

両耳間マスキングレベル差を利用した 騒音環境下での検知能力の向上

関西大学
環境都市工学部 建築学科
建築環境工学第一研究室
建 08-26 小網 崇史
指導教官 豊田 政弘 助教

目次

1 序論	p2
1.1 背景・研究目的	p2
1.2 先行研究	p2
2 両耳間マスキングレベル差の存在の確認 (実験1)	p6
2.1 方法	p6
2.2 結果・考察	p6
3 実空間での両耳間マスキングレベル差の効果 (実験2)	p8
3.1 方法	p8
3.2 結果・考察	p9
4 両耳間マスキングレベル差を利用した騒音環境下での検知能力の検討 (実験3)	p12
4.1 方法	p12
4.2 結果・考察	p17
5 まとめ	p18
謝辞	p18
参考文献	p18

1 序論

1.1 背景・研究目的

報知音は日常生活で私たちに何らかの注意を与えるために頻繁に使われている。しかし実際には様々な雑音によってかき消され正確に伝わらないことがある。

私は騒音環境下でも報知音をより知覚しやすい状況を作り出すにはどうすべきなのかを研究する。

本研究では特に駅のホームのアナウンスの知覚向上の条件を調べる。幹線道路に挟まれたホームなどでは、騒音によりアナウンスがかき消される恐れがあり、そのためアナウンスの音をかなり大きくしている状態が見受けられる。ここでは実験を通してアナウンスの音量を抑えつつもよりホームの人間に報知音が知覚しやすい状況を作り出すことを目的とする。

1.2 先行研究

既報[1]では信号の方向性の手がかりである両耳間時間差と両耳間位相差、そして両耳間レベル差を利用することで雑音が存在する中でも信号音の検知能力が向上することが報告されている。

- ・ 両耳間時間差 (ITD)
両耳で音を聞く時の、左右の耳に到達する音の時間差
- ・ 両耳間位相差 (IPD)
両耳で音を聞く時の、左右の耳に到達する音の位相差
- ・ 両耳間レベル差
両耳間レベル差とはひとつの音源から発する音の左右の耳における強度の差

また自由音場の中で信号と雑音が分かれて配置されたときに白色雑音中のパルス列信号の検知能力が向上することが分かっている。

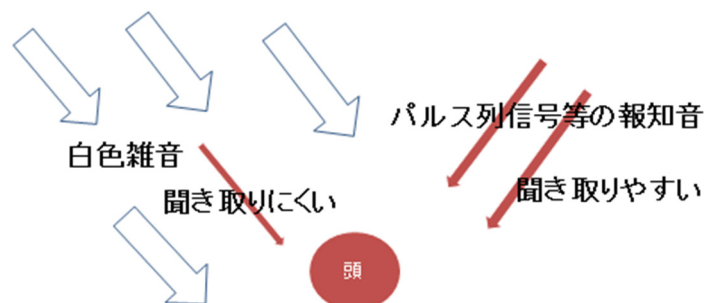


図1 白色雑音中のパルス列信号の検知能力の向上

このことは方向性の手がかりを利用することで信号音に対するマスクング閾値が減少することを意味している。この現象を「方向性マスクング解除」という。マスクング閾値とは音の聞き取りが別の音の存在によって妨害を受けてしまう境界のレベルのことを言う。

これらをもとに先行研究ではパルス列信号と 1.5, 2.0, 2.5kHz の三つの報知音（純音）に対して、白色雑音化の信号音の検知能力を調べている。最初の実験では両耳間時間差に関して、白色雑音化のパルス列信号のマスクング閾値を測定し、その結果方向性マスクング解除がこれらの状況で起こることが確認されている。またこの時の方向性マスクング解除の最大値は 8dB であった。同様に三つの報知音に対するマスクング閾値を観測した結果方向性マスクング解除の最大値は、成分周波数が 1.5kHz と 2.0kHz で約 2dB, 2.5kHz で約 3dB であった。このことから方向性マスクング解除の程度は報知音を構成する信号周波数に関係していることが分かる。

以上のことを踏まえさらに二つの実験が行われている。

一つ目は両耳間時間差を利用しただけで実際の雑音環境下の報知音知覚において方向性マスクング解除が起こるかどうかという実験である。

・実験 1 方法

その方法として図 2 のように雑音の到来方向を固定した上で信号の両耳間時間差を操作した場合、信号の両耳間時間差を固定した上で雑音の到来方向を操作した場合、それぞれに対し異なる傾向がみられるかどうかを調べている。

ヘッドホンを利用し masker として走行雑音を利用している。図 3 は音源から来る信号の両耳間時間差を利用した音源方向の制御方法を示している。次式は両耳間時間

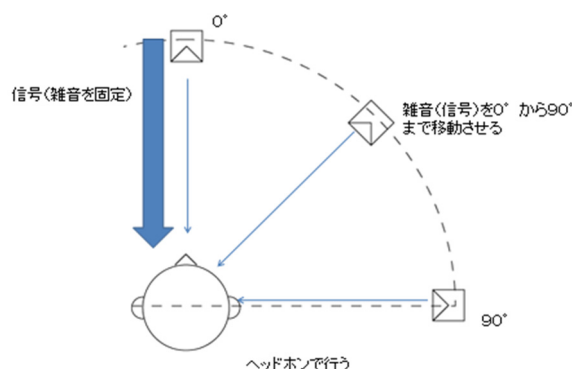


図 2 雑音の到来方向

差を表わすことができる。

$$ITD = d/c = r(\theta + \sin \theta) / c$$

$$d = r\theta + r \sin \theta$$

r : 人間の頭部の半径

$$= 0.009[\text{m}]$$

c : 音速 = 343.5[m/s]

d : 両耳間での音の経路差

θ : 音源の方向 ($-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$)

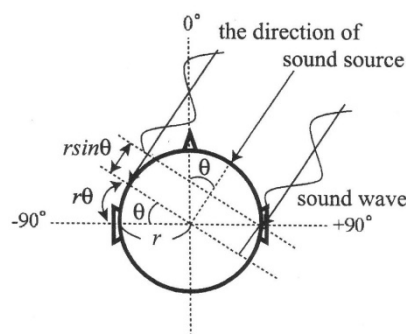


図 1 両耳に到来する音の時間差と音源の方向 (θ [rad]) の関係。

図

図 3 両耳に到来する音の時間差と到来方向 (文献[1]より引用)

またこの実験ではマスキング閾値の測定に極限法を用いている。信号を知覚できないレベルから 1dB ずつあげていき知覚できる境界の閾値を調べる。同様に信号を知覚できる範囲から知覚できなくなるまでレベルを下げていき知覚できる境界の閾値を調べた。

