

## 2 電磁波利用と電磁環境

### 2 Use of Electromagnetic Energy and Resultant Noises

杉浦 行

SUGIURA Akira

#### 要旨

近年、無線タグ(RF-ID)や電力線搬送通信(PLC)など、短波帯を利用する新たな通信システムの出現によって、無線設備を含む各種電気・電子機器間の電磁的両立性が新たな問題になっている。本論文では、周波数 150 kHz~10 GHz 帯について、電磁環境を形成する様々な雑音源とその許容値を比較検討した。その結果、許容値の整合が必要であるとともに、最近の雑音環境について広範囲な調査が必要であることを明らかにした。

Recently, the advent of RF-ID systems and PLC systems have raised a new problem of electromagnetic interference (EMI) between newly developed systems and other various systems including radio stations using the shortwave band. In this connection, EMI limits for a variety of equipment are reviewed and compared in terms of the radiated field strength. Investigations are extended to cover the environmental noises, indicating the necessity for surveying recent noise environments in a large scale.

#### [キーワード]

電磁環境, 妨害波, EMI許容値, 人工雑音, PLC

Electromagnetic environment, Electromagnetic disturbance, EMI limit, Man-made noise, PLC

## 1 まえがき

近年、自動改札や防犯システムなどに、到達距離 1 m 以内の近距離通信を目的とした 13 MHz 帯の誘導式読み書き通信設備(RF-ID)が爆発的に利用されるようになってきた。また、電磁波を用いる代わりに、電力線に短波帯周波数の電流を流し、これによって高速通信を行う電力線搬送通信(PLC)システムが各国で熱心に検討されている。このように、昨今、短波帯(HF band: 3 MHz~30 MHz)を利用する様々な通信システムが開発されている。

しかしながら、このようなシステムから発生する不要電磁波が各種無線局を妨害したり、電子機器や人体に影響を及ぼすことが懸念されている。このため、例えば PLC に関しては、総務省が平成 17 年(2005)に「高速電力線搬送通信に関する研究会」を設置し、既存無線局との周波数共用条件

を検討した<sup>[1]</sup>。以下では、その結果に焦点を当てて、電磁環境問題について述べる。

## 2 電磁環境

電磁環境のエネルギー発生源は、雷などの自然現象と、無線設備、高周波利用設備、その他の電気設備や電子機器などである。以下では主として短波帯の電磁環境と人工的な波源について述べる。

### 2.1 無線設備

短波帯の電波は、電離層によって反射されるため遠距離通信に適しており、昔から海洋を航行する貨客船や軍艦、遠洋漁業などに従事する漁船の通信に用いられてきた。しかし、電離層の状態が時刻、季節、太陽活動周期などによって大きく変化するため、安定な通信回線の確保が困難であっ

た。このため、1960年代になって人工衛星を用いる衛星通信が登場するとともに、短波帯通信の利用は衰退してきた。しかしながら現在でも、短波帯の電波は、航空通信(遭難通信等を含む)、海上通信(遭難通信等を含む)、短波放送、アマチュア無線(3.5, 3.8, 7, 10, 14, 18, 21, 24, 28 MHz)、電波天文のほか、固定通信、移動通信、27 MHz帯の市民ラジオ・ラジオマイク・ラジオコン等の各種業務に使用されている。

これらの無線局は、おのおの定められた電力の電磁波を放射して通信を行っているが、図1に示すように、変調に伴って発生する帯域外放射や、不必要なスプリアス波を放射し、これが他の無線局等を妨害することがある。

このため我が国では、例えば、基本周波数 30 MHz 以下の無線局のスプリアス放射を、原則として、50 mW 以下、かつ基本周波数の平均電力より 40 dB 以上低い値に制限している[2]。また、各国とも、微弱電波を利用する無線局を免許不要とし、その電磁波の電界強度の許容値をパソコン等の不要電磁波と同程度に設定している。例えば、我が国では、図2のように、322 MHz 以下では距離 3 m において 500  $\mu\text{V}/\text{m}$  以下、322 MHz~

10 GHz では 35  $\mu\text{V}/\text{m}$  以下としている[3]。なお、短波帯以下では、距離 3 m の位置は電磁界が複雑な近傍界であるため、測定距離は 10 m が妥当と思われる。

さらに、無線局の受信設備も一般にヘテロダイン検波を使用しているため、不要電磁波を放射している。このため電波法では、受信設備の副次発射を 4 nW 以下に制限している[4]。

## 2.2 高周波利用設備

無線局の外に電磁エネルギーを利用するものとして、電線路に 10 kHz 以上の信号電流を流し、これに送受信器を電磁結合させた通信設備や、遮蔽空間内で電磁エネルギーを利用する設備などがあり、我が国では「高周波利用設備」と総称している[5]。なお、前者は通信設備と呼んでおり、図3に具体例を示す。昨今話題になっている PLC も図3(a)の範疇に入る。また後者には電磁調理器や電子レンジが含まれ、我が国では医療・工業用加熱・各種設備に分類されているが、国際的には ISM (Industrial, Scientific and Medical) 設備と総称されている。

