

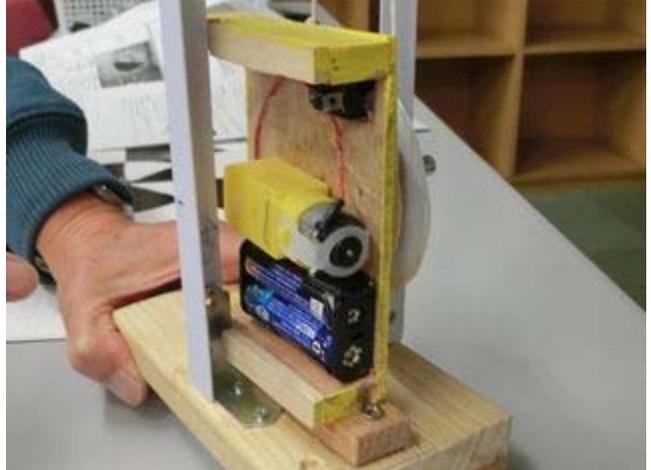
おもしろ科学たんけん工房 アイテム交換会

実施報告

日時：2024年1月18日 13:30~16:30
会場：フォーラム（戸塚）

1. ベンハムのコマの演示装置（尾崎直人）

- ・ベンハムのコマの演示説明用に、立てて安定した速さで回転させる装置を作った。
- ・支柱の上部の主回転軸に円盤を取り付け、ギアードモーターを駆動装置とし、それにプーリーで回転数を調節している。



- ・ベンハムのコマの色がよく出るのは300RPM~350RPMくらいなのでモーターの減速が大事だ。
- ・円盤は大きめにし、円盤の白黒のパターンを変えられるように取り外し可能にしている。
- ・回転数は右図のレーザー回転計で測定した。
- ・本年4月14日の全体交流会に出展する予定とのこと。



2. CDベンハムのコマ（尾崎直人）

- ・CD白黒パターンをプリントした紙を貼り中央の穴に上からビー玉をはめこみ、強力接着剤で固定する。
- ・ベンハムのコマは1895年イギリスのおもちゃ屋さんのチャールズ・ベンハムが売り出して有名になった。
- ・回転数300RPMくらいで色が現れるので手で回すと丁度良い条件で楽しめる。
- ・パターンは白黒なのに色が現れるのは、視覚生理学的な錯覚だといわれている。

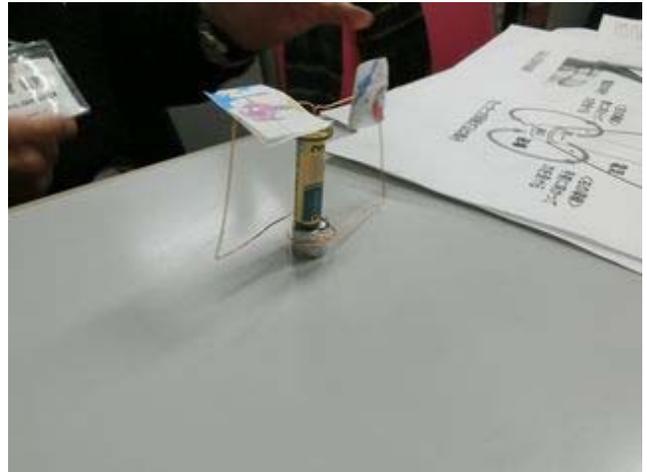
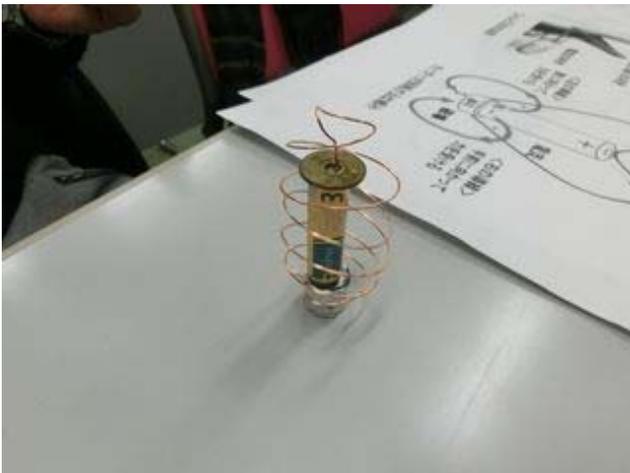


3. フレミングと単極モーター (浜津義男)

- ・単極モーターの原型は、科学の祭典などでよく見かける右図のようなもの。
- ・フェライト磁石をアルミフォイルで包み、乾電池を乗せ、画びょうを軸にしてプラコップの回転子が回る。アルミフォイルの下端がフェライト磁石の部分に軽く触れるようにする。
- ・アルミフォイルの部分を通る電流が、フレミングの左手の法則で磁場から力を受けて回転する。



- ・これをもとにして単極モーターを動力としたメリーゴーランドを作る。
- ・単極モーターの形は色々工夫した。
- ・最も材料や工作の手間が少なくてすむ、右のような形に行き着いた。



4. エナメル削り研究 (田中克己)

- ・工房のアイテムでも、エナメル線を使用するものは少なくない。エナメル剥がしが必要となる。
- ・①削るなどの物理的方法、②熱的方法、③化学的方法、などがあり、①②はネットで見る事が出来る。
- ・化学的方法についての記事は少ない。ここでは、いくつかのホルマル線 (ポリウレタン線)、エナメル線を対象とした。
- ・被覆剥がしが難しい細線についても検討した。細線は、安価なイヤホンに使われるオーディオケーブルで、極細のホルマル線2本をビニール被覆で覆ったものである。ビニールを剥がした上で検討する。

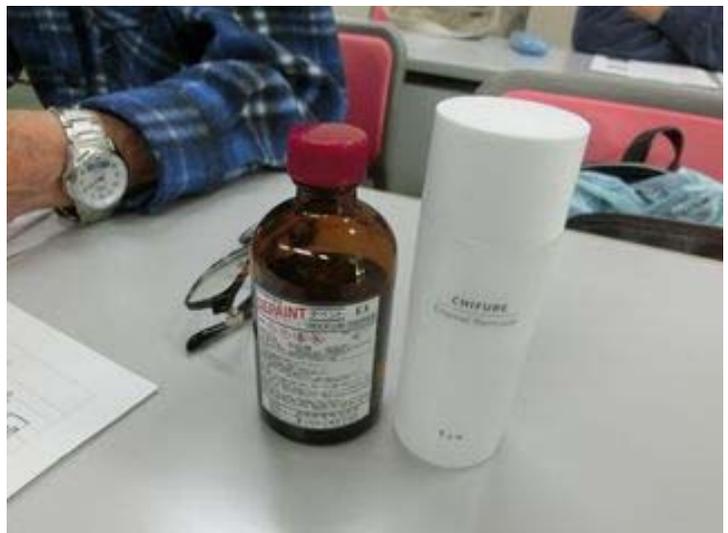
①物理的方法：刃物、紙ヤスリ、砥石でエナメルを剥がす。

②熱的方法：ハンダこて、直火でエナメルを溶かす／燃焼する

③化学的方法：アセトン、デペント kx (溶剤) で溶解する

・結果的には、細線については熱的方法が有効である。太い線は、熱容量が大きいので熱的方法には向いていない。

・化学的方法は、全般的に有効だが、デペント kx は劇薬を含むので取り扱いに注意が必要である。



5. ヘッドホンの逆位相対策 (田中克己)

・2023年9月のアイテム交換会で、ペットボトルステレオヘッドホンの、左右の位相のズレについて、問題提起があった。

・本番の体験塾では次の対策を行った。

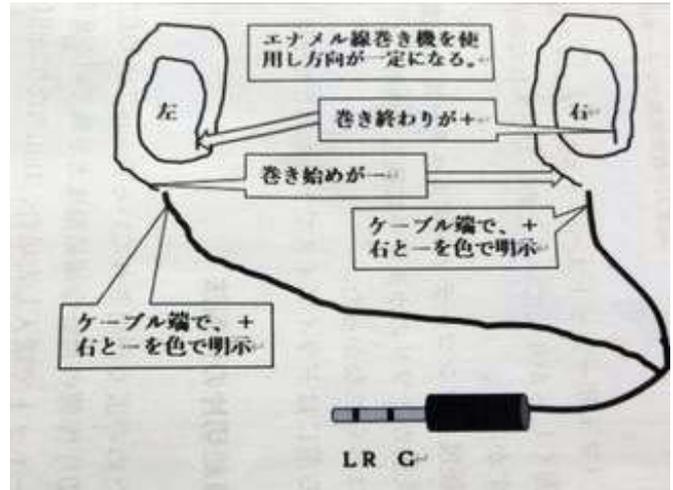
1. オーディオケーブルで、右と左のケーブルに色付けをした。右のプラスには赤色、左のプラスには白色を着色した。マイナスはどちらも無着色(黒色)で支給した。

