdB

$$P_n = \frac{E_n^2}{Z_n}$$

$$\begin{aligned} 10 \log_{10} (P_1/P_2) &= 10 \log_{10} (E_1/E_2)^2 - 10 \log_{10} (Z_1/Z_2) \\ &= 2 \times 10 \log_{10} (E_1/E_2) - 10 \log_{10} (Z_1/Z_2) \quad \dots (10) \\ &= 20 \log_{10} (E_1/E_2) \quad [\text{dB}] \end{aligned}$$

比	電力[dB]	電圧(電圧)[dB]
2	3	6
3	5	10
5	7	14
7	8.5	17

### 2.5 電力と電圧の関係

$$E^2 = P \times Z$$

$$P = 1 [\text{mW}] = 0 [\text{dBm}] \quad \text{基準の電力}$$

$$E = 1 [\mu\text{V}] = 0 [\text{dB}\mu\text{V}] \quad \text{基準の電圧}$$

$$Z = 50 [\Omega]$$

$$20 \log (E \times 10^{-6}) = 10 \log (P \times 10^{-3} \times 50) [\text{dBm}]$$

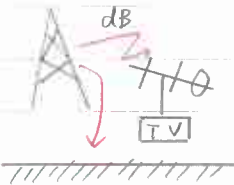
$$E [\text{dB}\mu\text{V}] - 120 [\text{dB}] = P [\text{dBm}] - 30 + 17 [\text{dB}]$$

$$E [\text{dB}\mu\text{V}] - 107 [\text{dB}] = P [\text{dBm}]$$



$$40 + 20 = 60 [\text{dB}]$$

$$20 \log (100\%) = 40 [\text{dB}]$$



東京 TV 100,000,000 [台数], TV:  $3[\text{m}^2] - 30[\mu\text{W}]$

東京  $30 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^6 = 300[\text{W}]$ , 東京  $17 - 50[\text{kW}]$ ,  $\frac{50000}{300} = 167[\text{台}]$

$$30 [\mu\text{W}] = 3 \times 10 \times 10^{-6} [\text{W}] = 3 \times 10 \times 10^{-3} [\text{mW}] = 10 \log (5 + 10 - 30) = -15 [\text{dBm}]$$

15.25 [dBm]

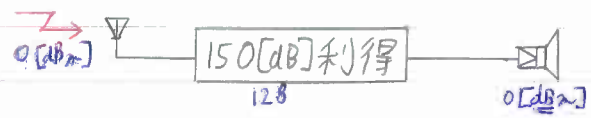
$$\text{東京中}, 10,000,000 = 10^7 = 70 [\text{dB}], -15 + 70 = 55 [\text{dBm}] \rightarrow 54.75 [\text{dBm}]$$

$$(5 + 50) [\text{dBm}] = 10 \log (5 \times 100,000) = 300,000 [\text{mW}] = 300 [\text{W}]$$

東京夕7- :  $50[\text{kW}] = 5 \times 10 \times 1000 = 5 \times 10,000,000[\text{mW}]$   
 $= (7+70)[\text{dBm}] = 77[\text{dBm}]$

$77 - 55 = 22[\text{dB}] = 2 + 20[\text{dB}] = \log(1.58 \times 100) = 158[\text{倍}]$

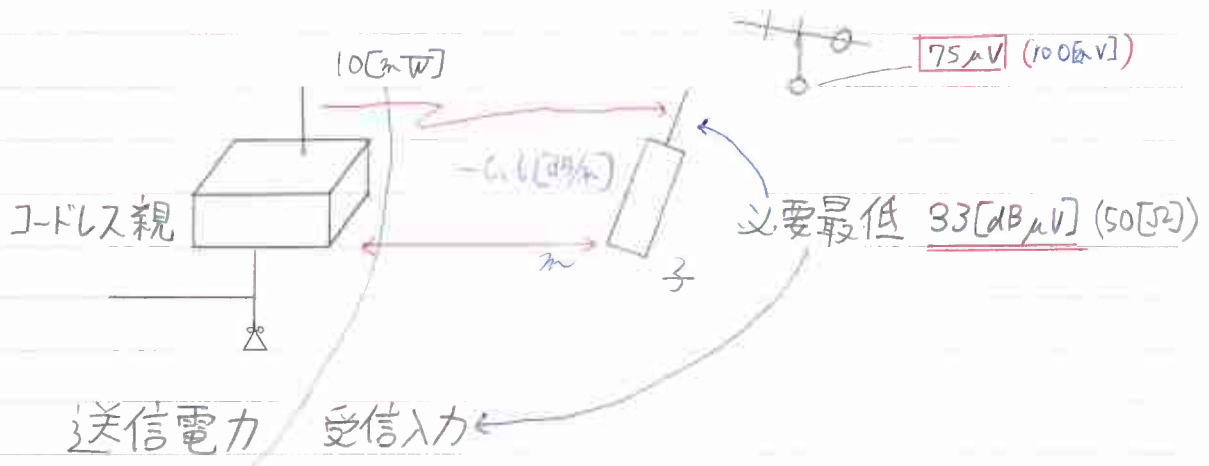
$-15[\text{dBm}] = -15 - (-113) = 98[\text{dB}\mu\text{V}] = (80+10+8)$   
 $= 20 \log(10,000 \times 3 \times 25) = 75,000[\mu\text{V}] = 75[\mu\text{V}]$



$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$  電界強度

$\left[ \begin{array}{l} \text{dB}_i \\ \text{dB}_r \end{array} \right]$  空中線(理論) isolation  
 相對利得 ratio

$\left[ \begin{array}{l} \text{dB}_p : \mu\text{W} \text{ 單位} \\ \text{dB}_w : \text{W} \text{ 單位} \\ \text{dB}_k : \text{kW} \text{ 單位} \end{array} \right]$



$(\text{dBm} - \text{dBm}) / \text{伝搬損失} = m \rightarrow 100[\mu\text{W}]$   
 $0.66[\text{dBm}]$

## 第3章 電子通信

### 3.1 通信 (Tele-communication)

インディアン    )ロシ  
                               )タイ  
                               )光

有, 無, 電信

digital



analogue



digital (CPU)

アレキサンダー・グラハム・ベル: 電話機



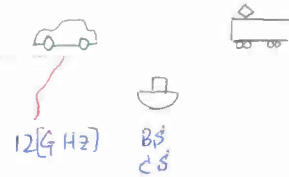
音声 → digital 符号化

## 3.2 通信媒体の種類

(1) 有線通信



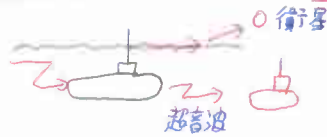
(2) 無線通信



(3) 光通信

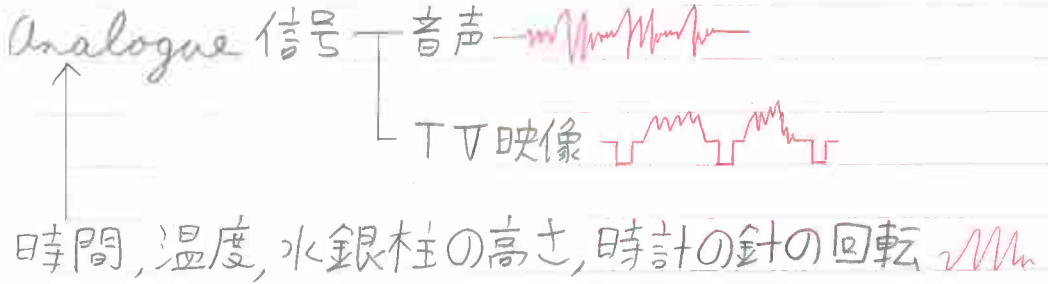
(4) 水中通信

潜水艦 長波 10[kHz]



### 3.3 通信情報(信号)

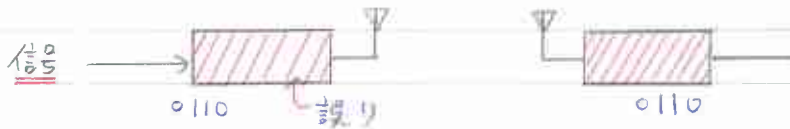
#### (1) アナログ



#### (2) デジタル

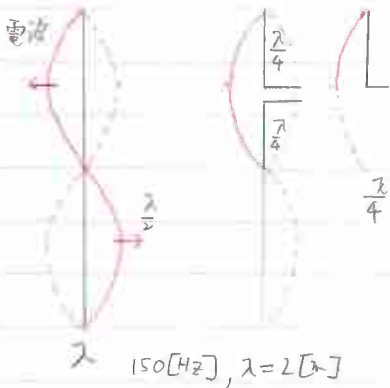
有限桁の数字列 (例は"2進符号") 011001

10進	自然2進数	Gray-Gray	バーコード(奇数パリティ)
0	0000	0000	0001101
1	0001	0001	0011001
2	0010	0011	0010011
3	0011	0010	0111101
4	0100	<span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">0110</span>	0100011

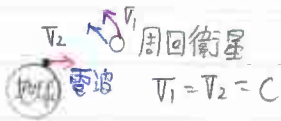
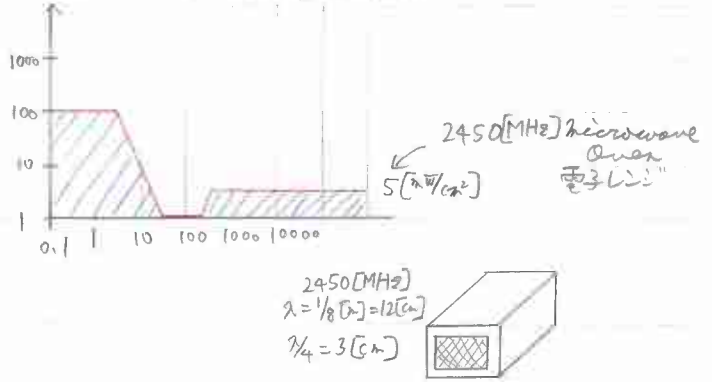


