

# ANC (Active Noise Cancelling) ヘッドホンの性能比較に関する研究 Performance comparison of ANC (Active Noise Cancelling) headphones

今野歩美 (コンピュータ科学科)

Ayumi Konno

計算機構成研究室

指導教員 三好和憲教授

**1. はじめに** 近年, 外出時や移動時などにヘッドホンを利用して音楽を聴く人は多い. しかし, 必ずしも静かな環境で利用されるとは限らないため, 騒音環境下でも音量を過度に大きくすることなく音楽が聴けるよう, ANC (Active Noise Cancelling) ヘッドホンが販売されている. ANC ヘッドホンは一般のヘッドホンに比べると高価であり, 購入後に期待した性能が得られないというリスクを低減するため, 性能を明確にすることが望まれる. そこで, 本研究では ANC ヘッドホンによる騒音低減性能を測定し, 性能を評価する.

**2. 背景と目的** ANC ヘッドホンは本来, 航空環境下での騒音を低減する目的で製作された[1]. そのため, 航空機騒音の低減性能に関するパイロットの仕事効率上昇を目的とした研究はすでになされており[2], ANC 機能を用いたときに仕事効率が優れていることが明らかになっている. しかし ANC ヘッドホンが実用化された近年では, 実際に利用されているのは日常騒音の環境下である. そこで本研究では, 都心部において利用頻度が高く, 騒音レベルも高い電車騒音環境下における騒音低減性能の評価を目的とした.

**3. 騒音再現システムの構築と評価** 評価実験において騒音を再生するにあたり, 実音場で収録した音源をそのまま再生するだけでは, 実音場と再現音場の間で音響特性に差が発生するため, 音響特性の差を補正する必要がある.

**3.1. 騒音再現システムの理論** 録音および再生によって付与される, 音響機器や室内の音環境を記述する音響伝達関数 (以後, 伝達関数と記す)  $H(\omega)$  を打ち消すようなフィルター  $h^{-1}(t)$  を作成し, 再生音源  $x(t)$  に畳み込みを行う.  $h^{-1}(t)$  については  $H^{-1}(\omega)$  を逆フーリエ変換することで求める. ただし, スピーカーから出力できない周波数帯域では  $H(\omega) \approx 0$  となるため,  $H^{-1}(\omega)$  が発散する可能性がある. これを防ぐため, 次式のように  $H^{-1}(\omega)$  を算出する.

$$H^{-1}(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + a} \quad (1)$$

ここで  $H^*(\omega)$  は,  $H(\omega)$  の複素共役を表す. 式(1)における微小量  $a(a > 0)$  は発散を防ぐ正則化の定数であり,  $H(\omega)$  のパワー  $|H(\omega)|^2$  を基準にパラメータ  $r$  を用いて相対的に定める.

$$a = \max\{|H(\omega)|^2\} \cdot r \quad (2)$$

式(2)中の  $r$  は  $|H(\omega)|^2$  の最大値に対する比率を定めるものであり, この値については実験時に別途設定する. 求められた  $H^{-1}(\omega)$  に逆フーリエ変換を行い,  $h^{-1}(t)$  を求める. 最後に, 逆フィルター  $h^{-1}(t)$  を音源  $x(t)$  に畳み込むことにより, 補正音源  $x'(t)$  を作成する. ここで  $*$  は畳み込み演算子である.

$$x'(t) = y(t) * h^{-1}(t) \quad (3)$$

$x'(t)$  は  $H(\omega)$  を打ち消すため, 再現音場の影響を受けずに, 実音場における周波数特性が保たれたまま再生できる.

**3.2. 騒音再現実験** 伝達関数  $H(\omega)$  は再現音場で TSP 法により実測したインパルス応答から求めた. 前節で述べた逆フィルターを適用し, 騒音の補正を行った. 式(2)の  $r$  は手動で調整し, 0.0035 とした. 騒音は 6 種類とし, すべて再現実験時と同じ収録機器を利用して実音場で収録した. 収録音は長さ 10 秒の wav 形式の音声ファイルであり, 音圧レベルは 71~91dB である. 音源  $x(t)$  に対して, 逆フィルターの畳み込みを行った補正音源  $x'(t)$  を再生する. 補正により, どの騒音も実音場に近い騒音を再現できた. 収録音と再生

音の騒音レベルの差は, 補正前が 18~21dB であったのに対し, 補正後は 0~2dB に改善された. このうち, 再現度が高い音源 (大江戸線電車音) についての周波数特性を図 1 に示す. 横軸は周波数 [Hz], 縦軸は音圧レベル [dB] である. 補正前の音と補正後の音を比較すると, 補正後のほうが収録音に大きく近づいている. 125Hz 以下の低周波帯域ではスピーカーでの再生に限界があり, 出力が低下しているが, 補正後の再生音は実際に騒音として聴こえる 125~1000Hz の主要な帯域でのスペクトルの概形はほぼ一致している. 実音場と再現音場の音圧レベルが主要帯域でほぼ一致していることから, 騒音の高精度な再現が実現できたと言える.