・実験 1 結果

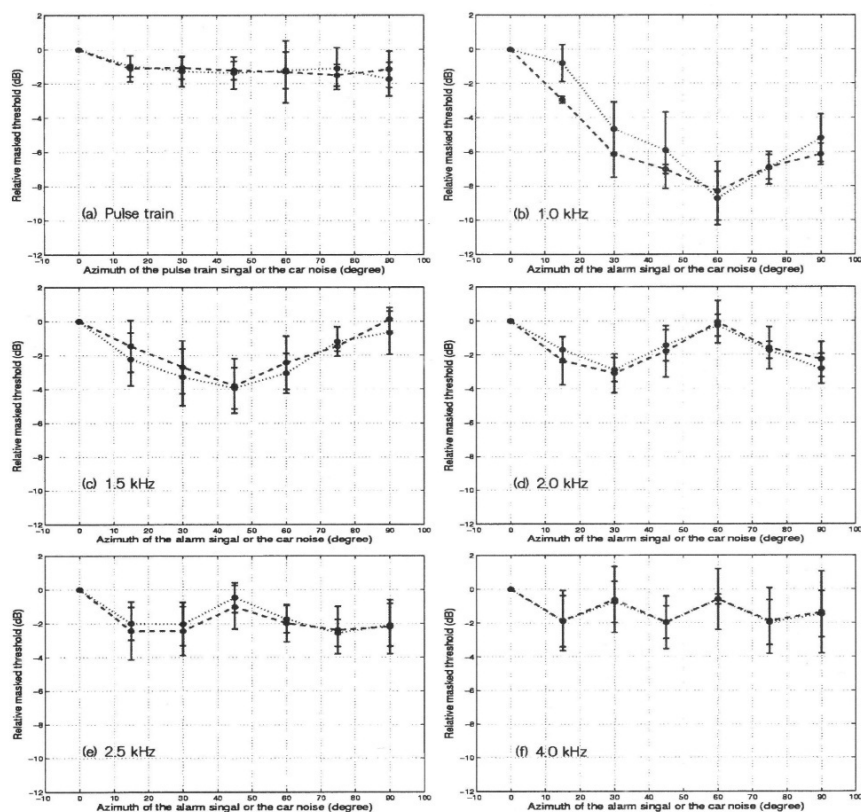
白色雑音では約 8dB までマスキング閾値が減少したのに対し走行雑音ではほぼ変化がないという結果であった。

・実験 2 方法

二つ目の実験では方向性の手がかり（両耳間時間差と両耳間位相差）の関係を利用してどのように方向性マスキング解除を説明することができるのかを調べている。

・実験 2 結果

図 4 のように周波数によって全く異なる結果であった。これより実験 1 と同様雑音固定と信号固定でも大きな違いが見られず信号と雑音の間の角度差が重要であることが分かる。また最大マスキング閾値の減少（より小さい音でも聞こえる）量は高い信号周波数（4kHz で約 2dB）のものよりも低い信号周波数（1kHz で約 8dB）の方が大きいという結果であった。



4 各周波数の方向性によるマスキング閾値
(文献[1]より引用)

このようになった原因が両耳間マスクingleレベル差の観点からで説明されている。

- ・両耳間マスクingleレベル差

両耳間マスクingleレベル差とは白色雑音と正弦波信号をどちらも同位相で聞いた時のマスクingle閾値に対する、同位相の白色雑音下で逆位相条件の正弦波信号を聞いた時のマスクingle閾値のレベル差のことである（図 5）。逆位相の時にはマスクingle閾値が減少する、つまり聞き取りやすいことが知られている。

図 3 のように報知音が発せられる角度によって両耳に位相の差が生まれる。周波数の高いものは波長が短いため、ちょうど逆位相で音が両耳に届くことや、それを乗り越えて同位相で届くことがある。これらの原因から方向性マスクingle解除が行われたと説明されている

白色雑音下に

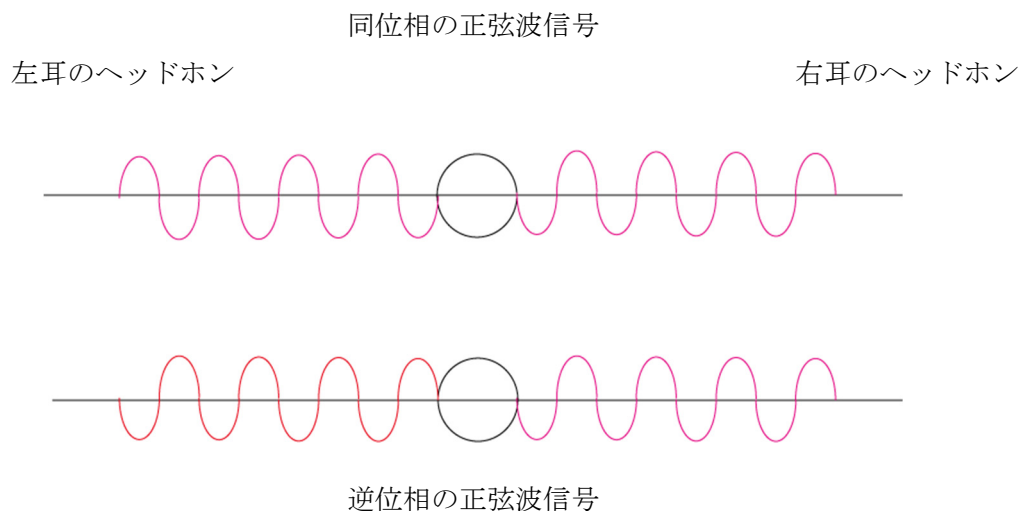


図 5 両耳間マスクingleレベル差の仕組み

2 両耳間マスキングレベル差の存在の確認（実験1）

まず先行文献[1]で知覚に大きな影響を及ぼすとあった両耳間マスキングレベル差の存在を確認するための実験を行った。

2.1 方法

実験条件

- ・無響室を使用
- ・ヘッドホン使用
- ・被験者に知覚させる正弦波信号をあらかじめ確認
- ・雑音としてホワイトノイズを利用し、それと共に 125Hz, 500Hz, 2kHz, 8kHz の周波数の正弦波信号を流す
- ・ホワイトノイズの A 特性音圧レベルはヘッドホン内で 65dB に統一する
- ・極限法を利用し、被験者が知覚できない音量から 1dB ずつ音量を上げていき初めて知覚できたところで宣言してもらいそのレベルの閾値を確認、また同様に下げていき知覚できなくなったレベルの閾値を確認する

2.2 結果、考察

図 6 は同位相条件の時と逆位相条件の時の聞き取れる最低の相対音圧レベルを表している。

図 7 は両条件の結果から導き出された両耳間マスキングレベル差を表したものである。125Hz と 500Hz に関しては同位相の正弦波信号の時に比べ逆位相の時の方が明らかにマスキング閾値が減少しており、約 8dB の両耳間マスキングレベル差が確認された。2kHz と 8kHz に関しては、わずかだが逆位相の方がマスキング閾値が増加するという結果になり、両耳間マスキングレベル差は確認されなかった。しかしながら、先行研究[1]で 1.5kHz 以上の周波数では位相による差はほとんどないことが報告されており、先行研究と同様の結果であったと言える。

