20030187

厚生労働科学研究研究費補助金

長寿総合研究事業

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発

(H-15 長寿-029)

平成 15 年度　総括研究報告書

主任研究者　川瀬　哲明

分担研究者　鈴木　陽一

平成 16 年(2004 年)3 月

目　次

Ⅰ. 総括研究報告書

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発・・・・・・・・・・1

川瀬哲明

Ⅱ、分担研究報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

鈴木陽一

Ⅲ、研究成果の刊行に関する一覧表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9

Ⅳ、研究成果の刊行物、別刷　(なし)

厚生労働科学研究費補助(長寿総合研究事業)
総括研究報告書

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発 (H-15長寿-029)

主任研究者　川瀬哲明
(東北大学医学部大学院医学系研究科耳鼻咽喉科学分野・助教授)

(研究要旨)　難聴耳における周波数選択性の劣化は、いわゆる上向性マスキングを容易に引き起こす要因となっており、言葉の聞き取り悪化の主因の1つであると考えられている。今回我々は、本現象に対する解決策として、新しい概念の両耳補聴様式の実用化へ向けた検討を行った。

その結果、低域にエネルギーが大きい信号がある条件下で、両耳分離聴の優位性が示されえること、また今後の両耳分離聴の補聴臨床への応用の為には、a)両耳分離聴の優位性が示される聴取条件の検討、b)それぞれの難聴症例における最適な分離補聴パラメータ（分離帯域数、分離周波数、分離帯域ごとの増幅量など）の検討が重要であることが示唆された。また、両耳分離補聴方式では、低周波数成分音と高周波数成分音を分けて左右耳に提示するため、左右耳の同一周波数成分音の信号差を利用する音像定位が正しく行えなくなる可能性があるが、両耳分離補聴方式が音像定位に与える影響を分析した結果、音の到来方向側の耳に低周波数成分の音を入力し、逆側の耳に高周波数成分の音を入力することで、音像定位も損なわずに音声の聴き取りを向上させることが出来ることが示された。

分担研究者　鈴木陽一
東北大学電気通信研究所
教授

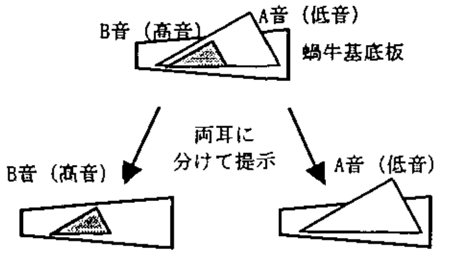
A. 研究目的

難聴耳ではさまざまな聴覚特性が劣化するが、その中でも周波数選択性の劣化（聴覚フィルターの鈍化）は、いわゆる上向性マスキング（複数の音を検知する場合、高周波数側の信号検知が低周波数側に存在音により遮蔽されやすい現象）を容易に引き起こす要因となっており、言葉の聞き取り悪化の主因の1つであると考えられている。本特性は、補聴の際にも大きな問題となり、従来の補聴の考え方では解決するのに限界があった。

そこで、今回我々は、本現象に対する解決策として、新しい概念の両耳補聴様式の開発と実用化へ向けた検討を行う。すなわち、マスキングしやすい低周波数側の情報とマスキングされやすい高周波数側の情報を左右別々の耳から提示することで(dichotic condition) 一側耳からのみの提示ではマスキングにより伝わらない音情報の伝達を図るという、まったく新しい補聴様式（dichotic hearing aid）を開発する。本補聴システムは、これまでの補聴器では補償し得なかった周波数選択性劣化に対する補償を両耳を用いて実現するものでこれまでにない効果が期待できる可能性がある。

図1には、本補聴方式の概念を示した。すなわち、エネルギーの大きい低周波数音に高周波

数の信号音がマスキングされる条件下の信号聴取では、両耳に高周波数域の情報と、低周波数域の信号を分離して提示することで情報伝達が改善されうるというものである。



上記の条件下では、両耳に分けて提示し両耳合成能を利用する方が情報伝達量が改善されうる

図１

本補聴器の開発、並びに実用化は、中等度以上の難聴者において言葉の聞き取り改善効果が期待され、高齢化社会の中で増加することが予想される聴覚障害者の積極的な社会参加の促進、QOL 改善、などに寄与するものと思われる。

