

高速電力線搬送通信と無線利用との共存について（案）

- 1 高速電力線搬送通信の概要
- 2 短波帯（2～30MHz）の無線利用
- 3 無線局の信号波強度
- 4 妨害波の発生
- 5 妨害波の電波伝搬
- 6 高速電力線搬送通信に関連する許容値の現状
- 7 高速電力線搬送通信に関連する妨害波測定法
- 8 許容値及び測定法

参考資料

高速電力線搬送通信と無線利用との共存に関する各構成員からの意見（研究会資料 2-3、4-4、5-3、7-8）

高速電力線搬送通信と無線利用との共存検証実験の結果（研究会資料 7-2、9-3、9-4）



# 1 高速電力線搬送通信の概要

## 1.1 高速電力線搬送通信

電力線搬送通信は、既存の電力線を使用することにより容易にネットワークを構築し、通信を行うことができるものであるが、無線利用への影響を考慮し、現在のところ10～450kHzの周波数を使用することが可能とされている。近年、この電力線搬送通信について、伝送可能な情報量を増大させた高速電力線搬送通信を実現するため、使用可能な周波数を拡大（2～30MHzを追加）することが要望されている。

本研究会においては、屋外の配電系については平衡度が悪いことが懸念され漏えい電波が十分に低減できる目途が立っていない状況にあることから、屋内配線系を用いた高速電力線搬送通信を対象として検討を行った。

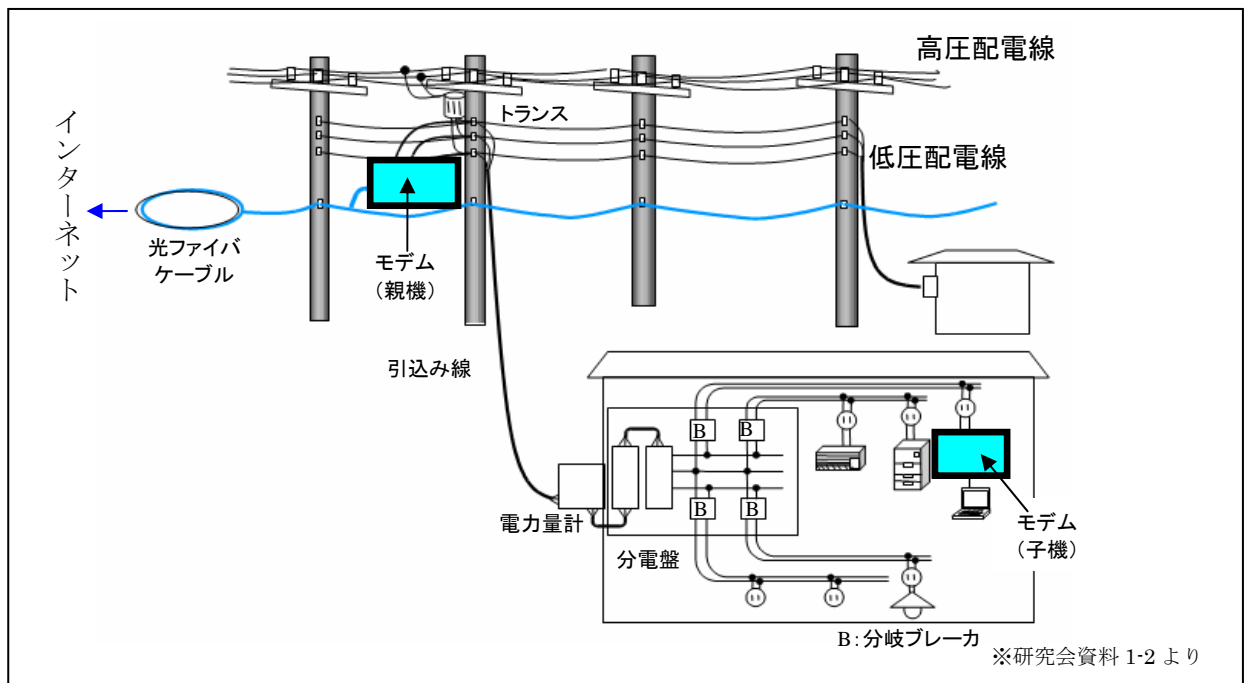


図 1-1 高速電力線搬送通信 (アクセス系)

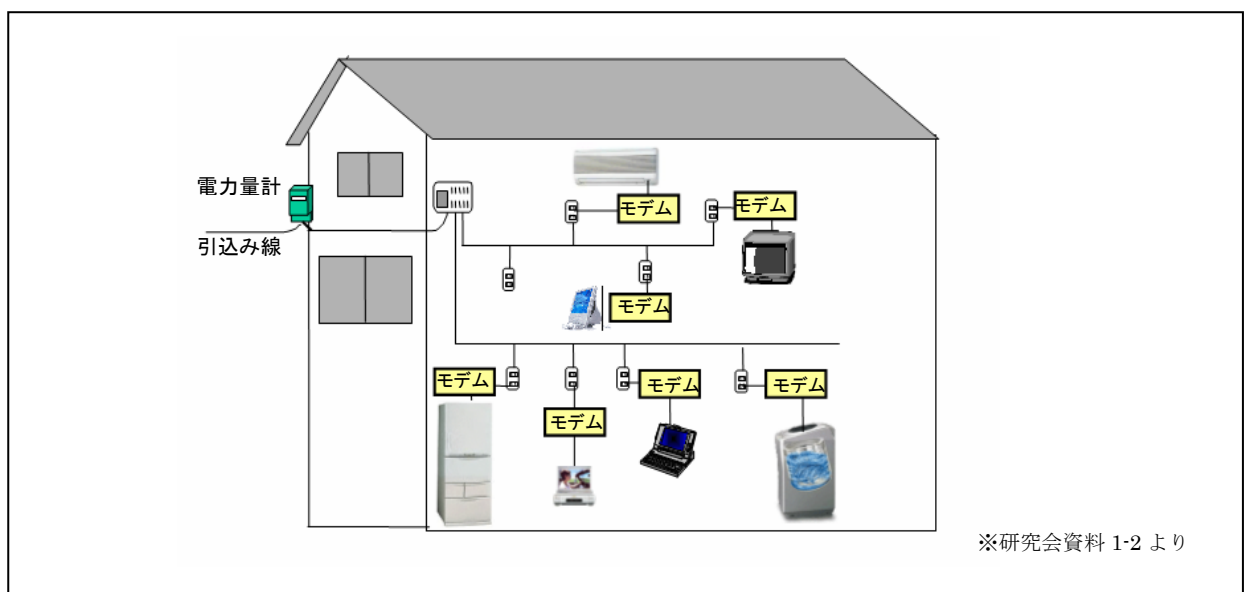


図 1-2 高速電力線搬送通信 (屋内系)

### 1.2 高速電力線搬送通信設備からの漏えい電波による影響

高速電力線搬送通信については、電力線から漏えいする電波が無線利用に影響を及ぼすことが懸念されている。

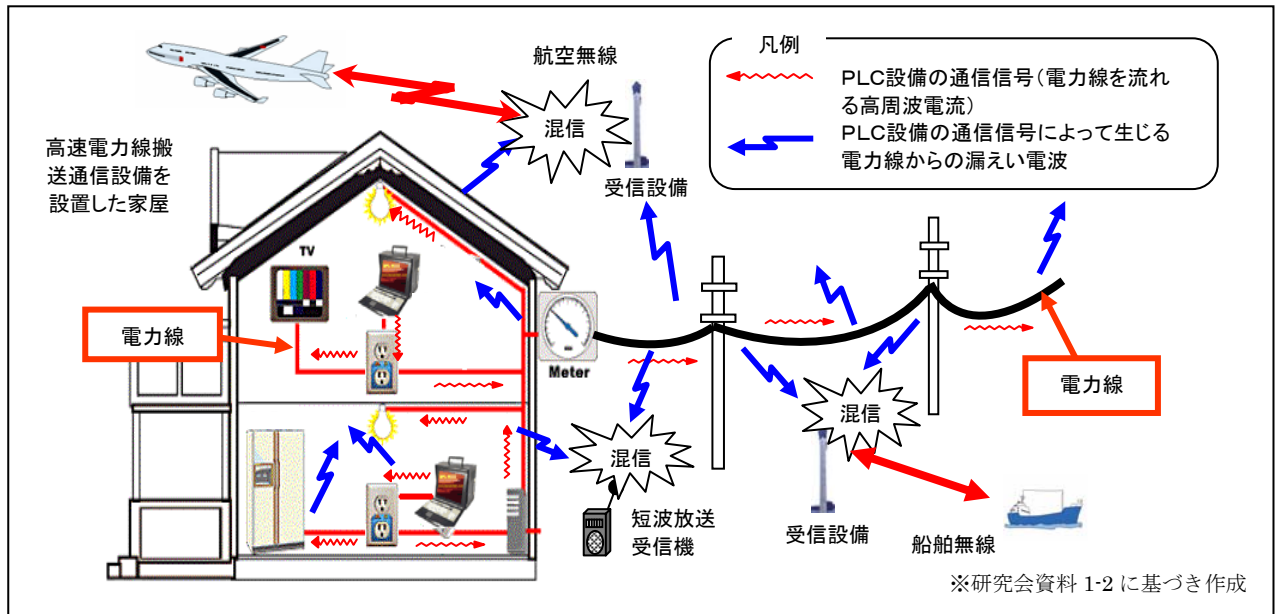


図 1-3 高速電力線搬送通信により懸念される影響

### 1.3 漏えい電波低減技術の開発

総務省において、電力線搬送通信と無線通信との共用の可能性等について検討を行うため、平成14年に「電力線搬送通信設備に関する研究会」が開催された。同研究会では、ヒアリングや実環境実験の結果から、「現時点においては、電力線搬送通信設備の使用周波数帯を拡大することは困難であるが、今後、漏えい電波を大幅に低減するための技術の開発が期待されることから、研究開発等を継続することが必要」、「モデムの研究開発の促進、国際基準策定に必要なデータ取得等に必要な実験を実施するために、研究開発目的の設備の許可制度を整備することが必要」などとする提言が取りまとめられた。

この提言を受け、平成16年1月に、漏えい電波低減に係る実験制度が導入され、平成16年3月から屋内電力線の使用を中心とした実験によるデータ取得が行われている。

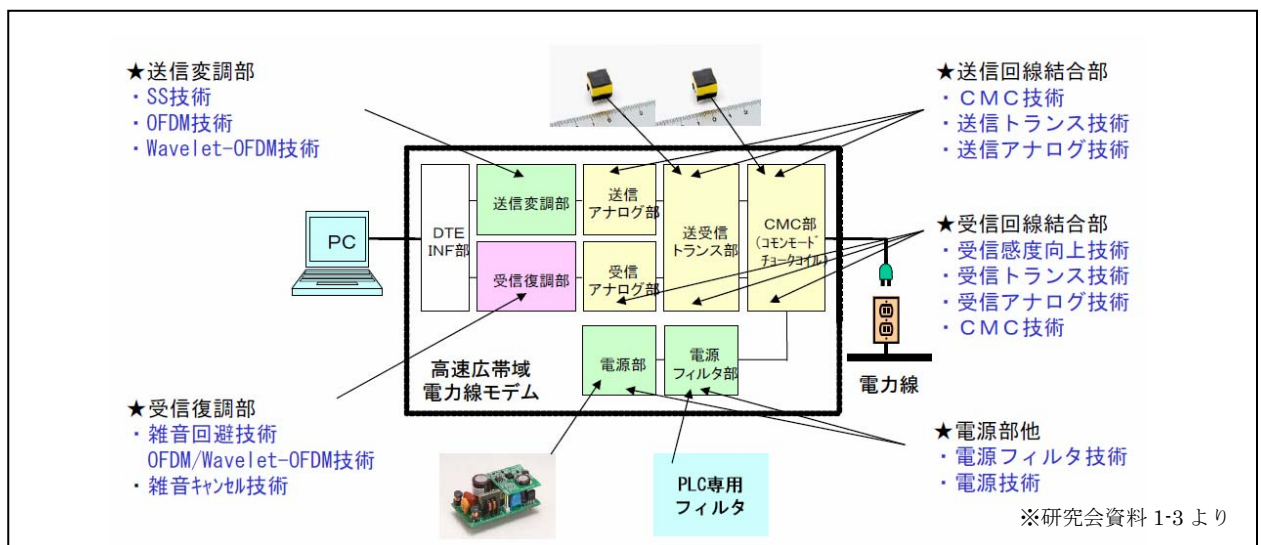


図 1-4 各種漏えい電界低減技術概要

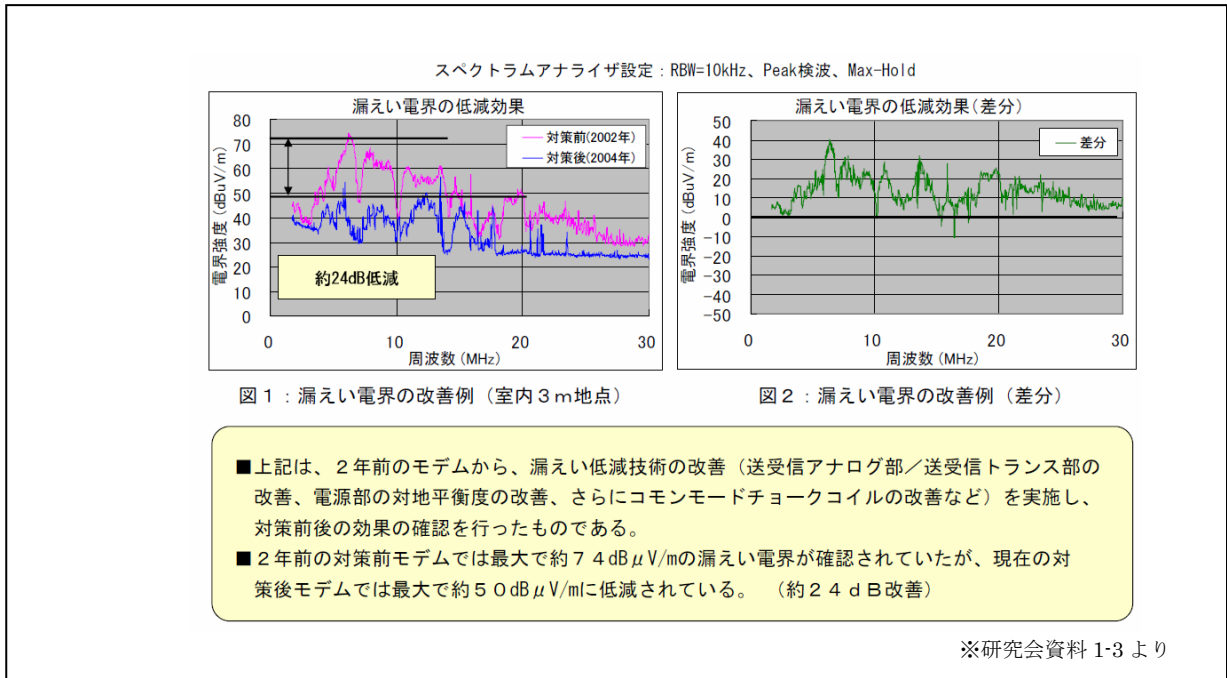


図1-5 漏えい電界低減技術の効果（SS方式）の例

#### 1.4 海外における高速電力線搬送通信の利用

米国において、屋内用として14Mbps（物理層レベル）のモデムが民間で規格化・商品化されているが、伝送速度が十分に出ないなどの状況もあり、次世代モデムを開発中である。また、アクセス系での利用に関しては、平成16年10月にFCCルールを改正し、使用禁止周波数帯の設定、特定周波数帯における使用禁止地域の設定、データベースへの登録・公開、干渉申し立てへの対応などの事前・事後の規制を導入しており、バージニア州の例では、約200世帯を対象に数百kbps～数Mbps程度のサービスが提供されている。

欧州においては、2001年4月に欧州委員会が標準化団体に対して技術仕様策定を指示しており、未だ策定に至っていない状況にあるが、スペインやドイツにおいて、地中化率の高い屋外電力線による電力線搬送通信がインターネット接続に利用されている（最大伝送速度は1Mbps程度）。

## 2 短波帯 (2~30MHz) の無線利用

短波帯 (2~30MHz) 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、電波天文のほか、固定通信、移動通信、市民ラジオ、ラジオマイク、ラジコン、ワイヤレスカード等の各種業務に使用されている。

表 2-1 2~30MHz の主な周波数割当て

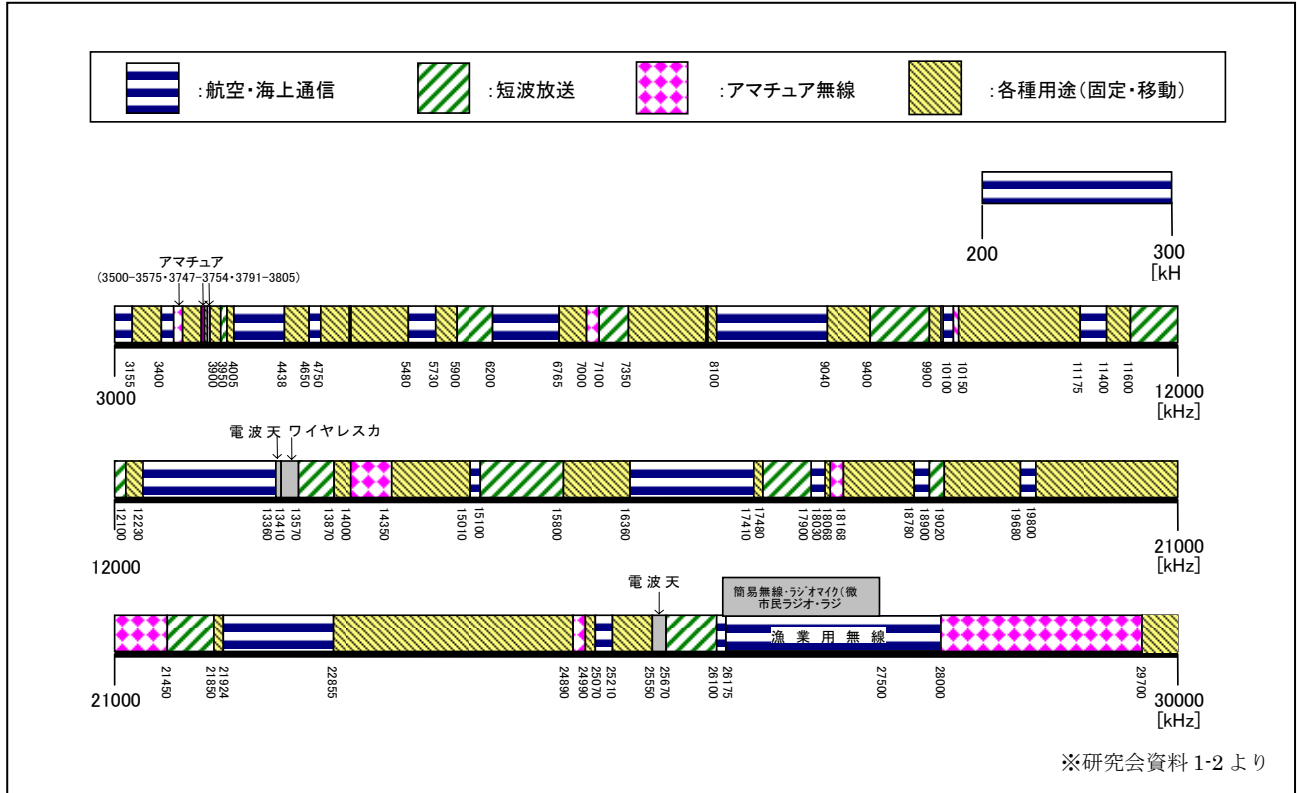


表 2-2 周波数割当表 (抜粋)

国内分配 (kHz)	
2000-2065	固定 海上移動 陸上移動
2065-2107	海上移動
2107-2170	固定 陸上移動 海上移動
2170-2173.5	海上移動
2173.5-2190.5	移動
2190.5-2194	海上移動
2194-2495	固定 陸上移動 海上移動
2495-2501	標準周波数報時
2501-2502	標準周波数報時 宇宙研究
2502-2505	標準周波数報時
2505-2850	固定 陸上移動 海上移動
2850-3025	航空移動 (R)
3025-3155	航空移動 (OR)
3155-3230	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
3230-3400	固定 移動 (航空移動を除く。)
3400-3500	航空移動 (R)
3500-3575	アマチュア
3575-3747	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
3747-3754	アマチュア
3754-3791	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
3791-3805	アマチュア
3805-3900	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
3900-3950	航空移動 放送
3950-4000	固定
4000-4063	固定 海上移動
4063-4438	海上移動
4438-4650	固定 陸上移動 海上移動
4650-4700	航空移動 (R)
4700-4750	航空移動 (OR)
4750-4995	固定 陸上移動
4995-5003	標準周波数報時
5003-5005	標準周波数報時 宇宙研究
5005-5060	固定
5060-5450	固定 陸上移動 海上移動
5450-5480	固定 陸上移動 航空移動 (OR)
5480-5680	航空移動 (R)
5680-5730	航空移動 (OR)
5730-5900	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
5900-6200	放送
6200-6525	海上移動
6525-6685	航空移動 (R)
6685-6765	航空移動 (OR)
6765-7000	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
7000-7100	アマチュア アマチュア衛星

国内分配 (kHz)	
7100-7200	アマチュア 固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
7200-7450	放送
7450-8100	固定 移動 (航空移動 (R) を除く。)
8100-8195	固定 海上移動
8195-8815	海上移動
8815-8965	航空移動 (R)
8965-9040	航空移動 (OR)
9040-9400	固定
9400-9900	放送
9900-9995	固定
9995-10003	標準周波数報時
10003-10005	標準周波数報時 宇宙研究
10005-10100	航空移動 (R)
10100-10150	アマチュア
10150-11175	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
11175-11275	航空移動 (OR)
11275-11400	航空移動 (R)
11400-11600	固定
11600-12100	放送
12100-12230	固定
12230-13200	海上移動
13200-13260	航空移動 (OR)
13260-13360	航空移動 (R)
13360-13410	固定 電波天文
13410-13570	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
13570-13870	放送
13870-14000	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
14000-14250	アマチュア アマチュア衛星
14250-14350	アマチュア
14350-14990	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
14990-15005	標準周波数報時
15005-15010	標準周波数報時 宇宙研究
15010-15100	航空移動 (OR)
15100-15800	放送
15800-16360	固定
16360-17410	海上移動
17410-17480	固定
17480-17900	放送
17900-17970	航空移動 (R)
17970-18030	航空移動 (OR)
18030-18052	固定
18052-18068	宇宙研究
18068-18168	アマチュア アマチュア衛星
18168-18780	固定 海上移動
18780-18900	放送
18900-19020	固定
19020-19680	固定
19680-19800	海上移動
19800-19990	固定
19990-19995	標準周波数報時 宇宙研究

国内分配 (kHz)	
19995-20010	標準周波数報時
20010-21000	固定 陸上移動 海上移動 航空移動 (OR)
21000-21450	アマチュア アマチュア衛星
21450-21850	放送
21850-21924	固定
21924-22000	航空移動 (R)
22000-22855	海上移動
22855-23000	固定
23000-23200	固定 陸上移動
23200-23350	固定 航空移動 (OR)
23350-24000	固定 陸上移動 海上移動
24000-24890	固定 陸上移動
24890-24990	アマチュア アマチュア衛星
24990-25005	標準周波数報時
25005-25010	標準周波数報時 宇宙研究
25010-25070	固定 陸上移動 海上移動
25070-25210	海上移動
25210-25550	固定 陸上移動 海上移動
25550-25670	電波天文
25670-26100	放送
26100-26175	海上移動
26175-27500	固定 移動 (航空移動を除く。)
27.5-28 MHz	移動
28-29.7 MHz	アマチュア アマチュア衛星
29.7-37.5 MHz	移動

※ 下線は二次業務。脚注分配を除く。



### 3 無線局等の受信点での信号波強度

短波帯を利用する PLC 機器からの妨害波の許容値を検討するに当たっては、この周波数帯を利用する既存の無線局等の受信点での信号波強度や周囲雑音強度を参考にする必要がある。このため以下では、本研究会および平成 14 年度「電力線搬送通信設備に関する研究会」に提出された資料をもとに、各種無線局等の受信点での信号波強度や周囲雑音レベルを考察する。

#### 3.1 無線局等の受信機の感度等

2-30MHz 帯の無線局等の受信設備の感度等に関し、本研究会および平成 14 年度の研究会において各種団体から提出された資料に記載されている値を抜粋して表 3-1 に示す。なお、備考欄の「ヒ」は、平成 14 年度の研究会のヒアリングWG 資料を表す。

表 3-1 無線局等の感度等

周波数	無線局等	感度等 $V_r$	条件・根拠	備考
1.6~26 MHz	MF/HF 無線設備 (DSC, 無線電話, NBDP)	DSC, NBDP 1 $\mu$ V (0 dB $\mu$ V)  無線電話 6 $\mu$ V (16 dB $\mu$ V)	DSC, NBDP 無線設備規則第 40 条の 7 (文字誤り率 1% 以下) 無線電話 SINAD=20dB	ヒ 3-3 (日本船主協会)  DSC:デジタル 選択呼出し装置 NBDP:狭帯域 直接印刷電信装 置)
27 MHz DSB/SSB	MF/HF 無線設備 沿岸小型船舶通信	10 $\mu$ V (20 dB $\mu$ V) 3 $\mu$ V (10 dB $\mu$ V)	技適証明規則	ヒ 3-9 (日本無線)
4, 8, 13/12, 17/16 22 MHz	海上移動業務	3 $\mu$ V (10 dB $\mu$ V)	SINAD=20dB *3 設備規則第 57 条	ヒ 4-5 (KDDI)
8/11 MHz	航空管制等	1 $\mu$ V (0 dB $\mu$ V)	SSB:S/N=10dB AM:S/N=6dB	ヒ 4-4 (定期航空協 会)
2~22 MHz	国際対空通信業務	3 $\mu$ V (10 dB $\mu$ V)	S/N=20 dB (b=3 kHz 3dB 帯 域幅)	ヒ 6-3 (国土交通省航 空局)
3.9,6.0/6.1,9.5/9.7 MHz	短波放送受信	受信機雑音 等価電界強度 4 dB $\mu$ V/m	ITU-R WP1A/46E(May, 2004)	研究会資料 3-3 (日経ラジオ)
3.5/3.8/7/10/14/18/ 21/25/28 MHz	アマチュア無線	(-16~-21 dB $\mu$ V)	S/N=10 dB (b=2.4 kHz 6dB 帯域幅)	ヒ 5-4 (日本アマチュ ア無線機器工業 会)
同上	同上	(-10 ~ 6 dB $\mu$ V)	S/N=10 dB	ヒ 3-9 (日本無線)

13.385 MHz ( $\Delta f=50$ kHz) 25.610 MHz ( $\Delta f=120$ kHz)	電波天文	電力束密度 (dB(W/m <sup>2</sup> )) -191 (@13 MHz) -189 (@25 MHz)	ITU-R RA.769-2 (積分時間:2000s) 信号強度は混信閾値の10倍	ヒ 3-2 (日本学術会議)
---	------	--	---	-------------------

なお、この他に電離層定常観測(1~30 MHz)や短波電離層ドップラ観測(5/8 MHz)、さらには短波海洋レーダ(5.2~42 MHz)等の実験局が運用されている。それらの受信電界強度  $E_s$  は 1~2  $\mu\text{V/m}$  (S/N=10 dB)程度とされている。

### 3.2 周囲雑音のレベル

周囲雑音には、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、2~30 MHz の周波数帯では、人工雑音が継続的にかつ顕著である。このため、ITU-R 勧告 P. 372-8 に基づいて、人工雑音による雑音指数  $F_a$  (dB) の周波数特性を図 3-1 に示す。

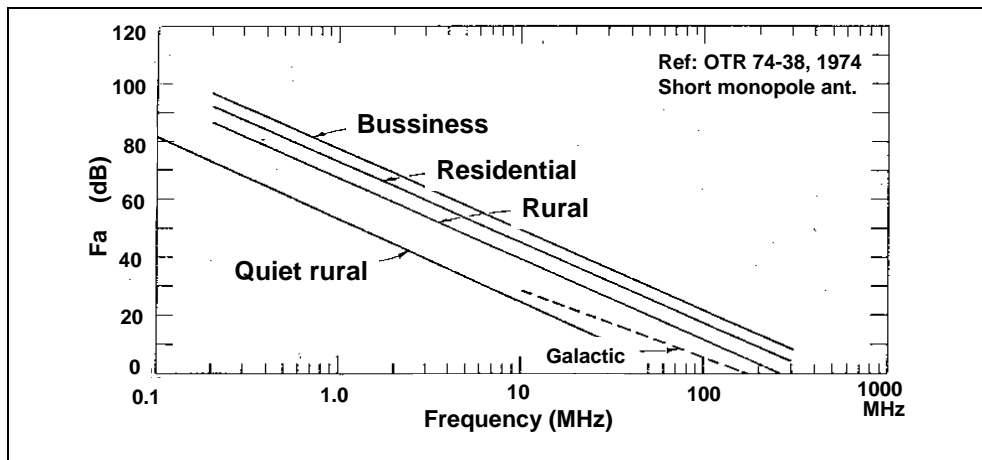


図 3-1 人工雑音の周波数特性 (ITU-R P. 372-8)

これを、式で表すと

$$F_a = c - d \cdot \log(f) \quad (3.1)$$

となる。ここで、 $f$ :周波数 (MHz) であり、定数の  $c, d$  は表 3-2 のように与えられている。

表 3-2 各環境における雑音パラメータ

環境の分類	c	d
商業環境	76.8	27.7
住宅環境	72.5	27.7
田園環境	67.2	27.7
極めて雑音の少ない環境	53.6	28.6

これらのデータより、人工雑音の電磁界強度(中央値)は以下の通り計算できる。

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 95.5 \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.2)$$

$$B = 10 \cdot \log(b) \quad b: \text{等価雑音帯域幅 (Hz)} \quad (3.3)$$

例えば  $b=10$  kHz の時、 $B=40$  であるから、上式は

$$\text{商業環境} \quad E_n = 21.3 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.4)$$

$$\text{住宅環境} \quad E_n = 17.0 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.5)$$

$$\text{田園環境} \quad E_n = 11.7 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.6)$$

$$\text{極めて雑音の少ない環境} \quad E_n = -1.9 - 8.6 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.7)$$

となる。これを計算すると表 3-3 のようになる。

なお、 $b=9$  kHz の時は、 $B=39.5$  となるから、上式から 0.5 dB を減ずれば良い。

表 3-3 2~30MHz 帯の外来雑音指数と等価電界強度 (ITU-R P. 372-8)

	外来雑音指数 $F_a$ (dB)				等価雑音電界強度 $E_n$ (dB $\mu$ V/m、()内は $\mu$ V/m) ( $b=10$ kHz)			
	2 MHz	3 MHz	10 MHz	30 MHz	2 MHz	3 MHz	10 MHz	30 MHz
商業環境	68.5	63.6	49.1	35.9	19.0 (8.9)	17.6 (7.6)	13.6 (4.8)	9.9 (3.1)
住宅環境	64.2	59.3	44.8	31.6	14.7 (5.4)	13.3 (4.6)	9.3 (2.9)	5.6 (1.9)
田園環境	58.9	54.0	39.5	26.3	9.4 (2.9)	8.0 (2.5)	4.0 (1.6)	-0.3 (1.0)
極めて雑音の 少ない環境	45.0	40.0	25.0	11.4	-4.5 (0.6)	-6.0 (0.5)	-10.5 (0.3)	-14.6 (0.2)

なお、今回の研究会に提出された雑音レベルの測定例は以下のとおりである。

(1) 研究会資料 2-3 で提案されているモデル式及び実測例

人工雑音は電力消費密度に比例すると仮定し、1971 年における米国の電力消費密度と 2000 年における我が国の電力消費密度の比を用いて、ITU-R P. 372 の人工雑音を修正した下記のモデル式を提案している。

$$\text{高雑音地域} \quad E_n = 26.8 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.8)$$

$$24.5 \sim 15.4 \text{ dB}\mu\text{V/m} @ 2\text{-}30 \text{ MHz}$$

$$\text{中雑音地域} \quad E_n = 24.8 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.9)$$

$$22.5 \sim 13.4 \text{ dB}\mu\text{V/m} @ 2\text{-}30 \text{ MHz}$$

$$\text{低雑音地域} \quad E_n = 21.2 - 7.7 \cdot \log(f_{\text{MHz}}) \quad \text{dB}\mu\text{V/m} \quad (3.10)$$

$$18.9 \sim 9.8 \text{ dB}\mu\text{V/m} @ 2\text{-}30 \text{ MHz}$$

ITU-R P. 372-8 と比較すると、高雑音地域で商業環境に比べて+6 dB、中雑音地域で住宅環境に比べて+8.3 dB、低雑音地域で田園環境に比べて+10 dB、いずれも高いレベルを提示している。

