

## 組み込み用ボード「BeagleBoard」を用いた 教育向けシンセサイザーの開発

東海林 智也<sup>†1</sup> 釣谷 紗弓<sup>†1</sup> 天間 祐貴<sup>†1</sup>  
花田 慧悟<sup>†1</sup> 水島 裕貴<sup>†1</sup> 村田 享士郎<sup>†1</sup>

本論文では高機能な組み込みボード「BeagleBoard」を用いたプログラマブルなシンセサイザーの開発について報告する。本シンセサイザーは音楽用キーボードに「BeagleBoard」を組み込むことで外部のPCを用いらずに動作するものであり、初等音楽教育やデジタル信号処理の学習などの教育用途を目的として開発されている。

### Development of a Synthesizer for Education Using the Embedded Board "BeagleBoard"

TOMOYA TOKAIRIN,<sup>†1</sup> SAYUMI TURIYA,<sup>†1</sup>  
YUKI TENMA,<sup>†1</sup> KEGO HANADA,<sup>†1</sup>  
YUKI MIZUSIMA<sup>†1</sup> and KYOSIRO MURATA<sup>†1</sup>

In this paper, we describe the development of a programmable synthesizer using the high spec embedded board "BeagleBoard". We built the "Beagle-Board" into a musical keyboard in order to develop the synthesizer that is able to be performed without an external PC. The synthesizer is developed for the education such as elementary music education and digital signal processing education.

#### 1. はじめに

小中学生等に対して行う初等音楽教育は創造性を養うために重要な科目とされる。実際に文部科学省が示している小中学校の学習指導要領では、創造性を養うことが音楽教育の目的の一つとして挙げられている<sup>1)2)</sup>。このような創造性を養うという目的を達成するために、様々な音色を自由に作成出来るシンセサイザーを音楽教育に取り入れることは有効な手段であると考えられるが<sup>3)</sup>、シンセサイザーが初等音楽教育で取り上げられる機会はほとんど無い<sup>4)5)</sup>。その理由としては、シンセサイザーにはスイッチやツマミが多数存在し、専門用語も難解であるために、小中学生等にとってはしきいが高く、楽しく演奏したり学ぶことが出来ないためということが考えられる。

一方、高専や大学の様な高等教育で行われるアナログ及びデジタル信号処理の科目において、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ーを実験や演習等に取り入れることは、学生の信号処理に対する理解を深めるために有効な手段であると考えられる。ただし、市販されているシンセサイザーを用いて単にスイッチやツマミを動かした際の出力音声信号の変化を見るだけでは信号処理の理解につながるとは考えにくい。そのため、プログラマブルなシンセサイザーを用意して、波形出力やフィルタ等の内部処理を学生達にプログラムさせる必要がある。また、我々が実際に実施している音声フィルタのプログラミング実験では、すべての作業をPC上でおこなっているために学生の実験に対する印象が残りやすいという問題が生じている。従って信号処理実験に取り入れるシンセサイザーとしては、PC上で動かすソフトウェアシンセサイザーではなくて印象に残りやすい物理的なシンセサイザーであることが望ましい。

以上で挙げた問題点を解決するために、我々は安価でかつ高機能な組み込み向け統合ボード「BeagleBoard」<sup>6)7)8)</sup>を用いてプログラマブルなシンセサイザーを開発している。本シンセサイザーは、市販の音楽用キーボードに「BeagleBoard」を組み込んで外部PCに接続しなくても単体で動作する物である。ここで、外部PCを使用しない利点として以下の項目が挙げられる。

- 持ち運びが容易である
- セットアップが容易である
- 見た目にインパクトがある

また、本シンセサイザーに組み込まれている統合ボード「BeagleBoard」上ではLinuxやAndroidといった汎用的なOSが動作するため、信号処理実験において学生達が本シンセ

