

電子機器の使用状態が屋内配電線を使用する高速電力線通信の信号伝送特性に与える影響

平田 大介[†] 秋山 佳春^{††} 田島 公博^{††} 桑原 伸夫^{†a)}

Influence Caused by Operating Conditions of Electrical Equipment to Signal Transmission Characteristics of High-Speed Power Line Communication Using Indoor AC Mains Lines

Daisuke HIRATA[†], Yoshiharu AKIYAMA^{††}, Kimihiro TAJIMA^{††}, and Nobuo KUWABARA^{†a)}

あらまし 屋内配電線に接続される様々な電子機器は、電源ポートの入力インピーダンス特性が使用状態によって変化するため、このことが高速電力線通信の信号伝送特性に与える影響と対策方法を明らかにする必要がある。本論文では、高速電力線通信の信号周波数帯域である 2~30 MHz において、電子機器の使用状態が屋内配電線の信号伝送特性に与える影響について検討を行っている。まず、電子機器の使用状態による入力インピーダンスの変化を測定した結果、家庭内にある 20% の機器は使用状態によりインピーダンスが 20% 以上変化することが分かった。次に、4 ポート回路網を用いた解析法により伝送特性への影響を検討した。簡単なモデルで解析法の評価を行った結果、解析結果と測定結果はほぼ一致した。最後に、40 m² 程度の広さをもつ集合住宅の配電系モデルについて解析を行った結果、電子機器の使用状態による伝送特性の変化の標準偏差は最大 16 dB 程度であり、電源ポートに EMI フィルタを挿入することにより、標準偏差の最大値を 3 dB まで低減できることが分かった。

キーワード 電力線通信、電子機器、入力インピーダンス、伝送特性

1. ま え が き

近年、家庭内の PC や周辺機器だけでなく、テレビやハードディスクレコーダなどの電子機器についても、宅内のあらゆる場所でインターネットに接続できる環境、つまりホームネットワークの需要が高まっている。

ホームネットワークに使用される伝送媒体としては、無線通信、光ファイバ、UTP ケーブル等が考えられるが、その一つとして既に電力供給のために家庭内のあらゆる場所に設置されている配電線がある。配電線を伝送媒体とする電力線通信 (Power Line Communication: PLC) は、1980 年代に開発が開始され [1],

現在は 450 kHz 以下を使用する電灯線伝送方式が実用化されている [2]。そして、高精細動画の伝送が可能な 200 Mbit/s の高速電力線通信 (以下 PLC とする) の開発が進められている [3]。

PLC が使用する配電線は、本来、高速信号伝送を目的として設計されておらず、かつ信号の周波数帯域が国際放送等で広く使用されている短波帯であることから電磁環境への影響が懸念されている。そのため電力線から放射される電磁界と対策法あるいは放射電磁界に大きな影響を与える配電系のコモンモード入力インピーダンスや平衡度の解析や測定が行われている [4]~[9]。その後、許容値と測定方法が提案され [3]、現在実用化に向けた検討が行われている。

一方、有線通信への影響については、伝導結合や誘導結合により同じ周波数帯域を使用する VDSL への影響が検討され [10], [11] 大きな影響はないことが報告されている。

このように PLC が他の通信等に与える影響については多くの研究がされているが、屋内配電線の PLC

[†] 九州工業大学工学部電気工学科, 北九州市

Department of Electrical Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu-shi, 804-8550 Japan

^{††} 日本電信電話株式会社 NTT 環境エネルギー研究所, 武蔵野市
NTT Energy and Environment Systems Laboratories, NTT Corporation, 3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, 180-8585 Japan

a) E-mail: kuwabara.nobuo@buddy.elcs.kyutech.ac.jp

信号伝送特性については、分岐の影響等の報告はあるものの[12]十分に検討されていない。特に屋内配電線には様々な電子機器が接続され、これら電子機器の使用状態（動作、停止等）が機器や時間により異なっており、こうした使用状態の違いがPLC信号の伝送特性に与える影響について明らかにする必要がある。

本論文では、PLCが使用する2~30MHzの周波数帯域において、配電線に接続されている電子機器の使用状態が伝送特性に与える影響について検討している。そのため、まず、電子機器の動作状態での入力インピーダンスの測定方法と結果について検討を行い、次に、配電系の伝送特性の機器使用状態による変化を4ポート回路網を用いて解析する方法について検討している。最後に得られた解析方法を用いて、40m²程度の広さをもつ集合住宅の配電系モデルについて、電子機器の動作状態がPLC信号の伝送特性に与える影響とフィルタを用いた対策効果について示している。

2. 屋内配電系モデル

家庭内の配電系は家ごとに異なっており、そのモデル化は一般的には困難である。したがって、電力線通信の伝送特性は各家庭ごとに評価を行うか、いくつかの測定事例、解析事例から統計処理により求める必要がある。しかし、コモンモード入力インピーダンスや平衡度については、一定の範囲内に分布することがこれまでの解析や測定により明らかとなっているので[8],[9]、一つの事例について検討を行えば、おおよその傾向は把握できると考えられる。

