

# 1999/02/06 加筆修正 & PDF file by 吉田 敏 <xyosida@oita-med.ac.jp>平成 1 1 年 2 月の問題まで  
# 1997/07/02 加筆修正  
# 1996/05/22 渡辺りほえむ<riho-m@sfc.wide.ad.jp>による加筆修正  
# 1995/03/02 新美さん<bignum@wide.ad.jp>の指摘による修正  
# 1993/10/07 出水さん<demizu@cs.sony.co.jp>らによる加筆修正  
# 1993/05/02 original version by 林周志<rin@cc.iis.u-tokyo.ac.jp>

注意:

以下において、当方で参照した「問題集」は、電気通信振興会による第 1 級陸上特殊無線技師 国家試験予想問題解答集のことです。

また、このメモを使用することによって生じたいかなる不利益(不合格)も当方は一切関知致しません。

お願い: このメモを御覧になって受験され、合格された方は是非このメモの内容を最新の試験問題に照らし合わせて、更新して送ってくださるか、または、指摘して頂けると幸いです。

送付先: riho-m@sfc.wide.ad.jp

-----  
第一級陸上特殊無線技士試験対策メモ == 法規 ==

## 1.電波法の目的・用語の定義

- ・電波法の目的  
「電波の公平かつ能率的な利用を確保することによって、公共の福祉を増進すること」である。(法 1 条)
- ・電波とは、3 0 0 万メガヘルツ以下の周波数の電磁波をいう。( < 3 T H z )
- ・無線電信とは、電波を利用して、符号を送り、又は受けるための通信設備をいう
- ・無線電話とは、電波を利用して、音声その他の音響を送り、又は受けるための //
- ・無線設備の定義：  
無線設備とは、無線電信、無線電話、その他電波を送り、又は受けるための電氣的設備をいう。
- ・無線局の定義  
無線設備および無線設備の操作を行う者の総体をいう。  
ただし、受信のみを目的とするものは含まない。
- ・無線従事者の定義  
無線従事者とは、無線設備の操作又はその監督を行う者であって、郵政大臣の免許を受けたものをいう。
- ・主任無線従事者の定義  
無線局の無線設備の操作の監督を行う者として選任された者であって、郵政大臣に対して、免許人から選任の届け出がなされた者をいう。
- ・複信方式の定義  
相対する方向で送信が同時に行なわれる通信方式
- ・送信装置の定義  
無線通信の送信のための高周波エネルギーを発生する装置及びこれに付加する装置
- ・無給電中継装置  
送信機、受信機その他の電源を必要とする機器を使用しないで電波の伝搬方向を変える中継装置をいう。
- ・無人方式の無線設備とは、自動的に動作する無線設備であって、通常の状態においては技術操作を直接必要としないものをいう。

- ・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当周波数からの許容することができる最大の偏差、又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できる最大の偏差をいい、百万分率又はヘルツで表す。
- ・占有周波数帯幅  
その上限の周波数をこえて輻射され、及びその下限の周波数未満において輻射される平均電力がそれぞれに与えら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幅をいう。  
ただし、周波数分割多重方式の場合、TV伝送の場合等0.5%の比率が占有周波数帯幅及び必要周波数帯幅の定義を実際に適用することが困難な場合においては、異なる比率によることができる。
- ・高圧電気とは、  
高周波若しくは交流の電圧 **300V** 又は直流の電圧 **750V** をこえる電気をいう
- ・地球局の定義  
宇宙局と通信を行ない、又は受動衛星その他の宇宙にある物体を利用して通信（宇宙局を除く）を行なうため、地表又は地球の大気圏の主要部分に開設する無線局をいう。
- ・小型地球局の代表：V S A T (Very Small Aperture Terminal)  
他の一の地球局によって、その送信の制御が行なわれる（小規模）地球局
- ・レーダーの定義 (Radio Detection And Ranging; RADAR) [電波による探知及び測距]  
決定しようとする位置から反射され、又は再発射される無線信号と基準信号との比較を基礎とする無線測位の設備をいう。

## 2.無線局の免許

- ・無線局の開設  
無線局を開設しようとする者は、郵政大臣の免許を受けなければならない
- ・欠格事由（無線局の免許が与えられないもの）  
日本の国籍を有しない人(原則)、外国政府又はその代表者、外国の法人又は団体
- ・予備免許の "指定事項"  
1) 工事落成の期限  
2) 電波の型式及び周波数  
3) 呼出符号（識別符号を含む）、呼出名称その他の郵政省令で定める識別信号  
4) 空中線電力  
5) 運用許容時間
- ・予備免許の "指定事項" でないもの  
無線設備の設置場所、無線局の種別
- ・予備免許を受けた者は、  
工事が落成したときは、その旨を郵政大臣に届け出て、その無線設備、無線従事者の資格及び員数、並びに時計及び書類について検査を受けなければならない。
- ・落成後の検査項目  
無線設備  
無線従事者の資格及び員数  
時計及び書類
- ・免許の有効期間  
免許の日から起算して、**5年**を超えない範囲内で郵政省令で定める
- ・再免許の期間  
免許の有効期間満了前、**3箇月以上6箇月を越えない** 期間において行なう、ただし免許の有効期間が**1年以内**の無線局は、**1箇月前**までに行なう。
- ・免許状の記載事項  
1) 免許の年月日、及び免許番号  
2) 免許人の氏名、又は名称、及び住所  
3) 無線局の種別

- 4) 無線局の目的
- 5) 通信の相手方、及び通信事項
- 6) 無線設備の設置場所
- 7) 免許の有効期間
- 8) 識別信号
- 9) 電波の型式、及び周波数
  - A) 空中線電力
  - B) 運用許容時間
- ・ 免許状の記載事項でないもの
  - 無線従事者の氏名、無線従事者の資格別員数、発振方式、空中線の型式
- ・ あらかじめ申請し、郵政大臣の許可を必要とする、項目の変更
  - 通信の相手方
  - 通信事項若しくは無線設備の設置場所の変更
  - 無線設備の変更工事
    - 変更後検査を受けて許可の内容に適合していると認められてから運用
    - 工事設計の変更
- ・ 届け出だけでよい工事設計の変更
  - 予備免許を受けた者が、工事設計を変更しようとするとき、郵政省令で定める軽微な事項の変更の場合、電波法の規定により、変更したときは、遅滞なくその旨を郵政大臣に届け出る。
- ・ 郵政大臣の許可を必要としないもの
  - 主任無線従事者のあらたな選任
- ・ 無免許で開設運用した場合の罰則
  - 1年以下の懲役** または、**50万円以下** の罰金
- ・ 予備免許を受けたものが指定を変更される場合
  - 郵政大臣が、混信の除去その他特に必要があると認めるとき
- ・ 指定事項の変更 ... 混信の除去その他特に必要があると認めるとき、変更できる
  - 識別信号、電波の型式、周波数、空中線電力、運用許容時間の指定の変更
- ・ 変更検査
  - 設置場所、無線設備の変更の工事をうけた者は、検査を受け、適合していると認められないと、無線設備を運用できない。
- ・ 免許状の記載事項及びその変更
  - 免許状の記載事項に変更を生じたときは、その免許状を郵政大臣に提出し訂正を受けなければならない。
- ・ 免許人が無線局を廃止したときは、免許はその効力を失う
- ・ 免許人の住所変更
  - 免許人は、住所を変更した場合は、免許状を郵政大臣に提出し、訂正を受ける。
- ・ 無線局の廃止、免許が効力を失ったとき
  - 一箇月以内に、免許状を返納する。遅滞なく、空中線を撤去する。
- ・ 特定無線局の免許の特例
  - 技術基準適合証明を受けた無線設備のみを使用するものを2以上開設しようとするものは、目的、通信の相手方、電波の型式及び周波数並びに無線設備の規格を同じくするものである限り、特例として、これらの特定無線局を包括して対象とする免許を申請することができる。

### 3.無線設備

- ・ 電波の質
  - 送信設備に使用する電波の、周波数の偏差及び幅、高調波の強度等電波の質は郵政省令で定めるものに適合するものでなければならない。
- ・ 電波の質に該当しないもの
  - 空中線電力の偏差、電波の型式、信号対雑音比
- ・ スプリアス発射の強度の許容値（必要周波数帯外の発射）
  - 960MHzを超え、**
    - 平均電力が**10W以下**の送信設備 **100μW以下**
    - 平均電力が**10W以上**では平均電力より**50db**低く、**100mW以下**

**470 MHzを超え960 MHz以下の、**  
平均電力が25 W以下の送信設備 25  $\mu$ W 以下  
平均電力が25 W以上 では平均電力より60 db 低く20 mW 以下

**30 MHzを超え 470 MHz 以下の多重通信路では**  
25 W以下の送信設備 25  $\mu$ W 以下、  
(ただし多重通信路の記述が無い場合は、2.5  $\mu$ W以下)  
25 W以上の送信設備 60 dB 低くかつ1 mW以下である値  
(ただし多重通信路の記述が無い場合は、70 dB低く1 mW以下)

