

聾学校教室内音声共有システムの開発

瀬尾 和哉

地域教育文化学部 生活総合学科

神尾 伴春

山形県立山形聾学校 高等部

松尾 桃子

地域教育文化学部 生活総合学科 卒業生

山本 広志

地域教育文化学部 生活総合学科

(平成21年10月1日受理)

概 要

聾学校教室内音声共有システムを開発した。本システムは、市販のワイヤレスマイクと受信機、ボイスシフタ、ミキサに加えて、今回開発した椅子脚スイッチ、ALC装置、スイッチ装置、椅子ループにより構成されている。これにより、従来の先生→生徒の一方向通信を改善し、また背景雑音を積極的に遮断し、必要な音声のみを教室内で共有できるようになった。さらに難聴耳の狭い可聴域にも対応できるようになった。

1. はじめに

山形聾学校では、他の聾学校に比べて、音声によるコミュニケーションを重視している。矛盾しているように聞こえるかもしれない。勿論、必要に応じて、手話や指文字を使う。手話や指文字のみでも大抵の意思疎通は可能であるが、細かな感情の機微は伝えられない。感情の伝達が上手くいかなければ、生徒はストレスを感じてしまう。また、聾学校外の生活環境では、手話が通じることは稀であるため、例え明瞭な発声が出来なくとも積極的な発声を奨励している。積極的な発声は、積極的な発言、他者とのかかわり等、積極的な効果も副次的に生み出している。

現在、山形聾学校では、教師の声を磁力線や赤外線にのせて、生徒達の補聴器に伝達する集団補聴システムを全教室に設置している。しかし、このシステムは、教師の声を生徒達に伝えるのみの一方向通信である。ある生徒が発言する際には、発言している生徒と教師の間でのみ会話が成立している。その間、他の生徒達は手持無沙汰に待っているしかない。発言していない他の生徒達が発言内容を聞くことも重要な学習であるが、発言は教室内で共有されていない。発言内容は教師によって要約され、他の生徒達に伝えられる。この作業は教師のスキルに強く依存する。発言主旨が正確に伝わらない恐れがあり、或いはまた、授業の流れが滞る、といった問題点がある。そこで、我々は、教師の声に加えて、生徒達の声も教室内で共有できる機能を持った聾学校教室内音声共有システムを開発した。

本論文では、同システムの概要とそれを構成する要素技術を報告する。

2. 聾学校の生徒と教室内集団補聴システム

2.1 教室内集団補聴システムの必要性

声や音楽等の音（音波）は、空気中の振動として鼓膜に伝わる。例えば、太鼓の皮が振動して音が発生している様子を見れば、音波が機械的振動、つまり圧力波であることは理解できる。山形聾学校では、体育の時間、プレー開始や終了の合図に太鼓を使っている。生徒達は、太鼓の作りだす圧力波の機械的な振動を肌で感じ（太鼓の音も可能な範囲で聞いているが）、合図を知るそうである。

鼓膜に伝えられた微小圧力波は、ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨によって増幅され、圧力は20倍にもなる。アブミ骨は卵円窓の膜を振動させ、蝸牛内の液体に振動が伝えられる。中小骨（ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨）の障害（伝音性難聴）は、外科的手術により回復可能である。蝸牛内に伝えられた振動は、前庭階とそれに連絡された鼓室階を介して、基底膜へと達する。基底膜が上下に動くときゼラチン状の蓋膜に埋もれている不動毛が曲げられ、蝸牛神経に興奮が起こる（図1）。この興奮が脳幹を経由して大脳皮質の聴覚野に伝わると音として認識される。聾学校の生徒は、蝸牛から先に障害がある感音性難聴がほとんどである。

