

# AC電源ラインのノイズ対策

TDK株式会社 マグネティクスビジネスグループ 正木 優

「AC電源部でのノイズの侵入と流出を防ぐ電源用EMCフィルタ」で説明したように、機器から流出するノイズはAC電源ラインを通して伝播し、そこにつながる他の機器に流入して誤動作をさせたり性能を悪化させたりします。ACラインから流出するノイズを低減することはとても重要です。本稿では、IECのノイズ規制規格CISPR（シスプルと読む）に準じたAC電源ラインに流出するノイズの評価法と、ノイズの低減方法を実験データを示しながら解説します。

## 1 | AC電源ラインを流れる伝導ノイズの評価法

### ■ 欧州の規格が規定する測定法

欧州のノイズ規制にはENがありますが、CISPRをベースにして決められています。

IECのノイズ規制規格CISPR (Comite International Special des Perturbations Radioelectriques) では、電子機器の電源コードから流出する伝導ノイズの測定法と限度値を規定しています。図1に示すのは、同規格で指定している測定方法です。

高さ80cmの木製の机の上に被測定機器を置きます。被測定機器から80cm離れたところに置いたLISN（写真1）と呼ばれるノイズ測定用の機器に電源コードを接続します。LISNは、大きな導体面つまりアース上におきます。妨害波測定器は、LISNが出力するノイズを検波してそのレベルを表示します。

### ■ LISNの原理

LISN (Line Impedance Stabilizing Network) は、電子機器の電源コードから流出するノイズレベルを定量的に評価することを可能にする治具のようなものです。

図1 CISPRが規定しているAC電源ラインの伝導ノイズ測定法

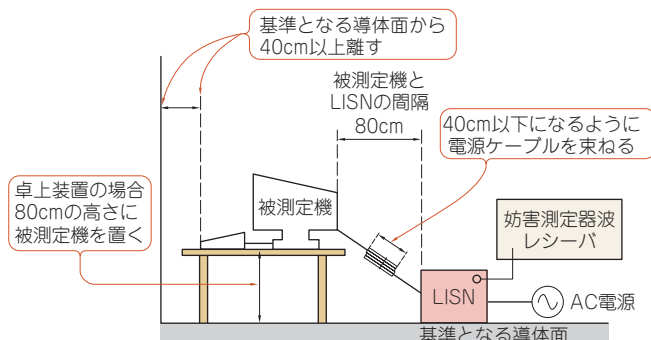


写真1 LISNの外観 (KNW-407, V型、協立電子工業株式会社)

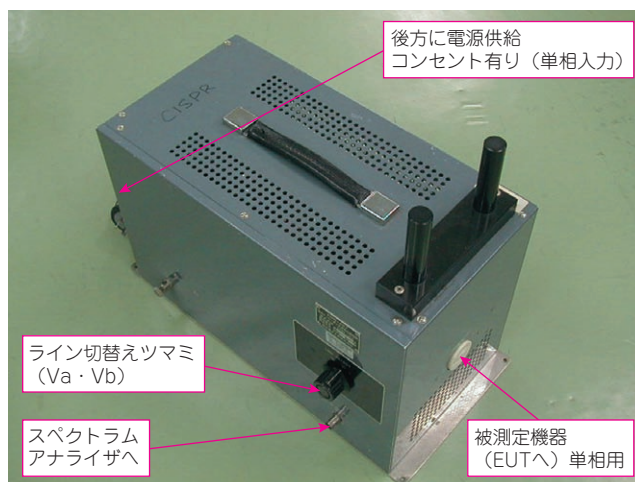


図2にLISNの内部回路を示します。抵抗とインダクタそしてコンデンサで構成された単なるフィルタ回路です。電源供給側のインピーダンスが違ってても、同じ条件で妨害波電圧を測定できます。測定周波数帯域 (0.15 ~ 30MHz) において、被測定器側から見たインピーダンスも50Ω一定です。LISNの主な目的は次の2つです。

