車室内オーディオ聴取環境における音像方位角推定に関する両耳聴モデル

阪本 浩二

株式会社デンソーテン

Azimuth Estimation Binaural Model of Sound Image for Audio Listening Environment in Car Cabin

Koji SAKAMOTO

Denso Ten Limited, 1-2-28 Goshō-dori, Hyogo-ku, Kobe, Hyogo 652-8510, Japan

Abstract : An azimuth estimation binaural model of sound image for an audio listening environment in a car cabin is proposed. To improve the estimation accuracy of this model, a gammachirp auditory filterbank was used to extract the physical characteristics related to the in-cabin audio listening environment sound image azimuth. The effectiveness of the proposed method was confirmed by its higher level of correlation between the experimental and estimated values as compared to the frequency domain binaural model.

Keywords : Azimuth of in-cabin sound image, Gammachirp auditory filterbank, Attack region, Extraction of feature quantity

1. はじめに

近年、自動運転技術の進歩により車室内エンターテインメントとして立体音響技術が注目されている。立体音響技術を用いて臨場感に関する感性デザインを行うことにより、乗員に快適な車室内空間を提供できる。文献 [1] より、臨場感は一般にオブジェクト臨場感とフィールド臨場感に分けることができ、前者には立体音響システムの音像定位性能が大きく影響し、後者にはサラウンド音の再生能力が影響する。そして、これらの二つの臨場感をバランス良く生成し臨場感を高め、その効果を客観的に評価する必要がある。そのために、臨場感を推定する感性モデルやその要素となる音像定位、サラウンド音の拡がり感に関する推定モデルを構築することは重要である。これまで臨場感に関する感性モデルは研究されている [2, 3] が、車室内音響を対象とした臨場感に関する感性モデルは確立されていない。

音像定位の一要素である音像方位角知覚については古くから研究されており、両耳間レベル差 (interaural level difference, ILD) や両耳間位相差 (interaural phase difference, IPD) が手がかりとして知られている。そして、これらの指標を基にした音源方位角推定に関する両耳聴モデルが様々な提案され、周波数領域両耳聴モデル (frequency domain binaural model, FDBM) へ発展してきた [4, 5]。FDBM は左右耳入力信号を高速フーリエ変換 (fast fourier transform, FFT) した後、周波数毎に ILD, IPD を算出し、頭部伝達関数 (head related transfer function, HRTF) データベースと比較して音源方位角推定する。その推定精度は自由音場において高精度が確保されている。しかし、FDBM を車室内オーディオ聴取環境へ適用する場合、FDBM を構築した環境とは異なるため推定精度が

低下する可能性がある。車室内は狭く複雑な形状、材質で構成されスピーカ搭載位置、方向の制約があるため直接音と反射音が混在し、さらに走行騒音が存在する。また、オーディオ再生には主にマルチチャンネルスピーカシステムが用いられるため、複数音源による音像が対象となる。このような環境では、左右耳入力信号のスペクトルやそこから得られた ILD, IPD が複雑に時間変化する場合があります。推定結果が不安定となる可能性がある。

このことに対し、基礎検討 [6] として、まず車室内オーディオ聴取環境において FDBM の推定精度検証を行い、推定精度が低下する場合があることを確認した。そして、次章に示す本環境における問題点 (1) ~ (3) について対策することで、推定精度が向上する可能性を示唆する結果が得られた。本論文では車室内オーディオ聴取環境において、さらなる検証を進め FDBM より高精度な音像方位角推定モデルを構築することを目的とする。音像方位角を高精度に推定可能となれば、車載オーディオ開発における音像方位角評価を客観化できる。そして、車室内立体音響システムの音像定位性能の向上へつながり、臨場感に関する感性モデル構築や感性デザインの基礎となる。モデル構築のために、車室内にて音像定位実験を行い、その音像方位角に関連する物理的特徴量を抽出した。そして、その特徴量を音像方位角推定値とし FDBM と比較検証した。

2. 従来法

FDBM について説明する。まず、左右耳入力信号 $l(n)$, $r(n)$ を FFT しスペクトル $L(k)$, $R(k)$ を得る。ここで、 n は時間インデックス、 k は周波数インデックスである。そして、左右のスペクトルより ILD $\xi_{lr}(k)$ および IPD $\theta_{lr}(k)$ を算出し、事前に構築した HRTF データベースと比較し、 k と方位角 ϕ に対して

