濡れた紙が乾いた時に
しわにならない方法を探る

工夫作品	科学論文（物理）	学校番号	中6 1-1
研究作品名	濡れた紙が乾いた時に しわにならない方法を探る　1／2		
学校名	千葉市立小中台中学校		
学年	第2学年		
氏名	竹原　明日果　（男・女）		
指導教員名	千葉市立小中台中学校　理科部会		
証明	本人の作品であることを証明する。 学校長　桐原　公夫　印		

急な雨で濡れた教科書を乾かしたところ、しわになり波打ってしまった。しわのでき方のメカニズムを明らかにし、しわのできない乾かし方を模索するべく、本テーマを設定した。

まず、文献や紙の博物館の調査により、先行研究を調べた。次に、電子顕微鏡を自身で操作し紙の繊維構造を観察した。

続いて、多くのサンプルを用いたモデル実験を行った。実験1では、紙の種類による水の染み込み方の違いを染み込んだ時間、枚数、染みの直径で評価し、比較した。実験2～6では、しわになりやすさを鉛直方向への変形の大きさで評価して、「湿度」「紙の枚数」「乾かし方」などを変えて比較した。実験7～10では、波打つ原因としていくつかの仮説を立て検証を行い、紙の製造過程で受ける一定方向の張力が原因であると考察した。実験11・12は乾かし方の違いによるしわのなりやすさを評価した。

実験13では、実際の冊子を使用して、重しを載せて乾燥させれば、しわができにくいことが分かった。

妄想や仮説から多くの観察やモデル実験を行い、多角的に現象を捉えようとしている。また、写真や図なども効果的にレイアウトするなど、努力が見られる論文である。

千葉市立小中台中学校

2年3組　　竹原　明日果

濡れた紙が乾いた時にしわにならない方法を探る

1 研究の動機

雨の日で、下校の時にカバンが濡れになってしまい、中の教科書が濡れてしまった。
乾かした教科書は、しわになり汚くなってしまった。
乾いた時に、しわにならない乾かし方を調べたい。

2 研究の目的

・紙は濡れるとなぜしわになるのか
しわになりにくい紙の条件を調べる
・乾いた時にしわにならない乾かし方を調べる

3 研究の方法

1) 紙は濡れるとなぜしわになるのか
・本・インターネット上、紙の博物館を使って調べる

2) 顕微鏡で紙の繊維の構造を見る
(写真) ・元の紙 ・濡れてる紙

3) 水をたらして、紙の種類ごとのしみこみ方に違いがあるか調べる

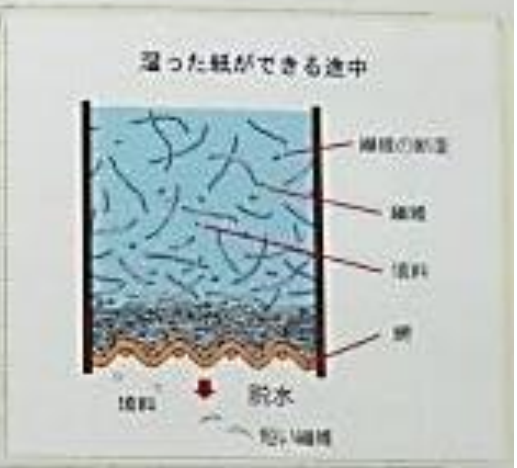
4) 濡れた紙が乾いた時にしわになりにくい条件を調べる
・紙の種類を変えてしわになりにくい紙としわになり易い紙を調べる

・紙の大きさを変えて紙の大きさと、しわになり易さとの関係を調べる。
・温らす水の温度を変えて温度と、しわになり易さとの関係を調べる。
・水以外の液体を使って、しわになり易さとの関係を調べる。
・紙の重なる枚数と、しわになり易さとの関係を調べる。
・乾かしかの違いと、しわになり易さとの関係を調べる。

