

2004002/P6 A

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

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 16 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 川瀬 哲明

分担研究者 鈴木 陽一

平成 17 年 (2005 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	12
鈴木陽一	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	18
IV. 研究成果の刊行物、別刷	19

厚生労働科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業)

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方式の実用化へ向けた検討を行った。

本年度は、2 年計画の 2 年目で、補聴方式の実用化を念頭に、本補聴方式が有効な条件や効果発現の要因解明、音像定位劣化改善の方策、視覚情報の相補作用について検討した。その結果、①先行母音の第 1 ホルメントと第 2 ホルメント間の周波数を分割周波数として低域成分と高域成分の 2 帯域に分割した場合に、両耳分離補聴の補聴効果が大きくなること、②両耳間時間差を適切に設定することで、正面方向の音像の知覚が改善し、かつ、音像定位に悪影響を及ぼさない両耳分離補聴方式が実現可能であること、③両耳分離補聴は、内耳基底板上での興奮パターン広がりによるマスキングを軽減させていることが示唆され、外有毛細胞障害が主因の難聴で効果が期待しやすいこと、④視覚情報、すなわち発話顔面像を聴覚刺激と同時に提示することで、言葉の聞き取りのみならず、正面定位や分離補聴による違和感の軽減にも効果ありえること、が明らかとなった。

今回の研究で得られた上記特性を周囲環境に応じて可変的に実行する補聴器ハードウェアの開発も視野に継続研究を行なう必要があるものと考えられた。

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方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改善を図るという、まったく新しい補聴方式(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。

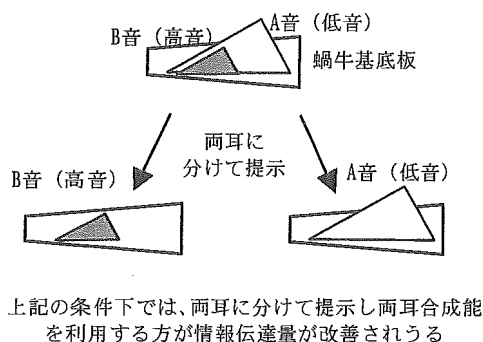


図1

本年度は、昨年度の研究結果を踏まえて、補聴方式の実用化を念頭に、本補聴方式が有効な条件や効果発現の要因解明、音像定位劣化改善の方策、視覚情報の相補作用について検討するとともに、2年間の研究を総括し、今後の課題を考察する。

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、昨年度の研究結果をふまえて、以下の4つの検討を主に行い、両耳分離補聴の臨床応用を総括した。

1) 両耳分離補聴方式における先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法：

昨年度は、/u/を先行母音とするVCV音節を用いて両耳分離補聴の有効性を確認した。本年度は、両耳分離補聴の有効性を更に確認するために、先行母音の異なるVCV音節を用いて、分割周波数の変化が明瞭度に与える影響について検討を行った。

刺激は3種類の先行母音/a/、/i/、/u/からそれ

ぞれ始まり、後続子音が拗音を除く67音節のVCV音を用いた。両耳分離補聴処理条件(Dichotic)では、VCV音を高域通過フィルタ(HPF)、低域通過フィルタ(LPF)により、2帯域に分割した。分割周波数条件は日本語母音のホルマント周波数F1、F2の分布を参考に、主にF2の周波数付近の6種類を設定した。設定した分割パターンを、表1に示す。

表1 分割周波数パターン

パターン	左耳	右耳	遮断周波数 [kHz]
Diotic	APF	APF	-
Diotic-6dB	APF	APF	-
Dichotic0.8	LPF	HPF	0.8
Dichotic1.0	LPF	HPF	1.0
Dichotic1.2	LPF	HPF	1.2
Dichotic1.6	LPF	HPF	1.6
Dichotic2.0	LPF	HPF	2.0
Dichotic2.4	LPF	HPF	2.4

通常の両耳受聴条件(Diotic)では前記HPFおよびLPFの代わりに全域通過フィルタ(APF)を用いた。また、ラウドネスの加算効果を考慮し、刺激音のラウドネスを両耳分離補聴条件とほぼ等しくすることを目的とし、レベルを6dB小さくしたパターン(Diotic-6dB)も加えている。刺激の提示音圧は聴取者ごとのMCL (Most Comfortable Level) とした。

2) 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度の向上：両耳分離補聴により明瞭度が向上する可能性がある一方で、正面方向への音像定位が困難になる傾向があった(昨年度の研究結果)。音像定位感を調整する方法として、時間と強さの交換作用(time-intensity trading)が知られているが、本作用を利用した音像定位補正の可能性、並びに、明瞭度への影響について検討した。

時間と強さの交換作用を利用するため、1.6 kHz以下の低域成分を両耳に入力した。その際、

明瞭度を低下させない範囲で、高域成分入力側に低域成分を入力する必要があったが、予備的な検討に基づき、低域成分減衰量 15 dB を両耳分離聴条件として設定し、正面方向音源から左右耳への入力信号に両耳間時間差 (ITD : Interaural Time Difference) を付与、正面方向からの音信号の音像定位を検討した。

両耳間時間差を -1ms ~ 1ms の範囲で $1/4\text{ms}$ 刻みに変化させた 9 条件および、より詳細な両耳間時間差として $-3/8\text{ms}$ ~ $3/8\text{ms}$ までを $1/16\text{ms}$ もしくは $1/8\text{ms}$ の間隔で変化させた 8 条件、合わせて 17 条件について検討を行なった。

3) 両耳分離補の効果に与える、被験者 (難聴者) の聴覚特性の影響

両耳分離補聴効果に影響すると思われる、順向性マスキング量および聴覚フィルタの帯域幅の 2 種類の聴力特性に着目し、両耳分離補聴効果とそれぞれの聴力特性との関係について検討を行った。

①両耳分離補聴による語音明瞭度の検討

対象は 22 歳 ~ 70 歳の男女 9 名 (4 分法による平均聴力レベル $8.8 \sim 80.0\text{dB HL}$)。8 名は難聴者 (Listener 1 ~ 8) であるが、残り 1 名 (Listener 9) は平均聴力レベルでは正常と判断されたものの、4、8 kHz で聴力低下が見られたため参加者に加えた。

刺激音声は、発話訓練のある女性 1 名が発声した母音/u/+67 単音節である。この音声を、母音/u/の第 1 ホルマントと第 2 ホルマントの間となる 0.8 kHz で低域成分と高域成分の 2 帯域に分割し、左右耳に分けて提示した (以下、Dichotic0.8 条件)。

刺激音は TDT System III を経由し、防音室内にいる聴取者にヘッドホン (Sennheiser HDA-200) により提示された。音声の提示レベルは MCL (Most Comfortable Level) である。MCL は防音室内で聴取者の両耳に Diotic 条件 (分割処理を行っていないもの) の刺激音声を提示し決定した。

ここで Dichotic0.8 条件におけるラウドネスの両耳加算を考えると、Diotic 条件よりも 6 dB

小さく知覚されることが予測されることから、提示レベルを 6 dB 小さくした条件 (以下、Diotic -6dB 条件) も設けた。

聴取者には聴き取った音声をそのまま回答用紙に記入するよう指示した。

②両耳分離補聴効果と順向性マスキング

対象は明瞭度試験に参加した Listener 1 ~ 6、8、9 の計 8 名 (51 ~ 70 歳)。

提示刺激は、信号音が 1 kHz、2 kHz 純音 (トーンバースト)、マスキャーが白色雑音を低域通過フィルタに通した低域通過雑音 (Low pass noise) である。フィルタの遮断周波数は、明瞭度試験と同様の 0.8 kHz とした。

