

逆相波を用いた回折音低減化実験（第2報）

佐野 藤 治

要 旨

筆者は、第1報でバンドパスフィルタを組み合わせたアナログ式アクティブ・ノイズ・コントロール(ANC; Active Noise Control)による騒音制御手法を提案した。また、本手法を用いこれまでのANCでは低減が難しいとされる500Hzを超える騒音(変動騒音を含む)に対して、1000Hzに到るまで低減効果が得られることを示した。

本報では、システムの改造により対応可能周波数帯域を3000Hz程度まで拡張し、一般騒音(帯域フィルタにより帯域制限しない騒音)を用いて屋外に設置した遮音壁からの回折音低減効果を検討した。

その結果、ホワイトノイズ、オートバイの回折騒音を4 dBA程度低減できることを認めた。

キーワード：回折、ANC、障壁、騒音低減

Diffracted Noise Attenuation Results by the New Technology of Analogue ANC (Part 2)

Fujiharu Sano

Summary

The author had presented the New Noise Control Technology of Analogue (ANC; Active Noise Control) which was constructed on the basis of the old fashioned analogue methodology, the central system of which was assembled with band pass filters, in the 1997 Annual Report of this Institute. We showed in it that this analogue ANC could attenuate noise (including of fluctuating noises) over 500 Hz frequencies till 1,000 Hz, which are considered impossible to attenuate by ANC.

In this report, the improved system which has extension ranges of frequencies till about 3,000 Hz given by rearrangement in the band pass filters combinations is shown. And by an experiment using a motorcycle without muffler, we have got a result of noise attenuation by about 4 dBA.

Keywords: diffraction, ANC, barrier, noise attenuation

1 はじめに

昨年度第1報¹⁾で報告したアナログ式ANCシステムは、数種類のバンドパスフィルタをパラレルに組み合わせた回路をシステム前段に有する。また、バンドパスフィルタで切り取られた周波数成分は音響系・伝送系を通過する途上で位相・振幅変異を起こすため、回折波と逆相・同振幅の波形に矯正するための「振幅・位相平坦回路」

を各バンドパスフィルタ出力側に設置した。これにより騒音はバンドパスフィルタを通過し周波数成分に分離された後「振幅・位相平坦回路」に送り込まれ、回折波と逆位相、同振幅の周波数成分を持つ逆相波に補正される。そして、二次音源スピーカから放出され回折波と干渉する(図1)。