我が国の電波法では、高周波利用設備を無線局に対する妨害源として扱い、漏えいする電磁波を制限している。例えば、許可不要の誘導通信設備

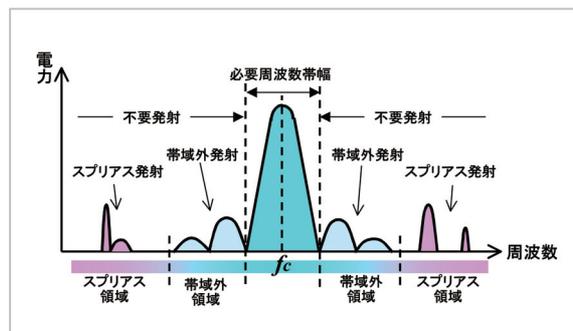


図1 無線局から放射される電磁波

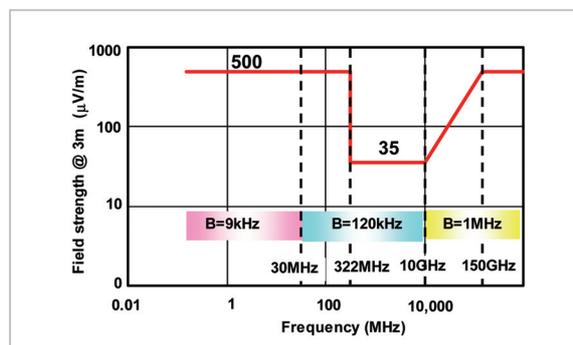
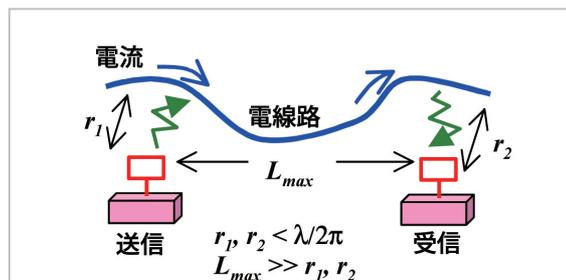
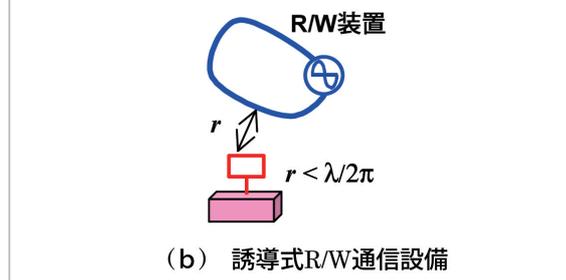


図2 微弱電波無線局の許容値 (Bは測定器の-6dB帯域幅)



(a) 電力線搬送通信設備、誘導式通信設備



(b) 誘導式R/W通信設備

図3 高周波利用設備(通信設備)

の電界強度は、距離  $\lambda/2\pi$  離れた場所で  $15 \mu\text{V}/\text{m}$  以下でなければならない[6]。また、ISM 設備については、基本的に高周波出力  $50 \text{ W}$  以下のものは許可不要としており[7]、それを超えるものは設置許可を要するが、例えば  $500\text{W}$  以下の設備から漏えいする電磁波の電界強度は、 $30 \text{ m}$  離れた場所で  $100 \mu\text{V}/\text{m}$  以下でなければならない[8]。

なお、材料の加工等を行う ISM 設備では非常に大きな電力の電磁エネルギーを必要とするため、特別に周波数帯を定めて許容値を大幅に緩和している。このような周波数帯を一般に ISM 周波数帯と呼んでいる。例えば、ISM 周波数帯  $2450 \pm 50 \text{ MHz}$  を利用する電子レンジの帯域内漏えい電磁波の許容値は、人体防護の観点から  $5 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (電界強度  $138 \text{ V}/\text{m}$ ) に定められている[9]。また、短波帯では  $13 \text{ MHz}$  帯が ISM 設備に割り当てられており、木材乾燥やビニール圧着などの誘電加熱設備等に広く利用されている。なお、この周波数帯では比較的到高レベルの電磁波が使用できるため、最近では RF-ID システムなどの通信設備にも利用されている。

### 2.3 電気・電子機器

パソコン等の様々な電気・電子機器も不要な電磁波を放射している。このため、電波法では、無線設備や高周波利用設備以外の機器・設備から生じる不要電磁波(妨害波)によって無線局に障害が生じた場合は、機器・設備の利用を停止させるなどの法的措置をとることができると定めている[10]。したがって、各種機器設備から発生する不要電磁波の許容値及び測定法を定めることは、無線局の保護及び電磁環境の保全のために極めて重要である。

高周波利用設備を含めて電気・電子機器等から発生する妨害波の許容値は、国際的には国際無線障害特別委員会(CISPR)で定めており、国内的には情報通信審議会 CISPR 委員会が担当している。CISPR の組織を図 4 に示すが、各小委員会(SC: Sub-committee)は、放送及び無線通信の保護の観点から、所掌する機器・設備の許容値を定めている。例えば、IT 機器の周波数  $150 \text{ kHz} \sim 6 \text{ GHz}$  における妨害波については、図 5 の許容値が適用される[11]。30 MHz 以下の周波数帯では、波長

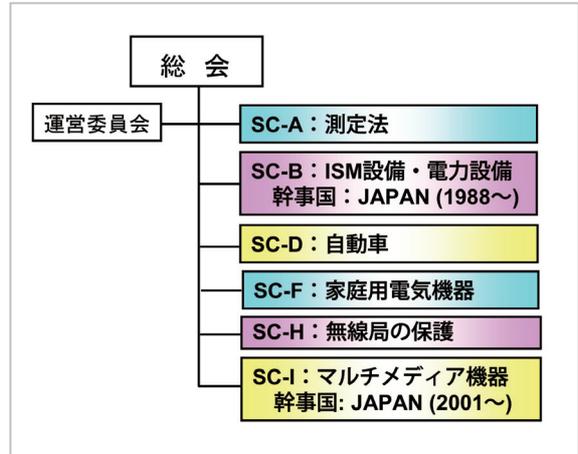


図4 国際無線障害特別委員会 (IEC/CISPR)

