

電子楽器「テルミン」による音楽・理科・ものづくり教育

鴨川 仁*・山本 訓久**・番田 清美***・稲崎 弘次****・
藤原 博伸*****・荒川 悦雄*・織原 義明*・中村 真帆*・
佐藤 良衛*・阪井 陸真*・高崎 瑞希**

音楽・演劇講座

(2013 年 6 月 28 日受理)

KAMOGAWA, M., YAMAMOTO, N., BANDA, K., INAZAKI, K., FUJIWARA, H., ARAKAWA, E., ORIHARA, Y., NAKAMURA, M., SATO, R., SAKAI, R. and TAKASAKI, M.: Multidisciplinary education for music, science, and manufacturing by means of pioneering electric musical instrument “Theremin”. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Division of Arts and Sports Sciences., 65: 15-23. (2013) ISSN 1880-4349

Abstract

We develop an educational material for the student in the view of music, science, and manufacturing. We employ a pioneering musical instrument, “Theremin” discovered by Leon Theremin who was a Russian physicist. The Theremin produces various tones, although its physics and the electrical circuit are simple.

Key words: Music education, Science education, Manufacturing education, Theremin

Department of Music and Theater, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 電子楽器の草創期に生まれたテルミンはロシアの物理学者レフ・テルミンによって発明された。現代ではテルミンによる演奏はまれであるとはいえ、現代電子楽器の一つの潮流を生み出したといえる。テルミンは、古典かつアナログ的楽器には見られない独特な音色、基本となる電子回路の単純さ、奏者が非接触で音程・音量を変化させられるなどの特色を持つ。本稿では、これらの特色を活かした教員養成大学用の音楽・理科・ものづくり学習教材として、テルミンを取り上げ、教育実践を試みた。

1. はじめに

世界初の電子楽器である「テルミン」は、旧ソ連の物理学者レフ・テルミンによって発明された。指先の

わずかな人間の動きにも鋭く反応するため、ヴァイオリンなどの古典楽器と同様に高度な演奏技術により、複雑な表現ができる。しかし、仕組みが簡単のためこの楽器を通して、楽器の仕組み、さらには芸術性を学

* 東京学芸大学自然科学系物理科学分野
** 東京学芸大学芸術・スポーツ科学系音楽分野
*** 東京学芸大学学生キャリア支援センター学芸カフェテリア
**** 東山技研
***** 女子聖学院高等学校

ぶことができる。ゆえに中・高等学校ないしは大学における音楽教育の教材に資する楽器といえる。一方、この原理は、高校物理学の範囲で概略の理解も可能である。例えば電子回路の構造も単純な構成であり、中学生の技術家庭科や高校物理のものづくり教材に十分になりうる。以上のことより、本電子楽器の教材化は、音楽・理科・技術教育に貢献すると考えられる。

テルミンは電子楽器草創期に生まれたものであり、以後のオンド・マルトノなどの電子楽器はテルミンがもとになっている。音楽教育の観点においては、音を発生させる仕組みを理解できるよい教材となり、手軽に楽しみながら演奏を学ぶことができる。一方、小中高の理科教育現場において、目に見えない電気・磁気理解には優れた実験教材が必要である。磁気は方位磁石で地磁気を調べることで簡単にイメージ化できるが、電気はイメージ化できる教材がほとんどない。テルミンは電気の変化が音程・音量になるため、小学生でも電気の変化を体感できる。また中高生ではテルミンの製作を通して電子工作を学べる。また、音楽を専門とする学生においては、音程・音色・音量とは物理学的になにか、楽器や電子楽器の原理などを知ることが演奏の質の向上に貢献することは間違いない。ただ多くの音楽を専門とする学生においては、高校物理の「波」の分野を理解し、音波や交流の性質などを理解することは、敷居が高いとみられる。その理由は、高校理科の選択科目として敬遠される傾向があるため、物理学を主となる選択科目にすることを避けている。それゆえ、そのような未学習ないしは学習したが理解できなかった学生らに対し、音波の物理学的性質についての理解の障壁を低くさせる教材は重要である。