- ・周波数の安定に関する規定 (許容偏差内の維持)  
**送信装置は、**できる限り**電源電圧または負荷の変化** によって  
発信周波数に影響を与えないものでなければならない  
**発振回路の方式** は、**温度と湿度の影響を受けない** こと
- ・水晶発信回路に関する規定 (発信周波数の安定)  
発信周波数が当該送信装置の水晶発信回路により又はこれと同一の条件の回路  
によりあらかじめ試験を行って決定されるものとする
- ・空中線の型式及び構成の条件
  - 1) 空中線の**利得及び能率** なるべく大であること
  - 2) **整合** が十分であること
  - 3) 十分な**指向特性** が得られること
- ・受信設備からの副次的な電波の発射  
受信空中線と電氣的常数の等しい疑似空中線回路を使用して測定した場合に、  
その回路の電力が、4000  $\mu$ W以下でなければならない。
- ・電波の表示方法  
P0N ... パルス変調・無変調パルス列 (無情報, レーダー) (D = データ伝送)  
N0N ... 無変調搬送波 (速度測定用レーダー: レーダースピードメーター)  
F7E ... 周波数変調・デジタル信号で2以上のチャンネル (E = 電話)  
F8E ... 周波数変調・アナログ信号で2以上のチャンネル (F = TV)  
F9W ... 周波数変調・デジタル信号 + アナログ信号の複合 (W = 組み合わせ)
- ・送信設備の空中線電力の許容偏差  
**470 MHzを超える** 周波数の電波を使用する固定局と多重無線設備のもの  
**上限50%** 下限50%  
**470 MHz以下** の周波数を使用する固定局  
**上限20%** 下限50%  
超短波放送、**テレビジョン放送** 又はテレビジョン多重放送を行なう放送局  
**上限10%** 下限20%
- ・安全施設に関する規定  
無線設備には、人体に危害を及ぼし又は物件に損害を与えることがないように  
郵政省令で定める施設をしなければならない
  - 1) 無線設備は、破損、発火、発煙等により人体に危害を及ぼし、  
又は物件に損傷を与えることがあってはならない。
  - 2) 高圧電気を使用するものは、外部より容易に触れることが出来ないように、  
絶縁遮蔽体又は接地された金属遮蔽体の内に收容する。  
ただし、取扱者ほ他出入りできないように設備した場所に装置する場合は除く
  - 3) 無線設備の電源回路には、ヒューズ又は自動遮断器を装置する。  
ただし、**負荷電力10W 以下** のものに関してはこの限りでない。
  - 4) 空中線、給電線、カウンターポイズ等の高圧電気を通ずるものは、  
人が歩行する平面から、**2.5メートル以上** のものでなければならない。
- ・小規模地球局の無線設備の技術的条件
  - 1 送受信器の筐体は、容易に開けることができないこと
  - 2 変調方式は、周波数変調又は位相変調であること
  - 3 空中線の交差偏波識別度は27 db 以上であること
  - 4 送信空中線から輻射される40 KHz 帯域幅当たりの電力は以下のとおり

2.5 度	(離角) < 7 度	33 - 25 log10	db 以下
7 度	(離角) < 9.2 度	12	db 以下
9.2 度	(離角) < 48 度	36 - 25 log10	db 以下
48 度	(離角) 180 度	(-) 6	db 以下

5 送信装置の発振回路に故障が生じた場合において自動的に電波の発射を停止

6 人工衛星局の中継により制御地球局が送信する制御信号を受信した場合に限り送信を開始できる機能を有すること。

#### 4.無線従事者

- 無線従事者の定義

無線従事者とは、無線設備の操作又はその監督を行う者であって、郵政大臣の免許を受けたものをいう。

- 主任無線従事者の定義

無線局の無線設備の操作の監督を行う者として選任された者であって、郵政大臣に対して、免許人から選任の届出がなされた者をいう。  
解任のときは、届け出る。

- 無線従事者以外の者の無線設備の操作

主任無線従事者の監督を受け、無線局の無線設備の操作を行なうことができる。

- 主任無線従事者の職務

- 1 無線設備の操作を行なう者に対する訓練(実習)の計画を立案し、実施すること
- 2 無線設備の機器の点検若しくは保守を行ない、又はその監督を行なう
- 3 無線業務日誌その他の書類を作成し、又はその作成を監督すること
- 4 職務を遂行するために必要な事項に関し免許人に対して意見を述べる
- 5 その他無線局の無線設備の操作の監督に必要と認められる事項

- 主任無線従事者の職務でないもの

！無線検査簿への記入

- 陸上主任講習が実施される。

選任の日から **6 箇月以内に講習** を受けさせる

講習を受けた日から、**3 年以内に講習** を受けさせる

- 操作資格範囲

空中線電力 **500W以下** の多重無線設備で **30MHz以上** の周波数の電波を使用  
+ 第二級陸上特殊の操作範囲

- 免許の取得

免許の申請は、**合格の日から3箇月以内** に行なう

- 免許の与えない場合

無線従事者の免許を取り消され、**取消の日から2年** を経過しない者

- 免許の訂正

氏名を変更した場合は、申請し、免許証の訂正を受ける。

- 届出期間

免許証を失ったとき **10日以内**

取消処分を受けた日から **10日以内**

再交付を受けた後失った免許を発見したとき **10日以内**

#### 5.無線局の運用

- 無線局の運用

免許状に記載された目的又は通信の相手方若しくは通信事項の範囲を超えて運用してはならない

無線局は、多の無線局又は電波天文業務の用に供する受信設備で郵政大臣が指定するものにその運用を阻害するような混信その他の妨害を与えないように運用しなければならない

- 目的外使用の禁止

- 目的外通信に該当しないもの

気象官署との通信（気象の照会のための通信）

- 免許状記載事項の厳守

無線局を運用する場合において、  
次のものは、免許状に記載されたところによらなければならない。

1) 無線設備の設置場所、2) 識別信号、3) 電波の型式、4) 周波数

ただし、遭難通信については、この限りではない。

- ・なるべく疑似空中線回路を使用しなければならない場合  
無線設備機器の試験又は調節を行なうために運用するとき  
実験無線局を運用するとき
- ・無線通信の原則  
必要のない無線通信は、これを行ってはならない。  
無線通信に使用する用語は、できる限り簡潔でなければならない。  
自局の識別信号を付して、その出所を明らかにしなければならない。  
正確に行うものとし通信上の誤りを知った時は、直ちに訂正しなければならない
- ・秘密の保護  
何人も、法律に別段の定めがある場合を除く他、  
特定の相手方に対して行われる無線通信を傍受して  
その存在若しくは内容を漏らし、又はこれをこれを窃用してはならない。
- ・無線電話通信における通報の送信  
語辞を区切り、かつ、明瞭に発音して行なわなければならない
- ・無線電話通信に対する準用  
特に規定のあるものを除くほか、無線局運用規則の無線電信通信の方法に関する  
規定を準用する。
- ・無線局の運用の限界  
免許人の業務又は業務の遂行上必要な事項についてその免許人以外の者が行う  
無線局の運用であって、郵政大臣が告示するもの場合は、当該免許人がする  
無線局の運用とする。
- ・呼出し方法（呼出事項）
  - 1) 相手局の呼出名称 3回以下（必須：省略不可）
  - 2) こちらは（DE） 1回（確実に連絡の設定ができるとき省略可）
  - 3) 自局の呼出名称 3回以下（確実に連絡の設定ができるとき省略可）  
省略時は、少なくとも一回以上自局呼出名称を送信
- ・応答方法（応答事項）
  - 1) 相手局の呼出名称 3回以下（確実に連絡の設定ができるとき省略可）
  - 2) こちらは（DE） 1回（必須：省略不可）
  - 3) 自局の呼出名称 1回（必須：省略不可）
- ・試験電波  
調整のための電波の発射を必要とするときは、  
他の無線局の通信に混信を与えないことを確かめる。  
調整中は、他の無線局から停止の要求がないかどうかを確かめる
- ・陸上移動局にあつては、  
その無線設備の常置場所に免許状を備え付け、かつ、郵政大臣が別に告示する  
ところにより、その送信装置のある場所に郵政大臣が発給する証票を備え付け  
なければならない。

## 6.業務書類

- ・無線局に備え付けを要するもの
  - 1) 正確な時計
  - 2) 無線検査簿
  - 3) 無線業務日誌
- ・固定局に備え付けを要する書類
  - 1) 免許状
  - 2) 電波法及びこれに基づく命令の集録
  - 3) 申請書の添付書類の写し
  - !) 無線従事者選解任届の写しは該当しない
- ・免許状の備付け

免許状は、主たる送信装置のある場所のみやすい場所に掲げておく  
ただし、掲示を困難とするものについては、その掲示を要しない  
V S A T地球局にあっては、V S A T制御地球局の無線設備の設置場所とする

- ・ 免許状の訂正  
免許状に記載した事項に変更を生じた時には、その免許状を郵政大臣に提出し、訂正を受けなければならない。
- ・ 免許証の携帯  
その業務に従事しているときは、免許証を携帯していなければならない
- ・ 無線検査簿  
使用を終わったら次の定期検査まで保存しなければならない  
再免許を受けた無線局は、従前の無線検査簿をそのまま継続して使用する。  
検査を行った場合、検査の結果について、適当な措置をしたときは、その措置の内容を無線検査簿又は検査の結果に関する通知文書の余白に記載するとともに、郵政大臣又は地方電気通信監理局長に報告する。
- ・ 無線業務日誌  
記載事項
  - 1) 無線従事者の氏名、資格、サービス方法
  - 2) 非常の場合の無線通信の実施状況
  - 3) 空電、混信、受信感度の減退等の通信状態
  - 4) 周波数の偏差、およびその措置の内容
  - 5) 機器の故障の事実、原因及びこれに対する措置の内容
  - 6) 電波の規制について指示を受けた場合の、事実と措置の内容
  - 7) 電波法に違反して運用した無線局を認めた場合はその事実
  - 8) その他参考になる事項!) 「一日の延べ通信時間又は通信回数」は記載しない  
保存期間  
使用を終わった日から **2年間保存** する
- ・ 免許状の返納  
免許が効力を失ったときは免許人は、**1カ月以内に返納** しなければならない
- ・ 無線従事者を選任又は解任した時  
遅滞なくその旨を郵政大臣に届け出なければならない
- ・ 固定局の免許人は、無線業務日誌によって、毎年1月から12月までの期間中における所定の事項を簡明に記載した抄録を速やかに郵政大臣に提出しなければならない