なお、研究会資料 2-3 では、 $b=10$  kHz、アクティブループ (AF=約 10 dB)、アンテナ高 (ループ下辺) 1 m を用いて実測を行い、その結果から上記のモデル式が実態値と概ね一致したと報告している。

(2) 研究会資料 8-10 の実測例

半波長ダイポール、地上高 50 m、周波数 6.996 MHz、RBW(-6 dB)=2.7 kHz、での測定結果で-4.7 ~ 0.3 dB $\mu$ V/m としているが、アンテナ特性を再検討する必要があるとしている。この測定結果を RBW(-3 dB)=10 kHz に帯域幅換算 ( $10 \log(10/2.7)=5.7$  dB を加算) すると、約 1~6 dB $\mu$ V/m となる。ITU P. 372-8 モデルで 7 MHz とすると 18.2 dB $\mu$ V/m (田園環境)~27.8 dB $\mu$ V/m (商業環境)となり、実測結果のほうが低い値となっているが、これは測定アンテナの高さが大きく異なること (ITU P. 372-8 では 2 m 高/2 m 長の垂直モノポールアンテナ使用) が影響していると考えられる。

### 3.3 無線局等の受信点での信号波電界強度

3.1 で示した無線局等のうち、代表的なものに対して、受信感度に対応する信号波電界強度  $E_s$  の導出を試みる。図 3-2 に受信機の等価回路モデルを示す。表 3-1 の規定感度は受信機入力端のレベル  $V_r$  であるが、理想的な整合状態で、かつ伝送線の損失を無視すれば、この値はアンテナの開放端電圧  $heE$  ( $he$  : アンテナ実効長) の半分に相当するものと考えられる。従って、入射電界強度  $E_s$  は

$$E_s = 2 V_r / he \quad (3.11)$$

で、求められる。但し、この式は整合回路や伝送系等に大きく依存する。

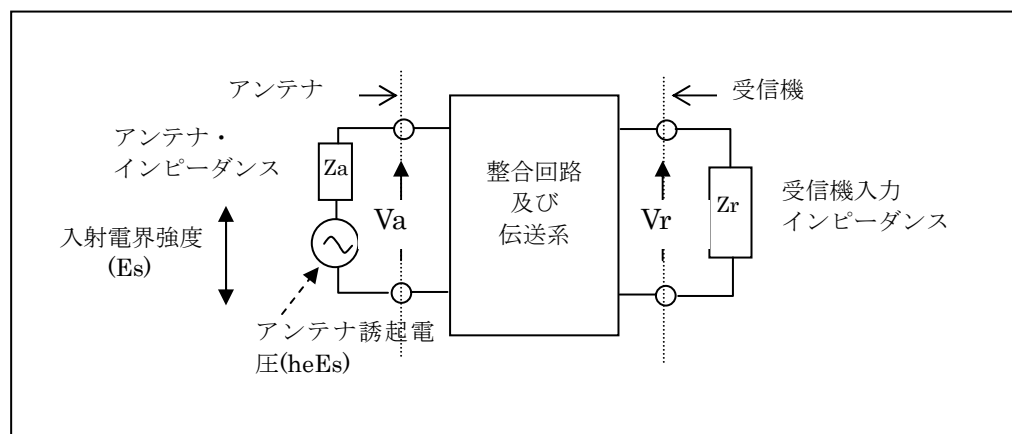


図 3-2 受信機の等価モデル

ところで、固定・移動の通信業務では通常、波長に見合ったアンテナを使用するため、ここでは、簡単のためアンテナを  $\lambda/4$  ( $\lambda$  : 波長) の垂直モノポールアンテナと仮定すると、その実効長は  $\lambda/(2\pi)$  となる。この場合、(3.11)式は

$$E_s = 4\pi V_r / \lambda \quad (3.12)$$

となる。ここで、 $\lambda = 300 / f_{\text{MHz}}$  の関係を用い、さらに dB 表現にすると

$$E_s \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = V_r \text{ [dB}\mu\text{V]} + k \text{ [dB/m]} \quad (3.13)$$

$$k = 20 \log(f_{\text{MHz}}) - 27.6 \quad (3.14)$$

と書ける。2, 5, 10, 15, 30 MHz において  $k$  値はそれぞれ、-22, -14, -8, -4, 2 dB/m 程度となる。

以上の考察から、表 3-1 の感度  $V_r$  に対応する信号波電界強度  $E_s$  を計算した結果を表 3-3 に示す。但し、短波放送や電波天文においては、ITU-R 等の規定の値を記した。また、参考までに周囲雑音レベル (ITU-R P.372-8, 田園環境及び商業環境)についても記載した。

表 3-3 無線局等の受信機感度相当の信号波電界強度等

無線業務	周波数帯	受信機感度 $V_r$ ( $\mu\text{V}$ )	無線局等の受信機感度相当の信号波電界強度 $E_s$ ( $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ) $b=10\text{ kHz}$ 相当	周囲雑音 $E_n$ ( $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ) $b=10\text{ kHz}$ 相当 (注)
航空・海上等 一般無線	2~10 MHz	1 $\mu\text{V}$ , 3 $\mu\text{V}$ , 6 $\mu\text{V}$	-14~2	田園環境：6 商業環境：16
	10 ~30 MHz	1 $\mu\text{V}$ , 3 $\mu\text{V}$ , 6 $\mu\text{V}$ , 10 $\mu\text{V}$	-4~16	田園環境：3 商業環境：12
アマチュア無線	2~10 MHz	-19+7 $\text{dB}\mu\text{V}$ (帯域幅換算)	-25	田園環境：6 商業環境：16
	10 ~30 MHz	-19+7 $\text{dB}\mu\text{V}$ (帯域幅換算)	-16	田園環境：3 商業環境：12
短波放送	2~10 MHz	-	4	田園環境：6 商業環境：16
	10 ~30 MHz	-	4	田園環境：3 商業環境：12
電波天文	13.385 MHz ( $\Delta f=50\text{ kHz}$ )	電力束密度：Pfd ( $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ ) -191 (@13 MHz)	(Pfd から換算) -45 (@13 MHz)	田園環境： 10 (@13 MHz) ( $b=50\text{ kHz}$ 相当) 12 (@25 MHz) ( $b=120\text{ kHz}$ 相当)
	25.610 MHz ( $\Delta f=120\text{ kHz}$ )	-189 (@25 MHz)	-43 (@25 MHz)	極めて雑音の少ない環境： -5 (@13 MHz) ( $b=50\text{ kHz}$ 相当) -3 (@25 MHz) ( $b=120\text{ kHz}$ 相当)
(注) 代表値として、周波数 5 MHz 及び 15 MHz の値を示す。				

以上の結果をまとめると、各無線局の受信機感度相当の信号波電界強度は、  
 一般の無線局（音声）は  $-14\sim 16\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  程度  
 短波放送は  $4\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  程度  
 アマチュア無線局はこれより低く  $-25\sim -16\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  程度  
 電波天文はさらに低いレベルであり  $-44\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  程度  
 であると言える。一方、ITU-R P.372-8によれば、この周波数帯の周囲雑音は、田園環境において  $0\sim 10\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  ( $10\text{ kHz}$ )程度である。

従って、周囲雑音は一般の無線局の感度レベルと同程度か、それより高くなることもあると考えられる。また、短波放送、電波天文、アマチュア無線局の受信設備の感度レベルよりは、周囲雑音が相当高いことが分かる。従って、周囲雑音によって多くの無線設備の受信性能が制限されていることが判る。

なお、上記の周囲雑音レベルは 1970 年代に測定されたもので、近年はこれらの値より相当上昇しているものと予想される（研究会資料 2-3）。



## 4 妨害波の発生

### 4.1 概要

一般に電磁界は、電流が流れることによって発生する。図 4-1 は携帯電話や送信機から線条アンテナに高周波電流を流すことで電波(通信用に使われる電磁波)の出る様子を模式的に表した図である。

必要な信号の電波を作り出すために、アンテナでは電流が効率良く電磁界を発生するようにアンテナ長が決められる。この電流はアンテナ電流と呼ばれる一方通的に流れる電流である。またアンテナの配置によって発生する電界、磁界の方向が異なる。

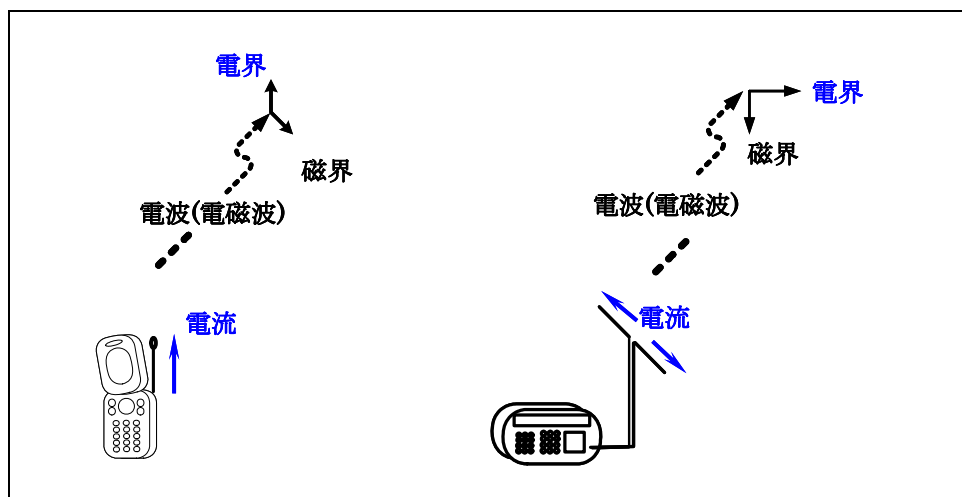


図 4-1 アンテナを流れる高周波電流が電磁界を作る様子

高速電力線搬送通信では通信路として屋内の電力配線を使用する。2本の線路から成る電力線に高周波信号を流すと、往復的(逆相)に流れる電流成分と一方向(同相)に流れる電流成分が発生する。この一方向に流れる電流はアンテナ電流と同じであるので、この電流が流れると電磁波が放射されることになり、電力線からの漏えい電磁界を発生することになる。しかしアンテナのように効率が良いわけではない。

### 4.2 電力線に流れる電流

電力線のような2本線路に高周波信号を流したとき、流れる電流成分は往復に流れる成分をディファレンシャルモード (DM と略記) 電流と呼び、一方向に流れる成分をコモンモード (CM と略記) 電流と呼ぶ。電力線を流れる電流はこのふたつの成分に分解することができる。

電力線を流れる各モード電流が作る電磁界を遠方で考えると、図 4-2 のように考えることができる。それぞれの線を流れる DM 電流が作る電磁界は、反対方向の電磁界を作るので、合成すると打ち消しあうように働く。電力線を構成する2本の線路間隔は非常に接近しているため合成電磁界はほとんど零となる。これは DM 電流が大きくても、この成分が作る電磁界は結果的に非常に小さいレベルとなる。これに反し、CM 電流が作る電磁界は同じ方向であるために強め合う方向に加算される。この結果、CM 電流は小さくても大きな電磁界を発生することになる。したがって高速電力線搬送通信においては、電力配線に流れる CM 電流の大きさを知ることが重要であり、これを見積もることによって電力配線から漏えいしている電磁界レベルを評価することにつながる。

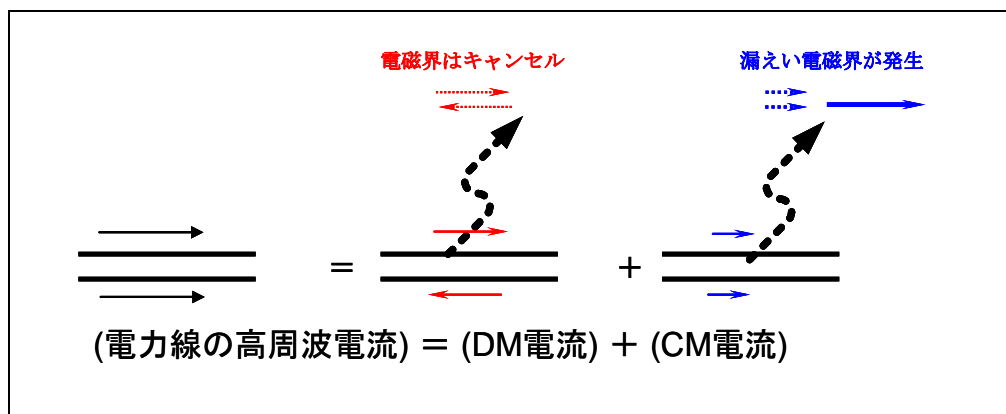


図 4-2 ディファレンシャルモード(DM)電流とコモンモード(CM)電流

### 4.3 コンセントでの評価

高速電力線搬送通信のための機器（以下「PLC 機器」という。）が電力配線に接続されると、電力配線を通る高周波信号のうち一部が CM 電流成分に変換される。この CM 電流を評価する必要がある。しかし一般の家庭内に張り巡らされた配線を CM 電流がどのように流れているかを直接測定することは不可能である。可能なことはコンセント端子で電気的パラメータを測定することである。

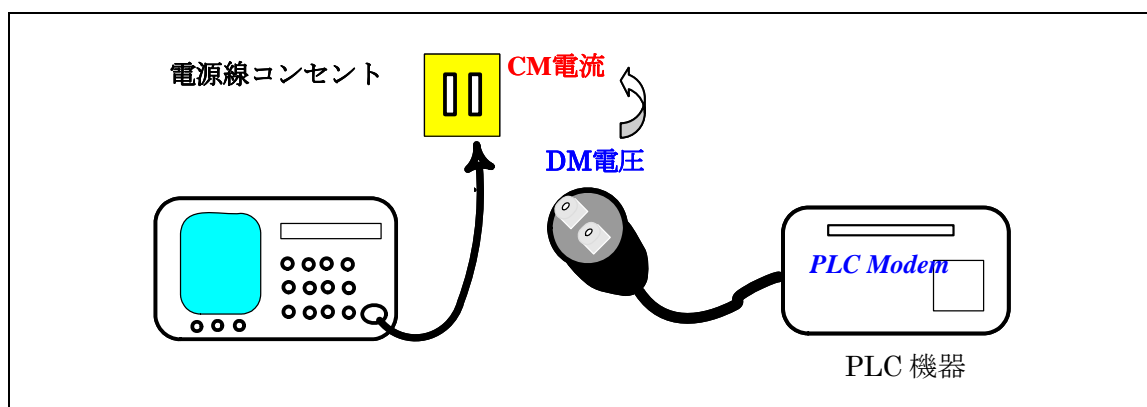


図 4-3 CM 電流はコンセントに接続した PLC 機器により発生

コンセント端子に流れ込む CM 電流は、PLC 機器が接続されたときに発生するコンセントでの CM 電圧と CM インピーダンス(直流での抵抗に対応)が分かれば、求めることができるが、メーカーによって異なる仕様の PLC モデムをあらかじめ考慮することはできない。しかし CM 電流を予測するためにはある種のパラメータを測定すれば可能となる。これらのパラメータはコンセント毎に、家庭内の電気製品の使用状況、また周波数によっても異なる。このために多くのサンプルでパラメータを測定し、集計することによってどの程度の範囲にあるかを予測することが可能となる。このパラメータ値から PLC モデムが接続したときに CM 電流がどの程度誘導されるかが予測できることになる。

### 4.4 コモンモード電流を知るためのパラメータ

#### 4.4.1 LCL(横電圧変換損)

電力配線において、CM 電流成分は PLC モデムの DM 電圧から変換される。DM 成分から CM 成分へ変換される要因は、電力配線が物理的、電気的にバランスが取れていないことが主因である。この非平衡の状態(平衡度)を評価する尺度として LCL(Longitudinal Conversion Loss:横電圧変換損)がある。

図 4-4 は、通信線路の LCL を定義する回路図である。この回路図を PLC 機器に適用した場合、被測定物(UT)とはコンセント端子から見た電力配線回路を意味し、CM 電圧源  $E_{CM}$  によって誘導される DM 電圧  $V_{DM}$  がどれだけ発生するかを測定するものである。

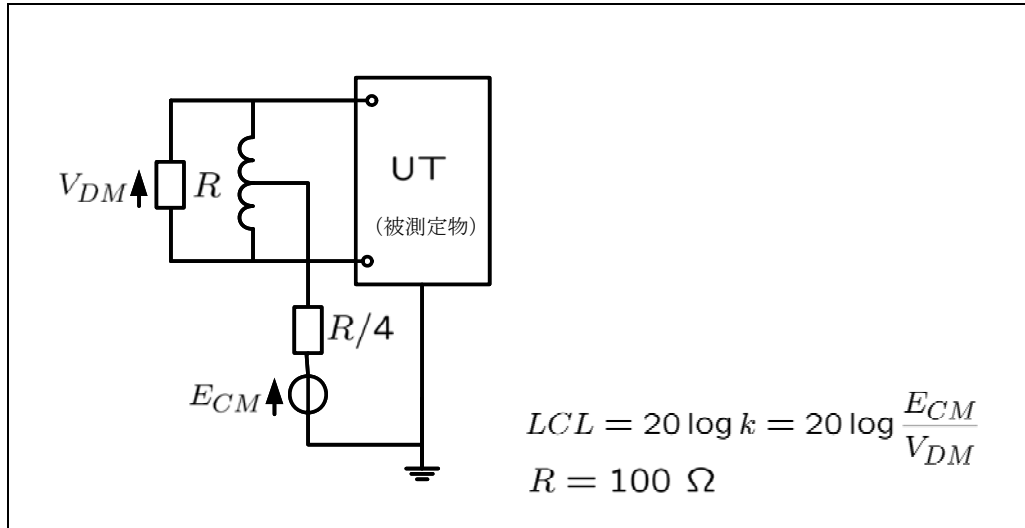


図 4-4 LCL の定義

#### 4.4.2 CM インピーダンスと DM インピーダンス

家屋内電力配線の電氣的性質を評価するには、家屋内配線網の中で測定を実施することが不可能であるため、コンセント端子だけのパラメータから予測、評価しなければならない。コンセント端子で測定できるパラメータは、上述の LCL の他に、CM インピーダンス (CMZ と略記) と DM インピーダンス (DMZ と略記) がある。

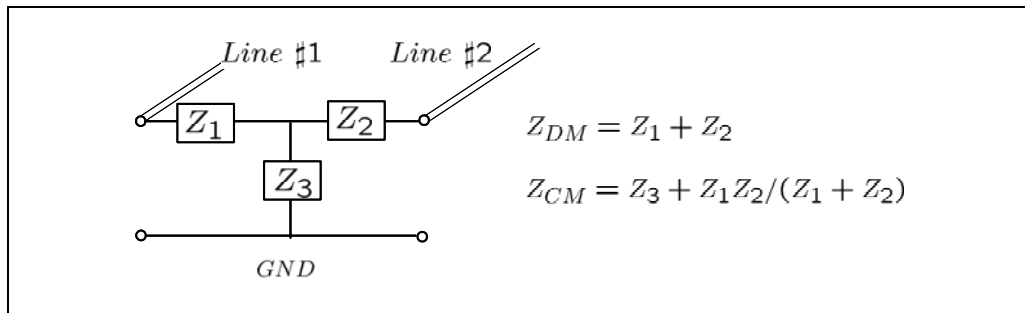


図 4-5 コンセント端子から電力配線を見込んだ T 型等価回路

いま、コンセント端子から電力配線網を見込んだ回路を図 4-5 のように T 型回路で表現したとき、DMZ ( $Z_{DM}$ ) と CMZ ( $Z_{CM}$ ) は図中の式で与えられる。この回路において、電力配線の平衡度が悪い原因は  $Z_1$  と  $Z_2$  が等しくないことに因るものであり、このために PLC モデムの DM 電圧がコンセントに CM 電流を誘起する原因となる。

#### 4.4.3 LCL と DMZ、CMZ の関係

図 4-5 に示した等価回路の素子は 3 個であるので、上記に示した 3 つのパラメータ間にはある関係が存在する。図 4-4 で与えた LCL の測定回路をコンセント端子で測定するとする。図 4-4 の UT を図 4-5 に示した等価回路とし、そこに用いた素子で LCL (真数表現を  $k$  とする) を求めると、

$$k = \frac{2Z_{CM}}{R(Z_1 - Z_2)} \left\{ Z_{DM} + R\delta + \frac{R_2 R + 2R_2 Z_{DM}}{Z_{CM}} \right\} \quad (1)$$

となる。ここで  $R=100 \Omega$  であり、 $R_2$  は図 4 の  $R/4=25 \Omega$  である。また  $\delta$  は

$$\delta = \frac{1}{2} \left( K_1 + \sqrt{K_1^2 - 4K_2} \right) \quad (2)$$

であり、係数は次式である。

$$K_1 = \{k^2 z_{dm} - 2(z_{dm}/r + r_2 + 2r_2 z_{dm}/r_{dm})\} \quad (3)$$

$$K_2 = (z_{dm} + r_2 + 2r_2 z_{dm}/r)^2 - (k/2)^2 \{z_{dm}^2 - 4z_{dm}\}$$

$$\begin{aligned} z_{dm} &= Z_{DM}/Z_{CM}, & r &= R/Z_{CM} = 100/Z_{CM}, \\ r_2 &= R_2/Z_{CM} = 25/Z_{CM} \end{aligned} \quad (4)$$

式(1)中の $(Z_1 - Z_2)$ は $\delta$ で表現可能であるが後述のCM電流との関係を明らかにするために未変換である。これが零でないことが、平衡度を悪くしている原因である。

#### 4.5 LCL、DMZ、CMZの実測値

日本の住宅におけるLCLとCMZ、DMZの実測値を図4-6、図4-7及び図4-8に頻度分布と累積分布特性として示す(研究会資料8-5)。このデータは測定建物数が関西地区39、関東地区23、測定コンセント数は271と216の総計487個において周波数を変化させて測定したものを合計して処理した結果である。これらの結果から、日本の住宅におけるLCLおよび各モードのインピーダンス値は広範囲に分布していることが理解できる。LCLの平均値は約35.5dB、CMZの平均値は240.1 $\Omega$ 、DMZの平均値は約83.4 $\Omega$ と読み取れる。

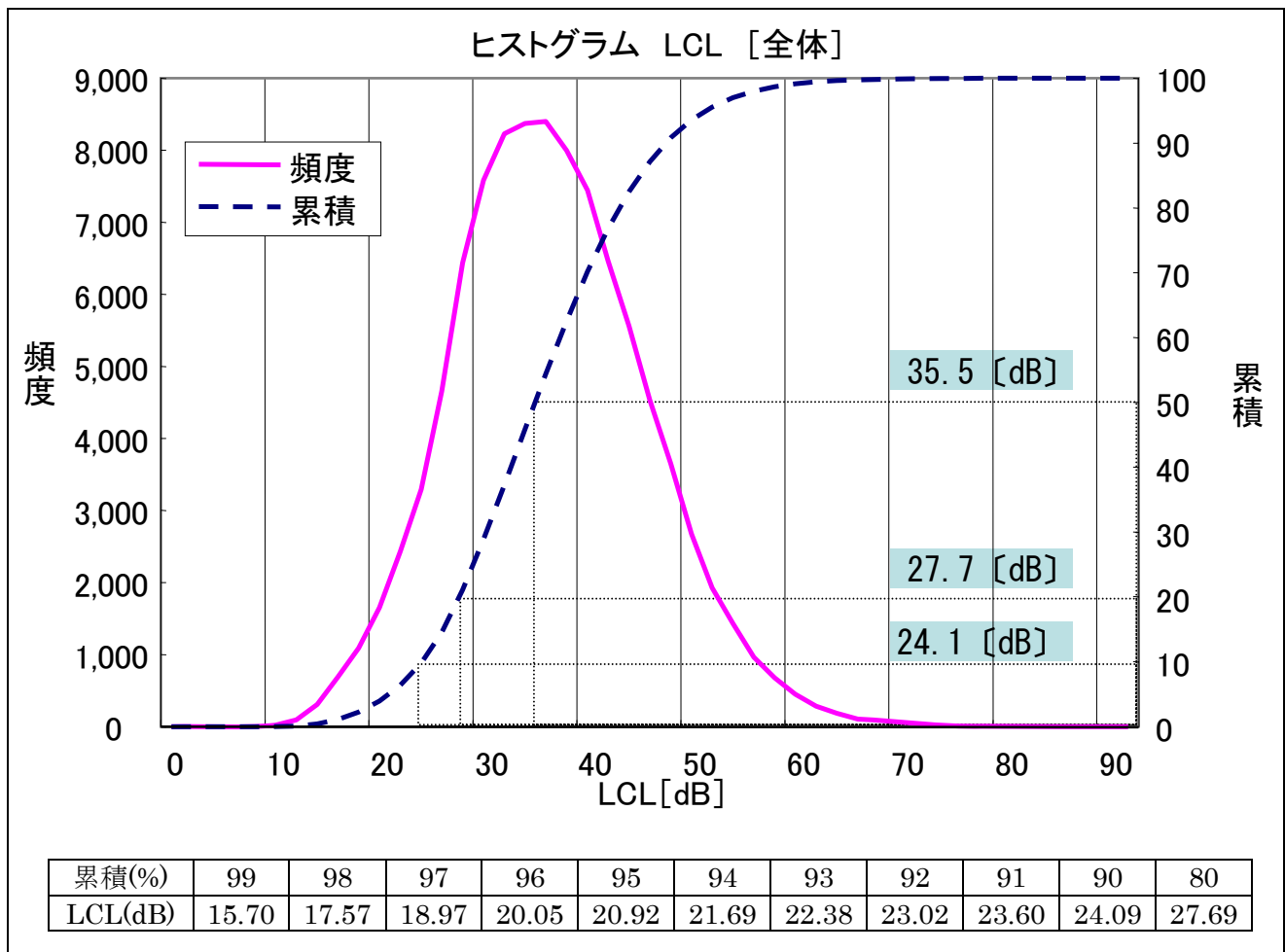


図4-6 LCL実測値(頻度分布と累積分布特性)

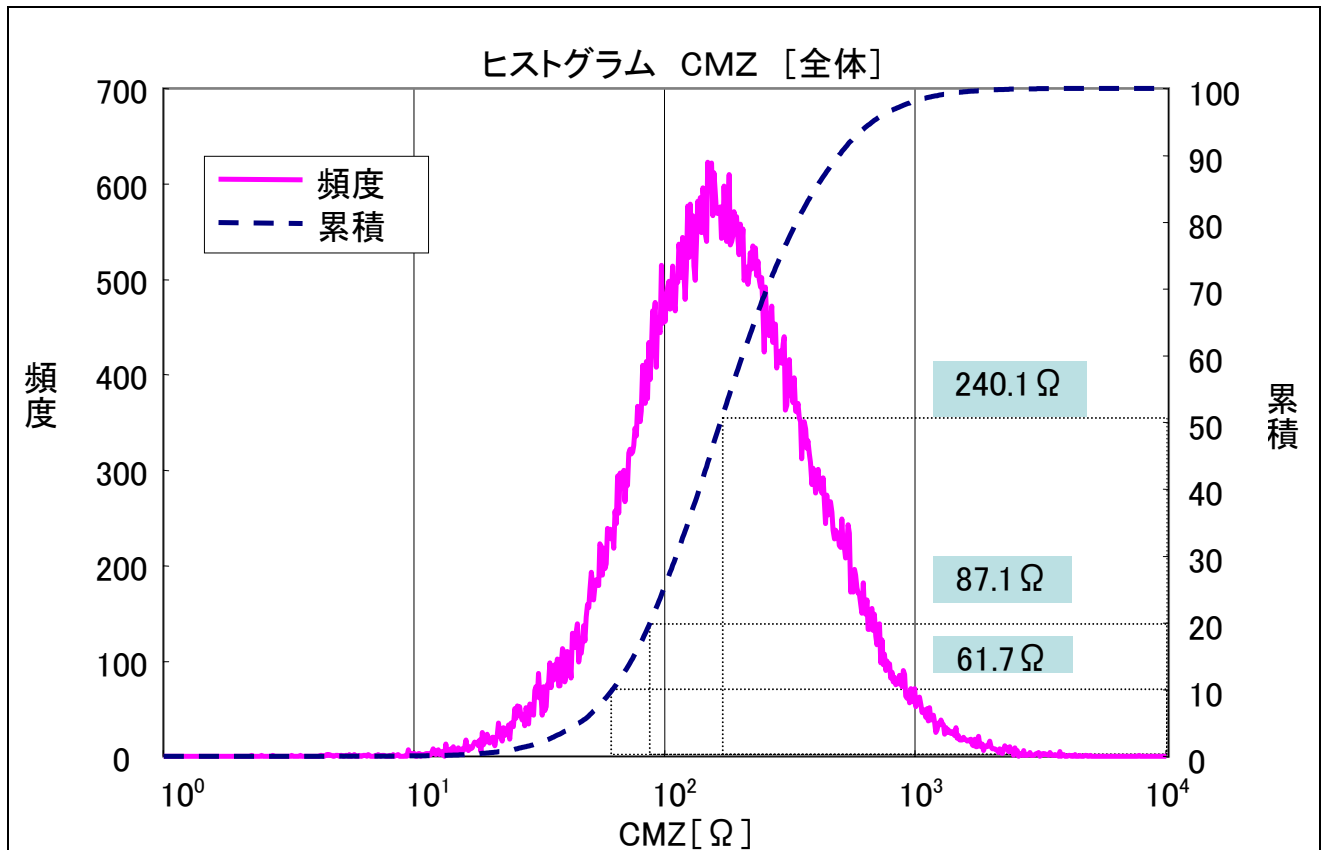


図 4-7 CMZ の頻度分布と累積分布特性

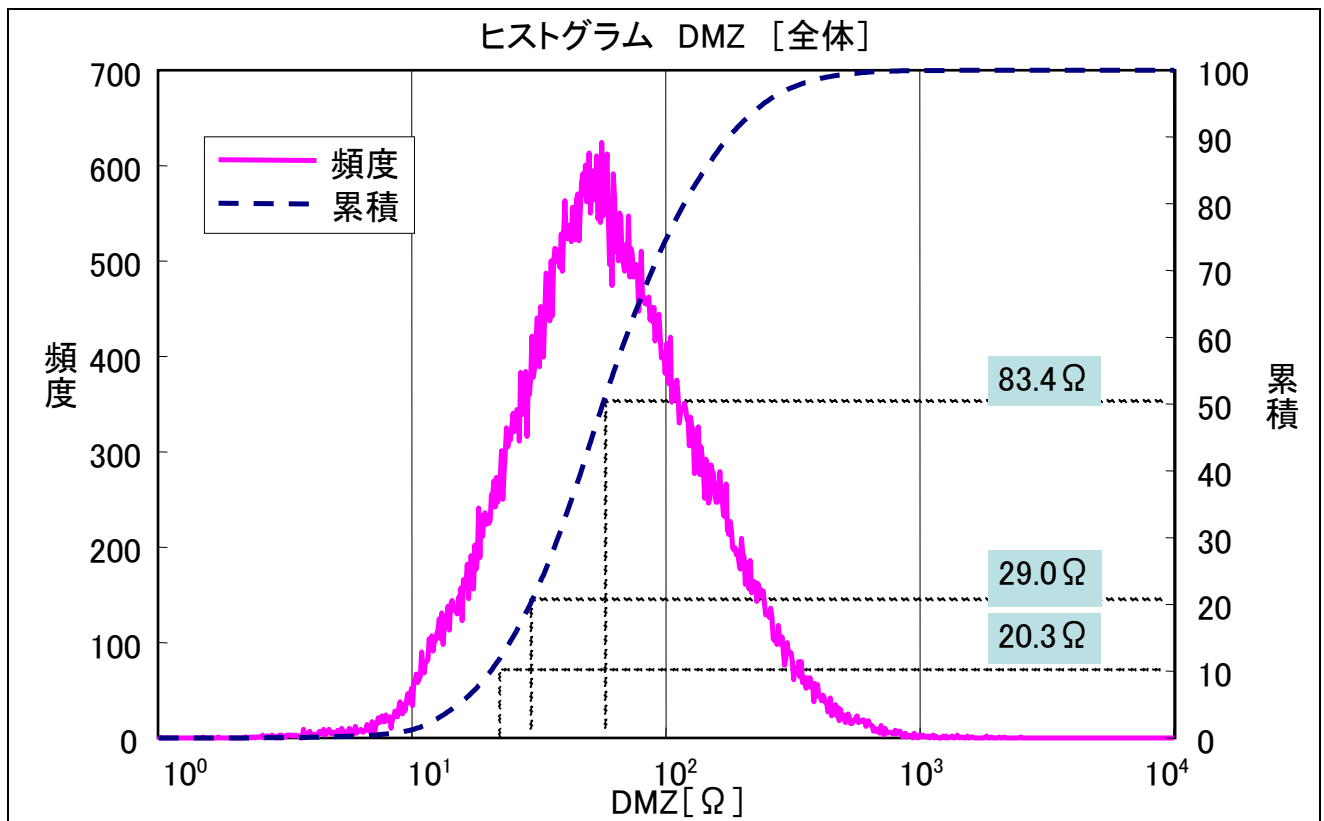


図 4-8 DMZ の頻度分布と累積分布特性

#### 4.6 コモンモード電流

PLC 機器が電源コンセントに接続された等価回路を図 4-9 に示す。

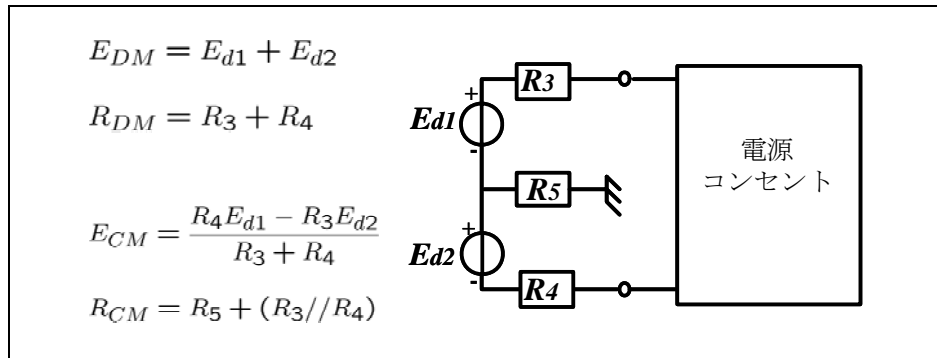


図 4-9 PLC モデムが電源コンセントに接続されたモデル

図 4-9 において、PLC 機器の電圧源電圧は  $E_{DM}$  であり、モデムの内部インピーダンスは T 型で表現されている。この PLC 機器が電源コンセントに接続されると、PLC 機器の信号電源自体の平衡が取れていないとすれば、内部インピーダンス  $R_{CM}$  をもつ CM 電圧源電圧  $E_{CM}$  が必然的に発生する。