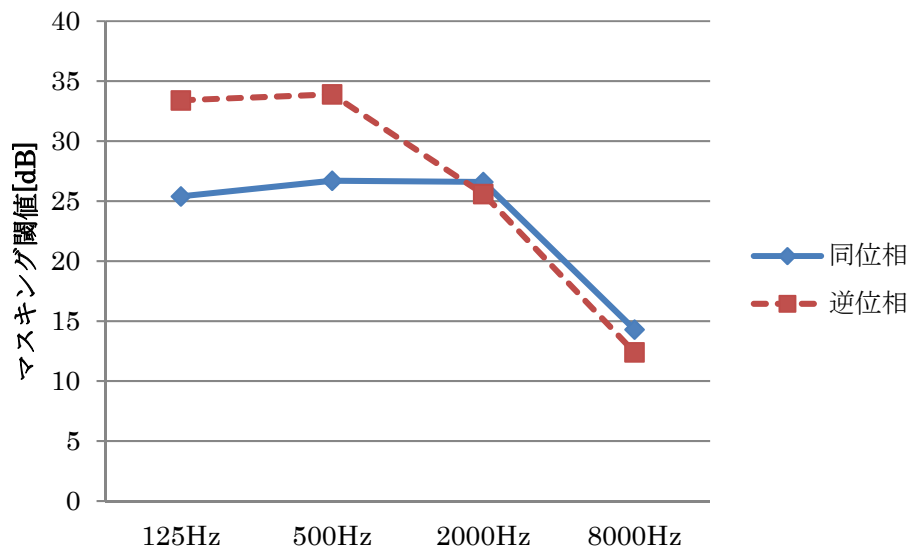


図6 周波数ごとのマスクング閾値

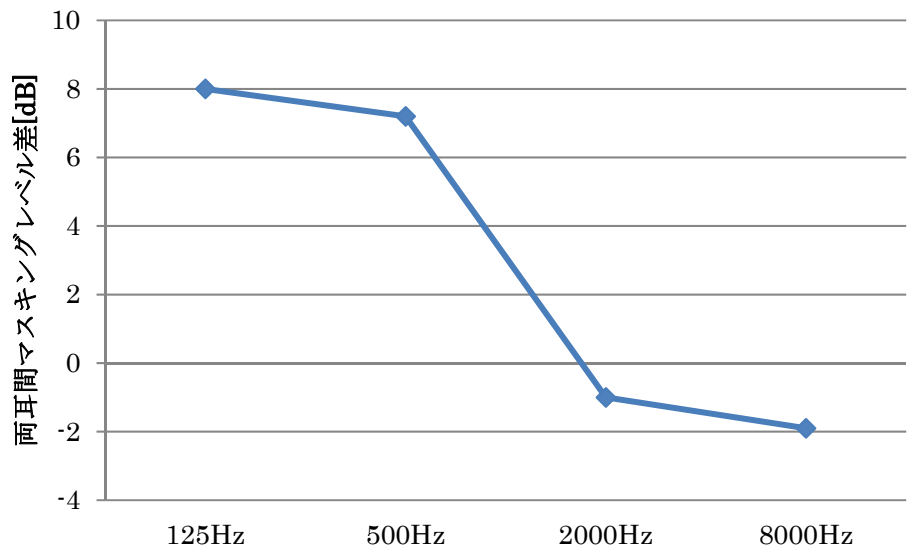


図7 両耳間マスクングレベル差

3 実空間での両耳間マスキングレベル差の効果 (実験 2)

次にスピーカーを用いた場合でも変わらず両耳間マスキングレベル差が検知能力に影響するか検討する。

3.1 方法

実験のための条件

- ・ 無響室を使用
- ・ スピーカーを使用
- ・ 被験者に知覚させる正弦波信号をあらかじめ確認
- ・ 雑音としてホワイトノイズ利用し、それと共に 125Hz, 500Hz, 1kHz の周波数の正弦波信号を流す
- ・ ホワイトノイズの A 特性音圧レベルは被験者の耳の位置で 65dB に統一する
- ・ 極限法を利用し、被験者が知覚できない音量から 1dB ずつ音量を上げていき初めて知覚できたところで宣言してもらいそのレベルの閾値を確認、また同様に下げていき知覚できなくなったレベルの閾値を確認する

スピーカーは図 8 のように配置する。

すべてのスピーカーからホワイトノイズを流し、同時にスピーカー1

と 2、スピーカー3 と 4 スピーカー5 と 6 の 3 パターンで 125Hz の同位相、また逆位相の正弦波信号を流す。同様に 250Hz, 500Hz, 1kHz の正弦波信号を流す。

実験 1 より逆位相の時の方がより聞き取りやすくなると予想される。しかし逆位相の場合はスピーカーを近づければ近づけるほどその効果は落ち、逆に聞こえづらくなると考えられる。なぜなら極端な話をした場合、逆位相の音波を同じ場所から出した時にはお互いが打ち消し合い、全くの無音になってしまうからである。

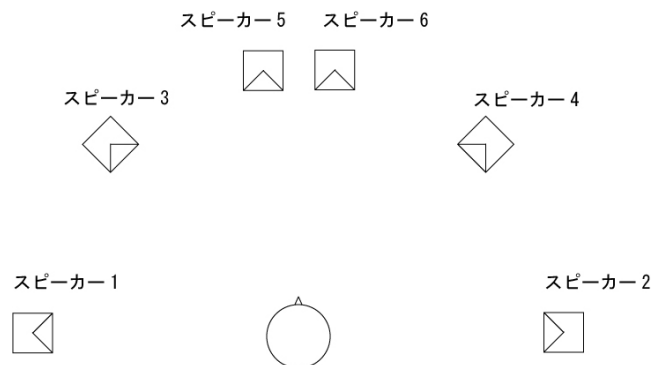


図 8 スピーカーの配置図

また、スピーカーを利用することによる懸念がもう一つある。それは片方から到来する音がもう片方の耳にも伝わることによる逆位相の音が混じり合うため、ヘッドホンを用いた時とは違い、両耳間マスキングレベル差の影響がないのではないかとということである。このことを踏まえヘッドホンとスピーカーの実験の違いを検討する。

3.2 結果・考察

図9は正弦波信号をスピーカー1とスピーカー2から流していることを示している。

図10はスピーカー1とスピーカー2から正弦波信号を流したときのマスキングレベル差の平均値と95%信頼区間を示したグラフである。0dBより高い数値では同位相よりも逆位相の時の方がよく聞こえたことを示しており、両耳間マスキングレベル差が検知能力に影響を及ぼしたことがわかる。