そこで、本論文では、図1に示す配電系モデルについて検討を行う。本モデルは40m²程度の広さをもつ日本の集合住宅の配電系を模擬しており、三つの分岐をもっている。一つの分岐には照明器具が接続され、残りの分岐には電子機器が接続されている。各分岐の電力線の長さを表1に示す。表で“i”は各分岐を示している[8]。

床面積が広い住宅の場合7分岐程度となり、単相3線式の配電線が引き込まれているので、図1のモデルとは異なってくる。また、アース線を含めた3導体の配電線を使用する場合もある。しかし、解析が複雑となるので、本論文では図1に示す2導体の配電線で構成される簡単なモデルについて検討を行う。なお、本論文で用いている基本的な手法は、単相3線式の配電盤への適用方法やアース線の取扱い等いくつかの課題はあるが、3導体の配電線の場合や床面積の広い住宅

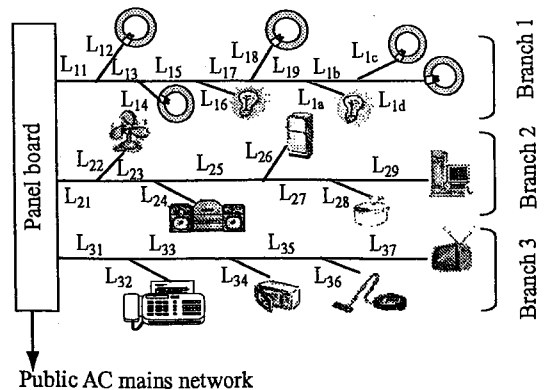


図1 屋内配電系モデル
Fig. 1 A model of indoor AC mains line.

表1 屋内配線モデルの各ケーブル長
Table 1 Each cable length of indoor AC mains line model.

線路番号	分岐 1	分岐 2	分岐 3
L_{i1}	0.5(m)	1.0(m)	1.5(m)
L_{i2}	1.4	3.0	3.5
L_{i3}	0.25	0.5	2.0
L_{i4}	2.5	6.0	4.2
L_{i5}	0.25	1.5	0.5
L_{i6}	3.0	5.0	4.0
L_{i7}	0.75	1.0	4.5
L_{i8}	1.5	4.0	-
L_{i9}	0.25	5.0	-
L_{ia}	2.0	-	-
L_{ib}	1.1	-	-
L_{ic}	3.0	-	-
L_{id}	2.0	-	-

についても適用可能であると考えられる。

2.1 電子機器の入力インピーダンス

2.1.1 動作状態の入力インピーダンス測定法

停止状態の電子機器の入力インピーダンスは、インピーダンスアナライザで測定することができる。しかし、動作状態の場合、電子機器を配電系に接続して測定を行う必要があるため、配電系の入力インピーダンス変化の影響を排除して測定を行う必要がある。図2は今回開発した測定系で、入力インピーダンスを測定する機器 (Equipment under test: EUT) を40cmの非導電性の台上に設置し、80cm離れた位置に設置した擬似電源回路網 (Artificial mains network: AMN) [13] のEUTポートに接続し、その測定ポート (Test port) の入力インピーダンスを測定してAMNのEUTポートから見た電子機器の入力インピーダンスを求めている。EUTとAMNは同一グランドプレーン上に配置されている。

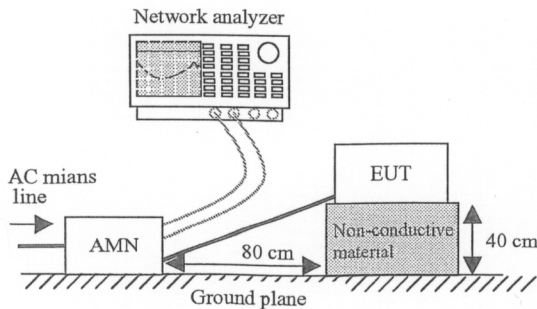


図2 動作状態における電子機器の入力インピーダンス測定系

Fig. 2 Setup for measuring input impedance under equipment operating.

電子機器の中にはアース線をもつ機器もあるが、2.で述べたように本論文では配電線がアース線を含まない2導体の場合のモデルを考えているので、このアース線はAMNを介して直接グラウンドプレーンに接続される。また、本論文ではAMNのEUTポートから見た入力インピーダンスで電子機器をモデル化するので、モデルの上ではアース線とグラウンドプレーンは同電位となる。

電子機器の入力インピーダンスはEUTの配置条件により変化し、本来はこの変化量についても検討する必要がある。しかし、本論文では機器使用状態による入力インピーダンスの変化を明らかにすることを目的としているので、結果の再現性を考慮して、電源ポートの妨害波測定に使用する測定条件[14]を用いている。配置条件による変化の検討は今後の課題である。

AMNを用いた入力インピーダンス測定系の等価回路を図3に示す。図に示すように $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサを介してEUTの入力インピーダンスを測定する。その際、測定端子とグラウンド間は $50\mu\text{H}$ と 50Ω の並列インピーダンスで終端され、配電系側は $1\mu\text{F}$ でグラウンドに接続されるので、AMNの使用周波数である $150\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$ では、配電系の入力インピーダンスの変化は測定結果に影響を与えない。