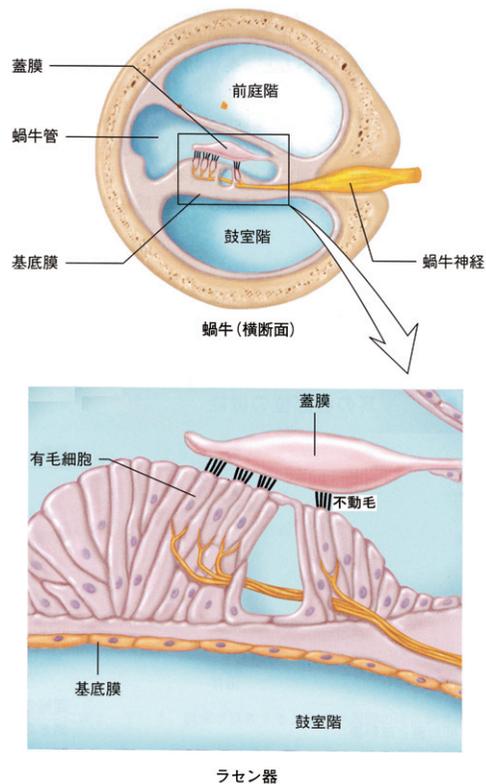


図1 蝸牛断面（上図）とラセン器（下図）¹⁾

聾学校は聴覚障害者を対象として教育を行う学校である。聴覚障害者の定義は、両耳の聴力レベルが60[dB]以上（大きい音しか聞こえない）で、補聴器等を使用しても通常の話し声を解することが著しく困難な者²⁾、である。このため、生徒は補聴器を使用する。補聴器は音声を60[dB]以上の大きな音に増幅し、生徒の耳に伝える。耳掛け型補聴器を図2に示した。一般に補聴器は2種類の信号を受信できる。1つは生の音声、もう1つは電話の受話器のスピーカが発する磁力線である。前者は、マイクロホンで受信され、後者はテレコイルで受信される。両者の切り替えは、切替・電源スイッチで行われる。

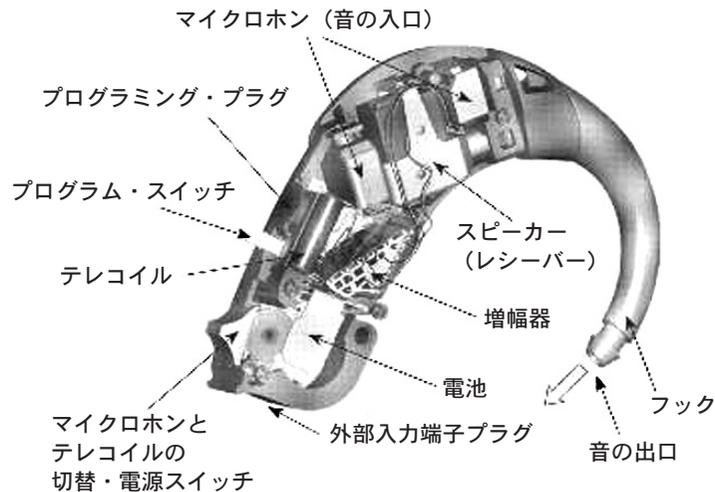


図2 耳掛け型補聴器³⁾

我々の実測によれば、教室内の背景雑音（本をめくる音、袖と机が擦れる音等の雑音）は、常に50[dB]以上ある。一方、教室内の発言や指示等、共有されるべき音声は、距離とともに指数関数的に減少する。よって、通常、音源から1[m]以上離れると共有されるべき音声は背景雑音に埋もれてしまう。健聴者ならばカクテルパーティー効果（カクテルパーティー等の騒がしい音環境でも聞きたい音のみを分別して聞く）を期待できる。しかし、聾学校の生徒にとっては、補聴器で全ての音が増幅されると必要な音声を聞くことは困難になる。そこで、教師—生徒間の距離が1[m]以上あり、背景雑音もある聾学校の教室内では、教師の声を生徒の補聴器まで磁力線や赤外線直接届ける教室内集団補聴システムを使用して授業が行われている。

2. 2 既存の教室内集団補聴システムとその問題点

従来、山形聾学校では、フラットループ式⁴⁾、赤外線式⁵⁾ 集団補聴システムを状況に応じて使い分けてきた。海外では、FM式集団補聴システム⁶⁾ も使用されている。既存システムの長所と短所を表1にまとめた。既存システムの最大の問題は、教師の声を生徒に伝えるのみの一方向通信である点である。

表1 既存の集団補聴システムの特徴

システム	長所	短所
フラットループ	<ul style="list-style-type: none"> ● 補聴器のみの装着でよい ● ループが設置されていれば、屋内外で使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● ループ（導線）の埋設工事が必要 ● 上下の教室への磁力線漏れによる混信 ● ループからの高さによって音の大きさが変化
赤外線	<ul style="list-style-type: none"> ● 壁などで遮蔽されている場合は混信や干渉がない ● 音質がよい 	<ul style="list-style-type: none"> ● 補聴器に加えて、赤外線受信機の装着が必要 ● 屋外では使用不可能
FM	<ul style="list-style-type: none"> ● FM 式補聴器のみの使用で音が聞き取れる 	<ul style="list-style-type: none"> ● チャンネル数に制限がある ● FM 式補聴器が高価