<sup>†1</sup> 函館工業高等専門学校  
Hakodate National College of Technology

サイザーにログインして C 言語や Java 等の汎用的なプログラム言語を用いてプログラミングするといったことが容易におこなえる。

さらに、我々は初等音楽教育用途として本シンセサイザー上で動作させる簡易ソフトウェアシンセサイザー「シンセサイカ (SynthesaIKA)」を開発している<sup>9)10)11)</sup>。「シンセサイカ」は、難解な制御パラメータを簡易化し、CG キャラクタをモニタ上に表示して、演奏に合わせてそのキャラクタをアニメーションさせることで、学習者が楽しみながらシンセサイザーを操作出来るように工夫している。

本論文では、開発中の「BeagleBoard」を用いたプログラマブルなシンセサイザーの仕様と設計について述べる。また簡易ソフトウェアシンセサイザ「シンセサイカ」の仕様について述べる。さらに「シンセサイカ」をイベントに展示した際に小中学生を含む一般市民を対象として実施したアンケート評価の結果を示し、今後の展望について述べる。

## 2. 関連研究

楽器に電子パーツを組み込む同様の研究として、parallax 社製「propeller」の様なマイコンチップを用いる例が報告されている<sup>12)13)</sup>。このようなマイコンチップを用いた場合は、「BeagleBoard」のような統合ボードを用いた場合と異なって汎用的な OS が動作しないため、C 言語や Java の様なプログラミング言語を用いて気軽にプログラミングを行うことが難しいという傾向がある。また用途に合わせて動作させるソフトウェアを適宜切り替えることも難しい。その一方で、汎用的な OS ではリアルタイム処理を行うことが難しいため、マイコンチップを用いた場合と比べて発音に遅れが生じやすいという問題がある。

なお、新しい楽器インターフェースの研究も盛んに行われているが、音声処理は外部の PC で行っている場合が多い。本研究での「BeagleBoard」のような小型の統合ボードを用いることで楽器内への音声処理部の組み込みが可能になるため、持ち運びが容易である、見た目上のインパクトが上がるといった効果を期待出来る。

## 3. BeagleBoard について

Texas Instruments 社製「BeagleBoard」は大きさが約 8 cm 四方の組み込み向け統合ボードであり、統合プロセッサとして OMAP3530 を搭載している<sup>6)7)8)</sup>。「BeagleBoard」の外観と主な仕様を図 1 及び表 1 に示す。「BeagleBoard」は CPU アーキテクチャとして ARM 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、オーディオチップが搭載されておりステレオ入出力



図 1 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
オーディオ出力	ステレオ 1 基
オーディオ入力	ステレオ 1 基
ディスプレイ出力	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리카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1月現在)

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、DVI 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おこな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 グラフィクの表示も可能である。

## 4. ハードウェアについて

### 4.1 外部仕様

開発中の本シンセサイザーの外観を図2に示す。また、外部機器との接続図を図3に示す。本シンセサイザーのベースとなった音楽キーボードは YAMAHA PORTATONE PSR-E213 (61 鍵) である。左右にあるスピーカのうち、左スピーカを外して代わりにタッチパッドを設置している。なお、図2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、現時点では使用していない。

モニタとは DVI 出力で接続している。さらに本シンセサイザーの USB 端子に接続した USB ハブ (バスパワー) 経由でキーボードやネットワーク機器等の外部 USB 機器が増設可能である。

### 4.2 内部仕様

本シンセサイザーの内部構成図を図4に示す。また、実際の内部配置の様子を図5に示す。図5の上部に見える基板がベースとなった PSR-E213 自身の基板であり、下部に見える基板が本シンセサイザーのために組み込んだ機器類である。ここで、外部ストレージとして SDHC カード (4G バイト) を本体のカードスロットに挿入している。さらに、内部にも USB ハブ (セルフパワー) を設置して各機器を接続している。「BeagleBoard」への給電も USB からおこなっている。アンプは PSR-E213 に内蔵された物を使用せずに市販のスピーカのアンプを流用した。なお、現在はまだ各機器をテープによって仮止めしている段階であるが、今後ビス止めをして固定する予定である。

## 5. OS

「BeagleBoard」は CPU アーキテクチャとして ARM 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 を実行することが出来る。本シンセサイザーでは Ubuntu Linux 9.04 を使用している。

