

平成 23 年度卒業論文

教育用簡易エレキギターの開発

函館工業高等専門学校 情報工学科 5 年

東海林研究室 川島 聡太 西村 恵亮

目次

1章 序論	2
1.1 研究目的	2
1.2 類似研究との比較	2
1.3 英文アブストラクト	3
2章 エレキギターについて	4
2.1 エレキギターの歴史	4
2.2 エレキギターの仕組み	4
3章 ピタゴラス音階	5
3.1 音程と弦の長さの関係	5
3.2 ピタゴラス音階について	6
4章 ギター本体の開発	7
4.1 完成図	7
4.2 ボディー部	7
4.3 ネック部	8
4.4 ピックアップ部	8
4.5 アンプ部	9
4.6 ミニエレキギター内部	10
5章 公開講座について	11
6章 考察	12
7章 まとめ	13
参考文献	14
付録 公開講座マニュアル	

1 章 序論

1.1 研究目的

本研究は、公開講座を通して初心者が電子回路と音の知識を学べる教育材料として、安価で簡単に作成できるプリアンプ内蔵型簡易 1 弦ミニエレキギターを開発することを目的としている。

現在、携帯音楽プレーヤーを利用していつでもどこでも音楽が聴けるような時代になった。また、電子ピアノ、シンセサイザーといった様々な最新電子楽器が開発され続けている。さらに、ミニエレキギターといった、市販されているコンパクトで音質的にも通常の楽器に負けない小型電子楽器が教材として公開講座などで用いられていることも増えている[1]。しかし、これらの教材を初心者が製作することは時間がかかり価格も高い。また、電子回路が組み立て済みで内部の構造が隠れてしまっているため、音や電気回路などの理解を深めることが難しい。よって本研究では、初心者が電子回路から簡単に組み立てることが出来て安価な教材の開発を目指した[2]。

1.2 類似研究との比較

現在大学、高専及びその他の教育機関で行われている公開講座や出前授業の内容を表 1-1 に示す。今回調べた中で我々が行った研究に最も類似している公開講座は東京芸術大学が行っている電子楽器ワークショップである[3]。この講座はブレッドボードを用いてハンダ付けを行わずに電子楽器を作る点で我々の研究と非常に類似している。しかし、この講座の対象は高校生以上となっているため、初心者向け及び小中学生向けの講座内容にはなっていない。

その他にも多数の教育機関で電子回路に関する公開講座が行われていることがわかったが、いずれも電子回路のみを扱う公開講座であり、電子楽器を用いる公開講座は見つけれなかった。

表 1-1. 他の大学、高専及びその他の教育機関で行われている公開講座や出前授業の内容

開催学校名	講座タイトル	講座内容
東京芸術大学	電子楽器ワークショップ	ブレッドボードを使って、電子楽器を作る[3]。
仙台電波工業高等専門学校 (現 仙台高専)	中学生のための楽しい電子 工作入門	手回し発電機を作る[4]。
長野工業高等専門学校	マイコンで脳トレゲームを作ろう	電子ボードを作り、脳トレゲームのプログラムを PIC マイコンに書き込む[5]。
長野工業高等専門学校	君の声を見てみよう	音はどのようなもので、どのように聞こえるかを楽器の音などを例にとり解説する[6]。

沼津工業高等専門学校	社会人のためのエレクトロニクス基礎講座 1	回路理論(受動素子=線形素子)、能動回路(非線形素子)、デジタル回路(ゲート回路,論理設計,マイクロコントローラ)を学ぶ[7]。
豊田工業高等専門学校	電波探知器をつくろう(簡単な電子回路工作)	抵抗や IC などを用いて、はんだづけによる回路製作を行い電波探知器を製作する[8]。
工学院大学	電子回路を基礎から学ぶ	電子回路に用いられている各種電子部品について学び、実際にブレッドボード上に回路を組む[9]。
愛媛県立八幡浜工業高等学校	公開講座(ものづくり教室)	自分で作ったラジオで電波を受信する[10]。
熊本電波工業高等専門学校	光と電波の不思議体験Ⅲ. -電子回路を作って音を聞こう-	電波や音の基礎知識について実演をまじえて紹介し、電子工作を行い通信機器の構造を理解する[11]。
和歌山工業高等専門学校	マイクロコンピューターで電子回路	中学生を対象に、発光ダイオードを光らせる電子回路の説明とブレッドボード上での回路作成実習を行う[12]。
和歌山工業高等専門学校	電脳ロボットを作ろう	LEGO を使って簡単なロボットを作って動かす[13]。
佐世保工業高等専門学校	楽しい電気電子工作	半田ごてを使って「電子オルガン」を作成する[14]。

