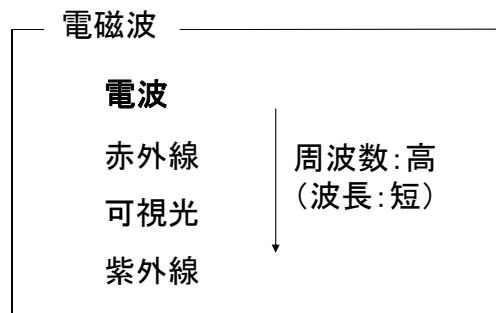


8.1 電波とは (p.124)

「電波」とは、_____以下の周波数の電磁波をいう。

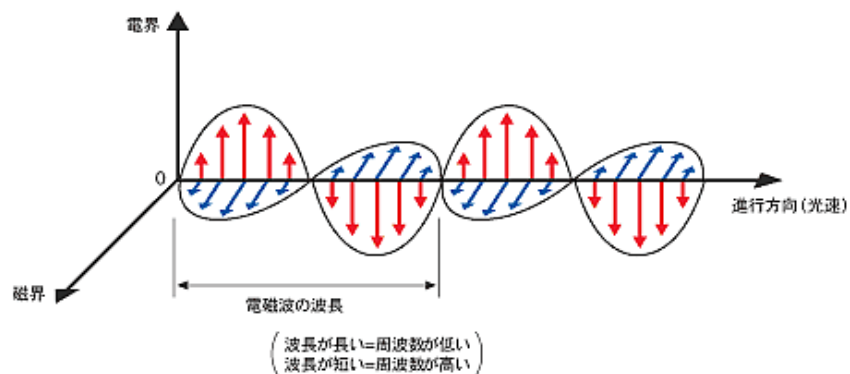
... 電波法の規定における「電波」の定義

電波 = 電磁波 の一部分



電磁波

電磁波とは電界(電場)と磁界(磁場)が相互に作用して組み合わせり空間を伝達する波のことを言う。



マクスウェルの方程式

電磁波の性質 (p.125)

08-03

電磁波は光と同じ速度(約 _____ m/sec)で進む.

波が1往復する間に進む距離 ... 波長 (単位:m)

波が1秒間に往復する回数 ... 周波数 (単位:Hz)



波長と周波数の関係

$$v = f \cdot \lambda$$

波長: λ [m] 周波数: f [Hz]

速度: $v = c =$ _____ [m/s]

※ 電磁波の速度(v) = 光速(c)

8.2 電波の利用と無線通信 (p.126)

08-04

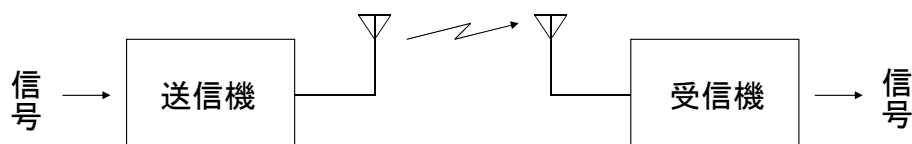
一般的には 3,000Hz(3kHz) ~ 3×10^{12} Hz(3THz = 300万MHz)
程度の周波数のもの

実用的には10kHz~10GHz程度

電流がアンテナ(空中線)から空間に放射(送信)され
アンテナで受けとめて(受信)電流に戻ることができる



無線通信



船舶の運航においては、無線通信、電波航法システム、レーダその他の計器等に利用される。

○電波利用システム発展の経緯

08-05

年代	事項
1865	マクスウェル 電磁波を理論的に予言
1894	マルコーニ 無線通信実験に成功
1899	マルコーニ 英仏海峡で通信実証実験
1899	船舶に無線電信を搭載
1902	無線方位測定を試み
1935	レーダの実用化
1959	日本で船舶電話サービス開始
1965	衛星通信(インテルサット)の開始
1979	インマルサット設立
1980年代後半	GPS 業務開始

