

高速電力線搬送通信設備に係る許容値及び測定法については、次のとおりとすることが適当である。

1 対象設備

本許容値及び測定法は、次の条件を満足する高速電力線搬送通信（以下「電力線搬送通信」を「PLC」という。）設備に適用する。

- (1) 定格電圧 100V 又は 200V 及び定格周波数 50Hz 又は 60Hz の単相交流を通じる電力線を信号伝送用に用いる高速 PLC 設備で、屋内でのみ使用するもの。なお、受信のみを目的とするものを除く。
- (2) 搬送波の周波数が、2MHz から 30MHz までの範囲にあること。

なお、本答申において、特に信号を送信し及び受信する伝送装置のみを指す場合には「PLC 装置」とし、一般に PLC 装置と電力線を含めた広い概念のものを指す場合には「PLC 設備」としている。

2 許容値

高速 PLC 装置の電磁妨害波に適用する許容値を表 1 に示す。

表 1 高速 PLC 装置の電磁妨害波に関する許容値

	測定点	通信状態	非通信状態
伝導妨害波	電源端子	0.15 MHz～0.5 MHz <QP> 36～26 dB μ A ^(注1) <Av> 26～16 dB μ A ^(注1) ISN1 を使用	0.15 MHz～0.5 MHz <QP> 66～56 dB μ V ^(注1) <Av> 56～46 dB μ V ^(注1) AMN を使用
		0.5 MHz～2 MHz <QP> 26 dB μ A <Av> 16 dB μ A ISN1 を使用	0.5 MHz～5 MHz <QP> 56 dB μ V <Av> 46 dB μ V AMN を使用
		2 MHz～15 MHz <QP> 30 dB μ A <Av> 20 dB μ A ISN1 を使用	5 MHz～15 MHz <QP> 60 dB μ V <Av> 50 dB μ V AMN を使用
		15 MHz～30 MHz <QP> 20 dB μ A <Av> 10 dB μ A ISN1 を使用	15 MHz～30 MHz <QP> 60 dB μ V <Av> 50 dB μ V AMN を使用

	通信端子 ^(注2)	0.15 MHz～0.5 MHz <QP> 40～30 dB μ A ^(注1) <Av> 30～20 dB μ A ^(注1) ISN2 を使用	
		0.5 MHz～30 MHz <QP> 30 dB μ A <Av> 20 dB μ A ISN2 を使用	
放射妨害波	距離 10m	30 MHz～230 MHz <QP> 30 dB μ V/m	
		230 MHz～1000 MHz <QP> 37 dB μ V/m	
<QP>及び<Av>は、それぞれ準尖頭値及び平均値を表す。 ISN1 及び ISN2 は、それぞれ電源端子用及び通信端子用のインピーダンス安定化回路網を表す。 AMN は、擬似電源回路網を表す。 周波数範囲の境界においては、低い方の許容値を適用する。 (注1) 許容値は、周波数の対数に対して直線的に減少するものとする。 (注2) 当分の間、通信端子に関する許容値の適用を延期する。			

3 測定設備

高速 PLC 装置の電磁妨害波の測定に使用する設備は、以下のとおりとする。

3.1 測定用受信機

準尖頭値測定用受信機は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申（「諮問第 3 号『国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について』のうち『無線妨害波及びイミュニティ測定装置の技術的条件』の一部答申」をいう。以下同じ。）の 2「周波数 9kHz から 1000MHz までの準尖頭値測定用受信機」に規定された特性を満足すること。

平均値測定用受信機は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 4「周波数 9kHz から 1000MHz までの平均値測定用受信機」に規定された特性を満足すること。

3.2 伝導妨害波測定設備

3.2.1 擬似電源回路網

擬似電源回路網(AMN)は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 11.3「50 Ω /50 μ H V 型擬似電源回路網(150kHz から 30MHz まで)」に規定された特性を満足すること。

3.2.2 インピーダンス安定化回路網

(a) 電源端子用インピーダンス安定化回路網 (ISN1)

電源端子用インピーダンス安定化回路網 (ISN1) は、以下の特性を満足すること。

- ① 被測定高速 PLC 装置を接続するための供試機器端子、AC 電源端子及び接地端子を備えていること。

- ② 供試機器端子から見たコモンモードインピーダンスは、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $25\Omega \pm 3\Omega$ 、位相角 $0^\circ \pm 20^\circ$ であること。
- ③ 供試機器端子から見たディファレンシャルモードインピーダンスは、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $100\Omega \pm 10\Omega$ 、位相角 $0^\circ \pm 25^\circ$ であること。
- ③ 供試機器端子から見た LCL は、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $16\text{dB} \pm 3\text{dB}$ であること。
(注) LCL の定義は、ITU-T 勧告 G.117 (1996) を参照。
- ④ AC 電源端子に接続された対向高速 PLC 装置（補助装置）から発生する信号波（ディファレンシャルモード）がコモンモードに変換されて測定結果に現れることを防ぐために、補助装置からの信号波を 20dB 以上減衰すること。
- ⑤ 補助装置から発生するコモンモード電流が供試機器端子に現れる割合は、150kHz～30MHz の範囲において、 -35dB 以下であること。

(b) 通信端子用インピーダンス安定化回路網(ISN2)

通信端子用インピーダンス安定化回路網(ISN2)は、平成 11 年度電気通信技術審議会答申（「諮問第 3 号『国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について』のうち『情報技術端末からの妨害波の許容値と測定法』の一部答申」をいう。）の 9.5「通信ポートにおける伝導妨害波の測定法」に規定された特性を満足すること。

3.2.3 電流プローブ

電流プローブは、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 12.1「電流プローブ」に規定された特性を満足すること。

3.3 放射妨害波測定設備

3.3.1 測定場

周波数 30MHz～1000MHz の測定に使用する放射妨害波測定場は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 16「周波数 30MHz から 1000MHz までの無線周波妨害波測定用試験場」に規定された測定距離 10m に使用する測定場の特性を満足すること。

なお、野外測定場の代わりに電波無反射室（金属大地面付き）を利用する場合は、電波無反射室は平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 16 に規定された特性を満足すること。

3.3.2 測定用アンテナ

周波数 30MHz～1000MHz の測定に使用するアンテナは、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 15「無線周波放射妨害波測定用アンテナ」のうち、15.4「30MHz から 300MHz までの周波数帯」及び 15.5「300MHz から 1000MHz までの周波数帯」に規定された特性を満足すること。

4 測定法

高速 PLC 装置の電磁妨害波の測定法は、以下のとおりとする。

4.1 電源端子における伝導妨害波の測定(150kHz～30MHz)

被測定高速 PLC 装置の電源端子における伝導妨害波の測定は、当該設備の非通信状態及び通信状態において、それぞれ以下を行う。

なお、外来妨害波の影響を除去するために、測定は電磁遮へい室内で行い、電源供給は高域除去電源フィルタを介して行うこと。

4.1.1 非通信状態

測定には、図 1 のように、被測定高速 PLC 装置及び通信線を介して接続された通信用装置（例えば、ホストコンピュータ）を用いる。

なお、通信用装置から発生する電磁妨害波及び通信線から漏えいする妨害波が、測定結果に影響を及ぼさないこと。

- 1) 被測定高速 PLC 装置と通信用装置を、広さ 2m x 2m 以上の金属面上に置かれた高さ 40 cm の非導電性台の上に設置する。
- 2) 擬似電源回路網(AMN)を上記金属面上に設置し、金属面と電氣的に接続する。
- 3) 被測定高速 PLC 装置、AMN 及び通信用装置を、それぞれの機器に付属する電源線及び通信線を用いて接続する。

なお、電源線や通信線が被測定装置に付属していない場合は、通常使用する線路と同じ特性でかつ長さ 1m のものを用いる。

- 4) 被測定装置と AMN の距離は 80cm に固定し、余分な電源線は長さ 40cm の束にしてまとめる。
 - 5) AMN の電源端子を電源に接続して、被測定装置及び通信用装置を動作させる。
- なお、被測定装置は、非通信状態にする。
- 6) 測定用受信機を AMN の測定端子に接続し、妨害波電圧の準尖頭値(QP)及び平均値(Av)を測定する。

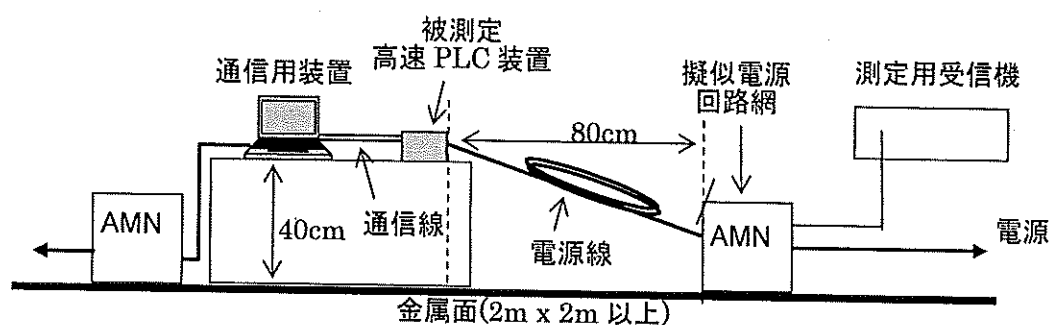


図 1 電源端子妨害波電圧の測定（非通信状態）

4.1.2 通信状態

測定には、図 2 のように、被測定高速 PLC 装置及び通信線を介して接続された通信用装置（例えば、ホストコンピュータ）、さらに被測定高速 PLC 装置と電源線を介して通信を行う対向高速 PLC 装置と対向通信用装置を用いる。

なお、通信用装置、対向高速 PLC 装置、対向通信用装置から発生する妨害波、さらに通信線から漏えいする妨害波が、測定結果に影響を及ぼさないこと。

- 1) 被測定高速 PLC 装置と通信用装置、さらに対向高速 PLC 装置と対向通信用装置を、広さ $2\text{m} \times 2\text{m}$ 以上の金属面上に置かれた高さ 40cm の非導電性台の上に設置する。
- 2) 電源端子用インピーダンス安定化回路網(ISN1)を上記金属面上に設置し、金属面と電氣的に接続する。

- 3) 被測定高速 PLC 装置、通信用装置、ISN1、対向高速 PLC 設備及び対向通信用装置を、それぞれの機器に付属する電源線又は通信線を用いて、図2のとおり接続する。

なお、電源線や通信線が被測定高速 PLC 装置に付属していない場合は、通常使用する線路と同じ特性でかつ長さ 1m のものを用いる。

- 4) 被測定高速 PLC 設備と ISN1 の距離は 80cm に固定し、余分な電源線は長さ 40cm の束にしてまとめる。

- 5) ISN1 及び AMN の電源端子を電源に接続して、被測定高速 PLC 装置及び対向高速 PLC 装置を介して、通信用装置と対向通信用装置間で通信を行う。

なお、測定時は、最大通信速度に設定する。

- 6) 図2のように、被測定高速 PLC 装置の電源線に電流プローブを設置して、ISN1 から 10cm 離れた位置における妨害波電流を測定用受信機で測定する。

なお、妨害波電流の準尖頭値(QP)及び平均値(Av)を測定する。

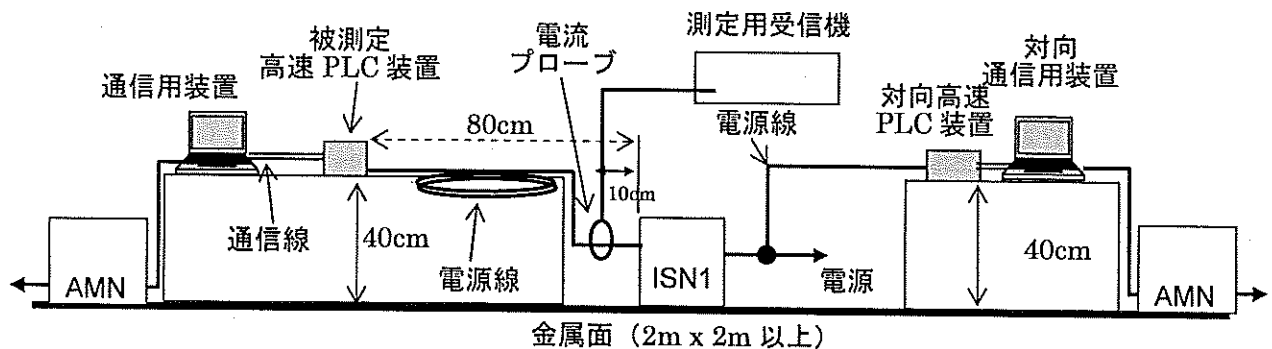


図2 電源端子妨害波電流の測定（通信状態）

4.2 通信端子における伝導妨害波の測定($150\text{kHz} \sim 30\text{MHz}$)

被測定高速 PLC 装置の通信端子における伝導妨害波の測定は、以下のように行う。

測定には、図3のように、被測定高速 PLC 装置及び通信線を介して接続された通信用装置（例えば、ホストコンピュータ）、さらにこれらと電源線を介して通信を行う対向高速 PLC 装置と対向通信用装置を用いる。

なお、外来妨害波の影響を除去するために、測定は電磁遮へい室内で行い、電源供給は高域除去電源フィルタを介して行うこと。また、通信用装置、対向高速 PLC 装置、対向通信用装置から発生する妨害波が測定結果に影響を及ぼさないこと。

- 1) 被測定高速 PLC 装置と通信用装置、さらに対向高速 PLC 装置と対向通信用装置を、広さ $2\text{m} \times 2\text{m}$ 以上の金属面上に置かれた高さ 40cm の非導電性台の上に設置する。

- 2) 通信端子用インピーダンス安定化回路網(ISN2)を上記金属面上に設置し、金属面と電氣的に接続する。

- 3) 被測定高速 PLC 装置、通信用装置、ISN2、対向高速 PLC 装置及び対向通信用装置を、それぞれの機器に付属する電源線又は通信線を用いて、図3のとおり接続する。
 なお、電源線や通信線が被測定高速 PLC 装置に付属していない場合は、通常使用するものを用いる。
- 4) 被測定高速 PLC 装置と ISN2 の距離は、80cm に固定する。
- 5) ISN2 及び AMN の電源端子を電源に接続して、被測定高速 PLC 装置及び対向高速 PLC 装置を介して、通信用装置と対向通信用装置間で通信を行う。
 なお、測定時は最大通信速度に設定する。
- 6) 図3のように、被測定 PLC 装置の通信線に電流プローブを設置して、ISN2 から 10cm 離れた位置における妨害波電流を測定用受信機で測定する。
 なお、妨害波電流の準尖頭値(QP)及び平均値(Av)を測定する。

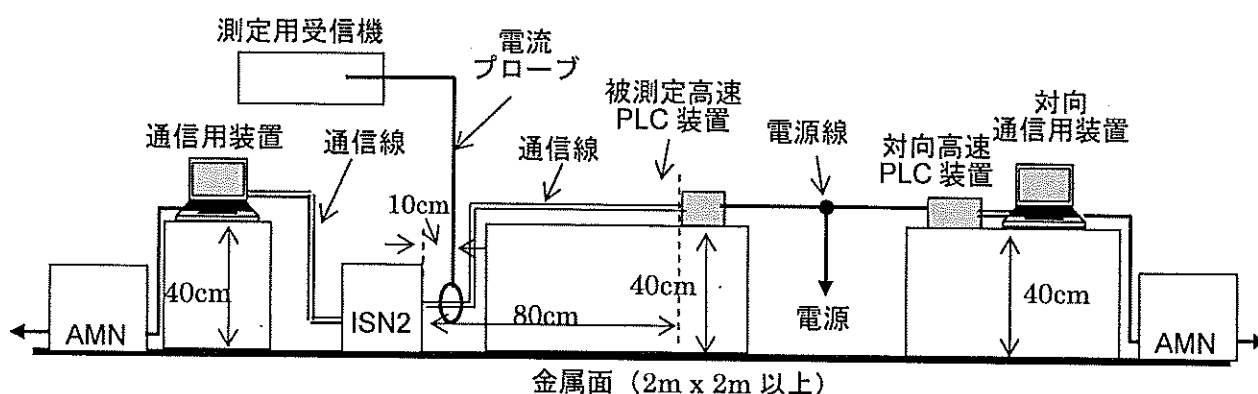


図3 通信端子妨害波電流の測定（通信状態）

4.3 放射妨害波の測定(30MHz～1000MHz)

被測定高速 PLC 装置の放射妨害波の測定は、図4に示すように、3.3.1の放射妨害波測定場において、高速 PLC 装置の通信状態において行う。測定には、被測定高速 PLC 装置及び通信線を介して接続された通信用装置（例えば、ホストコンピュータ）、これらと電源線を介して通信を行う対向高速 PLC 装置と対向通信用装置を用いる。さらに電源端子用インピーダンス安定化回路網（ISN1）を用いる。

なお、これらの装置類に対する電源供給は高域除去電源フィルタを介して行うこと。また、通信用装置、対向高速 PLC 装置、対向通信用装置から発生する妨害波が測定結果に影響を及ぼさないこと。

4.3.1 測定時の装置類の配置

- 1) 被測定高速 PLC 装置と通信用装置を高さ 80cm の非導電性回転台に設置する。さらに ISN1、対向高速 PLC 装置及び対向通信用装置は、金属大地面上又は金属大地面下（地下室）に設置する。
- 2) ISN1 を金属大地面と電氣的に接続する。

- 3) 被測定高速 PLC 装置、通信用装置、ISN1、対向高速 PLC 装置及び対向通信用装置を、それぞれの機器に付属する電源線又は通信線を用いて接続する。図5に回転台上の機器の具体的配置を示す。

なお、電源線や通信線が被測定高速 PLC 装置に付属していない場合は、通常使用するものを用いる。

- 4) ISN1 の電源端子を電源に接続して、被測定高速 PLC 装置及び対向高速 PLC 装置を介して、通信用装置と対向通信用装置間で通信を行う。

なお、測定時は最大通信速度に設定する。

4.3.2 周波数 30MHz～1000MHz の測定

- 1) 3.3.2 に示す電界測定用アンテナを、図4に示すように、回転台上の被測定高速 PLC 装置及び通信用装置から距離 10m 離して金属大地面上に設置する。
- 2) アンテナに測定用受信機を接続した後、回転台を回転しながら、アンテナの高さを金属大地面上 1m～4m の範囲で掃引しながら、最大受信レベルを測定する。
- 3) 上記の測定を水平偏波及び垂直偏波について行う。