資源保有や食物自給率が十分でない日本では、科学技術資産が国家の成長で大きな役割を担っておりその礎は理科である。しかしながら、1990年代より若者の理科離れが指摘され例えば東京都立教育研究所の調査結果を元にした1993年の科学技術白書ではすでに若者の科学技術離れが取り上げられ、いまなお大きな問題となっている。さらに、近年の入学試験の多様化や高校での理科学科目の選択自由度が高まったことから入学時に学生が自然科学分野の数学および理科、とりわけ物理の基礎を学んでおらず、大学での授業を理解できないまま教員になる場合が多くなってきた。そのためリメディアル教育（大学教育を受けるにあたって不足している基礎学力を補うために行われる教育）まで行われるようになってきた。これらの問題は国家の科学技術力に負の連鎖をもたらし、科学技術立国という目的達成は困難になりつつある。

我々は、このような科学離れの問題に対し、既存の授業、特に実験授業の改定を行い、物理を専門としない学生にも興味をもって取り組みたくなるような題材を積極的に取り扱うことで、効果的な実験教材を開発することを提案している。実際に、スポーツや芸術のクラブ活動等で児童や生徒が真剣に取り組む身近な活動の担う物理現象を題材にし、安全で身近で入手しやすい物品を使い、筆者らが得意とする高度な専門分野の視点で、最新の計測機器の助けを借り、体感することを大切にしながら、現象を検出し得られたデータを解析したりする試みを、本学のような教員養成系大学の物理学分野の実験授業にて行っている。先行して開発した力学分野と原子分野に限った教材の導入は、受講生に好評であった（荒川, 2008; 荒川ら, 2010）。そのような視点から本研究ではテルミンを取り上げ、音楽・理科・ものづくり教育に役に立つ教材開発を試みる。

2. 電子楽器テルミン

レフ・テルミンは、1896年、旧ソ連で法律家の父と音楽好きな母の間に生まれ、高校時代にペトログラード音楽院でチェロを学ぶ。しかし大学では、音楽ではなくペトログラード大学において物理学と天文学を専攻した。その後1920年にテルミンの発明がなされ、1922年においてはレーニンの前で演奏することになり、彼はテルミンの良き理解者となった。1928年にはニューヨークフィルと競演をし、その後東西冷戦下であったが米国に滞在した。しかし、1953年に突如旧ソ連へ帰国することになり、KGBによる拉致されないしは西側で処刑説が流れたが、実際はシベリアの金山での強制労働、兵器開発を行っていた。そして1964年よりモスクワ音楽院音楽音響研究所に勤務した。テルミンの旧ソ連への帰還後は謎とされており死亡説もあったが1967年に西側でテルミンの生存の情報が流れた。1980年代前半にゴルバチョフによるペレストロイカ改革がなされ、再度、テルミンも西側で演奏や研究活動も行うことができるようになった。そしてテルミンは1993年、97歳にてモスクワで死去した。これらのテルミンの生涯については、現在いくつかの文献（竹内, 2000）や映像（映画「テルミン」, 1993）に記録が残されている。

2.1 テルミンを使用した音楽作品

テルミンを用いた音楽作品については以下の通りである。本稿では年代を追って述べる。

1) サン・サーンス:「白鳥」ほか

先述のとおり電子楽器テルミンは1920年10月に完成された。初期の頃は作品がないため、サン・サーンス:「白鳥」やグリンカ:「ひばり」、スクリャービン:エチュード等を発明者テルミン自らが編曲して弾くことで楽器の普及に努めていた。ちなみにサン・サーンス:「白鳥」は組曲「動物の謝肉祭」の中の楽曲で、元来チェロとピアノのための作品であるが、現在でも電子楽器テルミンの代名詞のように扱われている。それはチェロをテルミンに置き換えても音域に違和感がないためと考えられる。むしろテルミンを使用することによって音色に実体感がなくなり、よく知られるチェロでの「白鳥」とは一味異なる摩訶不思議なサウンドを醸し出している。

2) S. パシシェンコ:テルミンとオーケストラのためのシンフォニック・ミステリー

この作品は、1924年に書かれたテルミンを独奏楽器とした初めての本格的な協奏曲である。S. パシシェンコ(1885-1972)はロシア(ソ連)の作曲家で、初演はテルミンを独奏者に迎えドラニシェンコフ指揮:レニングラード・フィルハーモニー交響楽団の演奏により、1924年5月2日にレニングラードで行われた。