2. 3 聾学校の生徒

図3は、山形聾学校中中部Aさんのオーディオグラム（聴力測定結果）である。山形聾学校では、毎学期、聴力レベルをチェックしている。図3は、2008年7月末の測定結果である。横軸が周波数[Hz]、縦軸が聴力レベル[dB]である。裸耳の右耳が○、左耳が×、補聴器装用時の両耳の平均が▲である。補聴器を装用することにより、最低聴力レベルが小さくなった（改善されている）。また、聴力レベルには、周波数依存性がある。周波数が増加するとともに、最低聴力レベルが増加する。つまり、周波数が高くなるほど小さな音が聞き難くなる。逆にいえば、難聴耳には、低周波数域に聞こえの優位性がある。定量的には、個人差があるが、定性的には、ほぼ同様である。

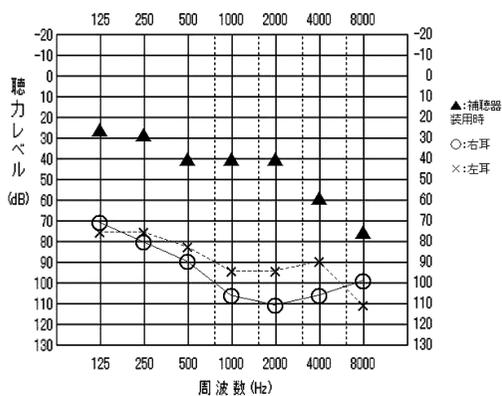


図3 Aさんの聴力レベル

一般的に変声期前の児童の声は高い。女性教師の声も高い。男性教師の声は低い。例えば、山形聾学校の場合、教師の男女比は、1 : 3である。男性教師と女性教師の発声した「あ」の周波数分析の結果を図4と5に示した。この場合、男性教師の支配的な周波数は約700[Hz]、女性教師は約1300[Hz]であった。爆裂音の場合には、さらに高周波数になった。図3の聾学校生徒の聴力レベルの周波数依存性を考慮すると、聾学校教室内では、生音声のまま共有するよりも数百[Hz]以下に低下させ、共有した方が良い。

また、聴力レベルに対する配慮も必要である。例えば、図3によると、補聴器を装着した場合、1000[Hz]の音声ならば、40[dB]以上で可聴域になる。しかし、40[dB]以上ならば、何[dB]でも良い、というわけではない。一般に110[dB]以上は不快域⁷⁾であり、さらに大きな音では、耳が破壊されてしまう。よって、聴覚障害者の可聴域は健聴者のそれに比べて、狭くなる。

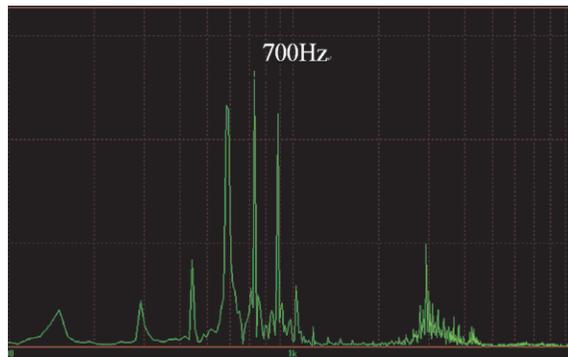


図4 男性教師の「あ」の周波数分析

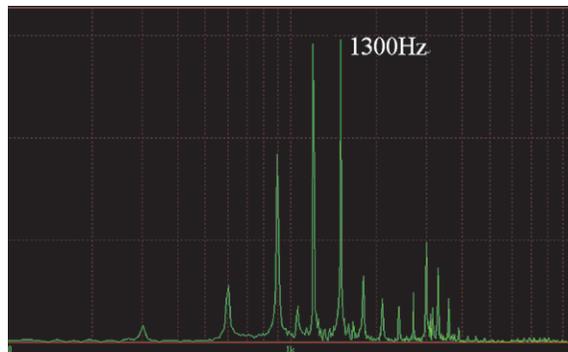


図5 女性教師の「あ」の周波数分析

以上より、次の4点を開発目標とした。

1. 教室内の背景雑音を積極的に遮断し、起立して発言する生徒の音声のみを教室内で共有する。
2. 難聴耳の狭い可聴域にあわせて、音声を圧縮する。
3. 音声を低周波数域へシフトさせる。