無響室での実験から、デジタルANCにおいては減音

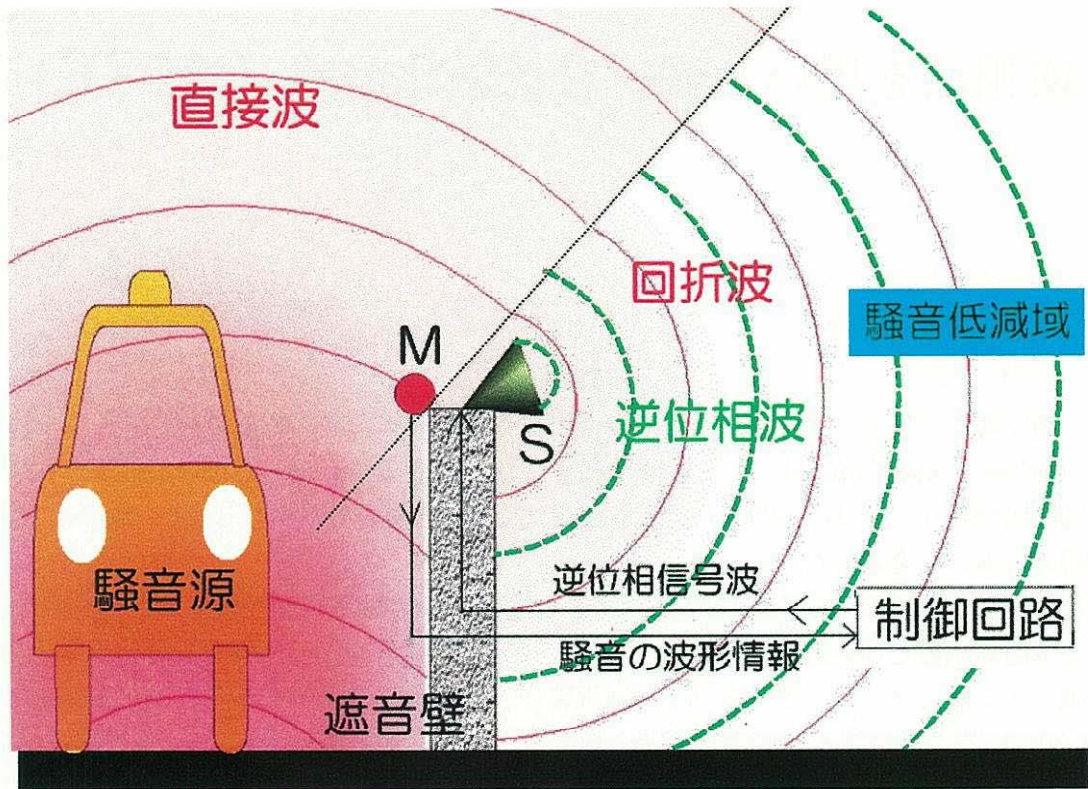


図1 騒音低減の原理

が難しいとされる500Hzを超える周波数成分を含んだ変動騒音²⁾に対しても(500~1000Hzの帯域制限を行った交通騒音を用いた。また交通騒音は道路端で収録した録音テープをスピーカで再生した。)約8 dBAの減音効果が認められた。

本報では、当該システムが帯域制限しないホワイトノイズ、および実音源の回折騒音に対して有効な減音効果を得られるかについて検討するため、システムの改良を行い無響室、屋外で効果確認の実験を行ったので、その結果について報告する。

2 ANC回路でのフィルタ設計の考え方

アナログ式ANCにおいて広帯域の周波数に対し効果的低減を得るには、各バンドパスフィルタを組み合わせることにより生じる合成波状特性の弊害をいかに小さくするかが課題である。この問題を解決する方法として、前報で示したように周波数帯域をカバーするバンドパスフィルタを二群に分け、一群の合成特性が呈する山・谷の波状と補完関係をなす(山となる部分に他の波の谷が来るようにする)谷・山を他の群で作り返るることにより、あたかも山の土で谷をならし平地を作る造成工事の様に、振幅・位相特性の平坦性を確保することを考案し

た。

3 ANCシステムでのフィルター構成の検討

前報では1/3オクターブバンドを基本としたシステムを設計した。その結果各バンドパスフィルタの中心周波数近縁では低減効果が大きく見られたが、フィルタ間では低減効果が芳しくなかった。これは、バンドの間隔が広いために賄い切れない領域が出たことが原因と考えられる。

そこで効果的低減を得るためには、どのようなバンドパスフィルタをどのような組み合わせで二群に分け用いるかの検討が不可欠である。

本報では以下のことを踏まえシステムのフィルタ構成を決定した。

①オールパスのホワイトノイズ及び実音源による回折波の低減効果をA特性をかけた騒音計で評価するには、同特性を持つ感度増幅(騒音レベルが実際のレベルより大きくなる)周波数域(1000~5000Hz)の中で効果的低減を得られることが必要である。

②回路設計においては、「2. ANC回路でのフィルタ設計の考え方」で述べた基本的考え方に基づき所望する周波数帯域で振幅、位相共に平坦性が得られるA群、

B群の二つの組み合わせを考える。

これらを勘案しA群は118~2381Hzに中心周波数を持つ1/6オクターブバンドフィルタ14個、B群は133~2673Hzに中心周波数を持つ1/6オクターブバンドフィルタ14個で構成した。

