

難聴児の聴力トレーニング機の開発（第1報）

青野洋一

Development of a Hard Hearing Child's Hearing Training Machine (Part1)

AONO Youichi

聴覚に障害がある乳幼児は、早期に発見し適切に療育を行えば、正常な子供たちと同程度まで言葉を学習する可能性が大きいことが分かってきた。聴能訓練では、オーディオメータを用いているが、機器が高価であり、また大型であるため、一部の施設しか実施されていない問題がある。そこで、本研究では、パソコン及びその周辺機器を利用して、難聴児が遊びながら生活音に注意を払うことのできる、安価で小型のトレーニング機を開発した。

キーワード：聴能、トレーニング、難聴、幼児、オーディオメータ

はじめに

生まれながらに難聴を抱えている新生児は、正常新生児で1,000人に1～2人、ハイリスク新生児で100人に3～5人存在するとされているが、早期に発見し適切な療育を行えば、正常な子供たちと同程度までに言葉を習得する可能性が大きい、ということが分かってきた¹⁾²⁾。また、聴力検査で聞き取れているレベルの音であっても、他のことに夢中になると聞き逃してしまう難聴児もあり、これが語彙の発育が遅れる原因ではないかという指摘もされている。

県内聾学校では、幼稚部入学前の難聴児を対象に、普段から聞く注意力を高めるため、ピープショー等の機器を用いた聴能訓練を行っている。聴能訓練では、既存のオーディオメータに、電車やマジックミラーなどの玩具をオプションで取り付けた既製品があるものの、300万円以上と高価である。しかも、機器構成が大型となるため、聴能室から幼稚部の部屋に持ち運びにくい問題があり、現場からは安価で携帯性の良いトレーニング機の開発が望まれている。

本研究では、聴力トレーニング機とそれに接続できる玩具等について、小型化、低廉化を目標に、トレーニング用ソフトウェア、入出力装置、ミラーボックスを開発、設計、試作したので報告する。

システム概要

1. ハードウェア

本ハードウェアシステムの構成を図1に示す。CPU、Input(I/O)、Output(I/O)からなる基本部分と、Keyboard、Mouse、Buttonからなる入力インターフェース部、Display、

Speaker、Mirror Box等からなる出力インターフェース部で構成している。なお、CPU、Keyboard、Mouse、Buttonは市販品を用いた。

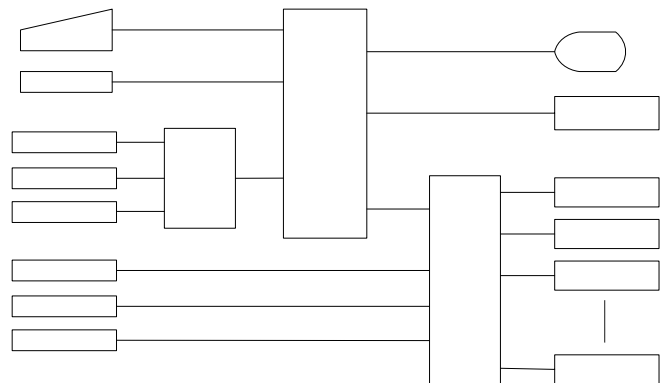


図1 ハードウェアシステムの構成

2. ソフトウェア

本ソフトウェアシステムの作動には、OSとしてWindows XP Service Pack 2の外、DirectX 9.0、Windows Installer 3.1以上が必須となる³⁾。当研究で開発したソフトウェアシステム構成の概略を、図2に示す。

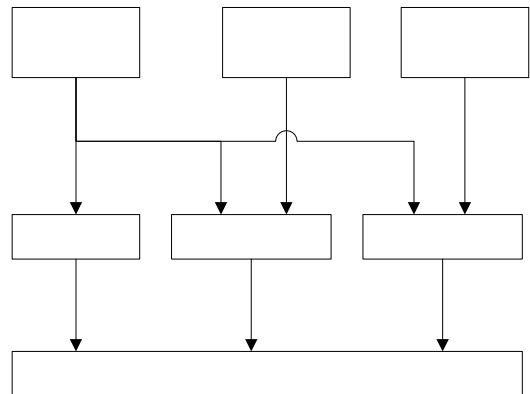


図2 ソフトウェアシステム構成の概略

本ソフトウェアシステムは、Visual C++及びVisual C#で開発した。Main menuは、プログラム全体の設定や各

種トレーニングの制御を担っている。Sound は、各種トレーニング音の制御に加え、ボリューム、イコライザー、左右スピーカーのバランスなどの設定を行う。Picture は、静止画像を褒美とするトレーニングプログラムで、Output (I/O)は出力装置の制御を行うトレーニングプログラムである。