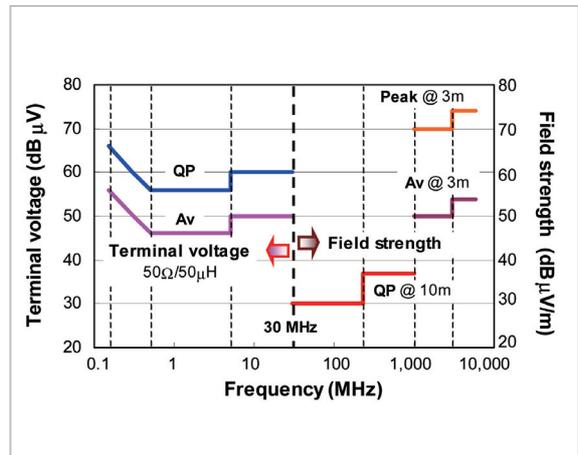


図5 IT 機器の妨害波許容値 (CISPR 22 - 2006, Class B)

が長いので妨害波は主として電源線などの接続導線に沿って伝搬するため、許容値は接続導線に流れる妨害波電流(または電圧)を制限している。一方、30 MHz 以上になると、波長が電子機器の筐体寸法に近いので、筐体からの直接放射が顕著になるため、電界強度に関して許容値を定めている。

### 2.4 許容値の比較

前項では、無線局の不要発射や微弱無線局の許容値、さらに各種機器・設備から発生する不要電磁波の許容値を紹介した。しかし、これらの許容値は、測定法や測定条件が異なるため単純には比較できない。例えば、大地面の影響は、周波数、機器や測定点の地上高、測定距離、さらに偏波等によって大きく異なる。そこで以下では、様々な許容値を、大地がない自由空間における距離  $10 \text{ m}$

における電界強度に換算して比較する。

図 6 に示す電流  $I$  の微小素片  $\Delta z$  から発生する電磁波の強度及び放射電力は、距離  $r$  において次式で与えられる。ここで、 $\beta = 2\pi/\lambda$  である。

$$H = \frac{I \cdot \Delta z}{4\pi} j\beta \left( 1 + \frac{1}{j\beta r} \right) \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin\theta \cdot \hat{\phi} \quad (1)$$

$$E = \frac{I \cdot \Delta z}{4\pi} j\omega\mu \left[ 1 + \frac{1}{j\beta r} + \frac{1}{(j\beta r)^2} \right] \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin\theta \cdot \hat{\theta} + \frac{I \cdot \Delta z}{2\pi} j\omega\mu \left[ \frac{1}{j\beta r} + \frac{1}{(j\beta r)^2} \right] \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cos\theta \cdot \hat{r} \quad (2)$$

$$P = 80\pi^2 \left( \frac{I \cdot \Delta z}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

なお、上式は、波源の大きさ  $\Delta z$  が  $\Delta z \ll r$ ,  $\Delta z \ll \lambda$  を満足するとき成立する式であるが、電界強度値の距離 3 m から 10 m への換算に用いる。また、30 MHz 以下の測定にはループアンテナを用いるため、この周波数帯では式 (1) の磁界強度から等価電界強度 (=377×磁界強度) を求める。さらに、無限長電線路に流れる電流によって発生する電磁界に関しては、アンペアの法則から得られる次式を用いて等価電界強度を求めた。

$$E_{equi} = 120\pi \frac{I}{2\pi R} = 60 \frac{I}{R} \quad (4)$$

各機器・設備の許容値を距離 10 m における電界強度に換算した結果を図 7 に示す。なお、具体的には以下のように換算した。

- (a) 微弱無線局 (JP/low) : 30 MHz 以下の許容値の換算は式 (1) を用いて、また 30 MHz 以上では式 (2) を用いて、距離 3 m の電界強度値から 10 m の値に変換。
- (b) 受信機の副次発射 (JP/Rv) : 式 (3) より  $I\Delta z$

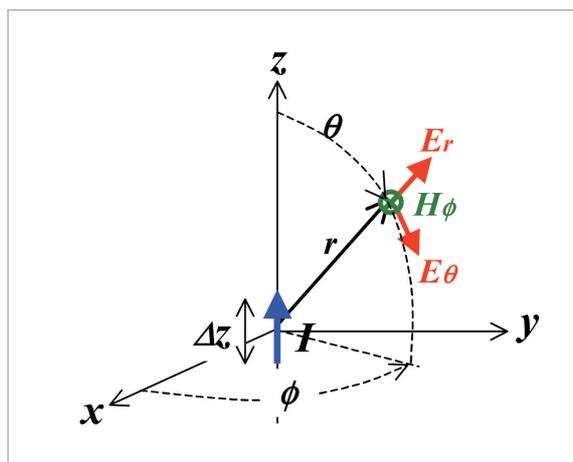


図6 微小電流素片からの電磁波放射

を求め、それを式 (1) 又は式 (2) に代入して距離 10 m における電界強度を計算。

- (c) 誘導通信設備 (JP/IC) : 式 (4) を用いて許容値に対応する電流  $I$  を求め、さらに距離 10 m の等価電界強度を計算。
- (d) ISM 設備 (JP/ISM) : 30 MHz 以下の許容値の換算は式 (1) を用いて、また 30 MHz 以上では式 (2) を用いて、距離 30 m の電界強度値から 10 m の値に変換。
- (e) CISPR 許容値 (CIS/QP, Av, Peak) : 30 MHz 以下では端子電圧の許容値を負荷  $50\Omega/50\mu\text{H}$  で除して電流値を求め、それを式 (4) に代入して、距離 10 m における等価電界強度を計算。また、30~1000 MHz では、許容値が 10 m で規定されているため、換算は不要である。1000 MHz 以上では、式 (2) を用いて距離 3 m における許容値を 10 m の値に変換。

図 7 から分かるように、大略 3 MHz~3 GHz の周波数帯における各種設備の不要電磁波に関する許容値は 30~50 dB $\mu\text{V}/\text{m}$  であるが、無線通信の保護を共通の目的とするならば、許容値間の更なる整合が必要と思われる。特に、我が国の微弱無線局に関する 322 MHz 以上の許容値は特異であり、今後の修正が必要であると思われる。