1と2を用いた場合では同位相より逆位相の時の方が聞き取りやすいことが分かった。

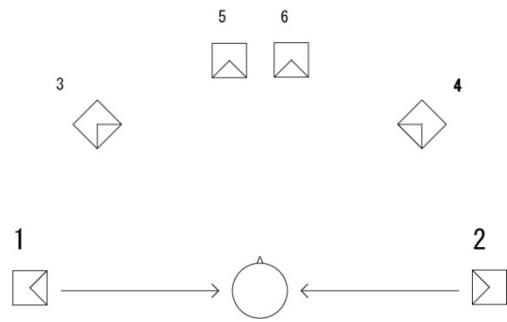


図9 使用スピーカー1と2

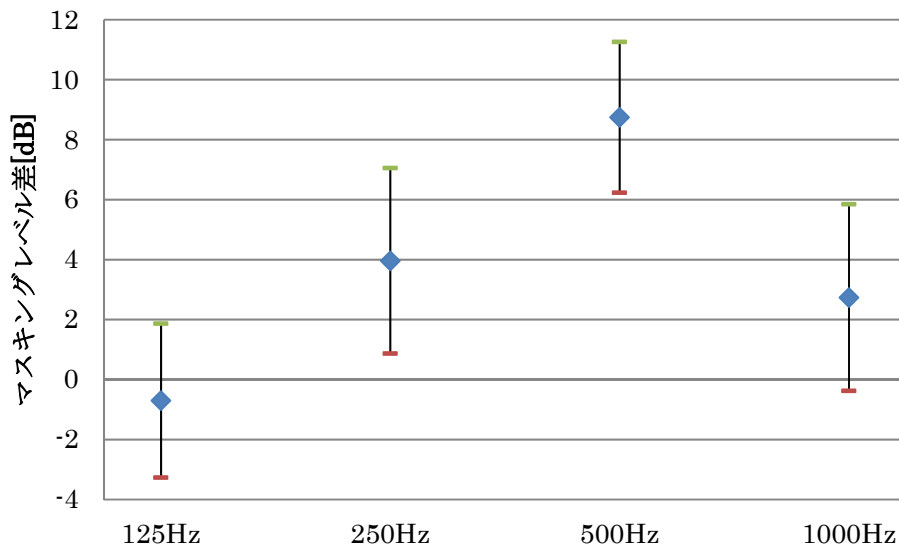


図10 スピーカー1と2によるマスキングレベル差

図 11 は正弦波信号をスピーカー1 とスピーカ
ー2 から流していることを示している。

図 12 にスピーカー3 と 4 を用いた場合の結果
を示す。

図 13 は実験中の写真である。

スピーカー3 と 4 の時も逆位相の方が聞き取り
やすかったが1, 2の時よりは効果が薄いという結
果であった。

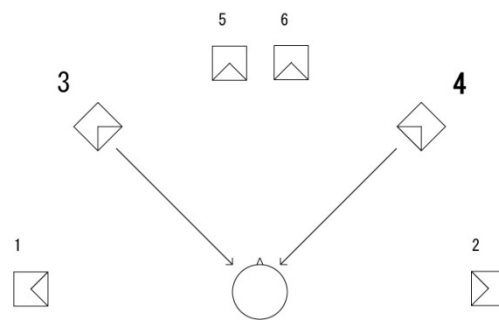


図 11 使用スピーカー3 と 4

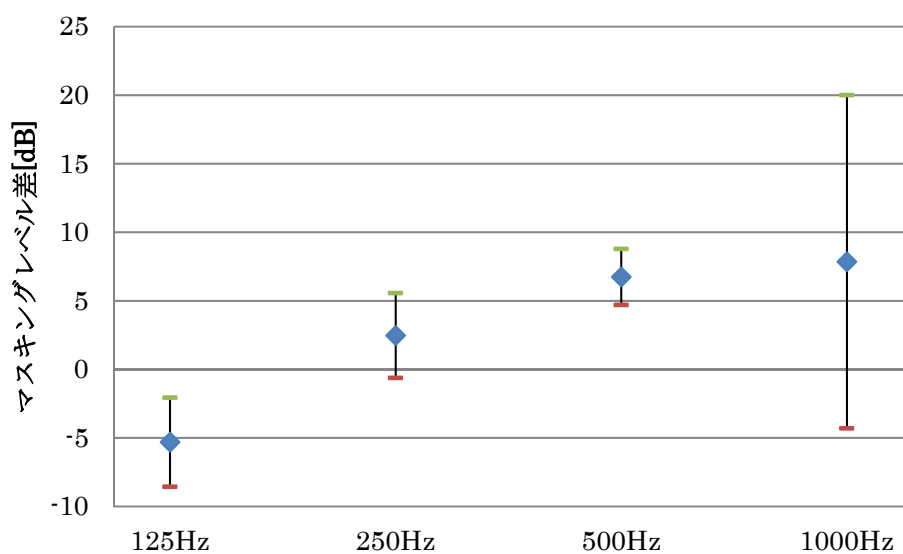


図 12 スピーカー3 と 4 によるマスキングレベル差

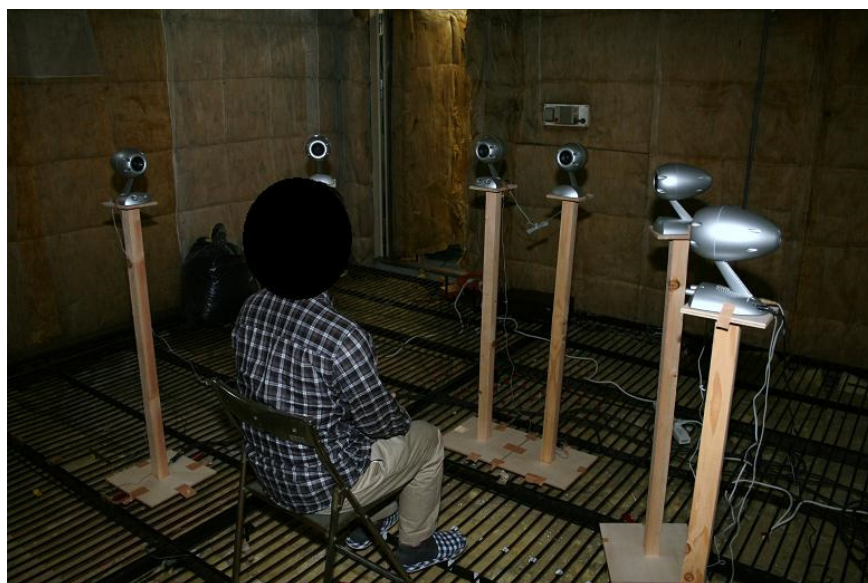


図 13 実験 2

図 14 は正弦波信号をスピーカー1 とスピーカー2 から流していることを示している。

5, 6に至っては同位相の方がよく聞こえるという結果になった。これは逆位相の報知音が近づくことでお互いが打ち消しあったからだと考えられる。

(図 15)