B.　対象、研究方法

本年度は、1)両耳分離補聴方式の効果がもっとも顕著であると思われる条件下での本補聴様式の有効性、2)分離帯域周波数と効果、3)分離補聴の音像定位への影響がえられるかを健聴者並びに、数名の難聴患者を対象に検討した。2)、3)については、主に分担研究者の鈴木の担当で検討を行なった。

方法の概略を図２に示す。

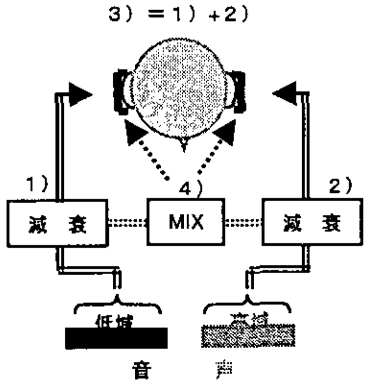


図２

図２に示すように、音声の高域成分と低域成分を分離し左右の耳に別々に提示した場合（両耳分離補聴方式（Dichotic condition）：図２、条件３））と高域成分と低域成分を合成して両耳に提示した場合（通常の Diotic condition：図２条件４））における語音明瞭度を比較した。

１）健聴者を対象とした両耳分離聴の有効性の検討

今回検討の両耳分離補聴方式では、とくに低域にエネルギーの大きな音が存在する時にその優位性が期待されるので、まず予備実験として、下記の２条件について、検討を行なった。

条件 A）：低域雑音下の言葉の聴取

1 kHz 狭帯域雑音提示下の語音了解度を dichotic condition（両耳分離補聴）と diotic condition で比較。分離周波数は雑音周波数の１オクターブ高周波数である 2 KHz とした。

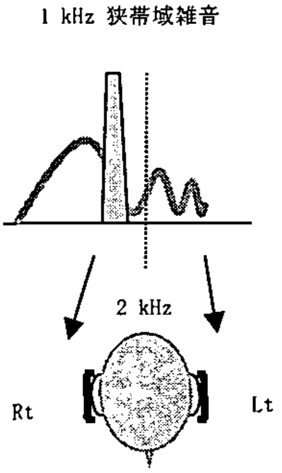


図３

条件 B）：低域優位増幅の影響

補聴臨床の現場では、周波数毎の増幅率を各難聴者の聴覚閾値の周波数特性に応じて調整しており、難聴型によっては低音部優位の増幅を設定する場合がある。

そこで低音優位増幅における分離補聴の効果を図４に示すように、音声を低周波数側と高周波数側に分離し、増幅量を調整することで相対的に低周波数優位の増幅条件を作成し、語音了解度に与える効果を dichotic condition（両耳分離補聴）と diotic condition

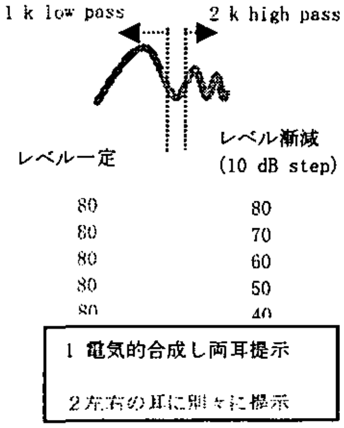


図４

で比較した。

その後、一部の難聴者を対象に、分離補聴の効果も予備的に検討した。

2）音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域の決定

様々な聴取環境における音声明瞭度を測定し、音声明瞭度改善に有効な分割周波数を決定した。聴取者は老人性難聴者 4 名である。/u/から始まる VCV 音を使用し、CV で提示される 67 音節（拗音を除く）の正答率から明瞭度を算出した。提示音圧は、聴取者ごとの MCL (Most Comfortable Level) とし、ノイズとして、擬似音声雑音、走行時の車室内ロードノイズを S/N で 0、4 dB で提示した。/u/のフォルマント周波数に着目し。左右耳の分割周波数を 800 Hz, 1.6 kHz と設定した。

3）両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響

2）で採用した分割周波数の両耳分離補聴方式を用い、音像定位実験を行った。聴取者は上記実験に参加した老人性難聴者 4 名である。日常生活文 3 種類の音声にダミーヘッドの頭部伝達関数を畳み込み、上記実験で採用した分割周波数による両耳分離補聴処理を行った。処理された音声を各聴取者に提示し、知覚した音声の方向を回答させた。提示音圧は、聴取者ごとの MCL とし、提示角度は、聴取者の左右 90°、左右 45°、正面の 5 種類である。