4.3.3 その他の注意事項

野外の測定では、無線局等の到来電波や周囲雑音の混入が予想されるため、まず、被測定高速 PLC 装置への電源供給を停止し、かつ通信用装置、ISN1、対向高速 PLC 装置及び対向通信用装置への電源供給を行った状態で、測定周波数において周囲雑音レベルを測定し、許容値より 10dB 以上低いことを確認すること。

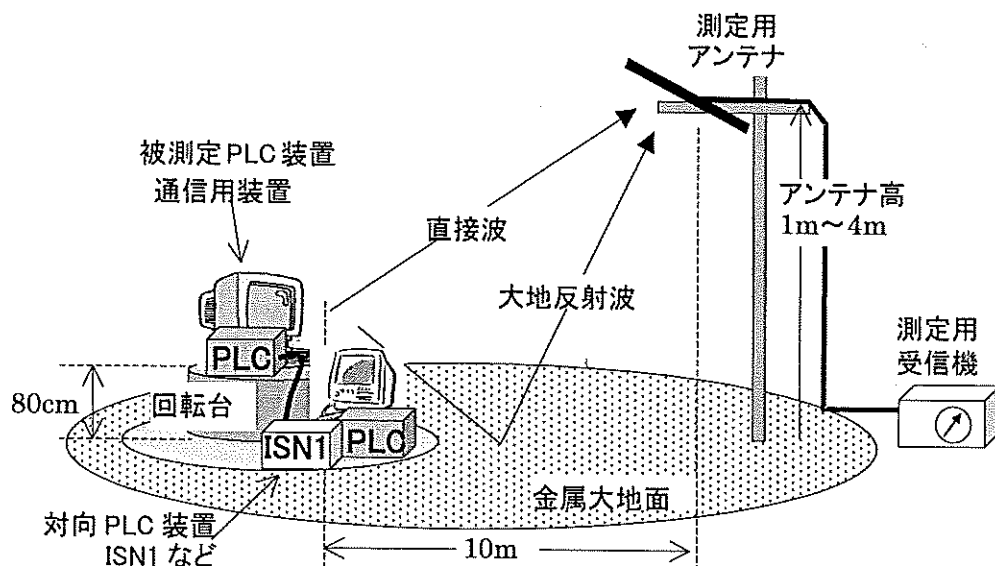


図4 放射妨害波の測定

(この例では、ISN1、対向高速 PLC 装置及び対向通信用装置を金属大地面上に設置)

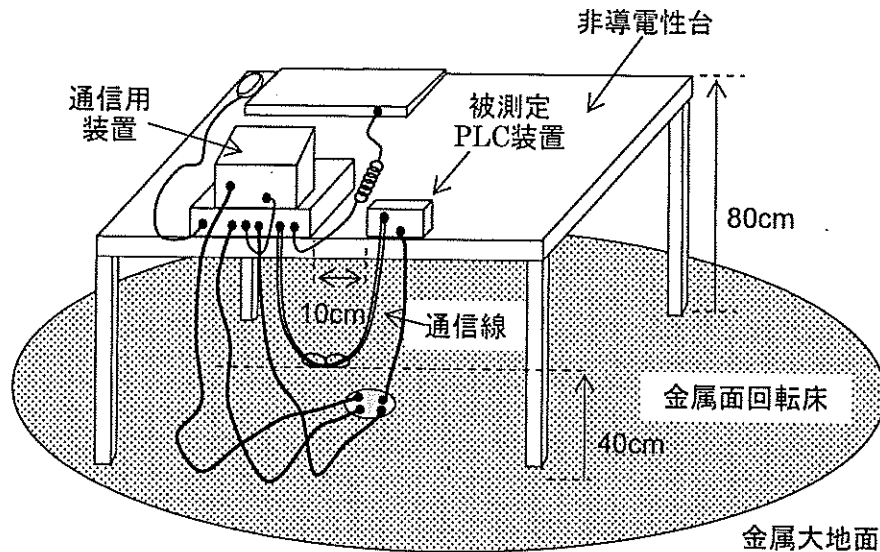


図5 被測定高速 PLC 装置等の配置

(この例では、ISN1、対向 PLC 装置及び対向通信用装置を金属大地面下に設置)

4.4 測定法全般に関わる事項

- (1) 被測定高速 PLC 装置及び対向高速 PLC 装置に複数の入出力端子がある場合は、使用しない端子を規定のインピーダンスで終端すること。
- (2) クランプ型の高速 PLC 装置については、その装置に付属する電源線にクランプして妨害波測定を行うこと。

5 その他

5.1 高速 PLC 装置の製造業者など関係者の努力

高速 PLC 装置の製造業者など関係者においては、高速 PLC 設備が広く一般世帯に普及することを考慮して、設備利用者が無線利用との共存について十分に理解できるように必要な情報を周知すること、また、利用者からの相談に応じられるように相談窓口を設けることが必要である。さらに、万一漏えい電波が無線利用に障害を及ぼした場合に備えて、PLC 信号の停止機能など、高速 PLC 装置に漏えい電波による障害を除去することができる機能を施すとともに、障害が発生した場合にその除去に積極的に協力することが必要である。

5.2 許容値・測定法の見直し

本答申は、無線利用の保護に最大限配慮し、技術的に詳細な検討を行って、高速 PLC 設備の許容値及び測定法を検討したものであるが、今後、高速 PLC 設備が実用に供された段階で無線利用との共存状況について把握し、必要に応じて許容値及び測定法を見直すことが重要である。

また、高速 PLC 設備の漏えい電波に関して、無線通信規則や CISPR 規格が策定された場合は、必要に応じて許容値及び測定法を見直すことが重要である。

6. 放射妨害波の許容値

第10項に記述される方法に従って測定距離Rで測定した場合、供試装置（EUT）は表5又は表6の許容値を満たさなければならない。測定用受信機の指示値が許容値に近いところで変動する場合、それぞれの測定周波数について、少なくとも15秒間指示値を観察しなければならない。瞬時の孤立した高い値は無視し、それ以外の最も高い指示値を記録すること。

表5－測定距離10mでのクラスA情報技術装置の放射妨害波の許容値

周波数範囲 MHz	準尖頭値許容値 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)
30～230	40
230～1000	47
1) 周波数の境界では低い方の許容値を適用する。	
2) 妨害が発生した場合は、追加の保護手段が要求されることがある。	

表6－測定距離10mでのクラスB情報技術装置の放射妨害波の許容値

周波数範囲 MHz	準尖頭値許容値 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)
30～230	30
230～1000	37
注1) 周波数の境界では低い方の許容値を適用する。	
2) 妨害が発生した場合は、追加の保護手段が要求されることがある。	

7. CISPR無線妨害波許容値の解釈

7.1 CISPR許容値の意義

7.1.1

CISPR許容値は、国内規格、関連する法規及び公的規定に取り込むように各国の主管庁に勧告している許容値である。国際機関にもこれらの許容値を使用するよう勧告している。

7.1.2

装置に対する許容値の意義は、統計的に、量産品の少なくとも80%が、少なくとも80%の信頼度で許容値に適合していることである。

7.2 量産装置の適合試験での許容値の適用

7.2.1

試験は、次のいずれかに対して行うこと。

ついて、少なくとも15秒間指示値を観察しなければならない。瞬時の孤立した高い値は無視し、それ以外の最も高い指示値を記録すること。

5. 1 電源ポートの伝導妨害波電圧の許容値

表1 クラスA情報技術装置の電源ポート伝導妨害波電圧の許容値

周波数範囲 MHz	許容値 dB (μ V)	
	準尖頭値	平均値
0.15~0.50	79	66
0.50~30	73	60

注) 周波数の境界では低い方の許容値を適用する。

表2 クラスB情報技術装置の電源ポート伝導妨害波電圧の許容値

周波数範囲 MHz	許容値 dB (μ V)	
	準尖頭値	平均値
0.15~0.50	66~56	56~46
0.50~5	56	46
5~30	60	50

注1) 周波数の境界では低い方の許容値を適用する。
 2) 0.15MHz~0.50MHzの範囲での許容値は周波数の対数値に対して直線的に減少する

5. 2 通信ポートの伝導コモンモード妨害波の許容値 1)

表3 クラスA装置の周波数範囲0.15MHz～30MHzにおける通信ポートの伝導コモンモード（非対称モード）妨害波許容値

周波数範囲 (MHz)	電圧許容値 dB(μ V)		電流許容値 dB(μ A)	
	準尖頭値	平均値	準尖頭値	平均値
0.15～0.5	97～87	84～74	53～43	40～30
0.5～30	87	74	43	30

注1：許容値は、0.15～0.5MHzの範囲で周波数の対数に対して直線的に減少する

注2：電流および電圧妨害許容値は、供試通信ポートに150 Ω のコモンモード・インピーダンスを与える擬似通信回路網（ISN）を使用することで得られる。

（変換係数は $20 \log_{10} 150/I = 44$ dB）

訳注：変換係数とは、電流許容値を電圧許容値に変換する際の係数で、 $20 \log_{10}$ （電圧許容値／電流許容値）で定義される。これは通信ポートのコモンモード・インピーダンスを150 Ω としていることから、 $20 \log_{10} 150 = 44$ (dB) で与えられる。

表4 クラスB装置の周波数範囲0.15MHz～30MHzにおける通信ポートの伝導コモンモード（非対称モード）妨害波許容値

周波数範囲 (MHz)	電圧許容値 dB(μ V)		電流許容値 dB(μ A)	
	準尖頭値	平均値	準尖頭値	平均値
0.15～0.5	84～74	74～64	40～30	30～20
0.5～30	74	64	30	20

注1：許容値は、0.15～0.5MHzの範囲で周波数の対数に対して直線的に減少する

注2：電流および電圧妨害許容値は、供試通信ポートに150 Ω のコモンモード・インピーダンスを与える擬似通信回路網（ISN）を使用することで得られる。

（変換係数は $20 \log_{10} 150/I = 44$ dB）

注3：暫定的に、周波数範囲6～30MHzの周波帯で強いスペクトル密度を有する高速サービスにおいては10dBの緩和が許容される。ただし、この緩和は、ケーブルにより希望信号から変換されたコモンモード妨害波に限られる。

訳注：変換係数とは、電流許容値を電圧許容値に変換する際の係数で、 $20 \log_{10}$ （電圧許容値／電流許容値）で定義される。これは通信ポートのコモンモード・インピーダンスを150 Ω としていることから、 $20 \log_{10} 150 = 44$ (dB) で与えられる。

1) 3. 6 項参照

第8章 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、前章までの各章において、妨害される無線局等の受信点における信号波レベル、PLC 信号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 機器に関する妨害波の許容値及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

建築物の構造は千差万別であり、その電力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、以下のことが前章までの検討でわかった。

5.1 節 配電系の線路から放射される電磁界について、線路の水平分岐や垂直分岐、さらに負荷スイッチの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あまりない。

4 章 PLC 信号は、電力線の平行 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、同一建築物内の電力線を伝搬する PLC 信号波は、同相同一回路のコンセント間で、10dB~20dB 程度減衰することがわかった。また、同相・異相を問わず、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 20m 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 5.6m 程度の電力線を垂直に配置する。ただし、4 章の結果に従って、PLC 信号電流のコモンモード成分のみに着目し、平行 2 線の電力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、各配線の中心に 1 個の PLC 機器 (信号源) を配置する。

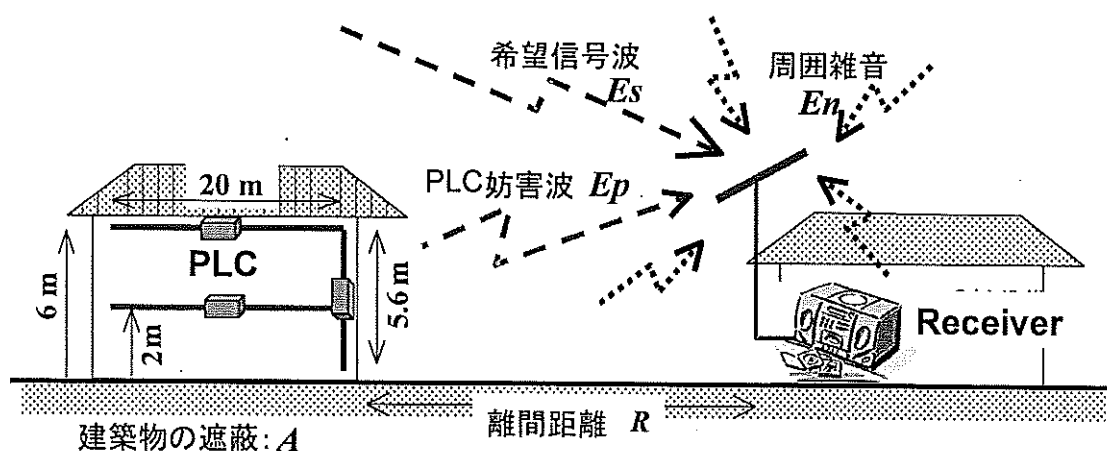


図 8.1 許容値算出のための屋内配線モデル

8.1.2 屋内配線から放射される電磁波の距離特性

本項では、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及び垂直の電力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、各電力線の中心に信号を加えた場合、壁面等の影響がなければ、電界強度は表 5.1 及び表 5.2 の値になるが、これを表 8.1 及び表 8.2 に再掲する。なお、各電力線を流れ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 本の水平電力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 μ V/m	51dB μ V/m	41dB μ V/m	30dB μ V/m	-10dB μ V/m
水平配線 2 本	75dB μ V/m	54dB μ V/m	44dB μ V/m	33dB μ V/m	-7dB μ 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 μ V/m	54 dB μ V/m	49 dB μ V/m	42 dB μ V/m	15 dB μ V/m
10・30 MHz	70 dB μ V/m	61 dB μ V/m	56 dB μ V/m	48 dB μ V/m	16 dB μ 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。ただし、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 μ V/m	57 dB μ V/m	50 dB μ V/m	43 dB μ V/m	15 dB μ V/m
10・30 MHz	76 dB μ V/m	62 dB μ V/m	56 dB μ V/m	48 dB μ V/m	16 dB μ 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 章によれば、PLC 機器からの妨害波は、主として電力線を伝わるコモンモード電流によって発生する。したがって、PLC 機器の妨害波を制限するには、屋内の電力線を流れる 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、屋内配線を流れる 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 機器の妨害波の許容レベル: E_p

3 章において、周波数 2MHz～30MHz 帯を使用する無線局等について、各無線局等の感度から受信点での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、無線局等の感度レベルと同程度か、それよりも高く、多くの無線局等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。したがって、PLC 機器の妨害波の許容レベルは、表 8.4 に示すように、式(3.4)、(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 機器の妨害波の許容レベル E_p (10 kHz 帯域幅：実効値)

周波数 (MHz)	田園環境	商業環境
2・10	6 dB μ V/m	16 dB μ V/m
10・30	3 dB μ V/m	12 dB μ V/m

(2) 離隔距離： R

PLC 機器を設置した建築物と無線局等の空中線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(30m 点)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) 建築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、建築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。このモデルの構造は極めて単純で、実際の建築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、本項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、実際の構造物では、間仕切り構造材や、什器・設備類が置かれているため、外壁に隣接した電力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 建築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築物
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 μ A) に固定した時の値である。したがって、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 Ω /m
10・30 MHz : $Z = 16$ dB Ω /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、

QP 値 : 実効値 = 10dB

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

QP 値 : Av 値 = 約 10dB

を使用している。

(7) PLC 信号電流のコモンモード成分の許容値

前項までの検討結果から、屋内配線に流れる PLC 信号電流のコモンモード成分に関する許容レベル (準尖頭値) は次式で求められる。

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

この式を用いて算出した値を表 8.6 に示す。

表 8.6 PLC 信号電流のコモンモード成分の許容値の算出

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

	周波数帯 (MHz)	10m 点の PLC 妨害波 $E_p(10m)$ ($dB \mu V/m$)	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 信号電流のコ モンモード成分 $I_{com}(dB \mu A)$	
					準尖頭値	平均値
田園環境	2-10	41	15	10	36.0	26.0
	10-30	27	16	10	21.0	11.0
商業環境	2-10	43	15	10	38.0	28.0
	10-30	39	16	10	33.0	22.0
平均値					32.0	22.0

上表に示した「10m 点の PLC 妨害波 $E_p(10m)$ 」の数値は、遮蔽物のない場所の配電線に PLC 機器を設置したときの値である。従って、通常の屋内配線に PLC 機器を設置した場合は、壁や屋根などによる遮蔽があるため、実際の電界強度は表の $E_p(10m)$ より 10dB~20dB 以上低い値になる。

表 8.6 に示した「PLC 信号電流のコモンモード成分」(準尖頭値) のレベルは、平均として 32dB μA であり、この値は、情報技術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コモンモード電流許容値 30dB μA にほぼ等しい。したがって、この 30dB μA を「PLC 信号電流のコモンモード成分」の許容値として採用すれば、PLC 機器が一般に接続される情報技術装置の妨害波規制とも整合性がとれ、一貫した妨害波抑止対策を確保できる。

このコモンモード電流成分は、PLC 機器自身の不平衡のみならず、屋内配電系の不平衡によっても生じる。したがって、PLC 信号電流のコモンモード成分の規制に当たっては、屋内配線の影響を含めて、準尖頭値 30dB μ A、平均値 20dB μ A 以下に制限することが適当である。

なお、上記の制限値を適用すると、田園環境において周波数 10MHz~30MHz 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 信号電流のコモンモード成分の許容値」を満足することを確認できる測定法を検討する。

8.2.1 妨害波測定のための回路

既に 7 章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。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。

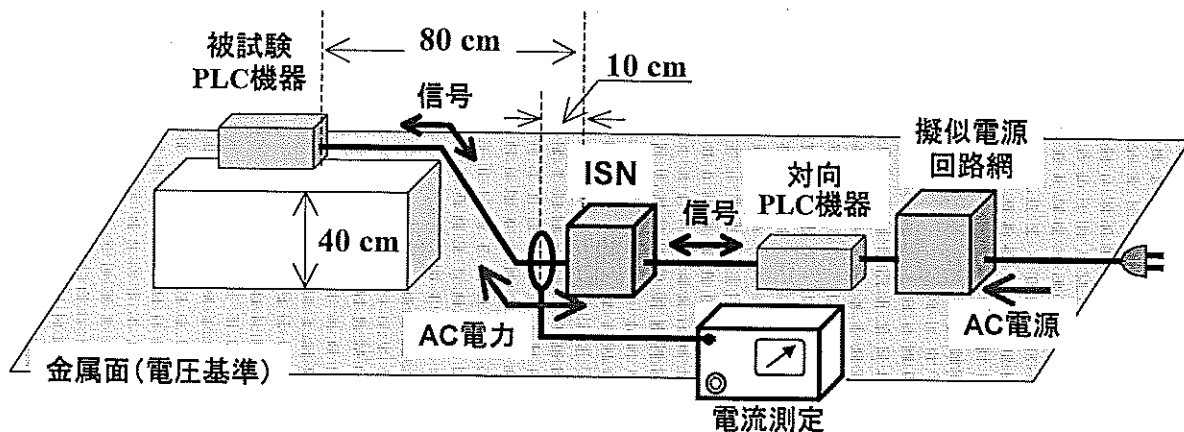


図 8.2 PLC 機器の妨害波測定 (信号周波数帯)