表1 各フィルタ群の構成 単位: Hz

フィルタ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A群	118	149	188	236	298	375	472	592	750	945	1191	1500	1890	2381
B群	133	167	210	265	334	420	530	668	842	1061	1336	1684	2121	2673

図2、3、4にホワイトノイズの回折波に対するA群、B群及びA、B合成による低減特性を示す。

A群、B群単独では低減の善し悪しが楕円形状に現れているが、両者を重ねると広い帯域で低減効果が得られることがわかる。

4 二次音源スピーカの設計

逆相波を放出する二次音源スピーカは前報と同様平面スピーカを用い、これを防音ボックスに納めた。

騒音源の音を拾う集音マイクロホンは前報と同様放物反射鏡を利用し集音するパラボラマイクロホンを使用した。

二次音源スピーカは、騒音が放物鏡面上で反射し集音マイクロホンに到るまでの伝搬距離と、放物面を通り越し放物面底部から二次音源スピーカに到るまでの伝搬距離とが等距離となる位置に設置した。

5 実験模型の構造及び測定方法

(1) 無響室

実験は高さ1m、奥行き40cm、横幅1mの壁の上部に幅、奥行き、横幅共に18cmの二次音源スピーカ6台を配置し行った。また、両脇には音の回り込みを緩和するため綿を積んだ。

騒音源のスピーカ及び自家用発電機(ホンダ(株)製発電機EX300、運転モード300VA)は、壁の向こう側に設置した防振台座上(壁中央壁面から50cm離し、床上50cm)に置いた。

測定は壁手前側に設置(壁中央から3m離れた、床面から1.2m上方に設置)した精密騒音計を用いA特性で

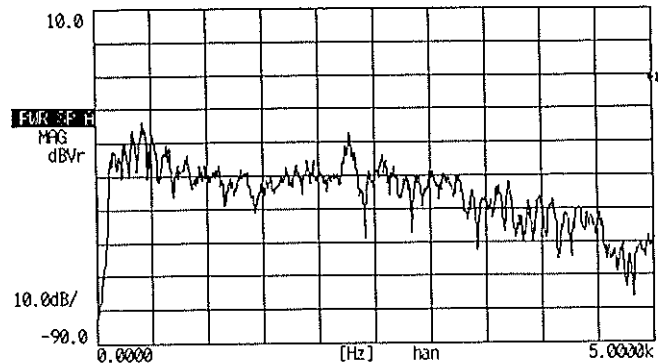


図2 A群の周波数特性(ホワイトノイズ)

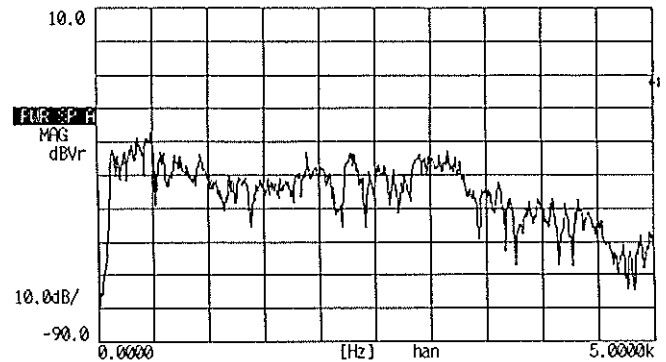


図3 B群の周波数特性(ホワイトノイズ)

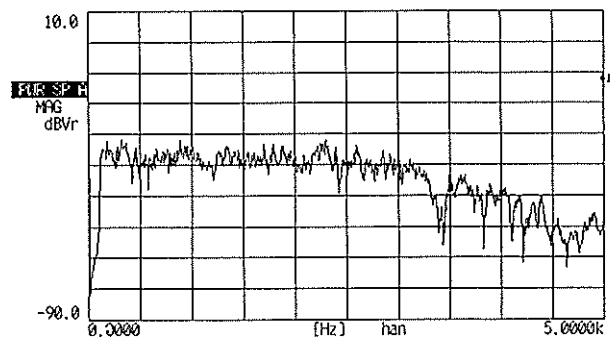


図4 A、B群合成した時の周波数特性(ホワイトノイズ)