5) しわになり易い条件を元に、実際にまとめて、まへが様で、しわにならない乾かしかを考える。

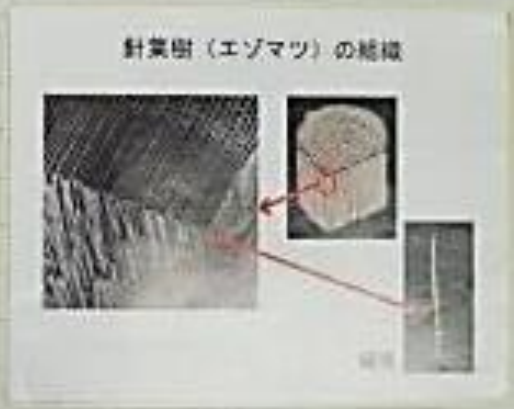
6) 一度しわになった紙は戻せるかを調べる。

4. 紙とは何か



- 植物繊維1本1本を水の中に浮かべ（分散）、これを網状物の上にこしとり、繊維が網目にからみ合ったシートにし、おしぼりで脱水したもの

- 紙に使われる繊維の集合体をパルプという。
色々な植物繊維が使用されるが、現在は木材繊維が主力。パルプを紙にするためには必要な繊維を切ったり不純物を加える。古紙はリサイクルとして古紙パルプとして使用される。

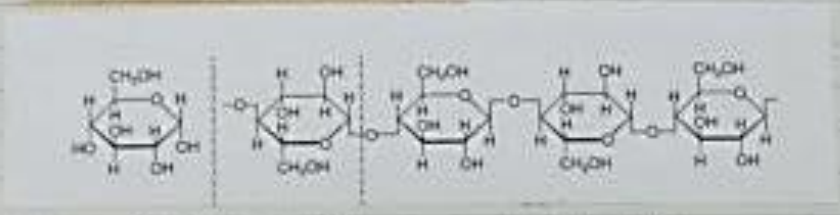


- 紙の繊維はよくからみついている。紙は植物繊維を膠着させて製造している。
この膠着力は、繊維同士の接触部分に形成される水素結合という、化学的なカで、さらに紙を構成する成分がそれを補助している。

- 繊維は白くてもともと微細な粒子のセルロースからなっている。
セルロースは、セルロース（デンプン粒）からなり、1万個も集まって連なっている。セルロースは糖類と水素から構成され水酸基（−OH）をもつ高分子化合物（セルロースとも）。このようなたくさんのセルロース分子が集まって繊維を構成している。

結晶ができている。

セルロースのみの構造



グルコース単位　グルコース単位　　セルロースなら
OH基は全つ　OH基は全つ→　セルロース単位が2つ以上も繋がっている
左右のOH基は　結合する
使われた分に使われる

重合に使われた残りの水酸基がこっちもあるので、
繊維表面には無数の水酸基が生えた状態。
水酸基はあと結合しやすいので、植物繊維は水に溶けやすい性質（親水性）がある。
繊維は水分や湿度によって色々な影響を受けやすいのはこのため

水酸基同士が接近すると H^+ と O^- が別こ合う。

[水素結合　$\cdot O - H \cdots O - H$]

これが水素結合。

・紙を抄くとき、薄い濃度のパイプ液を金網で濾過すると、繊維が重なった湿紙ができる。この時点では、水分が多く繊維は離れているので水素結合できず、まだ強度がないので力を加えるとすぐに壊れる。
それが乾燥していくにつれて繊維同士が接近し、さらに水分が少なくなると、表面の水酸基が水素結合して、紙の形を保つ力が生まれる。

水素結合

5 濡れた紙が乾くとしわになる理由

- 紙は特殊な物を除き、セルロースという直線状に長い炭水化物の高分子が集まった繊維で出来ている。セルロース自身は水に溶けず、酸やアルカリにも強い安定した分子だが、分子同士は水素結合という弱やかな結合をしていて、水を与えると簡単に結合がほどけてしまう。
紙は、細長い繊維が絡み合っているが、繊維自身もより小さなセルロース分子同士の絡み合いで出来ている。