ILD, IPDそれぞれに基づく探査対象方向 $D_{\xi}(k, \varphi)$, $D_{\theta}(k, \varphi)$ を算出する。これらを荷重平均し探査対象方向 $D(k, \varphi)$ を求める。そして、各周波数における $D(k, \varphi)$ に対し観測信号のパワーに比例した重み関数 $E(k)$ を乗算し、その周辺分布の最大値を与える方向を音源方位角推定値 $\hat{\varphi}_{SS}$ とする。以上で述べたFDBMを車室内オーディオ聴取環境へ適用する場合、直接音と反射音の混在などにより以下の問題が生じる可能性がある。これらの問題点に対し、提案法ではFDBMから計算方法を変更した。

- (1) 左右耳入力信号が急峻に時間変化する可能性があるため、FFTでは窓長よりも短い時間変化の解析に適さない。
- (2) ILD, IPDの時間変化が大きい場合、 $D(k, \varphi)$ がばらつく。
- (3) $\hat{\varphi}_{SS}$ の算出に探査対象方向に重み関数を乗算した周辺分布の“最大値”を特徴量として用いるため、その周辺分布に複数のピークが存在する場合などに推定結果が不安定となる。

3. 提案法

3.1 フィルタバンク

図1に提案法のブロック図を示す。問題点(1)に対し、FFTの代わりに内耳基底膜を模擬したフィルタバンクを適用した。これまで聴覚モデルは様々提案されており、その中でガンマチャープ聴覚フィルタバンク (gammachirp auditory filterbank, GCFB) は、聴覚フィルタの周波数特性におけるレベル依存の非対称性や圧縮特性について現在最もよく近似することができ、非線形で動的な特性も導入されている [7]。まずは線形モデルの中で高精度な線形GCFBを用いた。また、急峻に時間変化する非定常音を解析する場合、高周波数ほど時間分解能が高く、周波数分解能が低くなる多重構造分解能による時間周波数解析が有効であることが示されている [8]。FDBMで用いられるFFTは全周波数一定の窓長であり、このような時間周波数特性は考慮されていない。それに対し、GCFBは多重構造分解能による時間周波数解析が可能であり、聴覚模擬精度が高い。よって、車室内オーディオ聴取環境における左右耳入力信号の急峻な時間変化に対し、GCFBを用

いて聴覚特性に合った解析を試みた。まず、左右耳入力信号 $l(n)$, $r(n)$ を外耳道、中耳フィルタに通した後、GCFBに通し $l(n, z)$, $r(n, z)$ を算出する。ここで、 z は聴覚フィルタの周波数チャンネルである。

3.2 立上り領域抽出

問題点(2)に対し、GCFB出力の時間周波数特性における立上り領域抽出を試みた。文献 [9] より、定位に関する手がかりとして音の立上りの重要性が述べられている。また、立上り後の成分は反射音が支配的でありILD, IPDのランダム性が高くなる傾向があるため、探査対象方向の計算ばらつきの要因となる。よって、立上り領域のみ計算し、ばらつき低減を図った。ここでは、 $l(n, z)$, $r(n, z)$ に対して、時間フレーム T 毎にエネルギーを求め左右平均し $E(n_T, z)$ を得る。 z 毎のエネルギーが最大値となる n_T までの時間周波数領域を立上り領域と定義する。続いて、 $l(n_T, z)$, $r(n_T, z)$ の立上り領域においてILD $\xi(n_T, z)$ とIPD $\theta(n_T, z)$ を算出した後、HRTFデータベースと比較し、探査対象方向 $D_{\xi}(n_T, z, \varphi)$, $D_{\theta}(n_T, z, \varphi)$ を算出する。そして、式(1)のように荷重 $\beta(z)$ を用いて荷重平均し探査対象方向 $D(n_T, z, \varphi)$ を求める。

$$D(n_T, z, \varphi) = (1 - \beta(z)) D_{\xi}(n_T, z, \varphi) + \beta(z) D_{\theta}(n_T, z, \varphi) \quad (1)$$

3.3 音像方位角推定の特徴量抽出

問題点(3)に対し、 $D(n_T, z, \varphi)$ にGCFB出力信号のパワーに比例した重み関数 $E(z)$ を乗算し、その周辺分布の“平均値”を示す方向を音像方位角推定値 $\hat{\varphi}_{SI}$ とした。車室内オーディオ聴取環境では、その周辺分布は正規分布するとは限らず複数のピークが存在するなどの可能性がある。そのため、最大値ではなく分布全体の情報を持つ最も基本的な統計量である平均値を特徴量とし、音像方位角推定の安定化を図った。