$f \times \lambda = c$

周波数 波長 電波の速度



$[m^2/cm^2]$  アメリカの安全規格



$$V = (V_1 + V_2) / (1 + V_1 V_2 / c^2) = 2c / (1 + \frac{c^2}{c^2}) = c$$

$$= (\frac{c}{2} + c) / (1 + \frac{c^2}{2} \cdot \frac{1}{c^2}) \leftarrow V_1 = \frac{c}{2} \text{ 相対性原理}$$

$$= 1.5c / 1.5 = c$$

### NTT 自動車携帯

	アナログ	デジタル	コードレス
アクセス方式	FDMA	TDMA	TDMA
周波数	870~940[MHz]	1500[MHz]	1900[MHz]
チャンネル数	24000	?	
チャンネル間隔	6.25[KHz]	25[KHz]	300[KHz]
変調方式	音声: PM, 位相変調 制御信号: FM, 周波数変調 伝送速度: 2.4[kbps]	$\pi/4$ QPSK $\pi/4$ QPSK 4.2[kbps]	
空中線電力	1[W] / 5W 携帯	音声符号化 VSE-LP 11.2[kbps] 0.6[W]	384[kbps] ADPCM-32[kbps]



## 第4章 無線通信

### 4.1 電波の歴史

邦歴 西歴

嘉永2年 1842 日本のおもむき山がオランダの文献により日本初の電信機製作

明治2年 1888 ドイツ・ヘルツが電磁波の存在を証明

大正14年 1925 日本・JφAK受音機で放送開始

昭和28年 1953 日本・NHKテレビ放送開始

平成4年 1992 中波AMのステレオFMニック放送開始

## 4.2 電波の概念

### (1) 電波(電磁波)

電気と磁気から成り立つ一種の流動するエネルギーであり、人工的導波体のない空間を伝搬する 3,000 [GHz] (3 [THz]) より低い周波数の電磁波 (電波法第2条で制定)

### (2) 電波の伝搬



直接波伝搬 --- 自由空間を3次元的に伝搬

地上波伝搬 --- 反射, 回折, 屈折

反射による伝搬 --- 電離層 (D層, E層, F層)

対流圏伝搬 --- 対流圏 (大地と電離層の間)

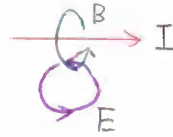
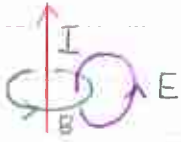
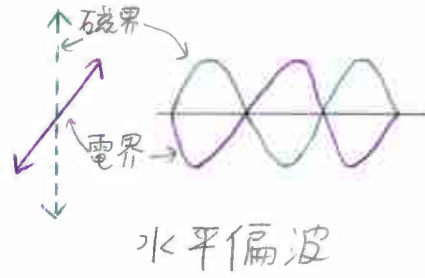
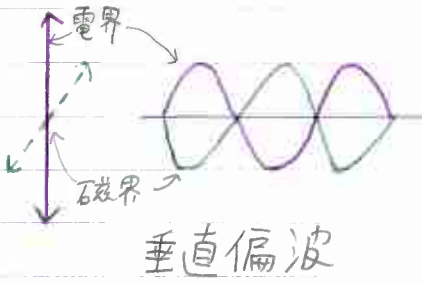
## 4.3 波長

$$\text{波長 [m]} = \text{電波伝搬速度 [m/s]} / \text{周波数 [Hz]}$$

周波数 300 [MHz] の波長は、1 [m]  $\rightarrow$  波長計算の基準



# 4.4 偏波面



円偏波 (旋回波)

B.S. 衛星放送

衛星発 右巻

# 第5章 変復調理論

## 5.1 アナログ信号による変調

理論 当用漢字以前：昭和初期

搬送波 carrier

$$i_c(t) = I_c \sin(\omega_c t + \phi_c) \quad \dots (1)$$

↑ AM      ↑ FM  
2πf<sub>c</sub>      PM

情報信号 signal

$$i_m(t) = I_m \cos(\omega_m t + \phi_m) \quad \dots (2)$$

## 5.2 振幅変調方式

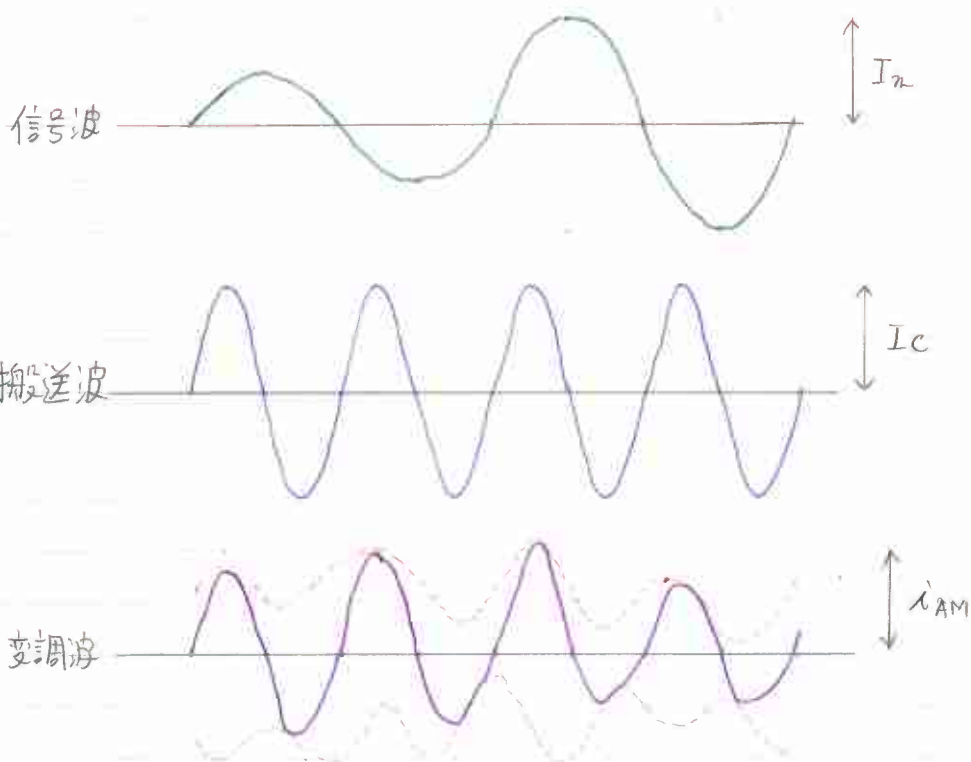
### (1) 両側波帯変調方式

#### (1.1) 変調

$$i_{AM}(t) = \{I_c + I_m \cos(\omega_m t + \phi_m)\} \sin(\omega_c t + \phi_c)$$
$$= \{I_c + \underbrace{ka}_{\text{変調度}} \cos(\omega_m t + \phi_m)\} \sin(\omega_c t + \phi_c) \dots (3)$$

$$ka = I_m / I_c, \quad ka = 1 \dots 100\% \text{変調}$$

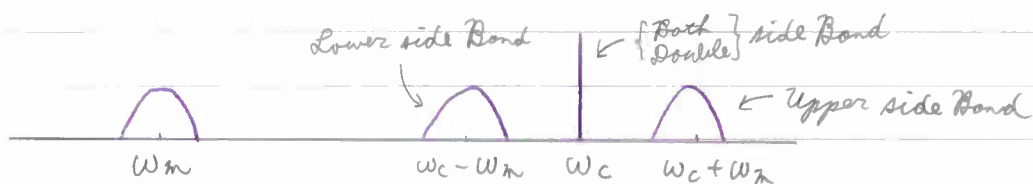
振幅変調とは、搬送波と信号波の積をとする変調方式



(3) を展開すると ( $\phi_c, \phi_m$  は省略)

$$i_{AM} = I_c \sin \omega_c t + k_a \sin \omega_c t \cos \omega_m t$$

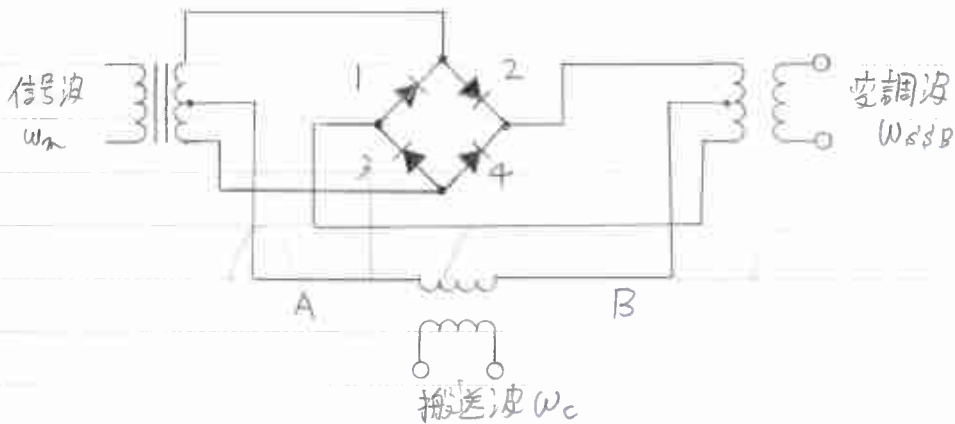
$$= I_c \sin \omega_c t + \frac{k_a}{2} \sin(\omega_c t + \omega_m t) + \frac{k_a}{2} \cos(\omega_c t - \omega_m t) \quad \dots (4)$$



(1.2) 復調

## (2) 單側波帶變調 (SSB) 方式

### (2.1) 變調



平衡變調器(1)的變調器

### (2.2) 復調

$$i_{SSB}(t) = m_a I_c \sin(\omega_c + \omega_m)t \quad \dots (5)$$

搬送波  $\sin \omega_c t$  疊合成  $i_c$ 。

$$\begin{aligned} i(t) &= m_a I_c \sin\{(\omega_c + \omega_m)t\} \sin \omega_c t \\ &= \frac{m_a}{2} I_c \sin \omega_m t + \frac{m_a}{2} I_c \sin(2\omega_c + \omega_m)t \dots (6) \end{aligned}$$

