

組み込み向け統合ボード「BeagleBoard」を用いた
音楽教育用コンピュータの開発

函館工業高等専門学校 情報工学科

釣谷紗弓 天間祐貴 水島裕貴
村田享士郎 東海林智也

目次

1章	はじめに	
1.1	目的	・・・1
1.2	従来研究との比較	・・・2
1.3	本論文の構成	・・・2
2章	シンセサイザについて	
2.1	シンセサイザの歴史	・・・3
2.2	シンセサイザの内部構造	・・・3
3章	「BeagleBoard」について	・・・4
4章	ハードウェアについて	
4.1	外部仕様	・・・5
4.2	内部仕様	・・・6
4.3	実際の作業工程	・・・8
5章	ソフトウェアについて	
5.1	OS	・・・17
5.2	シンセサイカの開発	・・・17
5.3	シンセサイカの開発環境	・・・18
5.4	シンセサイカの機能	・・・18
5.5	シンセサイカの操作方法	・・・20
5.6	プログラミングにおける留意点	・・・21
5.7	シンセサイカの評価実験	
5.7.1	ものづくり体験・展示会におけるアンケート評価 実験と結果	・・・22
5.7.2	サイエンス秋祭りにおけるアンケート評価実験と 結果	・・・23
5.7.3	アンケート結果の考察	・・・24
6章	まとめ	・・・25

付録A	アンケート用紙1	．．．．．	26
付録B	アンケート用紙2	．．．．．	27
付録C	シンセサイカのソースコード	．．．．．	28
	参考文献	．．．．．	28
	謝辞	．．．．．	30

Development of a computer for music education using the integrated board 'BeagleBoard'

Hakodate National College of Technology

TSURIYA Sayumi, TENMA Yuki, MIZUSHIMA Yuki,
MURATA Kyosiro, TOKAIRIN Tomoya

Generally, there seems to be a tendency to make light of music education at school. In this research, we develop a low-price computer for music education by using a built-in Linux board, "BeagleBoard". We also develop a music learning support software, "SynthesaIKA", that runs on the computer. The "SynthesaIKA" is the virtual synthesizer which assists beginners to learn music by using friendly CG animations. Moreover, we show the several results of the questionnaires at the events in order to consider the future tasks.

Keyword: Synthesizer, Music education, BeagleBoard, Linux, CG animations

1章 はじめに

1.1 目的

小中学生等の青少年期の学生に対して行う音楽教育は、創造性や感性を養うために非常に重要であると思われる。文部科学省が定める小学校の学習指導要領では

- 創造的に音楽にかかわり、音楽活動への意欲を高める
- 自由な発想を生かして表現し、いろいろな音楽表現を楽しむ
- 音楽によって生活を明るく豊かなものにする態度を育てる

などの項目が示されており、創造性や感性を養うことが音楽教育の目的として挙げられている[1][2]。このような指導要領の下では、あらゆる音色を自由に作成でき音作りを学べるシンセサイザは、子供たちの創造性を促進するための最適な教材であると考えられる。実際に幼児を対象にしたシンセサイザを用いた創造教育に関する研究例もある[3]。

しかし教育現場では音楽教育が軽視される傾向が見られ、シンセサイザも小中学校の音楽の授業ではあまり取り扱われていないという現状がある[4][5]。その上、シンセサイザには周波数や波形、エフェクトなどの様々な制御パラメータや難解な用語が多数存在するため、音楽的な知識が少ない小中学生にとっては操作が難しいという問題がある。また、ハードウェア、ソフトウェアに関わらずシンセサイザは一般的に高価な製品である。

一方、高専等の高等教育機関で行われる信号処理の実験において、波形やフィルタ等のパラメータを制御することでリアルタイムに出力波形を変更できるシンセサイザを取り入れることで、学生の信号処理に対する理解を深めることが可能であると考えられる。しかし、シンセサイザの外部スイッチを操作するだけでは内部的な信号処理の理解につながりにくいため、C言語などで内部処理がプログラム可能なシンセサイザを用意する必要がある。

また、音楽教育や信号処理実験に取り入れるシンセサイザとしては、コンピュータ上で動かすソフトウェアシンセサイザではなくて印象に残りやすい物理的なシンセサイザであることが望ましい。

そこで我々は、組み込み向け統合ボード「BeagleBoard」を用いてプログラム可能な音楽教育用コンピュータを開発する。開発する音楽教育用コンピュータは「BeagleBoard」を市販の音楽用キーボードに組み込んだものである。

また、この音楽用教育コンピュータで動作させるソフトウェアとして、簡易ソフトウェアシンセサイザ「シンセサイカ」を開発する。「シンセサイカ」は難解な制御パラメータを簡易化することで、初心者でも簡単にシンセサイザの基本を学べるようになることを目指している。

1.2 従来研究との比較

ハードウェア面では parallax 社製「Propeller」などの並列処理プロセッサを楽器へ組み込む研究が報告されている[6][7]。このような専用プロセッサを用いることで「BeagleBoard」のような統合ボードを用いた場合と違って高速な動作が可能になるが、汎用的な OS が動作しないため、Java や C 言語などのプログラミング言語を用いて容易にプログラミングを行うことが困難である。また、動作させるソフトウェアを目的に合わせて随時切り替えることも困難である。一方、本研究で開発する音楽教育用コンピュータ上では Android や Linux などの汎用的な OS を動作させることができ、プログラミングも容易に行うことができる。

また、楽器インターフェースの研究も進んでいるが、そのほとんどが音声処理部分を外部のコンピュータで行っている[8]。本研究で開発する音楽教育用コンピュータはコンピュータを市販の音楽用キーボードに直接組み込んだものであるため、持ち運びやセットアップが容易になり、見た目にもインパクトも生まれるという利点がある。

ソフトウェア面では、オセロをモデルにしたミュージックシーケンサやモーションセンシングを用いた音楽支援ツールなど様々なソフトウェアが開発されている[9][10]。しかし、それらの大半は研究者向けのインターフェースとなっており、さらに有料 OS 上で動作しているため、システムを構築するためには OS の経費が余分に必要になる。一方、本研究で開発する「シンセサイカ」は函館の名物である「イカ」をモチーフにした二次元 CG のキャラクターを画面上に表示して、演奏に合わせてそのキャラクターをアニメーションさせることで初心者でも演奏出来るように工夫した。さらにオープンソース OS である Linux を使用することで安価なシステムを構築することが可能になっている。

1.3 本論文の構成

1 章では本研究の目的について記述する。

2 章ではシンセサイザについて記述する。

3 章では組み込み向け統合ボード「BeagleBoard」について記述する。

4 章では本研究で開発したコンピュータの外部仕様、内部仕様、作業工程について記述する。

5 章では本研究で使用した OS、開発したソフトウェアシンセサイザの仕様と評価実験について記述する。

6 章では本研究のまとめを記述する。

2章 シンセサイザについて

2.1 シンセサイザの歴史

物理的な振動無しに音を発する電子機器「テルハーモニウム」は、発電機を利用して電子音を発生する巨大な装置であり 1906 年に発明された[11]。その後、2つの高周波発信器間の周波数の差を利用して音を発生させる仕組みの電子楽器「テルミン」が 1920 年に発明された。ただし「テルミン」は、楽器に直接触れずにアンテナの前にかざした手の動きで演奏するため、安定した音階を出すには高度なテクニックが求められる。さらに鍵盤トリボンの張力により音程を調節する「オンドマルトノ」が 1928 年、発振器によって音を発して音色を調節出来る「トラウトニウム」が 1930 年に開発されたがこれらはシンセサイザとは呼べないものであった。世界初のシンセサイザ「RCA・マーク 2・エレクトロニック・サウンド・シンセサイザ」はアメリカのコロンビア大学で 1957 年に開発されたが、これは研究目的で開発されたものであり楽器とは呼べないものであった。その後、1964 年にロバート・モーグが「テルミン」をもとに、電波を利用して音の波形を変化させて音を作る「モーグ・シンセサイザ」を開発した。これが初の楽器としてのシンセサイザとなり、現在のシンセサイザの原型となっている。

