

研究題目	外耳道を開放したまま装用できる軟骨伝導補聴器の騒音下語音明瞭度に関する研究	報告書作成者	下倉良太
研究従事者	下倉良太・齋藤修		
研究目的	<p><b>【背景】</b></p> <p>現在広く普及する補聴器は、デジタル技術の進歩により補聴器本体の高性能化・小型化を遂げてきたが、耳栓を外耳道に挿入する装用スタイルは変わっていない。そのためその耳閉感に馴染めず、早期に補聴器装用を諦める難聴者は少なくない。補聴が必要な難聴者の内、実際補聴器を購入している者の割合はわずか 24.1%である(日本補聴器工業会)。この現状を打開すべく、耳栓に開口部を設けるオープンフィッティング補聴器が登場したが、開口部からの音漏れで、①低音増強不足、②ハウリングなどの問題がクリアになっていない。</p> <p>そのような状況に対し本研究グループは、耳軟骨の振動で音情報を伝える軟骨伝導に着目し、低音増強が可能でハウリングの少ない軟骨伝導補聴器の開発を行っている。これまでの研究成果により、耳軟骨での振動が外耳道内に音を生成し、その生成音を主に装用者は聴取していることを明らかにした(Shimokura et al., 2014)。さらに耳軟骨は 3kHz 以下の低周波領域で強く振動するため、その生成音は低音域で強くなり(Shimokura et al., 2013a)、なおかつ既存のオープンフィッティングのイヤプラグに比べて低音域の生成音が外耳道の外に漏れにくいという音響的特徴も明らかになっている(Shimokura et al., 2013b)。耳かけ型補聴器の場合、振動子とマイクの位置が近接し、ハウリングのリスクが高いが、軟骨伝導であればそのリスクを低減できる可能性がある。よって軟骨伝導補聴器は、オープンフィッティング補聴器に変わる新しい外耳道開放型補聴器になりうる。</p> <p><b>【目的】</b></p> <p>このように低音増強にも優れ、ハウリングを回避する可能性のある軟骨伝導補聴器であるが、騒音下での語音聴取能が懸念される。試作した軟骨伝導補聴器は十分な開放感を得るため直径 8mm の大きな開口を有しているが、それだけ外部騒音の流入が大きく、屋外での会話に支障が出る可能性がある。そこで本研究は、この補聴器の日常的な装用を目指し、軟骨伝導補聴器による騒音下語音明瞭度をオープンフィッティング補聴器と比較し検証する。</p> <p>Shimokura et al. (2013a) Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment 12, 137-143                  Shimokura et al. (2013b) Applied Acoustics 74, 1234-1240                  Shimokura et al. (2014) Journal of the Acoustical Society of America 135, 1959-1966</p>		

## 研究内容

軟骨伝導補聴器はリング状振動子を外耳道開口部にかけて使用する。このため耳閉感がない反面、騒音に対する脆弱性が指摘されている。本研究は、特に騒音の種類に焦点を当て、静寂下・騒音環境下で語音聴力検査を行った。

**【騒音源】**

スピーチノイズに加え、日常的な場面を想定した交通騒音、駅騒音、掃除機騒音の環境騒音4種類を使用した。環境騒音の振幅は信号処理によりスムージングを施し、不必要なサイレントが生じないように配慮した。各刺激の周波数特性を図1a(説明書内)に示す。騒音は被験者の左右(±45度)に配置したスピーカから呈示した。左右スピーカからの騒音は無相関である。被験者とスピーカの間隔は1mである(図1b)。被験者が座る位置にHead and Torso Simulator(HATS, B&K, Denmark)を配置し、50, 55, 60, 65, 70 dBになるよう騒音レベルを調節した。

**【語音】**

聴力検査に使われる50種類の単音節(あ、き、じ、だ、など)を用いた(57S語表;日本聴覚医学会)。語音はオープンフィッティングイヤホンと軟骨伝導振動子を用いて両耳に呈示した(図2a)。57S語表に同封される1kHz基準音が各呈示方法で等しくなるよう音圧レベル(60dB)を調整した。その際、オープンフィッティングイヤホンはHead and Torso Simulatorを用い、軟骨伝導振動子は現在開発中の軟骨シミュレーターを用いた。この軟骨シミュレーターは誤差3dB以内で外耳道内に発生する軟骨伝導音を予測することができる(Shimokura et al., 投稿準備中)。

上記手法で音圧レベルを調節した単音節「あ」を図2bに示す。被験者1名がオープンフィッティングイヤホンと軟骨伝導振動子を装着し、プローブマイク(Type 4182, B&K, Denmark)を用いて、外耳道内の音を計測した。両呈示方法では周波数特性が異なっており、オープンフィッティングイヤホンでは1-4kHz、軟骨伝導振動子では1kHz以下の音が大きくなる。