したがって、配電系に接続されるポートは考慮する必要がないので、図に示すように、AMNはTestポート側2ポートとEUTポート側2ポートの4ポート回路で表され、EUTは2ポート回路で表される。この場合、回路理論より式(1)の関係が成り立つ。

$$[F_{meas}] = [F_{AMN}][F_{EUT}] \quad (1)$$

ここで、 $[F_{meas}]$ はTestポートから測定系を見た回路

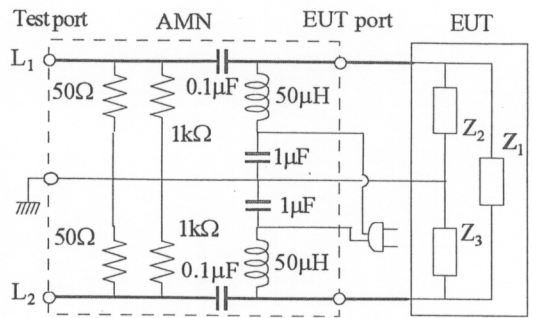


図3 擬似電源回路網を用いた入力インピーダンス測定系の等価回路

Fig. 3 Equivalent circuit for input impedance measurement system using AMN.

網の2ポートFマトリックス、 $[F_{AMN}]$ はAMNの4ポートFマトリックス、 $[F_{EUT}]$ はEUTの2ポートFマトリックスである。式(1)よりEUTの2ポートマトリックスは式(2)となる。

$$[F_{EUT}] = [F_{AMN}]^{-1}[F_{meas}] \quad (2)$$

$[F_{meas}]$ と $[F_{AMN}]$ はSパラメータを測定すれば求めることができる[14]ので、 $[F_{EUT}]$ を求めることができる。本論文においても、これらの値については測定値を使用している。この2ポートFマトリックスパラメータが求められれば、EUTは図3に示すような△形の回路やT形の回路で表すことができる[15]。

本論文で用いている測定系は、ネットワークアナライザ等の耐電圧の低い機器をインピーダンス測定に使用できる利点はあるが、テストポートが $50\mu\text{H}$ と 50Ω が並列に接続された低インピーダンスで終端されているため、EUTの入力インピーダンスが極端に低いか高い場合は誤差が大きくなる。AMNのEUT側をオープン及びショートして測定を行った結果から判断すると、今回測定を行った $300\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$ の範囲では、図3に示すようにEUTを△形の三つのインピーダンスで表した場合、 Z_1 で $10\Omega\sim 10\text{k}\Omega$ 、 Z_2 と Z_3 では $10\Omega\sim 1\text{k}\Omega$ が有意な値が得られる範囲である。なお、電力線通信で使用する周波数範囲は $2\sim 30\text{MHz}$ であるが、等価回路を求めるためにはできるだけ低い周波数のインピーダンスを知ることが望ましいため、今回はネットワークアナライザの下限周波数である 300kHz まで測定を行っている。

2.1.2 入力インピーダンスの測定結果

電源ポートの導体間の入力インピーダンス、 Z_1 の測定例を図4に示す。図で□と○はCDラジカセ(CD

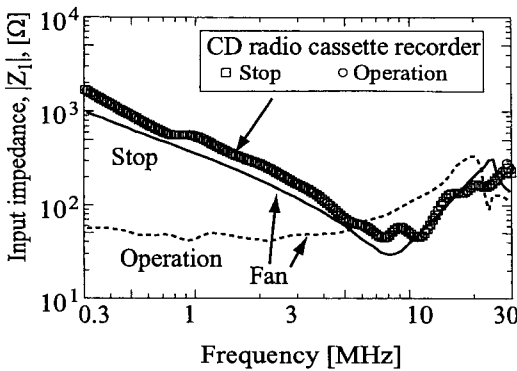


図 4 入力インピーダンス測定例

Fig. 4 Measurement results of input impedance.

radio cassette recorder) の測定結果を、実線と破線は扇風機 (Fan) の測定結果を示している。また、□と実線はそれぞれの電子機器が停止状態 (Stop) を、○と破線は動作状態 (Operation) を示している。図に示すように、CD ラジカセについては使用状態 (Operation または Stop) により入力インピーダンスはほとんど変化しないが、扇風機の場合、停止状態では CD ラジカセとほぼ同じ値であるが、動作状態ではインピーダンスが低い値になっていることが分かる。これは CD ラジカセの電源ポートとスイッチの間に適用されている EMC 対策用フィルタのインピーダンスによって機器の入力インピーダンスが支配されているのに対して、扇風機の場合、電源スイッチを介して電源ポートから直接負荷が見えているためと考えられる。また、周波数が高くなると、使用状態による変化は減少する傾向にあることが分かる。これはスイッチが容量性インピーダンスであり、周波数が高くなるに従ってインピーダンスが小さくなるためであると考えられる。

Z_2 , Z_3 についても、 Z_1 が使用状態により変化しない場合は変化せず、変化する場合は変化するが、周波数が高くなるとその変化は小さくなっている。

2.1.1 に述べたように、電子機器の入力インピーダンスは配置条件により変化する。EUT のグランドプレーンからの高さを 10 cm から 40 cm に変化させた場合、線間のインピーダンスである図 3 の Z_1 の変化は小さいが、導体とグランドプレーン間のインピーダンスである Z_2 , Z_3 は数倍変化する場合も変化しない場合もある。これは電子機器内部構造に依存するものであると考えられるが、原因の解明は今後の課題である。

表 2 家庭内にある電子機器の入力インピーダンス調査結果

Table 2 Investigation results of input impedance of electrical equipment in houses.