- ① 電圧線の導体と接地線との間、および中性線の導体と接地線とのインピーダンスを50Ω一定にする。
- ② 電源からの外来伝導ノイズを阻止する。

図2 LISNの内部回路例

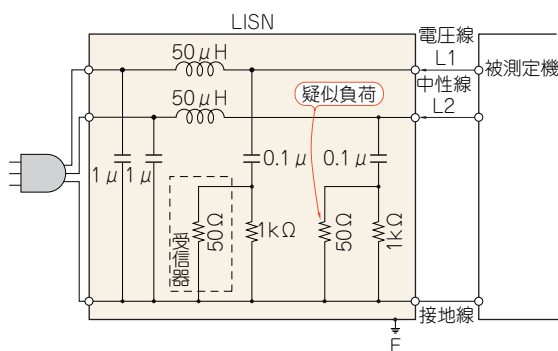
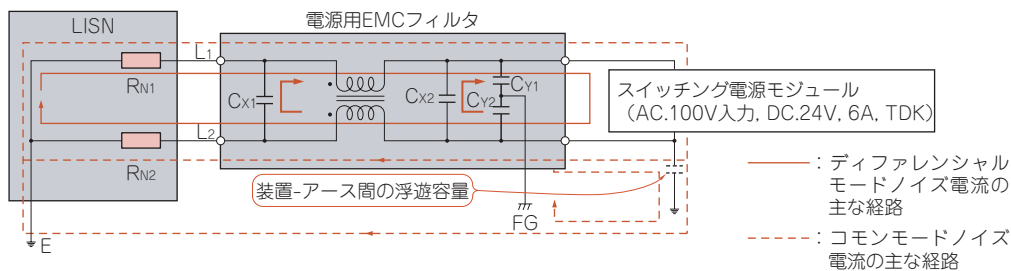


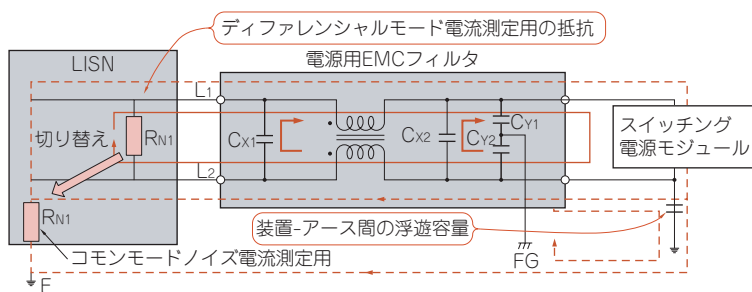
図3 (a) に示すように、伝導ノイズレベルはLISNのノイズ測定用抵抗の両端の電圧降下を測定して得ます。この電圧降下分は、電源ラインとアース間のノイズ電圧（一線大地間電圧という）であり、コモンモードとディファレンシャルモードのノイズが合成された値

図3 標準タイプ (V型) と伝送モード分離タイプ (Δ型) LISNを使った伝導ノイズ測定法とノイズの流れ

(a) 標準ノイズ測定回路 (V型)



(b) 伝送モード分離測定回路 (Δ型)



になります。一般にこの伝導ノイズレベルを雑音端子電圧と呼び、単位は $\text{dB}\mu\text{V}$ です。

■ 実際のノイズ・レベルの測定方法

ノイズの周波数成分を把握していない場合は、まずLISNスペクトル・アナライザを接続して、ノイズのスペクトルを調べます。スペクトル・アナライザの表示地は尖頭値です。掃引時間を短めに設定して、規制値を超えている周波数を見つけます。

対策すべきノイズの周波数を絞り込んだら、妨害波測定器の測定周波数をその周波数に設定します。準尖頭値検波モードと平均値検波モードを切り替えながら値を表示させ、規格値と比較して対策検討します。