2. ヘッドホンの左右が明確に分かる様にした。ペットボトルが通る穴を右側は2.5X6cmの長方形、左側は2.5X2.5cmの正方形とした。

3. エナメル線巻き機(電動と手動)を用意し、ペットボトルを上から見て必ず左巻きになる様にした。

4. エナメル線の巻きはじめに黄色いマスキングテープを付けさせ、これをマイナスとする様、指示した。

5. 磁石は、S極に赤いラッカーでマークし、N極に両面テープを貼って支給した。(当然、振動板にはN極側が張り付く事になる) これ以外の位相ズレに関しては、本件目的外として無視した。



6. 3D (レンチキュラー) (津田俊治)

・レンチキュラーレンズ(かまぼこ形の細長いレンズを並べたシート)を用いて、見る角度によって画像が変化したり、3D感が得られる印刷物がある。左右の目に視差を与えて、立体写真としたものもよく見かける。

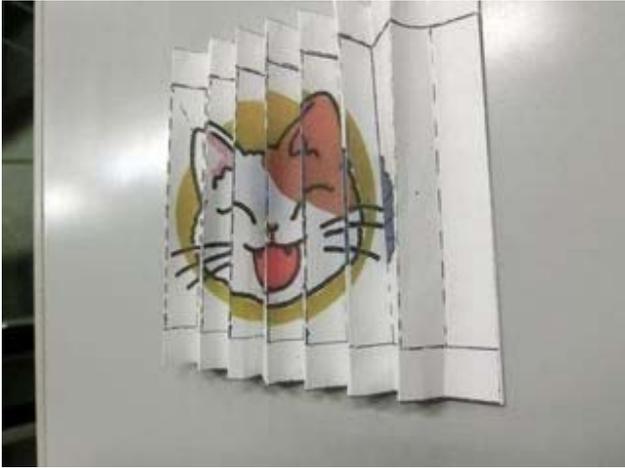
・レンズは使わないが、レンチキュラー画像の原理を簡単な工作で体験する。

・レンチキュラーの画像は、2つの画像を細長く短冊状に切り、切り取った画像を交互に順番に並べ直して貼り付け、一枚の画像にする。

・短冊の境目ごとに山折り、谷折りを繰り返して、屏風折りにする。



- ・下の写真のように、見る角度によって画像が変化する。



- ・写真などを組み合わせて作ることもできる。
- ・同様に、二枚の写真を短冊にして交互に貼り合わせて作る。
- ・右側から見ると風景写真、左側から見ると離陸する飛行機の姿が見える。



アイテム交換会発表プログラム

実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30～16:30

会場： フォーラム（戸塚）

No	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
1	15	その他	ベンハムのコマの演示装置	尾崎直人	ベース①に支柱④を立て上部に主回転軸⑥に円盤⑦を取り付け、支柱の株には駆動装置②を設け、駆動装置でプーリ③を駆動してベルト⑤を主回転軸に連結して円盤⑦を回転させる。
2	15	簡単工作	CDベンハムのコマ	尾崎直人	CD盤①に白黒パターン③をプリントした紙を貼りCD盤の中央の穴に上からビー玉②を嵌めて強力な接着剤で固定する
3	20	情報提供	フレミングと単極モーター	浜津義男	フレミングの左手の法則を元に単極モーターを動力としたメリーゴーランドを作る
4	10	技術改良	エナメル削り研究	田中克己	エナメル線の被覆を剥がす方法についての検討
5	10	技術改良	ヘッドホンの逆位相対策	田中克己	ペットボトルステレオヘッドホンにおいて、左右の位相のずれ対策
6	10	アイデア	3D（レンチキュラー）	津田俊治	レンチキュラーの画像は、2つの画像を細長く短冊状に切り、切り取った画像を交互に順番に並べて貼り付けて一枚の画像にする。見る角度によって画像が変化する。

次回予告

次回のアイテム交換会は、3月21日(木)13:30～17:00 フォーラム南太田・大会議室 です。

アイテム交換会エントリーシート

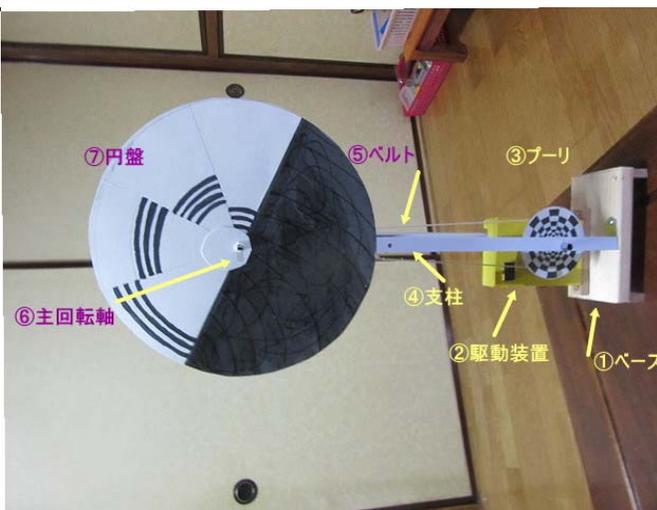
実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30~16:30

会場： フォーラム（戸塚）

No	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
	15	その他	ベンハムのコマの演示装置	尾崎直人	ベース①に支柱④を立て上部に主回転軸⑥に円盤⑦を取り付け、支柱の株には駆動装置②を設け、駆動装置でプーリ③を駆動してベルト⑤を主回転軸に連結して円盤⑦を回転させる。

詳細説明
(別紙も可)



左図は装置を横にして表示しています。ベンハムのコマの色が出るのは300RPM~350RPMくらいなのでモーターの減速が大事です。
円盤は団扇位のサイズで大きくし、円盤の白黒のパターンを変えて観測できるように取り外し自在にしています。
今年の交流会に出す予定です。

主な材料 (削除可)	部品名	材料	仕様	入手先	材料費	数量	備考
	ベース	木材	10*15*2	DIY店	5	1	
	支柱	プラスチック	30*2*0.2	々	20	2	
	駆動装置	モータ、電池		々	500	1	
	プーリ	木材、プラ		々	10		
	円盤	厚紙		々	5		
	計				540		
必要な工具等 (削除可)	鋸	ドライバー	ペンチ	ニッパー	半田鋏		
体験塾等を想定した所要時間	3	完成度 (体験塾の場合・5段階)	3	備考・参考書等	特になし		

アイテム交換会エントリーシート

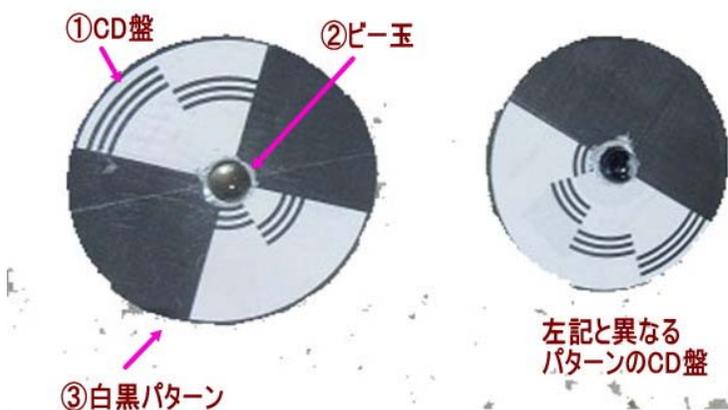
実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30~16:30

会場： フォーラム（戸塚）

No	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
	15	簡単工作	CDベンハムのコマ	尾崎直人	CD盤①に白黒パターン③をプリントした紙を貼りCD盤の中央の穴に上からビー玉②を嵌めて強力な接着剤で固定する

詳細説明
(別紙も可)



ベンハムのコマは1895年イギリスのおもちゃ屋さんのチャールズ・ベンハムが売り出して有名になったものです。回転数300RPMくらいで色が現れるので手で回すと丁度良い条件で楽しめます。色が現れる理由は目の錯視(錯覚)であるというのが主な説です。

