

ものづくりの面白さ

永井 恭一

医療学部 医療工学科 臨床工学コース
nagai@toua-u.ac.jp

はじめに

東亜大学では以前、工学部機械工学科があり私も在籍していました。ものづくりに関係する学科で旋盤やフライスなどの工作機械がありましたので、金属材料の加工も行うことができ、いろいろと実験器材などを作りました。その後、工学部機械工学科がなくなり、医療学部医療工学科での勤務に変わりましたが、機械工学やその他工学に関する科目の授業を担当していることもあり、ものづくりにはずっと関わっています。

また最近、中・高校生などに理科の魅力や面白さを伝えるための実験器具や教材作りが書籍でいろいろと紹介されています。大学でも使えるものがありますので、これらのうちいくつかを実際に作ってみました。以前に作ったものも含め、これらについて以下に述べてみたいと思います。

ドリル台

図1はドリル台を示しています。自分でいうのも変ですが、かなりよくできていると思います。ここでは鋼の穴つきアンゲル材を骨組みとして取りつけていますが、作った後で考えてみると、これは必要なかったようであり、木材だけでも強度は十分だろうと思います。

ドリル台の上面には厚さが21mmのベニヤ板を使用しました。板材でおもりを支える場合、板の横幅が2倍になると2倍の重さのものまで支えることができますが、板厚が2倍になると4倍の重さのものまで支えることができます。すなわ



図1 ドリル台

ち、板材で荷物などを支える場合、板厚の寸法の影響が大きいといえます。図のようにドリル台の上面にはボール盤と小型の万力を取りつけていますが、台の上に50kg程度の重さのものを載せても大丈夫なように作っています。

ものづくりをするときにはねじを使うことがよくあります。ねじの頭部にプラスやマイナスの溝があるもの（小ねじなど）にはドライバーを使います。工具について少し述べますと、マイナスド

ライバーのサイズには軸の長さや刃先の幅、厚さ(刃厚)がありますが、これらの関係は決まっています。マイナスドライバーではねじの溝の厚さと合ったドライバーを使う必要があります。

また、プラスドライバーには1, 2・・・などと番号がつけられていて、軸の長さや小ねじの径と対応しています。特に、プラスドライバーではねじの溝に合ったドライバーを使わないと溝が「なめて」しまいます。すなわち、プラスの溝がつぶれてしまいます。こうなるとドライバーからの力がねじの頭部の溝に伝わらなくなりますので、ねじを締めることも緩めることもできなくなり、ねじは不要品となります。

ねじではほかに頭部が六角のもの(ボルト)があり、ナットと組み合わせで締めつけますが、これらにはスパナという工具を使います。これらには六角部分にはいろいろなサイズがありますので、スパナも複数のサイズのことを準備しておく必要があります。図2のようなモンキーレンチですと、ウォームを回すと下あごが動き、挟む部分の寸法(間隔)を調節することができて、1つで多くのサイズのボルトやナットに対応でき便利です。

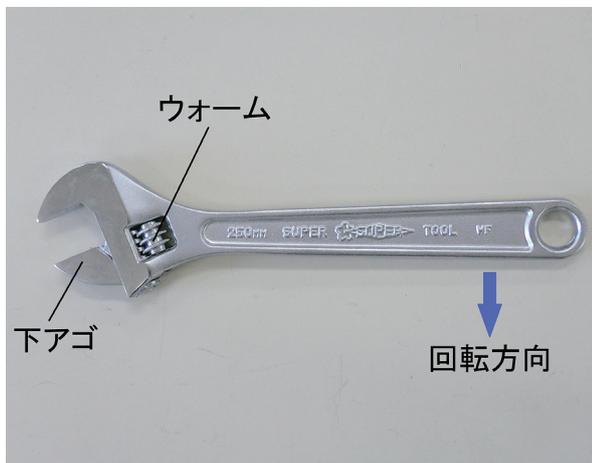


図2 モンキーレンチ

ただし、モンキーレンチのウォームや下あごは構造上弱い部分なので、力をかけるときの向きに注意する必要があります。すなわち、モンキーレンチは下あご側に回さなければいけません。図2の場合、右まわりの向きに力をかけるのはよいですが、反対の左まわりの向きに力をかけてはいけません。場合によっては破損することがありますし、けがをする可能性もあります。