- 教科書などの紙は、機械製造の用紙で、製造では水に浸けている繊維に平らになるよう圧力をかけながら乾燥させる。そのため、出来た紙の繊維の中のセルロース分子の結合には応力がかかったまま固まっている。水で濡れると分子同士の結合がほどけ、かかっていた応力が開放されて分子の自然な状態に戻ろうとするので、繊維が伸びたり、また厚さ方向へも膨らむことになる。これをそのまま乾燥させても元には戻らない。

- 再び濡らして厚さ方向に力をかけながら乾燥させれば、一応平らには出来るが完全に元通りにはならない。

6. 紙の繊維の構造を電子顕微鏡で観察

・電子顕微鏡で紙の繊維を観察・

(1) 電子顕微鏡とは

電子顕微鏡とは通常の顕微鏡（光学顕微鏡）では、観察したい対象に光（可視光線）をあてて拡大するのに対し、光の代わりに電子（電子線）をあてて拡大する顕微鏡のこと。

電子顕微鏡は高分解能の観察が可能である。光学顕微鏡の分解能（2つの点が1つの点としてなく分離して観察される最短の距離）の限界は、可視光線の波長によって理論的にはナノメートル程度に制限されており、それより小さな対象を観察することはできない。一方電子顕微鏡では、電子線の持つ波長が可視光線のものよりずっと短いので、理論的には分解能はのナノメートル程度にもなる。（透過型電子顕微鏡）。光学顕微鏡では見ることのできない微細な対象を観察（観察）できるのが利点である。

・走査型電子顕微鏡

Scanning Electron Microscope

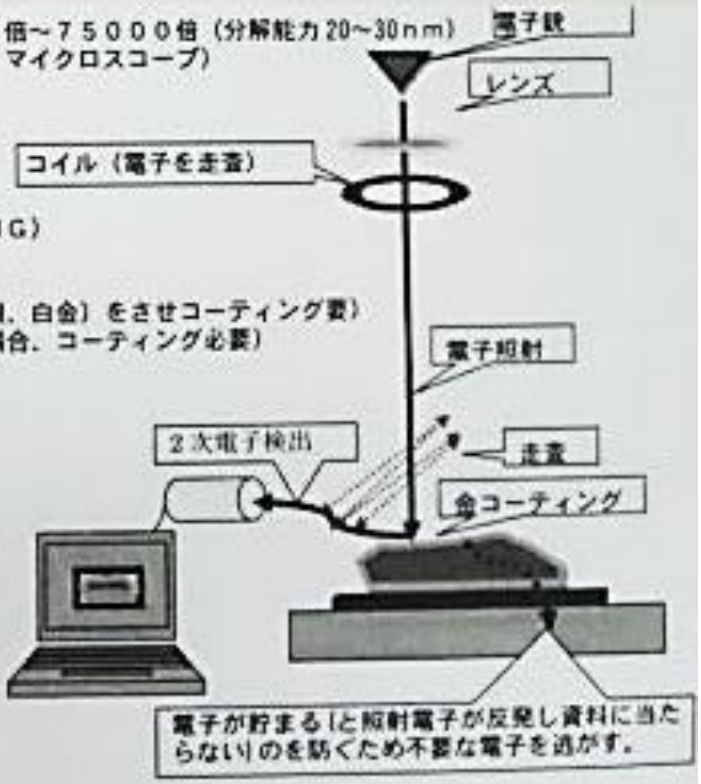
電子顕微鏡の一種。電子線を絞って電子ビームとして対象に照射し、対象物から放出される二次電子、反射電子（後方散乱電子BSE）、透過電子、X線、カソードルミネッセンス（蛍光）、内部起電力などを検出する事で対象を観察する。通常は二次電子像が利用される。透過電子を利用したものはSTEM（走査透過型電子顕微鏡）と呼ばれる。TEMとは違ってサンプルの内部、SEMではうたがいなく表面の構造を観察に観察する。