## 7. 監督

- ・ 電波の停止と試験のための発射  
電波の質が郵政省令に適合していないとき、臨時に電波の停止を命ずる  
電波の質が適合するに至った場合、試験的に電波を発射させる
- ・ 臨時検査  
電波法の施行を確保するため特に必要のあるとき（臨時に電波を止める）  
検査対象...無線設備、無線従事者の資格及び員数、時計、書類
- ・ 免許人が電波法もしくはこの法律に基づく命令、処分に違反した場合  
**3カ月以内の無線局の運用の停止**。  
一定期間の運用許容時間、周波数もしくは空中線電力を制限することができる
- ・ 免許人の免許取消
  - 1 正当な理由がないのに無線局の運用を引続き **6カ月以上休止** したとき。
  - 2 不正な手段で免許を受けたり、変更を行なわせたとき。
  - 3 無線局の運用の停止の命令、又は運用許容時間、周波数、空中線電力の制限に従わないとき。
  - 4 電波法等に規定する罪を犯し、罰金以上の刑に処せられ、その執行を終わり、又は、その執行を受けることがなくなった日から **2年を経過しない者** に該当。
- ・ 無線従事者の免許の取り消し、または、**3箇月以内の従事の停止**  
電波法若しくは、これに基づく命令・処分等に、違反したとき。

不正な手段で免許を受けたとき。

著しく心身に欠陥があって、無線従事者たるに適しない者になったとき。

・ 郵政大臣への報告

遭難通信・緊急通信・安全通信又は非常通信を行なったとき。

電波法又は電波法に基づく命令の規定に違反して運用した無線局を認めるとき。

・ 免許を要しない無線局及び受信設備に対する監督

郵政大臣は免許を要しない無線局の無線設備の発する電波又は受信設備が副次的に発する電波若くは高周波電流が他の無線設備の機能に継続的かつ重大な障害を与えるときは、その設備の所有者又は占有者に対し、その障害を除去するために必要な措置をとるべきことを命ずることができる。

## 8. 罰則等

・ 電波利用料金制度

・ 無線通信を妨害

5年以下の懲役、又は250万円以下の罰金

・ 1年以下の懲役 又は50万円以下の罰金

無免許で無線局を開設し又は運用した者

電波法に違反して運用したもの

秘密を漏らしたもの

・ 2年以下の懲役又は100万円以下の罰金

無線従事者が秘密を漏らした場合

・ 30万円以下の罰金

業務に従事することを停止されたのに、無線設備の操作を行なった者

・ 罰則の適用されるもの

事故若くは他人に利益を与える目的で、無線設備によって虚偽の通信を発したものの

無線設備によってわいせつな通信を発したものの

無線局の取扱中に係る無線通信の秘密を漏らし、又は窃用したもの

( ! 日本国籍を有しないのに、無線従事者の免許を受けたもの、は罰則なし。開局すると罰。 )

以上

---

## 第一級陸上特殊無線技士試験対策メモ == 無線工学 ==

### 1. 多重通信の概念

・ マイクロ波多重通信の特徴

周波数帯幅が広くとれるので、高品質の伝送が可能、多重度が大きくとれる。

周波数が高くなるほど

小型の空中線でも利得を大きくできるので送信器出力が小さくてすむ。

同一寸法の空中線でも指向性が鋭くできるので、混信が少なく、

同一の周波数を繰り返し使用でき、二周波中継方式が採用できる。

直線の伝搬特性のため、原則的には、見通し距離内の通信に限定されるが、

フェージングなどが少なく、安定で信頼度の高い伝送ができる

自然雑音及び人工雑音の影響を受けることが少なく、S/Nの良い通信が可能

大気圏を通過するとき、大気の流れによって対流圏散乱伝搬することがあるが、

電離層散乱伝搬で遠距離まで伝わることはない。

地形、建物の影響が大きく、周波数が高くなるほど、雨や雪の影響が大きくなる

多重度を大きくとることによって、1チャンネルあたりの建設経費を安くできる

中継局では、送受信空中線を同一場所に設置できるので建設保守が容易

給電線として、3GHz以下では同軸ケーブル、3GHz以上では導波管を使用。

10GHz以上のマイクロ波では、雲、霧、雨による減衰が著しく、このため

回路設計では、降雨減衰マージンを確保する必要がある。



多重通信 多数のチャンネルを取る 広い周波数帯が必要になる (HFには不適)  
マイクロ波での雑音 熱雑音・準漏話雑音・干渉雑音  
熱雑音 抵抗中の電子の運動によって生じる  
準漏話雑音 回線相互間における漏話。非直線形、遅延ひずみ  
干渉雑音 中継局でマイクロ波が相互干渉する

#### ・周波数分割多重方式 FDM

異なる搬送周波数で振幅変調し、複数の信号に周波数帯域を割り当てる方式

##### 利点

同一周波数帯幅では時分割多重方式より多くのチャンネルがとれる

##### 欠点

伝送路に非直線性があると、非了解性の漏話(雑音)が生じ、S/Nが悪化する  
一部のチャンネルのひずみが全体に影響する

多重化されたチャンネルを分割するために他数の高性能帯域フィルタが必要

#### SS-FM方式

搬送端局装置でSSB(単側波帯)変調された多重信号で  
送信機の主搬送波を周波数変調する方式

SS-FM方式における雑音

三角雑音(エンファシスで対策)

準漏話雑音 非直線性

了解性漏話雑音

干渉雑音

SS-FM方式における準漏話の原因

非直線ひずみ(振幅ひずみ)

#### SS-PM方式

搬送端局装置でSSB(単側波帯)変調された多重信号で  
送信機の主搬送波を位相変調する方式

電話回線の多重構成 (4KHz, 12ch x 5 = 60ch)

- 1) 電話1チャンネルごとに4kHzの周波数帯を割り当てる
- 2) これを12チャンネル並べて基礎群とする
- 3) この基礎群を5個並べて超群とする 12x5=60
- 4) 超群を必要個数並べて必要チャンネルの多重信号を作る

#### ・時分割多重方式 TDM

多数の音声信号を時間的にずらして配列し、1つのデジタル信号に変換する。  
(多数のデジタル信号を時間軸上に多重化)

搬送波を4,8相の多相でPSK変調あるいは、多値で直相振幅変調(QAM)  
した、デジタル変調信号を送信する。振幅と位相を変調。

##### 利点

伝送回線の非直線性ひずみは、漏話の原因にならない。

信号が、[0],[1]だけなので、回線のルート変更が容易

端局装置が簡単。たくさんのフィルタは必要ない

スライサ・クリッパで、S/Nを改善できる

あるチャンネルにひずみがあっても全体には影響しない

##### 欠点

パルスを使用するため周波数分割多重方式より広い占有周波数帯幅が必要  
同期が崩れると全回線が同時に通信不能になる

アナログ系回線と接続する場合は、変換装置の付加が必要

量子化雑音がある (対数圧縮器で軽減)

## PCM多重通信方式

アナログ信号をパルス符合変調によってデジタル信号に変換したのち、  
時分割多重 (TDM) する方式

PCM方式において

- 標本化 パルス波形列
- 量子化 近似
- 符号化 2進符号

フレーム同期パルスを24CHごとに1つ入れると8KHzのサンプリングでは  
 $(24 \times 8 + 1) \times 8000 = 1.544 \text{ MHz} \quad (0.648 \mu\text{s})$

### ・アナログハイアラキー (<-> デジタルハイアラキー)

伝送周波数帯域の多重化変換手順

	基礎群	基礎超群	基礎主群	基礎超主群	基礎巨群
アナログ	12 ch x5	60 ch x5	300 ch	900 ch	3600 ch
デジタル	24 ch x4	96 ch x5	480 ch		

### ・アナログ信号からデジタル信号への変換

アナログでの通話路信号帯域を4 [kHz]とすると標本化定理より2倍の周波数  
(8 kHz)で標本化すれば原音を完全に再生できる。つまり125 [μs]の周期で  
振幅の標本をとればよいから (4KHz, 125us, 64kbps)

$$8 / (125 * 1 / 10^6) = 64 * 10^3 (\text{bit/s}) = 64 (\text{kbit/s})$$

### ・デジタル方式はアナログ方式より信号電力対雑音電力比 (C/N) が小さい (=> 雑音指数)

#### ・デジタルハイアラキー

24 ch x4 96 ch x5 480 ch

#### ・パケット交換方式

データをパケット形式で「交換機」に蓄積させる  
比較的小容量のデータ伝送に適する。 256オクテットが基本。

#### ・衛星通信の特徴

食のときは通信できない。(春分及び秋分を中心に発生)  
衛星が見通せる所なら、どこでも、通信可能  
同報性、広い周波数帯域が利用可能、コストが一定、回線の設定が柔軟  
災害を受けない、信頼性が高い。移動体にも適する。  
電波の往復に0.5秒かかる。大気の影響、水蒸気による電波の減衰がある。

#### ・静止軌道衛星の条件 衛星の質量は関係ない。

(高度: 35,786 Km、速度: 3.075Km/s、周期: 23時間56分04秒)  
地球1周 4万Km; 地球半径 6,400Km; 地球直径 12,800Km

#### ・静止衛星の特徴

常に安定した通信が可能。追尾不要。

#### ・静止軌道衛星の姿勢安定方式

コマの原理を利用したスピン安定方式(二軸安定方式)  
アンテナビームを地球に向けるための、ビーム制御が必要  
3軸制御方式 -> 大型衛星、形状の自由度が高い

