

平成 22 年度
プロジェクト研究報告書

音場再生におけるクロストークの 影響の評価

1100343 船橋 尚樹

指導教員 福本 昌弘

2011 年 3 月 1 日

高知工科大学 情報システム工学科

要旨

音場再生におけるクロストークの 影響の評価

船橋 尚樹

ステレオスピーカによる音場再生は、受聴者に負担を掛けることなく原音場を再現した音声を受聴できるという利点がある。しかし、スピーカを用いた音場再生を行うには、音源から受聴点までの距離や音の反射、残響といった伝達特性の影響を考慮する必要がある。ステレオスピーカのように2つの音源があると、空間の影響以外にも反対側のスピーカから音が入ることによるクロストークに考慮する必要がある。クロストークはステレオスピーカを用いると必ず発生するが、趣味で音楽を聴く分にはあまり気にされない。しかし、今日までの音場再生の研究では常に考慮されている問題である。

本研究では、何故音場再生においてクロストークが問題視されているのかを検証するため、ステレオスピーカを用いた音場再生システムにクロストークが発生したと想定して、クロストークが受聴者に与える影響の性質を、音声のクロストーク成分を増減させることで比較・評価を行い、クロストークは音声に対して音声の方向感覚が左右反対になる影響を与えることを確認した。

キーワード 音場再生, クロストーク, ステレオスピーカ

目次

第 1 章	序論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	クロストークの影響	5
2.1	はじめに	5
2.2	音声の空間伝達とクロストークについて	5
2.3	計算機シミュレーションと実験による評価	8
2.3.1	シミュレーション条件	9
2.3.2	実験条件	10
2.3.3	実験結果	10
2.4	まとめ	13
第 3 章	結論	19
3.1	本研究における評価	19
3.2	今後の課題	20
	謝辞	21
	参考文献	23

図目次

1.1	トランスオーラルシステムの一例	2
2.1	反射音を含んだ室内での音声の伝達	6
2.2	1 入力 1 出力の音響システム	7
2.3	ステレオスピーカを用いることによるクロストーク発生	8
2.4	計算機シミュレーションと実験の方法	9
2.5	原音とクロストークを含む音声の比較	11
2.6	クロストーク成分の増大による音声の方向感覚の変化	12
2.7	左側入力信号	14
2.8	右側入力信号	14
2.9	左スピーカから左受音点へのインパルス応答	15
2.10	左スピーカから右受音点へのインパルス応答	15
2.11	右スピーカから右受音点へのインパルス応答	16
2.12	右スピーカから左受音点へのインパルス応答	16
2.13	クロストーク成分 1 倍の左側出力信号	17
2.14	クロストーク成分 1 倍の右側出力信号	17

表目次

2.1 被験者実験の結果 1	18
2.2 被験者実験の結果 2	18

第 1 章

序論

1.1 本研究の背景と目的

コンサートホールや映画館で聞く音声は、音響空間による効果や目で見る映像と相まって、臨場感溢れる音声となって聞こえる。そういった音響空間を自室のような身近な空間で再現することを目的とした、ホームシアターが昨今多く普及している。このような、録音した音声を別の空間で再生する時に、録音した空間の特性を再現する技術を音場再生 [1] という。音場再生を行うには、音声の反射や残響など音声を再生する空間の影響を除去し、原音場の特性を再現することが必要となる。

音場再生を行う手法は幾つかあり、その中にトランスオーラルというものがある。この手法は、まずダミーヘッドと呼ばれる人間の頭部を模した機器を用いて録音を行う。この録音方法をバイノーラル収録 [2] という。このバイノーラル収録を行い、ステレオスピーカで録音した音声を再生するという手法がトランスオーラルであり、その手法を用いたシステムをトランスオーラルシステムという。今回は過去の研究 [3] を参考にしてシステムを構成する。図 1.1 はトランスオーラルシステムの構成の一例を表している。

トランスオーラルで音場再生を行う際は、音声の反射や残響といった音声を再生する側の空間の影響への対処が必要である。また、ステレオスピーカで音声を再生する際は空間の影響以外にも、本研究の主題として扱う問題であるクロストークと呼ばれる現象がある。この現象はステレオスピーカから音声を再生した際に、それぞれのスピーカから出た音声は反対側の耳に入り、受聴者の耳に再生した音声は正しく聞こえなくなるという現象である [4]。このクロストークについて疑問になるのは、私個人の趣味で自分のパソコンのミュージック

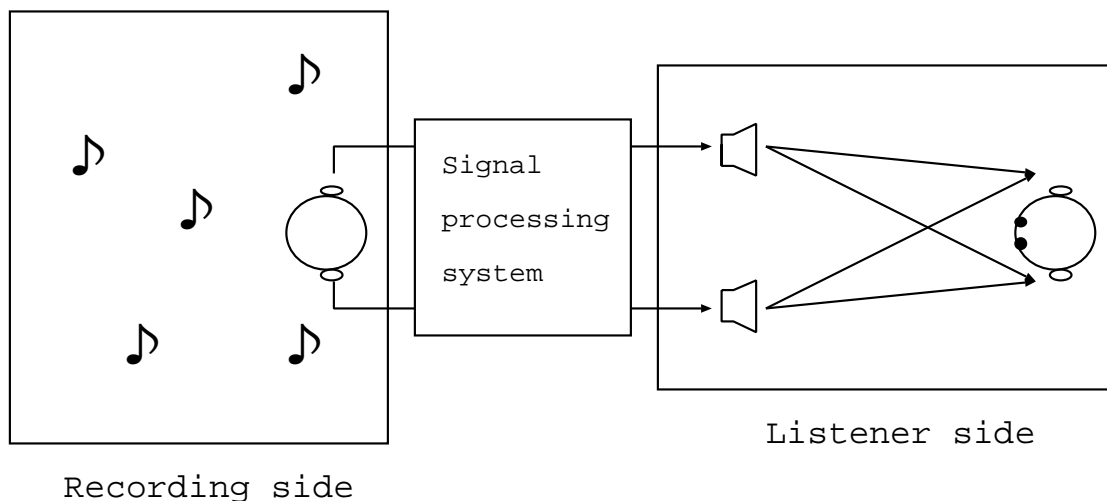


図 1.1 トランスオーラルシステムの一例

プレイヤーを使用してステレオスピーカから音声を再生しても、クロストークが発生しているはずなのにあまり気になるような音の変化は、主観的には無いように思える。しかし今日までの音場再生の研究 [5] においては、クロストークは常に考慮される問題となっている。日常では気にされていないクロストークが、音場再生を行う上では何故問題視されているのかを検証する目的として、本研究ではクロストークが受音点に到達する音声に与える影響の性質とその程度を検証・評価する。

1.2 本論文の構成

本論文の構成について述べる。

第2章ではまず、室内で1つのスピーカから音声を再生した際の、受音点が観測する信号を求める計算式について説明する。その説明を基本として、ステレオスピーカを用いて音声を再生する際にクロストークがどのように発生するかを説明する。また、インパルス応答を用いた畳み込みによる、クロストークを含んだ音声の求め方を述べる。次に、ステレオスピーカから音声を再生させた際に生じたクロストークが、音声を受聴するときどのような影響を与えるか検証するために、計算機シミュレーションでクロストークを含む音声とクロストーク成分が増減した音声を再現し、それらの再現した音声と原音を被験者実験を行うこ