電子機器 (測定数)	変化の有無	台数	占有率 [%]
テレビ	なし	21	4.6
CD ラジカセ	なし	18	4.0
冷蔵庫	なし	11	2.4
電話機	なし	10	2.2
PC	なし	8	2.0
電気ポット	なし	3	0.7
蛍光灯	一部あり	158	35.0
電子レンジ	一部あり	10	2.2
掃除機	一部あり	10	2.2
白熱電球	あり	61	13.5
電気炊飯器	あり	10	2.2
扇風機	あり	10	2.2
電気コタツ	あり	7	1.5

2.1.3 家庭内にある電子機器の実態

使用状態により入力インピーダンスが変化する機器と変化しない機器があることが分かったので、家庭で使用されている様々な電子機器の入力インピーダンスを測定し、変化する機器と変化しない機器の割合を調査した。10 世帯を対象に調査を行った結果を表 2 に示す。変化の有無については、動作状態における値を基準としたとき、PLC が使用する 2~30 MHz における停止状態の値の変化率 ($|Z_{operation}|/|Z_{stop}|$) により分類した。「なし」とは $|Z_1| \sim |Z_3|$ の変化率がすべて 5% 未満、「あり」とは $|Z_1| \sim |Z_3|$ の変化率がすべて 20% 以上のものを示し、その間のものを「一部あり」とした。今回の調査から、入力インピーダンスの変化が 20% 以上ある電子機器の割合は全体の 20% 程度であること、照明器具の占有率が高く、これによる影響が大きいことが分かる。

3. 入力インピーダンスの変化が伝送特性に与える影響の解析

3.1 伝送特性の解析モデル

配電線上の電流や電圧は 4 ポート回路網を用いて解析を行うことができる [8]。4 ポート回路網を用いた解析方法は式 (2) により求めた電子機器の 2 ポート回路網の F マトリックスパラメータを解析に直接使用できる利点がある。電子機器の 4 ポート回路網パラメータを直接測定することも考えられるが、電源ポートのみを有する電子機器は本質的に 2 ポートであるので、2 ポート回路網パラメータを測定して 4 ポートに変換を行った方が AMN も 1 台ですみ簡単である。

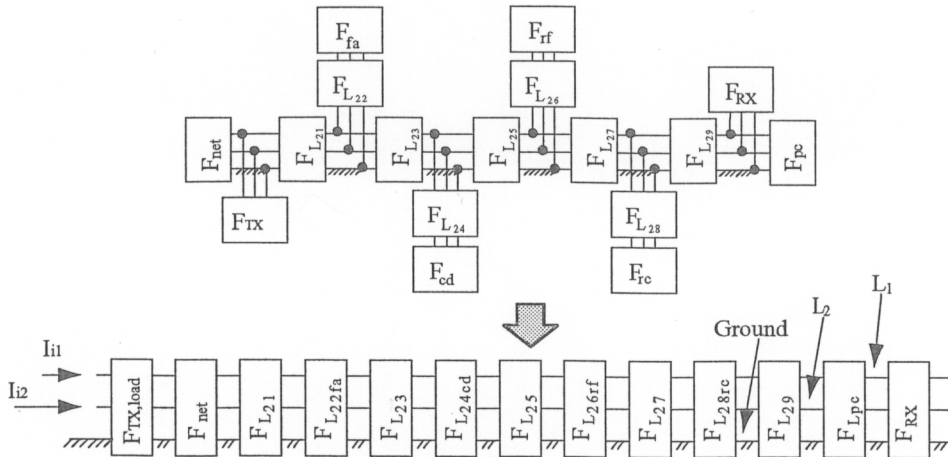


図5 配電系の伝送特性解析モデル

Fig.5 Analysis model of transmission characteristics on AC mains network.