走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）　日本電子（株）　３５倍～７５０００倍（分解能力20～30ｎｍ）
（ＳＥＭ：スキャン・エレクトロ・マイクロスコープ）

■使用可能な試料の条件
・個体で真空に耐える
・電子ビームに強い（熱に強い）
・取り付けられる大きさ（支持台直径３５ＭＭ）
・観察面が露出（透明なものが覆っているものはＮＧ）
・資料台に固定できること
・電導性がある
（金属はそのまま使用可(*1)。非金属は金等（銀、白金）をさせコーティング要）
（*1：お金など手で触った場合、汚れ等がある場合、コーティング必要）
『補足』コーティングするので色は見えない。

■支持台に設定方法

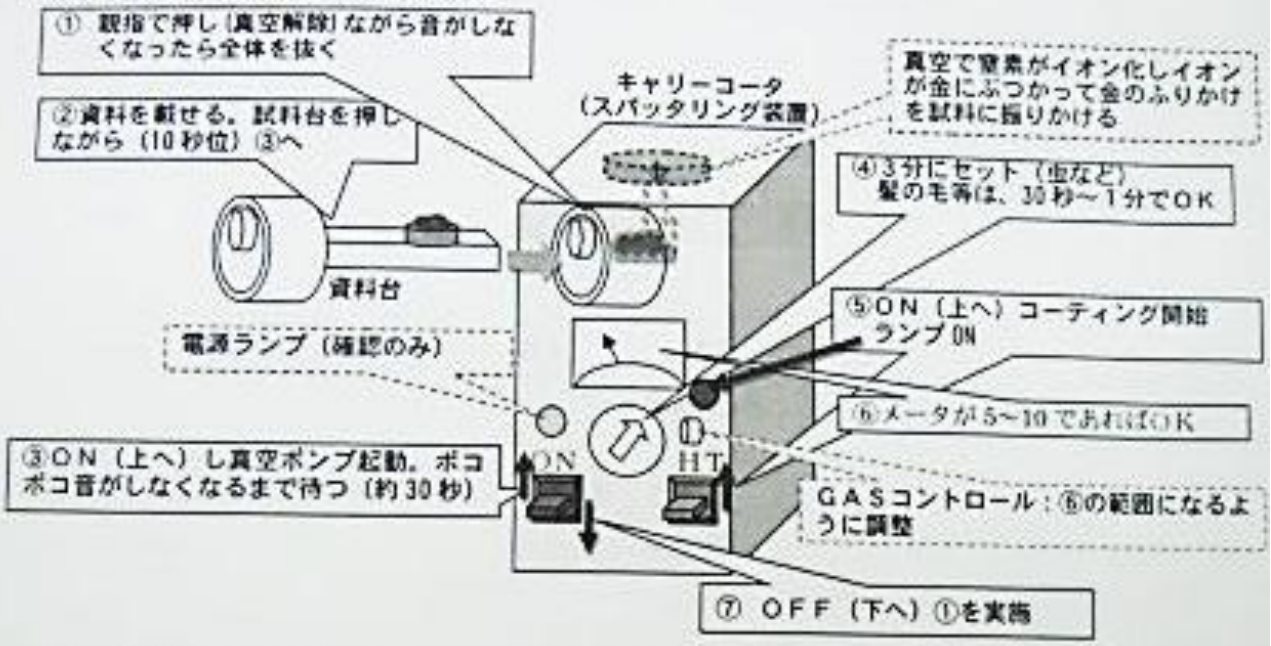
試料が大きい物（高い）は試料台を薄い物を使う



『補足』