1.3 英文アブストラクト

Abstract : As a teaching material from which beginners can learn the knowledge of both electronic circuits and sound in open classes, we developed an one-string electric guitar with built-in amplifier which is cheap and can be created easily by any beginner. Today, many universities and technical colleges have been carrying out open classes in which small and commercially available electronic instruments, such as a mini synthesizer and a mini electric guitar are used as the teaching material. However, such existing materials are often expensive. Moreover it is difficult for beginners to learn both electronic circuits and how to sound from those materials, since electronic circuits have already been assembled and hidden. Therefore, we developed the mini electric guitar which is cheap and can be created from the electronic circuits. Then we carried out the open class for elementary and junior high school students by using it. As a result, it turned out that beginners could learn both electronic circuits and sound efficiently by using our mini electric guitar.

Key words : electric guitar, open classes, electronic circuits, amplifier

2章 エレキギターについて

2.1 エレキギターの歴史

ギターの起源は一説によると紀元前数千年と言われている [15]。16～17 世紀頃からギターが流行し始め、18 世紀末になりフランスのラコートなどにより単弦 6 本に改良された。その後スペインのトレスが胴のくびれの位置や弦長などの形状を定め、金属製の巻ネジなどを採用して現在のギターの形になった。

またエレキギターは、1936年にチャーリー・クリスチャンが、ギブソン社のアコースティックギターの ES-150 にピックアップを付けて演奏した時が最初のエレクトリック・ギターの誕生と言われている。

