

超低周波音再生用スピーカシステムの開発

Development of Speaker System for Super Low Frequency Reproduction

小林 幸夫, 成田 一真*, 渡邊 康德**

Yukio KOBAYASHI, Kazumasa NARITA*, Yasunori WATANABE**

1. はじめに

近年 SACD や DVD-Audio に見られるように、人間の可聴範囲外である 20[kHz] 以上の超高音成分が人（生体）の聴覚や心理状態、再生音楽の音質に影響を与えるという研究がなされている。⁽¹⁾

これに対し、20[Hz] 以下の超低周波音についてはその音質や生体への影響についての研究がほとんどなされていない。そこで我々はこの問題について卒業研究のテーマとして取り上げ、まず超低周波音を再生するためのスピーカシステムを開発することとした。

超低周波音については、平成 13 年度の卒業研究⁽²⁾において、小山市近郊の新幹線高架橋および新 4 号線跨線橋付近で、有意に暴露されていることを明らかにした。

また、平成 14 年度の卒業研究⁽³⁾において本格的な超低周波音再生実験を行うため、円筒管の共鳴現象を利用した超低周波音再生用スピーカを開発し、20Hz 前後の周波数における再生音圧レベルが最高で 67[dB] を記録したが、超低周波音が生体に及ぼす影響を研究するために必要かつ十分な音圧を得ることができなかった。

そこで平成 15 年度では引き続き、超低周波音の暴露が生体にどのような影響を与えるのか、また、超低周波音が再生音質をどのように変化させるのかについて実験を行

うため、十分な音圧を得ることのできる超低周波音再生用スピーカシステムの開発を目的とし、平面バツフル方式での開発を試みた結果、10~20[Hz] で 80[dB] を超える音圧が得られた⁽⁴⁾のでここに報告する。

2. 超低周波音の再生方法

一般に低周波音の再生限界は、大面積の振動板を有するスピーカでも 30~50[Hz] である⁽⁵⁾。そこで、人間の聴覚の最低可聴周波数 20[Hz] 以下である超低周波音を再生するためには以下の方法が考えられる。

2.1 出力周波数特性補正方式

この方法は、図 1 に示すように A のスピーカ単体の周波数特性の逆特性を増幅器の出力 B とし、増幅器とスピーカをあわせた総合特性 C を大口径のスピーカから得ようとするものである。しかし、このような大幅な出力補正は大変困難であり、アンプ、スピーカユニットともに大きな負担となる。特に 80[dB] 以上の音圧を得ようとした場合、スピーカユニットの最大振幅を超えた振幅に補正されるため、再生音に歪みが生じることとなる。また、出力補正を行ったとしても最低 40cm 以上の口径のスピーカユニットと、100[l] 以上のエンクロージャが必要となり、システムが巨大となってしまう。

一般的に 40cm 以上の大口径スピーカユニットはその振動板等価質量の大きさから

群遅延特性が悪いという欠点もある。よって、この方法はあまり実用的な方法ではない。

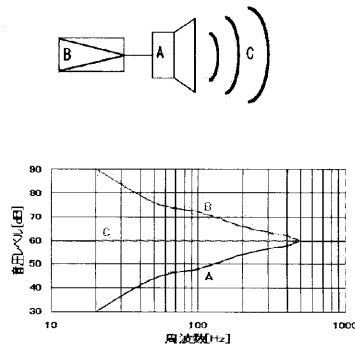


図1 周波数特性補正

2.2 円筒管共鳴方式

図2に平成13年度の卒業研究で開発したスピーカシステムを示す。管共鳴を利用することで、特定の低周波音を小さなスピーカユニットで再生することができるものであった。

しかし、例えば16Hzで共鳴させたい場合、波長21.25[m]の1/4、つまり5.3[m]もの共鳴管が必要となり、システムが巨大になってしまう。また、共振現象を利用しているため、周波数特性も平坦なものとは得られない。よって、この方法も実用的ではない。

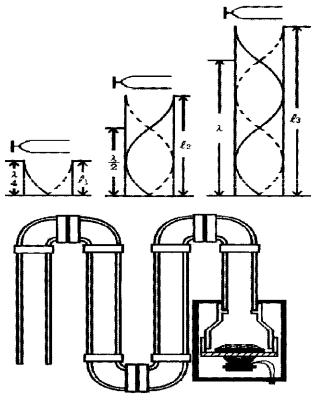


図2 共鳴管型スピーカ

2.3 平面バツフル方式

この方法は平板にスピーカユニットを取り付けただけというシンプルなものである。よって、音の回り込み作用が他のスピーカシステムに比べ大きく、一般的に低音再生には不利な方法とされている。