■ コモンモードとディファレンシャルモードに分離して測定する

伝導ノイズの伝送モードは、コモンモードとディファレンシャルモードの2つに分類できます。そして、コモンモードノイズにはコモンモードフィルタを適用すると効果があることなどを学びました。AC電源に流出するノイズもコモンモードとディファレンシャルモードに分けることができ、モードによって対策の方法が違ってきます。

標準的なLISNは、2つのモードを分離することができませんが、図3 (b) に示すタイプのものであれば可能になります。コモンモードとディファレンシャルモードの測定用の抵抗を切り替えることができる構造になっています。図3 (a) のタイプのLISNをV型といい、CISPRやFCC (Federal Communications Commission) が指定する標準のLISNです。一般にLISNといえば、このタイプです。

図3 (b) のタイプのLISNはΔ型といいます。これまで、テレビなどの伝導ノイズ測定に使われていたのですが、CISPRやFCCなどが標準のLISNにV型を指定してからは、ほとんど使われなくなりました。しかし、コモンモードとディファレンシャルモードを分離して測定できる唯一のLISNであり、ノイズ検討用としても便利な道具です。

■ 伝送モードを分離して電源端子を測定した例

図4と図5に、V型とΔ型のLISNでスイッチング電源モジュールの電源端子電圧を測定した例を示します。

図5に示すように、Δ型LISNを使うとコモンモードノイズとディファレンシャルモードノイズを分離して測定できます。図5から伝導ノイズの主な成分はコモンモードであると特定でき、まずはコモンモード対策が必要ながわかります。

図4 V型LISNを使って測定したスイッチング電源モジュールの伝導ノイズスペクトル

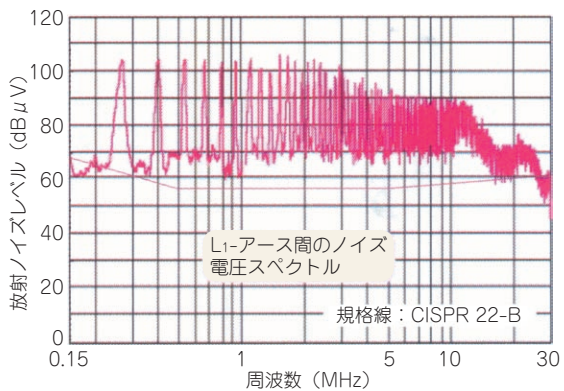
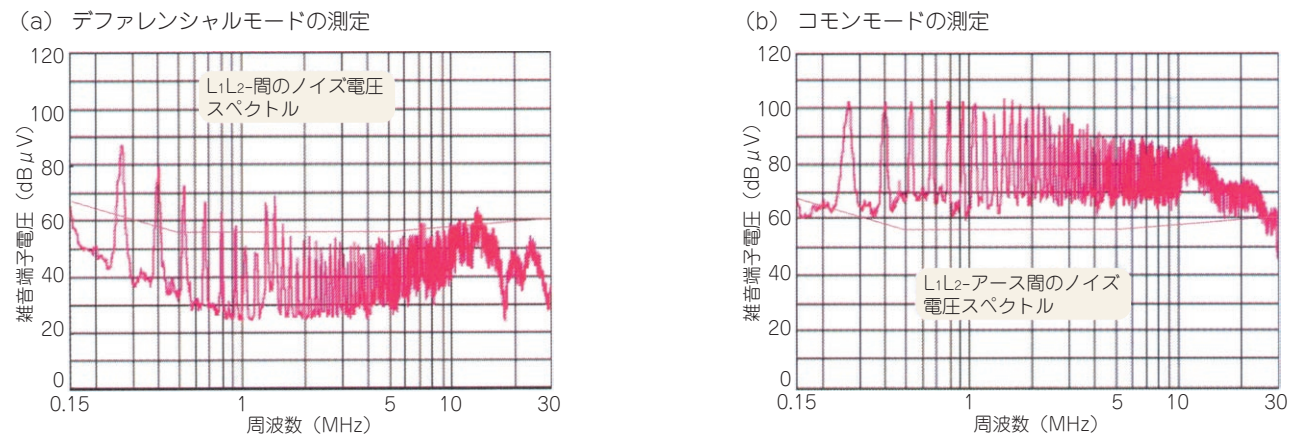


Figure 5 (not shown) would illustrate the noise spectrum using a Δ-type LISN, which would allow for the separation of common mode and differential mode noise components.