(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 章の図 4-7 に統計的に示されている。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 Ω を中央値として、数 10 Ω ~数 1000 Ω に広く分布していることがわかる。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わかる。したがって、本測定法では、他の伝導妨害波測定法と整合性を確保するために、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 章の図 4-8 に示されている。それによれば、中央値は 83 Ω で、10 Ω ~1000 Ω に分布していることがわかる。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 機器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 機器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} は特に定めず、対向 PLC 機器の入力インピーダンスとする。

(3) ISN の LCL (縦電圧変換損)

4章からわかるように、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機器の妨害波電流(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36dBを中心として10dB~70dBまで、極めて広く分布していることがわかる。

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、低レベルの妨害波しか発生しない建築物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、高い妨害波レベルの建築物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等の受信障害を極力低減するために、99%の建築物においてコモンモード電流が前項の許容値以上であるようにLCLを設定する。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16dBである。したがって、測定に使用するISNのLCLを16dBとする。

8.2.2 PLC機器の妨害波測定法

PLC機器の基準認証に関わる試験では、周波数帯2MHz~30MHzにおいて、PLC機能をON及びOFFの状態にして試験する。PLC機能ONの状態では、前項で規定したISNを用いて妨害波電流を測定する。また、PLC機能OFFの状態では、従来の妨害波測定法に基づく試験を行う。

なお、8.1節では帯域幅を10kHzとして許容値を算出したが、測定においては、広く使われている妨害波測定器(帯域幅9kHz)を用いる。

第5章 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。

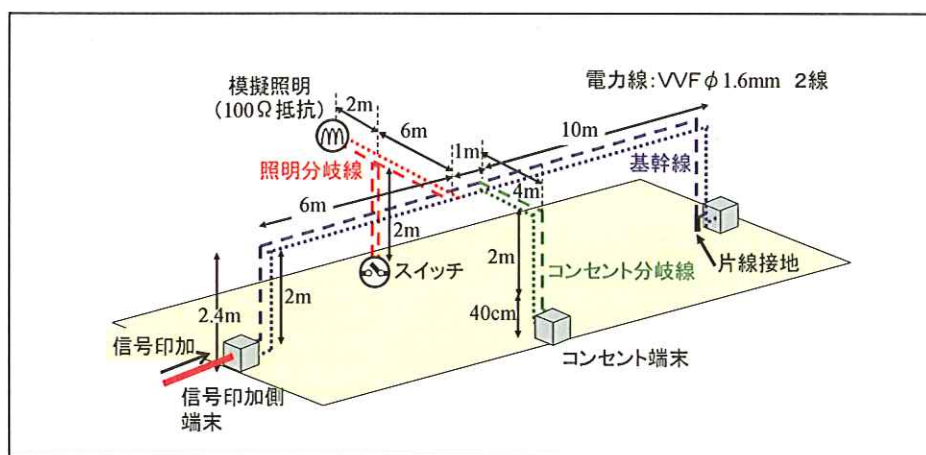


図 5-1 単純化された電力線モデルの構成

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。

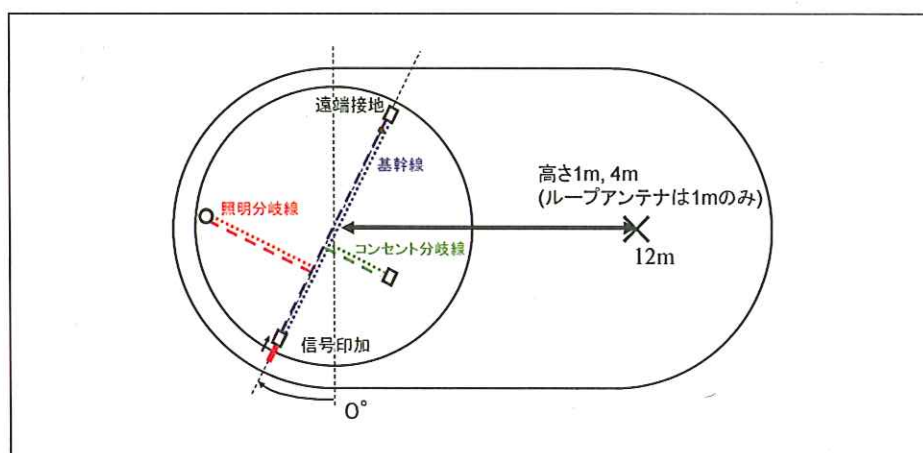


図 5-2 電界測定時のモデルと受信アンテナの関係

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に示した。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等価電界強度値に変換しているため、計算でも同様の手法で電界強度値を求めた。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た。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た周波数は、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、測定値と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、周波数30MHz、すなわち変換周波数15MHz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。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ウ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、実際にはグラウ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、絶対値では計算と測定で差はあるが、周波数の変化に対する傾向はとらえているものと考えられる。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わかる。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。トリログアンテナについては、水平偏波と垂直偏波の両方をプロットしたが、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高い。

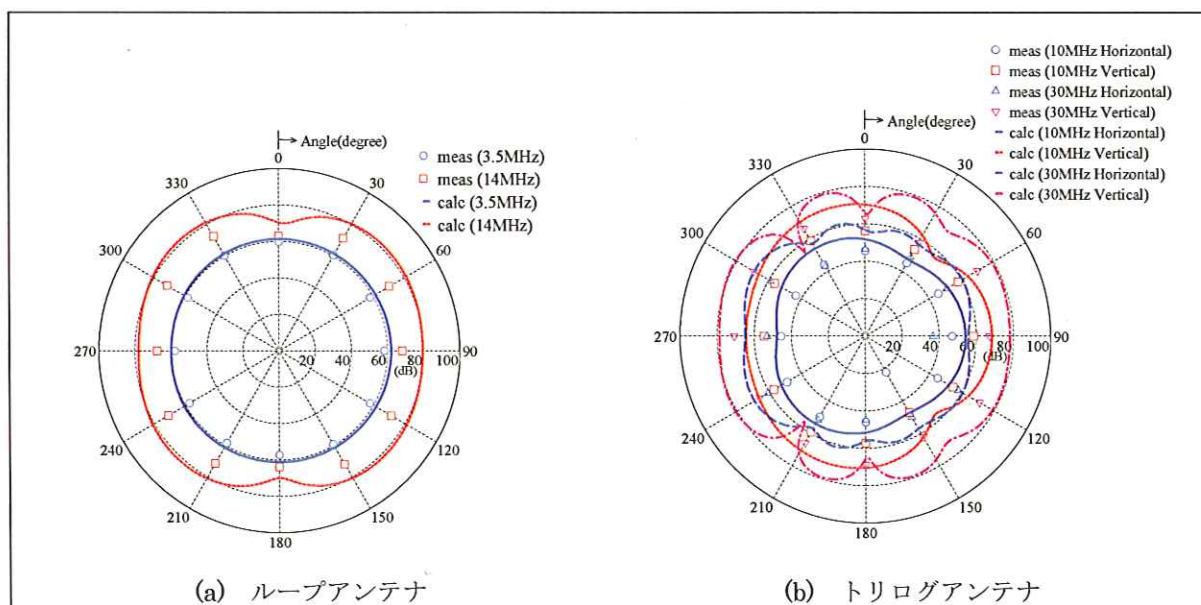


図5-3 電界の角度分布

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。(a)、(b)共に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おう得ないものと考えられる。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、全ての周波数にわたって、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わ

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、以下では、計算値をベースとする。

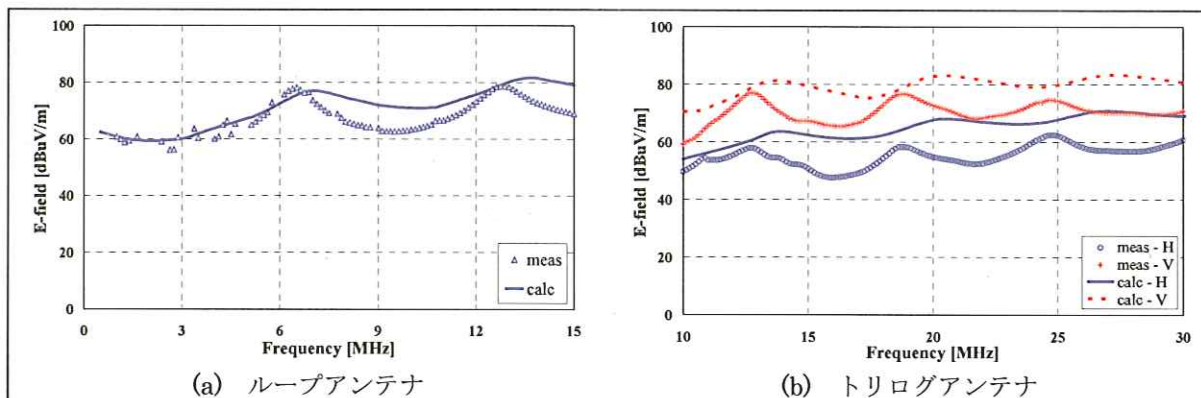


図 5-4 電界の周波数特性

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強度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ので、その結果を図 5-5 に示した。3.5MHz の周波数では、無分岐が最も電界が大きくて、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考えられる。

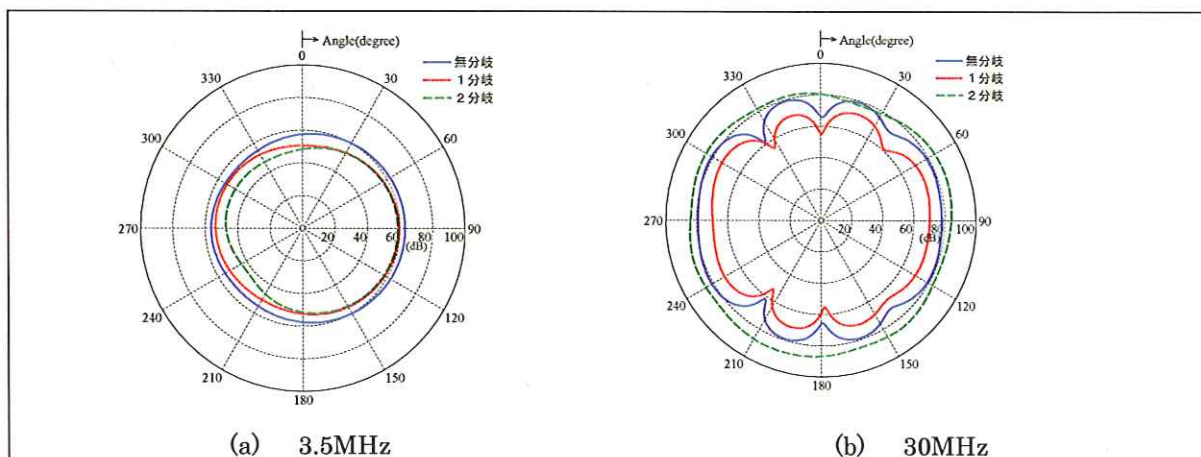


図 5-5 分岐数に対する角度分布の変化

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がある。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 10dB～15dB 程度、垂直偏波の電界が大きくなっている。

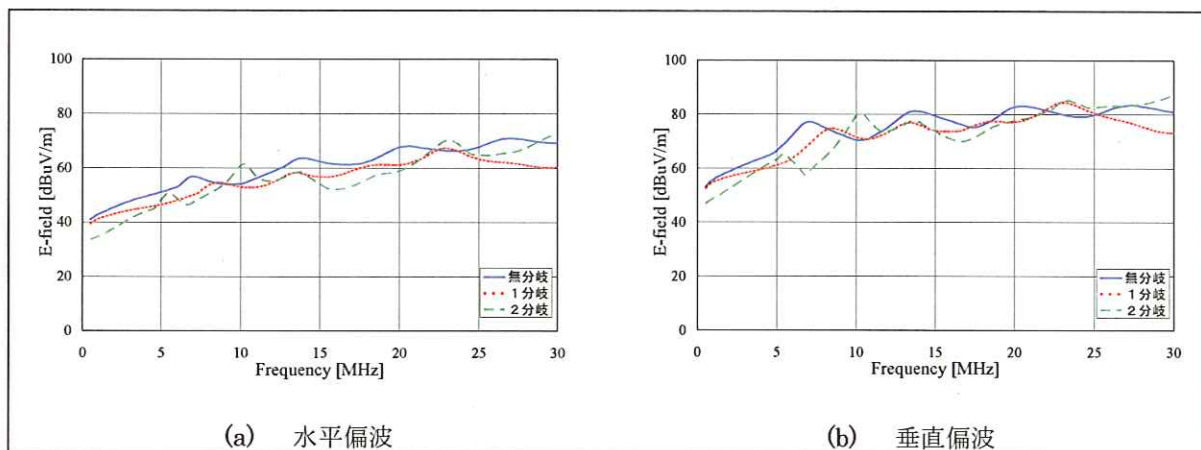


図 5-6 分岐数に対する周波数特性の変化

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。両者の状態においてスイッチを ON-OFF するため、全部で 4 つの組合せが考えられる。図 5-7 を見ると、4 つの組合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。

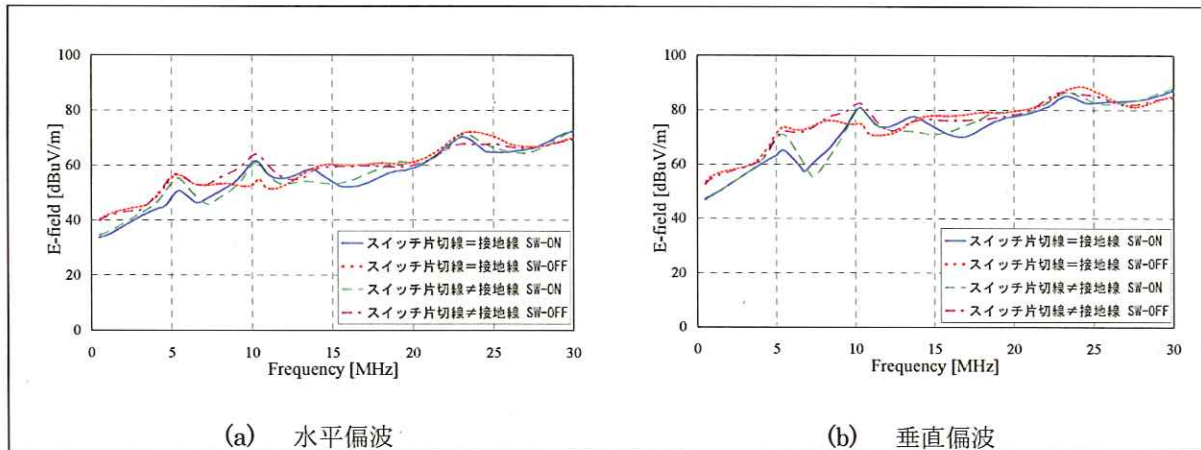


図 5-7 スイッチ分岐の ON-OFF に対する依存性

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 0 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なく、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。

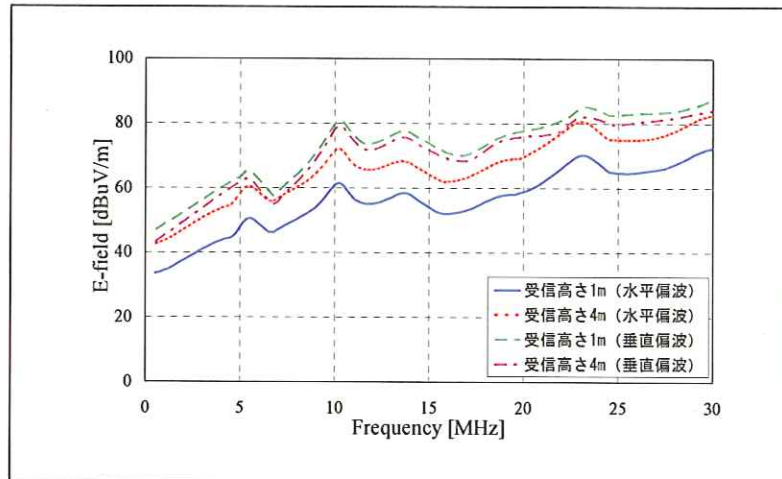


図 5-8 受信アンテナ高に対する依存性

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、偏波に関しても、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 0 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。

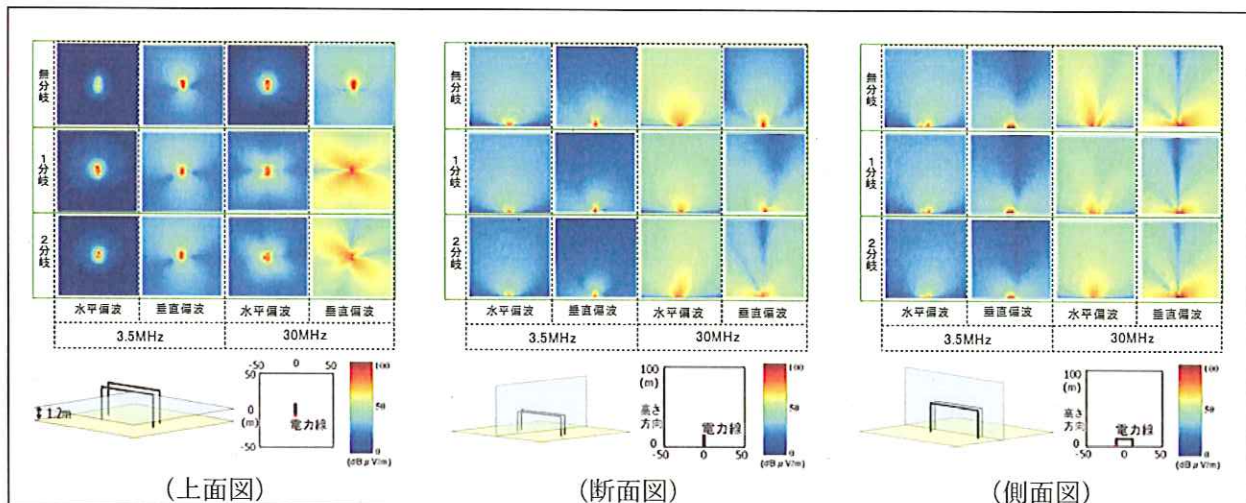


図 5-9 電力線近傍の電界強度分布

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 電力線を使い、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変化について、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、磁界の周波数特性や角度特性については、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、配電系の平衡度を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あまりなく、全周波数帯で平均すれば近傍電磁界レベルの変化はあまり見られなかった。

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、EMCJ2005-68, pp.55-60, 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、EMCJ2005-69, pp.61-66, 2005.9.