## (7.衛星通信)

- ・衛星通信と周波数
  - C バンド 6/4 GHz
  - K u バンド 14/12 GHz
  - K a バンド 30/20 GHz
- ・衛星通信回線
  - ポイント・ツウ・マルチポイント型
  - ポイント・ツウ・ポイント型
  - 双方向型
- ・多元接続
  - 周波数分割多元接続方式 F D M A (Frequency Division Multiple Access)  
(SCPC: Single Channel Per Carrier)
  - 時分割多元接続方式 T D M A (Time Division Multiple Access)
  - 符号分割多元接続 C D M A (Code Division Multiple Access)  
(SSMA; Spread Spectrum Multiple Access, スペクトル拡散方式、異なる拡散符号で)
- ・V S A Tシステム送受信装置
  - V S A T制御地球局装置
  - V S A T地球局装置

## 2.基礎理論

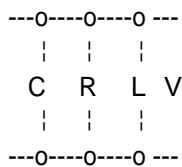
- ・導線へ高周波電流を流した時の電流分布
  - 電流は表皮効果により周辺部に集中する
- ・圧電効果
  - 水晶等の結晶体から切り出した板に圧力を加えると、  
圧力に比例した電荷が現れる現象
- ・インピーダンスZの逆数 アドミタンスY (単位:ジーメンズ[S])
- ・抵抗Rの逆数である g コンダクタンス (単位:ジーメンズ[S])
- ・アドミタンスの虚数部分 b サセプタンス (単位:ジーメンズ[S])

$$Z = R + jX \quad Y = g - jb = \frac{1}{R + jX} = \frac{1}{Z}$$

- ・共振回路

$$\text{共振周波数 } f_0 = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$$

並列共振



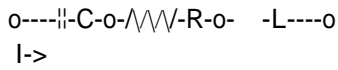
$$Q = \frac{IL}{IR} = \frac{V}{L} \cdot \frac{R}{V} = \frac{R}{L} = CR \quad (R \text{ が下がると } Q \text{ も下がる})$$

並列共振 2



$$Q = \frac{1}{CR} \quad (\text{Rが下がるとQは上がる；直列と同様；電流増大作用})$$

直列共振



$$Q = \frac{VL}{VR} = \frac{L}{R} \quad (\text{Rが下がるとQは上がる；電圧増大作用})$$

Qが大きくなると共振の尖鋭度が鋭くなる

・四端子回路網

$I_1$	$I_2$	
$Z$		
E1 :	:	E2
:	:	:
<p>電流一定 <math>\rightarrow I_1 = I_2</math>                      <math>\begin{vmatrix} E1 &amp; A &amp; B &amp; E2 \\ I1 &amp; C &amp; D &amp; I2 \end{vmatrix} \text{ここに } (AD - BC) = 1</math></p> <p><math>E1 = E2 + Z \times I2</math></p>		
$I_1$	$I_2$	$A = 1, B = Z, C = 0, D = 1, \begin{vmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$
:	:	:
E1 :	Z	E2
:	:	:
:	:	:
<p>電圧一定 <math>\rightarrow E1 = E2</math>                      <math>A = 1, B = 0, C = 1/Z, D = 1, \begin{vmatrix} 1 &amp; 0 \\ 1/Z &amp; 1 \end{vmatrix}</math></p> <p><math>I1 = E2/Z + I2</math></p>		

・平行二線式線路

特性インピーダンス Z

$$\frac{d}{d}$$

$$Z_0 = 277 \log_{10} \left( \frac{2D}{d} \right) \quad ( )$$

D: 線間距離  
d: 導線の直径

同軸ケーブルの特性インピーダンス

$$Z_0 = \frac{138}{r} \log_{10} \left( \frac{D}{d} \right) \quad ( )$$

D: 同軸ケーブルの内径  
r: 比誘電率  
d: 内導体の直径

- ・受端が短絡された無損失平行2線式線路 (送端と受端間の長さ l)
- l =  $\lambda/4$  のとき、インピーダンスは最大となり並列共振する
- l =  $\lambda/2$  のとき、インピーダンスは最大となり直列共振する

反射係数

特性抵抗  $R_0$  と異なった負荷  $R_r$  で終端すると定在波が生じる。  
受端における反射波と入射波の電圧比

$$\text{反射波} = \frac{R_r - R_0}{R_r + R_0}, \quad S = \frac{1 + |\Gamma|^2}{1 - |\Gamma|^2} = \text{定在波比}$$

・空洞共振器

$$Q = \frac{P \text{ (共振回路に蓄えられるエネルギーの最大値)}}{W \text{ (共振回路で消費されるエネルギーの平均値)}} \quad (Q = 2 \pi f)$$

$$Q = \frac{V \text{ (空洞共振器の体積(空洞空間内に蓄えられるエネルギー))}}{S \text{ (空洞共振器内壁の表面積(表面で失われる損失))}}$$

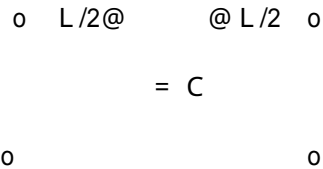
Q を高くするには

導電率の良い材料(金、銀、銅等)を用いてWを小さくする  
体積と表面積の比を大きくする  
湿度が高く、内壁に水分が付着するとQが下がるので内部は常に乾燥すべき

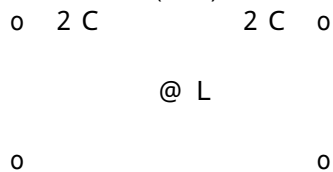
$$Q = \frac{f_0}{2 \pi f} \quad \text{共振周波数 } f_0 \text{ 共振点インピーダンスの } 1/2 \text{ となる周波数までの周波数のずれ } f$$

・フィルタ(基本構成)

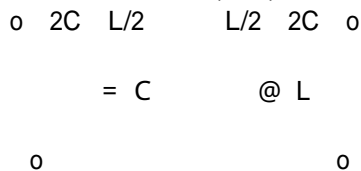
低域フィルタ (LPF)



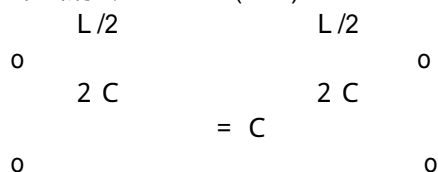
高域フィルタ (HPF)



帯域通過フィルタ (BPF)



帯域除去フィルタ (BEF)



・ 方形導波管

長辺の内壁の長さ: a [cm]

遮断波長:  $c = 2a$  [cm] 15

遮断周波数:  $f_c = 3 \times 10^{10} [cm] / 2a [cm] = \frac{15}{a}$  GHz

・ 方形導波管内の電磁波の速度

群速度:  $V_g = c \sqrt{1 - (c/2a)^2}$   $V_g = c \sqrt{1 - (\frac{15}{2a})^2}$

位相速度:  $V_p = c / \sqrt{1 - (c/2a)^2}$  2a

$$V_g \times V_p = c^2 = 30 \times 30 \times 10^{18} = 9 \times 10^{20}$$

c: 光速(真空中)  $V_p = f \times \lambda$   $V_g = \frac{c}{\sqrt{1 - (c/2a)^2}}$

: 波長  $\lambda = \frac{c}{f}$   $\lambda = \frac{c}{f} \sqrt{1 - (c/2a)^2}$

c: 方形導波管内の遮断波長

a: 方形導波管の長辺の内壁の長さ =  $\frac{c}{2}$

群速度は自由空間における速度より遅い。 c

・ 円形導波管

基本モードは TE<sub>11</sub>

方形導波管に比べて高い周波数での使用に適する。

・ 導波管のスリット

容量性(リアクタンス)窓

o o

= C

o o

誘導性(インダクタンス)窓

o o

@ L

o o

LC並列回路

o o

C L

o o

記号の読み方

b

a

b 面の山の数

H 1 0 (T E 1 0)

a 面の山の数

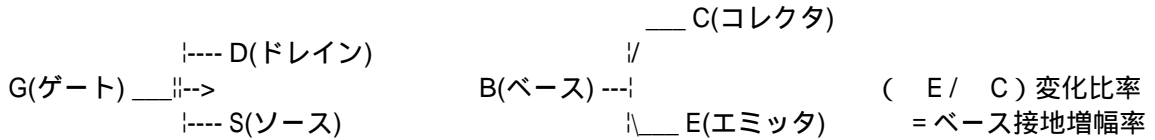
- ・マジック T (問題集: p.33 [36])
  - E 面 T 分岐と H 面 T 分岐を組み合わせた構造
  - 導波管の分岐回路の一種
  - A と B が整合しているとき
    - C から電波を入れると
      - A と B から等分に同位相で出る。D からは出ない
    - D から電波を入れると
      - A と B から等分に逆位相で出る。C からは出ない
    - A から電波を入れると
      - C と D から出る。B からは出ない
  - 測定器をつないで『反射係数』を求め、『定在波比』を求めることができる
- ・ファラデー回転形サーキュレータ (問題集: p.33 [37])
  - 非可逆回路の一種
  - 送受分波回路、フィルタと組み合わせる
    - チャンネル分岐回路
    - 位相変調回路
    - テレビ受信機の局部発信回路の漏洩電波による妨害の除去
  - 送受空中線共用回路には適さない**
  - 磁界はファイライト棒と平行に加える
- ・接合形サーキュレータ
  - フェライトの軸方向に磁界をかける
- ・反射型クライストロン (問題集: p.34 [39])
  - 発振
    - 1) K から出た電子は G1, G2 に加えている正電圧  $V_c$  によって加速され R へ向かう
    - 2) G1, G2 間には空洞の固有周波数に同調した電界があり電子流は速度変化する
    - 3) R には負電圧  $V_R$  を加えているため、電子は引き返す
    - 4) 引き返す間に集群されて密度変調した電子流の位相が C に発生した振動と同じ位相になれば発振は持続する
    - C の電位は K に対して数百ボルト程度正に保たれている
  - 発振周波数を変化させる方法**
    - リペラ電極 R の電圧を変化させる
    - 空洞共振器 C の容積を変化させる
- ・進行波管増幅回路 TWT (問題集 p.37 [45])
  - \* 反射型クライストロンと違い、空洞共振器を用いずに作用空間内を高周波電界と電子流が同じ速度で進行するようにしたもの
  - \* 電子流と高周波電界を同じ速度で進行させるためには電界の伝搬速度を光速の約  $1/10$  まで遅くするような遅波回路が必要。
  - これには『ヘリックス(らせん)』が用いられる
  - \* **電力増幅**
- ・同軸型マグネトロン
  - パルスレーダ装置の送信管
  - レーダー波の発振増幅