## 6. ソフトウェアについて

### 6.1 「シンセサイカ」の開発

本シンセサイザー上で動作させる簡易ソフトウェアシンセサイザーとして「シンセサイカ (SynthesaIKA)」を開発している<sup>9)10)11)</sup>。「シンセサイカ」の実行画面を図6、使用言語、ライブラリ一覧を表2に示す。「シンセサイカ」は難解なシンセサイザーの制御パラメータを



図2 シンセサイザー外観

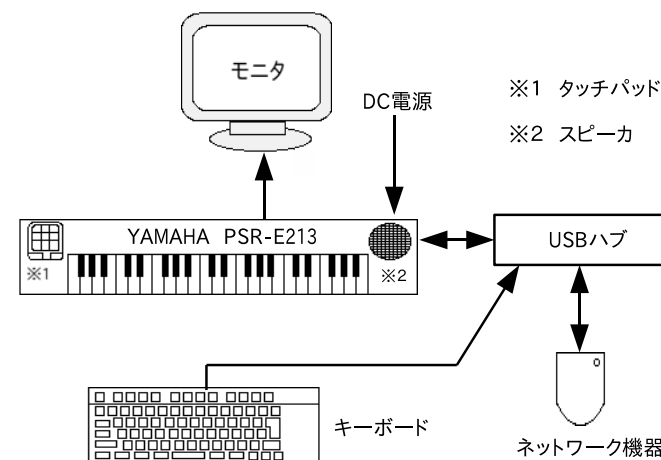


図3 外部機器との接続図

簡易化し、小中学生等の初学者でも簡単にシンセサイザーの基本を学べることを目指している。そのために「シンセサイカ」では CG で表現されたアニメーションキャラクタをモニタ上に表示して、楽しみながらシンセサイザーの学習や演奏が出来るように工夫している。キャラクタとしては函館の名物であるイカを用いた。