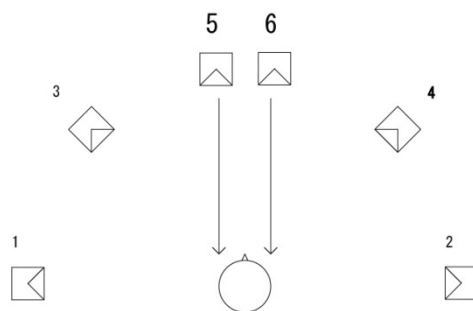


図 14 使用スピーカー5 と 6

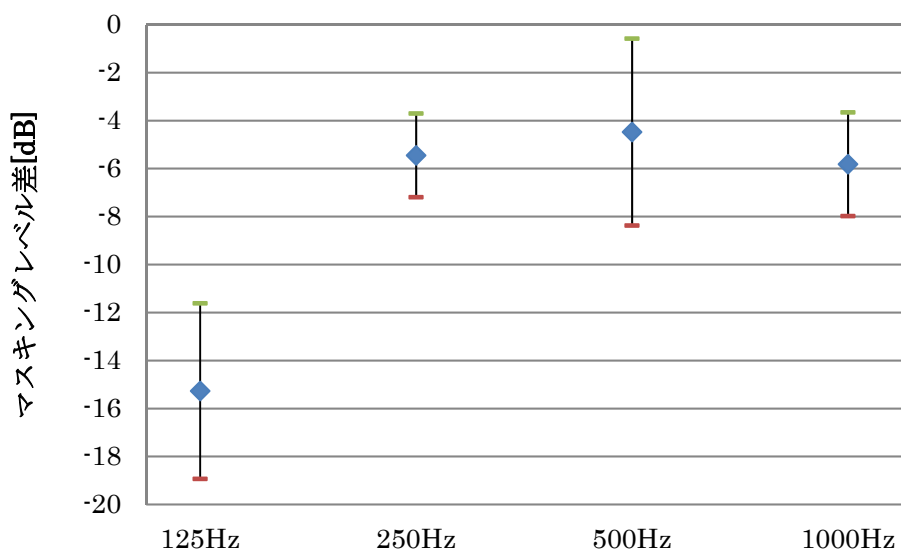


図 15 スピーカー5 と 6 によるマス킹レベル差

125Hz はどのパターンでも低い数字となったが、それは低周波が回折しやすいために音が交じり合った結果であると考えられる。また 500Hz が最も聞き取りやすいという結果になった。人の声の中心的な周波数は、概ね 1kHz 前後であることが分かっている。そのため人の声であるアナウンスでは特に問題なく利用できると思われる。

これらの結果からスピーカーを用いた場合でも両耳間マス킹レベル差は検知能力と関係があることがわかった。

また逆位相のスピーカーを離して置くことでより効果を得られることがわかった。

4 両耳間マスキングレベル差を利用した騒音環境下での検知能力の検討（実験 3）

これまでの実験により両耳間マスキングレベル差を利用することで騒音下でも検知能力が向上するという結果となった。しかし、それはあくまでも正弦波波形での結果であり実際の音声でも有効であるかどうかは定かでない。ここではホームの両側を幹線道路に挟まれているホームを対象とし、その騒音下で両耳間マスキングレベル差を利用して効果が得られるのかを実験を通して調べている。

4.1 方法

実験 3 では図 16, 17 のように騒音用スピーカーを二つ置き、そこから謀駅のホームで録音してきた騒音を鳴らす。（このときの騒音の音圧は被験者の耳の位置で 65dBA になるように調節する）その中央に被験者を立たせ、図の三点のスピーカーから流れる音声を聴きとらせる。（スピーカーの真下の耳の高さを、等価騒音レベル 48dB に統一する。）