主な材料 (削除可)	部品名	材料	仕様	入手先	材料費	数量	備考
	CD盤			廃物	0		
	ビー玉			100円ショップ	5		
	パターン紙	紙			5		
	接着剤				5		
	計				15		
必要な工具等 (削除可)							
体験塾等を想定した所要時間	0.5時間	完成度(体験塾の場合・5段階)	4	備考・参考書等	ウェブサイトが多く公開されている		

1 ベンハムのコマ（色が見える条件と理由について）

1. 研究の動機

私たちは、不思議な模様が描かれたベンハムのコマ（図1）が顧問の先生の机の上に置かれているのを見つけた。コマを回転させると、白と黒の色しか描かれていないのに色がついて見えた。その現象について非常に興味を持ち、コマにはどのような色が確認できるのか、また、どのようにして色がついて見えるのかを調べたいと思い、研究をすることにした。



図1：ベンハムのコマ

2. ベンハムのコマについて

ベンハムのコマとは、図1のような黒と白のみで描かれた模様のあるコマのことをいう。

このコマは1895年イギリスのおもちゃ屋さんのチャールズ・ベンハムがこのようなコマを売り出したことで有名になり「ベンハムのコマ」と呼ばれるようになったということである。実に、100年以上も前からこのような現象は知られていたのである。

この現象は錯視（目の錯覚）によって色がついて見えるという説明がされていたが、実際にはどのようにして色が見えているのか、詳しく分かってはいないようである。

3. 研究の目的

コマに色がついて見える仕組みを解明するために、コマの回転数と見える色の関係、コマの模様のパターンと見える色の関係等について調べる。

さらに、コマに色がついて見えるのは「錯視である」あるかどうかを調べ、色の見える理由を考察する。

4. 研究方法

(1)回転台の製作

コマを一定の回転数で回すために、図2のような回転台を製作した。この回転台はモーターにCD盤をつけたもので、回転を低速で安定させるために、遊星ギアを組み込んだギアボックス（タミヤ製）を取りつけた。コマの回転数は、電圧と電流を調節してコントロールした。さらに、フォトインタラプターと周波数カウンターを使用して、コマの回転数を測定することができるようにした。

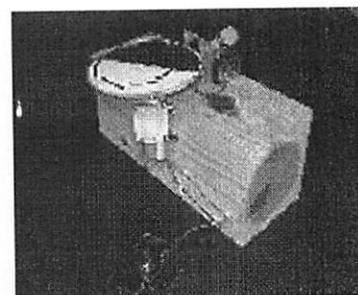


図2：回転台

(2)色の決定

色の観察は4人で同時に行い、日本色彩研究所監修の配色カードを使用して、コマを回した時に見えた色に一番近い色をその時の色に決めた。

コマの回転するスピードを変え、どのような色が見え、また、どのように見える色が変わるのかを調べることにした。

5. 研究結果

(1) コマの模様のパターン、回転数と見える色の関係について

ア 実験1：回転数と色の関係

① 実験の方法

図3のパターンのコマを回転させ、回転数を変えた時に、それぞれのラインがどのような色に見えるかを、配色カードを用いて同定する。

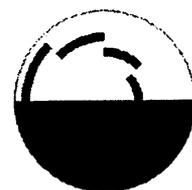


図3

② 結果

毎分0～100回転ぐらいまでははっきりとした色を確認することはできず、全体に黒っぽい色だが、毎分100回転ぐらいから徐々に色が見えてくる。また、このパターンでは毎分330回転～350回転ぐらいの時が一番はっきりと色を見ることができ、ラインごとに色が異なり、赤や緑、黄などの色が見えた。回転数を上げると、色は薄く見えるようである。しかし、これは明度に変化しているだけかもしれない。

イ 実験2：黒のラインの位置と色の関係

① 実験の方法と予想

図4のように、コマの外側の2つのラインを入れ替えたパターンを作成し、回転させて色の変化を観察する。もし、色が、回転数、黒と白のパターン、その割合と場所によって決まるのであれば、外側の2つの色が入れ替わるはずである。

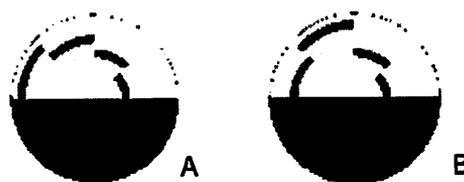


図4：外側の2つを入れ替えたパターン

② 実験の結果

外側の2つの色が入れ替わり、仮説が証明できた。

ウ 実験3：回転数と色の関係

① 実験の方法と予想

色の違いは黒のラインのパターンと回転数によることを確かめるために、図5のように、元のパターンとパターンを2倍にしたものを作成し、回転数を変えて、見える色を観察する。

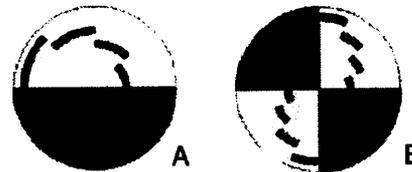


図5

模様を2倍にして、回転数を2分の1にすれば、

白と黒の割合が同じ状態を観察することになるので、同じ色が観察されると予想される。

② 実験の結果と考察

Aを毎分660回転、Bを毎分330回転で試したところ、予想通り、同じ色のパターンを観察することができた。コマについて見える色は、白と黒のパターンと回転する速さによって決まっているといえる。

(2) 色が見える理由について

コマに色がついて見えるのは、実際に色が現れているのか、錯視によるものなのかを調べるために写真を撮影するなどしてみたが、断定することはできなかった。そこで、色が見える理由について、次の4つの仮説を考え、それぞれについて検討することにした。

- ・ 仮説1：回転している白黒のパターンに光が当たり、その光が散乱され、特定の色が見える。
- ・ 仮説2：回転している白黒のパターンに光が当たることで、反射光の波長自体が変化するために色がついて見える。
- ・ 仮説3：白黒のパターンの視覚が、光の刺激のON - OFFのように目に入り、このリズムが特定の色の波長の振幅と同じように認識され、色がついて見える。
- ・ 仮説4：色がついて見えるのは、錯視による。

ア 実験1：光源の種類と見える色の関係

仮説1を確かめるために、光源の種類を変えて、コマに色がついて見えるかを調べる。

①実験の方法

光源に、単色光源であるナトリウムランプ、発光ダイオード（赤、青、緑）を使用し、単色光源下でもコマに色がついて見えるかを調べる。

②実験の結果と考察

単色光源下でも、コマに色がついて見えた。コマの色の見え方は蛍光灯を光源として見た時と同じようにラインが繋がって見え、各ラインで異なった色が見えた。また、回転を反転させると蛍光灯を光源としたときと同様にコマのラインの色の並びは反転した。

光源を単色光に変えても色がついて見えることから、仮説1は誤りであると考えられる。

イ 実験2：分光器による観察

仮説2を確かめるために、コマのラインの部分の反射光を分光器を使用して観察する。

①実験の方法

単色光の光源を使用し、暗室でコマを回転させ、各ラインのスペクトルを「直視分光器」と「分光器カラーテレビ装置」で撮影した画像で観察する。

②実験の結果と考察

肉眼では色がついて見えるが、光源の種類を変えても、反射光のスペクトルに変化は見られなかった。黒のライン上では光が反射しないため、スペクトルが明るくなったり、暗くなったりするだけであった。

反射光を見てもスペクトルの変化がなく、反射光の波長は変化していないことから、仮説2は誤りであるといえる。

ウ 実験3：観察する部分と、見える色の関係

①実験の方法

筒を覗いてコマのラインのみを観察する。

塩ビ管の内部に黒紙を巻き管内での光の反射を防ぎ、回転しているコマのラインのみを観察する（図6）。観察するコマのパターンは、図3とし、光源は赤の単色光源を用いた。

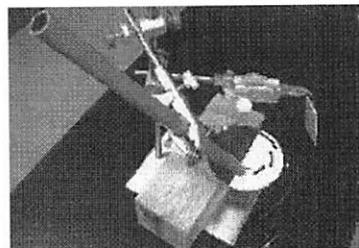


図6

②実験の結果と考察

筒を通してコマの黒いラインのみを視野に入れて見ると、ラインに色はついて見えなかった。このことから、白・黒が交互に現れるだけでは色は見え、仮説3は成り立たない。

しかし、筒を通して、黒のラインと周囲の白い部分を同時に視野に入れて見ると、コマ全体を見ているときと同様に、ラインに色がついて見える。

以上のことより、コマに色がついて見えるためには、黒のラインと周囲の白地の部分が大切で、色が見えるのは「錯視」であると考えられる。

(3)錯視が起こる理由について

「赤」の単色光源下での実験を繰り返しながら、どうして錯視が起こるか考えていたところ、「緑」が見えることに気がついた。

「赤」と「緑」は補色の関係にあるため、単色光源下での錯視には補色が関係しているのではないかと考えた。補色とは、色彩学の定義では「足して（加法混色して）白になる色」のことで、例えば、「赤」に対して「緑」、「青」に対して「黄」の色のことをさす。