シャルモード・インピーダンス Z_{dif} , コモンモード・インピーダンス Z_{com} などの線路特性は、負荷の動作状態に依存するため、時間や周波数と共に大きく変動することが判っている。また、分岐線などにも影響されるため、観測場所によって異なることが推測される。

高速 PLC の規格を定めるには、実際の家屋の電力線に関する線路特性を考慮する必要がある。しかし、家屋内の様々な場所で電力線の特性を測定することは、壁や天井があるため不可能である。したがって、その代わりに「高速電力線搬送通信に関する研究会」では、工業会や関係機関の協力を得て、多数の家屋の多数の壁ソケットで、線路特性を長時間にわたり様々な周波数で測定した[3,12]。その結果を集約したものが図 2~4 で、LCL については約 9000 個、インピーダンスについては約 700 個の測定データから得られた累積確率分布を図示した。この結果からわかるように、50%値は $LCL=35.5\text{dB}$, $Z_{dif}=83\Omega$, $Z_{com}=240\Omega$ 程度であった。

3. コモンモード電流の発生

すでに述べたように、電力線からの電磁波放射は、主として線路に流れるコモンモード電流成分が原因となる。このコモンモード電流の発生メカニズムとして、図 5 の 2 種類が考えられる。

3.1. 線路の不均衡によるもの

PLC モデムや、線路の負荷や分岐回路が不平衡であれば、これによって線路には図 5(a)のコモンモード電流 I_c が発生し、線路がアンテナになって電磁波を放射する。したがって、放射される電磁波の強度は I_c に比例し、アンテナとして有効に働く線路の寸法、周波数などに依存する。特に線路長が半波長程度（共振）になると、放射が顕著になる。なお、コモンモード電流 I_c は、PLC 信号電圧（ディファレンシャルモード電圧）に比例して大きくなり、かつ線路の LCL, Z_{com} や Z_{dif} が大きいほど減少する [13]。

3.2. 折返しダイポールモードによるもの

電力線のコモンモード電流は、線路が完全に平衡で

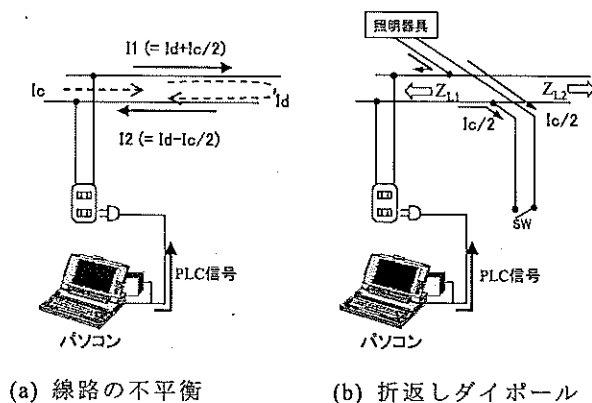


図 5 コモンモード電流の発生

あっても発生する[14]。例えば、図 5(b)のように、照明器具とスイッチ SW からなる分岐線は、幹線に並列に接続されるため、この分岐線の全長が半波長程度（共振）になると、分岐線の 2 導線に同じ向きの電流（コモンモード電流）が流れるため、電磁波を放射する。すなわち、分岐線は折返しダイポールアンテナと同様な働きをする。

この分岐線路の等価回路を図 6 に示す。ここで、 Z_d は幹線との接続点から見た分岐線の正相インピーダンス、また Z_{fold} は零相インピーダンスである[15]。分岐線の長さが半波長で、線路の中央で幹線と接続されている場合は、

$$Z_{fold} = 4 \times Z_{dipole} = 4 \times 73 = 290 \Omega$$

となる。この Z_{fold} に流れる電流（零相成分）が波源となる。図 6 から判るように、 Z_{fold} は Z_d と並列接続で、かつ幹線のディファレンシャルモードインピーダンス Z_{L1} , Z_{L2} とともに並列になっている。このディファレンシャルモードインピーダンスは、図 3 を参照すれば、およそ 83Ω 程度である。したがって、 Z_d が無限大であっても、放射に寄与する零相電流は PLC 信号電流の 1/8 程度 (18dB 減) になる。一般に分岐線は中央給電で無いため Z_{fold} は更に大きくなり、かつ Z_d は無限大でないため、放射に寄与する電流は一層減少する。また、実際の屋内配線の分岐線が、上記のように半波長共振長になるのは希と思われる。

4. 放射波の伝搬

文献[3]によれば、屋内電力線を伝搬する PLC 信号は、ブレーカや積算電力計などによって 30dB 以上減衰するため、家屋周囲の電磁界は屋内配線の電磁波放射によるものと思われる。このため、以下では、コモンモード電流から放射される電磁波の距離減衰特性と、家屋建築材による電磁波遮蔽効果について述べる。

4.1. コモンモード電流の電磁波放射

一般家屋の電力線のモデルとして、図 7(a)のように、長さ 20m の線路を wet 大地面上、高さ 2m で水平に配置し、これにコモンモード電流を流して、発生する周囲電磁界をモーメント法を用いて計算した。ただし、線路が有限長であるため電流は定在波となり、基準電圧を印加しても、電流振幅は線路の位置によって様々

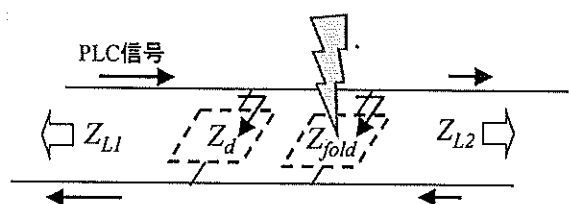


図 6 折返しダイポール線路の等価回路

第4章 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行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。

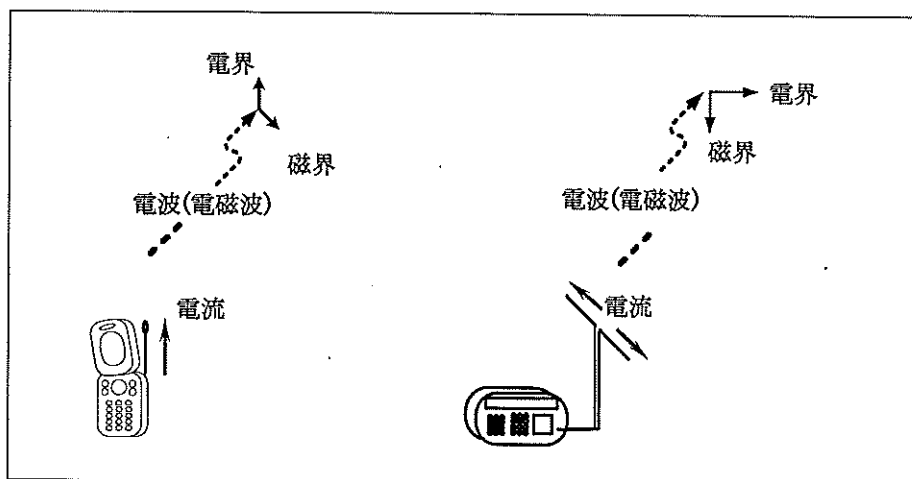


図4-1 アンテナを流れる高周波電流が電磁界を作る様子

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に流れる電流成分のうち、往復に流れる成分をディファレンシャルモード電流と呼び、一方向に流れる成分をコモンモード電流と呼ぶ。電力線に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ディファレンシャルモード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ので合成電磁界はほとんど0となる。このため、ディファレンシャルモード電流が大きくても、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。これに対し、コモンモード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、コモンモード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、電力線に流れるコモンモード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が電力線から漏えいする電磁界レベルを評価することにつながる。

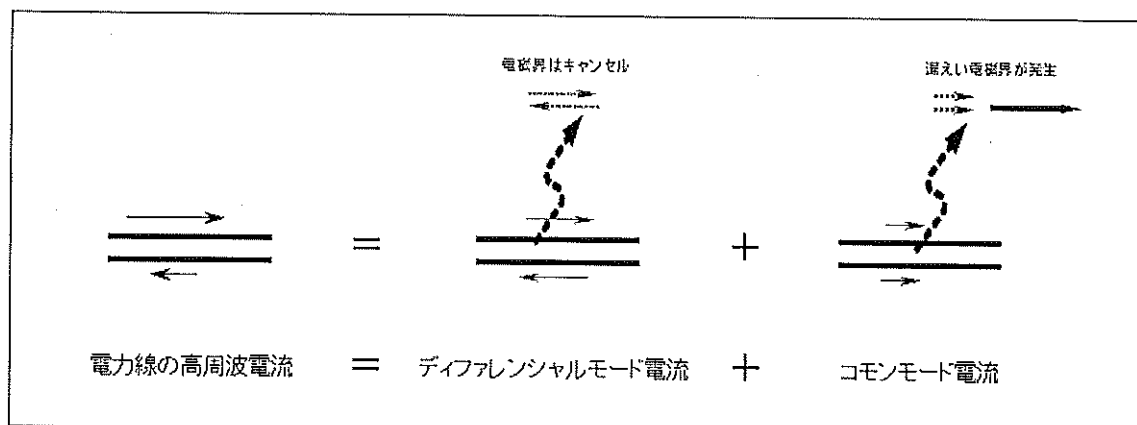


図 4-2 ディファレンシャルモード電流とコモンモード電流

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。）が電力線に接続されると、電力線を流れる高周波信号のうち一部がコモンモード電流成分に変換される。このコモンモード電流を評価する必要がある。しかし、建築物内に張り巡らされた配線を、コモンモード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氣的パラメータを測定することである。

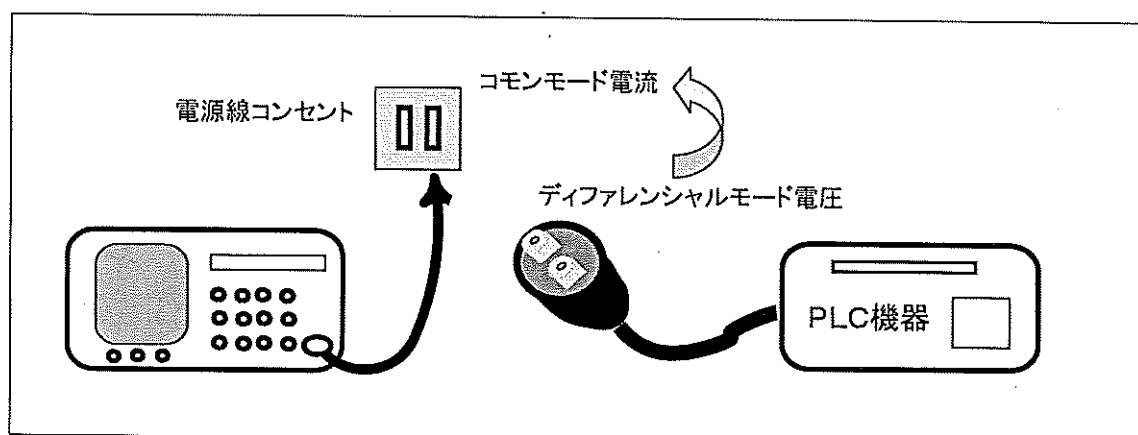


図 4-3 コモンモード電流はコンセントに接続した PLC 機器により発生

コンセント端子に流れ込むコモンモード電流は、PLC 機器が接続されたときに発生するコンセントでのコモンモード電圧とコモンモードインピーダンス(直流での抵抗に対応)がわ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 機器をあらかじめ考慮することはできない。しかし、コモンモード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、建築物内の電気製品の使用状況、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 機器を接続したときにコモンモード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(縦電圧変換損)

電力線において、コモンモード電流成分は PLC 機器のディファレンシャルモード電圧から変換される。ディファレンシャルモード成分からコモンモード成分へ変換される要因は、電力線が物理的、電氣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 : 縦電圧変換損)がある。

図 4-4 は、通信線の 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線回路を意味し、コモンモード電圧源 E_{CM} によって誘導されるディファレンシャルモード電圧 V_{DM} がどれだけ発生するかを測定するものである。

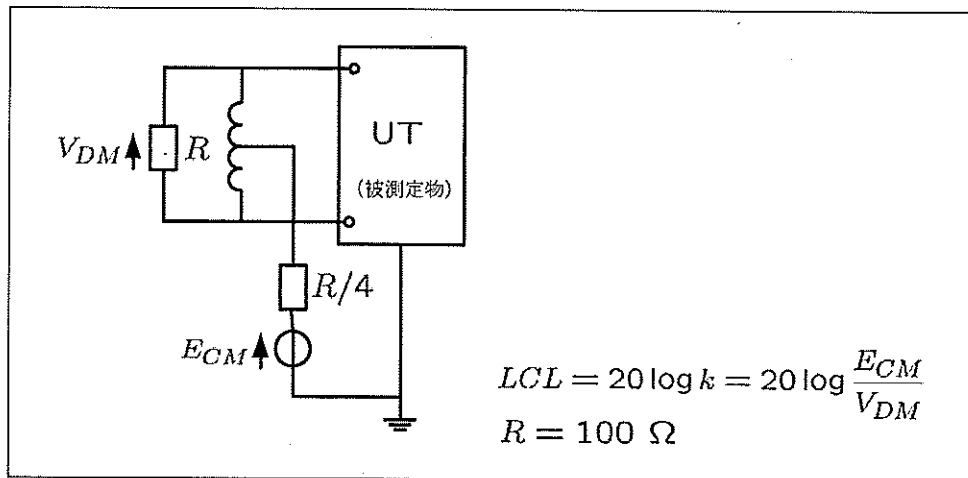


図 4-4 LCL の定義

4.4.2 CMZ(コモンモードインピーダンス)と DMZ(ディファレンシャルモードインピーダンス)

建築物内の電力線の電氣的性質を評価するには、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には、上述の LCL の他に、CMZ(コモンモードインピーダンス)と DMZ (ディファレンシャルモードインピーダンス) がある。

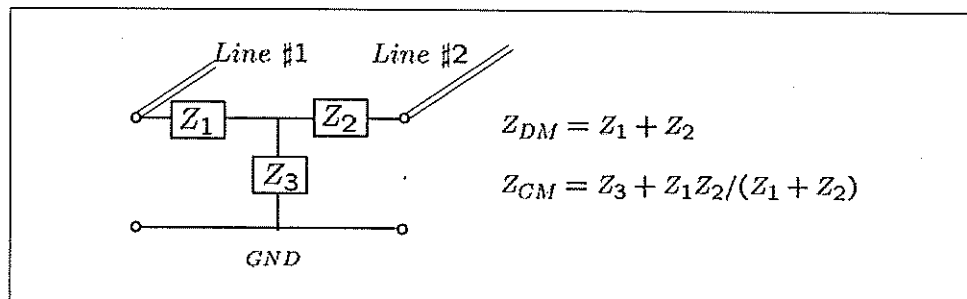


図 4-5 コンセント端子から電力線を見込んだ T 型等価回路

いま、コンセント端子から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 機器のディファレンシャルモード電圧がコンセントにコモンモード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 (被測定物) 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、 δ 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。

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

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

$$z_{dm} = Z_{DM}/Z_{CM}, \quad r = R/Z_{CM} = 100/Z_{CM}, \quad (4)$$

$$r_2 = R_2/Z_{CM} = 25/Z_{CM}$$

式(1)中の $(Z_1 - Z_2)$ は δ で表現可能であるが後述のコモンモード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0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

日本の建築物における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、関西地区39、関東地区23の建築物の、それぞれ271個と216個の総計487個のコンセント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、日本の建築物における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 Ω 、DMZの平均値は約83.4 Ω と読み取れる。

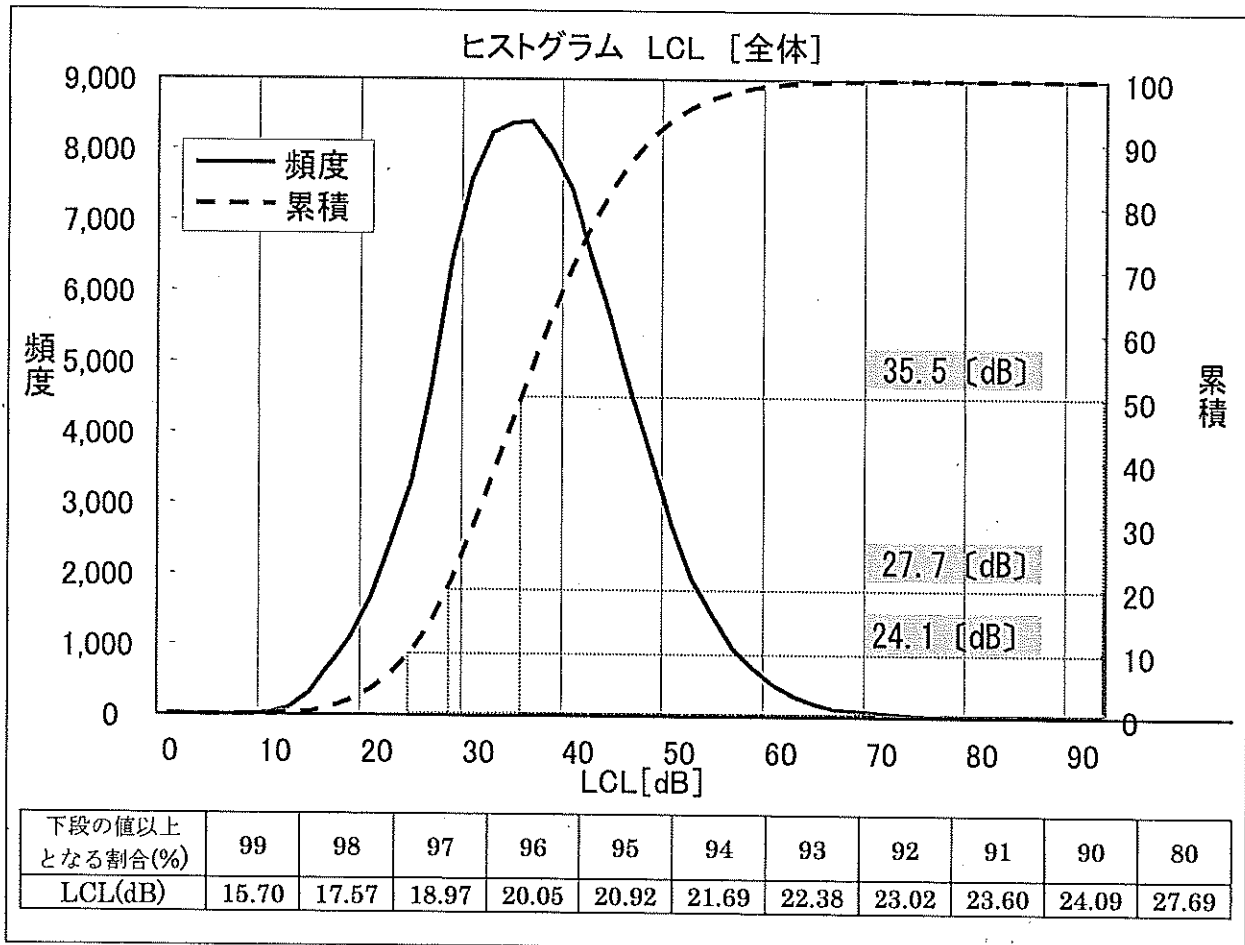


図4-6 LCL実測値(頻度分布と累積分布特性)

