

## 聴覚実験に用いるヘッドホンアンプのクロストーク\*

○森川大輔, 酒井翼, 平原達也 (富山県立大)

## 1 はじめに

ヘッドホンを用いる各種の聴覚実験では、ヘッドホンアンプのチャンネル間のクロストークの影響に注意する必要がある。クロストークを避けるために、左右のチャンネルで別々のヘッドホンアンプを用い、ヘッドホンと2台のアンプを接続するためにY型分岐ケーブルが用いられることもある[1]。しかし、ヘッドホンのTRSプラグと分岐ケーブルのTRSジャックのSleeveでの接触抵抗が大きい場合にもクロストークは大きくなる。

本稿では、ヘッドホンアンプや分岐ケーブルによるクロストーク量の違いを計測した結果について報告する。

## 2 計測系

計測系を図1に示す。オーディオアナライザ(Brüel & Kjær, 3560-C)の出力は、アンプ(audio-technica, AT-HA21またはAT-HA20)のRch側を通り、3560-CのRchに入力する。信号を入力しないアンプのLch側の出力は、3560-CのLchに入力する。したがって、3560-CのLchへの入力、Rchからのクロストークである。Rchのアンプの入力出力電圧はいずれも1Vとし、Lchのアンプ入力端子はショートした。RchとLchで2台のアンプを用いる場合には、各アンプのLch側を使用し、その出力は分岐ケーブルを通して、3560-Cに入力する。 $V_L(t)$ と $V_R(t)$ はヘッドホンのLchとRchにかかる電圧、 $R_C$ はLchとRchの共通接地抵抗である。また、各チャンネルとアースの間の $R_L$ はヘッドホンを繋いだ場合の負荷抵抗で、ヘッドホン(Sennheiser, HDA-200)の実測インピーダンスである $42\Omega$ の抵抗を接続した。計測周波数は20 Hzから100 kHzまで1/3オクターブ間隔とした。

使用した分岐ケーブルはA1~A4, B, C, Dで、A, B, Cは市販のフォーンジャックを用いて作製したもの、DはHOSA社のYPP-136で

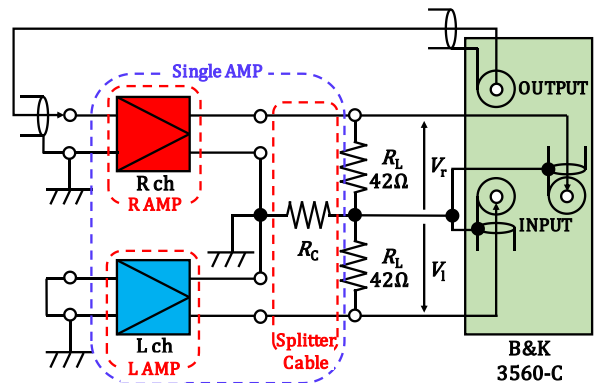


Fig. 1 計測システム

ある。A1~A4は、すべて作製後に十数年間使用されている。

## 3 結果

図2(a)にAT-HA21とAT-HA20単体の左右チャンネル間のクロストーク特性を示す。実線はAT-HA21で、左右どちらのクロストーク量も1 kHz以下では-75 dB程度で左右差は小さかった。破線はAT-HA20で、RchからLchのクロストーク量は最低でも-58 dBで、LchからRchのクロストーク量は3 kHz以下では-60~-80 dBで大きく変動した。なお、6台のAT-HA21と2台のAT-HA20の個体差はそれぞれ $\pm 2$  dB、 $\pm 0.5$  dB以下であった。

図2(b)に2台のAT-HA21に各分岐ケーブルを接続した場合のクロストーク特性を示す。破線はA1~A4で、最もクロストーク量が多い結果では-28 dB、小さい結果でも-51 dBであった。青線はBで、クロストーク量は-66 dBであった。赤線はCで、クロストーク量は4 kHz以下は-90 dB以下であり、100 kHz以下でも-70 dB以下であった。黒線はDで、クロストーク量は-69 dBであった。なお、クロストーク量の左右差は $\pm 1$  dB以下であった。

## 4 クロストーク

アンプの内部抵抗を $r$ とし、図1のようにLchに何も入力しない場合、RchからLchへのクロストーク量は以下の式で表せる。

\*Crosstalk of headphone amplifier used in psychoacoustical experiments, by MORIKAWA, Daisuke, SAKAI, Tsubasa, and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).

$$\frac{V_l(t)}{V_r(t)} = \frac{-R_C}{r + R_L + R_C} \quad (1)$$

式(1)より、クロストーク量はアンプや分岐ケーブルのジャックとヘッドホンのプラグとの $R_C$ に依存し、 $R_C$ が大きいほどクロストーク量は大きくなる。 $r=39 \Omega$ 、 $R_L=42 \Omega$ とすると、クロストーク量が $-60 \sim -80 \text{ dB}$ となるのは、 $R_C$ が $10 \sim 100 \text{ m}\Omega$ 程度の場合である。Aでは、数百 $\text{m}$ ～数 $\Omega$ もの $R_C$ が生じると考えられる。