(3.半導体、電子管及び電子回路)

Si 4価; Ga, In 3価(ホール P)アクセプタ  
Sb, As 5価(電子 N)

・電界効果トランジスタ(FET)

接合形トランジスタ



FET

入力インピーダンスが高い  
高い周波数で使用できる  
MOS形と拡散形(接合形)がある  
MOS形は接合部にシリコン酸化皮膜を作ったもの。  
MOS形は拡散形より入力インピーダンスが飛躍的に高くなる  
「多数キャリア」だけが電子の運び手となる「ユニポーラ トランジスタ」  
(普通のトランジスタ は多数、小数両キャリアが運び手となるバイポーラ)  
GaAs(ガリウムヒ素)FETはより高い周波数で使用できマイクロ波帯にも適す

・ダイオード

インパットダイオード (IMPATT)

ダイオードに「逆電圧」を加え、徐々に電圧を上昇させ、ある電圧以上になると、電界によって電子がなだれ現象を起し、電圧変化に対し電流が急激に増加する。この現象を利用して高出力、超高周波の「発振器」に使用される。

80GHz帯ぐらいまでの発振(マイクロ波とミリ波の一部)  
**ガンダイオードより広い周波数帯域にわたり発振**

ガンダイオード (Gunn)

「N形GaAs」単結晶をある方向で切断した薄板の両端に3000V/cm以上の電圧を加えると、「マイクロ波からミリ波帯」の振動電流を得ることができる。  
**負性抵抗性**。低い電圧で動作、低雑音、小型軽量。

ツェナダイオード

Si接合形ダイオードが降伏状態では、電流変化に対し電圧変化が小さい現象を利用して定電圧素子に用いる。**定電圧ダイオード**。

バラクタダイオード (Variable Reactance)

可変容量ダイオード。「逆方向電圧」を加えるとコンデンサの働きをする。電圧を上げると、容量が減り、「**可変容量素子**」として使える。「AFC:自動周波数制御回路」などに使用される。

マイクロ波帯の発振には使用されない。

ピンダイオード

P形、真性(I)、N形の三層構造を持つダイオード。逆バイアスにして、線などの**放射線検出器**として用いられる。アバランシェダイオードとも呼ばれる。

トンネルダイオード(エサキダイオード)

**不純物濃度を非常におおきくした**、PN接合で、順方向特性のトンネル効果により現われる負性抵抗を利用して、マイクロ波の発振、増幅などに使用

・負帰還増幅回路



## 特徴

増幅度(利得)は低下

**利得が安定化**

**周波数特性の改善**

**ひずみなどの軽減**

増幅度  $A_f$

$$A_f = \frac{A}{1-A}$$

A : 帰還をかけない時の増幅度  
: 帰還率

## ・発振回路

○ コルピッツ発振回路

2つのコンデンサの間にエミッタを接続 (C-E-C)

○ ハートレー発振回路

コイルに中間タップを出してエミッタに接続

○ ピアース B E 発振回路

ベースエミッタ(B E)間に水晶振動子を入れる

○ ピアース B C 発振回路

コルピッツの変形。B C間の水晶振動子が誘導性、B Eが容量性、C Eの同調回路が容量性の時発振。発振を安定させるため同調周波数を発振周波数より少し低くして容量性リアクタンスとする。

○ 無調整発振回路

コレクタ回路に調整を必要とする同調回路がない

## ・変調回路

**コレクタ変調**

B、C級で動作

平衡変調

トランジスタを向かい合わせて作る

リング変調

ダイオード4つでリングをつくる

## ・比検波回路

大容量のコンデンサを接続している

振幅制限作用あり 振幅制限器不要

出力はフォスターシーレー型の半分

2個のダイオードのうち、**1個は極性を反対**に接続する。

## ・フォスターシーレー型周波数弁別回路

2個のダイオードは同じ向き。

図はp.66

## ・周波数帯域幅の必要以上の制限

符号間の干渉を引き起こす

## ・マルチバイブレータ

非安定

単安定 (p48)

双安定 (フリップフロップ) 2つの安定状態を持ち、1つの安定状態を保持する

## ・集積回路(IC)

シリコン 半導体IC(モノリシックIC)

セラミック ハイブリッドIC

## ・周波数帯幅が制限された、方形パルスの影響

パルス波形が丸みをおびて裾が広がった形となり、

前後のパルスとの間に符号間干渉を起こす。

- PLL (Phase-Locked-Loop)回路  
電子サーボループを持つ回路、**位相検波**、**ローパスフィルタ**、電圧制御発振器及び、基準発振器から構成されている。(コンパレータ、VCO)
- NAND/AND/OR/NOR 等の論理回路

### 3.多重変調方式 (4.多重変調方式)

- 時分割多重方式  
PPM-AM パルスを信号で『位相』変調して主搬送波を『振幅』変調する  
PAM(±)FM パルスを信号で『振幅』変調して主搬送波を『周波数』変調する

- パルス変調方式  
PAM パルス振幅変調                      パルスの高さ (Amplitude)  
PFM パルス周波数変調                    パルスの周波数 (Freq.)  
PWM パルス幅変調                        パルスの幅 (Width)  
PPM パルス位相変調                      パルスの位置を時間的に動かす (Pulse)  
PCM パルス符号変調                      パルスの符号 (Code)

- 周波数分割多重の漏話の原因  
非直線ひずみ 送信機における変調器，受信機における復調器 負帰還直線歪み

- S S - F M方式の S/N 改善率 I F M  
周波数偏移度が大きいほど S/N 改善も大きくなる。  
改善の度合は変調指数の 2 乗に比例

$$IFM = \left(\frac{f_{d0}}{f_v}\right)^2 \cdot \frac{B}{f_s}$$

$f_v$ : 通話チャネルのビデオ周波数[kHz]  
 $B$ : 受信器の通過帯域幅[kHz]  
 $f_s$ : 音声信号の周波数帯域幅[kHz]  
 $f_{d0}$ : 周波数偏移の実行値

$$IFM = 10 \log\left(\frac{f_{d0}^2 B}{f_v^2 f_s}\right) \text{ [dB]}$$
$$\text{変調指数} = \frac{f_{d0}}{f_v} = \frac{f \text{ (周波数偏移)}}{\text{信号波電流周波数}}$$

- S S - F M方式における雑音  
三角雑音  
準漏話雑音:非直線性  
了解性漏話雑音  
干渉雑音
- S S - F M方式における準漏話の原因  
非直線ひずみ( 振幅歪み)
- S S - F M方式における占有周波数帯域幅  $f_B = 2(Lc \cdot f_{d0} + f_m)$   
 $Lc$  = 最大負荷係数  
 $f_{d0}$  = 試験音により生じる周波数偏移  
 $f_m$  = 最高変調周波数

- ・SS-PM方式のS/N改善率IPM

$$IPM = 10 \log(m_0^2 \frac{B}{fs}) \text{ [dB]}$$

$m_0$ : 通話チャネルの位相変移量の実効値[rad]  
 $B$ : 受信器の通過帯域幅[kHz]  
 $fs$ : 音声信号の周波数帯域幅[kHz]

- ・復調回路

比検波回路

振幅制限作用を持ち、振幅制限器がなくても良好に動作する

フォスターシーレー形周波数弁別回路

出力は同じ条件ならば比検波回路の2倍

- ・PCM通信方式における雑音

量子化雑音 **対数圧縮器** で軽減する

- ・2値符号の代表的な伝送符号形式

NRZ符号、RZ符号、AMI

問題集p.86の図参照。

- ・16値振幅位相変調方式

位相偏移と振幅を変化させる16値の振幅位相偏位変調(APS K)

位相と振幅の信号配置点には、円形、直交、三角形、六角形などがある

振幅と位相が直交配置の16値APS Kが**QAM**(直交振幅変調)である

問題集p.87解答番号[32]参照。

(直行した $2^m$ 値のAM信号2波を合成して得られる $2^{2m}$ 個の信号点を持つ)

- ・パルススタッフ同期

時分割多重方式において、多重化される各デジタル信号は、

公称ビットレートが同じでも同一クロックで動作しているとは限らず、

非同期信号として扱う必要があることが多い。この場合、

多重信号の同期化の方法としてパルススタッフ同期方式の技術が用いられる。

#### 4.無線送受信装置

- ・マイクロ波中継用送受信回路(ヘテロダイン中継方式)