微弱無線局の電磁波を測る場合は、図 2 に示した -6 dB 帯域幅 B の測定用受信機を用いることが告示によって規定されている。この帯域幅は CISPR 規格に準拠して定められたものである [12]。しかしながら電波法では、一般に測定器の帯域幅や検波方式について何ら規定がない。したがって、原理的には測定器によって異なる測定結果が得られることになり、電波監理上極めて不都合である。このため最近になって、スプリアス発射の測定においても、原則として CISPR 規格の測定器を用いるようになった。なお、図 7 に示した電波法関連の換算値は、測定に CISPR 規格の測定器を用いた場合に対応するものである。

既に述べたように、周波数 3 MHz~3 GHz の許容値は 30~50 dB $\mu\text{V}/\text{m}$  である。もし、機器から発生する電磁波が 40 dB $\mu\text{V}/\text{m}$  ならば、測定器の帯域幅 B 当たり 33 nW 程度が機器から不要電磁波として放射されていることになる。なお、測定器の帯域幅は、3 MHz~30 MHz では 9 kHz、

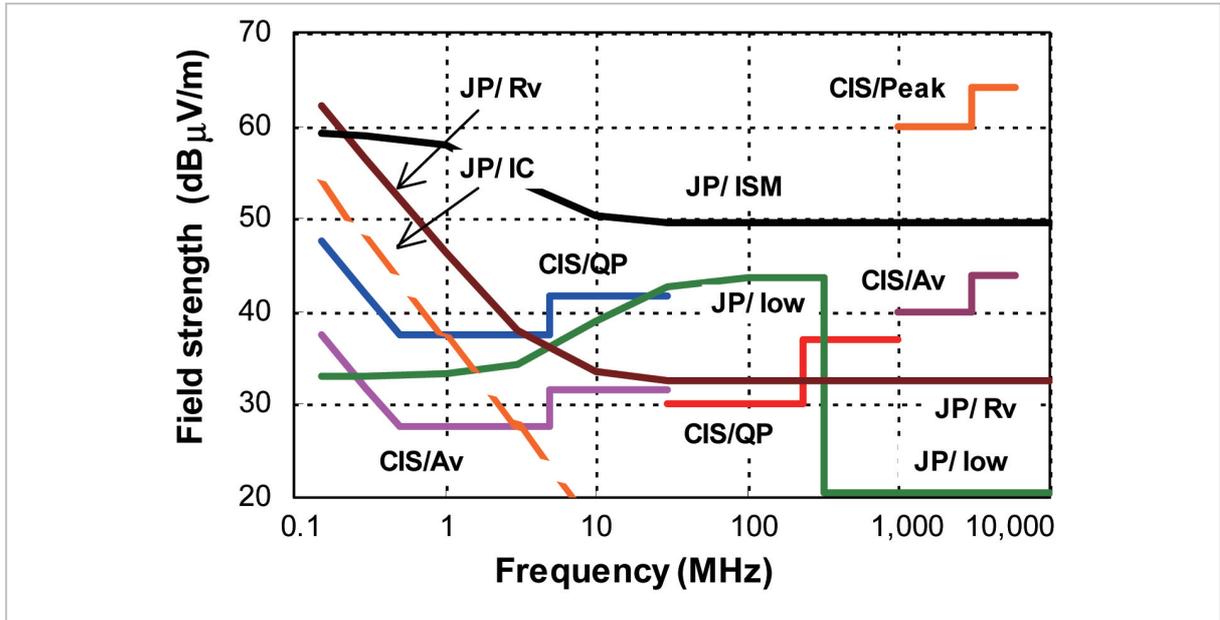


図7 様々な機器・設備の不要電磁放射に関する許容値の比較

距離 10m における電界強度に換算した値。JP/low：我が国の微弱無線局、JP/Rv：受信機の副次発射、JP/IC：誘導通信設備、JP/ISM：ISM 設備(50~500W)、CIS/QP：CISPR 22 の準尖頭値、CIS/Av：CISPR 22 の平均値、CIS/Peak：CISPR 22 の尖頭値

30 MHz~1 GHz では 120 kHz、1 GHz~3 GHz では約 1 MHz である。したがって、機器が 3 MHz ~3 GHz の全域にわたって距離 10 m において 40 dB μV/m の電磁波を放射すると仮定すると、その機器の不要電磁波に関する全放射電力は 0.4 mW 程度になる。ただし、このような全周波数にわたる放射は起こり得ないため、実際には上記の値より数桁小さく、μW 程度と想定される。

## 2.5 環境雑音

前節では個々の無線設備や電気・電子機器から放射される不要電磁波(電波雑音)のレベルについて述べたが、本節では、それらの集積結果である環境雑音のレベルについて簡単に述べる。

環境雑音には、空電等による自然雑音と、人間の活動に伴う人工雑音が存在するが、HF~UHF の周波数帯では、人工雑音が継続的かつ顕著である。この人工雑音環境に関しては 1966~1971 年に米国で膨大な調査が行われており、その結果を図 8 にまとめて示す。この図は、米国の様々な環境 103 か所で、250 kHz~250 MHz のうちの 8~10 周波数を同時に受信し、日中に主として測定車を移動させながら、あるいは固定点で雑音電力を測定し、統計処理した結果である [13]。ここで、