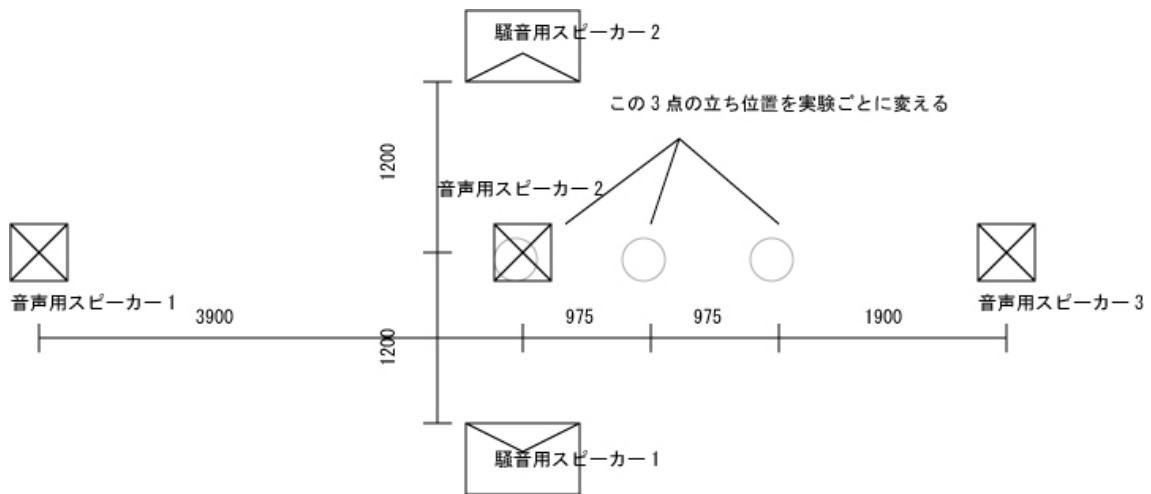


図 16 実験 3 器具配置 平面図

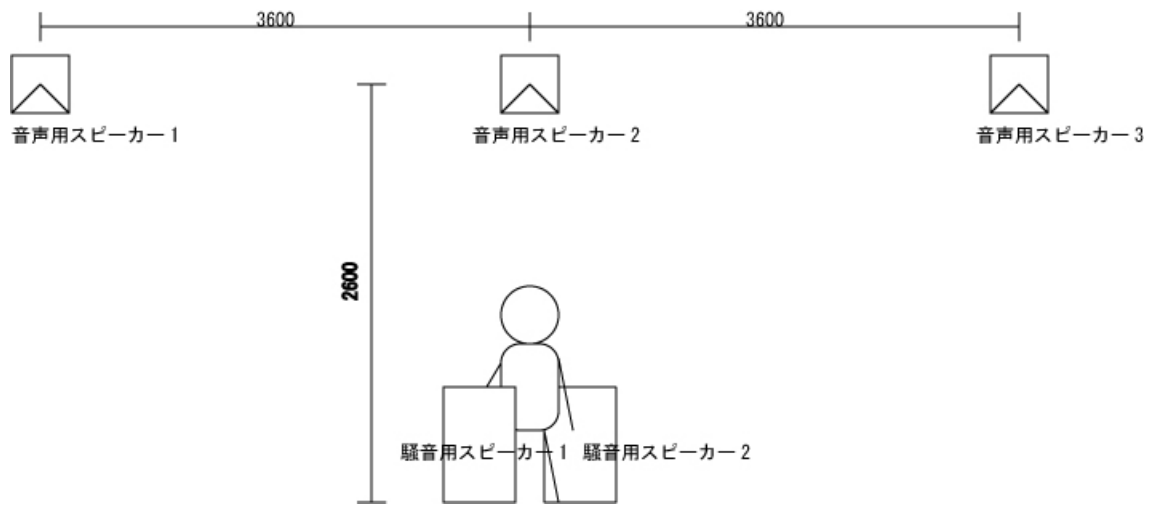


図 17 実験 3 器具配置 立面図

スピーカーの位置と音声の位相を変化させることで図 18~25 のような a, b, c, d, e, f, g, h の八つのパターンを調べる。

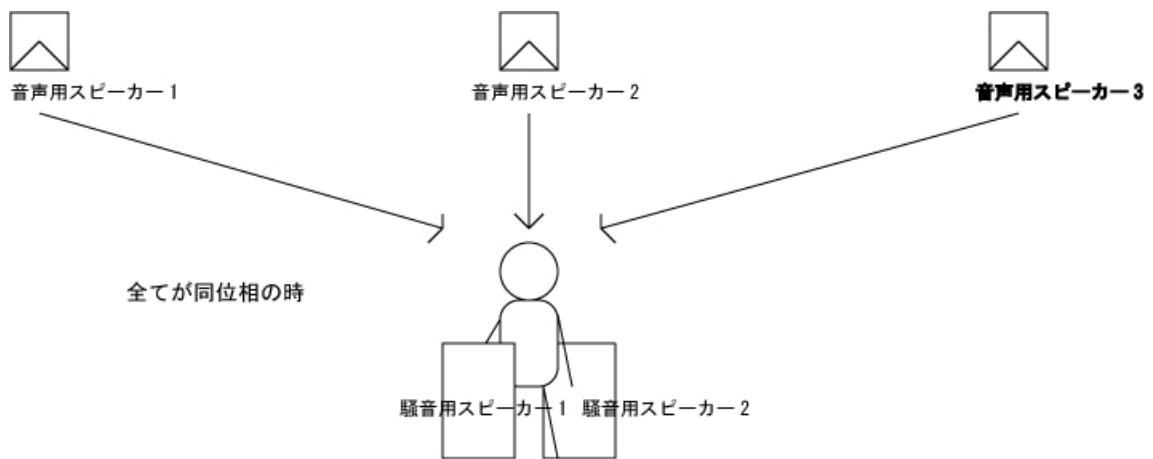
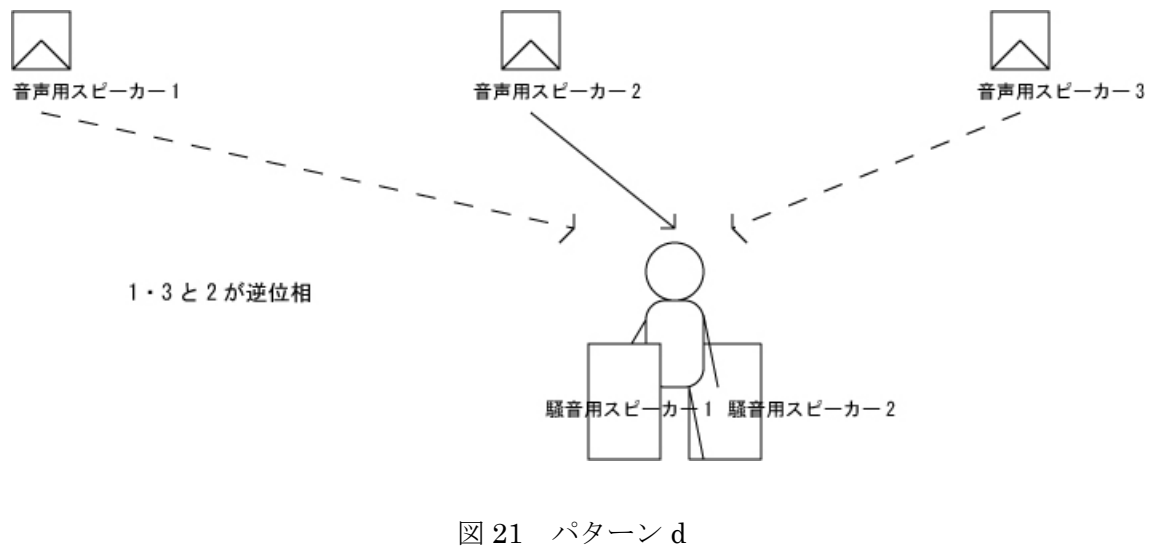
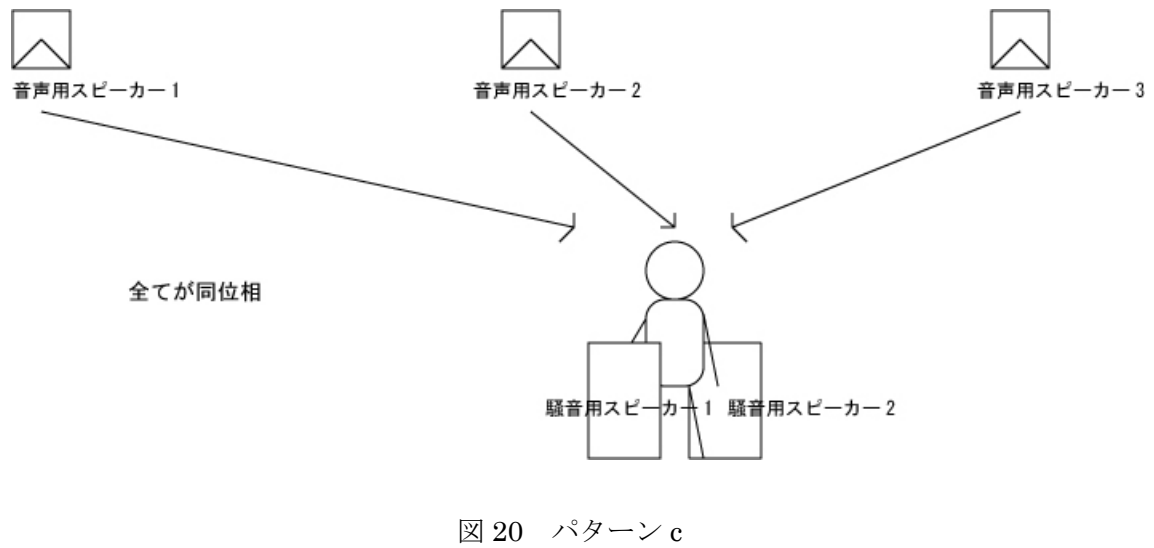
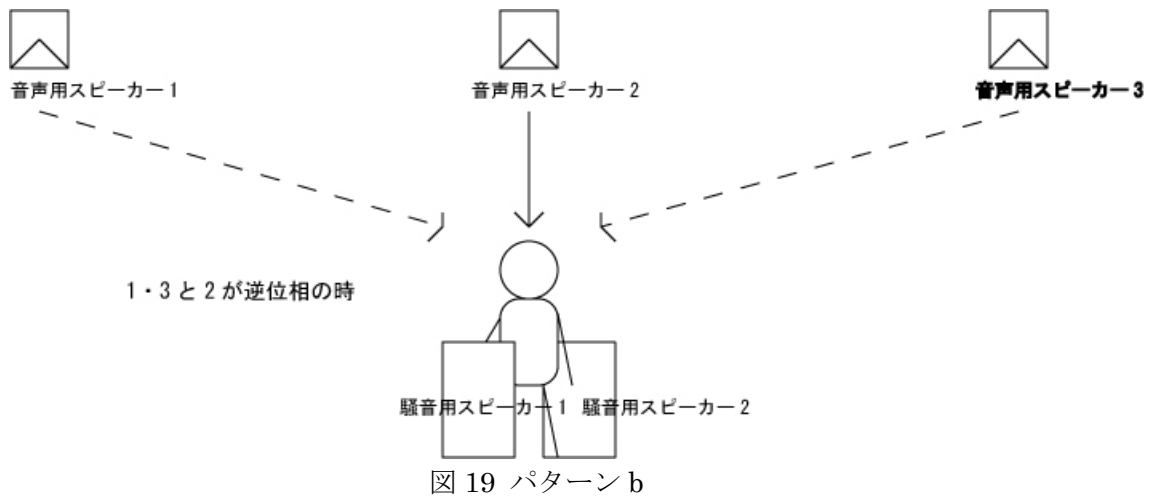