1) 受信マイクロ波を**中間周波数に変換**し増幅

2) 再びマイクロ波に変換して増幅し送信する

3) 受信波と送信波の干渉を避けるため、適当な周波数間隔をとる。

発振回路の発振周波数

= 受信周波数 ± 中間周波数 ± 送受信波の周波数間隔

~~~~~>受信局発生回路の周波数

= 送信周波数 ± 中間周波数

- ・マイクロ波中継用の送受信回路に必要なもの

アイソレータ, 位相推移器, 分岐回路, 受信混合器

コンパウンダ(伝送時レベル範囲拡大とは関係ない)

- ・送受信装置の構成回路

BPF(帯域通過フィルタ)

SS-FM方式で送信信号が受信回路に、

または受信信号が送信回路に入るのを防ぐ

## アイソレータ

- マイクロ波帯の回路に用いられる
- 一方向だけの電波を通し、反対方向の電波はほとんど通さず吸収する
- クライストロンなどの周波数変動の除去
- 信号波の反響ひずみの除去
- 周波数変換器におけるひずみ発生の除去
- 送信アンテナからの入力の吸収
- 受信混合器からの漏れ出力の吸収

## A G C 回路 (自動利得制御回路)

入力信号の変動に対し自動的に利得を調整して出力レベルを一定にする回路

## A F C 回路 (自動周波数制御回路)

発振器の発振周波数を自動的に調整して常に所要の周波数に保持する回路

## 周波数弁別回路

周波数変化を振幅変化に変換する回路

## ・ 比検波回路

- 周波数変調波の検波に用いられる
- 2個のダイオードが互いに逆方向に接続され負荷抵抗の並列容量が非常に大きい
- 大容量のコンデンサを持つ、振幅制限器が不要

## ・ 周波数分割多重方式の端局装置で、各通信路を分離するときには、 帯域消去フィルタは用いられない。

- ・ A G C : 自動利得制御装置          Automatic Gain Control
- ・ A F C : 自動周波数制御装置        Automatic Freq. Control

## ・ 受信器で発生する混信

- 混変調                                  非直線・混信
- スプリアスレスポンス                増幅器系
- ハウリング
- 相互変調                                受信器に二つ以上の不要波

## ・ 受信雑音電力 $P_{rn}$

$$P_{rn} = kTBf$$

- k: ボルツマン定数
- T: 絶対温度
- B: 受信器の通過帯域幅
- F: 受信器の雑音指数

## ・ F M方式のスレッシュヨルドレベル $P_{th}$

$$P_{th} = 8P_{rn}$$

## ・ 受信性能指数(G/T)(問題集p.98,p.108,[24])

- = 受信アンテナ実効利得-受信系の等価雑音温度
- 送信系の性能 e.i.r.p (等価等方ふく射電力 = 実効利得 x 出力)

## ・ 縦続総合雑音指数

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_a} \quad (2 \text{ 段}) \quad (3 \text{ 段以降は } G \text{ は積になる ; } G_1 G_2 G_3 \dots G_n)$$

## ・ 等価雑音温度 $T_e = T_0 (NF - 1)$ ; NF 雑音指数 (dB単位の場合は真値 (温度) に変換してから)

## ・ 雑音の種類

### 三角雑音

F M検波した出力は周波数変移に比例するため、復調後の周波数の高い雑音ほど振幅が大となる。(高周波を強調しエンファシスで対策)

### 準漏話雑音

振幅器、変復調器に非直線部分があると、信号相互間に漏話を生じる

### 熱雑音

抵抗体の中の電子の運動によって生じる雑音。装置から発生する

### 了解性漏話雑音

通話の秘密を損なう危険性があるので厳しく制限されている

### 干渉雑音

中継局などでマイクロ波通信回線を多数設定する場合に相互干渉によって生じる。または遠距離からの電波干渉によっても生じる

**疑似雑音(PN)(符号) はスペクトラム拡散に 使われる符号化技術**

### ・雑音指数

伝送系の入力側と出力側の比をいう。(有能信号電力/有能雑音電力)の入力側と出力側の比

デジタル方式はアナログ方式より信号電力対雑音電力比(C/N)が小さい

$$C/N = (E/No)R \quad (R, \text{bit rate}; E, \text{bit当りの信号のエネルギー})$$

### ・マイクロ波多重中継回線で生じる各種の問題の対策

#### フェージング

大気現象、直接波と大地反射波の干渉、電波の回折などで受信電界強度が変化する現象

対策：『ダイバーシティ』法などで受信入力レベル変動に対して常に『一定の出力』が得られるようにする

**ルートダイバーシティ** (局地的降雨対策)

**スペースダイバーシティ** (干渉性フェージング対策)

自動等化器(変化する特性を自動的に補償; 周波数領域・時間領域等化器)

#### 装置内部で生じるひずみ

装置の振幅及び位相特性の非直線性によって生じる

対策：広帯域に渡って装置の周波数特性が『直線性』を保つようにする

#### 干渉波障害

対策：近接波などによる干渉波障害に対しては受信装置を十分な『選択度特性』のものにする

#### 周波数偏差の累加

中継局の発振器の周波数不安定によるもの

対策：十分な周波数安定度を有する『発振器』を用いる

#### 熱雑音

対策：避け難いものであるができるだけ熱雑音の少ない装置を用いる

### ・反射形P S K変調器

1)入力された搬送波は、サーキュレータをへて変調パルスで動作する

ダイオードのついた短絡導波管に入る

2)変調パルスが正(ダイオードが導通)...ダイオードで反射

3)変調パルスが負(ダイオードが遮断)...ダイオードを通過し、短絡板で反射  
ダイオードの状態によって搬送波経路長を変えることによって位相変化させる  
ダイオードと短絡板との距離(短絡導波管の長さ)l

$$l = \frac{\lambda}{4} \quad \begin{array}{l} \lambda : \text{波長} \\ \phi : \text{変調位相量} \end{array}$$

l = λ/4とすると

入力が**正のパルス** のとき 出力搬送波の位相変化 0

**負のパルス**

4相PSKは2相PSKの2倍の情報量を持つ。 /2位相器。  
 2相PSK 2値 0, /2  
 4相PSK 4値 0, /2, /3, /4

・デジタル変調方式

PSK(Phase Shift Keying) 位相偏移  
 ASK(Amplitude Shift Keying) 振幅偏移  
 FSK(Frequency Shift Keying) 周波数偏移  
 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 直交振幅変調  
 搬送波の振幅と位相を同時に変化させる

・C/Nが同じ場合、**2PSK変調**は16PSKや16QAMなど多値の方式より**誤り率は小さい**。(PSK方式は誤り率が小さく優れている。)2PSKより16QAMのほうが10dBほど余計に電力がかかる!

・bps (bit per second)データ転送速度 ; baud (ボー) データ変調速度 (1秒間に何回変調作業があるか)

・UB変換([35],問題p.102,解答p.112)

ユニポーラ信号をバイポーラ信号に変換すること。  
 単極パルスを両極パルスに変換する。

・同期検波回路

被変調波から無変調搬送波を取りだし、それを用いて被変調波を検波する。

・デジタル信号の無線伝送時における**誤り率改善方法**で

([38,39],問題p.103,解答p.113)

非同期検波・遅延検波は関係ない。

改善方法：**異なる偏波・インターリーブ周波数配置、スペースダイバーシチ**

**原因に適合した誤り制御符号を使用、自動等化器** (フェージング対策)

・PLL(Phase-Locked-Loop)回路 (入力信号と出力信号の位相をVCOにより制御する回路)

入力 位相比較器(PC) LPF

電圧制御発振器(VCO)-->出力

5.レーダ(8.レーダ装置)

・レーダにマイクロ波を用いる理由

- 波長が短い程、電波の直進性が良い
- 波長が短い程、小さな物標からの反射が強い
- 波長が短くなると容易に指向性の鋭いアンテナが得られる。
- 波長が短くなると短いパルス波を使用でき、外部からの混信妨害が減少する
- 波長が短すぎると雨や霧、雪などによる減衰が大きくなる。

・ドップラー効果

例、自動車の速度測定用レーダ

CWレーダの一種

走行する自動車によって生じるドップラー周波数が自動車の速度に比例する

$$f_d = 2f_0 \cdot (v/c)$$

・パルスレーダ装置の送信管 マグネトロン

・レーダの送信電力

せん頭電力  $p_X$  で表す。

せん頭電力  $p_X$  と平均電力  $p_Y$  の関係式:

$$p_Y [W] = \text{せん頭電力 } p_X [W] * \text{衝撃係数 } D$$

$$\text{衝撃係数 } D = \text{パルス幅/パルス繰り返し周期} = \tau / T$$

$$\text{したがって, } p_X = p_Y / D = p_Y * T / \tau [W]$$

・レーダの平均電力

$$p_Y = p_X * \tau / T [W]$$

・パルスレーダの**最大探知距離** (レーダ方程式)

[8,9]問題p.116解答p.122

「送信電力」「アンテナ利得」「波長」「目標の等価面積」「最小受信信号電力」

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 p_{\min}}} \quad \text{: 目標の面積 ; } p_{\min}: \text{受信最小電力}$$

・**距離分解能** :  $R = 150 [m]$

・**方位分解能** : 空中線の水平面内のビーム幅が狭い程良い。