2.2 シンセサイザの内部構造

音は音程、音色、音量の 3つの要素の時間的な変化で成り立っている[12][13]。シンセサイザはこの 3つの要素をそれぞれ VCO (Voltage Controlled Oscillator), VCF (Voltage Controlled Filter), VCA (Voltage Controlled Amplifier)というモジュールで制御している。VCO は正弦波やノコギリ波などの基本波形を作るモジュールで、基本的な音色と音程を作っている。VCF は波形を変えるモジュールで、音色を変更する。VCA は音量を制御するモジュールである。その他に EG (Envelope Generator) と LFO (Low Frequency Oscillator) というモジュールがあり、これらにより上記のモジュールで作り出した音声信号に時間的な変化を与えることが可能になる。各モジュール間の典型的な内部接続を図 1 に示す。

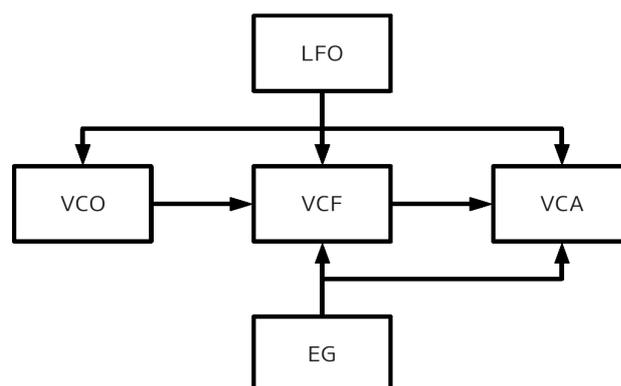


図 1. シンセサイザのモジュール間の典型的な接続

3章 「BeagleBoard」について

本研究で使用している「BeagleBoard」はアメリカのTexas Instruments社製の組み込み向け統合ボードであり、大きさは約8cm四方と非常にコンパクトである[14][15]。CPUにはARM社のCortex-A8 CPU TI OMAP3530を採用しているため、LinuxやAndroid等のARMに対応している汎用的なOSを動作させることが可能である。また統合プロセッサとしてOMAP3530を搭載している。さらに\$149(2010年3月現在)と低価格なのにも関わらず消費電力は2W程度で、デジタル映像出力(HDMI, S)やSDカード・スロット、USB端子などの外部インターフェースも豊富に備えられている。また、オーディオチップが搭載されておりステレオ入出力が可能となっている。グラフィックチップとしてPowerVRが搭載され、HDMI出力によりPC向けモニタに接続してX-Windowなどのグラフィック表示を行うことも可能である。さらにOpenGL ESをサポートしているため3Dグラフィックの表示も可能である。「BeagleBoard」の外観と主な仕様を図2及び表1に示す。



図2. 「BeagleBoard(Rev.C3.0)」の外観及び単三電池との大きさ比較

表1. 「BeagleBoard(Rev.C3.0)」の仕様

名称	内容
統合プロセッサ	米TI社製 OMAP3530
CPU	ARM Cortex-A8 600MHz
RAM	DDR SDRAM 256M
オーディオ入力	ステレオ 1 基
オーディオ出力	ステレオ 1 基
ディスプレイ出力	HDMI (端子 DVI-D) 1 基, S-Video 1 基
グラフィックチップ	PowerVR SGX
3D描画サポート	OpenGL ES2.0 (10万ポリゴン/秒)
USB	2.0 ホストポート A, OTG ミニ B 各 1 基
メモリーカードスロット	SD/MMC 1 基
RS232C	1 基
LCDインターフェース	2 基
拡張インターフェース	I2C, GPIO, SPI (モードによって切り替え)
電源	DC5V 端子 1 基, USBポートからも給電可
消費電力	2.5W 以下
外形寸法	78.75mm (幅) 76.2mm (高さ)
価格	149ドル(2010年3月現在)

4章 ハードウェアについて

本章では音楽教育用コンピュータの仕様と組み立てに関して説明する。

4.1 外部仕様

本音楽教育用コンピュータの外部機器との接続図を図3に示す。また外観を図4に示す。本音楽教育用コンピュータのベースとなった音楽用キーボードは YAMAHA PORTATONE PSR-E213 (61 鍵)である[16]。本研究では更に筐体にタッチパッドを組み込んだ。タッチパッドを組み込むためのスペースを確保するために、筐体の左右にあるスピーカのうち左側のスピーカを取り外した。なお、図4の上部パネル上には各種ボタンや白黒液晶ディスプレイなどがあるが現段階では使用していない。モニタとは HDMI 出力で接続している。さらに本音楽教育用コンピュータの USB 端子に接続した USB ハブ経由でキーボードやネットワーク機器等の外部 USB 機器を増設可能である。

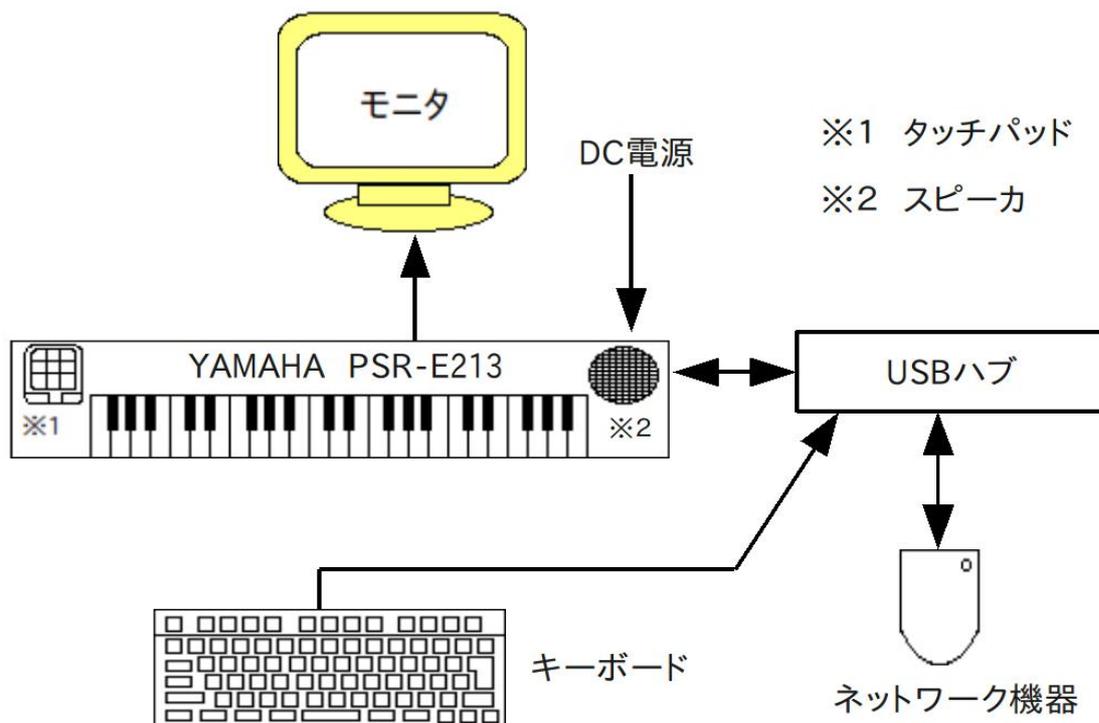


図3. 音楽教育用コンピュータと外部機器との接続図



図4. 音楽教育用コンピュータの外観

4.2 内部仕様

本音楽教育用コンピュータの内部配置の様子を図5に示す。また、内部構成図を図6に示す。図5の上部に見える基板がベースとなったPSR-E213自体の基板であり、下部に見える基板が組み込んだ「BeagleBoard」、アンプ、タッチパッド、USBハブ等の機器類である。ここで、外部ストレージとしてSDHCカード(4GB)を本体のカードスロットに挿入している。このSDHCカードにはOSがインストールされており、「BeagleBoard」の電源を入れると自動的にブートされるようになっている。また、内部にもUSBハブを設置して各機器を接続している。なお「BeagleBoard」への給電はUSBから行っている。アンプはPSR-E213に内蔵されていたものを使用せずに市販のスピーカのアンプを用いている。



