

電力線搬送通信設備に関する 過去の審議概要

情報通信委員会技術部会

CISPR委員会（平成18年）

高速電力線搬送通信設備小委員会

主任 杉浦行

電波利用環境委員会（平成23年）

高速電力線搬送通信設備作業班

主任 上芳夫

電力線搬送通信設備 1

＜電波法＞ 百条1項一号

電線路に10kHz以上の高周波電流を通ずる電信、電話その他の通信設備を設置しようとする者は許可を受けること。

＜電波法施行規則＞ 第四十四条

電波法第百条第1項第一号の規定による許可を要しない通信設備は、次に掲げるものとする。

一 **電力線搬送通信設備**(電力線に10kHz以上の高周波電流を重畳して通信を行う設備をいう。)であつて、次に掲げるもの

- (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**を通ずる電力線を使用するものであつて、その型式について総務大臣の指定を受けたもの ---- **型式指定** ----

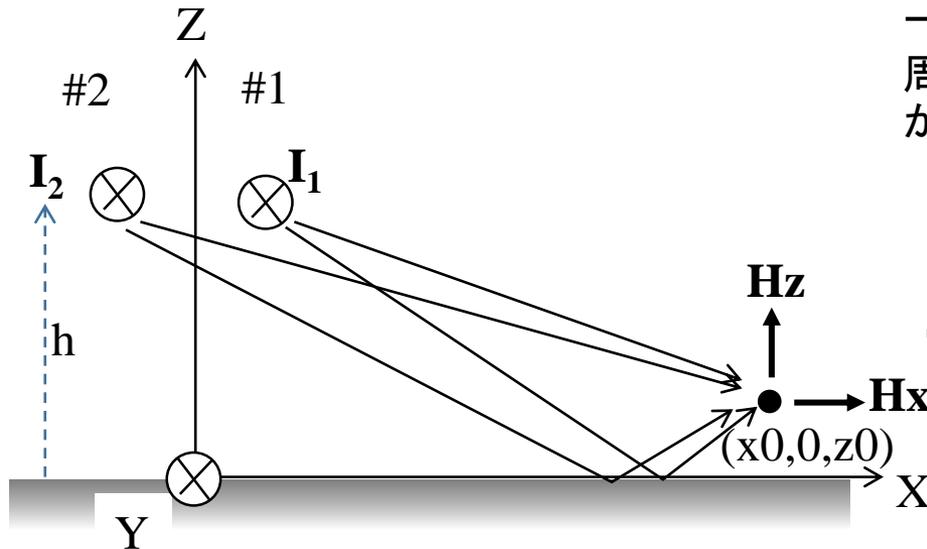
電力線搬送通信: power-line communication (PLC, PLT, BPL)

電力線搬送通信設備 2

型式指定対象設備

- 1 搬送波が10kHz～450kHzのもの（搬送式インターホン、一般搬送式デジタル伝送装置、特別搬送式デジタル伝送装置）
- 2 一般の需要に応じた電気の供給に係る分電盤であつて、一般送配電事業者が維持し、及び運用する電線路と直接に電氣的に接続され引込口において設置されるものから負荷側において2MHzから30MHzまでの周波数の搬送波により信号を送信し、及び受信する電力線搬送通信設備（以下「**広帯域電力線搬送通信設備**」という。）であつて、次に掲げるもの
 - (1) 屋内広帯域電力線搬送通信設備（屋内においてのみ使用する広帯域電力線搬送通信設備をいう。以下同じ。） ----**屋内PLC**----
 - (2) コンセント（家屋の屋外に面する部分に設置されたコンセントであつて、屋内電気配線と直接に電氣的に接続されたものに限る。）に直接接続される屋外の電力線又はこの電力線の状態と同様の電力線（屋内電気配線と直接に電氣的に接続されたものに限る。）を使用し、かつ、屋内の電力線を使用する広帯域電力線搬送通信設備 ----**屋外PLC**----

電力線を流れる高周波電流



一般に、電力線 #1と#2を流れる高周波電流は大きさも異なり、位相差が 180° でない。

$$I_1 \neq -I_2$$

したがって、電力線の各線を流れる電流は次式で表される

$$\begin{aligned} I_1 &= I_d + I_{c1} \\ I_2 &= -I_d + I_{c2} \end{aligned}$$

ディファレンシャルモード電流成分 I_d :

2線を振幅が同じで逆方向に流れる電流成分

コモンモード電流成分 I_{c1}, I_{c2} :