3) 映画音楽でのテルミン

「コムソモール電化隊長」(1934)

1934年制作のこのソ連映画の中で、テルミンの旋律を聴くことが出来る。

「白い恐怖」(1945)

ヒッチコック監督、イングリット・バーグマン、グレゴリー・ペックの主演によるこの映画は、アカデミー音楽賞を受賞した。音楽を担当したのは、後に「ベン・ハー」等でもアカデミー音楽賞を複数回受賞しており、いわゆるクラシックの作曲家としても著名なミクロス・ローザ(1907-1995)である。この映画ではロマン派のピアノ協奏曲の様式で音楽が書かれており、テルミンの音色が効果的に用いられている。

4) E. ヴァレーズ:「赤道地帯」

フランス出身でアメリカに帰化した現代音楽の作曲家E. ヴァレーズ(1883-1965)によるこの作品は、1932年に作曲された。その編成は下記に示すようにきわめてユニークである(バリトン独唱、トランペット4本、トロンボーン4本、ピアノ、オルガン、2台のテルミン、打楽器)。

5) P. グレインジャー:「フリーミュージック第1番」
「同第2番」「同第3番」

オーストラリア生まれでイギリスやアメリカで活躍したP. グレインジャー(1882-1961)は、当時新しい

楽器であったテルミンを積極的に取り上げ、室内楽の作品を3曲書き残している。第1番(1935)は4台のテルミンのために、第2番(1935-36)は6台のテルミンのために、第3番(1936)は、テルミンと弦楽四重奏のために書かれている。

6) A. フレイハーン:テルミン協奏曲

キプロス生まれのアメリカの作曲家A. フレイハーン(1900-1970)が1942年に書いた協奏曲である。同年C. ロックモアの独奏、L. ストコフスキー指揮のニューヨーク・フィルハーモニー交響楽団の伴奏によって録音された。この録音は現在CD化されている。ロックモアの演奏はニューヨーク・フィルの豪華なサウンドに決して負けることなく、素晴らしい音色と素晴らしいテクニックでこの難曲をこなしている。

7) B. マルティヌー:「ファンタジー」

チェコに生まれパリ等で活躍したマルティヌー(1890-1959)は、1944年にテルミン、弦楽四重奏、オーボエとピアノのためにこの作品を作曲した。テルミンのサウンドは、あたかも宇宙からの声のようなイメージで聴かれる。ここではオーボエをソロ・パート、そしてオブリガート・パートとしてテルミンを対照的に用い、ピアノと弦楽四重奏がそれを伴奏する形で書かれている一種の二重協奏曲といえる。タイトルのおり幻想的な音楽である。

8) J. ケージ:「ヴァリエーションズV」

アメリカの現代音楽作曲家J. ケージ(1912-1992)は、1965年のこの作品でテルミンを使用している。ここでテルミンは、ダンサーの動きに反応する一種の装置として用いられている。

2. 2 テルミン音楽の現状

第二次大戦後、テルミンはハリウッド映画を中心に映画やテレビの音楽として頻繁に用いられてきた。それにはテルミンの持つ響きが大いに関係している。弦楽器やフルートに近いような音色であるが電気を通した独特のサウンドは、地上のものではない何か宇宙的なもの、あるいは霊的なものを連想させる。それでいてヴィブラートの振幅を微妙に調整することにより、電気をを用いない実際の楽器に近い表現も可能である。その特色を生かせるのが映画やテレビなど映像の分野であった。当初、正統的な音楽の分野ではなかなか普及が進まなかったのであるが、戦後は映像のBGMを通じて主にポピュラー音楽の分野で普及していった。特にロック音楽のグループ「ビーチ・ボーイズ」「レッド・ツェッペリン」らはテルミンを積極的に取り入れ、そのなめらかな音の移り変わり(ポルタメント)と独

特のサウンドはロック・ファンを魅了したのである。

近年、日本の音楽愛好家に新たにテルミンを印象づけたのはドラマ「のだめカンタービレ」(2007年放映)であろう。30代以下の若い世代は、このドラマにテルミンが登場したことで初めてこの楽器に接したのではないか。「のだめカンタービレ」ではテレビだけでなく映画版「最終楽章・後編」(2010年公開)でもテルミンを登場させている。加えて『大人の科学』Vol.17(2007年9月)でテルミンが特集として取り上げられ、付録に簡易型のテルミンが付いていたのも記憶に新しい。