とで比較し評価する。

最後に第3章として、本研究で得た計算機シミュレーションや実験の結果から、結論を述べる。

第 2 章

クロストークの影響

2.1 はじめに

本章ではまず、室内において 1 つのスピーカから再生した音声を観測する場合どのように計算して求めるのかについてを説明する。この説明を基本として、ステレオスピーカで音声を再生した際にクロストークがどのように発生するのかについての説明と、クロストークを含んだ音声を求める計算式について述べる。次に、クロストークを含んだ音声を求める計算式を応用して計算機シミュレーションを行い、クロストークを含む音声を計算機上で疑似的に再現すると同時に、クロストーク成分のみを増減させた音声を疑似的に再現する。それらの再現した音声と、入力に用いた元の音声を、被験者実験で比較してもらうことでクロストークが音声に与える影響を検証・評価する。

2.2 音声の空間伝達とクロストークについて

音源から受音点までといったような、ある空間の 2 点の音声の伝わり方を示す関数を空間伝達関数という [6]。屋外などの開放された空間であれば、空間伝達関数は 2 点間の距離にのみ依存する。対して、室内のような閉鎖的な空間であれば、壁に反射する音などが発生するため空間伝達関数もまた変化する。室内でスピーカを用いて音声を再生すると、図 2.1 のようにスピーカから直接伝わった音以外に壁面を反射した音や壁面を何度も反射し空間に響き続ける残響音が受音点に観測される。室内の空間伝達関数を求めるために再生する空間のインパルス応答を観測する必要がある。音源からパルス音を発生させ、反射音や残響音を含

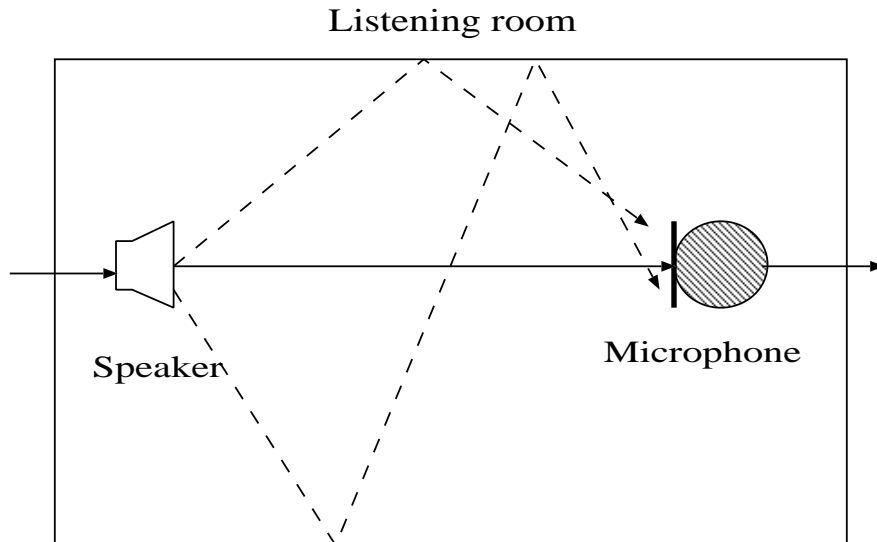


図 2.1 反射音を含んだ室内での音声の伝達

めて観測した信号を標準化し離散数列としたものがインパルス応答である．室内における空間伝達関数はこのインパルス応答を z 変換したものであるため，インパルス応答を $g(k)$ とすると空間伝達関数 $G(z)$ は次式のように表すことができる．

$$G(z) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k)z^{-k} \quad (2.1)$$

ここで，音源と受音点と空間の影響は全て線形であると仮定した上で，スピーカに入力した音声信号を $x(t)$ ，受音点で観測した音声信号を $y(t)$ ，音声を再生する空間のインパルス応答を $g(k)$ とした場合， $x(t)$ と $y(t)$ の関係は $g(k)$ を用いて，次式のように表すことができる [7]．

$$y(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k)x(t-k) \quad (2.2)$$

式 (2.2) を図解すると図 2.2 のようになる．この式は観測したインパルス応答を用いて任意の入力信号から観測信号を求めることができることを表している．式 (2.2) は音源と受音点の数が共に 1 つずつの状態を表しているが，音源や受音点の数が増加しても音源から受音点までのインパルス応答が判明していれば，観測信号を求めることができる．その応用の例

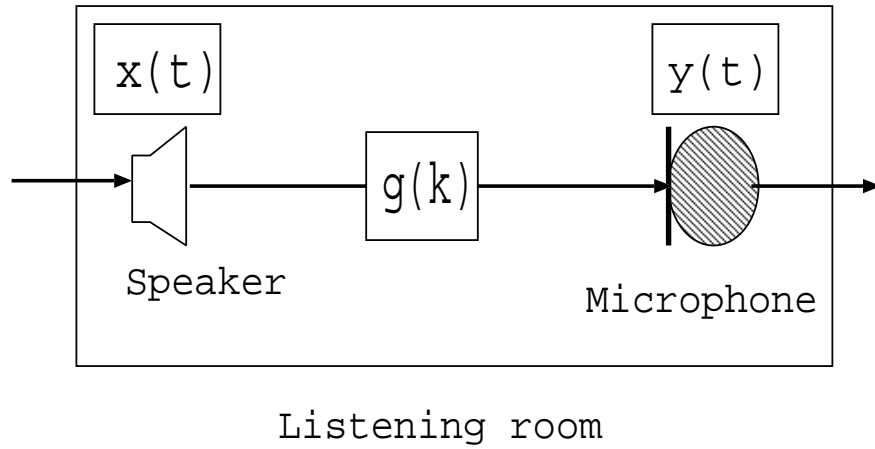


図 2.2 1 入力 1 出力の音響システム

及び本実験において主に使用した、ステレオスピーカを用いて人を受音点とした場合を説明する。

ステレオスピーカを用いて音声を再生すると、入力した側とは反対側の耳へ音声が入ってしまい、耳に入る音声がスピーカに入力した音声とは異なるように聞こえるクロストークという現象がある。ステレオスピーカから音声を再生する際にクロストークがどのように発生するかを図 2.3 に示す。図 2.3 が示すように、ステレオスピーカを用いて人が受音する、つまり 2 入力 2 出力の形だとインパルス応答が音源と受音点の左右に合わせて 4 種類必要になる。ここで図 2.3 を参考に、スピーカに入力した入力信号を $x_i(t)$ 、受音点で収録した観測信号を $y_j(t)$ 、音声を再生する空間におけるスピーカと受音点の間のインパルス応答を $g_{ij}(k)$ とした上で、ステレオスピーカで音声を再生した際のクロストークを含んだ観測信号は次式のような形で求められる。なお、 $i = \{1, 2\}, j = \{1, 2\}$ である。

$$y_1(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g_{11}(k)x_1(t-k) + \sum_{k=0}^{\infty} g_{21}(k)x_2(t-k) \quad (2.3)$$

$$y_2(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g_{22}(k)x_2(t-k) + \sum_{k=0}^{\infty} g_{12}(k)x_1(t-k) \quad (2.4)$$