図 18 パターン a



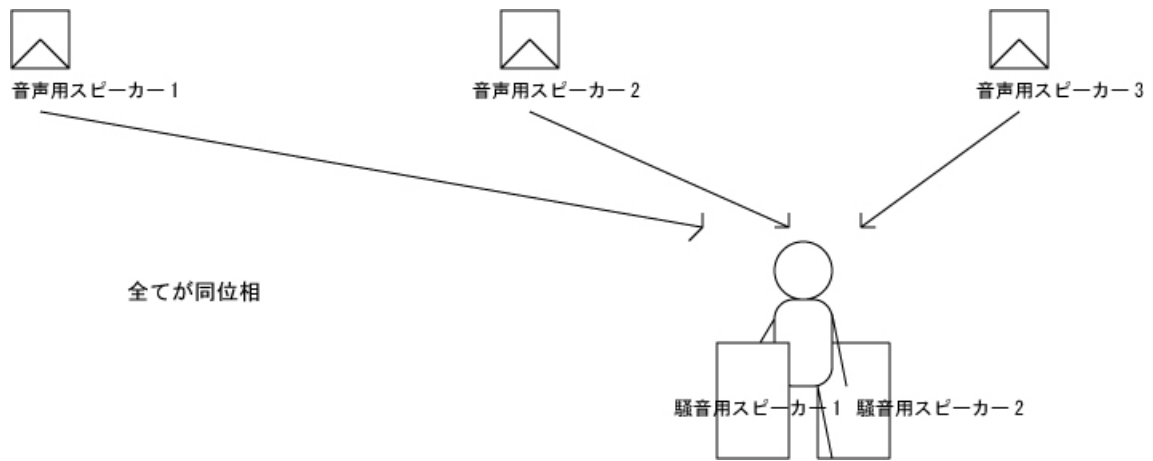


図 22 パターン e

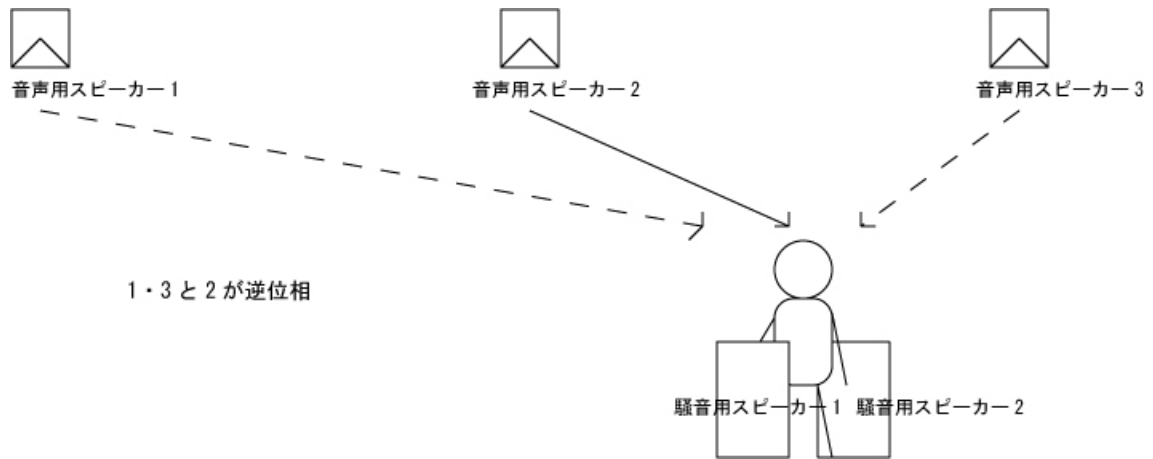


図 23 パターン f

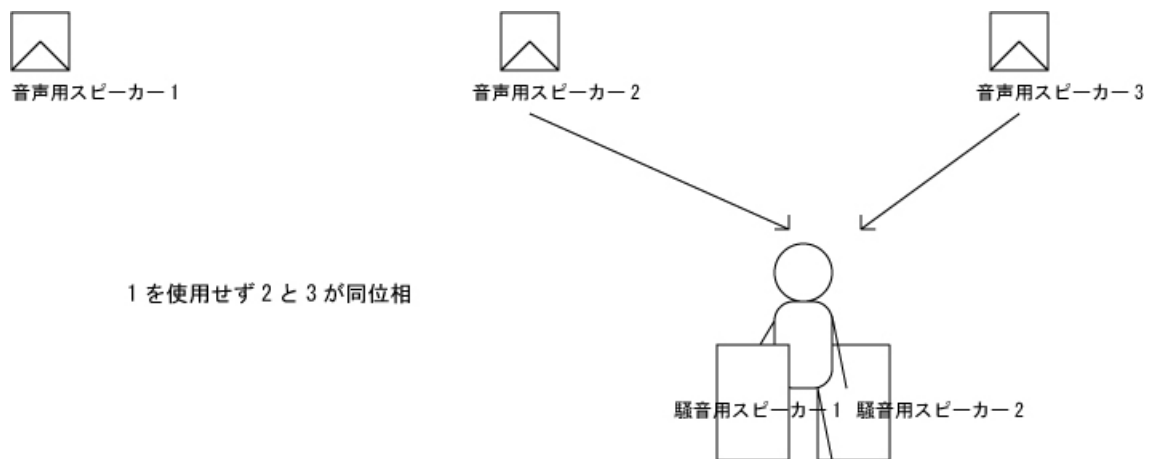


図 24 パターン g

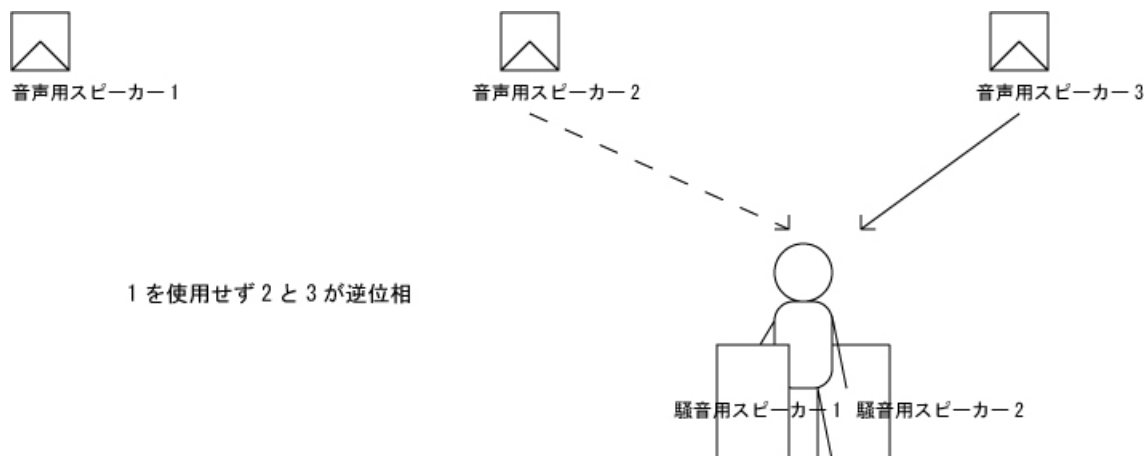


図 25 パターン h

・実験条件

親密度 7.0~5.5 の 4 モーラの単語を使用 (文献[2]より引用)