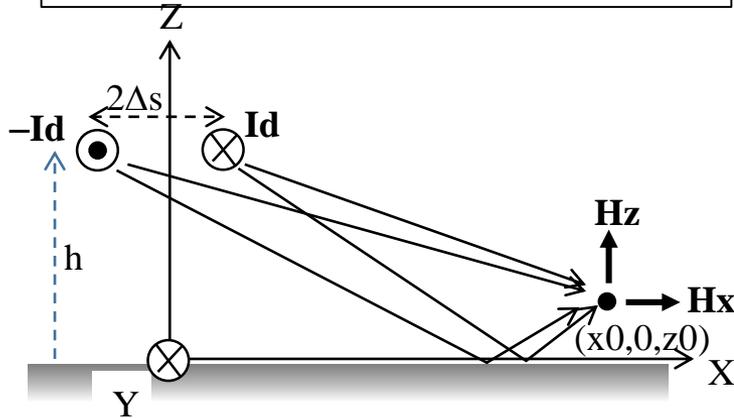
2線を同方向に流れる電流成分

I_{c1}, I_{c2} の大きさは線路、信号源、負荷、周囲環境に依存

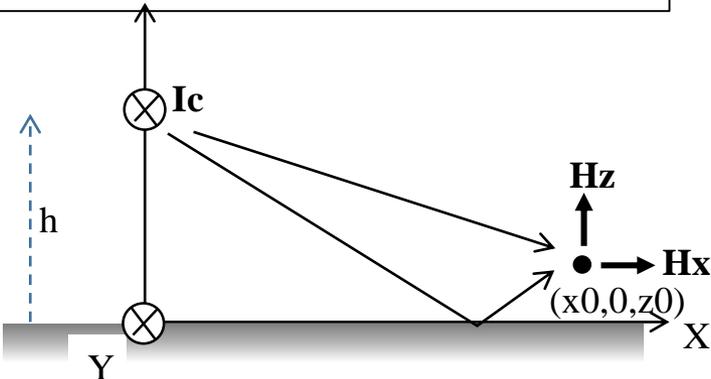
$$2線を流れるコモンモード電流: \quad I_c \equiv I_{c1} + I_{c2} = I_1 + I_2$$

PLC設備から発生する電磁界

ディファレンシャルモード電流成分
(2線を逆方向に流れる電流) I_d



コモンモード電流成分
(2線を同方向に流れる電流) I_c



<低周波近似>

$$R_{0d} = \sqrt{x_0^2 + (z_0 - h)^2}, \quad R_{0r} = \sqrt{x_0^2 + (z_0 + h)^2}$$

$$\delta = \frac{\Delta s}{x_0} (\ll 1), \quad \varepsilon_d = \frac{x_0 \Delta s}{R_{0d}^2}, \quad \varepsilon_r = \frac{x_0 \Delta s}{R_{0r}^2}$$

$$H_{0d} = I_d \frac{e^{-jkR_{0d}}}{R_{0d}}, \quad H_{0r} = -I_d \frac{e^{jkR_{0r}}}{R_{0r}}$$

$$H_x = H_{0d} \frac{z_0 - h}{R_{0d}} 2\varepsilon_d (2 + jkR_{0d}) + H_{0r} \frac{z_0 + h}{R_{0r}} 2\varepsilon_r (2 + jkR_{0r})$$

$$H_z = -H_{0d} \frac{x_0}{R_{0d}} [2\varepsilon_d (2 + jkR_{0d}) - 2\delta] - H_{0r} \frac{x_0}{R_{0r}} [2\varepsilon_r (2 + jkR_{0r}) - 2\delta]$$

ディファレンシャルモード電流の電磁界は
大略、 δ に比例して低減される

<低周波近似>

$$H_{0d} = I_c \frac{e^{-jkR_{0d}}}{R_{0d}}, \quad H_{0r} = -I_c \frac{e^{-jkR_{0r}}}{R_{0r}}$$

$$H_x \approx H_{0d} \frac{z_0 - h}{R_{0d}} + H_{0r} \frac{z_0 + h}{R_{0r}}$$

$$H_z \approx -H_{0d} \frac{x_0}{R_{0d}} - H_{0r} \frac{x_0}{R_{0r}}$$

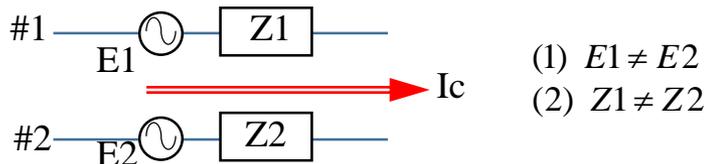
コモンモード電流の電磁界は 顕著

コモンモード電流の発生

平衡2線路

平衡線路： 大地等の基準物体に対する2線の線路特性が等しい

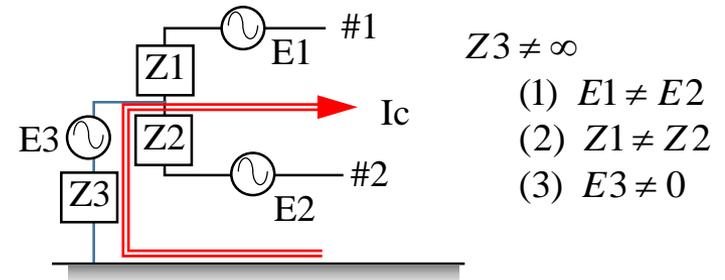
(1) 線路途中に不平衡電源、
不平衡負荷が存在



(例) 直列分岐線、片切スイッチ
折り返しダイポールアンテナ

(内田・虫明「超短波空中線」コロナ社, 1955)

(2) 線路終端に不平衡電源、
不平衡負荷が存在



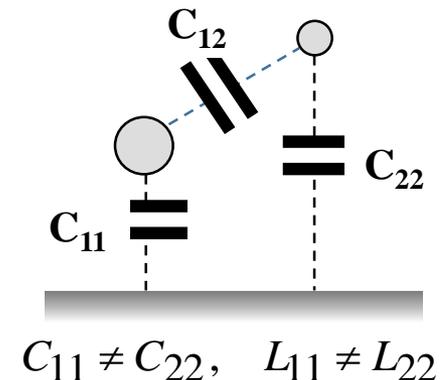
(Sugiura, Kami, IEEE EMC-54, pp. 466-473, 2012)

