

## 難聴児の聴力トレーニング機の試作（第2報）

青野洋一

## Development of a Hard Hearing Child's Hearing Training Machine (Part2)

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トレーニング機を發展させ、一般玩具を接続できる制御装置の開発を行った。

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、玩具

## 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<sup>1)2)</sup>。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が開発が望まれている。

平成18年度では、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<sup>3)</sup>。本年度は玩具の種類を増やすため、本装置に接続できる制御装置の開発及び鉄道模型での実験を行ったので報告する。

## システム概要

## 1. ハードウェア

本ハードウェアシステム全体の構成を図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

や玩具等からなる出力インターフェース部で構成している。

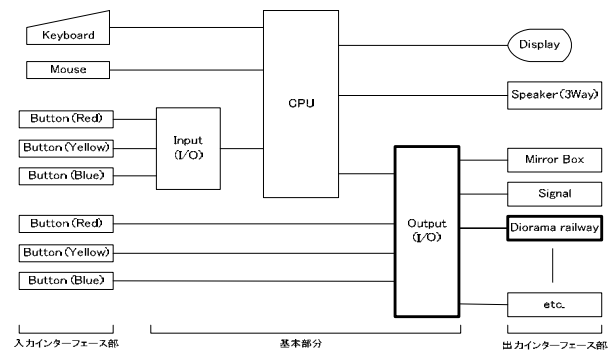


図1 ハードウェアシステム全体の構成

市販されている一般電動玩具を制御するため、開発した制御装置には入力部（センサ制御）と出力部（モータ制御、ポイント制御）の機能を持たせた。鉄道模型制御の構成（図2）は、Output (I/O)とジオラマの間にControl Boxで接続した。

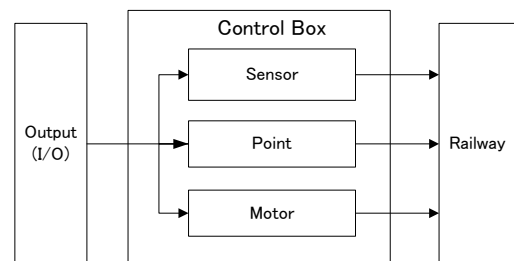


図2 鉄道模型制御の構成

鉄道模型の制御装置（Control Box）には、チップマイコン（PIC16F876A、PIC16F84A等）を用いた。出力装置から信号が入ると自動運転を順次行い、一連の動作が終わると出力装置に信号を返すシステムとした。

鉄道模型ジオラマは、数種類の運行モードで検証するため、当実験では2種類のレイアウトを用いた。

レイアウトA (図3) は、1,800×900 のボードサイズに、ポイントを4カ所 (P1~4) とセンサを8カ所 (S1~8) 配置した。列車は2系列で、12通りの運行モードとした。盲腸線に配置したセンサS5とS7は停止専用にし、S6とS8は減速専用とした。センサS1~4は、列車の進行方向によっては、ソフト上で停止センサと減速センサに切り替えるシステムとした。

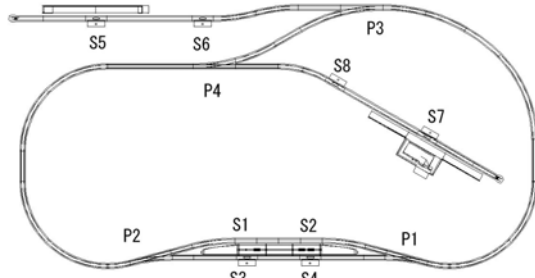


図3 レイアウトA

レイアウトB (図4) では、1,200×800 のボードサイズに、ポイントを3カ所 (P1~3) とセンサを6カ所 (S1~6) 配置した。センサS2とS4はポイントの外側に、S1とS3は駅構内に配置し、それぞれ減速専用と停止専用センサにした。

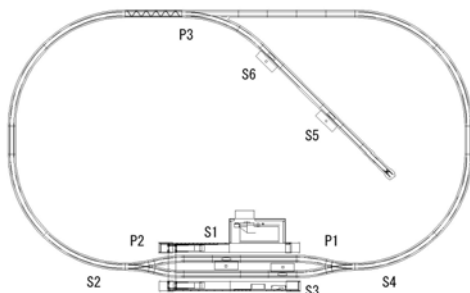


図4 レイアウトB

## 2. ソフトウェア

鉄道模型自動運転のフローチャートを図5に示す。

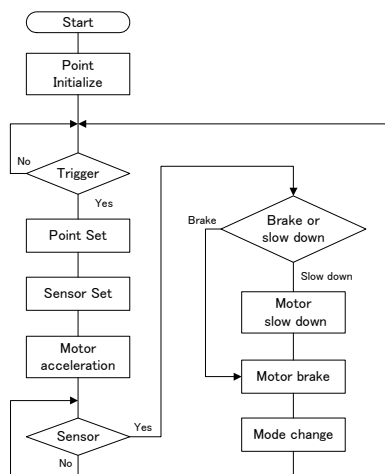


図5 自動運転フローチャート

レイアウトA (図3) を例に説明すると、電源が入るとポイントはイニシャライズし、初期状態の位置 (P1、P2は内側、P3、P4は盲腸線側) にセットする。聴力トレーニング