測定した。

(2) 屋外

研究所中庭に図5、写真1のように高さ1m、横幅1m、厚さ12cmのブロック壁を重量ブロックで製作した。壁の両脇は音の回り込みを緩和するため袖壁を同ブロッ

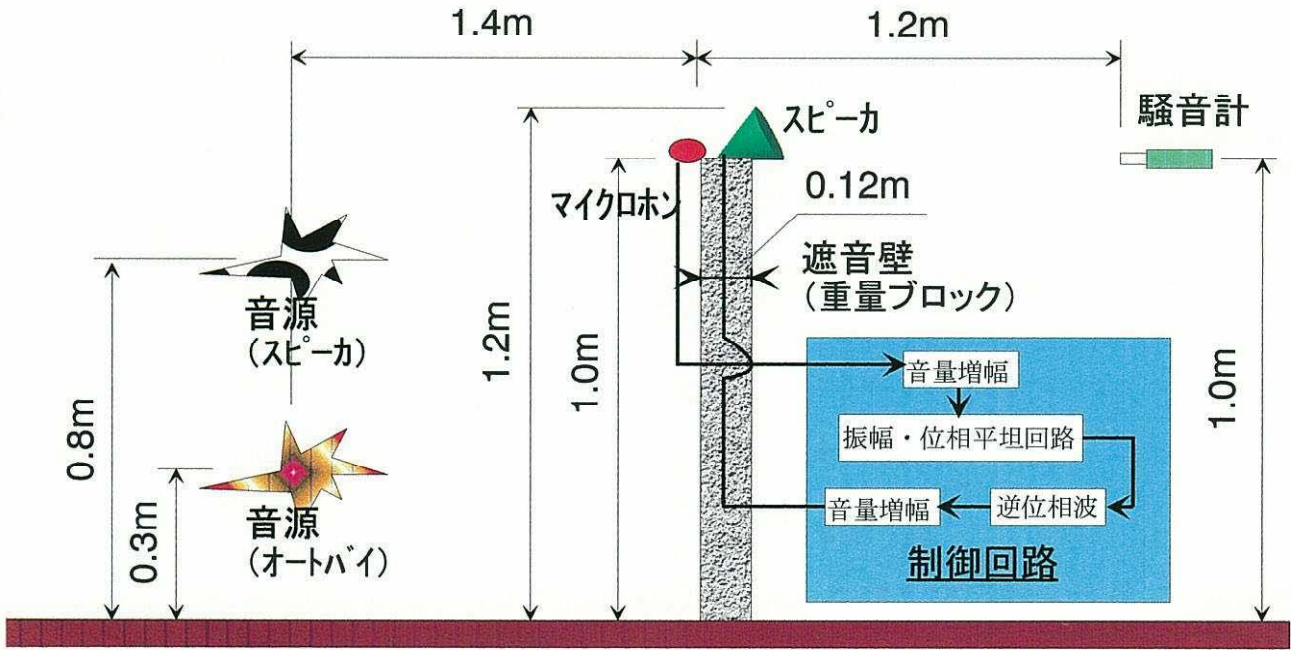


図 5 屋外実験模式図



写真 1 実験設備の全容

クで作製した。ブロックの上に二次音源スピーカ 6 台を配置した。

騒音源のスピーカは、壁の向こう側に設置した防振台座上（壁から1.4m 離れ、地上から50cm）に置いた。また、実音源のオートバイ（ホンダ（株）製スーパーカブ 50cc、運転モードはアイドルリング）は、改造車を想定しマフラーを取り外したものを用い、エンジン部が壁から1.4m 離れるように置いた。地上からエンジンまでの距離は30cmである。

