

## < マルチパスひずみ >

FM放送を受信していると放送内容が無音（無変調）のときは異常がないにもかかわらず、音声が入ると（変調時）音が「割れたり」「ジュル・ジュル」といった濁った音を発生する場合があります。これは、マルチパスひずみとかマルチパス障害と呼ばれる現象です。今回は、この現象について勉強します。

### ☆ 症状

マルチパスひずみは、FM放送をはじめFM変調の音声信号に起こる特異な受信障害です。

無変調時は、放送の音声に全く異常音の発生はないのですが、変調時のみ変調の深さ（音の大きさ）に応じて音声「割れたり」「ジュル・ジュル」といった濁った音が発生する症状です。

この現象は、FM受信機がロッドアンテナを使用している際に多くみられます。ロッドアンテナの位置を多少変更したり長さを変えると、局部的に異音が減少する場合があります。

### ☆ マルチパスひずみの発生のメカニズム

#### (1) マルチパスひずみの発生

マルチパスひずみは建造物等の反射電波による受信障害です。マルチパスといいますので受信アンテナに種々な経路を辿ってきた電波が到達したことが障害の原因になります。図1にマルチパスひずみ発生のイメージ図を示します。したがって、不特定の建造物から反射してきた遅延波が影響するわけです。アナログテレビ放送時のゴースト障害に相当し、

FM 電波も同様に建造物によって多くの反射波が受信アンテナに入るとマルチパスひずみが発生するのです。

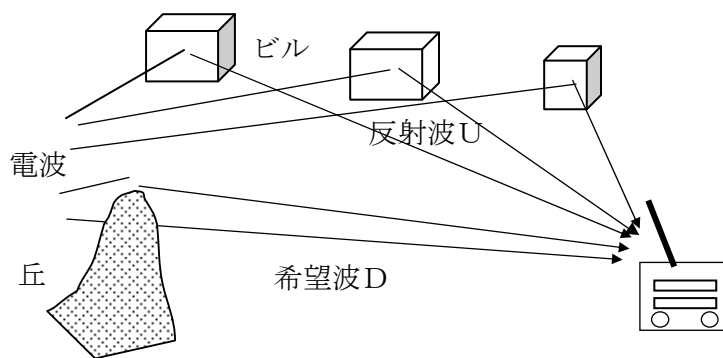


図1 マルチパスひずみの発生

特に、FM 受信機に内蔵しているロッドアンテナを使用している場合は、アンテナの感度や指向特性が十分満足できる性能ではないのでマルチパスひずみは現われ易くなります。