上記の映像、出版の2種類の分野で大きく取り上げられたことで、現在日本においてテルミンの静かなブームが途切れることなく継続していることは間違いないことである。テルミンは他の後発の電子楽器に押されて、いったん現代音楽からは第一線を退いた形になっていたが、1960年代以降は映像を中心とした大衆音楽の分野に場所を換えて発展して来た。そして21世紀に入って懐古的な趣向も含め、再び蘇ったといえるであろう。現在、You Tubeで「テルミン演奏」というキーワードで検索すると、実に7000件以上の画像が現れる。その内容もポピュラー音楽、現代音楽、他の作品からの編曲などバリエーションに富んでいる。この「宇宙の声」のような摩訶不思議なテルミン・サウンドを何らかの方法で音楽・理科・ものづくりという3つの教科を通じて学校教育に生かせないか、というのが本論の主旨である。

3. テルミンの原理と電子回路図

本研究を推進する上で、電子回路については音楽教育、理科教育、ものづくり教育の目的をそれぞれ満足するものでなければならない。音楽教育については、楽器が最低限の演奏に耐えうるものであること、理科教育については、音程が音波の振動数であるということが理解できるような回路を目標とした。ものづくり教育については、回路が複雑になり過ぎず、高等学校の学生でも慣れればすべてハンダ付けして装置の完成をさせるような回路であることを目標とした。そのために我々は、センサー部が異なる2つの回路を設計した。

(1) 音程を決める手とアンテナの感覚を、テルミンで用いられているような、手とアンテナ間の静電容量の変化ではなく、手の位置をフォトダイオードによって照射した発光ダイオードの反射強度に比例するような電圧に変換し、その電圧を発振周波数を制御する発

振器(VCO: Voltage Controlled Oscillator)に加えて得るタイプのものである。これらは非接触演奏が可能という点ではテルミンと同じであるが、物理的原理が異なる。

(2) もう一つのセンサーは古典的にテルミンと同様に、演奏する手とテルミン上のアンテナ間の静電容量の変化で音程を変化させるタイプのものである。

いずれの回路も試作したが、前者はテルミン風の新しいタイプの楽器とも言える新規性があるが設計時点での簡易回路ではノイズが乗りやすく演奏の観点では後者に劣り、ノイズを減らすためには回路が複雑になりものづくりの観点で適さないことから後者を採択することにした。

また、ある音程を持った音を発振するためには、電子回路に共振回路が必要となる。共振回路にはさまざまなタイプがあるが、本研究では、シュミット・トリガ回路のヒステリシス特性を利用した、無安定マルチバイブレータ方式の共振回路を使用した。シュミット・トリガ回路を使用して発振回路を2つ作り、その2つの振動のうなりによって音声を作る。片方の発振回路のみにアンテナを繋ぐことによって、うなりを生じさせる。今、ゲートの出力ピンが“1”であるとする、抵抗Rを通じてコンデンサCが充電され、ゲートの入力ピンの電圧は次第に上昇していく。この電圧がシュミット・トリガ回路の上の閾値に達するとゲートの出力ピンは“0”に反転し、今度はコンデンサCの電圧が抵抗Rを経由して放電を開始し、その結果ゲートの入力ピンの電圧は降下し始める。そして、その電圧が下の閾値にまで下がると、ゲートの出力ピンは再び反転して同じ動作を繰り返す。以上の回路をベースに、静電容量を変化させるためのアンテナ部、2つの発振回路からの出力信号を混合させるためのミキサ部、混合された信号の差分信号を取り出すためのLPF(ローパスフィルタ)部、信号を増幅しスピーカを鳴らすためのアンプ部、全体に電圧を供するための電源部、スピーカ部をつけてテルミンの回路にしたものが図1となる。

4. 学芸カフェテリアでの教育実践

開発された装置を教育実践として2010年11月12日に学芸カフェテリア主催による「大人の科学①・世界初の電子楽器テルミンを奏しよう」で行った。はじめに、学芸カフェテリアのシステムについて述べたい。東京学芸大学は我が国の教員養成の基幹大学である。先端的な専門知識と深い教養に対する造詣をもって社