電波の分類 (p,128)

単位:

08-06

k = 10^3

M = 10^6

G = 10^9

T = 10^{12}

○周波数(波長)による分類

周波数	波長	名称	主な用途など
3 ~ 30 kHz	100,000 ~ 10,000 m	VLF 超長波	
30 ~ 300 kHz	10,000 ~ 1,000 m	LF 長波	
300 ~ 3,000 kHz	1,000 ~ 100 m	MF 中波	AMラジオ
3 ~ 30 MHz	100 ~ 10 m	HF 短波	短波放送
30 ~ 300 MHz	10 ~ 1 m	VHF 超短波	FMラジオ/TV
300 ~ 3,000 MHz	1 ~ 0.1 m	UHF 極超短波	TV/携帯電話
3 ~ 30 GHz	10 ~ 1 cm	SHF 極々超短波	レーダ
30 ~ 300 GHz	1 ~ 0.1 cm	EHF	
300 ~ 3,000 GHz	1 ~ 0.1 mm		

※ $3000\text{GHz} = 3000 \times 10^9 = 3 \times 10^{12} = 3,000,000 \times 10^6 \text{ Hz}$
 $3\text{THz} = 300\text{万 メガヘルツ}$

○電波形式による分類

- 変調方式 {
 - 無変調
 - 振幅変調 (AM, SSB)
 - 周波数変調 (FM, PM)

- 信号の種類 {
 - 符号 … 電信 (モールスその他の符号)
 - 音声 … 電話

- A/Dの別 {
 - アナログ
 - デジタル

電波形式の表示方法 … 3桁で表す Δ \circ Δ { Δ アルファベット }
 \circ 数字

1文字目 主搬送波の変調		2文字目 変調する信号の性質		3文字目 伝送情報の形式	
無変調	N	変調信号なし	0	情報なし	N
振幅変調		デジタル信号		電信	
両側波帯	A	単一チャンネル		聴覚受信	A
単側波帯全搬送波	H	副搬送波無	1	自動受信	B
単側波帯低減搬送波	R	副搬送波使用	2	ファクシミリ	C
単側波帯抑圧搬送波	J	アナログ単一	3	データ伝送	D
角度変調		デジタル2ch以上	7	電話	E
周波数変調	F	アナログ2ch以上	8	テレビジョン	F
位相変調	G	その他	X	その他	X
パルス変調					
無変調	P				
その他	X				