**【被験者】**

健聴者6名が実験に参加した。各被験者の三分法平均聴力レベルは20dB以内である。実験を行うに際し、被験者からは実験内容を十分に説明した上で書面による同意を得た。

**【手順】**

被験者は椅子に座り、まず静寂下で単音節の聴き取りを行う。50単音節中、正確に聞き取れた割合を語音明瞭度(%)とした。その際の手順は日本聴覚医学会の規定に準拠し、その手法は共同研究者の齋藤修氏(言語聴覚士)の指導を受けた。被験者はまず単音節「あ」を聞いて、両耳のボリュームが同じになるよう調節した後、50単音節が2秒間隔で出題される。それを聴き取りMicrosoft Excel上で聞こえたとおりにタイピングを行った(図1b)。聞き取れない単音節がある場合は、それに近い単音節をタイピングするか、空白にするよう指示した。騒音環境下でも同様の手順で実験を行った。上記実験は奈良県立医科大学倫理委員会の承認を受けて行った。

<p>研究のポイント</p>	<p>ポイント1:騒音源の種類の違いにより、語音明瞭度に違いが生じるか。</p> <p>ポイント2:オープンフィッティングイヤホンと軟骨伝導振動子の2つの呈示方法で、語音明瞭度に違いが生じるか。</p> <p>ポイント3:軟骨伝導呈示の語音明瞭度がオープンフィッティング呈示のそれに劣る場合、その原因は何か。</p> <p>ポイント4:将来的に軟骨伝導振動子にどのような改良を加えるべきか。</p>
<p>研究結果</p>	<p>説明書内図3に各騒音環境下における語音明瞭度を示す。騒音源(4種類)、騒音レベル(6段階)、呈示方法(2種類)の三元配置で分散分析を行ったところ、騒音レベル(<math>F_{5, 240} = 150, p &lt; 0.01</math>)と呈示方法(<math>F_{1, 240} = 37.3, p &lt; 0.01</math>)で有意差を確認した。騒音源の周波数特性に差別化を図り、語音明瞭度に対する影響を調べたものの、騒音源の有意差を認めなかった(<math>F_{3, 240} = 2.14</math>)。呈示方法別に二元配置分散分析を行ってみたが、結果は同様であった。語音明瞭度は騒音源の周波数特性に左右されない。</p> <p>一方、呈示方法に関しては、軟骨伝導呈示に比べて、オープンフィッティング呈示の方が有意に語音明瞭度が高いという結果となった。これは音声と同じ周波数帯域(0.5, 1, 2 kHz)でオープンフィッティング呈示の方が出力が大きかったことに起因する。軟骨伝導呈示は、低音域の出力は大きいものの、2kHz 付近の帯域の出力が不足している。そのため子音の聴き取りがオープンフィッティングより劣ったと考察される。騒音レベル 55dB までは呈示方法による単純主効果はなく、室内では軟骨伝導補聴器でも遜色なく聞き取ることができる。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今後は軟骨伝導振動子を改良し、音声帯域において出力の大きくなる構造を検討する。そうすれば子音認識率の向上が見込める。</p> <p>また今回の研究課題では難聴者も対象に行う予定であったが、現在の圧電型振動子の許容入力電圧に制限があり、難聴者の最高語音明瞭度が得られる音圧レベルまで出力を上げることができなかった。そこで高出力で消費電力も抑えられる電磁型振動子の開発を行った(2014年アメリカ耳鼻咽喉科学会にて発表)。この新型振動子により、一般の補聴器と遜色のない電池寿命を達成しながら、軽度中等度難聴者にも対応可能な実用性のある補聴器が完成した。</p> <p>今回の実験によって、騒音源の周波数特性が明瞭度に影響しない、子音認識率向上のため音声帯域の出力向上が必要、など重要な知見が明らかになった。難聴者は高齢者の場合が多く、実験中の集中力維持が困難である。騒音源はスピーチノイズのみに限定するなど工夫を行い、完成した電磁型振動子にて難聴者を対象とした実験を行う予定である。</p>