（倫理面への配慮）

今回実施の研究における諸検査は非侵襲的なものであったが、被検者には検査の目的や内容を文書を用いて十分説明し、同意を得た上で検査の実施を行った。また、結果の公表については、個人のプライバシーが侵されることがないようにした。

C. 結果

1）健聴耳における両耳効果

図 5 には、健聴耳を対象に右耳に 1 kHz low pass スピーチを単独で提示した場合(monotic)、左耳に 2 kHz high pass スピーチを単独で提示した場合(monotic)、両者を同時に提示した場合（dichotic）、両者を合成したものを両耳に提示した場合(diotic)の語音明瞭度を提示音圧に対する正答率として表した。

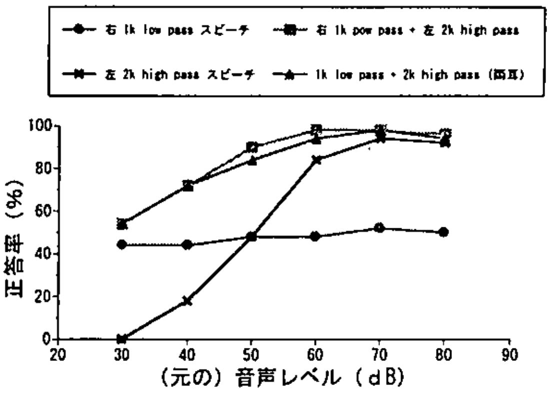


図 5

1 kHz low pass スピーチ、2 kHz high pass スピーチをそれぞれ単独で提示した場合に比べ、両者を同時に提示した場合（dichotic）には両耳合成効果が認められていることがわかるが、その正答率は、両者を合成し両耳に提示した場合(diotic)とほぼ同等であった。すなわち、両耳効果は明瞭であるが、両耳分離聴の優位性は認められない。

そこで、両耳分離補聴の優位性が期待される、低周波数域にエネルギーの大きな入力が存在する条件として、A)低域雑音下の言葉の聴取、B) 低域優位増幅の影響の条件下での両次分離補聴の優位性を検討した。