以下、各条件の呼称はマスキャーと信号音の組み合わせから Fc0.8-1k、Fc0.8-2k とする。マスキャーと信号音の提示時間はそれぞれ 400 ms、50 ms である。

マスキャーの終わりから信号音の始まりまでの時間間隔 (以下、信号遅延) は 5、20、80 ms とした。刺激音の提示方法は①と同様。

測定耳は、明瞭度試験の Dichotic0.8 条件において高域成分を提示した側とした。測定は変形上下法、二肢強制選択で行った。

③両耳分離補聴効果と聴覚フィルタ幅との関係

対象は、明瞭度試験に参加した Listener 1、2、7 ~ 9 の 5 名 (22 ~ 70 歳) である。

提示刺激は、マスキャーにノッチ雑音、プローブ信号に 0.5、1、2 kHz 純音 (f_c) を用いた。ノッチ雑音は、白色雑音にタップ長 8192 の FIR フィルタを用いて作成、プローブ信号の提示時間は 400 ms とした。測定は聴覚フィルタ簡易測定法で行い、最小可聴値 T に 10 dB を加えた $T+10$ [dB] のプローブ信号を知覚するまでに要するノッチ幅 g を測定した。刺激音は、TDT System II および III を経由してヘッドホンにより防音室内の聴取者に提示した。

4) 視覚情報による相補効果の可能性に関する検討

難聴者の言葉の聞き取りに視覚情報は欠かせない。読唇効果の特徴の解析を通し、本補聴方法との相互作用を考察した。

①VCV 音節における読唇効果の検討

対象は、健聴者 10 名（男性 8 名、女性 2 名）、難聴者 6 名（男性 4 名、女性 2 名）。提示刺激として、日本語単音節 100 音と、日本語単音節 100 音節に/a/、/i/、/u/が先行母音としてそれぞれ付加した無意味 VCV 音 300 音（以下、それぞれ/a/CV、/i/CV、/u/CVとする）を使用した。

映像、音声の収録は無響室内で行い、映像編集システムを用いて、各音節の継続時間、レベルが等しくなるようにした。

②市販の補聴器を用いた両耳分離補聴装用感、音像定位感の検討

両耳分離補聴の音声聴取感想としては、「自然さ」にやや問題があったり、ヘッドフォン下の検査では、音像定位が低周波数域側に偏る傾向があった。

理想的な、分離補聴の実用化には新たなハードウェアが必要であるが、簡易的に市販のデジタル補聴器を用いて高域優位、低域優位の擬似両耳分離増幅を作成し、聴取時の違和感、音像定位などに関する主観的な効果を、上記①で使用した刺激を使用して検討した。

（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) 両耳分離補聴方式における先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法：

聴取者ごとの明瞭度試験結果を図 2、図 3 に示す。先行母音/a/では、両聴取者において分割周波数を 1.0 kHz にした場合に最も明瞭度が向上し、分割周波数 2.0 kHz の場合に最も明瞭度が低下することがわかる。次に、先行母音/i/では、聴取者 L1 では分割周波数 0.8、1.0 kHz で明瞭度が向上する一方、聴取者 L2 では分割周波数の違いによる明瞭度変化はみられない。先行母音/u/では、分割周波数 0.8 kHz で明瞭度向上効果が最も高い。

ここで、母音のホルマント分布と照らし合わせて、本実験結果について考察すると、母音/a/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.9~1.2 kHz 付近、F2 が 1.2~1.8 kHz となっており、F2 の下限以下で、かつ、F1 の分布付近である 1.0 kHz で分割することで、F1 による F2 以上の高域成分へのマスキングが低減されたと考えられる。

また同様に、母音/u/のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.5 kHz、F2 が 0.8~1.6 kHz となっており、分割周波数が F1 と F2 の間となる 0.8 kHz の場合に、F1 による F2 以上の高域成分へのマスキングが低減され、明瞭度が最も向上したと考えられる。

一方、母音/i/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.4 kHz、F2 が 2.4~3.2 kHz となっており、F1 と F2 の分布ははっきり分かれている。そのため、もともと F1 による F2 以上の高域へのマスキング効果が他の先行母音の場合に比べて小さく、分割周波数を F1 と F2 の間で変化させても明瞭度にはっきりした影響が現れなかったものと思われる。

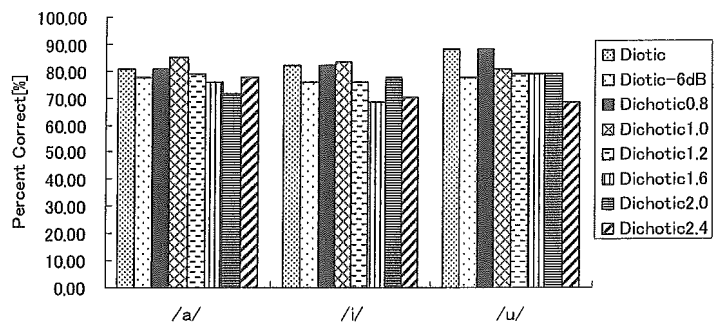


図 2 聴取者 L1 の明瞭度試験結果

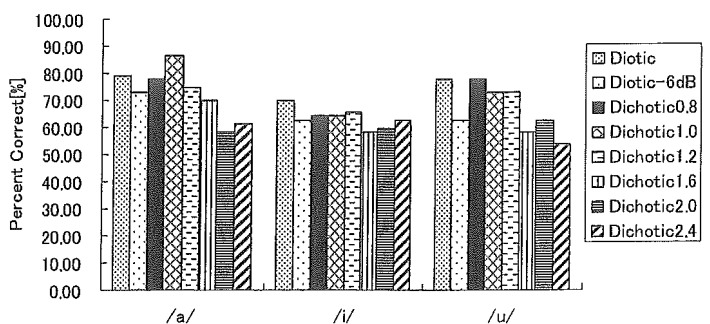


図 3 聴取者 L2 の明瞭度試験結果

2) 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度の向上

両耳間時間差と定位角度の関係の結果を図4、図5に示す。

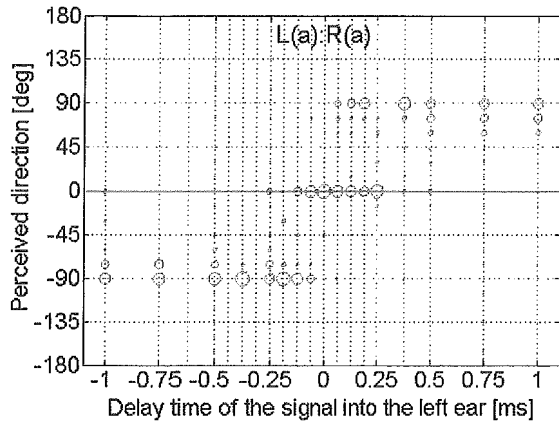


図4 両耳間時間差と定位角度 (非分離聴条件)