不平衡2線路

大地等の基準物体に対する2線の線路特性が異なる

- (1) 平行2線の形状・材質・配置が異なる
- (2) 近接物体の影響が2線で異なる

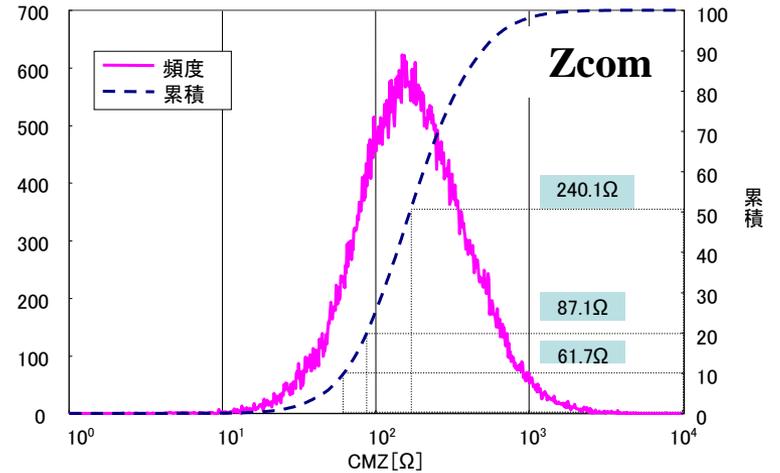
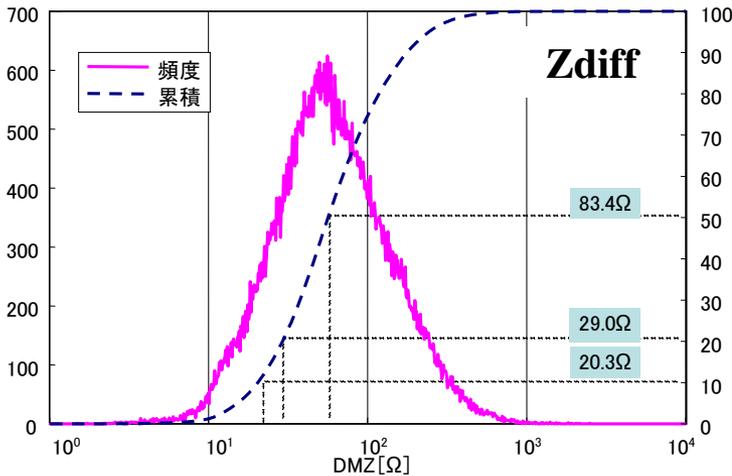
(内田・虫明「超短波空中線」コロナ社, 1955)



住宅内電力線の特徴

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)報告書

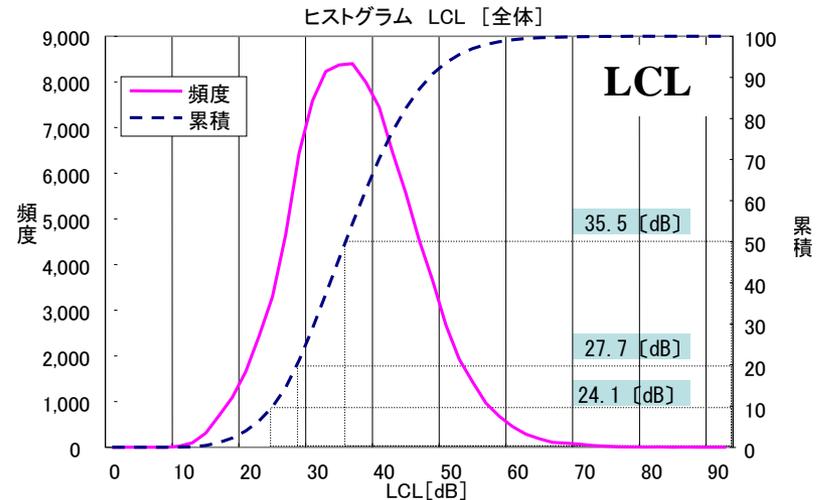
線路インピーダンス



不平衡特性

LCL (Longitudinal conversion loss)
 コモンモード印加電圧 E_c によって
 ディファレンシャルモード負荷 Z_d に発生する
 電圧 V_d の比 $20 \log(E_c/V_d)$

| | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 下段の値以上 となる割合(%) | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 |
| LCL(dB) | 15.70 | 17.57 | 18.97 | 20.05 | 20.92 |



広帯域電力線搬送通信設備の測定法

H18 情報通信審議会 CISPR委員会報告

答申では

高速電力線搬送通信設備 = 送受信装置 (PLC装置) + 電力線

法令作成時に

「高速」を「広帯域」に変更

「送受信装置」を「電力線搬送通信設備」に変更

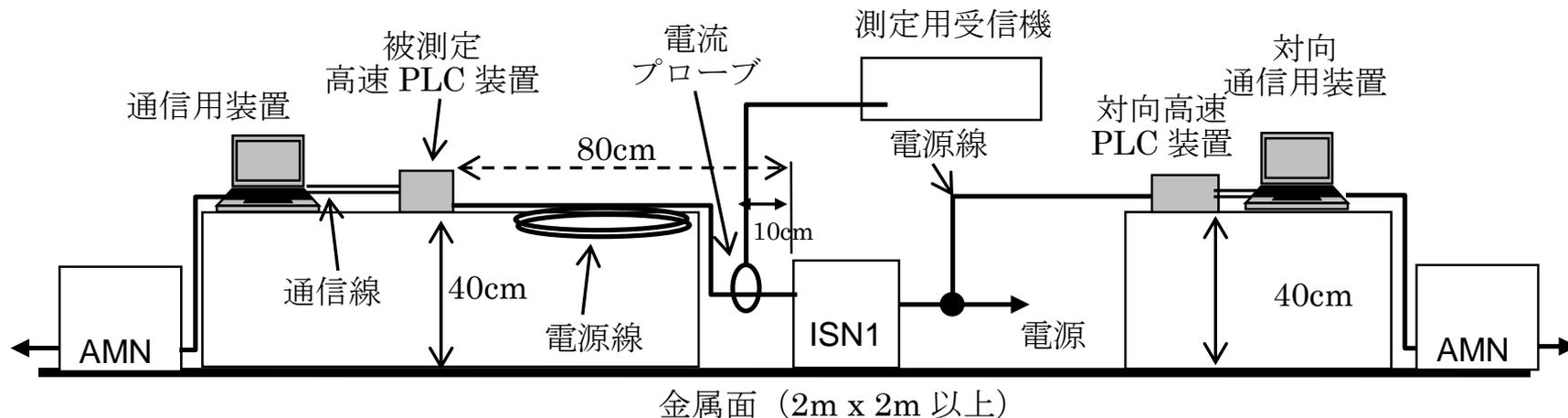


図2 電源線端子妨害波電流の測定 (通信状態)