図 6 は、80 または 90 dB SPL 1 kHz 狭帯域雑音下に 80 dB の音声を聞く際の分離聴の効果を示した。

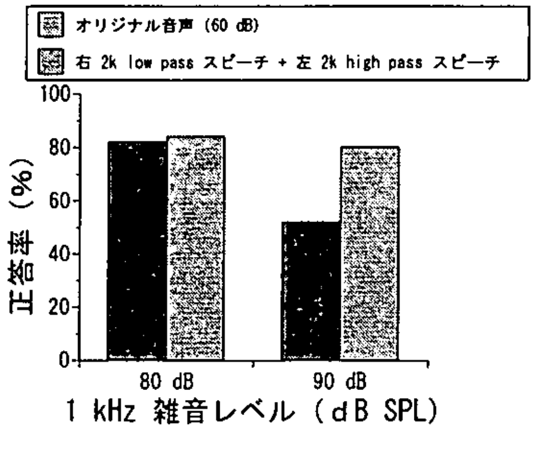


図 6

雑音レベルが 90 dB で、両耳分離聴で 25%以上の正答率の改善が認められ、その優位性が観察されている。

図7は 80dB の語音を 1 kHz 以下の成分と 2 kHz 以上の成分の2帯域に分離し、高域の提示レベルを次第に低下させていった際の正答率

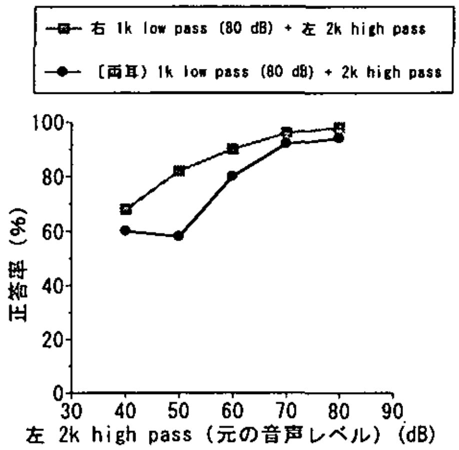


図7

示したものである。高周波数域成分のレベルが下がるに従い、すなわち相対的に低域成分が増大するにともない、両耳分離聴の効果（図中■）が大きくなっていることがわかる。

一方、図8は実際の難聴患者に認められた分

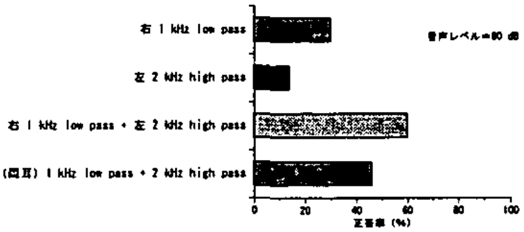


図8

離聴の優位性を示す。語音を 1 kHz 以下の成分と 2kHz 以上の成分の2帯域に分離しdichoticに提示した場合（両耳分離聴）のほうがわずかであるが両成分を合成し両耳に提示した場合に比べ正答率が高い。今回行なったすべての難聴患者で、必ずしも同様の傾向が認められたわけではないが、両耳分離聴の補聴臨床への応用の可能性を示唆するものであると思われた。

2) 音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域

聴取者4名の明瞭度試験の平均を図9に示す。S/N が高い条件で、分割周波数 800 Hz（Dichotic0.8）での明瞭度が、他の条件の明瞭度に比べ上昇していることが分かる．特に静寂時では，他の全ての条件での明瞭度に比べ、10%以上上昇している。一方，分割周波数 1.6 kHz（Dichotic1.6）では、両耳に同じ信号を入力した条件（Diotic）や、両耳に同じ信号を入力し，かつ，片耳入力の信号とラウドネスもあわせた条件（Diotic-6dB）に比べてもそれほど明瞭度が上昇していない。

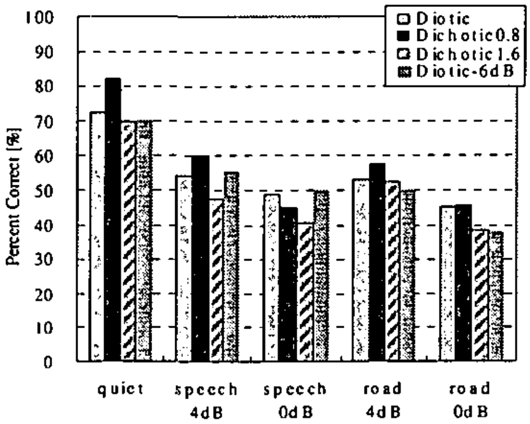


図9

3) 両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響

分割周波数 800 Hz とし、左耳に 0〜800 Hz の音成分、右耳に 800 Hz 以上の音成分を提示した条件において，ある聴取者の音像定位実験結果を図 10 に示す。横軸が提示した音像の位置，縦軸が回答した音像の位置である。正面を 0° とし，右を正，左を負とした。また、円の面積は聴取者の回答数を表している。

この図から，低周波数成分を提示した耳側（この図では左耳側）に音像を提示した場合は、聴取者の回答が提示した音像方向に比較的近いのに比べ、高周波数成分を提示した耳側（この図では右耳側）に音像を提示した場合は、聴取者の回答は低周波数成分を提示した側に引きずられていることが分かる。更に、正面方向に音像を提示した場合も音像が左に偏って知覚されている。

なお、今回の実験では、低周波数成分提示耳と高周波数成分提示耳を左右入れ替えた条件でも同様の音像提示実験を行っており、得られた結果も、ここで図示した実験結果とほぼ同様であった。