しかし、それは単一のスピーカユニットを用いた場合であり、複数のユニットを用いれば十分な低音の再生は可能であると考えられる。

また、振動板を複数のユニットで分担することで、ひとつの振動板にかかる等価質量を小さくすることができる。これにより平面バツフルの後面開放状態とあわせて、群遅延特性の向上が期待できる。

さらに、エンクロージャを必要としないことからシステムの奥行きを小さくすることができ、研究室での取り扱い(設置場所等)が容易となる。

3.超低周波音再生用スピーカシステムの設計・製作

3.1 スピーカユニット

本研究で使用したスピーカユニットはFOSTEX 社製コーン型ウーハーFW108Nである。図3に外観および周波数特性を示す。

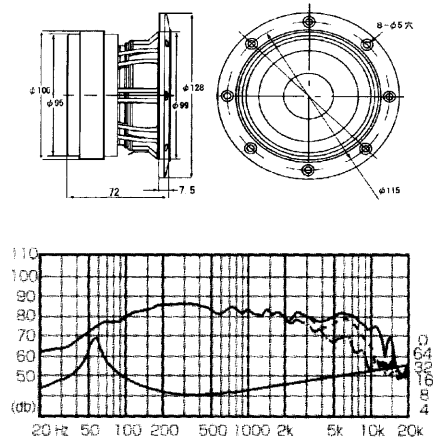


図3 ユニット外観及び周波数特性

以下に主な規格を示す。

1)インピーダンス・・・8[Ω]

- 2) m_0 6.9[g]
- 3) 最低共振周波数 55[Hz]
- 4) Q_0 0.26
- 5) 再生周波数帯域 $f_0 \sim 10$ [kHz]
- 6) 実効振動半径 (a) 4[cm]
- 7) 出力音圧レベル 86[dB/w](1m)
- 8) マグネット重量 500[g]
- 9) 最大入力 50[w]
- 10) 総重量 1695[g]

3.2 スピーカの設計・製作

先に示したスピーカユニット FW108N を 16 個、図 4 のように 910[mm]×900[mm]×18[mm] の MDF ボードに同心円状に取り付けた。中心部のスピーカは、音楽再生時に高音域再生として用いるためのものである。スピーカ全体の音響中心を 1 点とするため同軸型の配置法を採用した。

これらのスピーカユニットを、合成インピーダンスが一般的な増幅器でドライブできる 8Ω となるよう直並列に接続した。

平成 13 年度のスピーカは単一のスピーカユニットしか使用していないが、今回のスピーカはユニットを 4 個並列に接続しているため、最大入力を 4 倍まで上げることが可能となった。

また、使用した FW108N ユニットは振動板口径が 10[cm] である。よって 16 個のスピーカの合計による振動板面積は約 1256[cm²] となり、これは振動板口径が 40[cm] のコーンスピーカとほぼ同等である。

このスピーカを LR 用に 2 基製作した。図 5 に製作したシステムの外観写真を示す。

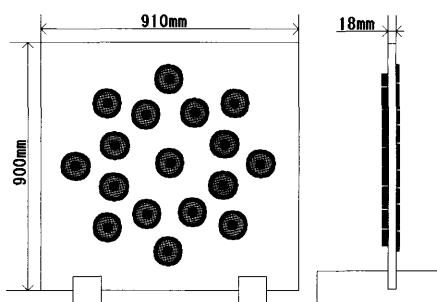


図 4 スピーカ設計図

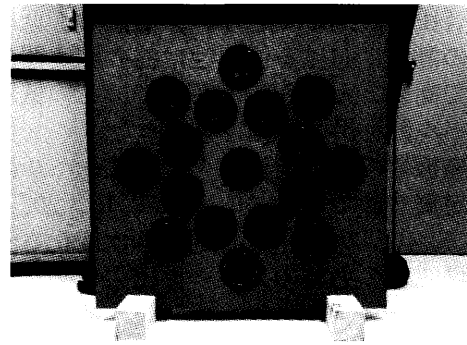


図 5 開発したスピーカ外観写真

4. 超低周波音再生用スピーカの周波数特性

4.1 周波数特性の測定

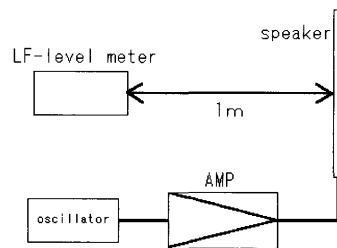


図 6 スピーカ測定概略図

表 1 測定に使用した機器

使用機器名	製造元	型番
発振器	NF CORPORATION	WF1944
アンプ	Technics	SU-MA10
低周波レベル計	リオン	NA-18A

音響計測室内にて図 6 に示す構成により、製作したスピーカの出力音圧周波数特性を測定した。低周波音の測定には、リオン社製の低周波レベル計を使用した。この低周波レベル計は、音圧を連続的な周波数スペクトルとして測定できず、具体的には 10～80[Hz] の間で 10 ポイントの周波数におけ