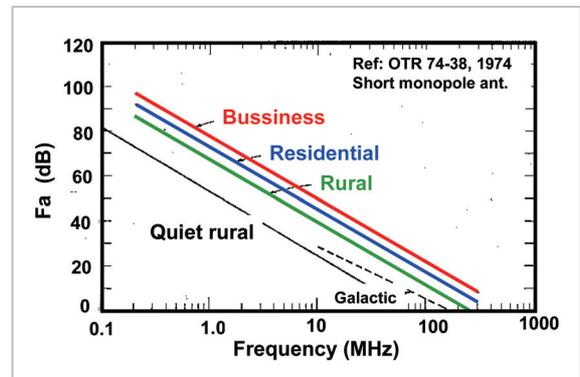


図8 人工雑音源による環境雑音の周波数特性 (ITU-R P.372-8)

Fa は以下で定義される雑音指数である。

$$F_a \equiv P_{av} / (kTB) \quad (5)$$

なお、測定にモノポールアンテナを用いれば、受信電力はダイポールアンテナに比べて半分になるので、

$$P_{av} = \frac{E^2 \lambda^2}{120\pi 4\pi} G = \frac{E^2 \lambda^2 1.5}{120\pi 4\pi 2} \quad (6)$$

したがって、 $T=290K$  及び Boltzmann 定数  $k$  を式 (5) に代入すれば、式 (6) より電界強度(中央値)と雑音指数に関する次式が得られる。ただし、B

は等価雑音帯域幅 (Hz) で、 $F_a$  は dB 表示値である。

$$E_n = F_a + 20 \log f_{MHz} + 10 \log B - 95.5 \quad (7)$$

(dB $\mu$ V/m)

式 (5) では、環境雑音は広帯域で、電界強度は測定器の帯域幅の平方根に比例すると見なしている。これは、図 8 の測定に用いた測定器の等価雑音帯域幅が 4 kHz で狭かったためと、雑音源が観測点からある程度離れており、中心極限定理が成り立つような状況にあったためと思われる。一般に人工雑音源は周期雑音を発生することが多いため、波源近くの測定では鋭い周波数特性を持っている。また、道路付近で測定すると、しばしば直近を通る自動車などによって結果が支配されることがある。さらに、今から 30 年以上前に測定された図 8 の結果が、現在でも有効か否か甚だ疑問である。それ以後の電力消費量の増大や電気・電子機器の著しい進歩を考慮すれば、我が国でも、環境雑音の新たな調査が必要であると思われる。

平成 17 年の総務省「高速電力線搬送通信に関する研究会」でも短波帯における環境雑音が話題になり、図 8 に基づいてその電界強度を推定した。その結果を表 1 に示すが、環境雑音がこの周波数帯を利用する各種無線局等の感度レベルと同程度か、それより高くなることもあり得ることが分かった[1]。なお、表 1 は 30 年以上前の米国の調査に基づくものであり、現在はより高レベルになっていると予想される。

### 3 電磁波の伝搬

2.4 では、大地面のない自由空間において、微小波源や無限長線路に流れる電流を仮定して、電磁界強度の距離特性を計算した。しかし、このような仮定は通常の不要電磁波源では成立しな

表 1 環境雑音の電界強度  $E_n$  (dBmV/m) :  
B=10 kHz

	2MHz	3MHz	10MHz	30MHz
商業環境	19.0	17.6	13.6	9.9
住宅環境	14.7	13.3	9.3	5.6
田園環境	9.4	8.0	4.0	-0.3
極めて雑音の少ない環境	-4.5	-6.0	-10.5	-14.6

い。したがって、もう少し実際的な波源として、短波帯を利用する電力線搬送通信設備 (PLC) を想定し、電力線から放射される電磁波について、以下で距離特性や遮蔽特性を検討する。

#### 3.1 近距離における電波伝搬

有限長線路から発生する電磁波のレベルは、大地面が平坦で、見通しの距離 (送信高 2m で数 km 以内) であれば、モーメント法による数値計算によって容易かつ精度良く推定できる。したがって、以下では、広く使われているモーメント法の数値計算プログラム NEC-2 を用いて、短波帯 PLC に利用される電力線からの放射を計算する。

屋内の電力線の配線は様々であるが、ここでは簡単のため、図 9 に示すように、長さ  $L=20$  m の線状アンテナが地上高  $H_t=2$  m に水平に張られていると仮定し、様々な距離  $R$  で地上高  $H_r=2$  m における電磁界を計算した。なお、長さ 20 m のアンテナは実用上極めて長いが、この周波数帯では 50 m 以上離れば、アンテナは点波源と見なされる。なお、高周波電力はアンテナの中央から供給したが、固定長の線路であるため、線路上には電流定在波が発生する。このため、電磁界の距離特性は、定在波電流の最大値  $I_{max}$  を 1mA に固定して求めた。また、大地の条件としては、我が国の土壤に近い Wet ground 及び Medium dry ground を考慮した。

##### (a) 水平線路の電流によって生じる電磁界

Wet ground 上で高さ 2 m に水平に張られた線状アンテナ (長さ 20 m) から放射される電磁波の

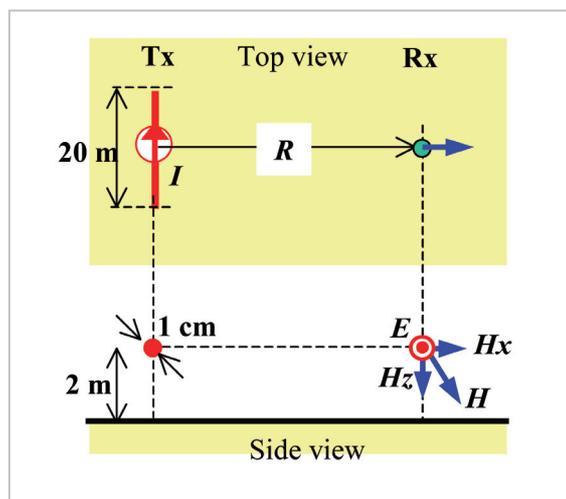


図 9 水平線路の電流波源によって発生する磁界

うち、磁界強度に関する水平方向の距離減衰特性を図 10 に示す。ただし、単線上の電流最大値が 1mA の場合の磁界強度を表した。

同様に、大地面の状態が Medium dry ground の場合についても計算したが、Medium dry ground 上における磁界強度は、Wet ground 上に比べて大地反射の影響が少ないため周波数依存性も少なく、そのレベルは Wet ground に関する計算結果とほぼ重なった。また、電界強度も同時に計算したが、電界強度と磁界強度の比は特性インピーダンス 377Ω に近かった。なお、図 9 では線路が水平に配置されており、水平偏波の大地面反射波が逆位相になるため、線路から 10 m 以上離れば、電磁界強度は距離 2 乗に反比例して減衰することが分かる。