式 (2.3) における右辺第 1 項は、右側のスピーカから右側の受音点へ正しく伝わった音の成分である。以降この成分を通常成分と表記する。対して、右辺第 2 項は左側のスピーカから右側の受音点へ伝わった、いわゆるクロストーク成分を示している。また、ステレオス

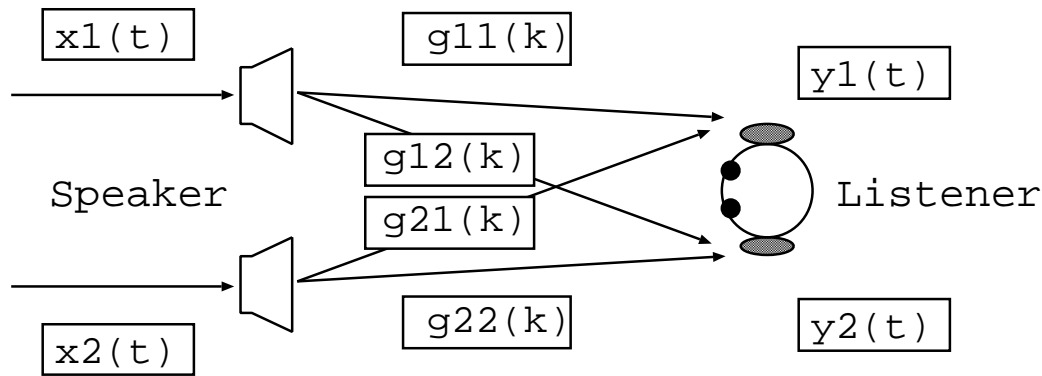


図 2.3 ステレオスピーカを用いることによるクロストーク発生

スピーカは左右対称に配置しているため，式 (2.4) についても同様のことがいえる．式 (2.3)，(2.4)，またそれらの基本となる式 (2.2) 自体はいわゆる畳み込みなので，数学的知識をあまり必要としない簡潔なものだが，入力信号長やインパルス応答長が大きくなると計算量が膨大なものになる．

2.3 計算機シミュレーションと実験による評価

序論で述べているようにクロストークは通常の状態だと分かりづらい．よって再生した音声のクロストーク成分のみが変化すれば，クロストークの影響は判別しやすいと考えた上で，計算機シミュレーションと実験の方法を述べる．ステレオスピーカで音声を再生したときに発生するクロストークが音声に与える影響を検証する準備として，前節で説明したクロストークを含む音声を求める計算式を用いた計算機シミュレーションを行い，入力信号とした音声にインパルス応答を畳み込んでクロストークを含んだ音声を再現する．また，クロストークが音声に与える影響を顕著に示せるようにするため，計算機シミュレーションで音声に含まれるクロストーク成分の大きさを変動させた音声を作成する．これらの音声と入力信号に使用した原音を被験者実験を行って比較と検証を行い，クロストークが音声に与える影響を評価する．

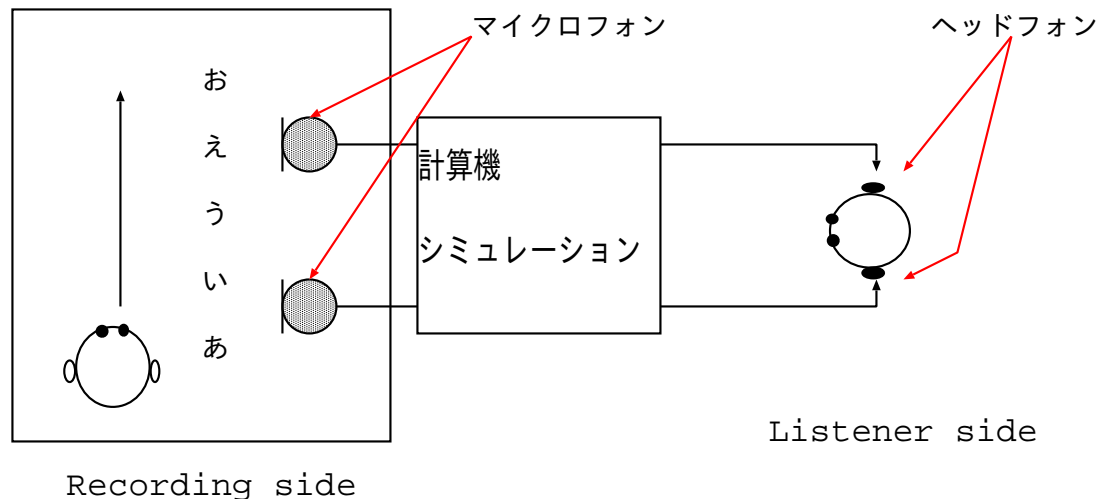


図 2.4 計算機シミュレーションと実験の方法

2.3.1 シミュレーション条件

計算機シミュレーションを行う上での条件を述べる．今回の実験では，入力信号として音源が左から右へ移動しつつ「あいうえお」と発声した音声を，サンプリング周波数を 48kHz・量子化ビットを 16bit と設定して使用する．入力信号として用いた音声の左側の波形を図 2.7，入力信号の右側の波形を図 2.8 に示す．畳み込みに用いるインパルス応答長は 65536 となっており，図 2.3 の $g_{ij}(k)$ のように，スピーカの左右と到達する受音点の左右でそれぞれ分けた，計 4 種類のインパルス応答を図 2.9～図 2.12 に示す．なお，図 2.9～2.12 のインパルス応答は，インパルス応答長が大きいため一部を示している．前述したステレオ入出力におけるクロストークを含んだ出力信号を求める式 (2.3)，(2.4) を応用して，クロストーク成分に係数を掛けることでクロストーク成分を増減させた音声を疑似的に再現する．前節で述べたがインパルス応答長や入力信号長によっては計算量が膨大になる．今回の実験ではインパルス応答長が 65536 で，入力に使用した音声の信号長は 258686 なので，計算回数は 16953245696 となった．

2.3.2 実験条件

クロストークの影響を評価する実験を行う上での条件を述べる。計算機シミュレーションに用いた原音と、計算機シミュレーションで再現したクロストークを含んだ音声、クロストーク成分を増減させた音声の3種類の音声を、被験者に聴き比べてもらい、聴いた音声に対しアンケートを取ることで評価とした。計算機シミュレーションで再現した、クロストークを含んだ音声の左右の波形データをそれぞれ図 2.13, 図 2.14 に示す。この音声を基準として、クロストーク成分に係数を掛けて増減させる。アンケートを取った評価項目は2つあり、1つは原音と比較して音声の聞こえる方向に変化があったかどうか(設問1)、もう1つは原音と比較してノイズが入るなどして単純に音声として聞きづらい音になっているかどうか(設問2)である。図 2.4 は計算機シミュレーションと実験の様子を表したものである。なお、ヘッドフォンを用いているのは、ステレオスピーカを用いた場合、二重にクロストークが発生してしまうので外部の影響を出来る限り排除した上で被験者に評価してもらうためである。

