

タイトル	コマでどこでも摩擦実験							
対 象	□専門家 ■大学生 ■中高生 ■小学生 □未就学児童							
スタイル	□講義・実験ショー ■ブース形式 ■参加型							
難 易 度	準備 (素材の入手, 作製のスキル)	簡単	1	2	③	4	5	難しい
	実演・説明 (再現性)	簡単	1	②	3	4	5	難しい
概 要	<p>ホームセンターや100円ショップで手に入る材料と一般的な道具を用いて、簡単な形状のコマと、初期回転速度が一定になる発射装置を製作する。</p> <p>コマと発射装置を製作して、工具の使い方を覚え、もの作りの楽しさを感じていただくとともに、製作した装置を用いてコマを回し、滑走面の材質や表面状態でコマの回転時間が変化することなどを調べ、摩擦の重要性を知っていただく。</p>							
用意するもの	<p>(1) コマ本体</p> <ul style="list-style-type: none"> M8 ボルト長さ 35mm 位 1 本, M8 ナット 3 個, M8 袋ナット 1 個, M8 座金 (外径 18mm) 2 個, M8 座金 (外径 26mm) 1 個, 外径 46mm 内径 26mm 座金 1 個, アルミ板 (厚さ 0.3~0.5mm, 必要な大きさは 20mm×30mm ぐらいであるが, より大きい方が加工しやすい) <p>(2) 発射装置</p> <ul style="list-style-type: none"> アクリルパイプ外径 21mm 内径 18mm 長さ 50mm ぐらい (外径は 21mm でなくてもよい), ゴム栓 4 号 (3 号でも可), マブチモータ RE-280, 電池ボックス単 3 (単 1 や単 2 でもかまわない) 1 個用 1 個, 単 3 電池 1 個 (モータの定格電圧は 3V だが, 電池 2 個直列配線で 3V かけると回転速度が上がりすぎて危険を伴うため, 電池 1 個とする), スイッチ (ON-OFF-ON 2 系統), リード線 20cm 2 本 (2 色) <p>(3) 工具・測定装置</p> <ul style="list-style-type: none"> 半田ごて, 半田, はさみ, グラフ用紙, 鉛筆, のり (スティックタイプでよい), マジック (油性), ものさし, ビニールテープ (絶縁用半田がない場合), 小さい幅の平ヤスリ, ペンチ, スパナ, のこ, 押しピン (つかめるものが便利), ストップウォッチ (なければ秒が計れる時計) <p>(4) あればよい道具</p> <ul style="list-style-type: none"> ハンドドリル, 万力, 金槌 							
実験装置の作り方	<p>1. コマ本体の製作</p> <p>(1) アルミのコマ支え板を作る. グラフ用紙に M8 座金 (外径 18mm) の形をなぞり (コンパスを用いてもよい), その両側に幅 4mm, 長さ 5mm ぐらいの引っかけ部を描く. これをアルミ板に貼り付け, 上下を M8 の座金ではさむ. 座金の中央に M8 ボルトを合わせて, ボルトの頭を金槌 (なければペンチなど) で軽く叩き, 下穴 (穴をあけるためのくぼみ) をつくる. 次に, 座金を外して正しく中央に穴があけられているかを確認したのち, 2 枚の座金を重ねて置き, その上にアルミ板の裏面にできた出っ張りを合わせて重ね, 下穴に再び M8 ボルトをたててしっかりと頭を叩いてアルミ板を貫通させる. グラフ用紙に描いた形を目安にしてはさみでアルミ板を切り外形を仕上げる. このとき, 円形部分の直径</p>							
								
			コマ支え板の形状		コマ支え板穴あけ			
								
			コマ支え板が完成					

はグラフ用紙に描いた円 (M8 座金の外形) よりも若干小さくなるように切る. アルミ板にバリや変形が生じているので, ヤスリやペンチなどを使って形状を修正する.

(2) 次にコマ本体を組み立てる. まず M8 ボルト, M8 座金外径 18mm, コマ支援板, M8 ナットの順にボルトに挿入し, ボルト頭上部にコマ支援板を固定する. M8 座金はコマの回転中心をガイドする役割をもっているため, ナットをスパナで固定する際には, M8 ボルトと M8 座金の中心を慎重に合わせる. また, コマ支援板に引っかかり部以外で座金からはみ出している部分があればヤスリで削り落とす.

