

エレキギター演示実験報告

久松 洋二*

A working report of "Science in the electric guitar"

Yoji Hisamatsu

The electric guitar contains many laws of science and technology. We showed them to visitors and students by two types that were the demonstration in our exhibition and the science class for students. Since the personality of participants were different from each other in points of their motivation and time for demonstrations, contents of them were different from. This report describes the substance of them that compared with mutual experiments.

1 はじめに

エレキギターには多くの科学が含まれている。弦による音の高低、スチール弦の磁化、マグネティックピックアップによる電磁誘導、アンプやエフェクターのエレクトロニクスなど主だったものだけでも実に多彩だ。加えて、ギター自身の基本的な構造は単純で、そのため見た目にも直接滴に実験でき、科学教材としては非常に興味深い。

今回、エレキギターについて2種類の実験をおこなった。1つはサイエンスショーとして、もう1つは科学実験教室としてである。ともに中心となる話題として、エレキギターはどのように音を出すのかという点を選んだ。エレキギターの「エレキ」たるゆえんを知ってほしかったからである。すなわち、マグネティックピックアップの発電で、それこそエレキギターだからだ。

形や色のおもしろさ、演奏したときの大音量、多彩に変化できる音色など、エレキギターにはショーを盛り上げる材料に富んでいる。エレキギターの科学を実験からじっくり理解する講座と、それ以外にショー的な能力を充分使うことも面白いのではと考え、科学実験教室、サイエンスショーの2種類で表現した。2つは、その内容も科学の話題の掘り下げ方も当然異なる。

本稿では愛媛県総合科学博物館において平成11年度に行われた、サイエンスショー「デケデケエレキのサイエンスショー」と科学実験教室「エレキギターのみみつ」について実験の内容、構成をそれぞれ比較しながら報告する。サイエンスショーは平成11年9月から11月の3ヶ月間に1回15分程度で約160回、実験教室は平成12年1

月9日(日)に2時間、小学4年生から中学生が対象の講座として行われた。

2 実験一覧

2つの実験項目は以下のとおり、サイエンスショーが「エレキ」らしさという中心話題へ直線的に構成していることに対して、科学実験教室はエレキギターを解剖するように広く構成した。

サイエンスショー「デケデケエレキのサイエンスショー」

- ・ギターの演奏
- ・スチール弦の導電性
- ・弦の磁化
- ・誘導電流による感電
- ・誘導電流による白熱灯の点灯
- ・ピックアップの分解
- ・エフェクターによる音色の変化
- ・エフェクターによる声の変化
- ・エレキオルゴールの演奏
- ・エレキノコギリの演奏

科学実験教室「エレキギターのみみつ」

音の高低は何で変わる？

- ・弦の太さ
- ・張力
- ・弦の長さ

磁石に変わるひも

- ・弦の導電性
- ・弦の磁化による強磁性

*愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

- ・ティッシュペーパーの常磁性

ただ巻いてるだけなのに

- ・コイルの製作
- ・コイルによる電磁石
- ・簡単スピーカー
- ・簡単マイク
- ・誘導電流の感電
- ・誘導電流による白熱灯の点灯
- ・ピックアップ

音を変える道具

- ・エフェクターによる音色の変化
- ・エフェクターによる声の変化

まとめ

- ・自作ピックアップによるエレキギター

3 サイエンスショーの構成と内容

1回15分のショーの中で見せられることは限られているので、実験のテーマは電磁誘導に限定した。すなわち、マグネティックピックアップが発電することを中心にショーが構成される。

コイルを貫く磁束の変化で誘導起電力を生じることが電磁誘導である。エレキギターの場合、磁化した弦の振動が磁束の変化をつくる。ピックアップの電磁誘導を説明するには弦の磁化を取り入れる必要がある。マグネティックピックアップには、金属芯とそれに巻いたコイル、永久磁石のみで、あとは固定具と位置調節部品程度である。エレキギターの発音に関してはこれだけなので、その単純さを見せた。また、エレキギターの魅力である音色の表現の多様性をエフェクターで実演した。