— (例) J3E → J 単側波帯抑圧搬送波
 3 アナログ単一チャンネル
 E 電話

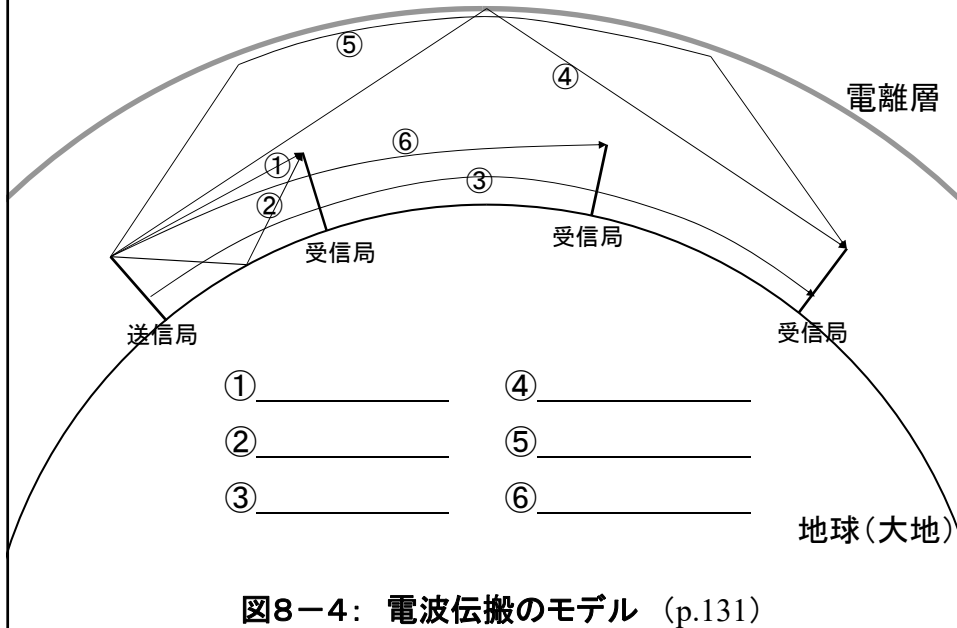


図8-4: 電波伝搬のモデル (p.131)

○長波の伝わり方

地上波

地表波 海上の方が減衰が少ない
周波数が低いほど到達距離が大きい

電離層反射波

D層(VLF), E層で反射 大地でも反射
日出没現象
D層は昼夜で高さが異なる

○中波の伝わり方

地上波

電離層反射波

夜間のみ E層, F層が利用可 フェージング

○短波の伝わり方

電離層伝搬が主体, F層

時間帯, 季節, 太陽の活動により利用できる周波数が変わる

○超短波および極超短波の伝わり方

直接波と大地反射波が主体 → 見通し内通信
(アンテナの高さが影響)

雨滴・水蒸気などによる反射と吸収

周波数が高くなる(マイクロ波)と, 光に似た性質で伝搬する
(直進性)

電波利用の実例 (p.135)

周波数	電波形式	用途
9 ~ 14 kHz	N0N	無線航行(オメガ)
14 ~ 160 kHz	A1A	固定・海上移動
84 ~ 86 kHz	N0N	無線航行(デッカ)
90 ~ 110 kHz	P0N	無線航行(ロラン)
285 ~ 325 kHz		海上無線標識(DGPSなど)
	500 kHz A1A	船舶無線・遭難および呼出応答
	518 kHz F1B	NAVTEX狭帯域直接印刷電信
526.5 ~ 1,605.5 kHz	A3E	中波ラジオ放送
	2,182 kHz J3E	船舶無線・遭難および呼出応答
	2,187.5 kHz F1B	船舶無線・遭難緊急安全(デジタル選択呼出)
2,850 ~ 28,000 kHz	A3E/J3E/F1B	海上移動・航空移動業務など
5,900 ~ 26,100 kHz	A3E	放送(短波放送)

ME08-13			
周波数	電波形式		用途
76 ~	90 MHz	F8E	FM放送
90 ~	108 MHz	C3F/F3E	VHF帯テレビ放送(1~3ch)
108 ~	142 MHz	A3Eなど	航空移動業務
142 ~	156 MHz	F3Eなど	陸上移動業務(消防・警察など)
156 ~	170 MHz	F3Eなど	国際VHF
	156.525 MHz	F2B	70ch 遭難・安全 デジタル選択呼出
	156.8 MHz	F3E	16ch 船舶局・海岸局 呼出応答用
170 ~	222 MHz	C3F/F3E	VHF帯テレビ放送(4~12ch)
470 ~	770 MHz	C3F/F3E	UHF帯テレビ放送(13~62ch)
832 ~	958 MHz		TDMA/CDMA 携帯・自動車電話(800M)
1,429 ~	1,525 MHz		携帯・自動車電話など(1.5G)

08-14			
周波数	電波形式		用途
1,525 ~	1,544 MHz	F3E	インマルサット ダウンリンク
1,626.5 ~	1,636.5 MHz	F3E	インマルサット アップリンク
	1,544.5 MHz		COSPAS / SARSAT衛星
1,215 ~	1,260 MHz		無線標定・無線航行衛星
	1,227.60 MHz		(GPS L2波)
1,559 ~	1,610 MHz		航空無線航行・無線航行衛星
	1,575.42 MHz		(GPS L1波)
2,400 ~	2,500 MHz		構内無線局 (無線LAN)
2,700 ~	3,100 MHz	P0N	無線標定(レーダ)
9,300 ~	9,500 MHz	P0N	無線標定(レーダ)
248 ~	250 GHz		248GHz帯アマチュア無線

8.3 無線通信システム (p.134)

08-15

マイクロ波回路

周波数 1,000 MHz 以上(波長 30cm以下)程度 の電波(電磁波)

○分布定数回路

集中定数回路(通常の電気回路)としては扱えなくなる.