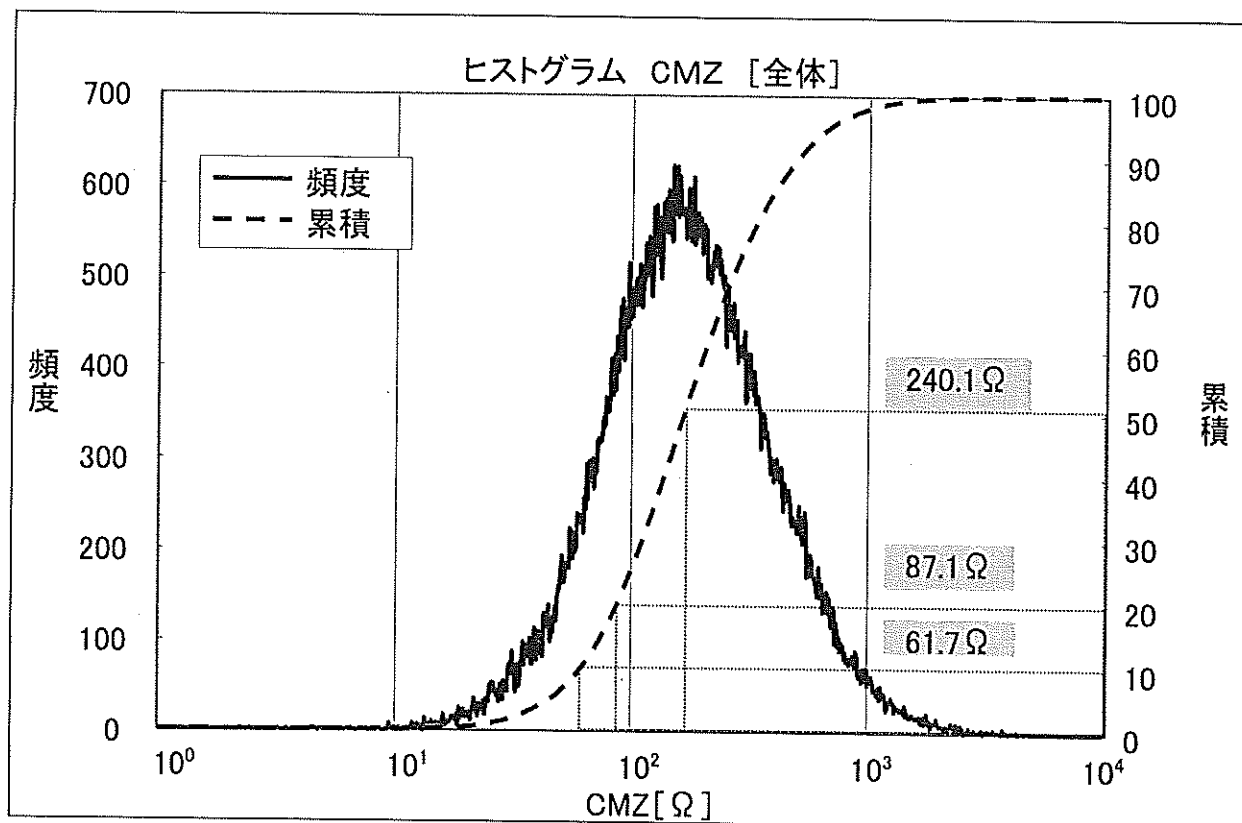


図 4-7 CMZ の頻度分布と累積分布特性

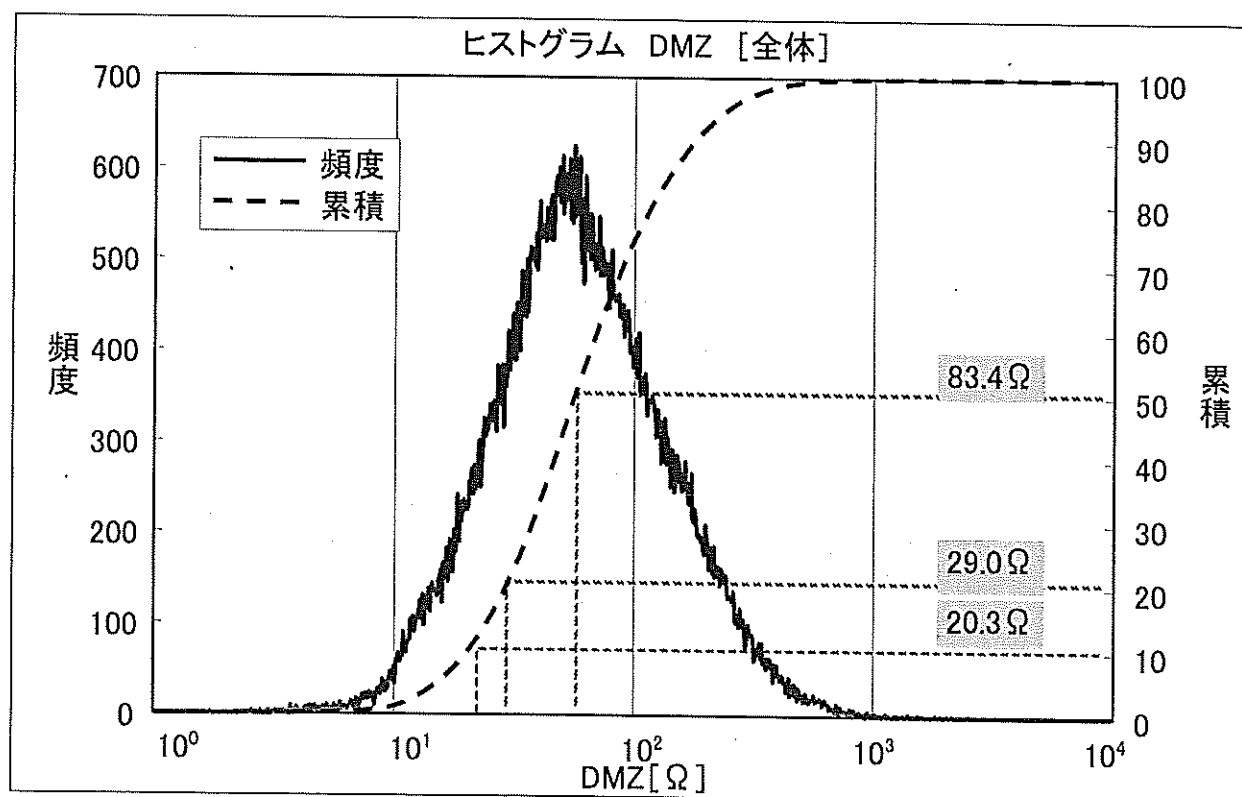


図 4-8 DMZ の頻度分布と累積分布特性

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。

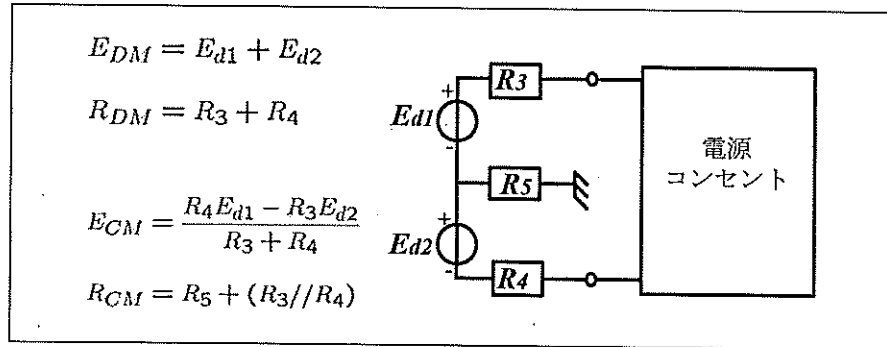


図 4-9 PLC 機器が電源コンセントに接続されたモデル

図 4-9 において、PLC 機器の電圧（ディファレンシャルモード電圧）は E_{DM} であり、そ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} をもつコモンモード電圧 E_{CM} が必然的に発生する。

コンセントに誘導されるコモンモード電流を求めると、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、コモンモード電流は、式 (5) の分子が第 2 項だけで近似できる。誘導されるコモンモード電圧 V_{CM} とコモンモード電流は 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 CMZ と DMZ に対するコモンモード電流の変化

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 機器のディファレンシャルモード電圧で規格化したコンセント端子に誘導されるコモンモード電流を、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、 30Ω から 150Ω の値で変化させた。この図から、コモンモード電流はこの例では $64\pm 2\text{ dB}\mu\text{A/V}$ 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がわかる。

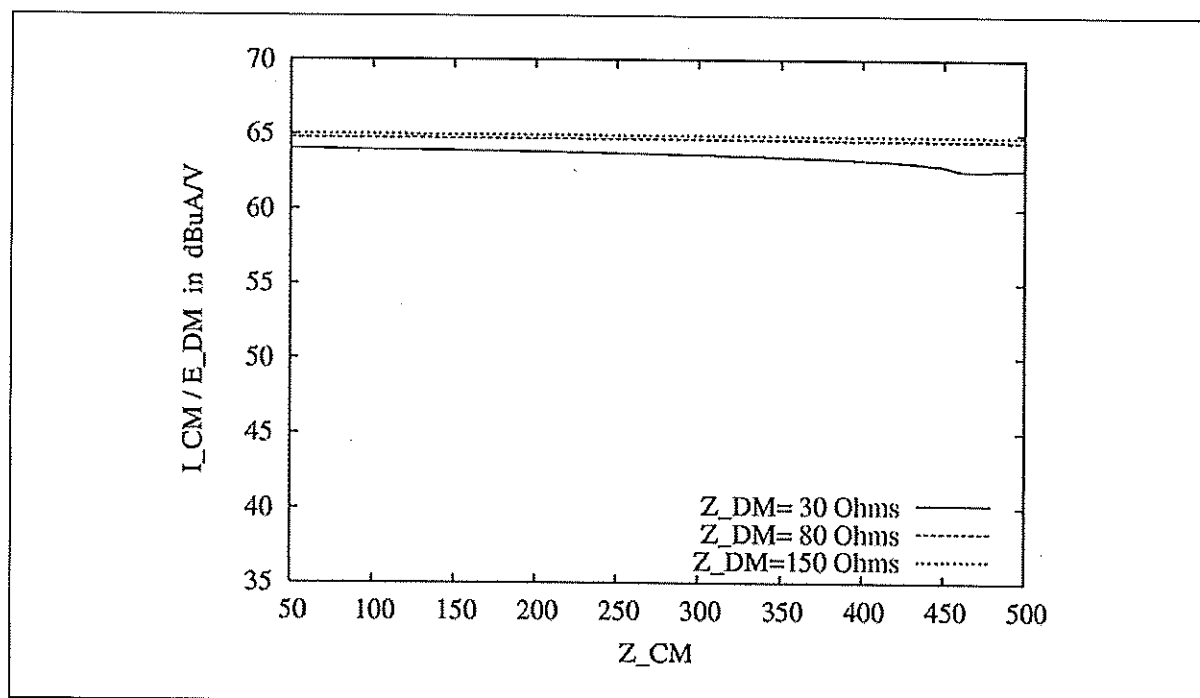


図 4-10 CMZ 対コモンモード電流特性例：
PLC 機器が $R_{DM}=50\Omega$ 、 $R_{CM}=500\Omega$ 、コンセントの LCL=20dB のとき

4.8 LCLに対するコモンモード電流の変化

式(6)から、コンセント端子に誘導されるコモンモード電流はLCL (k) に逆比例することがわかる。図4-11は、LCLの変化に対するコモンモード電流特性の計算例である。ここでは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が $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=25\Omega$ のとき、 $Z_{DM}=100\Omega$ 、 $Z_{CM}=150\Omega$ のとき、 $Z_{DM}=83\Omega$ 、 $Z_{CM}=240\Omega$ のときを比較している。

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。

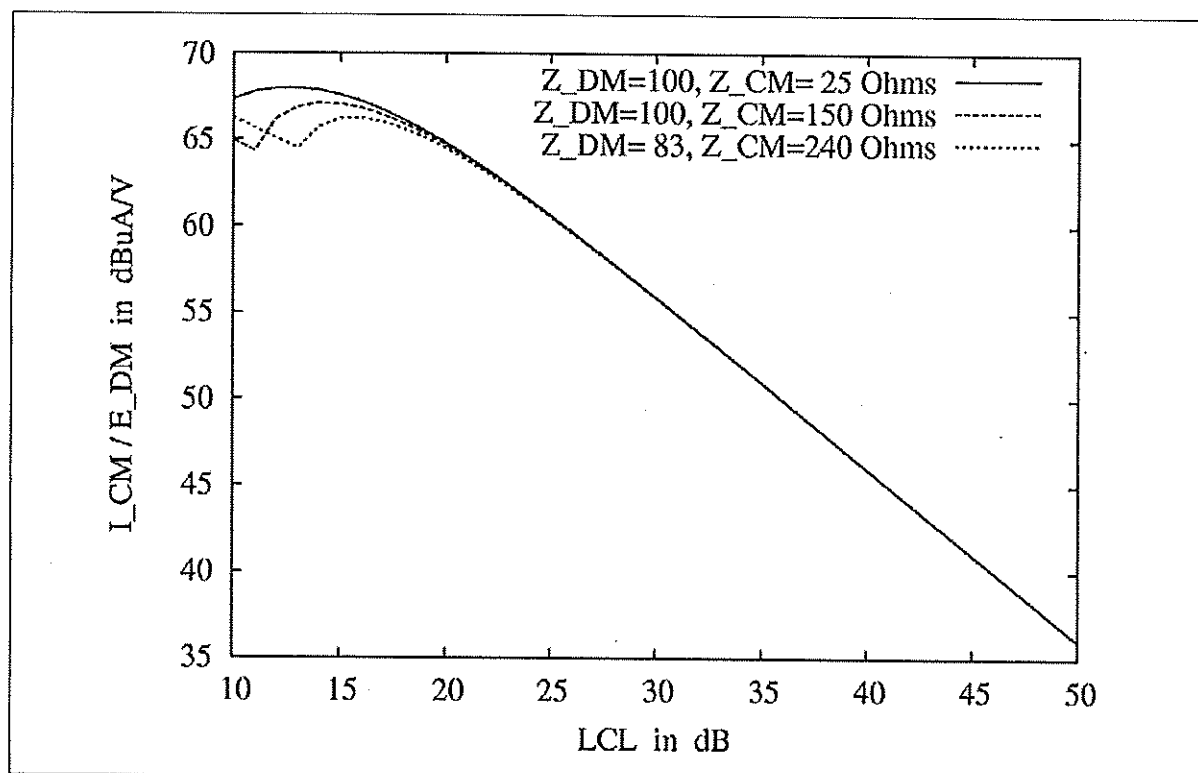


図4-11 LCLの変化に対するコモンモード電流特性

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、” 電子情報通信学会技術研究報告、EMCJ2005-71、2005年9月。

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 5-28 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 5-29 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、同相異相を問わず、分電盤で分岐される別回路間の伝送特性は 20dB～80dB の減衰であった。