また、モンキーレンチは複数のサイズに使えて便利ですが、本締めや固く締まったボルトやナットを緩める場合には使わないようにします。このような場合には固定寸法のスパナやメガネレンチを使います。工具の使い方をよく知り、できるだけけがのないよう、ものづくりに取り組みたいものです。

魔法の鳥

これから先は書籍を参考にしたものづくりです。不思議な名前がついていますが、これはやじろべえの応用です。よく知られているやじろべえは重心が低い位置にありますので、安定性が非常によくバランスがとれています。参考にした書籍⁽¹⁾に載っているものは全長が約5cmの大きさで、200%に拡大コピーして作るように指示され、紙で作るようになっていました。これだと簡単にできてしまいますので、少し挑戦して全長20cmを越える大きなもの作ってみようと思いました。



図3 魔法の鳥

図3ができあがりの図です。元のままだと殺風景なので、絵の具で色をつけました。くちばしには折り曲げたアルミ板を接着剤でつけています。テーブルの角にくちばしの先端が接触しているだけですが、バランスがよくとれています。本体にはプラスチック板(約36g)を使用しました。図では見えませんが、両方の羽根の位置の裏側にそれぞれ約120gのおもりをつけています。本体を発泡スチロールのような軽い材料で作ると、羽根につけるおもりはずいぶん軽くてよいと思います。

いずれにしても、くちばしの先端を支点として左右に（そしてくちばしより若干前方に）おもりがありますので、これによりバランスがとれていて、この鳥は少しぐらい羽根を揺らしても安定していてテーブルの角から落ちることはありません。ただし、プラスチックでこの大きさですとおもりの重さ決めがかなり面倒な作業で、おもりを仮止めして取り替えながらバランスのよい重さを探しました。

ジェットコースター

次はジェットコースター仕様のループです（図4）。ホームセンターなどで売られている配線カバーを使用します。長さ1mの配線カバーを丸めてループを作り、カバーの両端が下になるようにして床の木材などに固定します。金属球をループに沿って転がし回転させますので、ちょうどジェットコースターのようになっています^{(2),(3)}。



図4 ジェットコースター仕様のループ

球には重力のほかに円運動なので遠心力がはたらきますし、ループからの垂直抗力もはたらきます。球がループから押されていることがループに接触していることであり、球がループから離れない条件は垂直抗力が正であることです。摩擦や空気抵抗を考えないものとして以下も話を進めていきます。

球の速度が不十分で最高点まで上がる途中で垂直抗力が負になれば、その点で球は落下します。もし最高点まで上がってくることができれば、その後は最高点から同じ状態で（垂直抗力が負にならず）下がっていきますので、球が1回転するに

は最高点に到達すればよいことになります。また詳細は省略しますが、垂直抗力は最高点で一番小さくなります。

そこで、ループの最高点で球のつりあいを考えてみます。球の質量を m 、ループの円の半径を r 、球にはたらく遠心力を F 、最高点での垂直抗力を N とすると、遠心力だけが上向きになり、つりあいの式は

$$F - mg - N = 0$$

です。ここで、 g は重力加速度です。最高点での球の速さを v とすると、遠心力は $F = m \frac{v^2}{r}$ であり、球がループから離れない条件は $N \geq 0$ と書くことができるので

$$N = F - mg = m \frac{v^2}{r} - mg \geq 0$$

であり、

$$v^2 - rg \geq 0 \quad (1)$$

となります。

また、回転前の最下点での球の速度を v_0 として、最下点と最高点でエネルギー保存の法則を使うと

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m v_0^2 &= mg \cdot 2r + \frac{1}{2} m v^2 \\ \therefore v_0^2 &= 4gr + v^2 \end{aligned} \quad (2)$$

となります。(1)式、(2)式より、

$$\begin{aligned} v_0^2 - 5rg &\geq 0 \\ \therefore v_0 &\geq \sqrt{5rg} \end{aligned} \quad (3)$$