解析モデルを図5に示す。これは、図1に示した配電系モデルの分岐2 (Branch 2) の解析モデルである。図で $F_{L2i, i=1\sim 9}$ は電力線と大地からなる伝送路を表す4ポート回路網で、ケーブルの高さ及び断面寸法が分かればパラメータを決定することができる[16]。 F_{fa} , F_{cd} , F_{rf} , F_{rc} , F_{pc} はそれぞれ図1の扇風機、CDラジカセ、冷蔵庫、炊飯器、PCを表す2ポート回路網で、3.に述べた方法で求めた入力インピーダンスより決定することができる[8]。 F_{TX} , F_{RX} は送信機と受信機を表す2ポート回路網、 F_{net} は図1のその他の分岐等をこの分岐より見た入力インピーダンスを表す2ポート回路網である。この回路網は文献[8]に記載されている方法により、両端に送信機と受信機をついたすべて4ポートの回路網を直列接続した回路に変形することができる。 $F_{TX,load}$ は送信機の信号源インピーダンスのみを取り出したもので、 I_{i1} , I_{i2} は電流源で表した信号源を示している。

図5の下側の回路はFマトリックスの回路であるので、文献[8]に示す方法で各線 (L_1 , L_2) とグランド間の電圧と電流を求めることができる。ここで送信機 (F_{TX}) の右側の電圧を V_{T1} , V_{T2} , 受信機 (F_{RX}) の左側の電圧を V_{R1} , V_{R2} とすれば、伝送特性は式(3)となる。

$$T_L [\text{dB}] = 20 \log \left| \frac{V_{R1} - V_{R2}}{V_{T1} - V_{T2}} \right| \quad (3)$$

3.2 伝送特性の測定

解析モデルの妥当性を評価するため、簡単な配電系を作成して伝送特性を測定し解析結果と比較を行った。

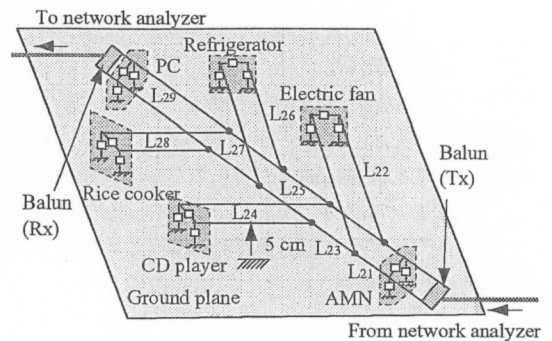


図6 伝送特性解析モデルの評価に使用した実験モデル

Fig.6 Experimental setup for verifying analysis model.

実験に用いた配電系を図6に示す。これは図5に示した解析モデルを用いたもので、電力線、模擬回路、バランを幅5.2m、長さ6mの金属面上に配置している。配電線としては一般家屋に使用されているVVFケーブルを使用し、これを金属面上5cmに配置している。各配線の長さは表1に示した分岐2の値である。

実際の機器を接続し実験モデルに電力を供給した状態での測定が困難であるため、3.に示した入力インピーダンスの測定結果から L , C , R で構成される電子機器の等価回路を求め、これに基づく模擬回路を電子機器の代わりに使用した。模擬回路の入力インピーダンスの測定例を図7に示す。図は扇風機の例 (Z_1) を示している。○と□は測定値、実線 (SPICE) は SPICE により求めた等価回路の周波数特性、破線 (Model) は等価回路に基づいて作成した模擬機器の

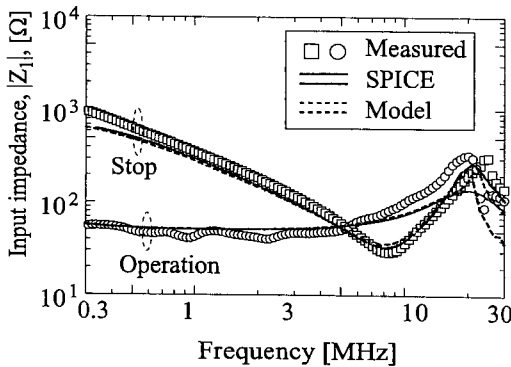


図7 模擬機器のインピーダンス特性例

Fig. 7 Examples of impedance characteristics for imitated equipment.

周波数特性（測定値）である。図に示すようにこれらはほぼ一致しており、動作状態と停止状態の2種類の模擬回路を準備することにより、使用状態の模擬が可能であることが分かる。

図7は図3に示したEUTを表すインピーダンスのうち Z_1 のみを示しているが、他のインピーダンスや機器についても同様の結果が得られている。解析では、図5の解析モデルの F_{fa} , F_{cd} , F_{rf} , F_{rc} , F_{pc} に模擬回路のインピーダンス測定結果を用いた。また表2に示すように、扇風機(F_{fa})と電気炊飯器(F_{rc})は使用状態で入力インピーダンスが変化するので、使用状態ごとの模擬機器を作成して使用した。

図5の F_{net} は分岐2に接続されている他の分岐等を表すが、本検討ではAMNで表している。AMNの等価回路はCISPR16に規定されている値を使用した[13]。なお、測定結果との比較の観点からはAMNの等価回路として測定値を使用することも考えられるが、規格に適合しているAMNを使用する限り、伝送特性に関しては両者に大きな差はない。

伝送特性測定にはネットワークアナライザを使用するが、ネットワークアナライザの入出力ポートは不平衡であるため、バランを用いて電力線に接続した。そこで本検討では、送信機、受信機を表す F_{TX} , F_{RX} についてはバランでモデル化を行った。バランの2ポートFマトリックスはSパラメータの測定により求めることができるので、更にこれを4ポート回路網と信号源に変換した[17]。