突起物は、２次電子電子の放出が多いため明るく見える。平面は、暗めに見える。深度が深い所も暗く見える。

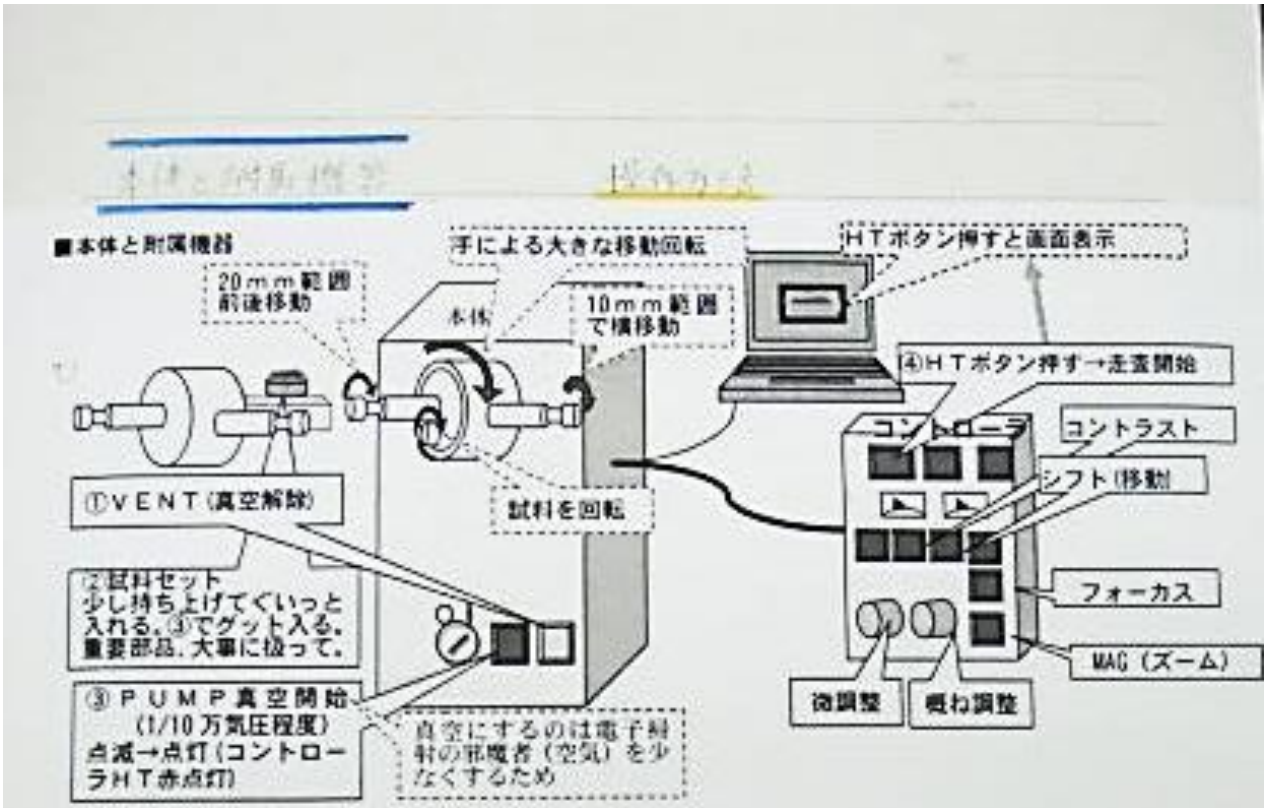
スパッタリング

■スパッタリング（金でコーティング）方法



『補足』保管：空の試料台をスパッタリング装置にセットして "ON"（１０秒程度）　（装置に湿気が入らないのでOK！）

『補足』試料は、日が経つと湿気を帯びたり、使用過ぎるとコーティング破損。→再度コーティング実施。



■フォーカスの合わせ方(コツ)
①35倍で見たい場所を真ん中に
②MAG(ズーム)で思いきり拡大
③フォーカスでピント合わせる(概ね調整ダイヤル)
④フォーカスでピント合わせる(微調整ダイヤル)
⑤あとはみたい倍率で

■終わる手順(次の人のために)
①MAG(ズーム):35倍(最大)に戻す
②マルコントローラのHT押す→映像が消える
③ETN押す。(真空解除)
④試料を取り出す