同期檢波方式



## 5.3 角度変調方式

### (1) 周波数変調

$$i_c(t) = I_c \sin(\omega_c t + \phi_c) \quad \dots (7)$$

carrier

$$i_m(t) = I_m \cos \omega_m t \quad \dots (8)$$

signal

$$\theta = \omega_c t + \phi_c \quad \dots (9)$$

瞬間角周波数  $\omega_i$  は (周波数変調波を  $\sin \theta$  とする)

$$\omega_i = \frac{d}{dt} \theta = \omega_c + \omega_d \cos \omega_m t \quad \dots (10)$$

搬送波の角周波数      信号波の角周波数

$\omega_d \leftrightarrow \Delta f$  に対応

$$\frac{\omega_d}{\omega_c} = \delta \quad ; \quad \text{周波数偏移比} \quad \dots (12)$$

$$\omega_d = 2\pi \Delta f \quad (\Delta f: \text{周波数偏移}) \quad \dots (13)$$

Deviation

周波数変調波の瞬時波形  $i_s$  を

$$i_s = I_c \sin \theta(t) \quad \dots (14)$$

とすると, 瞬間角周波数  $\omega_i$  は

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int \omega_i dt \\ &= \int (\omega_c + \omega_d \cos \omega_m t) dt \\ &= \omega_c t + \frac{\omega_d}{\omega_m} \sin \omega_m t + \text{const} \quad \dots (15) \end{aligned}$$

(15) を (14) に代入すると (const は省略)

$$i_s = I_c \sin \left( \omega_c t + \frac{\omega_d}{\omega_m} \sin \omega_m t \right) \quad \dots (16)$$

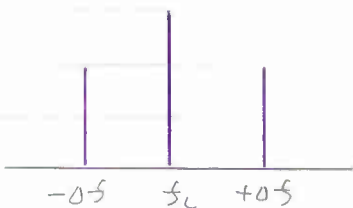
$$\frac{\omega_d}{\omega_m} = m_f : \begin{array}{l} \text{変調指数} \\ \text{modulation index} \end{array} \quad \dots (17)$$

(16) を周波数スペクトルを求めるために展開すると

$$\begin{aligned} i_s &= I_c \sin (\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) \\ &= I_c \left\{ \underbrace{\sin \omega_c t \cos (m_f \sin \omega_m t)}_{\text{第1種ベッセル関数}} + \underbrace{\cos \omega_c t \sin (m_f \sin \omega_m t)}_{\text{第1種ベッセル関数}} \right\} \quad \dots (18) \end{aligned}$$

$$i_s = I_c \sum J_n(m_f) \sin (\omega_c + \underline{2n}) t \quad \dots (19)$$

$m_f \leq 1$  の信号波の周波数が低いときは大半が  $\omega_d$  の範囲に分布するため,



$$m_f = m_f = \frac{\omega_d}{\omega_m} \quad \dots (20)$$

占有帯域幅  $B$  は

$$2\pi B = 2\omega_m = 2\omega_d \quad \dots (21) \therefore B = \frac{\omega_d}{\pi} = 20f$$

## (2) 位相変調

$$i_c(t) = I_c \sin(\omega_c t + \phi_c) \quad \dots (22)$$

$$i_m(t) = I_m \cos \omega_m t \quad \dots (23)$$

位相変調波の位相量  $\theta(t)$

$$\theta(t) = \omega_c t + \phi_c + k_p \cos \omega_m t \quad \dots (24)$$

瞬時波形  $i_p$  は

$$i_p = I_c \sin(\omega_c t + \phi_c + k_p \cos \omega_m t) \quad \dots (25)$$

$k_p$ : 変調指数

位相変調波の瞬間角周波数  $\omega_i$  は (24) を微分して

$$\omega_i = \frac{d}{dt} \theta(t) = \omega_c + k_p \sin \omega_m t \quad \dots (26)$$

$$\omega_i = \frac{d}{dt} \theta = \omega_c + \omega_d \cos \omega_m t \quad \dots (10)$$

(10) と比較すると  $\frac{\pi}{2}$  だけ位相がずれた変調波形である

信号を積分して位相変調  $\rightarrow$  FM

$$\theta(t) = \omega_c t + \int k_p \cos \omega_m t dt = \omega_c t + \frac{k_p}{\omega_m} \sin \omega_m t \quad \dots (27)$$

(15)

つまり、信号を微分して周波数変調 → PM

$$\theta(t) = \omega_c t + m_f \left( \frac{d}{dt} \sin \omega_m t \right) = \omega_c t + \omega_d \cos \omega_m t \quad (28)$$

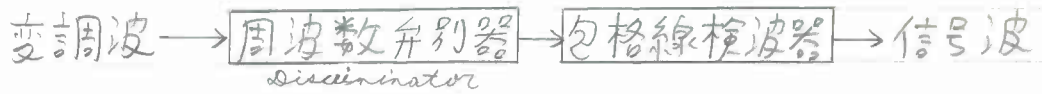
したがって FM = PM でアナログ信号において同一である。  
角度変調

信号  $\omega_m$  → 微分回路 → 周波数変調波 → 位相変調波 PM

多周波 → レンセサイザー → 発振器

↓  
自励発振器

### (3) 復調



2 同調回路方式

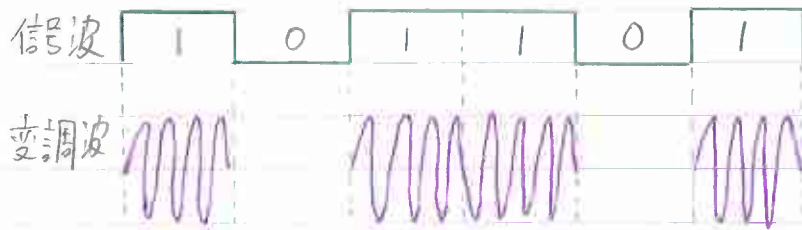
フォスター-シーレー (Forster seeley)

レシオ (Ratio)

#### (4) 周波数変調と位相変調の比較

## 5.4 デジタル信号による変調

### (1) ASK



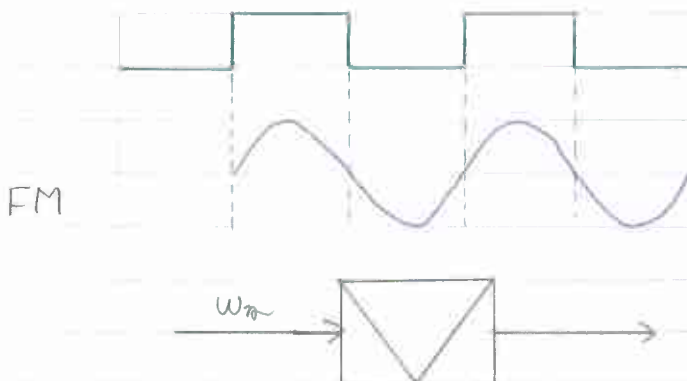
### (2) BPSK

### (3) QPSK

### (4) FSK

### (5) MSK

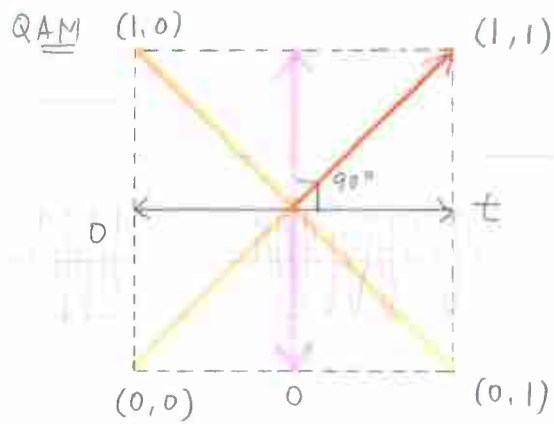
### (6) TFM



### (7) GMSK

NTT Gaussian 特性

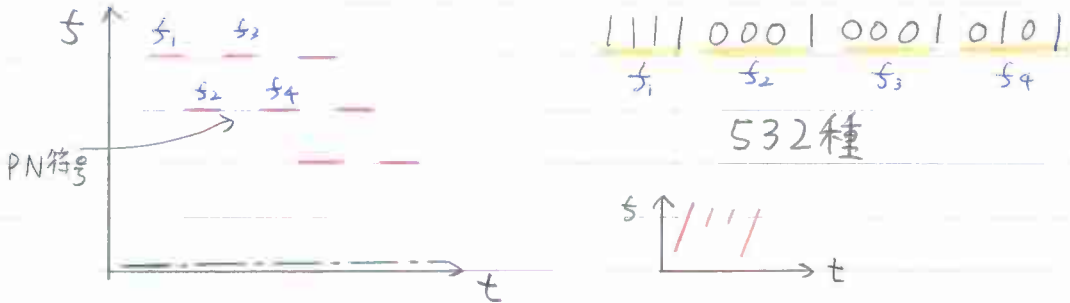
(8) QAM





# 5.5 スプレッド・スペクトラム方式

## FH (Frequency Hopping)



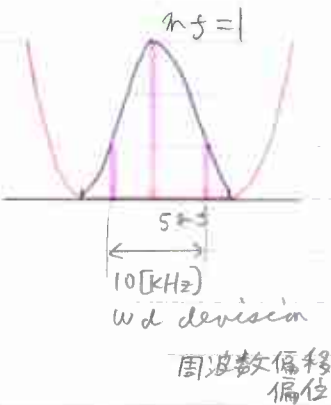
GPS Global Positioning System

10[kHz] → 150[kHz] 1.575 [GHz], 10 [Mbps] の FM

## D.S (Direct Sequence)

$$\begin{array}{c}
 T(x) \cdot G(x) = S(x) \Rightarrow R(x)/G(x) = T(x) \\
 \begin{array}{ccc}
 1200 \text{ bps} & 1200 \text{ bps} & 1200 \text{ bps} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 10 \text{ [Mbps]} & 10 \text{ [Mbps]} & \Rightarrow \text{FSK/PSK} \quad \omega_0 = 500 \text{ [MHz]}
 \end{array}
 \end{array}$$