4. 車室内実験

従来法と提案法を比較検証するために、文献 [6] に示す車室内における物理計測および音像定位実験を行った。

4.1 物理計測

評価車両はCAMRY (室内長2.08 m, 室内幅1.525 m, 室内高1.21 m) の右ハンドル車とした。運転席にHATS (head and torso simulator) (B&K, Type 5930) を設置し左右再生チャンネル毎にTSP (time stretched pulse) 信号を再生し、インパルス応答を計測した。純正のフロントドアウーファとインストルメントパネルツイータ (Lch, Rch) を用い、サンプリング周波数は48 kHz, 同期加算は8回とした。また、以下の評価音源に対し表1の通り左右チャンネル間レベル差 (inter channel level difference, ICLD) を制御した音源を作成した。

- White Noise, Band Noise (2~12 kHz) (WN, BN)

信号長は50 msで、開始と終了のそれぞれ10 ms区間にRaised-cosine rampによりフェードイン、アウト処理を行った。

図1 提案法のブロック図

車室内オーディオ聴取環境における音像方位角推定に関する両耳聴モデル

表1 車室内実験条件

Experiment No.	ICLD (Rch-Lch) [dB]
1	Lch only
2	-6
3	0
4	6
5	Rch only

- 調波複合音 (HCT1 ($f_0=250$ Hz), HCT2 ($f_0=1$ kHz))
250 Hzまたは1 kHzの基本周波数に第2～7倍音を合成した。倍音レベルは、基本周波数レベルに対し $-5 \times \text{次数} + 5$ dBとした。信号長とフェードイン、アウト処理はWNと同様である。
- 音声 (S)
Japanese Narration, Female (JAS, Impact 2) の“はる” (00分35.8秒～00分36.3秒) の500 ms区間とした。
- クラシック音楽 (CM)
Mozartの交響曲第41番、第4楽章94小節～2 s区間をモノフォニック音源へ変換した。

ここで、音源信号長により音像定位が変化する可能性があるため、各音源を認識できるおよそ最短の音源信号長とした。HATSで測定したモノフォニックのWNおよびHCT1 ($f_0=250$ Hz) の100 ms区間、Sの500 ms区間、CMの2 s区間におけるA特性補正両耳ラウドネス (binaural summation of sound pressure level, BSPL) は73 dBである。音源信号長の短いWN, HCT1 ($f_0=250$ Hz) は車室内残響を含めた区間の値とした。なお、ここでは停車時の条件とし走行騒音などの影響を除外した。

物理計測結果については、左右再生チャンネル毎に、サンプリング周波数48 kHzにリサンプリングしたICLD制御音源とインパルス応答 (4800 tap) を畳み込み、チャンネル毎の信号を合成した後モデルに入力し推定値を得た。モデル計算において、今回用いたHATSのマイク位置は外耳道入口のため、外耳道特性近似フィルタ [10] および中耳特性近似フィルタを文献 [11] と同様に設計した。FDBMの条件は文献 [5] と同様でありサンプリング周波数は16 kHz、FFT フレーム長は512とした。また、提案法の α は等価矩形帯域幅 (equivalent rectangular bandwidth, ERB) を持つ聴覚フィルタが等間隔に並ぶよう ERB numberは4～33 (周波数は123～7743 Hz)、チャンネル数は30とした。 T は各 α の中心周波数の1波長相当の時間幅とした。式 (1) において、中心周波数750 Hz以下は $\beta(z)=1$ 、1.5 kHz以上は $\beta(z)=0$ 、その間の周波数は $\beta(z)$ を1から0へ直線的に変化させた。HRTFデータベースについては、文献 [6] と同様に、観測系と対応するように車室内実験と同じHATSを用いて構築した。なお、提案法においては頭部インパルス応答 (head related impulse response, HRIR) をGCFBを通してHRTFデータベースを構築した。

4.2 音像定位実験

音像定位実験では、評価音源毎にモノフォニック音源 (ICLD=0) を基準音源として被験者に提示後、ICLD制御音源をランダム順に提示した。実験毎で毎回基準音源を提示し、

図2 車室内音像定位実験の評価用紙 (車室内上上面視)