これからマルチパスひずみがなぜ発生するかをみてみましょう。

## (2) FM 変調波

FM 放送の電波については、No56 FM 放送電波はどんな形……作り方(その1)でもおおよそを解説しましたが、改めて復習します。

FM 放送では、搬送波は振幅の変化ではなく変調波の大きさに従い周波数がある中心点(中心周波数)から前後に変化(「周波数偏移」といいます。)します。

図2にFM信号の周波数変化の状況を示します。ここでの変調信号は正弦波としています。

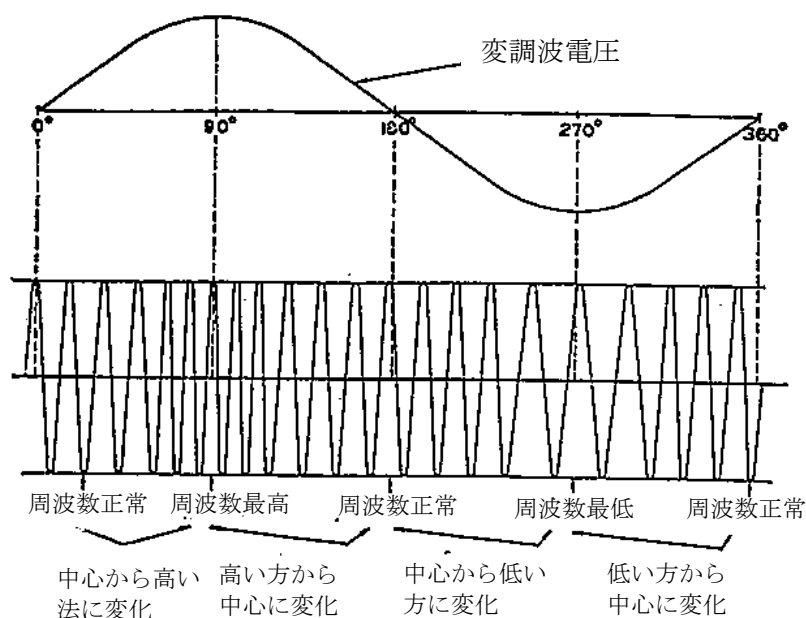


図2 FM信号の周波数変化

実際の変調信号は音声の場合や音楽ですのもっと複雑な波形になりますが、搬送波はその強度に応じて周波数偏移が変わります。

これから変調がない場合と変調がある場合のマルチパスひずみの発生に関して図3から図4に従って説明します。変調波は、説明と理解の簡便さを配慮して矩形波とします。

### (3) 無変調時のマルチパスひずみ

まず、無変調時の FM 信号の反射波による音質への影響を考えます。図3の①に示すような無変調搬送波が直接波として受信されます。さらに②に示すような振幅と位相がシフトされた反射波が同時に受信されます。合成波は、③のような信号波形となります。無変調なので直接波と反射波は周波数の等しい正弦波で、これらの正弦波と正弦波を加

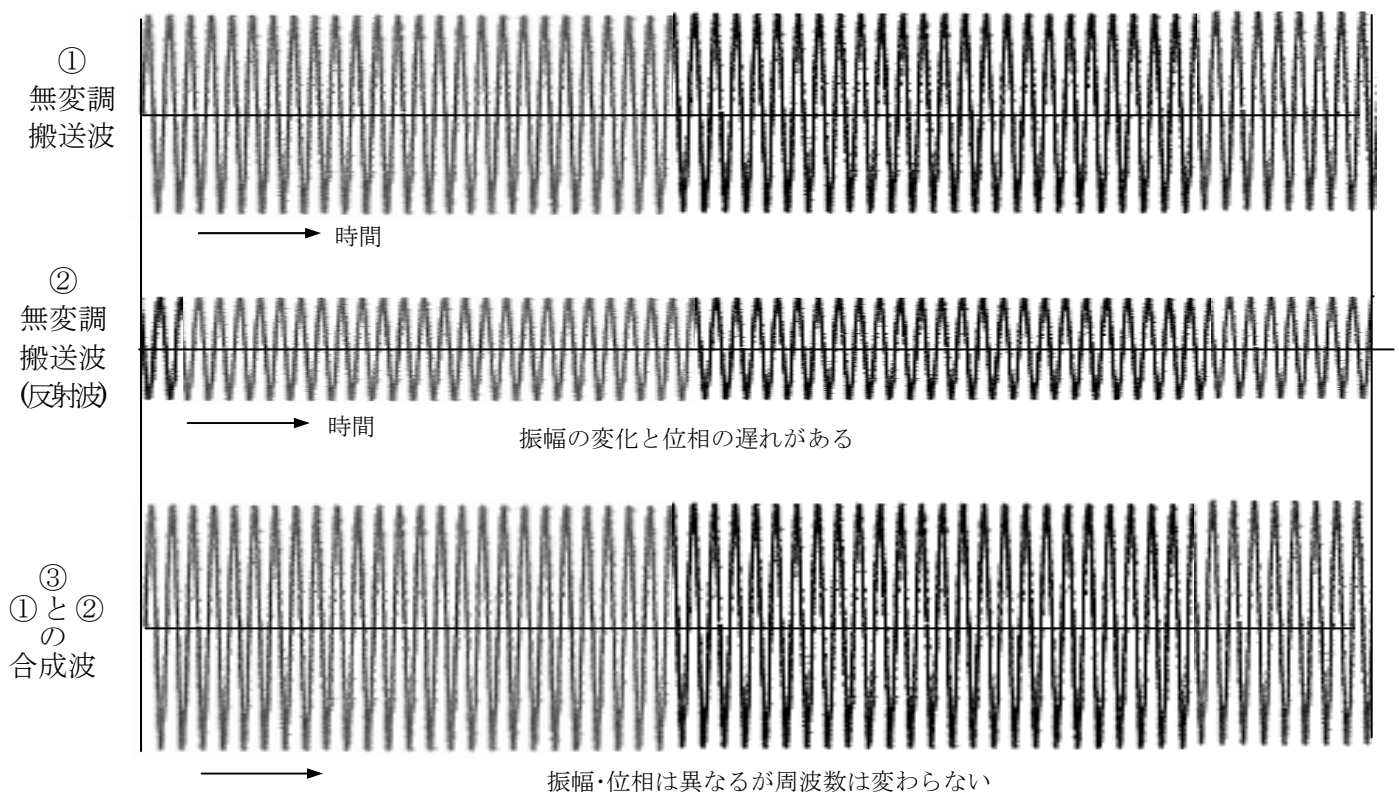


図3 無変調時はマルチパスひずみの発生なし

えた合成波の波形は、やはり同じ周波数の正弦波となります。元の無変調波の位相とはシフトし、かつ、振幅も変化しますが、周波数関係は不変です。したがって、マルチパスひずみは発生しません。