・レーダの最大探知距離の性能向上のための条件

1) 『パルス幅』を広くし、『周期  $T$ 』を長くする

2) 空中線利得を大きく(スロットの数を増やす/パラボラの開口面積を大きく)する

3) 空中線の高さを高くする

4) 受信機の感度を良くする (参考: 送信電力の4乗根に比例する)

**最小探知距離** の性能向上 - パルス幅  $\tau$  を狭く。

・のこぎり波の非直線性

距離目盛の誤差 最小探知距離は不変

・レーダー FTC (雨や雪、微分)、IAGC (飽和対策)、STC (海面)

・スコープ Aスコープ (距離 - 強度)、B (角 - 強度)、E (仰角)

P P I (Plan Position Indication) (円周方位)、R H I (距離 - 高さ)

## 6.中継方式

・中継用送受信装置の条件

入力電圧のフェージング幅をカバーし、常に一定出力を送出できる

位相ひずみが少なく、雑音量が小さい

妨害波の影響を避けるため、必要な受信選択度を持つ

出力電波の周波数が常に正確に維持される

・ヘテロダイン中継方式の特徴

マイクロ波をいったん増幅しやすい中間周波数に変換して増幅した後、

再びマイクロ波に変換、増幅して送信する方式

中間周波数は映像周波数や局部発振周波数が

他の無線チャネルとの干渉の原因とならないように選ぶ

予備回線への切替えは中間周波数の段階で行なうことができ都合がよい

変復調が中継ごとに繰り返されないため、雑音、ひずみ、レベル変動などの特性劣化が少ない

中継の途中で通話路の一部を分岐したり、挿入したりすることはできない

周波数変換が行なわれるためスプリアス発射を伴いやすく、

高性能のフィルタが必要

中継局は通常 50-70 km ごとに設けられる。

- ・ 検波中継方式の特徴
  - 中継局ごとに変復調が繰り返されるのでひずみが累加される
  - 中継の途中でチャンネル群を分岐、挿入するのに便利
  - 近距離の中継
- ・ 再生中継方式の特徴
  - デジタル多重通信用
  - 中継機でいったん復調して受信パルス波形を整形し、ひずみや雑音などを除去して最初に送り出されたパルスと同じ波形にして伝送する
  - 長距離でも伝送品質は良好
  - ひずみや雑音が累加することはない
- ・ 無給電中継方式で伝搬損失を少なくする方法
  - 反射板の面積を大きくする
  - 反射角度を直角に近付ける(反射板の入射角はできるだけ小さくする)
  - 中継区間を短くする
  - 2枚の反射板の位置を互いに近付ける
- ・ 二周波中継方式
  - 1 往復ルートに 2 つの周波数しか用いない；一つ置きに同じ周波数を使う
- ・ デジタル通信中継の変調（高能率：狭い帯域で対熱雑音特性に優れる、高速動作：高次群の速度対応）
- ・ 長距離デジタルマイクロ波通信の設計では、2500 Km ごとに 2 次群以上で品質稼働率目標を定める
- ・ 無人中継局の遠隔監視で制御局が監視情報を得る方式を**ポーリング**方式という。

## 7. 空中線及び給電線 (10. 空中線及び給電線)

- ・ パラボラアンテナの特徴
  - 利得が大きい
  - 利得は波長の『2乗』に『反比例』する(波長が短くなるにつれて大きくなる)
  - 指向性が鋭い
  - 側面及び後方への電波放射が少ない
  - 導波管は電磁波が管内だけを伝送するため、相互干渉が少ない
  - 収束作用が周波数に無関係
  - 比較的構造が簡単で機械的に作りやすいオフセットパラボラ（1次放射器が邪魔にならない）
- ・ カセグレンアンテナの特徴
  - パラボラアンテナに比べて短い焦点距離の反射鏡で実効的には長い焦点距離の反射鏡として動作し、高い能率が得られる。副反射鏡は**回転双曲面**（凸面）。
  - 『一次放射器と送受信装置を直結できる』ため、給電系の損失が少ない
  - 一次放射器から直接漏れる電力が主に前方に向き、背面に対しては少ないので、大地雑音を拾うことが少ない
- ・ グレゴリアンアンテナの副反射鏡は**回転円面**（凹面）。
- ・ ホーンレフレクタアンテナの特徴
  - 開口部以外は遮へいされ、『電波の漏洩が少ない』ので、主軸方向以外の放射レベルを極めて低くすることができる
- ・ コーナレフレクタアンテナの特徴
  - 高利得。前後比(F/B比)がよい
- ・ 電力半値幅(ビーム幅)
  - 電界(電圧)がその最大値の  $1/\sqrt{2}$  になる 2 点ではさまれた角度



電力の場合はその最大値の 1/2 になる 2 点ではさまれた角度

- ・パラボラアンテナの絶対利得 G

$$G = 10 \log \left( \frac{4 S}{2} \right) = 10 \log \left( \frac{2 D^2}{2} \right) \text{ [dB]}$$

S: 開口面積[m<sup>2</sup>]  
D: 開口直径[m]  
: 開口効率  
: 波長[m]

- ・パラボラアンテナのビームの電力半値幅

$$= \frac{70}{D}$$

- ・半波長ダイポールアンテナの実効長  $h_e$

$$h_e = \frac{2h}{2}$$

- ・高さ  $h = \frac{2h}{2}$  の垂直地空中線の実効高  $h_e$

$$h_e = \frac{2h}{2} = \frac{2h}{2} = h$$

- ・開口面アンテナサイドローブ改善

ホーンリフレクタ、鏡面精度、オフセットパラボラ  
スロットアンテナ 軸と直角 (  $g/2$  )

- ・陸上移動通信業務の**基地局用アンテナ**

半波長ダイポールアンテナを多段に積み重ねた高利得用のコリニアアレーアンテナや  
1/4波長の垂直素子と水平地線をもつブラウンアンテナ ( グランドプレーンアンテナ )  
( コリニアアンテナはスリーブアンテナを縦に直線的に繋げたもの )

## 8. 電波伝搬 (11. 電波伝搬)

- ・超短波以上の電波伝搬の特徴

- 波長が短くなると地表波は大地面による減衰が増加して伝搬距離は短くなる
- 波長が短くなると、空間波は E 層、F 層をつき抜けて反射波を生じなくなる
- 見通し距離内では周波数が高くなるほど伝わりやすい
- 見通し距離より遠くなると周波数が高くなるほど減衰が大きくなる
- 直接波と地表面からの反射波が主体となる
- 波長が短くなると見通し距離内において干渉じまが生じ、干渉じまは波長が短いほど細くなる
- 周波数が高くなるほど地形、建物、樹木などの障害物による減衰は大きくなる
- 周波数が高くなるほど受信ANT高の変化による電波の強さの変化が顕著になる
- 波長が短いほど小さいアンテナで利得が大きくなるが、アンテナ実効長が短くなるため、強い送信電力が必要となる

- ・マイクロ波の電波伝搬の特性

- 直進性が強く、主に見通し距離内の伝搬に使用される
- より低い周波数帯に比べ、宇宙雑音による影響が少ない
- より高い周波数帯に比べ、大気の水蒸気による減衰が少ない
- 対流圏を通過するとき、大気の流れによってエネルギーの一部が散乱して見通し距離外の地点まで伝搬する
- 電離層散乱伝搬はしない

- ・マイクロ波帯の見通し距離内伝搬でのフェージング
  - 伝搬距離が大きいほど、発生頻度、変動幅とも増大する
  - 周波数が高いほど増大する
  - 電波通路の平均地上高が低いほど大きい
  - 海上、沿岸伝搬路よりも山岳伝搬路の方が小さい
  - 天候不良の日よりも晴天で静かな日の方が大きい

・電波の分類

30M - 300M V H F 超短波  
 300M - 3G U H F 極超短波  
 3G - 30G S H F センチ波  
 30G - 300G E H F ミリ波

1G - 10G マイクロ波 microWave (電波の窓)

定義では300MHz ~ 30GHz

30G ~ 300G ミリ波 miliWave (ミリ波)

300G ~ 3000G 準ミリ波 (サブミリ波; 波長1mm以下) (ミリとサブミリを合わせてミリ波)  
 (!問題集では10G ~ 30GHzを「準ミリ波」と書いてある部分もあるが不正確)

・平面大地(導体)での受信電界強度 E

$$E = \frac{88h_1h_2}{d^2} \text{ (GP)} \quad \text{[V/m]}$$

h1, h2: 送受信アンテナの高さ[m]  
 P: 空中線電力[W]  
 G: 空中線利得  
 : 電波の波長[m]  
 d: 送受信点間の距離

アンテナの高さが2倍になると電界強度は2倍(6dB増加; 20log2)になる  
 距離が2倍になると電界強度は1/4(12dB減少)になる

・自由空間での電界強度 E

$$E = \frac{(30G_a P)^{1/2}}{d} = \frac{7(G_o P)^{1/2}}{d}$$

G<sub>a</sub>: アンテナの絶対利得 (無指向性アンテナ)  
 G<sub>o</sub>: アンテナの相対利得 (半波長ダイポールアンテナ)

$$G_a - G_o = +2.15 \text{ (db)}; \quad G_a = 1.633 G_o$$

空中線電力が2倍になると電界強度は2倍(3dB増加)になる  
 距離が2倍になると電界強度は1/2(6dB減少)になる  
 アンテナの高さには関係がない

・自由空間伝搬損失

$$L = \left(\frac{4d}{\lambda}\right)^2 = 10 \log \left(\frac{4d}{\lambda}\right)^2 = 20 \log \left(\frac{4d}{\lambda}\right)$$

d: 送受信空中線間の距離  
 λ: 電波の波長

・等価地球半径

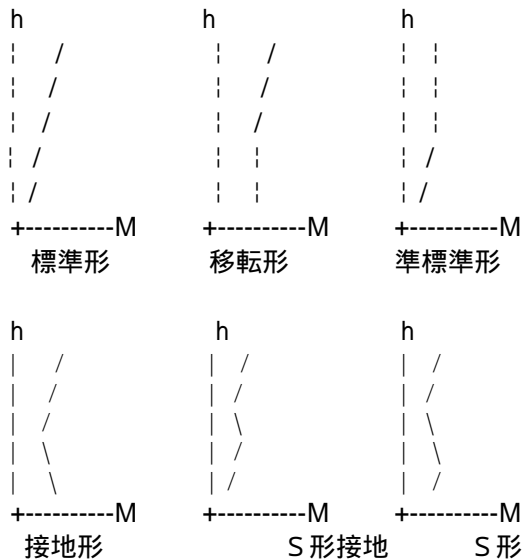
地球の曲率から、高さに対する大気屈折率の減少率  
 (標準大気中の電波通路の曲率)を差し引いた値を曲率とする仮想的な地球の半径  
 幾何学的には直線として扱うことができる

・等価地球半径係数 K := 等価地球半径と地球半径の比、標準大気では K = 4/3

・修正屈折率 M

- 標準大気では地上からの高さにつれて気温が低くなり、Mは増加する
