

FURUKAWA

AV CABLE NEWS

古河電工

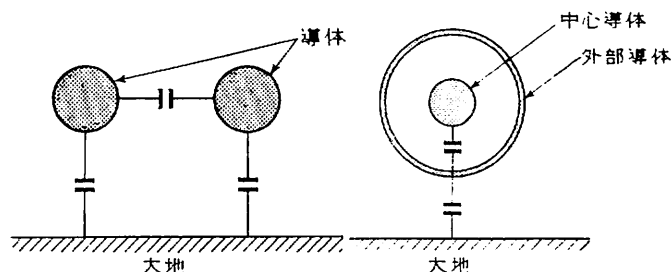
「オーディオ・ケーブルはなぜ同軸か？ バランス伝送の提案」

根岸邦夫

L プレコードが全盛であった一昔前は、カートリッジやトーンアーム等を容易に交換でき、それなりの楽しみ方があった。しかし、現在のCD全盛においては、素人が簡単に装置をいじくり回すわけにはゆかなくなった。このような状況の中で、残された容易に交換可能な部品として、機器間を接続するケーブル類が存在する。そういった現状を反映してか、セットメーカーやケーブルメーカーから数多くのケーブル類が発売され、オーディオ雑誌にもケーブル関係の記事が多く掲載されるようになってきた。

しかしケーブルは、かつて導通していれば良い存在であったがために、導体材料を除けばほとんど議論されることがなかったといえる。それがゆえに紆余曲折も多く、また、それらがいとも簡単にノーチェックで受け入れられてははいないだろうか。

本連載は、以上の点を踏まえてケーブルに関する基本問題を、技術者の立場から取り上げるものである。



〈第1図〉バランス型

〈第2図〉アンバランス型

ケーブルが注目されはじめ、一部のアンプには、キャノン型の出力端子を有しているものも出現している。ここでは、バランス型とアンバランス型の違いや、それぞれどんな利点を有しているのかについて分析してみよう。

正しい知識で、紆余曲折している概念を正しく理解して載き、また“自分の好みの音”がするケーブルを捜し求めている読者の一助になればと考えている。

バランス(平衡)とアンバランス(不平衡)型

最近、バランス型のオーディオ・ケ

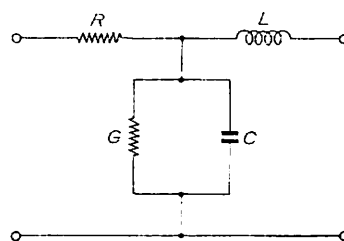
ーブルは構造および結線方法により、バランス型とアンバランス型に区別できる。バランス型とは第1図のように往復線路を構成する導体がほぼ等しい構造をしており、電気的にも大地(接地電位)に対し等しい関係にあるものをいう。バランス型ケーブルの代表は対型ケーブルである。

一方、アンバランス型とは、往復する2線が構造および電気的に同一条件にないものをいい、同軸ケーブルがその代表である。同軸ケーブルでは、中心導体は外部導体を介して大地に至るのである(第2図)。

このように、ケーブルはその構造やシールド処理の仕方によって、バラン

項目	バランス型(2芯ケーブル)	アンバランス型(同軸ケーブル)
構造	導体: $d=1.0\text{mm}$ ϕ 銅線 絶縁体: ポリエチレン 外径: $B=2.5\text{mm}$ 仕上り外径=シース外径 $=7.2\text{mm}$	中心導体: $d=1.0\text{mm}$ ϕ 銅線 絶縁体: ポリエチレン 外径: $D=2 \times B=5.0\text{mm}$ 外部導体: 0.12mm ϕ 銅線編組(6本持24打) 仕上り外径 $=7.2\text{mm}$
直流導体抵抗	1.0mm ϕ の軟銅線の直流抵抗 $\approx 22 \Omega/\text{km}$ ゆえにループ抵抗 $R_B \approx 44 \Omega/\text{km}$	中心導体: 1.0mm ϕ の軟銅線の直流抵抗 $\approx 22 \Omega/\text{km}$ 外部導体: 編組の直流抵抗 $\approx 15 \Omega/\text{km}$ ゆえにループ抵抗 $R_C \approx 37 \Omega/\text{km}$
	$R_C / R_B = 37 / 44 = 0.841$	
静電容量	$C = (12.06 \times \epsilon_e) / \log_{10} \frac{1.2 \times B}{d}$ $d=1.0\text{mm}$ $B=2.5\text{mm}$ $\epsilon_e=2.3$ とすると $C_B \approx 58.2 \text{ (pF/m)}$	$C = (24.16 \times \epsilon_i) / \log_{10} \frac{D}{d}$ $d=1.0\text{mm}$ $D=5.0\text{mm}$ $\epsilon_i=2.3$ とすると $C_C \approx 79.5 \text{ (pF/m)}$
	$C_C / C_B = 79.5 / 58.2 \approx 1.37$	

〈第1表〉バランス型とアンバランス型の比較



〈第3図〉ケーブルの電気的等価回路

R : (往復)導体抵抗
 L : インダクタンス
 G : 漏えい量
 C : 静電容量

ス型とアンバランス型に分類される。同様にオーディオ機器で取扱われる種々の信号も、バランス型とアンバランス型に分けることができる。カートリッジやマイクロホン等のコイルや圧電素子に発生する電圧は、電磁気学的にはひずみ波交流と称されるバランス型信号である。一方、CD等で利用されるパルス信号は、本来接地電位(0V)を基準に信号伝送をするので、アンバランス型信号といえる。

伝送される信号のタイプとケーブルのタイプとを合わせる方がベターなのはいうまでもない。パルス信号は、その立上がりおよび立下りの部分に高周波成分を含むので、高周波用ケーブルを必要とする。この種の問題は次号以降で詳細に議論するとして、ここではアナログ信号を効率良く伝送する課題に着目してみたい。

減衰量：α

減衰量とは信号がケーブルを伝わっていく過程で消費されるエネルギー量のこと、小さい方がよい。ケーブルの等価回路は第3図のとおりで、減衰量はつぎの一般式で示される。

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (RG - \omega^2 LC)}$$

ω：角周波数 = 2πf f：周波数

オーディオ周波数帯を数10kHzまでとすればつぎの近似式になる。

(1) 商用周波数程度の低周波では、 $\omega^2 \approx 0$, $\omega C \gg G$, $\omega L \ll R$ なので

$$\alpha \approx \sqrt{R \cdot G} \quad G = \omega \cdot c \cdot \tan \delta$$

$$\approx \sqrt{R \cdot \omega \cdot c \cdot \tan \delta}$$

tan δ：絶縁体の誘電正接

(2) 上限の数10kHzまでは、 $\omega C \gg G$, $\omega L \ll R$, $LG \ll RC$ なので

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}$$

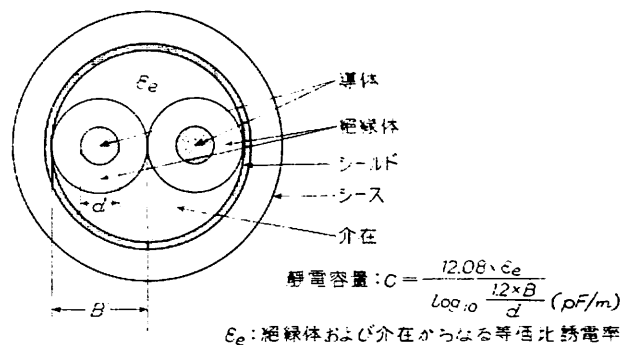
$$\left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{G}{\omega C} \right) \right\}$$

以上のことからオーディオ・ケーブルでは

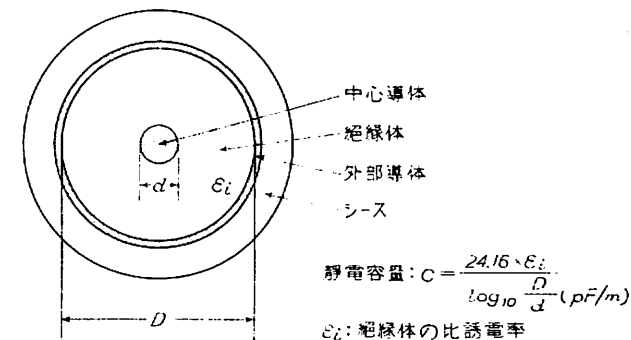
- ① 導体抵抗(R)が小さいこと
- ② 静電容量が小さいこと
- ③ 絶縁体の電気特性(tan δ)が良好なことがロスの少ない条件である。