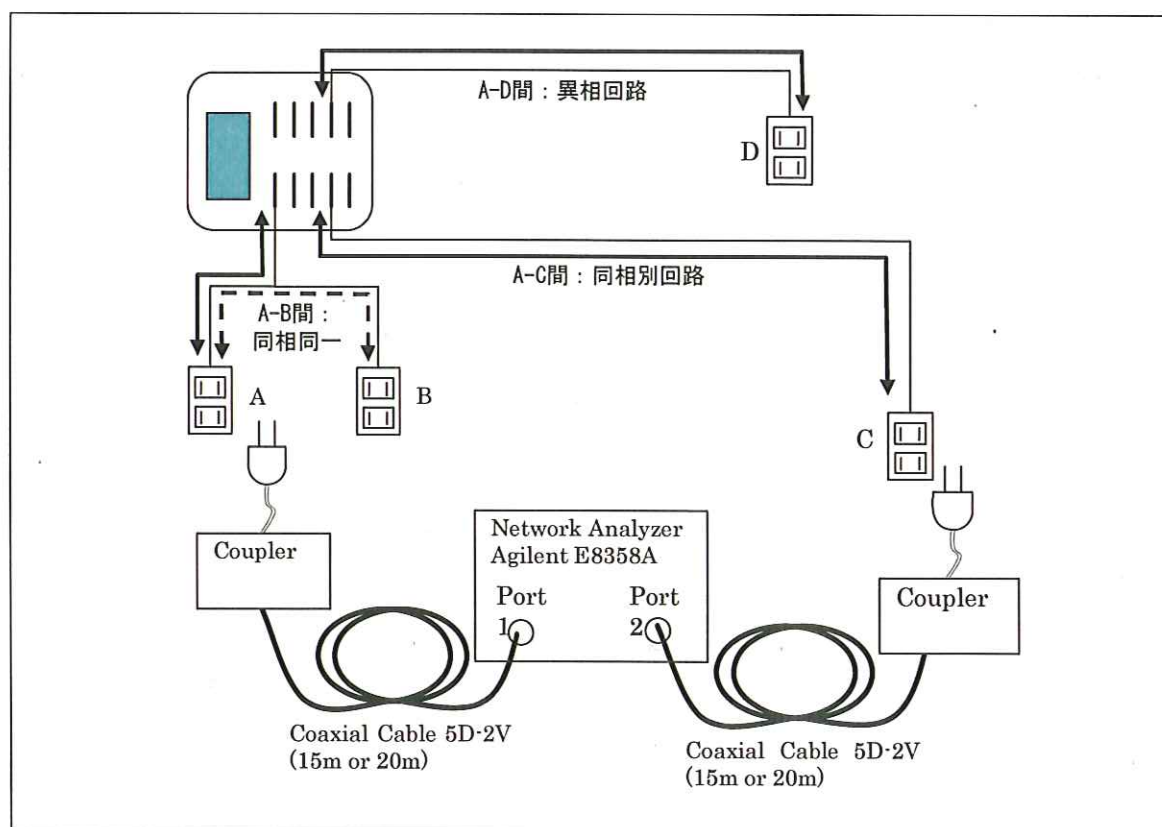


図 5-28 住宅内電力系統伝送特性の測定系

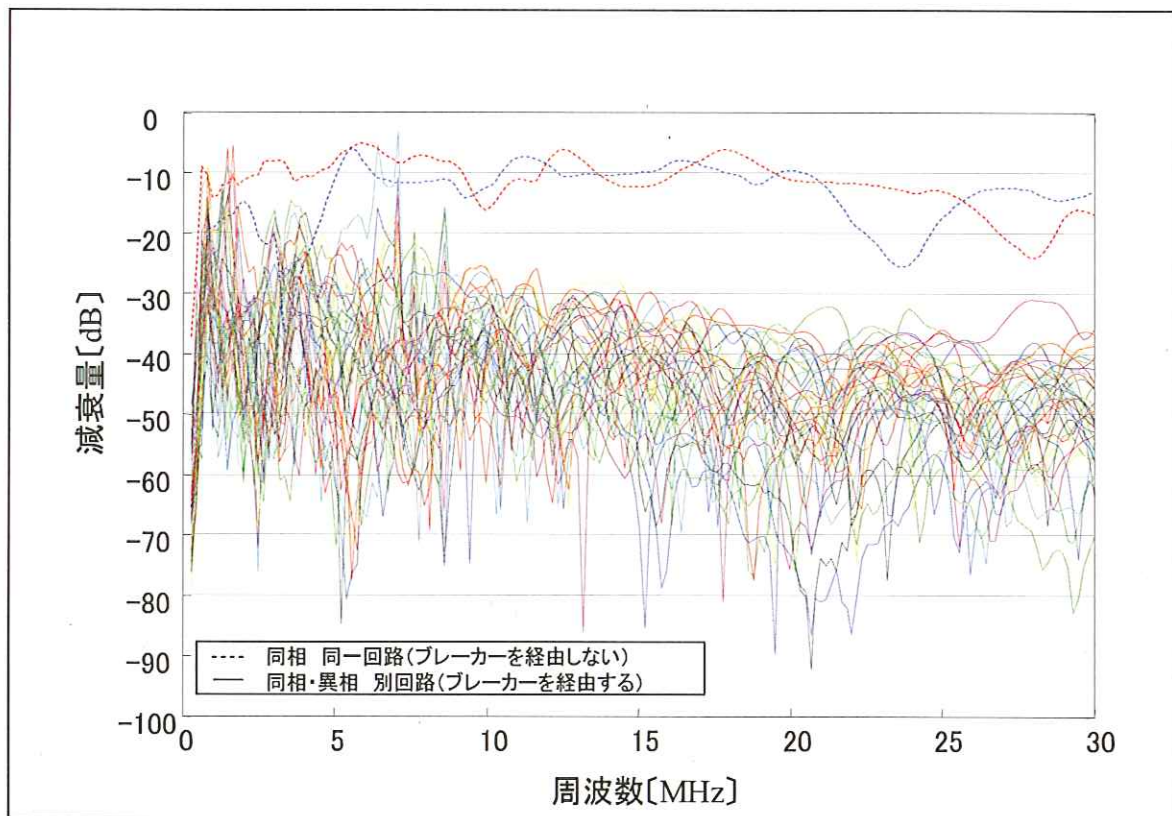


図 5-29 住宅内電力系統の伝送特性測定結果

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。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、主に電力線に流れるコモンモード電流によって発生する。したがって、実際の電力線は平行 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。この電力線（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 6m 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、高周波電力は電力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 1mA に固定して求めた。また、大地の条件としては、我が国の土壌に近い Wet ground 及び Medium dry ground を考慮した。

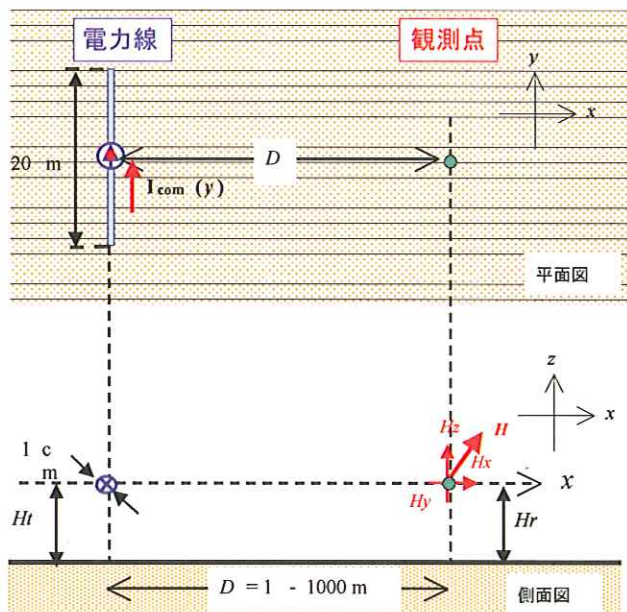


図 5-10 水平設置の電力線モデルと観測点

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。ただし、単線上の電流最大値が 1mA の場合の磁界強度を表

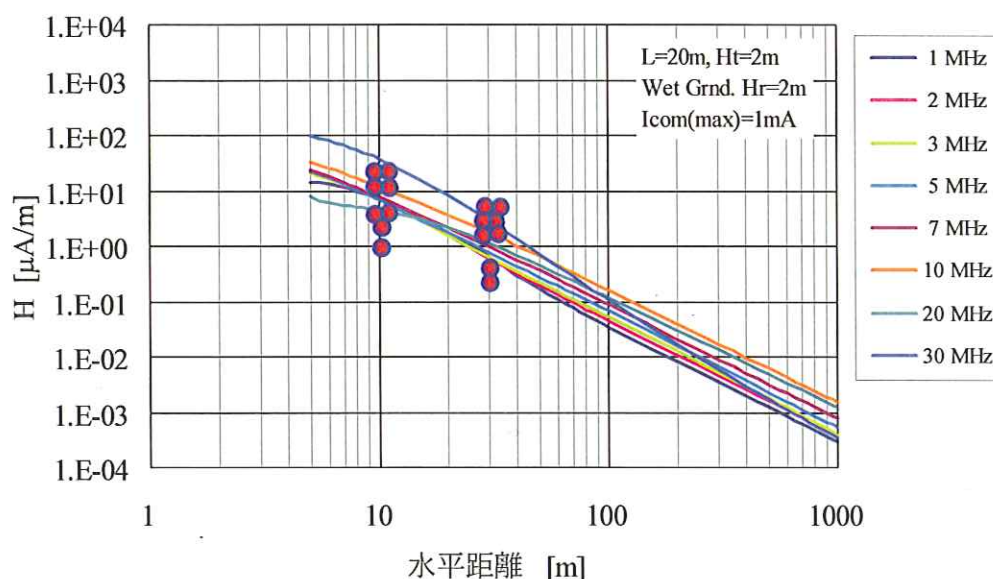


図 5-11 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性 (Wet ground, $H_t=2\text{m}$)

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）。ただし、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。したがって、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わかる。

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。電力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。

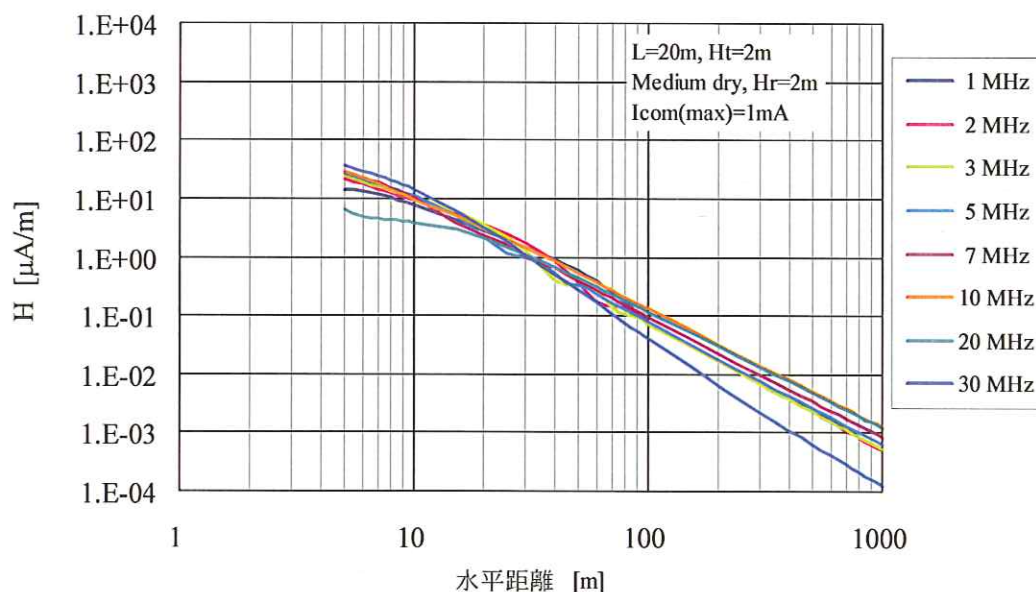


図 5-12 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性（Medium dry ground, $H_t=2\text{ m}$ ）

さらに、同一電力線を地上高 $H_t=6\text{ m}$ 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、電力線の地上高を 2 m ～ 6 m の間で変えても、磁界強度は余り変化しないことが判る。

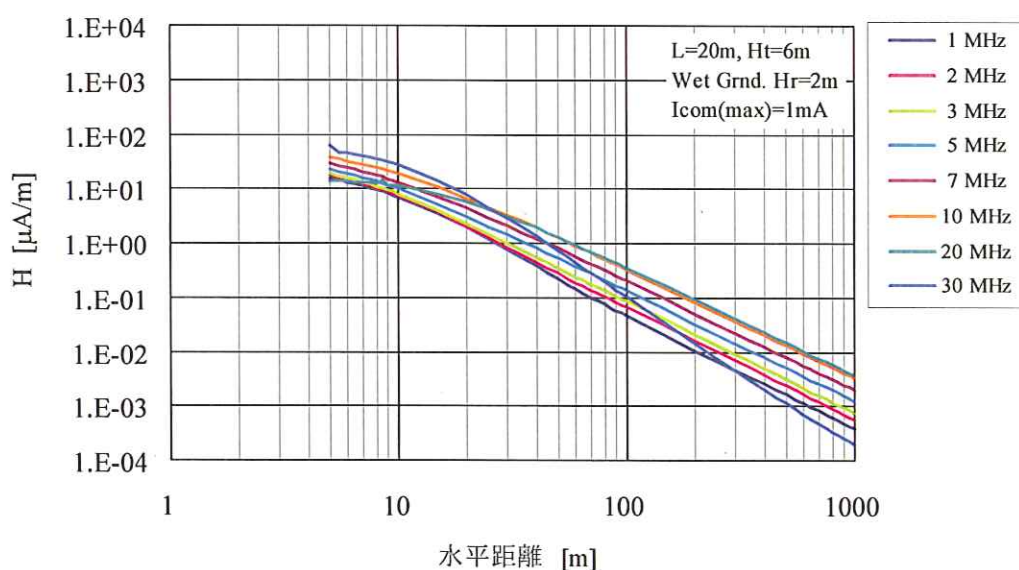


図 5-13 水平線路の電流によって生じる磁界の距離特性（Wet ground, $H_t=6\text{ m}$ ）

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 377Ω 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、かつ電力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わかる。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。

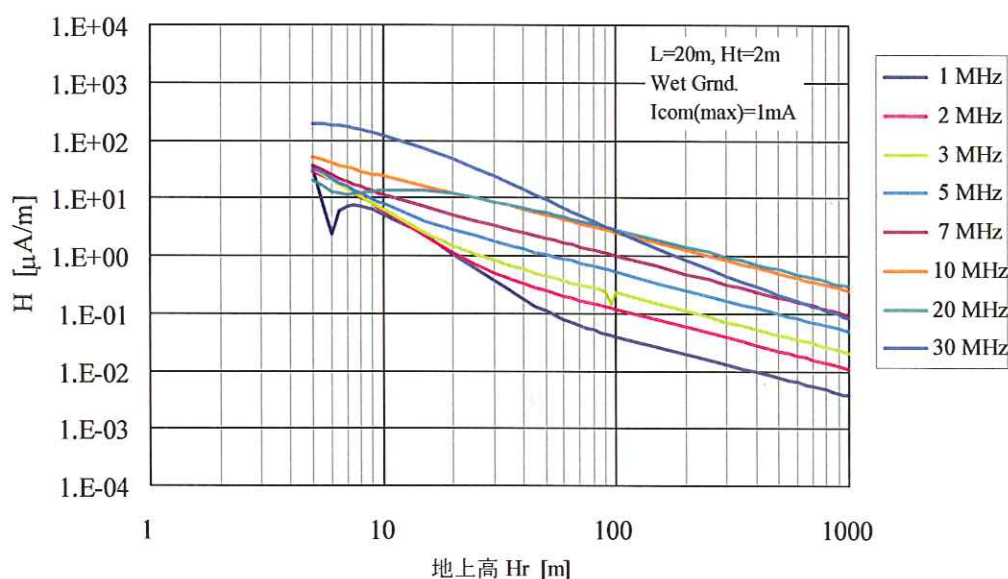


図 5-14 水平線路の電流によって生じる磁界の地上高特性 (Wet ground, $H_t=2m$)

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 に示すように電力線が垂直に張られた場合の電磁界を計算した。ただし、電力線は長さ $L=5.6\text{m}$ の単一導線で、その中心を高さ $H_t=3.2\text{m}$ に設置し、中心から給電して線路上の最大電流が $I_{com}(\text{max})=1\text{mA}$ になるようにした。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くなることがわかる。

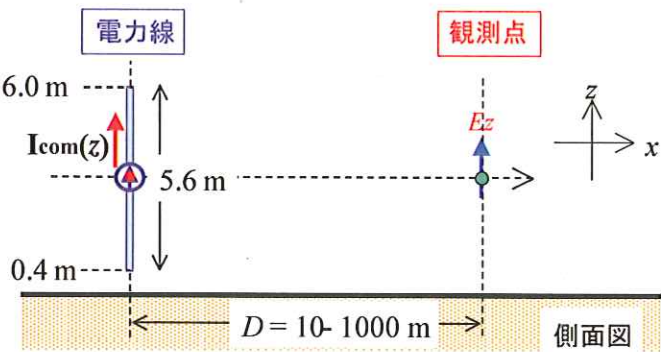


図 5-15 垂直設置の電力線モデルと観測点

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 $\mu\text{V/m}$)

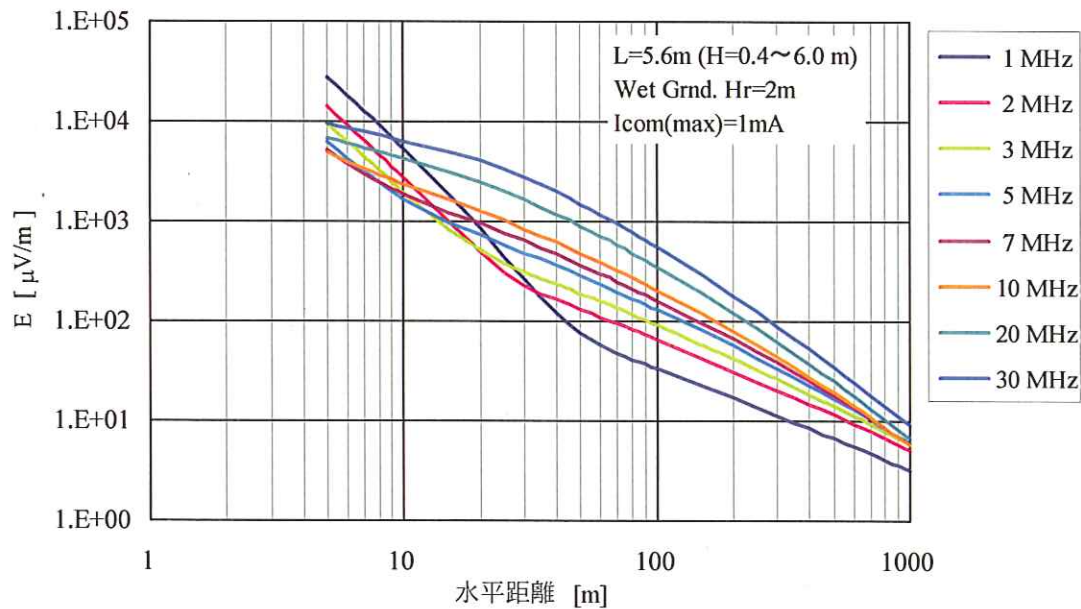


図 5-16 垂直線路の電流によって生じる電界の距離特性 (Wet ground)