が得られます。すなわち、最下点を通過する球の速度 v_0 が(3)式を満たしていれば、球は最高点まで到達しますし、ループに沿って1回転することができます。

でき上がりのループの直径は29cmであり、半径は $r = 14.5\text{cm} = 0.145\text{m}$ です。この大きさですとループの上部がふらつきますので、固定する必要があります。 r の値を(3)式に代入すると、球が1回転する場合の v_0 の計算値（の最小値）は $v_0 = 2.67\text{m/s}$ となります。

直径12.7mmの金属球を使って、図4のループ最下点での球の速度 v_0 と回転の成否の関係を求めると、表1のようになりました。ここで、球の速度 v_0 はビースピ（簡易速度計）を使用しました。これは4ヶ所の赤外線センサーにより、一定の距

離（4cm）を物体が通過する時間を計測してその速度を km/h でデジタル表示するものです。

表1 速度 v_0 と回転の成否の関係

km/h	成否	km/h	成否
8.40	○	8.30	○
8.38	○		×
	○		×
	○		○
8.37	○		×
8.35	○		○
	○		×
8.34	○		×
	×		×
8.33	○		8.29
	○	○	
×	×		
8.32	○	8.28	×
	×		×
	○	8.27	×
	×		×
	○		○
8.31	○		×
	×		×

表1では同じ測定値の v_0 でも成功したり、失敗する場合もあり、ビースピの精度やループの固定に不十分な点があったのかもしれない。回転に成功した測定値の下限を8.31km/h (= 2.31m/s) とみなすと計算値と比べていくらか違いがあります。これはループが完全な円ではないことや(3)式を導くのに質点近似を使ったことやその他の理由によるものと思われる。工学の分野ではこの程度の誤差は通常小さいものとみなします。

圧気発火器

次は急激に圧縮して発火させる装置です。細長い円柱状のシリンダの一端を閉じた状態で下向きにし、シリンダを垂直に立ててもう一端から密着したピストンを上から下に一気に押し込むというものです。外部との熱の出入りがない状態で気体を圧縮することを断熱圧縮といいますが、気体を瞬間的に圧縮することは断熱圧縮の代表例です。物理でいう仕事をされることにより、熱を加えていないのにシリンダ内の気体（空気）の温度が上がります。

断熱圧縮すると容器の中の気体の温度が急激に上昇しますので、例えばちぎったティッシュペーパーなどをシリンダの中に入れておくと、火をつけることもできます。したがって、成功すると非常にインパクトのある実験になります。授業中、寝てた生徒が起き上がるということです。

参考にした書籍⁽⁴⁾ではシリンダ部分にアクリルパイプを使用することになっていて、内径9mm、肉厚2mm（外径13mm）で、長さは25cmとなっています。これを参考にして、ここではアクリルパイプは内径9mm、外径15mm（肉厚3mm）のものをを選び、長さを35cmとし、ピストン棒に直径7mmの木材を使用しました。また、アクリルパイプの内径が9mmなのでシリンダの底には上径が10mmのシリコンゴム栓を押し込んで固定させ、またピストン棒の先端にも同じシリコンゴム栓を小ねじで取りつけました。

図5はできあがりの図を示しています。シリンダの底となる部分にはベニヤ板でベースを作り、アクリルパイプの外径寸法と同寸法の穴をあけました。ただし、これで実際に行ってみる