コンセントに誘導される CM 電流を求めると、次のようになる。

$$I_{CM} = \frac{(R_{DM} + Z_{DM})E_{CM} - (Z_1 - Z_2)E_{DM}/2}{(R_{DM} + Z_{DM})\{R_{CM} + (Z_{DM} + 4\delta Z_{CM})/4\} - (Z_1 - Z_2)^2/4} \quad (5)$$

この式において、分子第 1 項は PLC 機器の平衡がくずれているときに発生する成分を表し、第 2 項が電力配線の非平衡状態によって発生する成分を表している。

PLC 機器の平衡度が高いとすると、CM 電流は、式 (5) の分子が第 2 項だけで近似できる。誘導される CM 電圧  $V_{CM}$  と CM 電流は LCL( $k$ )を用いて

$$V_{CM} = \frac{1}{k} \cdot \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{z_{dm}(1 + 2r_2) + r(r_2 + \delta)}{z_{dm}(1 + r_{cm} + r_{dm}/4) + r_{dm}(r_{cm} + \delta)} \right\} E_{DM} \quad (6)$$

$$I_{CM} = \frac{V_{CM}}{Z_{CM}} \quad (7)$$

となる。小文字で与えたパラメータは式 (4) で与えたものの他は、以下のとおりである。

$$r_{dm} = R_{DM}/Z_{CM}, \quad r_{cm} = R_{CM}/Z_{CM} \quad (8)$$

## 4.7 モデル計算例

### 4.7.1 CMZ と DMZ に対する CM 電流の変化

図 4-10 は、PLC 機器の内部インピーダンスを  $R_{DM}=50\Omega$ 、 $R_{CM}=500\Omega$  としたとき、PLC 機器の DM 電圧で規格化した、コンセント端子に誘導される CM 電流をデシベル表現したものである。LCL は 20dB と設定している。パラメータはコンセント端子の DMZ であり、 $30\Omega$  から  $150\Omega$  の値で変化している。この図から、CM 電流はこの例では  $64\pm 2\text{ dB}\mu\text{A/V}$  の範囲にあり、CMZ と DMZ の変化に対してその変化は少ないことを示している。

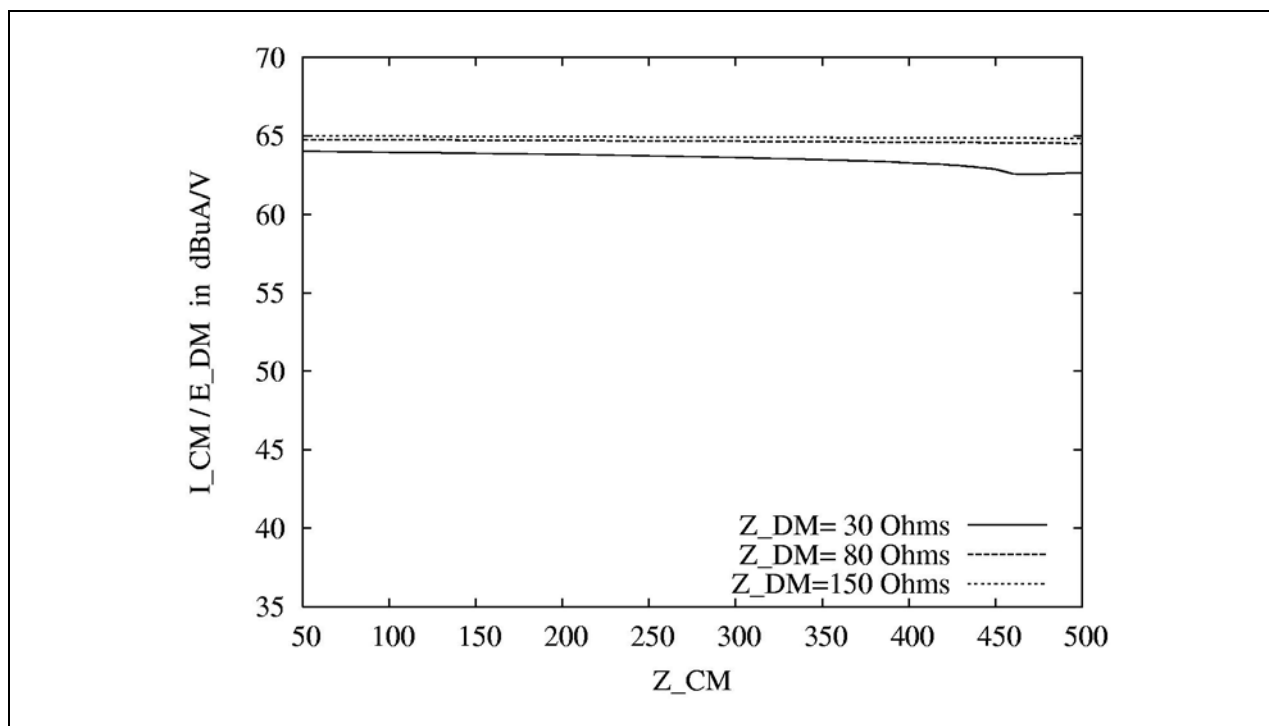


図 4-10 CMZ 対コモンモード電流特性例：  
PLC 機器が  $R_{DM}=50\Omega$ 、 $R_{CM}=500\Omega$ 、コンセントの LCL=20dB のとき

#### 4.7.2 LCL に対する CM 電流の変化

式(6)からコンセント端子に誘導される CM 電流は、LCL ( $k$ ) に逆比例することを示した。図 4-11 は LCL の変化に対する CM 電流特性の計算例である。このモデルでは PLC 機器の内部抵抗を  $R_{DM}=50\Omega$ 、 $R_{CM}=500\Omega$  とし、コンセントのインピーダンスを  $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=25\Omega$  のとき、 $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=150\Omega$  のとき、 $Z_{DM}=83\Omega$ 、 $Z_{CM}=240\Omega$  のときを比較したものである。

この結果からは LCL が 20dB 以上の範囲では直線的に変化していること、及び用いた DMZ と CMZ の条件では変化が小さいことが理解できる。

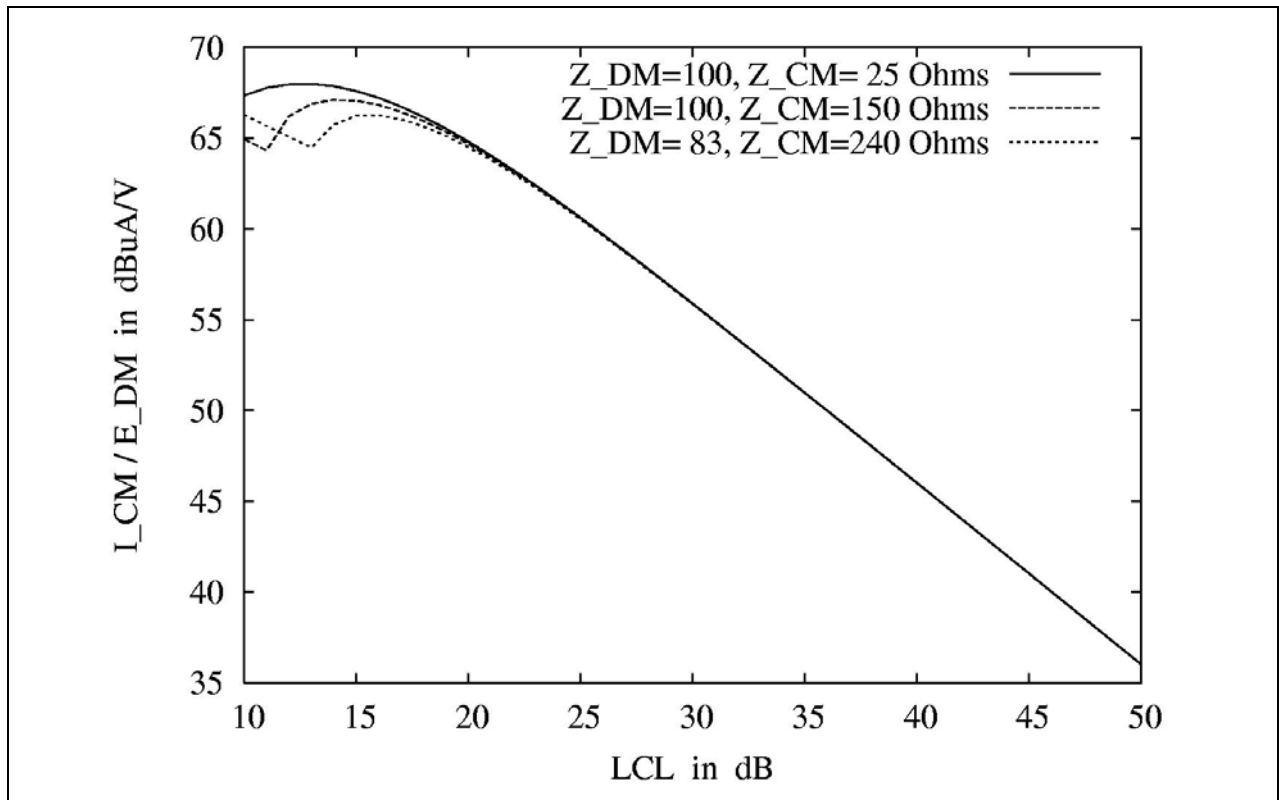


図 4-11 LCL の変化に対するコモンモード電流特性

PLC 機器の内部抵抗 :  $R_{DM}=50\Omega$ 、 $R_{CM}=500\Omega$   
 コンセントの条件 :  $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=25\Omega$  (実線)  
 $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=150\Omega$  (破線)  
 $Z_{DM}=83\Omega$ 、 $Z_{CM}=240\Omega$  (点線)

#### 参考文献

[1] 上 芳夫、“高速電力線搬送通信における屋内電源コンセントの等価表現とコモンモード電流、” 信学技法、EMCJ2005-71、2005年9月。

## 5. 妨害波の電波伝搬

### 5.1 電力線近傍の電界分布

通信線と異なり、電力線には多数の分岐が存在しているため、それが電界分布に及ぼす影響を明確にする必要がある。本節では、図 5-1 に示すような単純化された電力線モデルに対する電界分布を、オープンサイトによる実験とモーメント法によるシミュレーションの両面から検討した。電力線の分岐を平衡度という観点から分類すると、電力線を構成する 2 本の線の長さが等しいコンセント分岐と、それらの長さが異なる照明用のスイッチ分岐に分類される。図 5-1 のモデルでは、それらの分岐が一つずつ含まれている。実際の実験では、全く分岐を含まない「無分岐」、コンセント分岐のみを接続した「1 分岐」、1 分岐にスイッチ分岐を接続した「2 分岐」の 3 つのパターンで電界を測定している。

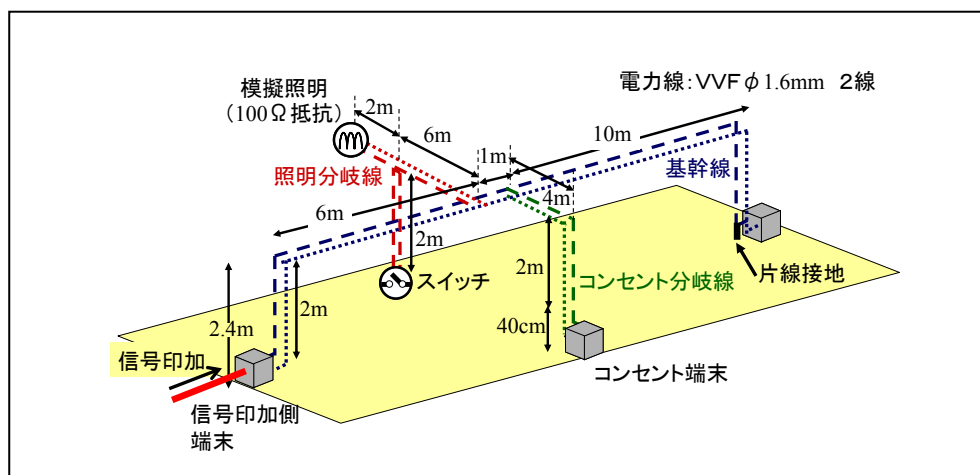


図 5-1 単純化された電力線モデルの構成

実験では測定設備の制約により、半分に縮尺したモデルを構成して、電界を測定しているため、シミュレーションに対しても実験と同様に半分に縮尺したモデルで計算している。図 5-1 のモデルをオープンサイトのターンテーブル上に構成して電界を測定した状態を図 5-2 に示す。受信アンテナは、モデルの中心から 12m に位置に設置して電界を測定した。しかし、ターンテーブル上のモデルは半分の縮尺モデルのため、図 5-1 の構成では、24m の位置での電界を測定しているのと等価である。

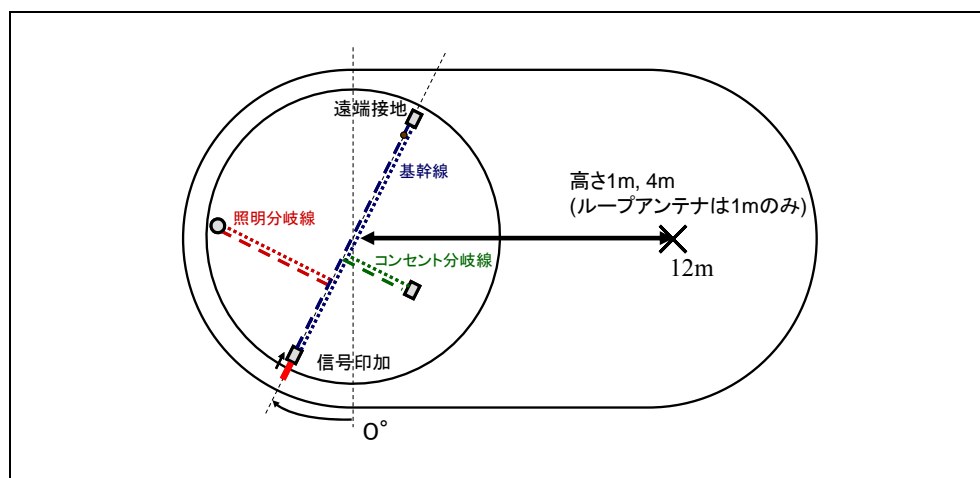


図 5-2 電界測定時のモデルと受信アンテナの関係

### 5.1.1 測定値と計算値の関係

受信アンテナとしてループアンテナを使用し、無分岐のモデルを30度ごとに回転した場合の電界角度分布を図5-3に示す。計算も図5-2と同じ配置条件で行っており、1度ごとに計算した結果を図5-3に示している。ループアンテナでは磁界を測定しており、それに空間インピーダンスをかけて電界に変換しているため、計算でも同様の手法で電界を求めた。また、磁界にはx、y、zの3軸成分があるが、図5-3では、3軸をベクトル合成したものを示している。周波数に関しては、図5-1に変換した周波数で示しているが、ループアンテナで実際に測定して周波数は、3.5MHzの時は7MHzで測定しており、14MHzの時は28MHzで測定している。両方の周波数とも、測定値を計算値は良く一致している。角度分布でみると、3.5MHzでは等方的であるのに対し、14MHzでは、ダイポールのような指向性になっている。

ループアンテナでは、30MHzの周波数、すなわち、15MHzの変換周波数までしか測定できないため、それ以上の周波数に対しては、トリログアンテナを使用した。測定結果を図5-3(b)に示すが、計算値の方が10dBほど大きくなっているが、その原因としては、グランドプレーンの導電率が考えられる。計算では、完全導体としているが、実際には、グランドプレーンとして鉄板を使用しており、その表面が若干錆びているため、測定値が計算値より小さな値になった可能性がある。もう一つの原因としては、受信アンテナのアンテナファクタが考えられる。今回使用した受信アンテナは2mの高さでアンテナファクタを求めているが、それを1mの高さで測定すると、測定値が数dB小さくなる傾向がある。いずれにしても、絶対値では計算値と測定値で差はあるが、周波数の変化に対する傾向はとらえているものとする。周波数が高くなると、電界のレベルが大きくなり、かつ、角度分布が非常に複雑になっているのが分かる。ループアンテナでは、14MHzになると、90度の方向、すなわち、電力線の伝搬方向に指向性が鋭くなっている。トリログアンテナでは、水平偏波と垂直偏波の両方をプロットしているが、計算値と測定値の両方とも、最大値を示す角度では、約15dBほど垂直偏波の方が水平偏波より大きくなっている。

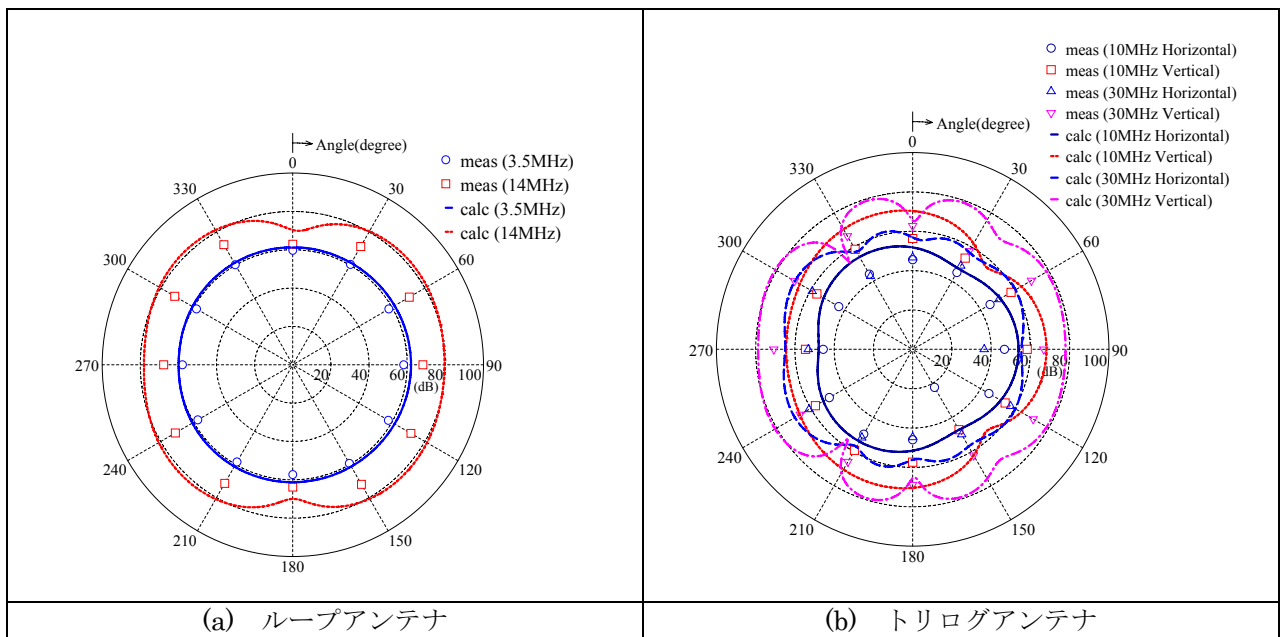


図5-3 電界の角度分布

図5-3の角度分布で最大値を示す電界をその周波数の電界として、電界の周波数依存性を測定した結果を図5-4に示す。(a)がループアンテナの測定値で、(b)がトリログアンテナの測定値に対応している。図5-4(a)で、測定値の下にある線は、オープンサイトにおける放送波等のアンビエントや妨害波測定器のノイズレベルを示している。両方のアンテナともうねるような周波数特性になっているが、その周期が測定値で短くなっている。この原因としては、モーメント法では、電力線の周囲にある絶縁材料の誘電率を考慮することができないために発生しており、計算方法の原理上止む得ないものとする。図5-4の結果より、周波数特性の測定値と計算値の関係は、図5-3の角度分布と同様に、ループアンテナでは

比較的一致しているが、トリログアンテナでは 10dB 程度計算値が大きくなっている。また、全ての周波数に渡って、水平偏波の方が垂直偏波より 15dB ほど電界レベルが小さくなっていることが分かる。

本検討では、測定と計算の両方を行っているが、図 5-3 と図 5-4 の結果から、両者の傾向が一致しているため、以下の説明では、計算値をベースに説明する予定である。

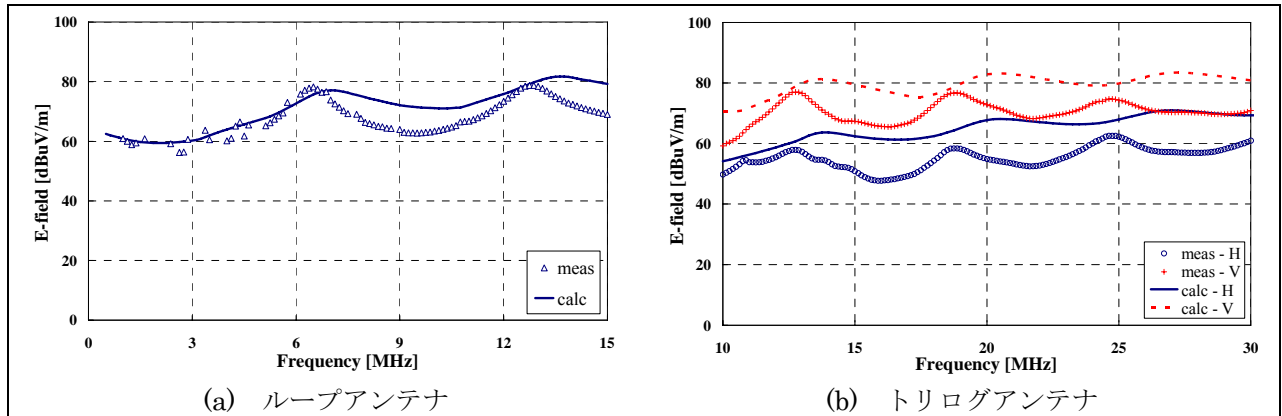


図 5-4 電界の周波数特性

### 5.1.2 分岐数に対する角度分布の変化

分岐数に対する電界の角度分布依存性を図 5-5 に示す。電界の値は、3 軸をベクトル合成したものである。2 分岐ではスイッチ分岐が追加されているが、そのスイッチが ON の状態で、かつ、スイッチの存在する線を接地した状態が最も電界レベルが大きかったため、その結果を図 5-5 に示している。3.5MHz の周波数では、無分岐が最も電界が大きく、分岐数を増加すると電界が若干ではあるが、減少している。30MHz でも、1 分岐では無分岐より電界が小さくなっているが、2 分岐では、逆に無分岐よりも若干ではあるが電界が大きくなっている。また、角度に対する指向性も無くなっているため、2 分岐で追加されたスイッチ分岐の垂直部分に相当する 2 m の長さの電力線から漏洩される電界が主体になったものとする。

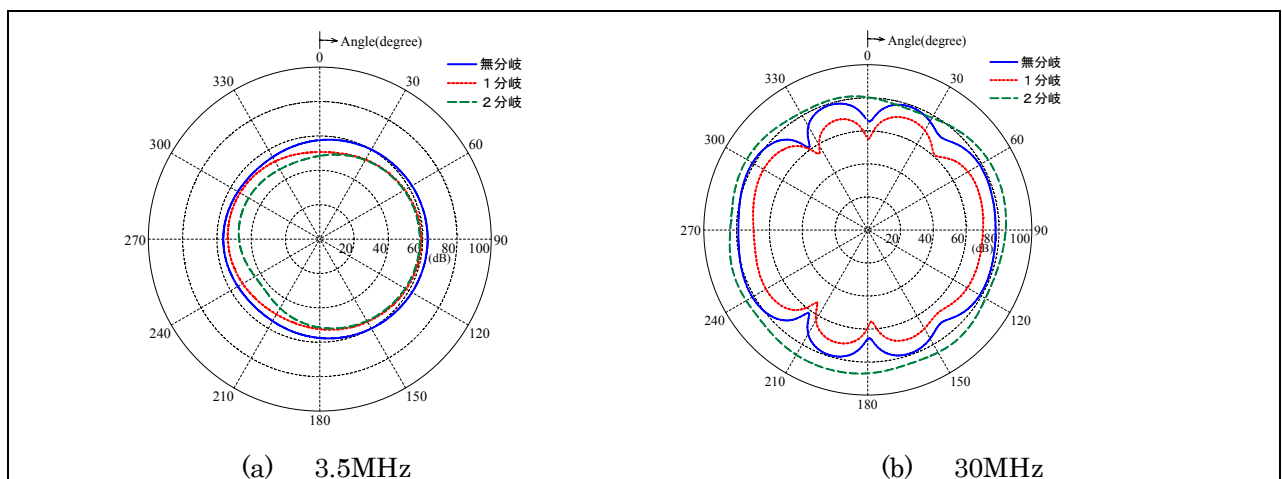


図 5-5 分岐数に対する角度分布の変化

### 5.1.3 分岐数に対する周波数特性の変化

図 5-5 の角度分布で最大値を示す電界をその周波数の電界レベルとして、分岐数に対する電界の周波数依存性を図 5-6 に示す。水平偏波と垂直偏波の両方とも、無分岐の状態では電界レベルが大きくなる割合が多く、特定の周波数領域で 2 分岐と 1 分岐が大きくなることもある。1 分岐と 2 分岐を比較すると、無分岐より大きくなる領域では、2 分岐が 1 分岐より電界が大きくなっている。水平偏波と垂直偏波を比較すると、全般的に 10~15dB 程度、垂直偏波の電界が大きくなっている。

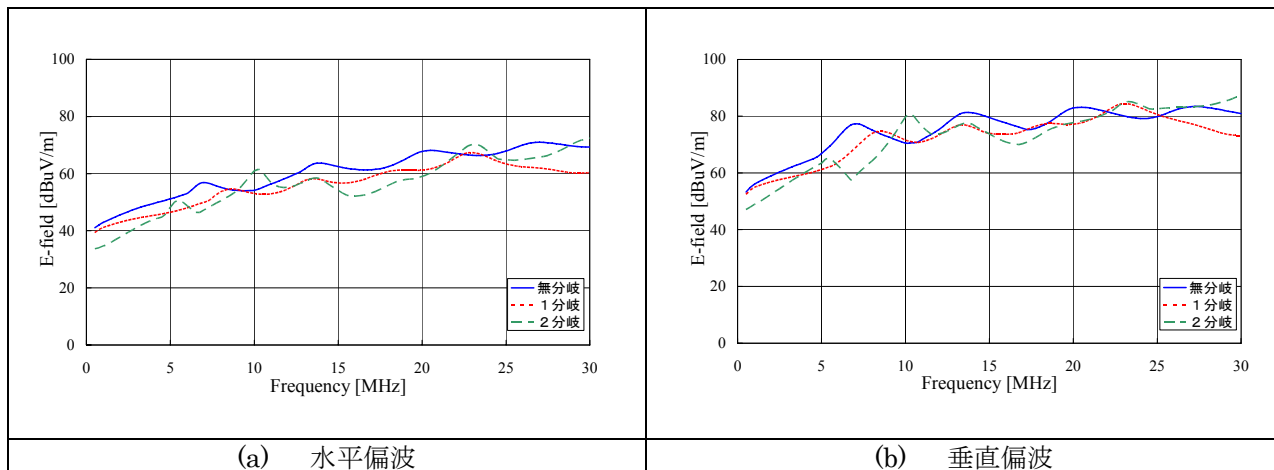


図 5-6 分岐数に対する周波数特性の変化

### 5.1.4 周波数特性に対するスイッチ分岐の ON-OFF 依存性

漏洩電界の周波数特性に対するスイッチ分岐の ON-OFF 依存性を図 5-7 に示す。2分岐のスイッチ分岐を接地する場合、スイッチ片切線に対応する線を接地した状態（スイッチ片切線＝接地線）とスイッチ片切線とは別な線を接地した状態（スイッチ片切線≠接地線）の2つが考えられる。両者の状態に対して、スイッチを ON-OFF するため、全部で4つの組み合わせが考えられる。図 5-7 を見ると、4つの組み合わせで電界の周波数特性はほぼ同じような傾向になっているが、水平偏波より垂直偏波の方が 10dB 程度大きな電界になっている。スイッチの ON-OFF 依存性を見ると、OFF の方が若干ではあるが、電界が大きくなる傾向である。スイッチ OFF の状態で接地依存性をみると、若干ではあるが、スイッチ片切線とは別な線を接地した方が電界が大きくなっている。

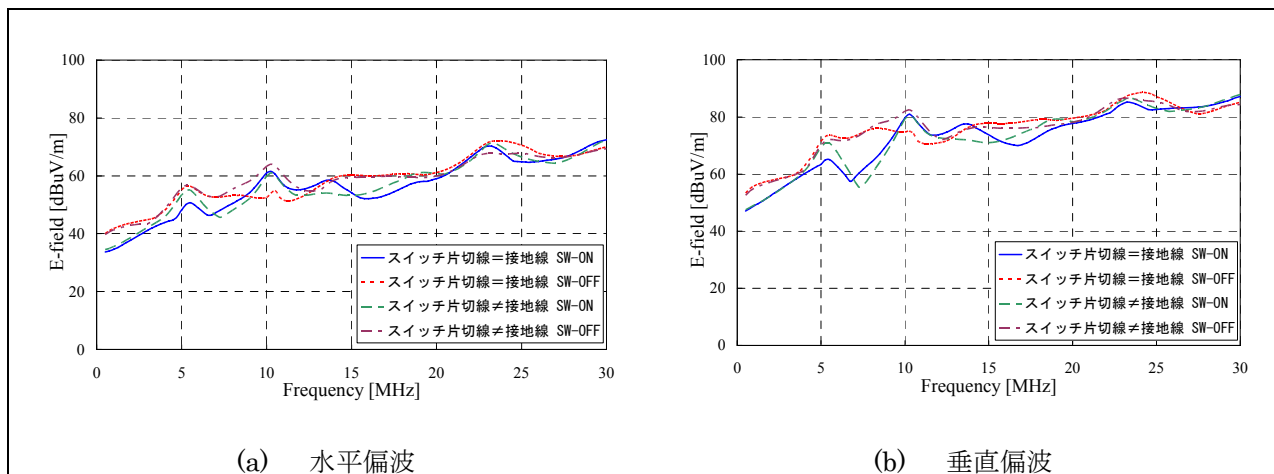


図 5-7 スイッチ分岐の ON-OFF に対する依存性

### 5.1.5 受信アンテナ高に対する依存性

漏洩電界の周波数特性に対する受信アンテナ高依存性を図 5-8 に示す。水平偏波は、グランドプレーンの影響を強く受け、完全導体のグランドプレーン表面では、水平電界成分が零になると言う性質を持っているため、1 m から 4 m になると 10dB 程度電界が上昇するというように、高さ依存性が強く現れている。それに対して、垂直偏波では、高さ依存性はほとんど無く、1 m の電界が 4 m の電界よりも数 dB 程度大きくなっている。