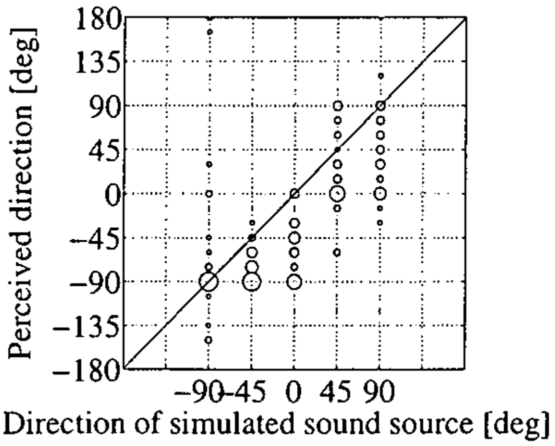


図 10

D. 考察

今回の研究では、両耳分離聴による dichotic condition での音声提示が、diotic condition に比べて、言葉の了解度が改善しえる場合があることが示された。健聴人の場合、背景雑音がない条件下ではその優位性は示されないものの、低域にエネルギーが大きい信号がある条件下では（今回は低域雑音下の音声聴取、並びに相対的低域優位音声聴取）、明らかに両耳分離聴の優位性が示されえる条件があることが示された。

一方、音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域関する検討では、S/N が高い条件で、分割周波数 800 Hz（Dichotic0.8）での明瞭度が、他の条件の明瞭度に比べ上昇していた。800 Hz を分割周波数に設定した場合は，/u/の第 1 フォルマントによってマスクされる高周波数成分音を聴き取ることが可能となったため、明瞭度が上昇したと考えられた。このことは、先行する音声の情報を考慮して分割周波数帯域を決定すれば、両耳分離補聴方式が音声明瞭度の向上に有効となることを示唆しているものと思われる。

一方、音像定位実験から、低周波数成分を入力した耳側では，提示した音声の方向がある程度正しく知覚されるという結果が得られた。このことから，マイクロホンアレイ技術などの手段で音源の方向を事前に取得することが出来れば、その音源の方向側の耳に低周波数成分音を提示するように両耳分離補聴の周波数帯域を動的に決定することで，音声明瞭度だけでなく、音像定位もある程度正しく行える両耳分離補聴方式が構築可能であることが示唆される。

E. 結論

①正常人並びに、一部予備的に難聴者を対象に、両耳分聴の優位性の検討を行なった。

②正常人を対象とした検討では、通常の音声聴取条件下（背景雑音なし）では、その優位性は認められなかったが、低域にエネルギーが大きい信号がある条件下では（今回は低域雑音下の音声聴取、並びに相対的低域優位音声聴取）、明らかに両耳分離聴の優位性が示されえる条件があることが示された。

③明瞭度試験結果から、左右耳への音信号の分割周波数帯域を適切に設定することで，両耳に同じ信号を入力する場合に比べ，特に S/N の高い条件において，音声明瞭度の改善に両耳分離補聴方式が有効であることが示された。

④音像定位実験から、音像方向に応じて左右耳での提示周波数帯域を変更することで、音像定位もある程度正しく行うことが出来る可能性が示された。

E. 健康危険情報

特になし

F. 研究発表(学会発表)

村瀬他，“先行母音のマスキングに着目した両耳分離補聴とその効果”，音講論，pp. 401-402, 2004

中島他，“両耳分離補聴時の帯域分割周波数の違いが音像定位に与える影響”，音講論，pp. 403-404, 2004

G. 知的財産権の出願、登録状況

特になし

厚生労働科学研究費補助金（ 長寿科学総合 研究事業 ）

分担研究報告書

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発

分担研究者 鈴木 陽一 東北大学電気通信研究所・教授

研究要旨

両耳分離補聴方式では，低周波数成分音と高周波数成分音を分けて左右耳に提示するため，左右耳の同一周波数成分音の信号差を利用する音像定位が正しく行えなくなる恐れがある．そこで，本研究では，上向性マスキングの影響を減少させるという両耳分離補聴方式の利点をそのままに，音像定位も正しく行われるような周波数分割方式の提案を目指す．様々な周波数分割方式を用いて音像定位実験を行い，両耳分離補聴方式が音像定位に与える影響を分析した結果，音の到来方向側の耳に低周波数成分の音を入力し，逆側の耳に高周波数成分の音を入力することで，音像定位も損なわずに音声の聴き取りを向上させることが出来ることを示した．

A. 研究目的

高齢化社会の急速な進展に伴い，老人性難聴に対する対応が重要な課題となっている．過去，様々な補聴処理方式が提案され，難聴者の聴力低下をある程度補うことが可能となってきた．しかし，難聴の形態は個人ごとに大きく異なることもあり，未だ最適な補聴方式が確立されてはいない．

