

圧電素子と LED を利用した構造力学教育用模型の製作

岩井 哲*・田村 雄貴**・玉野 和保***

(平成24年10月31日受付)

Production of the Structural Mechanics Models for Education Using Piezoelectric Elements and Light Emitting Diodes

Satoshi IWAI, Yuki TAMURA and Kazuho TAMANO

(Received Oct. 31, 2012)

Abstract

Structural mechanics is a mostly required subject for designers and construction engineers to buildings. However, it becomes one of the difficult subjects for the students to understand. The reason why its understanding is difficult is that force is invisible. Therefore, we aimed at the production of the structural mechanics model which visualize force, using piezoelectric element and LED (Light Emitting Diode). The models presented in this study are a simply supported beam and a truss structure. A position of the subjected load and its relation of reaction forces to the beam become clear by using this beam model. The truss structure model presented makes easy to understand tension or compression forces to members by the color that the LED emitted light.

Key Words: piezoelectric element, Light Emitting Diode, structural mechanics model

1. 研究目的

構造力学は建築物を設計・施工する上で必須の科目である。しかし、力が目に見えないため、初学者である学生には理解することが難しい科目の一つとなっている。例えば、はりの曲げモーメント図は曲げ引張側にその大きさに応じて描くものと定められているが、学生たちには曲げモーメントの大きさを求めることが難しいだけでなく、曲がる形状自体も把握しにくいところがある。トラス構造の場合、部材は全て軸方向力のみを支持しているので単純であるが、引張か、圧縮か、力が掛かっているのかがわかりにくい。このように理解が難しいのは力が目に見えないため、力が流れている向きと、大きさがわかりにくいと考えられる。そこで、力を視覚化させる力学模型の製作を目指した。

構造力学模型はいろいろ作製されているが、必要十分な

ものは少なく、まだ工夫の余地も多く残されている^{1,2)}。力を視覚化させる方法として電気を利用し、デジタル表示、もしくは光で表示することを考えた。そこで圧力を加えることで電圧を発生させる圧電素子と呼ばれる電子部品を利用すること、それに加え電圧が流れることにより発光する LED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード) を使用し、力を光で視覚化する力学模型の製作を行うことを発案した。本研究で製作した模型は、単純ばかりとトラス構造である。単純ばかりは、載せる荷重のはり内の位置により変化する反力の大きさを示す模型を目指した。この模型を使用することで、荷重の位置と、支点の反力の大きさの関係がわかりやすくなる。トラス構造は LED の発光する色により、引張か、圧縮かがわかる模型を考案した。この模型を使用することにより、部材が多く、複雑な形のトラス構造でも、どのような軸力が掛かっているか、その力の流れがわかりやすくなる。

* 広島工業大学工学部建築工学科

** 広島工業大学元学生工学部建築工学科 (広成建設株式会社)

*** 広島工業大学工学部電子情報工学科

2. 研究方法

2.1 製作方針

模型を製作する上で、条件として課したポイントは次の5つである。

(1) 構造が単純でわかりやすく、見た目がきれいであること

構造が複雑すぎると理解しにくくなってしまいます。できるだけ単純な構造で示し、メカニズムがわかりやすいものにする。加えて、学生は力学になかなか興味を示さないことが多いので、見た目がきれい目で惹くようなものとする。

(2) 繰り返し使えて動作の確実さがあり、再現性があること

毎回、同じ荷重を受けて、同じ変化を示せる模型とし、いつでも、同じ操作を再現出来ることが必要である。

(3) 大きく、軽いこと

模型は教室で使うことを想定しているため、模型の大きさは見てよくわかる程度に大きい必要がある。その上、持ち運びするため、可能な限り軽いものがよい。

(4) 手放して使えること

模型を見せる際、それを両手で持ったままだと、黒板を使わず模型の説明ができなくなる。そのため、自立して置くことができ、手を使わずに説明に使えるものにする。

(5) 安価であること

模型にかかるコストは、可能な限り安くなるように製作する。安価となるためには、特注をできるだけなくして、市販されているものを多く利用することである。

2.2 圧電素子

圧電素子の仕様はいろいろあるようだが、ここで用いた圧電素子は、図1の電極とカーボンシート間にスペーサーを挟み、図2に示すように圧力を加えたとき接触し、圧力に応じて通電量が変化するという仕組みである。加える圧力が大きいほど接触面積が増すため、抵抗値が低くなることで流れる電流に大きく関わることになる。単価は1個500円程度である。