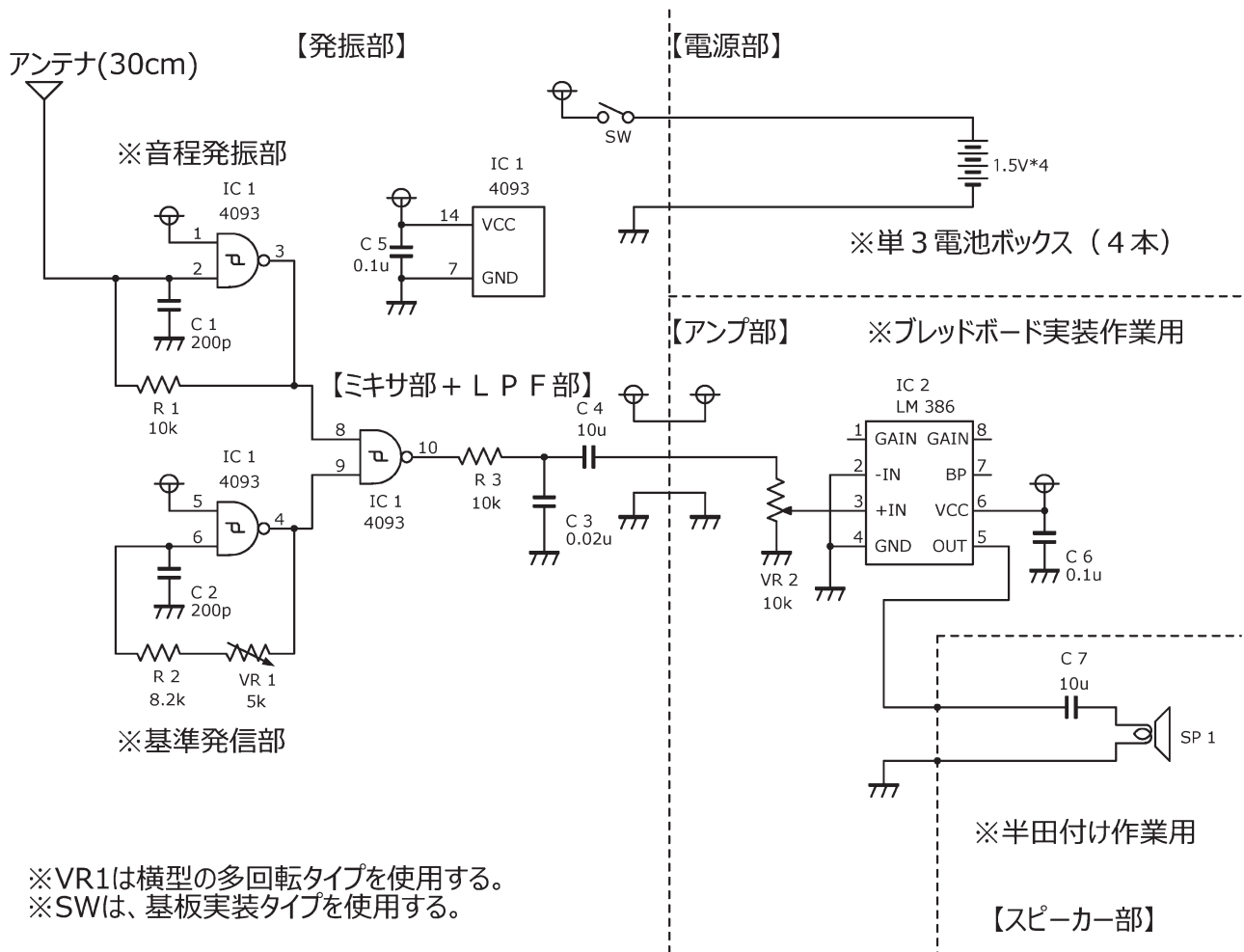


図1 シュミット・トリガ回路を用いたテルミンの回路図

会でリーダーシップを発揮する「有為の教育者」を育成することを目的としている。2007年度文部科学省「新たな社会ニーズに対応した学生支援プログラム」GP (Good Practice) として、東京学芸大学学修・キャリア支援事業「学芸カフェテリア」～全学の援助資源の活用と最適化された学生支援プログラム～が採択された。学芸カフェテリアにおいても、「有為の教育者の育成」を達成目標にし、支援事業を推進している。2010年度末にGP期間を終了したのちも、学芸カフェテリア事業は、学生キャリア支援センターに組み込まれ、引き続き活動を行なっている。学芸カフェテリアでは、「学芸カフェテリア講座」「学芸カフェテリアウェブシステム」「キャリア・ナビ(相談)」の3つの活動に取り組んでいる。学芸カフェテリアで提供される講座は、あらゆる分野に渡り、講師は、学芸カフェテリアスタッフが学内の教職員を中心に掘り起こす形で見つけ出し、通常の学内講義ではできないような魅力ある講座が開かれる。学生は自分の興味に合わせて講座の選択をする。単位には認定されない講座だが意欲の

ある学生が多く参加するのがみられる。

本講座は2010年の秋期講座の1つとして開講した(高崎, 2011)。開講案内が提示されたところ1週間以内で受講可能者数(15名)に到達してしまい、その後3名追加し合計18名が参加者となった。参加学生の内訳は理科専攻3名、音楽専攻6名、美術教育専攻4名、その他の専攻が4名である。学芸カフェテリアでの講師は本稿の著者である鴨川仁および山本訓久である。電子工作のアシスタントは同じく本稿の著者であるF類自然環境科学4年生佐藤良衛および3年生阪井陸真が務め、会の進行は、学芸カフェテリア・カフェメイツ(学生スタッフ)である高崎瑞希が行った。東京学芸大学ならではの学際的メンバーによる講座であった。

講座の最後に、合奏として「かえるの歌」で知られるドイツ民謡のFroschgesangをテルミン用に編曲(山本)を行った(図2)。本曲目は、音域のレンジが狭く簡易テルミンの音域を満たしていること、音階の変動がスムーズでテルミンのような楽器に対して容易に

Froschgesang

for 3 Theremins with Piano

German Folksong
Arranged by
Norihiisa Yamamoto

The musical score is for a piece titled "Froschgesang" (Frog Song), a German folksong arranged by Norihisa Yamamoto for three theremins and piano. The key signature has one flat (F major or D minor), and the time signature is 4/4. The score is divided into two systems. The first system contains measures 1 through 4. The second system, labeled (a), contains measures 5 through 9. The three theremin parts are staves 1, 2, and 3. The piano part is shown in grand staff notation. Dynamics include *mf* (mezzo-forte) and *p* (piano).

図2 かえるの歌の楽譜。

10

15

(b)

20

(c)