4. 生徒の装着物は、マイクと補聴器のみとする。

3. 聾学校教室内音声共有システム

今回、開発した聾学校教室内音声共有システムの概要を図6に示す。各生徒はワイヤレスマイクを装着し、椅子の脚には、開発した椅子脚スイッチをつける。ワイヤレス受信機で受信された音声は、ALC：オートレベルコントロールに伝わる。ALCでは、各生徒の聴き易い音圧レベルに調整する。生徒が起立すると、椅子脚スイッチが作動し、連動して、スイッチ装置が働く。つまり、起立して発言した生徒の音声のみがミキサに伝わり、教室内で共有される。起立して発言する生徒が複数人いても全ての音声ミキサで混合され、共有される。先生の音声は、直にミキサに入り、常に共有される。さらに、ボイスシフタにより音声を低周波数化する。低周波数化された音声信号は、椅子ループを介して、各生徒の補聴器まで届けられる。補聴器の切替・電源スイッチは、テレコイルにしておく。以上を図7と8で説明する。図7は、起立して発言している場合の音声信号の伝わり方を示している。起立した生徒の発言は、ワイヤレスマイク（WM-1100、TOA）からワイヤレス受信機（WT-1100、TOA）に伝わり、ALC→ミキサ（MX-10、BOSS PRO）→アンプ→椅子ループへと伝わり、共有される。一方、着席した生徒（図8）の私語等は、複数のリレーで構成されたスイッチ装置により遮断され、共有されない。その場合でもミキサで混合された共有されるべき音声は抵抗を通過して、椅子ループにまで届けられる。着席時には、音声信号の強度を抵抗で減少させ、椅子ループに届ける。これは、着席時でも起立時と同様の音声強度で聞けるようにする為である。以下、開発したそれぞれの要素技術について、具体的に説明する。