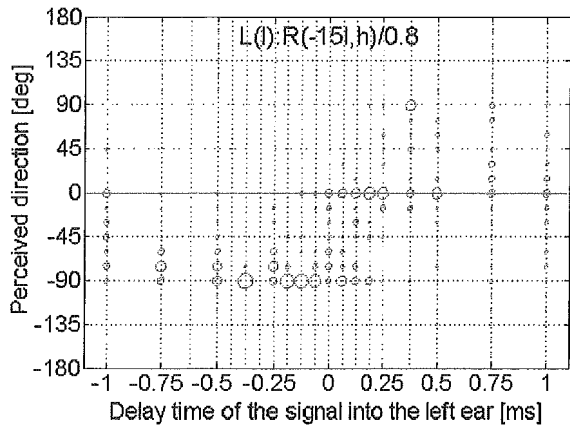


図5 両耳間時間差と定位精度 (両耳分離補聴条件)

図4は、提示音声に分離補聴処理を行わず、両耳に時間差を加えて提示した場合、図5は、同じ被験者で両耳分離補聴処理を加えて時間差提示を行なった場合である。左耳に低周波数帯域成分を、右耳には高周波数帯域成分に低周波数低域成分減衰量 15 dB で加えたものを提示している。

両耳間時間差の変化に伴い、音像の知覚角度が変化していることが観察できる。図4、5の正中音像 (0 度) に対する定位を比較すると、両耳分離補聴条件では、両耳間時間差がない場合、左右耳の入力信号レベルのバランスが偏ることで、音像が低域側 (左側) に知覚されているが、左入力信号の遅延を 0.25 ms 程度に設定すると正面方向に定位するようになることがわかる。また、両耳間時間差が大きくなると、

回答のばらつきが増しているが、これは、一つの音像に感じなくなるなど、音像が分離して知覚されている可能性も考えられる。

3) 両耳分離補の効果に与える、被験者 (難聴者) の聴覚特性の影響

①両耳分離補聴による語音明瞭度

本項目に参加した被験者 (難聴者) の明瞭度試験結果を図6に示す。図の横軸は聴取者、縦軸は正答率である。

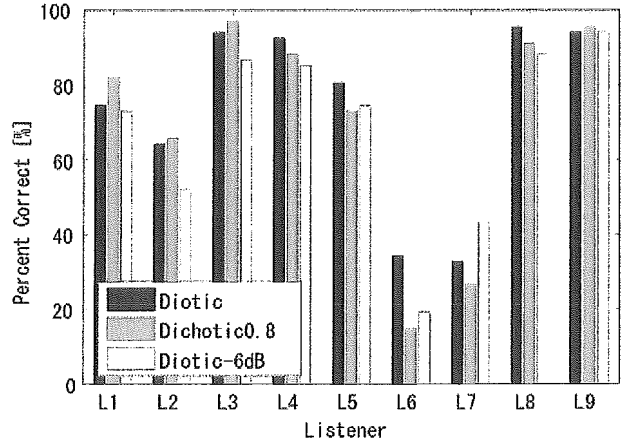


図6 被験者ごとの明瞭度試験の結果

②両耳分離補聴効果と順向性マスクング

図7に被験者ごとの信号遅延とマスクング量の関係を示す。

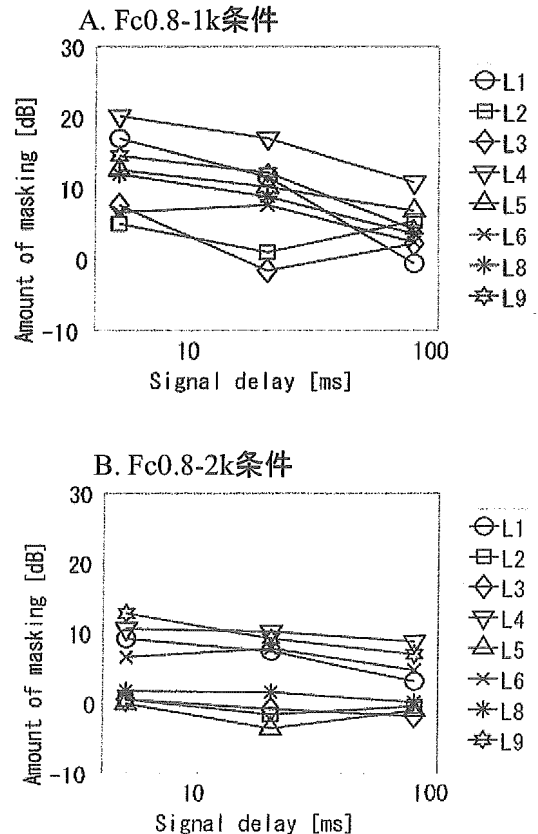


図7 信号遅延とマスクング量の関係

横軸は masker 提示終了後信号音が提示されるまでの delay 時間で、縦軸はマスキング量、すなわち信号音に対する閾値上昇効果である。masker が 800Hz Low pass noise であり、マスキング効果は、Fc0.8-1k 条件で大きくなっている。また、delay 時間の延長と共に、マスキング量は減少するが、その関係は Fc0.8-1k 条件でより顕著である。

ここで、両耳分離補聴による明瞭度の変化量 (Dichotic0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差) と順向性マスキング量との相関を検討したが、Fc0.8-1k 条件の信号遅延 80 ms においてのみ相関が認められた ($r = -0.674$, $p < 0.05$)。

次に、マスキング量の時間的変化が大きい Fc0.8-1k 条件に着目し、時間変化に伴うマスキング量の変化率と明瞭度の変化量との相関係数を算出した。マスキング量の変化率は、最小 2 乗法による近似直線の傾きとした。

被験者ごとの近似直線の傾きを表 2 に示す。

聴取者	傾き [dB/ms]	決定係数 R^2
Listener 1	-0.226	0.987
Listener 2	0.025	0.163
Listener 3	-0.033	0.082
Listener 4	-0.119	0.977
Listener 5	-0.071	0.946
Listener 6	-0.065	0.868
Listener 8	-0.105	0.962
Listener 9	-0.137	0.999

表 2 最小 2 乗法による近似直線の傾きと決定係数

その結果、全症例を対象に、マスキング量の時間変化率と明瞭度の変化量との相関は認められなかったが ($r = -0.301$, $p > 0.05$)、聴取者 8 名のうち masker の周波数領域 (0.8 kHz 以下) の聴力損失が他の聴取者に比べ大きく、マスキング量が少なく表れた可能性がある Listener 2, 3, 6 (左右耳, 125~500 Hz において Listener 2: 45~50, Listener 3: 55~60, Listener 6: 40~60 dB HL, Listener 1, 4, 5, 8, 9: 10~30 dB HL) の 3 名を除く 5 名分のデータから再度相関係数を算出すると、強い相関が認められた ($r = -0.968$, $p < 0.01$)。

これは、時間の経過とともにマスキング量が急激に減少する難聴者ほど、両耳分離補聴効果が得られることを意味している。

一般に、信号遅延がおよそ 20 ms 以下では、蝸牛応答の時間的な重なりがマスキングの主要な要因と考えられている。一方、信号遅延が 80 ms になってもマスキング量が多く見られる場合、蝸牛より中枢側の聴神経など後迷路における活動の残存など、蝸牛基板以外の部位におけるマスキングメカニズムの関与が大きいことが推察される。