導入

ショーのオープニングにはエレキギターの演奏を行い、「エレキ」＝電機を強調する。エレキギターのどのあたりに電気に関係するか考えてもらい、弦に電流を流して白熱灯を点灯させた。確かに電流は流れるが、電気に関係しても電気を利用するのではないことを指摘する。弦の役割とは？電気はどこに登場するのか？ギターからアンプが繋がっているコードは何のためか？これから展開する実験のポイントを意識させて、実験を進めた。

スチール弦の磁化

スチール弦の役割は音階を刻むことで磁化することである。前者は今回のショーで同時に扱うには難しいと判断した。電磁誘導に直接関係しないため、ショーの中心課題をぼかさないためである。

細く長いという弦の形状から、ピンと張った弦が直接磁化していることを確かめるのは難しい。直径5センチ

程度に丸めた弦をネオジウム磁石に近づけて、クリップを引っ付けることで確認した。釘やボルトを磁化させて同様にクリップを近づけたことで、弦にも同じ磁化が起こっていることを強調した。

電磁誘導

電磁誘導は直感的でないため、実験は次の順序で行った。

- ・自作簡単マイクを使い、磁石とコイルだけが実験に必要であることを印象づける。

- ・大型のコイルと大きな動作で電磁誘導を実験し、誘導電流で感電した観客の反応で何かが起きたことを感じさせる。

- ・誘導電流を使った白熱灯の発光で発電を理解させる。

電磁誘導を説明した後、マグネティックピックアップを分解し、実際のコイルと磁石を観客に見せた。また、マイクの実験を例にエレキギターからのびるコードの意味を説明した。

エフェクター

エフェクターを接続して、様々な音を演奏した。同時に、声もエフェクターで加工した。当館の展示物に変声器があるので、実験をとおして展示物の紹介も行った。

まとめ

エレキギターの発音の仕組みを再度まとめとして説明する際に、電磁誘導発見の歴史とエレキギターは今世紀の発明品であることを解説した。

自作楽器

発音原理が単純であることから、ピックアップを利用すれば弦以外にもエレキ楽器が作れる。今回はオルゴールとノコギリをエレキにした楽器を演奏した。

4 科学実験教室の内容と構成

実験教室は2時間あるため、より広範囲な実験を行うことができる。テーマをエレキギターの解剖と称して、各部を一つ一つ実験した。最後に実験器具を利用してエレキギターを組み立てることで、今回の実験のまとめとしている。

ショーでは割愛せざるを得なかった弦の音階の実験も行った。受講者にとって難しく感じるのは電磁誘導なので、全体の時間中もっとも多くの時間を割いた。ショーではマイクを導入としたが、実験教室ではコイルから始めることができた。

音の高さは何で変わる

弦が音を変える3つの要素、太さ・張力・長さについ

て実験した。木の板に1弦と6弦を張力を変えられるように張って実験した。弦をはじくことで即座に結果が分かるため、事実を確認する感が強かった。ギターでの3要素の役割を解説した。

磁石に変わるひも

金属の弦を確認する意味で、まず弦を導線として豆電球を点灯させた。そのあと、弦を磁石で磁化させて、クリップを引っ付けた。受講者には釘が磁化することにはなじみがあるようで、弦の磁化はすぐ受け入れられた。磁性の話にうつり、強磁性を示す身近なもの、金属で強磁性をもたない例、常磁性とそれ例（ティッシュペーパー）を演示実験を交えながら解説した。

ただ巻いてるだけなのに

コイルに起こることを体験しながら電磁誘導に導く構成にした。まず、受講生は13ミリφの塩ビパイプにエナメル線を巻き付けてコイルを作った。そのコイルを乾電池に直結させて、磁石を近づけることで電磁石になっているか確かめた。

電磁石の延長として、スチレンコップでスピーカーを製作した。同じものがマイクになることも確かめ、マイクとスピーカーの中身は基本的には同じであることを実験した。製品のマイクをヘッドフォン端子に繋ぐとスピーカーになること。スピーカーをマイク入力端子に繋いで話しかけるとマイクの機能を持つことを実際に演示することで、実際の製品でもスピーカーとマイクは同じであることを示した。もちろん、これら製品には用途に合わせた工夫がなされていることも説明した。