測定は壁の手前側に設置した（壁中央から1.2m 離れた地上から1.0m 上方に設置）精密騒音計を用いA-Weightで測定した。

6 実験の結果及び考察

(1) 無響室

無響室内の暗騒音は30dBAであった。

A ホワイトノイズでの結果

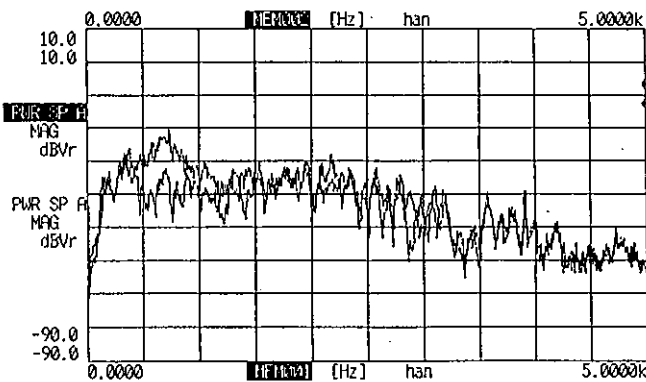


図6 ANC on/off の周波数特性（ホワイトノイズ）

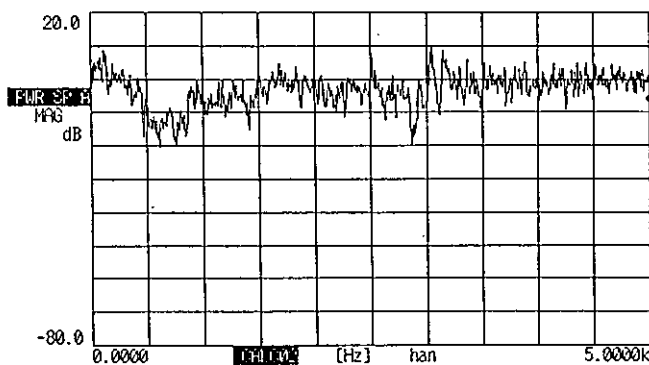


図7 ANC on/off の差分（ホワイトノイズ）

騒音レベルは音源直近 1 m で89dBAである。騒音計においてANC on/offでの回折騒音低減効果を見ると、約 6 dBAの減音が認められた。図 6、7 に周波数特性及び各周波数毎の差分を示す。

図 7 の差分を見ると、300~3000Hzに到る帯域において、1600~2000Hzを除き低減が得られている。また、システムが対応していない3000Hzを超える帯域において騒音レベルが大きく高くなっていないことが分かる。このことから、各々のフィルタが他のフィルタ特性に大きく影響することなく所望の周波数帯域で働いていることがわかる。