図5 Δ型LISNを使って測定したスイッチング電源モジュールの伝導ノイズスペクトル



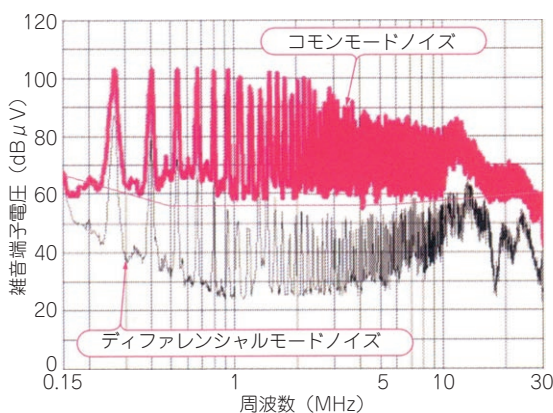
## 2 | スwitching電源モジュールの雑音端子電圧対策事例

### ■ 対策方法とノイズの低減効果

#### (1) コモンモードノイズ対策

図6に示すように、対策前はコモンモードノイズが高く約100dB  $\mu$ Vに達しており、規格の限度値に対して40dB  $\mu$ V以上オーバーしています。

図6 ノイズ対策をしていないスイッチング電源モジュールの伝導ノイズスペクトル



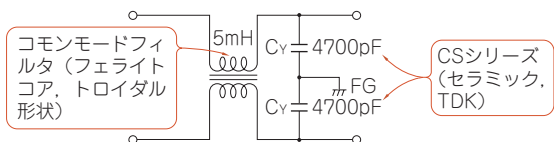
そこで図7 (a) に示すように、ACラインにコモンモードフィルタを挿入し、各ラインからフレームグランド (FG) に4700pFのコンデンサを挿入しました。これらのコンデンサをYコンデンサと呼びます。その結果、図7 (b) に示すようにコモンモードノイズは規制値内に低減されます。

#### (2) ディファレンシャルモードノイズ対策

図7 (b) に示すように、150kHz ~ 2MHzの帯域のディファレンシャルモードノイズが規格の規制値をオーバーしています。そこで、図8 (a) に示すように、ACライン間に0.47  $\mu$ Fのコンデンサを挿入しました。このコンデンサをXコンデンサと呼びます。その結果、図8 (b) に示すように、ノイズレベルは規格の規制値以下に下がります。