2.3.3 実験結果

前小節で述べた条件で、20代前半の男性5名を対象として被験者実験を行った結果を、表 2.1, 表 2.2 に示す。表 2.1, 表 2.2 はアンケートの評価項目と回答、その回答者数の分布をクロストーク成分の倍率ごとに示したものである。音声の聞こえ方が変わったかという評価項目についての回答の傾向は、クロストーク成分が1倍では全員が「分からない」と回答しているが、3倍以上に大きくなると音声の聞こえる方向について「変わった」と全員が答えるようになっている。このことから、クロストークは音声の方向感覚に対し影響を与えていることが分かった。一方、音質が下がったかどうかについての回答はクロストーク成分の大小に関わり無く、「分からない」か「そう思わない」と回答している場合がほとんどであった。このことから、音質に対してはクロストークが与える影響はあまりないか、あっても支障が無い程度であると思われる。

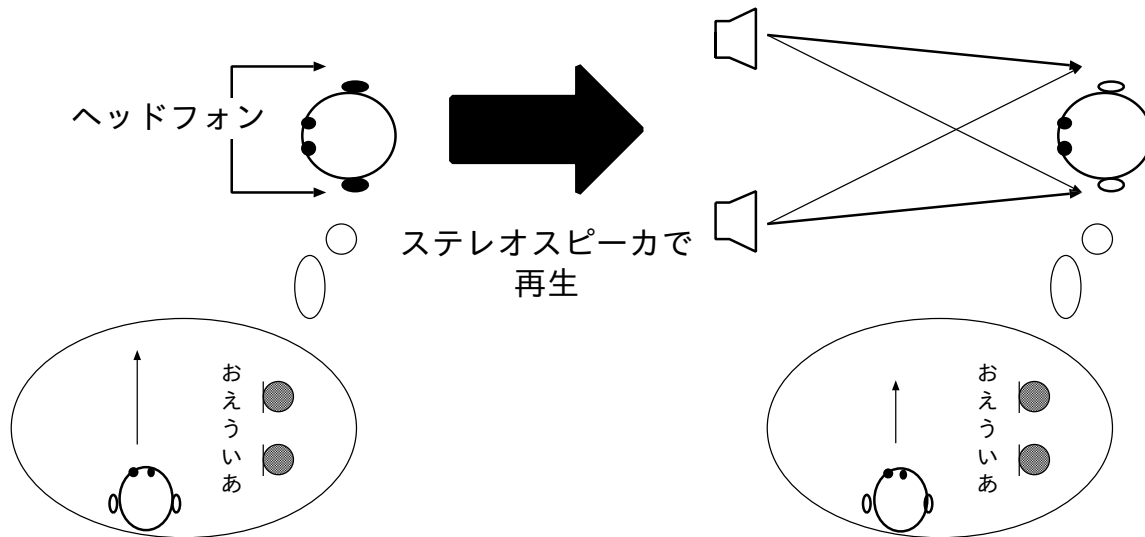


図 2.5 原音とクロストークを含む音声の比較

被験者実験の結果から見られる、クロストークが音声に与える音声の方向感覚への影響について考察する。

クロストーク成分の倍率が1倍の時、つまりクロストーク成分の大きさが通常の大きさである時、全員が「変わった」や「変わっていない」ではなく「分からない」と回答している。これはクロストーク成分が音声に含まれることによる音の方向感覚への影響がわずかなものであったため、原音より音源の移動の幅が小さいように聞こえるといった程度の変化に留まり、被験者には判別しづらい形になってしまい、このような回答結果になったと思われる。被験者の回答とそれに対する考察を元に、原音とクロストーク成分の倍率が1倍の音声を比較した時の受聴者の様子を図 2.5 に示す。

クロストーク成分が1.5倍の時、全ての回答にそれぞれ回答者がいる結果となった。1.5倍の時の音声についての被験者からのコメントは、

- 原音と比べてあまり変わってないように聞こえる
- 原音と異なり音源が移動しない音声のように聞こえる

というそれぞれ正反対の意見があった。前者のコメントについては、クロストーク成分が増加したもののまだ通常成分の音量の方が大きいためと思われる。対して後者のコメントにつ

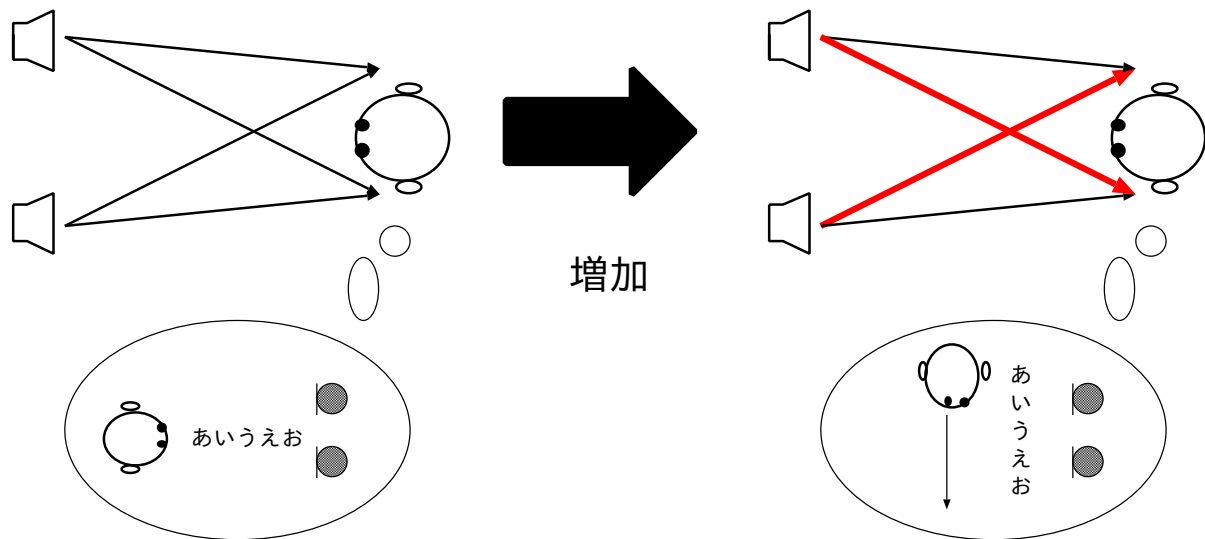


図 2.6 クロストーク成分の増大による音声の方向感覚の変化

いては、クロストーク成分が平常時よりも大きくなることで、通常成分の音量に近くなったためと思われる。結果として、1倍の時と比べ変化は分かりやすくなったため「分からない」という回答の数は減少したが、意見が分かれる回答となった。

回答の傾向を見ると、倍率が2倍以上の倍率だと回答の大半が「変わった」に固まっていることから、クロストークによる影響を受聴者が顕著に感じるようになるのは倍率が2倍以上になってからだと思われる。2倍以上の時の音声について被験者からは、