1600~2000Hzで低減が大きく見られないのは、二次音源スピーカの内形状に起因した音響的要因によるものと思われる。

B 自家用発電機

騒音レベルは音源直近 1 m で83dBAである。騒音計においてANC on/offでの回折騒音低減効果を見ると、

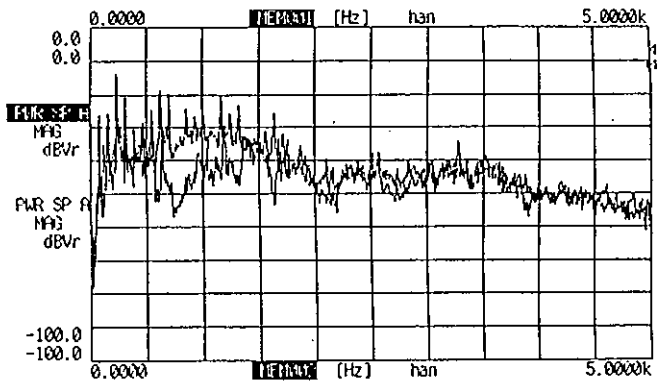


図8 ANC on/off の周波数特性（発電機）

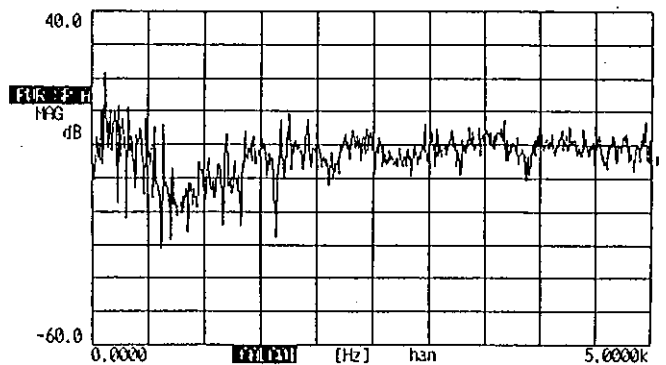


図9 ANC on/off の差分（発電機）

約4.5dBAの減音が認められた。図8、9に周波数特性及び差分を示す。

図9の差分を見るとホワイトノイズで見られた低減特性と近似していることがわかる。このことはシステムが持つ低減特性に合う音がマイクロホンを通じて入って来さえすれば特性に見合った低減が得られることを示している。

(2) 屋外

暗騒音レベルは53dBAであった。

A ホワイトノイズでの結果

騒音レベルは音源直近1mで88dBAである。騒音計においてANC on/offでの回折騒音低減効果を見ると、4.6dBAの減音が認められた。図10、11に周波数特性及び差分を示す。

図11の差分を見ると500~2500Hzに到る帯域において、1700~2000Hzを除き低減していることがわかる。2500~3500Hzに到る帯域においてレベルの上昇が見られ

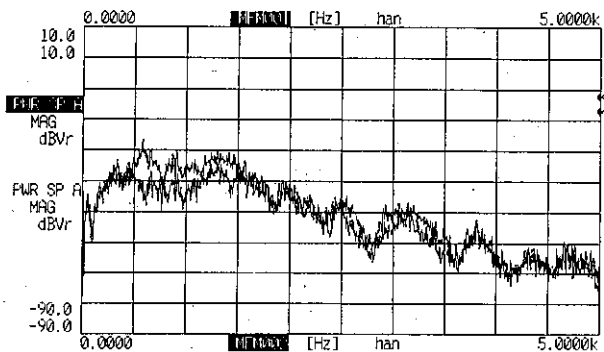


図10 ANC on/off での周波数特性 (ホワイトノイズ)

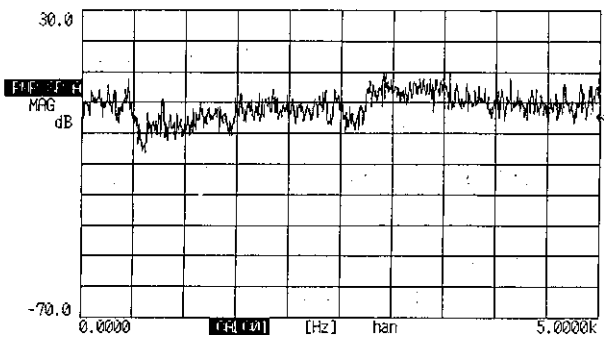


図11 ANC on/off の差分 (ホワイトノイズ)

るが、これは周辺壁面からの反射によるものと思われる。

屋外と無響室でのホワイトノイズの低減結果を較べると双方が近似していることが分かる。このことは、マイクロホンを通じて騒音が入って来るとシステムが持つ周波数毎の低減特性に見合った低減効果が得られることを示している。