mf

f

15.XI.2010

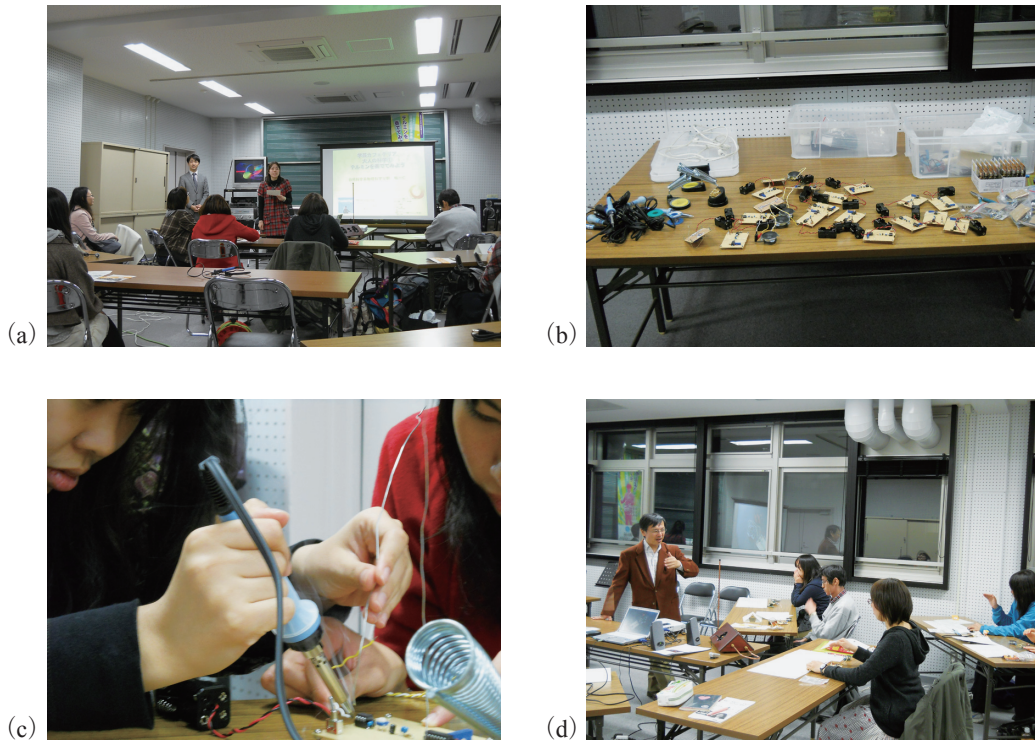


図3 講座の様子。(a) 講座開始時, (b) 使用したテルミンパーツ (多くは事前にある程度工作を行っている), (c) 電子工作时, (d) 合奏時。

演奏しやすいということ, 輪唱が容易であるため手軽に合奏を楽しめることが期待できるという利点から選曲された。3つの声部に分けて編曲されているが, はじめに第1声部を全員で演奏し, 上手く行けば第2, 第3と声部を増やして楽しみも増すように配慮されている。

内容は, テルミンの歴史や演奏シーンの紹介(鴨川), 楽器の仕組みの解説, テルミンを使った音楽の紹介(山本), はんだごてを使ったテルミンの製作(佐藤・阪井), 最後にテルミンの合奏(指揮: 山本, ピアノ伴奏: 高崎)を行った(図3)。その後, 参加者によるテルミンの教育現場への応用などについて討議を行い, さまざまなアイデアが提案された。終了後には, 参加者へのアンケート調査を実施した。アンケートは自由記述形式で本講座に参加した感想を書いていただいた。概ね参加して良かったとの回答であったが, 講座の主旨が前もって十分に伝わっていなかったとの指摘もあり, 今後の改善につなげたい。感想は教育からの視点が多く, 理科専攻の学生は音が出る原理や, 回路などからの教育を考え, 音楽専攻の学生は, ピアノやトランペットなど他の楽器との比較, 音階や音程からテルミンを捉えたりしていた。また, 美術専攻の学生は演奏する人の衣装などにも言及していた。

5. まとめ

本研究では, 音楽・理科・ものづくりの学際的教材としてテルミンを開発し, 教育実践を試みた。本機器は, 演奏者の手と楽器の間の電気容量で音程(周波数)ないしは音量をかえる仕組みを備えている。そのためテルミンのアンテナ部と奏者(=実験者)の手の位置との位置関係で音程ないしは音量がかえられるため, 体感型学習教材として利用できる。この原理は, 高校物理学の範囲で理解ができ, 電子回路の構造も単純である。中学生の技術家庭科や高校物理, 大学教養での物理学実験におけるものづくり教材になりうる。また音楽が専門でない生徒でも演奏しやすいと思われる曲(かえるの歌)をテルミン用に編曲した。今後は, 教材用に静電容量などの物理量を体感できる音に変換する機器として視覚障害者のための物理教材としても開発を行いたい。

謝辞

本回路の組立においてF類自然環境科学田中章裕氏およびA類上野真広氏に御礼を申し上げる。なお本研究は科学研究費挑戦的萌芽(2011年度~2013年度, 課題番号, 研究代表者: 荒川悦雄, 連携研究者:

鴨川仁)，東京学芸大学フレンドシップ事業（2010 年度）によって行われた。

参考文献

番田清美，東京学芸大学「学芸カフェテリア」による学修・キャリア支援 全学の援助資源活用と最適化された学生支援プログラム，文部科学省通信，269，20-21（2011）。

高崎瑞希，学芸カフェテリアの講座，TGU，264（2011）

荒川悦雄「球速の測定」，楽しい理科授業，（続）一歩踏み出す勇気！理科授業で使える面白教材 13，明治図書（2008）

荒川悦雄，山田修平，鴨川仁，相澤則行，「自然放射線によって励起する蛍光 X 線元素分析」，大学の物理教育，16，102-104（2010）

竹内正実，テルミン—エーテル音楽と 20 世紀ロシアを生きた男，岳陽舎（2000）