

# 高速電力線通信(PLC)の漏洩電磁波も止めるAC電源フィルタ コンセントの開発

## The Development of AC Power Supply Tap with GHz Eliminator Filter for PLC

小宮邦文<sup>†</sup> 阿部康弘<sup>††</sup>

<sup>†</sup>ケイアールエフエム株式会社 横浜本社

<sup>††</sup>ケイアールエフエム株式会社 東京 R&D

### 1. はじめに

高速電力線通信(PLC)の、電波管理審議会での容認答申がなされたことから、AC商用電源に高周波信号を重畳する通信機器の発売が昨年末より始まり、日本においても電力線を利用する通信方式が一般家庭においても展開されることとなった。

しかしながら、条件によってはディファレンシャルモードのバランスが取れなくなって発生するコモンモード電流ノイズ障害が起こると云われ、PLC機器から漏洩する電磁波ノイズに関する懸念は払拭されていない。

このことから、今後のPC周辺機器や通信機器開発に対するEMC(電磁環境適合性)対応を心配する電子機器メーカーは多いと聞いている。

そこで、コモンモード電流の規定を厳しくする方向ではなく、問題になりそうなAC配線からの電磁波ノイズをシャットアウトするフィルタリング機器の開発も、環境電磁波ノイズ対策のひとつの解法ではないかと考え、従来の10kHzから450kHzをカバーして、30MHzまでは勿論のこと、GHz帯域までの電磁波ノイズをAC商用電源から除去するPLC機器用コンセント(TAP)を開発した。

### 2. AC電源のフィルタ

従来からあるAC電源線路に用いるフィルタ製品を調べてみると、用途別に、多岐にわたる品揃えがあり、フィルタリングされる帯域も減衰量もいろいろあって、どれを使えば、安心できるAC電源になるのだろうかと考えさせられる。

また、ADSLやFTTHなどの宅内への通信配線の施工を行う事業者などが用いる、AC電源のノイズフィルタといわれるものは、電磁波ノイズのフィルタというよりも、雷や異常電圧サージの保護も含めた目的に設置されてきたためにPLC通信保護のための電源フィルタとしては、いささか心許ないフィルタと言わざるを得ない。

このような状況が見えてきたことから、われわれは当初考えていたPLC機器のためのフィルタ開発、というコンセプトの方向を修正して「家庭内で、電子機器を安心して使えるAC電灯線」のための電源線フィルタ開発と目標を定めた。

#### 2.1 AC電源線ノイズフィルタ

図1は、電源線ノイズフィルタと呼ばれるAC電源のフィルタの周波数特性(50オーム系測定)の一例である。

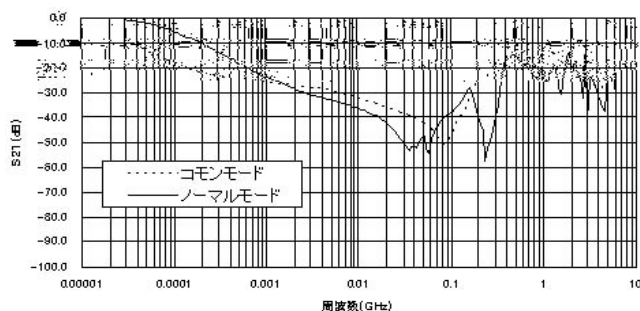


図1. インレット型AC電源線ノイズフィルタ  
50オーム系測定器(ネットワークアナライザ)  
を用いて測られた周波数帯域と減衰量の一例

これらの電源フィルタの基本的な回路は、AC電源に並列に入る抵抗とコンデンサ(Xコン)に続いて、直列にチョークコイル(通常はコモンモード・チョークコイル)そしてACの両方の線路からGNDの接地線路に繋がる、2個のコンデンサ(Yコン)で構成されている。

けれども、100MHzまで帯域が伸びているフィルタは逆に100kHz以下が切れていないといった具合に、帯域が狭くPLCの全帯域である10kHzから450kHzと2MHzから30MHzの両方をカバーしているフィルタは(徹底した調査ではないが)見つけることができなかった。