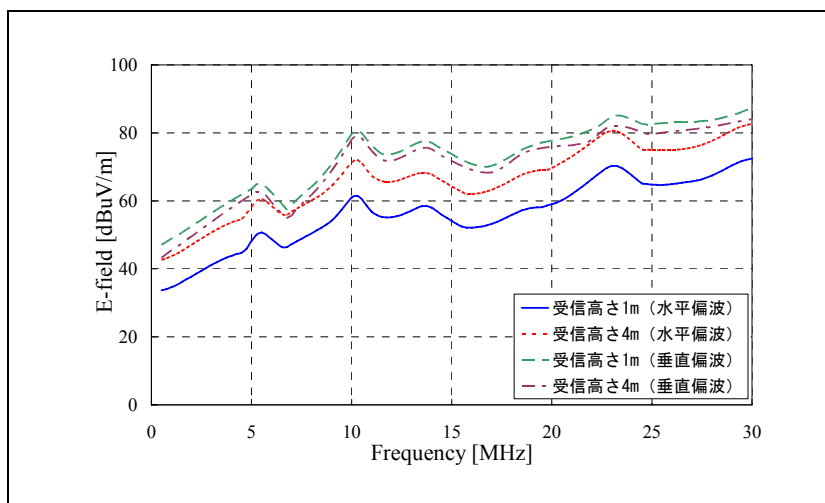


図 5-8 受信アンテナ高に対する依存性

### 5.1.6 電力線近傍の電界分布特性

電力線近傍の電界分布特性を図 5-9 に示す。分岐としては、無分岐、1 分岐及び 2 分岐の 3 つの状態を図示している。また、偏波についても、水平偏波と垂直偏波の両方を示している。周波数は、3.5MHz と 30MHz の 2 つの周波数を取り上げた。図 5-9 の上面図を見ると、3.5MHz では、分岐をしても電界分布はあまり変化しないが、30MHz では、分岐によって電界分布が複雑になっており、垂直偏波でその傾向が顕著になっている。水平偏波と垂直偏波を比較すると、垂直偏波の方が、レベルの強い電界分布になっている。図 5-9 の断面図を見ると、分岐の影響に関しては、図 5-9 の上面図とほぼ同じである。逆に、図 5-9 の側面図では、分岐を付けても電界分布の形状はあまり変わっていない。なお、水平偏波に関しては、グラウンドプレーン上で電界レベルがほぼ零になるが、その傾向が図 5-9 の断面図と側面図で現れている。

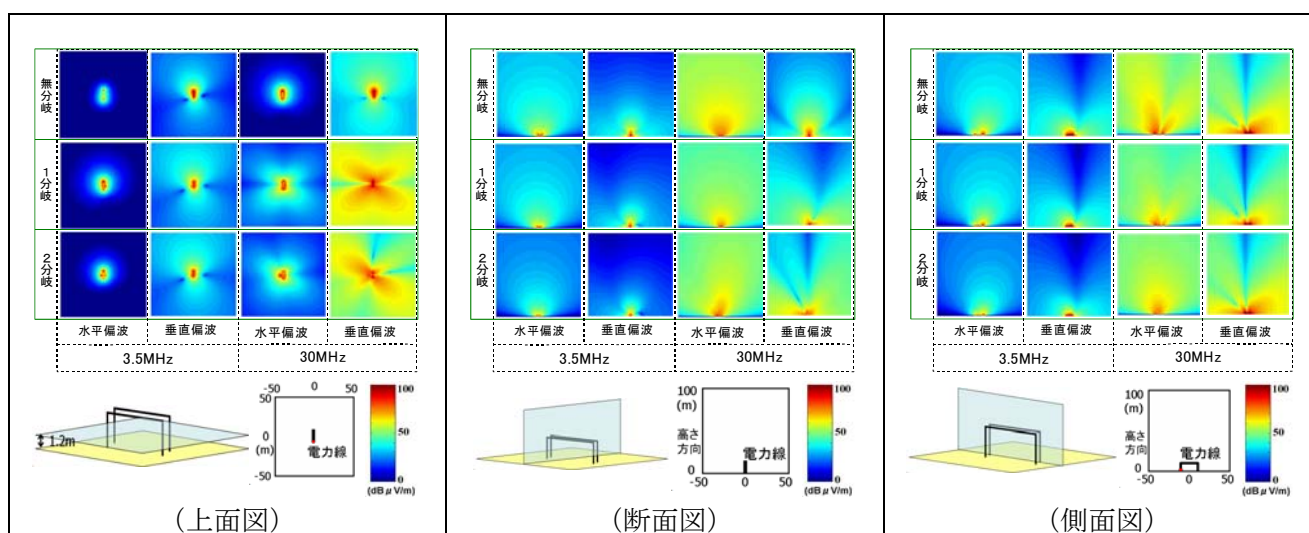


図 5-9 電力線近傍の電界強度分布

### 5.1.7 まとめ

屋内配電系を想定して、2本の平行線からなる VVF 電源線を使い、かつ分岐やスイッチを取り付け

て、それによる近傍電磁界の影響について、実験及び計算機シミュレーションによって検討した。その結果、電磁界の周波数特性や角度特性について、磁界については、ループアンテナによる測定（等価電界表示）と数値計算はほぼ一致した結果が得られた。一方、電界については、トリログアンテナを用いた測定と数値計算の結果には 10 dB 程度の乖離が見られたが、これは測定用アンテナの特性の地上高変化によるものと考えられる。

配電系の分岐やスイッチの影響については、配電系の平衡度に左右する負荷に関わる分岐やスイッチは電磁界に影響を及ぼすと考えられるが、そうで無い場合は、分岐やスイッチの影響は余り無く、全周波数帯で平均すれば近傍電磁界レベルの変化は余り見られなかった。

#### 参考文献

- [1] 渡邊陽介、繁永正健、徳田正満：電力線近傍の電磁界に関する実験的理論的検討、平成15年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集、OS1-2, pp.256-261, 2003.8
- [2] 渡邊陽介、徳田正満；電力線からの漏洩電界距離依存性に対する大地面の影響、平成16年電気学会電子・情報・システム部門大会、電気学会C部門大会投稿論文集、OS1-5, pp. 278-283, 2004.9.
- [3] Y. Watanabe, M. Shigenaga and M. Tokuda: Electromagnetic field near power line for a power line communication system, 2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sendai, 4C3-3, pp.845-848, 2004.6.
- [4] Y. Watanabe and M. Tokuda: Influence of Ground Plane to Distance Dependence of Leaked Electric Field from Power Line, 2005 IEEE EMC International Symposium, Chicago, Vol.3, pp.1008-1013, 2005.8.
- [5] 渡邊陽介、徳田正満、森田淳士；分岐のない電力線モデルの平衡度と漏洩電界に対するモーメント法計算、電子情報通信学会技術研究報告、EMCJ2005-\*\*\*, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2005.9.
- [6] 渡邊陽介、徳田正満、牧昌弘；分岐のない電力線モデルの平衡度と漏洩電界に対するモーメント法計算、電子情報通信学会技術研究報告、EMCJ2005-\*\*\*, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2005.9.
- [7] 渡邊陽介、徳田正満；電力線通信における電力線の平衡度と漏洩電界に関する一検討、電子情報通信学会技術研究報告、EMCJ2005-\*\*\*, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2005.10.

## 5.2 近距離における電波伝搬

屋内配電系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にかつ精度良く推定できる。従って以下では、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 を用いた。

### 5.2.1 計算機シミュレーション

高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波は、主に電源線に流れるコモンモード電流によって発生する。従って、実際の電源線は平行 2 線であるが、数値計算ではこれを単線と見なして、これに電流を流した場合の電磁波放射を扱った。この電源線（単線）は、図 5-10 に示すとおり、長さが  $L=20\text{ m}$  で、地上から  $H_t=2\text{ m}$  または  $6\text{ m}$  の高さに水平に張られていると仮定し、様々な距離で、地上高  $H_r=2\text{ m}$  における電磁界を計算した。なお、電力は電源線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  $I_{com(max)}$  を  $1\text{ mA}$  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。

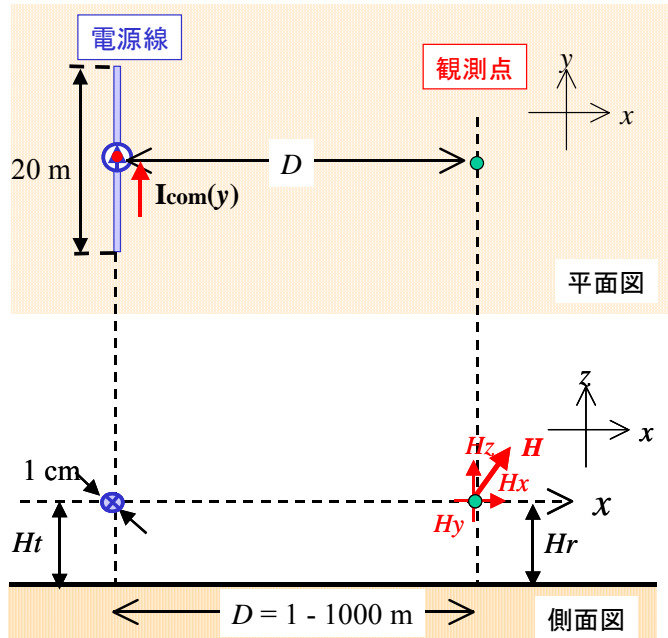


図 5-10 水平設置の電源線モデルと観測点

### 5.2.2 水平線路のコモンモード電流によって生じる電磁界

#### (1) 水平距離に対する減衰特性

Wet ground 上で高さ 2m に水平に張られた単線（長さ 20m）から放射される電磁波のうち、磁界強度に関する距離特性を図 5-11 に示す。但し、単線上の電流最大値が  $1\text{ mA}$  の場合の磁界強度を表した。また、図には、野外測定場で行った実測結果も併せて示した（研究会資料 3-6）。但し、実測で用いた線路は垂直面内でコの字型になっており、水平線路部は長さ  $L=10\text{ m}$ 、高さ  $H_t=2\text{ m}$  であり、観測点の高さは  $H_r=1\text{ m}$  であった。従って、数値計算と実測では線路等の配置が幾分異なるが、磁界レベルについては良く一致していることが判る。

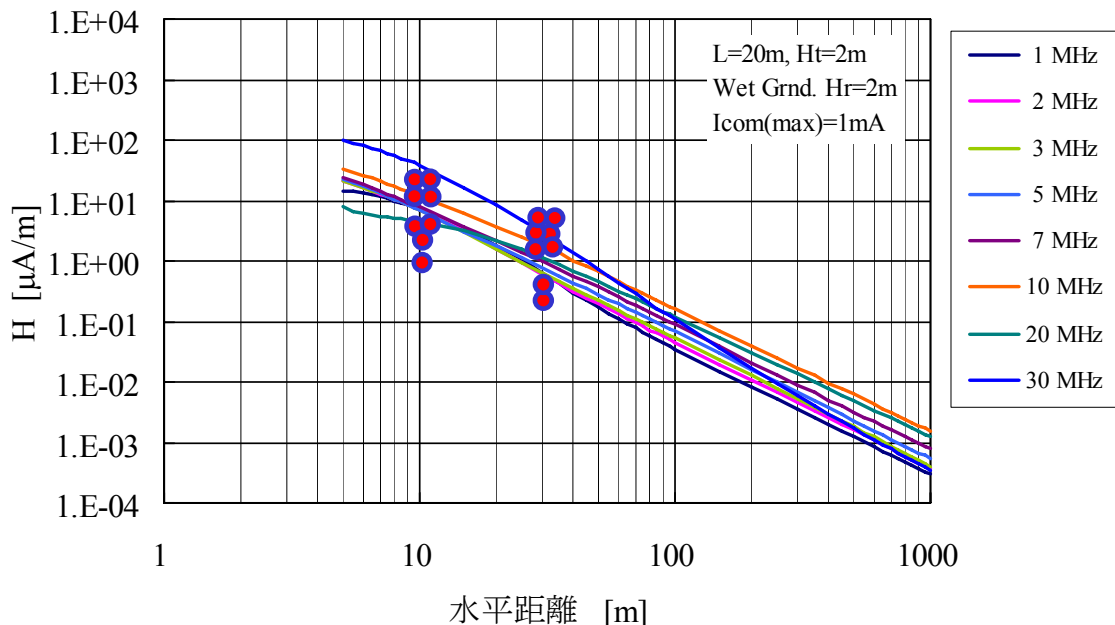


図 5-11 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性 (Wet ground,  $H_t=2\text{ m}$ )

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ので、その結果を図 5-12 に示す。電源線や観測点の配置は前図と同じである。**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による変化も少なく、そのレベルは **Wet ground** に関する計算結果とほぼ重なっている。

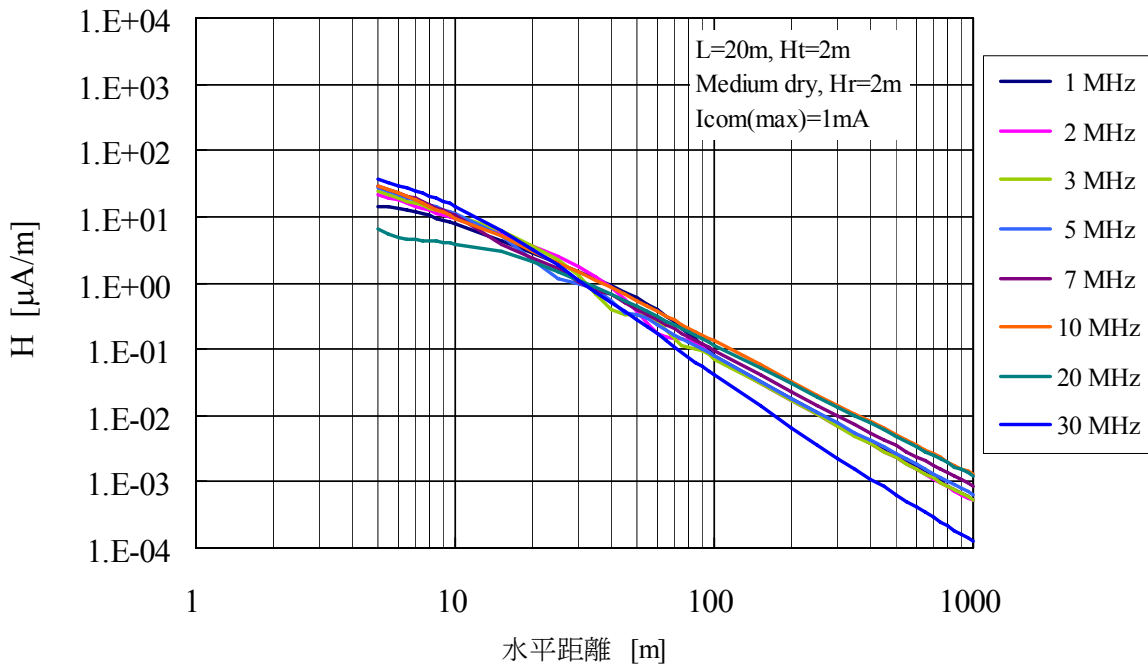


図 5-12 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性 (**Medium dry ground,  $H_t=2\text{m}$** )

さらに、同一電源線を地上高  $H_t=6\text{m}$  に設置した場合の磁界強度の計算値を図 5-13 に示す。この図より、電源線の地上高を 2~6m の間で変えても、磁界強度は余り変化しないことが判る。

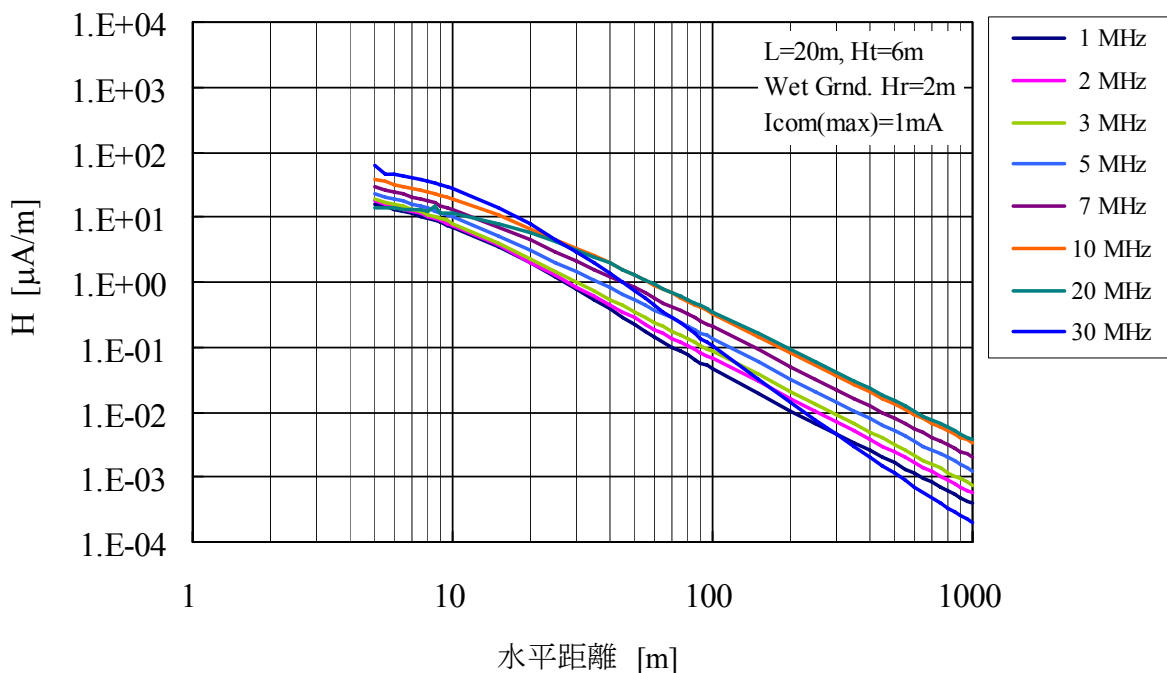


図 5-13 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性 (**Wet ground,  $H_t=6\text{m}$** )

以上をまとめると、水平に設置された単線路に電流  $I_{com(max)}=1mA$  が流れている場合、地表付近の磁界強度は、図 5-11 の平均値をから表 5-1 の値となる。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に近かったため、磁界強度に  $377\Omega$  を乗じた値を等価的な電界強度として表に示した。

表 5-1 水平線路(L=20m)の電流によって生じる電磁界強度 ( $I_{com}=1mA$ ,  $H_t=2, 6m$ ,  $H_r=2m$ )

水平距離 D	10 m	30 m	50 m	100 m	1000 m
磁界強度 H	10 $\mu A/m$	0.9 $\mu A/m$	0.3 $\mu A/m$	0.08 $\mu A/m$	0.0008 $\mu A/m$
電界強度 E	$3.8 \times 10^3 \mu V/m$ (72dB $\mu V/m$ )	$3.4 \times 10^2 \mu V/m$ (51dB $\mu V/m$ )	$1.1 \times 10^2 \mu V/m$ (41dB $\mu V/m$ )	30 $\mu V/m$ (30dB $\mu V/m$ )	0.3 $\mu V/m$ (-10dB $\mu V/m$ )

(2) 垂直方向の放射波に関する減衰特性

垂直方向の電磁界強度は、一般に、受信点の高さが  $H_r \gg \lambda/2\pi$  で、かつ電源線の広がり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  $f_{MHz} = 75/H_t$  [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 5-14 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判る。また、図 5-11 と比較すると、水平方向よりも垂直方向の電磁界レベルが高いことが予想される。

なお、電源線モデル ( $L=20m$ ,  $I_{com(max)}= 1 mA$ ) の等価的な実効放射電力は、図 5-14 を参照すれば、 $4\mu W$  程度であることが判る。

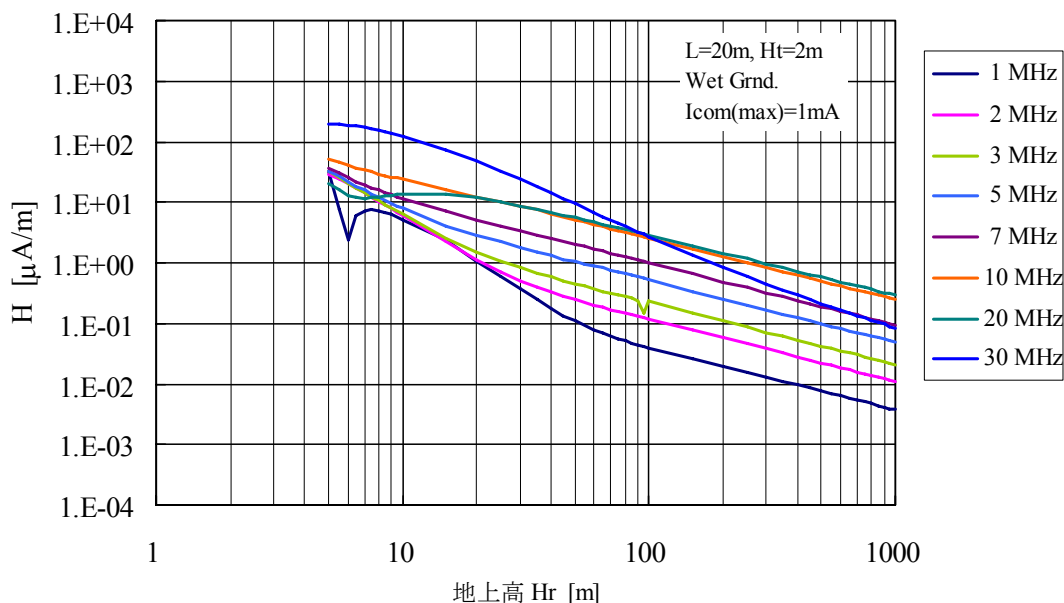


図 5-14 水平線路の電流によって生じる磁界の地上高特性 (Wet ground,  $H_t=2m$ )

### 5.2.3 垂直線路のコモンモード電流によって生じる電磁界

#### (1) 水平距離に対する減衰特性

図 5-15 に示すように電源線が垂直に張られた場合の電磁界を計算した。但し、電源線は長さ  $L=5.6\text{m}$  の単一導線で、その中心を高さ  $H_t=3.2\text{m}$  に設置し、線路上の最大電流が  $I_{com(max)}=1\text{mA}$  になるように線路の中心から給電した。なお、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 5-16 に示す。また、表 5-2 はその代表値を示す。この表と水平線路に関する表 5-1 を比べると、遠距離になれば垂直線路の電磁界が強いことが判る。

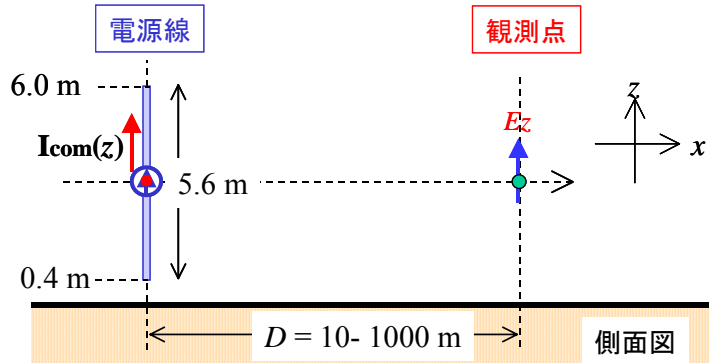


図 5-15 垂直設置の電源線モデルと観測点

表 5-2 垂直線路( $L=5.6\text{m}$ )に流れる電流によって生じる電界強度 ( $I_{com}=1\text{mA}$ ,  $H_t=3.2\text{m}$ ,  $H_r=2\text{m}$ )

水平距離 D	10 m	30 m	50 m	100 m	1000 m
2 - 10 MHz	$1.7 \times 10^3 \mu\text{V/m}$ (64 dB $\mu\text{V/m}$ )	$4.9 \times 10^2 \mu\text{V/m}$ (54 dB $\mu\text{V/m}$ )	$2.9 \times 10^2 \mu\text{V/m}$ (49 dB $\mu\text{V/m}$ )	$1.3 \times 10^2 \mu\text{V/m}$ (42 dB $\mu\text{V/m}$ )	$5.9 \mu\text{V/m}$ (15 dB $\mu\text{V/m}$ )
10 - 30 MHz	$3.2 \times 10^3 \mu\text{V/m}$ (70 dB $\mu\text{V/m}$ )	$1.2 \times 10^3 \mu\text{V/m}$ (61 dB $\mu\text{V/m}$ )	$6.6 \times 10^2 \mu\text{V/m}$ (56 dB $\mu\text{V/m}$ )	$2.7 \times 10^2 \mu\text{V/m}$ (49 dB $\mu\text{V/m}$ )	$6.2 \mu\text{V/m}$ (16 dB $\mu\text{V/m}$ )

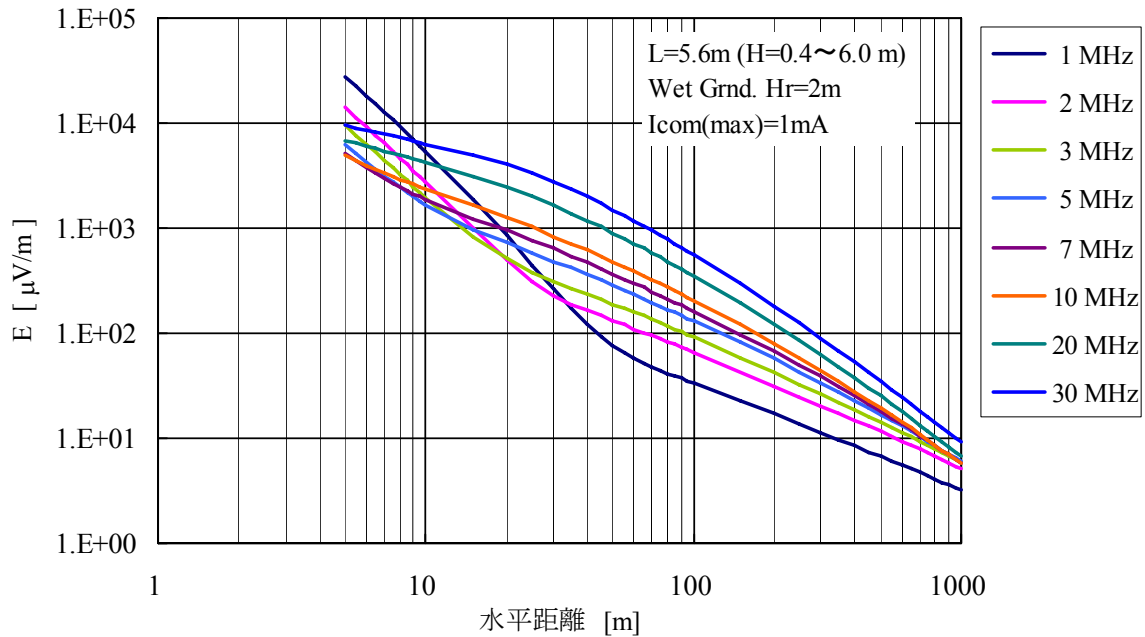


図 5-16 垂直線路の電流によって生じる電界の距離特性 (Wet ground)

## 5.2.4 家屋密集地域における高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波の累積効果

高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波の累積効果に関して、5.3.2 項では過疎地域における検討結果を示すが、ここでは住宅密集地域における計算結果を示す。

図 5-17 に示すように、10m 四方の家 (100m<sup>2</sup>) が密集している場合、中央の家屋に、周囲の家屋の PLC から到来する電磁波の累積効果を検討する。

<条件>

- (1) 家屋モデル： 8.1.2 項に示す 2 階建て家屋に PLC が敷設されていると仮定する (水平 2 配線、垂直 1 配線)。
- (2) 隣接家屋間の距離：  $R_0=10(\text{m})$
- (3) 電磁界の距離減衰特性 (表 8.3 参照)：  
中心家屋からの距離  $R$  によって以下の 2 種類を仮定  
 $R_0 < R < R_1$  :  $E = E_0 (R_0/R)^{1.5}$   
 $R_1 < = R$  :  $E = E_1 (R_1/R)^{1.3}$

$$R_0=10 \text{ m} : E_0=76 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$$

$$R_1=1000 \text{ m} : E_1=16 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}=E_0/1000$$

$$R_0 < R < R_1 : E = E_0 (R_0/R)^{1.5}$$

$$R_1 < = R : E = E_1 (R_1/R)^{1.3}$$

T	T	T	T	T
T(i,j)	T(-1,1)	T(0,1)	T(1,1)	T
T	T(-1,0)	R(0,0)	T(1,0)	T
T	T(-1,-1)	T(0,-1)	T(1,-1)	T
T	T	T	T	T

図 5-17 家屋密集地における累積効果

<累積効果の計算>

図 5-17 の中心家屋に到来する周囲家屋の高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波の累積電界強度は、幾何光学的見通しの距離約  $\pm 10 \text{ km}$  方形範囲内にある家屋 (400 万個) 全てに高速電力線搬送通信設備が存在すると仮定して、次式で示すように、個々の高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波の受信電力を数値計算によって加算すれば得られる。但し、電界強度は、上記の条件に従って、距離 1km 以内では距離  $R$  の  $1/R^{1.5}$  に比例して減衰し、これより遠方では  $1/R^{1.3}$  に比例して減衰するものとする。

$$E^2 \approx \sum_{\pm 1 \text{ km 正方向内}} \frac{E_0^2}{(R(i,j)/R_0)^3} + \sum_{\pm 10 \text{ km 正方向内}} \frac{E_1^2}{(R(i,j)/R_1)^{2.6}} = 9.0 E_0^2$$

この値は、範囲を無限大にとっても理論上一定値に近づくが、累積範囲に対する特性を図 5-18 に示す。これより、隣接した 8 個の家屋の影響が最も顕著であることが判る。

また、密集地域では、隣の家屋一軒のみによる電磁波レベル  $E_0$  より、3 倍 (9.5 dB) 上昇することが判る。しかし、例えば PLC の普及率を 35% とすれば、上昇は 5dB に低下する。

さらに、実際の市街地では、道路等があるので、このように密集することは有り得ないため、実際のレベルは、さらに下がると思われる。

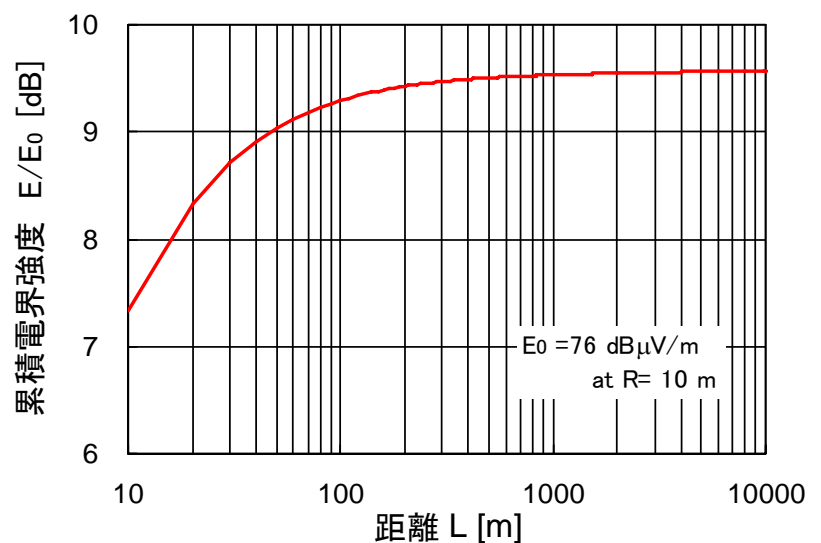


図 5-18 家屋密集地における高速電力線搬送通信設備から放射される電磁波の累積効果

### 5.3 中遠距離における電波伝搬

短波帯での中長距離伝搬は、地上波による伝搬だけではなく、Sky-wave（電離層反射）によるものを考慮する必要がある。

ここでは、ITU-R 勧告 P.533「HF propagation prediction method」の伝搬モデルに基づき、累積電界強度を算出する。また、地上波による累積効果について、直接波による伝搬として累積電界強度を算出する。

Sky-wave による累積効果の検討では、国内を 9 地域に分割して各地域の想定放射電力値を設定し、各地域の想定放射点からの干渉電界強度分布を計算・合成して国内約 1,500 万システム（平均普及率 30%）からの干渉電界強度分布を求めた。

ここでは複雑な Sky-wave 伝搬を十分に評価したと云い難いが、電波天文業務に対する累積効果において、Sky-wave 伝搬による影響は、地上波伝搬による影響に比べて十分に低く、支配的な要素とはならないと考える。

また、地上波伝搬による累積効果の影響は、受信点数  $k$  m 内の高速電力線搬送通信設備設置数が重要な要素であり、近傍での設置数があまり多くないであろうと想定される電波天文施設では、その影響の軽減が期待できると考える。