クロストークの影響下でLchとRchに同じ信号を入力すると、左右の信号に時間差があるかでレベルが変化し、同時の場合逆位相の信号で減ずることになりレベルが下がる。時間差の有無によるレベルの差は、ホワイトノイズの場合、 $R_C=10 \Omega$ で $1 \text{ dB}$ 程度になる。

左右の信号にレベル差を与えると影響はさらに大きくなる。これは、レベルが大きい側からのクロストークが、レベルが小さい側の信号に与える影響が大きいためである。LchとRchの入力信号を $S_l(t)$ 、 $S_r(t)$ とすると、レベル差の変化は以下の式で表せる。

$$\frac{V_l(t)}{V_r(t)} = \frac{(r + R_L + R_C)S_l(t) - R_C S_r(t)}{(r + R_L + R_C)S_r(t) - R_C S_l(t)} \quad (2)$$

式(2)より、 $r=39 \Omega$ 、 $R_L=42 \Omega$ とし、 $S_l(t)$ と $S_r(t)$ をレベル差 $20 \text{ dB}$ の同じ信号にすると、レベルが低い側のレベルはさらに低くなり、ホワイトノイズの場合、 $R_C=10 \Omega$ でレベル差は $40 \text{ dB}$ になる。一方、同じレベル差 $20 \text{ dB}$ で、 $S_l(t)$ と $S_r(t)$ に時間差を与えたり、 $S_l(t)$ と $S_r(t)$ を異なる信号にすると、レベルが低い側のレベルが上がり、ホワイトノイズの場合、 $R_C=10 \Omega$ でレベル差は $17 \text{ dB}$ 程度になる。

また、 $S_l(t)$ と $S_r(t)$ に時間差がある場合には、時間差 $0$ に負の相関が生じる。

## 5 考察

AT-HA20でクロストーク量に大きな左右差が見られ、AT-HA21に見られなかったのは、 $R_C$ や $r$ 以外に、アンプ内のプリント基板の配線パターンや筐体アースの取り方が影響していると考えられる。

各分岐ケーブルのジャックの内側を図3に示す。Aでは $120^\circ$ 程度の間隔の2枚の金属板がプラグのTip、Ringと接触するとともにプラグを押し、入口のSleeveが接触する。Aのクロストーク量が大きいのは、十数年間の使用によって金属板の反発力が弱りプラグを

押す力が弱まったために、Sleeveの接触も弱まり、 $R_C$ が大きくなったためと考えられる。Aのクロストーク量は接点復活剤を用いても改善されなかったが、ジャックを強くかきめると数十 $\text{dB}$ 改善された。Cは2枚の金属板が $90^\circ$ 程度の間隔で配置しているが、他のジャックと異なりTipの金属板が大きく内側にせり出している。Cのクロストーク量が小さくなったのは、せり出した金属板によってSleeveが強くと接触し、 $R_C$ が小さくなったためと考えられる。

## 6 結論

本稿では、ヘッドホンアンプやY型分岐ケーブルの違いによるクロストーク量を計測した。その結果、聴覚実験に用いるヘッドホンアンプもしくは分岐ケーブルには、Sleeveを強く接触させチャンネル間の共通接地抵抗が十分に小さいジャックの物が適し、その経年劣化には注意が必要であることがわかった。

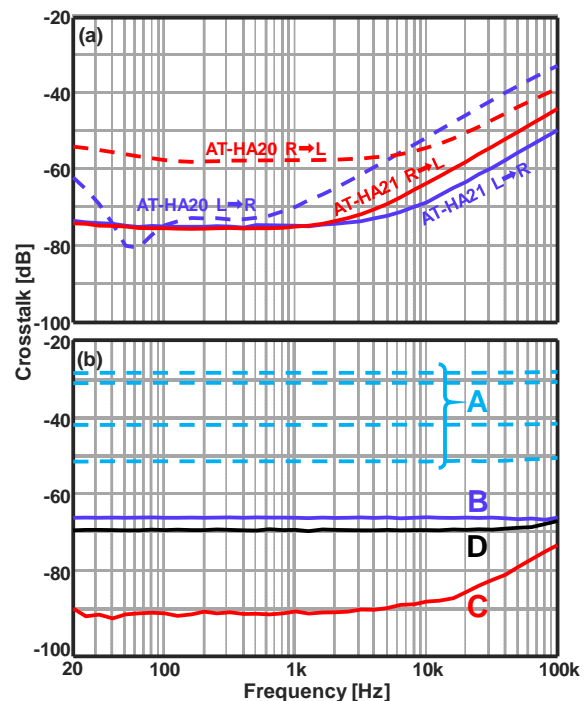


Fig. 2 各条件のクロストーク特性

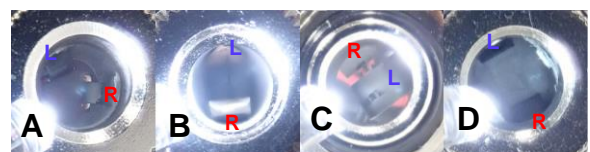


Fig. 3 TRS ジャックの内部

## 参考文献

- [1] 森川大輔, “はじめての音像定位実験,” 音響誌, vol. 74, no.10, pp. 547-554, 2018.