さて、本論に戻り、よく店頭で目にする太さ7~8

mm程度のオーディオ・ケーブルについて、バランス型(2芯シールドタイプ)とアンバランス型(同軸タイプ)を同じ導体および絶縁材料で製造したものとし、比較してみよう。第4図、第5図にケーブル構造を、第1表に計算結果を示す。同軸ケーブルの外部導体の断面積は中心導体のそれより大となるため、導体抵抗は約15%同軸ケーブルの方が小さくなる。一方、静電容量は、約37%2芯シールド・ケーブルの方が小さくなる。この結果、同じ導体と絶縁材料を使用するとバランス型の方が減衰量を小さくすることができる。このことは、音の味付けに対する自由度がそれだけ与えられたことにほかならない。たとえば、第1表にあるバランス型ケーブルの導体径を見直し、アンバランス型と同一の静電容量になる約80pF/mとすると、導体径は約



▲<第4図>2芯シールドタイプ・バランス型ケーブル



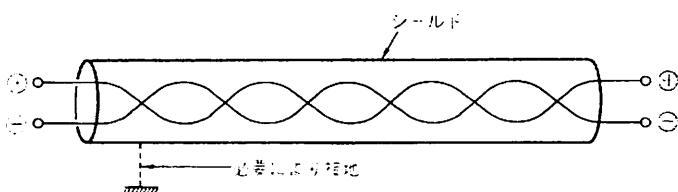
▲<第5図>同軸タイプ、アンバランス型ケーブル

1.35mmと太くでき、このループ導体抵抗は約25Ω/kmと大幅に低下して、低音域が改善(強調)された傾向のケーブルになる。

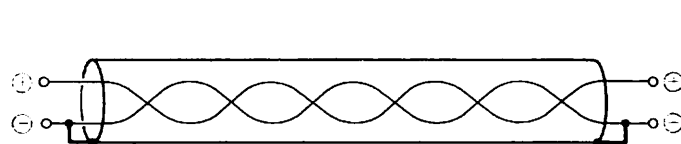
バランス型ケーブルの使い方

上記のとおりバランス型ケーブルの方が利点を有しても現実には同軸ケーブルが主流なのは、RCAピンジャックが同軸構造にあるからであろう。

バランス型の通常の使い方は、2線芯に信号を供給し、シールドは外来ノイズの影響があるときのみ接地する(第6図)。バランス型ケーブルの端末でシールドを片側線芯と接続すると、アンバランス型にも使用できる(第7図)。このような使用法を推奨しているカタログ等も見かけるが、上記のとおり静電容量を増加させるのみで、バランス型の利点を殺した使用法といわざるをえない。(古河電気工業株)



<第6図>バランス型ケーブルの使用方法



<第7図>バランス型ケーブルをアンバランスとして使用



「燃線は表皮効果を減らせるか？ バイワイヤリングについて」

根岸邦夫

驚

異的なスピーカ・コード登場、高音域用には細い銅線を多数、低音域用には太い銅線、独特な方法で燃り合わせました……。最近この種の謳い文句をよく目にするが、こうも都合良く、高音域の信号が細い銅線に、低音域の信号が太い銅線にと分離して流れるものだろうか？ われわれが物理学や電磁気学で学んだ理論によると、複数の導通路があれば、直流や低周波電流は、それぞれの導体抵抗に反比例して流れることになっている。すなわち、低周波域の信号は、細い線にも太い線にもそれぞれの太さに応じて流れるという考え方だ。しかし、高音域については、細い線が導体の外側にくるように配列すると、表皮効果で細い線に集中して電流が流れる、との反論が出るだろう。たしかに物の本には、表皮効果の軽減策として細い線を何本も燃り合わせた燃線が効果的と書かれている。そこで、表皮効果がどの程度の周波数から問題となり、燃線の効果がどの程度かについて、以下で議論してみよう。

表皮効果とは何か？

導体を流れる電流は、周波数が上がるにつれ導体の表面に集まろうとする性質がある。これは高周波の電磁波は金属中に深く入り込めないと、導体内部の電流の反作用として、理由が説明されている。詳しくは電磁気学や有線伝送理論の書物を参考にされたい。問題は、電流が導体表面に集まるために導体の中心部には電流が流れず、結果として導体の有効断面積が小さくなり導体抵抗が増加することにある。導

体抵抗が増加すれば、前月号で示したように減衰量が大となり、音質劣化をひきおこすようになる。

ここで、表皮効果がどの程度の周波数から問題になるのかを考えてみよう。電流密度が導体表面に対し $1/e$ (e は自然対数の底、 $e=2.718\cdots$) になるところの深さを「表皮深さ： δ 」と称して表皮効果の目安にしている。ちなみに $1/e$ は約 0.37 で、 δ の深さでの電流密度は、表面に対して 37% ということになる。

δ は次の関係式で示される。

$$\delta = \sqrt{2 / (\omega \sigma \mu_0 \mu)}$$

ω ：角周波数 $= 2\pi f$

σ ：導電率

μ_0 ：真空の透磁率

μ ：導体の比透磁率

導体が銅線の場合は次の式となる。

$$\delta_{cu} = 2.09 / \sqrt{f} \text{ (mm)}$$

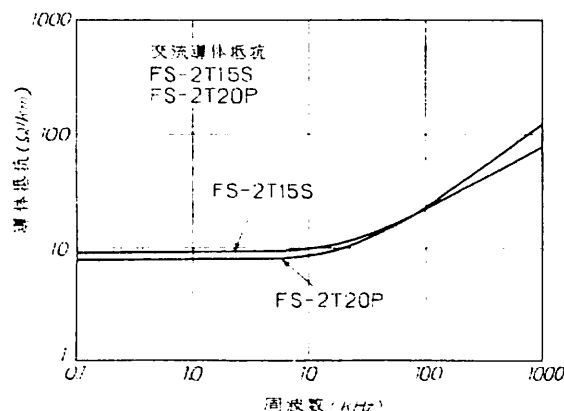
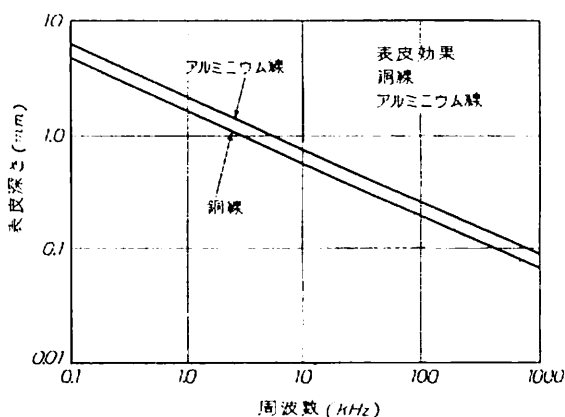
f ：周波数 (kHz)

一般に、導体径： d と δ の関係が

$$d \geq 2\delta$$

を満足する周波数では表皮効果を考慮しなければならない。第 1 図に表皮深さと周波数の関係を示す。一般のスピーカ・コードでは、 $d=2\delta$ が成立するのは 10~20 kHz 程度であり、高音域

＜第 1 図＞
導体中を伝わる信号の周波数と表皮深さの関係。オーディオ用として使われる通常の線径では、10 kHz 以上のあたりから影響が出る。また、導体材料によって表皮効果の度合いに違いがあり、銅よりもアルミニウムのほうが、導電率が低いために表皮効果の影響を受けにくい。



＜第 2 図＞

FS-2 T 20 P (燃線型) と FS-2 T 15 S (単線型) の導体抵抗比較。一般的な予想に反して、FS-2 T 15 S のほうが、周波数に対して少ない抵抗値変化に収まっている。燃線構造に表皮効果面の大きなメリットを求めるのは、適切といえない。

の上のほうで影響が出る。

表皮効果の軽減策

表皮効果の軽減には細径の素線を数多く撚り合わせた撚線が良いとされ、実際にこのようなスピーカ・コードが市販されている。さらにバイワイヤリング用として、低音用と高音用を分離したものまである。