2.2 エレキギターの仕組み

エレキギターから音が出るまでの流れを図 2-1 に示す。

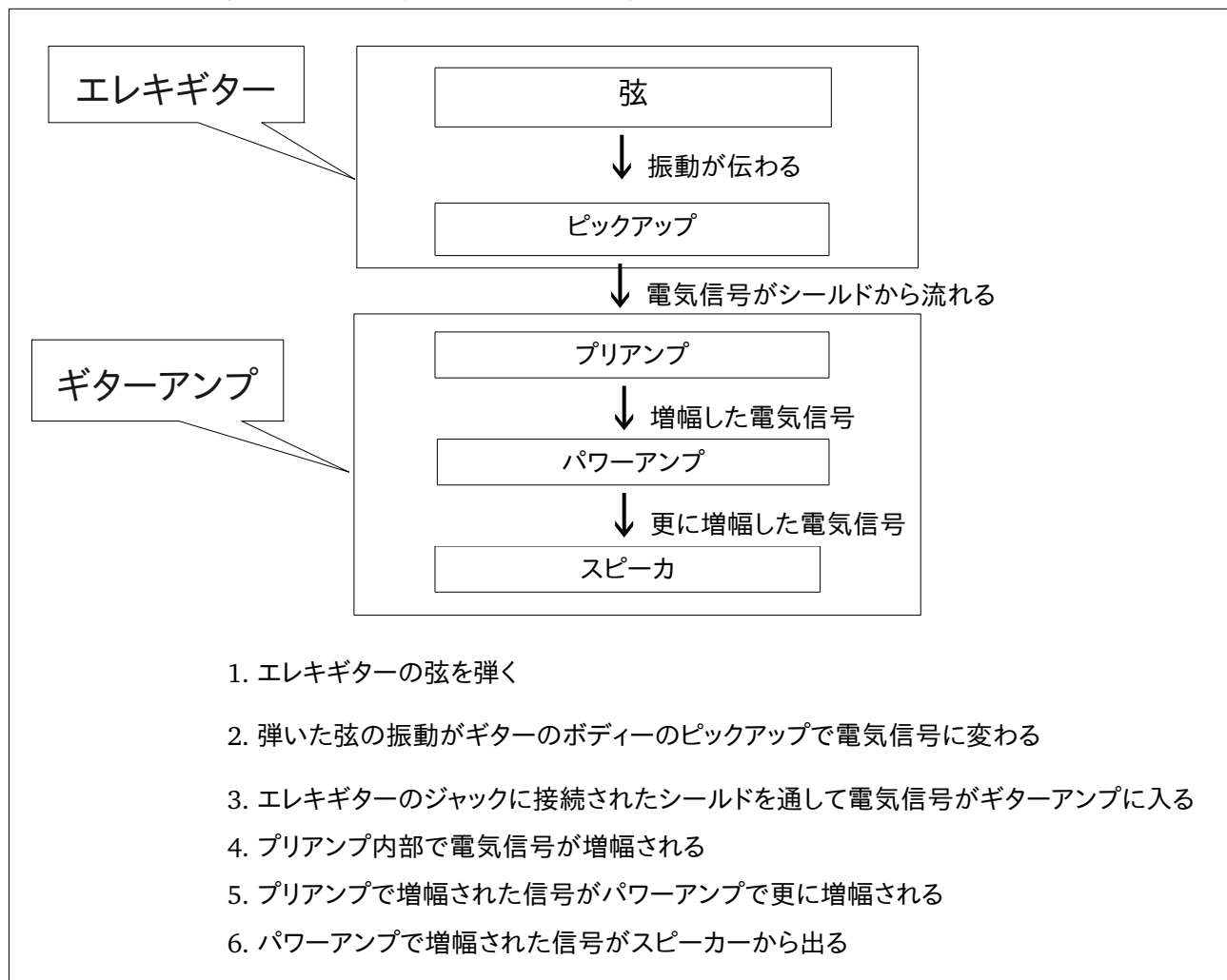


図 2-1. エレキギターから音が出るまでの流れ

3章 ピタゴラス音階

フレットの位置の決め方には様々な手法があるが、本研究ではピタゴラス音階 [16]を用いてギターフレットの位置を決めた。

3.1 音程と弦の長さの関係

音程は周波数によって決まる。平均律ではオクターブ4の A の音の周波数は 440(Hz)である。周波数を f [Hz]、音速を C [m/s]、波長を L [m]とすると

$$f = \frac{C}{L}$$

という関係式が得られる[15][17]。

ここで、線密度を ρ [kg/m]、張力を、 T [N]とすると、ギター弦の音速 C_s [m/s]は、

$$C_s = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

となる。

次に、ギター弦の長さを L_s [m]とすると波長は $2L_s$ [m]となる。これらにより弦の周波数 f_s [Hz]は、

$$f_s = \frac{1}{2L_s} \cdot \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

となる。

ここで L_s を $L_s/2$ にすると f_s は $2f_s$ となる。つまり弦の長さを半分にすると周波数は 2 倍になり 1 オクターブ上の音程になる。

3.2 ピタゴラス音階について

ピタゴラス音階は完全5度を元に作られる音階であり、ピタゴラスが発案したという伝説によりこの名がある[16]。音階は半音で12個あるので、音階が半音上がると周波数は、

$$2^{\frac{1}{12}} \text{ 倍}$$

となる。よって音程が完全5度、つまり半音で7つ上がると周波数は、

$$2^{\frac{7}{12}} \doteq 1.5 = 3/2 \text{ 倍}$$

になる。ここで、弦の長さを2/3倍にすると周波数は3/2倍になるので音程が完全5度上がる。

以上により、弦の長さと言程の関係をまとめると以下の通りになる。

- ・弦の長さを1/2倍すると音程は1オクターブ上がる
- ・弦の長さを2倍すると音程は1オクターブ下がる
- ・弦の長さを2/3倍すると音程は5度上がる
- ・弦の長さを3/2倍すると音程は5度下がる