図3 車室内音像定位実験結果：箱ひげ図

基準音源、ICLD制御音源とも被験者が合図するまで繰り返し提示した。そして、知覚した音像を図2の評価用紙に記入してもらい、その音像の楕円形状の中心の方位角を集計した。ここで、聴取者正面を0°, 右を正、左を負とした。被験者は20～50歳代の男性5名、女性2名で、聴取時は全被験者の耳位置を物理計測時のHATSの耳位置と統一した。

音像定位実験の結果を図3に示す。図3は各評価音源に対する、表1の実験No.毎の音像方位角を表す箱ひげ図である。音像定位実験では前後誤判定する場合があることが知られているため、分布の非対称性や外れ値を表現可能な箱ひげ図を用いた。ここで、ボックスは四分位範囲、ボックス内のラインは中央値、ひげの最大長は四分位範囲の1.5倍であり、“+”は外れ値を示す。聴取者から見たスピーカ搭載角度はおおよそ $-60 \sim 30^\circ$ であり多くの条件で中央値がこの範囲に分布している。無響室で聴取者に対し左右対称のスピーカ配置の場合、ICLDの変化に対し音像方位角はスピーカ間をほぼ線形に推移するが、本実験では車室内音場の影響により一部ずれが生じている。図3のWN, BN, S, CMに着目すると、実験No.1, 2は左に定位し、実験No.3～5は右に定位する傾向がある。実験No.3のICLD=0の条件で右に定位したのは、聴取位置がRchスピーカに近いと考えられる。これに対し、HCT1 ($f_0=250$ Hz) は実験No.2で右に定位、HCT2 ($f_0=1$ kHz) は実験No.3, 4で左に定位しており、他の評価音源と一部傾向が異なる。スペクトルが急峻なHCTは、乱数的なILD, IPDの周波数特性を持つ車室内オーディオ聴取環境において、局所周波数のILD, IPDの乱数成分の影響を受け不安定になりやすいことが要因と推測される。つぎに、データのばらつき

について考察する。まず、本実験では聴取者前方のスピーカのみ使用しているにもかかわらず、いくつかの条件で少数名が後方定位しておりばらつきが大きくなっている。ここで、前後方向の音像定位の手がかりとなるスペクトラルキュー[12]が不足し曖昧な場合に、前後誤判定が生じることが知られている。また、今回用いたWN, BNについてはスペクトラルキューとして重要な2~12 kHzの周波数帯域を含んでおり、無響室の音源定位実験において前後誤判定しない結果が報告されている[13]。これらのことから、車室内オーディオ聴取環境がスペクトラルキューに影響し前後誤判定が生じたと考えられる。また、音像方位角知覚において1.5 kHz以上の周波数はILDのみを手がかりとし、それ以下の周波数はILD, IPDを手がかりとすることが知られている。乱数的なILD, IPDの周波数特性を持つ車室内オーディオ聴取環境において、1.5 kHz以上の周波数を主成分とする音源はIPDの乱数成分の影響を受けにくい。WNよりBNの方がばらつきが小さく、HCT1 ($f_0=250$ Hz) より HCT2 ($f_0=1$ kHz) の方がばらつきが小さい傾向となったと推測される。S, CMについては広帯域で高域減衰する周波数特性であり、WNより高域のスペクトラルキューが不足しやすくILD, IPDの乱数成分の影響を受けやすいが、WNよりばらつきが小さい傾向が見られる。今回用いたS, CMはWNより音源信号長が長く、スペクトラルキューやILD, IPDが安定化されたことが要因と推測される。ここでは、前後誤判定による分布の非対称性や外れ値の影響を受けにくいと考えられる中央値を実験結果の代表値とした。

5. モデル検証

車室内実験データを用いて従来法と提案法の比較検証を行った。FDBMに対して(1)フィルタバンクと(2)立上り領域抽出、(3)音像方位角推定の特徴量抽出の対策を行い、それらの全組合せのモデルPM (proposed method) 1~7を比較検証対象とした。比較検証対象を表2に示す。

検証のために、推定値と実験値の相関係数を求め無相関検定を行った。各モデルにおける全評価音源および評価音源毎の相関係数と無相関検定結果を表3に示す。全評価音源を用いた場合、全モデルに有意な相関が得られた。PM5, PM7については全評価音源毎でも有意な相関が得られた。つぎに、各モデルに対し、独立でない標本から得られた場合の母相関係数の差の検定を行った。表4に検定結果を示す。また、全評価音源を用いた場合のモデル毎の相関係数と有意差をまとめて図4に示す。FDBMに対しPM1, PM3, PM5, PM7に有意差が得られた。FDBMと相関係数が同程度であったPM2も同様にPM1, PM3, PM5, PM7と有意差があった。また、3つの対策を組合せたPM7は全モデルと有意差が得られた。