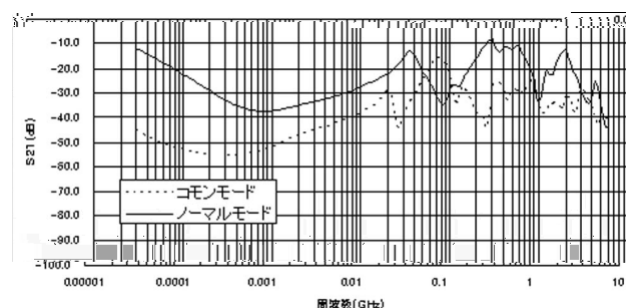


図2. 通信事業施工業者が用いるノイズフィルタ  
50オーム系測定器(ネットワークアナライザ)  
を用いて測られた周波数帯域と減衰量の一例

これに対して、図2に示すような通信事業の施工業者等が用いるAC電源線ノイズフィルタは、低域側でのフィルタリング周波数特性を、コモンモードとノーマルモードのチョークコイルをうまく組み合わせたり、複合モードのチョークコイルを用いることによって、両方のモード共に、ほ

ほぼ同じ除去帯域になるよう工夫されている。けれども、PLCの帯域である30MHzを越える周波数まで、除去帯域が伸びているフィルタは見つからなかった。

## 2.2 AC電源線ノイズフィルタの周波数帯域

どこから切るべきか。またどこまで切るか。という開発目標の設定に関して、低域周波数は10kHzからと決めだが、高域をどこまで切るかに関しては、議論が噴出した。

変調波のスプリアスを考えると300MHz以上は必要であろうが、そうなる、コンセプトの「電子機器に安心して使えるAC電灯線」を満足させるためには、携帯電話や電子レンジの帯域もカバーする、GHzを越える周波数帯域までのフィルタリングを実現しなければならないことになる。

## 2.3 AC電源線の通過周波数帯域

AC電源線にGHzの信号を通して、線路中で減衰して通らないという意見は多い。しかし、減衰するかもしれないが、線自体が電波に対しては暴露している(シールドされていない)のだから、AC電源のフィルタとしては、GHz帯域までのフィルタが必要であるという考えに基づき、開発する電源フィルタの上限目標は、マイクロ波帯域の3GHzまでとした。

