

側方スピーカ配置における帯域抑圧処理による後方音像制御*

©長谷川知美, 大出訓史, 小野一穂 (NHK 技研), 飯田一博 (千葉工大/NHK 技研)

1 はじめに

22.2 マルチチャンネル音響[1]などの三次元音響再生システムにおいて、後方にスピーカを設置できない場合に、他の方向に設置されたスピーカによって音像を後方に知覚させる後方音像制御の確立が期待されている。

スピーカが設置されていない方向への音像制御法として、受聴者本人の頭部伝達関数(HRTF)を鼓膜上で再現する方法が提案されている[2]。正中面の音像定位においてはHRTFのP1とN1,N2が重要であり、それら周波数が変化すると音像の仰角が変化することが報告されている。しかし、HRTFには個人性があるため、他人のHRTFを用いると音像の定位方向の前後誤判定や上昇への誤認識が生じやすくなることが知られている[3]。

一方、Blauert[4]は、正中面内の前方、上方、後方のどの方向から音を呈示しても、後方に音像を知覚する後方の方向決定帯域とよばれる狭帯域が存在すると報告している。船岡と飯田[5]らは、狭帯域である後方の方向決定帯域を連結させ帯域幅を広くした場合においても、同様に後方に知覚されたことを報告している。広帯域信号においても後方の方向決定帯域以外の帯域を抑圧することで後方に知覚する可能性が考えられる。

そこで著者らは、1kHz,10kHz付近に存在する後方の方向決定帯域以外の帯域のうち、正中面の音像定位において重要であるN1周波数に相当する帯域を抑圧することで、あるいは上方、前方の方向決定帯域(卓越周波数帯域)を抑圧することで、音像を後方に知覚することが可能か否かを検証した。

2 実験方法

1/3octの中心周波数1.6kHzから12.5kHzまでの周波数帯域を様々なバンド幅で抑圧した広帯域白色雑音を聴取者の側方に設置したスピーカから再生して、知覚した音像の方向を回答させる主観評価実験を行った。

2.1 音源と帯域抑圧フィルタ

音源は200Hz-17kHzの広帯域白色雑音である。帯域抑圧フィルタは、1.6kHz-12.5kHzの1/3octバンドを1~10バンドまで連続して抑圧した55種類である。帯域抑圧フィルタの抑圧量は96dBとした。例として、Fig.1に中心周波数1.6kHzの1バンドの帯域抑圧フィルタの周波数特性を示す。フィルタ処理なしを含めて56種類の刺激を作成した。刺激の時間長は1.2秒とし、定常状態を1秒、ハミング窓を使用してフェードイン、フェードアウトを0.1秒ずつ設けた。

2.2 実験条件

実験は消灯した無響室内で行った。実験システムは、スピーカ(ユニット: FOSTEX FE83E)、パワーアンプ(YAMAHA PA4050)、オーディオインタフェース(RME FirefaceUC)、PC(Endevor Pro5600)で構成した。Fig. 2に示すように、水平面内の方位角 $\pm 90^\circ$ に設置した一対のスピーカから同相で刺激を提示した。スピーカから被験者の頭部中心までの距離は1.2mであり、高さは1.2m(被験者の耳の高さ)に調整した。提示音圧レベルは、頭部中心位置で60dB(A特性)である。被験者には、音像の上昇角をマッピング法で回答させた。回答時間は6秒とした。1試行で全56種類の実験音源を1回ずつランダムに呈示し、提示順を変えて各被験者について10試行繰り返した。被験者は成人10名である。

* Control of a sound image to the rearward direction using band-stop filters and laterally located loudspeakers, by HASEGAWA Tomomi, OODE Satoshi, ONO Kazuho (NHK STRL), and IIDA Kazuhiro (Chiba Institute of Technology/NHK STRL).