機本体から検査音が出た後、決められた時間内に子どもがボタンを押すと、トリガースイッチが入り、モータに電気が流れ列車はS1位置からS6方向に動き始める。センサS6あるいはS5を通過すると、減速またはブレーキをかけ、列車は止まる。システムは、次のモードにセットすると共に、出力装置へスタンバイの信号を送る。次に出力装置は、鉄道模型 (玩具) が動いている間信号待ちしていたシステムを再開するように、聴力トレーニング機本体へ信号を送る。以下同様に、動作を繰り返す。自動運転制御装置のプログラムには、アセンブラを用いた。

その外、本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<sup>4)</sup>。当研究で開発したソフトウェア構成の概略を、図5に示す。

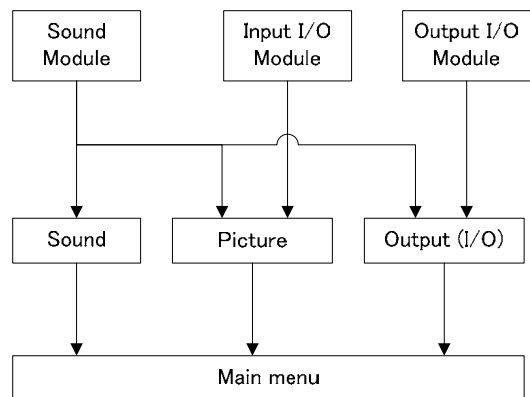


図5 ソフトウェア構成の概略

本体ソフトウェアは、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、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

メインメニューでは、一般電動玩具の接続を想定して、褒美の選択に外部機器の項目を追加した (図6)。当項目を選択した場合、パソコンに RS232C で接続した出力装置を制御することで、電動玩具を動かす。



図6 メインメニュー画面

外部機器は入力チャンネル4個と出力チャンネル10個を有し、出力チャンネル作動条件は入力チャンネルから選択できるようにし、褒美を与えるスイッチにトリガースイッチを4個、玩具が動き終わって聴力トレーニング機をスタートさせるスタートトリガー1個を設けた。鉄道模型制御装置の接続は、子どもが押すボタンには入力トリガーを入力CH0、列車やポイントを動かす出力を出力CH0、鉄道模型の1モードが完了したときの信号をスタートトリガーCH3に設定した



(図7)。

図7 設定画面

## 実験方法

### 1. システム概要

鉄道模型の自動運転は、

- (1) レイアウトがユーザに委ねられているため、制御装置の設計が変化に富む
- (2) 少し複雑なレイアウトにすると、ポイントやセンサの数が増え、それを制御するプログラムが飛躍的に大きくなる

などの問題があり、現状ではオーダーメイドで作っているか、簡単なレイアウト（ポイント2カ所、センサ4カ所）程度の市販品しか販売されていない。

また、制御装置を設計するにあたり、PICマイコンはI/Oピンの数に制限があって大きなレイアウトには使えなかったり、アセンブラやCなどの開発言語を用いるため生産性が悪かったりする問題もある反面、

- (3) PICマイコンは1個200～500円程度と低廉で、入手しやすい
- (4) 少ないI/Oピンは、複数のPICをつなぐことで、多くのI/Oを必要とするシステムでも拡張し易い

などのメリットがある。

聴力トレーニング機の開発では、装置全体を低廉化する目標もあることから、制御装置はPICマイコンを採用することとした。

### 2. 制御装置の設計・製作

制御装置は、モータ制御とポイント制御、センサ制御、PICマイコン制御からなる部品で構成した。

その主な仕様を表1に示す。

表1 出力装置仕様

電源	AC100V、1.4A
入力接点数	9点
出力接点数	5点 PWM制御1点
出力定格電流	DC：12V、3.6A (peak 4A)

#### (1) モータ制御部

モータは、12V、PWM制御方式を採用した。加速は、デューティ比50%から比例配分で最高速度まで上げ、減速は比例配分でデューティ比を下げ、50%になった時点でブレーキをかける制御にした。ブレーキは1秒間保持し、その後解放して車両を停止させた。