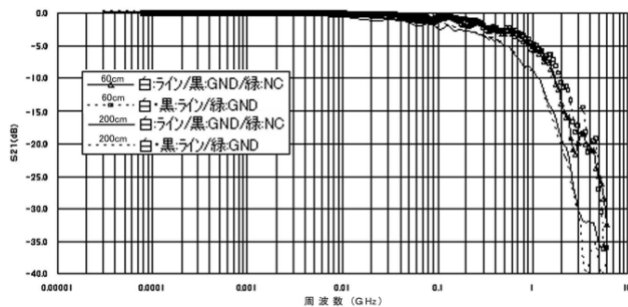


図3. AC電源線(3芯)の周波数帯域と減衰量  
50オーム系測定器(ネットワークアナライザ)使用

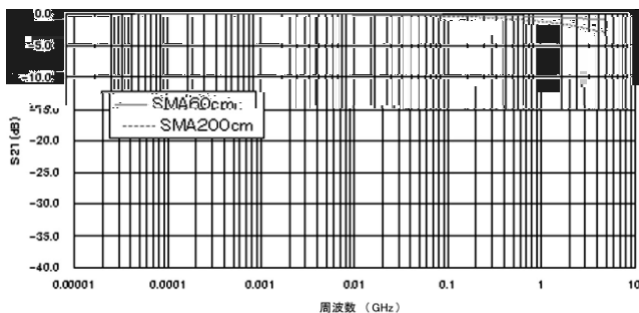


図4. 同軸線(SMAコネクタ付)ケーブルの周波数帯域と減衰量  
50オーム系測定器(ネットワークアナライザ)使用

図3に対して、図4は、断面積で100分の1以下の細い同軸の線でありながら、3芯のAC線に比べてGHz帯域での減衰量は数dB以下に収まっている。

これは、高周波の測定系にマッチした線材の構造である同軸線と、純抵抗は低いかもしれないが、高周波対応の線路で

ないAC電源線のインピーダンス系が違うために現れた測定結果であるが、片側の線が接地極で不平衡であるAC電源線にはノーマル、コモンの両モードが混在して重畳してくることは明らかで、測定結果のグラフからも、電波が重畳しやすく、測定グラフの線が暴れていることが見て取れる。

## 2.4 AC電源線用途・安心フィルタ

AC電源線には、伝搬する電磁波ノイズと、飛んできた電波ノイズも重畳することを考慮すると、開発するAC電源フィルタは、金属ケースに入れることが望ましいと考え、ステンレス製の箱を新しく設計した。

特に出力側ACコンセントからは、すぐに電子機器のACコンセントに繋がる構造にすることも必要で、AC電源線(3芯)に含まれるGND(緑色)線と製品の金属ケースは、電気的に接続しない(ただしGND線との接続もできる)構造に決めた。

## 2.5 フィルタ特性測定回路

開発するAC電源線用途・安心フィルタの周波数特性確認には、ノーマルモード測定とコモンモード測定の本両モードでの減衰値測定を行なわなければならない。

GHzを越える広帯域の周波数測定を行うためにはコモンモード測定時に用いるパワーデバイダ・モジュールは、kHzからGHzまでをカバーするものでなくてはならない。

時間の制約もあり、このような超広帯域にわたるデバイダが入手できないことから、今回は直接入力の本2線を繋いで測定することにした。このときに必要なGND線路は、フィルタ基板に作られた独立の本GNDパターンを利用する。

ノーマルモード測定では、通常はバルン(平衡不平衡インピーダンスマッチング・トランス)を使用するが、これもGHz帯域までの超広帯域をカバーするトランスがないために、やはりこちら本、直接フィルタ基板に半田接続して測定した。

### コモンモード測定

### ノーマルモード測定

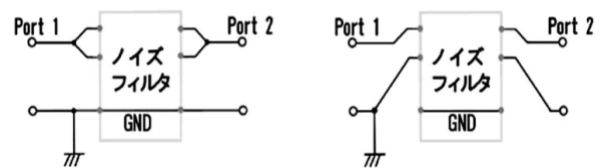


図5. 両モードの測定回路構成

## 3. フィルタ回路構成と特性予測

コモンモード・チョークコイルの共振点(アイソレーション最大点)と、Xコンの容量(共振点)が、大きく狂わないようにペアリングする必要もあって、コモンモード・チョークコイルとコンデンサのそれぞれについては、個別に測定を行なうと共に、ペアリングの本周波数特性も測定した。

このときの測定基板は、実際に組み込む基板を用いて測定した。これは、今回のAC電源フィルタ基板が、高周波用に作られた基板ではなく、PSEを取得するための、AC電源配線器具の配線パターン規格に準拠した設計で製作しなければならなかったためである。

よって、高周波領域での予測ができないことから、現物合わせ的な実験方法を用いた。

基板のパターン間隔は、耐電圧を考慮して通常よりもより広く取られ、基板厚も1.5mmと厚い。このような条件から、基板固有の寄生による共振周波数などの予測もできないと判断し、実際部品を基板に組み込んでの測定が中心になった。

個別測定を行ううちに、この基板による固有の共振点がいくつあることも解った。

### 3.1 周波数特性の予測

前述のような問題から、ノーマルモードとコモンモードのそれぞれの周波数特性の予測がしづらいために、体力勝負を覚悟の、高周波回路特有のカットアンドトライで回路構成を決めよう実験を始めた。