3. インターフェース

メインメニューは、褒美の選択とプログラムの実行を主眼にインターフェース (図 3) を作成した。



図 3 メインメニュー画面

設定タブでは、トレーニング時間 (ゲーム時間) と検査音を鳴らす時間間隔、ボタンの受付時間、ボタンを押し間違えたときのペナルティ時間を設定する (図 4)。また、入力装置を接続しないで使う場合を考慮し、マウス、キーボードでの入力もできるようにした。

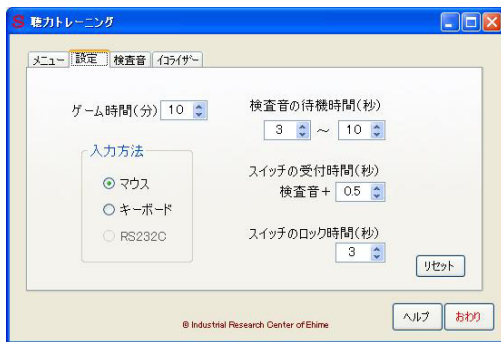


図 4 設定画面

イコライザータブでは、検査音を 250Hz、500Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、4 kHz とし、周波数とボリュームの選択ができるようにした (図 5)。



図 5 イコライザー画面

ここでは示さないが、検査音タブには、連続音の純音を用意した。将来、断続音の純音やウォーブル音、語音、ユーザ音が選択できるように項目だけ追加している。また、従来からのオーディオメータを使って、当トレーニング機の褒美だけを提示できるモードも追加した。

検査音の長さは、1～3秒の間で選択できるようにした。

実験方法

1. トレーニング機のコセプト

松山聾学校と宇和聾学校両校の教諭から聞き取り調査の方法で、当開発機のコセプトを設定した。

2. 入力装置 (Input I/O) の製作

トレーニング機のコセプトに基づき、幼児がトレーニングで取り扱う入力装置は、キーボード、マウス (3ボタン)、入力装置の3種類とした。

キーボードとマウスは既製品を用いた。

入力装置は、幼児が扱いやすい、押しボタンスイッチ (写真 1) が接続できるインターフェース (φ3.5 ジャック 3個) を装備させた (写真 2)。パソコン本体への接続には、接続が簡単な USB コネクタを採用した。



写真 1 ボタンスイッチ



写真 2 入力装置

3. 出力装置 (Output I/O) の設計・製作

出力装置では、子供が興味を示す電動玩具を制御できるコンセプトで設計・製作を行った (写真 3)。



写真 3 出力装置

その主な仕様を表 1 に示す。

表1 出力装置仕様

電源	AC100V、15A（最大時）
入力接点数	a 接 4 点
出力接点数	a、b 接 9 点、 サービスコンセント 1 点
出力定格電流	DC：30V、1A AC：100V、0.5A（a、b 接）、 100V、15A（サービスコンセント）
インターフェース	R S 2 3 2 C

4. 音圧の較正

トレーニングに用いる音圧（250Hz～4kHz）の較正は、主たる周波数（通常 500Hz）の音を鳴らしながら、スピーカーのボリュームを歪まない程度に大きくして音圧を測定し、その測定値を入力する。次に、同じ周波数でソフトボリュームを調整しながら、最小となる音圧を測定して入力する。以下同様に、他の周波数の最大値と最小値をソフトボリュームで調整し、それぞれの音圧測定値を入力することで、最大、最小音圧の範囲を決定する方法を採用した。

5. 褒美（玩具）の設計・製作

当トレーニング機では、難聴児が検査音を聞き分け、ボタンスイッチを正しく押さえれば、褒美を与えている。褒美には、ディスプレイに静止画を表示したり、装置本体に接続した出力装置を介して玩具を動かしたりするなど、子供が興味を示すような、次の褒美を設計・製作した。

(1) 静止画

静止画は、動物写真を加工して JPEG ファイルを約 1,500 枚作成した。画像の大きさは 1020×738 ピクセル表示とし、ディスプレイの設定を 1024×768 ピクセルにすれば、フルスクリーン表示となるようにした。