本研究グループでは，上向性マスキングの影響を減少させることを目的として，低周波数成分と高周波数成分を左右耳に分けて提示する両耳分離補聴方式を提案している．この方法では，特に子音の聴き取りなどに重要となる高周波数成分を，低周波数成分にマスクされずに聴取することが出来るため，音声の聴き取りの向上が見込まれる．しかしこの方式では，両耳に入力される音の周波数成分が異なるため，同一周波数成分音の両耳間信号差を利用する音像定位に悪影響を及ぼす可能性がある．高齢者に対する QoL 向上が叫ばれている現在では，単に音声の聴き取り向上だけでなく，実際の音環境を精度良く聴取者に提示出来るかといった点も重要であると考える．

そこで本研究では，両耳分離補聴方式が音像定位に与える影響を詳細に分析する．左右耳での周波数分割帯域を様々に変更し，それぞれにおける音像定位能力を測定することで，音声の聴き取りの改善がなされるだけでなく，正しい音像定位も実現可能な両耳分離補聴方式を提案する．

B. 研究方法

B.1. 音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域の決定

様々な聴取環境における音声明瞭度を測定し，音声明瞭度改善に有効な分割周波数を決定した．聴取者は老人性難聴者 4 名である．/u/から始まる VCV 音を使用し，CV で提示される 67 音節（拗音を除く）の正答率から明瞭度を算出した．提示音圧は，聴取者ごとの MCL（Most Comfortable Level）とし，ノイズとして，擬似音声雑音，走行時の車室内ロードノイズを S/N で 0, 4 dB で提示した．/u/のフォルマント周波数に着目し，左右耳の分割周波数を 800 Hz，1.6 kHz と設定した．

B.2. 両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響

B.1.で採用した分割周波数の両耳分離補聴方式を用い，音像定位実験を行う．聴取者は上記実験に参加した老人性難聴者 4 名である．日常生活文 3 種類の音声にダミーヘッドの頭部伝達関数を畳み込み，上記実験で採用した分割周波数による両耳分離補聴処理を行う．処理された音声を各聴取者に提示し，知覚した音声の方向を回答させた．提示音圧は，聴取者ごとの MCL とし，提示角度は，聴取者の左右 90°，左右 45°，正面の 5 種類である．

（倫理面への配慮）

今回の実験を行う際には，ヘルシンキ宣言の精神にのっとり，インフォームドコンセントに関する規定及びプライバシーの保護に関する規定を遵守して実験計画を作成し，実験を行った．具体的には，各聴取者に対し，実験の意義，プライバシーの保護について十分に説明し，主旨に同意した旨を同意書に記載し，実験を行った．また，得

られた実験データについては，各聴取者の個人情報が外部に公表されないように十分に配慮した．

C. 研究結果

C.1. 音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域

聴取者 4 名の明瞭度試験の平均を図 1 に示す．S/N が高い条件で，分割周波数 800 Hz（Dichotic0.8）での明瞭度が，他の条件の明瞭度に比べ上昇していることが分かる．特に静寂時では，他の全ての条件での明瞭度に比べ，10%以上上昇している．一方，分割周波数 1.6 kHz（Dichotic1.6）では，両耳に同じ信号を入力した条件（Diotic）や，両耳に同じ信号を入力し，かつ，片耳入力の信号とラウドネスもあわせた条件（Diotic-6dB）に比べてもそれほど明瞭度が上昇していない．

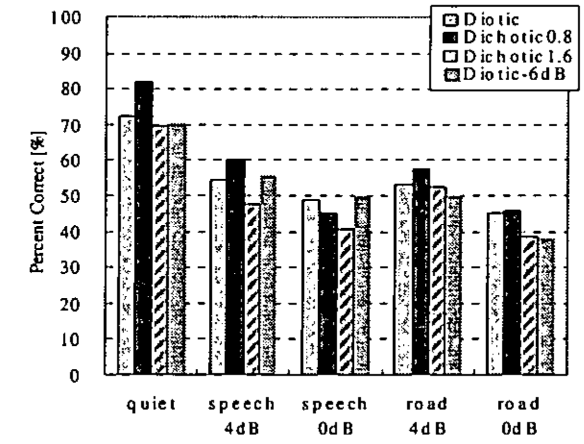


図 1 明瞭度試験結果

C.2. 両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響

分割周波数 800 Hz とし，左耳に 0〜800 Hz の音成分，右耳に 800 Hz 以上の音成分を提示した条件において，ある聴取者の音像定位実験結果を図 2 に示す．横軸が提示した音像の位置，縦軸が回答した音像の位置である．正面を 0° とし，右を正，左を負とした．また，円の面積は聴取者の回答数を表している．