電流プローブでPLC装置の電源線に流れるコモンモード電流を測定

ISN1: 住宅内電力線特性を模擬する回路網

(コモンモード電流が極めて発生し易い特性 $Z_{diff}=100\Omega$, $Z_{com}=25\Omega$, $LCL=16dB$)

屋内PLC装置の許容値の検討

PLC装置の妨害波の規制方法

- (1) 周波数帯域、信号電力密度、スプリアス電力密度などの特性を規定
- (2) 模擬家屋、模擬電力線にPLC装置を設置して、漏えい電磁界を制限
- (3) 電力線模擬回路に流れるコモンモード電流を制限

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)における検討

- (1) 短波帯の無線利用と受信レベル。 周囲雑音レベル
- (2) 妨害波の発生
- (3) 妨害波の電波伝搬
- (4) 中遠距離における電波伝搬
- (5) 家屋・ビルによる遮蔽効果
- (6) 配電系の伝送特性
- (7) 許容値及び測定法

情報通信審議会 CISPR委員会 PLC小委員会 (H18)

- (1) 許容値のみなおし

短波帯無線局の信号レベルと周囲雑音

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)報告書

短波帯無線業務

MF/HF無線設備(GMDSS)、沿岸小型船舶通信、海上移動業務、航空管制等、国際対空通信業務、短波放送、アマチュア無線、電波天文

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 $-14 \sim 16$ dB μ V/m程度、短波放送は 4 dB μ V/m程度
アマチュア無線局は $-25 \sim -16$ dB μ V/m程度、電波天文は -44 dB μ V/m程度

周囲雑音レベル

ITU-R P.372-8の人工雑音レベル

| | 等価雑音電界強度 E_n (dBmV/m ($b=10$ kHz)) | | | |
|-----------------|--|------|-------|-------|
| | 2MHz | 3MHz | 10MHz | 30MHz |
| 商業環境 | 19.0 | 17.6 | 13.6 | 9.9 |
| 住宅環境 | 14.7 | 13.3 | 9.3 | 5.6 |
| 田園環境 | 9.4 | 8.0 | 4.0 | -0.3 |
| 極めて雑音の 少ない環境 | -4.5 | -6.0 | -10.5 | -14.6 |

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。

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

屋内配電線から発生する電磁界強度

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)報告書

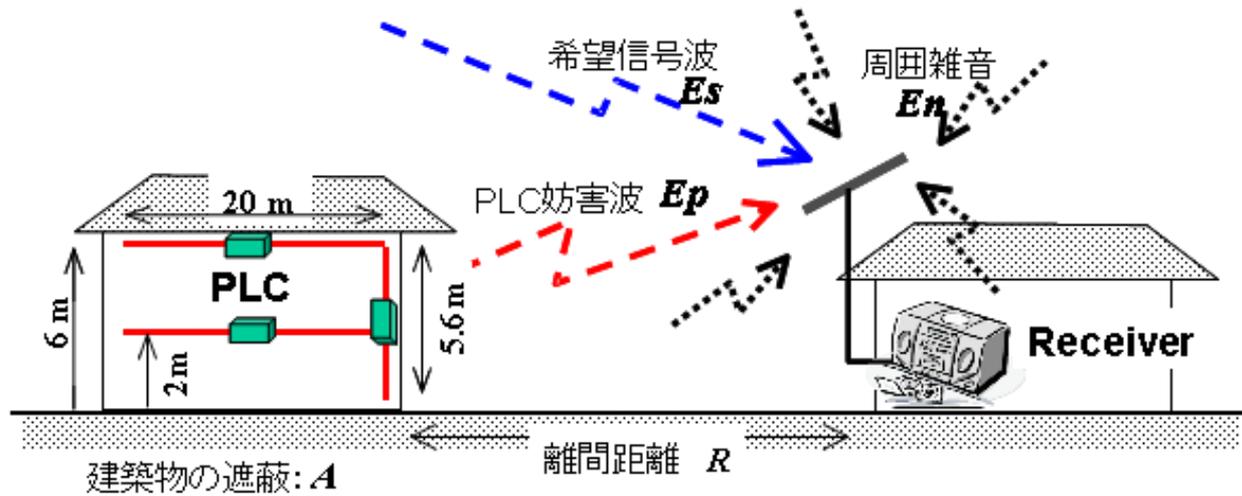


表 5-1 水平線路(L=20m)の電流によって生じる電磁界強度 ($I_{com}=1mA$, $H_t=2, 6m$, $H_r=2m$)

| 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 | 3.8x10 ³ $\mu V/m$ (72dB $\mu V/m$) | 3.4x10 ² $\mu V/m$ (51dB $\mu V/m$) | 1.1x10 ² $\mu V/m$ (41dB $\mu V/m$) | 30 $\mu V/m$ (30dB $\mu V/m$) | 0.3 $\mu V/m$ (-10dB $\mu V/m$) |

電磁界解析ソフト(NEC2)による理論値

中遠距離における電磁界強度

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)報告書

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。

Cumulative Effect 13.385MHz (21)