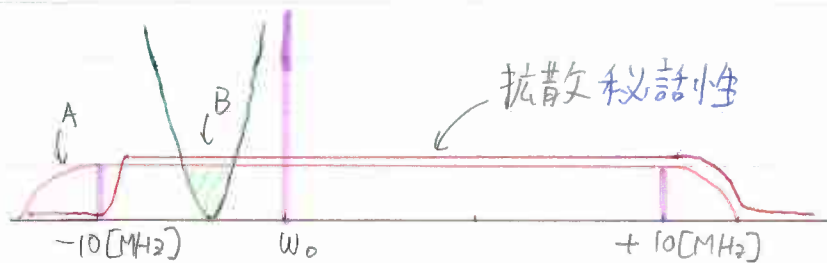
noise - PN (Pseudo noise)



M系列 maximum length

4段のシフトレジスタ 1111 0001 0001 0101

$$\begin{array}{r}
 2^4 - 1 = 15 \quad +) \quad 1110 \mid 0111 \mid 0001 \mid 00 \\
 \hline
 \quad \quad \quad \quad \quad 001001 \mid 101011110
 \end{array}$$



米-自動車電話 ← (中) (韓)

NTT, コードレス電話

{ 音声 32 [kbits]  
   127 [bits]  
   2 [GHz]  
   拡散 4,064 [Mbps]

GPS 1,575 [MHz]

10 [Mbps]

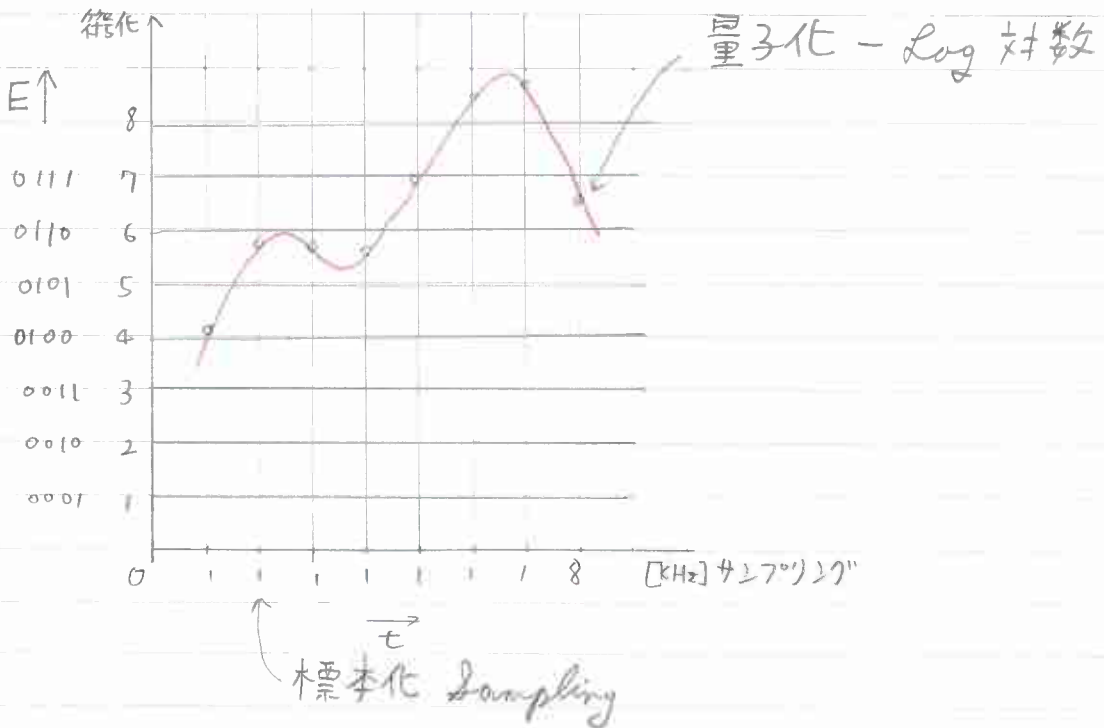
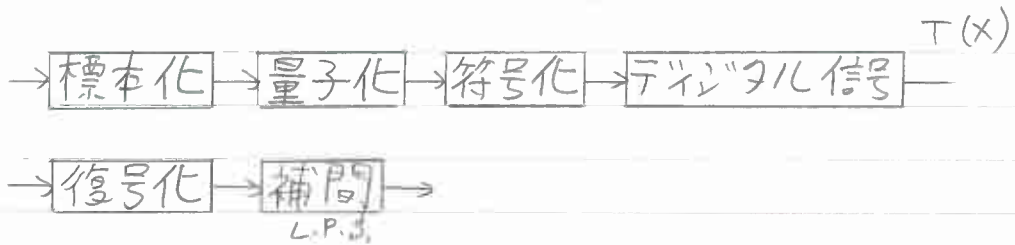
FM, 周波数532種

## 5.6 音声の符号化

### (2) PCM Pulse Code Modulation

1-4-4-3-3-5-6-7-5-3

0001-0100-0100-0011-0011-0101-...



符号波形

7-7°D



補間

1 ✓ 1111 1111

2 ✓ 1110 1111

3 110 1111

CD (Compact Disk)

NRZ符号, 44.1 [kHz], 16 [bits]

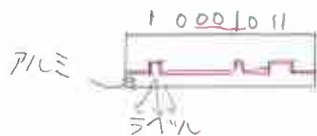
0~20 [kHz] stereo (L+R) (L-R)

12cm 74分42秒の第九

20,000トラック

ビット {

- 幅 0.5 [ $\mu\text{m}$ ]      540 [Mbyte]
- 間隔 1.6 [ $\mu\text{m}$ ]
- 深さ 0.87 [ $\mu\text{m}$ ]



## 5.7 誤り制御

FEC (Forward Error Correction): 自己訂正方式

発見難しい

ARQ (Automatic Repeat Request): 再送訂正方式

時間のロス

(1) パリティチェック (Character Parity Check)

偶数パリティチェック

← 8 bits →  
0 0 0 1 1 0 1 1

0 1 1 1 1 0 1 0

奇数パリティチェック

0 0 1 1 1 0 1 1

0 0 1 1 0 0 0 1 → 0 0 1 1 1 0 0 1 × 誤り

(2) 水平・垂直パリティチェック (Longitudinal parity check)

0	1	0	0	1	0	1	
0	0	0	1	0	0	0	
0	1	0	1	0	1	0	x
0	0	1	1	0	0	1	
0	0	0	1	1	0	1	
0	1	0	1	1	0	0	x

(3) 定マ-符号方式

11100010, 1と0の比率が同じ

(4) 巡回符号方式

送	送信符号	$T(x)$
信	巡回符号	$G(x)$
側	送信信号	$S(x)$
受	受信信号	$R(x)$
信	巡回符号	$G(x)$
側	受信符号	$T(x)$
	誤り符号	$E(x)$

$$T(x) \cdot G(x) = S(x)$$

$$\frac{R(x)}{G(x)} = T(x)$$

$$\frac{R(x)}{G(x)} = T(x) + \underline{E(x)}$$

送信側

$$G(x) = [1011] = x^3 + x + 1$$

$$T(x) = [1100] = x^3 + x^2$$

$$\begin{array}{r}
 \phantom{X} 1011 \\
 X \underline{1100} \\
 1011 \\
 \underline{1011} \\
 11101 = f(x) = x^6 + x^5 + x^4
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 x^3 + x + 1 \\
 X \underline{x^3 + x^2} \\
 x^5 + x^3 + x^2 \\
 \underline{x^6 + x^4 + x^3} \\
 x^2
 \end{array}$$

7-11代数 mod 2
1+1=0
1+0=1
0+1=1
0+0=0

受信側 (正しい場合)

$$\begin{array}{r}
 T(x) \rightarrow 1100 \\
 1011 \overline{) 1110100} \\
 \underline{1011} \quad R(x) \\
 1011 \\
 \underline{1011} \\
 000
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 x^3 + x^2 \rightarrow 1100 \\
 x^3 + x + 1 \overline{) x^6 + x^5 + x^4 + x^2} \\
 \underline{x^6 + x^4 + x^3} \\
 x^5 + x^3 + x^2 \\
 \underline{x^5 + x^3 + x^2} \\
 0
 \end{array}$$

(誤っている場合)

$$\begin{array}{r}
 \phantom{X} 1110 \\
 1011 \overline{) 1100100} \\
 \underline{1011} \\
 1111 \\
 \underline{1011} \\
 1000 \\
 \underline{1011} \\
 110 \leftarrow E(x) \\
 \swarrow x^2 + x \rightarrow x^4
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \phantom{X} 1001 \\
 1011 \overline{) 1010100} \\
 \underline{1011} \\
 1100 \\
 \underline{1011} \\
 111 \\
 \swarrow x^2 + x + 1 \rightarrow x^5
 \end{array}$$

# BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem)

ポケットベル

BFSB	AM
BCH	2進, 10進

ビット同期	フレーム同期	送信信号
1010 ---	15 bits	16 bits

7桁 - 7°  $G(X) = X^3 + X^2 + 1$

$G(X) = X^2 + X + 1$

コードレス電話

$$G(X) = X^{12} + X^{10} + X^8 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$$

$i = 12 \ 11 \ 10 \ 9 \ 8 \ 7 \ 6 \ 5 \ 4 \ 3 \ 2 \ 1 \ 0$   
 $= 10 \ 10 \ 100 \ 111 \ 001$

$$T(X) = X^3 + X^2 = 1100$$

$$X^{12} + X^{10} + X^8 + X^5 + X^4 + X^3 + 1 - G(X)$$

$$X^3 + X^2 - T(X)$$

---


$$X^{14} + X^{12} + X^{10} + X^7 + X^6 + X^5 + X^2$$


---


$$X^{15} + X^{13} + X^{11} + X^9 + X^8 + X^6 + X^3$$


---


$$X^{15} + X^{14} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^9 + X^5 + X^3 + X^2 - S'(X)$$