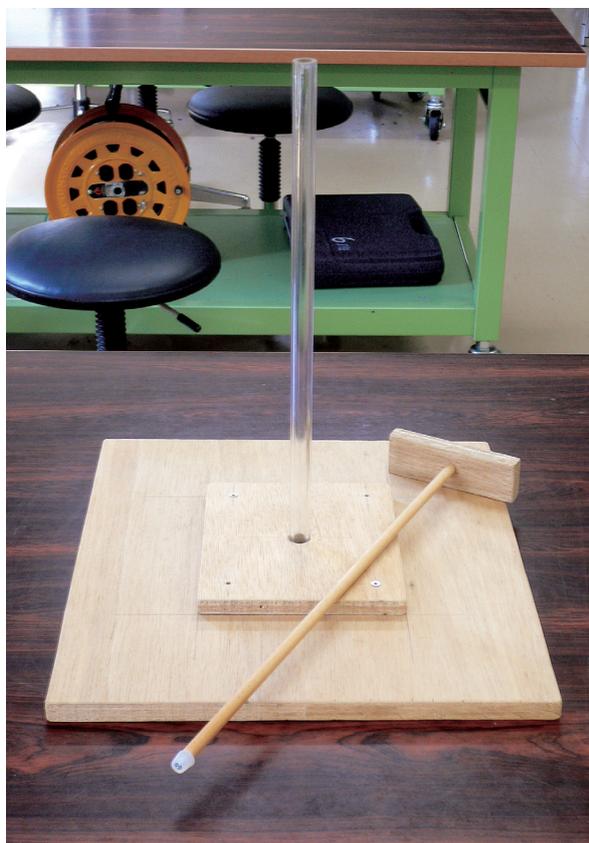


図5 圧気発火器

と、かなり力が必要で中年の私が行ってもうまくいきませんでした。男子学生に行ってもらって成功する（火がつく）というものであり、腕力が必要なことがわかりました。火をつかせるようにするためにはかなりの温度上昇が必要であり、ここで作った圧気発火器にはいくらか改善の余地があるようでした。別の書籍⁽⁵⁾によれば、アクリルパイプの内径を細くすると楽に火がつけられるとのことであり、内径6mm、外径12mmで長さが45cmのアクリルパイプ製シリンダの例が紹介されています。

電子糸電話

糸電話というと子供のおもちゃと思われがちですが、これで話してみると意外と声または音がよく伝わりますし、空気と糸とで媒質が変わっても音のエネルギーの損失が小さく、あなどれないおもちゃといえます。糸電話の糸を伝える声や音は単純に考えると横波のように思えますが、インターネット上では縦波で伝わるとの実験結果や解説^{(6)~(8)}が多くあります。シンプルな糸電話の奥深さが感じ取れます。

さて、糸電話の応用として電子糸電話があります⁽⁹⁾。線には平行線（2本線）を使います。普通の糸電話では糸をピンと張っておく必要がありますが、電子糸電話ではその必要はなく、線をたるませておいても声や音が伝わるのが特徴です。ここで、マイクとスピーカーには圧電効果を起こす圧電素子を使います。

圧電効果は簡単にいえば、素子に機械的なひずみを与えると電圧を生じたり、逆に電圧を与えるとひずみが生じる現象です。圧電効果は工学を勉強する大学では電子工学や計測工学などで習うだろうと思いますが、（教室の）授業では理解しにくいところもあるようです。実験を通して体験することで少なからず納得し、理解が深まるように思えます。

参考にした書籍⁽⁹⁾では圧電素子として、クリスタルイヤホン（セラミックイヤホン）や圧電サウンダ（圧電スピーカー）などが使われています。ここではクリスタルイヤホンと平行線を使って電子糸電話を作りました（長さ30m）。これを図6に示しています。クリスタルイヤホ

ンは話し手側として使うときには突起部（イヤピース）を静かにねじってはずしてマイク（図6（b））とし、聞き手側として使うときにはそのまま耳に当てスピーカー（図6（c））として使用します。