したがって、マスキング量が急激に減少する、あるいは遅延時間 80 ms におけるマスキング量が少ない難聴者ほど両耳分離補聴効果が得られるという今回の結果は、蝸牛基板以外における神経活動が残っていないほど、すなわち外有毛細胞を中心とした内耳性難聴で、後迷路障害が軽微な症例ほど補聴効果が得られる可能性が考えられる。

③両耳分離補聴効果と聴覚フィルタ幅との相関

ノッチ幅の測定結果を図 8 に示す。

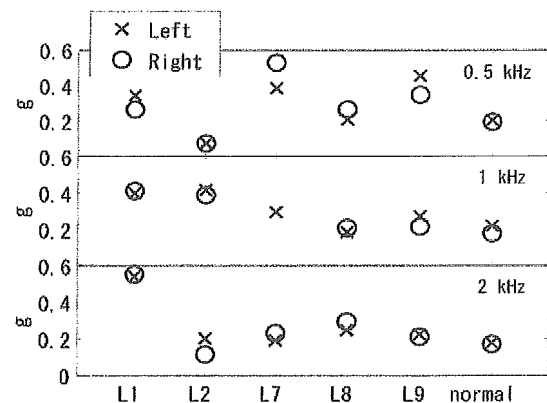


図 8 各被験者の測定周波数ごとのノッチ幅 (上段より、0.5 kHz、1 kHz、2kHz) 縦軸は、ノッチ幅、横軸は被験者。5 人の難聴被験者と 1 名の健聴者のデータを示す。

Listener 1 の右耳、fc が 2 kHz における測定では 3 回中 1 回、Listener 7 の右耳、fc が 1 kHz における測定では 3 回中 3 回ともノッチ幅が最大値 0.6 となってもプローブ信号の知覚がなされなかったため、Listener 1 については測定できた 2 回分の平均値をその条件での域値とした。

次に、ノッチ幅と両耳分離補聴効果の関係を検

討するために、プローブ周波数ごとに左右耳のノッチ幅の平均値と明瞭度の変化量 (Dichotic 0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差) の相関係数を算出した。

図 9 にノッチ幅 g と両耳分離補聴による明瞭度の変化量の関係を示す。

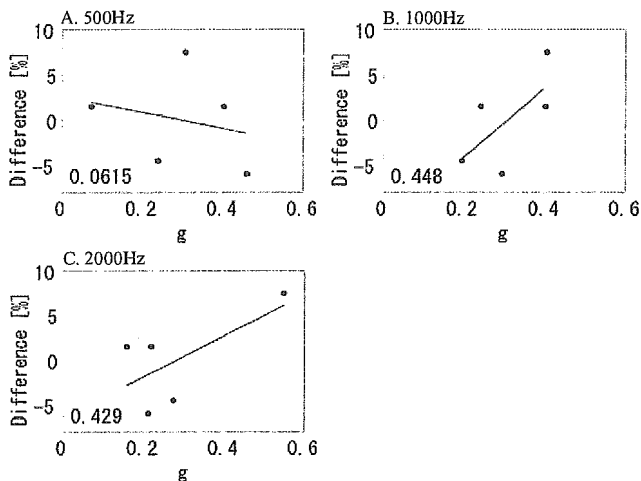


図 9 ノッチ幅 g と両耳分離補聴による明瞭度の変化量の関係 (縦軸: Dichotic 0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差、横軸: ノッチ幅)

図中の直線および数値は、それぞれ最小 2 乗法による近似直線、決定係数である。いずれの周波数においても両者の間に相関は見られなかった。

続いて、両耳分離補聴による明瞭度の変化量を従属変数 y 、0.5、1、2 kHz におけるノッチ幅を独立変数 x_1 、 x_2 、 x_3 とする重回帰分析を行い、以下のような回帰式が得られたが、

$$y = -11.17 - 5.3x_1 + 24.57x_2 + 18.36x_3 \quad (R^2 = 0.666)$$

重回帰分析においても、有意水準 5% で有意な回帰式は得られなかった。

したがって、本測定結果からは 0.5、1、2 kHz における聴覚フィルタ幅が両耳分離補聴における明瞭度の変化量に寄与しているとは言えなかった。本測定は聴取者が 5 名であるため、独立変数を 3 とした重回帰分析を行うには最低限のモデル数である。また、相関について調べるにもまだサンプルが少ないことから、サンプル数を増やし再度分析を行う必要があると考えられる。

4) 視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討

① VCV 音節における読唇効果の検討

健聴者、難聴者での明瞭度試験結果を図 10 に示す。

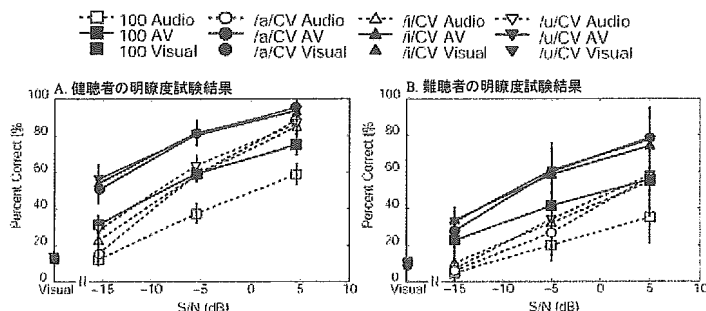


図 10 健聴者 (A)、難聴者 (B) における明瞭度試験の結果。横軸は、S/N 比、縦軸が正答率

100 は単音節 100 語、/a/CV、/i/CV、/u/CV はそれぞれ、100 音節に /a/、/i/、/u/ が先行母音としてそれぞれ付加した無意味 VCV 音の結果を示す。

図 10 からは、V (視覚) 条件での明瞭度は健聴者、難聴者ともほとんど変わらないのに対し、A (聴覚) 条件、AV (聴覚・視覚) 条件では、健聴者の方が難聴者に比べ明瞭度が高くなっていることが分かる。

各条件間の明瞭度の差をより詳しく分析するために、全ての刺激音において、A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇分を算出し、その値から読唇情報の効果について検討を行った。各刺激音での A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇分を図 11 に示す。

まず、健聴者において、聴取者を繰り返し要因とし、刺激音と S/N の 2 要因、 4×3 水準の分散分析を行った。その結果、刺激音と S/N の交互作用が有意となった ($F(6, 54) = 12.57$, $p < 0.01$)。そこで、各 S/N において刺激音の単純主効果を検定したところ、S/N - 15 dB で刺激音の単純主効果が有意となった ($F(3, 27) = 13.61$, $p < 0.01$)。この条件において、Bonferroni 法による多重比較検定を行ったところ、各 VCV 音と単音節の差が有意となった ($/a/CV = /i/CV > /u/CV > 単音節$, $p < 0.01$)。