$1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0$



$$S'(X) = X^{15} + X^{14} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + \underline{X^{10}} + X^9 + \underline{X^6} + \underline{X^5} + X^3 + X^2 \text{ のとせ}$$

$$\begin{array}{r}
 X^{12} + X^{10} + X^8 + X^5 + X^4 + X^3 + 1 \overline{) X^{15} + X^{14} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^9 + X^6 + X^5 + X^3 + X^2} \\
 \underline{X^{15} + X^{13} + X^{11} + X^8 + X^7 + X^6 + X^3} \\
 X^{14} + X^{12} + X^7 + X^2 \\
 \underline{X^{14} + X^{12} + X^{10} + X^7 + X^6 + X^5 + X^2} \\
 X^{10} + X^6 + X^5
 \end{array}$$

$i = 10, 6, 5 \leftarrow$  受信側で訂正

$$\begin{array}{r}
 G(X) \quad \overline{) 1111100101001100} \quad S'(X) \\
 \underline{1010100111001} \\
 1010000100001 \\
 \underline{1010100111001} \\
 10001100000 \\
 \begin{array}{cc}
 10 & 65
 \end{array}
 \end{array}$$

ポケットツール

$$G(X) = X^{15} + X^{11} + X^{10} + X^9 + X^8 + X^7 + X^5 + X^3 + X^2 + X + 1$$

16 bits

BCH (31, 16) 31 bits  
↑ 伝送 ↑ 情報

※これまでのまとめ

信号 (Signal)

変調 (Modulation)

搬送波 (Carrier)

アナログ (Analogue)

AM

BSB

ラジオ

PCM

DM

SSB

漁船、船舶

ADPCM

VSELP

Angle (角度)

FM

ラジオ, TV

PM

移動通信

デジタル (Digital)

APSK

Error Correction

Parity check

Cycle code

BPSK

QPSK

FSK

MFSK

GMSK

QAM

wire

BCH

Magnetic Radio Wave

Huffman

Spread Spectrum

DS-QPSK

Optical

Reed Solomn

PN Code  
M Dps

FH-FSK

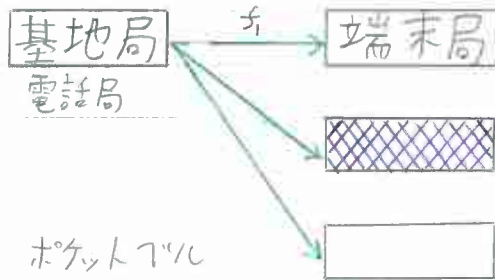
Digital Communication

# 第6章 無線通信方式

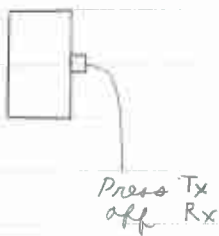
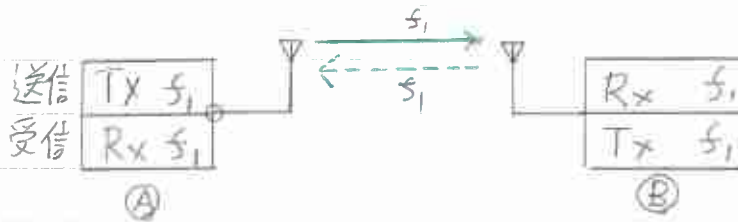
## 6.1 無線通信

## 6.2 無線通信方式 access

### (1) 単向通信 (one way)



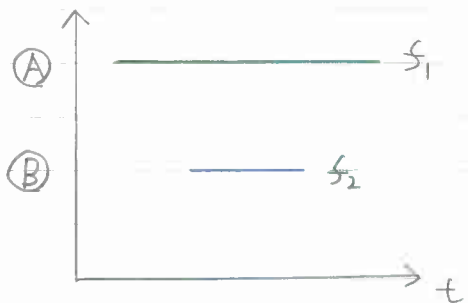
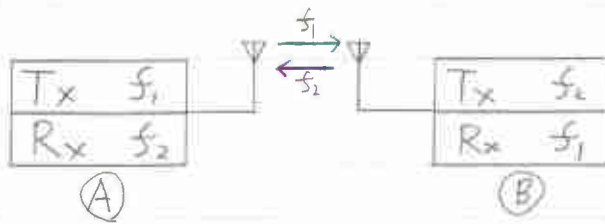
### (2) 単信方式 (simplex)



ハンディターム MCA

Press to talk 方式

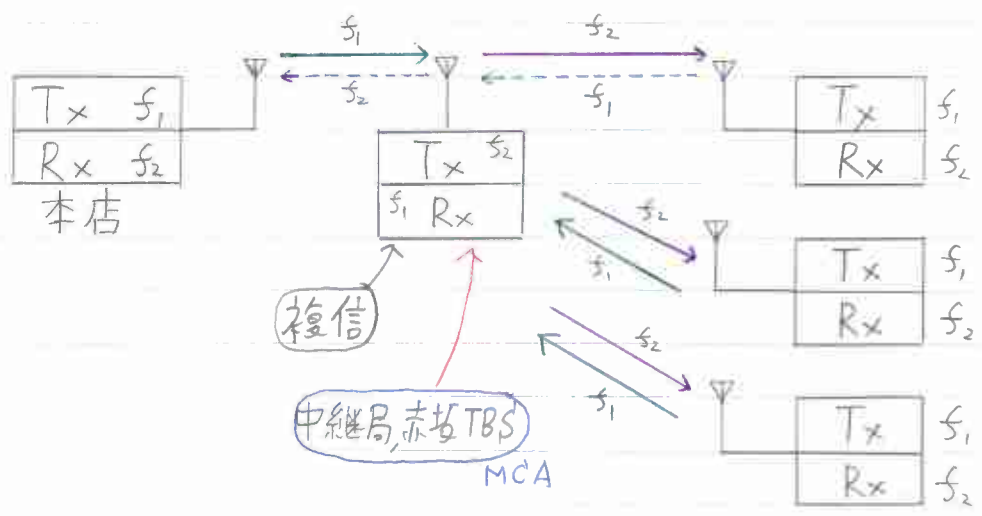
### (3) 複信方式 (Duplex)



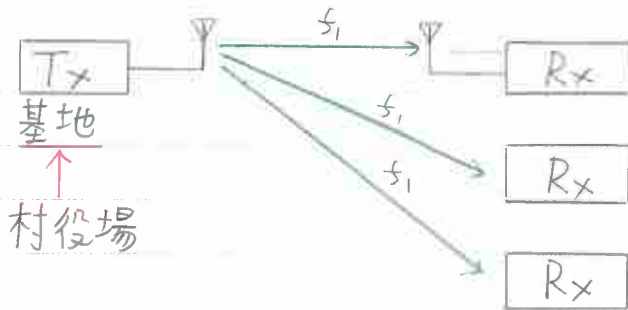
電話

同時送受信方式

### (4) 半複信方式 (Semi-Duplex)



(5) 同報通信



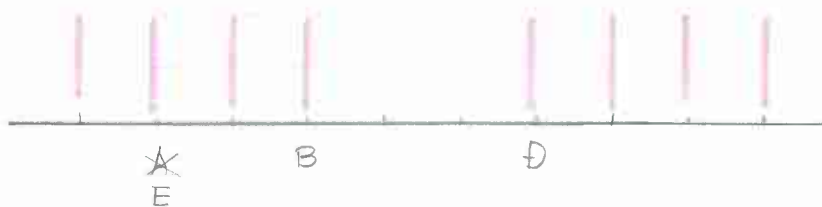
特定の2以上 , 単向通信, 農村電話

6.3

## 6.4 チャンネル・アクセス方式

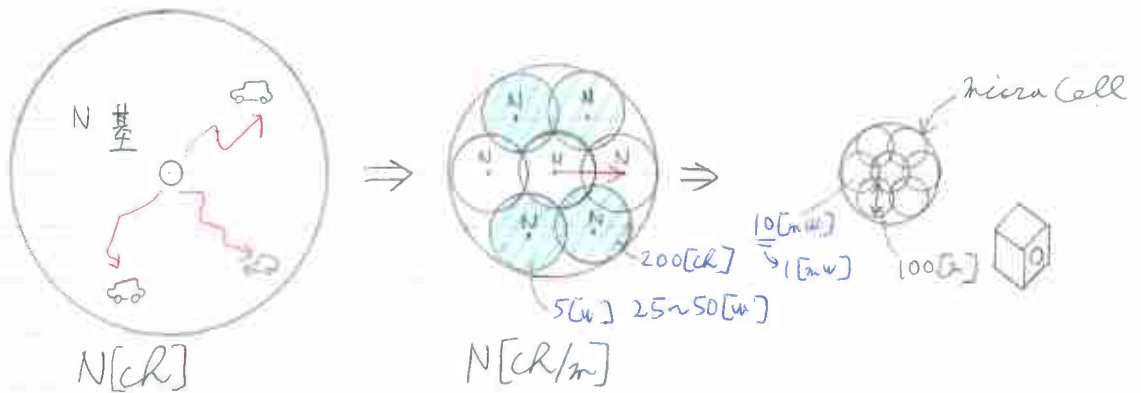
### (1) FDMA方式 (Frequency Division Multi Access)

周波数分割多元接続, 600[ch]