では、撚線の効果がどの程度なのかを調べてみよう。比較にちょうど適したスピーカ・コードがあるので実験を試みた。古河電工から販売されているFS-2 T 15 SとFS-2 T 20 Pだ。これからコードの構造と材質を第1表に示す。FS-2 T 15 Sは、導体に1.5 mmφ PC OCC[®] アズキャストの単線を使用している。一方、FS-2 T 20 Pは、0.18 mmのPC OCC[®]を80本撚り合わせた撚線導体を使用、導体外径は1.86 mmである。導体断面積はともに約2 mm²で、ポリプロピレンの薄肉絶縁を施している。コードは、構造・材質とも非常に類似しており、導体の撚線と単線の効果を比較するのに適している。以下、FS-2 T 15 Sを単線型、FS-2 T 20 Pを撚線型と表記して、話を進めよう。

まずはじめに、これらコードの導体抵抗に対する周波数特性（交流導体抵抗）の評価結果を第2図に示す。なんと交流導体抵抗の周波数に対する増加割合は、撚線型のほうが大きいのである。とくに表皮の深さが撚線導体の素線径0.18 mmとほぼ等しくなる100 kHz以上では、上昇カーブの傾きはさらに急激となる。次の計算を試みるとこの原因が理解できる。実験に使用した撚線型は、撚線導体の最外層に

項 目		FS-2 T 20 P (撚線型)	FS-2 T 15 S (単線型)
導 体	材 質	PC OCC	PC OCC アズキャスト
	構 成 (本/mm)	80/0.18	1/1.50
	外 径 (mm)	1.86	1.50
	断 面 積 (mm ²)	2.04	1.77
	最大抵抗 (Ω/km)	10	10
絶縁体	材 質	ポリプロピレン	ポリプロピレン
	外 径 (mm)	2.5	2.1
シース	材 質	柔軟性PVC	柔軟性PVC
仕上がり外径 (mm)		6.5	5.8

〈第1表〉 FS-2 T 20 P、FS-2 T 15 Sスピーカ・コードの規格

0.18 mmのPC OCC[®]素線を28本撚り合わせている(第3図)。この最外層の断面積は0.718 mm²である。一方、単線型の導体は1.5 mmφの単線であるが、外表面より内側0.18 mm(第3図の破線)までの面積:S'は0.746 mm²で、撚線型の外層よりS'が大になり、交流導体抵抗が小さいのも道理である。すなわち、導体を単に撚線構成としても効果はなく、むしろ単線の方が占積率が良くケーブルを細径化できるメリットがある。バイワイヤリング用と称し、高音域用に低音域用より細い撚線を使用したコードは、表皮効果から見ると十分な性能を発揮するとは言い難い。

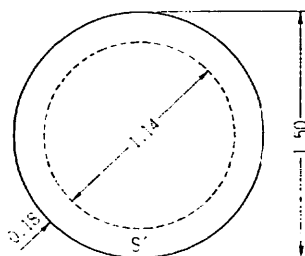
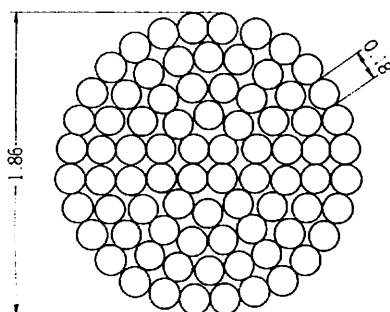
では、どのようにしたら表皮効果による交流導体抵抗の上昇を抑えることができるのか？ そのひとつの方法は、外径の太い同筒形導体を作ることである(第4図)。たとえば、中心に絶縁性の介在物を入れ、その上に所定の銅線を1層または2層にして撚り合わせれば、交流導体抵抗はもっとフラットな特性となるだろう。しかし、ここで使用した撚線型と同様の2 mm²の導体

では、2層構造でも外径が約2.7 mmとなり、単線型の径の約2倍にもなってしまう。

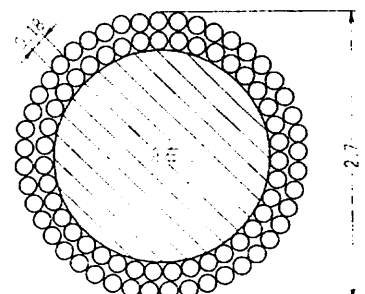
話は変わるが、NTTの電話用ケーブルの導体が単線である理由のひとつに、撚線による表皮効果低減よりも単線による占積率の良さを考慮したことが挙げられる。同様に、スピーカ・コードに単線導体を使用すると、コードのフレキシビリティはなくなるが、一部の市販品のように、細径でありながら低音と高音のバランスが良いものを作ることもできる。いずれにしても、バイワイヤリングで高音域の充実を目的とするならば、細い撚線は効果がなく導体径の太いものを選択すべきであることを、十分御承知おきいただきたい。(古河電気工業株)

× ×

ケーブルに使用される導体材料や絶縁材料は、次から次へと新素材が出現し、ウツカリすると基本的特徴を理解しないまま、音の流行を追うだけのパターンに陥ってはいないでしょうか。次回は注目の、ケーブル素材にまつわるお話の予定です。(編)



◁
〈第3図〉
FS-2 T 20 P
の撚線導体と
FS-2 T 15 S
の単線導体を
比較する



〈第4図〉表皮効果の対策例

信号伝送に影響する特性は何か？ 絶縁材料の選択について

根岸邦夫

オーディオ用ケーブルの音質差について議論されるとき、導体材質がその代表として取沙汰されることが多い。たとえば“PCOCCの音はこんな音”といったぐあいである。しかしケーブルの音質を決定するのは次の3つの要素だが、このことを理解したうえでこのような表現がされているとは思えない。3つの要素とは、

- ①導体の材質
- ②絶縁体の材質
- ③ケーブル構造

である。これら3要素が複雑にからみあって音質が決まるのであり、簡単に“PCOCCの音”を識別することはできないのである。真に導体材質の差を知りたければ②③をまったく同じにして比較しなければならない。しかし市販されているケーブルにこのようなものではなく、もしもケーブルを換えたとき音が変わったのなら、この3要素のどこが支配的であったのかを考察する必要がある。このようなアプローチをしていけば、自分の好みのケーブルを容易に選択できるようになるだろう。

筆者の経験では導体材質による改善は主として分解能に表われ、音色に関する部分は絶縁材およびケーブル構造が支配的である。今月は②の絶縁材質について考察をしてみたい。

絶縁材の種類

現在、電子機器用電線、ケーブルに多く使用されている絶縁材の種類と一般特性を第1表に示す。PVC(ポリ塩化ビニール)とPE(ポリエチレン)は安価なため、最も多く使用されている材料である。PVCは主として低電圧用(600V以下)の電力ケーブルに使用される。通称Fケーブル(正式にはVVF)は屋内の電力供給用に使われるがこれもPVC絶縁である。スピー

カ用ケーブルにPVC材料を使用するのはこの低電圧用ケーブルの流れとも考えられる。PEは、良好な電気特性を生かして電話用などの通信用ケーブルや高電圧用の電力ケーブルに絶縁用として使用されている。

電子機器内配線には、PVCやPEに電子線照射として耐熱性を上げたビーマックス®等の架橋電線が、半田ゴテが触れても溶融しない特徴を生かして多く使用されている。この他に特殊用としてテフロン®、ポリプロピレンなどが使用される。現在、電子機器用にゴム絶縁電線を使用するのは皆無と言ってよい。スピーカ・ケーブルなどの外被(シース)にゴム状の柔軟性樹脂が使用されていることがあるが、ほぼ100%、柔軟性PVCである。

電気的特性

第1表の電気的特性には、ケーブルを設計する上で重要な4つの特性が記されている。体積固有抵抗は直流に対

する単位体積あたりの抵抗で、絶縁性能を示している。絶縁耐力は1mm厚の材料に電圧を加えていったとき絶縁破壊する電圧のことである。体積固有抵抗、絶縁耐力ともに電力用ケーブルにとって重要な特性であるが、信号伝送用のケーブルでは比誘電率と誘電正接が重要になる。誘電正接($\tan \delta$)は交流電界が絶縁体に加わったときの損失量のめやすになる。絶縁体に電界が加わると内部に分極が発生するが、交流の場合は分極するのに必要な電流が流れるため、この電流による損失(誘電体損)が発生する。本連載1回目(’89年7月号)の「ケーブルの電気的等価回路」で漏えい量: G が

$$G = \omega \cdot C \cdot \tan \delta$$

で示されると記したが、 G は絶縁体中を流れる漏れ電流であるので、誘電正接の小さな絶縁体を選定するのが好ましい。では、次に信号伝送用ケーブルにとって最も重要な特性である比誘電率について考えてみよう。