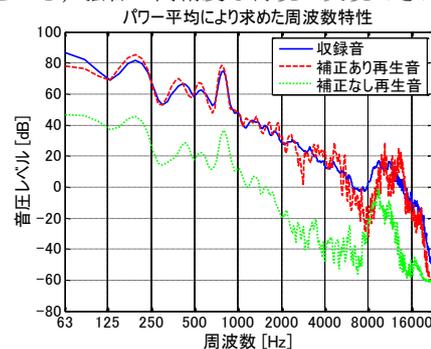


図 1. 音場補正前後の周波数特性 (大江戸線電車音)

**4. ANC ヘッドホンの評価実験** 本実験では, 実音場における騒音を再現音場で再現し, 人体の頭部を模したマイクである SAMREC ダミーヘッドマイクロホンを利用して ANC ヘッドホンの騒音低減性能を評価する.

**4.1. 評価方法** (1)ダミーヘッドマイクロホンのみ, (2)ダミーヘッドマイクロホンに ANC ヘッドホンを装着し ANC 機能を OFF, (3)同様に ON の 3 つのパターンにおいて騒音を再生し, ダミーヘッドマイクロホンで収録された騒音の周波数特性と騒音レベルを比較する.

**4.2. 評価実験** 実験で使用する ANC ヘッドホンは図 2~7 の 6 種であり, 3 万円前後で購入できるものを選定した.



図 2. Panasonic RP-HC700



図 3. audio-technica ATH-ANC9



図 4. Klipsch Mode M40



図 5. Beats Studio™ over ear headphone



図 6. HARMAN KARDON HEADPHONES NC



図 7. Bose QuietComfort 15

ANC ヘッドホンを評価するにあたり, 騒音再現システムで補正した, 6 種類の電車環境における音場補正済みの騒音を再生する. 音圧レベル [dB] は ①91, ②90, ③72, ④76, ⑤75, ⑥77 である. このとき, 評価方法で挙げた 3 つのパターンの収録を行った. パターン(1)を適用した収録音を A, 同様

に(2)をB, (3)をCとする。収録音A~Cをもとに騒音低減性能を客観的に評価するため、各収録音について平均音圧レベル $\bar{A}$ ~ $\bar{C}$ を求めた。 $\bar{A}$ から $\bar{C}$ を減算した音圧レベル差( $\bar{A}-\bar{C}$ )を図8に示す。図中のレベル差は、ANC機能がONの状態ではANCヘッドホンをつけると騒音がどの程度低減したのかを示している。横軸はANCヘッドホンの種類と価格を、左から価格の低い順に並び、それぞれに対して6種類の音源を示した。縦軸は音圧レベル差[dB]を表している。図中の数値は、低減された音圧レベルを6種類の音源について平均し、1つのANCヘッドホンごとに示した値である。図8を見ると、どのANCヘッドホンにおいても音源によって低減率に2~6dB程度の違いがある。①と②は騒音レベルが高く、③は騒音レベルが低いことから、音圧レベルが高い音源ほど騒音が低減されやすい傾向がある。ANCヘッドホンごとに見てみると、全体的に最も騒音を低減しているのはMode M40であり、10.4dBの低減となっている。ANCヘッドホンは密閉性が高く、装着しただけで耳を覆い隠すことができる。そのため、この騒音の低減には物理的な騒音の遮断による影響が大きいと推測される。以上から、密閉性が高いANCヘッドホンが良い結果になっていると考えられる。

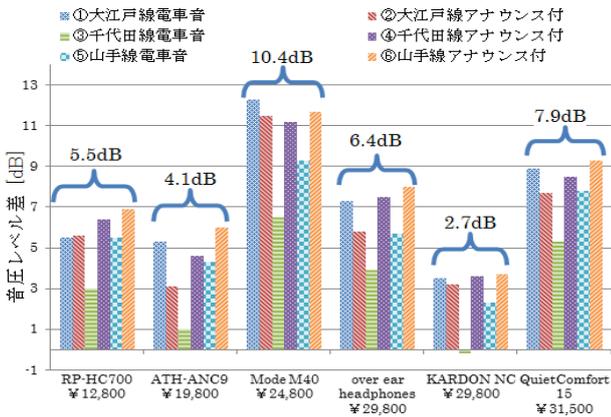


図8. ANCヘッドホン装着による騒音低減レベル ( $\bar{A}-\bar{C}$ )

物理的遮断による騒音低減効果ではなく、ANC機能による騒音低減性能を評価するため、 $\bar{B}$ から $\bar{C}$ を減算して求めた音圧レベルの差を表したグラフを図9に示す。図中のレベル差は、ANC機能をONにすると騒音がどの程度低減したのかを示している。横軸および縦軸、図中の数値については、図8と同様である。