モータの作動は、①停止、②正転、③逆転、④ブレーキの4通りで、正転、逆転には、PWM制御で加速、減速を行った。

#### (2) ポイント制御部

市販の電動ポイントはコイルで切り替わるため、制御にはDC12Vマイクロリレーと4,700 $\mu$ F25Vの電解コンデンサを用いた。またリレーは、ポイントごとに独立制御できるように配置した。

#### (3) センサ制御部

センサは減速用センサと停止用センサ各1個の組み合わせで、列車停止位置に配置した。

#### (4) PICマイコン制御部

PICマイコンは出力機から入力信号があると、PWM制御、ポイント制御、センサ制御を行い、一連の動作（列車の運転、停止）が完了すると、出力装置に信号を返すプログラムとした。

### 3. ジオラマ（鉄道模型）の設計・製作

ジオラマに用いたレール、ポイント、モータ動力電源等、鉄道模型部品には、比較的安価に入手できるNゲージ（TOMIX製）を採用した。そして、ジオラマ設計の制約事項は、

- (1) 子どもの関心が高いトンネルを配置する
- (2) 聴力のトレーニングが目的なので、列車が動き始めて停止するまで、数秒以内で完結する
- (3) 脱線等のトラブルでトレーニングは中断しない
- (4) 聴能室に入るコンパクトなサイズにする
- (5) 聴力トレーニングに全問正解であれば、10分以内に全ての運行モードを完了させる
- (6) 運行モードは数種類以上用意する

などの要望があり、

- (7) 加速、減速時間を極力短く
- (8) レールの最小半径はR280
- (9) ボードの大きさは、最大1,800×900以下
- (10) 1回の運転は、数秒以内
- (11) 運転は2編成車両で12モード

とした。

以上のコンセプトで設計・製作を行った（写真1、2）。



写真1 松山聾学校ジオラマ



写真2 宇和聾学校ジオラマ

#### 4. モニタリング

松山聾学校、宇和聾学校で、入園前の子どもを対象に、ジオラマを用いたトレーニングのモニタリングを実施した。

### 結果と考察

#### 1. 制御装置のコンセプト

ジオラマのレイアウトA (図3) では、入力9点 (センサ8点、出力装置からの信号1点) と出力8点 (ポイント4点、モータ3点、出力装置への信号1点) の合計17点が必要となる。これに適応するPICは、28pin以上であればI/Oを22点用意できるが、センサ8点は割り込みができるポートを利用した (通常PICには4点しか無い)。また、マイコン1個の最大消費電力は250mWのため、同時にドライブ信号を出すI/Oポート数に制限がある。それで、複数のPICを組み合わせる方法を採用した。

4点の割り込みポートを持つPIC16F84Aをセンサ専用マイコンにし、これを2個使うことで8個のセンサを割り振った。1個目のマイコンにはS1~4を接続し、2個目のマイコンはS5~8を接続した。つまり、減速センサと停止センサをそれぞれのマイコンに2個ずつ割り振ることとなり、それぞれの割り込みに応じて、減速の出力信号と停止の出力信号を出す。2つのマイコンから出力された信号は、NOR回路で統合し、主マイコン (PIC16F876A) へ信号を送る。主マイコンは減速、停止の入力信号を割り込みポートに配置することで、入力点数を抑えることが可能となり、ポイントとモータ等の出力信号を制御する。

その結果、ポイントを制御するマイコンは、PIC16F876A 1個で対応させることが可能となった。

#### 2. 制御装置の設計・製作

制御装置は、デジタルスイッチ機能を持たせたI/Oと、PWM

制御でモータを回転させるマイコンで構成した。

##### (1) モータ制御部

日本の鉄道模型部品ではNゲージ規格が主流で、そのほかにHOゲージと合わせて大多数を占めている。これらのゲージで使用しているモータはDC12Vで駆動するため、その制御にはモータドライバ(TA7291P)をPWM制御で行った。その結果、列車の重量によっては加速・減速に大きくばらつきが生じ、定位置での停止制御が難しいことが分かった。特に重量が軽い車両では、同一条件で走行させても、停止位置が一定せず、プログラムだけによる制御では難しい。これを回避するには、動力車両の重量差が約40%以内となるような組み合わせが最適である。

##### (2) ポイント制御部

ポイントの制御には、ポイントと同じ電圧12Vで作動するコイルを持つリレーを採用した。今回の実験ではリレー4個で4カ所のポイント切り替えを行ったが、同一電源で全てのコイルに電流を流した場合、コンデンサに蓄電する電力量が十分確保できない問題が生じた。リレーは同時に最大2個までしかコイルに電流が流れないようにポイントの切り替え制御をプログラミングしたが、ヤードを含むようなポイントの多いレイアウトでは、コイル電流を切っても自己保持できるリレーの採用が適していた。また、同時に複数のポイントを切り替えないシーケンスを採用すれば、基板スペースを必要とするコンデンサも削減することができた。