アナログ方式 ———— 音声アナログ, Accessアナログ

### (2) セル化



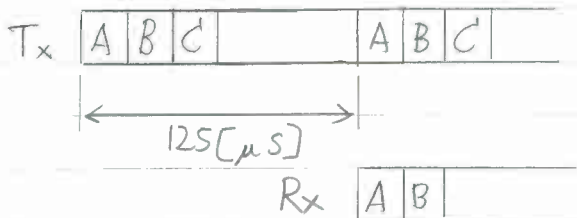
セルラー Cellular



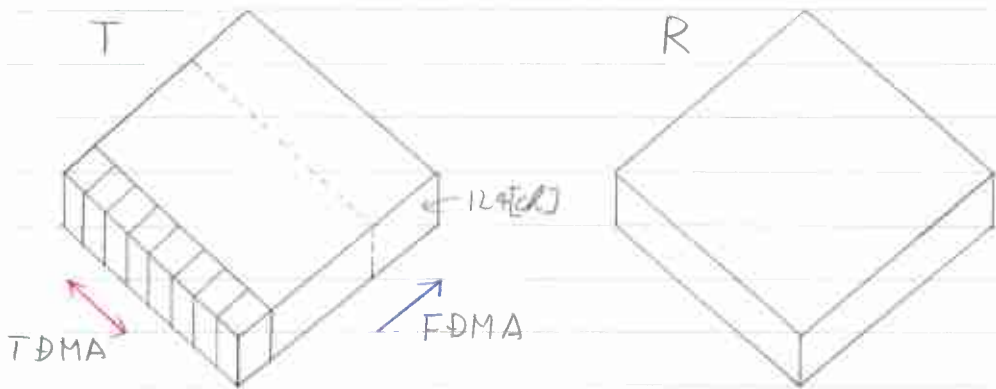
### (3) TDMA

時分割多元接続

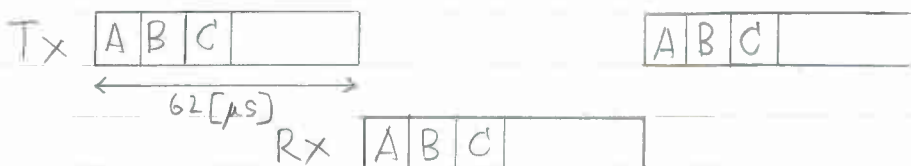
ディジタル方式 ← 音声ディジタル ← 音声符号化  $\begin{matrix} \text{PCM} \\ \text{ADPCM} \end{matrix}$



### (4) DRCS方式



Ⓢ GSM (Group Special mobile)

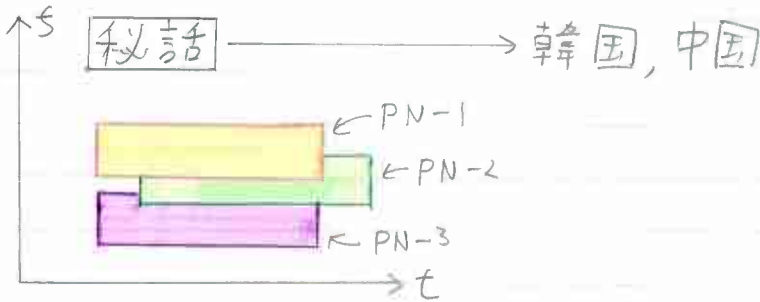


1992年6月 --- GSM

1993年 --- 日本, \*

# (5) CDMA (Code Division Multiple Access)

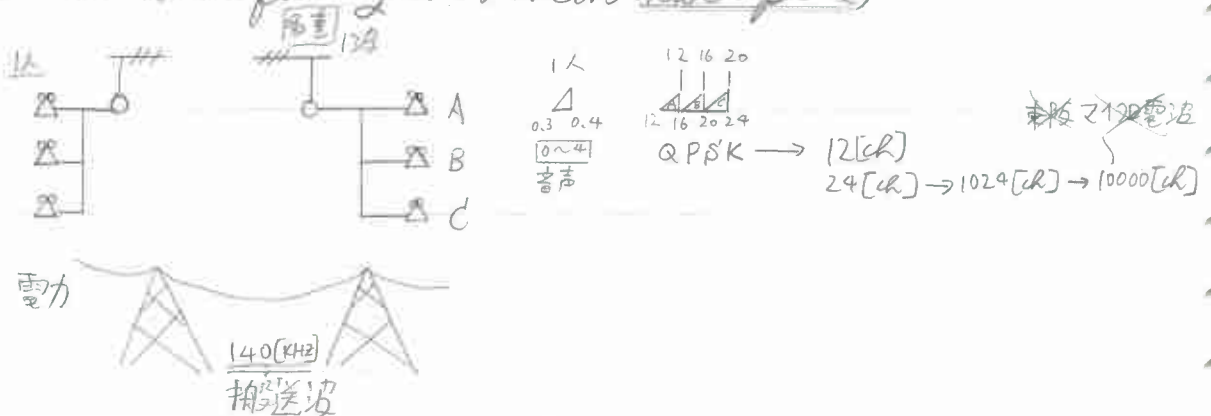
アプリケーション  $\text{SS Spread Spectrum}$



## TDD 方式 $\rightarrow$ Time Division Duplex

	GSM	*	日
周波数	890 [MHz] ~	869 [MHz] ~	800 [MHz] / 1500 [MHz]
ch	124 [ch] - FDMA	832 [ch]	?
access slot	8 - TDMA	6	③
変調	GMSK <u>error</u>	$\pi/4$ QPSK	$\pi/4$ QPSK
伝送線路	270.833 [klps]	48.6 [klps] $\xrightarrow{1/2}$	42 [klps]
音声符号化	RPE-LPT	VSELP <u>motorola</u>	VSELP
誤り訂正	22.8 [klps]	13 [klps]	OEM 11.2 [klps]

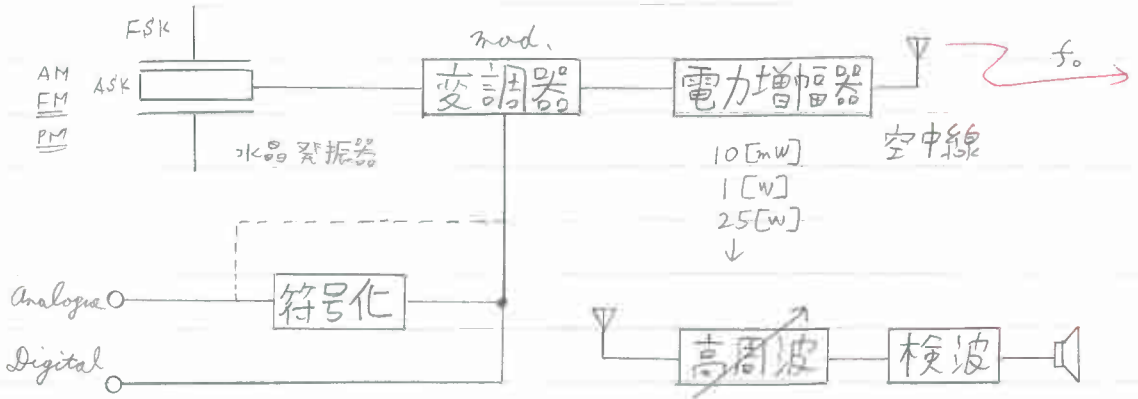
# (6) FDM (Frequency Division Multiplexer)



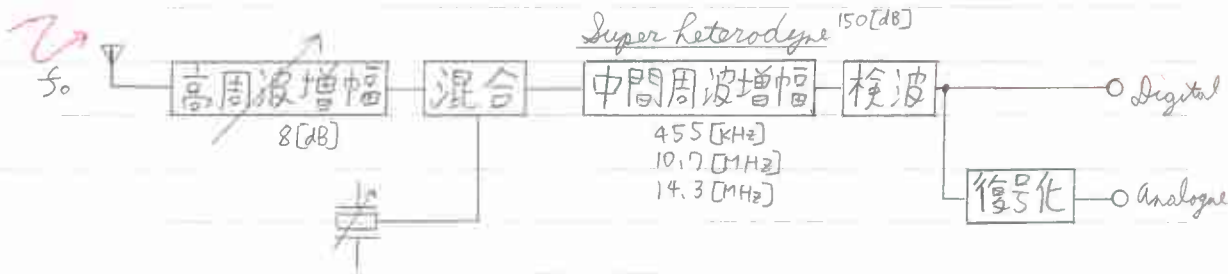
# 第7章 無線送受信装置

## 7.1 無線設備の概要

### 送信機



### 受信機



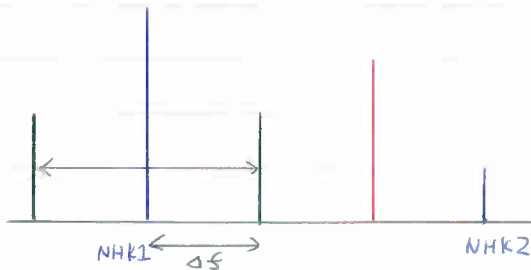
## 7.2 送信機

◦ IDC (instantaneous deviation control) 瞬時偏移回路

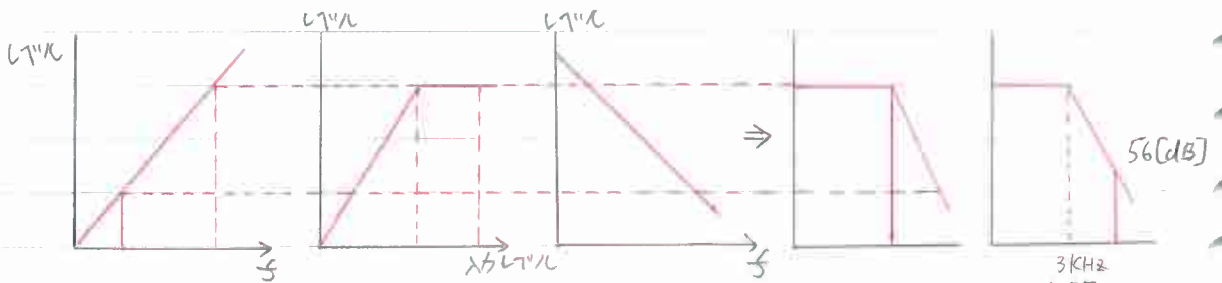
$$k_f = \omega_d / \omega_m$$

LT/K

周波数

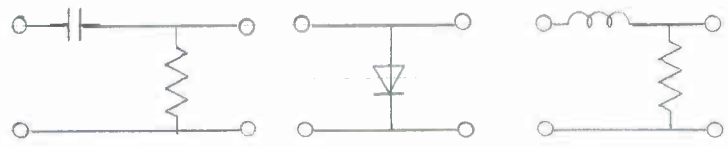


deviation



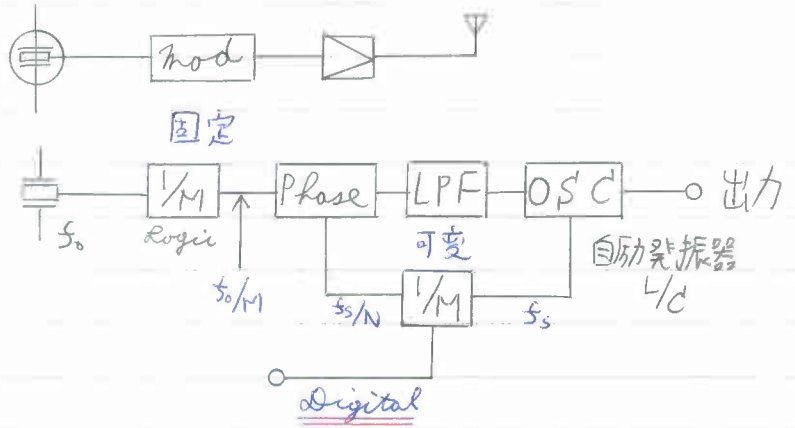
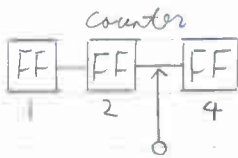
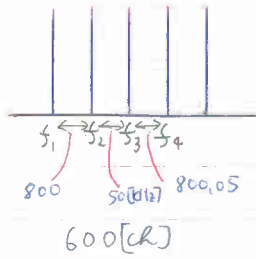
$$A \log_{10} \frac{f}{3} \text{ [dB]}$$