第3章 無線局等の受信点での信号波強度

短波帯を利用する高速電力線搬送通信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

2MHz～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。

表3-1 無線局等の感度等

周波数	無線局等	受信機感度等 V_r	条件・根拠	備考
1.6MHz～26MHz	MF/HF 無線設備 (DSC, 無線電話, NBDP)	DSC, NBDP $1\mu V$ (0dB μV) 無線電話 $6\mu V$ (16dB μV)	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
27MHz	MF/HF 無線設備 沿岸小型船舶通信	DSB $10\mu V$ (20dB μV) SSB $3\mu V$ (10dB μV)	技適証明規則	ヒ3-9 (日本無線)
4MHz, 8MHz, 13MHz/12MHz, 17MHz/16MHz, 22MHz	海上移動業務	$3\mu V$ (10dB μV)	SINAD=20dB 無線設備規則第57条	ヒ4-5 (KDDI)
8MHz/11MHz	航空管制等	$1\mu V$ (0dB μV)	SSB: S/N=10dB AM: S/N=6dB	ヒ4-4 (定期航空協会)
2MHz～22MHz	国際対空通信業務	$3\mu V$ (10dB μV)	S/N=20dB (b=3 kHz 3dB 帯域幅)	ヒ6-3 (国土交通省航空局)
3.9MHz, 6.0MHz/6.1MHz, 9.5MHz/9.7MHz,	短波放送受信	受信機雑音 等価電界強度 4dB $\mu V/m$	ITU-R WP1A/46E (May, 2004)	研究会資料3-3 (日経ラジオ)
3.5MHz, 3.8MHz, 7MHz, 10MHz, 14MHz, 18MHz, 21MHz, 25MHz, 28MHz	アマチュア無線	(-16dB μV ～ -21dB μV)	S/N=10dB (b=2.4kHz 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	(-10dB μ V ～ 6dB μ V)	S/N=10dB	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 ²)) -191 (@13MHz) -189 (@25MHz)	ITU-R RA.769-2 検出可能な受信レベル の最小変化に相当 (積分時間:2000s)	

※ 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。

なお、電波天文については、目安として、ITU-R RA.769-2 から検出可能な受信レベルの最小変化 ΔP Δf に相当する電力束密度を求めている。この値は観測用受信機の積分機能によって得られるもので、通常の通信設備の受信感度とは異なる。

また、この他に電離層定常観測(1MHz～30MHz)や短波電離層ドップラ観測(5MHz/8MHz)、さらには短波海洋レーダ(5.2MHz～42MHz)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 1μ V/m～ 2μ V/m(S/N=10dB)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、2MHz～30MHz の周波数帯では、人工雑音が継続的かつ顕著である。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。

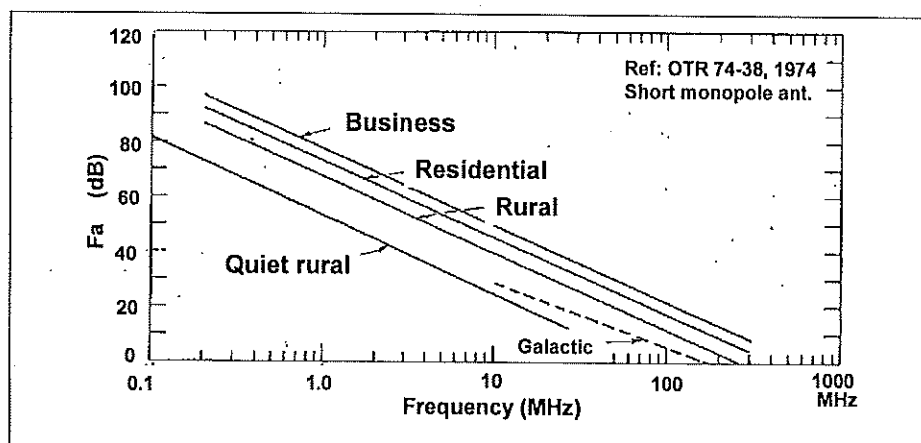


図3-1 人工雑音の周波数特性 (ITU-R P.372-8)

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(Business)	76.8	27.7
住宅環境(Residential)	72.5	27.7
田園環境(Rural)	67.2	27.7
極めて雑音の少ない環境 (Quiet Rural)	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。

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

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

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

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

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

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

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

となる。これを計算すると表 3-3 のようになる。

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

表 3-3 2MHz～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 $\mu\text{V/m}$ 、()内は $\mu\text{V/m}$) ($b=10\text{kHz}$)			
	2MHz	3MHz	10MHz	30MHz	2MHz	3MHz	10MHz	30MHz
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 1-4 の実測例

都市部（準工業地域、住居地域）及び郊外（住居地域）で環境雑音を測定した結果、2MHz～30MHz の範囲内の平均値が約 $40\text{dB } \mu\text{V/m}$ であることが紹介されている。測定条件は、 $\text{RBW}=10\text{kHz}$ 、peak 検波（30 秒の Maxhold）、測定アンテナはループアンテナ（アンテナ高は 1m）である。ただし、検波方式が異なるので ITU-R P. 372-8 との直接的な比較は困難である。

(2) 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. 372-8 の人工雑音を修正した下記のモデル式（ $b=9\text{kHz}$ ）を提案している。

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

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

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

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

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

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

例えば、高雑音地域のモデル式を上を示す ITU-R P. 372-8 の商業環境のモデル式と比較すると前者が 5.5dB 高い。また、中雑音地域は住宅環境に比べて 7.8dB 、低雑音地域は田園環境に比べて 9.5dB 、高いレベルとなっている。

なお、研究会資料 2-3 では、 $b=10\text{kHz}$ 、アクティブループ（ $\text{AF} \approx 10\text{dB}$ ）、アンテナ高（ループ下辺）1m 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。

(3) 研究会資料 8-10 の実測例

半波長ダイポール、地上高 50m、周波数 6.996MHz、RBW(-6dB)=2.7kHz、での測定結果で-4.7dB μ V/m $\sim$ 0.3dB μ 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(-3dB)=10kHz に帯域幅換算 ($10\log(10/2.7)=5.7$ dB を加算) すると、約 1dB μ V/m $\sim$ 6dB μ V/m となる。ITU P. 372-8 モデルで 7MHz とすると 5.2dB μ V/m (田園環境) $\sim$ 14.8dB μ 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 2m 高/2m 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。

(4) 研究会資料 9-9 の実測例

電波天文観測地の背景雑音の測定例として、東北大学飯舘観測所における 25.6MHz 帯の Power flux density の測定結果 (日変化) が示されている。昼間は人工雑音が多少入るが、夜間は銀河雑音によって背景雑音が決まるとしている。なお、そのレベルは約 1E-20W/m²/Hz 程度で、ITU-R P. 372-8 モデルの Quiet Rural 環境のレベル(0.5E-20W/m²/Hz)よりも、約 2 倍 (3dB 程度) 高い結果となっている。

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、かつ伝送線路の損失を無視すれば、この値はアンテナの開放端電圧 heE_s (he : アンテナ実効長) の半分に相当するものと考えられる。したがって、入射電界強度 E_s は

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

で、求められる。ただし、この式は整合回路や伝送系等に大きく依存する。

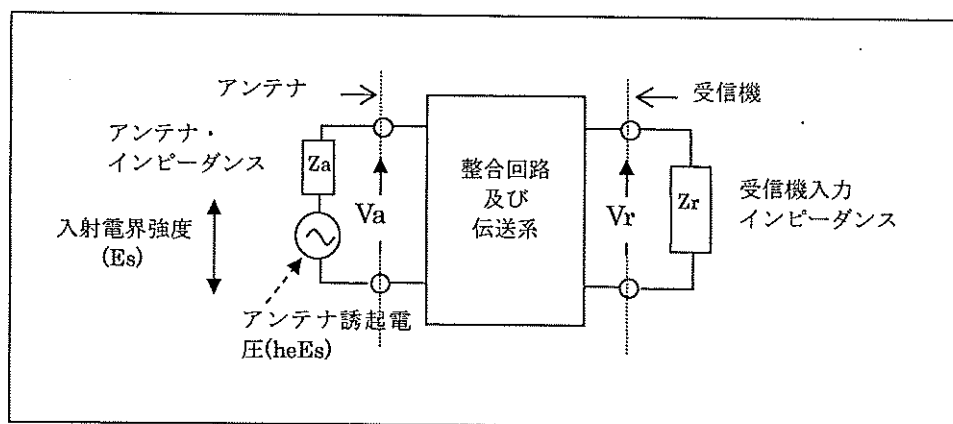


図 3-2 受信機の等価モデル

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 $\lambda/4$ (λ : 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。2MHz、5MHz、10MHz、15MHz、30MHz において k 値はそれぞれ、-22dB/m、-14dB/m、-8dB/m、-4dB/m、2dB/m 程度となる。

以上の考察から、表 3-1 の受信機感度 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。ただし、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等)の代表値についても記載した。

表 3-4 無線局等の受信機感度相当の信号波電界強度等

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

以上の結果をまとめると、各無線局等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 -14dB $\mu V/m$ ～16dB $\mu V/m$ 程度
 短波放送は 4dB $\mu V/m$ 程度
 アマチュア無線局はこれより低く -25dB $\mu V/m$ ～-16dB $\mu V/m$ 程度
 電波天文の検出可能な最小変化レベルはさらに低く -44dB $\mu V/m$ 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 0dB $\mu V/m$ ～10dB $\mu V/m$ (10kHz) 程度である。

したがって、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。したがって、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解る。

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）。

第13表 住宅の所有の関係(6区分), 建て方(2区分), 敷地面積(11区分)別一戸建及び長屋建の住宅数—距離帯

敷地面積 (11区)			一戸建・長屋建の住宅総数		一戸建 Detached houses										長屋建 Tenement-houses									
					総数	持ち家	借家 Rented houses						総数	持ち家	借家 Rented houses									
							総数	公営の借家	公団・公社の借家	民営借家(設備専用)	民営借家(設備共用)	給与住宅			総数	公営の借家	公団・公社の借家	民営借家(設備専用)	民営借家(設備共用)	給与住宅				
																					Issued houses			
Site area (11 groups)			Total	Total 1)	Owned houses	Total	(a)	(b)	(c)	(d)	Issued houses	Total 1)	Owned houses	Total	(a)	(b)	(c)	(d)	Issued houses					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	354,000	5,760,100	5,476,600	4,970,200	473,300	4,900	0	434,200	34,200	283,500	100,400	173,100	24,000	4,200	131,200	1,000	12,800					
	50	清	74	259,700	259,700	153,200	106,500	1,200	-	102,500	2,800	94,300	13,800	80,500	9,900	1,900	64,800	700	3,200					
	75	未	99	553,100	490,800	376,600	114,200	700	-	108,000	5,500	62,200	15,900	46,400	6,000	1,300	35,000	100	3,900					
	100	未	149	773,400	730,100	633,100	97,000	800	-	69,800	6,300	43,300	19,500	23,800	3,700	600	16,900	-	2,600					
	150	未	199	1,311,100	1,270,500	1,194,200	76,300	1,600	0	67,100	7,600	40,600	25,200	15,400	3,100	200	9,700	-	2,200					
	200	未	299	1,073,700	1,055,300	1,011,800	43,600	500	-	37,300	5,800	18,400	14,700	3,800	500	100	2,800	0	400					
	300	未	499	760,800	748,700	727,400	21,300	-	-	17,900	3,400	12,100	9,300	2,900	700	0	1,500	100	500					
	500	未	699	484,800	482,800	472,800	10,000	0	-	8,200	1,800	1,900	1,500	400	0	-	400	-	-					
	700	未	999	147,400	147,100	144,900	2,300	0	-	1,800	500	200	200	0	-	-	0	-	-					
	1,000	未	1,499	140,200	140,000	138,500	1,500	-	-	1,200	300	200	200	-	-	-	-	-	-					
	1,500 m ²	以上	and over	70,300	70,200	69,900	300	-	-	300	100	100	100	-	-	-	-	-	-					
	1 住宅当たり	敷地面積 (m ²)	AV-3	48,400	48,300	47,900	400	-	-	300	100	100	100	-	-	-	-	-	-					
	0	10 km	2)	217	224	235	106	97	100	102	157	85	122	64	71	61	61	51	81					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	81,400	362,300	333,600	296,600	31,700	100	-	28,800	2,800	28,800	16,100	11,300	-	-	10,400	200	700					
	50	清	74	69,000	69,000	55,100	13,900	-	-	13,400	500	12,400	4,800	7,600	-	-	7,200	200	200					
	75	未	99	82,700	77,800	69,600	8,200	0	-	7,400	700	4,900	3,000	1,900	-	-	1,600	0	300					
	100	未	149	67,400	64,300	60,100	4,200	100	-	3,600	500	3,100	2,200	900	-	-	800	-	100					
	150	未	199	60,600	57,300	54,500	2,700	0	-	2,400	400	3,300	2,600	600	-	-	500	-	100					
	200	未	299	31,900	29,700	28,400	1,300	-	-	1,100	200	2,200	2,000	200	-	-	200	-	0					
	300	未	499	19,500	18,200	17,400	800	-	-	600	200	1,200	1,200	100	-	-	100	-	-					
	500	未	699	9,200	8,900	8,600	400	-	-	300	100	200	200	100	-	-	100	-	-					
	700	未	999	1,900	1,900	1,800	100	-	-	100	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1,000	未	1,499	800	800	700	100	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1,500 m ²	以上	and over	300	300	300	0	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1 住宅当たり	敷地面積 (m ²)	AV-3	200	200	200	100	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	10	20 km	2)	106	108	111	79	95	-	74	138	80	100	51	-	-	51	26	69					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	123,800	1,177,500	1,095,500	994,100	91,500	100	-	83,800	7,600	82,000	34,700	44,100	700	1,700	37,900	200	3,700					
	50	清	74	94,300	94,300	67,200	27,100	-	-	26,100	1,000	29,500	5,800	23,700	300	700	21,400	200	1,100					
	75	未	99	208,700	190,000	164,400	25,600	0	-	18,700	1,800	18,700	6,700	12,000	300	600	10,000	0	1,100					
	100	未	149	232,200	221,000	203,900	17,100	0	-	15,600	1,400	11,200	6,800	4,400	0	400	3,600	-	500					
	150	未	199	267,700	258,200	246,600	11,600	-	-	10,000	1,600	9,500	6,600	2,900	-	-	1,900	-	1,000					
	200	未	299	153,200	147,800	142,500	5,300	-	-	4,500	800	5,300	4,700	600	-	100	500	-	0					
	300	未	499	98,000	94,100	91,400	2,700	-	-	2,100	500	4,000	3,500	400	-	-	400	-	0					
	500	未	699	54,200	53,700	52,300	1,400	-	-	1,100	300	500	500	-	-	-	-	-	-					
	700	未	999	13,000	13,000	12,500	400	-	-	300	100	100	100	-	-	-	-	-	-					
	1,000	未	1,499	7,900	7,900	7,800	200	-	-	100	100	-	100	-	-	-	-	-	-					
	1,500 m ²	以上	and over	3,600	3,600	3,500	100	-	-	100	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1 住宅当たり	敷地面積 (m ²)	AV-3	2,000	2,000	2,000	0	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	20	30 km	2)	142	146	152	89	93	-	85	131	82	114	56	50	61	54	27	75					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	51,900	1,117,300	1,061,800	967,300	87,600	400	-	79,800	7,400	55,500	19,300	34,200	3,300	1,100	27,600	0	2,200					
	50	清	74	35,200	35,200	28,400	7,800	0	-	17,600	500	16,800	1,200	15,600	2,000	800	12,200	-	600					
	75	未	99	106,000	94,100	72,400	21,700	200	-	20,300	1,200	11,900	2,600	9,200	1,000	200	7,500	0	600					
	100	未	149	176,900	168,000	148,400	19,600	100	-	17,900	1,600	8,900	4,100	4,800	400	100	3,800	-	600					
	150	未	199	306,500	298,400	283,400	15,000	200	-	12,900	1,900	8,100	5,000	3,100	0	-	2,900	-	200					
	200	未	299	207,900	203,200	195,600	7,600	-	-	6,500	1,100	4,700	3,800	800	-	0	700	-	100					
	300	未	499	146,000	143,500	139,500	4,000	-	-	3,300	800	2,500	2,200	300	-	-	300	-	0					
	500	未	699	71,000	70,300	69,100	1,200	-	-	1,000	200	600	400	200	-	-	200	-	-					
	700	未	999	16,800	16,800	16,600	200	-	-	200	0	-	-	-	-	-	-	-	-					
	1,000	未	1,499	14,200	14,100	14,000	100	-	-	100	0	100	100	-	-	-	-	-	-					
	1,500 m ²	以上	and over	6,600	6,600	6,600	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-					
	1 住宅当たり	敷地面積 (m ²)	AV-3	4,600	4,600	4,500	100	-	-	100	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	30	40 km	2)	181	186	193	102	90	-	99	137	88	132	64	48	46	65	56	78					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	45,100	1,242,800	1,187,500	1,078,100	104,100	1,300	-	96,600	6,300	55,300	15,200	38,200	8,500	1,300	26,000	100	2,300					
	50	清	74	28,400	28,400	23,200	5,200	400	-	20,000	200	16,800	1,300	15,400	2,800	400	11,700	-	500					
	75	未	99	76,600	63,900	40,800	23,200	100	-	22,400	700	12,700	1,900	10,700	2,300	500	6,900	0	1,000					
	100	未	149	156,900	147,500	123,300	24,200	100	-	22,800	1,300	9,400	3,100	6,200	1,800	200	3,900	-	400					
	150	未	199	325,400	316,000	297,700	18,200	400	-	16,500	1,400	9,400	5,500	4,000	1,200	200	2,300	-	300					
	200	未	299	277,600	275,000	264,800	10,200	300	-	8,500	1,400	2,900	1,900	1,000	200	0	600	-	100					
	300	未	499	185,800	184,000	179,100	4,800	-	-	4,200	700	1,800	1,000	800	200	0	400	100	0					
	500	未	699	97,900	97,800	95,500	2,100	0	-	1,700	400	300	200	100	0	-	0	-	-					
	700	未	999	27,400	27,400	27,200	300	-	-	200	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1,000	未	1,499	23,500	23,400	23,000	400	-	-	300	100	100	100	-	-	-	-	-	-					
	1,500 m ²	以上	and over	11,500	11,500	11,500	0	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	1 住宅当たり	敷地面積 (m ²)	AV-3	7,500	7,500	7,500	100	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-					
	40	50 km	2)	209	215	225	107	106	-	102	175	85	126	69	75	74	66	192	74					
東京70キロ圏 70km, radius of Tokyo			数 Total 2)																					
総	50 m ²	未	28,800	978,400	941,500	858,500	79,400	1,200	0	73,400	4,800	36,900	11,900	24,000	4,700	0	17,500	300	1,400					
	50	清	74	18,600	18,600	15,100	3,500	200	-	14,500	300	10,200	500	9,800	2,800	0	6,500	300	200					
	75	未	99	45,600	37,400	19,900	17,500	200	-	16,800	500	8,200	1,300	6,900	700	0	5,600	0	600					
	100	未	149	89,800	83,200	67,900	15,300	200	-	14,500	600	6,500	2,600	3,900	300	-	3,100	-	500					