※参考 波長 :

$$v = f \cdot \lambda$$

波長: λ [m] 周波数: f [Hz]

速度: v [m/s] = c [m/s] = 3×10^8 [m/s]

※ 通常, 電磁波の速度(v) = 光速(c)

発振回路

08-16

○LC発振回路

- ・ハートレー回路
- ・コルピッツ回路

○CR発振回路

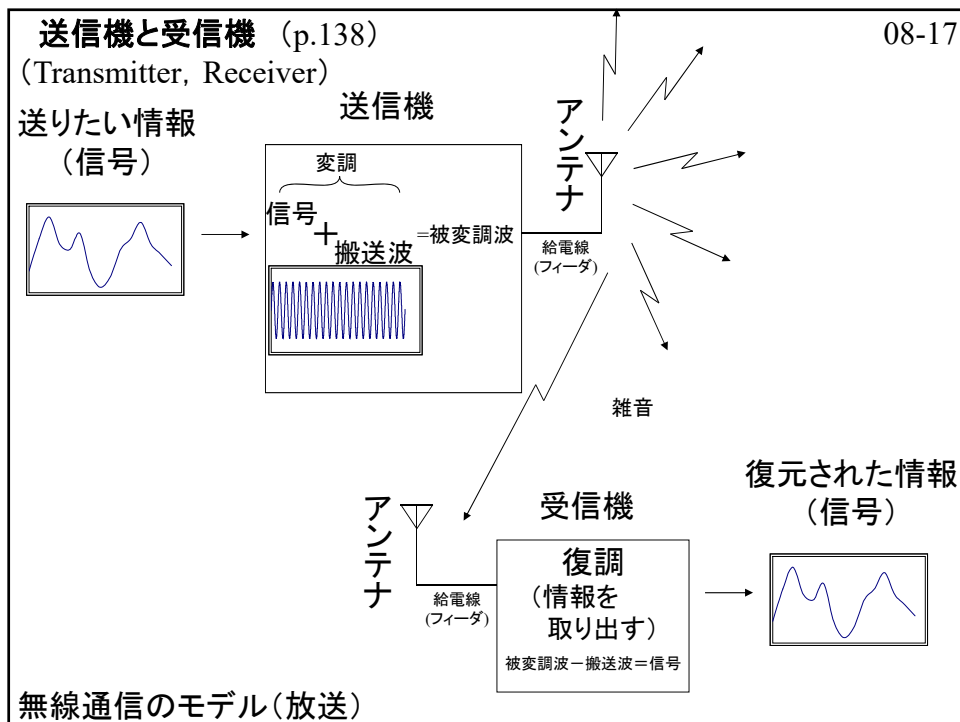
○水晶発振回路

○PLL (Phase locked loop) 回路

○マイクロ波発振回路

クライストロン, ガンダイオード, インパットダイオード など

逓倍回路



08-18

送信機:
搬送波 (高周波) を発生
送りたい信号 (情報) により変調
その電力を増幅
アンテナから放射

受信機:
アンテナで電波 (被変調波) を受信
微小な被変調波を増幅
復調して信号 (情報) を取り出す

変調方式: (アナログ, デジタル)
振幅変調, 周波数変調, 位相変調