(2) ミラーボックス

ミラーボックスは、ピープショーなどで使われているように、ハーフミラーの箱の中にぬいぐるみなどを入れ、通常外から箱の中は見られないようにした（写真4）。



写真4 ミラーボックス正面

褒美を与えるときは、箱の中の電球を点灯して明るくすることにより、中のぬいぐるみ等を見られるようにしている。

ミラーボックスは、出力装置のサービスコンセントに直接接続する機種A（写真5の右側）と、出力端子に接続する機種B（写真5の左側）を作製した。



写真5 ミラーボックス背面

(3) 信号機

信号機は、3色のLED（赤、黄、青）を用いて、9Vの乾電池で点灯できるように作製した。制御は、各LEDのコードを出力装置3箇所接続することで、点灯、消灯できるようにした。

結果と考察

1. トレーニング機のコセプト

現状のトレーニングの問題点について、松山聾学校及び宇和聾学校で、聞き取り調査を行ったところ、

- (1) 市販のオーディオメータを使ったトレーニング装置は、価格が高く、新しい機種への更新ができない
- (2) しかも重量があり、聴能室から幼稚舎に運び出すことが困難
- (3) 褒美のおもちゃは、種類が少ない
- (4) トレーニングには、指導者の操作が常時必要
- (5) 子供が指導者の目を見て、山勘でボタンを押し当ててしまい、トレーニングにならない

などの意見が出された。

これらの意見をふまえ、トレーニング機のコセプトは、

- (6) 基本構成（出力装置に接続する玩具を除く）は 20 万円以下
- (7) 持ち運びができる程度の重さ（1 部品当たり 15kg 以下）
- (8) 検査音（純音）の周波数は、250Hz、500Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、4 kHz の 6 種類
- (9) 検査音の音圧は、子供の位置で 70dB 以上の音圧

を確保

- (10) 検査音の種類は、連続純音、断続純音、ウォーブル音、語音、ユーザが作成した音が出せる
- (11) 褒美は画像表示の外、電動玩具が制御できる
- (12) 年齢、性別にあった褒美が選択できる
- (13) 子供が山勘で、正解のボタンが押せないシステムとした。

開発の結果(6)及び(7)は市販部品を改造することで目処がついている。(8)は聴力検査に使われる周波数を採用した。

当トレーニングでは、難聴児は 60dB 以上の音圧で聞き取れるように、フィッティングした調整した補聴器を使用するものと仮定していることから、(9)の音圧は 70dB 以上を確保した。音圧は、静かな場所でスピーカーから 60cm 離れた位置に普通騒音計を設置し(写真6)、各周波数の音圧を測定した(図6)。その結果、250Hz や 4 kHz ではスピーカーの特性に左右されるものの、適切なスピーカーを選定すれば、トレーニングに用いる音圧として問題はなく、高価なスピーカーは必要のないことが確認できた。

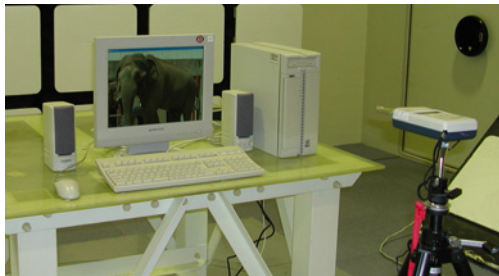


写真6 音圧測定

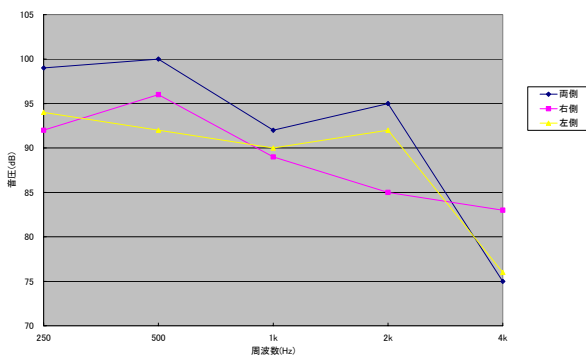


図6 スピーカー音圧 (C特性)

(10)の検査音は、純音 (JIS T1201) を作成した。しかし、オーディオメータの断続音、ウォーブル音がメーカーによって異なるように、音の定義がないため、研究では純音以外の音の作成は見送った。また、検査音の長さを 1～3 秒の間で選択できるようにしたものの、すぐにボタンを押す動作ができない子供が見受けられたため、検査音が鳴り終わっても、最大 5 秒間はボタンの受け付け時間を延長できるように改良した。