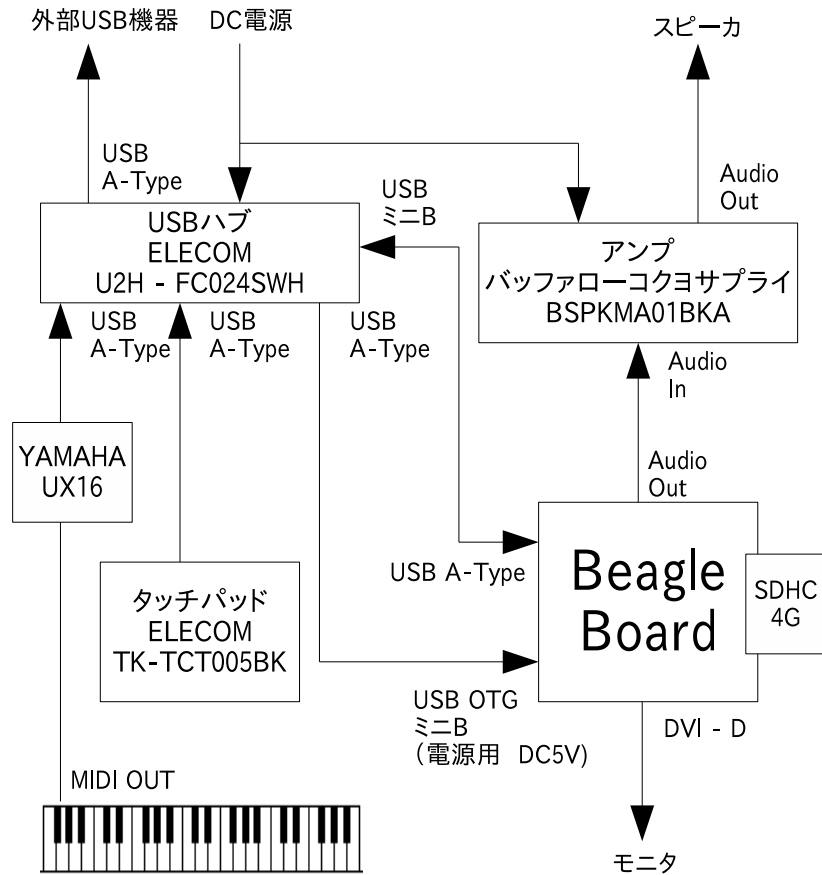


図 4 内部構成図



図 5 実際の内部配置の様子

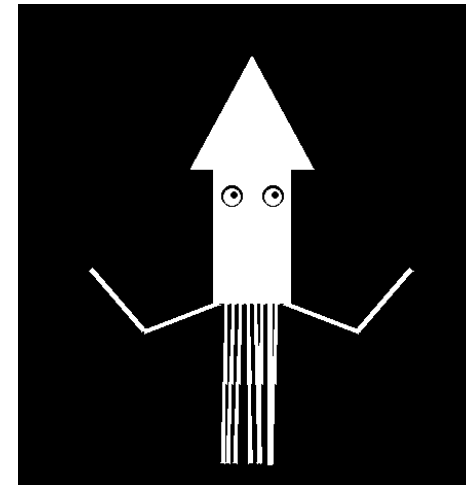


図 6 シンセイサイカ実行画面

表 2 「シンセサイカ」使用言語, ライブラリー一覧

言語	C++ (gcc)
MIDI 入力, サウンド出力	ALSA (Advanced Linux Sound Architecture) <sup>14)</sup>
描画, マウス, キーボード入出力	SDL (Simple DirectMedia Layer) <sup>15)</sup>

## 6.2 機能と操作方法

「シンセサイカ」の内部構成を図 7 に示す。ここで、VCO (Voltage Controlled Oscillator) は正弦波やノコギリ波などの基本的な波形を作る信号発振装置、VCF (Voltage Controlled Filter) はローパスフィルタ等の波形を加工する装置、VCA (Voltage Controlled Amplifier) は出力音量を制御する装置、EG (Envelope Generator) は各制御パラメータの時間的な変化 (エンベロープ特性) を制御する装置である。開発している「シンセサイカ」では VCO, VCF, VCA が直列に接続され、さらに EG が VCA に接続されている。各装置に実装されている機能一覧については表 3 に示す。

「シンセサイカ」の演奏方法としてタッチパッドを使用する方法と音楽用キーボードを使用する方法の二通りがある。タッチパッドを用い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出力される。ここで、モニタ上に表示されるポイントの座標にしたがって音の高さ (横方向) や音量 (縦方向) が変化する。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対応する高さの音がスピーカから音出力される。いずれの方法を用いた場合でも、音出力されると同時に CG で描かれたイカのキャラクターが音程や音量、エフェクト等にしたがってアクションを起こす。

なお、VCO, VCF, VCA, EG の機能は現時点では PC 用キーボードを用いて切り替えているが、最終的には物理的なスイッチを用いる等の PC 用キーボードを使用しない方法を模索している。

## 6.3 評価実験

「シンセサイカ」を 2009 年 9 月に函館工業高等専門学校で開催された公報イベント (サイエンス秋祭り 2009) に展示し、アンケートをおこなって小中学生 12 名、高校生以上の社会人 29 名、計 41 名の被験者から回答を得た。ただし、アンケートを行った時点ではまだ本シンセサイカは開発途中段階であったため、「シンセサイカ」は通常の PC 上で動作させていた。また、当時はタッチパッドではなくマウスが接続されていた。

アンケート項目の内容と集計結果を表 4 (小中学生) 及び表 5 (一般市民) に示す。ここで、アンケート項目は 5 段階評価 (5-良い, 1-悪い) となっている。この結果から「シン