この図から，低周波数成分を提示した耳側（この図では左耳側）に音像を提示した場合は，聴取者の回答が提示した音像方向に比較的近いのに比べ，高周波数成分を提示した耳側（この図では右耳側）に音像を提示した場合は，聴取者の回答は低周波数成分を提示した側に引きずられていることが分かる．更に，正面方向に音像を提示した場合も音像が左に偏って知覚されている．

なお，今回の実験では，低周波数成分提示耳と高周波数成分提示耳を左右入れ替えた条件でも同様の音像提示実験を行っており，得られた結果も，ここで図示した実験結果とほぼ同様であった．

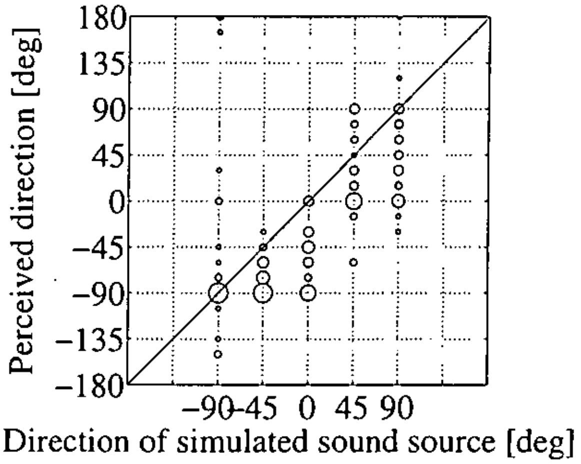


図 2 音像定位実験結果

D. 考察

今回明瞭度試験に用いた試験音声は全て/u/から始まる音声である．したがって，800 Hz を分割周波数に設定した場合は，/u/の第 1 フォルマントによってマスクされる高周波数成分音を聴き取ることが可能となったため，明瞭度が上昇したと考えられる．このことは，先行する音声の情報を考慮して分割周波数帯域を決定すれば，両耳分離補聴方式が音声明瞭度の向上に有効となることを示唆している．

一方，音像定位実験から，低周波数成分を入力した耳側では，提示した音声の方向がある程度正しく知覚されるという結果が得られた．このことから，マイクロホンアレイ技術などの手段で音源の方向を事前に取得することが出来れば，その音源の方向側の耳に低周波数成分音を提示するように両耳分離補聴の周波数帯域を動的に決定することで，音声明瞭度だけでなく，音像定位もある程度正しく行える両耳分離補聴方式が構築可能であることが示唆される．

E. 結論

本研究では，両耳分離補聴方式が音声明瞭度に与える影響を，明瞭度試験によって分析するとともに，音声明瞭度の改善が見込まれる条件での音像定位実験により，両耳分離補聴方式が音像定位に与える影響を詳細に分析した．

明瞭度試験結果から，左右耳への音信号の分割周波数帯域を適切に設定することで，両耳に同じ信号を入力する場合に比べ，特に S/N の高い条件において，音声明瞭度の改善に両耳分離補聴方式が有効であることが示された．

また，音像定位実験から，音像方向に応じて左右耳での提示周波数帯域を変更することで，音像定位もある程度正しく行うことが出来る可能性が示された.

F. 健康危険情報

なし.

G. 研究発表

1. 論文発表

なし.

2. 学会発表

- 村瀬他,“先行母音のマスキングに着目した両耳分離補聴とその効果”，音講論，pp.401-402，2004
- 中島他,“両耳分離補聴時の帯域分割周波数の違いが音像定位に与える影響”，音講論，pp.403-404，2004

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし.

2. 実用新案登録

なし.

3. その他

なし.

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍　なし

雑誌　なし

（参考）

学会発表

○村瀬他，“先行母音のマスキングに着目した両耳分離補聴とその効果”，音講論，pp. 401-402, 2004

○中島他，“両耳分離補聴時の帯域分割周波数の違いが音像定位に与える影響”，音講論，pp. 403-404，2004