ア 単色光源下で、錯視が起こる理由の考察

図3のパターンのコマを、赤色光源下で時計回りに回転させた時の、最も外側のラインとその周囲は、図7のようなパターンを繰り返し見ていることになる。

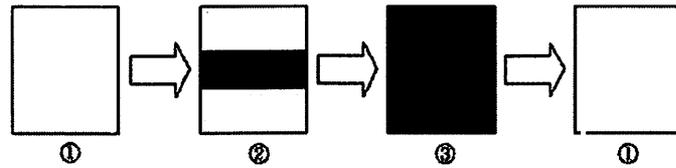


図7

①の部分に赤色光が当たり、赤に見えるが、赤い光に目が慣れていき、赤に対する感度が落ち、実際は赤だが白っぽく認識する。

①から②に移ると、黒いラインが現れてその部分の赤が消え、赤の補色である緑が見える。しかし、ラインが黒なので、はっきりした緑はわからず、周囲の白地に接したところで、周囲の赤に対比する形で見える。このため、鮮やかな緑ではなく、やや黒っぽい緑となる。

③に移ると、すべての赤が消え全面が同じ黒になるため、色が消える。コマの色がリセットされ再び①に戻り、この流れを繰り返す。

②のように、周囲の白地の中に、黒が現れることが重要で、ここに赤色光源の補色である緑が錯視として生じ、緑のラインが見える。

イ 回転方向を変えると、色が変わる理由の考察

さらに、コマを反時計回りに回転させると、最も外側のラインは、「緑」から「赤」に変化する。錯視により、緑に見えていたものが赤に変化する理由についても次のように考えてみた。

図3のパターンのコマを、赤色光源下で反時計回りに回転させた時の、最も外側のラインとその周囲は、図8のようなパターンを繰り返し見ていることになる。

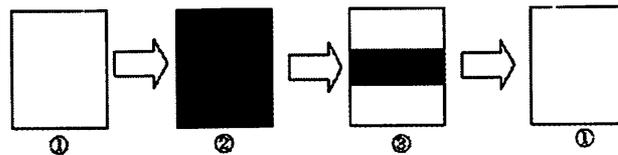


図8

①の部分に赤の光が当たり、赤に見えるが、赤い光に目が慣れていき、赤に対する感度が落ち、実際は赤だが白っぽく認識する。

①から②に移ると、すべての赤が消え前面が黒になるため、色が消える。周囲に白がないため、緑の補色は見えない。

③に移ると、両側の白地の部分に赤色光があたり、赤く見えるが、赤い光に目が慣れていき、赤に対する感度が落ち、実際は赤だが白っぽく認識する。

③から①に移ると、今まで色がなかったところ（色を認識していなかったところ）に赤色光があたり、赤の感度が高まり、赤いラインが認識される。

このようにして、実際は何もないところに錯視により赤いラインが見える。

やはり、白地の中に黒いラインがあることが重要で、周囲より遅れて光が反射してくることにより、その部分に光源の色がついて見えると考えられる。

(4)見える色の予測、赤色光源以外での色の見え方について

(3)より、もしコマの色が補色によって見えているならば、赤色光源だけでなく、青色光源、緑色光源、黄色光源でも補色の色や光源の色が見えるはずである。

ア 見える色の予測

次の色が予測されるので、光源の色を変えて、見える色を観察する。

A：時計回り外側のライン、反時計回り内側のライン → 光源の補色が見える

B：反時計回り外側のライン、時計回り内側のライン → 光源と同じ色が見える

イ 結果と考察

光源の色が赤および緑では、仮説で説明できる色が確認された。光源の色が青の場合、Aでは補色は確認できたが、Bでは光源の色とは少し違った感じだった。光源の色が黄の場合、Aでは完全な補色とはいえなかった。Bでは光源の色とは少し違った感じだった。

以上のことから、単色光源による色の見え方の一つの理由に、補色の効果があると考えられる。しかし、黄色光源の場合は、完全に補色が現れたとはいえなかった。これは、「黄」が、光の三原色ではないため、他の色と認識の仕方が異なっているのかもしれない。

(5)ベンハムのコマ以外での色の見え方

(4)、コマに色がついて見えるには、コマのラインのパターンが、ベンハムのコマのようになっていれば必ずしも円形でなくとも同じ色がついて見えるのではないかと考え、確かめることにした。

ア 実験の方法

図9のように、ベンハムのコマのパターンを引き伸ばした帯状のパターンを製作した。



図9：円筒の展開図

このパターンを円筒に巻きつけ、回転させて見える色を観察し、ベンハムのコマの場合と比較する。

イ 結果と考察

円筒形のパターンとベンハムのコマで見た色は同じだった。光源を、単色光に変えても同様の結果であった。このことから、錯視で生じる色は、白と黒のパターンとその割合、そしてこれらのパターンをどんな順番で、どのくらいの速さで見るかによって決まると考えられる。

6. まとめと今後の課題

ベンハムのコマを回転させたときに見える色は、白と黒の模様配置によることで変化すること、回転速度によっても色が変わること、コマの回転方向を変えると色の見え方が反転することなどがわかった。

また、単色光源にしても色がついて見えることなどから、ベンハムのコマに色がついて見えるのは、「錯視」によることが分かった。黒のラインの周囲が白地であることが、錯視を生じさせている重要な要素であることも確認できた。そして、錯視が原因とするならば、色が見える一つの理由として、補色が関係しているのではないかという仮説を立てることもでき、自分たちで色の見える理由の一つを説明することができた。

一方で、ベンハムのコマではないパターンでは、色のついた写真も撮影されている。白と黒のパターンを回転させることで色が見える理由は、とても複雑であると考えられる。

色の判別では、色の明度や彩度を細かく比較することができなかった。今後は、明度や彩度を判別できるように、色の識別の仕方を工夫していきたい。

また、単色光源でも、2番目と3番目のラインの色の見える理由については説明することができなかった。これらのことについても詳しく調べてみたい。

7. 参考資料

(1)ベンハムのコマ－実験と考察 みんなの実験室7 横山玲子

(<http://www2.tokai.or.jp/seed/seed/minna7.htm>)

(2)Benham's Disk University of Washington Eric H.Chudler, P h.D.

(<http://faculty.washington.edu/chudler/benham.html>)

(3)「眼は何を見ているか 視覚系の情報処理」池田光男, 平凡社 (1988)

(4)「どうして色は見えるのか 色彩の科学と色覚」池田光男・芦澤昌子, 平凡社 (1992)

(5)「理科年表 平成20年」丸善株式会社

アイテム交換会エントリーシート

実施日： 2024年1月18日

時間： 0:0~0:0

会場：

No.	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
	20	情報提供	フレミングと単極モーター	浜津義男	フレミングの左手の法則を元に単極モーターを動力としたメリーゴーランドを作る

詳細説明
(別紙も可)

a)



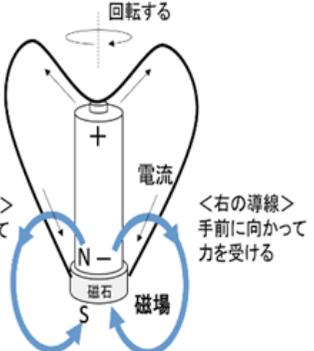
導線(電流)が受ける力の向き

磁場(N極から出る磁力線)の向き

電流の向き

フレミング左手の法則

b)



回転する

電流

磁石

磁場

<左の導線>奥に向かって力を受ける

<右の導線>手前に向かって力を受ける

モーターが回転する仕組み



主な材料 (削除可)	部品名	材料	仕様	入手先	材料費	数量	備考
		単三電池		1.5V	ダイソー	30円	1
	銅線		0.9mm径	島忠ホーム	20円	50cm	
	プラカップ			ダイソー	30円	1	
	アルミホイル					少々	
	マグネット			キャンドゥー	15円	3	