図7 コモンモードノイズ対策とその効果

#### (a) コモンモードフィルタとYコンデンサを2個追加する



#### (b) 雑音端子電圧のベクトル

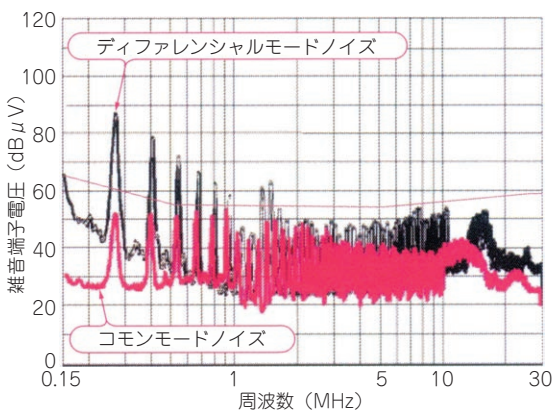
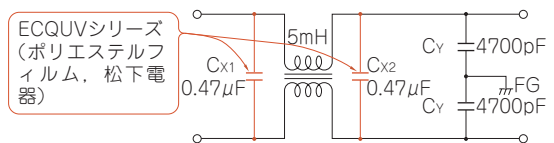
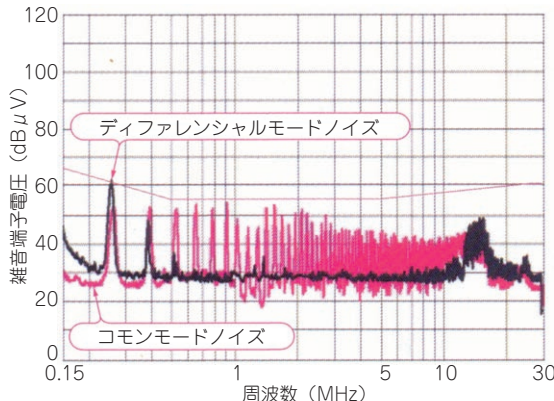


図8 ディファレンシャルモードノイズ対策とその効果

#### (a) コモンモードフィルタとYコンデンサを2個追加する



#### (b) 雑音端子電圧のスペクトル

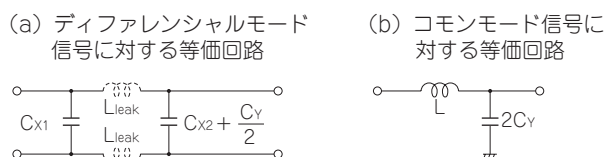


## ■ 対策部品の選び方のポイント

### (1) コモンモードフィルタ

図9に等価回路を示します。コモンモードフィルタは、数～数十 $\mu\text{H}$ の漏れインダクタンスを持っています。この成分が大きいとコアが飽和しやすくなりますが、ディファレンシャルモードノイズを低減する働きがあります。2モードフィルタなどはこの成分を積極的に利用した部品です。飽和対策とディファレンシャルモードノイズ対策はトレード・オフの関係にあります。

図9 コモンモードフィルタの等価回路



### ▶ Yコンデンサ

ACラインとFG間に接続するYコンデンサは、コモンモードノイズ電流をFGに逃がす働きがあります。コモンモードコンデンサとも呼びます。

Yコンデンサには、AC電源の周波数と電圧に応じた漏れ電流が流れます。Yコンデンサの容量が大きいと漏れ電流が大きくなり感電の恐れがあるため、ULなどの安全規格では、漏れ電流の大きさが一定値を超えないよう容量を制限しています。

図7や図8に示すように、Yコンデンサは通常2個使います。ACライン間が容量で結合されるため、ディファレンシャルモードノイズにも効果があります。特に8～10MHz付近の周波数の高い部分で効果があります。

### ▶ Xコンデンサ

AC電源ライン間に接続するXコンデンサは、ディファレンシャルモードノイズに対してだけ効果があります。ディファレンシャルモードコンデンサとも呼ばれ、1 $\mu\text{F}$ 程度の比較的大容量のものが使われます。Xコンデンサはライン間接続であり、ライン-アース間に接続されていないため、壊れても感電などの恐れはありません。Xコンデンサは、Yコンデンサより低周波帯の150kHz～1MHzで効果があります。

## 3 急峻なパルス性ノイズの進入を食い止めたいときは クランプフィルタを使う

図10に示すように、クランプフィルタは高周波までインピーダンスが下がらない部品です。ケーブルに装着するだけで、高周波成分をたくさん含んでいるパルスノイズや静電気などの外来ノイズ対策として、とても有効です。