DBU

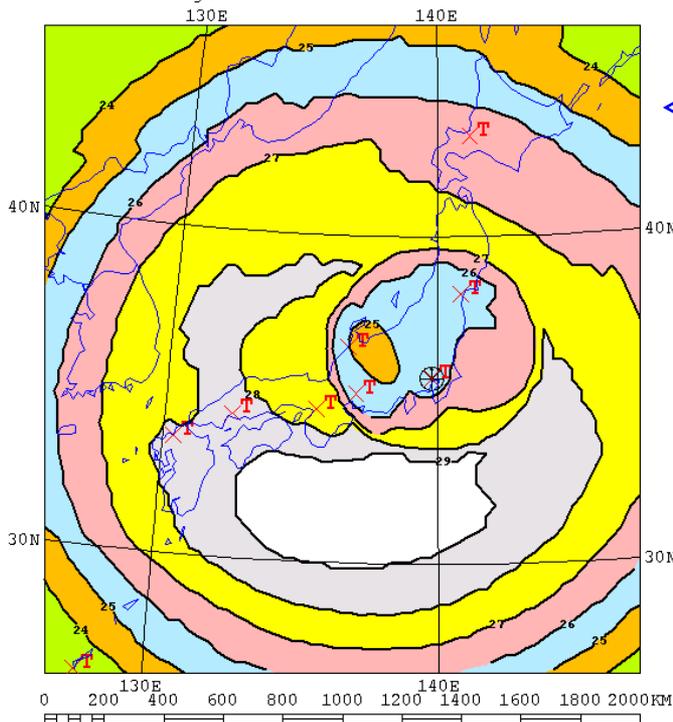
AREADATA\DEFAULT\CUM13M21.R11

Version 05.0119W

PLCモデムの送信電力を-60dBm/Hz(RMS値)、LCLを30dB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。

ITU-R 勧告P.533「HF propagation prediction method」を使用

Tx location to grid of Rx



NTIA/ITS

国内約1,500万システムからの干渉電界強度分布(Median値)を計算した結果、放射点から離れた箇所で最大値を示す場合があることがわかるが、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。

家屋・ビルによる遮蔽効果

高速電力線搬送通信に関する研究会(H17)報告書

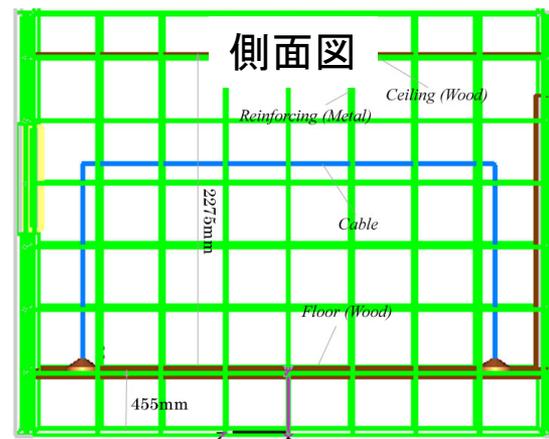
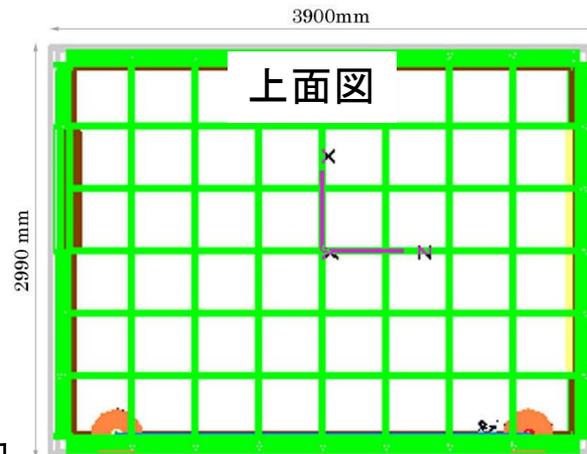
六畳間相当の建築物(鉄筋コンクリート建築物及び木造家屋)によってどの程度減衰するのかを明らかにするため、Finite Integration (FI) 法による数値解析を行った。

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 |

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 |



屋内PLCの許容値の検討 1

H18 情報通信審議会 CISPR委員会報告

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 Ep(dB μ 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 Ep(10m) (dB μ 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 |

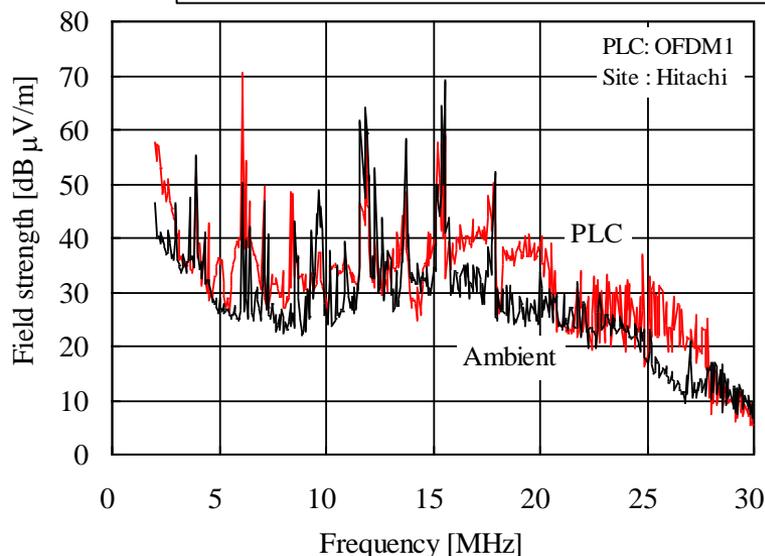
| | 周波数帯 (MHz) | 10m点のPLC妨害波 Ep(10m) (dB μ V/m) | 10m点の妨害波 とコモンモード電 流の比 Z(dB Ω /m) | QP/RM S換算 値 K(dB) | PLC信号電流のコ モンモード成分 Icom(dB μ A) | |
|------|---------------|--|--|----------------------------|--|------|
| | | | | | 準尖頭 値 | 平均値 |
| 田園環境 | 2-10 | 41 | 15 | 10 | 36.0 | 26.0 |
| | 10-30 | 27 | 16 | 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 | 23.0 |
| | | | | 平均値 | 32.0 | 22.0 |