また、音程が完全5度上がると何の音になるかは以下の5度圏[18]により分かる。

C → G → D → A → E → B → F # → C # → A b → E b → B b → F

よって音程を完全5度ずつ上げていくことで全てのフレットの位置を決める事が可能になる。具体的な各フレットの位置は、添付した付録内の「フレットの位置の計算表」に従って求められる(付録5ページ)。

4章 ギターの開発

4.1 完成図

今回開発したエレキギターの完成図を図 4-1 に示す。各部の詳細は次節以降で説明する。

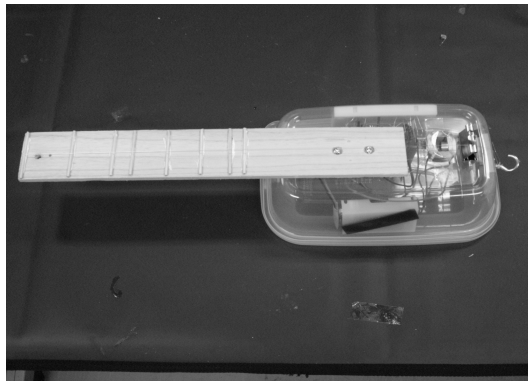


図 4-1. エレキギターの完成図

4.2 ボディー部

ボディ部の材料は表 4-1 の通りである。またボディ部の写真を図 4-2 に示す。ボディ部にはプラスチック容器を使用し、弦を巻くペグと言われる部分には洋灯吊りを使用し弦を支えるブリッジにはクリップを使用した。

表 4-1. ボディー部の材料

ボディ	プラスチック容器
ペグ	洋灯吊り
ジャック	標準モノラルジャック
ブリッジ	クリップ(金具を外す)

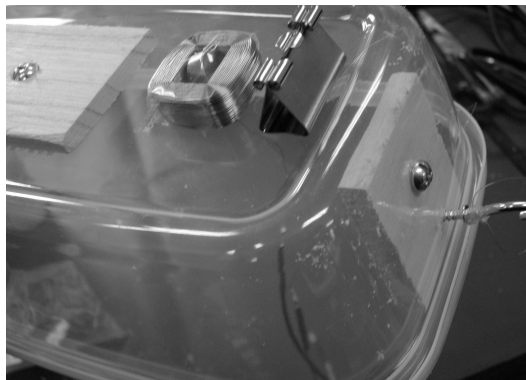


図 4-2. ボディ部

4.3 ネック部

ネック部の材料は表 4-2 の通りである。またネック部の写真を図 4-3 に示す。ネック部には長方形の木板を使用し、弦を留めるためネジ、ワッシャー、ボルトを使用し、弦には釣り糸 5 号を使用した。さらに音程を変えるためにフレットを付けた。なおボディ部にネックをネジで取り付けた。弦は 1 弦とし、フレットの位置はピタゴラス音階 (3章) により決めた。