各パターンで 50 個の単語を 10 秒に一回ごとに流し、その単語を書きとらせる。またその時の聞こえにくさについても次の 4 段階で評価させる。(文献[3]より引用)

- 1 聴き取りにくくはない (not difficult)
- 2 やや聴き取りにくい (a little difficult)
- 3 かなり聴き取りにくい (fairly difficult)
- 4 非常に聴き取りにくい (extremely difficult)

これらにより「単語理解度 (正確に音声を書き取れている割合)」と「聴き取りにくさ (聴き取りにくさの評価 1 以外の割合)」の二点を評価し、両耳間マスキングレベル差を利用してアナウンスの検知能力の向上が図れるかどうかを検討する。

図 26 は実験の写真である。

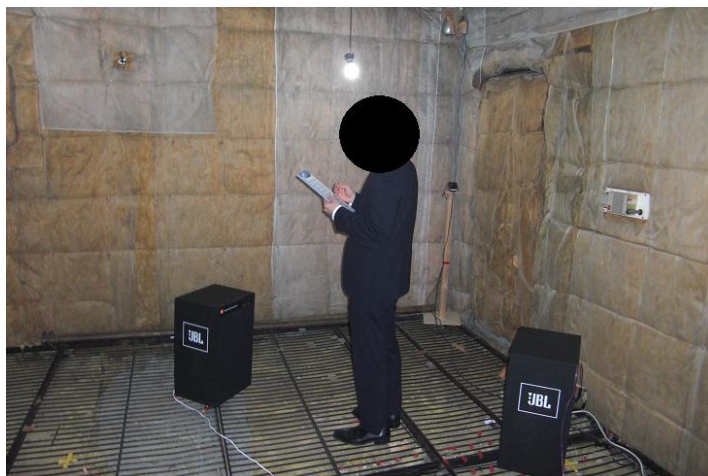


図 26 実験 3 写真

4.2 結果・考察

それぞれのパターンの聴き取りにくさ、及び単語了解度の平均値と 95%信頼区間を図 27, 28 に示す。

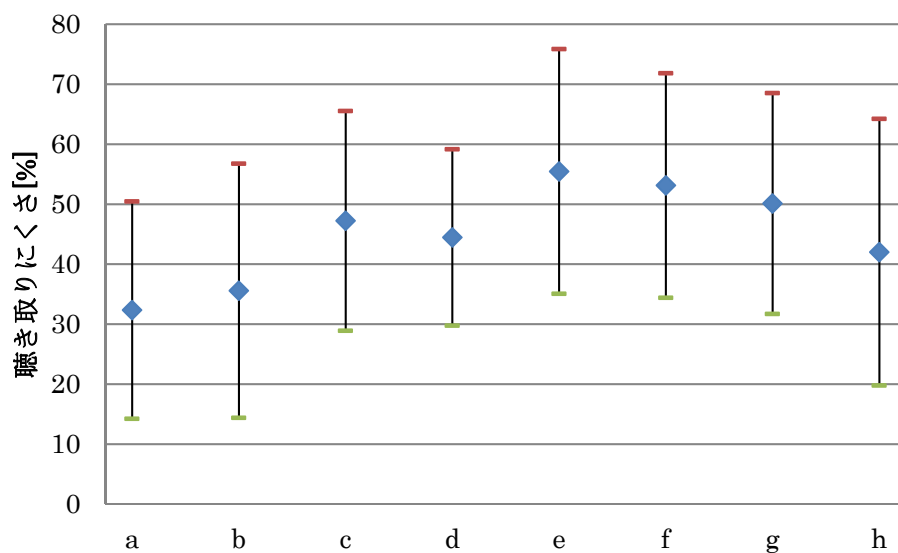


図 27 聴き取りにくさ

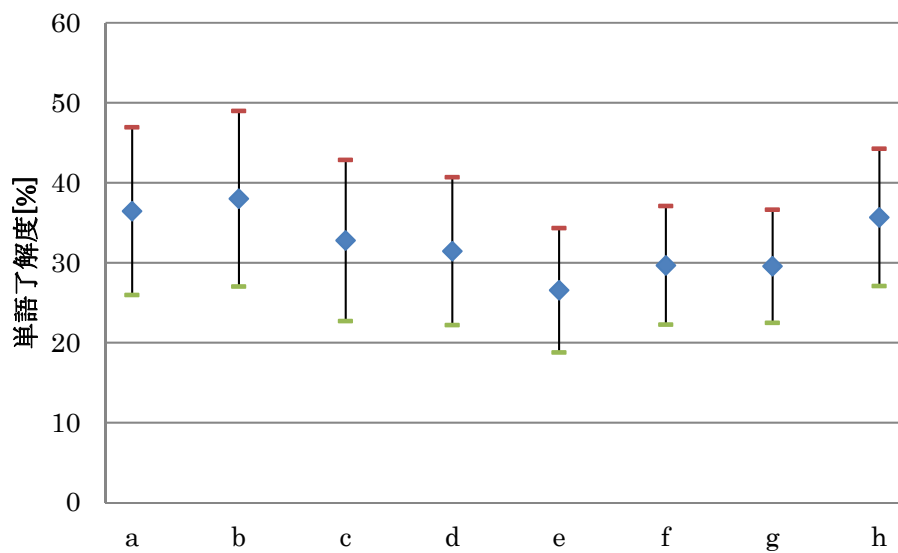


図 28 単語了解度

単語了解度では、e と f 及び g と h の組み合わせに対し有意水準 5% で有意な差が確認された。a と b 及び c と d の組み合わせについては有意な差はなかった。

聞き取りにくさでは、a と b, c と d, e と f, g と h の全ての組み合わせについて有意な差は認められなかった。

逆位相の音声が被験者の耳に届く場合、違和感を与えることがある。音声としては聞こえているが、この違和感のために聞き取りにくいと感じていると考えられたため上記のような結果になったと思われる。

5 まとめ

今回の実験では両耳間マスキングレベル差を利用した騒音環境下での検知能力の向上はある特定の場を除き期待できないという結果になった。しかし、実験 2 までの結果から検知能力の向上に両耳間マスキングレベル差を利用するという手法の可能性は残されていると思われる。更なる検討により、両耳間マスキングレベル差を有効に扱い、検知能力向上の効果を得ることが期待される。

参考文献

- [1]方向性の手掛かりを路用した雑音環境下での報知音の検知能力の向上, 内山 英昭他, 信学技法, SP2007-27, P19-24
- [2]親密度と音韻バランスを考慮した単語了解度試験用リストの構築, 坂本 修一他, 日本音響学会誌 54(12), P842-849, 1988
- [3]ユニバーサルデザインを考慮した音声伝送性能に関する研究, 佐藤 逸人, 神戸大学博士論

謝辞

研究を進めるにあたり、お忙しい中数々のご指導ご鞭撻を頂いた豊田政弘先生には熱く御礼申し上げます。

またご協力いただいた建築環境工学第一研究室の先輩や同期の皆様にも大変お世話になりました。心よりお礼申し上げます。