PLC信号電流のコモンモード成分の規制に当たっては、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。

屋内PLCの許容値の検討 2

H18 情報通信審議会 C I S P R委員会報告

屋内に設置された高速PLC設備から漏えいする電波の強度を、
離隔距離において、周囲雑音レベル程度以下に制限する。
なお、離隔距離は、商業・住宅環境で10m、田園環境で30m。



実際の家屋における漏えい電界強度

住宅環境において、特に15MHz以上で、PLC漏えい波が周囲雑音レベルを大きく超える。

許容値の見直し

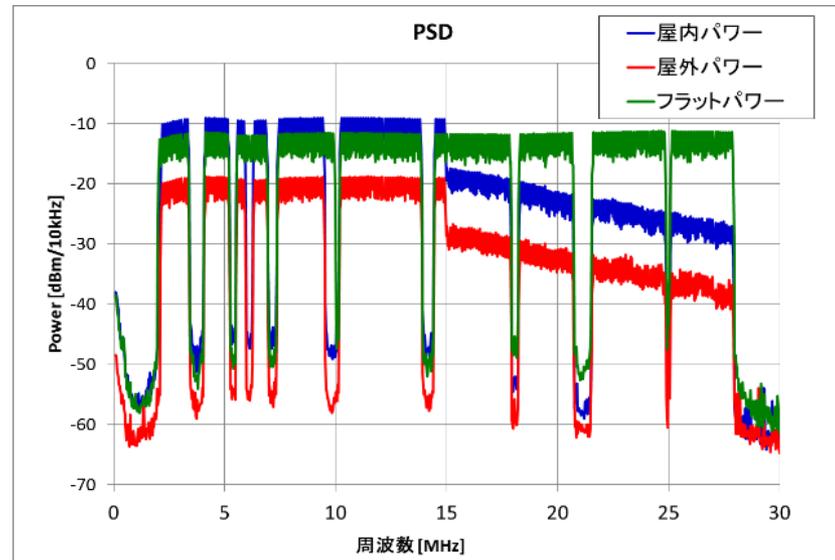
住宅環境を基準にして許容値を算出

- (1) 周囲雑音レベルとして、実測値を使用
- (2) 木造家屋の遮蔽効果を7~12dBに低減

屋内PLC装置の通信時に電源線に流れる
コモンモード電流許容値は、

- 2~15 MHz: 準尖頭値30dB_μA、平均値20dB_μA
- 15~30 MHz: 準尖頭値20dB_μA、平均値10dB_μA

許容値を満足する屋内PLC



作業班資料10-5 HDC-PLCモデム

コモンモード電流許容値は、

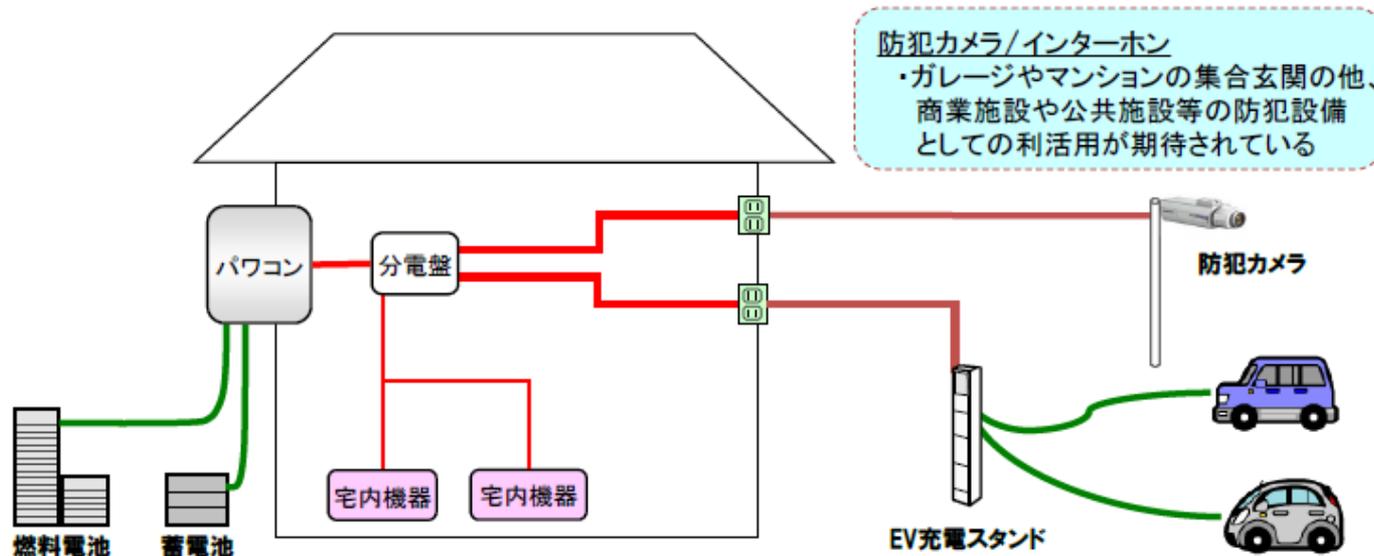
ISN1によってPLC装置の電源線に発生するコモンモード電流を指定された方法で測定した電流値に適用する。