表 4-2. ネック部の材料

ネック	長方形の木板
留め具	ネジ、ナット、ワッシャー
弦	釣り糸 5 号
フレット	爪楊枝

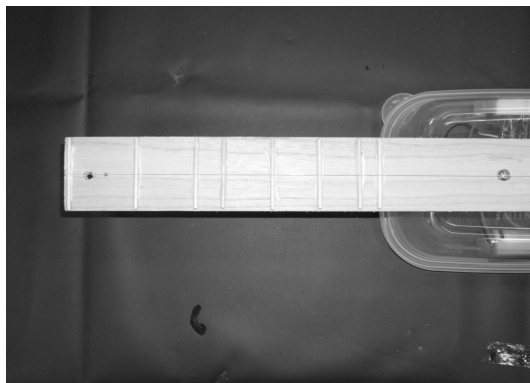


図 4-3. ネック部

4.4 ピックアップ部

ピックアップの写真を図 4-4 に示す。ピックアップはコイルと磁石を使用して作成した。

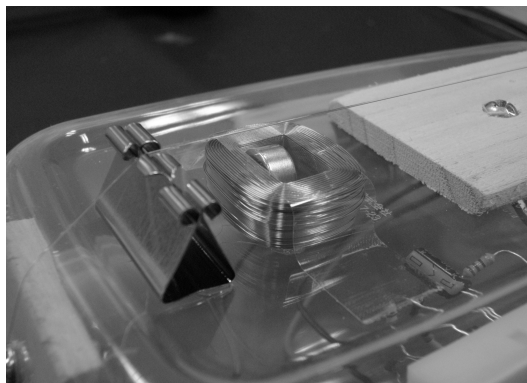


図 4-4. ピックアップ部

4.5 アンプ部

一般家庭にはギターアンプが無いので、ギターアンプの代わりに PC スピーカーを利用することにした。そこで今回作成したエレキギターにトランジスタのダーリントン接続[19]とエミッタ接地+エミッタ・フォロア回路[20]を用いたプリアンプを内蔵して PC スピーカーに接続出来るようにした。作成したアンプの回路図を図 4-5 に示す。ピックアップから出力される電気信号は振幅が小さすぎるのでトランジスタのダーリントン接続を利用して信号を増幅した。また出力インピーダンス[21]を下げるためにエミッタ・フォロア回路を回路中に取り入れた。

ここで、トランジスタとは増幅やスイッチ動作をする半導体素子である。デジタル回路ではトランジスタが電子的なスイッチとして使われ、半導体メモリやマイクロプロセッサ、その他の論理回路で利用されている。アナログ回路中ではトランジスタは基本的に増幅器として使われている。具体的にはベース電流 I_B が流れると、それに比例してコレクター電流 I_c という大きな電流が流れて電流が増幅する仕組みになっている。これを式で表すと以下のようになる。

$$I_C = hFE \cdot I_B$$

ここで hFE を電流増幅率といい、 I_B を何倍に増幅するかを表している。またトランジスタにはゲルマニウムタイプやシリコンタイプのもがあるが、今回は温度変化に強いシリコンタイプのトランジスタを採用した。トランジスタのダーリントン接続部には東芝製の 2SC1815GR を2つ、エミッタ接地部分に 2SC1815GR を1つ、エミッタ・フォロア回路には東芝製の 2SC2120-Y を 1 つ使用している。なお電子回路の組み立てには、はんだ付けをせずにブレッドボード使用することとした[22]。これにより、初心者でも安全かつ容易に回路の組み立てが出来るようになった。具体的なアンプの組み立て方法は付録 4, 6 ページに示した。