ほとんどの場合, 何らかの変調をおこなう = 情報を送るため

※ 例外 ... レーダの電波は無変調

無線通信のモデル : 一方向

ME08-19

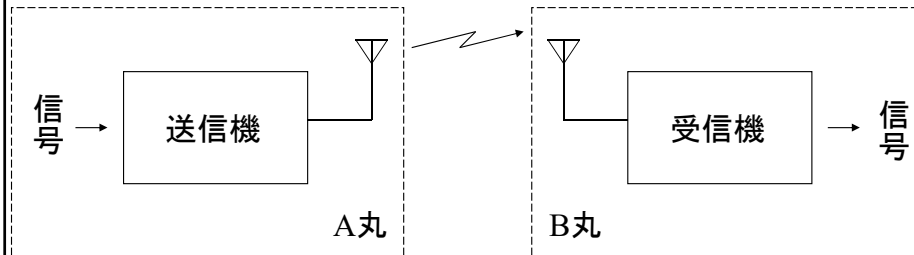


図8-6 (a)

無線通信のモデル : 双方向

08-20

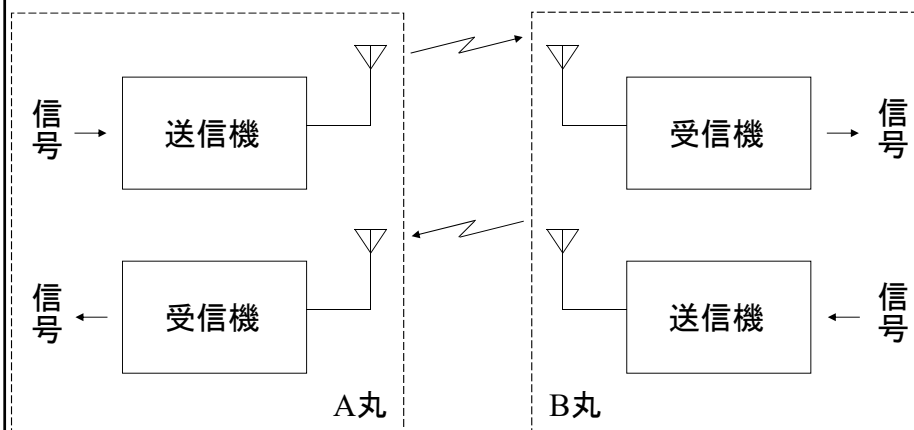
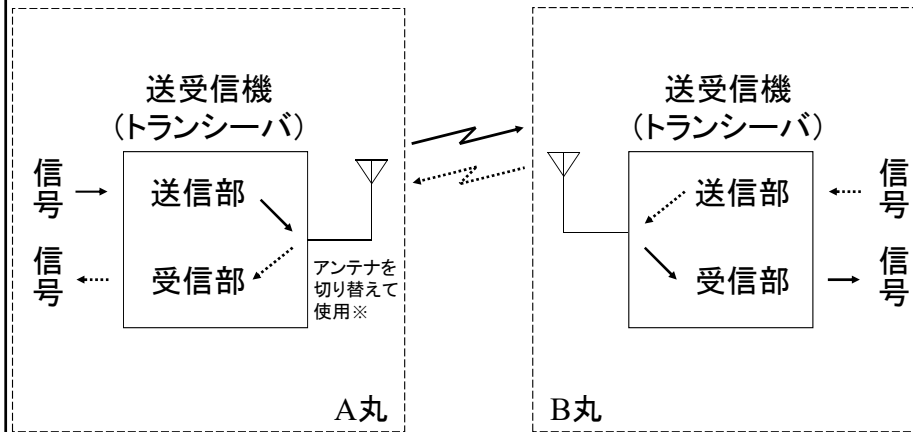


図8-6 (b)

無線通信のモデル : 双方向(単信単向)

08-21

送信と受信を切り替えて使用※
同時に双方向では使えない



※ PTT(push to talk)スイッチで切り替え(電話の場合)

図8-6 (c)

変調方式 (p.143)

08-22

変調: 信号を搬送波(高周波)にのせること.

具体的には, 信号(情報)の変化を搬送波(電波)の特性(振幅, 周波数, 位相など)の変化に変換して, 信号を送るための変換操作.