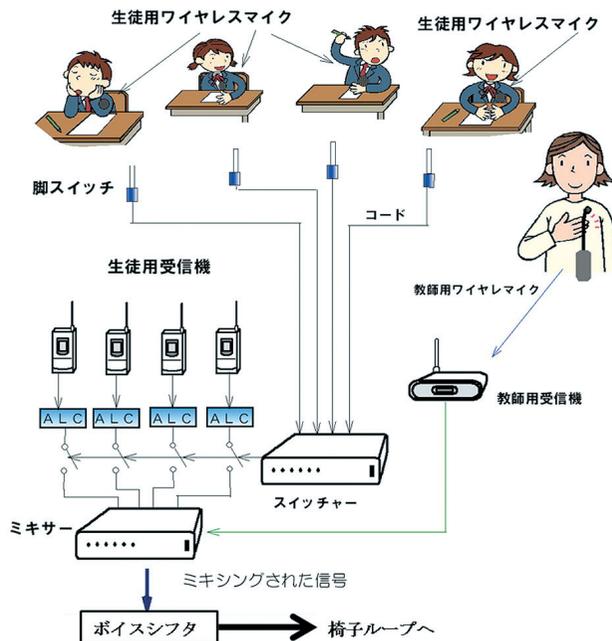


図6 聾学校教室内音声共有システム

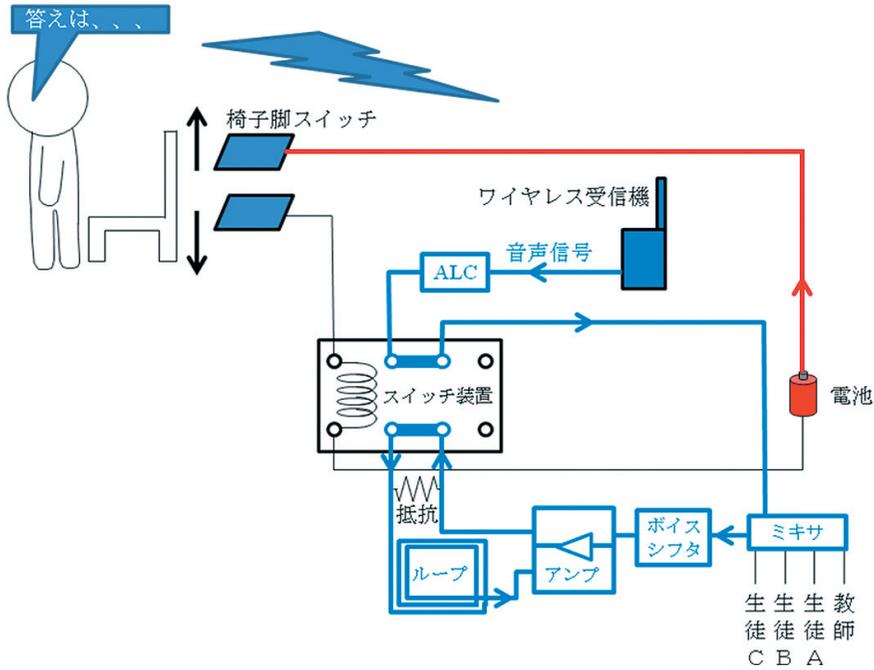


図7 起立時の音声信号の伝わり方

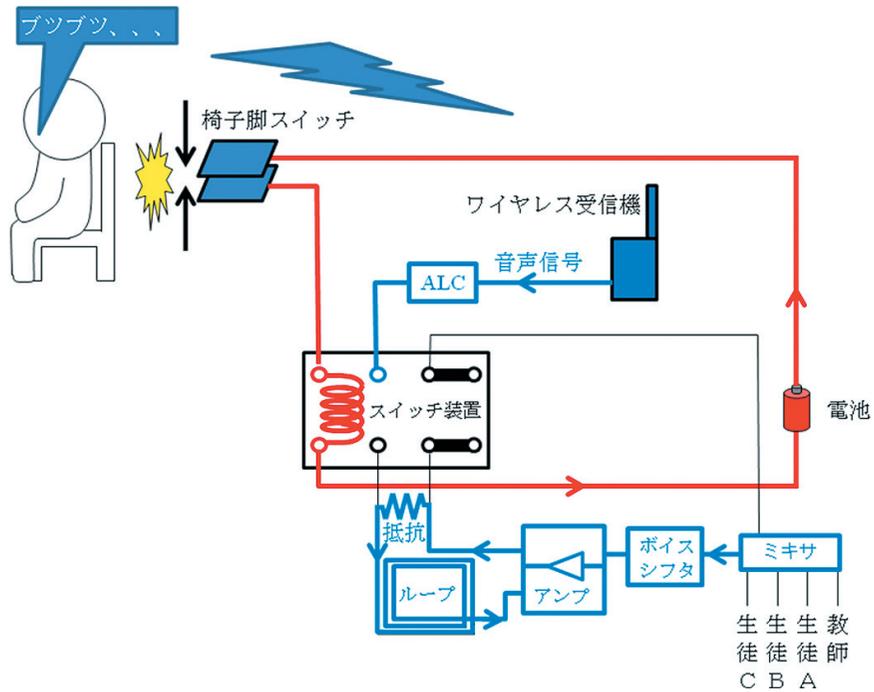


図8 着席時の音声信号の伝わり方

4. 椅子脚スイッチ

4. 1 椅子脚スイッチの必要性

生徒1人、1人がマイクを持つことにより、聾学校教室音声共有システムを実現した。マイクはワイヤレスマイク、無線である。問題は、背景雑音までもが教室内で共有されてしまう点である。我々は、背景雑音を自動的に遮断して、起立して発表する生徒の声のみを共有できるようにする為、椅子脚スイッチを開発した。生徒自身が発言時に押しボタン式マイクスイッチを操作する方式も考えられるが、手話や指文字を併用するため、自動的に作動する椅子脚スイッチが適していると判断した。

4. 2 椅子脚スイッチの動作原理

椅子脚スイッチは椅子の脚に仕込む。生徒が着席時には、図8のとおり、マイクからの音声信号は教室内で共有されない。一方、生徒が起立し、発言している際には、図7の通り、マイクで拾われた音声はALC、ミキサを介して、教室内で共有される。

椅子脚スイッチのポンチ絵を図9、実際の写真を図10に示した。椅子には4脚ある。通常、聾学校教室内の椅子の脚は、中古テニスボールにより被われている。椅子と床の擦れる音を防ぐためである。椅子脚スイッチでは、その内の1脚を利用する。椅子脚全体を小型の亚克力瓶で被う。亚克力瓶の底には蝶番のついた銅板を取り付けた。この銅板は蝶番により回転可能で、もう一端には釘を取り付けた。さらに釘の先端にバネを取り付けた。生徒が起立している時には、荷重がないため、マイクロスイッチが作動し、ワイヤレス受信機、ALCを通過した音声信号がミキサに伝わる。生徒が座っているときには、下向きの荷重がかかり、マイクロスイッチは作動しない。バネ定数を調整することにより、様々な荷重に対応可能である。バネは安価で、また、亚克力瓶の外側に位置する為、交換も容易である。生徒の体重を考慮し、耐久試験を行った。60[kg]の錘を10時間椅子に載せた後でも正常に動作する結果を得た。