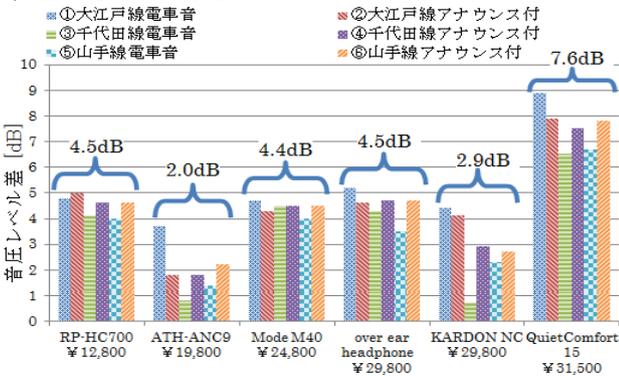


図9. ANC機能による騒音低減レベル ( $\bar{B}-\bar{C}$ )

図9を見ると、図8と同様に、音源によって騒音の低減率に0~4dB程度の違いが表れている。ANC機能の効果が表示されている音源はANCヘッドホンによってそれぞれ異なっているが、音圧レベルの高い音源が低減されやすい。先程の分析では、全体的に最も騒音を低減しているのはMode M40であったが、ANC機能による騒音低減性能をみると最も効果が高いのはQuietComfort 15であり、7.6dB低減された。この値はこのANCヘッドホン全体の騒音低減率(7.9dB)

の96%である。このことから、ANC機能による低減と密閉による低減の寄与度がヘッドホンの種類により異なることがわかる。全体の騒音低減率も含め、騒音低減性能が高いQuietComfort 15について、どの周波数帯域の騒音が主に低減されているかを分析する。ここでは、音圧レベルが最も高い音源①を選定した。図10は騒音①の周波数特性を示しており、横軸が周波数[Hz]、縦軸が音圧レベル[dB]である。点線がANCヘッドホンを装着せず、収録した音源の周波数特性である。この音圧レベルを基準にし、ANCヘッドホンによってどれだけ騒音が低減されているかを比較する。実線がANCヘッドホンを装着し、ANC機能をOFFにした場合の周波数特性であり、破線がANC機能をONにした場合の周波数特性である。音圧レベルが高いほど相対的なパワーが高いため、音圧レベルの高い周波数帯域で騒音低減率が高いほうが高性能と言える。1000Hz以上の高周波帯域においてはANCヘッドホンを被せただけで騒音が10~40dB程度低減しているものの、ANC機能による低減効果はほとんどない。しかし、騒音の主要帯域である63~250Hzの低周波帯域においては、ANC機能の効果で10~30dBの低減がみられる。以上より、QuietComfort 15は音圧レベルの高い低周波帯域での低減率が特に優れており、ANC機能による騒音低減性能が優れていると言える。

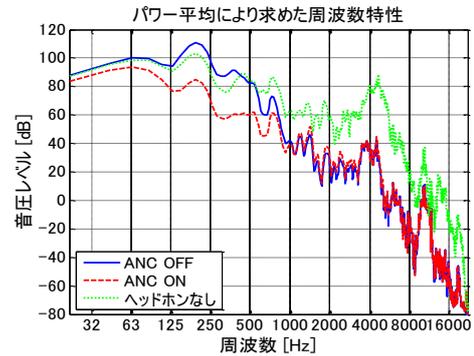


図10. QuietComfort 15の騒音低減効果 (大江戸線電車音)

5. 結論および今後の課題 今回ANC機能による騒音低減性能が最も優れていたのはQuietComfort 15だった。価格は¥31,500と最も高く、平均的に見た低減性能は7.6dBで最も良い結果となっている。しかし、その次に高値であったover ear headphone (¥29,800)においては低減性能が4.5dBに収まり、Mode M40 (¥24,800)の4.4dB、今回最も安いANCヘッドホンであるRP-HC700 (¥12,800)の4.5dBと差がほぼない。同様にして、KARDON NC (¥29,800)においては低減性能が2.9dBとなり、性能が良いとは言いがたい。以上より、必ずしも高価なANCヘッドホンが高性能なANC機能の性能を有するわけではないことがわかる。

本研究では、日常騒音環境下のうち低周波帯域の音圧レベルが高い電車騒音のみを取り上げた。高い周波数の音が多く含まれる車などのブレーキ音や、工事現場の騒音など、他の騒音環境下での性能評価が課題である。また、値段やメーカーの違うANCヘッドホンや、ANCイヤホンについての騒音低減性能の評価も今後の課題である。

## 6. 参考文献

- [1] 投野耕治, “ノイズキャンセリングヘッドホン”, 日本機械学会誌, Vol.112, No.1090, pp.724-725, Sep 2009
- [2] MOLESWORTH Brett R.C., KWON Daniel, BURGESS Marion, “雑音環境中の同時タスクパフォーマンス改善のための雑音打ち消ヘッドホンの使用”, Appl Acoust, Vol.74, No.1, pp.110-115, Jun 2013
- [3] 加藤優基, 中島弘史, 三好和憲, “音源の再帰的補正によるスピーカの非線形歪低減の検証”, 信学技報, vol.112, no.478, EA2012-142, pp.7-12, Mar 2013