##### (3) センサ制御部

盲腸線のレイアウトでは、センサを減速用と停止用に決められるが、ループ上にあるセンサでは列車の進行方向により、減速機能と停止機能を入れ替える必要がある。予め設定した運行プログラムの進行方向とポイントの組み合わせで、ループ上センサの機能を入れ替えることができた。

また、列車を発車させる場合、全てのセンサを有効にしておくと同前停止させたセンサが反応する。列車の運行に必要なセンサのみを有効とするプログラムにすることで、誤作動を回避することができた。

##### (4) PICマイコン制御部

PICマイコンは低廉である反面、入出力数が少ない欠点がある。そこでモータ制御とポイント制御を1個のPICで、センサ制御を2個のPICで、それぞれが独立したプログラムで構成し、センサの感知信号をNOR回路で集積した。

当制御では、レイアウトが大きくなると特にセンサ数が増え、それに接続する論理回路が増える問題がある。大型鉄道模型に対処するには、MSSP制御モジュールの導入が必要である。

#### 3. ジオラマ (鉄道模型) の設計・製作

実験に用いた聴能室は、ある程度のスペースを確保していたため、レイアウトAのサイズ (1,800×900) であっても問題は生じなかったが、聴能室で他の聴力検査をしている最中、子どもがジオラマを気にして検査ができない問題があった。そのため、ジオラマをカーテンなどで目隠しをするなどして対応した。トレーニング目的では聴能室内に設置する必要は

ないが、将来検査機器として開発するには、コンパクトなレイアウト設計が要求される。

当初列車の加速時間を3秒、減速時間を3秒に設定していたが、運転動作の完結を数秒で抑えるため、動きの雰囲気を犠牲にして加速を1秒、減速を2秒に修正した。そして列車のスピードも最高速度まで上げたところ、6秒程度の時間で脱線もなく、動きが完結することが可能となった。

トンネル設置では、トンネル内で脱線した列車を元に戻す作業が大変手間取り、トレーニングの妨げになった。しかし、車両の長さや重さに合わせた速度制御をすれば、曲率半径R280以下のレールでも脱線することなく、レイアウトをさらにコンパクトにできることが分かる。

また、勾配を含むレイアウト（立体交差）では車両の重量で速度変化が大きく、トレーニングには向かないことも分かった。そこで、一定のトレーニング時間内で完了させるため、レールの設置には勾配を極力避け、池、川などを配置する等、立体感を高める工夫が必要であった。

レイアウトAでは12通りの自動運転ができたが、レイアウトBではレイアウトが小さいためセンサ設置に制限があり、運行モードは7通りしかできなかった。しかし5分程度のトレーニング時間にレイアウトBでは完結するが、レイアウトAで完結しない時、トレーニングをやめたがらない子どもがいた。また、運転順番がいつも同じになるため、次回トレーニングをするときには飽きがないように、違った運転順番から始められる工夫が必要である。レイアウトBでは停止範囲が短いため、車両の長さに制限があり、2両以上で運転するには使用する車両の大きさ、重量に合わせた加速、減速の設定が必要であった。

#### 4. モニタリング

当トレーニング機のモニタリングでは、写真1に示すジオラマを用いて入園前の男子幼児3人で実施し、その状況を聞き取り調査した。

病院での聴力検査では問題なかった幼児が、当トレーニングを行っていたところ、1kHz前後の周波数を聞き逃すことが分かった。原因は、病院での検査では、子どもが検査者の目を見ながら、そのタイミングで聞こえているというボタンを押していたと考えられる。その他にも、玩具に夢中になった場合、聞こえていると思われるにも関わらず、聞き逃しも認められた。

鉄道模型の運転は、ポイントを切り替えてから列車を動かし始めるシステムにしているが、子どもが正解ボタンを押してもポイントの切り替わる音が小さく、すぐに列車が動かないため、押し間違えたのではないかという不安が見られた。

#### 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 training machine that is using a personal computer and around sound parts and a control device that can connected popular toys. The machine is useful for hard hearing children are careful to living sounds while playing.

注意して物事を見聞きするトレーニングでもあることから、子どもには耳を澄ましてポイントが切り替わるのを見るように指導する必要があった。

## ま と め

難聴児トレーニング機の一般玩具制御装置の試作及びモニタリングを行い、次の結果を得た。

1. 難聴児トレーニング機に接続できる一般玩具制御装置を試作し、モータを有する玩具にも応用できることを確認した。
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家藤武士枝校長様、藤谷朋宏先生、河村義和先生、愛媛県立宇和聾学校の宇都宮円先生、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) 青野洋一: 難聴児の聴力トレーニング機の開発 (第1報), 愛媛県工業系研究報告, No. 45, p. 6-11 (2007).
- 4) 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).