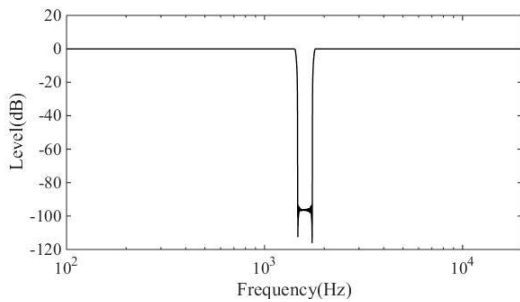


Fig. 1 Example of frequency characteristic of elimination filters

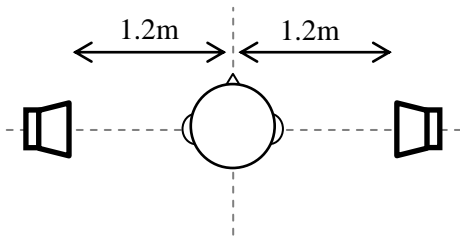


Fig. 2 An arrangement of loudspeakers

3 実験結果

3.1 各被験者の結果

回答した上昇角 θ が、 $-45^\circ \leq \theta < 45^\circ$ を前方、 $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ を上方、 $135^\circ < \theta \leq 225^\circ$ を後方として分析した。

Fig.3 に後方へ知覚した割合を被験者毎に示す。Fig. 3 の(a)~(h)は、それぞれ抑圧した1/3oct フィルタのバンド数1~10の結果である。帯域抑圧をしていない白色雑音に対して(図の左端'NE')、被験者10名のうち、音像を前方に知覚したのは1名(以降F01と呼ぶ)、上方に知覚したのは4名(U01-U04)、後方に知覚したのは5名(R01-R05)であった。白色雑音を後方に知覚した割合は47%であった。

刺激NEを前方または上方に知覚した被験者(F01, U01-U04)は、中心周波数6.3 kHzの1/3oct バンドなど中域の周波数を抑圧することによって、後方に音像を知覚する割合が高くなる傾向がみられた。1バンドの帯域抑圧では音像を後方に知覚する割合が他の方向に知覚する割合を上回らなかったが、2バンドを抑圧した場合に被験者U02, U03, F01が音像を後方に知覚した割合はそれぞれ最大90%, 70%, 50%と他の方向に知覚する割合を上回った。6バンドを抑圧した場合には全ての被

験者がそれぞれにとって最大60%以上、7バンドの場合には70%以上の割合で後方に知覚し、他の方向に知覚する割合を上回るフィルタがあった。被験者U01, U03は9バンドの場合に後方に知覚した割合が100%と最大になったが、被験者U02, U04は9, 10バンドと抑圧する帯域幅を広げた場合に、後方に知覚する割合が20%程度と低下した。

刺激NEを後方に知覚した被験者(R02など)は、2.0 kHz付近など低域を抑圧した刺激を後方に知覚する割合が高いが、被験者R01を除き、10 kHzや12.5 kHzなど高域を含む帯域を抑圧した刺激を後方に知覚する割合が低下する傾向がみられた。被験者R01は、全ての刺激を後方に知覚した。

このように、後方に知覚する傾向は個人によって異なった。しかし、各被験者が後方に知覚する割合が最大となる条件(バンド数、抑圧帯域幅)の帯域抑圧フィルタを用いた場合、95%の割合で後方に知覚した。これは、何らかの方法で個人最適化を行えば、帯域抑圧フィルタによって、広帯域信号を後方に知覚させることができることを示唆している。

3.2 被験者に共通な帯域抑圧フィルタ

被験者が共通して後方に知覚した割合が高かった上位10種類のフィルタをFig.4に示す。左列は、後方に知覚された割合である。横軸は1/3oct バンドの中心周波数であり、塗りつぶされたマス目が帯域抑圧フィルタのバンド幅に対応する。2.0 kHzから6.3 kHzの1/3oct バンドを連続して抑圧した場合に後方知覚の割合は最大となり(78%)、次いで、2.0 kHzまたは2.5 kHzから8.0 kHz(76%)であった。10種類のフィルタは上限の中心周波数が6.3 kHzもしくは8 kHzであり、2-7 band 広がる傾向がみられた。