しかし、部品点数が増えるばかりで、重箱の隅をつつくような実験の繰り返しが続いて止まらなかった。

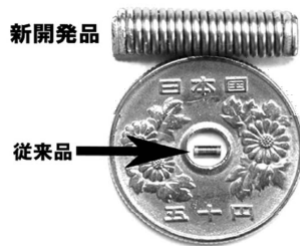


写真1. 開発した大型コイルフィルタ

袋小路の測定に入り込んでしまったカットアンドトライの解決策として、おおよそのところで回路基板を作製し、そこに搭載できる部品で特性を出すという方法に切り替えた。

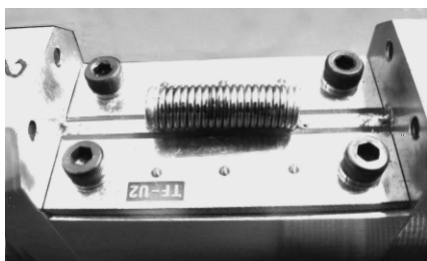


写真2. 大型コイルフィルタ測定治具

### 3.2 大電力用コイルフィルタ

開発のスタート時から、われわれが開発したショートリングタイプのコイルフィルタを活用できないかということは、テーマのひとつでもあったので、大型のコイルフィルタ実験

も平行して進めた。

今回のAC電源フィルタは、最大で125V、10Aの許容値を持つ設計となっていることから、3.5mmのフェライト材をコアにする大型のコイルフィルタを試作した。

測定を重ねた結果、写真1の、太い線で大きな口径に巻いたコイルフィルタも、今までの細い線で巻いたコイルフィルタも、同じ巻き数であれば、ほぼ同じ特性であることが解った。



写真3. 大型コイルフィルタ周波数特性の画像

### 3.3 周波数特性データの処理

ネットワークアナライザで測った周波数特性のグラフは、印刷紙の枚数が増えるばかりなので、当初からプロッタでは打ち出さず、データを読み込んでパソコン上でグラフ処理をしていた。

だが、時間がかかることと、おおくのデータが一度見ただけで終わる確認のデータであることが多いことに気づき、全ての測定データ確認は、写真3のような、デジカメによる撮影に切り替えた。このことで、実験のスピード化が計れた。

## 4. 最終のフィルタ回路構成

最終の回路構成は、コモンモード・チョークとXコン、それに繋がるノーマルモード・チョークコイルとYコンに加えて、100MHzから1GHzを押さえ込むために、今回開発したショートリング型コイルフィルタを用いた。

### 4.1 Xコン回路

Xコンは、容量の大きなものを用いれば、より低域が切れるというものでもなく、低域のコモンモードコイルとの組み合わせをうまく行えば、寄生共振の少ない(ギザギザの周波数特性にならない)きれいな特性で、大きなアイソレーションが取れる。

### 4.2 Yコン回路

コモンモード測定に対応するYコンについては、容量、耐圧のマーヅンをどこまで取るかという検討がメインで、ノーマルモードでの回路構成が変わるたびに確認の測定は行ったが、回路の定数は多くの時間を割かずに決められた。

### 4.3 安全、安心回路の追加

AC電源のコンセント・フィルタの商品化を検討するにあたって、産業用の従来品には搭載されている、雷保護、異常サージ保護、過電流保護、などの安全対策を付加するべきかどうかという議論は、最後まで尾をひいた。けれども近年の商用電源のノイズな状況を考えると、コストアップにはなるが、安全対策も搭載の必要があるという結論に達した。

写真4の右側、1 / 3の部分、これらの保護回路である。

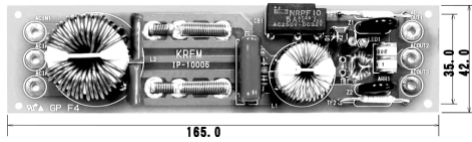


写真4 . 開発した電源フィルタ・モジュール基板

## 5 . フィルタ特性

最終的には、従来からあるフィルタ回路に、開発した大型コイルフィルタを搭載した回路構成となったが、超広帯域を実現するためにコモンモードコイルも、ノーマルモードコイルも新しく開発した。