必要な工具等 (削除可)	ラジオペンチ ハサミ						

体験塾等を想定した所要時間	2時間	完成度(体験塾の場合・5段階)	3	備考・参考書等	製作手順は次頁		
---------------	-----	-----------------	---	---------	---------	--	--

アイテム交換会エントリーシート

実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30~16:30

会場： フォーラム（戸塚）

No	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
	10	技術改良	エナメル削り研究	田中克己	エナメル線の被覆を剥がす方法についての検討

詳細説明 (別紙も可)	工房のアイテムでも、エナメル線を使用するものは少ない。そこで、エナメル剥がしが必要となる。その方法には①削るなどの物理的方法、②熱的方法、③化学的方法、などがある。①、②はネットで見る事が出来るが、化学的方法についての記事は少ない。ここでは、いくつかのホルマル線（ポリウレタン線）、エナメル線を対象とした更に、被覆剥がしが難しい細線についても検討した。細線安価なイヤホンに使われるオーディオケーブルで、極細のホルマル線2本をビニール被覆で覆ったものである。ここでは、ビニールを剥がした上で検証した。剥がし方については、 ①物理的方法：刃物、紙ヤスリ、砥石でエナメルを剥がす ②熱的方法：ハンダこて、直火でエナメルを溶かす／燃焼する ③化学的方法：アセトン、デペントkx（溶剤）で溶解するである。 結果的には、細線については熱的方法が有効である。太い線は、熱容量が大きいので熱的方法には向いていない。化学的方法は、全般的に有効だが、溶剤の取り扱いに注意が必要である。		紙やすり	ナイフ	砥石	半田こて	直火	アセトン	デペントKX
		細線	実施せず	実施せず	実施せず	○	△	○(20m内)	○(50s)
		0.2mm ポリウレタン	○	○	実施せず	○	○	○(20m)	○(30s)
		0.4mm ポリウレタン	○	○	○	○	○	○(20m)	○(50s)
		0.4mm エナメル	○	○	○	×	○	○(20m)	○(50s)
		1.3mm エナメル	○	○	○	実施せず	×	○(20m)	◎(50s)
		体験塾等を想定した所要時間	時間	完成度(体験塾の場合・5段階)		備考・参考書等			

エナメル剥がし研究

2024年1月10日 田中克己

工場のアイテムで、エナメル線を使用するものは少なくない。そこで、エナメル剥がしが必要となる。その方法は、①削るなどの物理的方法、②熱でエナメルを溶かす熱的方法、③薬剤でエナメルを溶かす化学的方法、などがある。夫々の方法について実行し、その効果を検証した。

1. エナメル剥がし方法

エナメル線の被覆を剥がす方は、次の様なものが考えられる。

- ① 物理的方法：刃物、紙ヤスリ、砥石でエナメルを削り取る。
- ② 熱的方法：ハンダこて、直火でエナメルを溶かす又は燃焼してエナメルを除去する。
- ③ 化学的方法：アセトン、デペント kx（溶剤）でエナメル線を溶解・除去するである。

物理的と熱的方法は、我々も多く経験するものも多く、ネット上にも多くの記述が見られる。化学的方法については、ネット上にはあまり見る事ができないが、様々なものが考えられる。ここでは、アセトンと塗料の溶剤を使用した。アセトンは、マニキュアの剥離液である除光液の主成分であり、ネール、マニキュア（エナメル）剥がしに有効あれば、エナメル線剥がしにも使えるのではないかと考えた。塗料の溶剤については、種々の製品が販売されているが、ネット広告の中からデペント kx を選定した。

2. エナメル線

被覆を剥がす対象は、次の5つである。手持ちの材料を使ったもので、統計的有意性はない。

細線（廉価イヤホンのオーディオケーブル）

2種ポリウレタン銅線 ϕ 0.2mm

2種ポリウレタン銅線 ϕ 0.4mm

エナメル線 ϕ 0.4mm

エナメル線 ϕ 1.3mm

ポリウレタン線は、正規に購入した工業製品を使用した。エナメル線は、手持ちのもので見た目での呼称であり、正しい製品規格ではない。

細線は、ダイソーのステレオイヤホンのオーディオケーブルを使用した。これは、2本のエナメル被覆銅線と補強用プラスチック繊維をビニル（系プラスチック）でカバーしたものである。ビニルカバーは、ケーブルストリッパーで除去した。

3. エナメル剥がし方法

物理的方法：

紙やすりは#600 を使った。但し、1.3mm エナメル線は太くて硬いので#200 を使った。刃物では、カッターナイフの背を使った。砥石は調理包丁用でありきたりのものである。

熱的方法：

直火はロウソクの火を使った。半田ごては 20W のものを使った。

化学的方法：

ここでは、下記の 2 つの溶剤を使用した。

① アセトン (acetone)

有機溶媒として広く用いられる有機化合物であり、無色の液体で、水、アルコール類、クロロホルム、エーテル類によく溶け、ほとんどの油脂もよく溶かすことができる。蒸気圧が 20 °C において 24.724.7 kPa と高いことから、常温で高い揮発性を有し、強い引火性がある。(Wikipedia より、一部省略)

法的取り扱い

* 消防法により危険物第四類（第一石油類 危険等級 2 水溶性）に指定されている。指定数量以上の貯蔵・取扱には市町村長等の許可が、指定数量の 1/5 以上指定数量未満の貯蔵・取扱には消防署への届出が必要で、指定数量以上の取り扱いには危険物取扱者乙四類か、甲種免許所持者でなければならない。

* 麻薬向精神薬原料対象物質

* 有機溶剤中毒予防規則により第二種有機溶剤に指定されている。

従って、消防法上、指定数量 400 リットルの 5 分の 1 以下（80 リットル以下）であれば、保管・使用上問題ない。

ここで使用したものは、

（株）ちふれ化粧品の「ちふれ除光液 S」（容量 110ml、約 580 円）

効能：「ネイルエナメルをすばやく、きれいに落とします」

成分：水=13.00%、グリセリン=2.00%、トリエチルヘキサン=2.00%、基剤=アセトン

注意：除光液以外の目的に使用しないで下さい。ご使用後はキャップきちんとして下さい。液をこぼさないようにご注意ください。衣類や家具等に液がふれると、溶けたり変質したりする場合がありますのでご注意ください。液漏れの原因になる場合がありますので、横向き置かないでください。火気注意

② 溶剤

デペント kx、富士技研工業（株）（容量 100ml、880 円）

製品上の表記は次の通り。

効能：「エナメル線を本液に浸けて、取り出してから 1 分程で剥離が起こります。乾いた布で拭けば完全に裸銅線になります。」

成分：ジクロロメタン、メタノール、硝酸

注意：1. 蓋を開けるときの、温度が高いと噴出する恐れがありますので、徐々に開いて下さい。
2. 使用時は蓋を開けて、中身をよく混合して下さい。
3. 貯蔵時は密閉して、なるべく冷所に置いて下さい。

危険性・有毒性について

蒸気の吸入は麻酔性があり、はなはだしい場合は意識を失う可能性があります。また皮膚に付着すると凍傷のような痛みや炎症を起こします。引火性はありません。

労働安全衛生法による表記

1. 取扱作業作業場所には、局所排気装置を設けて下さい。
2. 容器から出し入れする時は、零れないようにして下さい。
3. 取り扱い中はできるだけ皮膚に触れないようにし、必要に応じ、防毒マスク、送気マスク、保護手袋等着用して下さい。
4. 取り扱い後は、手洗いを充分に行ってください。