(3) コマの胴体 (回転円板部) を, M8 座金 (外径 26mm) と外径 46mm 内径 26mm の座金の中心を合わせて, 金槌等で叩き込んでつくる. このコマ胴体を 2 個の M8 ナットを使って, コマ支援板を固定したボルトに固定する.

(4) 最後に, ボルトの先端に袋ナットを固定する.

(5) 発射装置の製作のために, ボルト頭の端面からコマ支援板までの厚さ x mm を測っておく.

2. 発射装置の製作

(1) コマ保持ホルダ用アクリルパイプを切断する. まず, アクリルパイプの端面が平らではない場合, 中心軸に直角にのこで切断する. 次に端部にゴム栓を強く押し込んだときのそう入深さ y mm を測る. ゴム栓をはずして, アクリルパイプを $(x + y + 8)$ mm の長さののこで切断する (注: ゴム栓は同じ規格番号であればメーカーによらず寸法は同じであるが, 材質が異なるものがあり, アクリルパイプに入り込む量が異なるため, これを実際に測定して長さを決めるのである). このとき, 切断面がパイプの中心軸になるべく直角になるようにする. のこで切った後, 切断面をヤスリで平滑にする.

(2) パイプの 2 端面の一方にコマ支持溝を加工する. 端面がパイプの中心軸に直角で平らでない場合には, ヤスリで平らにする. まず, 右の写真のように, アクリルパイプに 2 箇所, マジックで縦溝と横溝の線を描く. 縦溝 (右上図①②) の間隔はコマ支援板の幅よりやや大きくし, 長さは 5 mm 程度とする. 横溝 (右上図③) は, パイプの端面と平行に, 2 本の縦溝の底をつなぎ, さらにコマの回転方向とは反対方向に 5 mm 程度延長する.

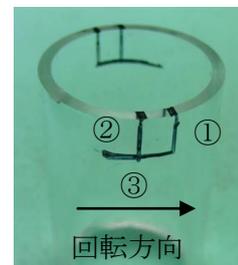
描いた線に沿って, のこで 2 つの縦溝を切り込む. 2 つの縦溝の底の間の横溝の線に沿ってパイプの外側からのこで切り込みを入れる. ある程度切り込みが入ったら, ペンチで折り曲げて 2 つの縦溝の間の部分を切り離す. 次に, ヤスリの横面で横溝を切り込む. 横溝の加工



