

## 投稿 新しいクロストークキャンセル・システムの 2次クロストーク発生構造

川村 昭夫

### 1. クロストークと2次クロストーク

ステレオ再生において、ステレオスピーカーとリスナー両耳間では、クロストークを生じます。

両耳間クロストークは、アンプ内部等におけるクロストークに対してはるかに高レベルで、音質・音場に重大な影響を与えます。特に再生音場を左右スピーカーを結んだ直線上に矮小化すること、および左右スピーカーの発する単一音が、リスナー両耳に時間差をともなって聴取されることによる過渡特性の低下は、重大です。

両耳間クロストーク（以下、たんにクロストークと表記します）対策は3つあります。

- 1) スピーカー間隔を取る。
- 2) 再生音場をマルチchでサラウンド化する。
- 3) クロストークを打ち消す。

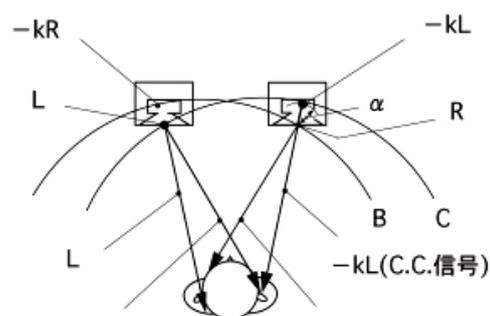
しかし 1)では低音域ほどクロストークが残って過渡特性はむしろ悪化し、2)では音場感は拡大するものの過渡特性が改善されません。望ましいのは本来 3)です。

クロストークは、左右スピーカー再生音(L), (R)がリスナー近傍側の耳に到達した後、左右スピーカーを見込む角度に応じて変化する距離差 $a$ 分を要し、かつフィルター特性 $K$ をともなって、反対側の耳へ到達する(KL), および(KR)です。

クロストーク・キャンセル(C.C.)技術は、これに対して逆特性となる、ただし $K$ と同一とは限らないフィルター特性 $k$ を有する(-kL), (-kR)を、反対側SPで距離差 $a$ 分遅延させて再生し、右耳に(KL)と(-kL)を同時到達させ、また左耳に(KR)と(-kR)を同時到達させて相殺するものです。

上記C.C.技術は“ヘッドフォンのように”ステレオLchを左耳に、またRchを右耳にのみ聴取させると、多数のメーカーが説明してきました。

しかしC.C.技術は“ヘッドフォン”とは異なり、2次クロストークをともいません。



KL (クロストーク)      -kKL(2次クロストーク)  
図1 2次クロストーク

2次クロストークは上記(-kL), (-kR)がリスナー右耳および左耳でクロストークと相殺しあった後、フィルター特性 $k$ をともない、かつ距離差 $a$ 分を要し、(-kKL)となって左耳に達し、また(-kKR)となって右耳に達するもので、(L), (R)再生音から距離差 $2a$ 分遅延します。

なおセンタースピーカーを用いるC.C.システムでは距離差は縮小しますが、ここでは論じないものとします。

クロストークが、左右スピーカー間隔を小さくするにつれ、再生音場をスピーカー間に矮小化するのに対し、2次クロストークは左右SP間隔を大きくするにつれ、再生音場を左右スピーカー後方に引き伸ばし、サラウンド音場の包囲感を奪います。

上記傾向を補正するため、C.C.技術には通常、入力信号に頭部伝達関数(HRTF)にもとづくフィルター特性を与える技術が併用されます。しかしこの技術は2次クロストークを低減しません。

### 2. C.C.システムとステレオフォニック

2次クロストークは、C.C.技術の矛盾から生じています。

このことを指摘するには、C.C.技術が“ヘッドフォンのような”音場を再生しないことから説明する必要があります。

一般的スピーカーユニットを、バッフルを用いずに再生すると、おおむね1kHz前後以下の中低音域が大きく減衰します。

同様に、図2のようにsp1で正相音を、近接するsp2で逆相音を再生しても、中低音域は減衰します。

これに対して一定距離を置いて、正相音を再生するsp3を追加した時、C.C.技術ではsp2,3がリスナーいっぽうの耳から等距離の場合、sp2,3間で相殺関係を生じると説明されてきました。