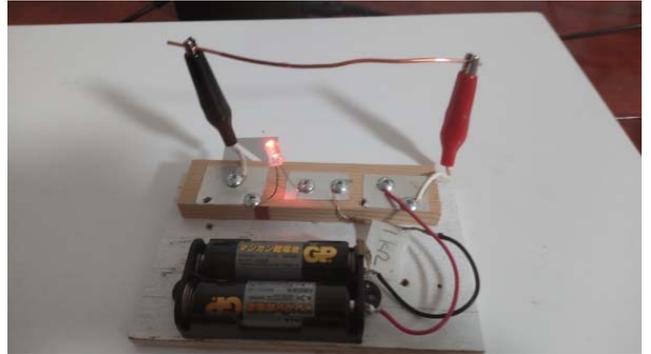
4. 検査

エナメル剥がしの検査は、基本的に目視で行い、その後写真の検査機で導通テストを行った。

検査機は、電池、抵抗 (1kΩ)、LED を直列配置し、端は藁虫クリップを付けてオープン回路としたものである。右図参照。

被検電線は、エナメル剥がしを目視で認識後、両端を藁虫クリップで挟んで導通をチェックした。この為、エナメル剥がれ具合は、不完全でまだ模様でも良し

とした。また、藁虫クリップのバネが強くエナメルに食い込む感じもあり、結果は楽観的（あまい）となった事は否めない。



5. 結果

(1) 細線については、その構造上および極めて細い線の為、物理的方法は適用出来なかった。熱的方法では、直火でエナメルを燃焼させる事は出来たが、銅線も燃焼してしまう事があった。化学的方法も有効だった。尚、熱的方法において対象としたケーブルは、2本のエナメル細線と強度保持用のプラスチックファイバーを含むものであったので、夫々のエナメル線についての剥がれ状況を調べると共に、1本（両端で1対）については真鍮板への直接ハンダ付けを行い、問題なかった。

(2) ポリウレタン線

いずれの方法でも問題なく剥がす事ができた。

(3) エナメル線

エナメル線は、ポリウレタン線に比べ剥がし難い感じがあった。

特に 1.3mm 銅線は、物理的方法では、かなり剥がしにくく全周きれに剥がす事は困難だった。熱的方法でも、直火においてもエナメルを溶かし燃焼する事はできなかった。この為、半田ごてでは無理と判断した。

化学的方法はいずれも有効だったが、デペント kx は、約 30 秒ほどでエナメルが溶け出し銅線が露出し、劇的な効果があった。

アイテム交換会エントリーシート

実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30~16:30

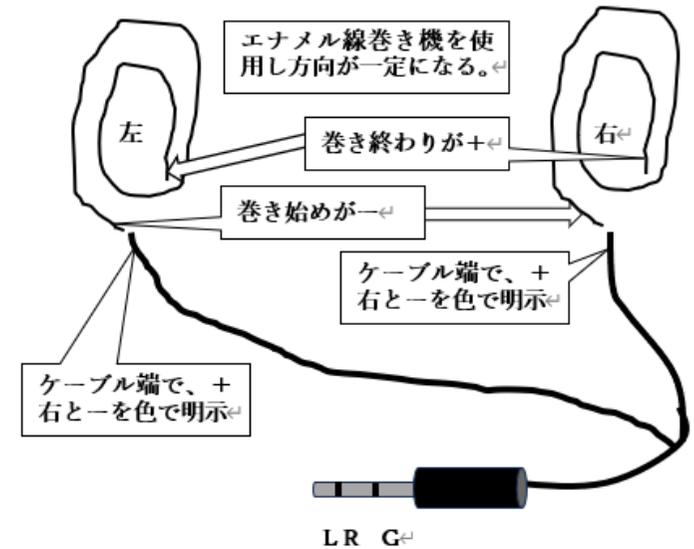
会場： フォーラム（戸塚）

No.	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
	10	技術改良	ヘッドホンの逆位相対策	田中克己	ペットボトルステレオヘッドホンにおいて、左右の位相のずれ対策

詳細説明
(別紙も可)

ペットボトルステレオヘッドホンにおいて、左右の位相のズレについて、2023年9月のアイテム交換会で、問題提議があった。実体験塾では次の対策を行った。

- オーディオケーブルで、右と左のケーブルに色付けをした。右のプラスには赤色、左のプラスには白色を着色した。マイナスはどちらも無着色（黒色）で支給した。
- ヘッドホンの左右が明確に分かる様にした。ペットボトルが通る穴を右側は2.5X6cmの長方形、左側は2.5X2.5cmの正方形とした。
- エナメル線巻き機（電動と手動）を用意し、ペットボトルを上から見て必ず左巻きになる様にした。
- エナメル線の巻きはじめに黄色いマスキングテープを付けさせ、これをマイナスとする様、指示した。
- 磁石は、S極に赤いラッカーでマークし、N極に両面テープを貼って支給した。（当然、振動板にはN極側が張り付く事になる）これ以外の位相ズレに関しては、本件目的外として無視した。



体験塾等を想定した所要時間		完成度 (体験塾の場合・5段階)		備考・参考書等	
---------------	--	------------------	--	---------	--

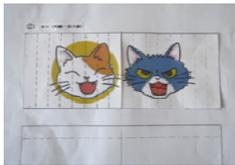
アイテム交換会エントリーシート

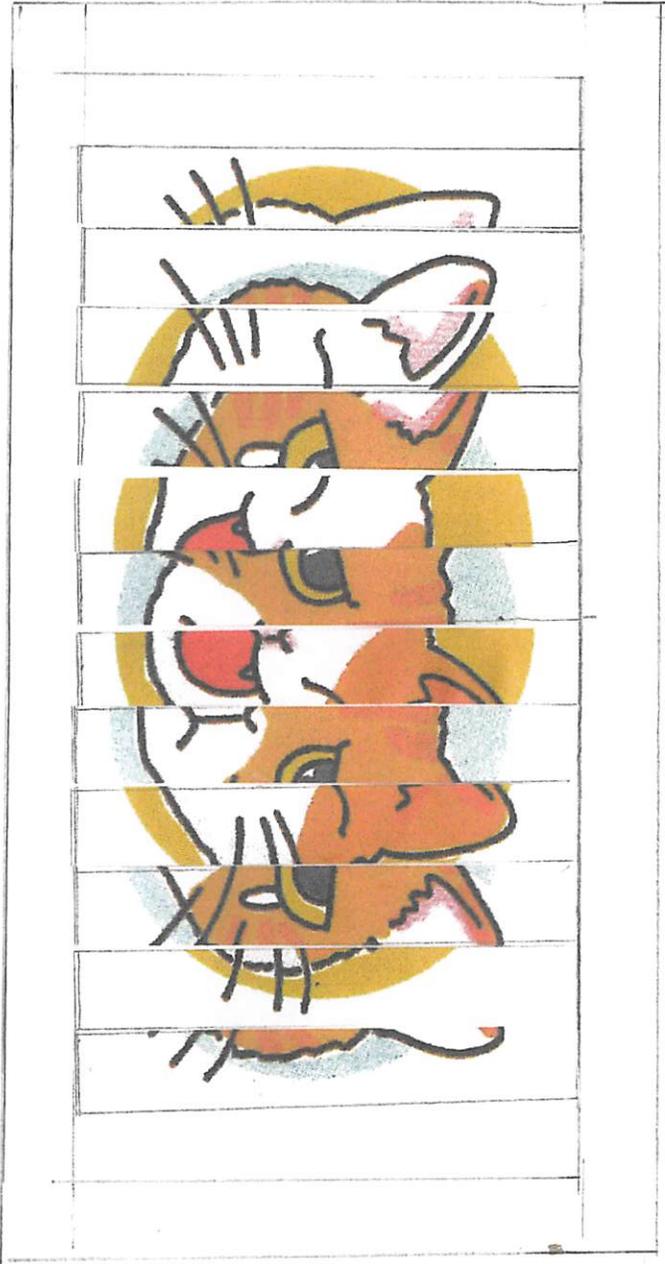
実施日： 2024年1月18日

時間： 13:30~16:30

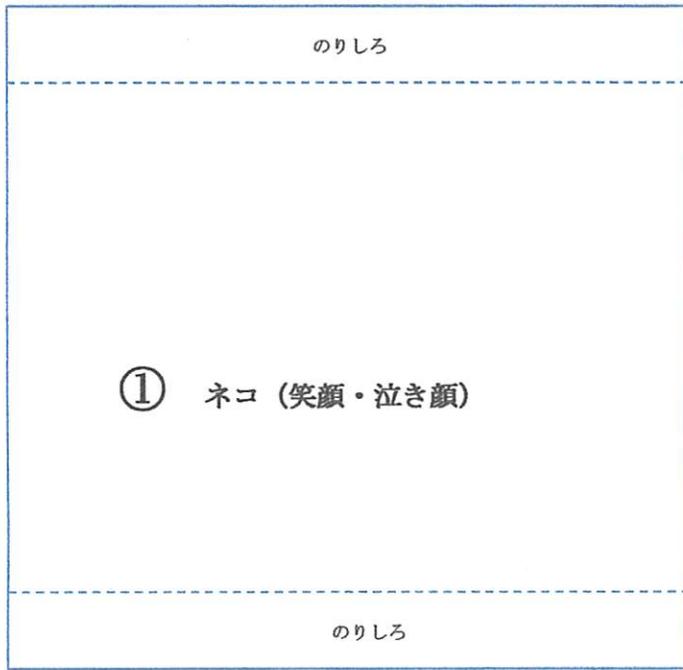
会場： フォーラム（戸塚）

No	発表時間 (分)	分類	タイトルまたはアイテム名	提案者	概要
10		アイデア	3D（レンチキュラー）	北1. 津田俊治	レンチキュラーの画像は、2つの画像を細長く短冊状に切り、切り取った画像を交互に順番に並べて貼り付けて一枚の画像にする。見る角度によって画像が変化する。