3.3 測定結果

図8に電子機器すべてが動作状態の場合とすべて停止状態の場合の測定値と解析値を示す。○と実線がす

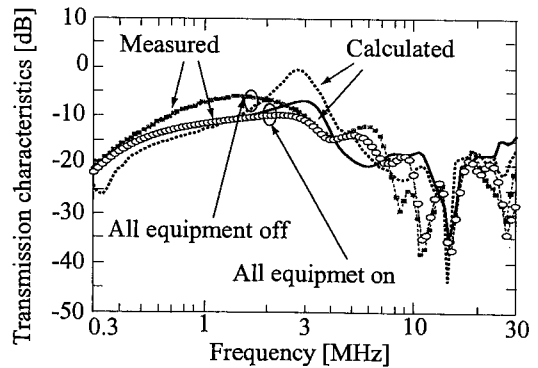


図8 伝送特性の測定値及び解析値

Fig. 8 Measurement and calculated values of S_{21} between AMN and PC.

べて動作状態の測定値と解析値で、●と破線がすべて停止状態の測定値と解析値である。解析には図5の解析モデルを使用し、測定値は図6の実験モデルについてネットワークアナライザの S_{21} を測定した結果である。なお、 S_{21} の測定値には入力部分での反射特性の影響が含まれているが、本実験系では大部分の周波数において、配線長が波長よりも短いので無視している。図より、最大偏差が10 dBあり、共振周波数に若干のずれがあるが、解析値は測定値の傾向をとらえていることが分かる。誤差の原因については、単純な実験モデルを用いた検討を行ったが明らかにはなっておらず今後の研究課題である。

また、伝送損（伝搬特性の逆数）は最大で40 dB程度変化している。これは、高い周波数では配電線の分岐やPC等に使われている対策部品の共振が、低い周波数では電子機器の負荷インピーダンスが原因と考えられる。

一方、使用状態による伝送特性の変化は10 dB以内であり、全体の伝送特性の変化と比較して小さく、1 MHz以下ではその傾向が逆転していることが分かる。これは、扇風機と電気炊飯器の入力インピーダンスを使用状態により変化させたが、動作状態においても、線間の入力インピーダンス(Z_1)の値が50 Ω以上あり（図4参照）、バランの平衡側のインピーダンスである100 Ωに比べて十分低い値とはいえないためであると考えられる。

以上より、本論文の解析方法は、使用状態の変化による伝送特性の変化を定量的に表すには十分とはいえないが、その傾向を示すことは可能であることが分かる。

4. 電力線通信信号伝送特性に電子機器の使用状態が与える影響

前章より、電子機器の使用状態が PLC 信号伝送特性に与える影響は小さいことが示されたが、図 5 及び図 6 に示した実験系には、家電製品の中で占有率が高い照明器具が含まれていないため、この結果が実際の家屋に適用できるかどうかについて確認を行う必要がある。そこで、図 1 に示した 3 分岐のモデルについて、PC とテレビ間の伝送特性に機器の使用状態が与える影響を解析により評価した。

解析は図 5 に示した 4 ポート回路網を用いて図 1 の配線モデルを表し、文献 [8] の方法により一方に PC、他方にテレビがある F マトリックスの縦列接続に変換して伝送特性の解析を行った。各電子機器を表す回路網パラメータは 3. の方法により求めた測定値を使用し、表 2 に示した機器のうち、使用状態によって入力インピーダンスに大きな変化が見られた扇風機、炊飯器、白熱電球のみ使用状態で回路網パラメータを変化させた。変化が一部ありの機器については、4. の検討でインピーダンス変化の伝送特性への影響は小さいことが示されているので、解析では停止状態の値を使用している。

公衆配電網については、PLC が使用する 1 MHz 以上の周波数では、AMN で模擬することで全体の傾向を把握することが可能であると報告されているので [8]、本解析でも AMN で模擬している。また、配電線の地上高は家屋内で大きく変化するが、PLC 信号は平衡伝送系を伝搬するので、地上高の伝送特性への影響は小さいと判断して、図 6 に示した実験系と同じ

5 cm としている。

解析結果を図 9 に示す。ここでは、図 1 のモデルにおいて使用状態に応じて入力インピーダンスが変化する四つの機器について On/Off すべての場合の解析を行い、その平均（実線）と標準偏差（破線）を求めた。図より、標準偏差は最大 16 dB であるが、これは配電系全体の伝送特性変化の平均値である 60 dB に比べて小さな値であり、相対的に電子機器の使用状態が伝送特性に与える影響は小さいと考えられる。

5. 電子機器の使用状態が伝送特性に与える影響の改善

これまでの検討で、電子機器の使用状態が PLC 信号伝送に与える影響は伝送特性全体の変化に比べれば小さいことを示したが、使用状態により入力インピーダンスが著しく変化する電子機器が接続され、伝送特性が大きく影響を受けた場合を想定して対策方法を検討した。