なお、二つの等しい周波数の正弦波を加えた合成波が正弦波になることを末尾の[もっと詳しく知りたい方のために]にて示します。

### (3) 変調時のマルチパスひずみ

次に変調時の FM 信号の反射波による音質への影響について図 4 により説明します。④には FM 変調される矩形の変調波を示し、搬送波への周波数偏移は最大±50Hz として図示しています。

変調信号が加わった場合には搬送波の周波数は、変調波の信号の振幅に比例して変わります。⑤に FM 変調された被変調波を示します。変調波の信号の出発点では、変調電圧が小さいため搬送波周波数の変化(「周波数偏移」といいます。)は僅かですが、時間経過とともに変調波の信号のレベルが上がると直ちに正の最大周波数偏移に達し、無変調搬送波の周波数からの変化が最大の+50Hz になります。さらに時間が進むと、変調波の信号波のレベルは負の最大値に達し、搬送波の最大周波数偏移は負の最大値-50Hz となります。

ここから変調周波数に従って元の周波数偏移は零に戻り新しいサイクルが始まります。

ここで重要なことは、搬送波の周波数の変化は、常に、加えられた変調信号の電圧の振幅変化と歩調を合わせていることがわかります。変調信号の電圧の振幅が上昇すると、搬送波周波数は増加し、一方、変調信号の電圧が反転して逆の極性の方になると搬送波周波数は減少します。

今度は、直接波のほかに反射波も同時に受信アンテナに到達した場合を考えます。直接波は⑥に示します。⑤の被変調波と同じです。反射波は、建造物等に反射してある一定時間遅れて到達します。この反射波の波形を⑦に示します。ここでは位相の遅れを伴い、かつ、振幅も変化します。