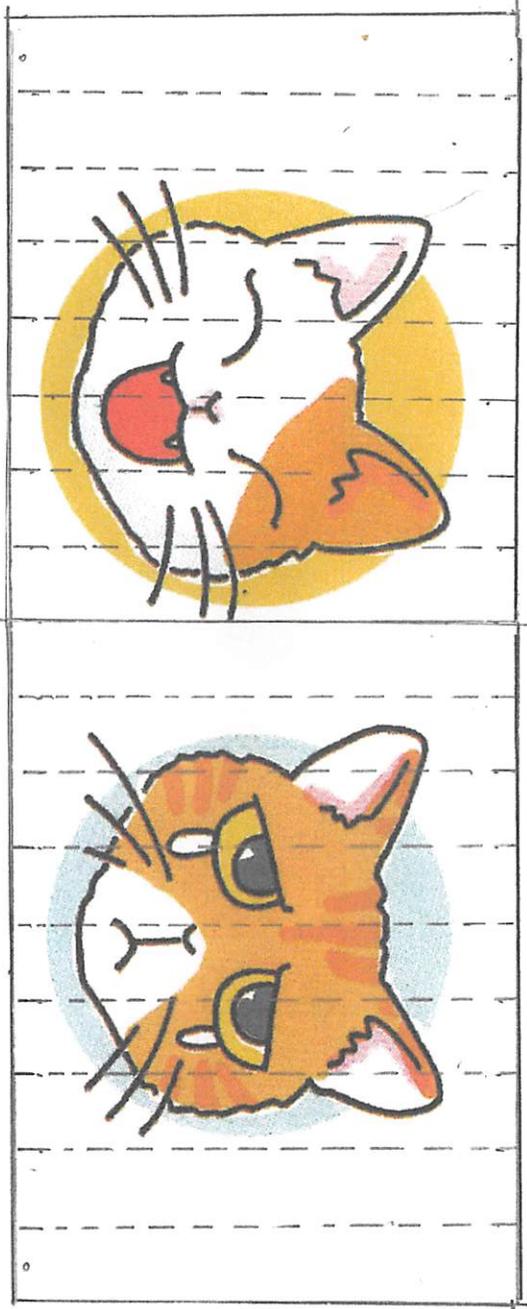
<p>詳細説明 (別紙も可)</p>	     						
	<p>① 二枚の画像 ② ①の画像を1cmに切り 交互に貼り付ける ③ ②を1cmピッチに折り 台紙に貼り付ける ④ ③を左から見た画像 ⑤ ③を右から見た画像</p> <p>**シート状のレンチキュラーレンズを用いて、見る角度によって画像が変化したり、3D感が得られる印刷物である。</p> <p style="text-align: right;">シオリ</p>						
<p>主な材料 (削除可)</p>	部品名	材料	仕様	入手先	材料費	数量	備考
	画像		2枚				
	貼り付け台紙						
	接着剤						
<p>必要な工具等 (削除可)</p>	ハサミ・カッターナイフ等						
<p>体験塾等を想定 した所要時間</p>	時間	完成度（体験塾の場合・5段階）	5	備考・参考書等	レンチキュラーで作られたシオリ		

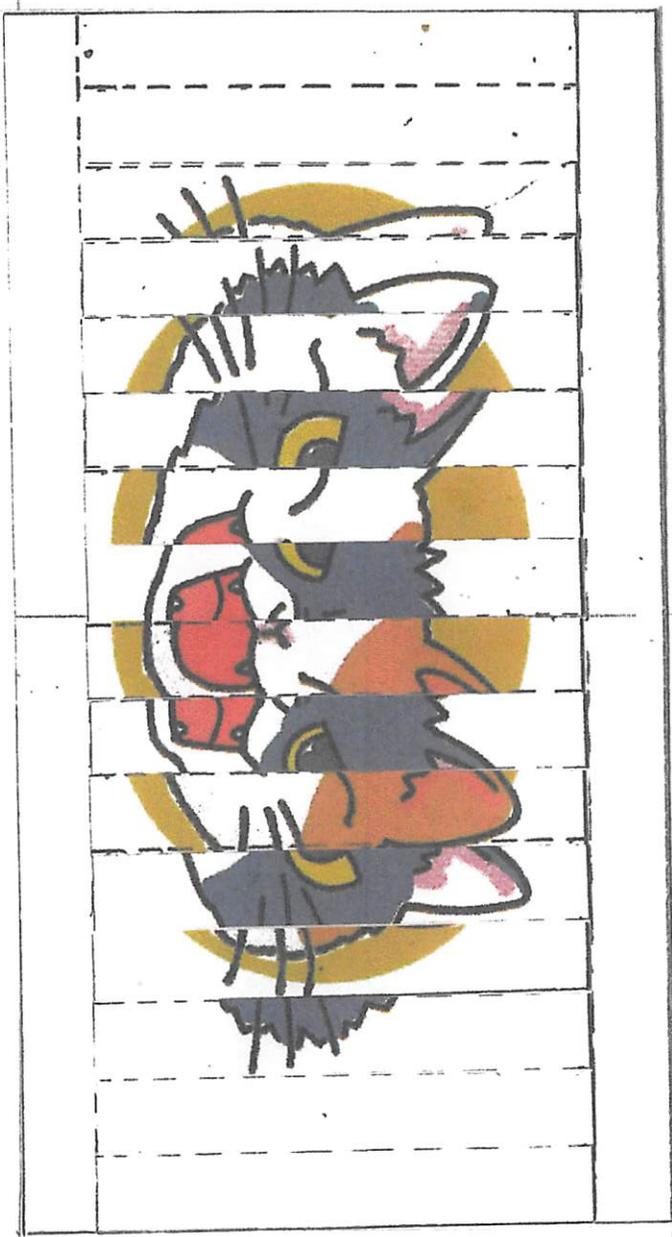


① ネコ (笑顔・泣き顔) 台紙 (8. 7*9. 0)

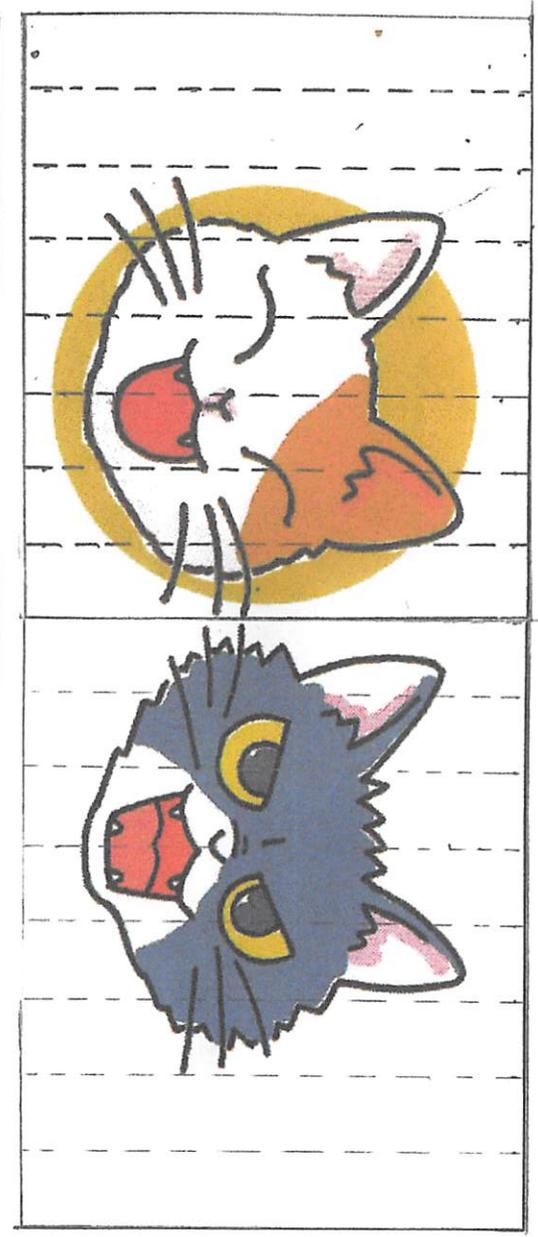
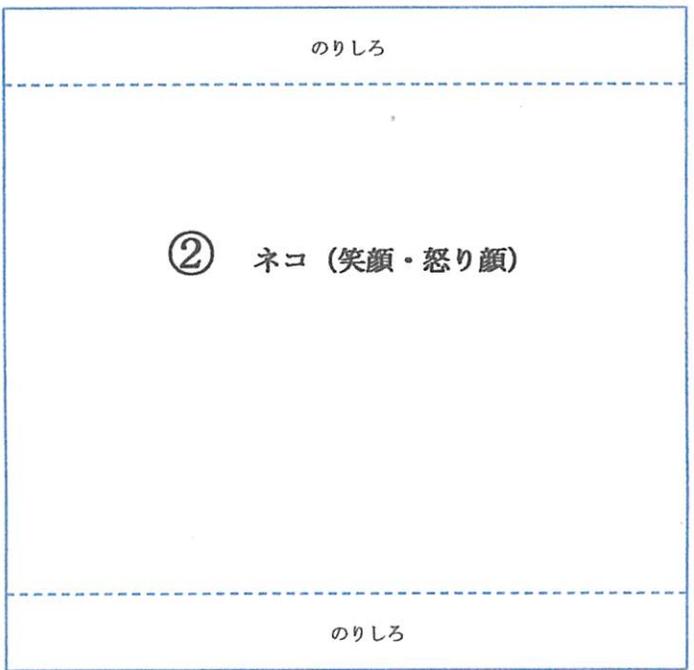