る音圧しか測定できない。しかし、低周波音の測定における信頼性は他の測定器に比べて高いことから、本研究ではこの低周波レベル計を用いて測定を行った。

発振器の出力周波数を低周波レベル計の測定周波数である 10、12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80[Hz]と順次変化させ、各周波数入力時のスピーカ出力音圧を測定した。

アンプの出力電圧はスピーカ入力電力が 1[W]となるように 2.83[V]とした。

以上の測定をスピーカ 1 台使用時と 2 台使用時についてそれぞれ測定した。また、参考までにスピーカ 1 台使用時と 2 台使用時に 10[W]入力した場合についても測定を行った。

4.2 測定結果

本研究にて製作した平面バツフル型スピーカの、低音域出力音圧周波数特性の測定結果を表 4 そして図 7～11 に示す。

図 7 を見ても分かるとおり、管共鳴のように特殊な音圧増加を行っていないため、素直な周波数特性を得ることができた。

また、図 9 より平成 13 年度のスピーカに比べ、最大 20dB の音圧増加を達成することができた。目的の 20Hz 付近の音圧に関しても 72.4dB と、共鳴管型の +7.2dB 増加を達成できた。

ここで、比較対象の共鳴管型スピーカは円筒管長 5.3m であり、16Hz で共鳴が起きるように設計してある。よって、この 1W 入力時における 16Hz 付近の出力音圧については共鳴管型が勝っている。しかし、今回製作した平面バツフル型スピーカは共鳴管型の 4 倍まで入力電力を上げることができる。参考までに平面バツフル型スピーカ 1 基 10W 入力時の出力音圧を計測してみたが、16Hz における出力が 78.1dB と、かなり高い音圧を出力できることが示された。2 基使用時 10W 入力の場合も計測してみたが、1 基 10W 入力時の出力からさらに全域で 3dB 以上音圧増加している。さらにここで、アンプ等の置かれているテーブルを平面バツフル型スピーカの後面にぴったりと密着さ

せ、簡易的なエンクロージャを構成した状態で 10W 入力時の出力音圧を測定してみたところ、20Hz において約 1dB、80Hz においては約 6dB もの音圧増加が見られた。この結果は、背面の音をしっかりと処理することで、今回の測定結果よりもさらに大幅な音圧増加が見込めることを示している。

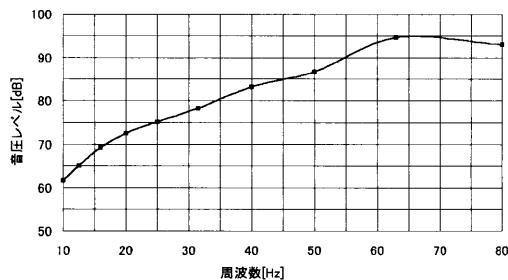


図 7 周波数特性(一台, 入力 1 [W])

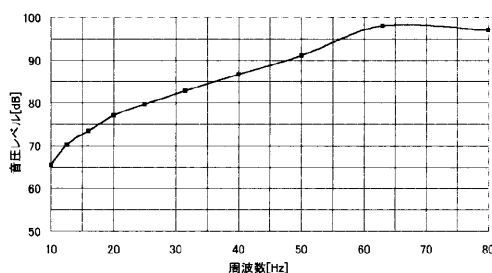


図 8 周波数特性(二台, 入力 1 [W])

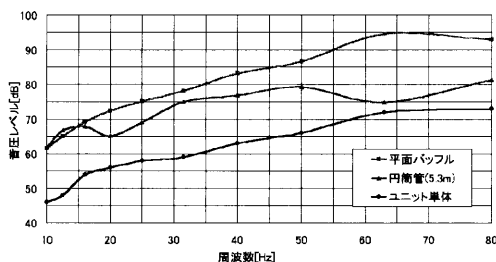


図 9 各方式の周波数特性比較

5. 試聴実験

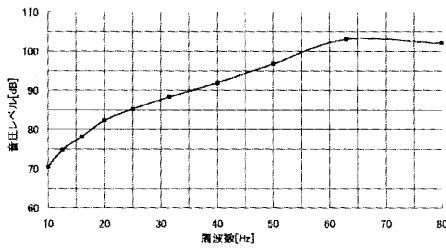


図 10 周波数特性(一台, 入力 10[W])