表 2 において、冷蔵庫、CD ラジカセ、PC は使用状態により入力インピーダンスはほとんど変化しなかった。この理由は、これらの機器の電源ポートに接続されている EMI フィルタにより、機器内部の回路インピーダンスの変化に伴う影響が低減されたためであると考えられる。そこで、電子機器の使用状態による伝送特性への影響を低減させるために配電線と電子機器の間に外付けの EMI フィルタを挿入する方法を検討した。

ここでは図 1 の屋内配電系モデルにおいて、使用状態により入力インピーダンスが変化する扇風機、電気炊飯器、白熱電球に EMI フィルタを挿入し、5. と同様に使用状態の変化による PC とテレビ間の伝送特性の変化を解析した。検討に用いた EMI フィルタは、アース端子がない電子機器の EMC 対策に使用されるもので、2~30 MHz でディファレンシャルモード挿入損が 20 dB 以上、コモンモード挿入損が 25 dB 以上の特性を有している。解析ではネットワークアナライザを用いて 4 ポートの S パラメータを測定し、この結果よりフィルタの回路網パラメータを求めて解析に使用した。

検討結果を図 10 に示す。縦軸は伝送特性 (T_L) の標準偏差である。実線は EMI フィルタが扇風機、電気炊飯器及び白熱電球の電源ポートに挿入された場合の解析値で、破線はフィルタが挿入されていない場合の解析値である。図より、EMI フィルタを挿入するこ

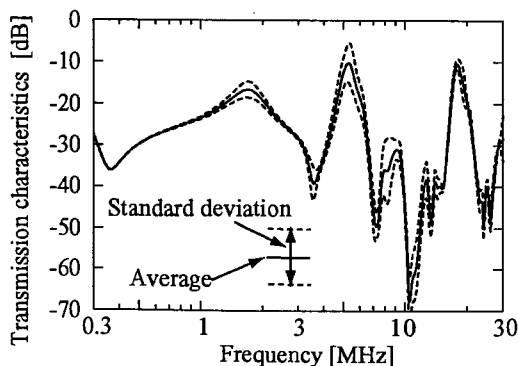


図 9 電子機器の使用状態による伝送特性の変化
Fig. 9 Deviation of transmission characteristics caused by operating conditions of equipment.

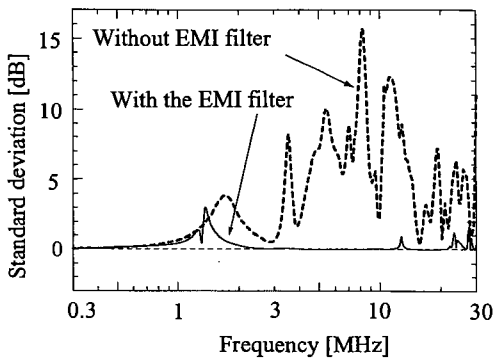


図 10 EMI フィルタ適用による効果

Fig. 10 Effects of EMI-filter applying at AC mains ports of the equipment.

とによって標準偏差の最大値が 16 dB から 3 dB に低減されており、使用状態により入力インピーダンスが大きく変化する機器が伝送特性に与える影響を対策可能であることが分かる。

本論文では電子機器の On/Off といった使用状態の変化が伝送特性に与える影響を検討し、使用状態変化が伝送特性に与える影響に対しては EMI フィルタを挿入することにより対策が可能であることを示している。しかし、このフィルタの挿入が配電系全体の伝送特性に影響を与えることが考えられる。この伝送特性変化については、本論文で示した方法で解析は可能であるが、この影響を軽減するために EMI フィルタに要求される条件については、配電系全体への影響を考慮した検討が必要であり、今後の検討課題である。

6. む す び

家庭内の配電線に接続されている電子機器の入力インピーダンスの使用状態による変化が PLC 信号の伝送特性に及ぼす影響について検討した。

まず、擬似電源回路網を用いた測定方法を開発し、電子機器の動作状態と停止状態の入力インピーダンスを評価した。その結果、家庭内で使用される電子機器の 20%程度が、動作状態によって入力インピーダンスが 20%以上変化することが分かった。

次に、5 台の電子機器が接続された実験モデルについて、4 ポート回路網を用いた解析と測定により伝送特性を評価した。その結果、両者はほぼ一致し、本論文に示した解析方法により、電子機器の動作状態が伝送特性に及ぼす影響を評価可能であることを示した。

最後にこの解析方法を用いて、床面積 40 m² の集合

住宅モデルについて、電子機器の使用状態が伝送特性に与える影響と対策方法を検討した。その結果、伝送特性変化の標準偏差は最大 16 dB で、伝送特性全体の変化である 60 dB よりも小さいことが分かった。更に、使用状態により入力インピーダンスが大きく変化する電子機器に外付け EMI フィルタを適用することにより、伝送特性変化の標準偏差を 3 dB まで低減可能であることを示した。