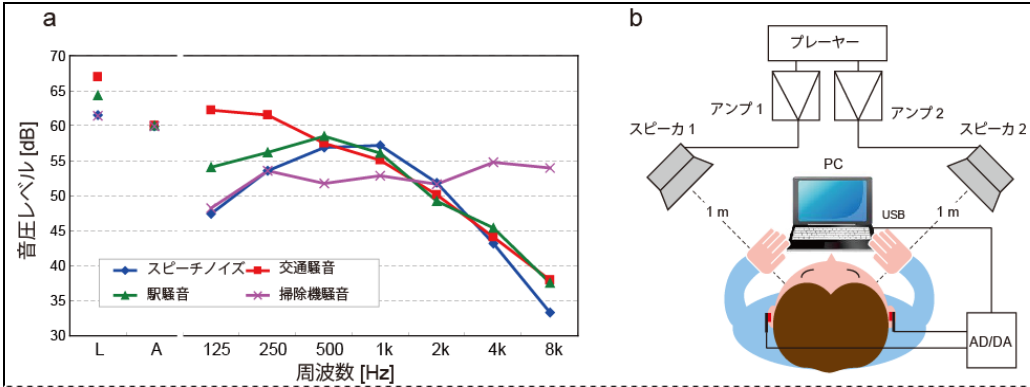


図 1 (a) 各騒音源の周波数帯域における音圧レベル、(b) 実験のブロックダイアグラム

スピーチノイズは音声と同じ帯域(0.5, 1k, 2k Hz)にフィルタリングしたホワイトノイズ。交通騒音は低音域のエネルギーが相対的に大きい。駅騒音は乗降客の話し声が含まれているためスピーチノイズとエネルギー分布が似ている。掃除機ノイズは高音域にエネルギーが分布している。

図 2 (a) オープンフィッティングイヤホンと軟骨伝導振動子、(b) 各呈示方法で外耳道内で計測した単音節/a/

オープンフィッティングイヤホンは開口があるため低音増強が困難であるのに対し、軟骨伝導振動子は外耳道内に効率的に低音域エネルギーを放射している。しかし1kHz基準音で校正すると、オープンフィッティングイヤホンの方が、1-4 kHzのエネルギー放射が大きく調節される。

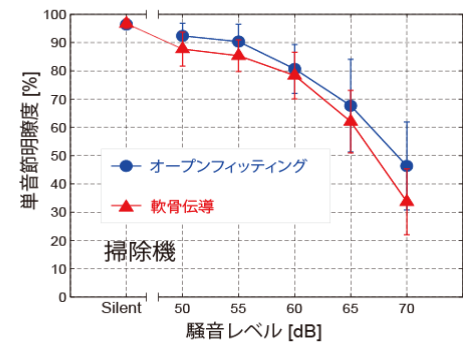
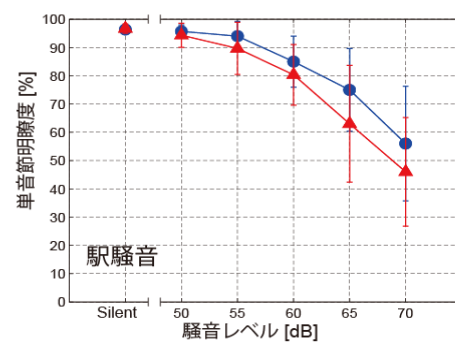
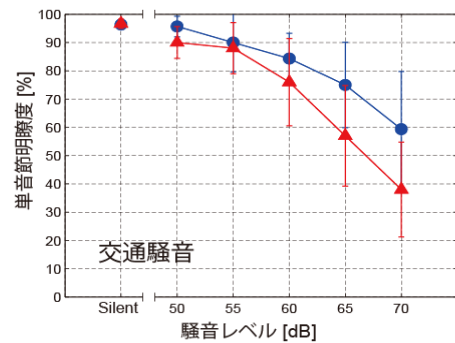
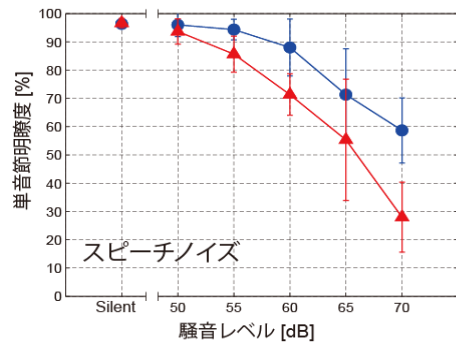
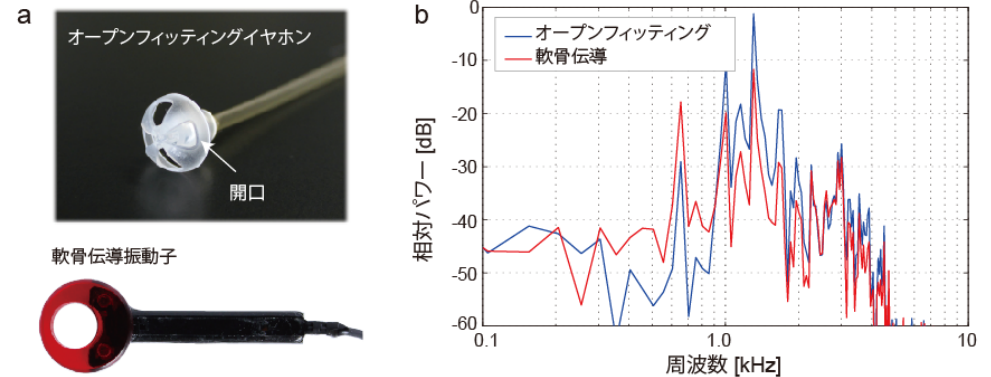


図 3 各騒音環境下における単音節語音明瞭度(エラーバー:標準偏差)

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)