図5. 音楽教育用コンピュータの内部配置の様子

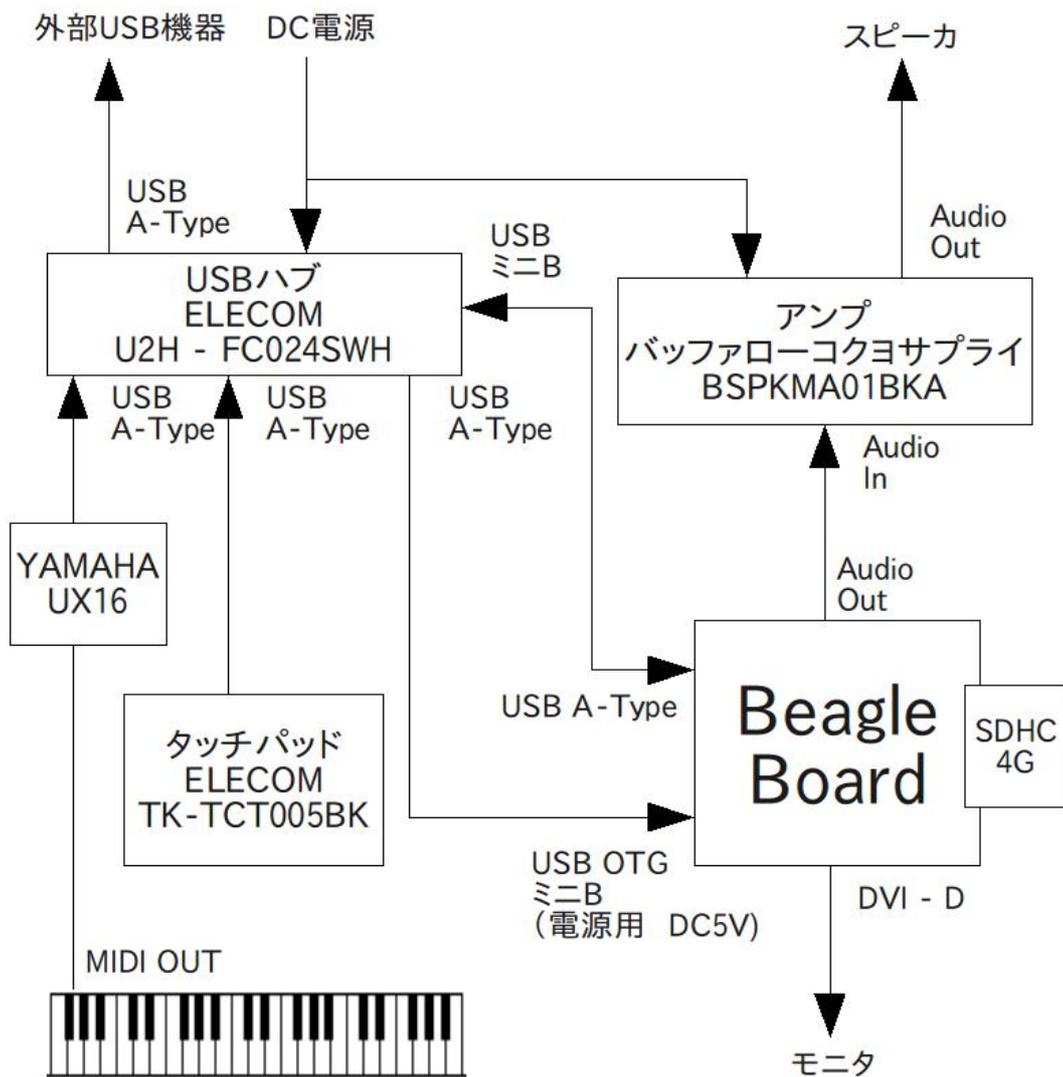


図6. 音楽教育用コンピュータの内部構成図

4.3 実際の作業工程

手順1 音楽用キーボード(PSR-E213)の裏蓋を外す(図7, 8, 9) . 図9の下部にある3つの基板がベースとなった音楽用キーボード自身の基板であり, 基板の両隣についているのがスピーカーである.



図7. 音楽用キーボード PSR-E213 (正面)



図8. 音楽用キーボード PSR-E213 (背面)



図9. 音楽用キーボード PSR-E213 (内部)

手順2 「BeagleBoard」と筐体に付属するスピーカを接続する為、右側スピーカと基板を繋いでいる配線を切断する(図10)。

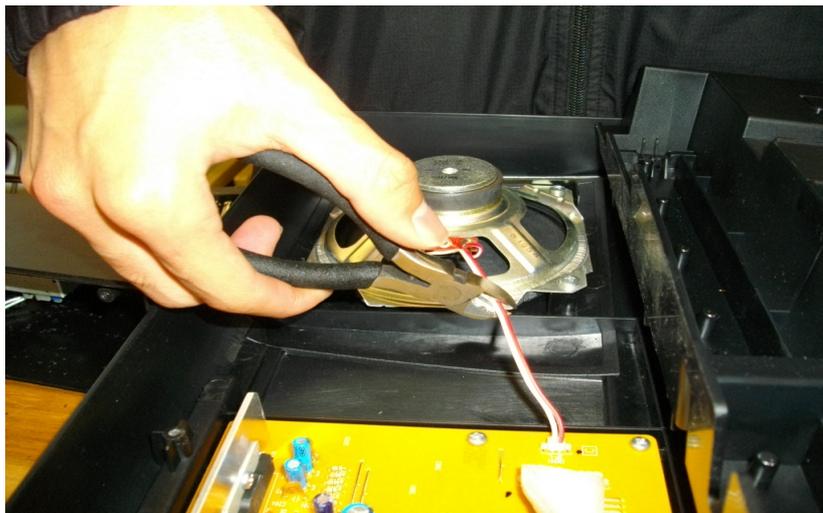


図10. スピーカ配線の切断

手順3 市販のスピーカ (BSPKMA01BKA) からアンプを取り出す(図11, 12)。



図11. 市販のスピーカ

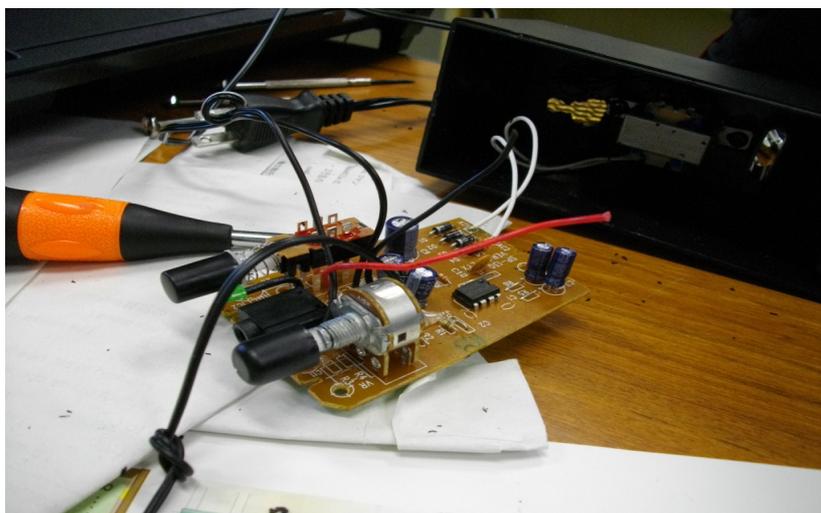


図12. 取り外したアンプ

手順4 アンプと筐体のスピーカを接続する。その後ポータブルMP3プレーヤをアンプに接続して発声テストをした後、配線を半田付けして固定する（図13, 14）。ここで高周波ノイズがスピーカから生じたため、現在その原因を調査している。