コマの構成部品



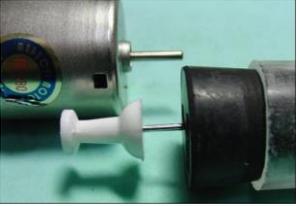
完成したコマ



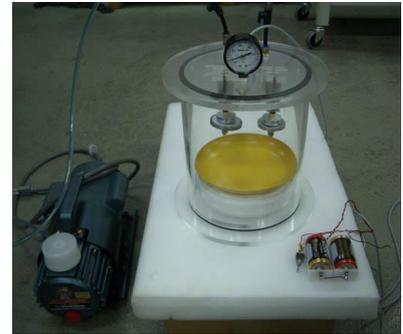
アクリルパイプの溝の位置



コマの保持状態

	<p>が終わったら、1で製作したコマ本体を入れ、コマ支持板がスムーズに入り込み、横溝でコマが水平に固定されるように、溝の内面をヤスリで仕上げる（注：この溝の仕上げ次第でコマがうまく発射できるかが決まる）。</p> <p>(3) ゴム栓の太いほうの端面の中央位置に印を付け、押しピンを垂直に押し込む。押しピンを取り外し、モータ軸をゴム栓に押し込んで固定する。</p> <p>(4) モータ、ゴム栓と、アクリルパイプで作ったコマ保持ホルダを連結する。</p> <p>(5) モータ、電池ボックスおよびスイッチを結線する。モータに付属のリード線と別のリード線で、モータ、電池ボックス、スイッチの端子をつなぐ。可能であれば半田付けしたほうがよい。使用するスイッチは、独立した2回路の切り換えが同時にできるもので、モータの逆回転スイッチとして使用する。</p> <p>中央端子にモータのリード線を取り付け、上の端子には電池ボックスからのリード線を結線し、下の端子には上の端子の+の極性をクロスして結線する（色分けしていたら分かりやすい）。結線したら、スイッチの位置と回転方向を確認し、右回転する方向に印を付けておく。</p>	 <p>モータ、ゴム栓とコマ保持部の接続</p>  <p>電池ボックス、モータとスイッチの結線状態</p>
<p>実験・実演の手順</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. コマ本体を発射装置に装着し、片方の手で発射装置と電池ボックスとスイッチを持つ。ここで、コマ本体が手に触れないようにする。もう一方の手で、スイッチを右回転方向に ON する。回転が安定したところでスイッチをすばやく OFF、左方向回転に ON してコマを発射する。これを何度も繰り返して行い、同じ滑走面でコマの回転時間がほぼ同じになることを確認する。 2. いろいろな滑走面でコマを回し、回転時間を測定し、コマの軸と滑走面との間の摩擦の違いを調べる。 3. 興味がある人は、滑走面の摩擦だけでなく、発射装置のコマ支持溝やアルミのコマ支え板の仕上がり方によって、回転時間が変化することも調べてみるとよい。 	 <p>発射装置の持ち方</p>
<p>実験結果と考察</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・滑走面の材質が金属、プラスチック、木材などによって、コマの回転時間が異なる。 ・同じ材質であっても表面の粗さにより、コマの回転時間が異なる。表面を手で触ってみて、粗さに違いがあることを理解する。 	
<p>バリエーション</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・コマを改造してみよう。例えば、コマの軸の先端に袋ナットではなく、直径 6.5 mm (1/4 インチ) 以下の球（材質は金属、プラスチック、ゴムなど）を取り付ける。取り付けるために、袋ナットの先端に球の直径より小さい穴を固定式のボール盤であけ、これで球をはさんでボルトにとめる。球の材質や大きさをかえると、回転時間だけでなく回り方もかわ 	

	<p>る。また、旋盤でボルトの先端を円錐状に加工し、軸先端形状を変えてみてもおもしろい。</p> <p>コマの胴体（回転円板部）を2枚重ねて入れたり、1枚目の胴体に接着剤で外径 46mm 内径 26mm の座金をもう1枚貼り付けて重くしたり、胴体を座金以外の材料（例えば厚紙やプラ板など）で作ると、回り方がかわる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・精度の高い工作機械（旋盤・フライス盤など）を使用して真空チャンバー（密閉された容器。ポンプを使って内部を真空にすることができる）を製作する。チャンバーの内側に本発射装置を取り付ける。このチャンバーの中でコマを回すと、空気中と真空中の空気抵抗の違いで回転時間がかわる。滑走面と軸との間の摩擦に比べてどちらの影響が大きいだろうか。 ・本実験のコマの回転軸には、小学生に人気の市販のコマ（ベイ）を簡単に取り付けることができる。いろいろなベイを取り付けて実験してみよう。
<p>参考文献</p>	<p>是永敦，間野大樹：独楽を用いた子供向けトライボロジー実験，トライボロジスト，52，10（2007）717</p>
<p>費用</p>	<p>ボルト・ナット・袋ナット・座金：300円程度，まとめて買えば安くなる アルミ板（50mm×100mm t0.5mm）：200円，コマ支え板 約20個分 アクリルパイプ（21mm×18mm L1m）：500円，コマ保持ホルダ 約20個分 ゴム栓：100円 モータ：210円，電池ボックス：150円，スイッチ：300円 工具（ヤスリ，ペンチ，スパナ，のこ）：100円ショップのもので十分 半田ごて：1000円程度</p>
<p>詳細問い合わせ先</p>	<p>九州大学大学院工学研究院機械工学部門 森田健敬，杉村丈一 morita.takehiro.871@m.kyushu-u.ac.jp</p>



真空チャンバーの例（発射装置が2基取り付けられている）