次に、中身が同じなら何が違うのかを解説した。マイクでは磁石が動くことを強調して、磁石がコイルの近くで動くとなんが起るのかを確かめる。受講者全員の手をつないで輪になり端のものがコイルの一端をつまむ。コイルはサイエンスショーで使用した大型のものである。磁石をコイルに近づけて生じた誘導電流の感電を受講生は体験した。

次にピックアップを分解し、その中に極細の導線で巻かれたコイルと永久磁石を見せることで、ピックアップは電磁誘導による発電装置であり、エレキギターで起こることは今までの実験で確認したことだと説明した。すなわち、ピックアップの中にある磁石は弦を磁化させる働きがあること、磁化した弦は演奏によって揺らされること、揺れる弦は電磁誘導での動く磁石の役割をすることを解説した。

音を変える道具

ギターから発信した電気信号を途中で加工することでいろいろな表現が生まれる。多少ブラックボックスの実

験ではあるが、実際にギターの音や声をエフェクターで加工した。声の加工は意外性のあるのか評判がよかった。

まとめ

実験のまとめとして自作エレキギターを組み立てた。本体は弦の実験で使用した器具を使用した。ピックアップ別個に用意した。以前の実験で使ったコイルでは出力が弱すぎるためである。アンプに直結したコイルを近づけながら弦をはじくとエレキギターの音がスピーカーから出力される。簡単な実験器具でエレキギターがつくられることは、受講者を改めて驚かせたようだった。

5 実験器具

今回のサイエンスショー及び科学実験教室に使用した実験器具は次のとおりである。

ピックアップ (写真1)

実験および器具作成には、リプレイスメントピックアップを購入した。比較的安価なものを探して使用した。ピックアップについてはリットーミュージック (1997) に詳しい。

弦の導電性演示装置 (写真2)

エレキギターのブリッジに電極の1端を接続し、ステンレス製のピックで演奏すれば電球が点灯する装置。電球の点灯をわかりやすくするためと実演時の危険を回避するために、その点灯にはコンセントの電源を使用した。弦の導電性はスイッチに使用している。装置と実験の意味に多少隔たりがあるが、ショーとして観客の見やすさを優先させた。

弦の磁化演示具 (写真3)

エレキギターの6弦を直径50ミリ程度に丸め、ネオジウム磁石とともに持ち、クリップに近づけた。

誘導電流感電装置 (写真4)

12φ×400ミリのボルトに0.13ミリのエナメル線を2万回程度巻き付けた。誘導電流を人体に危険のない程度まで少なくするために抵抗を並列に接続している。導線の端はステンレス板を取り付け、怪我をせずつまみやすいように先を丸めている。

非反転回路電球装置 (写真5)

発電していることを視覚的に納得しやすいように白熱灯を点灯させる実験器。生の誘導起電力で白熱灯に点灯しないので、スイッチに使用した。この装置もショーアップを優先させた。回路図は付録に納めている。

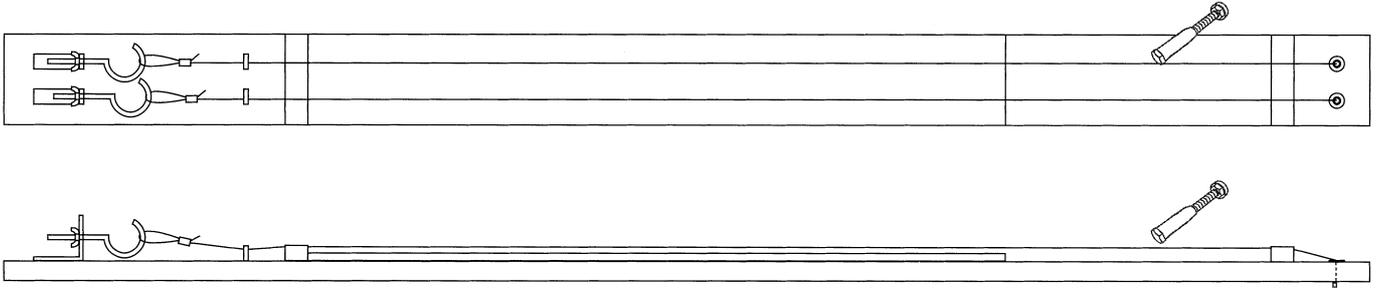


図1 弦による音程実験器線画。長さ900ミリ幅60ミリ厚さ13ミリの板の上にフレットを貼りつけた。フレット長460ミリ厚さ5ミリ。エレキギターにするときは図のようにピックアップを近づけた。

