



毎日使っているのに——  
実は知らない・解っていない

## 電波のお話

### パート1：電波の性質と電波を使うためのルール

藤田 昇  
Noboru Fujita

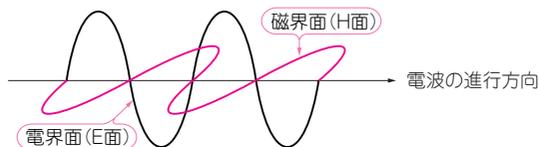
#### 1 はじめに

1895年にマルコーニ (Guglielmo Marconi, 伊, 1874～1937年)が電波を使って数kmの無線通信実験に成功してからまだ100年あまりですが、その後の無線通信と放送の発達はめざましいものがあります。また、レーダを代表とするセンサ、電子レンジを代表とする加熱、GPSを代表とする位置標識など、通信や放送以外にも電波の用途が広がっており、今では電波なしでは社会生活が成り立たないといってもよいくらいです。表1は電波の利用形態の一例です。

ところで、普段から携帯電話や電子レンジを使っている人でも、電波とはどういうものかをあまり意識していないのではないのでしょうか。それどころか、電気・電子技術者であっても電波利用機器に携わっていない人達は、電波をあまり意識していないように思います。しかし、電波利用機器でなくても不要輻射や干渉があるので電波を無視することはできませんし、電波の特性を知っておけば、電波をより有効に使えるはずです。ここでは、そのような人のために、電波とは何か、どのような性質をもっているかを解説します。

〈表1〉電波の利用形態

| 利用形態    | 用途の例             |
|---------|------------------|
| 放送      | テレビ, ラジオ         |
| 通信      | 携帯電話, 多重無線, 衛星通信 |
| 遠隔観測・制御 | テレメータ, リモコン      |
| 位置標識    | GPS              |
| センサ     | レーダ, 天体観測        |
| 加熱      | 電子レンジ, 温熱治療器     |
| エネルギー伝送 | RF-ID            |



〈図1〉電波の概念

#### 2 電波は電磁波

##### 2.1 電波の定義

電波とは、周波数3 THz以下の電磁波と定義されています。3 THzは $3 \times 10^{12}$  Hzのことで、波長でいうと $10^{-4}$  m (= 0.1 mm)になります。周波数の下限の規定はなく理論上は0 Hzに限りなく近い周波数からということになります。周波数が3 THzを越えると赤外線領域です。赤外線と電波の境目に物理的な意味はなく、便宜上の区分です。

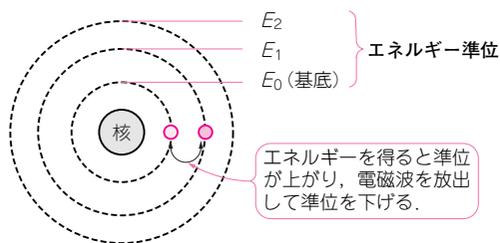
電波の中でも周波数の高低によって振る舞い方が変わるので、周波数(波長)が1桁変わるとに便宜上の名称を表2のように付けています。

##### 2.2 電波も光も同じ電磁波

電磁波とは図1のように直交する電界と磁界の相互作用によって伝播するエネルギーの総称です。周波数、位相、強度で表される波の性質をもつほか、粒子としての性質ももっています。周知のとおり、赤外線や紫外線、X線やγ(ガンマ)線も電波と同じ電磁波で、それぞれ周波数が異なるだけです。周波数によって電磁

〈表2〉無線周波数の呼称

| 周波数            | 波長               | 略称  | 呼称    |
|----------------|------------------|-----|-------|
| 30 ~ 300 Hz    | 1000 ~ 10000 km  | -   | -     |
| 300 ~ 3 kHz    | 100 ~ 1000 km    | ULF | 極超長波  |
| 3 k ~ 30 kHz   | 10 ~ 100 km      | VLF | 超長波   |
| 30 k ~ 300 kHz | 1 ~ 10 km        | LF  | 長波    |
| 300 k ~ 3 MHz  | 0.1 ~ 1 km       | MF  | 中波    |
| 3 M ~ 30 MHz   | 10 ~ 100 m       | HF  | 短波    |
| 30 M ~ 300 MHz | 1 ~ 10 m         | VHF | 超短波   |
| 300 M ~ 3 GHz  | 0.1 ~ 1 m        | UHF | 極超短波  |
| 3 G ~ 30 GHz   | 1 ~ 10 cm        | SHF | センチ波  |
| 30 G ~ 300 GHz | 1 ~ 10 mm        | EHF | ミリ波   |
| 300 G ~ 3 THz  | 0.1 ~ 1 mm       | -   | サブミリ波 |
| 3 THz ~        | 0.77 μm ~ 0.1 mm | IR  | 赤外線~  |