水平線路から発生する電磁界の高さ方向の減衰特性は、一般に、受信点の高さが  $H_r \gg \lambda/2\pi$  で、かつアンテナの長さ  $L$  よりも十分高ければ  $H_r \gg L$ 、高さ  $H_r$  の 1 乗に反比例して減衰する。それより近傍では 2 乗に反比例して減衰する。なお、周波数  $f_{\text{MHz}} = 75/H_t$  [ MHz ] 近傍では、大地面反射によって放射波の強度が 2 倍近くになることがある。また、図 11 から、電磁界のレベルは周波数によって相当変化することが分かる。また、図 10 と比較すると、水平方向よりも垂直方向の電磁界の減衰が少ないことが分かる。

(b) 垂直線路の電流によって生じる電磁界

図 12 に示すように垂直に張られた線路に高周波電流が流れた場合の電磁界も計算した。ただし、線路は長さ  $L=5.6$  m の単一導線で、その中心を高さ 3.2 m に設置し、中心から給電して線路上の最大電流が  $I_{\text{max}}=1\text{mA}$  になるようにした。なお、アンテナ長 5.6 m は、2 階建て家屋を想定して選んだものである。また、大地面の条件としては Wet ground, Medium dry ground について、モーメント法による数値計算を行った。

その結果を図 13 に示す。この結果と水平線路に関する図 10 を比べると、遠距離になれば垂直線路の電磁界は減衰が少ないため、相対的に顕著になることが分かる。ただし、遠距離になれば、垂直偏波に関する大地の反射係数が -1 に近づくため、水平偏波と同様に、電磁界強度は距離の 2 乗に反比例して減衰することが図 13 から理解できる。

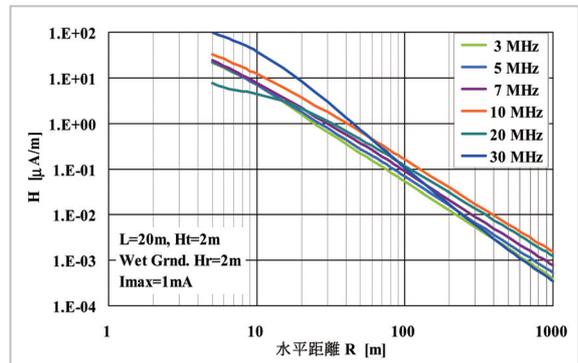


図 10 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性 (Wet ground,  $H_t=2\text{m}$ )

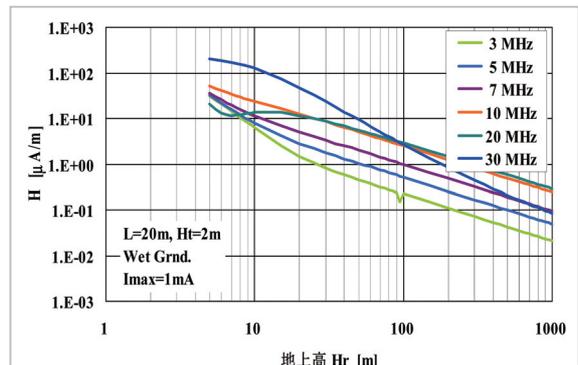


図 11 水平線路の電流によって生じる磁界の地上高特性 (Wet ground,  $H_t=2\text{m}$ )

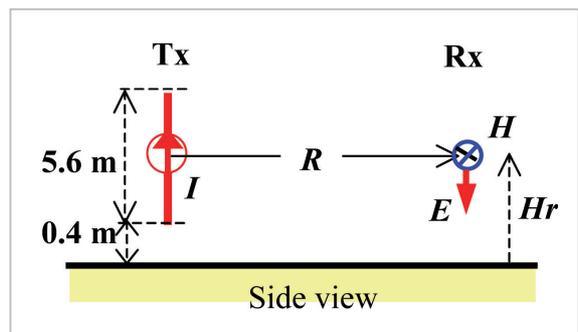


図 12 垂直線路の電流によって生じる電磁界

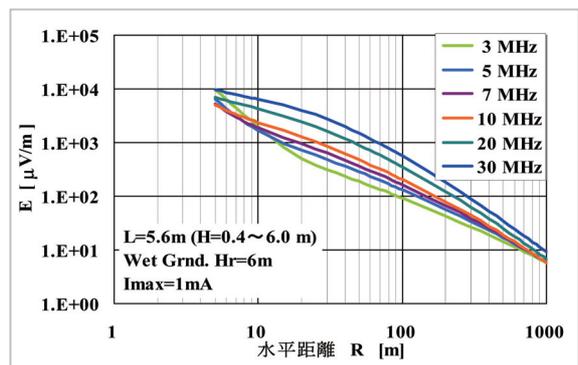


図 13 垂直線路の電流によって生じる電界の距離特性 (Wet ground,  $H_r=6\text{m}$ )