特 性	材料名	高密度ポリエチレン(HDPE)	低密度ポリエチレン(LDPE)	線状ポリエチレン(SFPE)	架橋ポリエチレン(XLPE)	ポリ塩化ビニール(PVC)	架橋PVC(XL PVC)	ポリプロピレン(PP)	テフロン®			テフロン®(ETFE)	フタルゴム	硅素ゴム
									FEF	PFA	TFE			
電 気 的 性 質	体積固有抵抗($\Omega \cdot \text{cm}$ 20℃)	$>10^{17}$	$>10^{17}$	$>10^{15}$	$>10^{17}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	6.5×10^{14}	$>10^{16}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	10^{15}	$10^{14} \sim 10^{15}$
	比誘電率(50~10 ⁶ Hz)	2.3	2.3	2.4~2.7	2.3	8~4	8~4	2.25	2.1	2.1	2.1	2.6	4~3	5~3
	絶縁耐力(kV/mm)	30~50	30~50	20~40	30~50	20~30	20~30	30~50	20~25	20~40	20	16	20~40	20~30
	誘電正接(50~10 ⁶ Hz%)	0.02~0.05	0.02~0.05	0.2~1.0	0.02~0.05	8~15	6~12	0.02~0.06(10 ⁶ Hz)	0.02~0.07	0.03	0.02	0.06~0.5	0.5~3	2~4
機 械 的 特 性	引張強度(kg/mm ²)	2.0~3.5	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.5	1.0~2.5	1.2~2.5	3.0~4.0	1.9~2.2	2.8	1.4~3.5	3.5~5.0	0.5~0.7	0.4~1.0
	伸 び(%)	100~400	300~750	300~600	300~500	100~350	150~250	250~700	250~330	280~300	200~400	100~400	300~600	200~400
	可 焼 性	良	優	優	優	優	優	良	優	優	優	優	優	優
	耐カトスルー性	優	優	優	優	可	良	優	優	優	優	優	優	優
物 理 的 性 質	比 重(20℃)	0.94~0.96	0.92~0.93	0.95~1.2	0.92~0.96	1.2~1.5	1.3~1.5	0.9~1.0	2.1~2.2	2.1~2.2	2.1~2.2	1.7	1.3~1.4	1.1~1.3
	融 点(℃)	135~140	112~120	110~115	—	軟化点約130	—	155~160	275	302~310	327	270	—	—
	耐熱温度(連続使用で)	85	75	80	~125	60	105	90	200	260	260	150	80	180
	最低使用温度(℃)	<-60	<-60	-30~-50	<-60	-15~-40	-15~-30	-5~-45	<-80	<-80	<-80	<-100	-40	-60

〈第1表〉主な絶縁材料と一般特性(古河電工/電子・電気機器用電線要覧から)

●比誘電率 (ϵ_s) の定義

比誘電率は、たとえば平行板コンデンサにおける真空中の静電容量を C_0 とし絶縁物をはさんだときの静電容量を C とすると、その比で定義される。

$$\epsilon_s = (C/C_0)$$

別の言い方をすれば、真空 ($\epsilon_s=1$) に対しどの程度の分極が発生するか、その大小ということである。

●比誘電率の周波数特性

移動できる電荷やイオンが多く含まれる絶縁材料では、電界が加わると電荷が分極するが、分極に必要な時間より短い周期の交流が加わると分極が追従できなくなるため、 ϵ_s は周波数とともに小さくなる。一般に PVC やゴムでは周波数による変動が大きく、PVC の場合、50Hz では $\epsilon_s \approx 7$ 、10 MHz では $\epsilon_s \approx 4$ 程度まで低下する。一方 PE、PP、テフロン® では周波数によらずほぼ一定の ϵ_s になる。

7月号にも示した通り ϵ_s は静電容量の大小を決定する。代表的なスピーカ・ケーブルにおける静電容量の測定結果から、 ϵ_s を逆算してみよう。2芯ケーブルの静電容量は次式で示される。

$$C = \frac{12.08 \times \epsilon_s}{\log_{10} \left(\frac{A + \sqrt{A^2 - D^2}}{D} \right)}$$

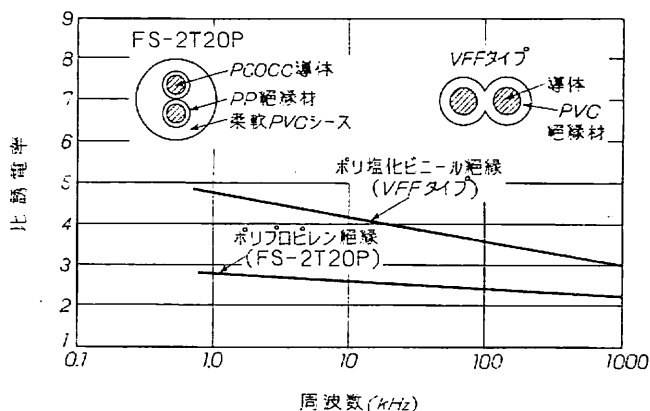
A: 導体中心間距離、D: 導体外径

ひとつは導体を平行にして透明の PVC 絶縁体を一括押出被覆して2芯平行 VFF 電源コードに類似したケーブル、もうひとつは古河電工の FS-2 T 20 P である。FS-2 T 20 P は PP (ポリプロピレン) を導体上に薄肉被覆し、2芯に撚り合わせたあと柔軟性 PVC をかぶせ丸形ケーブルとしている。これらケーブルの静電容量の周波数特性を測定し、上記式を用いて ϵ_s を計算した結果を第1図に示す。VFF タイプのケーブルでは大幅な変動があるのに対し、FS-2 T 20 P では極めて小さな変化である。FS-2 T 20 P における変化は柔軟性 PVC シース材の周波数特性が影響していると考えられる。いずれにしても周波数的にフラットで安定した特性を得ようとするならば、PVC のような周波数特性の大きな材料を絶縁体を使用しない方がよいのは言うまでもないことである。

●伝搬速度は比誘電率が決定する

読者の皆さんの中には、ケーブルを

▷
〈第1図〉
比誘電率の
周波数特性



伝わる信号の速さは導体材質により決まると考えている方もおられよう。しかし、実際は比誘電率の大小で伝搬速度が決まるのである。電磁波 (= 光) は真空中を $C = 3 \times 10^8$ m/sec の速さで伝わる。電磁波が絶縁体中を伝わる速さ: V は、**100kHz以上では**

$$V = C / \sqrt{\epsilon_s} \quad (\text{m/sec})$$

となり、 V の逆数は伝搬遅延時間 (T_{rd}) と称される。スーパー・コンピュータなどの大型電子計算機では、ケーブルを伝わる信号の速度が遅いと高速演算ができなくなることから、できるかぎり T_{rd} の小さなケーブルが必要とされる。ケーブル設計者は $K = 1/\sqrt{\epsilon_s}$ を波長短縮率と称している。これは伝搬速度が低下しても周波数は不変であることから、波長が短くなったと考えることができるからである。

ϵ_s により V がどの程度変化するかを実際に考えてみよう。 $\epsilon_s=4$ であると真空中の光速に比べ V は半分、 $\epsilon_s=2$ であると V は約 70% になる。現在オーディオ用に使われている材料では、ピンコード用に使用されている高発泡ポリエチレンが $\epsilon_s \approx 1.5$ 、上記した VFF タイプのスピーカ・コードでは 1 kHz で $\epsilon_s \approx 5$ になるので、両者の伝搬速度には約 30% もの大差があることになる。また、PVC のように ϵ_s に周波数特性があるものでは、低音域と高音域で信号の伝わる速さに差があることにほかならない。また、撚線導体を構成する銅線の長さの差 (ケーブル設計者はこれを撚込率と称する) から生まれる伝搬時間差がせいぜい 2% であることを考えると、 ϵ_s による伝搬速度差がいかに大であるかがわかる。