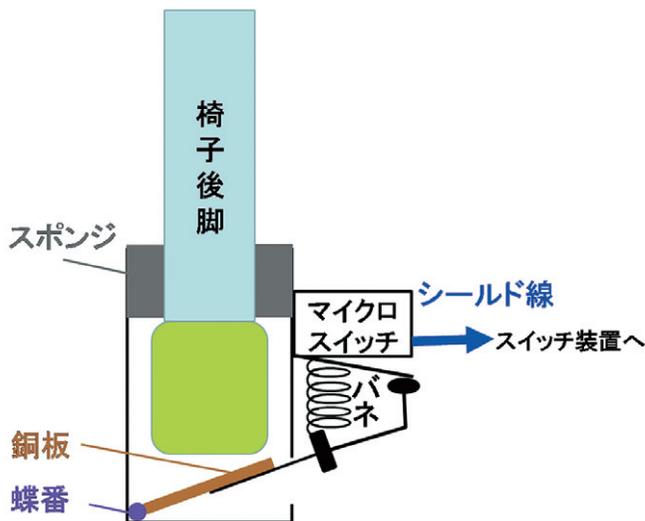


図9 椅子脚スイッチのポンチ絵

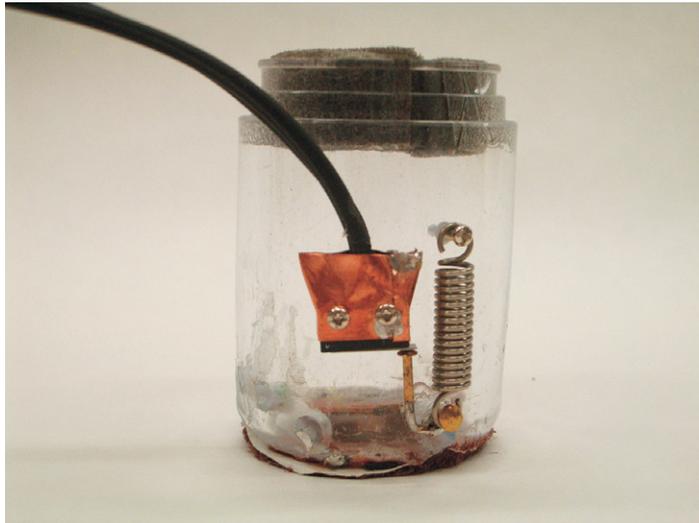


図10 椅子脚スイッチの写真

5. 音圧レベルの圧縮と低周波数化

難聴耳の狭い可聴域に対応するため、ALC回路を製作し、音声信号のゲインを圧縮した。使用したALC専用ICは、東芝TA2011Sで、音声信号のダイナミックレンジ55[dB]分を一定の出力にした後、各生徒の聴力レベルに合わせて、アンプで増幅した。図11は、同じ音声信号に対するALC有or無の比較である。上は、ALC無しの場合、下はALC有りの場合である。両者とも定性的には一致しているが、ALCを通過した音声信号（下）は振幅が比較的一定になっている。これは、ALCにより、音声信号が可聴域内に調整（大きすぎる音は小さく、小さすぎる音は大きく）されたこと意味する。

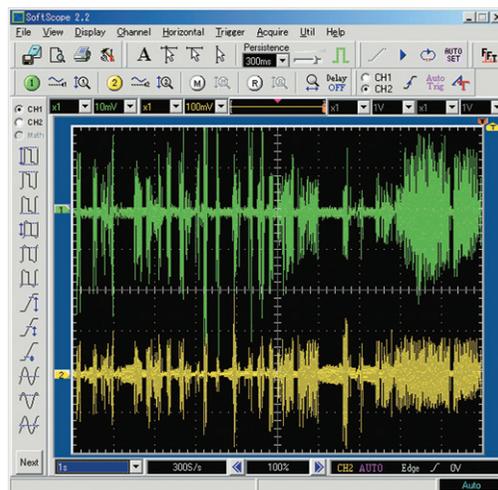


図11 ALCが有る場合と無い場合の音声信号の比較。上：ALC無、下：ALC有

音声周波数を低周波数にシフトするため、市販のボイスシフタ（VS727, ORTHO SPECTRUM社）を利用した。これにより、500[Hz]程度、周波数を調整できる。