#### 5.3.1 Sky-wave による累積電界強度の検討

短波帯における長距離の電波伝搬は、直接波によるものではなく、電離層反射を繰り返して伝搬する。ここでは、ITU-R 勧告に基づいた Sky-wave（電離層伝搬）シミュレーションソフトを使用し、累積電界強度を算出する。

##### 5.3.1.1 検討手順・条件・設定パラメータ

###### 5.3.1.1.1 検討手順・条件

###### (1) 高速電力線搬送通信 1 システムからの放射電力

高速電力線搬送通信のモデムの送信電力を  $-60$  dBm/Hz（RMS 値）、LCL を  $30$  dB と想定して電力線に注入されるコモンモード電力を求め、放射源から十分に遠方の電界強度計算を前提としているので、点源からの放射として、下記無線利用の帯域における高速電力線搬送通信 1 システムからの放射電力  $P_{plc}$  を表 5-3 のとおり設定した。

表 5-3 高速電力線搬送通信 1 システムからの放射電力  $P_{plc}$

<電波天文>	1.3 MHz 帯（中心周波数：13.385MHz）：
	-73.0 [dBW]（RMS 値、帯域幅 50 kHz）
<アマチュア>	2.5 MHz 帯（中心周波数：25.610MHz）：
	-69.2 [dBW]（RMS 値、帯域幅 120 kHz）
<アマチュア>	3 MHz 帯（計算周波数：3.538MHz）：
	-86.2 [dBW]（RMS 値、帯域幅 2.4 kHz）
<アマチュア>	7 MHz 帯（計算周波数：7.050MHz）：
	-86.2 [dBW]（RMS 値、帯域幅 2.4 kHz）

###### (2) 累積による放射電力

表 5-4 に示すように、日本国内を 9 地域に分割し、各地域の全ての高速電力線搬送通信設備が想定放射点に存在すると仮定して、次式により各地域の想定放射電力値を設定した。

想定放射電力 = (1 システムの放射電力) +  $10 \times \log(\text{システム数}) - (\text{低減効果})$

システム数：(地域世帯数) × (地域の普及率)

世帯数：H16 年 3 月末現在（総務省自治行政局報道資料）

普及率：研究会資料 3-8 に従い、全国平均を 30% と想定し、都道府県別ブロードバンドサービス世帯普及率（H17 年 3 月末現在、総務省報道資料）から各地域の高速電力線搬送通信設備の普及率を推定

低減効果：0 dB（「低減効果なし」として検討）

表 5-4 地域別の想定放射点と放射電力

	地 域	想定放射点	世帯数 (万世帯)	普及率	システム数 (万システム)	想定放射電力 (dBw)
1	北海道 (北海道)	札幌 (43.06N、141.33E)	2 5 2	2 0 %	5 0 . 4	13M帯：-16.0 25M帯：-12.2 3M/7M帯：-29.2
2	東北 (青森、岩手、 宮城、秋田、山形、 福島)	仙台 (38.26N、140.90E)	3 4 1	2 5 %	8 5 . 3	13M帯：-13.7 25M帯：-9.9 3M/7M帯：-26.9
3	関東 (東京、神奈川、埼 玉、千葉、茨城、栃 木、群馬、山梨)	東京 (35.67N、139.77E)	1, 7 1 7	3 5 %	6 0 0 . 9	13M帯：-5.2 25M帯：-1.4 3M/7M帯：-8.4
4	信越・北陸 (新潟、長野、富山、 石川、福井)	金沢 (36.59N、136.63E)	2 6 3	2 5 %	6 5 . 8	13M帯：-14.8 25M帯：-11.0 3M/7M帯：-28.0
5	東海 (愛知、岐阜、静岡、 三重)	名古屋 (35.17N、136.97E)	5 3 6	3 5 %	1 8 7 . 5	13M帯：-10.3 25M帯：-6.5 3M/7M帯：-23.5
6	近畿 (大阪、兵庫、京都、 滋賀、奈良、和歌山)	大阪 (34.68N、135.52E)	8 2 9	3 0 %	2 4 8 . 7	13M帯：-9.0 25M帯：-5.2 3M/7M帯：-22.2
7	中国・四国 (鳥取、島根、岡山、 広島、山口、徳島、 香川、愛媛、高知)	広島 (34.40N、132.46E)	4 6 4	2 5 %	1 1 6 . 0	13M帯：-12.4 25M帯：-8.6 3M/7M帯：-25.6
8	九州 (福岡、佐賀、長崎、 熊本、大分、宮崎、 鹿児島)	福岡 (33.58N、130.38E)	5 3 1	2 5 %	1 3 2 . 9	13M帯：-11.8 25M帯：-8.0 3M/7M帯：-25.0
9	沖縄 (沖縄)	那覇 (26.21N、127.69E)	5 0	2 0 %	1 0 . 0	13M帯：-23.0 25M帯：-19.2 3M/7M帯：-36.2

(3) 累積効果による干渉電界強度分布の計算

各地域の想定放射点からの干渉電界強度分布を計算した後、これらの9データを電力和にて合成し、国内約1,500万システムからの干渉電界強度分布 (Median 値) を各周波数帯域について求めた。

5.3.1.1.2 ソフト計算における設定パラメータ

(1) 放射 (送信) 電力

計算ソフトの設定下限値 (0 dBW) を考慮して、入力パラメータを「想定放射電力値+28 dB」(3 MHz/7 MHz 帯の場合：+40 dB) に設定し、計算後に「-28 dB (同：-40 dB)」の補正を行う。なお、高速電力線搬送通信1システムの計算では補正値を80 dBとした。

(2) 送信アンテナ

アンテナ種別：5.3.1.1.1 項の放射電力設定方法から等方性アンテナとした。

放射角度 (Minimum Takeoff Angle)：計算ソフトの設定下限値 (3 degrees) とした。

主ビーム方位角：等方性アンテナにつき設定不要。

(3) 月、時刻

電離層の諸特性は月と時刻によって変動し、時刻では昼間の方が、条件が良いと云われている。この特性変動に伴って電界強度・分布は変化し、図 5-19 の計算データ例に示すように、(6)項に示すブ

ロット範囲内における最大電界強度値は、設定する月及び時刻によって変化する。ここでは、計算データ例を基に最大電界強度が高い範囲にある「月：4月、時刻：06UT」（13MHz/25MHz帯）及び「月：7月、時刻：12UT」（3MHz/7MHz帯）をパラメータ値として採用した。（UT：Universal Time、日本時間＝UT＋9H）

(4) S S N (Sun Spot Number)

図5-20にSSNを変えて、(6)項のプロット範囲内における最大電界強度値を計算したデータ例を示す。ここでは比較的太陽活動が活発なSSN＝100とした。

(5) 受信アンテナ／受信機帯域幅

電界強度（DBU）計算につき無関係なパラメータ。

(6) プロット範囲

計算結果のプロット範囲は、日本近傍とし、東京（35.67N、139.77E）を基点に東700km、西1,300km、北1,200km、南1,000kmとした。

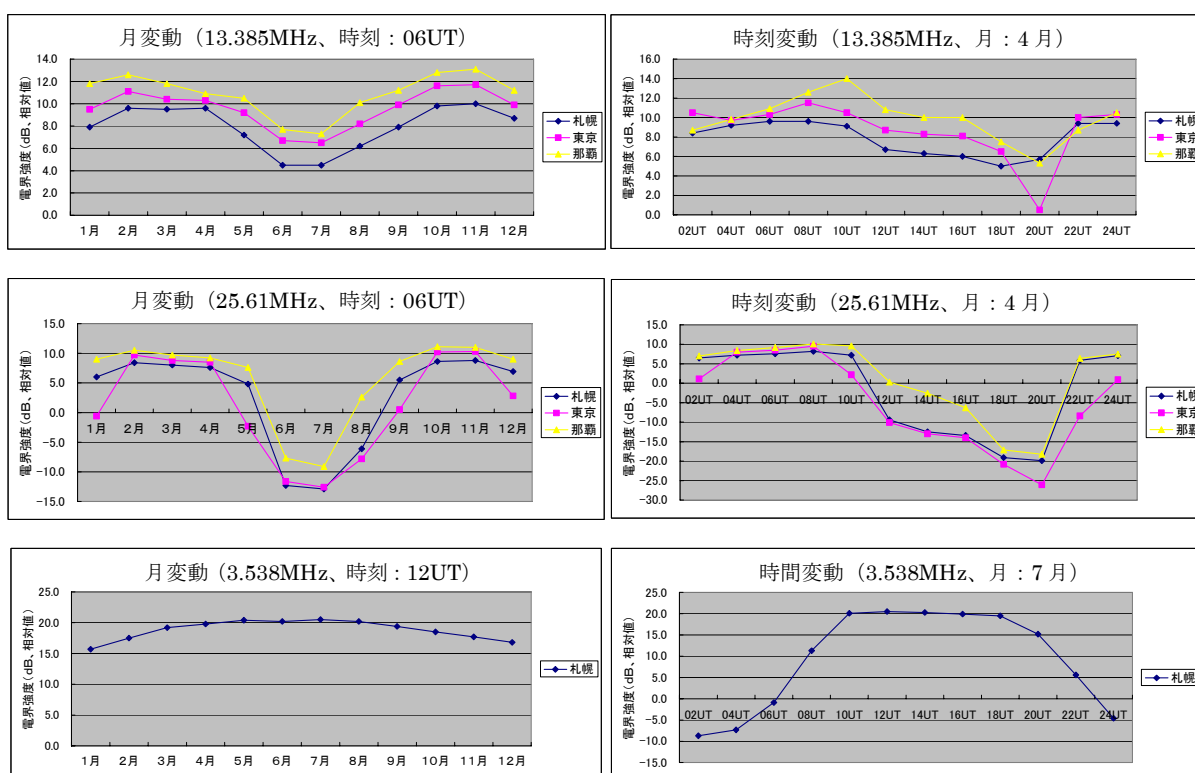


図 5-19 月／時刻による電界強度変動データ例

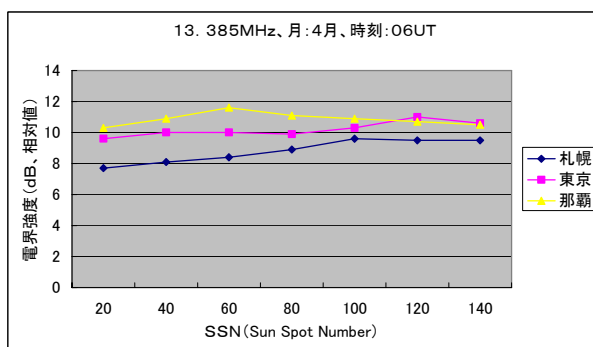
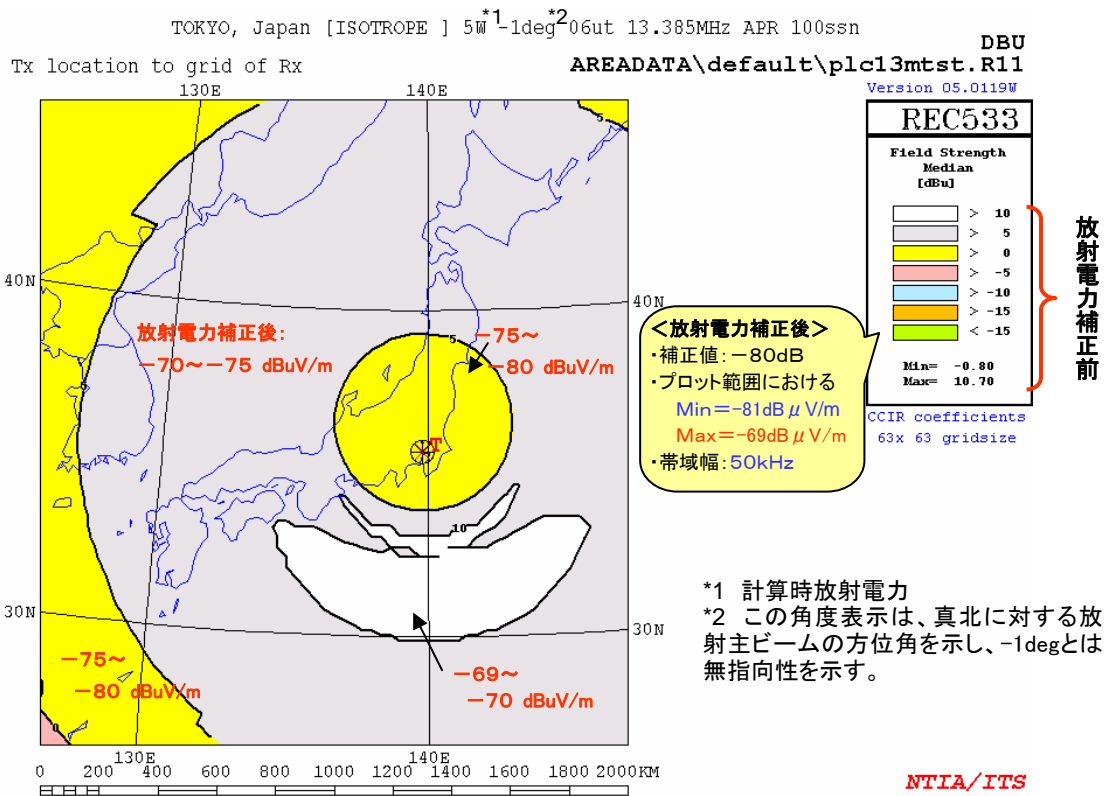


図 5-20 S S Nによる電界強度変動データ例

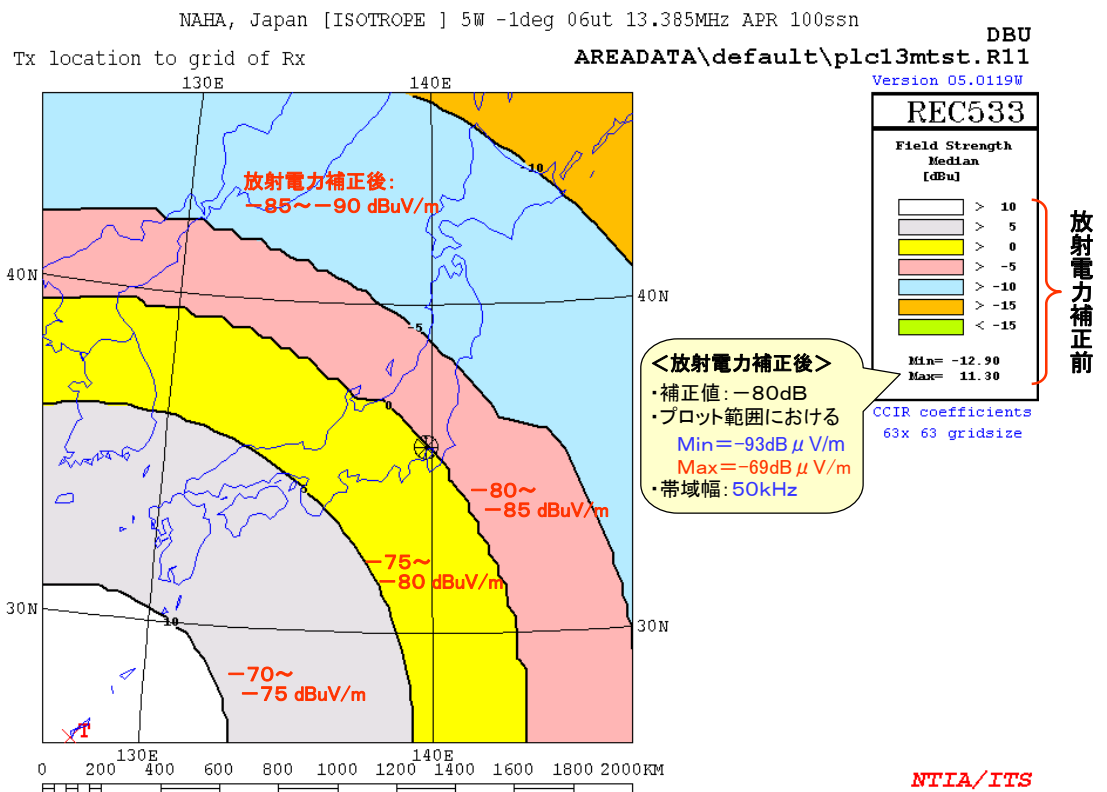
### 5.3.1.2 計算結果

図 5-21 に、高速電力線搬送通信 1 システムのみから漏えい電磁界が放射された場合の計算結果を示す。Sky-wave による干渉電界強度は、放射点から離れた箇所でも最大値を示す場合もあり、その箇所は月、時刻、周波数等で変わるが、1 システムからの干渉波の絶対強度は十分低い値である。また、図 5-22 に示すように、最大点からさらに離れるに従い電界強度は低下する。

図 5-23 及び図 5-24 は、各地域の想定放射点からの干渉電界強度分布を計算した後、これらの 9 データを電力和にて合成し、国内約 1, 500 万システムからの干渉電界強度分布 (Median 値) を計算したものである。計算の結果、1 システムの場合と同様、放射点から離れた箇所でも最大値を示す場合があることがわかるが、想定される高速電力線搬送通信の送信電力では、累積された干渉電界強度も低くなっており、Rural 地域の雑音以下となる。



a) 13MHz、放射点：東京



b) 13MHz、放射点：那覇

図 5-21 高速電力線搬送通信 1 システムによる干渉電界強度分布計算例

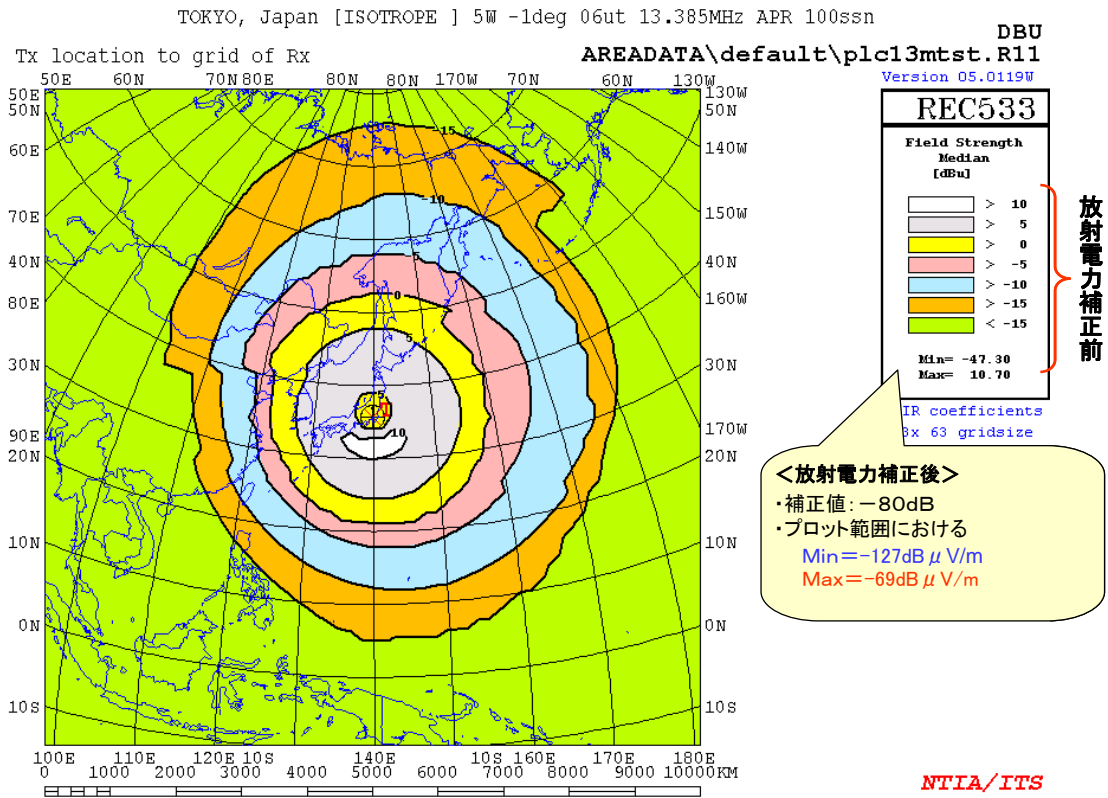
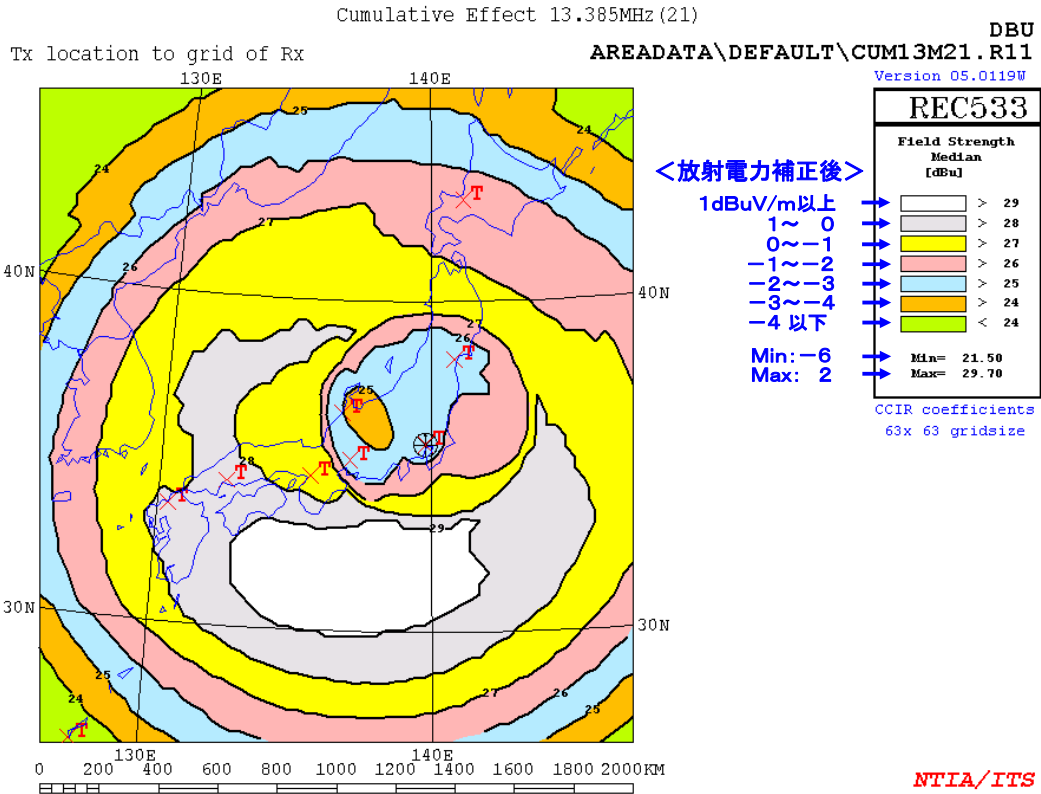
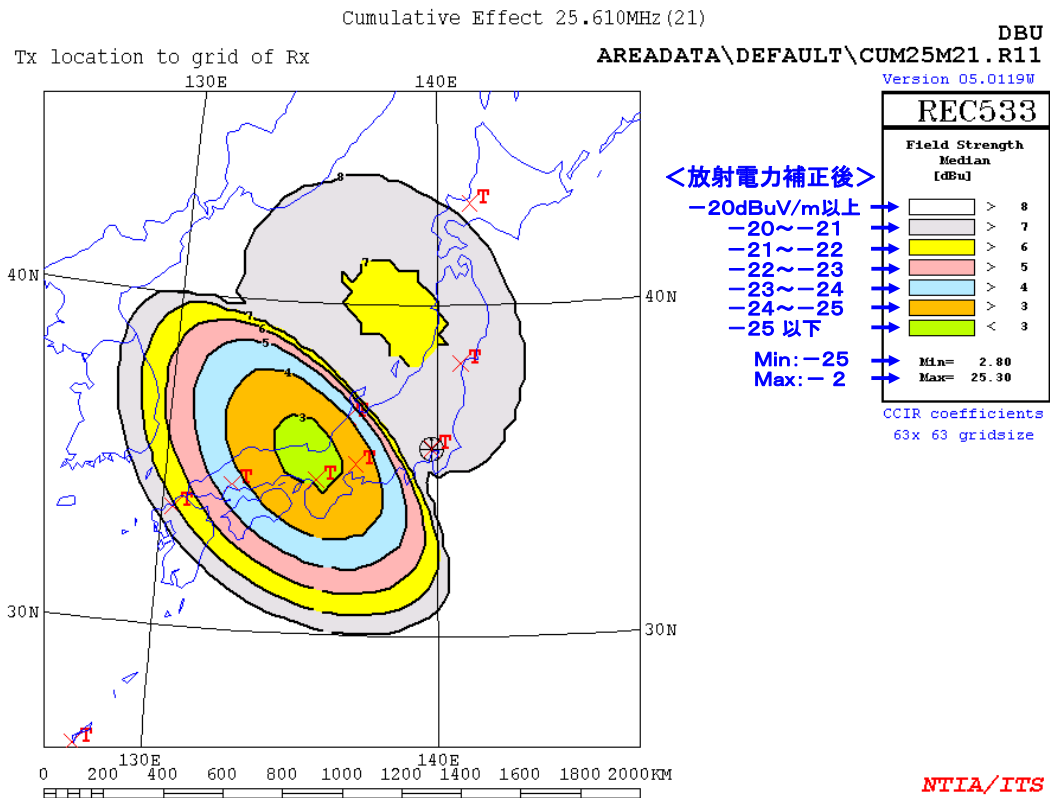


図 5-22 高速電力線搬送通信 1 システムによる広範囲の干渉電界強度分布例 (13MHz 帯、放射点: 東京)

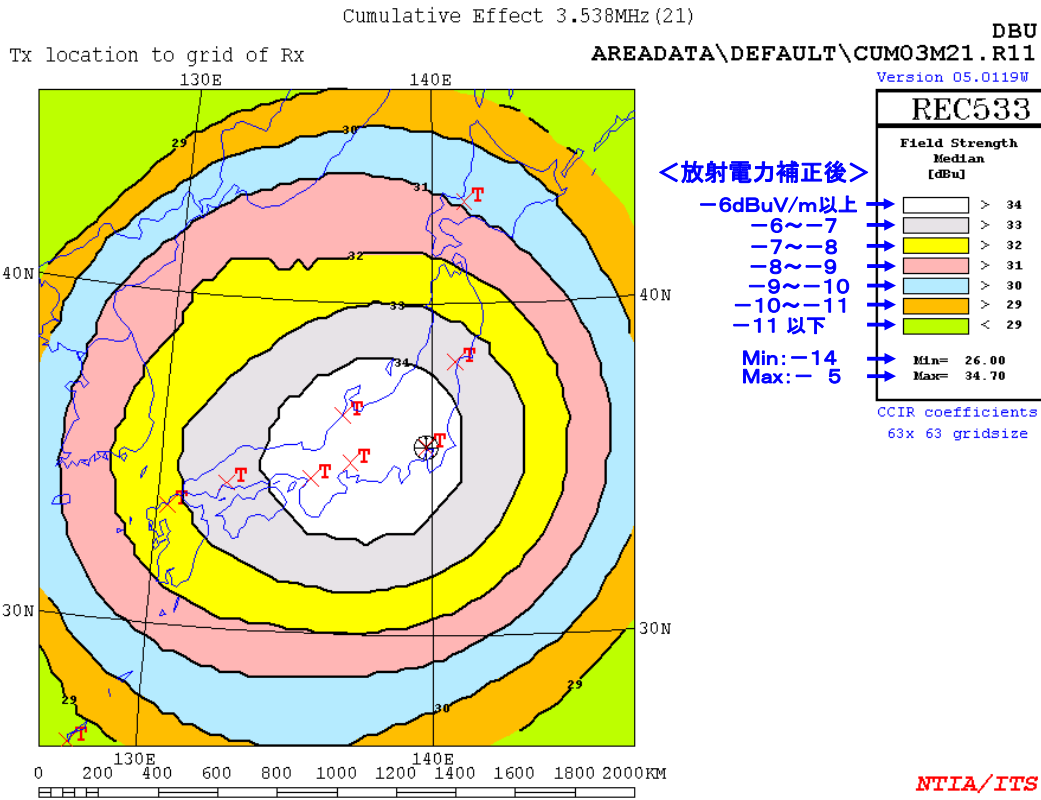


a) Sky-wave : 13MHz 帯、帯域幅 : 50kHz

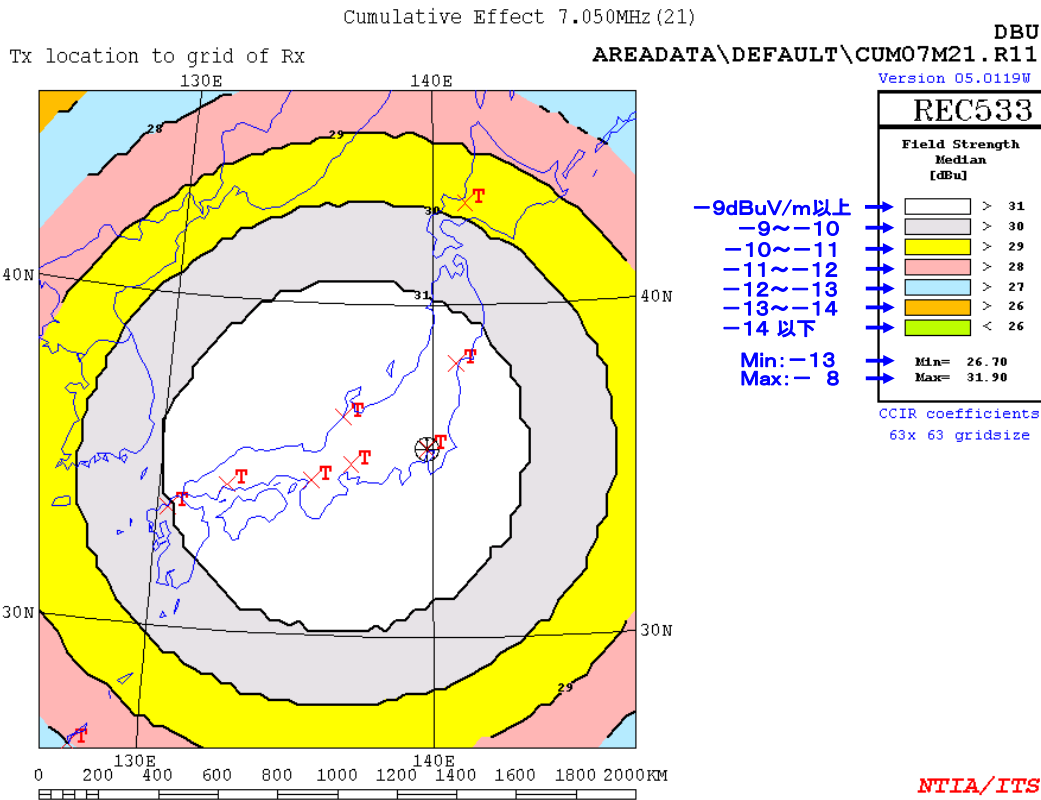


b) Sky-wave : 25MHz 帯、帯域幅 : 120kHz

図 5-23 累積効果による干渉電界強度分(13MHz 帯、25MHz 帯)



c) Sky-wave : 3MHz 帯、帯域幅 : 2.4 kHz



d) Sky-wave : 7MHz 帯、帯域幅 : 2.4 kHz

図 5-24 累積効果による干渉電界強度分布 (3MHz 帯、7MHz 帯)

### 5.3.2 地上波による累積電界強度の検討

ここでは、地上波が到達する放射点近傍での累積電界強度を直接波による伝搬として算出する。

#### 5.3.2.1 検討モデル・計算式

##### (1) 検討モデル

検討モデル： 図 5-25 の中心位置にある電波天文施設受信点から半径  $R[m]$  の累積効果対象エリア内に P L C 設備が一様分布すると想定

1 システムの P L C 設備からの放射電力：

$$P_{plc} [W] \quad (5.3.1 \text{ 項による})$$

受信点からの距離： $r[m]$

距離  $r [m]$  点での干渉電界強度：

$$E(r) [\mu V/m] = 5.48 \times 10^6 \cdot A \cdot P_{plc}^{1/2} / r^{1.3}$$

(ITU-R 勧告 PN.525-2 の(1)式において距離減衰係数を 1.3 乗 (26dB/dec) としたもの。A は低減効果で  $A = 1$  <効果なし> とした)

高速電力線搬送通信設備の密度： $D \times \alpha$  [システム/ $m^2$ ] ( $D$ ：世帯数密度、 $\alpha$ ：P L C 普及率)