- 倍率が2倍になると、原音と異なり音源が移動しないように感じる
- 倍率が2.5倍以上になると、原音とは反対に右から左へ音源が移動する音声に聞こえる

というコメントが多かった。前者のコメントは1.5倍の時にも見られたコメントだが、こちらは回答者のほとんどがコメントしている。倍率が2倍の時はクロストーク成分の音量が通常成分の音量とほぼ等しくなり、左から右への音量の変化が無くなったからと見ることができる。後者のコメントは、倍率が2.5倍になるとクロストーク成分の音量が通常成分の音量を上回ったため、左右の音量が逆転したからと思われる。被験者の意見を元に、クロストーク成分の倍率が2倍から2.5倍以上へ増加する際を受聴者が受ける感覚の変化の様子を図2.6に示す。

実験の結果，クロストーク成分が2倍以上になると影響が顕著に現れたが，これは観点を変えると2倍になって通常成分の音量に近付いたということになり，平常時のクロストーク成分の大きさは通常成分の約半分程度であると言える．よって序論で述べた通り，趣味で音楽を聞いたりする場合はクロストークの影響が小さく，注意して聴かなければ気づきにくいのではないかと思われる．

2.4 まとめ

本章では，まず1つのスピーカから再生した音声を観測する場合どのように計算して求めるのかについてを説明した．この説明を基本として，ステレオスピーカを用いて音声を再生したときクロストークがどのように発生するのか，またクロストークを含んだ音声はどのように計算して求めるのかを説明した．その計算式を利用して計算機シミュレーションを行い，クロストークを含んだ音声とクロストーク成分の大きさのみが変動した音声を疑似的に再現した．次に計算機シミュレーションで再現した音声と原音を比較する被験者実験を行い，クロストークが音声に与える影響の評価を行った．クロストーク成分が大きくなった音声は，原音とは左右反対に聞こえたという被験者実験の回答結果から，クロストークは耳に届く音声の方向感覚に対して影響を与えることがわかった．また，クロストーク成分は平常時の大きさだと与える影響が小さく，変化に気づきにくいことがわかった．一方で音質に対してはクロストークの影響があまり見られなかった．