この測定法及び許容値によって、PLC装置の出力電力を一定値以下に制限している。

なお、実際の家屋の電力線に流れるコモンモード電流を許容値以下に制限している訳では無い

屋外PLCの許容値の検討

H24 情報通信審議会 電波環境利用委員会 高速電力線搬送通信設備作業班報告書



防犯カメラ/インターホン

・ガレージやマンションの集合玄関の他、商業施設や公共施設等の防犯設備としての利活用が期待されている

HEMS: Home Energy Management System

ネットワーク化により、電力の供給をコントロール。
再生可能エネルギー (DC or AC) の最適制御と併せ、
創・蓄・省エネルギーを実現する

電気自動車 (EV) 用充電/蓄電制御

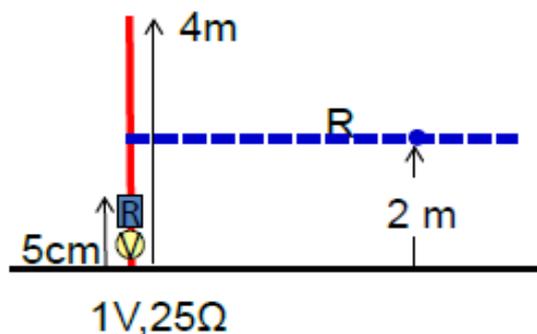
・充電時に車内蓄積情報や地図情報等の
ダウンロード/アップロード
・EVを蓄電池として活用

屋内PLCと屋外PLCとの相違点

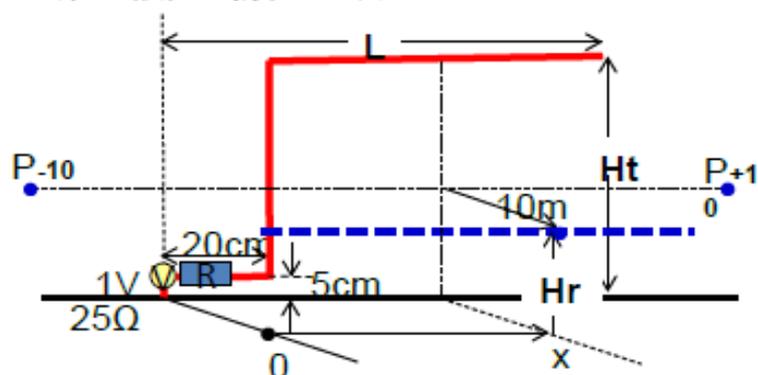
- 屋内配電系を想定したモデルと比べて、分岐がなく配線長が長い
- 建物による遮蔽効果がない
- 大地面の影響が大きい

シミュレーションによる広帯域PLC漏えい電波の推定

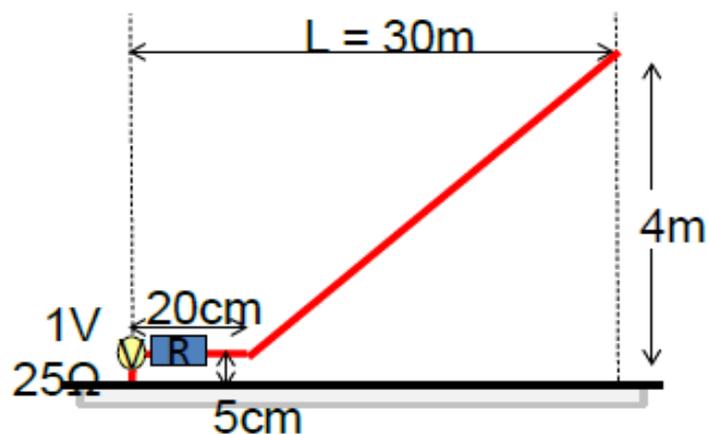
1 垂直線モデル
(EVスタンド、外壁設置の防犯カメラ)



2 架空配線モデル
(柱上設置の防犯カメラ)