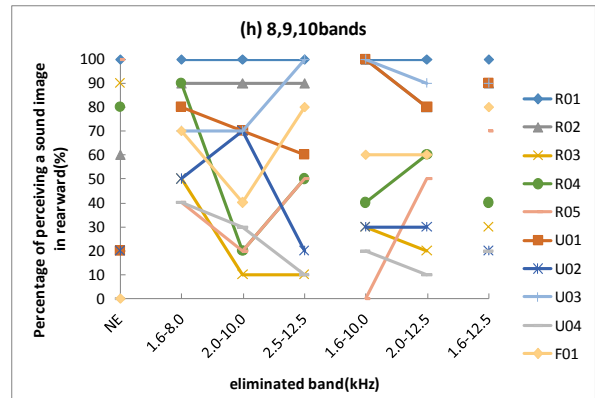
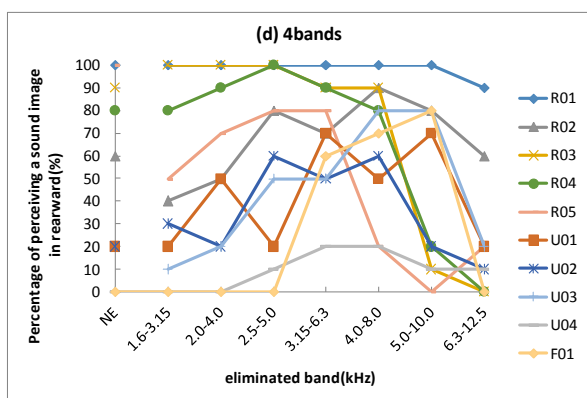
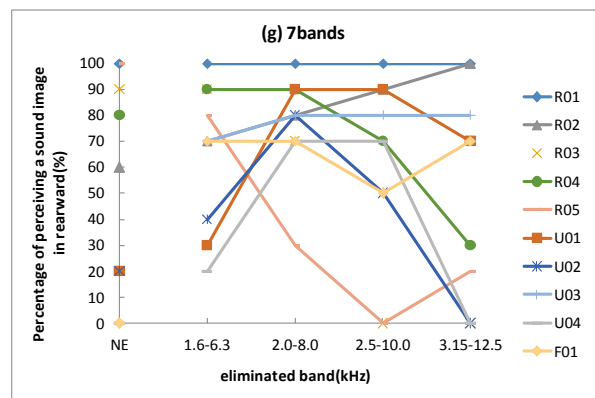
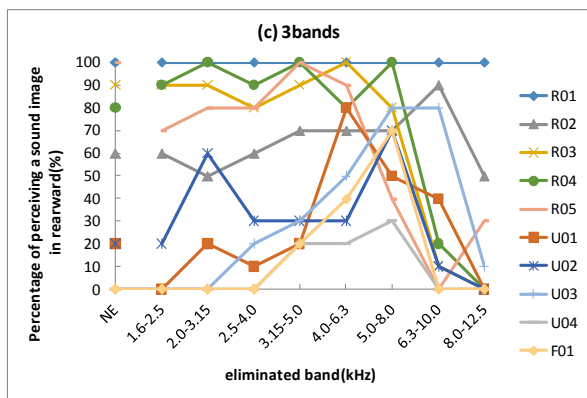
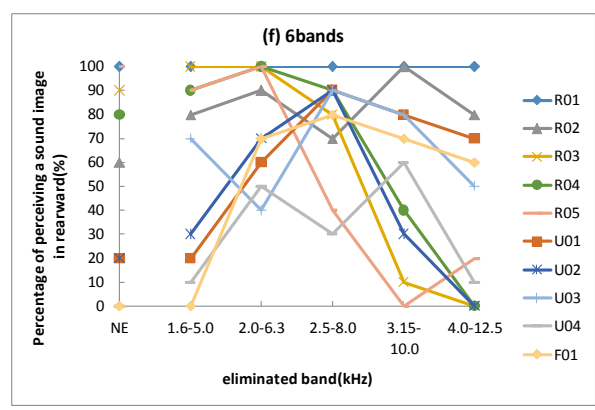
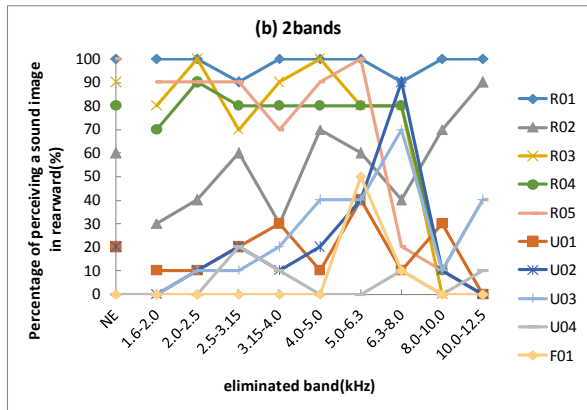
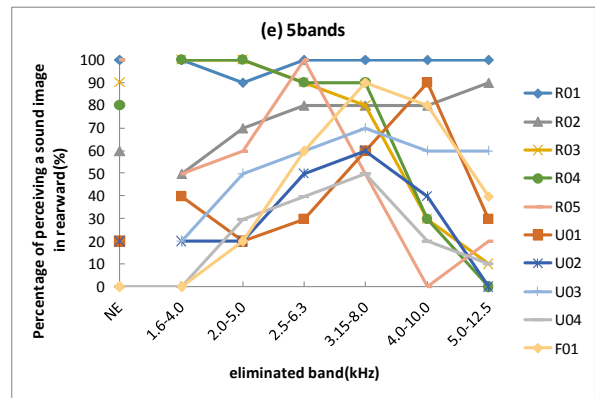
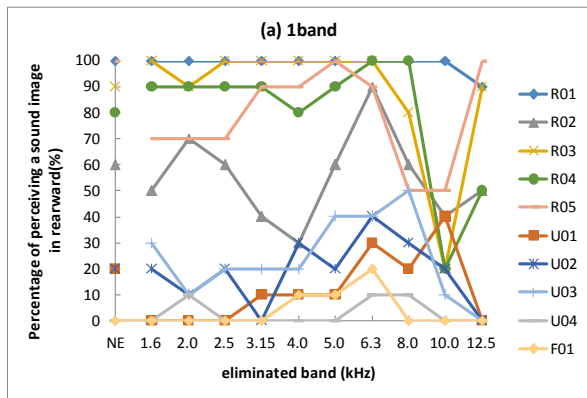