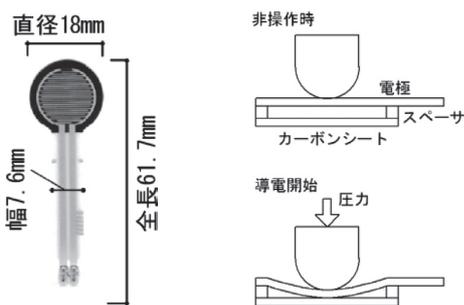


図1 圧電素子

図2 仕組み

2.3 LED

LEDはLight Emitting Diodeで、発光ダイオードと呼ばれる。ダイオードは、アノード(+)とカソード(-)の2つの端子を持ち、電流をプラスからマイナスへと一定方向にしか流さない整流作用を持つ素子のことである。端子は長い方がプラスで、短い方がマイナスとなっている。発光する色の種類が様々あり、赤、緑、白などがある。一般的に使用される電球と違って、消費電力が低く、寿命が長い、小型であるといった長所がある。反対に短所として、熱に弱いことがあげられる。構造が簡単であり、大量に生産されているため、1個100円程度で安く手に入る。本研究で、このLEDを選んだ理由は、単価が安い点、必要であれば大量に使える点、小型で軽い点である。従来では、力の大きさをひずみあるいは変形で表していたが、ここでは力を、電気的な抵抗差・電圧差で表すものとして利用している。

2.4 ブレッドボード

電子部品や、配線コードを差し込むだけで回路を組むことが出来る、はんだ付けが不要な、回路の試作のための基盤である。この模型では、圧電素子と回路を繋ぐために使

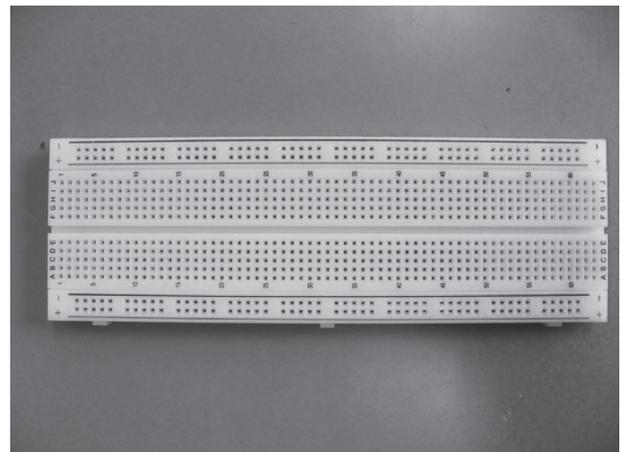
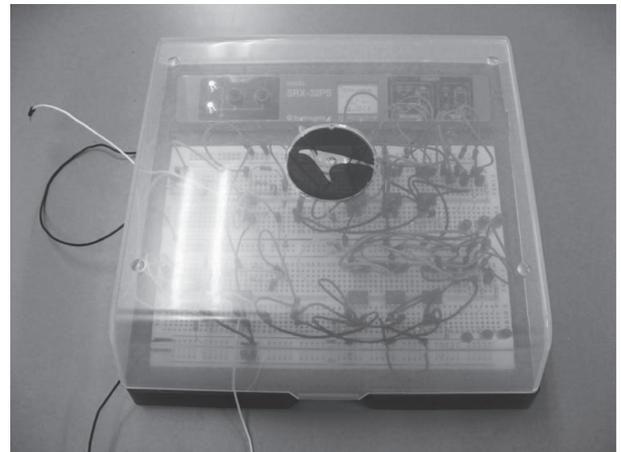


図3 電源内蔵ブレッドボード

用している。

模型は、単純ばり模型とトラス構造模型を考案した。単純ばり模型は、圧電素子、電圧差を制御するコンパレータ、LEDを初めて使用した試作品である。荷重点の位置により、反力の大小関係を表示できるようにした。トラス構造は全ての部材が軸方向力のみを支持しているため、加わる力は、圧縮、引張、もしくは軸方向力なしの3つの状態だけとなる。