電波天文施設から最近傍の P L C 設備までの離隔距離： $r_0[m]$

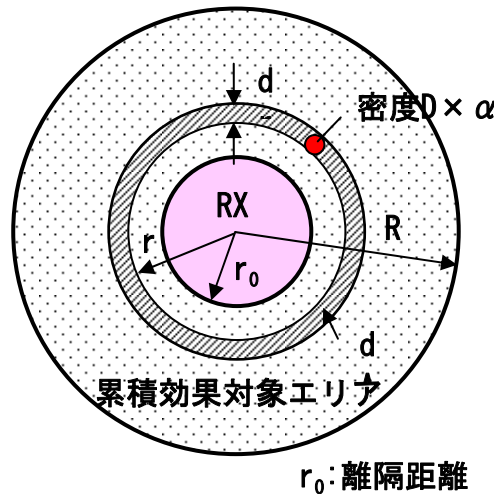


図 5-25 累積電界強度検討のためのモデル

##### (2) 計算式

受信機から周囲半径  $r$  での微小面積： $dA = 2\pi r \cdot dr [m^2]$

$dA$  の範囲からの干渉電界の受信点での電界強度  $dE(r)$ ：

$$dE(r) = \{E(r)^2 \times D \cdot \alpha \times dA\}^{1/2} = (5.48 \times 10^6 \times A) \times (2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times r^{-1.6} \cdot dr)^{1/2}$$

受信点から離隔距離  $r_0 \sim$  距離  $R$  の範囲内にある P L C 設備による受信点での累積電界強度：

$$\begin{aligned} e_{cum} &= \left\{ \int_{r_0}^R dE(r)^2 \right\}^{1/2} = (5.48 \times 10^6 \times A) \times \left( 2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times \int_{r_0}^R r^{-1.6} \cdot dr \right)^{1/2} \\ &= (5.48 \times 10^6 \times A) \times \left\{ 2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times (r_0^{-0.6} - R^{-0.6}) / 0.6 \right\}^{1/2} [\mu V/m] \\ E_{cum} &= 20 \times \log(e_{cum}) [dB\mu V/m] \end{aligned}$$

#### 5.3.2.2 検討条件・設定パラメータ

##### (1) 放射電力

高速電力線搬送通信 1 システムからの放射電力  $P_{plc}$  は、5.3.2.1 項で設定した通りとする。

(2) 世帯数密度及び高速電力線搬送通信世帯普及率

研究会資料 7-8 に示された主なHF帯電波天文観測局4ヶ所が所在する県の世帯数密度と想定した高速電力線搬送通信世帯普及率と共に表 5-5 に示す。

表 5-5 高速電力線搬送通信の想定世帯普及率等 (HF 電波天文観測局周辺)

観測局	所在県	世帯数密度 (軒/m <sup>2</sup> )	想定世帯普及率 (%)
蔵王	宮城県	$1.25 \times 10^{-4}$	30
平磯	茨城県	$1.71 \times 10^{-4}$	25
西はりま	兵庫県	$2.61 \times 10^{-4}$	30
高知	高知県	$4.81 \times 10^{-5}$	20

注1)世帯数密度はH16年3月末現在(総務省自治行政局報道資料による)

2)想定世帯普及率は、全国平均を30%と想定し、都道府県別ブロードバンドサービス普及率(H17年3月末現在、総務省報道資料)から推定

(3) 離隔距離

離隔距離  $r_0$  は、電波天文設備の設置場所・環境を考慮し、実質的に十分確保できると考えられる 100m に設定した。

(4) 距離減衰特性

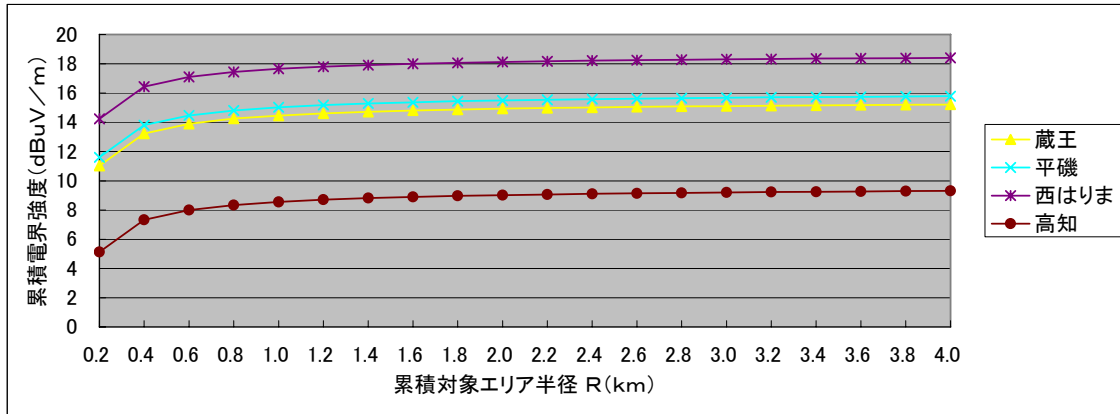
地上波伝搬の距離減衰特性は  $26 \text{ dB/d ec}$  とした。

### 5.3.2.3 計算結果

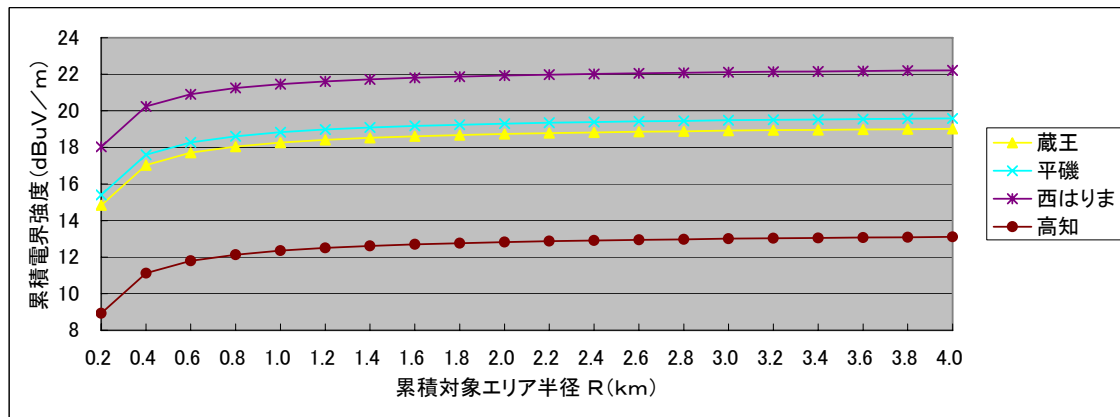
図 5-26 に地上波による累積電界強度の計算結果を示す。累積対象エリア半径数  $k \text{ m}$  で飽和傾向を示し、数  $k \text{ m}$  以遠に存在する高速電力線搬送通信設備からの累積効果への寄与は急速に減少する。

従って、対象とする受信施設近傍における高速電力線搬送通信設備設置状況が累積電界強度を決める支配的な要素であり、近傍での高速電力線搬送通信設備の設置数があまり多くないであろうと想定される電波天文観測施設では、累積効果による影響は今回の検討結果よりもさらに軽減され则认为。

また、今回の検討では、多数の高速電力線搬送通信設備からの放射が同一の周波数/時間/方向等の全ての条件で一致するものとして計算を行っていることから、実際には累積効果の影響の低減が期待できると考える。



a) 地上波：1.3 MHz 帯、帯域幅：50 kHz

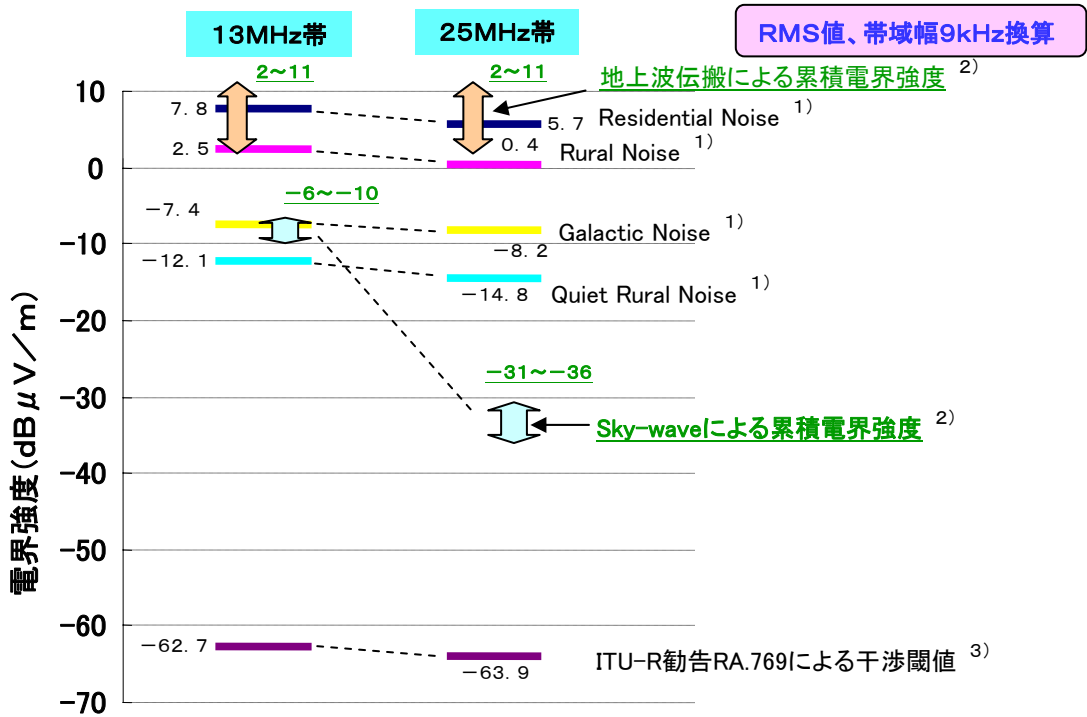


b) 地上波：2.5 MHz 帯、帯域幅：120 kHz

図 5-26 累積効果による干渉電界強度

### 5.3.3 まとめ

図 5-27 に電波天文帯域における Sky-wave 及び地上波による累積電界強度の計算結果をまとめて示す。計算結果より、累積効果における Sky-wave 伝搬による影響は、地上波伝搬による影響に比べて十分に低く、地上波伝搬が支配的な要素となると考える。



- 注1) ITU-R 勧告 P. 372-8 (7)、(11) 式による外部雑音レベル。  
 2) 本資料による累積効果の検討結果で、研究会資料 7-8 に示された主な HF 帯電波天文観測局 4ヶ所付近の累積電界強度。  
 3) 干渉閾値電力を勧告 PN. 525-2 (8) 式にて電界強度に変換した値。

図 5-27 累積電界強度の計算結果

## 5.4 家屋・ビルによる遮蔽

高速電力線搬送通信により信号が送受されている電力線からの漏えい電波が、建築物（鉄筋コンクリート及び木造家屋）によってどの程度減衰するのかを明らかにするため、Finite Integration (FI) 法による数値解析を行った。

### 5.4.1 計算モデル

計算モデルとして、平行二線の電源線が六畳間相当の構造体（建築物）に壁面に沿って配線され、電源線の片側端子に PLC 機器が接続され、もう一方の端子をあるインピーダンスで終端している状態を考える。鉄筋コンクリート構造物の構造は図 5-28 のとおりである。また、木造構造物は、鉄筋コンクリート構造物と同じ寸法であり、その概観は図 5-29 のとおりである。なお、同図において、x 軸方向は上面から見て構造体の短辺方向、z 軸は構造体の長辺方向、y 軸は高さ方向である。

鉄筋コンクリート構造物は幅 130mm の金属（完全導体）角柱で外枠が組まれており、また壁面 4 面と上面はコンクリートで構成されている。コンクリートの複素比誘電率は  $\epsilon_r = 6.0 - j40$  (30MHz のとき)、また誘電正接  $\tan \delta = 0.0462$  とする。この複素比誘電率は、マイクロ波における比誘電率の虚部について、30MHz においても導電率が変化しないと仮定して算出した。コンクリート内部には格子状に鉄筋（完全導体を仮定）が入り、その間隔は 455mm である。これらの鉄筋は外枠の金属角柱とは電氣的に接続されていない。床と天井は厚さ 50mm の木材であり、また床は構造体より 455mm 高い場所に取り付けられている。木材の比誘電率及び導電率は、比誘電率 4.0、導電率は約  $10^{-3} \text{ S/m}$  とした。窓は金属枠（サッシ）にガラスがはめ込まれているものとし、ガラスの比誘電率は 4.0 を仮定した。ドアは木材製で、窓と同様に金属枠の内側にドアが取り付けられている。

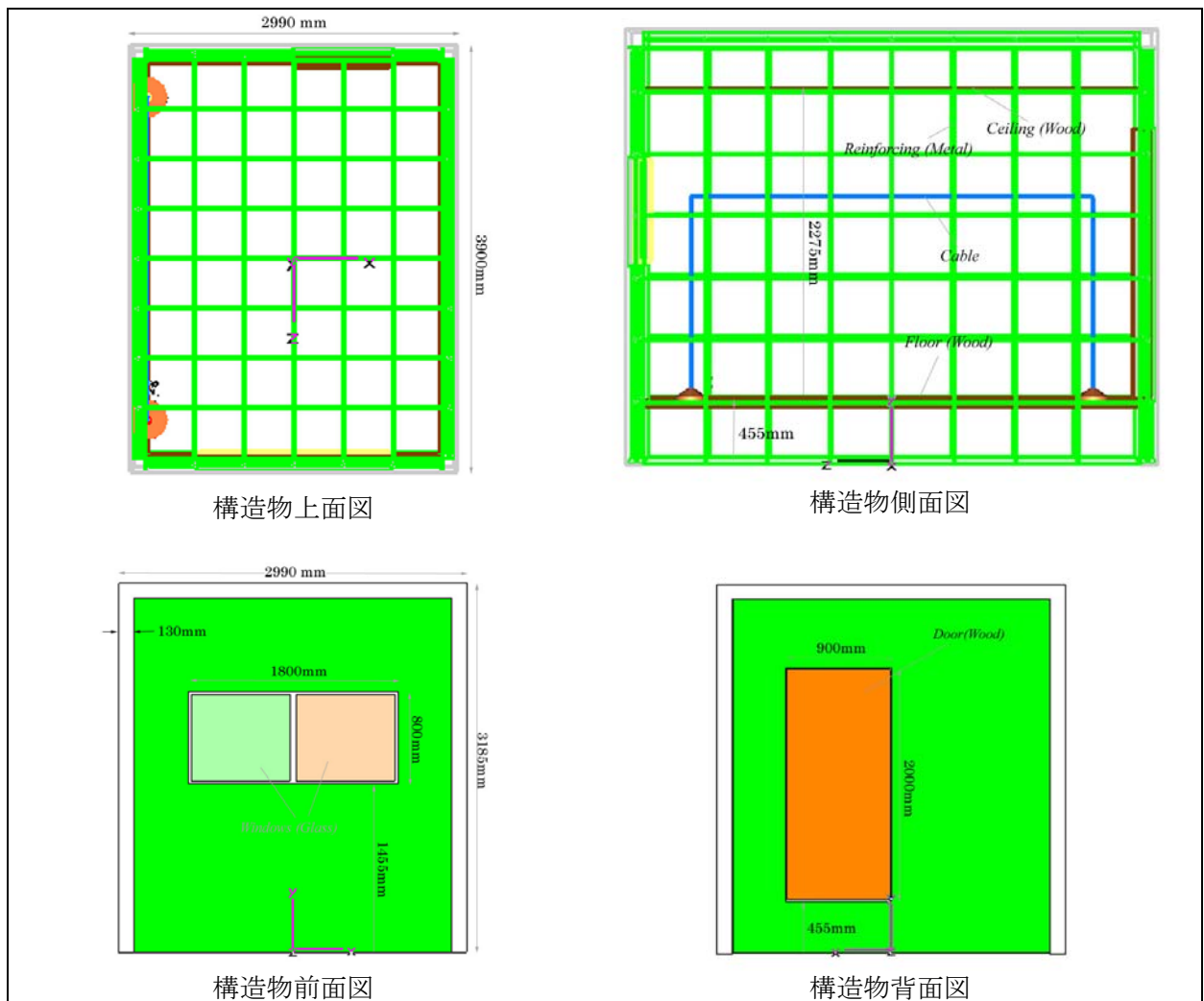


図 5-28 計算モデルの構造（鉄筋コンクリート構造物）

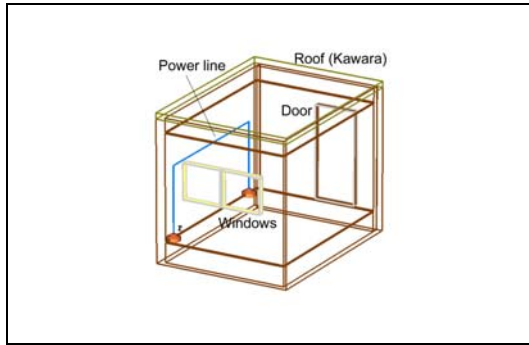


図 5-29 木造構造物の概観

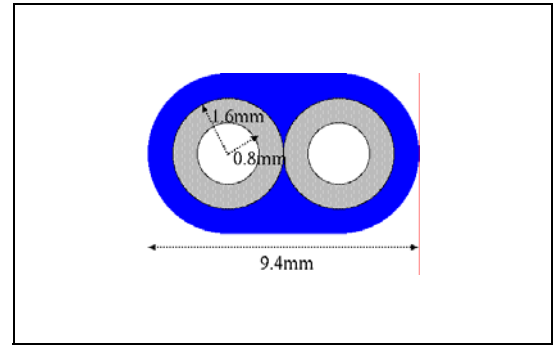


図 5-30 電源線の断面寸法

電源線は、ドアから遠いほうの壁面に平行二線の 2 つの導体が這うように設置され（図 5-28 構造物側面図参照）、z 方向の長さが 3m、y 方向の長さが 1.5m である。電源線は、ポリ塩化ビニール（比誘電率 2.95、 $\tan \delta=0.014$ ）のシースを持つ 2 芯 VVF ケーブルである（図 5-30 参照）。平行二線の窓に近い方の端子の双方の線に特性インピーダンス  $150\Omega$  の電源を接続し、さらにケーブルの平衡度を下げるために、一方の線にのみ LCR 並列回路を電源と線との間に挿入している。LCR 回路の回路定数は、夫々  $L=1\text{mH}$ 、 $R=10\Omega$ 、 $C=11\text{nF}$  である。電源線のもう一方の端子の 2 線は夫々  $150\Omega$  で終端され、さらに LCR 並列回路が終端と線間（線は窓に近い方の端子の場合と同じ線）に接続されている。

信号が流れている電力線からのコモンモード放射の電界計算には FI 法を用いる。FI 法による計算においては、市販のソフトウェアを用いた。計算における周波数範囲は  $1\text{MHz}\sim 100\text{MHz}$  とする。入力端子に印加する波形は  $100\text{MHz}$  帯域相当の立ち上がり時間を有するガウシアンパルスとした。ただしこの波形は PLC の信号強度及び波形を模擬したものではない。またセルサイズは構造物の部位によって異なり、ケーブル等の構造の細かい箇所では最小セル寸法（約  $0.8\text{mm}$ ）を取り、構造物の容積部分では最大セル寸法（ $305\text{mm}$ ）となる。境界条件は、上方および各側面の方向の境界では、4 層の PML による吸収境界条件、 $y=0$  となる面では完全導体の境界条件を夫々適用する。

FI 法による計算は、構造物がなく、電源線のみの場合についても行う。構造体がある場合と無い場合とで放射指向パターンが異なるので、ここでは構造体がある場合における放射電界強度の最大値と無い場合における電界強度の最大値の比をもって電界強度の減衰量と定義する。

#### 5.4.2 数値解析結果（鉄筋コンクリート）

構造物が鉄筋コンクリートの場合の電界強度減衰効果を計算した。表 5-6 に構造体中心よりの距離  $10\text{m}$ （近傍界）および距離  $150\text{m}$ （ $2\text{MHz}$  における一波長、遠方界）における減衰特性を示す。同表より、減衰量の最小値は  $10\text{MHz}$  のときに現れ、その値は近傍界で  $23\text{dB}$ 、遠方界で  $22\text{dB}$  である。逆に減衰量の大きいのは  $30\text{MHz}$  のときの  $31\text{dB}$ （近傍界）および  $29\text{dB}$ （遠方界）であることが判った。近傍界と遠方界の減衰量を比較すると、遠方界では  $0\sim 2\text{dB}$  程度減衰量が小さくなっていることがわかる。

表 5-6 減衰特性（鉄筋コンクリート構造物）

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

#### 5.4.3 数値解析結果（木造）

構造物が木材の場合の電界強度減衰効果を計算した。構造物の寸法及び窓、ドア等の配置は鉄筋コンクリートの場合と同様である。構造物の屋根部分（図 5-29 の”Roof (Kawara)”）は、木造建築の多くが瓦であることを考え、長石質磁器（瓦）の誘電率および誘電正接の値を用いた。それぞれ  $5\sim 6.5$ 、 $0.007\sim 0.012$ （ $1\text{MHz}$  のとき）であるので、中間値をとり、誘電率  $5.75$ 、誘電正接  $0.01$  とした。鉄筋コンクリートの場合と同様、表 5-7 に構造体中心よりの距離  $10\text{m}$ （近傍界）および距離  $150\text{m}$ （遠方界）における減衰特性を示す。同表より、減衰量の最小値は  $30\text{MHz}$  のときに現れ、その値は近傍界で  $6.8\text{dB}$ 、遠方界で  $5.0\text{dB}$  である。逆に減衰量の大きいのは、近傍界では  $2\text{MHz}$  のときの  $22\text{dB}$  で、遠方界では  $5\text{MHz}$  における  $16\text{dB}$  となった。近傍界と遠方界の減衰量を比較すると、遠方界では  $0\sim 7\text{dB}$  程度減衰

量が小さくなっており、鉄筋コンクリートの場合と比較してその差は大きい。

表 5-7 減衰特性 (木造構造物)

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

#### 5.4.4 まとめ

研究会資料 2-3 [1]の参考 1.3 によれば、コンクリート外壁の遮蔽効果の実測値は 20dB 前後であり、また戸建て住宅、集合住宅、オフィスビルなどの複数の建物における遮蔽効果を実測した結果、各周波数における測定値のメジアンが 7.4dB~16.7dB であることが報告されている。上記の数値解析結果も資料[1]の実測結果と同様の値となっていることがわかる。ゆえに本数値解析結果は妥当であるといえる。

#### 参考文献

- [1] 総務省 高速電力線搬送通信に関する研究会 資料 2-3 高速電力線搬送通信と既存無線局の共存について, February, 2005.
- [2] 石上, 後藤, 松本, “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 C 部門大会, OS1-4, 2005.

## 5.5 配電系の伝送特性

低圧電力系統の伝送特性は、①住宅内の伝送特性、②住宅間（隣家など）の伝送特性、③住宅から屋外配電線への伝送特性の3つに大別できる。以下に、これらの伝送特性の測定結果を示す。

### 5.5.1 住宅内電力系統の伝送特性測定結果

一般的な住宅への配電方式は単相二線式と単相三線式である。二線式は中性線（0V）と+100Vの電力線から構成され、三線式は中性線とL1（+100V）とL2（-100V）の三線で構成される。最近の住宅の多くは単相三線式になっているため、ここでは、この配電系統の住宅で測定を行った結果を示す。

単相三線式の電力系統の場合、その伝送特性は、①同相同一回路（分電盤を介さない伝送系）、②同相別回路（分電盤で分岐された別回路への伝送系であり、かつ、相が等しい伝送系）、③異相回路（分電盤で分岐された別回路への伝送系であり、かつ、相が異なる伝送系）の3種類に分類される。なお、単相二線式の場合は、上記のうち①と②のみで構成されることになる。

測定は、5軒の住宅（戸建住宅、集合住宅の一住居）において、図5-31に示すように測定対象とするコンセントがこれらの区分を網羅するようにコンセント4箇所以上を選定し、実施した。測定した伝送特性を図5-32に示す。図に示すように、同相同一回路においては、10dB～20dB程度の減衰であるが、同相異相問わず、分電盤で分岐される別回路間の伝送特性は20dB～80dBの減衰であり、平均では30～50dB程度の減衰であった。

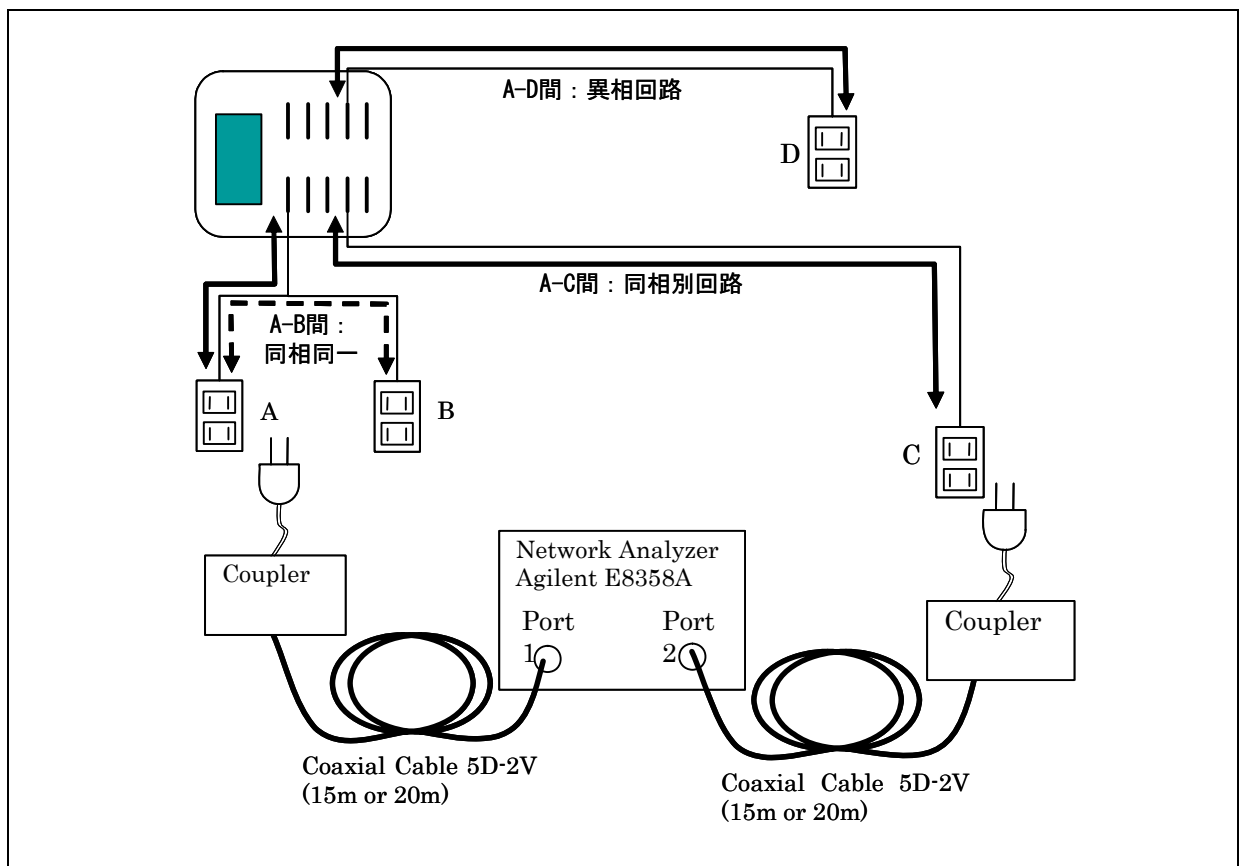


図 5-31 住宅内電力系統伝送特性の測定系

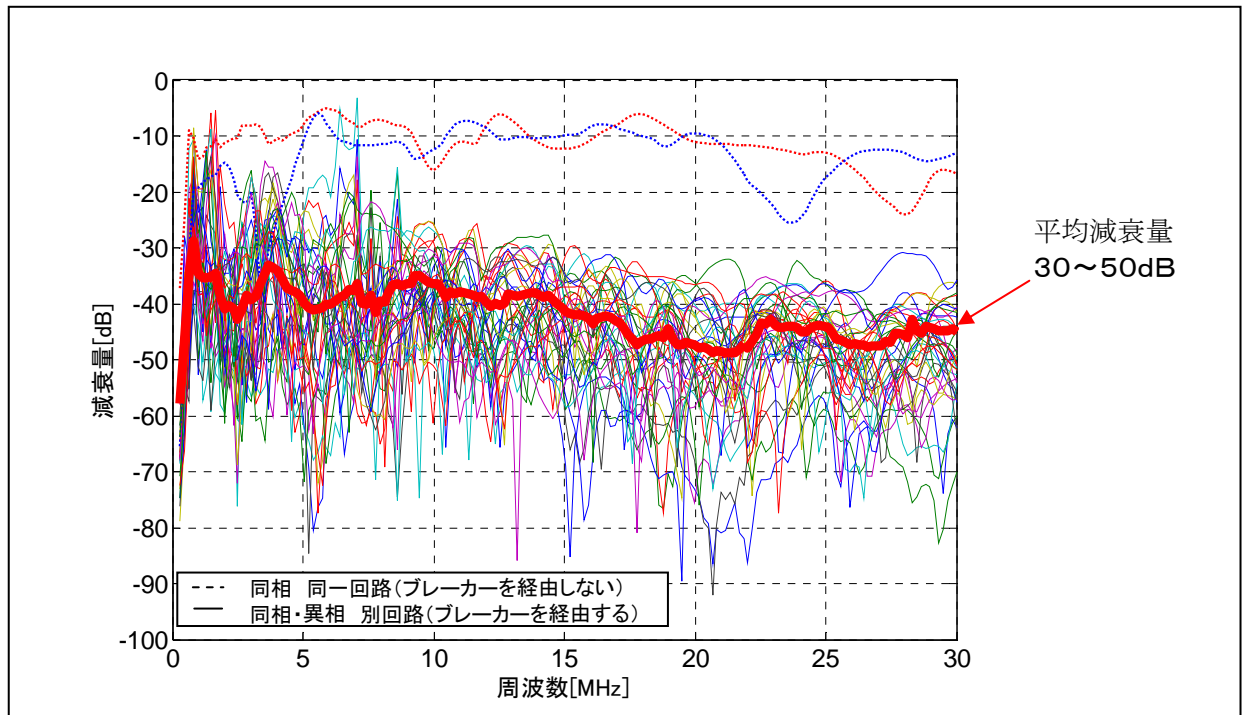


図 5-32 住宅内電力系統の伝送特性測定結果

### 5.5.2 集合住宅における隣接住戸間の電力系統の伝送特性測定結果

集合住宅における隣接住戸間の伝送特性を、図 5-33 のような住戸配置で、全ての住戸が同一の電力系統に接続されている集合住宅にて測定した。

集合住宅の住戸間の減衰特性は、図の I 宅の④番コンセントから、W 宅の④～⑥番コンセントについて測定した。この測定を行った集合住宅では③番のコンセントのみ、その他のコンセントとは相の異なる回路となっており、今回測定したデータは全て同相の伝送特性ということになる。

測定結果を図 5-34 に示す。この測定結果では、30 dB～60 dB 程度の減衰となることが分かった。これは、前節で示した、住宅内配電線における『同相・異相の別回路』での伝送特性の測定結果と同等の数値である。