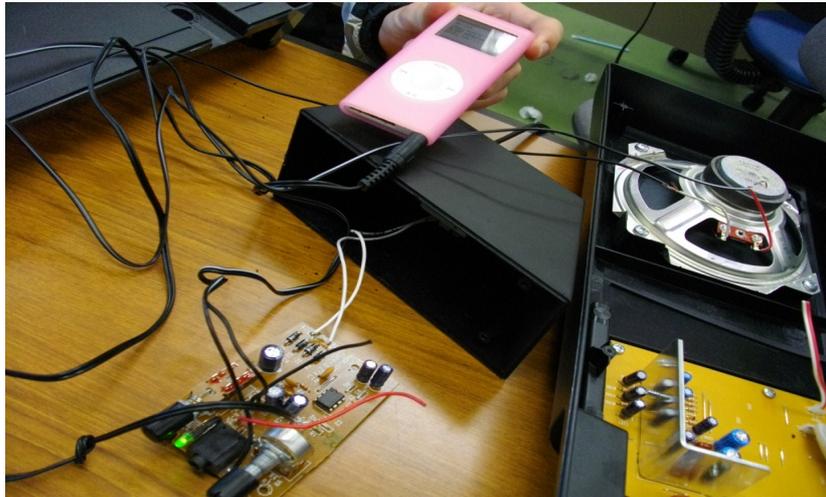


図13. MP3プレーヤーによる発声テスト

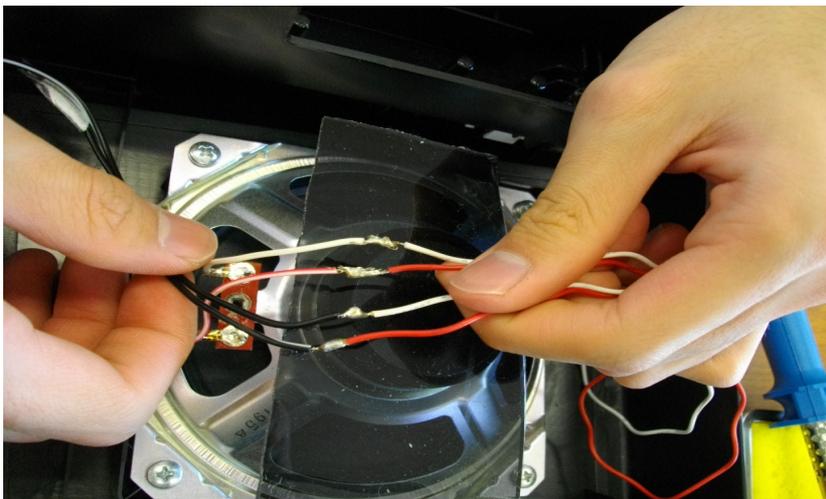


図14. アンプとスピーカコードの半田付け

手順5 アンプをビスで筐体に固定する。なお、筐体側面に穴を開け、アンプの音量調節つまみを外部から操作出来るようにした(図15, 16)。

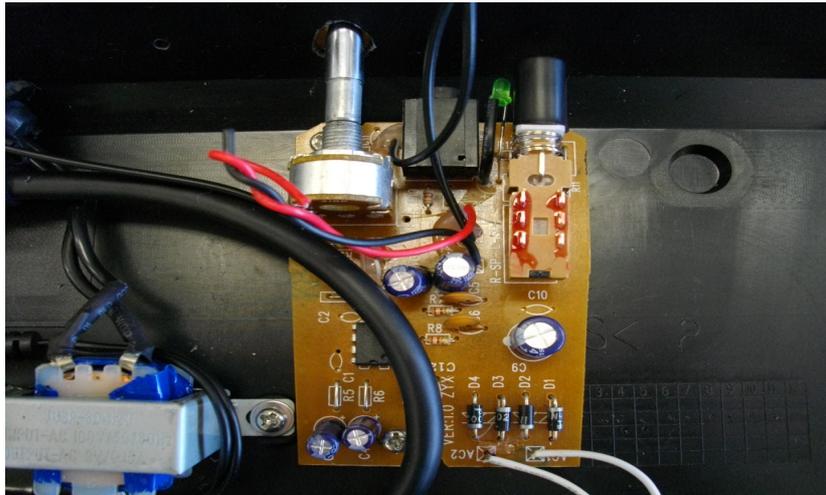


図15. キーボードに固定したアンプ

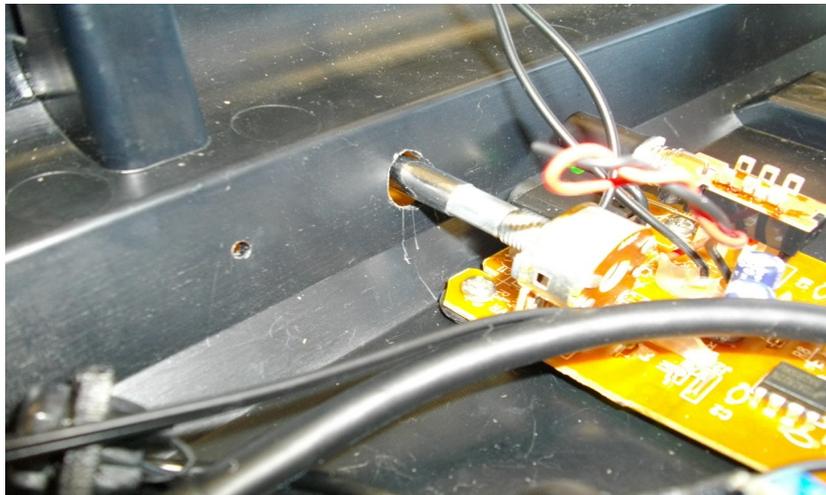


図16. 音量調節つまみ

手順6 左側スピーカを取り外して筐体に穴を開け、そこにタッチパッドを組み込む（図 17, 18, 19, 20）。タッチパッドの固定は裏側から亚克力板とネジを用いて行われた。また筐体とタッチパッドの隙間にパテを埋め込んで塗料で黒く塗りつぶした。

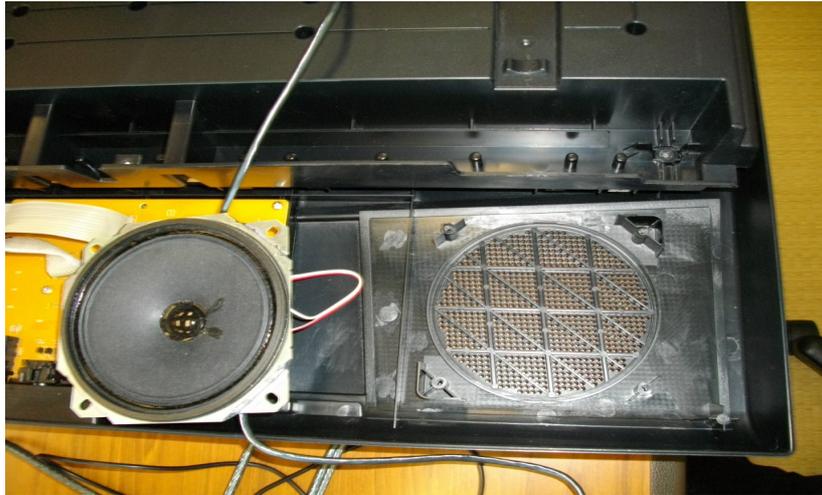


図 17. スピーカを取り外し



図 18. スピーカ部の切断



図 19. アクリル板とネジによるタッチパッドの固定



図 20. 筐体に固定したタッチパッド

手順 7 「BeagleBoard」とUSBハブをキーボードに固定する(図 21, 22). なお, 「BeagleBoard」の固定にはビスを, USBハブの固定には両面テープを使用した.