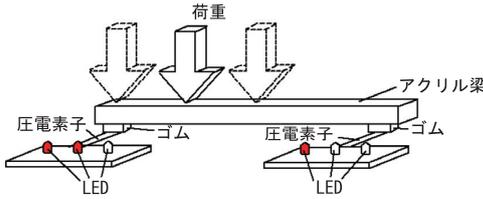


図4 単純ばりモデル

3. 単純ばり模型による荷重と反力の大きさの関係の表示

3.1 製作方針

図4が全体のイメージ図である。はりの材料としてアクリルの板材を選んだ。軽くて、適度な曲げ剛性のあること、透明であるため、見た目がきれいでありやすい点が良い。

はりに作用させる荷重の作用位置と大きさに応じて、はり両端の支点の反力の大きさを、発光するLEDの数で表示できるようにした。図5、図6が回路の基本原理である。この回路を2つ製作することで、単純ばりモデルの回路となる。コンパレータが荷重のレベルに応じた電圧の大きさを判別し、発光するLEDの個数を変えるようにしている。電圧差は、最大電圧である5Vを、3つのLEDがそれぞれ発光する状態と、何も発光していない状態の4段階で分けている。そのため、電圧差は、5Vを4で割った1.25Vで分けている。すなわち電圧が1.25V~2.5Vで1つ、2.5V~3.75Vで2つ、3.75V以上で3つのLEDが発光するようになっている。LEDは3個ずつ左右に配置し、それぞれの支点に加わる荷重の大きさにつれて、段階ごとで、1個ずつLEDが点灯するようにした。

工夫を要したのは、圧電素子に垂直に均一な力を加えるように、アクリルのはりと圧電素子との間に当て材としてゴムを挟み込むことにした仕組みである。やや支点が不安定なのは、さらに工夫の余地がある。