一方、難聴者でも同様の分散分析を行った結果、S/N - 15 dB で /u/CV が単音節よりも有意に大きいことが示された ($p < 0.01$)。

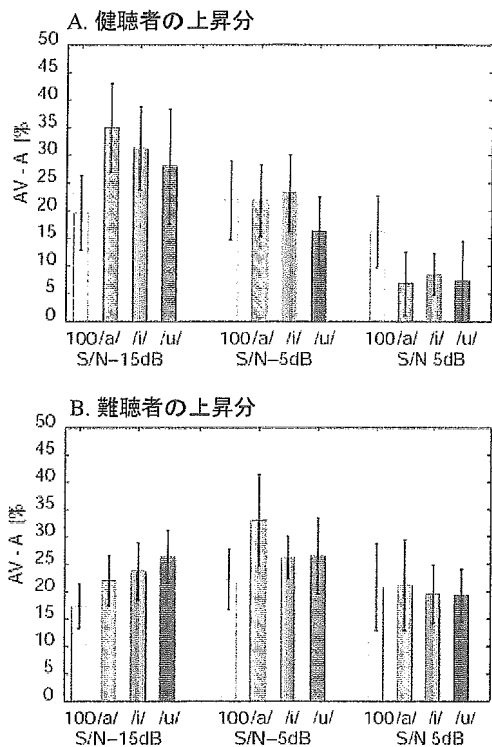


図 11 A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇

以上のことから、特に音声情報取得が困難な低 S/N の環境では、健聴者、難聴者ともに、先行母音が存在することで、読唇情報の音声情報聴取に対する効果が顕著になることが示された。

また、明瞭度試験結果に対する読唇情報の影響を詳細に検討するために、各子音の聴き取りにおける読唇情報の寄与を次に分析した。

読唇情報の影響が特に大きいと思われる唇音群、唇音+/y/群と、母音・/h/群について、S/N が-15 dB における各刺激音での情報伝達率の変化を図 12 に示す。

まず、図 12 (A, D) を見ると、唇音群 (/m/, /b/, /p/) の聴き取りでは、健聴者、難聴者ともに、読唇情報を付加することにより、情報伝達率が増加していることが分かる。唇音群は調音位置が唇にあり、読唇情報により唇音であるか否かの区別が付きやすい。したがって、読唇情報が付加したことで、唇音であるという手がかりが増加し、情報伝達率が上昇したと考えられる。

次に、図 12 (B, E) を見てみると、唇音群と同じく唇が調音位置である唇音+/y/群 (/my/, /by/,

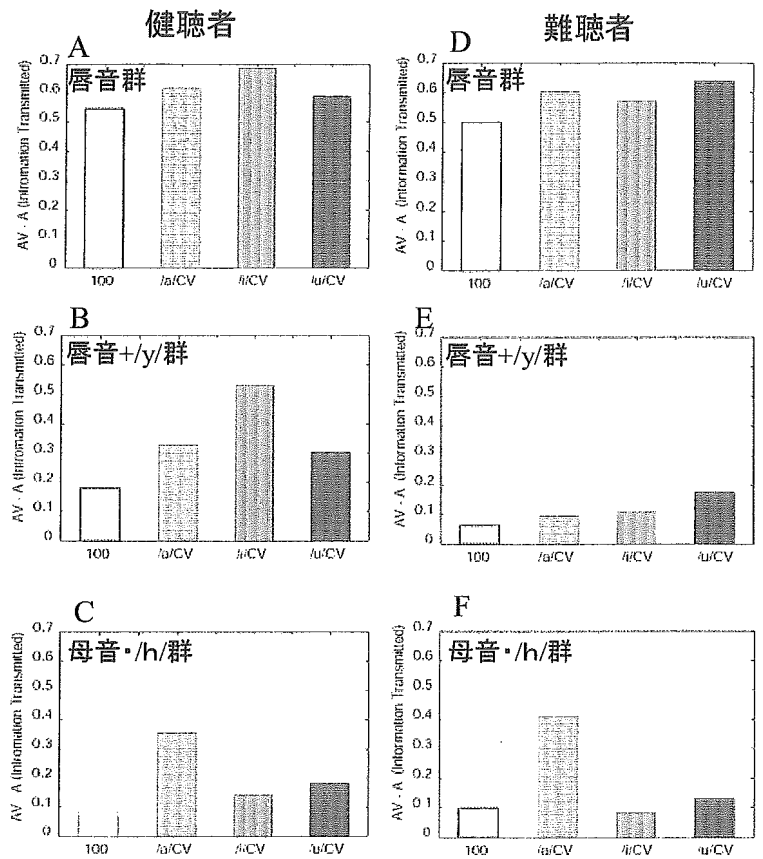


図 12 A 条件から AV 条件への情報伝達率の上昇分 (S/N -15dB)

/py/) では、健聴者と難聴者で情報伝達率の変化が異なっている。健聴者では、読唇情報を付加することにより、特に無意味 VCV 音で情報伝達率が上昇している。しかし、難聴者では健聴者ほど情報伝達率は上昇せず、単音節での上昇分と同程度となっている。これは、難聴者では拗音の音声自体の正答率が低いことが原因として挙げられる。拗音であるという情報はほとんどが音声情報から取得される。健聴者では、読唇情報から唇音であるという情報が、音声情報から拗音の情報が得られ、両者の効果により情報伝達率が上昇したと考えられる。しかし、難聴者では、拗音であるという音声情報が取得困難であるため、読唇情報が付加されてもそれほど情報伝達率が上昇しなかったと考えられる。

最後に、調音点が唇でないクラスター群である母音・/h/群 (母音, /h/) の分析結果を、図 12 (C, F) を元に考察する。この図を見ると、/a/CV 音

では、健聴者、難聴者ともに読唇情報により情報伝達率が大きく上昇している。/a/は日本語母音の中でも口を開いて発声する。したがって、/a/に続く音の発声において、口の動きがよりはっきりと見えるようになり、情報伝達率が上昇したと思われる。

以上のことから、特に唇音において読唇情報の寄与が大きいこと、また、先行母音の違いにより、後続音の聴き取りに対する読唇情報の寄与が異なることが示唆された。

以上より、通常読唇効果による情報伝達の特徴が明らかになったが、両耳分離補聴における聴覚情報の改善は、逆に特に難聴者の唇音以外の音声情報の改善に寄与し、読唇効果の改善にも寄与しえることが推察された。

②市販の補聴器を用いた両耳分離補聴装用感、音像定位感の検討

現在まで、2名の被験者で行なった結果では、いずれも、視覚情報の影響により、音像定位感が改善し、左右に分離して入力される感じが低減するという感想を得た。

引き続き、症例を増やして、定量的な解析を行なう必要があるが、実生活上の話者との対面会話では、分離補聴に伴う問題点が視覚情報により、低減されるものと思われた。

D. 考察

両耳分離補聴の効果は、提示音条件と分割周波数の関係によって影響を受けることが示された。すなわち、母音に続くCV音の聴取では、先行母音の第1ホルマント(F1)と近傍の高周波数域側に分割周波数を設定して低域成分と高域成分の2帯域に分割した場合に、両耳分離補聴の補聴効果が大きくなることが示された。また、昨年度の研究でも、分割周波数の低域側にエネルギーの大きな入力音が存在する時に、両耳分離補聴の効果が著明に示された。したがって、FFT(高速フーリエ変換)等を用いて入力信号の周波数成分分析を行い、F1に代表されるような入力レベルの高い周波数成分の高