図 21. 「BeagleBoard」のビスによる固定

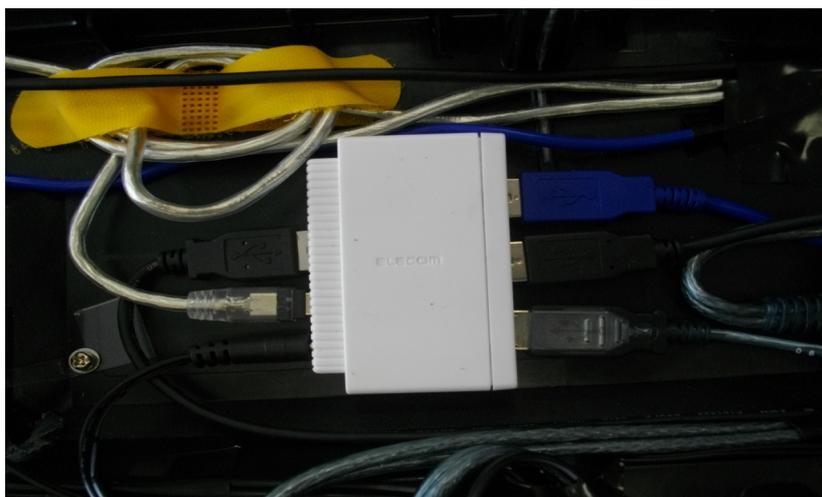


図 22. USBハブの両面テープによる固定

手順8 USB 端子と HDMI 端子の接続部を外に出し，メルトボンドで固定する（図 23，24）.

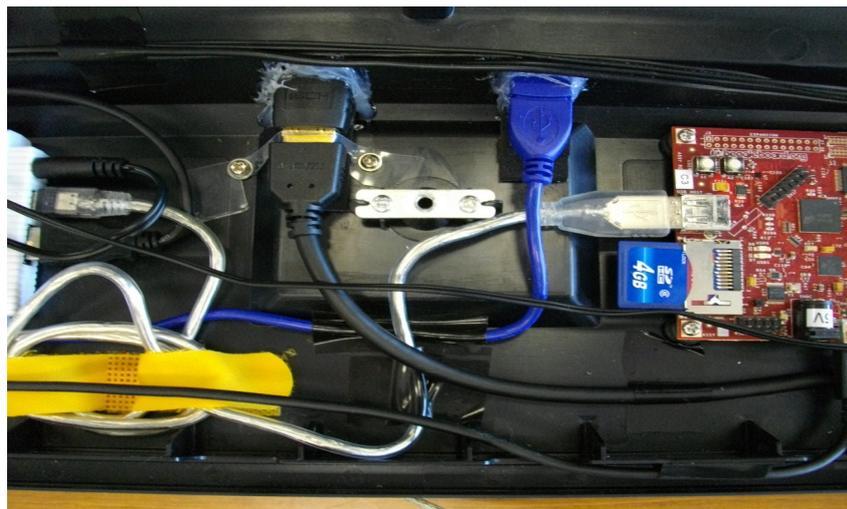


図 23. メルトボンドで固定した HDMI 端子（左）と USB 端子(右)



図 24. 外側から見た HDMI 端子（右）と USB 端子（左）

手順9 MIDI ケーブル(UX16)を接続する（図 25）. 筐体の MIDI 端子は外部にあるため，MIDI ケーブルを外に出して接続した.



図 25. 接続した MIDI ケーブル（UX16）

手順10 電源周りの配線を行う(図26)。現段階では筐体の基板、アンプ、及びUSBハブの電源系統は別々になっているため3本の電源ケーブルが必要となっている。



図26. 電源周りの配線の様子

この時点で内部配線は完了する, ここで図27に本組み終了後の全体像を記す.



図27. 本組み終了後の全体像

手順 11 外部カバーを被せて筐体を支えるスタンドをつける (図 28, 29). これで音楽教育コンピュータ作成の全行程が終了する. 実際に音楽教育コンピュータを起動した様子を図 30 に示す.

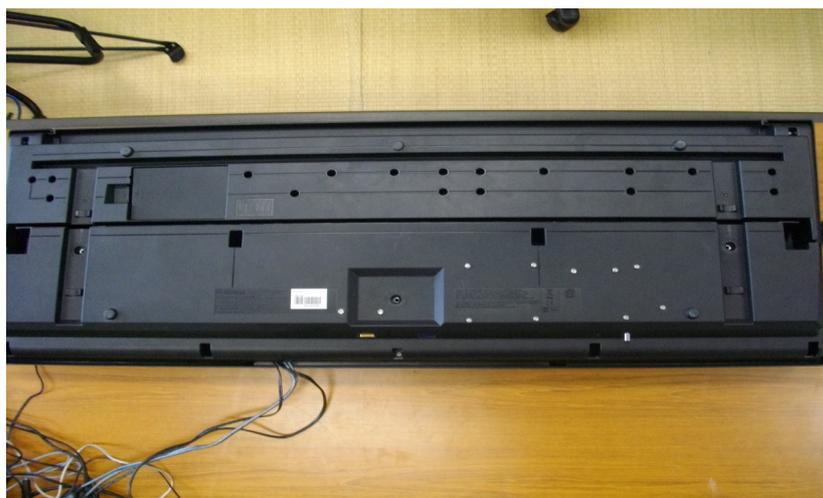


図 28. 外部カバーの取り付け



図 29. スタンドの取り付け



図 30. 起動の様子

5章 ソフトウェアについて

本章では音楽教育用コンピュータ上で動作する OS やソフトウェアに関して説明する。

5.1 OS

SDHC カードに次のような手順で OS (Ubuntu Linux 9.04) のインストールを行った[17]。

- (1) SDHC カードを作業用 PC に挿入し、SDHC カードに割り当てられているデバイス名を確認する
- (2) ブート領域を確保するために SDHC カードのパーティションを作成する
- (3) SDHC カード上にファイルシステム(今回は ext3)を作成する
- (4) SDHC カードの第1パーティションに「ML0」とカーネルを転送する。「ML0」とは、「BeagleBoard」上の NAND フラッシュメモリーからの通常ブートが不可能になったときに SDHC カードから起動するためのブートローダーである。
- (5) ルートディレクトリを作成するためにインストールメディアに収録されたルートツリーを SDHC カード上に転送する
- (6) インストールメディアに収録されたカーネルモジュールを転送する

以上で、Ubuntu のルートファイルシステムが SDHC カード上にインストールされる。次に作業用コンピュータと「BeagleBoard」をシリアルケーブルで接続し、シリアルコンソールから「BeagleBoard」のブートローダーである U-Boot に SDHC カードからの起動コマンドをセットする。

5.2 シンセサイカの開発

前章で開発した音楽教育用コンピュータ上で動作するソフトウェアの第1弾として「シンセサイカ」を開発した[18][19][20][21]。「シンセサイカ」は音楽用キーボード、タッチパッド、テンキーによって操作する簡易ソフトウェアシンセサイザである。

ここで「シンセサイカ」の実行図を図31に示す。「シンセサイカ」を起動するとモニター上に2次元CGで描かれたキャラクターが表示される。キャラクターとしては親しみやすさを演出するために函館名物であるイカを採用した。