### 3.2 中遠距離における電波伝搬

短波帯での中遠距離伝搬は、地上波による伝搬だけでなく、Sky-wave (電離層反射) によって到達する電磁波も考慮する必要があり、複雑に変化する電離層特性値の関数である。例えば、自由空間中であれば、利得  $G_t$  の送信アンテナに電力  $P_t$  を入力すれば、距離  $r$  における電磁波の電界強度は、

$$E = \frac{\sqrt{30G_t P_t}}{r} \quad (8)$$

で与えられる。しかし、電離層伝搬の場合、 $r$  は見かけの斜め伝搬距離になり、さらに電離層による反射、吸収、散乱、また大地反射損など、様々な要因を考慮しなければならない。このため、計算は極めて複雑であり、ITU-R 勧告 P.533 に従った「HF propagation prediction method」の伝搬モデルを用いたソフトウェアが一般に利用されている。例えば、情報通信研究機構に置かれた 5W の送信源から周波数 13.39 MHz の電磁波を放射した場合について、日本周辺における電界強度を計算した結果を図 14 に示す。この図のように、Sky-wave による電界強度は放射点から離れた場所で最大値になり、ホットスポットを発生することがあるが、その場所は周波数、入射角や電離層の状態によって様々に変化する。ただし、ホットスポットといえども、式 (8) による斜め伝搬距離による減衰を受けるため電磁界強度は低く、当然ながら送信源付近で地表波が届く場所の電磁界強度が非常に高い。

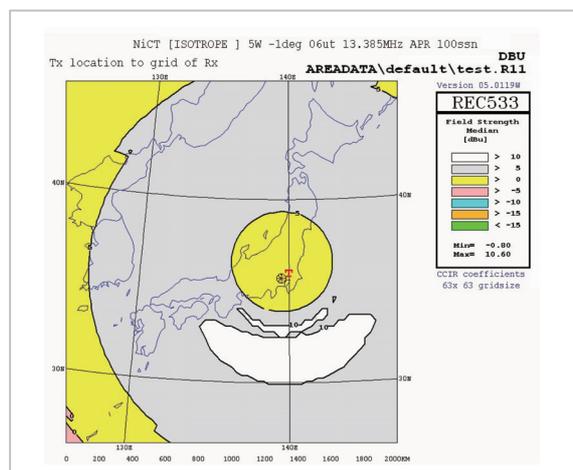


図 14 電離層伝搬による電界強度分布 (送信源は NICT, 5W, 13.39MHz)

### 3.3 建築物による電磁波の遮蔽効果

送信点又は受信点がビルや建物によって囲われているときは、その建造物によって電磁波は遮蔽される。この遮蔽効果については、前記の「高速電力線搬送通信に関する研究会」で、計算機シミュレーション結果が報告されているので、その結果を簡単に紹介する [1][14]。

計算対象とした建物は、鉄骨、木造及び鉄筋コンクリートの 3 種類で、いずれも幅 3.0 m × 奥行 3.9 m × 高さ 3.2 m の直方体で、前面及び後面にドア及び窓がある構造である。また、PLC からの漏えい波を対象としたため、波源として長さ 6 m のコの字に配線された電力線を用いた。数値解析には Finite Integration 法の市販ソフトウェアを用いた。

建造物が有る場合と無い場合では、電磁界分布及びレベルが全く異なるため、遮蔽効果は建物の有無による電界強度の比で表し、距離 10 m 及び 150 m の場所での平均値を求めた。その結果を表 2 に示すが、短波帯では、鉄筋コンクリートで 20 dB 以上の遮蔽効果を期待できるのに対して、木造家屋では 10 dB 程度の遮蔽効果しか得られないことが分かる。

表 2 建造物による電磁遮蔽効果

鉄筋コンクリート					
周波数	2MHz	5MHz	10MHz	20MHz	30MHz
減衰量 (距離10m)	29dB	28dB	23dB	27dB	31dB
減衰量 (距離150m)	28dB	26dB	22dB	27dB	29dB
木造家屋					
周波数	2MHz	5MHz	10MHz	20MHz	30MHz
減衰量 (距離10m)	22dB	16dB	12dB	10dB	6.8dB
減衰量 (距離150m)	15dB	16dB	13dB	7.6dB	5.0dB

## 4 短波帯電磁環境の測定

短波帯の電磁環境測定は、図 15 のように、通常、ループアンテナをスペクトラムアナライザのような測定用受信機に接続して、磁界強度を測定する。この場合、被測定磁界強度は、使用したループアンテナの磁界アンテナ係数  $AF_H$  (dB(S/m)) を用いて、測定用受信機の指示値  $V$  (dB $\mu$ V) から

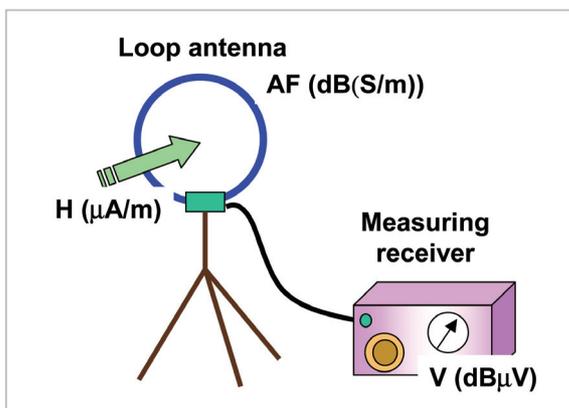


図15 短波帯の電磁界測定 (ループアンテナを使用)

次式によって計算する。

$$H \text{ [dB(}\mu\text{A/m)]} = V \text{ [dB(}\mu\text{V)]} + AF_H \text{ [dB(S/m)]} \quad (9)$$