最近発売のケーブルでは、充実 PE 絶縁 + 発泡 PE 絶縁 + 柔軟 PVC シー

スといった手の込んだものや、無機質を加えたものが出てきているが、それらは ϵ_s の違った材料の境界で光が空中から水中に入るときのように電磁波の屈折する現象が起こる。

まとめ

このような絶縁材料に関する問題を回避するには次の注意が必要である。

第1に、比誘電率を含め電気特性が良好で周波数的にも安定かつ純な材料を選択する。

第2に、構造面からも屈折や伝搬速度差が出ないように配慮する。

このように検討を加えていくと、電氣的に良好で機械的に強く強い絶縁材を薄肉に使用し、絶縁材の影響をできるかぎり少なくしたスリムなケーブルにたどりつく。しかし、このような細身のケーブルは外観から“高級感がない”と評され、営業・企画部門が良い顔をしないためほとんど市場に登場しないのが現実だが、再考の余地ありである。
(古河電気工業株式会社)



PCOCC® およびビーメックス® は古河電気工業、テフロン® とテフゼル® はデュポン社の登録商標です。

高価な素材を生かすための知識とは？ 導体の材質と構造，加工法

根 田 邦 夫

オーディオ用ケーブルの議論では、まず先に導体材質について問われるのだが、導体は音質を決定する多くの要素のなかの1つでしかない。オーディオ用ケーブルでは、先入観が大きく先行してしまっている。たとえば本連載の2回目（'89年8月号）で紹介した表皮効果の対策だ。パイワイヤリングの高音域用電線には電流がさほど流れないので、導体断面積の小さな細い電線でよく、表皮効果を考慮して撚線導体の素線が細いものを使用すればそれで良いというのが一般的な考えのようだが、これは交流導体抵抗の点でまったく逆効果であったわけである。

さて、オーディオ機器には、①電源供給用の電源コード、②微弱信号を送送するオーディオ・コード、③スピーカーを駆動するスピーカ・ケーブルの3種があるが、今回はこれらケーブルに使用される導体の種類と選択時の注意点をさらに検討してみよう。

導体材質の変遷

昭和50年代初めまでは、ケーブルにより音が変わるなどとは考えられていなかった。50年代初めにケーブル構造の配慮や導体材質を従来のタフピッチ銅（TPC）から無酸素銅（OFC：当

時はカーボン・リードと呼ばれていた）に変えることにより音質の変わることがわかってきた。50年代後半には銅線に含まれる酸素などの不純物が結晶と結晶のあいだ（結晶粒界）に含まれることから、これを防ぐ目的で銅線を再加熱し結晶粒を大きくしたLC-OFCが考案された。60年代に入って千葉工業大学の野教授が考案されたOCC法による銅線PCOCC®が商品化され、広く採用されてきている。OCC法は第1図のように鑄型を加熱し鑄造されるため、単結晶状の銅線を得ることができる画期的な製造法である。

一方、TPCからOFCへの移行は銅の高純度化にほかならず、現在では純度99.99999%（Nineが7個あるので7Nと言われる）のものまで出現している。従来のTPCからOFCへの移行が、最大の不純物である酸素（ O_2 ）を主として議論したものであるのに対し、6Nや7Nの純度のカウントには O_2 や H_2 のガス不純物を除外している点でちがいがあ

る。このように銅導体の改善の大きな流れは巨大結晶化と高純度化であり、図式化すると第2図のようになる。つきつめれば、7N-PCOCCということか？ 反面、現状はこのような高価な導体を使いこなすだけのケーブル設計がなされているものか、はなはだ疑問でもある。良いタネも腕の良い板前の手になれば美味となろう。ケーブルも、導体

特 性	TPC	OFC		OCC
		1種	2種	
純 度	>99.9	>99.99	>99.95	>99.997
比 重	\bar{x}	8.75	8.926	8.938
	max	8.88	8.932	8.929
ガ ス 不純物	O_2 (ppm)	200~500	<10	>10
	H_2 (ppm)	>0.3	<0.5	<0.5
水 素 脆 化	有	無	一部有	皆無

〈第1表〉 銅塊の比較（古河電工時報79号より）

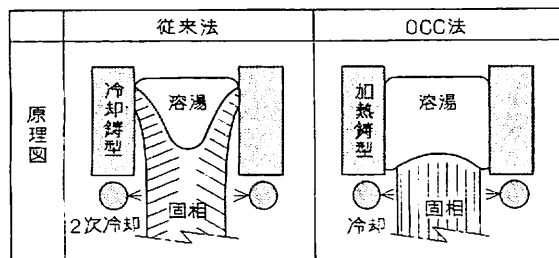
材質が同じでもその設計によりまったくちがった音がするわけである。

筆者は、導体材質を改善して現われる最大の効果は、分解能にあると考えている。それは、絶縁材料やケーブル構造を変えると低音域や高音域に特徴のあるケーブルができるが、導体材質を変えただけで突然に低音や高音が強調されるようなことは起こらないからである。

銅線の加工

一般に使用される銅線は、鑄造された太い線を伸線加工して必要な太さにし、また、それらを撚り合わせて撚線導体をつくる。伸線加工された銅線は加工ひずみを受けるため、引張強さが50~60 kg/mm²の硬銅線となる。硬銅線は柔軟性を必要とするケーブルには不適であるため、これを加熱（焼鈍、アニールという）して引張強さが25 kg/mm²程度の軟銅線とする。汎用ケーブルで使用される銅線のほとんどが軟銅線である。

太い銅塊からオーディオ用のケーブルで使用される0.1 mm~0.2 mmの細い線までにするには、数工程の伸線加工と焼鈍が必要である。適当な線

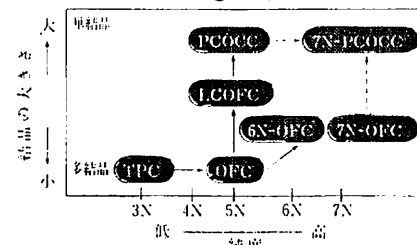


〈第1図〉 OCC法の原理

径 (0.9~1.5 mm 程度) で焼鈍する際に高温で長時間の加熱 (過焼鈍) を行ない結晶粒を大きくしたのが LC-OFC で、PCOCC®とは基本的な製造法にちがいがあ

る。PCOCC®は単結晶状の鋳塊であるので、伸線加工されても結晶の乱れが少ない特長を持っている。第2表で従来材と結晶粒の数についての比較を試みた。PCOCC®の優位性がはっきりわかる。ただし PCOCC®は焼鈍されると単結晶が再結晶し多結晶化してしまうことから普通は硬銅線のまま使用される。

OCC 法では使用する銅線の外径で鋳造することも可能で、これは PCOCC® AS CAST または SUPER PCOCC®と呼ばれている。



〈第2図〉銅導体の変遷
AS CAST は柔軟で伸線加工によるひずみがないため、音質においても高い評価を得ている。

導体の構造

1本の銅線でできたものを“単線”という。絶縁体を被覆した1本の絶縁電線を(導体が単線でも撚線でも)“単心”と言い、銅線のみが絶縁されたものを“線”と“心”の使い分けで区別している。複数の銅線を撚り合わせて1つの導体としたものを総称して撚線という。撚線は撚り方により次のような種類と特徴がある。

● 集合撚線

所定の本数の銅線(これを“素線”という)を一括にして同方向に1回で撚られた撚線である。柔軟で安価なため機器内配線用電線、電源コードなどの導体として使われている。電源コードには、電気用品取締法で集合撚線を使用することが義務づけられている。集合撚線は第3図に示すように、断面が

完全な円形とはならず、信号伝送用ケーブルに使用されると特性インピーダンス等の長手方向変動が大となり、音質劣化を引き起こす危険性がある。

● 同心撚線

各層が同心円状になるように

撚り合わせた撚線である。隣り (第2表) 結晶粒形態の比較 (古河電工時報 79号より)

あう層の素線本数には6本の差があるため、素線数が何本でもよいということにはならない。断面はきれいな円形で、信号伝送用に適している。ただし素線数が多くなると撚線加工費がかさみ、高価となるのでつぎのロープ撚線とするのが一般的である。