1,500 m ² 以上 and over	11,400	11,400	11,300	100	-	-	100	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1 住宅当たり敷地面積 (m ²) AV-3	260	266	280	117	109	100	112	-	193	91	137	68	68	53	68	28	77
50 総																	
50 m ² 未済 敷 Total 2)	479,900	468,200	421,200	43,600	1,000	-	39,800	-	2,800	13,700	2,000	11,300	2,300	-	7,300	0	1,700
50 m ² 未済 Under	12,500	7,700	1,200	6,400	200	-	6,100	-	100	4,800	100	4,700	900	-	3,600	0	300
50 ~ 74	17,400	14,300	5,200	9,100	100	-	8,700	-	300	3,100	100	3,000	900	-	2,000	-	100
75 ~ 99	27,500	25,500	16,800	8,700	200	-	8,000	-	500	2,000	300	1,700	200	-	1,000	-	400
100 ~ 149	80,500	78,600	70,400	8,200	400	-	7,300	-	500	1,900	900	1,000	200	-	400	-	400
150 ~ 199	102,600	101,900	95,700	6,200	0	-	5,400	-	700	700	400	400	100	-	100	-	400
200 ~ 299	76,900	76,200	73,500	2,800	-	-	2,400	-	400	700	100	500	-	-	100	-	100
300 ~ 499	74,200	74,200	72,600	1,600	-	-	1,400	-	200	100	0	0	-	-	0	-	400
500 ~ 699	27,000	27,000	26,500	400	-	-	300	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-
700 ~ 999	30,000	29,900	29,800	100	-	-	100	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1,000 ~ 1,499	17,300	17,300	17,200	100	-	-	100	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1,500 m ² 以上 and over	12,300	12,300	12,300	0	-	-	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1 住宅当たり敷地面積 (m ²) AV-3	359	367	391	127	95	-	123	-	191	82	144	71	64	-	62	23	122
60 総																	
50 m ² 未済 敷 Total 2)	401,800	390,600	354,600	35,300	900	-	32,100	-	2,400	11,300	1,100	10,000	4,600	-	4,600	0	800
50 m ² 未済 Under	10,400	6,600	1,300	5,300	400	-	4,800	-	100	3,800	100	3,700	1,200	-	2,300	0	300
50 ~ 74	16,000	13,300	4,300	9,000	100	-	8,600	-	300	2,700	100	2,600	900	-	1,400	0	300
75 ~ 99	22,900	20,700	12,700	7,900	100	-	7,400	-	400	2,200	300	1,900	1,100	-	700	-	200
100 ~ 149	52,100	50,400	44,900	5,500	300	-	4,600	-	700	1,700	300	1,400	1,200	-	100	-	100
150 ~ 199	71,900	71,600	68,000	3,500	-	-	3,100	-	400	400	200	200	0	-	-	-	-
200 ~ 299	66,500	66,200	64,200	2,100	-	-	1,800	-	300	300	100	200	200	-	100	-	-
300 ~ 499	76,100	76,100	74,700	1,400	-	-	1,200	-	200	100	100	0	-	-	-	-	-
500 ~ 699	28,300	28,300	28,100	300	-	-	200	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
700 ~ 999	31,400	31,400	31,100	300	-	-	300	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1,000 ~ 1,499	15,100	15,100	15,000	0	-	-	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1,500 m ² 以上 and over	10,300	10,300	10,300	0	-	-	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
1 住宅当たり敷地面積 (m ²) AV-3	386	395	421	125	72	-	123	-	170	89	228	73	87	-	61	44	67

1) 住宅の所有の關係「不詳」を含む。

2) 敷地面積「不詳」を含む。

(a) Owned by local government

(b) Owned by public corporation

(c) Owned privately (facilities used exclusively)

(d) Owned privately (facilities used jointly)

1) Includes "Tenure of dwelling not reported".

2) Includes "Site area not reported".

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（鉄筋コンクリート建築物及び木造家屋）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、平行二線の電力線が六畳間相当の構造物（建築物）に壁面に沿って配線され、電力線の片側端子に 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 5-25 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 5-26 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、誘電正接は $\tan \delta = 0.0462$ 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気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、比誘電率を 4.0、導電率を約 10^{-3} 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。

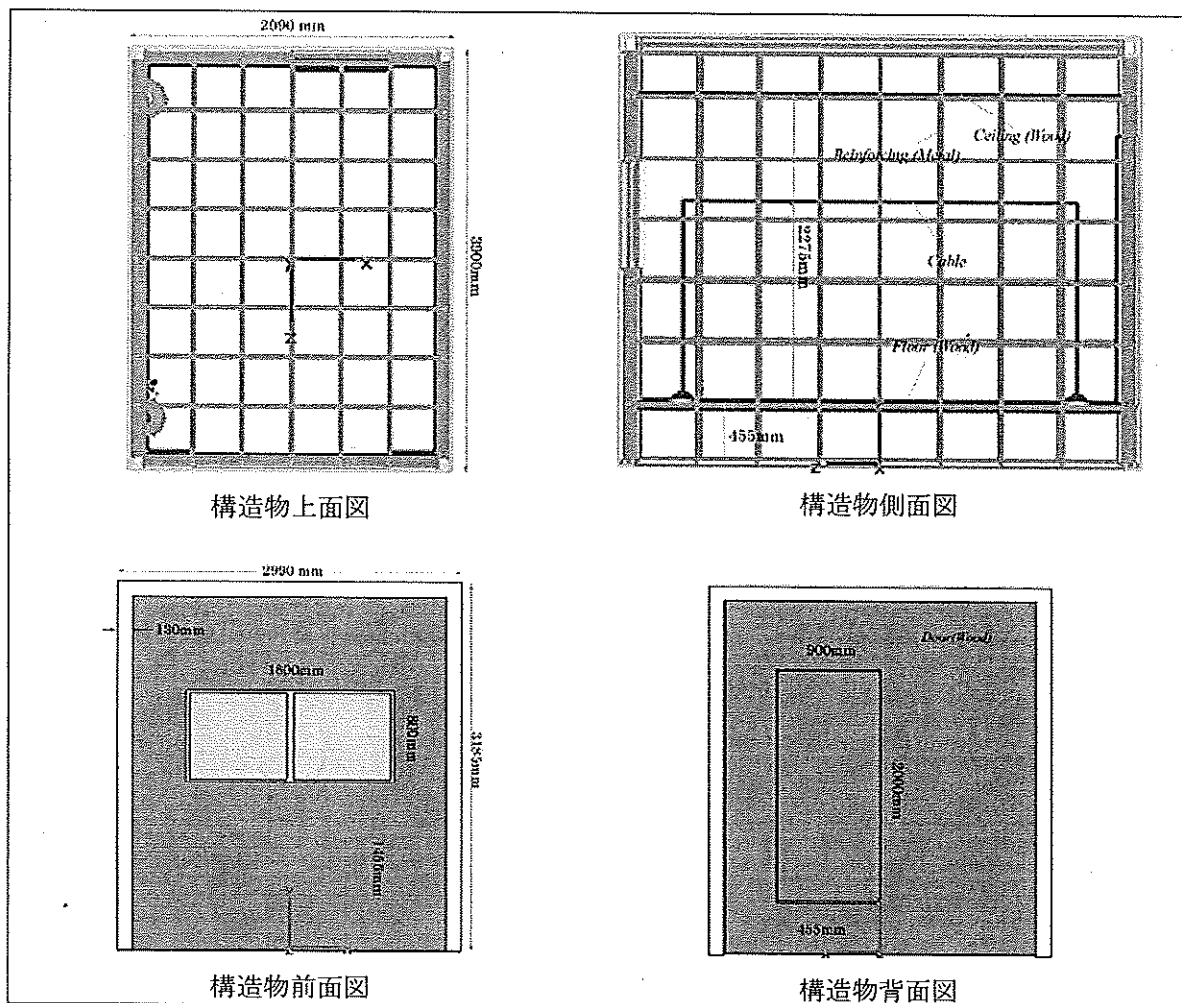


図 5-25 計算モデルの構造（鉄筋コンクリート構造物）

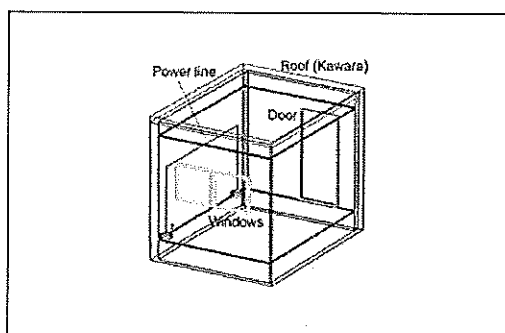


図 5-26 木造構造物の概観

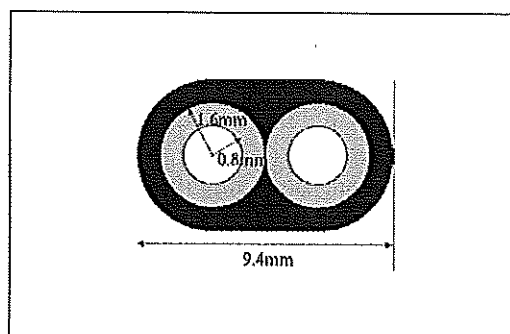


図 5-27 電力線の断面寸法

電力線は、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 5-25 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。電力線は、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 5-27 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 150Ω 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、それぞれ $L=1\text{mH}$ 、 $R=10\Omega$ 、 $C=11\text{nF}$ である。電力線のもう一方の端子の 2 線はそれぞれ 150Ω 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 $1\text{MHz}\sim 100\text{MHz}$ とした。入力端子に印加する波形は 100MHz 帯域相当の立ち上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 0.8mm ）を取り、構造物の容積部分では最大セル寸法（ 305mm ）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それぞれ適用する。

FI 法による計算は、構造物がなく、電力線の場合についても行う。構造物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、ここでは構造物がある場合における放射電界強度の最大値とな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）

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 5-5 に構造物中心からの距離 10m（近傍界）及び距離 150m（ 2MHz 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 10MHz のときに現れ、その値は近傍界で 23dB 、遠方界で 22dB である。逆に減衰量の大きいのは 30MHz のときの 31dB （近傍界）及び 29dB （遠方界）であることがわかった。近傍界と遠方界の減衰量を比較すると、遠方界では $0\text{dB}\sim 2\text{dB}$ 程度減衰量が小さくなっていることがわかる。

表 5-5 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）

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 5-26 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）の誘電率及び誘電正接の値を用いた。それぞれ 5～6.5, 0.007～0.012（1MHz 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 5-6 に構造物中心よりの距離 10m（近傍界）および距離 150m（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 30MHz のときに現れ、その値は近傍界で 6.8dB, 遠方界で 5.0dB である。逆に、減衰量の大きいのは、近傍界では 2MHz のときの 22dB で、遠方界では 5MHz における 16dB 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 0dB～7dB 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 5-6 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 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築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研究会資料 2-3 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.

と判断できた。しかしながら、周波数 15MHz～30MHz においては、漏えい電磁界強度が周囲雑音を上回る可能性があることがわかった。

したがって、周波数 15MHz～30MHz について許容値（表 2 の黒太枠で囲った数値）の見直しが必要と考えられた。

3.2.5 15MHz～30MHz の許容値の見直し

既に記載したように、周波数 15MHz～30MHz に関する許容値の見直しが必要なため、以下のような方針で、実測結果に基づいて許容値の修正案を作成した（参考資料 3）。

- (1) 住宅環境の周囲雑音レベルについて、実測値（図 3）を基準にして許容値を算出する。
ただし、周囲雑音の代表値として、図 3 の 3 本のグラフの中の Y のグラフ（YRP での実測値のグラフ）から、周波数帯 2MHz～15MHz では 28dB μ V/m、15MHz～30MHz では 18dB μ V/m を採用する。
- (2) 木造建造物の遮へい効果については、各周波数帯内で低い値を採用する。

住宅環境の周囲雑音に対応する高速 PLC 装置のコモンモード電流の算出結果を表 3 に示す。

許容値算出において住宅環境を基準にした理由は、離隔距離 10m の住宅環境では、田園環境（離隔距離 30m）に比べて、隣接する無線局空中線に強い PLC 妨害波が到達するためである。また、木造建造物を基準にした理由は、他の構造材の住宅などに比べて遮へい減衰量が小さいため、電波の漏えいが一番大きいためである。住宅環境における木造住宅から漏えいする PLC 妨害波を基準にして許容値を算出すれば、他の商業環境、田園環境のいずれにおいても、2MHz～30MHz の周波数において、高速 PLC 装置からの漏えい電波を周囲雑音以下に抑えることができることになる（参考資料 3）。

表 3 の検討結果を考慮して、以下の値を許容値修正案として採用することとした。

2～15 MHz <QP>Icom=30 dB μ A（表 2 と同じ）

15～30 MHz <QP>Icom=20 dB μ A（表 2 より 10dB 低減）

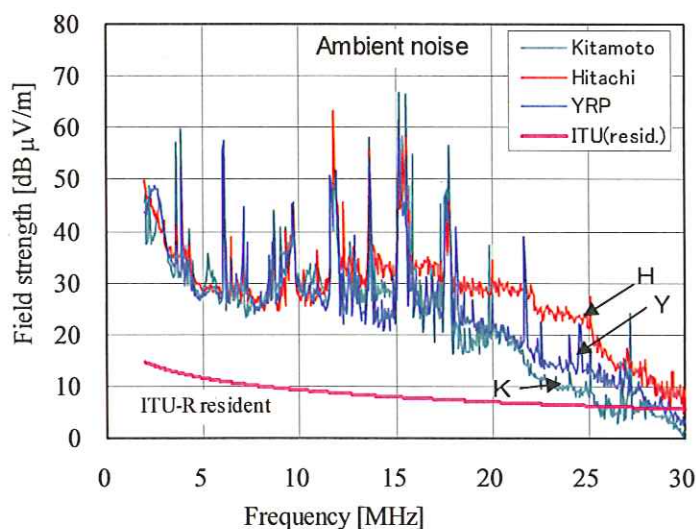


図 3 住宅地における周囲雑音の実測値

	通信端子 ^(注2)	0.15 MHz～0.5 MHz <QP> 40～30 dB μ A ^(注1) <Av> 30～20 dB μ A ^(注1) ISN2 を使用	
		0.5 MHz～30 MHz <QP> 30 dB μ A <Av> 20 dB μ A ISN2 を使用	
放射妨害波	距離 10m	30 MHz～230 MHz <QP> 30 dB μ V/m	
		230 MHz～1000 MHz <QP> 37 dB μ V/m	

<QP>及び<Av>は、それぞれ準尖頭値及び平均値を表す。

ISN1 及び ISN2 は、それぞれ電源端子用及び通信端子用のインピーダンス安定化回路網を表す。

AMN は、擬似電源回路網を表す。

周波数範囲の境界においては、低い方の許容値を適用する。

(注1) 許容値は、周波数の対数に対して直線的に減少するものとする。

(注2) 当分の間、通信端子に関する許容値の適用を延期する。

3 測定設備

高速 PLC 装置の電磁妨害波の測定に使用する設備は、以下のとおりとする。

3.1 測定用受信機

準尖頭値測定用受信機は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申（「諮問第 3 号『国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について』のうち『無線妨害波及びイミュニティ測定装置の技術的条件』の一部答申」をいう。以下同じ。）の 2「周波数 9kHz から 1000MHz までの準尖頭値測定用受信機」に規定された特性を満足すること。

平均値測定用受信機は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 4「周波数 9kHz から 1000MHz までの平均値測定用受信機」に規定された特性を満足すること。

3.2 伝導妨害波測定設備

3.2.1 擬似電源回路網

擬似電源回路網(AMN)は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 11.3「50 Ω /50 μ H V 型擬似電源回路網(150kHz から 30MHz まで)」に規定された特性を満足すること。

3.2.2 インピーダンス安定化回路網

(a) 電源端子用インピーダンス安定化回路網 (ISN1)

電源端子用インピーダンス安定化回路網 (ISN1) は、以下の特性を満足すること。

- ① 被測定高速 PLC 装置を接続するための供試機器端子、AC 電源端子及び接地端子を備えていること。

- ② 供試機器端子から見たコモンモードインピーダンスは、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $25\Omega \pm 3\Omega$ 、位相角 $0^\circ \pm 20^\circ$ であること。
- ③ 供試機器端子から見たディファレンシャルモードインピーダンスは、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $100\Omega \pm 10\Omega$ 、位相角 $0^\circ \pm 25^\circ$ であること。
- ③ 供試機器端子から見た LCL は、周波数範囲 150kHz～30MHz において、 $16\text{dB} \pm 3\text{dB}$ であること。
(注) LCL の定義は、ITU-T 勧告 G.117 (1996) を参照。
- ④ AC 電源端子に接続された対向高速 PLC 装置（補助装置）から発生する信号波（ディファレンシャルモード）がコモンモードに変換されて測定結果に現れることを防ぐために、補助装置からの信号波を 20dB 以上減衰すること。
- ⑤ 補助装置から発生するコモンモード電流が供試機器端子に現れる割合は、150kHz～30MHz の範囲において、 -35dB 以下であること。

(b) 通信端子用インピーダンス安定化回路網(ISN2)

通信端子用インピーダンス安定化回路網(ISN2)は、平成 11 年度電気通信技術審議会答申（「諮問第 3 号『国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について』のうち『情報技術端末からの妨害波の許容値と測定法』の一部答申」をいう。）の 9.5「通信ポートにおける伝導妨害波の測定法」に規定された特性を満足すること。

3.2.3 電流プローブ

電流プローブは、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 12.1「電流プローブ」に規定された特性を満足すること。

3.3 放射妨害波測定設備

3.3.1 測定場

周波数 30MHz～1000MHz の測定に使用する放射妨害波測定場は、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 16「周波数 30MHz から 1000MHz までの無線周波妨害波測定用試験場」に規定された測定距離 10m に使用する測定場の特性を満足すること。

なお、野外測定場の代わりに電波無反射室（金属大地面付き）を利用する場合は、電波無反射室は平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 16 に規定された特性を満足すること。

3.3.2 測定用アンテナ

周波数 30MHz～1000MHz の測定に使用するアンテナは、平成 10 年度電気通信技術審議会答申の 15「無線周波放射妨害波測定用アンテナ」のうち、15.4「30MHz から 300MHz までの周波数帯」及び 15.5「300MHz から 1000MHz までの周波数帯」に規定された特性を満足すること。

4 測定法

高速 PLC 装置の電磁妨害波の測定法は、以下のとおりとする。