図7に回路の全体を示す。図8が模型を使用した様子である。はりの4分の1の点に荷重を載せることで、手前の支点のLEDが3つ、奥の支点のLEDが1つ発光している。

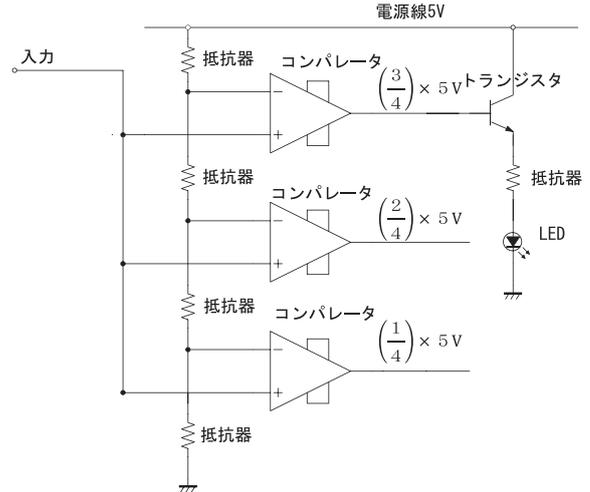


図5 入力値の4階値表示回路

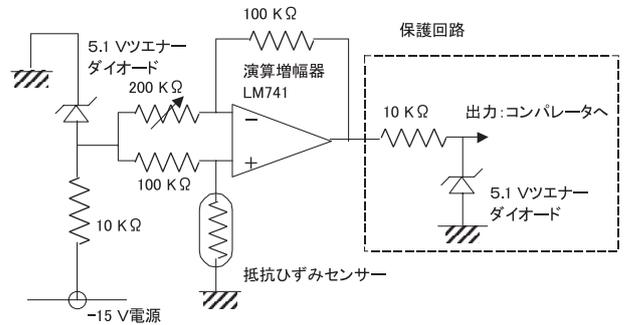


図6 ひずみセンサー回路

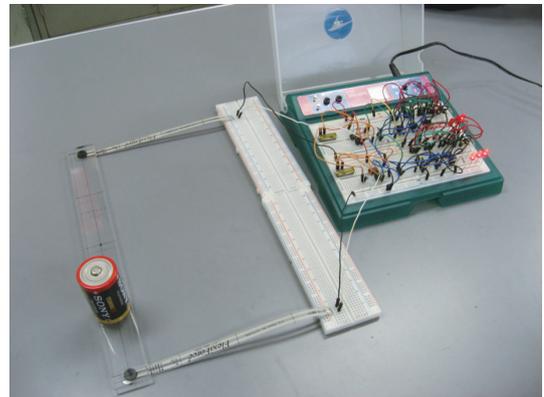


図8 はり載荷の使用状態

3.2 評価

模型製作の条件に照らし合わせて、単純ばりモデルの評価を行った。