しかし実験してみれば分かるように、中低音域は近接するsp1,2間で自己完結的に相殺しあい、リスナー位置に係わらず、sp3は豊かな中低音域を再生します。

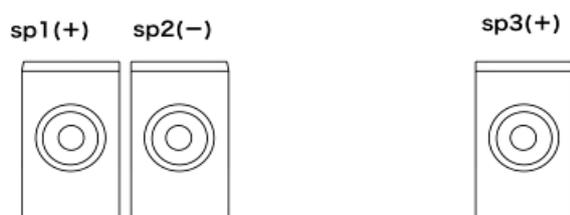


図2 中低音域は近接SP間で相殺される

これはC.C.回路でも同様です。

C.C.回路の左右出力において、LからkRが減算され、RからkLが減算される時、L,Rに共通する成分(これを以下モノラル成分とします)の中低音域ではLとkR、およびRとkL間でおおむね逆特性となって相殺されます。

仮に低音域でのkの値を1/2とすると、LとkR間で、Lはモノラル成分の1/2を失い、kRはモノラル成分のすべてを失います。またRとkL間でも、Rはモノラル成分の1/2を失い、kLはモノラル成分のすべてを失います。

このため上記信号を増幅・再生した時、中低音域モノラル成分はC.C.されず、1/2となったL,Rモノラル成分はクロストークをともない、聴感上の音量は最大2/2となります。

つまりヘッドフォン再生に近いバランスにはなりますが、中低音域モノラル成分はクロストークをともないです。

なおkを1/2以外としてもC.C.信号の中低音域モノラル成分は失われますし、またC.C.信号にマトリックス差信号を用いる場合、モノラル成分は予め存在せず、C.C.されません。

C.C.されない中低音域モノラル成分は、スピーカー位置情報をともなって、左右スピーカー間に中央定位します。

いっぽう一般的スピーカーでも、中高音域のクロストークレベルは、適切な設置により一定のサラウンド音場が再生可能な程度に低下します。またクロストークレベルはモノラル成分、それ以外とも同量ですから、中高音域で明快な中央定位は得られません。

つまり、C.C.システムと一般的SPLは、ともに中低音域でスピーカー間の中央定位を得ていて、これを基準ベクトルとして、相対的にクロストークレベルが低下するL,R情報によって音像・音場をベクトル合成していることとなります。

実際に、オンマイク収録された中央ボーカルは、C.C.システムでも左右SP間に中央定位します。

すなわちC.C.システムもまた、リスナー前方左右のSPを両耳で聴く、ステレオフォニックの要件を満たしており、にもかかわらず“ヘッドフォンのような”音場を得ようとして、ステレオフォニックの原理に矛盾を生じるのです。

### 3 2次クロストークの発生原因・A

図3は、1980年代にPolk Audioが発売した、スピーカーマトリックスを用いるスピーカーシステムです。

リスナー両耳と平行する直線D上に、左右メインスピーカー、および左右サブスピーカーが並ぶようセットするステレオスピーカーシステムで、左右メインスピーカーが(L),(R)を再生するのに対して、左

スピーカーでは両耳間隔分左, また右スピーカーでは両耳間隔分右にサブスピーカーが設けられ, それぞれ(L-R), および(R-L)が再生されます。



図3 Polk Audio SDAシリーズ

説明の単純化のために, 上記左サブスピーカーで(-kR)を再生し, 右サブスピーカーで(-kL)を再生したとします。この時, 右メインスピーカーと左サブスピーカーはリスナー左耳bを中心とした円B上にあり, また左メインスピーカーと右サブスピーカーはリスナー右耳cを中心とした円C上にあることになって, リスナーとスピーカーとの距離にかかわらずC.C.が成立します。

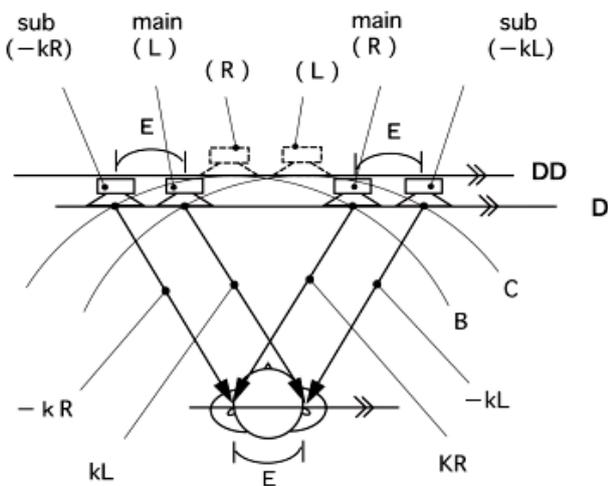


図4 SDAシリーズと両耳間

上記スピーカーの左右間隔を変えることは, リス

ナーと直線Dとの距離を変え, 直線Dと円B, Cの交点を変えることを意味します。

直線Dをリスナーから離していくと, 右メインスピーカーと左サブスピーカーが円B上で, また左メインスピーカーと右サブスピーカーが円C上で接近していきます。

直線Dが円B, Cの交点を通る時, 左右メインスピーカーが交点で重なり, 左右サブスピーカーがそれぞれ両耳間隔外側となる, 故長岡鉄男氏の“マトリックススピーカー”に近似します。