○変調の種類

- ・ _____ 変調 (amplitude modulation = AM)
- ・ _____ 変調
- _____ 変調 (frequency modulation = FM)
- _____ 変調 (phase modulation = PM)

復調: 変調された高周波から, (もとの)信号を取り出すこと.

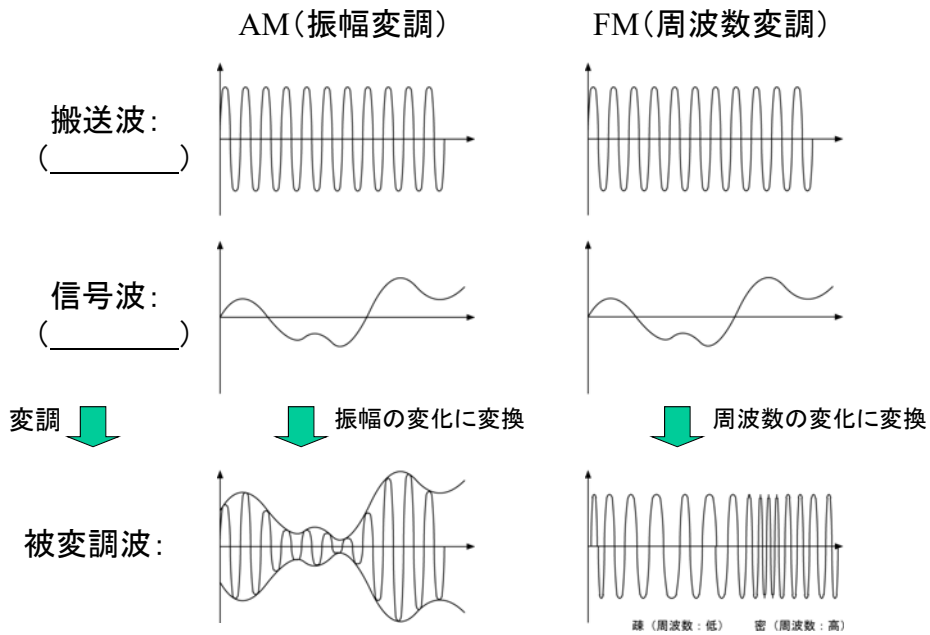
具体的には, 変調された電波の特性(振幅, 周波数, 位相等の変化)から電気信号の変化を取り出し, もとの信号(情報)の変化を再現する変換操作.

復調 = _____ ともいう

※

○AM変調とFM変調

08-23



○SSB (single side band) ... 振幅変調(AM) の一種

08-24

単側波帯 全搬送波
低減搬送波
抑圧搬送波

振幅変調(AM・DSB)

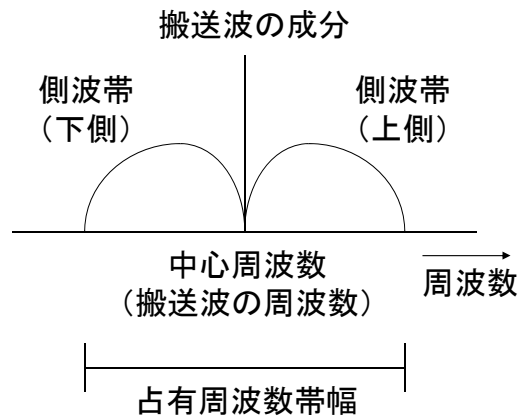
電波形式: A3E(電話) A3X(その他) A1A(電信)

実例: 27MHz帯 A3E電波 ... 漁業用無線
121.5MHz A3X電波 ... 衛星E-Pirbビーコン
500kHz A1A電波 ... 非常用電信(モールス)
(現在は使用されていない)

平衡変調(SSB)

電波形式: J3E(電話)