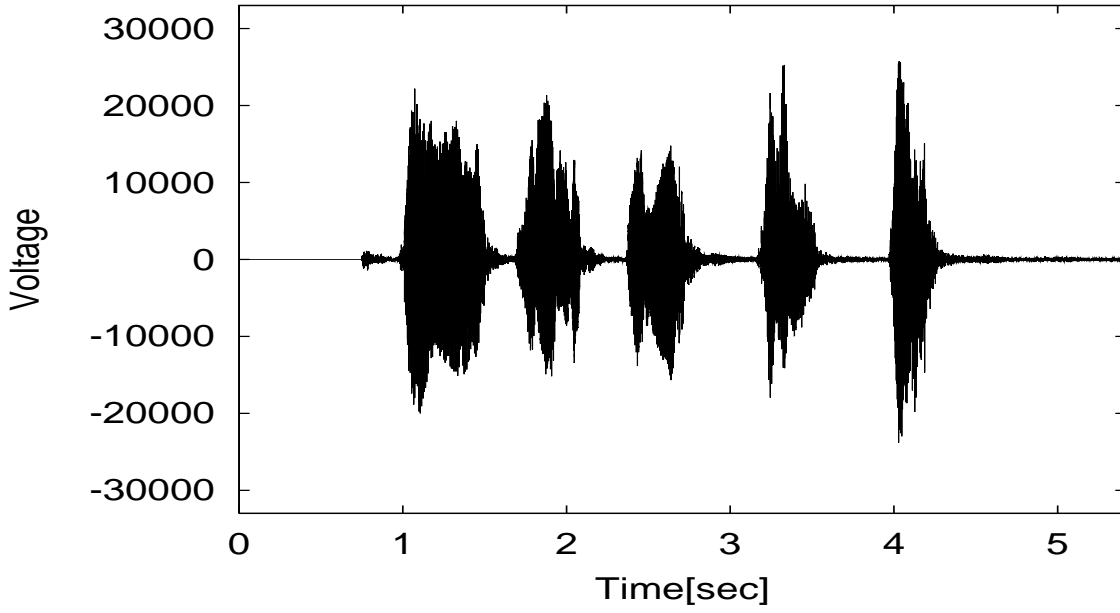


図 2.7 左側入力信号

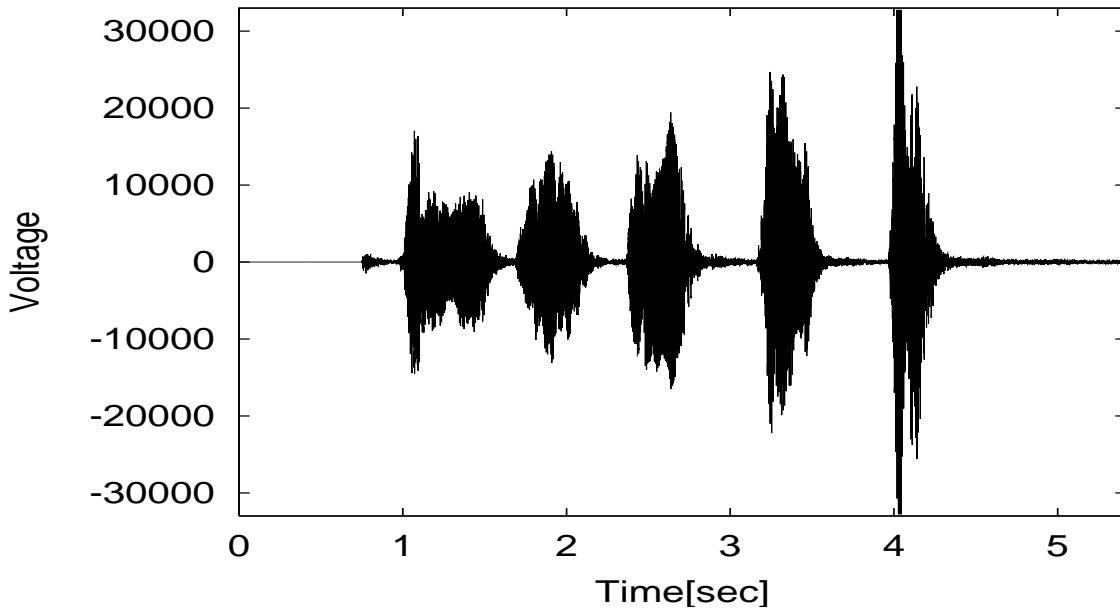


図 2.8 右側入力信号

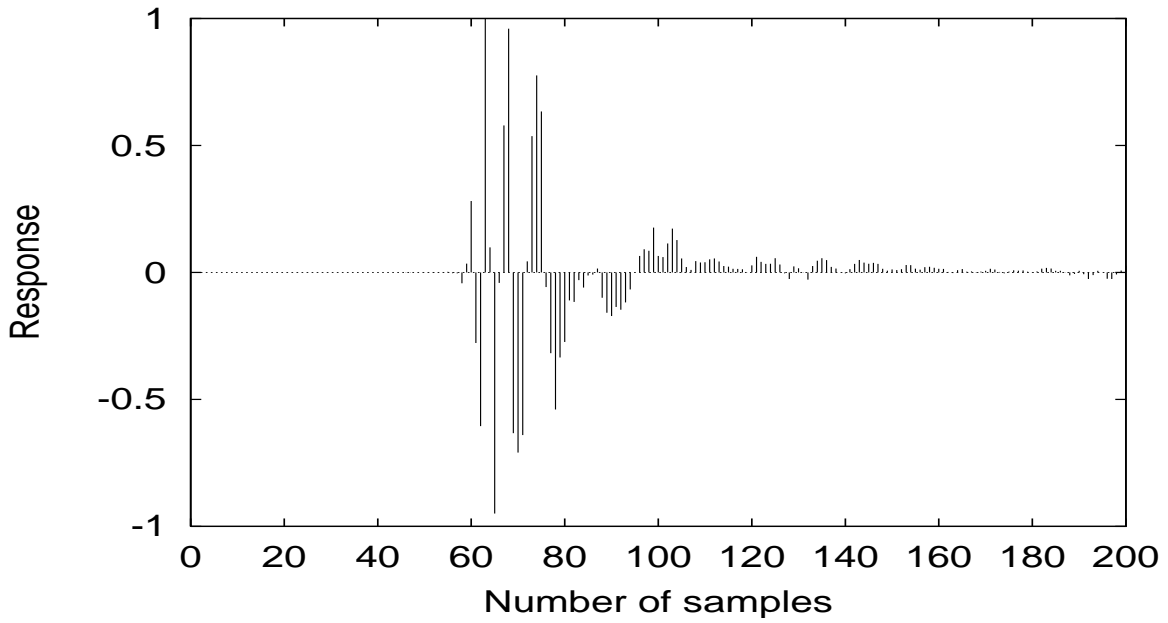


図 2.9 左スピーカから左受音点へのインパルス応答

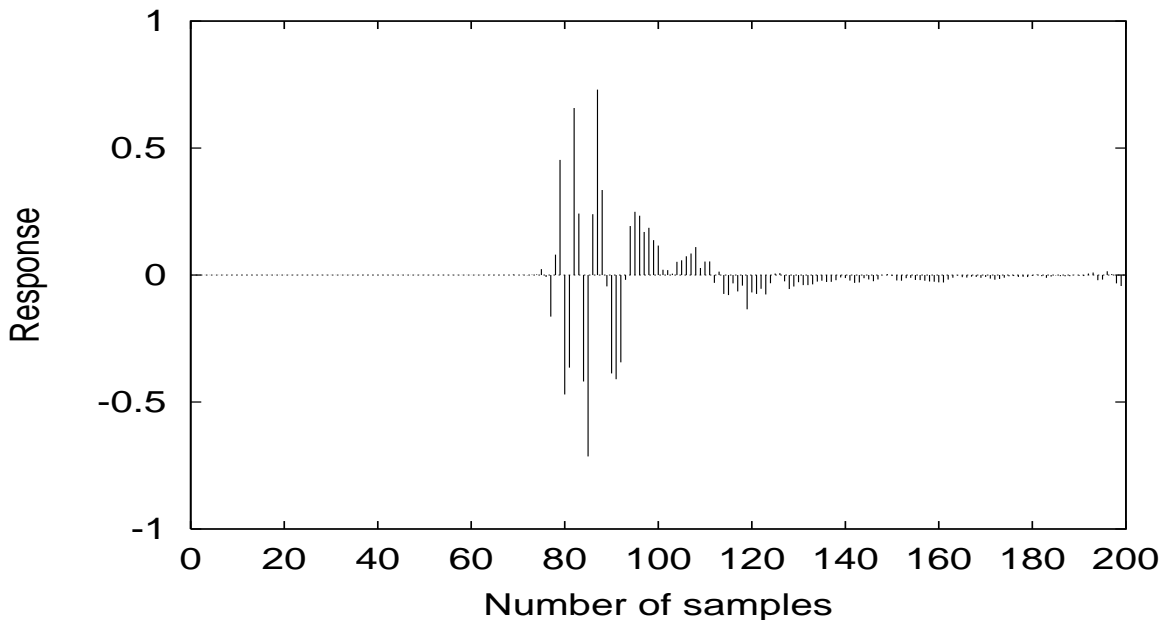


図 2.10 左スピーカから右受音点へのインパルス応答

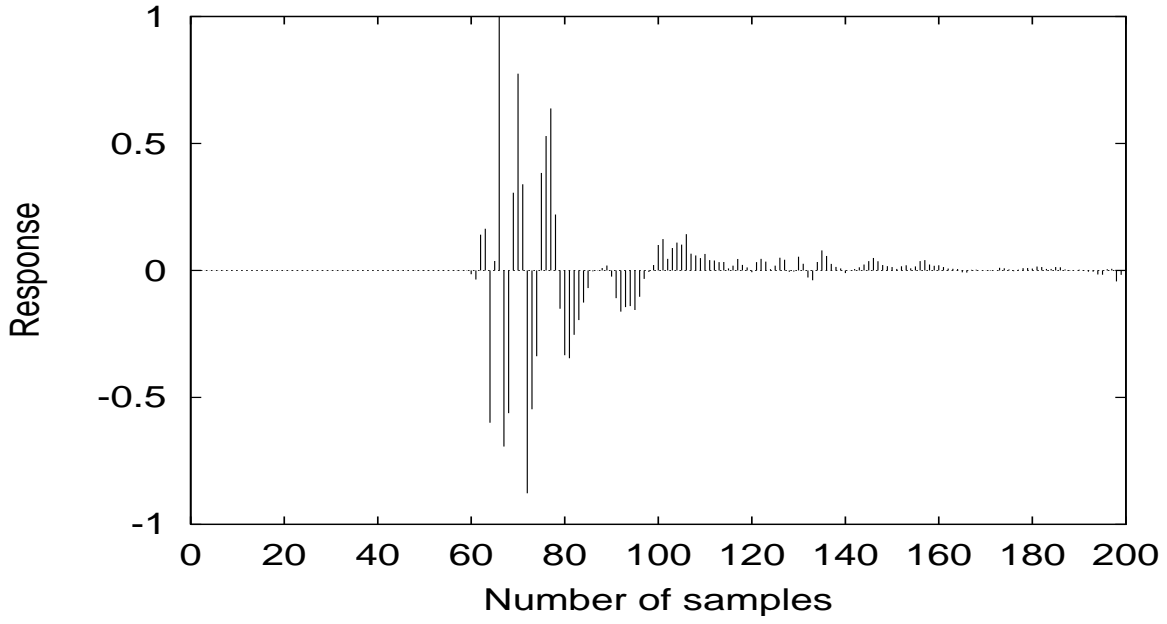


図 2.11 右スピーカから右受音点へのインパルス応答

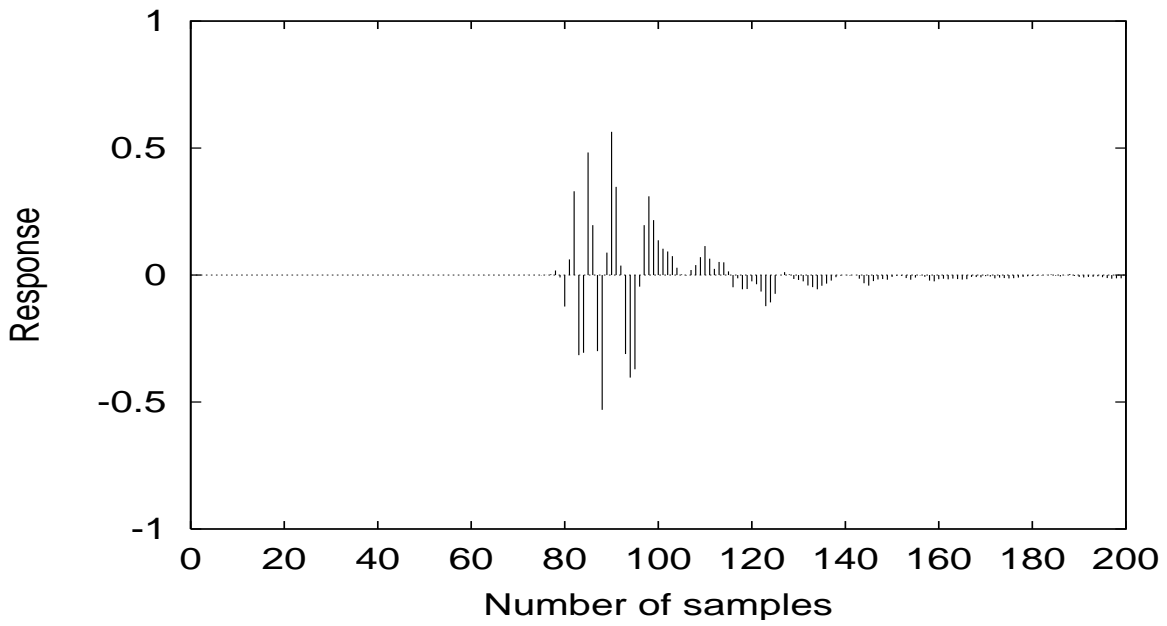


図 2.12 右スピーカから左受音点へのインパルス応答