従来のオーディオメータを用いたトレーニングでは、指

導者が検査音を鳴らすスイッチと、子供がボタンを押したときに玩具を動かす別のスイッチを同時に操作していたため、操作を子供に悟られ、トレーニングにならなかったことから、検査音を自動で鳴らすことで、悟られないようにした。鳴らすタイミングは、ランダムに設定して音を鳴らすようにしたため、子供に山勘で褒美が与えられるということはなくなった。しかも、指導者は時間などの設定さえしておけば、子供ひとりでトレーニングすることも可能となった。

動物写真を用いた褒美でトレーニングを行ったところ、表示される画像を見て、2～3 歳児から指導者に話しかける場面が見受けられた。このため、子供との対話もできるように、検査音を自動で鳴らすのを一時的にストップできる機能を追加した。

子供がボタンを押し間違える場合は、検査音が鳴っていないのに押ししてしまう押し間違いと、鳴っているのにボタンを押さない聞き逃しとがある。

押し間違いには、失敗音を鳴らして子供に知らせている。褒美の選択を画像にした場合では、失敗時に音と同時に×や△の画像を表示するようにした。2 枚の画像を用意したのは、連続で失敗したことを気づかせるためである。

また、押し間違えたペナルティとして、検査音を鳴らすのを、一定時間遅らせる機能も付加したが、3 歳未満の幼児はトレーニングに熱中し、ペナルティの意味が理解できず、操作に慣れにくかった。

一方、聞き逃しは、検査音を小さくするなど、トレーニングを厳しくすれば頻繁に起きるが、毎回失敗を子供に知らせると、トレーニング意欲がなくなってしまうことから、あえて失敗を知らせる方法をとらなかった。聞き逃しの場合は、補聴器のフィッティングが適正でないことも考えられるので、指導者がトレーニングを見守る必要がある。将来的には、聞こえなかった検査音の周波数と音圧などを、データベース化し、トレーニング後に指導者が確認できる機能が必要である。

2. 入力装置 (Input I/O) の製作

検査音が聞き取れた場合の入力方法は、幼児が取り扱いきやすいことを考慮して、大型のボタンスイッチを使うことを前提にした。大型ボタンスイッチにはプラグ (φ 3.5) を有しており、それを接続するジャック (φ 3.5) を取り付けられた入力装置を作製した。入力装置は、トレーニング開始直前であっても、容易にトレーニング機へ接続できるように、USB ケーブル接続とした。

今回、入力装置の材料費は 2 千円程度であったのに対し、市販の大型ボタンスイッチは種類が少なく、7 千円するため、さらなるコストダウンにはボタンスイッチの低廉化が課題である。

3. 出力装置 (Output I/O) の設計・製作

出力装置には、10個のリレー端子を設けた（内1個は交流サービソコンセント）。リレーは、ポート用のため、定格電流は直流30V、1A、交流125V、0.5Aとなっている。交流接続では玩具側に電源があり、玩具に電源を入れたまま接続順番を間違えると、感電の恐れがあることから、安全面を考慮して接続は直流を基本としている。

また、当初に用いたUSBインターフェースを持つ低価格のボードでは、直流作動玩具の接続に問題はなかったものの、交流作動玩具をつないだところ、ノイズが原因と思われる誤作動が認められ、コイル電流（9V直流）を介したリレーを使っても同様の現象があった。このため、ボードをD-Subのシリアルインターフェースに変更したところ、誤作動は認められなかった。

出力装置を用いた場合の検査音を鳴らすタイミングは、玩具を強制的に止めたのを確認してから始める場合と、一定の動作を終えたのを確認してから始める場合がある。

玩具を強制的に止める場合は、出力装置にボタンスイッチを接続し、それを押さえることでリレーをオフにする。子供と対話しながらトレーニングする玩具に適している。

一定の動作を終えたのを確認して始める場合には、タイマーによる動作終了方法と、玩具がある動作を完了してリミットスイッチなどによる信号を送ることで動作を終了したと判断する方法とがある。前者は後述するミラーボックスや信号機に応用でき、後者は鉄道模型のように決められたパターン動作を終了したときに利用が可能である。

入力ボタンの接続や、リミットスイッチの接続できる入力端子を写真7に示す。



写真7 出力装置の入力端子

4. 音圧の較正

スピーカーには固有の特性を持ち合わせるため、スピーカーアンプボリュームを設定した後、ソフトボリュームで音圧を調整する。当トレーニング機は幼児が使うことを考慮して、音場検査としている。そのため、周波数の高い音圧は、子供の周りに人が立つだけでも、測定値に数dBの差が認められ、機器の較正は、トレーニングの環境条件ごとに行う必要があることが分かった。