また直線Dを図4のように円B, Cの接線DDとすると, 右メインスピーカーと左サブスピーカーがリスナー左耳正面で重なり, また左メインスピーカーと右サブスピーカーがリスナー右耳正面で重なります。

この時, リスナー左耳正面では(R-kR)が, またリスナー右耳正面では(L-kL)が再生されることになります。

つまり上記スピーカー構造は, リスナー左耳正面のステレオ(R)スピーカーを, 右メインスピーカー(R)と左サブスピーカー(-kR)に円B上で左右等分し, ベクトル合成で(R)をリスナー右方向へ定位させたものであって, 同様にリスナー右耳正面のステレオ(L)スピーカーを, 左メインスピーカー(L)と右サブスピーカー(-kL)に円C上で左右等分し, ベクトル合成で(L)をリスナー左方向へ定位させたものであることとなります。

ベクトル合成によって(R)はリスナー右側に, (L)はリスナー左側に定位します。しかしリスナー左耳正面のステレオ(R)スピーカーを左右等分したために, リスナー右耳に対しては(R)再生位置より(-kR)再生位置が後退して, 2次クロストークを生じます。

同様にリスナー右耳正面のステレオ(L)スピーカーを左右等分したために, リスナー左耳に対しては(L)再生位置より(-kL)再生位置が後退して, 2次クロストークを生じます。

このため上記スピーカーシステムでは, 位相差情報が混乱してリアルな再生音像・音場が得られず,

またリスナーが両耳間隔の半分左に移動したとき、位相差上はステレオ(R)スピーカー正面に在ると等しくなり、同様に右に移動したとき、位相差上はステレオ(L)スピーカー正面に在ると等しくなります。

したがって再生音場は移動方向と反対側へ大きく振られ、L、R音量差情報と位相差情報がかけはなれて音像・音場が非現実的となります。またさらに移動しても、位相差情報は混乱したままとなり、現実的な音場が得られません。

#### 4 2次クロストークの発生原因・B

上記スピーカーシステムが、リスナー左耳正面のステレオ(R)スピーカーを左右等分したものであり、またリスナー右耳正面のステレオ(L)スピーカーを左右等分したものであると同様の左右反転を、図1に示したC.C.システムも生じます。

C.C.システムの左スピーカー再生音(L-kR)では、(L)から距離差a分遅延する(-kR)は、リスナーに対して(L)後方で再生されるに等しく、また(R)から距離差a分遅延する(-kL)は、リスナーに対して(R)後方で再生されるに等しく、上記スピーカー同様に、リスナー左耳を中心とする円B上に(R)と(-kR)が位置し、またリスナー右耳を中心とする円C上に(L)と(-kL)が位置します。

なお厳密には(-kR)、(-kL)再生位置は(L)および(R)のa分後方の仮想的な位置のために、右耳に達する場合と左耳に達する場合で位置はわずかにずれることとなります。

C.C.システムでは、上記4つの再生位置は、円B、Cの交点ではひとつに重なります。しかし円B、Cに両耳間隔のずれがあるために、左スピーカーが円C上でならびに右スピーカーが円B上で左右等角度に開くにつれ、(L)後方の(-kR)再生位置は円B上でより大きく動き、また(R)後方の(-kL)再生位置は円C上でより大きく動きます。

したがって(L)と(-kL)の円C上の中間点、つまりステレオ(L)スピーカー位置は、左右SP間隔を広げるにつれてリスナー右側に移動し、またステレオ(R)スピーカー位置はリスナー左側に移動します。

左右反転するステレオ(L)、(R)スピーカーを円C上、および円B上で左右等分したに等しいC.C.システムもまた、上記スピーカー同様に2次クロストークを生じ、再生音像・音場は現実的となりません。

またリスナーが頭半分ていど左右に移動した時に、音場は反対方向へ大きく振られ、L、R音量差情報と位相差情報がかけはなれて、音像・音場が非現実的となり、さらに移動しても、位相差情報は混乱したまま、現実的な音場は得られません。