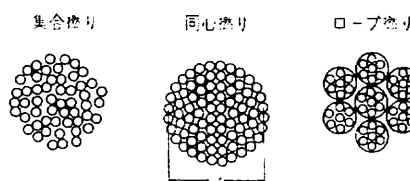
● ロープ撚線

細い素線を数多く撚り合わせて所定の断面積の導体を得ようとする場合、あらかじめ集合撚りまたは同心撚りでメンバーを作っておいて(予撚りという)これを同心撚りする方法がとられ、これはロープ撚線と呼ばれる。ロープ撚線は柔軟で良好な折曲性から、ロボット用ケーブルなどの常に動かされるケーブルの導体としても使用される。オーディオ用では太径のスピーカ・ケーブルに使用されている。

スピーカ・ケーブルに使用されるロープ撚線にはいろいろな工夫のされたものがある。たとえば異種の素線径のものを組み合わせたり、絶縁被覆を施した素線を混入したり、ロープ撚りの中心に糸を入れ表皮効果軽減を図ったものなどがある。中心に絶縁介在を入れた導体のように、ロープ撚線は上手に設計すると特徴のある音作りができる導体構造といえる。

● 撚込率

撚線導体の場合、素線が撚ってあるため完成した撚線の長さ和使用される素線の長さがちがってくる。これを撚込率という。また、素線相互について



〈第3図〉導体の撚り方法

結晶形態	OCC材 (焼鈍なし)	過焼鈍材 (1.6φ過焼鈍)	一般材 (0.9φ焼鈍材)
結晶の長さℓ	>50mm (15mmφ)	<0.5mm (1.6mmφ)	<0.05mm (0.9mmφ)
0.1mmφに伸線後の結晶の長さ	>1125m	<13cm	<4mm
2mケーブル内の結晶の数	1	>15	>400

も、撚線のどこに位置するかにより長さに差が出てくる。では、どの程度の差になるのか計算してみよう。たとえば第3図の同心撚線では、中心にある素線と外層にある素線のあいだが最も長さのちがう関係にある。ここで外層の素線の中心を結んだ円の径(層心径という)をAとする。撚線がピッチPで撚られたとすると、この関係は第4図のように直角三角形となり、撚込率(K)は $K = L/P$ と定義される。

では、実際の導体ではどの程度になるだろうか?

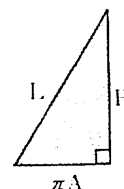
集合撚線は撚線外径の約30倍

同心撚線は撚線外径の約16倍で撚られるのが一般的である。素線径がとても細かいものとする

集合撚線では: $K = 1.0055$

同心撚線では: $K = 1.019$

となり、集合撚線は約0.6%, 同心撚線では約2%素線を長く必要とする。



$$K = \frac{L}{P} = \frac{\sqrt{P^2 + (\pi A)^2}}{P}$$

L: 导体素線長
P: 撚ピッチ
A: 層心径

〈第4図〉撚込率(K)の計算

とくに第3図のロープ撚線のような構造では、中心と外層のメンバー間の撚込率の差が直接に素線長の差として表れるので中心に絶縁介在を入れるのは素線長の差を少なくするのに効果的な手段といえる。

同心撚線の場合、中心の1本を除けば、各層を同じ撚込率で撚ることで素線長を等しくできる。集合撚線は、上記したとおり約0.5%の差があると考えるべきで、まったく差のないのが“単線”であることを忘れてはならない。

(古河電気工業株式会社)

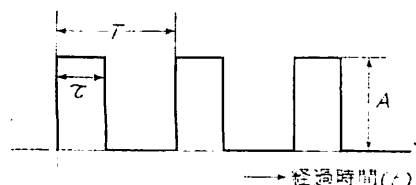
インピーダンス整合は高周波伝送の基本
デジタル/0用ケーブルについて

根岸邦夫

C DやDATなどのデジタル・ソースが、ローノイズ化やソフトの集積度の点から全盛となってきた。現状では、スピーカをデジタル信号で鳴らすわけにはいかないので、デジタル・ソースはプレーヤかプリアンプのどちらかで、アナログ信号に変換(D/A変換)してやらなければならない。プリアンプでD/A変換する場合、プレーヤとプリアンプ間にはデジタル信号を伝えるケーブルが必要となる。このデジタル信号用ケーブルには、以下に述べる高周波用に設計されたケーブルが必要となる。音声帯域のアナログ信号用ケーブルは、低周波用ということができる。現実の使用にあたって、オーディオ・マニアのかたであっても、このアナログ信号用とデジタル信号用とを使い分けしているか、はなはだ疑問である。今回はデジタル信号用ケーブル選択の要件について検討してみたい。

デジタル伝送はケーブルで
音質が変わるか？

アナログにくらべノイズが少ないのがデジタルのうたい文句であるが、ケーブルにより音が変わるのであるか？パルス波形の多少のひずみやエラーがあっても補正回路が働くはずだし、現実的にデジタルの範囲での音質変化はないはずであるが、かりに変わるとす



〈第1図〉 パルス波形

れば、そこにどんなことが起こっているのであろうか？ デジタル伝送上の問題点として次のような点がある。

- ①パルス波形のひずみ
→高周波ロスと反射ロス
- ②パルス波形のゆらぎ
(ジッタ)
→反射、伝搬速度の不均一
- ③外来ノイズ
→シールド特性

などが考えられる。③のシールド問題は次回に詳しく検討するとして、以下、高周波特性と特性インピーダンスに着目して議論したい。

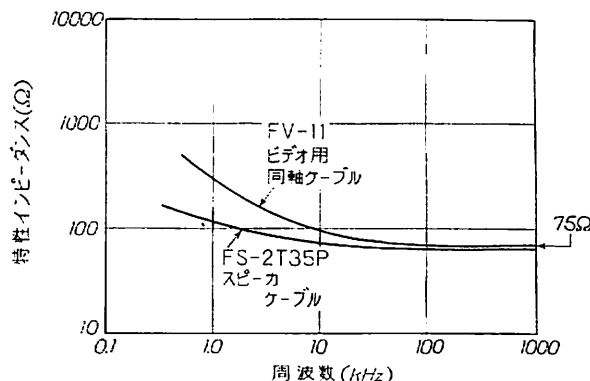
デジタル伝送には
高周波用ケーブルが必要

第1図のような繰り返しパルスをフーリエ級数に変換すると

$$f(t) = A_{av} + \sum_{n=1}^{\infty} 2A_{av} \cdot \frac{\sin \frac{n\omega T}{2}}{\frac{n\omega T}{2}} \cdot \cos n\omega t$$

$A_{av} = A \cdot \tau / T$: 直流成分
 $\omega = 2\pi / T$: 角周波数
 n : 高調波次数

のように直流成分(A_{av})と高調波成分とに分離できる。また、パルス波形の立上がり、立ち下がり時間の短いものほど高い周波数成分の多いことがわかっていて、実際のデジタル・オーディオ信号では第1図のように一定のくり返し波形ではなく、A/D変換でのアナログ波形にしたがい周期： T は変動する。通常、繰り返し数は最大2MHz、平均では0.4~0.5MHz程度



〈第2図〉 特性インピーダンスの周波数特性

であろう。

パルス信号を送るケーブルが、直流と基本周波とその高調波分を正確に伝送しないと、パルス波形にひずみを生ずることになる。すなわち、高周波特性のすぐれたケーブルが必要となるのである。

実際のケーブルとしては、パルスは不平衡形の信号であるので、通常使用されているとおり同軸ケーブルが最適である。デジタル入出力はビデオ入出力と同様、特性インピーダンスを75Ωと規定しているのがほとんどである。一般に使用されるケーブルはJIS規格のPE絶縁同軸ケーブルの3C2V相当以上の太さがあるため、オーディオ用で使用する数mの長さでは、ケーブルの減衰量が主因となるパルス波形乱れは問題にならない。ただし、特殊な構造や絶縁体に比誘電率の大きいもの、異物混入などにより比誘電率の周波数変動が大きいものでは、問題となるかもしれない。