① ネコ (笑顔・泣き顔)





② ネコ (笑顔・怒り顔) 台紙 (8. 7*9. 0)



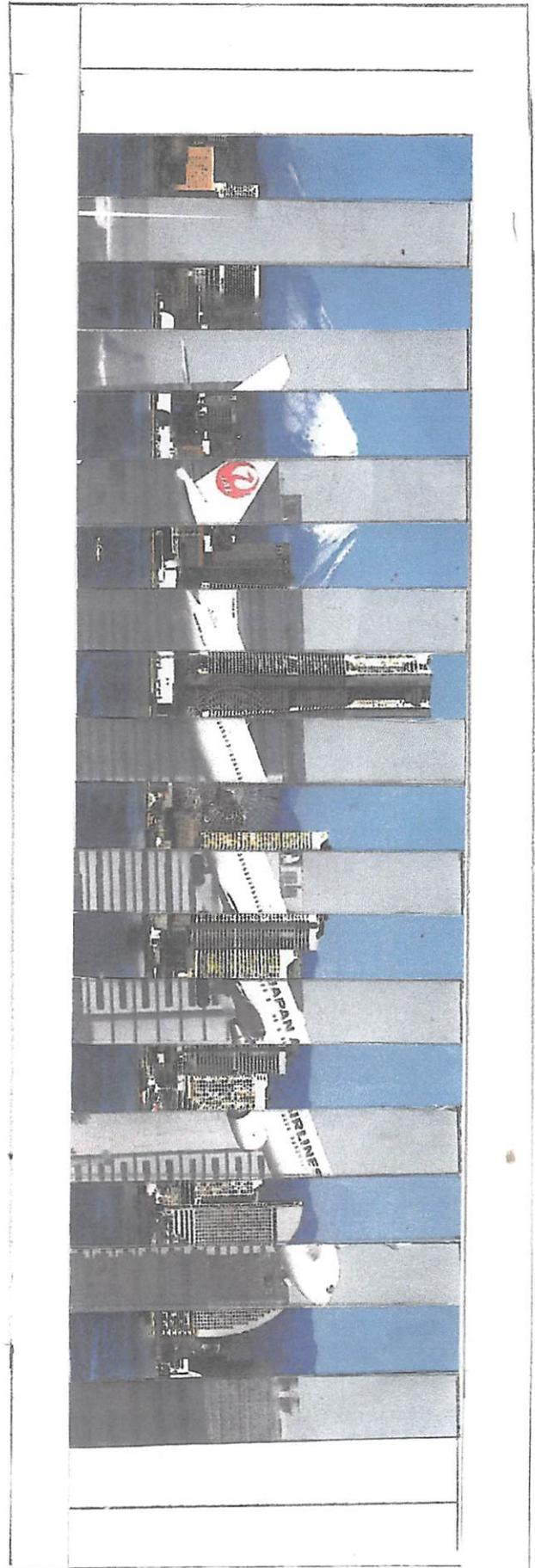
② ネコ (笑顔・怒り顔)

⑤みなとみらい 台紙 (8.0*11.5)

のりしろ

⑤みなとみらい

のりしろ



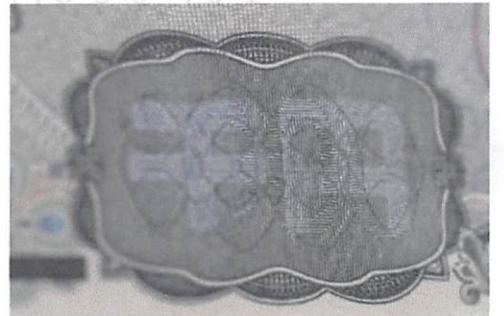
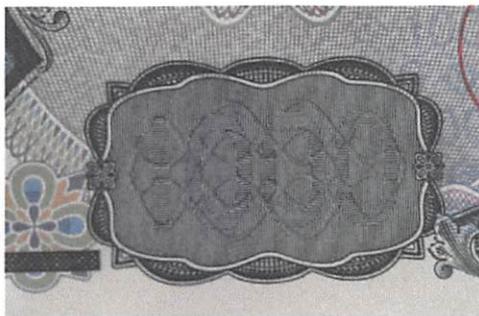
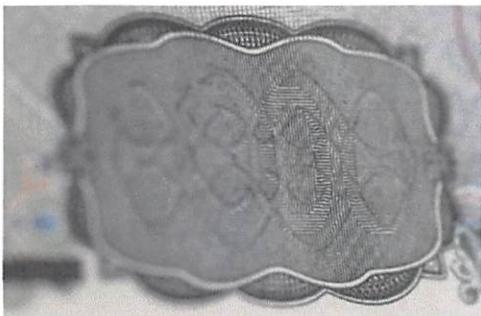
500円硬貨



500YEN



JAPAN



千円札

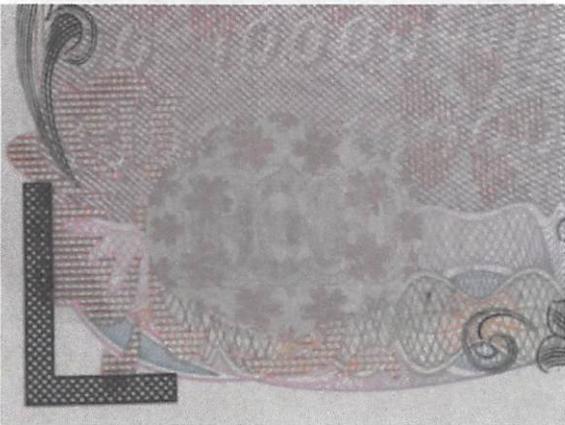
貨幣円008



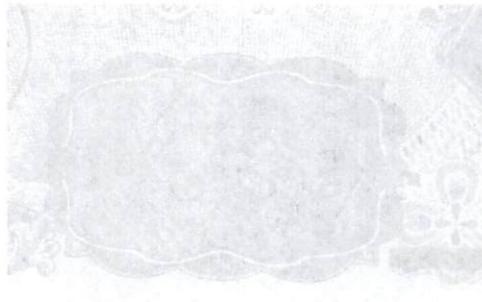
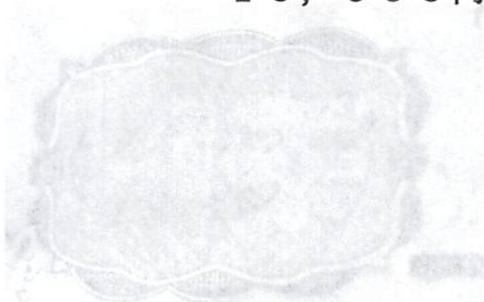
1,000円



5,000円



10,000円



千円