このように、分電盤を介する電力系統においては、概ね 30 dB 以上の減衰が発生していることがわかる。

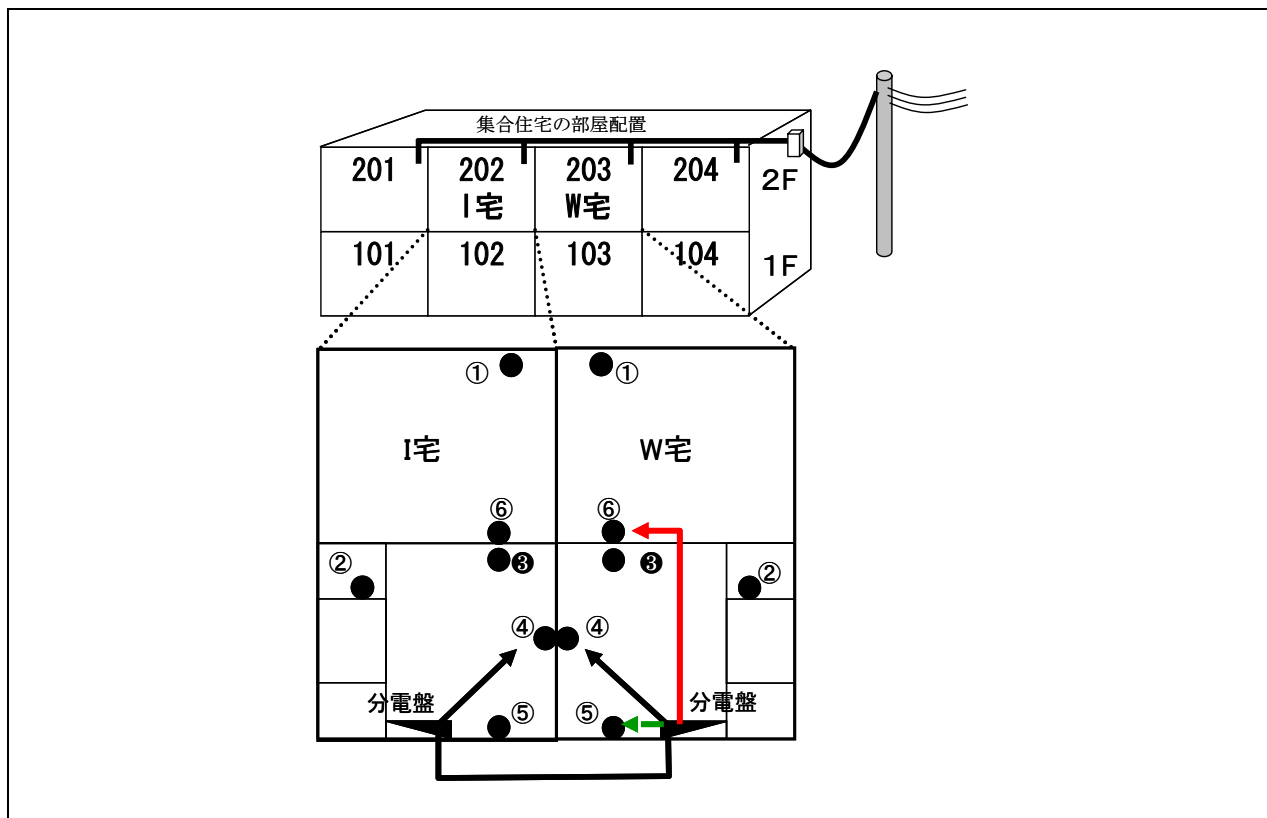


図 5-33 集合住宅の電力系統

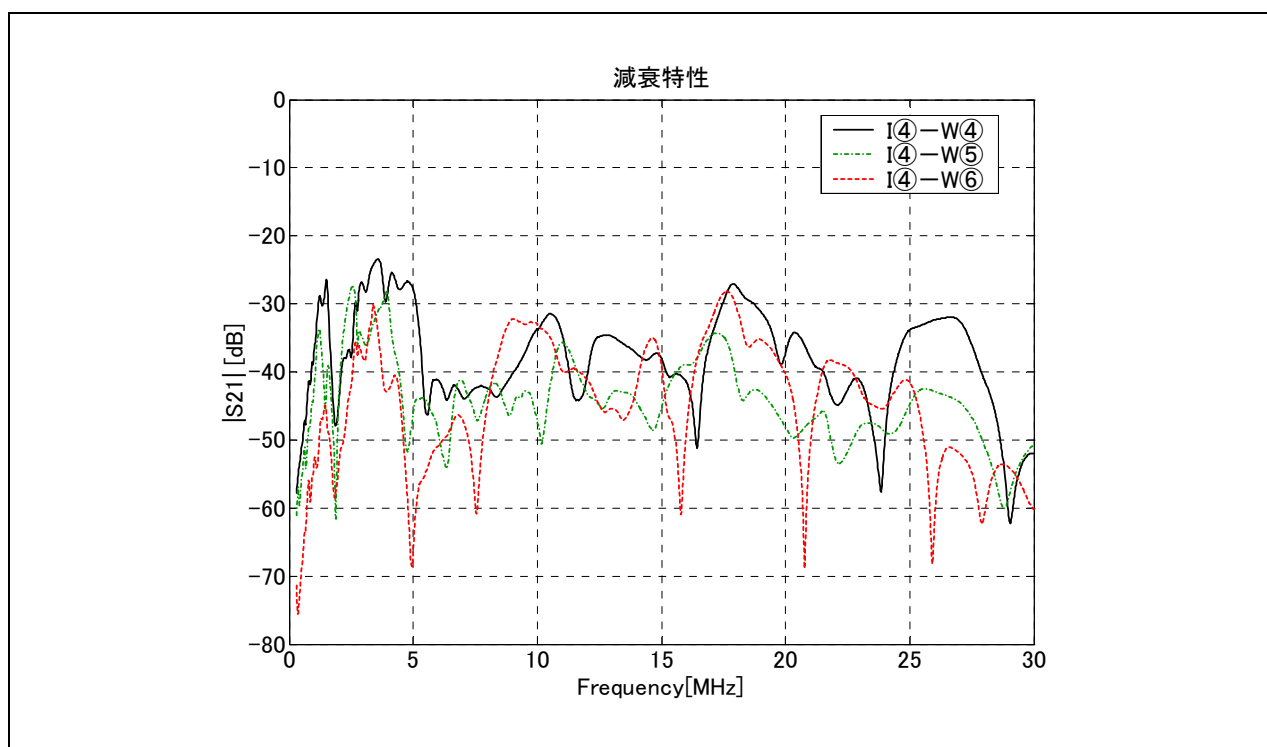


図 5-34 集合住宅の隣家間の伝送特性測定結果

### 5.5.3 住宅から屋外低圧配電線への伝送特性測定結果

住宅から屋外低圧配電線への伝送特性を、図 5-35 に示すように電柱部に柱上トランスの低圧側にコンセントを仮設し、このコンセントと宅内コンセントの伝送特性を測定した。

なお、測定にあたっては、バランの特性を考慮し、入出力間でキャリブレーションを実施した。

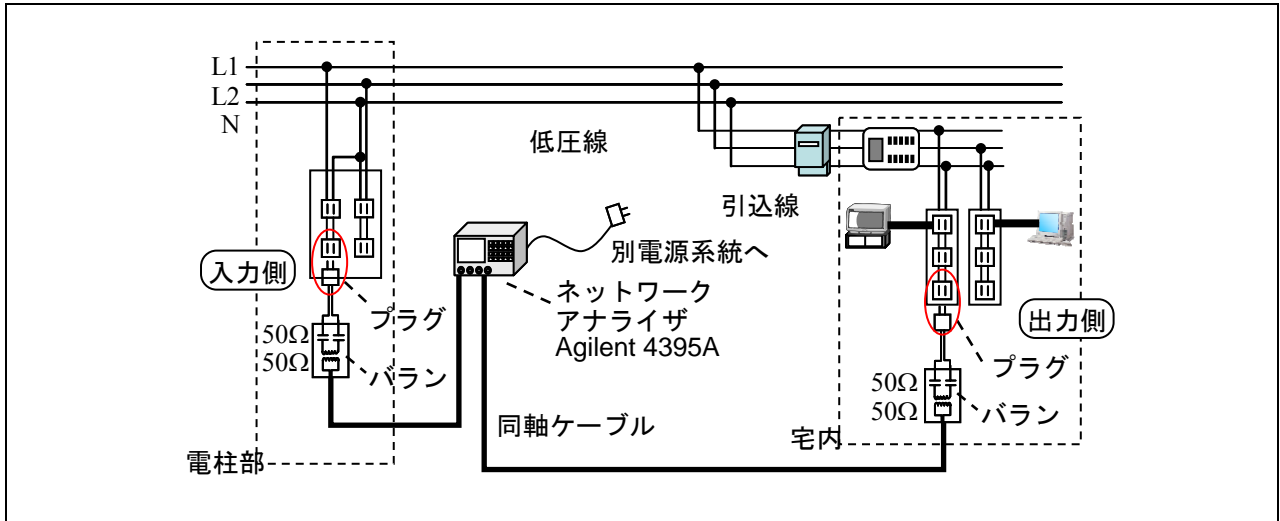


図 5-35 宅内コンセントと屋外配電線間の電力系統

屋外配電線と宅内コンセント間の伝送特性を国内 84 箇所にて測定した結果を図 5-36 に示す。

図に示すとおり、宅内コンセントから屋外配電線への信号減衰量は 20 ~ 100 dB 程度であり、平均の減衰量は 40 ~ 60 dB 程度であった。

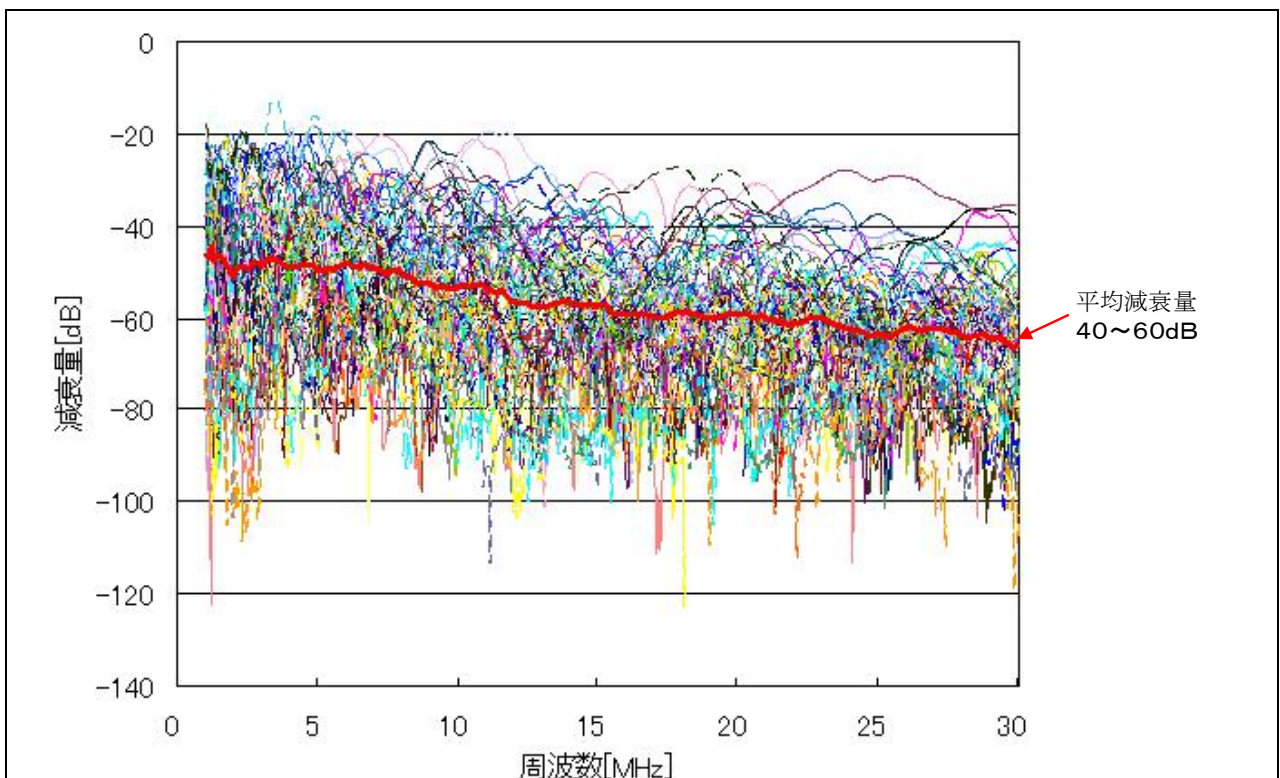


図 5-36 宅内コンセントから屋外配電線への伝送特性測定結果

## 6 高速電力線搬送通信に関連する許容値の現状

### 6.1 諸外国の現状

#### 6.1.1 米国

米国では、FCC が平成 16 年 10 月にレポート&オーダー (FCC 04-245) を発表し、高速電力線搬送通信に係る FCC 規則第 15 部の規定を改正した。アクセス系の高速電力線搬送通信 (Access BPL) に関しては、漏えい電波の許容値として他の機器に対する既存の許容値を準用 (周波数範囲が 1.705~30MHz で中圧電線を使用するものには § 15.209 の許容値、周波数範囲が 30MHz 以上で中圧電線を使用するものには § 15.109(b) の許容値、低圧電線を使用するものには § 15.109(a) 及び(e) の許容値を準用。) するとともに、次のような事前・事後の規制を課している。

- ・ 干渉を緩和・回避するためのモデム機能の追加
- ・ 使用禁止周波数帯の設定
- ・ 特定周波数についての使用禁止地域の設定
- ・ 特定の施設についての協議エリアの設定
- ・ データベースへの登録・公開 (使用周波数、設置場所、干渉申し立てのための連絡先等)
- ・ 公共安全関係ユーザとの事前協議
- ・ 干渉申し立てへの対応

また、屋内で利用する高速電力線搬送通信 (In-House BPL) については、表 6-1 に示す許容値等が適用される。

表 6-1 FCC 規則第 15 部の関連規定 (搬送波電流システム)

適合性 評価方法	§ 15.101	検証 (Verification)																								
伝導妨害波	§ 15.107(c) (2)	許容値 : 535~1705kHz : 1000 $\mu$ V 測定方法 : 50 $\mu$ H/50 $\Omega$ の LISN で測定																								
放射妨害波	§ 15.109(e)、 § 15.209  § 15.35(a) § 15.31(d)	許容値 : <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>周波数 (MHz)</th> <th>電界強度 (<math>\mu</math>V/m)</th> <th>測定距離 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.009 — 0.490</td> <td>2400 / F (kHz)</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>0.490 — 1.705</td> <td>24000 / F (kHz)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>1.705 — 30</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>30 — 88</td> <td>100</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>88 — 216</td> <td>150</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>216 — 960</td> <td>200</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>960 を超えるもの</td> <td>500</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> 測定方法 : CISPR16 準拠 測定方法 : 測定にあたっては、典型的な設置場所を代表するものであると実証することが可能な最低 3ヶ所の設置場所で測定を行う必要がある	周波数 (MHz)	電界強度 ( $\mu$ V/m)	測定距離 (m)	0.009 — 0.490	2400 / F (kHz)	300	0.490 — 1.705	24000 / F (kHz)	30	1.705 — 30	30	30	30 — 88	100	3	88 — 216	150	3	216 — 960	200	3	960 を超えるもの	500	3
周波数 (MHz)	電界強度 ( $\mu$ V/m)	測定距離 (m)																								
0.009 — 0.490	2400 / F (kHz)	300																								
0.490 — 1.705	24000 / F (kHz)	30																								
1.705 — 30	30	30																								
30 — 88	100	3																								
88 — 216	150	3																								
216 — 960	200	3																								
960 を超えるもの	500	3																								

#### 6.1.2 欧州

欧州委員会は、平成 13 年 8 月にマニフェスト M/313 を発出し、欧州電気標準会議 (CENELEC) 及び欧州電気通信標準化機構 (ETSI) に対して、電力線を含めた通信ネットワークの EMC 調和基準の策定を指示したが、現時点ではまだ策定に至っていない。一方、同委員会は、平成 17 年 4 月電力線によるブロードバンド電子通信に関して、次の内容を加盟国に勧告する委員会勧告 (2005/292/EC) を発出した。

- 加盟国は不当な規制障壁を取り除くべきである。
- EMC 指令の下で電力線通信の適合性を推定するための調和基準が策定されるまでの間は、加盟国は次の場合に同指令に適合していると見なすべきである。
  - ・ 電力線通信システムが同指令に適合している設備から構成され、意図された目的のために使

用される場合

- ・ 電力線通信システムが同指令の基本要件を満たすように策定された good engineering practices に従って設置され、運用される場合
- 電力線通信システムが関係者によって解決できない有害な干渉を引き起こしていることが判明したとき、加盟国の権限のある当局はシステムの（EMC 指令への）適合性に関する証拠を要求すべきであり、適切な場合には評価を開始すべきである。
- もし、評価により電力線通信システムが不適合とされる場合、権限ある当局は、適合性を保証するために、相応で、非差別的で、透明な措置を課すべきである。
- もし、電力線通信システムが適合しているにもかかわらず、干渉がある場合は、権限ある当局は同指令第6条（注：問題がある場合に、加盟国が特別の措置を執ることを認めることとした条文）に従って特別の方法を執ることを検討すべきである。
- 加盟国は、電力線通信システムの展開と運用について、定期的に（欧州委員会の）通信委員会に報告すべきである。

EMC 指令では、CISPR22 に準拠して策定された EN 規格(EN55022)に適合していれば、同指令に適合していると見なされることとなるが、CISPR22 のクラス B 装置の通信ポートの 0.5~30MHz における伝導コモンモード妨害波許容値（準尖頭値）は 30dB $\mu$ A となっている。

### 6.1.3 その他

オーストラリアでは、平成 17 年 4 月に高速電力線搬送通信からの干渉の管理に関してパブリックコメントを招請したが、屋内利用については、CISPR の議論を見守るべきか、米国 FCC の基準を採用すべきかについて意見を求めている。

カナダでは、平成 17 年 7 月に高速電力線搬送通信システムに関するパブリックコメントを招請したが、屋内利用については既存の基準（放射妨害波許容値：1.075MHz~30MHz において 30m の距離で 30 $\mu$ V/m。伝導妨害波については今後検討。）を適用するとしている。

韓国では、高速電力線搬送通信に関して、平成 16 年 12 月に電波法が、平成 17 年 7 月に電波法施行規則が改正されており、現在、詳細な技術基準等を定める告示について検討が行われているところである。

## 6.2 国際無線障害特別委員会（CISPR）における国際規格の策定

CISPR においては、CISPR/G フランクフルト会議（1998 年）以降、高速電力線搬送通信、xDSL 等の広帯域通信からのエミッションに関する話題が増加し、CISPR/G サンディエゴ会議（1999 年）から正式課題として議論が開始された。CISPR/G サンクトペテルブルク（2000 年）では、タスクフォース（TF）が構成され、本格的な検討が開始された。

平成 16 年 9 月に開催された CISPR/I 上海会議において、TF で作成した投票用委員会原案（CDV）の素案（Option-A、Option-B）を審議し、一本化を合意できれば CDV を作成して投票にかけることとなったが、合意に至らず、CDV 化を断念し、高速電力線搬送通信に関する規格はステージゼロに戻った。また、一般公開仕様書（PAS（Publicly Available Specification））化することについて合意されたものの、PAS 案の合意に至らず、投票にかけることも断念された。

その後、2005 年 6 月に、I/WG3（プエルトリコ）において、新 TF の設立、検討課題の整理、及び検討スケジュールが合意された。

CISPR における高速電力線搬送通信に関する規格策定に関しては、CISPR22 の適用方法として以下の課題が掲げられているところである。

#### ① 適用する許容値

CISPR22 には、電源ポートの許容値（電圧）あるいは通信ポートの許容値（電圧、電流）が規定されているが、これらの許容値をどのように適用すべきであるのか。

#### ② 測定方法

CISPR22 には、電源ポートでの測定のための疑似電源回路網と通信ポートでの測定のための疑似通信回路網が規定されているが、規格への適合性を確認するときどのような測定回路を使用すべきであるのか。

## 7 高速電力線搬送通信に関連する妨害波測定法

高速電力線搬送通信による不要電磁波等の測定法と測定条件を検討するには、先ず、その使用形態、不要電磁波発生メカニズム、測定すべき物理量を調べ、さらに、既存の妨害波測定法を精査することが必要である。

### 7.1 高速電力線搬送通信の使用形態

高速電力線搬送通信の使用形態は、図 7-1 のように、基本的に高速電力線搬送通信のための機器（以下「PLC 機器」と云う）自体が他の機器システムに外付けで接続される場合と、内部に組み込まれる場合がある。また、端末には、機器システムに AC 電力を供給するための電源入力および出力ポート、さらに高速電力線搬送通信のための信号（以下「PLC 信号」と云う）を送受信するための信号ポートがある。

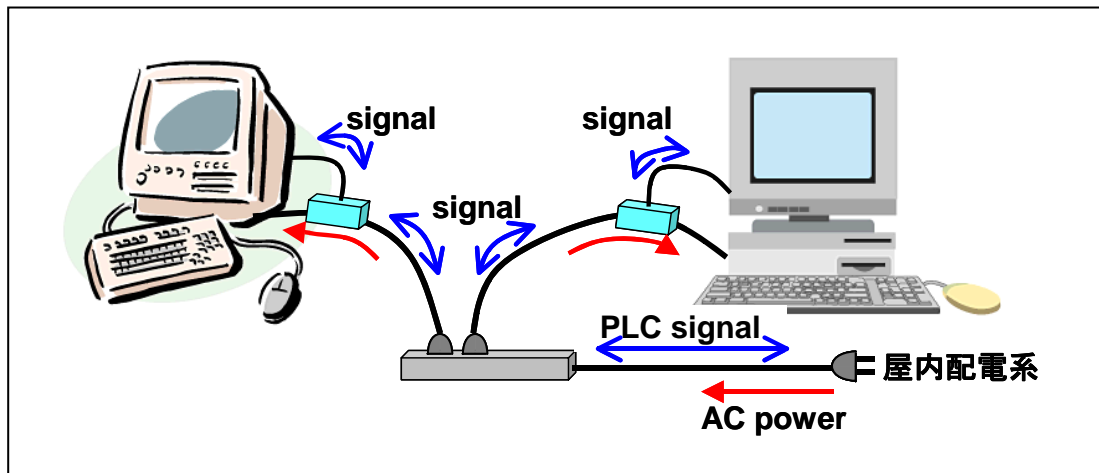


図 7-1 高速電力線搬送通信の使用形態

### 7.2 高速電力線搬送通信による不要電磁波発生メカニズム

高速電力線搬送通信による不要電磁波は、主として以下の 2 種類の原因によって発生する。

- (1) ディファレンシャルモードの PLC 信号電流が機器システムの電源線や屋内配線を伝搬し、これに伴ってコモンモード成分の電流が生じて、不要電磁波が放射される (HF 帯)。
- (2) PLC 機器 (又は PLC 機器を組み込んだ機器) の筐体から、不要電磁波が直接放射される (VHF 帯以上)。

したがって、HF 帯 (30MHz 以下) の周波数帯における不要電磁波のレベルを抑制するには、特に、電源線を伝搬する信号電流のコモンモード成分を測定し、これを低減すべきである。

### 7.3 高速電力線搬送通信に関連する各種妨害波測定法

以下では、現在広く利用されている国際無線障害特別委員会 (CISPR) 規格に基づく妨害波測定法の概要を紹介する。

#### 7.3.1 電源線伝導妨害波の測定法 (0.009~30 MHz)

図 8-2 のように、供試機器を基準金属面上 40 cm の高さに配置して、電源線を伝搬する妨害波のレベルを擬似電源回路網を介して測定する。擬似電源回路網は、50/60 Hz の AC 電源と、高周波の妨害波を分離するための装置で、規定されたインピーダンス負荷に誘起する妨害波電圧を妨害波測定器 (一種の高周波電圧計) で測定する。

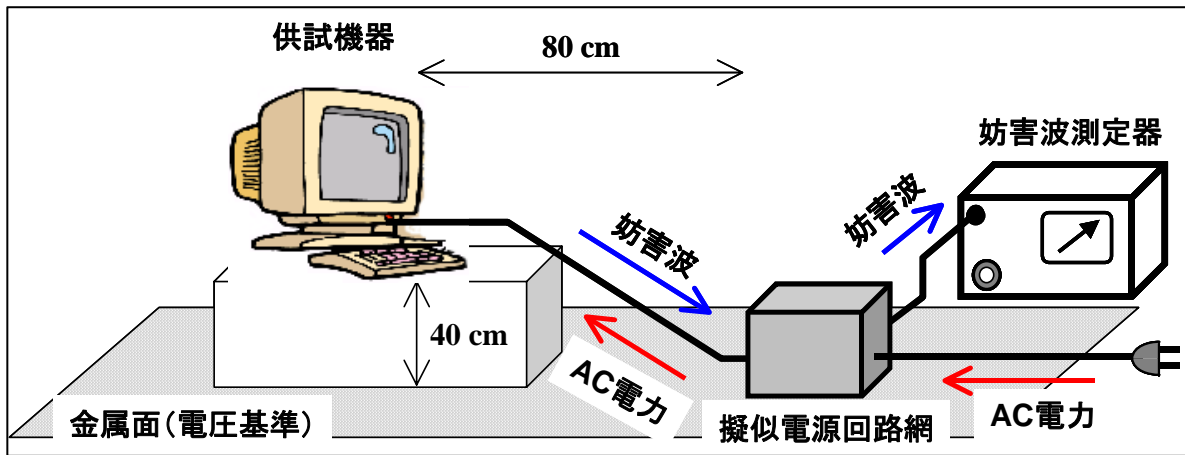


図 7-2 擬似電源回路網による測定

CISPR 規格では数種類の擬似電源回路網を規定しているが、その代表的なものは以下の通りである。

### 7.3.1.1 50 ohm V型擬似電源回路網

本回路網は、現在、最も広く利用されている擬似電源回路網で、図 7-3 に示すように、供試機器の電源の各端子と基準金属面間に 50 ohm 負荷を接続して、それに誘起する妨害波電圧  $V_A$  および  $V_B$  を測定する際に使用する。従って、等価的には、電源線の一線と基準金属面を周回する妨害波電流を測定することになる。なお実際の妨害波測定では、 $V_A$  および  $V_B$  の大きい方を測定値としている。

この回路網によって発生する電源端子間の負荷インピーダンスは

ディファレンシャルモード： $Z_{diff}=100\text{ ohm}$

コモンモード： $Z_{com}=25\text{ ohm}$

となる。また測定される妨害波電圧は、一線大地間電圧であり、

測定値  $V_{meas}=V_A$  及び  $V_B = V_{com}+V_{dif}/2$  (ベクトル和)

但し、供試機器が PLC 機器である場合、PLC 機器の高周波信号は回路網を介して妨害波測定器に加わるが、回路網の電源入力端子には出力されない。このため、本回路網を挿入した状態で PLC 機器間の通信を行えないため、PLC 実運用時の妨害波レベルを測定することは不可能である。

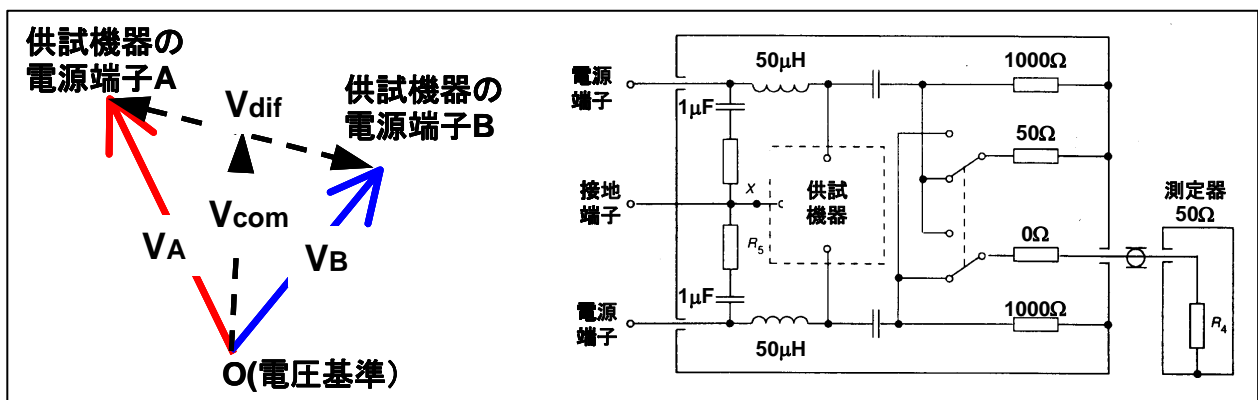


図 7-3 50 ohm V型擬似電源回路網

### 7.3.1.2 150 ohm 擬似電源回路網

本回路網は、1995 年頃まで主にテレビ受信機等の電源線伝導妨害波測定に使われていた回路網で、図 7-4 のように、供試機器の電源端子間に現れるディファレンシャルモード電圧およびコモンモード電圧の測定に使用していた。なお、両モードに対する負荷インピーダンスは共に 150 ohm で、等価的に、この負荷に流れるディファレンシャルモード電流及びコモンモード電流を測定することになる。

この回路網によって発生する電源端子間の負荷インピーダンスは

ディファレンシャルモード :  $Z_{diff}=150\text{ ohm}$

コモンモード :  $Z_{com}=150\text{ ohm}$

である。また測定される妨害波電圧は、線間のディファレンシャルモード電圧およびコモンモード電圧であり、

測定値  $V_{meas}=V_{com}\text{ or }V_{diff}$

但し、供試機器が PLC 機器である場合、前項の 50 ohm V 型擬似電源回路網と同様に、PLC 機器の高周波信号は回路網を介して妨害波測定器に加わるが、回路網の電源入力端子には出力されない。このため、本回路網を挿入した状態で PLC 機器間の通信を行えないため、PLC 実運用中の妨害波レベルを測定することは不可能である。

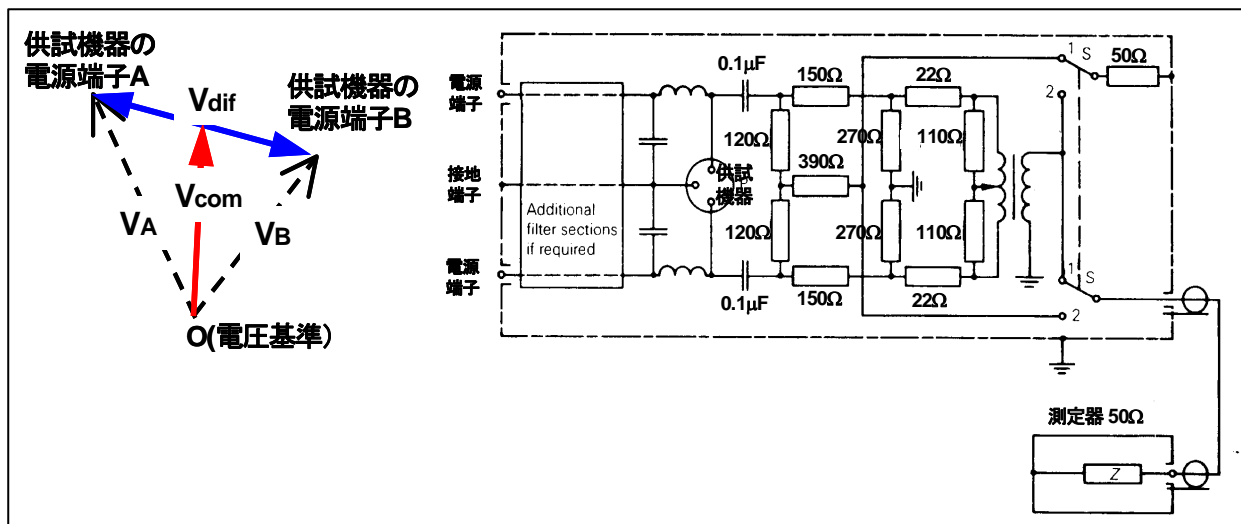


図 7-4 150ohm 擬似電源回路網

### 7.3.2 信号線伝導妨害波の測定法 (0.15~30 MHz)

電話線などの平衡線路を利用して信号伝送を行う場合、信号はディファレンシャルモードの電圧・電流によって伝搬する。しかし、実際の信号源や伝送線路、更に負荷は、少なからず不平衡成分を有しているため、コモンモードの電圧・電流が発生し、これによって妨害波が発生して、受信障害等が引き起こされる。従って、信号線路に接続される通信機器の伝導妨害波測定では、実際の伝送線路や負荷の不平衡の度合いを回路的に組み込んだ擬似回路網 (インピーダンス安定化回路 : ISN) を用いて、機器から発生するコモンモード成分の妨害波電圧および電流を測定する。

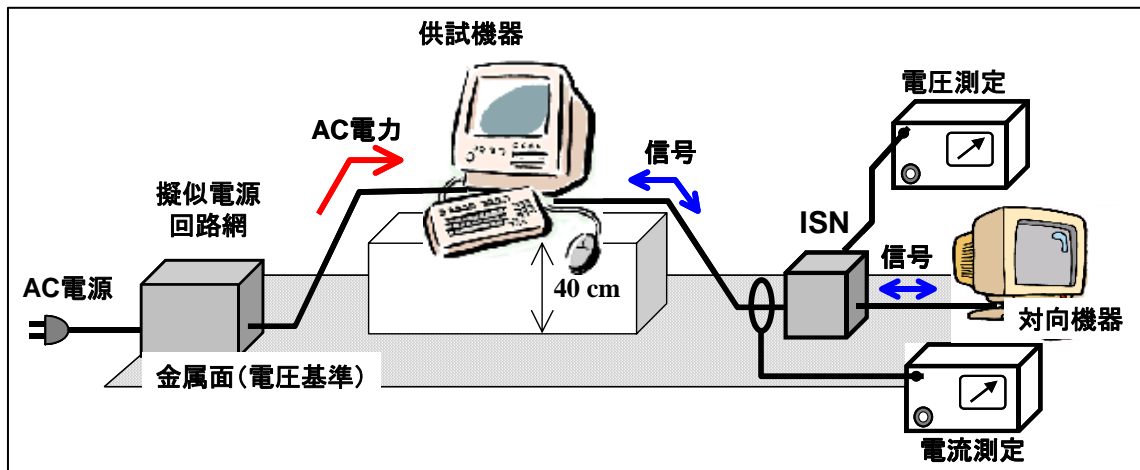


図 7-5 信号線伝導妨害波の測定法

### 7.3.2.1 インピーダンス安定化回路 ISN (CISPR 22:2003-4)

CISPR 22 に規定されている信号線用回路網で、基本的に平衡回路系であるが、LCL 調整用抵抗によって、実際の信号線路の不均衡を模擬している。また、この擬似回路網のコモンモードインピーダンスは、実際の線路のインピーダンスにほぼ等しく設定している。