図10 クランプフィルタは高域まで高インピーダンス特性を維持する

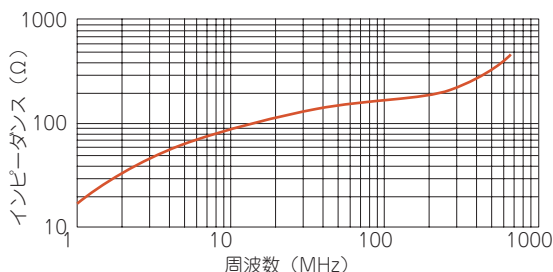


写真2に、AC電源コードにクランプフィルタ（ZCAT2035-0930A）を取り付けた様子を示します。

写真2 AC電源コードにクランプフィルタを装着した様子

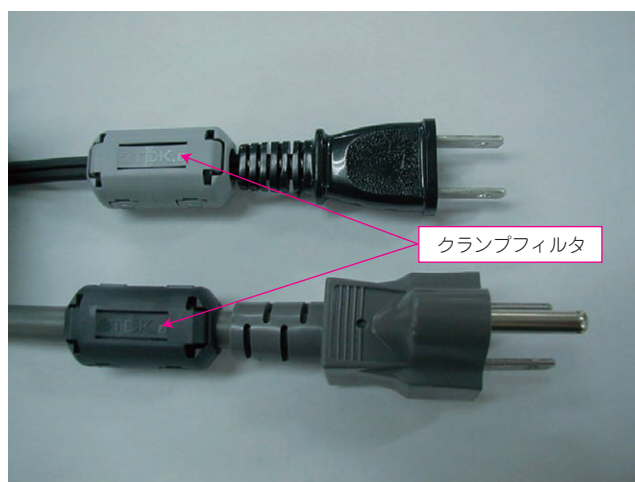
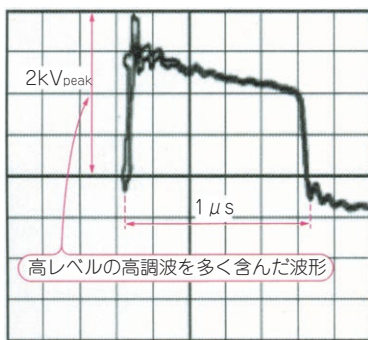


図11に、クランプフィルタ装着前後のパルスノイズの抑制効果を示します。スイッチング電源モジュールの1次側にピーク電圧2kV、パルス幅1 $\mu\text{s}$ のパルス電圧を加えて、2次側に現れる電圧波形を観測しました。クランプフィルタを装着すると1次側に漏れるノイズ波形のピーク値は2kVp-pから0.7kVp-pに減少します。

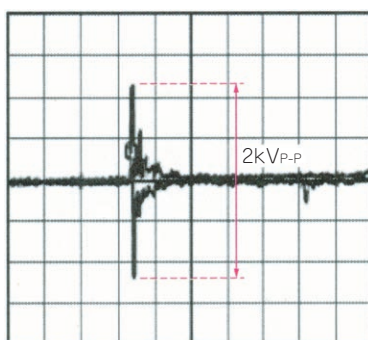
一般の電源用EMCフィルタは、30MHz以上の高周波成分に関しては効果が期待できません。高電圧パルス対応用の電源用EMCフィルタを使っても、パルスの立ち上がり急峻な場合は、高いピーク値のパルスノイズが2次側に出力されることがあります。その点、クランプフィルタを使えば高周波帯でも安定した減衰効果が得られます。

図11 クランプフィルタの高速パルスノイズの低減効果 (500V/div., 0.2 $\mu$ s/div.)

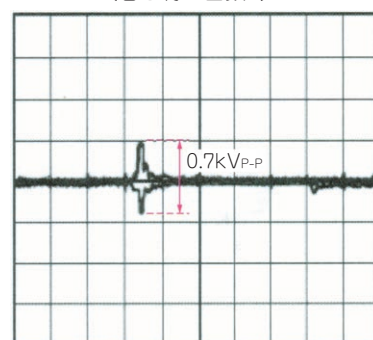
(a) 入力  $V_{in}$



(b) クランプフィルタ装着前の出力  $V_{out}$



(c) クランプフィルタZCAT3030を装着 (巻き付け回数2)