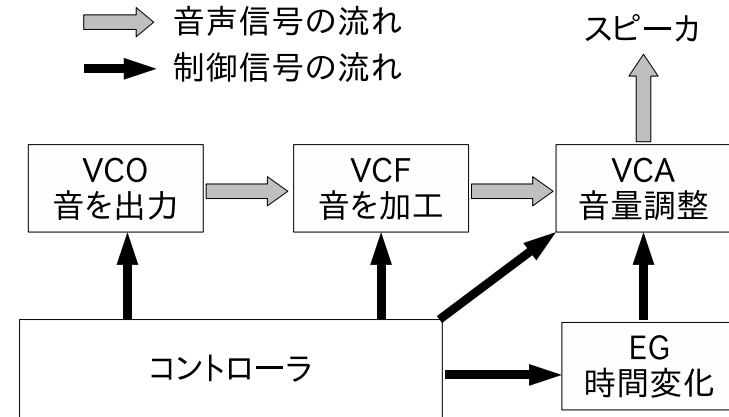


図 7 シンセサイカの内部構成

表 3 シンセサイカ機能一覧

VCO	正弦波, ノコギリ波
VCF	ローパスフィルタ
VCA	EG を接続
EG	Attack, Decay

セサイカ」は一般市民から高い評価を得たことが分かった。特に小中学生の「楽しんで使用することが出来たか」の項目の評価が高かったため、「シンセサイカ」の目的の一つである初等音楽教育のために楽しく学べるシンセサイザーを開発することが達成されたといえる。

## 6.4 ソース公開

「シンセサイカ」のソースコードはオープンソースとして公開予定である。ライセンスとしては GPL2 を予定している。

表 4 評価実験のアンケート項目と結果 (小中学生 12 名対象)

項目	平均(悪 1:良 5)
CG のキャラクターに親しみを持てたか	4.0
楽しんで使用することが出来たか	4.3
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
マウスでの操作は容易であったか	4.0
音の効果の切り替えは容易であったか	3.8
音楽用キーボードでの操作は容易であったか	4.2

表 5 評価実験のアンケート項目と結果 (小中学生を除く一般市民 29 名対象)

項目	平均(悪 1:良 5)
CG のキャラクターに親しみを持てたか	4.1
楽しんで使用することが出来たか	3.9
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
マウスでの操作は容易であったか	3.8
音の効果の切り替えは容易であったか	3.2
音楽用キーボードでの操作は容易であったか	3.5

## 7. 今後の展望

前節で述べた「シンセサイカ」の一般市民対象のアンケートには自由記述欄もあり、そこには次の様な要望が書いてあった。

- 制御パラメータがもっと欲しい
- 楽譜表示などの演奏補助機能が欲しい
- 操作方法が分かりにくいのでチュートリアルが欲しい

今後はこれらの要望を元に「シンセサイカ」の完成度を向上させ、小中学校への出前授業等で活用して行きたいと考えている。

さらに、現時点では本シンセサイザー上で動作させるソフトウェアは「シンセサイカ」のみであるが、今後は信号処理実験のソフトウェアも開発し、実際に実験で活用したいと考えている。

また、汎用的な OS (Ubuntu Linux 9.04) を用いたことで発音の遅れが若干生じるため、今後はリアルタイムカーネルを用いるなどして遅れを改善する。

## 8. おわりに

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マブルなシンセサイザーを開発した。また、本シンセサイザー上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ー「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、結果から高い評価を得たことが分かった。

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」の支援を受けて行われた。ここに謝意を示す。

## 参 考 文 献

- 1) 文部科学省:小学校学習指導要領 第 6 節 音楽.
- 2) 文部科学省:中学校学習指導要領 第 5 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望 -, 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) beagleboard.org : <http://beagleboard.org/>
- 7) 米田聡: 超小型 Linux マシンを自作する, 日経 Linux, Vol.3, pp.63-80 (2009).
- 8) 米田聡: 新「BeagleBoard」で最強 PC を作る, 日経 Linux, Vol.7, pp.55-68 (2009).
- 9) 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 掲載予定, (2009).
- 10) 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).
- 11) 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講演論文集, 第 3 分冊, pp.627-628 (2009).
- 12) 長嶋洋一: シーズ指向による新楽器のスケッチング, 情報処理学会研究報告, MUS-80, No2 (2009).
- 13) 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, No3 (2009).
- 14) ALSA project homepage: [http://www.alsa-project.org/main/index.php/Main\\_Page](http://www.alsa-project.org/main/index.php/Main_Page)
- 15) Simple DirectMedia Layer : <http://www.libsdl.org/>