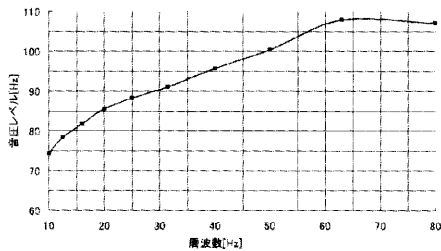


図 11 周波数特性(二台, 入力 10[W])

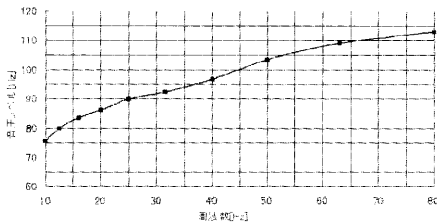
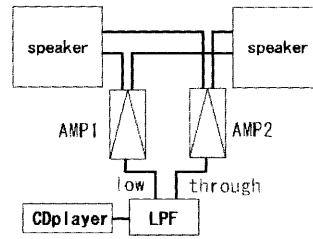
図 12 周波数特性
(簡易エンクロージャ取付時)

図 13 試聴実験概略図

表 2 試聴実験に使用した機器

使用機器名	製造元	型番
アンプ 1	Panasonic	SU-V10X
アンプ 2	Technics	SU-MA10
CD プレーヤー	Marantz	CM6200

試聴実験をするために、遮断周波数 $f_c=100$ [Hz]、2 次ベッセル特性のバイカット型の LPF を製作した。LPF と平面バツフル形スピーカを用いて、図 13 のようなシステムを構成し、試聴実験を行った。その結果、驚くほど豊かでスピード感のある重低音を再生できることが確認できた。これは先に述べたように、振動板等価質量の分散と後面開放状態とによって振動板の動きを制限する要因が減り、良好な群遅延特性を得られたことが大きく関わっていると考えられる。

また、20 [Hz] 以下の超低周波音については、“耳で聞くと言うより体が振動して体感する感覚”、“人の気配に似た感覚”として感じられた。研究室や無響室程度の広さにおいては、超低周波音に関する生体実験を行うには十分な音圧レベルを確保することができたといえよう。

今後、この超低周波音再生用スピーカシステムを用いて、種々の実験を行う予定である。

6. まとめと今後の課題

低周波音再生に不利とされている平面バツフル型スピーカでも、多数のスピーカユニットを用いることで20[Hz]以下の超低周波音を十分に再生できることを示した。さらに、このスピーカシステムは音楽再生時の音質もかなり良いということが分かった。簡単な試聴ではあったが、20[Hz]以下の音を聞くのではなく感じることもできた。

今後の課題として、波形忠実再生の観点から製作したスピーカのさらに詳しい音質評価を行う必要がある。

また、今回製作したスピーカでも十分超低周波音実験を行うことは可能であるが、様々な構造物から発せられる超低周波音の中には20[Hz]以下の音圧が100[dB]を有に超えてしまうものも存在する。これらの超低周波について実験を行うため、困難であると思うが更なる出力音圧の増加が必要なのは明らかである。よって、本研究で製作したスピーカの改良を行うことも今後の課題としてあげられる。具体的にはやはり平面バツフルの最大のネックである、背面からの音の回りこみをどう抑え込むかにかかっていると思われる。場合によってはエンクロージャの設置も視野に入れて最適な方法を考えたい。

これらの課題を解決し、最終的には、超低周波音が音質や人間の心理・生体にどう影響を与えるのか、その実態を明らかにしていく予定である。

参考文献

- (1) 蘆原郁、桐生昭吾：“複合音中の超音波成分の知覚及び広帯域信号聴取時の可聴周波数上限の測定”、音響学会誌、Vol. 55、PP. 811-820 (1999)
- (2) 安達和美：“小山市近郊における低周波騒音の基礎的研究”、平成13年度卒業研究論文
- (3) 渡邊康徳：“円筒管を用いた超低周波音再生用スピーカの開発”、平成14年度卒業研究論文
- (4) 成田一真：“平面バツフル方式を用いた超低周波音再生用スピーカシステムの開発”、平成15年度卒業研究論文
- (5) 山本武夫：“スピーカシステム 上下巻”、ラジオ技術社

小林幸夫：電気情報工学科 ykoba@oyama-ct.ac.jp

成田一真*：平成15年度電気工学科卒業

(現在 長岡技術科学大学在学中)

渡邊康徳**：平成14年度電気工学科卒業

(現在 松下電器産業(株)勤務)

「受理年月日 2004年9月15日」