これが、“クロストークC.C.信号が一点でしか両耳で交わらないため”とのみ説明されてきた、C.C.システムがリスニングポイントを限定する、最大の理由です。

#### 5 L、Rが反転する理由

上記C.C.システムでは、2次クロストークはL、R再生音に対して距離差2a分遅延します。いっぽう上記スピーカーシステムでは、L、R再生音に対して距離差2(a+S)分(Sはメイン・サブSP間が左右距離をとるための距離差)遅延します。

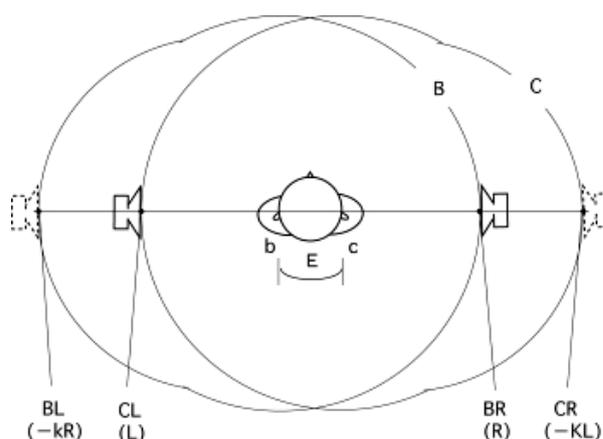


図5 ヘッドフォンとの類似

また上記スピーカーシステムでは円B、Cは正円であって、左右再生音の一方がリスナー頭部を回り込

む、略50°以上では到達誤差を生じます。しかしC.C.システムでは自由な角度に対応可能で、そのばあい正円B,Cでは、頭部を回りこむ距離差を生じる角度においては、円Bが左側で、また円Cが右側で膨らむ偏円Bおよび偏円Cとなります(図5での膨らみは略記です)。

ちなみに上記スピーカーシステムも、リスナーが左右スピーカーを見込む角度に応じて、メイン・サブスピーカー間隔が仮に自由に広げられるものとするれば、偏円B,Cと直線Dとの4つの交点に左右メイン・サブスピーカーを配置することで、自由な角度でC.C.が成立することになります。

そこで偏円B,C上での上記SPシステムとC.C.システム 双方の左右スピーカーを180°で見込むものとし、リスナー両耳を通る直線bc上に位置させます。

この時、Sはゼロとなって上記スピーカーシステムとC.C.システムは重なり合い、ともに偏円Cとの、左側の交点CLで(L)を再生し、右側の交点CRで-kLを再生し、また偏円Bとの、右側の交点BRで(R)を再生し、左側の交点BLで-kRを再生することになります。

これは偏円b,cの半径をリスナー両耳間隔としたとき、リスナー左耳位置で(L)を再生し、(L)が頭部を回り込んで右耳にも達するクロストークを、等距離右側の-kLでキャンセルする構造になり、またリスナー右耳位置で(R)を再生し、(R)が頭部を回り込んで左耳にも達するクロストークを、等距離左側の-kRでキャンセルする構造になります。

まさに密閉型ヘッドフォンそのものです。

すなわち上記スピーカーシステムは、直線bc上でヘッドフォンと等価的にしようとした左右SPを、直線bcと平行な直線Dを前方に移動させることにより、リスナー前方・略50°以下で見込めるようにしたものと いえます。

またC.C.システムは、直線bc上でヘッドフォンと等価的にしようとした左右SPを、左耳bを起点とする直線と、右耳cを起点とする直線に分割し、2つの直線を、左耳bおよび右耳cを中心に回転させること

で、左右SPを自由な角度で見込めるようにしたものと、概ねみなせます。

C.C.技術は、“ヘッドフォンのような”音場を得ようとしてステレオフォニックの原理に反し、中低音域モノラル成分がスピーカー間に中央定位し、かつ2次クロストークを生じて、“ヘッドフォン”となりえないわけです。

C.C.システムは現在でも、“バイフォニックをバイノーラル音場に近付けようとして”,入力信号に頭部伝達関数(HRTF)にもとづくフィルター特性を与える技術を併用し、このフィルターをより精密化して、音場補正を試みています。

しかし上記のように、C.C.システムはステレオフォニックの原理に従っていて、中低音域モノラル成分がスピーカー間に現実に中央定位するのですから、バイノーラル音場を実現することは不可能なのです。

参照URL <http://www.polksda.com/>

#### 筆者プロフィール

川村 昭夫 (かわむら あきお)



ライター。

上記矛盾から導かれるのは単純明快で統一的なCC技術で、特許出願中です。方法の提案は趣旨にそぐわないかと、現行技術の矛盾点のみ論じさせていただきました。方法に興味ある方からご意見をいただければ幸いです。