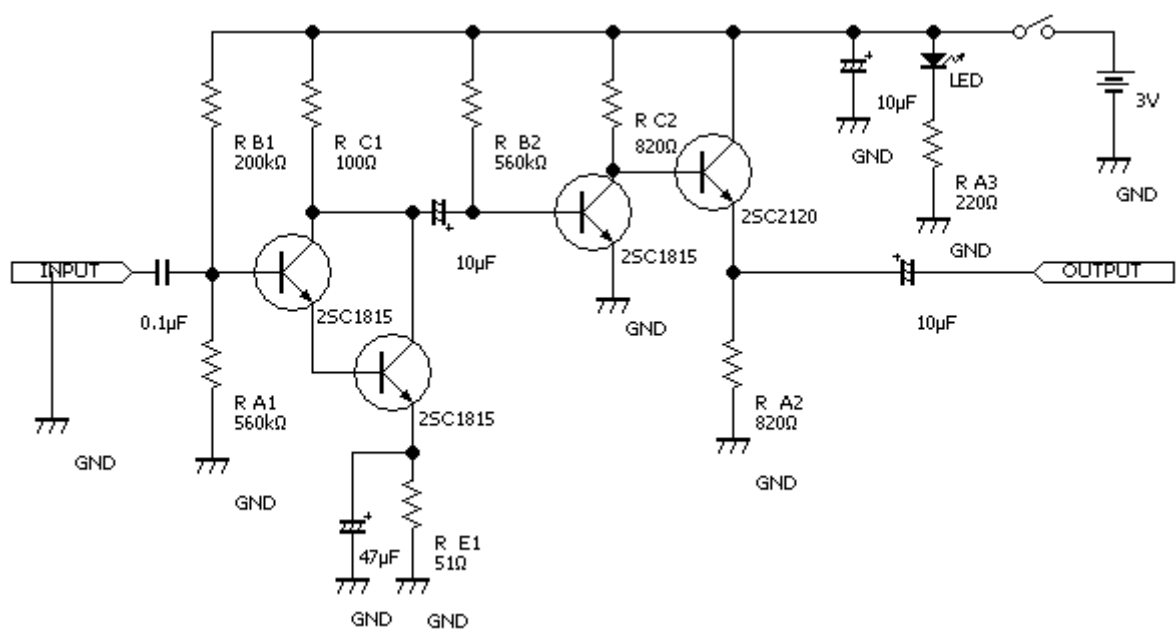


図 4-5.アンプの回路図

4.6 ミニエレキギター内部

ミニエレキギター内部を図 4-6 に示す。

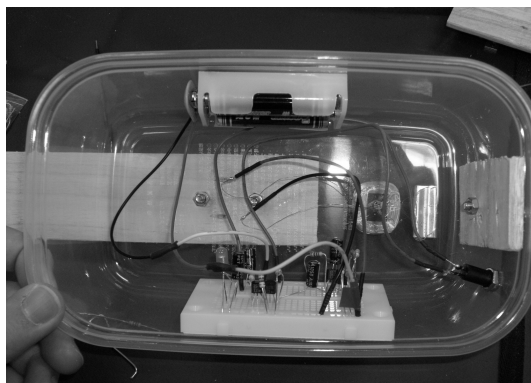


図 4-6.ミニエレキギター内部

5章 公開講座について

平成 23 年 10 月 15 日(土)に函館高専情報基礎実験室にて公開講座を行った[23]。講座のタイトルは「エレキギターのしくみ」である。対象は小中学生で参加人数は 10 名だった。エレキギターを手作りしながら音や電子回路について学ぶというテーマで講座を行った。公開講座の様子を図 5-1 に示す。また公開講座のタイムスケジュールを表 5-1 に示す。

講座では初めにエレキギターの仕組みを説明し、次に簡易エレキギターのアンプ部に使用している電子部品の抵抗、コンデンサ、トランジスタの働きを説明した。その後エレキギターの本体を制作し、アンプ部の回路を制作、動作確認といった流れで行った。なお、公開講座で使用した製作マニュアルを付録として添付した。



図 5-1.公開講座写真

表 5-1.公開講座タイムスケジュール

時間	内容
13:00～13:05	講師、助手あいさつ
13:05～13:15	作業の流れの説明
13:15～14:15	ボディの作成
14:30～15:30	電子回路の作成
15:30～15:55	テスト演奏
15:55～16:00	終わりのあいさつ

6章 考察

昨年度の研究から引き継いだ時点でのアンプはトランジスタに流れる電流が定格を超えていた[24]。そのため回路を新しいものへと設計し直した結果、トランジスタへ流れる電流は定格を下回る数値となった。しかし、それに伴い回路が複雑になってしまい初心者が作成しにくいという問題点が発生したため、今後はオペアンプを用いて回路の簡略化を行う必要があると考えられる。なお、アンプを簡略化することにより更なる費用削減が可能であると考えられる。現在使用している部品の費用の内訳と合計を表 7-1 に示す。

また現段階では弦として釣り糸を使用しているが、出力が弱く、音程が不安定であるという問題がある。そこで、本来のエレキギターのように鉄製の弦に変える必要があると考えられる。これに伴いブリッジ部分を強化する必要性もあると考えられる。

公開講座に関しては、今回は小中学生を対象としたが、小学校低学年の参加者からは、内容が難しかったという意見が寄せられた。そこで今後は小学校低学年向けの新たな電子楽器教材を作成し、本公開講座は小学校高学年および中学生を対象として行っていく必要があると考えられる。

表 7-1.費用の内訳と合計

品名	金額(円)
木板	25
プラスチック製容器	50
小型ブレッドボード	100
コイル	100
ジャック	100
トランジスタ、抵抗、コンデンサ	200
スズメッキ	10
小物	100
電池	50
計	735