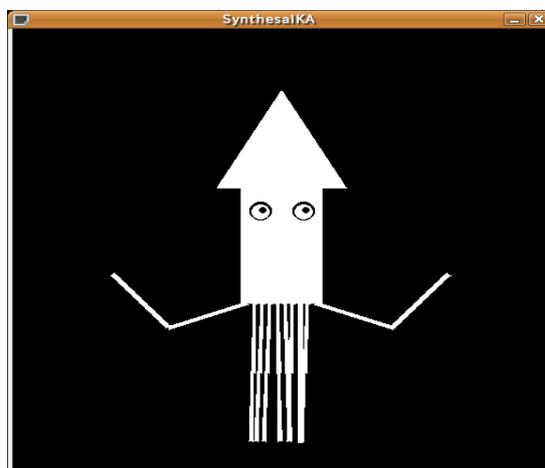


図31. 「シンセサイカ」の実行画面

5.3 シンセサイカの開発環境

プログラム言語としてC++, サウンドライブラリとしてALSA, グラフィック描画ライブラリとしてSDLを使用している。

ALSA(Advanced Linux Sound Architecture)はPCM再生やMIDI入出力などのサウンド機能を提供するライブラリである[22]. 「シンセサイカ」では音楽用キーボードから入力されるMIDIメッセージの処理や音の出力などのサウンド関連の部分にALSAを使用した。

また, SDL(Simple DirectMedia Layer)はゲームなどのマルチメディア関係のソフトウェアを開発するためのライブラリである[23]. 「シンセサイカ」ではキャラクターの描画やタッチパッド, テンキーの入力に関する部分にSDLを使用した。

5.4 シンセサイカの機能

本研究で開発した「シンセサイカ」の内部構成を図32に示す。「シンセサイカ」では, VCO, VCF, VCAの装置が直列に接続されており, さらにEGがVCAに接続されている。

EGのAttack, Decay, Sustain, Releaseの4つのエンベロープ特性(図33)[24][25]のうち「シンセサイカ」ではAttackとDecayが実装されている。EGはVCAに接続されているためAttackを設定することで音の立ち上がり特性, Decayを設定することで減衰特性を制御することが可能である。なお, これらのエンベロープ特性の設定に応じて, 音が鳴ったときに画面上のキャラクターの頭身が伸び縮みする。(図34, 図35)

また, VCFではローパスフィルタが実装されている。ローパスフィルタとは入力信号の内, 低周波成分のみを通過させるフィルタの事である。なお, ローパスフィルタをONにすると画面上のキャラクターが半透明になる。

なお「シンセサイカ」にはVCO, VCF, VCA, EGが計6組実装されているため, 6和音の出力が可能となっている。

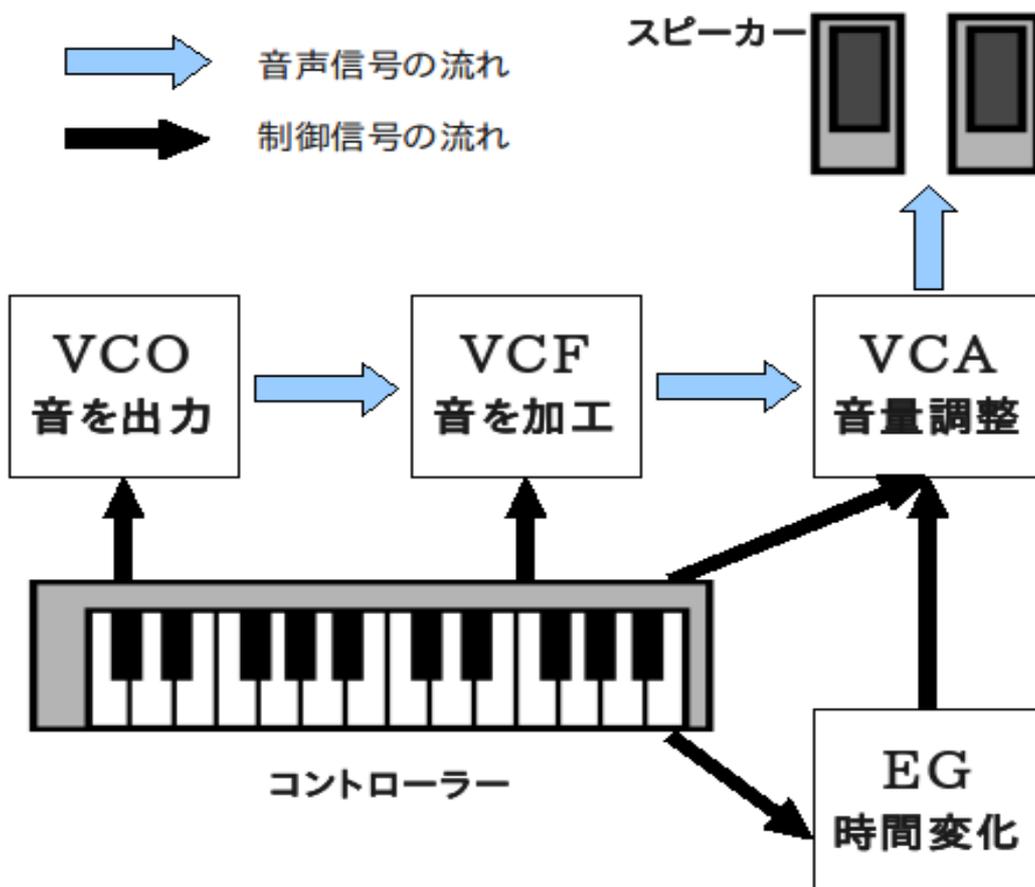


図 32. シンセサイカの内部構成図

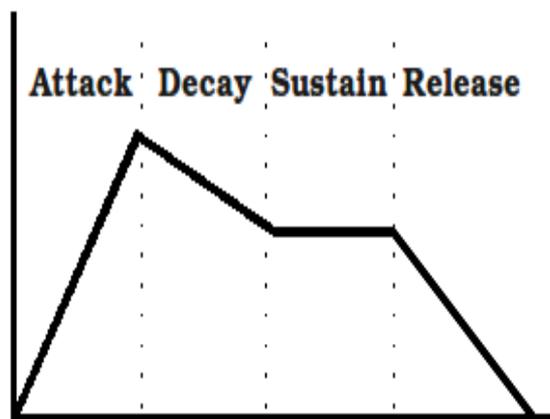


図 33. エンベロープ特性(縦軸：音量，横軸：時間)

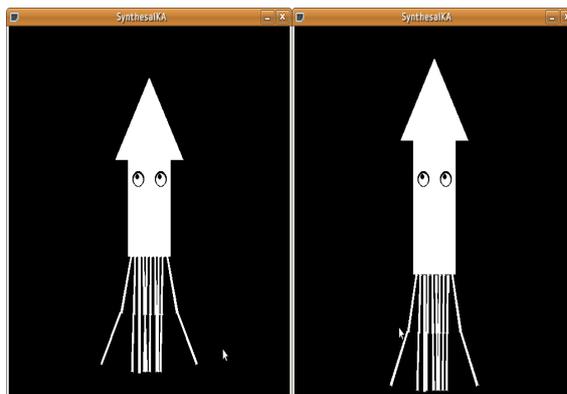


図 34. Attack 動作図 (左：使用時，右：未使用時)