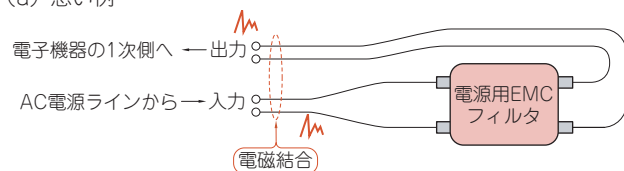
## 電源用EMCフィルタの性能を引き出すために

### ■ 入力の配線と出力の配線を近づけない

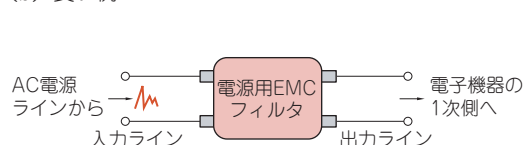
図12に示すように、入力の配線と出力の配線が近づかないように工夫してください。束ねたりして入出力の配線が接触すると、浮遊容量や電磁的な結合によって、せっかく除去したノイズが再び拾われてノイズ抑制効果が劣化します。

図12 電源用EMCフィルタの入力と出力の配線は遠ざける

(a) 悪い例



(b) 良い例



### ■ アース間とのインピーダンスをできるだけ下げる

電源用のEMCフィルタのグラウンドとアース間のインピーダンスはできるだけ低くします。

金属ケースタイプの場合は、ケースと機器のFGを接続するだけで高周波のノイズも低減できます。機器の筐体が塗装されている場合は、図13に示すように、塗装を剥がすなどしてインピーダンスの低い接続状態を実現する必要があります。プラスチックケースタイプの場合は、できるだけ太くて短いリード線で配線します。図14に電源用EMCフィルタRSAN-2010 (単相AC, 250V、10A、TDK-Lambda) のケースをアースに接続した場合と長さ10cmの線材でアースに接続した場合の減衰特性の変化を示します。

図13 電源用EMCフィルタのアース端子は筐体の塗装をはがして接続する

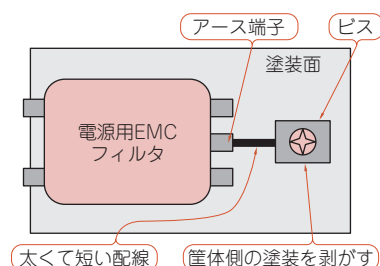
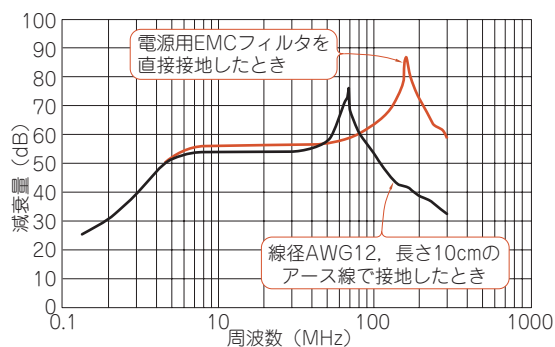


図14 電源用EMCフィルタのグラウンドの取り方と伝導ノイズ減衰量の変化



## ■ シールドングによる入出力分離

図15に示すように、電源用EMCフィルタはできるだけノイズの発生源の近くか、電子機器の出入り口に取り付けます。機器の外部に置いて配線すると電源ラインからノイズが放射されたり、逆に電源ラインにノイズが侵入して誤動作の元になります。

## 参考文献

- (1) 木下敏雄 ; EMCの基礎と実践, 日刊工業社, 1997年.
- (2) Tim Williams ; EMC for Product Designers, Newnes, 1992年.
- (3) Clayton R. Paul ; EMC概論, pp.482 ~ 483, 1996年2月, ミマツデータシステム.
- (4) 益野吉夫;エレクトロニクス11月号別冊, pp.89 ~ 90. 1998年, (株)オーム社.

図15 電源用EMCフィルタはノイズの発生源の近くに置く