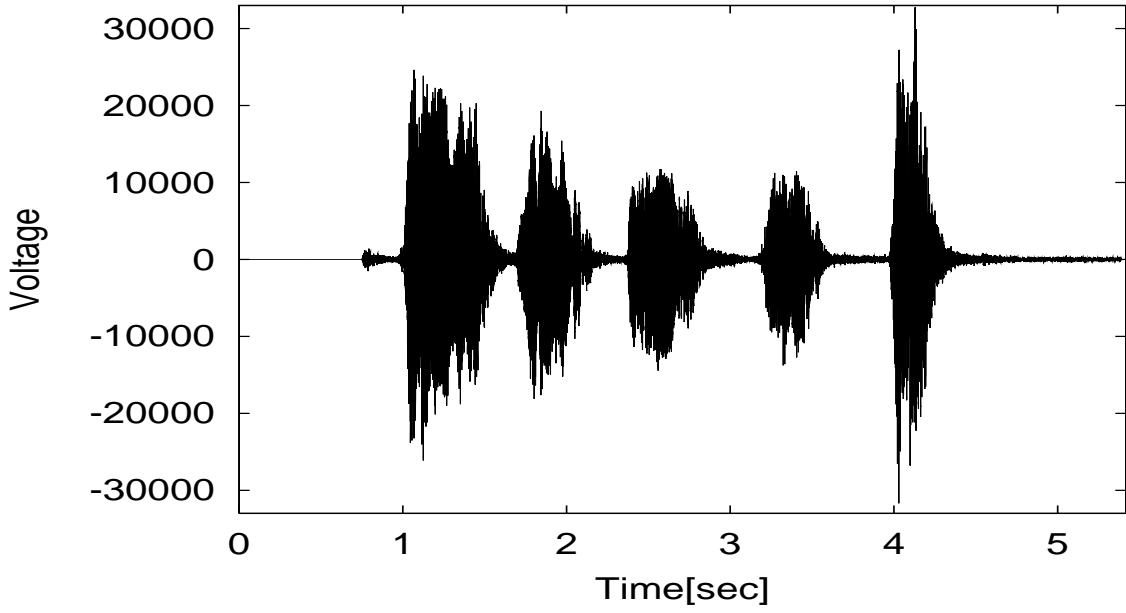


図 2.13 クロストーク成分 1 倍の左側出力信号

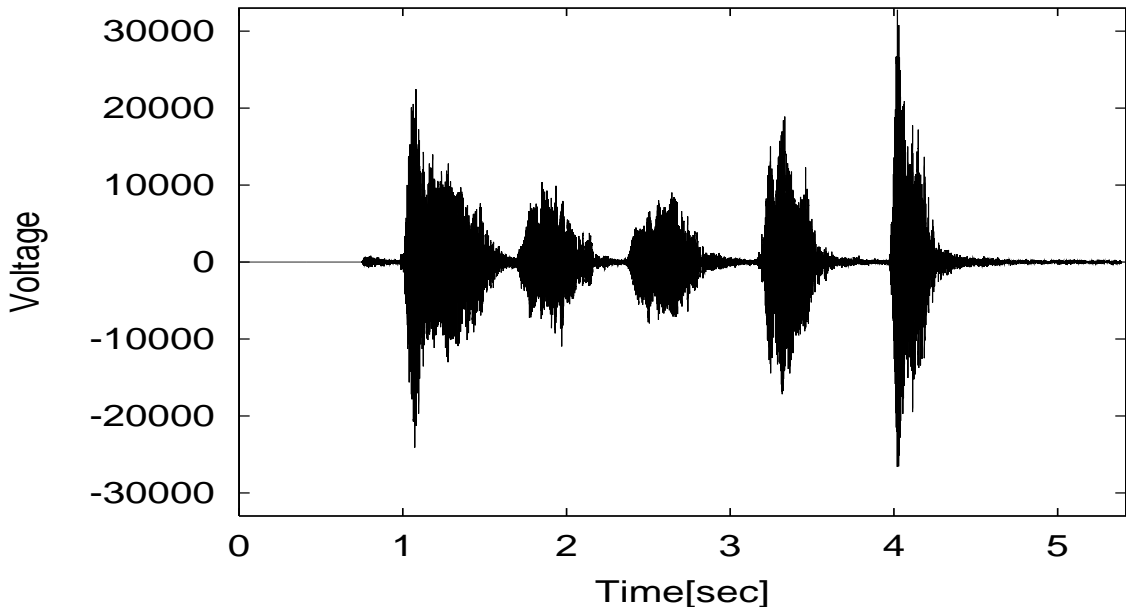


図 2.14 クロストーク成分 1 倍の右側出力信号

表 2.1 被験者実験の結果 1

評価項目	回答	クロストーク成分の倍率						
		1	1.5	2	2.5	3	4	5
設問 1	変わった	0名	1名	4名	4名	5名	5名	5名
	分からない	5名	2名	0名	0名	0名	0名	0名
	変わっていない	0名	2名	1名	1名	0名	0名	0名
設問 2	そう思う	0名	1名	0名	0名	0名	0名	1名
	分からない	3名	1名	3名	2名	3名	3名	2名
	そう思わない	2名	3名	2名	3名	2名	2名	2名