Fig.3 Relationships between elimination band and percentage of perceiving a sound image in rearward. 'NE' indicates not eliminated.

Percentage of localizing a sound image in rearward	Eliminated band (kHz)									
	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5
78		■	■	■	■	■	■	■		
76		■	■	■	■	■	■	■		
76			■	■	■	■	■	■		
73			■	■	■	■	■	■		
70			■	■	■	■	■	■		
69				■	■	■	■	■	■	
68				■	■	■	■	■	■	
68	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
66								■		
66								■		

Fig.4 Top 10 band-stop filters, which provide rear direction sound image control. Dark cells denote the eliminated bands.

4 考察

帯域抑圧をしていない場合に上方に知覚した被験者が帯域抑圧をすることで後方に知覚した要因として以下のことが考えられる。

- 1) 後方の HRTF の N1 を形成した。
- 2) 上方の方向決定帯域(卓越周波数帯域)を抑圧した。

今後、HRTF や方向決定帯域と後方制御に有効な抑圧帯域との関係を明らかにし、個人に最適なフィルタ特性を物理特性から推定する方法を検討したい。一方で、実用的な観点からは、受聴者に共通して有効なフィルタとして、何種類用意すれば必要十分であるのかの検討も進めたい。

5 おわりに

側方スピーカ配置において、ホワイトノイズに 1/3oct バンドを最大 10 バンドまで連続した帯域抑圧フィルタをかけた音源を用いて音像定位実験を行った。その結果、各被験者が音源を後方に知覚する割合が最大となる条件(バンド数, 抑圧帯域幅)の帯域抑圧フィルタを用いた場合、95%の割合で後方に知覚した。また被験者に共通して、2.0 kHz から 6.3 kHz の 1/3oct バンドを連続して抑圧した場合は後方知覚の割合が高くなった (78%)。これらより帯域抑圧による後方音像制御の可能性を示した。

参考文献

- [1] Rec. ITU-R BS.2051, 2014.
- [2] M.Morimoto and A. Ando, J.Acoust.Soc. Jpn.(E)1, 3, pp.167-174,1980.
- [3] K.Iida *et al*, Applied Acoustics, 68, 835-850, 2007.
- [4] Blauert, Acustica, 22, pp.205-213,1969/1970
- [5] 船岡と飯田, 音講論(秋), 773-776, 2014.