通信機器から発生する平衡モードの信号の一部は、LCL 調整抵抗によってコモンモード成分に変換され、測定器に加えられる。一方、ディファレンシャルモードの信号成分は対向機器に加えられるため、供試機器は対向機器と通信が行える。従って、実運用時に通信線路に発生するコモンモード成分の妨害波（電圧、電流）を測定することができる。

$Z_{diff}$  = 対向機器の入力インピーダンス

$Z_{com} = 150 \text{ ohm}$

LCL = 信号線路の LCL 代表値

であり、電圧  $V_{meas} = V_{com}/3$  および、電流プローブによるコモンモード電流測定を行う。

なお、供試機器が PLC 機器の場合、信号線は AC 100 V の電源線であるため、上記の ISN に交流電源供給回路を付加すると共に、回路素子が数 10A の交流電流に耐えるものに変更する必要がある。

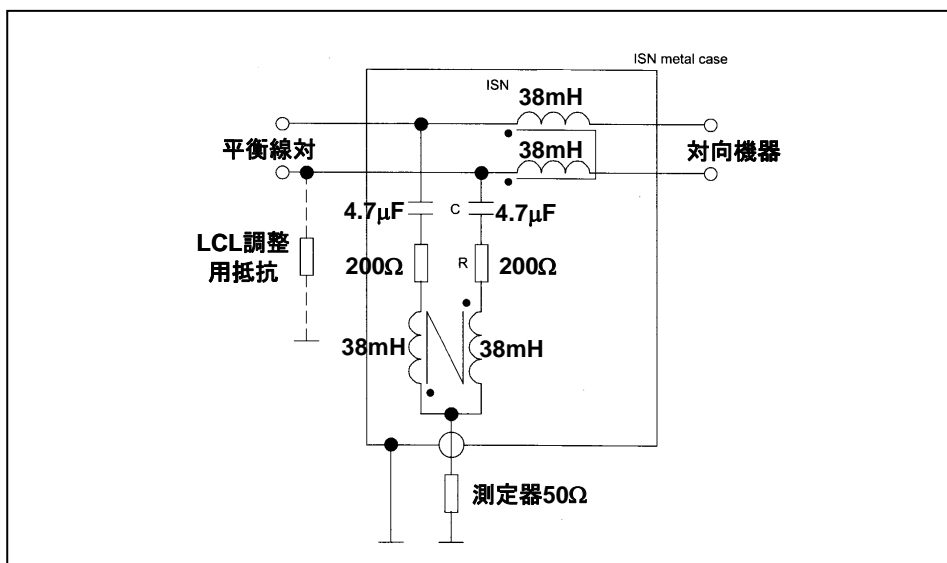


図 7-6 インピーダンス安定化回路 ISN (CISPR 22:2005-04)

### 7.3.2.2 インピーダンス安定化回路 ISN (CISPR/I/xyz/DPAS: Draft Publicity Available Specification)

CISPR の小委員会 SC-I で、長年にわたり PLC の妨害波に関する許容値と測定法を検討してきたが、2004年に提案されて否決された擬似回路網( $Z_{com}=150\text{ ohm}$ )を改良したもの( $Z_{com}=25\text{ ohm}$ )が図 7-7 である。この回路網の諸特性は

$Z_{diff}$ =対向機器の値

$Z_{com}=25\text{ ohm}$

$LCL = 30\text{ dB}$  (欧州)、 $25\text{ dB}$  (日本およびその他)

であり、妨害波測定器による電圧と、電流プローブによるコモンモード電流測定を行う。

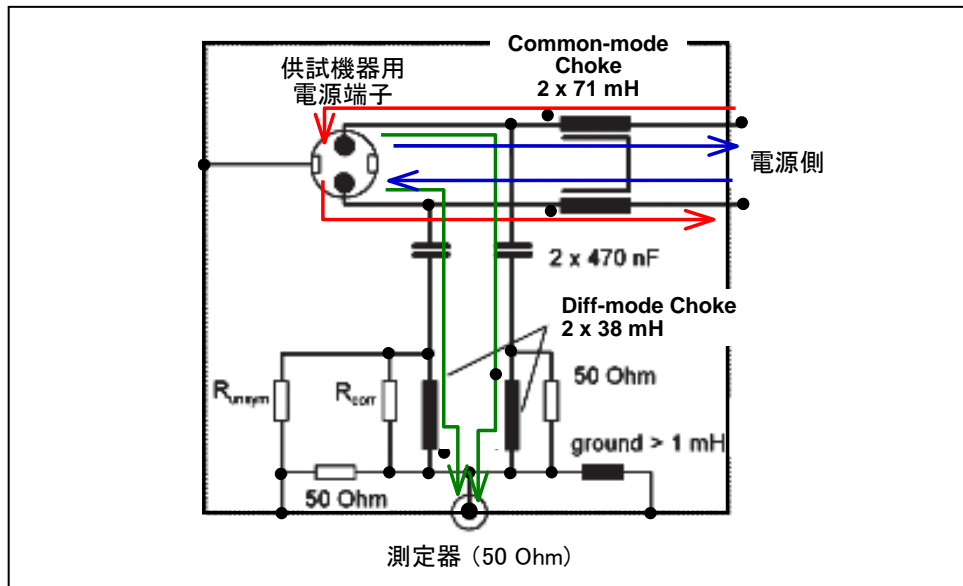


図 7-7 インピーダンス安定化回路 ISN (CISPR/I/DPAS-B 案)

### 7.3.3 妨害波電力の測定法 (30~300 MHz)

周波数 30 ~1000 MHz の妨害波については、通常、アンテナを用いて放射妨害波の電界強度を測定するが、次項で述べるように、広い測定場が必要なこと、また測定に時間を要することなどのために、家庭用電気機器の妨害波測定では、以下に説明する吸収クランプを用いた妨害波電力の測定を行う。

すなわち、300MHz 帯までの周波数帯においては、供試機器から発生する放射妨害波は、基本的に電源線をアンテナとして放射される。従って、電源線に重畳する妨害波電流の最大値を求め、この測定値から放射電力を等価的に求める測定法である。

具体的には、図 7-8 に示す吸収クランプを用いて、電源線に重畳する妨害波電流の最大値を測定する。吸収クランプは、挿入損失 30~40 dB のフェライトコアと、これと一体になった電流プローブから構成されており、モノポールアンテナ系を用いて予め校正しておき、アンテナに加えられる高周波電力と、モノポール上の最大電流値の関係 (校正値) を求めておく。

実際の妨害波電力の測定においては、図 7-8 に示すように、供試機器を金属大地面から 80 cm の高さに設置して、電源線を水平に伸ばし、これに吸収クランプを装着する。吸収クランプを電源線に沿って半波長程度掃引して、最大電流値を測定し、この値に前述の校正値を補正することによって、供試機器の妨害波電力を求める。

PLC 機器から発生する周波数 30 ~300 MHz の妨害波の測定に、本測定法を適用することは可能である。しかし、PLC 機器と直接接続されるパソコンなどの IT 機器の妨害波測定は、次項の放射妨害波の測定が適用されており、本測定法が用いられていないことを考慮すると、PLC 機器に本測定法を適用することは、結果の整合性の観点から好ましくないと考えられる。

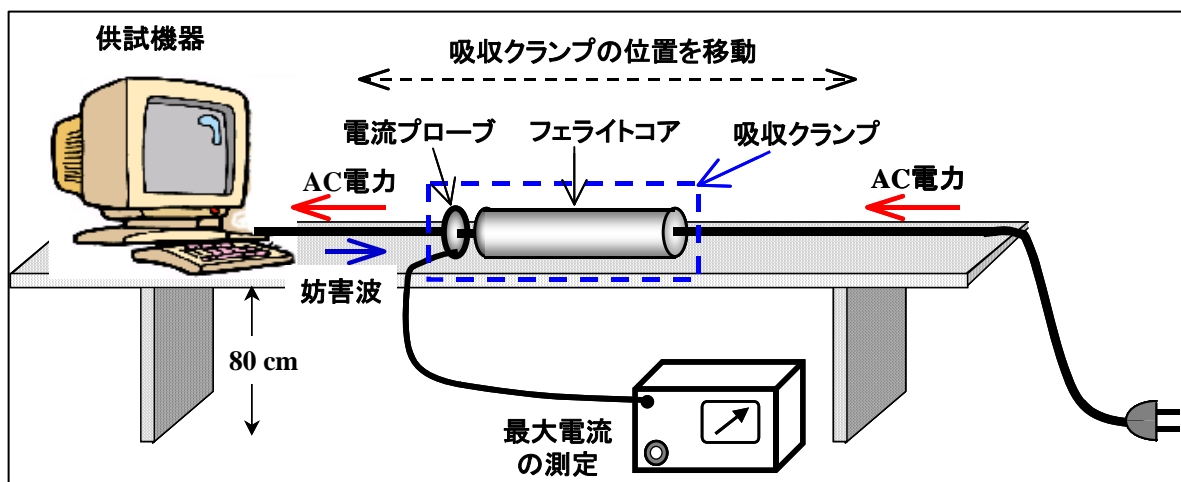


図 7-8 吸収クランプによる妨害波電力の測定法

### 7.3.4 放射妨害波の測定法 (30~1000 MHz)

パソコンなどの IT 機器のみならず様々な機器から発生する周波数 30 ~1000 MHz の妨害波は、図 7-9 に示すように、屋外または電波半無反射室内において、放射される妨害波の電界強度をアンテナを用いて測定する。

この測定法では、供試機器を金属大地面に置かれた高さ 80 cm の非金属回転台上に設置し、これより規定の距離 (3 m または 10 m) だけ離れた位置に直線偏波の測定用アンテナを設置する。供試機器を回転しながら、かつアンテナを高さ 1~4 m の範囲で昇降しながら、最大受信電圧を測定する。この受信電圧に、予め校正によって求めたアンテナの特性 (アンテナ係数) を補正することによって、妨害波の最大電界強度を求める。なお、測定は、水平及び垂直偏波について行う。

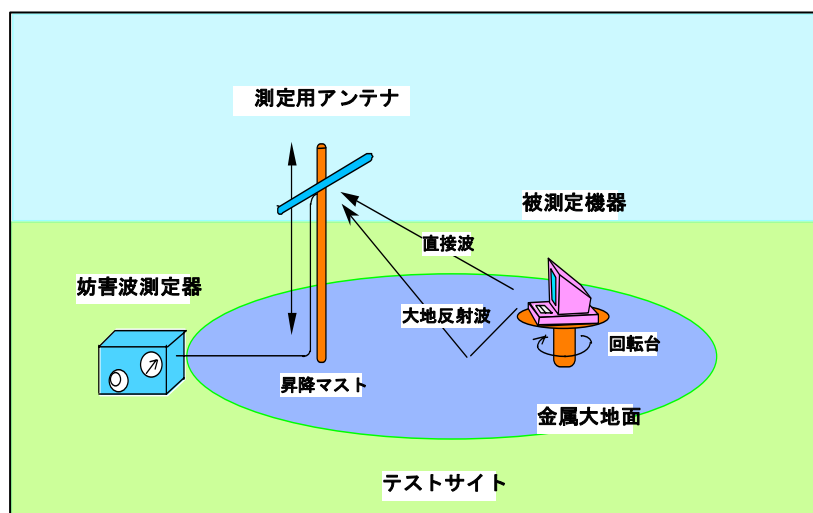


図 7-9 放射妨害波の測定法

## 8 許容値及び測定法

PLC 機器から発生する不要電磁波の許容値及び測定法を検討するために、前節までの各節において、妨害される無線局の受信レベル、PLC 信号波の伝搬と妨害波の発生メカニズム、実際の屋内配線の特性、さらに妨害波の電波伝搬特性などを理論的および実験的に検討した。また、諸外国の関連基準や一般的な妨害波測定法の現状を調査した。本節では、これらの調査検討結果に基づいて、PLC 機器に関する不要電磁波放射の許容値および機器の基準認証に関わる測定法を検討する。

### 8.1 PLC 機器の妨害波の許容値（信号周波数帯）

#### 8.1.1 屋内配線モデル

家屋の構造は千差万別であり、その電源線の配線も非常に複雑で、接続されている負荷も様々である。しかしながら、以下のことが前節までの検討で判った。

**5.1 節** 配電系の水平分岐や垂直分岐、さらに負荷スイッチが周囲の電磁界に及ぼす影響について理論的・実験的検討を行った結果、線路の平衡度を左右するような負荷が接続されていなければ、分岐やスイッチの影響は余り無い。

**4 節** PLC 信号波は、電源線の平行 2 線を互いに逆相（ディファレンシャルモード）で流れる電流によって伝搬するが、妨害波を発生するのは、同相で流れるコモンモードの電流である。このコモンモードの電流は、線路の平衡度(LCL)の値から推定できる。

なお **5.1 節**によれば、平衡度に著しく影響する負荷が接続されている配電系の分岐やスイッチ動作は、周囲の電磁界に影響するが、この影響は線路の平衡度（LCL）の値から推測できる。

**5.5 節** 配電線の伝送特性の実測結果より、同一家屋内の電源線を伝搬する PLC 信号波は、同相同一回路のコンセント間で、10 dB～ 20 dB 程度減衰することが判った。また、同相・異相問わず、分電盤で分岐される別回路間の伝送特性は 20 dB～80 dB の減衰であった。

これらの結果から、PLC 機器の妨害波の許容値算出に当たっては、図 8.1 に示す 2 階建ての家屋を想定し、各階に長さ 20 m の直線状の水平配線を仮定する。また、これら 2 層の水平配線に電力供給するために、長さ 5.6 m 弱の電源線を垂直に配置する。但し、**4 節**の結果に従って、PLC 信号波のコモンモード電流のみに着目し、平行 2 線の電源線の代わりに単一の導線を設置する。また、屋内配線の伝送特性に関する実測結果（**5.5 節**）より、2 層の水平配線および垂直配線は互いに独立と仮定し、各配線を中心に 1 個の PLC 機器（信号源）を配置する。

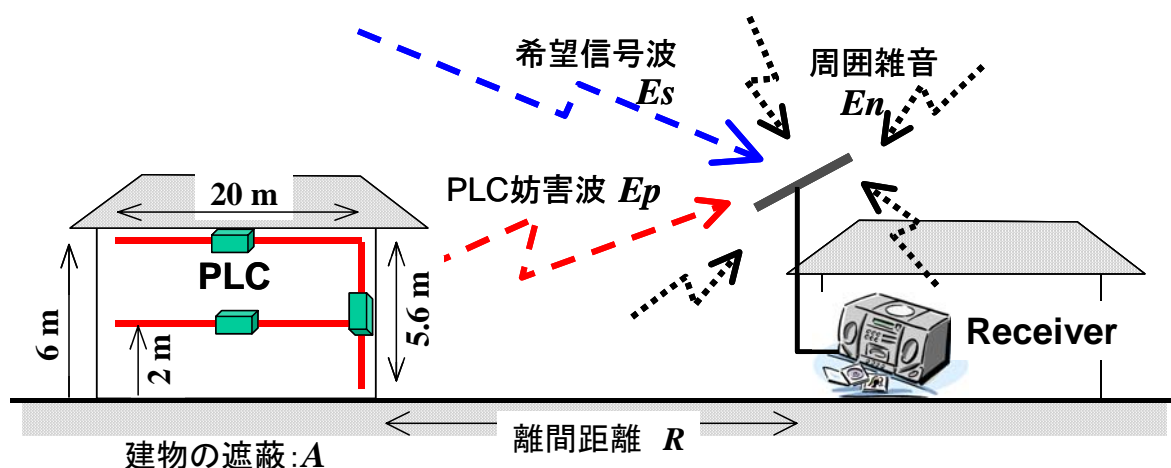


図 8.1 許容値算出のための屋内配線モデル

### 8.1.2 屋内配線から放射される電磁波の距離特性

本節では、5.2 節の数値計算結果を用いて、図 8.1 のモデル家屋に設置された水平および垂直の電源線から放射される電磁波の電界強度を推定する。すなわち、各電源線の中心に信号を加えた場合、壁面等の影響が無ければ、電界強度は表 5.1 および表 5.2 の値になるが、これを表 8.1 および 8.2 に再掲する。なお、各電源線を通るコモンモード電流の振幅は線上の場所によって異なるが、その最大値を  $I_{com(max)}=1\text{ mA}$  に固定して計算している。また、表 8.1 には、図 8.1 のモデル家屋の配線を想定して、独立な 2 本の水平電源線から放射される電磁波の合成電界強度も示した。

表 8.1 長さ 20m の水平配線より放射される電磁波の電界強度 ( $I_{com(max)}=1\text{mA}$ )

水平距離 D	10 m	30 m	50 m	100 m	1000 m
水平配線 1 本	72dB $\mu$ V/m	51dB $\mu$ V/m	41dB $\mu$ V/m	30dB $\mu$ V/m	-10dB $\mu$ V/m
水平配線 2 本	75dB $\mu$ V/m	54dB $\mu$ V/m	44dB $\mu$ V/m	33dB $\mu$ V/m	-7dB $\mu$ V/m

表 8.2 長さ 5.6m の垂直配線より放射される電磁波の電界強度 ( $I_{com(max)}=1\text{mA}$ )

水平距離 D	10 m	30 m	50 m	100 m	1000 m
2 - 10 MHz	64 dB $\mu$ V/m	54 dB $\mu$ V/m	49 dB $\mu$ V/m	42 dB $\mu$ V/m	15 dB $\mu$ V/m
10 - 30 MHz	70 dB $\mu$ V/m	61 dB $\mu$ V/m	56 dB $\mu$ V/m	48 dB $\mu$ V/m	16 dB $\mu$ V/m

これらの表より、図 8.1 のモデル家屋の水平・垂直配線から放射される電磁波の合成電界強度は、表 8.3 の値になる。但し、水平配線と垂直配線の電磁波は偏波が異なるため、表 8.1 (水平配線 2 本) の値と表 8.2 の値を電力加算して求めた。また、各配線に接続されている PLC 機器から発生するコモンモード電流の最大値は  $I_{com(max)}=1\text{ mA}$  である。

表 8.3 モデル家屋から放射される電磁波の電界強度 ( $I_{com(max)}=1\text{mA}$ )

水平距離 D	10 m	30 m	50 m	100 m	1000 m
2 - 10 MHz	75 dB $\mu$ V/m	57 dB $\mu$ V/m	50 dB $\mu$ V/m	43 dB $\mu$ V/m	15 dB $\mu$ V/m
10 - 30 MHz	76 dB $\mu$ V/m	62 dB $\mu$ V/m	56 dB $\mu$ V/m	48 dB $\mu$ V/m	16 dB $\mu$ V/m

### 8.1.3 PLC 機器に適用すべき許容値

PLC 機器に適用すべき許容値は、機器から放射される妨害波を一定レベル以下に制限し、かつ測定可能な物理量でなければならない。4 節によれば、PLC 機器からの妨害波は、主として電源線を伝わるコモンモード電流によって発生する。従って、PLC 機器の妨害波を制限するには、屋内の電源線を通る PLC 信号電流のコモンモード成分を制限しなければならない。このため以下では、前節までの調査検討結果に基づいて、屋内配線を通る PLC 信号電流のコモンモード成分の許容値を算出する。

#### (1) PLC 妨害波の許容レベル： $E_p$

3 節において、周波数 2~30 MHz 帯を使用する無線局について、各無線局の感度から信号波強度を推定し、周囲雑音レベルと比較した。その結果、周囲雑音の強度は、無線局の感度レベルと同程度か、それよりも高く、多くの無線局では周囲雑音によって受信性能が制限されていることが判った。このため、PLC 機器の妨害波も、このレベル以下に抑制することが望ましい。従って、表 8.4 に示すように、PLC 妨害波の許容レベルは、式(3.5)、(3.6)に基づいて算出した周囲雑音強度の代表値に等しいとする。

なお、表の周囲雑音レベルは 1970 年代に測定されたもので、現在は表の値より相当上昇している

ことが予想される（研究会資料 2-3）。

表 8.4 PLC 妨害波の許容レベル  $E_p$  (10 kHz 帯域幅：実効値)

	田園環境	商業環境
2 - 10 MHz	6 dB $\mu$ V/m	16 dB $\mu$ V/m
10 - 30 MHz	3 dB $\mu$ V/m	12 dB $\mu$ V/m

(2) 離隔距離： $R$

PLC 機器を設置した構造物と無線局の空中線間の距離は、環境によって異なるが、PLC 機器に適用する許容値を算出する際の離隔距離（保護距離）は、

田園環境において 30m  
商業環境において 10 m

とする。

(3) 離隔距離と 10m 点の電磁波減衰特性： $L$

PLC 妨害波の離隔距離（30m 点）における強度と 10m 点における強度比は、前項の表 8.3 より、

2 - 10 MHz： 18dB  
10 - 30 MHz： 14 dB

と見なせる。

(4) 建造物による電磁波の遮蔽効果  $A$

ビルや木造家屋の壁面・屋根等による電磁波の遮蔽効果については、建造物のモデルを仮定して計算機シミュレーションを行った結果が 5.4 節に示されている。このモデル建造物の構造は極めて単純で、実際の建造物と大きく異なるが、既に報告されている実測結果ともある程度一致するので、本節ではこのシミュレーション結果を利用する。遮蔽効果は、周波数によって変化するが、その代表値を表 8.5 に示す。なお、実際の建造物では、間仕切り構造材や、什器・設備類が置かれているため、建物外壁に隣接した電源線以外の線路からの放射に対する遮蔽効果は、この表より大きい値であると思われる。

表 8.5 建造物の壁面等による電磁波の遮蔽効果： $A$ （代表値）

	木造家屋	鉄筋コンクリート建物
2 - 10 MHz	17 dB	27 dB
10 - 30 MHz	10 dB	27 dB

(5) 10m 点の妨害波レベルとコモンモード電流の比： $Z$

屋内配線に流れる PLC 信号電流のコモンモード成分によって妨害波が発生するが、前項の表 8.3 に示した電界強度は、コモンモード電流の最大値を  $I_{com}(max)=1$  mA (=60dB $\mu$ A) に固定した時の値である。従って、10m 点の妨害波レベルとコモンモード電流の比  $Z$  ( $=E(10m)/I_{com}$ ) は、表 8.3 より、

2 - 10 MHz： $Z = 15$  dB $\Omega$ /m  
10 - 30 MHz： $Z = 16$  dB $\Omega$ /m

となる。

(6) 実効値、準尖頭値、平均値間の比

表 8.4 の元になった周囲雑音レベルは実効値振幅(RMS 値)である。しかし、一般に妨害波測定では、

準尖頭値 (QP 値) および平均値 (Av 値) を用いる。ガウス雑音に関する QP 値対実効値の比は 7.2dB、QP 値対 Av 値の比は 5.3dB であるが、通常の妨害波はガウス雑音よりパルス的であるため、

$$\text{QP 値} : \text{実効値} = 10\text{dB}$$

を使用している。また、狭帯域妨害波と広帯域妨害波を区別するために、通常

$$\text{QP 値} : \text{Av 値} = \text{約 } 10\text{dB}$$

を用いている。

(7) PLC 信号波のコモンモード電流の許容レベル

前項までの検討結果から、屋内配線系に流れる PLC 信号波のコモンモード電流に関する許容レベル (準尖頭値) は次式で求められる。

$$I_{\text{com}}(\text{max}) = Ep + L + A - Z + K \quad [\text{dB}(\mu\text{A})]$$

この式を用いて算出した値を表 8.6 に示す。

表 8.6 PLC 信号波のコモンモード電流の許容レベルの算出

	周波数帯	無線局空中線が受信する PLC 妨害波 $Ep$ (dB $\mu$ V/m)	離間距離 $R$ (m)	離間距離と 10m 間の減衰 $L$ (dB)	壁面等の遮蔽 $A$ (dB)	10m 点の PLC 妨害波 $Ep$ (10m) (dB $\mu$ V/m)
田園環境	2-10MHz	6	30	18	17	41
	10-30MHz	3	30	14	10	27
商業環境	2-10MHz	16	10	0	27	43
	10-30MHz	12	10	0	27	39

	周波数帯	10m 点の PLC 妨害波 $Ep$ (10m) (dB $\mu$ V/m)	10m 点の妨害波とコモンモード電流の比 $Z$ (dB $\Omega$ /m)	QP/RMS 換算値 $K$ (dB)	PLC コモンモード電流 $I_{\text{com}}$ (dB $\mu$ A)	
					準尖頭値	平均値
田園環境	2-10MHz	41	15	10	36.0	26.0
	10-30MHz	27	16	10	21.0	11.0
商業環境	2-10MHz	43	15	10	38.0	28.0
	10-30MHz	39	16	10	33.0	23.0
平均値					32.0	22.0

上表に示した「10m 点の PLC 妨害波のレベル」は、遮蔽物のない場所の配電線に PLC を設置したときの値である。従って、通常の屋内設置の PLC では、遮蔽により 10~20dB 以上低い値になる。

表 8.6 に示した PLC コモンモード電流の許容レベル (準尖頭値) は、平均として 32 dB $\mu$ A であり、この値は、IT 装置の妨害波に関する国際規格 CISPR 22 (2005-04) に記載されているクラス B 機器の通信ポートに関する電流許容値 30 dB $\mu$ A にほぼ等しい。

従って、屋内配線系に使用する PLC 機器の妨害波についても、屋内配電線を通る PLC 信号電流のコモンモード成分を、準尖頭値 30 dB $\mu$ A、平均値 20 dB $\mu$ A 以下に制限することが適当と考えられる。

上記の制限値は、PLC 機器が一般に接続される IT 機器の妨害波許容値に等しいため、許容値について IT 機器と PLC 機器の整合性を確保でき、一貫した妨害波抑止対策を取れることになる。

なお、上記の制限値を適用すると、田園環境における周波数 10~30 MHz の PLC 妨害波に対する規制がやや緩いが、周囲雑音のレベルは 1970 年代より相当増大していることが予想され、また短波

帯において、受信機感度レベルではフェージングの影響も大きいため、この制限値を採用しても問題ないと思われる。さらに、PLC 妨害波が周囲雑音レベルになる状況は、次項で述べる LCL の変動確率を考慮すれば、極めて希であることが予想される。

## 8.2 PLC 機器の妨害波の許容値（信号周波数帯以外）

信号周波数（2～30MHz）以外の妨害波については、CISPR 22 の妨害波許容値を適用する。

## 8.3 PLC 機器の妨害波に関する測定法

本節では、個々の PLC 機器の基準認証試験において、前項(7)で求めた「PLC 信号波のコモンモード電流の許容レベル」を満足することを確認できる測定法を検討する。

### 8.3.1 信号周波数帯の妨害波測定法

既に 7 節で現在使用されている様々な妨害波測定法を調査検討したが、PLC 機器から電源線に供給される信号周波数のコモンモード電流の測定には、図 8.2 のようにインピーダンス安定化回路網 (ISN) を用いた測定が最も適していると考えられる。ここで ISN は、実際の屋内配線の線路状態や電気的特性を模擬する回路で、本測定法における最も重要な装置である。以下で、その仕様を検討する。

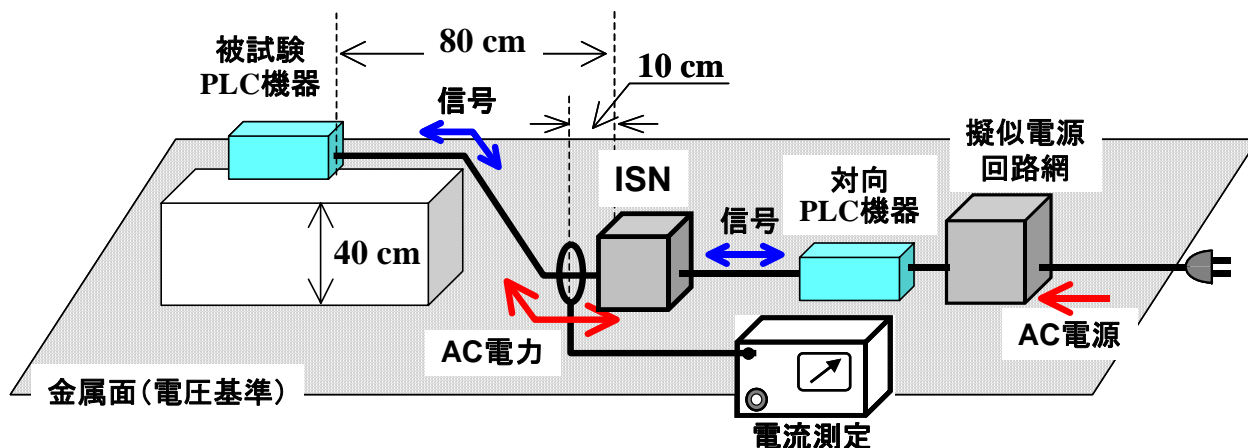


図 8.2 PLC 機器の妨害波測定（信号周波数帯）の例

#### (1) ISN のコモンモード・インピーダンス $Z_{CM}$

屋内配線のコモンモード・インピーダンスに関しては、極めて多数の実測例があり、その結果は 4 節の図 4-7 に統計的に表示されている。この図より、実際の屋内配線のコモンモード・インピーダンスは、 $240 \Omega$  を中央値として、数  $10 \Omega$  ～ 数  $1000 \Omega$  に広く分布していることが判る。しかし図 4-10 から、PLC 妨害波の発生源である信号周波数のコモンモード電流は、 $Z_{CM}$  の大きさに殆ど依存しないことが判る。従って本測定法では、他の電源線伝導妨害波測定に合わせて、インピーダンス安定化回路網 (ISN) のコモンモード・インピーダンスを  $Z_{CM} = 25 \Omega$  とする。

#### (2) ISN のディファレンシャルモード・インピーダンス $Z_{DM}$

屋内配線のディファレンシャルモードインピーダンスの実測値は、4 節の図 4-8 に表示されている。それによれば、中央値は  $83 \Omega$  で、 $10 \sim 1000 \Omega$  に分布していることが判る。この  $Z_{DM}$  は、PLC 機器から配線系に送出される信号波のレベルを決定する極めて重要なパラメータで、これによって PLC 通信の信号伝送性能が変化し、コモンモード電流も左右される。このため、PLC の妨害波測定時にも所期の通信性能を確保するために、インピーダンス安定化回路網 (ISN) のディファレンシャルモード・インピーダンス  $Z_{DM}$  を特に定めず、対向 PLC 機器の入力インピーダンスとする。

#### (3) ISN の LCL（横電圧変換損）

4 節から判るように、LCL は線路の平衡度を表すパラメータであり、線路から放射される妨害波のレベルに直接的に影響する極めて重要な特性である。図 4-11 によれば、PLC の妨害波電流（コモンモード電流）は LCL に反比例して変化する。一方、図 4-6 の実測結果によれば、屋内配線の LCL は、約 36 dB を中心として 10 dB～70 dB まで、極めて広く分布していることが判る。

PLC 機器の認証試験の測定に使用するインピーダンス安定化回路網（ISN）は、実際の屋内配線の特性を模擬するものである。例えば、ISN の LCL を高く設定すれば、屋内配線の平衡度が良く、妨害波レベルが低い家屋を模擬することになり、逆に LCL を低く設定すれば、平衡度が悪く、妨害波レベルが高い家屋を模擬することになる。このため、平衡度が悪い家屋からの妨害波によって生じる無線局の受信障害等を極力低減するために、99%の家屋においてコモンモード電流が前項の許容値以下であるように LCL を設定する。すなわち、配線系の様々な状態のうち 99%を超える LCL 値は、図 4-6 によれば 16 dB である。従って、測定に使用する ISN の LCL を 16 dB とする。

### 8.3.2 各周波数帯の妨害波測定法

- (1) 150 kHz～500 kHz： PLC 機能 OFF 状態で、従来の妨害波測定法を適用する。
- (2) 500 kHz～30 MHz： PLC 機能 OFF 状態で、従来の妨害波測定法を適用する。また、PLC 機能 ON 状態では、ISN を用いて妨害波測定を行う。
- (3) 30 MHz～1000 MHz： PLC 機能 OFF および ON の状態で従来の放射妨害波測定を実施する。