表 2.2 被験者実験の結果 2

評価項目	回答	クロストーク成分の倍率			
		1/2	1/3	1/4	1/5
設問 1	変わった	0名	0名	0名	0名
	分からない	1名	1名	1名	2名
	変わっていない	4名	4名	4名	3名
設問 2	そう思う	0名	1名	0名	1名
	分からない	3名	3名	4名	3名
	そう思わない	2名	1名	1名	1名

第3章

結論

3.1 本研究における評価

ステレオスピーカを用いて音場再生を行う際の問題に、反射や残響などの空間の影響以外にそれぞれのスピーカから出た音声が入射側の耳にも入るクロストークが挙げられる。そこで、クロストークが受聴者へ到達する音声に与える影響の評価として、クロストークを含む音声を計算機シミュレーションで再現し、同時に受聴される音声に含まれるクロストーク成分の大きさを変化させて、これらの音声を被験者実験で比較してもらうことで、クロストークが音声に与える影響を検証した。

被験者実験を行った結果から、クロストーク成分が増加すると左右の音声が入れ替わって聞こえるようになることが確認できた。このことから、クロストーク成分は音声に音の方向感覚が反対に変化する影響を与えていることがわかった。よって、原音場の特性を再現することを目的とした音場再生を行うにはクロストークは無視できない問題であることが確認できた。一方、実験の結果からクロストークは左右の音量に差があったり音源が移動したりする音声でなければ影響に気づきにくいということが分かった。また、クロストーク成分は平常時の大きさでも音声に影響を与えてはいるものの、受聴者には影響による変化が判別しにくいということが分かった。

実験の結果から、クロストークは反対側のスピーカから再生される音声に対して、逆位相の音を重ね合わせるようなフィルタを実装すれば影響を軽減できる。しかし、クロストークは反射や残響などの空間の影響とは別の影響であるため、空間の影響に対するフィルタとはまた別に、クロストークの影響に対するフィルタを実装する必要がある。

3.2 今後の課題

本論文では、ステレオスピーカを用いた音場再生においてクロストークが受聴者に与える影響を、クロストーク成分を増減させ、原音と比較する被験者実験を行うことで検証した。

今後の課題として、被験者実験の評価項目の種類を増やせば異なる影響が見えると思われるので、評価項目について検討が必要である。また計算機シミュレーションに用いた音声が一種類なので、左右どちらかに偏った音声や数人の声が混じった音声など音声の種類を増やして実験した際の、影響を受ける度合の違いなどの検証が必要である。今回はクロストーク成分の増減で影響の評価を行ったが、今回の実験のようにクロストーク成分のみが変動することは現実的な状況ではないので、クロストーク成分の倍率そのままに現実起こりえる状況の変化でクロストークの影響の大きさが変化するかを考察する必要がある。

謝辞

本研究において、言われたことすら出来ず勝手な行動ばかりしていた私を見捨てることなく、毎日夜遅くまで御指導していただいた福本 昌弘教授に心より深く感謝致します。福本教授の御指導が無ければもう一年というのもありえました。また、社会人として多くの必要なことも教えていただきありがとうございます。研究室で過ごした2年半を忘れることは到底無いと思います。また、本研究の副査を務めていただいた吉田 真一講師にも深く感謝致します。梗概を提出する際に頂いた言葉は大変励みになりました。情報システム工学科の教員の方々にも深く感謝致します。行き当たりばったりな上に行動も遅く学習能力の低い私を毎晩遅くまで指導していただいた佐伯 幸郎助教にも感謝致します。佐伯助教の輪講や普段のアドバイスなど様々な所で多くの知識を学ぶことが出来ました。佐伯助教が居なければ卒業はできなかったと思います。梗概や発表資料の添削を何度も行っていただいた福富 英次助手にも御礼申し上げます。お忙しい中、小さな疑問にもしっかり答えていただいた徳久 翔太氏にも御礼申し上げます。度々頂くお菓子は美味しかったです。

同研究室で研究生活を共に過ごした安藝 遼氏にも感謝致します。私の実験を手伝ってくれたり研究のアドバイスをくれたりと、こちらが年上なのにお世話になることが非常に多かったと思います。リーダーシップや面白いジョークなど大変見本になりました。同じく同研究室の松谷 佑氏にも御礼申し上げます。いつも朗らかな笑顔は研究生活の中で癒しになっていました。笑顔を絶やさない明るさは参考にしたいと常々思っています。同じく同研究室の澳本 拓郎氏にも感謝致します。自分のペースを維持し続けるその姿勢は学ぶものがありました。同じく同研究室の畠山 貴至氏にも御礼申し上げます。研究生活で色々といじられる姿に不謹慎ながらも和みました。同じく同研究室の堀本 洸氏にも感謝致します。席が隣だからと色々話掛けても一つ一つちゃんと答えていただき、ありがとうございました。また、同研究室の今期学部4年生の方々には1年先にいるだけの人間を先輩として扱っていただいたり色々お世話になった記憶しかありません。変に先輩風吹かせるわ空気読まな

いわ駄目な先輩ですみませんでした。

また、高田研究室の佐藤 功二氏には食事や遊びに連れて行ってもらったり誕生日を祝い合ったりと私生活で非常にお世話になり、研究生活の励みをいただいたことに深く感謝致します。

最後に、自分の5年の大学生活を支えていただいた全ての人々に、この場を借りて心より深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 小林源太, 福本昌弘, ”サブスピーカを用いたクロストーク軽減”, 平成 19 年度 学士学位論文, 2008
- [2] 鈴木康太, 福本昌弘, ”音場再生に適したスピーカ配置”, 平成 18 年度 学士学位論文, 2007
- [3] 浜崎真二, 福本昌弘, ”クロストーク成分における相互相関係数に着目した音場再生システム”, 信学技報, SIP2004-115, vol.104, no.559, pp.31-36, Jan 2005.
- [4] 四宮隼人, 福本昌弘, ”信号補正システムによる音場再生の性能評価”, 平成 21 年度 学士学位論文, 2010
- [5] 一色雄太, 福本昌弘, ”受聴者の移動に対応した音場再生システム”, 平成 18 年度 学士学位論文, 2007
- [6] 春日正男, 船田哲男, 林伸二, 武田一哉, 映像情報メディア学会 編, ”音声情報処理”, コロナ社, 2001
- [7] 株式会社エー・アール・アイ, ”FIR 型とインパルス応答の畳み込み:ソフトウェアと音響のデジタル信号処理”, <http://www.ari-web.com/service/soft/reverb-4.htm>, Jan 2010.