(1) 大きさ、軽さ

全体的な大きさとしてはちょうど良く、重量は全て合わせて89gと軽い。簡単に持ち運びが可能である。部品がばらばらになっているので、1つにまとめる工夫がある。

(2) 再現性

圧電素子の上に載せるアクリルのはりの位置、配線の接続具合、模型を載せる台が平らであるかによって、LEDの発光具合が影響を受ける。毎回同じ動作を再現するのはやや

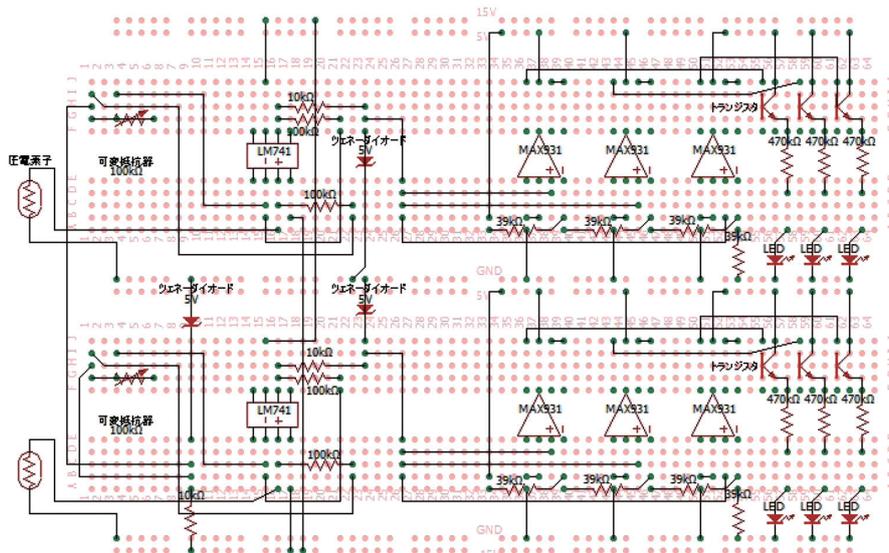
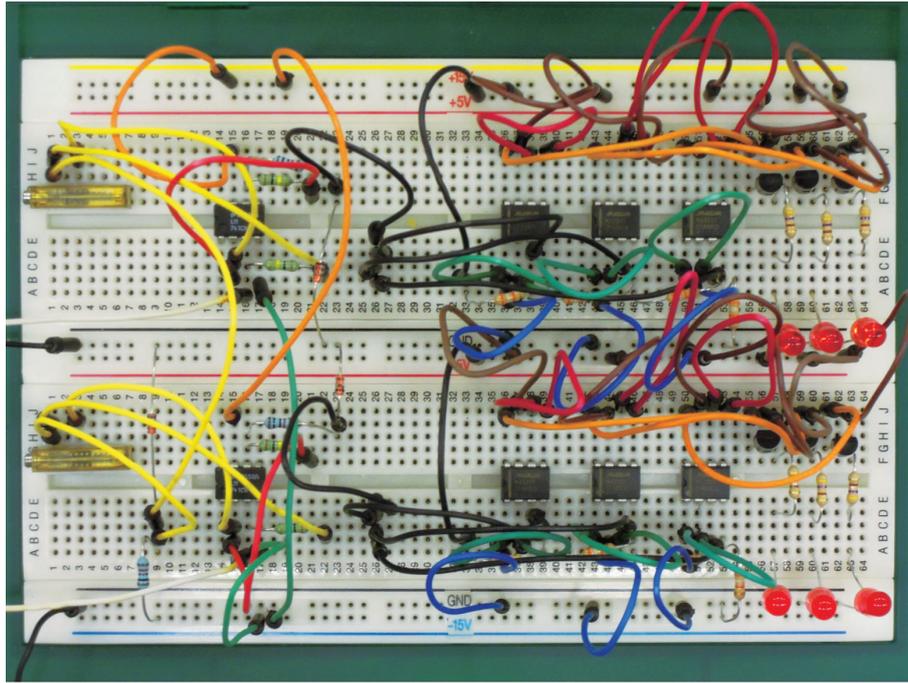