40, 60, 80



# Synthesizer

一定間隔を持つ周波数を多数発生させる



$$f_0/M = f_S/N \quad f_S = (N/M) f_0$$

$$f_0 = 12.8 \times 10^6, \quad M = 256 \quad N = 16000$$

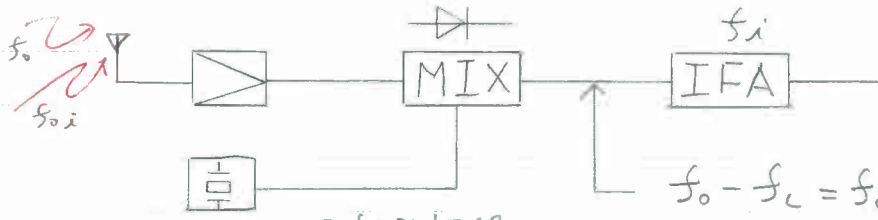
FF 8bit                      16000

$$f_S = (N/M) f_0 = 800 \text{ [MHz]}$$

$$800.050 \text{ [MHz]}$$

50 [kHz] 間隔

# 7.3 受信機



$f_L$  局部発振器  $f_L = f_0 - f_i$

$$f_0 - f_L = f_c - (f_0 - f_i) = f_i$$

$$f_{oi} = f_0 - 2f_i$$

$$f_L - f_{oi} = (f_0 - f_i) - (f_0 - 2 \times f_i) = f_i$$

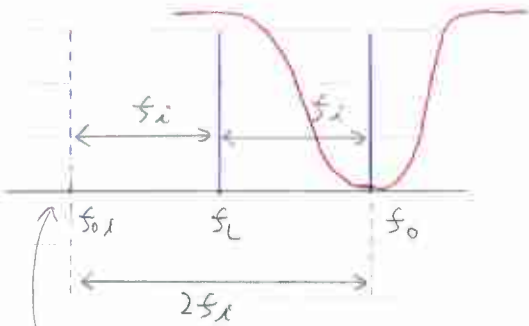


Image frequency

## Intermodulation

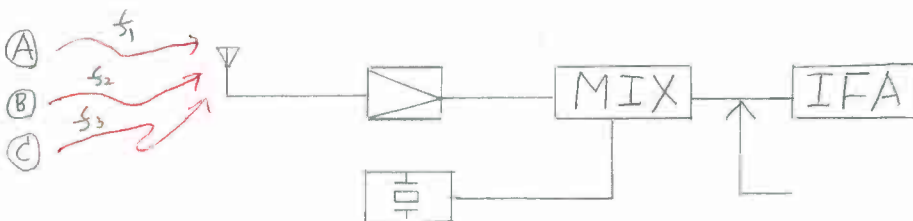
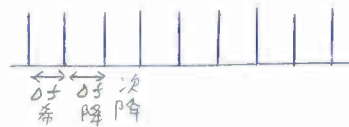
①  $f_1$  : 希望波

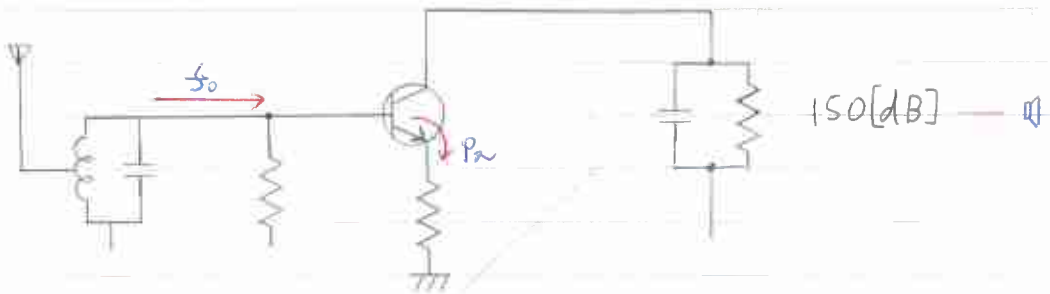
$$2 \times f_2 - f_3 = 2(f_1 + \Delta f) - (f_1 + 2\Delta f)$$

②  $f_2$  :  $f_1 + \Delta f$

$$= 2f_1 + 2\Delta f - f_1 - 2\Delta f = f_1$$

③  $f_3$  :  $f_1 + 2\Delta f$





## Thermal noise 熱雑音

正弦波の先頭電力 =  $\sqrt{2} = 3$  [dB]

雑音の先頭電力 =  $\frac{\text{最大値}}{\text{有効値}} = 12$  [dB]

差 9 [dB] = 8倍

$$P_{th} = 8 P_n = 8 k T B F$$

threshold effect,  $k = \text{ボルツマン定数 } (1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]})$

$T = \text{絶対温度 } (290 \text{ }^\circ\text{C [K]})$ ,  $B = \text{受信機の等価雑音帯域 [Hz]}$

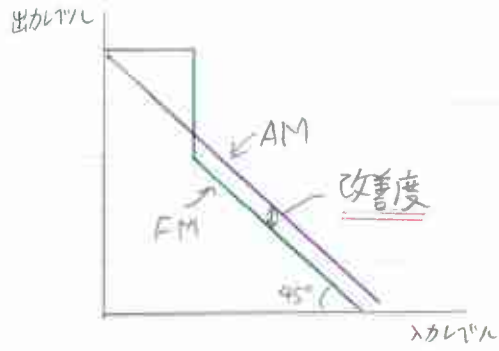
$F = \text{増幅器の雑音指数 noise figure}$

(ex.)  $B = 10$  [kHz],  $F = 10$  [dB] = 10 [倍] のとき

$$P_{th} = 8 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 10 \times 10^3 \times 10 \quad (f_0 \gg P_{th})$$

$$= 3.2016 \times 10^{-15} \text{ [w]} = 3 \times 10^{-12} \text{ [}\mu\text{w]}$$

$$= (5 - 120) \text{ [dB}\mu\text{]} = -115 \text{ [dB}\mu\text{]} = -2 \text{ [dB}\mu\text{V]}$$

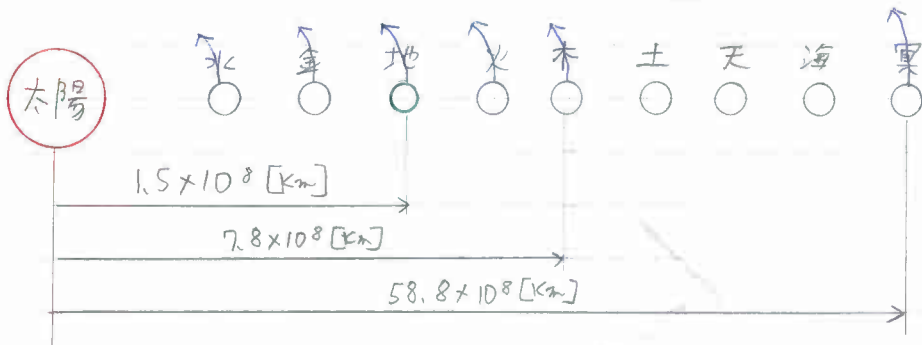




# 11.1 人工衛星

Sattelite

銀河系  $1000 \times 10^8$  個, 太陽, 惑星

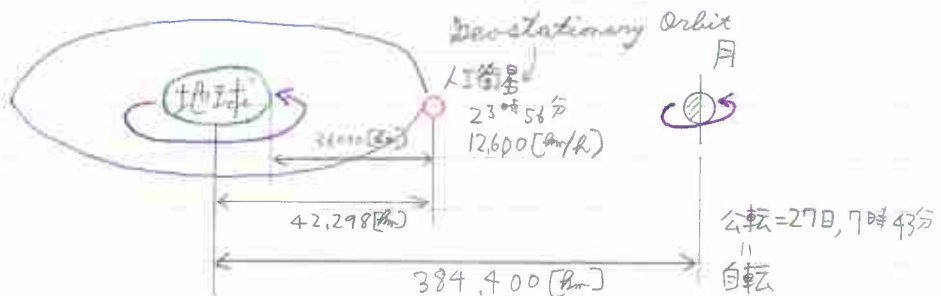


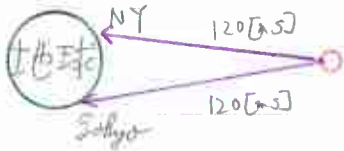
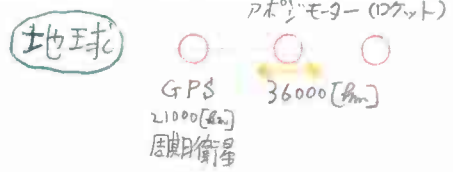
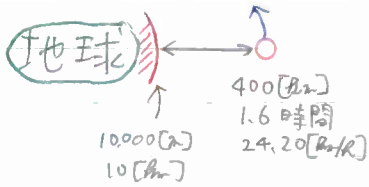
地球公轉: 365.2425日, 公轉速度:  $108,000$  [km/r]

$$P = \sqrt{D^3}$$

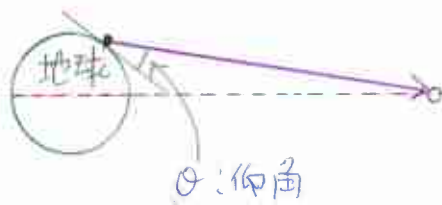
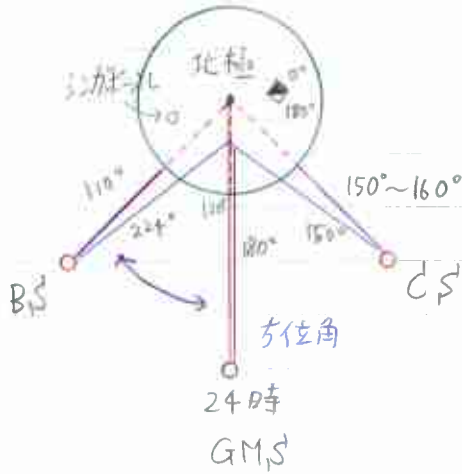
公轉比      距離比