分解したマグネティックピックアップ (写真6)

実験ではハムバッキングタイプのピックアップを分解して使用した。リード線の細さはCCDカメラにも映りにくく、観客一人一人に見せた。

エレキオルゴール (写真7)

市販のリプレイメントピックアップを利用してオルゴールをエレキにした。オルゴールのアイデアは福田(1999)による。実験では大音量を演示するため、オルゴールの高音部は多少しぼって実験した。エフェクターで加工すると非常に面白い音をつくることことができる。通常のギターと同じように演奏中は体でもアースする必要がある。

エレキノコギリ (写真8)

エレキオルゴールと同様にリプレイメントピックアップをノコギリに取り付けた。演奏はたわませたノコギリをマレットでたたくものとした。言葉のように演奏することが目標だったが、演奏技術的に難しかった。たわませる度合いで刃とピックアップの距離が変わることも演奏の難しさを増している。音はイコライズなしでは聞けないが、独特の音が楽しい。

弦による音程実験器 (写真9, 図1)

木でネックを製作した。弦の長さによる音程の変化をスライド奏法で確かめたかったので、フレットはつくらなかつた。小型のフックボルトが手に入らず、そのままでは弦が浮くので途中にヒートンをはさんでいる。

弦の導電性実験器

豆電球と弦を結線したもの、電池は直結した。

紙の磁性実験器

ティッシュペーパーをこよりにしたやじろべえにネオジウム磁石を近づけた。愛知・岐阜物理サークル(1988)に詳しい。

簡単スピーカー・マイク (写真10)

0.13ミリのエナメル線を150回程度巻いたものにネオジウム磁石をそえて、スチレンコップの底に貼りつけた。サイエンスショーで使用したものは、大型のプラスチックのコップを2つ用意し、一方の底に300回ほど巻いたコイルを貼りつけ、もう一方の内側の底にネオジウム磁石を貼りつけた。2つ使用した理由はショーで実験器具を説明するとき、磁石とコイルが分離した方が見やすいためと、2つ使用した方が若干出力が大きかったためである。実験教室では作り安さを最優先した。

エレキギター実験器 (写真11)

10φ×100ミリのボルトに0.13ミリのエナメル線を2000回程度巻いたコイルをアンプに接続し、弦による音程実験器に近づけながら演奏した。単純な装置でエレキギターを作れることは受講者の興味を引いたようで、演奏をなかなかやめなかつた。

6 まとめ

実験を説明するときその現象や法則などが日常のいつ見られるのか、何に利用されているか、という話題をよくされる。今回は逆に、道具にひそんでいる科学を解き明かし科学的に道具を再構成することを実験の趣旨とした。エレキギターは製品としての構造が単純で、他の「電化」製品に比べブラックボックスの感が少なく、この切り口で行うのに適した教材といえる。

一方で、製品(道具)に含まれる科学の紹介では、製品に多くの科学法則が含まれていて、実験のテーマが散漫になったりお互いの実験のつながりをうまくまとめにくい危険性をはらんでいる。サイエンスショーでは電磁誘導にテーマをしぼること、実験教室では最終的に装置を組み立てることにつながりやまとまりをつけたつもりである。

サイエンスショーでは、電磁誘導について何らかの興味を引き出すことと、エレキギターとの関連がもっとも難しかった。実験は直接エレキギターを使わずに説明や演示用の器具を使う。実験の間はエレキギターをほとんど使わない。今回はいささか冗長でも、実験や話題の合間に何度もエレキギターに立ち返ることでその関連性を

意識させた。エレキギター型の一体化した実験器具を開発するか、ショーの実験器具として耐えられるようにエレキギターを改造する工夫が必要だったかもしれない。

実験中のギター演奏の魅力は大きかった。それが全く下手な演奏でも何か弾くことで観客を引きつけた。観客は拙い演奏を心配そうに聞き入る。観客と一体になれる魅力的な道具であった。もっとも、年齢層が低くなればなるほどその感想は辛辣なものであったが。