したがって、低レベルの測定には、AFの小さいアンテナが必要であるが、これにはループ面積が大きく、かつ巻き数の多いループが必要となる。しかし、ループ面積を大きくすると位置分解能が悪くなり、使用に際して不便である。また、巻き数を増やすと、低周波域に共振が現れる。このため、通常は直径60 cmで一回巻きのループアンテナを使用する[12]。高周波磁界に置かれたループの起電力は周波数とループ面積に比例する。しかし、ループのインダクタンスが周波数に比例して増大するため、磁界アンテナ係数 $AF_H$ は周波数と共に小さくなるが、一般には複雑な特性になる。また、インダクタンスを消去するために、共振回路を備えたループアンテナも市販されている。

短波帯の測定用アンテナとしてはモノポールタイプのアンテナも市販されている。しかし、このような電界測定用アンテナは、測定者などアンテナ周囲の物体による影響を受けやすいため、電磁界測定には一般にループアンテナを用いている。したがって、ループアンテナによって得られる測定値は磁界強度[dB(A/m)]であるが、我が国ではいまだに測定値に特性インピーダンス $377 \Omega$ を乗じた等価電界強度[dB(V/m)]で表示するケースが多い。なお、CISPRでは10年ほど前から磁界強度で表している。

市販のスペクトラムアナライザの等価入力雑音レベルは、短波帯で $-140 \text{ dB(mW/Hz)}$ 程度であ

る。この雑音レベルから無入力時の準尖頭値( $B=9 \text{ kHz}$ )を計算し、これより指示値が6 dB高くなるCW入力を求めると、約 $10 \text{ dB}\mu\text{V}$ になる。一方、妨害波測定器として販売されている測定用受信機では、上記に対応するCW入力は $-5 \text{ dB}\mu\text{V}$ 程度であるため、このような妨害波測定器を用いた方が15 dB程度低いレベルの電磁界を測定できることが分かる。

短波帯におけるループアンテナの磁界アンテナ係数 $AF_H$ は $-10 \sim -20 \text{ [dB(S/m)]}$ 程度である。したがって、上記の測定器の感度を考慮すると、 $-10 \text{ dB}(\mu\text{A/m})$ 程度の磁界( $B=9 \text{ kHz}$ )を測定できることになる。等価電界強度では $40 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ 程度に相当する。なお、平均値検波を用いれば、これより更に10 dB程度低い電磁界を測定することが可能である。

しかし、表1の環境雑音レベルを測るには、更に20 dB以上の感度向上が必要であり、振幅確率分布(APD)測定など、様々な方法が要求される。なお、感度向上のために、ループアンテナや測定用受信機に低雑音前置増幅器を付加したものが販売されている。この場合、強い放送・通信波の混入による増幅器の非線形応答による誤差に、十分注意する必要がある。

通常の妨害波測定では、被測定対象物からループアンテナを10 m程度離して磁界を測定する。したがって、受信レベルは低く、かつ到来する外来波の混入による影響を防ぐことは困難である。このため、図16の大型ループアンテナシステムと称する3個の直交ループアンテナから構成される磁界測定用アンテナが、短波帯以下の周波数で、一部の電子機器に利用されている。

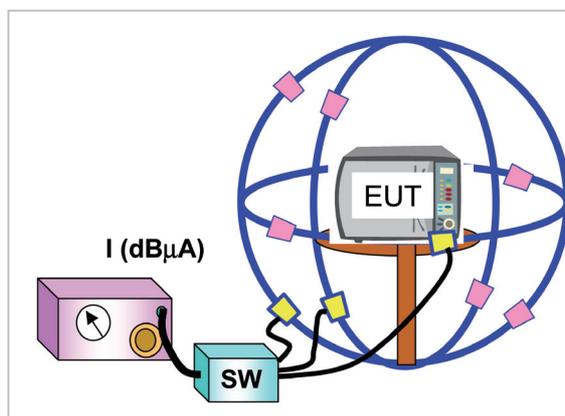


図16 大型ループアンテナシステム

## 5 おわりに

近年、短波帯では無線タグ (RF-ID) や電力線搬送通信 (PLC) などの新たな通信システムが開発され、爆発的な普及が予想されている。このため、無線設備を含む各種設備・機器間の電磁的両立性が新たな問題になっている。

本論文では、周波数 150 kHz~10 GHz 帯について、電磁環境を形成する様々な雑音源とその許容値を比較検討した。その結果、様々な機器・設備の許容値の整合が必要であるとともに、最近の

雑音環境について広範囲な調査が必要であることを明らかにした。さらに、短波帯電磁界の測定法について紹介し、環境雑音測定の問題点を明らかにした。

なお、本論文の主たる内容は総務省「高速電力線搬送通信に関する研究会」(座長：筆者)の報告書に基づくものであり、この研究会で調査研究を担当した独立行政法人情報通信研究機構の山中幸雄、石上忍、後藤薫、藤井勝巳の諸氏に深謝いたします。

### 参考文献

- 1 総務省「高速電力線搬送通信に関する研究会」報告書, 2005.12
- 2 無線設備規則 第7条
- 3 電波法施行規則 第6条
- 4 無線設備規則 第24条
- 5 電波法 第100条
- 6 電波法施行規則 第44条
- 7 電波法施行規則 第45条
- 8 無線設備規則 第65条
- 9 電波法施行規則 第46条の7
- 10 電波法 第101条
- 11 CISPR 22, 2006.
- 12 CISPR 16-1-1, 2003.
- 13 ITU-R 勧告 P.372-8.
- 14 石上忍, 後藤薫, 松本泰, “電力線通信における建築物による電磁界減衰効果の数値解析”, 電気学会 2005年電子・情報・システム部門大会, OS1-4, pp.366, 371, 2005.
- 15 CISPR 16-1-4, 2003.
- 16 T. Shinozuka, A. Sugiura, and A. Nishikata, "Rigorous analysis of a loop antenna system for magnetic interference measurement", IEICE Trans. Commun., E76-B, No.1, pp.20-28, 1993.

すぎうら あきら  
杉浦 行  
東北大学電気通信研究所教授  
博士(工学)  
通信環境工学