域近傍で左右耳の分割周波数を決定することで、上向性マスキングの影響を最小にした両耳分離補聴方式の実現が可能であると考えられる。

一方、両耳分離補聴の効果は、難聴者の聴覚特性によっても左右されることが示され、特に、先行音によるマスキング効果が遷延化しない難聴耳で効果が大きいことが明らかに示された。この結果は、蝸牛基底板以外における神経活動が残っていないほど、すなわち外有毛細胞を中心とした内耳性難聴で、後迷路障害が軽微な症例ほど補聴効果が得られる可能性が考えられる。両耳分離補聴は、もともと、蝸牛における上向性マスキングの軽減を目的に開発されたものであり、分離補聴の補聴効果発現機序を考えても矛盾のない結果であったと思われる。

昨年度の研究で、両耳分離補聴では、低周波数成分提示側への音像定位は比較的良好であるが、高周波数成分提示側や正面提示した音像に対する定位は、低周波数成分提示側に偏倚して知覚されることが示され、音信号の到来方向側の耳に低周波数成分の音信号を入力し、逆側の耳に高周波数成分の音信号を入力することで、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明らかにされた。本年度は、さらに、音像定位における時間と強さの交換作用(time-intensity trading)を利用し両耳間時間差を適切に設定することで、正面方向の音像の知覚も改善することが示された。以上の効果を利用することで、全方向の音像もある程度正しく定位させることが出来る両耳分離補聴方式の構築が可能となると考えている。例えば、マイクロホンアレイ技術などを用いて、音信号の到来方向を事前に推定し、推定された方向側の耳には低周波数成分音を提示し、逆側の耳には高周波数成分音を提示するという方法である。この時、推定された方向が正面方向であれば、低周波数成分側の音信号を数ms遅らせることで、正面方向の音像も正しく定位出来るようになるであろう。

また、分離補聴の効果を高める為には、視覚情報の相補的効果の利用も重要である。両耳分離補聴では、情報伝達の改善のために、いわば、非日常的な音声の入力を行っている。ヒトの両耳聴では、左右の入力を合成することもできるが、異なる別の情報として処理することもできる。両耳分離補聴が効果的に作用するには、両耳から入力された音情報が、同一信号のから発せられたという処理がなされる必要がある。その点で、発声視覚情報の同時提示（実生活では、人の顔を見て話を聞くこと）は、分離補聴の効果を効率的に引き出すものと考えられる。また、先に示された、分離補聴による音像定位の劣化や違和感などの低減にも有効であることは、言うまでもない。

E. 結論

- ① 先行母音のホルマント周波数、両耳分離補聴分割周波数と補聴効果の関係では、第1ホルマントと第2ホルマント間の周波数を分割周波数として低域成分と高域成分の2帯域に分割した場合に、両耳分離補聴の補聴効果が大きくなることが示された。
- ② 両耳分離補聴では、正面からの定位に不正確さがあることが昨年の研究で明らかになっていたが、両耳間時間差を適切に設定することで、正面方向の音像の知覚が改善することが示された。また、今回実施した条件の範囲では、両時間時間差に伴う明らかな明瞭度の変化認められず、音像定位に悪影響を及ぼさない両耳分離補聴方式の実現可能性が示唆された。
- ③ マスキング特性との関係では、マスキャーによる後刺激効果時間が短い難聴者で大きな両耳分離補聴効果が得られた。これは、両耳分離補聴効果が、内耳基底板上での興奮パターン広がりによるマスキングを軽減させていることを反映しているものと思われる。後迷路性難聴の要素が大きいと効果が期待できない可能性が示唆されるが、この点については、引き続き症例を重ねて検討することを今後の課題としたい。

④ 視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討では、視覚情報の提示、すなわち、発話顔画像を聴覚刺激と同時に提示することで、言葉の聞き取りのみならず、音像定位や分離補聴による違和感の軽減されることが示唆された。

⑤ 効果的な本補聴様式の実用化のためには、周囲環境に応じて分離周波数を可変的に適応させる補聴器ハードウェアの開発が必要であるが、今後の継続研究課題としたい。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表(学会発表)

1. 論文発表

・村瀬他：両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響, *Audiology Japan*, 48(1), pp. 59-64, 2005.

2. 学会発表

・高橋他：異なる周波数成分をもつ信号による順向性マスキングの変化, *日本音響学会聴覚研究会資料*, H-2004-98, 563-566, 2004.

・坂本他：難聴者におけるVCV音節聴取時の読唇情報の影響, *電子情報通信学会技術研究報告*, TL-2004-17, 31-36, 2004.

・Murase *et al.*, "Effect and sound localization with dichotic-listening digital hearing aids", *Proc. 18th International Congress on Acoustics*, pp. 1519-1522, 2004.

・村瀬他, "両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度と方向知覚に与える影響", *信学技報*, EA-2004-36, 2004.

・村瀬他, "先行母音のホルマント周波数に応じた両耳分離補聴分割周波数の検討", *音講論*, pp. 439-440, 2004.

H. 知的財産権の出願、登録状況

1. 特許取得

「音響処理装置」

村瀬敦信，坂本修一，鈴木陽一，川瀬哲明，
小林俊光

出願日：2004年9月17日

出願番号：特願2004-272159

(特許の権利については、国立大学法人東北
大学に譲渡契約(契約書番号0390-1P1)し
ている)

2. 実用新案登録

なし.

3. その他

なし.

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）

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。過去の検討で、音信号の到来方向側の耳に低周波数成分の音信号を入力することで、左右の音像を正しく定位させることが可能であることが示された。しかし、正面方向からの到来音に対する定位精度は改善されなかった。本年度は、これまでの知見に加え、時間と強さの交換作用（time-intensity trading）を用いることで、正面方向からの到来音についても定位精度の向上が可能であることを示した。更に、左右耳に対する音信号の分割周波数の検討も行い、先行母音のホルマント構造に着目した分割周波数決定法が有効であることを示した。

A. 研究目的

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、低周波数成分音と高周波数成分音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音が低周波数成分音にマスクされずに聴取可能であり、音声の聴き取り向上が見込まれる。

両耳分離補聴方式を提案するにあたり、検討すべき課題が2つあると考えている。1つ目は音像定位に与える影響である。本補聴方式では両耳間に相異なる周波数帯域の音信号を入力する。一方、音像定位は両耳間で同一周波数成分の音信号中における振幅差、位相差の比較により行われる。したがって、本補聴方式が音像定位に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。2つ目は左右耳へ入力

する音信号の分割周波数の設定方法である。本補聴方式の原理から考えると、上向性マスキングの影響が最も少なくなるように分割周波数を決定することが望ましい。しかし、分割周波数は入力される音信号に依存することが考えられることから、入力される音信号から何らかの規範に基づいて分割周波数を決定する方法が必要である。

昨年度は、本補聴方式が音像定位に与える影響を中心に検討を進め、音信号の到来方向側の耳に低域側を提示することで、左右の音像を正しく定位させることが出来る可能性を示した。しかしこの方法では、正面方向から音信号が到来した場合に正しく音像を提示することが出来ないという問題点も指摘された。

そこで本年度は、正面方向から到来する音信号を正しく正面方向に定位させる方法として、時間

と強さの交換作用 (time-intensity trading) に着目した。更に、先にあげた 2 つ目の課題である、左右耳へ入力する音信号の分割周波数について、先行母音に着目した分割周波数の決定法についてその有効性を検討した。