実験教室は、ショーで省かざるを得なかったことを行える分、話したいことの整理が必要だった。すべての実験を深く掘り下げることはできない。実験教室でも電磁誘導を中心として多くの時間を割いた。そのほかの実験はエレキギターの理解に必要なだけの詳しさをで実験した。実験中はショーと同様に、直接エレキギターで実験していないので、エレキギターの実感がない。エレキギターの実験という大前提を受講者に持ち続けてもらえたかは自信がない。しかし、エレキギターの完成は多少なりとも受講者を驚かせたようで、いろいろな科学の原理を解き明かして再構成する当初のもくろみは達成できたようだ。

7 謝辞

実験器具を製作するにあたり別子テクノ坂下節雄氏と当館の進悦子学芸員に多大なる御協力をいただいた、ここに感謝します。

参考文献

リットーミュージック (1997) : リプレイスメントピックアップのすべて, リットーミュージック・ムック, 東京. 153p.

福田和弥 (1999) : L5. 13. No. 7 p12.

愛知・岐阜物理サークル編 (1988) : いきいき物理わくわく実験. 新生出版, 東京. 256p.

鈴木義典 (1997) : つくった! 鳴った! 手作りエレキギター. 「やってみようなんでも実験 vol. 4」, NHK 出版, 東京. 23-30.

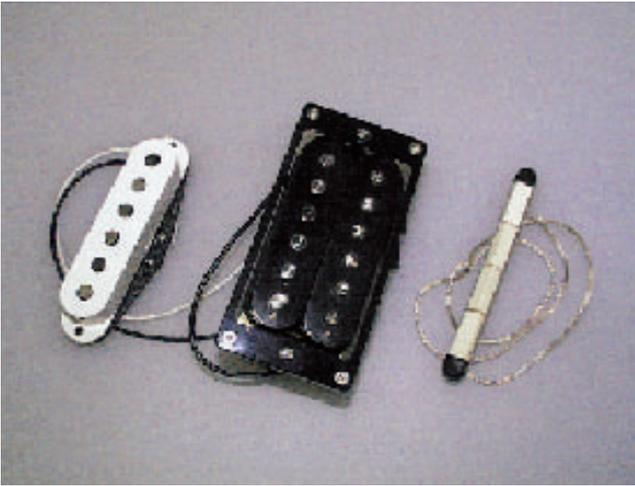


写真1 リプレイメントピックアップ。左から2つはマグネティックピックアップでシングルコイル、ハムバックング用のもの。右はエレキベース用のピエゾピックアップ。ピックアップの質問用に用意したもので、実験にはほとんど使わなかった。



写真2 弦の導電性演示装置。みの虫クリップをギターブリッジにはさみ、金属ピックで演奏するとヘルメットの電球が点灯する。ショーの間は実験道具に注意が届かない場合もあって事故の危険性が大きいので、電球はコンセントから電源を取っている。弦の導電性はその際のスイッチに使っている。



写真3 弦の磁化演示具、6弦を使用した。実験では1本の状態で紹介し、その場で巻いて磁石とともに手で持って磁化の実験をした。

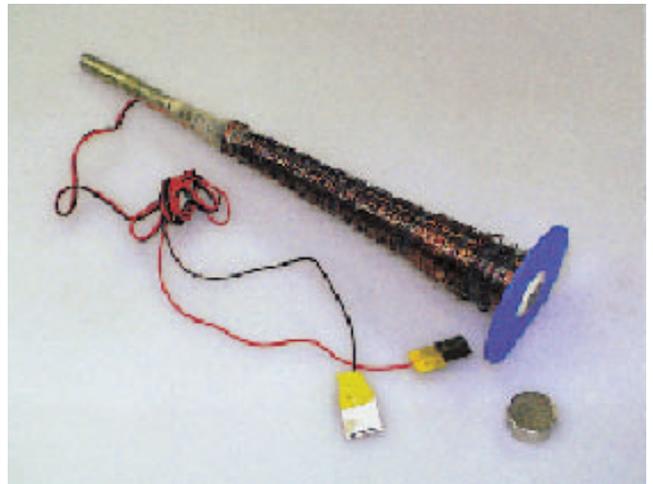


写真4 誘導電流感電装置。エナメル線が非常に細く、遠目でコイルに見えないため、フェイクコイルを巻いている。ボルトの手元には抵抗が並列に接続され、感電電流を押さえている。つまむ金属板はステンレス製。端を巻いて切り口が指にあたらないようにした。



