

タイトル	消しゴムかす生成過程の観察
対 象	<input type="checkbox"/> 専門家 <input checked="" type="checkbox"/> 大学生 <input checked="" type="checkbox"/> 中高生 <input checked="" type="checkbox"/> 小学生 <input type="checkbox"/> 未就学児童
スタイル	<input type="checkbox"/> 講義・実験ショー <input checked="" type="checkbox"/> ブース形式 <input checked="" type="checkbox"/> 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	消しゴムで字を消すときに消しゴムかす (消しゴムの摩耗粉) が生じる。消しゴムかすは、こすっているうちに次第に大きくなるのであるが、消しゴムに隠れて大きくなる過程を見ることはできない。しかし、実はそこに金属の摩耗粉ができる過程と同じ現象が生じている。摩耗粉生成過程を、体験を通じて理解するために、ここでは字を書いたテープを透明な板に貼り、裏側から透かしてその様子を観察する。それによって摩耗粉が生じるプロセスを身近なものとして感じる。
用意するもの	鉛筆, 消しゴム, 字の書けるテープ, 透明な板 (ガラス板, あるいは CD や DVD の中央透明部分で代用可), CCD 顕微鏡カメラとそれに接続するテレビ, ガムテープ。
実験装置の作り方	<ol style="list-style-type: none"> 1) 透明な板 (たとえば CD) をガムテープで机に固定する。 2) 字の書けるテープを CD の中央の透明な部分に貼り, その上に字を書く。 3) 図 1 のように CCD 顕微鏡カメラをその板に乗せ, 字にピントを合わせる。 4) 消しゴム先端を球状に整えて, 消す部分に芯やかすがついていないようにあらかじめ紙の上で消しゴムをきれいにする。



図 1 CCD 顕微鏡カメラで CD の透明部分を通してテープの字にピントを合わせる

実験・実演の手順

(1) 導入の講義

- 1) 消しゴムで字を消すときに消しゴムかすが出ることを確かめる。
- 2) 消しゴム表面が芯で汚れている時に字を消そうとしても、紙が汚れてうまく消すことができないこと、その時に消しゴムかすが出ないことを確かめる。
- 3) 以上から、消しゴムで字を消すためには消しゴムかすが発生することが必要であることを理解する。
- 4) 生じた消しゴムを消しゴムに当てはめようとしてもはまらないことを確かめる。
- 5) 消しゴムかすはどこから出てきたのだろうか、と問い、直接観察する必要性を理解する。

(2) 実験方法

- 1) 図2のように消しゴムを字に押し当て、ゆっくりと左右に動かす。この際、転がすのではなく、滑らせることに注意する。
- 2) 消しゴムかすが、至るところにたくさん発生することを観察する。
- 3) 次第にそれらが合体して大きくなることを観察する。
- 4) 字が消えたことを確かめる。
- 5) 大きくなった消しゴムかすが転がる様子を観察する。
- 6) 左右の動きを上下にかえると消しゴムかすが分断されて新たなかすができることを楽しむ。
- 7) 消しゴムをぐるぐるとまわすと、消しゴムかすが丸く団子のようなことを楽しむ。

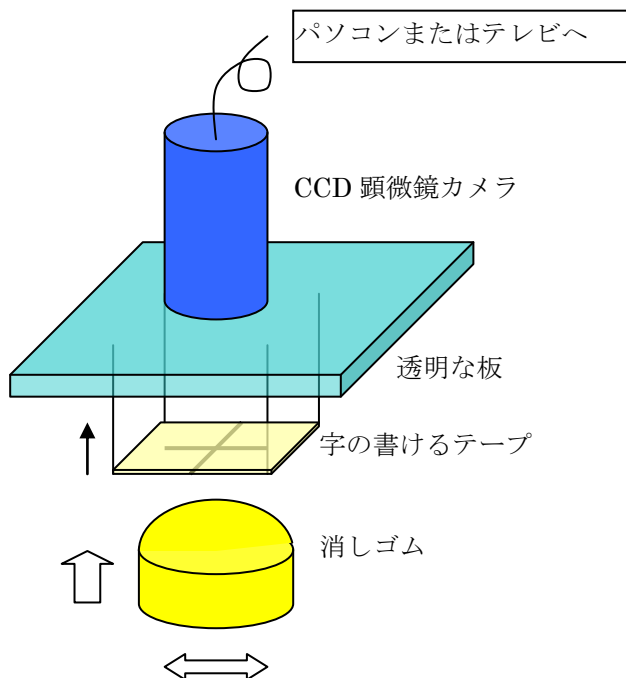
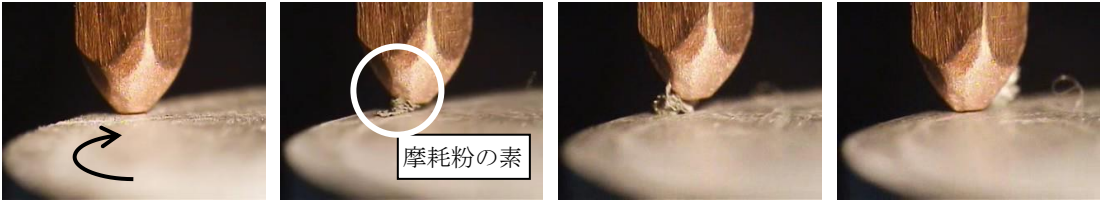