(2) 紙の繊維の構造を電子顕微鏡で観察する

紙の種類	200倍
再用紙	
繊維がしっかり絡み合っていてあまりすき間がない	
お絵かき帳	
繊維の太さが不揃い すき間がある	

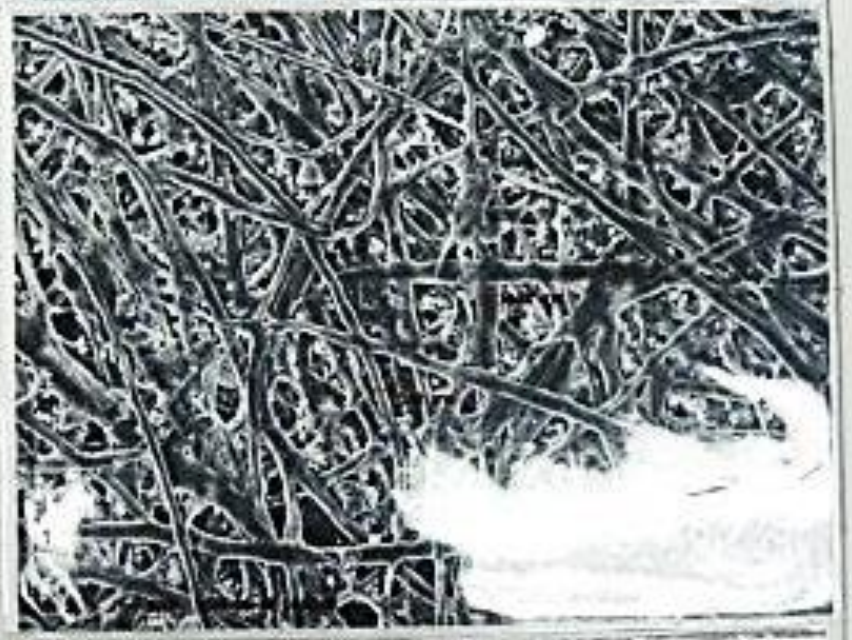
手紙	
繊維の絡み合いが弱い	
コピー用紙	
繊維がしっかり絡み合っているがさいつぶつぶと粉っぽいものが付いている	
ケント紙	
少し太めの繊維がしっかり絡み合い、すき間が少ない	

模造紙

細い繊維が細かく絡み合っている。小さいつぶつぶが沈み付いている。

ノート

細い繊維が絡み合っている。小さいつぶつぶが沈み付いている



クラフト紙

太い繊維が絡み合っている。紙が強そう

紙間

繊維一本一本が
長く細い。一本
ずつ独立

和紙

幅広の太めの繊
維が主体でできる

[illegible]

薄い幅広い繊維
が[illegible]
[illegible]
[illegible]