図7 はりの4階値表示回路システム

難しい。しかし、基盤にはんだ付けを行えば、配線によるLEDの発光の再現性の不具合は緩和されるはずである。

(3) 手放し操作性

荷重をうまく載せれば、手を離れたまま変化を見せることは可能である。

(4) 単純さ

回路自体は見た目が複雑ではあるが、模型自体の仕組みは、はりに荷重を置くだけで、支点のLEDが発光するといったシンプルなものであるため、理解しやすい。

(5) 製作費

製作費は21,434円であったが、電源内蔵ブレッドボードが15,750円で、そのほかの材料費はあまりかかっていない。

4. トラス構造模型による引張力・圧縮力の判別

4.1 製作方針

トラス構造模型を製作するには、圧縮力に反応する圧電素子を引張力で使える構造を考える必要があった。その構造案が図9である。2重の円筒構造で、色を施した内側の円筒部材が筒内を移動する構造になっている。ここが動くことにより、部材内部の軸が圧電素子に接触し、圧縮か、引張かを感じる。トラス部材の製作例が図10である。圧電素子が部材の内部に入る大きさとなくなったため、図9の構造の圧電素子接触部分を部材の外側に出している。図11がこの模型に使用する基本回路図である。回路の条件はLEDを発光するだけであるため、単純な回路となっている。

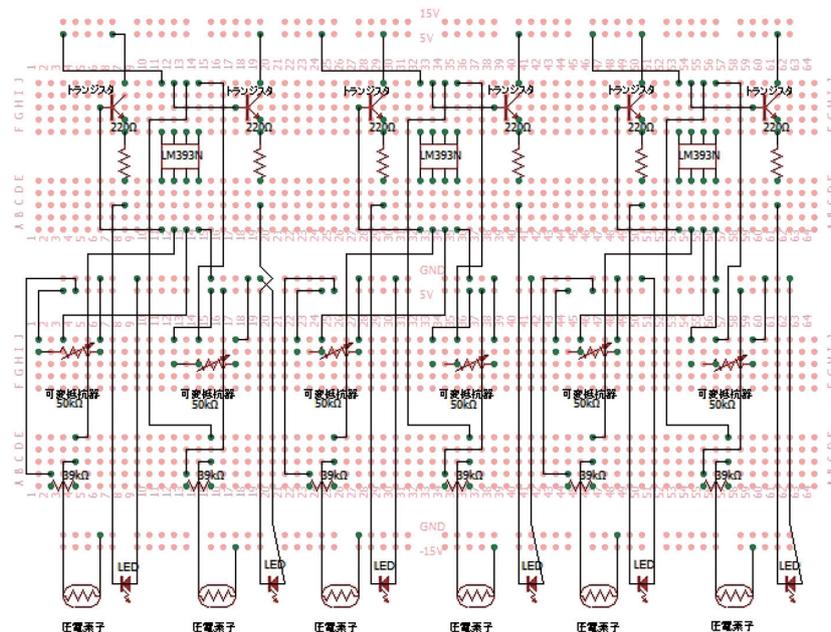
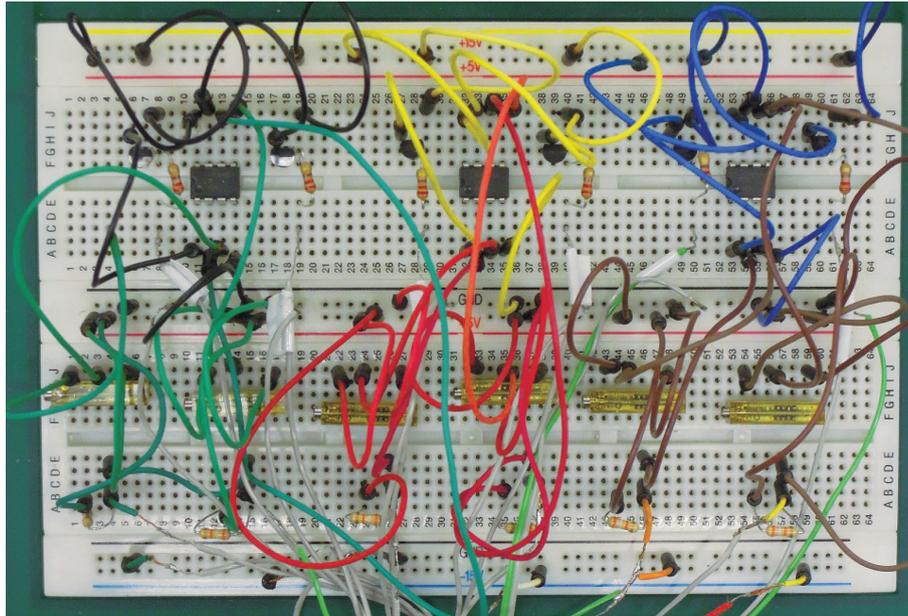