図5は、開発した電源フィルタのコモン、ノーマル両モードでの周波数特性の測定結果である。10 kHz からを目標とした低域特性は、基板の低域共振が取れなくてグラフが暴れるため28 kHzからとした。

高域は、図6からも解るとおり20 GHz までの除去特性を確認し、-20 dB 帯域での超広帯域特性を実現した。

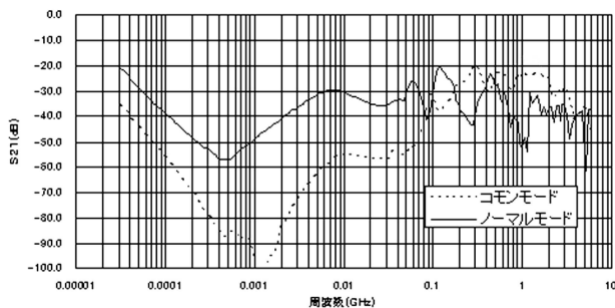


図5 . フィルタ基板の周波数特性（両モード測定）  
50オーム系測定器(ネットワークアナライザ) 使用

### 5.1 超広帯域特性

一台のネットワークアナライザではサポートしていない超広帯域にわたる周波数特性を、3台のネットワークアナライザのデータで作成したのが図6である。

-30 dB の帯域は数10 MHz から数100 MHz までの帯域が、十分に落ちていない。などの課題も残った

### 5.2 製品説明

写真5は、開発した基板を金属ケースに入れた製品である。出力側は、ACインレットタイプのコネクタが一体成形された、コネクタ・ケーブルで出ている。

このケーブルは、3芯のACケーブルであるが、コネクタまでシールドされている。

金属ケースの入力部は、3芯のインレットコネクタを差し込めるように、レセプタクルのインレット型になっている。

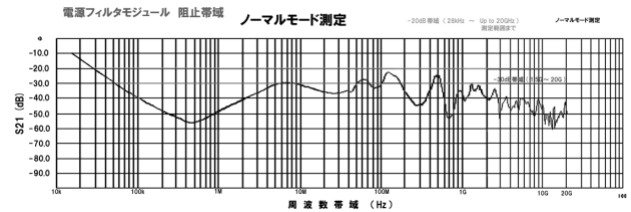


図6 . 10 kHz から20 GHz までの測定データ

この電源フィルタ・モジュール製品の使い方は、デスクトップタイプパソコンの裏側にある、インレットコネクタを引き抜いて、このフィルタモジュールの入力コネクタに差し込む。反対側から出ている出力インレットケーブル(コネクタ)は、いま抜いたパソコンの電源コネクタ入力部に差す。

このように接続することで、電源フィルタ・モジュールからパソコンまでは、外来の電波もガードする。



写真5 . 金属ケースの電源フィルタ・モジュール

## 6 . ま と め

高周波回路基板ではない、AC電源回路に搭載する電磁波ノイズ除去フィルタの広帯域化は、市販のコイル部品を用いたのでは、数100 MHz から1 GHz を越える帯域での電磁波ノイズ除去は、コモンモードコイル磁性体の周波数限界もあり、容易ではない。

今回開発したショートリングタイプ・コイルフィルタのGHz帯域でのコモンモード除去特性に関しては、巻き方向、形状、コア材特性など、未解決な課題もあり、継続して開発を続ける。

また、外来電波ノイズがどのくらいフィルタの特性に影響しているのか。金属ケースに入れたことが、電磁波ノイズ除去のフィルタ特性に影響を与えないかどうか。等々、金属ケースに入った電源フィルタ製品のフィルタ特性開発も継続して行う。

## 参 考 文 献

- [1] 上芳夫、「高速電力線通信からの妨害の許容値」  
CHOFU Network Vol.18-3 2006