B. 研究方法

B.1. 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度の向上

時間と強さの交換作用を利用する場合、両耳間時間差を用いるには、1.6 kHz 以下の低域成分を両耳に入力する必要がある。しかし、低域成分を両耳に提示してしまうと、両耳分離補聴が意図する上向性マスキングの低減効果が薄れてしまうことが予想される。そこで、明瞭度を低下させない範囲で、高域成分入力側にどの程度低域成分を入力可能であるか、予備的な検討を行った。その結果、低域成分を完全に遮断した状態と明瞭度がほぼ同等となった低域成分減衰量 15 dB を今回の実験での両耳分離聴条件として設定した。

上記両耳分離補聴条件のもと、正面方向音源から左右耳への入力信号に両耳間時間差 (ITD : Interaural Time Difference) を付与し、正面方向からの音信号の音像定位を検討した。

B.1.1. 刺激

定位実験の提示刺激は日常生活会話音声を用いた。この刺激音に対しダミーヘッド (高研, SAMRAI) により測定された正面 0 度からの頭部伝達関数を畳み込むことで音源方向を模擬した。その後、両耳分離処理を施した。

B.1.2. 実験方法

実験は、東北大学電気通信研究所内の防音室で行った。老人性難聴者 1 名に対して、方向定位実験を実施した。音声刺激提示の際、両耳間時間差を付与した上で、左右耳に入力した。両耳間時間差条件は、右耳入力信号に対する左耳入力信号の遅延時間で表すこととし、 $-1\sim 1\text{ms}$ の範囲を $1/4$

ms 刻みで変化させた 9 条件、および、より詳細な両耳間時間差として $-3/8\sim 3/8\text{ms}$ までを $1/16\text{ms}$ 、もしくは、 $1/8\text{ms}$ の間隔で変化させた 8 条件、合わせて 17 条件の実験を行った。TDT System III を用いて各音声につき音源方向と分割方法の組み合わせで準備した音声刺激を、ランダム順序でそれぞれ 10 回ずつ、ヘッドホン (Sennheiser HDA-200) を介して聴取者に提示した。音声提示音圧は MCL とし、聴取者に音声聞こえてきた方向を回答するように教示した。回答結果は、右側を正、左側を負として角度を算出し分析した。

なお、今回使用した頭部伝達関数は本人のものでないため、前後誤判定が発生することが考えられる。そこで、音像の提示方向と知覚方向が耳軸をはさんで逆の場合には、知覚された音像位置について耳軸をはさんで対称に折り返し、頭部前方角度に置換して分析を行った。

B.2. 両耳分離補聴方式における先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法

低周波数成分音から高周波数成分音への上向性マスキングを考慮する際に、我々は音声のホルマント周波数成分に着目した。ホルマント周波数成分は音声の主要成分であり、他の周波数成分に比べレベルが高くなっている。したがって、ホルマント周波数成分音による、その近傍の高周波数成分音へのマスキングが音声の聴き取りに影響を及ぼしていると考えられる。

昨年度は、/u/を先行母音とする VCV 音節を用いて本分割周波数決定法の有効性を確認した。本年度は、本分割周波数決定法の有効性を更に確認するために、先行母音の異なる VCV 音節を用いて、分割周波数の変化が明瞭度に与える影響について検討を行った。

B.2.1. 分割周波数条件

分割周波数は日本語母音のホルマント周波数 F1, F2 の分布を参考に、主に F2 の周波数付近の

6種類を設定した。設定した分割パターンを、表1に示す。

表1 分割周波数パターン

パターン	左耳	右耳	遮断周波数 [kHz]
Diotic	APF	APF	-
Diotic-6dB	APF	APF	-
Dichotic0.8	LPF	HPF	0.8
Dichotic1.0	LPF	HPF	1.0
Dichotic1.2	LPF	HPF	1.2
Dichotic1.6	LPF	HPF	1.6
Dichotic2.0	LPF	HPF	2.0
Dichotic2.4	LPF	HPF	2.4

B.2.2. 実験方法

実験は東北大学電気通信研究所内の防音室で行った。聴取者は老人性難聴者2名である。音声刺激は3種類の先行母音/a/, /i/, /u/からそれぞれ始まり、後続子音が拗音を除く67音節のVCV音である。これら刺激音を発話訓練経験のある女性1名に発声させ、サンプリング周波数48kHzで収録したものを使用した。両耳分離補聴処理条件(Dichotic)では、VCV音を高域通過フィルタ(HPF)、低域通過フィルタ(LPF)により、2帯域に分割した。分割周波数条件は先に示した6種類である。また、通常の両耳受聴条件(Diotic)では前記HPFおよびLPFの代わりに全域通過フィルタ(APF)を用いた。ここでラウドネスの加算効果を考えると、両耳に同じ音を与えたときの大きさは、各耳に与えられている音の音圧レベルを約6dB高くしたものを片耳で聴いた場合の音の大きさと等しくなることが知られている。そこで、刺激音のラウドネスを両耳分離補聴条件とほぼ等しくすることを目的として、レベルを6dB小さくしたパターン(Diotic-6dB)を加えた。刺激の提示音圧は聴取者ごとのMCL (Most

Comfortable Level)とし、両耳に同じ音声を提示した際に決定した。刺激の提示時間間隔は3sとし、聴取者には音声聞こえた通りに回答用紙に記述するよう教示した。

(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. 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度

両耳間時間差と定位角度の関係の結果を図1、図2示す。両耳間時間差の変化に伴い、音像の知覚角度が変化していることが観察できる。ここで、図2の両耳分離補聴条件の結果についてみていく。両耳間時間差がない場合には、左右耳の入力信号レベルのバランスが偏ることで、音像が低域側(左側)に知覚される。そして左入力信号の遅延を0.25ms程度に設定すると正面方向に定位できるようになることがわかる。また、両耳間時間差が大きくなると、回答のばらつきが増している。これは、一つの音像に感じなくなるなど、音像が分離あるいはぼやけている可能性が考えられる。

C.2. 先行母音のホルマント周波数に着目した両耳分離補聴方式における明瞭度

聴取者ごとの明瞭度試験結果を図3、図4に示す。図より、先行母音/a/では、両聴取者において両耳分離処理では分割周波数を1.0kHzにした場合が最も明瞭度が向上し、分割周波数2.0kHzの場合に最も明瞭度が低下することがわかる。次に、

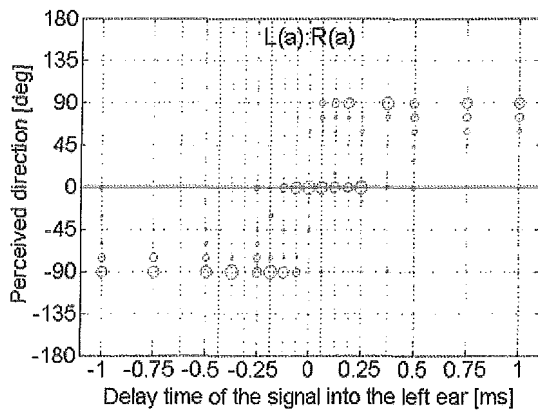


図1 両耳間時間差と定位角度（両耳受聴条件）

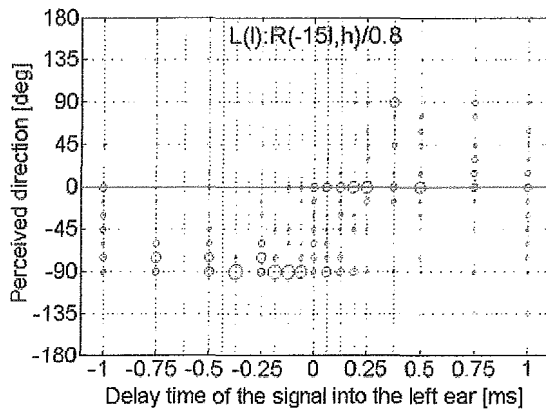


図2 両耳間時間差と定位精度（両耳分離補聴条件）

先行母音/i/では、聴取者 L1 では分割周波数 0.8, 1.0 kHz で明瞭度が向上する一方、聴取者 L2 では分割周波数の違いによる明瞭度変化はみられない。先行母音/u/では、分割周波数 0.8 kHz で明瞭度向上効果が最も高い。