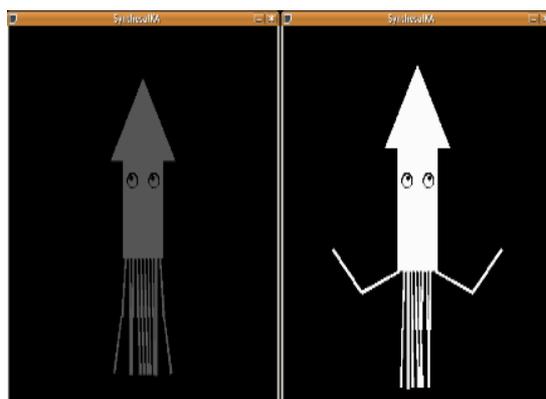


図 35. ローパスフィルタ動作図 (左：使用時，右：未使用時)

5.5 シンセサイカの操作方法

「シンセサイカ」は音楽用キーボード及びタッチパッドを用いて演奏する。また VCO, VCF, VCA, EG に実装されている各機能はテンキーによって切り替えが可能である(図 36)。テンキーを使って出力波形やエフェクトを切り替えることで様々な音が出力可能である。ここで「シンセサイカ」に実装されている VCO, VCF, VCA, EG の各機能及びテンキー割り当ての一覧を表 2 にまとめる。

音楽用キーボードを用いて演奏する場合はピアノの様に鍵盤を叩くことによってスピーカから音が出力される。また、音の高さに応じて画面上のキャラクターは触手の上げ下げを行う。和音が入力された場合は一番最後に触れた鍵盤の音の高さに応じて動作を行う。

タッチパッドを用いて演奏する場合はパッドを指でなぞることによってスピーカから音が出力される。モニター上に表示されるマウスポインタの座標にしたがって出力される音に変化する。横座標により音の高さが決まり、音の高さに応じて画面上のキャラクターは触手の上げ下げを行う。また、縦座標によって GATE の周期を決定する。GATE とは一定の周期で音の出力とミュートを繰り返すエフェクトである。

なお、音楽用キーボードとタッチパッドを同時に使用して演奏を行っている際のキャラクターの動作はタッチパッド操作の方が優先される。



図 36. エフェクト切り替えに使用するテンキー

表 2. 各装置に実装されている機能とテンキー割り当て

装置	実装されている機能	テンキー
VCO	正弦波	1
	ノコギリ波	
VCF	ローパスフィルタ	2
VCA	EGを接続	
EG	Attack	4
	Decay	5

5.6 プログラミングにおける留意点

「シンセサイカ」のプロトタイプを「BeagleBoard」上で動作させたところ、CPUの負荷が大きくて処理が追いつかない問題点が浮上したため、その対策として以下のような最適化を行った。

(1) FPSの調整

1秒間に描画を行う回数を示すFPS(Frame Per Second)を調整し、描画処理を減らすことで負荷を抑えた。ただしキャラクターの滑らかな動きを損なわないように気をつけた。

(2) IIRフィルタの採用

当初「シンセサイカ」に実装されているローパスフィルタはFIR(Finite impulse response)フィルタによって設計されていた。しかしFIRフィルタを用いて急峻な特性を持つローパスフィルタを作るには高い次数のフィルタが必要であり、それが計算量の増加につながっていた[26]。そこで低い次数でも急峻な特性が得られるIIR(Infinite impulse response)フィルタを用いてローパスフィルタを設計することで計算量を削減した。

(3) スレッドの統合

当初「シンセサイカ」では音楽用キーボードから送られてきたMIDIメッセージを処理するスレッドと音声再生スレッドの2つが別々に動作していた。これらを1つに統合することでスレッド切り替えによるCPU負荷を軽減した。

(4) 浮動小数点計算から固定小数点計算への変更

「BeagleBoard」に搭載されているCPU(ARM Cortex-A8)は仕様としてハードウェアによる浮動小数点演算を行えないためソフトウェアによって演算を行っている。当初「シンセサイカ」では実行時に大量の浮動小数点演算を行っていたためCPU負荷の大きな要因となっていた。そこで固定小数点演算を用いることでCPU負荷の軽減を行った。

5.7 シンセサイカの評価実験

本研究で開発した「シンセサイカ」を2009年に函館高専で行われた2つのイベントで展示し、一般市民の来場者を対象にアンケートを実施して評価実験を行った[18][19][20][21][27]。ここではその結果を示す。

5.7.1 ものづくり体験・展示会におけるアンケート評価実験と結果

「シンセサイカ」を2009年3月に本校体育館で行われたものづくり体験・展示会に展示し、使用感等に関するアンケート(付録A)を実施して小中学生11名、高専生以上の社会人23名の計34名の回答を得た(図37)。ただしこの時点では開発初期段階であったため「シンセサイカ」は「BeagleBoard」上ではなく通常のPC上で動作させていた。また、音楽用キーボードとタッチパッドを接続しておらず、マウスとキーボードを使って操作していた。



図37. ものづくり体験・展示会の展示状況

アンケート項目の内容と集計結果を表3及び表4に示す。表3は小中学生を対象とした結果、表4は高専生以上の一般市民を対象とした結果である。ここで、アンケートは項目1から5までで5段階評価(5-良い, 1-悪い)により回答する形式となっており、加えて自由記述型の評価項目も含まれている。自由記述型の評価項目では

- 音の様々な状態をキャラクターが表現していて、ユニークだった
- これを使って音楽を作りたい
- もっと音(音程やエフェクト)のバリエーションが欲しい
- 画面上で操作やエフェクトの説明があれば良い

などの意見が得られた。

表3. ものづくり体験・展示会のアンケート結果(小中学生対象)

項目番号	アンケート項目	平均
1	CGのキャラクターに親しみを持てたか	4.2
2	楽しんで使用することが出来たか	3.9
3	キャラクタの動きは分かり易かったか	3.9
4	マウスでの音量や音の高さの調節は容易であったか	3.8
5	キーボードでのモードの切り替えは容易であったか	4.1

表4. ものづくり体験・展示会のアンケート結果(一般市民対象)

項目番号	アンケート項目	平均
1	CGのキャラクターに親しみを持てたか	4.1
2	楽しんで使用することが出来たか	4.2
3	キャラクタの動きは分かり易かったか	3.5
4	マウスでの音量や音の高さの調節は容易であったか	4.2
5	キーボードでのモードの切り替えは容易であったか	3.7

5.7.2 サイエンス秋祭りにおけるアンケート評価実験と結果

2009年9月に本校体育館で行われたサイエンス秋祭りに「シンセサイカ」を展示し、使用感等に関するアンケート(付録B)を実施して小中学生12名、高専生以上の社会人29名の計41名の回答を得た(図38)。ただしこの時点ではまだ開発途中段階であったため、「シンセサイカ」は「BeagleBoard」上ではなく通常のPC上で動作させていた。なお、音楽用キーボードによる操作は可能となったため、アンケートに音楽用キーボードの使用感に関するアンケート項目を追加している。



図38. サイエンス秋祭りの展示状況

アンケート項目の内容と集計結果を表5及び表6に示す。表5は小中学生を対象とした結果、表6は高専生以上の一般市民を対象とした結果である。ここで、アンケートは項目1から6までで5段階評価

(5-良い, 1-悪い)により回答する形式となっており, 加えて自由記述型の評価項目も含まれている. 自由記述型の評価項目では

- キャラクターの動きが可愛い・面白い
- キャラクターの動きを増やした方が良い
- もっとキャラクターを装飾すると良い
- 両手を使った演奏がしたい
- 和音に対応すると良い

などの意見が得られた.