今後の課題として、伝送特性の解析精度の改善、伝送特性全体の改善方法の検討が考えられる。

謝辞 貴重な助言を頂いた九州工業大学工学部桑原研究室各位に感謝します。また、本研究は文部科学省の科研費 (16560341) の助成を得た。

文 献

- [1] 藤根井和夫, ホームバス入門, 日本放送協会, 1985. ISBN4-14-072019-0
- [2] 牧 昌弘, 為末和彦, 徳田正満, 桑原伸夫, “MESA 符号とマルチバンド分割受信を用いた電灯線伝送方式の提案,” 信学論 (A), vol.J85-A, no.6, pp.704-714, June 2002.
- [3] 総務省, “高速電力線搬送通信と無線利用の共存について (案),” <http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020809>, Oct. 2005.
- [4] J.C. Richards, “Characterization of access broadband over power line (BPL) systems by measurements,” Proc. 2005 IEEE International Symposium on EMC, pp.982-987, Chicago, Aug. 2005.
- [5] K. Miyoshi, N. Kuwabara, Y. Akiyama, and H. Yamane, “Calculation of radiating magnetic field from indoor AC mains cable using four-port network,” Proc. 2005 IEEE International Symposium on EMC, pp.1002-1007, Chicago, Aug. 2005.
- [6] H. Shiozawa, Y. Watanabe, and M. Tokuda, “Calculation of radiated emission from the power line by 4-terminal pair network theory,” Proc. 2005 IEEE International Symposium on EMC, pp.996-1001, Chicago, Aug. 2005.
- [7] Y. Khadour and H. Hirsch, “Reduction of the radiation in PLC system using a hybrid feeding,” Proc. ICEMC 2002, pp.161-166, Bangkok, July 2002.
- [8] M. Rashid, N. Kuwabara, M. Maki, Y. Akiyama, and H. Yamane, “Calculation of longitudinal conversion loss and input impedance for indoor AC mains line considering high-speed PLC,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.9, pp.3725-3732, Sept. 2005.
- [9] 神宝照司, 西山富朗, 前川浩二, 石川直己, 稲田 学, 牧昌弘, “既設住宅における電力線の LCL とコモンモードインピーダンスの測定,” 信学技報, EMCJ2005-70, Sept. 2005.
- [10] T. Tominaga, Y. Akiyama, H. Yamane, and N. Kuwabara, “Investigation of electromagnetic noise transmission characteristics from AC mains port to

- telecommunication port,” Proc. 2003 International Symposium on EMC, pp.505-510, Boston, Aug. 2003.
- [11] 下妻陽介, 下塩義文, 秋山佳春, 桑原伸夫, “電力線搬送通信信号が誘導により VDSL 通信に与える影響の研究,” 信学論 (B), vol.J89-B, no.4, pp.576-584, April 2006.
 - [12] 川鍋健太郎, 佐々木伸一, 福田隆良, “電力線通信におけるファクトリーラインの伝送特性評価,” 2006 信学総大, BS-1-2, March 2006.
 - [13] IEC/CISPR Publication 16-1, “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods,” Nov. 2003.
 - [14] IEC/CISPR Publication 22 fifth edition, “Information technology equipment -Radio disturbance characteristics -limits and methods of measurement,” April 2005.
 - [15] 佐藤利三郎, 伝送回路, コロナ社, 1996. ISBN4-339-00082-5
 - [16] 三吉金吾, 桑原伸夫, 秋山佳春, 山根 宏, “屋内配電線から放射される磁界強度の 4 ポート回路網を用いた解析,” 信学技報, EMCJ2004-123, Jan. 2005.
 - [17] S. Fujiishi, N. Kuwabara, and F. Amamiya, “Calculation of radiated field from UTP cables at high frequency using 4-port network model,” Proc. EMC Europe 2004, pp.570-575, Eindhoven, Sept. 2004.

(平成 18 年 5 月 18 日受付, 8 月 26 日再受付)



田島 公博 (正員)

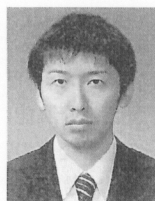
昭 61 熊本大・電子卒。平元同大大学院修士課程了。同年日本電信電話(株)通信網総合研究所入所。以来, EMC 光計測技術, 赤外線応用移動体通信システムの研究開発等に従事。現在, NTT 環境エネルギー研究所主幹研究員, 電磁環境技術グループ

ループリーダー。



桑原 伸夫 (正員)

昭 50 静岡大・工・電子卒。昭 52 同大大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT)茨城電気通信研究所入所, 以来, 通信システムの雷防護, 光ケーブルの信頼性評価, 通信システムの EMC 評価, EMC における光計測技術等に関する研究・開発に従事。現在, 九工大・工・教授。博士(工学)。IEEE 会員。



平田 大介 (学生員)

平 16 九工大・電気卒。現在, 同大大学院修士課程在学中。屋内配電線の電力線通信信号伝送特性への電子機器の使用状態が与える影響の研究に従事。



秋山 佳春 (正員)

平 2 電通大・電気通信卒。同年日本電信電話(株)通信網総合研究所入所。以来, 通信システムの EMC 評価対策に関する研究・開発に従事。現在環境エネルギー研究所電磁環境技術グループ主任研究員。