特性インピーダンス； Z_0

特性インピーダンスは、電気回路理論の本では4端子網の映像インピーダ

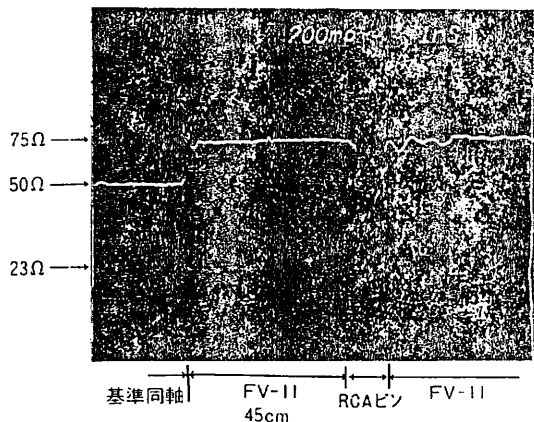
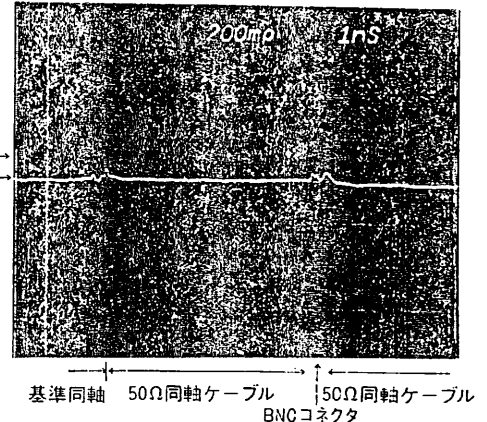
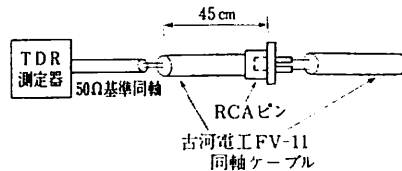


写真1
RCAピン付ビデオ・ケーブルの特性インピーダンス

写真2▷
BNCコネクタ付50Ω同軸ケーブルの特性インピーダンス



〈第3図〉TDR測定回路



ンスと称される。当シリーズの1回目('89年7月号)の第3図「ケーブルの等価回路」に示された一次定数で特性インピーダンスを示すと、一般式は次式となる。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$|Z_0| = 4 \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}}$$

R : 導体抵抗 (ルーブ)

L : インダクタンス

G : 漏えい量

C : 静電容量

高周波をあつかう場合には $\omega L \gg R, \omega C \gg G$ となるため

$$|Z_0| \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \left\{ 1 + \frac{1}{4} \left(\frac{R^2}{\omega^2 L^2} - \frac{G^2}{\omega^2 C^2} \right) \right\}$$

$$\approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

同軸ケーブルの場合 (同様に高周波では)

$$|Z_0|_{\infty} = \frac{138.2}{\sqrt{\epsilon_s}} \cdot \log_{10} \frac{d_2}{d_1}$$

d_1 : 中心導体外径

d_2 : 外部導体外径

となる。

特性インピーダンスは第2図に示すように、どんなケーブルでも 100 kHz 程度までは周波数とともに減少し、100 kHz 以上では変化は少なく $\sqrt{L/C}$ に限りなく近づく。

特性インピーダンスの異なった回路をつなぐと境界で特性インピーダンスの差に比例した信号の反射が起こり、伝わる信号は減衰してしまう (反射減衰)。だから機器の出力インピーダンスとケーブルの特性インピーダンスは、合致させる必要がある。

実際に RCA ピンのついたビデオ・ケーブル ($Z_0 = 75\Omega$) では、どの程度の特性インピーダンス・ミスマッチがあるか、TDR (Time Domain Reflectometry) 測定器を用いて調べてみよう。TDR 測定器は立ち上がりの速いパルスを被測定回路に入力し、各部で反射して戻ってくる反射波をオシロスコープで観測するものである。オシロスコープ画面の縦軸は反射係数 (ρ) となるため、次式を用いて各部の特性インピーダンスを計算できる。横軸は時間軸となるため、各部を伝わる信号の速さを評価することができる。

$$Z_0 = \frac{1+\rho}{1-\rho} \times 50(\Omega)$$

第3図の測定回路で評価した結果を写真1に示す。写真2には第3図の FV-11 と RCA ピンの組合せに代えて、高周波測定器に用いられている 50 Ω 同軸ケーブル2本を BNC コネクタでジョイントした波形を示す。RCA ピンでの反射がいかに大であるかがわかる。ちなみに、RCA ピン部の特性インピーダンス (極小点) は約 23 Ω で、ケーブルの特性インピーダンス: 75 Ω と大幅な差がある。一方 BNC コネクタでのジョイント部は、約 4 Ω しか変動がない。このように大きな特性インピーダンス・ミスマッチがあっても、RCA ピンは長さが短いため実用上これだけでは問題とはならないが、高

周波用コネクタとして好ましいとはいえない。

また、FV-11 を伝わる信号の速さは、45 cm 長に対し 1.9 nsec 要しているため、ケーブル 1 m に対し 4.2 ns (10⁻⁹ 秒)、つまり光速の約 80 % となる。

デジタル用ケーブルを途中でジョイントしてはならない

オーディオ雑誌に自作マニアへの手ほどきとして、ケーブルを短縮するノウハウが紹介されているのをよく見かけるが、アナログ用ケーブル (低周波用) ならまだしも、今回議論しているようなデジタル用やビデオ用ケーブルの中間部を切断、短縮しジョイントするようなことは、決して行ってはならないのである。その理由は、ジョイント部の特性インピーダンスをケーブルのそれに合致させるのは、ほとんど不可能だからである。反射減衰のない長いケーブルの方がまだましである。どうしても短縮したければ、片側のコネクタは廃棄し、新しいコネクタを取付けるべきである。

まとめ

上記したとおり、RCA ピンはデジタル用、ビデオ用には特性インピーダンス・ミスマッチが大きく、好ましいとはいえない。機器の設計にあたっては RCA ピンの代わりに、BNC コネクタのような特性インピーダンスを考慮したコネクタをデジタル、ビデオ入出力に採用していただきたいものである。

(古河電気工業株式会社)

ケーブルのシールド を考察する

根岸邦夫

デジタル・オーディオ機器の音がアナログのそれと比べると、音質的にかつ音楽的に良くないとオーディオ・マニアの方の言を良く見聞きする。その一因として、漏話やEMI (Electro Magnetic Interference) の問題がある。前月号に示したごとく、パルスは高周波信号であり、立上りの速いきれいなパルスほど高周波成分を多く含んでいる。高周波成分の多い信号ほど、それがノイズ源であるとやっかいな問題となる。このような信号を伝えるケーブルはコネクタ部をも考慮し、外来ノイズ及びEMI (EMIは機器がノイズ発生源となるのを防止する) 対策を十分検討する必要がある。

余談であるが、我家には2台のTVが約50cm離して置いてあるが、小学生の息子が例のファミコンを始めると、もう1台のTVの画面には数本の斜線が入ってしまう。まさにファミコンにEMI対策が施されていないのが分ってしまう。同様に、オーディオ・システムでも、その時に使っていない機器の電源を落とすとか、デジタル・アウトを使用しないときはこの回路の電源を切れるように設計されたCDプレーヤなどはノイズに対する配慮と言える。では実際に、ケーブルに施され

る各種シールドの特性とコネクタの問題を検討してみることにしよう。

〔1〕 各種シールドの特性

ケーブルのシールドは特性評価法としては、IEC (International Electrotechnical Commission) の同軸ケーブル規格 Pub.96-1 で規定された伝達インピーダンス法がある。測定回路を1図に示す。被測定同軸ケーブルは、ケーブルの特性インピーダンスと等しい終端抵抗: R_1 を取り付け、金属(銅)パイプの中央に保持され、さらに終端抵抗: R が取り付けられる。同図に示されるごとく、金属パイプと被測定ケーブルの外部導内(シールド)とで外部同軸構造が形成され、被測定同軸ケーブルと合わせ2つの同軸構造が1つのパイプの中に存在する(被測定ケーブルの中心導体、外部導内と金属パイプが同心円状に配列されているので、3重同軸と称されることもある)。

簡単な理解としては、上記した外部同軸構造がノイズ発生源で発振器が結

線されている。外部導内(シールド)を通して漏れてきた電磁界が、内部の被測定同軸ケーブルの中心導体と外部導体間に電圧を発生させる。これをスペクトラム・アナライザ等のレベル・メータで測定する。測定結果は、次式により伝達インピーダンスに計算される。

$$Z_l = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \cdot \frac{2 \cdot R}{l} \cdot F(u)$$

Z_l : 伝達インピーダンス (Ω)

V_{in} : 入力電圧(発振器の出力: V)

V_{out} : 出力電圧(レベル・メータの読み: V)