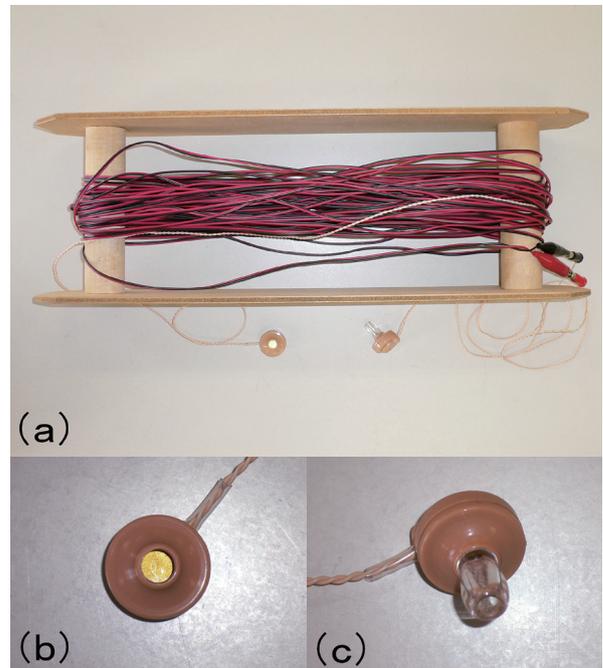


図6 電子糸電話

この電子糸電話は理屈の上では声や音が伝わりますが、まわりに雑音などがあると聞き取りにくいこともあります。これをトランジスタで増幅すると⁽⁹⁾、非常にはっきりと聞こえる電話になります。トランジスタの増幅のはたらきを実感することができます。通常、信号の増幅はオシロスコープで波形を映し出して確認することができますが、音を聞いて比べると非常にわかりやすいですし、増幅されて大きくなっていることがそのまま素直に理解できます。

また電子工作が苦手であれば、オルゴールICの回路を作ってみましょう。この回路にスピーカーを取りつければオルゴールICの曲を聞くことができますが、これだと単純です。そこで、これにLEDを取りつけると⁽¹⁰⁾、回路に流れる電流でLEDが点灯します。このLEDの光を少し離れて太陽電池のパネルで受けると、音の信号を光の信号として受けたことになります。

太陽電池にクリスタルイヤホンをつけていれば、太陽電池に生じる起電力により圧電効果が

起こり、耳もとで音を認識することができます(図7)。すなわち、オルゴール IC の曲を光の信号で飛ばしてこれを離れた位置で(無線の状態)聞くことができます。室内では、10~20m程度離れていても聞くことができます。ただし、蛍光灯の光がノイズになることもあります。太陽電池の容量を変えても(0.5~12W)、聞こえる距離にはほとんど違いが出ませんでした。

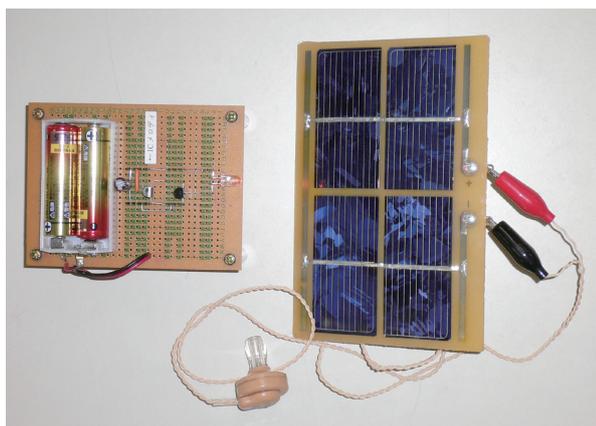


図7 圧電効果の応用(短距離用の光通信)

ベンハムのこま

白と黒だけで模様を描いたこまで、半分が黒塗りで他の半分が黒色の円弧の組み合わせであり、この模様を回転させると色がついて見えるというものです^{(11), (12)}。白と黒から色が発生するというので不思議です。はっきりわかるようにと思い、大きなものを作りました(直径約20cm)。でき上がりが図8(a)です。

ただし、作った後でこれを回してみると、大きなものは回転させにくく、また回転時間が短いものとなりました。かなり時間をかけて作りましたが、小さく簡単にできるものを作れば十分のようでした。

そこで、図1でも示したボール盤に取りつけて、回転のようすを観察しました。これを図8(b)に示します。その結果は「色がついているでしょう。」といわれれば、薄いピンク色がついているかもしれないという程度のあいまいなものです。はっきり色がついていることを確認することはできませんでした。ベンハムのこまで色が見えるといわれますが、その理由はいろいろと複雑で正確にはわかっていないようであり、どうも目の錯覚によるものようです。