写真5 非反転回路電球装置、誘導電流感電装置のステンレス板をみの虫クリップに接続する。コイルの誘導電流をスイッチにして、コンセント電源で白熱灯を点灯させる。コイルの近くで磁石を振ると電流の方向が一定しないので、非反転回路をはさんだ。



写真6 分解したマグネティックピックアップ。コイルから飛び出しているのはポールピースと呼ばれる金属芯、穴のあいた板はポールピースホルダー（金属板）、磁石（穴のあいていない板）、コイルでピックアップは構成されている。

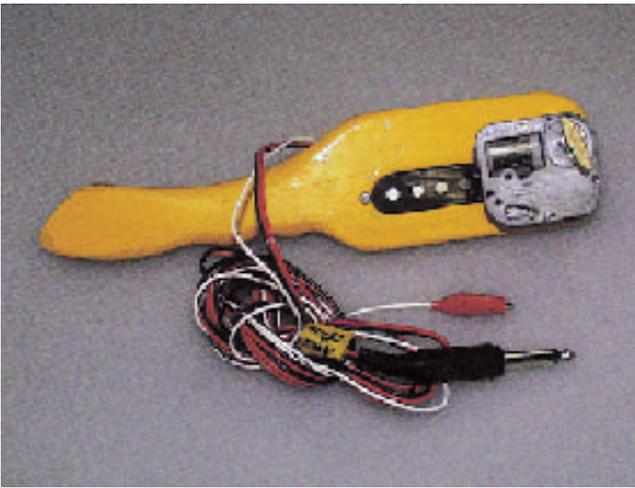


写真7 エレキオルゴール。木製の杵にピックアップを埋め込み、オルゴールを取り付けている。出力用の線に加え、雑音を防ぐためアース線も必要。



写真8 エレキノコギリ。鋸の根元にピックアップを設置した。演奏はマレットでたたいた。鋸部分を湾曲させると音階が刻める。



写真9 弦による音程実験器。1弦と6弦が張ってある。ピッキング部分とフレット部分は殺をつけている。ドリルであけた穴にワッシャーを貼りつけることで、弦の端の金具を詰まらせて固定している。他端はワイヤー固定具で環状にしたものをフックボルトに引っかけて固定している。



写真10 簡単スピーカー・マイク。サイエンスショーには大型のコップを2重にして使用した。実験教室には小型のものに直接貼りつけている。

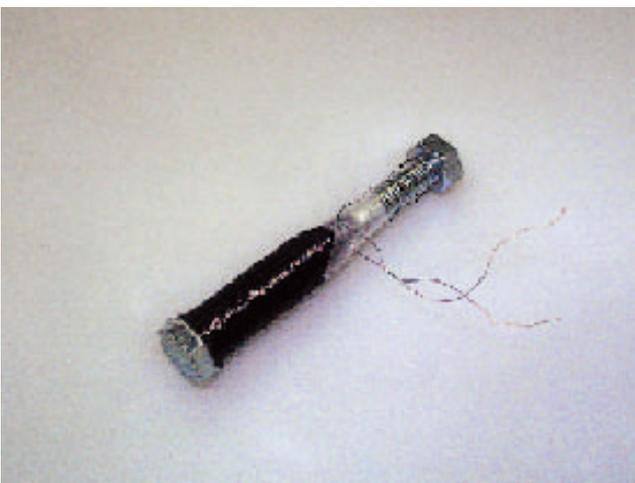


写真11 エレキギター実験用の自作ピックアップ。ボルトの頭を弦に近づける。磁石はナットを端にかませて引っ付けた。

付録 非反転回路電球装置の回路図

実験で使用した実験器の回路図を以下に記す。Viで入力された誘導起電力は、非反転回路が絶対値で出力し、電球のスイッチとして働く。これにより磁石をこするようには揺らしたとき、揺れに合わせて白熱灯が点灯する。