表5. サイエンス秋祭りのアンケート結果(小中学生対象)

項目番号	アンケート項目	平均
1	CGのキャラクターに親しみを持てたか	4.0
2	楽しんで使用することが出来たか	4.3
3	シンセサイカの動作(アクション)は分かり易かったか	3.6
4	マウスでの音量や音の高さの調節は容易であったか	4.0
5	キーボードでのモードの切り替えは容易であったか	3.8
6	音楽用キーボードでの操作は容易であったか	4.2

表6. サイエンス秋祭りのアンケート結果(一般市民対象)

項目番号	アンケート項目	平均
1	CGのキャラクターに親しみを持てたか	4.1
2	楽しんで使用することが出来たか	3.9
3	シンセサイカの動作(アクション)は分かり易かったか	3.6
4	マウスでの音量や音の高さの調節は容易であったか	3.8
5	キーボードでのモードの切り替えは容易であったか	3.2
6	音楽用キーボードでの操作は容易であったか	3.5

5.7.3 アンケート結果の考察

表3から表6までの結果から, どの項目でも平均4前後の評価となって好評を得ている. 特に「シンセサイカ」のターゲットにもなっている小中学生の評価が一般市民の評価よりも高めになっていることがわかる.

自由記述形式の項目においてもキャラクターの動きがユニーク・可愛い・面白い等の好評な回答が多かったが, エフェクトが少ない・画面上に操作説明が欲しい・和音を出したい等の改善を求める意見もみられた. 和音についての問題は既に解決済みだが, 今後はその他の問題についても取り組む必要がある.

6章 まとめ

本研究では安価でかつ高機能な統合ボード「BeagleBoard」を市販の音楽用キーボードに組み込んでプログラム可能な音楽教育用コンピュータを開発した。また、本音楽教育用コンピュータで動作させるソフトウェアの第一段として、簡易ソフトウェアシンセサイザ「シンセサイカ」を開発した。

さらに、一般市民対象のイベントにおいて「シンセサイカ」を展示してアンケートを行い、その結果から高い評価を得たことがわかった。特に小中学生からは高い評価が得られ、初心者が親しみやすいソフトウェアシンセサイザを開発するという目的がほぼ達成出来た。

その一方、アンケート結果や動作テスト等から次の様な課題が浮上した。ハードウェア上の課題としては、現段階で3本ある電源ケーブルを一本にまとめること、スピーカから出る雑音を軽減すること等が挙げられる。ソフトウェア（「シンセサイカ」）上の課題としては、音量や音色が視覚的に確認できるようなユーザーインターフェースを実装すること及びエフェクトのバリエーションを増やすことなどが挙げられる。さらに、現在はリアルタイムOSを使用していないため発声に若干の遅れ(約10ミリ秒)が生じている。これらを改善した後に再度アンケートを実施し、新たな問題がないか模索していく予定である。また、本音楽教育用コンピュータで動作させるソフトウェアの第二段として信号処理実験用のソフトウェアを開発する予定である。

仮想シンセサイザ アンケート用紙

性別 男 女

仮想シンセサイザ「シンセサイカ」のアンケートにご協力ください。

アンケート項目	悪い					良い
1 CGのキャラクタは親しみやすかったか	1	2	3	4	5	
2 楽しんで使用することができたか	1	2	3	4	5	
3 シンセサイカの動作はわかりやすかったか	1	2	3	4	5	
4 音量，周波数の調節はやりやすかったか	1	2	3	4	5	
5 モードの切り替えはやりやすかったか	1	2	3	4	5	

ご協力有難うございました！

感想など

2009・9・26 サイエンス秋祭り

シンセサイカ アンケート

性別 男 女

「シンセサイカ」のアンケートにご協力ください。粗品もございません。

アンケート項目	悪い					良い
1 CGのキャラクタは親しみやすかったか	1	2	3	4	5	
2 楽しんで使用することができたか	1	2	3	4	5	
3 シンセサイカの動作(アクション)はわかりやすかったか	1	2	3	4	5	
4 音の効果の切り替えはやりやすかったか	1	2	3	4	5	
5 マウスでの操作はしやすかったか	1	2	3	4	5	
6 (音楽用の)キーボードでの操作はしやすかったか	1	2	3	4	5	

ご協力有難うございました！

もし感想などございましたら、ご自由にお書きください。

付録C シンセサイカのソースコード

シンセサイカのソースコードを以下のページに公開する。

<http://www.hakodate-ct.ac.jp/~tokai/synthesaika/>

参考文献

- [1] 文部科学省：小学校学習指導要領 第5節 音楽.
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領 第6節 音楽.
- [3] 濱砂浩一：幼児期における芸術教育に関する一考察：シンセサイザーをメディアとする幼児の活動と展開，日本保育学会大会研究論文集，No. 48，pp. 80-81，1995.
- [4] 三善晃 他：小学音楽 音楽のおくりもの，教育出版，2004.
- [5] 三善晃 他：中学音楽 音楽のおくりもの，教育出版，2004.
- [6] 長嶋洋一：シーズ指向による新学期のスケッチング，情報処理学会研究報告，MUS-80，No. 2，2009.
- [7] 長嶋洋一：並列処理プロセッサ” Propeller” によるプラットフォームの検討，情報処理学会研究報告，MUS-83，No. 3，2009.
- [8] 丸山裕太郎，竹川佳成，寺田努，塚本昌彦：動的に再構成可能なユニット型電子ギターの構築，情報処理学会研究報告，MUS-83，No. 13，2009 .
- [9] 松村智弘，中村滋延：Au-thello:ゲーム「オセロ」をモデルにした音楽演奏コントローラ，情報処理学会研究報告，MUS-83，No. 12，2009 .
- [10] 児玉彩子，中村滋延：モーションセンシングを用いた音楽演奏支援ツール” Laintped” ，情報処理学会研究報告，MUS-83，No. 13，2009 .
- [11] 別冊 大人の科学マガジン シンセサイザークロニクル，学研，2008.
- [12] 関和則:DTMのための全知識，リットーミュージック，1997.
- [13] 松前公高:シンセサイザー入門，リットーミュージック，2007.
- [14] beagleboard.org： <http://beagleboard.org/>
- [15] 米田聡：超小型Linux マシンを自作する，日経Linux，Vol. 3，pp. 63-80，2009.

- [16] YAMAHA PORTATONE 製品ページ : <http://www.yamaha.co.jp/product/piano-keyboard/psr-e213/index.html>
- [17] 米田聡 : 新「BeagleBoard」で最強PCを作る, 日経Linux, Vol.7, pp.55-68, 2009.
- [18] 安島力 : CGアニメーションによる小中学生向け仮想シンセサイザ「シンセサイカ」の開発, 平成20年度函館高専卒業研究概要集, pp. J7-J8, 2009.
- [19] 天間祐貴, 村田享士郎, 東海林智也 : Cgアニメーションを用いた仮想シンセサイザ「シンセサイカ」の開発, 第8回情報科学技術フォーラム第3分冊, pp.627-628, 2009.
- [20] 村田享士郎, 天間祐貴, 東海林智也 : 音楽学習支援ソフトウェア「シンセサイカ」の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2009-37, pp.13-16, 2009.
- [21] 東海林智也, 天間祐貴, 村田享士郎 : Linuxを用いたオープンソースソフトウェアシンセサイザの開発, 函館工業高等専門学校紀要, No.44, pp.19-24, 2009.
- [22] Advanced Linux Sound Architecture: <http://alsa.linux.or.jp/>
- [23] Simple DirectMedia Layer: <http://www.libsdl.org/>
- [24] 村上俊一 : KORG DS-10 performance guide book, 翔泳社, 2008.
- [25] DTM MAGAZINE, vol.163, 2008.
- [26] 酒井幸市 : 高専学生のためのデジタル信号処理, コロナ社, 1996.
- [27] 東海林智也, 釣谷紗弓, 天間祐貴, 花田慧悟, 水島裕貴, 村田享士郎 : 組み込み用ボード「BeagleBoard」を用いた教育向けシンセサイザの開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MUS-84, No.7, 2010.

謝辞

本研究は財団法人北海道学術振興財団助成事業「組み込み Linux を用いた音楽教育向け小型コンピュータの開発」の補助を受けて行われた。