図12 トラスの回路システム

図12に回路の全体を示す。図13がトラス全体図である。3つの部材ユニットを上部，斜材，下部に取り付ける。斜材を取り付ける際に，角部が接触してしまい邪魔となるため，角部を切り取っている。ピンの部分にはスムーズに回転するベアリングとねじからなるロッドエンドを使用した。ロッドエンドは一般的には，金属製のものが多いが，本研究では軽くするため，プラスチック製のものを使った。図14が完成した模型である。図11の回路を6つ並べて配線し，部材に2つずつ組み合わせて取り付けている。赤のLEDが圧縮，緑のLEDが引張を表す。上弦材が圧縮，斜材と，下弦材は引張が作用している状態を表す。

4.2 評価

(1) 単純さ

試験体の加工は，業者に任せただけであるが，外観は見栄えのするものとなった。圧電素子を使用する部材の構造が少し複雑になった。トラスの全体像は，実際のトラスとは違い，側面からながめると，部材が所々飛び出ている形になっている。

(2) 再現性

自重もしくはは荷重により，毎回同じ反応を繰り返せる。トラスを上下に反転させることにより，斜材の軸力も引張と圧縮が反転する。

(3) 大きさ・軽さ

一つの部材の大きさを鉛筆程度の長さにするように考え

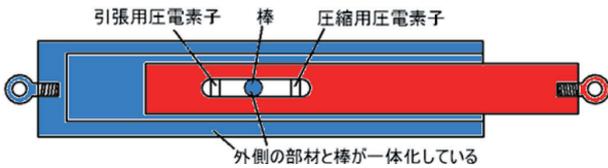


図9 圧電素子を引張時で使う構造案

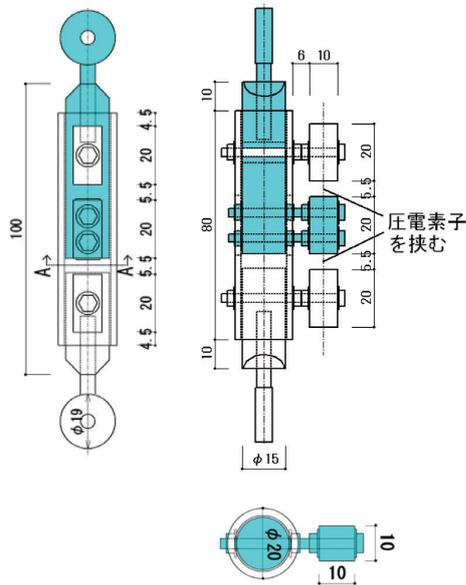


図10 トラス部材の製作

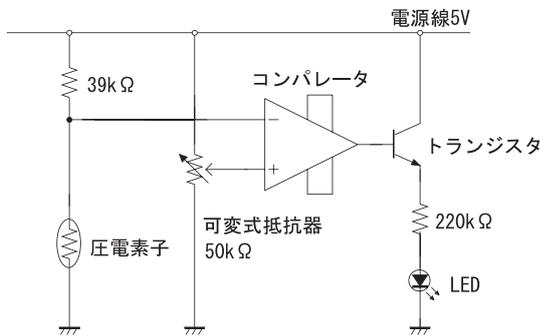


図11 回路図

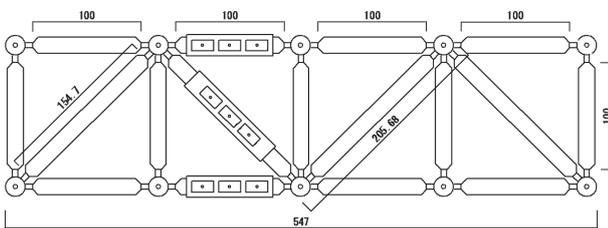


図13 トラス全体図

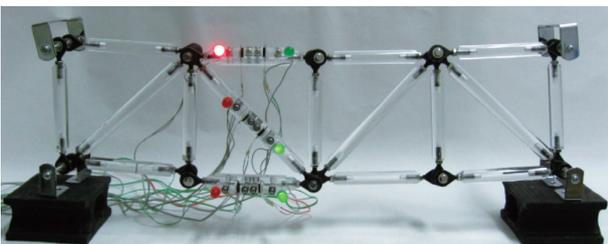


図14 トラス構造模型

ていた。大きさと重さについては予想通りのものができた。

(4) 手放し操作性

荷重は載せるだけであるため、手を離れたまま、単純ばりモデルと同様に自立させて見せることができる。ロッドエンドの回転がユニバーサルになりすぎて構造がやや不安定になった。一軸まわりの回転のみを自由にさせる方がよかった。

(5) 製作費

製作費総額は141,227円であった。その内訳ではロッドエンドが34個で23,698円、ブレッドボードが15,750円である。試験体の加工費が89,000円で、これが予想外に高かった。材料費は安価である。

5. まとめ

圧電素子とLEDを利用して2種類の模型を製作したが、圧電素子が力学模型に応用できることがわかった。単純ばりとトラス構造を、模型製作の条件に照らし合わせて自己評価を行うと以下のようなものである。

(1) 外観と見栄え：荷重を載せるとLEDで反力の大きさがわかる、あるいは引張・圧縮がわかるなど、メカニズム的には単純なものとなった。アクリルに加工を施したトラス構造は見栄えが良いものとなった。

(2) 操作の再現性：繰り返し、同じ反応を示せるので、同じ効果を再現できる操作性はよい。模型自体の安定性があまり良くないので、設置方法にさらに工夫がよい。

(3) 大きさと重さ：大きさと重さは当初から最も気にしていたことなので、大きさは机の上で扱えるほどでちょうど良く、素材をアクリルにしたため、軽くてしっかりした模型となった。重量も比較的軽い模型となった。組み方次第でサイズを変えることができ、発展性もある。

(4) 手放し操作：荷重を載せれば良いだけで、支えるために手を使う必要はないものを意図した。

(5) 製作費：加工に経費がかかったが、材料費は安い。

(6) 圧電素子は厚みが薄い作りになっているため、様々な応用が利く可能性を秘めている。応力のモニターなど、模型だけでなく実践面でも利用価値がある。

(7) 電気回路を組めば、抵抗器やLEDなどの電子部品の一つ一つは単価が安く、大量に利用することができる。低いコストで模型を製作出来ることがわかった。試作用に用いた電源付きブレッドボードはやや高いが、完成品には必要のないものである。これも利用価値がある。なお本研究の成果について、企業との協力によって教材化を進めている。

謝 辞

回路図の作成には建築工学科平成24年度卒業研究生の兼村直矢君と近藤寛峻君の協力を戴いた。ここに記し、深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 日本建築学会：はじめてまなぶ ちからとかたち, 丸善株式会社, 2010年
- 2) 千葉工業大学, 藤井研究室 ホームページ
<http://cit-rsl.building.officelive.com/theoryofstructure.aspx>