ここで、母音のホルマント分布と照らし合わせて、本実験結果について考察する。

母音/a/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.9 ~1.2 kHz 付近、F2 が 1.2~1.8 kHz となっている。したがって、F2 の下限以下で、かつ、F1 の分布付近である 1.0 kHz で分割することで、F1 による F2 以上の高域成分へのマスクングが低減

されると考えられる。

母音/i/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.4 kHz, F2 が 2.4~3.2 kHz となっており、F1 と F2 の分布ははっきり分かれている。そのため、F1 による F2 以上の高域へのマスクングは他の先行母音の場合に比べて小さく、分割周波数を F1 と F2 の間で変化させても明瞭度にはっきりした変化が現れなかったと考えられる。

母音/u/のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.5 kHz, F2 が 0.8~1.6 kHz となっている。その結果、分割周波数が F1 と F2 の間となる 0.8 kHz の場合に、F1 による F2 以上の高域成分へのマスクングが低減され、明瞭度が最も向上したと考えられる。

D. 考察

昨年度までの検討で、音信号の到来方向側の耳に低周波数成分の音信号を入力し、逆側の耳に高周波数成分の音信号を入力することで、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。この知見と本年度の結果を加えることで、全方向の音像もある程度正しく定位させることが出来る両耳分離補聴方式の構築が可能となると考えている。例えば、マイクロホンアレイ技術などを用いて、音信号の到来方向を事前に推定し、推定された方向側の耳には低周波数成分音を提示し、逆側の耳には高周波数成分音を提示するという方法である。この時、推定された方向が正面方向であれば、低周波数成分側の音信号を数 ms 遅らせることで、正面方向の音像も正しく定位出来るようになる。

事前に音信号を分析するという事は、分割周波数決定時にも有効である。

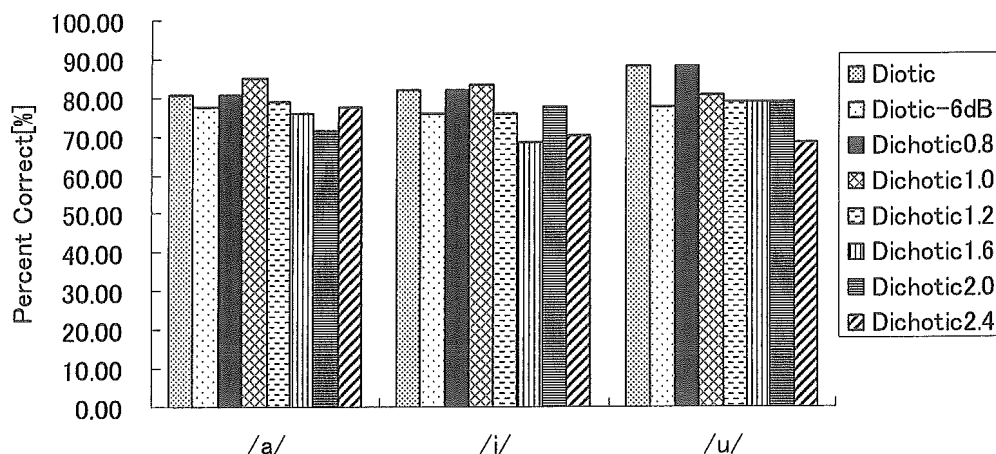


図3 聴取者 L1 の明瞭度試験結果

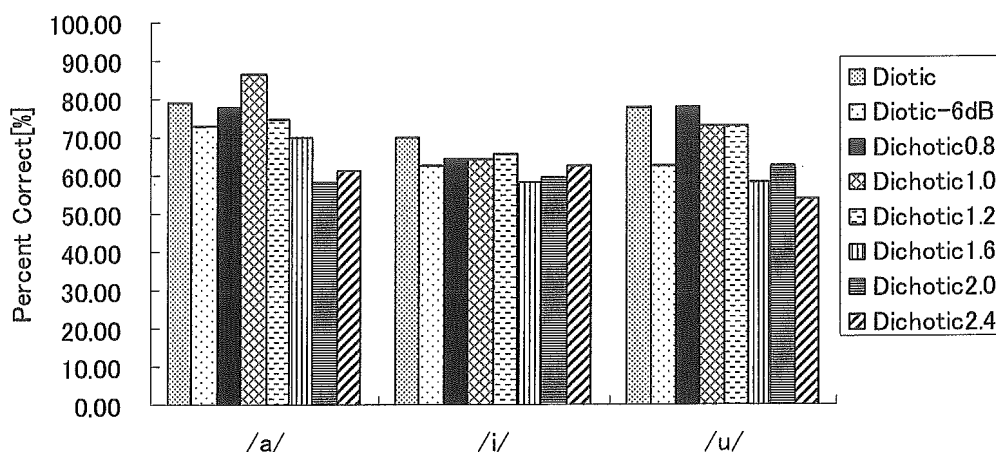


図4 聴取者 L2 の明瞭度試験結果

本年度の結果から、F1 近傍の高周波数域側に分割周波数を設定することが有効であるという知見が得られている。このことから、FFT 等を用いて入力信号の周波数成分分析を行い、F1 に代表されるような入力レベルの高い周波数成分の高域近傍で左右耳の分割周波数を決定することで、上向性マスキングの影響を最も低減する形で両耳分離補聴方式を実現することが可能であると考えられる。

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、先行母音の第1ホルマント周波数に代表されるような入力レベルの高い周波数成分の高域近傍に左右耳の分割周波数を設定することで、明瞭度に最も効果のある両耳分離補聴が実現出来ることが示された。

また、正面方向からの到来音を正しく正面方向に定位させるには、時間と強さの交換作用 (time-intensity trading) に基づき、低周波数成

分音を遅らせて提示することが有効であることが示された。

F. 健康危険情報

なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- ・ 村瀬他, “両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響”, *Audiology Japan*, 48(1), pp. 59-64, 2005

2. 学会発表

- ・ Murase *et al.*, “Effect and sound localization with dichotic-listening digital hearing aids”, *Proc. 18th International Congress on Acoustics*, pp. 1519-1522, 2004
- ・ 村瀬他, “両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度と方向知覚に与える影響”, *信学技報*, EA-2004-36, 2004
- ・ 村瀬他, “先行母音のホルマント周波数に応じた両耳分離補聴分割周波数の検討”, *音講論*, pp.439-440, 2004

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

(総括研究報告書参照)。

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

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
村瀬敦信、坂本修一、中島史絵、鈴木陽一、川瀬哲明、小林俊光	両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響	Audiology Japan	48	59-64	2005