自轉  $23^{\text{時}} 56^{\text{分}} 4^{\text{秒}} = 1\text{日}$ ,  $1668.9$  [km/r]





$$120 \times 4 = 480 [ms]$$



$$BS \quad 38.1^\circ$$

$$GS \quad 48^\circ$$

$$CS - SCC - B \quad 44.4^\circ$$

11.4



## 11.5 測位システム

### (1) GPS (Global Positioning System)

24個：周回衛星

米国，精度  $10 \sim 100 [m] \rightarrow 1 [km]$



距離  $\rightarrow$  時間の丈くね

Spectrum Spread スプレッド拡散

$1.575 [GHz]$ ,  $1 [Mbps]$ , 拡散信号, 円偏波

(2) GEOSTAR

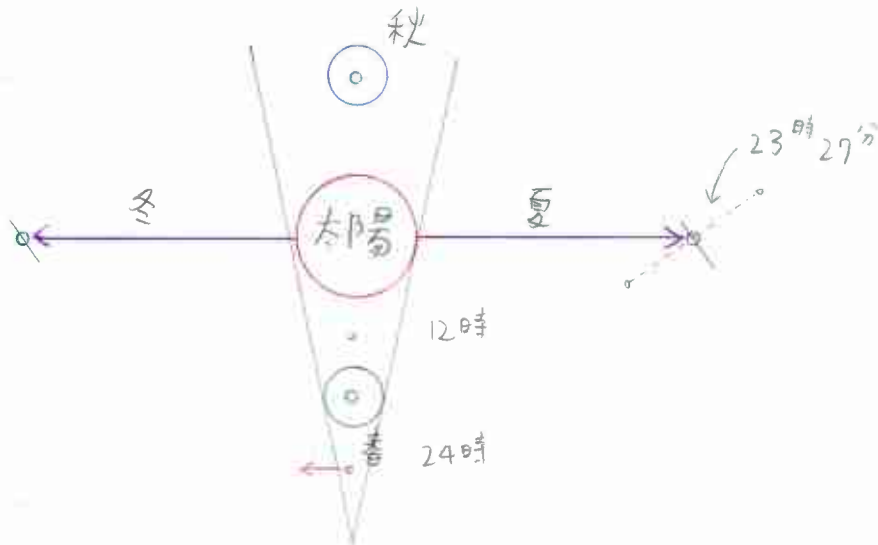
(3) NNSS

(4) LOCSTAR

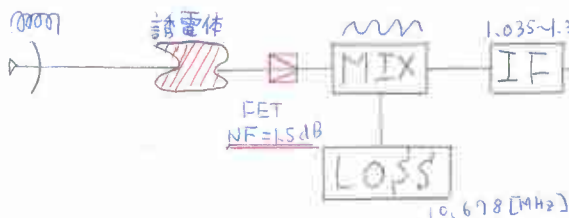
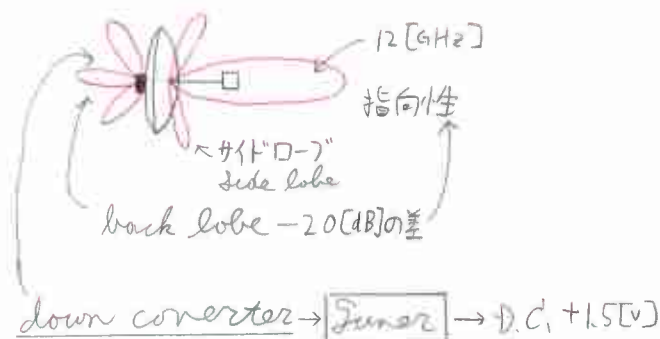
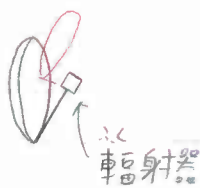
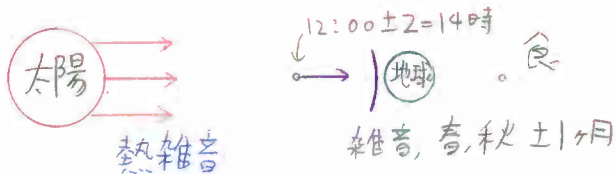
11.6

1

# 11.7 太陽と人工衛星



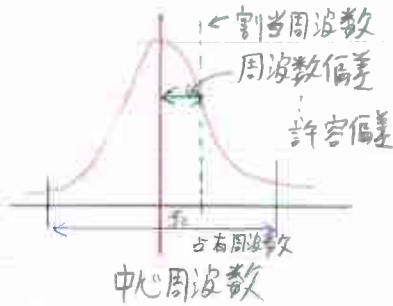
## 24時±2 衛星が地球の'食'のため休止



<解答>

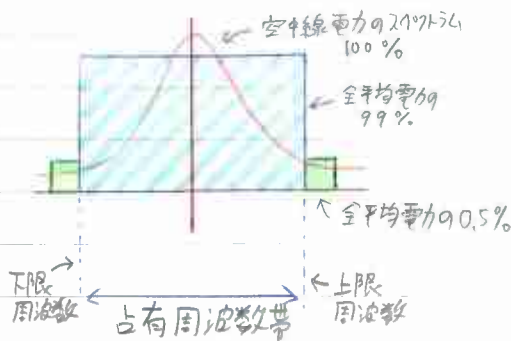
電波の質として規定しているのは、周波数の偏差と幅、高調波の強度である。

・周波数の許容偏差



発射によって占有する周波数帯の中央の周波数の割り当周波数から許容することが出来る最大の偏差または発射の特性周波数の基準周波数からの許容することが出来る最大の偏差である。

・占有周波数帯



その上限の周波数を超えて輻射されたものはその下限の周波数未満において輻射された平均電力がそれと等しくされた発射によって輻射される全平均電力の0.5%に等しい上限及び下限の周波数帯を占める。

## ・スパリアス放射

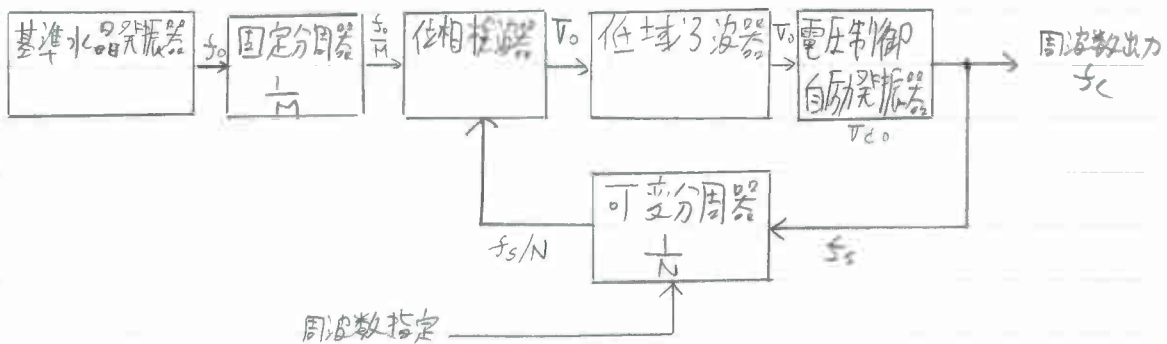
必要周波数外の一または二以上の放射であつて、そのレベルを情報の伝送に影響を与えないで低減することができるものをいい、高調波放射、低調波放射、寄生放射および相互変調波を含み、必要周波数帯に近接する周波数の電波の放射で情報の伝送のための変調の過程において生ずるものを含まないものとする。



<解答>

シンセサイザーは一定周期の周波数を多数発生させる装置で

下図に PLL (Phase lock loop) 方式により原理図を示す。



電圧可変容量自励発振器 ( $V_{CO}$ ) の出力周波数  $f_s$  は,  $f_s/N$  として

位相検波器に帰還され, このループ帰還は  $f_s$  が希望の出力周波数  $f_c$  に変化するまで続き,  $V_{CO}$  の周波数が  $f_c$  に

なると時に位相検波器の2つの入力周波数は等しくなる。

この時にループはフェーズロック状態にある。このときの

発振周波数  $f_c$  は

$$\frac{f_0}{M} = \frac{f_c}{N} \quad \therefore f_c = \frac{N}{M} f_0$$

である。

<解答>

Discriminator

周波数弁別器 13

Intermodulation

相互変調特性 5

Frequency modulation

周波数変調 1

Amplitude modulation

振幅変調 2

Deviation

周波数偏移 16

Sampling

標本化 8

De-modulation

復調 17

Phase modulation

位相変調 3

S/N 信号对雑音比 18

Occupied bandwidth 占有周波数帯幅 20

Duplexer 空中系兼共用器 10

TDMA 時間分割多元接続 19

IDC 瞬時偏移制御回路 15

Broadcasting satellite 放送衛星 7

Simplex 複信方式 11

Angle modulation 角度変調 4

Geostationary Meteorological Satellite 気象衛星 6

積分回路 9

FDMA 周波数分割多元接続 14

Duplex 複信方式 12