3 30m傾斜線モデル

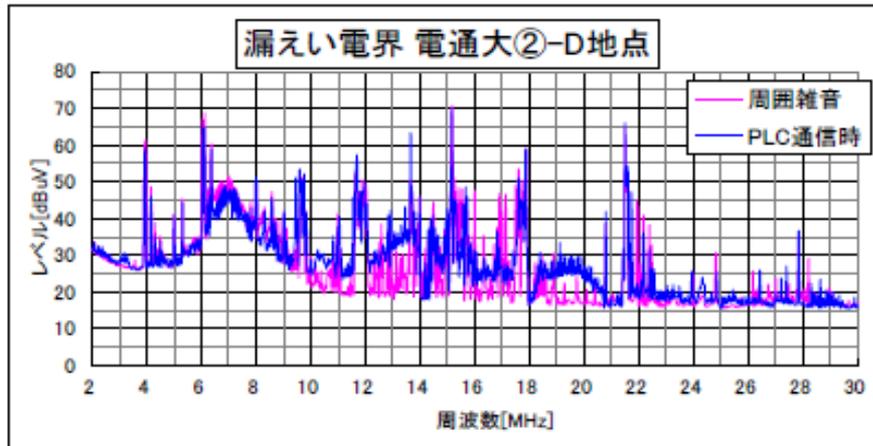


3つの配線モデルを考え、広帯域PLC漏えい電波をシミュレーションにより推定した。また、2のモデルにおいて、配線長をさらに延長したシミュレーションを実施。

その結果、次のことが分かった。

- ・ 配線長に関する共振周波数で漏えい電波は大きくなる
- ・ 線路長が長くなるほど多くのローブが発生するが、その極大値が非常に大きくなるものではない。

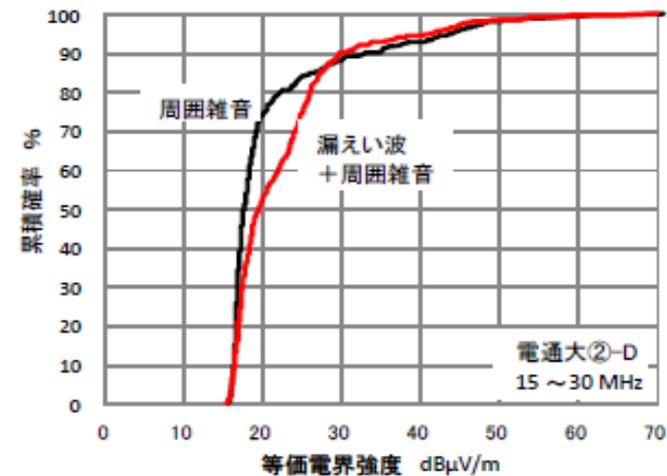
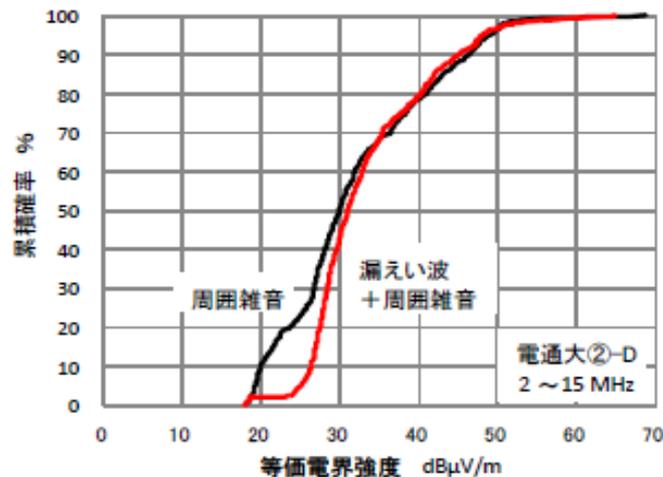
許容値の検討1



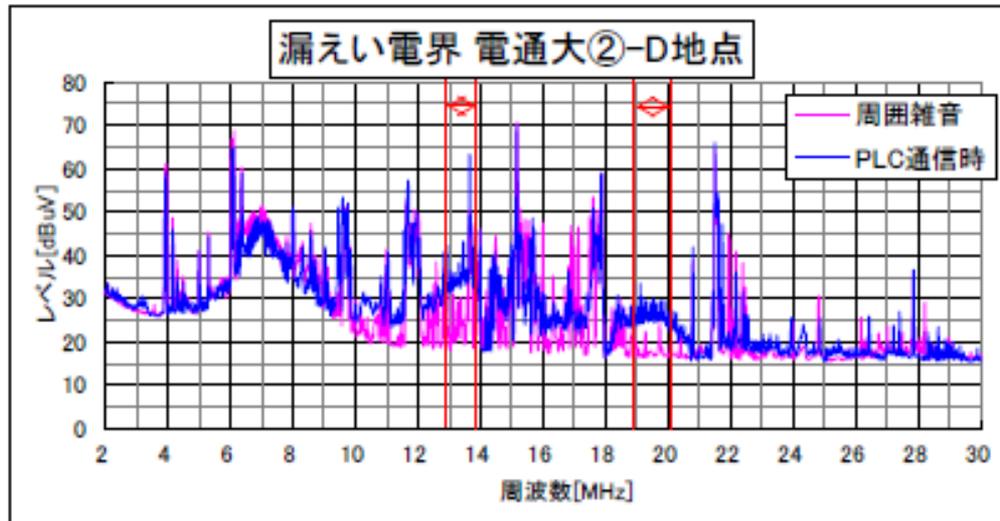
屋内広帯域PLCと同様の許容値を満足する屋外PLCを設置して動作させ、その周囲で漏えい電波の強度を測定した。
また、縦軸にPLC非動作時と通信時での累積確率分布をとった分布図を作成した。

この結果、40dBμV/m以上の累積確率分布はほとんど一致

2つの曲線が一致していない部分での増分は、漏えい波によるものと推測



許容値の検討2



さらに、15MHz以下と15MHz以上の領域でPLC非動作時に大きな電界が観測されていない領域かつPLC通信時に漏えい電界が明らかに観測されている領域において、PLC非動作時の電界強度とPLC通信時の電界強度のそれぞれの平均値を求め、その変化分(増分)を求めた。

| 測定点 | 周波数(MHz) | 周囲雑音 (dB μ V/m) | PLC漏えい波+周囲 雑音(dB μ V/m) | 増分 (dB) |
|------------|---------------|------------------------|--------------------------------|------------|
| 電通大 ②-D | 12.948~13.900 | 27.37 | 36.16 | 8.79 |
| | 18.912~20.004 | 17.94 | 26.43 | 8.49 |
| 電通大 ②-E | 12.948~13.900 | 30.03 | 36.99 | 6.96 |
| | 18.912~20.004 | 20.07 | 22.32 | 2.25 |

まとめ

これら実証実験及び数値シミュレーションの結果から、

- ・ 屋内広帯域PLCの許容値から10dB下げれば十分である
- ・ 屋外配線長が任意ではあるが、シミュレーションの結果等から、配線長はピークを高めるものではない

ことが言える。

以上のことから、屋内PLCと比較して10dB下げた下表のと通りの許容値が妥当である。

また、屋外で使用する電力配線が非常に長くなることを想定し、測定系におけるISN1と対向PLC装置間に挿入する減衰器を40dBに変更する。

| 周波数範囲 (MHz) | コモンモード電流許容値 dB(μ A) | |
|----------------|-----------------------------|-----|
| | 準尖頭値 | 平均値 |
| 2～15 | 20 | 10 |
| 15～30 | 10 | 0 |

注：周波数の境界では、低いほうの許容値を適用する。