- 標準大気に比較し、気象条件によって上層の大気が下層の大気より高温又は低湿度となるとMの値は減少する
- Mの値が高さとともに減少する大気層を逆転層という
- 逆転層と、地表面又は逆転層の上側境界面のMの値に等しい下層面との間にダクトが形成される

・修正屈折率曲線



・ハイトパターン

アンテナの高さによって電界強度が変化する現象の様子  
ハイトパターンのピッチ p

$$p = \frac{d}{2h}$$

d : 波長  
d: 送受信間距離  
h: アンテナの高さ

・見通し距離 d

標準大気における電波の屈折を考慮したとき  
 $d = 4.12 (h_1 + h_2) \text{ [km]}$      $h_1, h_2$ : 地上高[m]  
 屈折を考慮に入れず幾何学的に見たとき  
 $d = 3.57 (h_1 + h_2) \text{ [km]}$

・第1フレネルゾーン

マイクロ波回線を設定する場合は伝搬路の付近の障害物に対してクリアランスを取る必要がある。見通し距離と通路差が  $\lambda/2$  になる面の軌跡を**第1フレネルゾーン** と言う。

$$3.16 \left\{ d_1(d-d_1)/d \right\}$$

・フェージングの特性

冬より夏に生じやすい  
 日中より夜に生じやすい (海岸などでは日中に多い場合もある)  
 見通し距離内では距離を増すに従って大きくなる  
 見通し距離外では小さくなり、距離によってそれほど変化しない

・フェージングの種類

K形フェージング (K; 等価地球半径係数)

大気の要素の影響を受けて**直接波と大地反射波の干渉** などによって生じるもの。大地反射波の強い条件(海上、湿地など)を除いてその変動は大きくない

#### 干渉性K形フェージング

受信アンテナの高さを変えると、大地からの反射波のため、干渉縞ができることによって生じるフェージング

#### 回折性K型フェージング

伝搬通路となる対流圏の気象条件によって、電波の回折状態が変化することによって生じるフェージング

#### ダクト形フェージング

大地の影響には無関係で主として気象条件によって生じる。ダクトの中を通して伝搬する超屈折波の屈折率の時間的変動により生じ、多数波干渉に基づくもので、その振幅変動も大きく、しばしば致命的なレベル低下を生じることのある

#### 干渉性ダクト形フェージング

直接波とダクトによって曲げられた干渉波が同時に受信点に到着するために、干渉を生じて起きるフェージング

#### 減衰性ダクト形フェージング

送受信アンテナの中間の高さにダクト層が存在すると、直接波が減衰して生じるフェージング

#### シンチレーションフェージング

対流圏の大気の屈折率のわずかな不規則による電波の収束、発散、あるいは波面の乱れ、散乱波の重畳などによって生じるフェージング。変動は少ない

#### ・覚えておくべき数字

$$\log 2 = 0.3010$$

$$\log 3 = 0.4771 \text{ (死なない)}$$

$$\log 5 = 0.7 \quad (= 1 - \log 2)$$

$$c = 3.0 \times 10^8 [\text{m}]$$

#### デシベル換算

$$\text{電圧(電界強度)} \quad 20\log(\text{倍率}) \quad \text{電圧 2 倍} \quad 6 \text{ dB 増加}$$

$$\text{電力} \quad 10\log(\text{倍率}) \quad \text{電力 2 倍} \quad 3 \text{ dB 増加}$$

$$20\log 2 = 6 \quad 20\log(1/2) = -6$$

$$1[\text{W}] = 30[\text{dBm}] \quad (1[\text{mW}] = 0[\text{dBm}])$$

#### (13.干渉)

- ・地上系多重回線相互
- ・地上系多重回線と人工衛星局

#### 9.電源

##### ・鉛蓄電池の充電

一個当たり 2.4 - 2.8 V

電解液の比重は 放電時に 1.12、 充電終了時に 1.24 - 1.28

充電終了時にはガスが盛んに発生し極板からの気泡で電解液は白く濁る

充電終了時は**陽極板(二酸化鉛)はチョコレート色、陰極板(鉛)は青灰色**

- ・アルカリ蓄電池(過充電に強い、金属を腐蝕しない、大電流放電可、低温良好)

陽極版(水酸化ニッケル)、陰極版(カドミウム)、隔離版(エボナイトの多孔版)

- ・浮動充電(フローティング)方式
  - 充電器に電池と負荷を並列に接続し、電池の自己放電を補う程度の電流で充電を行ない常に充電状態にしておく
  - 連続負荷と電池の自己放電に対しては充電器から電力が供給される
  - 負荷が一時的に大きくなった時は蓄電池からも電力が供給される
  - 供給電力の大部分を充電器が負担するので電池の容量が比較的小さくてすむ
  - 過充電になったり、充放電を繰り返すことが少ないので、電池の寿命が長い
  - 充電器にリップルを含んでいても電池がそれを吸収する
  - 停電時も一時的に電力を供給することができる
  
- ・交流供給電源方式
  - M G方式** 直流分巻電動機と交流発電機とを直結
  - E G方式** ディーゼル機関と交流発電機とを直結
  - MM G方式** 三相誘導電動機、直流分巻電動機、交流発電機、はずみ車を直結
  
- ・直流供給電源方式
  - 3相210Vの交流をトランスで低圧し、整流器で整流し、約20数Vの直流電圧で蓄電池を充電すると共に浮動の状態に負荷に電力を供給する
  - 蓄電池の電圧は21Vで整流器の電圧の方が数ボルト高いため、負荷と直列にシリコン・ドロップを挿入する
  - 停電時には電池から電力が供給され、シリコン・ドロップは短絡されるようになっている
  - 停電すると自動的にディーゼルエンジンが始動し、これによって交流発電機が動作し、交流電力を供給する
  
- ・自動電圧調整器(AVR: Automatic Voltage Regulator)
  - 電圧がある範囲以上に変化した場合に自動的に規定値に調整する装置
  - 必要条件：
    - 感度が鋭敏であって電圧の変動に迅速、かつ正確に応動すること
    - 電圧制御範囲が広く、かつ調整速度が早いこと
    - 連続動作で乱調などを起こさないこと
    - 電圧波形が良好で効率が良く、騒音を発生しないこと
    - 機械的に堅固で保守が容易であること

インバータ(直流-->交流)

- ・定電圧定周波(無停電)電源(CVCF: Constant Voltage Constant Frequency)
  - 電圧及び周波数が変動する受電電力を安定した電圧と周波数の交流に変換する装置をいう。

## 10.測定(12.測定)

- ・計数型周波数計

原理：

入力信号は入力回路で増幅整形され、1サイクル1パルスとしてゲート回路に加えられる  
 ゲート回路はゲート制御回路からのスタートパルスが来ると開き、ストップパルスが来ると閉じる  
 基準時間発生回路でスタートパルスとストップパルスを生成する  
 ゲートが開いている間、計数回路へパルスが伝送される

誤差の発生要因：

基準時間発生器の確度  
 ゲートを通過するパルスの位置とゲート信号の関係(±1カウント誤差)

・電力測定装置

**カロリーメータ形**（大電力数W以上用）、**ポロメータ形**（中電力10mW以下 半導体サーミスタ使用）、**CM形**、**電流力計形**（小電力用）、**サンプリング形**  
1ジュール=0.239 カロリー  $P(W) = V(ml/sec) \cdot T / 0.239$ （カロリーメータ）

・センサ

サーミスタ

半導体

温度上昇と共に抵抗値は減少する

バレッタに比べ電力感度が大きい

周辺温度によって感度が変わりやすいので温度補償又は校正が必要

バレッタ

金属抵抗素子

1から2ミクロンの細い白金線

温度上昇と共に抵抗値が増大する

・信号発生器（SG）

10GHz帯以下・・Siトランジスタ；20GHz帯・・GaAsFET；それ以上・・インパット、ガン

・マイクロ波信号発生器の条件

発振周波数が正確で変動し難い

出力レベルが正確で安定である

出力の周波数特性が良い

出力インピーダンスが一定

変調度が正確

高調波、低調波、寄生振動などが少ないこと

遮へいが良く、出力端子以外からの信号の洩れがない

外部からの誘導がない

・符号誤り率測定

**送信部のパルスパターン発生器**（疑似ランダムパターン信号）、**誤りパルス検出器**（消失・挿入パルス検出）、**再生器**（ひずんだ波形を整形）

・スペクトラムアナライザ

掃引発振器は水平増幅器の前に置く

・準漏話雑音測定

NG ->BEF->測定->BPF->LM

・測定に当たっての注意点

雑音スペクトラムは伝送帯域に一致させる

雑音の入力レベルを規定値に一致させる

実際の使用状態に調整して測定する

測定器は所要の特性を満足し、測定誤差を生じないように接続する

測定周波数を変える場合には周波数の異なった帯域消去フィルタ、帯域通過フィルタを用意しておく

測定周波数は実際の運用状態で使われる測定チャンネルを用いる

・反射電力 P、入力電力 Pi、反射係数 の間の関係

$$P = \frac{1}{4} P_i^2 \rightarrow 4P = P_i^2 \rightarrow 4\left(\frac{P}{P_i}\right) = \frac{P}{P_i}$$
$$= 2 \left(\frac{P}{P_i}\right)$$

$$S = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

ここに、S は定在波比である。

- ・アンテナ利得測定

VHF、UHFでは、ダイポールアンテナや3素子八木アンテナを使う  
 マイクロ波では、**角すいホーンアンテナ** を使う

- ・アイパターン

アイの縦の開き（アイアパーチャ）は、識別における**雑音に対する余裕**  
 アイの横の開きは、クロック信号の識別タイミングの**劣化に対する余裕**

(14.点検及び保守)

以上