B オートバイの結果

マフラーを取り外したオートバイの1mでの騒音レベルは90dBAである。

ANC on/offでの回折騒音低減効果を見ると、4.1dBAの減音が認められた。図12、13に周波数特性及び差分を示す。

図13の差分を見るとホワイトノイズでの結果と近似した特性が見られる。また、衝撃的騒音に対しても低減効果のあることが認められた。

音源がスピーカか実音源であるかに係わらず周波数で見れば両者に違いはなく、当然ではあるが前述したよ

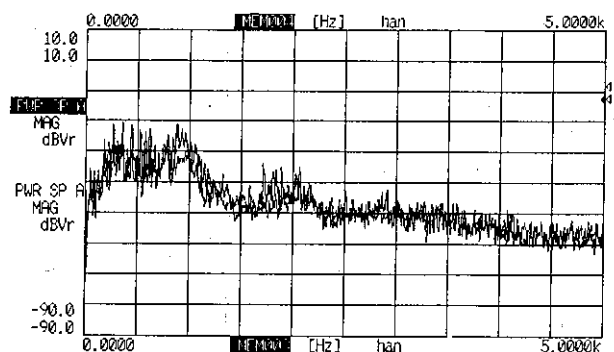


図12 ANC on/off の周波数特性 (オートバイ)

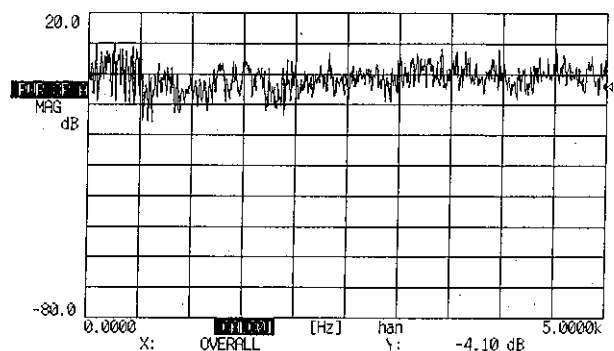


図13 ANC on/off の差分 (オートバイ)

うに騒音がシステムに入ってくればシステムの周波数低減特性に見合った低減効果が得られたことになる。

7 まとめ

高さ1 m、横幅1 mの壁上部に幅、奥行き、横幅18 cmの二次音源スピーカ6台を配置し、実音源を含む騒音に対してアナログ式ANCの回折音低減効果について検討した。その結果いずれの音源に対してもシステムが有する2群のフィルターを合成して得られた特性に見合う低減効果が3000 Hz近辺まで認められた。

これまでバンドパスフィルタを合成すると位相回転がバラバラになるため、ANCで要求される位相の制御は行い得ないと思われて来たことに対して新たな知見を示すとともに、これを用いることにより高い周波数のANC制御が可能であることを合わせて示した。しかし「6 実験の結果」から分かるとおり500 Hz以下でのANC効果は高域に比べ認められない。これは、防音ボックスに入れた二次音源スピーカのバックキャビティが小さいことから低域の逆相波が出てないことによるためと思われる。高域周波数の低減のみを考え二次音源スピーカボックスを設計したことの結果である。この点を再度考慮し、エネルギー的に無視できない低域の低減が確保できれば騒音レベルの低減並びに聴感的効果においてさらに良好な結果を得ることが出来ると思える。

8 おわりに

本報では、実音源の騒音低減実験を帯域制限しないオールパスで行った。

その結果、衝撃的騒音を含む騒音の低減を図ることができた。本技術は、壁を立てても騒音を低減できない工場、屋外事業場、事務所内騒音等の問題解決に応用可能であると思える。

また、本システムがバンドパスフィルタの拡張に柔軟性を有していることから、さらに高い周波数領域まで適応範囲を広げうる可能性を有しているといえ、振幅・位相特性の平坦性を必要とする音響・信号処理の分野においても活用できるものと思われる。

謝 辞

本実験を行うに当たり、前報に引き続きビーバ(株)八百板晃氏の全面的協力を得ました。ここに深謝致します。

参考文献

- 1) 佐野藤治：逆送波を用いた回折音低減化実験、東京都環境科学研究所年報、pp83～89 (1997)。
- 2) 西村正治：ANCの実用化の課題と展望、騒音制御 vol.20、No.6、p.341(1996)