これらの結果より、FDBM に対し対策(1), (3)を組合せたPM5, 3つの対策を組合せたPM7により高精度化が可能と考えられる。このことは評価音源毎に対しても有効と考えられる。さらに、PM7はPM5を含む全モデルと有意差があることから、最も高精度であることが確認された。また、PM7に対

表2 検証対象

	(1) Filterbank	(2) Extraction of attack region	(3) Extraction of feature quantity
FDBM	FFT	-	Max
PM1	FFT	-	Mean
PM2	FFT	X	Max
PM3	FFT	X	Mean
PM4	GCFB	-	Max
PM5	GCFB	-	Mean
PM6	GCFB	X	Max
PM7	GCFB	X	Mean

表3 モデル、評価音源毎の相関係数と無相関検定結果

	All		WN, BN		HCT		S		CM	
	<i>r</i>	<i>t</i> (28)	<i>r</i>	<i>t</i> (8)	<i>r</i>	<i>t</i> (8)	<i>r</i>	<i>t</i> (3)	<i>r</i>	<i>t</i> (3)
FDBM	0.42	2.46*	0.67	2.56*	0.38	1.15	0.89	3.37*	0.51	1.04
PM1	0.65	4.51**	0.77	3.37**	0.55	1.85	0.81	2.37	0.70	1.68
PM2	0.38	2.16*	0.65	2.39*	0.27	0.81	0.89	3.41*	0.55	1.14
PM3	0.66	4.71**	0.72	2.93*	0.59	2.07	0.81	2.35	0.71	1.74
PM4	0.59	3.86**	0.53	1.75	0.65	2.44*	0.68	1.62	0.91	3.87*
PM5	0.75	5.99**	0.87	5.10**	0.64	2.34*	0.91	3.78*	0.93	4.46*
PM6	0.65	4.51**	0.66	2.52*	0.66	2.45*	0.81	2.38	0.91	3.87*
PM7	0.86	8.89**	0.84	4.46**	0.88	5.31**	0.91	3.78*	0.94	4.57*

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

表4 相関係数の差の検定結果

	FDBM	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7
FDBM	-							
PM1	2.35*	-						
PM2	0.44	2.65*	-					
PM3	2.41*	0.44	3.13**	-				
PM4	1.19	0.45	1.36	0.57	-			
PM5	2.83**	1.30	3.19**	1.00	1.84	-		
PM6	1.69	0.00	1.99	0.14	1.08	1.44	-	
PM7	5.21**	3.54**	5.79**	3.26**	4.05**	2.82**	4.27**	-

$t(27)$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

図4 推定値と実験値の相関係数と有意差

し3つの対策を1つでも行わなければ推定精度低下することより、それぞれの対策が推定精度に寄与することが確認された。つぎに、対策個別に考察する。(1) FDBMに対しフィルタバンクのみ変更したPM4は、FDBMと有意差が得られずPM7と有意差が得られたことから、推定精度向上に不十分であることが示唆される。今後、走行騒音下で異なる音源信号長、音圧レベルに対応する推定モデルへ拡張する段階で、非線形GCFBを用い聴覚特性の高精度化の影響を検証予定である。(2) FDBMに対し立上り領域抽出のみ変更したPM2はFDBMと有意差が得られず、FDBMと同様にPM1, PM3, PM5, PM7と有意差があったことから推定精度向上は難しいと考えられる。(3) FDBMに対し周辺分布の平均値のみ変更したPM1はFDBMと有意差がありPM7とも有意差があることから、推定精度向上が不十分であると考えられる。また、

車室内オーディオ聴取環境における音像方位角推定に関する両耳聴モデル

図5 推定値と実験値の関係

FDBMに対し2つの対策を組合せたPM3, PM5はPM1と同様の理由で推定精度向上が不十分と考えられ, PM6はPM4と同様の理由で推定精度向上に不十分であることが示唆される。ここで, 図5 (a)にFDBM, 図5 (b)にPM7の推定値と実験値の相関図を示す。図5からも, FDBMよりPM7の方が推定値と実験値の間に高い相関関係があることを確認した。また, 図5 (b)より, 実験値が 63° , 90° を示すHCT1 ($f_0=250$ Hz)の実験No. 2, 3の条件は推定誤差が大きい。これは, 前述の通り評価音源が急峻なスペクトルを持つことや1.5 kHz以下の周波数を主成分とすること, 音源信号長が短いことに加え, ステレオスピーカ再生条件であり不安定要素が重なったためと推測される。これらの条件における実験値は右側方を中央値とし前後にばらついているため, 今後, 音像仰俯角の手がかりとなるスペクトラルキューと合わせて解析する必要がある。以上より, 車室内オーディオ聴取環境において, FDBMより高精度な音像方位角推定に関する両耳聴モデルPM7を構築した。