実例: 2182kHz ... 中短波帯無線電話



占有周波数帯幅の例

FMラジオ放送	75 kHz	} 周波数変調
国際無線電話(F3E)	16 kHz	
AM(A3E:ラジオ, DSB無線電話)	6 kHz	} 振幅変調
SSB(J3E:中短波帯無線電話)	3 kHz	

変調

電波形式: F3E(電話) F1B, F2B(電信) F1D(デジタル)

実例: 150MHz帯 F3E電波 ... 国際VHF無線電話
 450MHz帯 F3E電波 ... 船上通信設備
 2187.5kHz F1B電波 ... 中短波帯デジタル選択呼出
 (ch70)156.525MHz F2B電波 ... VHFデジタル選択呼出
 150MHz帯 F1D電波 ... AISデータ

変調

電波形式: G1B(電信)

実例: 406MHz帯 G1B電波 ... 衛星E-Pirb

変調

電波形式: P0N(無変調)

Q0N(パルス期間中に搬送波を角度変調)

実例: 9GHz帯 P0N電波 ... レーダ
 9GHz帯 Q0N電波 ... レーダトランスポンダ

○AMとFM

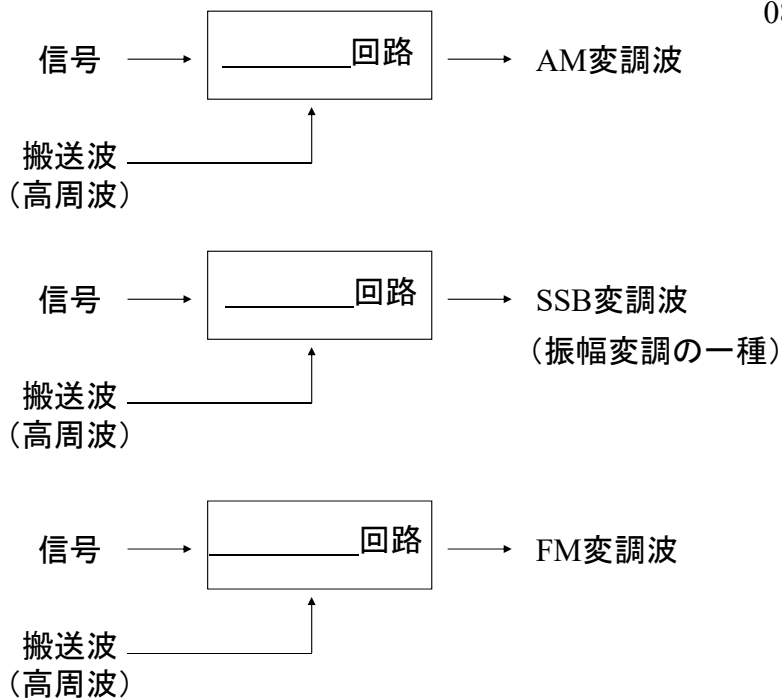
08-27

	振幅変調(AM)	周波数変調(FM)
帯域幅	狭い(6KHz程度)	広い(10KHz以上)
周波数帯	短波(HF)以下	超短波(VHF)以上
音質	悪い	良い
対雑音性	雑音の影響を受けやすい	フェージングや雑音に強い
混信	両方聞こえる (混信のために、それぞれ了解できるかどうかは別)	強い方のみ聞こえる

変調回路

- 振幅変調回路(低電力変調, 高電力変調) ... _____
- 平衡変調回路 ... _____
- 周波数変調回路(リアクタンス変調) ... _____

08-28



復調回路

08-29

- 振幅変調 … AM 検波回路
- 平衡変調 … 位相弁別検波器, 同期整流回路
- 周波数変調 … 周波数弁別回路

デジタル変調方式

08-30

位相偏移変調 (PSK; Phase Shift Keying)

周波数偏移変調 (FSK; Frequency Shift Keying)

振幅偏移変調 (ASK; Amplitude Shift Keying)

直交振幅変調 (QAM; quadrature amplitude modulation)