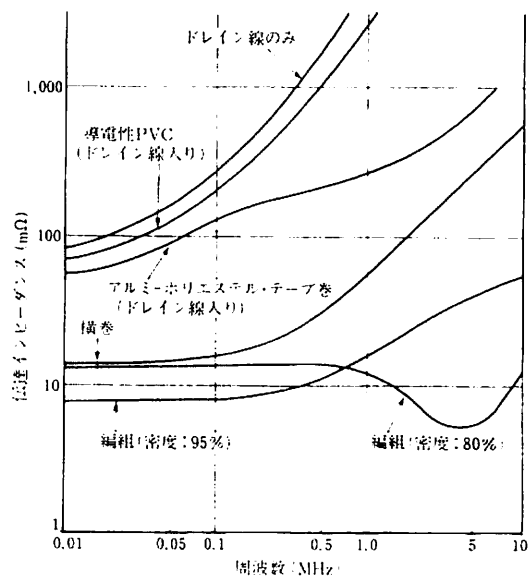
l : 被測定ケーブル長(シールド長: M)

R : 外部同軸構造の終端抵抗 (Ω)

$F(u)$: 補正係数

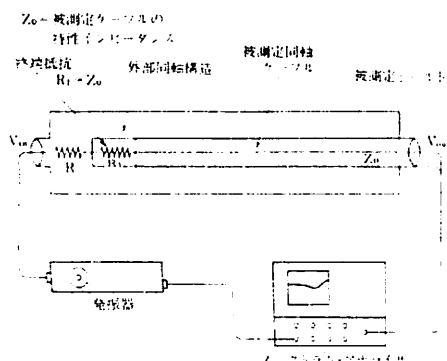
補正係数は、測定周波数の波長が測定系(パイプ長)と共振するような周波数で問題となるが、それ以下では $F(u)=1$ となる。パイプ長約1mの測定系では、概略50MHzまで評価が出来る。

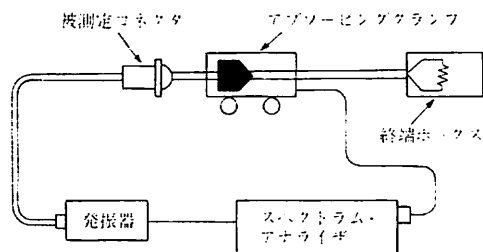
1図に各種シールドの特性評価結果



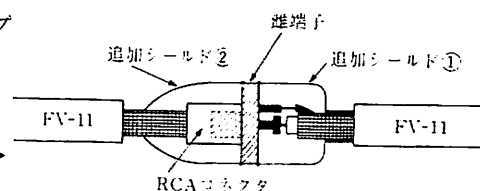
〈第1図〉
伝達インピーダンス測定回路
IEC Pub. 96-1

〈第2図〉
各種シールドの伝達インピーダンス





◀第3図—アブソーピング・クランプ
によるシールド知見測定法



第4図▶
RCA コネクタのシールド効果測定法。

を示す。導電性 PVC 樹脂やアルミニウム箔によるシールドは、電気抵抗が大きいことから高周波域ではあまり効果がない。横巻シールド(銅線を密にスパイラル状に巻いたもの)は、100 kHz 程度から急に特性が悪くなる。編組シールドは安定しているが、編組密度が80%のものの方が1MHz以上では密度95%のものより良くなっているのは特筆に値する。これはたまたまではなく、編組シールドは密度80~90%のものが1M~10MHzではシールド効果に優れている。このことは、編組シールド特有のものと解釈される。すなわち、密度の評価は編組のすき間を正射影し評価するものであるが、ある程度硬い銅線を編むのであまり密度を高くすると、銅線に浮きが発生する等、電氣的なすき間は大きくなると解釈される。

10kHz以下の伝達インピーダンスの値は、シールド部分の直流導体抵抗と等しくなるので、測定結果のチェックが出来る。

デジタル・オーディオ・ケーブルとしては、80%以上の密度の編組シールドが施してあれば十分である。シールド効果を議論する場合、対象としている周波数帯に合ったシールド法を選択するのが肝要である。

〔2〕コネクタ付ケーブルの評価

コネクタ付ケーブルのシールド特性の評価は、同じIEC規格、CISPR Pub. 16に規定されたアブソーピングクランプ法で出来る。本来、当方法は電子機器の電源コードを伝わってくる伝導ノイズの評価用であるが、コネク

タやケーブルのシールドから電磁波の漏洩があると、シールドにコモンモード電流が流れるので、この電流量によりシールド効果が評価出来る。実際の測定回路を3図に示す。アブソーピングクランプは、フェライトコアを被測定ケーブルをつつむ形で数多く並べた形状になっており、図の被測定コネクタ側にはピックアップ用フェライトコアがあり、終端ボックス側には、この方向から入ってくるコモンモード電流をキャンセルするためのフェライトコアが並んでいる(詳しくは参考文献を参照されたい)。

RCA コネクタを以下のような手順で評価した結果を写真1~3に示す。古河電工のビデオ用同軸ケーブルFV-11に組立RCAピンFR-100Pを付け、もう一方にRCA雌端子を取付け、第4図のごとくジョイントした。追加シールド①および②が無い時のスペクトラム・アナライザでの0~100MHzまでのノイズ・レベルは写真1のごとくであった。

次に銅箔にて雌端子とケーブルとのジョイント部分を被い、追加シールド①とした。この時の発生ノイズを写真2に示す。写真1と写真2の比較から0~40MHzでは約10dB、50~70MHzでは約30dB、70MHz以上では約25dBレベルが低下した。すなわち、雌端子とケーブルのジョイント部の数mmシールドがオープンになった部分から大量の放射ノイズが出ていたことが分る。

次に、FR-100PRCAピンを包み込むように追加シールド②を施した。この場合のノイズ・レベルは写真3であ

った。写真2と写真3とはほぼ同一の波形となり、FR-100PRCAピンからの放射ノイズが無いことが分った。FR-100Pは外部ピンが中心ピンを包む構造になっているのと、シールド部の処理法がBNCコネクタと同様に、編組を外周全面、折返し外部ピンで押さえ込む形となっているために、優れたシールド特性を有している。

しかし一般のRCAピンジャックでは、例えばスポット溶接するタイプなどは、第4図の雌端子のごとく、2つのピンを立てそこにケーブルを接続している。このような形状であると、放射ノイズ量は1図のようになってしまう。以上説明したごとく、アブソーピングクランプで波形を観測しながら追加シールドを施していくことによって、ノイズ発生源を発見することが出来る。有効な手段である。

最近の電子計算機やOA機器の入出力ケーブルでは、ケーブルには編組シールドが、コネクタは金属または金属メッキしたカバーが施され、形状も極力すき間を無くすよう十分な配慮をし、放射ノイズの発生を防いでいる。オーディオ機器のノイズ対策は音質と直結した問題だけに、OA機器のそれ以上にセンシティブであるべきだ。

前月号でデジタル出力用のオーディオケーブルのコネクタとして特性インピーダンスの観点からRCAピンが好ましくない」と記したが、対放射ノイズの観点からも、現状のRCAピンがどの程度検討されているかはなほ疑問である。実状は全く配慮されていない状況であろう。

参考文献：

「電磁波の吸収と遮蔽」日経技術図書発行。

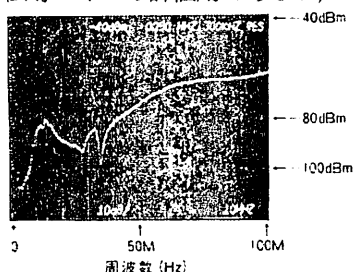


写真1) RCA コネクタ (発振器出力: -10dBm)

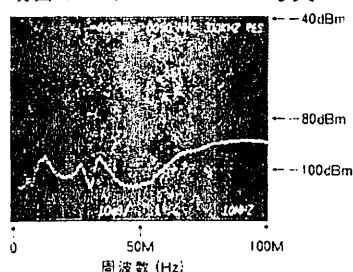


写真2) 同・追加シールド①

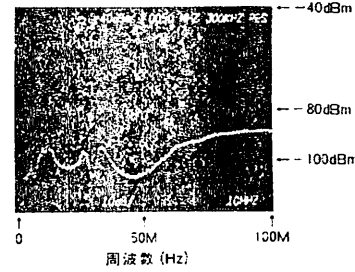


写真3) 同・追加シールド①および②の場合