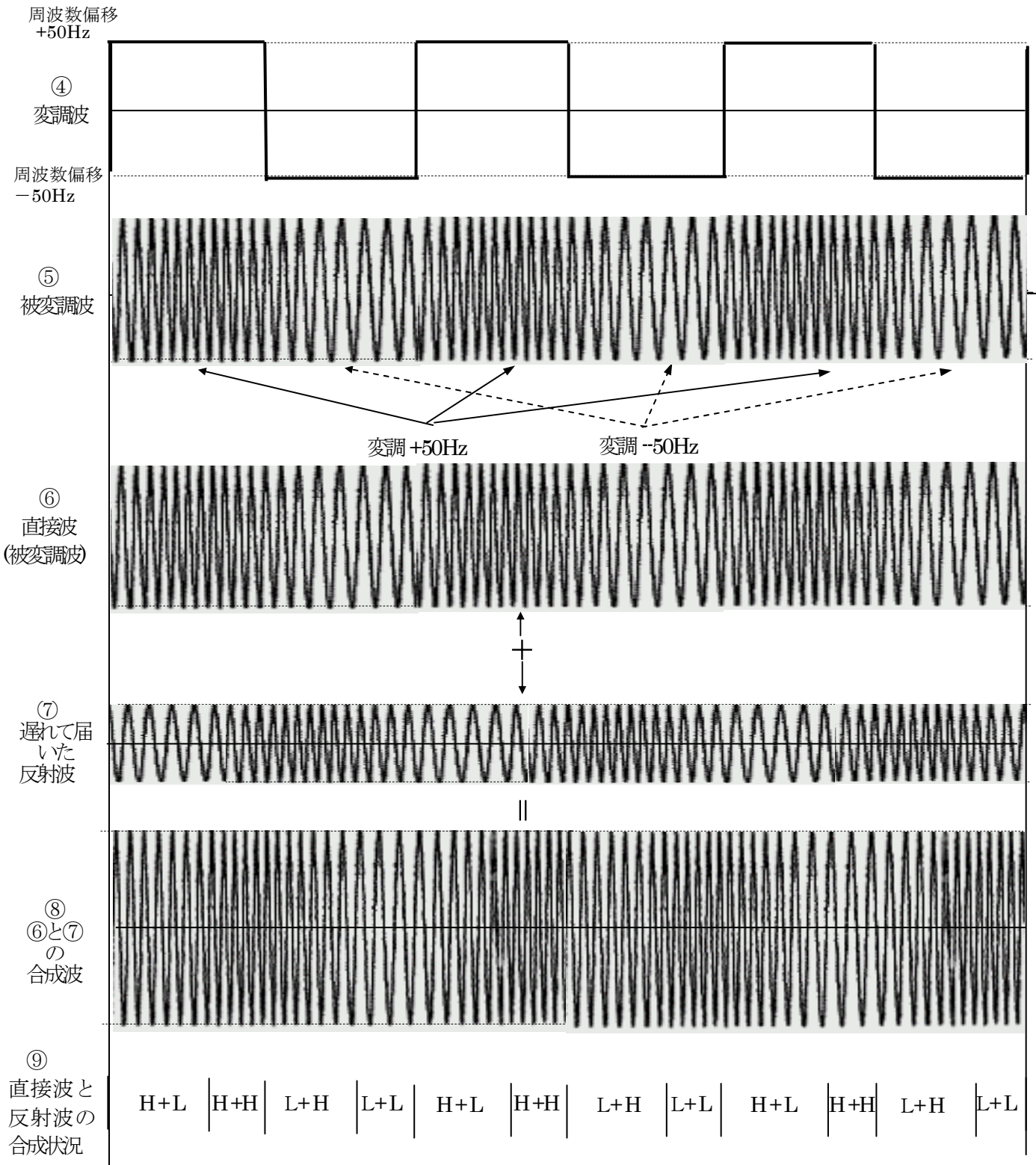


図4 変調時のマルチパスひずみの発生

この⑥ならびに⑦の電波が受信アンテナで受信され合成されますがその結果は⑧に示すようになります。時間を追ってみてみると、合成される際の直接波と反射波の波形が⑨に示すように「H+L」、「H+H」、「L+H」、「L+L」の4パターンで表示しましたが、「(直接波)+(反射波)」の各々の周波数が「+」方向に高くなるような区間を「H」で表示し、「-」方向に低くなる区間を「L」で表示しています。したがって、この場合は4パターンの位相が存在し、本来の2パターンであるべきなので残りのパターンの際にひずみとして聴取されるわけです。

実際の変調信号には、多くの周波数成分が含まれますので、このような信号を検波すると音声に種々な異音が混入し聞き取られます。これがマルチパスひずみとなります。

なお、実際の変調信号の場合は、振幅の変化も伴いますが、振幅制限器（リミッター）により同一レベルに補正することが出来ます。このため、振幅の変化は音声出力への異常現象には関与しません。

## ☆ 改善方法

このような受信障害は、次のような方法で受信アンテナの特性、設置場所、高さなどを調整したり再設置することにより多くは改善することができます。

- ・ FM受信機を窓側に寄り、できるかぎり電波の進入路を探します。
- ・ FM受信機のロッドアンテナを伸縮して音声のひずみが少なくなる長さを探します。
- ・ FM受信機本体のロッドアンテナを前後左右に回転し音声のひずみが少なくなる位置を探します。

ほとんどのFM放送波は水平偏波ですので、ロッドアンテナの位置は理論的には水平配置の方が利得は大きくなります。

マンションなどFM電波が各部屋に届きにくい構造の住宅の場合は、ロッドアンテナの位置の工夫だけでの改善は望めません。

もし、そのマンションがケーブルテレビに加入しているならば、ケーブルテレビでは放送波とは別に周波数をシフト（変更）して再送信をしている場合があります。ケーブルテレビ会社に再送信している周波数を問い合わせ、自宅の壁面端子に同軸ケーブルを接続します。そして、図 5 の同軸ケーブルの外側の被覆と外導体を剥いて、内導体を 10 数センチ露出させたものをロッドアンテナに巻きつけると良好な受信が出来る場合があります。

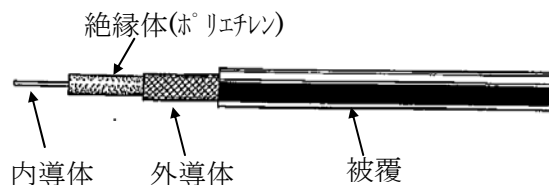


図 5 同軸ケーブルの構造

なお、マルチパスひずみは、おおよそ FM 受信機にて聴取すれば確認できますが、ひずみにシビアな高度のリスナーの要望に応えるためにはスペクトラムアナライザによるマルチパスひずみの調整法があります。

これは、スペクトラムアナライザにより DU 比を測定・監視しながらアンテナの位置の調整をします。このため作業には非常に時間がかかりますが、DU 比が 20～30dB を目指してアンテナ位置を最良な位置となるように近づけていきます。

(FM放送のマルチパス測定例 <http://www.jushin-s.co.jp/jushin/fm.html#fm02>)

[もっと知りたい方のために]

二つの正弦波  $A = a \sin \theta$  と  $B = b \cos \theta \cdots$  (A と  $90^\circ$  位相の進んだ正弦波)

ただし  $\theta = \omega t$        $\omega = 2\pi f$

を合成した式は  $\sin$  の合成公式から

$$a \sin \theta + b \cos \theta = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(\theta + \alpha)$$

いいかえると 上記正弦波の合成の際、位相の遅れ  $\alpha$  は

$$\sin \alpha = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \cos \alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{を満たす } \alpha \text{ になります。}$$

なお、三角関数の基本性質にて  $\cos(90^\circ - \beta) = \sin \beta$  です。