7章 まとめ

本研究では公開講座を通して初心者が効果的に電子回路と音の知識について学べる教育材料として、安価で初心者でも簡単に作成できるプリアンプ内蔵型簡易ミニエレキギターを開発した。

今回の研究では、簡易エレキギターを公開講座で教材として用いることができる段階まで開発し、1台あたりの費用の削減も出来た。また、公開講座向けのマニュアルを作成をして実際に公開講座を行った。

今後の課題としては電子回路の簡略化や鉄弦の使用、またそれに伴うブリッジの改良が挙げられる。また、公開講座の際に使用したマニュアルを改良し、公開講座を実施した際に取ったアンケートを参考にして講座内容の改善を行う必要がある。

参考文献

- [1]大人の科学マガジン vol.26 ミニエレキギター,GAKKEN(2009).
- [2]電子回路と音の教育のための簡易エレキギターの開発,川島聡太、西村恵亮、松井秀樹、東海林智也,第10回情報科学技術フォーラム論文集 DVD(2011).
- [3]電子楽器工作ワークショップ,東京芸術大学,
<http://tokyomax.jp/?p=143>
- [4]平成17年度公開講座の開催について,仙台電波高専(現 仙台高専),
<http://133.104.3.55/information/2005extensionlecture.htm>
- [5]塩尻市子ども科学探検団&科学探検団,長野高専,
<http://kodomokagaku.com/20080126/>
- [6]君の声を見てみよう!!,長野高専,
<http://www.nagano-nct.ac.jp/public/class/2011/05/post-34.php>
- [7]公開講座,沼津高専,
<http://techno.numazu-ct.ac.jp/koukai/>
- [8]電波探知機を作ろう ～簡単な電子回路工作～,豊田高専,
<http://www.toyota-ct.ac.jp/~jimu/syomu/gakusyuu/panf/denpa11.pdf>
- [9]電子回路を基礎から学ぶ,工学院大学,
http://www.kogakuinuniv-ext.jp/category/backward/post_208.php
- [10]平成21年度 公開講座(ものづくり教室)募集要項,愛媛県立八幡浜工業高校,
<http://yawatahama-th.esnet.ed.jp/kousui2009/H21news/H21kouza.pdf>
- [11]公開講座:光と電波の不思議体験3～電子回路を作って音を聞こう～,熊本電波高専
<http://www.tc.knct.ac.jp/news/200807-koukai-kouza/index.html>
- [12]公開講座「マイクロコンピュータで電子回路」,和歌山高専,
http://www.kinokuninetwork.jp/event_houkoku/11/20110821densikairo/densikairo.htm
- [13]『電脳ロボットを作ろう』,和歌山高専,
<http://www.wakayama-nct.ac.jp/gyouji/08/koukaikouza08/dennourobotto080825/dennourobotto080825.htm>
- [14]公開講座「楽しい電気電子工作」,佐世保高専,
<http://www.sasebo.ac.jp/~elec/H23/H230729.html>
- [15]楽器の構造原理,新井喜美雄,村上和男,静岡学術出版(2010).
- [16]音律と音階の科学,小方厚,講談社(2009).
- [17]楽器の物理学,N.H.フレッチャー、T.D.ロッシング,シュプリングー・ジャパン(2002).
- [18]絶対わかる!コード理論,北川 祐,リットーミュージック(1997).
- [19]トコトンやさしい回路設計の本,谷腰欣司,日刊工業新聞社(2009).

[20]トランジスタ回路の設計,鈴木雅臣, Cq 出版(2009).

[21]研究室ですぐに役立つ電子回路,阿部寛.工学図書株式会社(2009).

[22]電子工作ハンドブック3 ハンダの達人,福多利夫,翔泳社(2008).

[23]平成23年度函館高専公開講座「エレキギターの仕組み」,東海林研究室
<http://www.hakodate-ct.ac.jp/~tokai/doc11/koza/>

[24]平成 22 年度卒業論文 小学生向けの簡易エレキギターの開発 函館工業高等専門学校 情報工学科,
東海林研究室 榊田周作 (2010).