〈図2〉 エネルギー準位の概念

波の振る舞いが大きく異なるので、便宜上図3のように分けています。

しかし、光はLEDLight Emitting Diode(発光ダイオード)に直流電流を流すだけ、または物を高温に熱するだけで発生できるのに、電波を発生させるには発振回路、増幅回路、アンテナを組み合わせなければなりません。そのため、光と電波が同じものとは思えないという人がいるかもしれません。

### 2.3 電波の発生

電波が発生するのは高周波電流によってアンテナ素子の中の電荷(電子)が往復運動をするからです。繰り返し運動なので電波も連続した波形になります。このような波をコヒーレント(coherent)な波といいます。直線上の往復だけでなく旋回運動でもコヒーレント波を発生できます。

不連続(インコヒーレント)な電波なら、モータのブラシのような直流電流の断続、または放電のような電子の不規則な流れによって作り出すことができます。つまり、電荷を往復運動または不規則な片道運動させるだけで電波を発生できることになります。往復運動の場合はその周期の逆数が電波の周波数になり、片道運動の場合はその時間の逆数が電波の周波数になります。

### 2.4 赤外線の発生

一方、赤外線は物質の中の原子や分子、または自由電子の不規則な動き(=熱)で発生します。変化時間の逆数が周波数になり、動く速度と粒子の数が強さになります。温度が高くなれば高い周波数の電磁波が発生します。逆に低い周波数成分も含まれており、熱雑音として観測できます。電波の領域では熱雑音の周波数特性がフラットで、その電力 $P_n$  [W] は式(1)で計算できます。

$$P_n = kTB \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $k$  : ボルツマン定数 ( $1.38 \times 10^{-23}$ )

[J/K],  $T$  : 動作温度 [K],  $B$  : 帯域幅 [Hz]

熱雑音の計算式は、無線受信機の初段増幅器のようになく低レベル信号を扱う回路の設計時に必ず出てきますので、なじみの方も多いと思います。

## 2.5 光の発生

また、図2のように光は原子または分子内で、電子のエネルギー準位(電子軌道位置、飛び飛びの値しかとれない)が変わることで発生します。物質を極高温にしたり、電流を流したり(LED)、高速電子線を当てたり(X線管)すると電子の準位が上がり、その準位が下がるときに光を発生します。

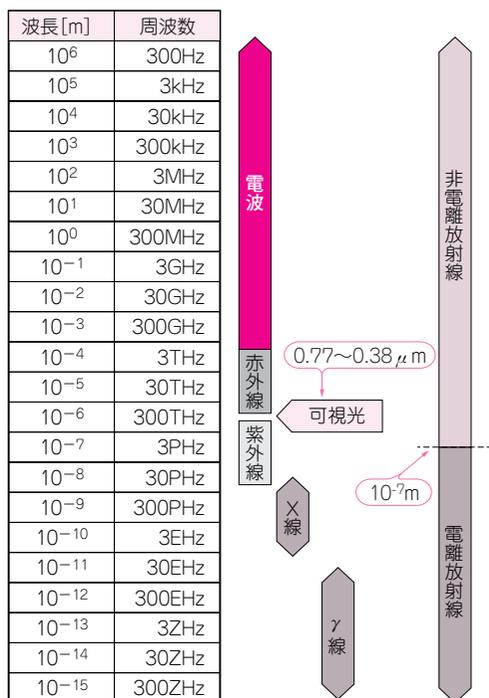
周波数は電荷の移動距離(エネルギー差)によって決まり、原子や分子の種類によって固有の周波数を持っています。太陽やLEDの光は不連続波ですが、適当な周波数選択機能と組み合わせると、光領域でも連続波を発生させることができます。このような装置をレーザー(LASER)といいます。

## 2.6 $\gamma$ 線の発生

プラスの電荷をもつ陽子が移動しても電磁波が発生します。核崩壊に伴う電磁波は $\gamma$ 線と呼ばれます。

周波数が低い(波長が長い)電磁波は量子エネルギーが小さいので、粒子としての振る舞いは観測できませんが、周波数が高くなると粒子としての振る舞いが顕著になります。粒子のもつエネルギー(量子エネルギー)が大きくなると、分子や原子に当たったときに分子構造を壊したりイオン化させたりします。

細胞に当たるとDNAを破壊して、遺伝子障害や癌



PHz:  $10^{15}$ Hz, EHz:  $10^{18}$ Hz, ZHz:  $10^{21}$ Hz

〈図3〉 電磁波の波長と周波数