図2 字の書けるテープの上に書いた字を消しゴムで消す。

(3) まとめの講義

- 1) うまく消えなかったときに、消しゴムかすが出たかどうかを訊く。

	<p>2) 消しゴムかすは消しゴムよりも黒くなっていることを確かめ、その原因は何であるかを訊く。</p> <p>3) 紙の上の芯が消しゴムに移りつき、それが消しゴムかすの発生とともに消しゴムかすの中に取り込まれ消しゴムかすが黒くなること、同時に消しゴム表面に芯で汚れていない新しい面ができるために芯が新たにその面に移りつくことを説明する。</p>
<p>実験結果と考察</p>	<p>(1)実験結果のまとめ</p> <p>次の三段階を経て、消しゴムかすが作られることが観察される。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 誕生期；小さなかすがたくさんできる。 2) 成長期；かすが集まり合体して大きくなる。 3) 独立期；かすが面外に出て行く。 <p>(2) 考察</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 消しゴムかすは上記の三段階を経てこすっているうちに大きくなるのであるから、消しゴムかすを消しゴムに嵌め込もうとしても嵌らないことが理解される。 2) 消しゴムかすは消しゴムと芯の混合物である。これは、消しゴムと芯とがくっつきあっていることを意味する。つまり、消しゴムかすの生成過程は凝着摩耗であることが理解される。 3) 消しゴムによっては、字は消えるが消しゴムかすができない場合がある。その原因は、芯が消しゴム表面に残り、その面ですべるためである。その消しゴムを使うと消しゴムから紙に芯がくっついて紙を汚す場合がある。つまり消しゴムは適度に摩耗して常に内部が表面に現れ出ないといけないことが理解される。 4) 振幅を小さくすると中央部は固定され周縁部のみが動く。その場合、消しゴムかすはその周縁部のみから発生する。消しゴムを見ると、中央の消しゴムかすが発生していない部分は、紙上の字がそのまま転写されている。周縁部のみが滑るのは、消しゴムにおけるミンドリンスリップの実演である（参考文献2参照）。
<p>バリエーション</p>	<p>こすっている面同士がくっつきあって、摩擦面の間に摩耗粉の素が大きく成長し、それが摩耗粉として面外に排出される現象は、金属同士の摩擦においてしばしば観察される。回転するターンテーブルの上に金属板を貼り、その上から金属を押さえつけると図3のように摩耗粉の素が成長し、それが摩耗粉となる過程が観察される。この場合は面を通して観察しなくとも摩耗粉が生じる過程がはっきりと観察される。消しゴムの場合はやわらかく摩耗粉が消しゴムにめり込んでしまうためにこのように外部からは観察できない。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p>(a) 摩擦前 (b) 摩耗粉の素の成長 (c) 摩耗粉への転換前 (d) 摩耗粉への転換</p> <p style="text-align: center;">図3 摩耗粉の素の成長とその摩耗粉への転換過程</p>

参考文献	<p>1) 平塚健一, 筆記用具のトライボロジー, トライボロジスト, 39 巻, 6 号 (1994 年) 470 - 476 ページ.</p> <p>2) 笹田直, 平塚健一, 富田博史, 消しゴムのミンドリン・スリップ, トライボロジスト, 40 巻, 1 号 (1995 年) 90 - 93 ページ.</p>
費用	<p>1) CCD 顕微鏡カメラ以外は身の回りにあるものを使うので, 総額 1.5 万円以内</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ CCD 顕微鏡カメラはデジタルマイクロスコープとして市販されている. ・ 消しゴムは身近にあるものを使う. ・ 字の書けるテープは市販されているもののどれでもよい. ・ 透明な板としては, いらなくなった CD, DVD やそれらのケースが使える. ・ 板を机に固定するためにガムテープを使う. <p>2) 参考として, 金属の摩耗過程を観察するための摩擦試験機は, モータ, 直線装置を購入し自作すれば, 総額 4 万円程度で製作できる.</p>
詳細問い合わせ先	<p>千葉工業大学工学部機械電子創成工学科 平塚 健一 hiratsuka@sea.it-chiba.ac.jp</p>