6. ま と め

車室内オーディオ聴取環境における音像方位角推定に関する両耳聴モデルを構築した。表2に示す従来法FDBMおよび提案法PM1～PM7による推定値と音像定位実験値の相関係数を比較した結果, FDBMに対し3つの対策を組合せたPM7はFDBMやPM1～PM6より有意に高い相関が得られ, 提案法の有効性を確認した。これにより, オーディオなどの車載音響機器開発において, 音像方位角評価の客観化につながり, 臨場感に関する感性デザインの基礎となると考えられる。ただし, 今回は停車時の限られた聴取条件であるため, 車種, 音源などの条件範囲拡大や走行時の検討を行い, 音像定位や拡がり感推定可能なモデル[14]へ拡張するなど, 実際の聴取に近いモデルへ発展させる必要がある。

謝 辞

GCFBをご提供頂いた和歌山大学の入野俊夫教授に感謝致します。

参 考 文 献

[1] 安藤彰男: 立体音響技術の最新動向, 映像情報メディア学会誌, 68(8), pp.602-603, 2014.

[2] 伊藤将亮, 森勢将雅, 小澤賢司, 木下雄一郎: 音響再生方式を考慮した聴覚臨場感推定モデルの構築, 日本音響学会誌, 72(6), pp.306-314, 2016.

[3] 木下雄一郎, 伊藤将亮, 小澤賢司, 森勢将雅: 視聴覚コンテンツの臨場感評価のための視聴者の時系列感情分析および感情推定モデルの構築, 日本感性工学会論文誌, 15(3), pp.407-414, 2016.

[4] Jeffress, L. A.: A place theory of sound localization, Journal of Comparative and Physiological Psychology, 41(1), pp.35-39, 1948.

[5] Nakashima, H., Chisaki, Y., Usagawa, T., and Ebata, M.: Frequency domain binaural model based on interaural phase and level differences, Acoustical Science and Technology, 24(4), pp.172-178, 2003.

[6] 阪本浩二, 中村将志, 前田昌宣: ガンマチャープ聴覚フィルタバンクを用いた車室内における音像の方位角推定モデルに関する基礎検討, 電子情報通信学会技術研究報告, EA2018-159, pp.353-358, 2019.

[7] Irino, T., and Patterson, R. D.: A dynamic compressive gammachirp auditory filterbank, IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Process, 14(6), pp.2222-2232, 2006.

[8] 阪本浩二, 石光俊介, 荒井貴行, 好美敏和, 藤本裕一, 川崎健一: カーオーディオ・メインユニットのボタン押し音評価に関する検討 -第1報 ウェブレットによる特徴分析-, 日本感性工学会論文誌, 10(3), pp.375-385, 2011.

[9] Moore, B. C. J., 大串健吾(訳): 聴覚心理学概論, 誠信書房, 1994.

[10] Sugiyama, K., Nishimoto, M., and Satoh, M.: Transmission characteristics of ear canal of artificial head, Acoustical Science and Technology, 26(1), pp.67-70, 2005.

[11] Glasberg, B. R., and Moore, B. C. J.: A model of loudness applicable to time-varying sounds, Journal of the Audio Engineering Society, 50(5), pp.331-342, 2002.

[12] Iida, K.: Model for estimating elevation of sound source in the median plane from ear-input signals, Acoustical Science and Technology, 31(2), pp.191-194, 2010.

[13] 森川大輔, 平原達也: 帯域通過雑音による水平面音像定位, 電子情報通信学会論文誌A, J95-A(4), pp.337-342, 2012.

[14] 阪本浩二: 車室内における音像の広がり感推定モデルに関する基礎検討, 第16回日本感性工学会春季大会予稿集, 1E-01, 2021.

阪本 浩二 (正会員)

2011年 広島市立大学大学院情報科学研究科博士課程修了。現在, 株式会社デンソーテンにて車載音響機器に関する感性情報処理の研究, 信号処理アルゴリズムの開発などに従事。電子情報通信学会会員。