以上より、難聴耳の狭い可聴域と低周波数域の聞こえの優位性に対応することができるようになった。

6. 椅子ループ式音声共有システム

6. 1 椅子ループ式音声共有システムの必要性

聾学校の生徒が発言をする際には手話も併用する。手話をする際に、マイクコードや音声受信機等の装着物は邪魔になる。ループ式は、赤外線式で必要な赤外線受信機が不要になるため、装着負荷が軽減される。ループ式の欠点は、表1の通り、ループの床面への埋設工事、磁力線漏れによる混信、高さによる聞こえ方の変化、である。これらの問題を解決するために、規模を小さくした椅子ループを試作した。

6. 2 椅子ループの特性

椅子ループと椅子脚スイッチを取り付けた椅子の写真を図12に示した。椅子の座面裏側にループを巻いたベニヤ板を接着し、左後ろ脚は椅子脚スイッチにより被われている。椅子ループは、ベニヤ板の四隅に金具を貼り付け、導線を20回巻きし、製作した。ベニヤ板の大きさは、280×280×2.5[mm]である。この椅子ループは、埋設工事の必要がなく、また規模が小さいため、磁力線漏れがなく、さらに抵抗値を調整することにより、高さによる音声強度の変化を抑えることができる。高さによる音声強度の変化を抑えると、起立時でも着席時でも同様に聞こえるため、違和感がなくなる。



図12 椅子ループと椅子脚スイッチ

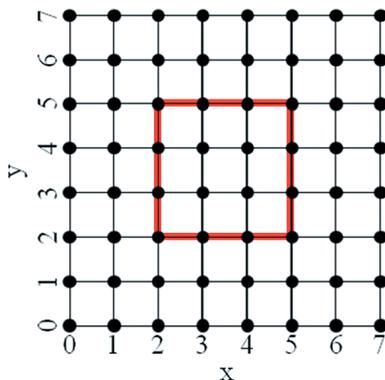


図13 磁束密度の測定点

座面からの高さと言声強度の関係を調べるため、椅子ループ（ループ自身の抵抗以外は付加していない）から発生する磁場強さ（磁束密度）の測定を高さを変数として行った。測定には、ガウスメータ（MODEL EMF-822, 株式会社カスタム）を用いた。測定点は、図13に示す700×700[mm]のアクリル板の格子点上とした。高さは、床に置いた椅子ループとアクリル板の間に積木を挿入することにより変化させた。高さ250[mm]から1100[mm]まで、50[mm]刻みで変化させた。高さの範囲は、身長1.45[m]の生徒が着席、或いは起立している状況を考慮し、決定した。椅子ループは、図13の格子点(2,2)、(5,2)、(5,5)、(2,5)で囲まれた領域の直下に設置した。図14と15は測定結果である。横軸のxとyは格子点で、縦軸は磁束密度である。図14と15を比較すると、椅子ループに近いほど磁束密度は大きくなっている。両図の場合、高さによって、磁束密度は2桁も異なる。また、高さが低い場合（図14）、格子点によって、磁束密度は0.2～15.6[μ T]と大きく異なる。しかし、高い場合（図15）には、格子点による差は、0.2～0.6[μ T]と小さくなる。今回、鉛直方向に加えて、水平方向の聞こえ方の違いを小さくするため、図15と同様の磁束密度分布の達成を目指した。着席時には、図8の通り、30[Ω]の抵抗を経由することにより、ほぼ図15と同様の磁束密度分布になった。実際に抵抗無しの起立時と30[Ω]の抵抗を付加した着席時で音声を聞いたところ、同様の音声強度で聞こえた。

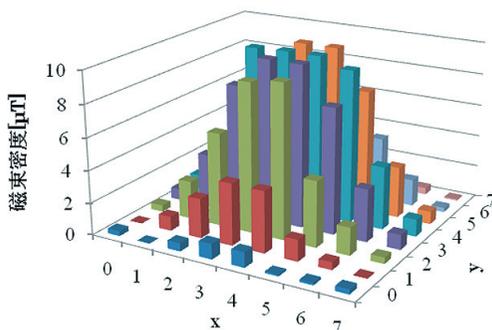


図14 磁束密度の位置依存性。高さ：250[mm]。

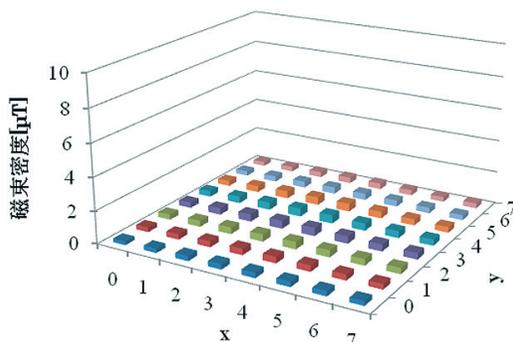


図15 磁束密度の位置依存性。高さ：1000[mm].