5. 褒美（玩具）の設計・製作

褒美の選定にあつては、幼児の年齢、性別、関心事など多様な種類になる。当研究では、玩具接続の可能性を確認することと、子供は何に興味を示し、またトレーニングを行うにはどれが適しているかを探ることを目的とした。

(1) 静止画

静止画は、写真、イラストなど様々な形態が考えられるが、著作権問題や画像の制作時間を考慮して、当研究では動物写真を用いた。3歳未満の子供にあつては、動物への興味が高く、トレーニングを行っていくうちに、表示して欲しい動物のリクエストを出すまでに至った経緯があり、当初、動物一般でまとめていたカテゴリーの外、ぞう、かば、ライオンなど動物10種のカテゴリーに細分類し直した。

(2) ミラーボックス

ミラーボックスや、後述の信号機など、多数の玩具は出力装置の接続を前提としている。出力装置には、15A以下の交流電流を、リレー制御で供給できるサービソコンセントを1個設けているため、ミラーボックスAは、プラグを接続するだけでON、OFF制御を可能とした。

当初、ミラーボックスは1個でのトレーニング予定であったが、音が鳴っている側のスピーカーや、ボタンの組合せによって、左右のミラーボックスの点灯を制御する案も提示されたため、ミラーボックスBを追加した。ミラーボックスBは、内部にリレーを取り付け、外部出力装置の出力端子に接続するようにしている。

ミラーボックスは、前面からぬいぐるみ等の玩具を入れる予定にしていたが、子供が箱の中に何が入っているか関心を示すため、現状のトレーニングでは、子供に分からないようにもう一人の指導者が玩具を入れ替えていた。そこで、玩具を出し入れしやすいように、当ミラーボックスは背面に片扉を取り付けた。

(3) 信号機

信号機は、赤、青、黄のボタンスイッチに合わせて、発光ダイオードの色を対応させた。

制御は、ボタンスイッチを押さえると、設定された時間だけ、ボタンの色に対応した発光ダイオードを点灯させ、一定時間が過ぎたら自動消灯させる方法と、赤、青、黄のボタンスイッチ以外に、リセットボタンを用意し、指導者がリセットボタンを押して、発光ダイオードを消灯させる方法とができるようにした。

自動で消灯させる場合は、消灯後に検査音のシーケンスをスタートさせるタイマーを入れ、手動で消灯させる場合は、リセットボタン操作後に検査音のシーケンスタイマーを入れるように作製した。

ま と め

難聴児トレーニング機の試作及びモニタリングを行い、次の結果を得た。

1. 従来機器よりも、はるかに安価で小型のトレーニング機を試作することができた。
2. 年齢に即した褒美を用意することで、子供に興味を持たせながらトレーニングを行うことができた。
3. 聴能室で補聴器のフィッティングを行っているにもかかわらず、トレーニングの玩具に夢中になると、一部の周波数で聞き取れていないことが判明するなど、当トレーニング機での成果が認められた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、愛媛県立松山聾学校の松本昭彦先生、佐々木紀久様、愛媛県立宇和聾学校の家藤武士

枝校長様、小山恒和事務長様、宇都宮円先生、高石誠先生から、貴重なアドバイスならびにモニタリングにご協力を賜りましたことを、厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 佐藤正幸, 小林倫代, 寺崎雅子: 聴覚障害のある乳児及び保護者に対する早期からの聴覚的・発達の援助, 国立特殊教育総合研究所研究紀要, **30**, 37-50(2003).
- 2) 田中美郷, 進藤美津子: 乳児の聴覚的発達検査とその臨床および難聴児早期スクリーニングへの応用, *Audiology Japan*, 2152-71(1978).
- 3) 大川善邦, 大澤文孝, 登大遊, 成田拓郎: Direct X9 実践プログラミング, 第二 I/O 編集部編 (株)工学社出版)p.176-212, (2005).

Abstract

If the baby who has hearing impairments is discovered at the early stage and treated appropriately, it has been understood that he is a possibility of the same level studies words as normal children is large. Auditory training is used by audiometer, but there are problem that it is a high-priced and large-sized. Therefore only a part of educational facilities executes the auditory training. We developed a compact and low-priced training machine that is using a personal computer and around sound parts. The machine is useful for hard hearing children who are careful to living sounds while playing.