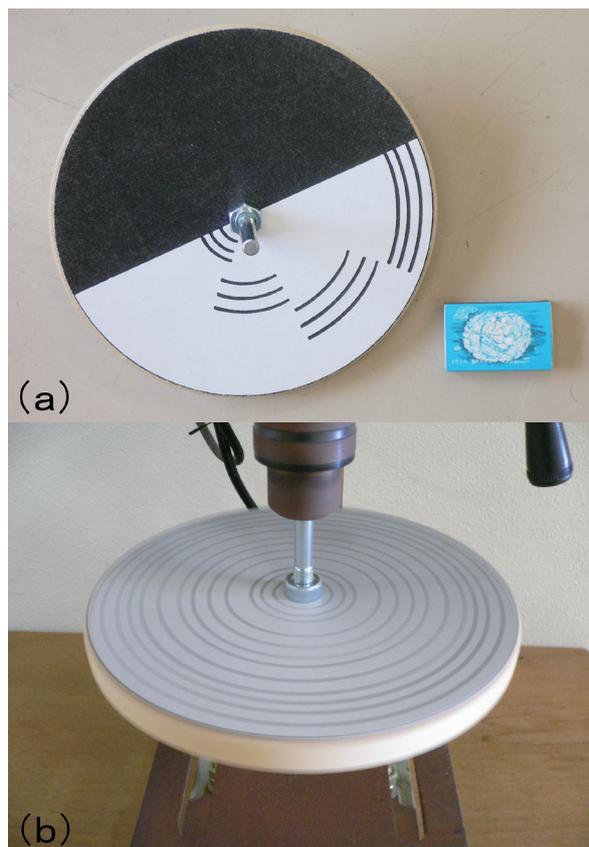


図8 ベンハムのこま

最後に

いくつかのものを実際につくってみました。書籍で紹介されているうちの一部については記述通りではないものもありました。ものづくりの面白さはできたときの充実感や達成感もありますが、その途中で少しずつ形になっていったり、完成に近づいていくときのワクワク感です。

私自身これまで、ものづくりの中では切り傷やすり傷のようなちょっとしたけがはしょっちゅうといってもいいぐらい経験していますが、工学部出身の人間ですから小さなけがは仕方のないものだろうという認識です。私は古いタイプの人間なので表現があまりよくないかもしれませんが、知識や技術などを頭で理解するだけでなく、痛い目にあって体で覚え、身につけるようなことも時には必要なことのように思います。

失敗したり、思い通りにできなかった場合でも、後悔する必要はありません。ものづくりの過程を楽しんだり、このような場合にはうまくできないのだと納得することができます。また

は、次はこうしてみようと新しい方法を考えることも楽しいものです。この文章に目を触れた人が、何かものづくりに関心を持つきっかけにでもなってもらえればうれしいかぎりです。以下の文献欄には書籍を中心に載せていますが、今はインターネットで簡単に検索できますので、類似の文献がたくさんあると思います。

魔法の鳥に絵の具で色をつけてくれた本学卒業生の柴田一乃さん、及び圧気発火器でティシュペーパーの発火実験に協力してくれた同じく卒業生の高木優君にお礼申し上げます。

文献

- (1) マーチン・ガードナー著, 芦ヶ原伸之訳 (2001) 『ブルーボックス自然の原理を知る手品』講談社 p.64-65
- (2) 左巻健男, 内村浩 (2002) 『おもしろ実験・ものづくり事典』東京書籍 p.42-48
- (3) 辻本昭彦 (2002) 『AERA Mook 物理がわかる。』朝日新聞社 p.48-49
- (4) 愛知・岐阜・三重物理サークル (2002) 『いきいき物理わくわく実験改訂版 2』日本評論社 p.152-153
- (5) 文献 (2) p.120-121
- (6) 糸電話における音の伝わり方 (伊藤さん)
http://www2.hamajima.co.jp/ikiikiwakuwaku/record/r_2012_02_18/newpage2.htm
- (7) 雑科学ノート-音の話- -hr-inoue ホーム
<http://hr-inoue.net/zscience/topics/sound/sound.html>
- (8) 6. 糸電話の伝搬速度など -Hi-Ho
<http://www.hi-ho.ne.jp/touchme/Ch11/Itodenwa/APEJ-PDF-2.pdf>
- (9) トランジスタ技術編集部 (2001) 『トラ技 Beginners1 実験と工作で学ぶ初めてのエレクトロニクス』CQ 出版社 p.17-22
- (10) 東京理科大学サイエンス夢工房編 (2003) 『楽しむ物理実験』朝倉書店 p.116-118
- (11) 米村傳治郎 (1999) 『親子で遊ぶ科学手品 100』高橋書店 p.86-87
- (12) 牧野賢治 (1999) 『かんたんビックリ科学手