7. 試 行

聾学校教室内音声共有システムの試行を2008年12月12日～17日に行った。対象は、山形聾学校小学部5年1組の生徒4名と先生1名、中学部2年1組の生徒3名、高等部専攻科の生徒1名である。椅子脚スイッチ、音圧レベルの圧縮、音声の低周波数化、椅子ループの各要素技術を独立に評価する為、それらを組み合わせて試行した。小学部5年1組では椅子脚スイッチと音圧レベルの圧縮、中学部2年1組では椅子脚スイッチと音声の低周波数化、高等部専攻科では椅子脚スイッチと椅子ループの試行を行った。その後、紙媒体アンケートにより、多肢選択法と自由記述で使用感を調査した。以下に得られた感想を列記する。

- ① これまでと比べると友だちの声が良く聞こえた。
- ② 友だちの声が聞こえると、とても勉強に役立つ。
- ③ 起立時も着席時も同様に聞こえる。
- ④ 声は大きいけれど、ガラガラ声に聞こえる。

④は音声信号を低周波数化した場合の感想で、違和感があるようである。これ以外の要素技術に対しては、肯定的な意見が多かった。

8. ま と め

聾学校教室内音声共有システムを開発した。これにより、従来の先生→生徒の一方向通信を改善し、必要な音声のみを教室内で共有できるようになった。本システム用に開発した要素技術は以下の通りである。

- ① 椅子脚スイッチ：背景雑音を積極的に遮断し、起立した生徒の発言のみを教室内で共有する為の要素技術である。蝶番、バネ、マイクロスイッチにより、構成されている。
- ② ALC（オートレベルコントロール）回路：難聴耳の狭い可聴域に対応する為の要素技術である。ALC専用ICを使用し、ダイナミックレンジを圧縮した。
- ③ 椅子ループ：受信機の装着負荷を軽減する為の要素技術である。ベニア板、導線、抵抗により、構成されている。

謝 辞

本研究の一部は、財団法人三菱財団の助成（聾学校教室内の集団補聴・生徒間双方向音声伝達システムの開発）により行いました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Mader, S. (2005) ヒューマンバイオロジー, 医学書院 7th Ed., pp.284-285.
- 2) 学校教育法施行令 第2章 視覚障害者等の障害の程度 (第22条の3)
- 3) クラウス エルバリング, キーステン ヴォースー, オーティコン「よい聞こえのために」プロジェクトチーム, 加我君孝 (翻訳) (2008) よい聞こえのためにー難聴と補聴器について, 海文堂出版.
- 4) 文部省 (1992) 聴覚障害教育の手引き, 海文堂出版, pp.283-288.
- 5) 山形県立山形聾学校自立活動部 (2001) 赤外線を利用したステレオ式集団補聴システム～システムの開発と活用～, みみだより, 第3巻, 第404号.
- 6) フォナック・ジャパン株式会社, 学校生活ときこえ2009年度版作成委員会 (2009) 教師のためのガイドブック 学校生活ときこえ 2009年度版, pp.38-40.
- 7) リオン株式会社 (2000) 補聴器コンサルタントの手引き (改訂6版), p.42.

Summary

Kazuya SEO¹, Yoshiharu KAMIO², Momoko MATSUO¹
and YAMAMOTO Hiroshi¹ :
Technical Development of Group Hearing Aid
in the classroom of school for the deaf

1. Dept. of Information, Environmental and Food Science, Faculty of Education, Art and Science
2. Yamagata School for the deaf

A number of conventional group hearing aids have been produced. However, the problem with all of the conventional systems is that the direction of communication is one way, coming from the teacher to each student. A two way system in which the voice of a student is directly transmitted to other students (bypassing the teacher) has been in great demand. This is the very objective of the current study. We have developed a group hearing aid in a classroom of the school for the deaf in which the voice of a standing student is shared with each hearing-impaired student in the classroom.

Key words: Hearing impaired, School for the deaf, Group Hearing Aid