折り紙

繊維がつぶれてやすい状態のものが混じっている

厚紙

少し太めの固そうな繊維が絡み合っている

ろこが

太めの繊維が絡み合っている。繊維がケバ立っている

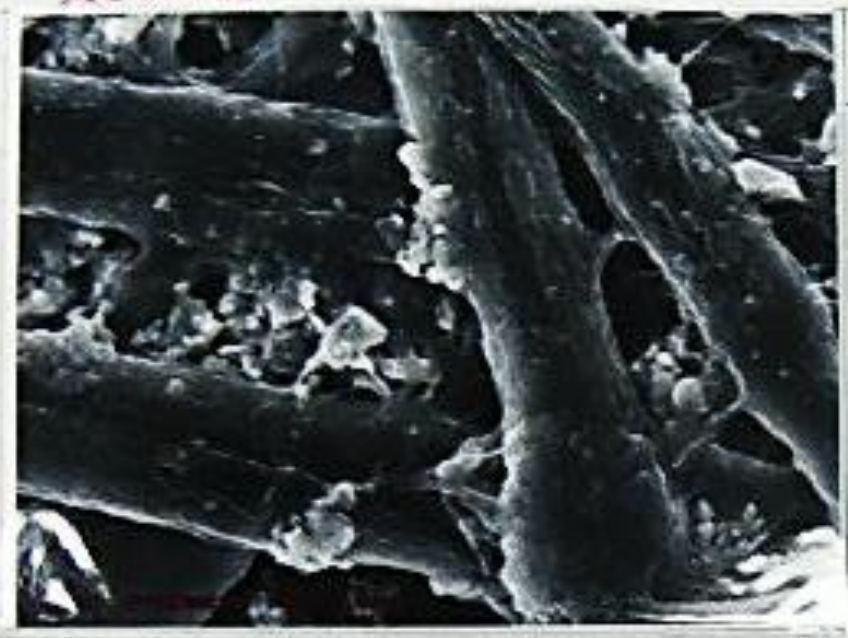
ダンボール

つぶれたような繊維と太い繊維が混ざり合っている

- 紙によって繊維の状態が全く違うことがわかった。
- ノートや、板書紙は細い繊維が細かく絡み合っていて繊維の間には、小さい穴がたくさんあいていることがわかった。
- トレーシングペーパーはすき間無し、細い繊維が重なり合っていた。
- 新聞紙やダンボールには、まがった太い繊維が見られる。これは、再生紙だから、前の紙の状態がつぶれているのではないだろうか。

(3) 水で濡らした後の紙の繊維のようす

2000倍



コピー用紙

紙の繊維と繊維の間に紙を作るときに使われるサイズ剤、填料、紙力増強剤、などのような小さなつぶつぶがあるのがわかる。

水で濡らして乾かした
コピー用紙

濡らす前には見られなかったような小さなつぶつぶがほとんど見られない。が付着されたと思われる。この事によって、乾いた後の紙は、艶や色が変化したためか。

500倍

コピー用紙

繊維がしっかり
絡まっている
小さなつぶつぶ
も付いていて、
すき間が少ない

水で濡らして
乾かした
コピー用紙

繊維と繊維の間
があいて、絡み
がゆるい。
つぶつぶも多く
すき間があいて
いる。

・水で濡らした紙は水素結合がほどけて、乾燥すると再び付くが元の状態とは異なってしまうことがわかる。濡らす前の紙と濡らして乾かした紙の繊維を比べることでわかる。

7、実験

実験1　紙の種類による水の染み込み方の違い

①目的

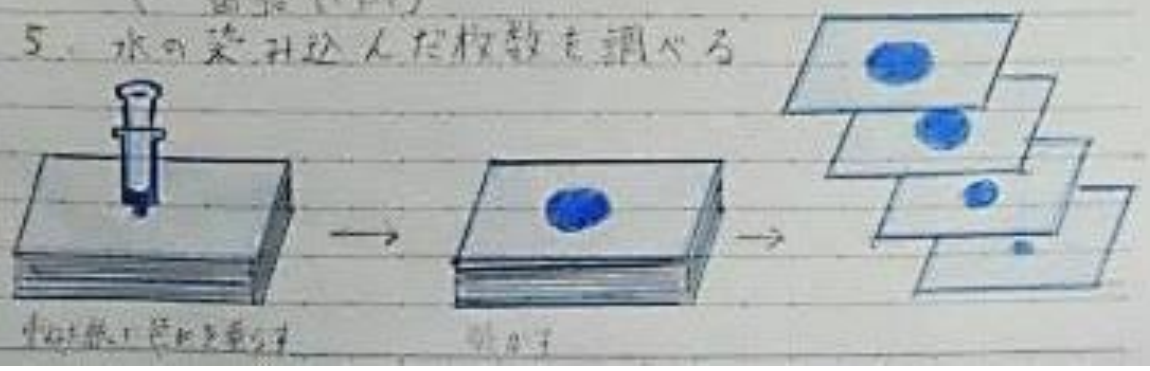
紙の種類の違いによって水を垂らした時の水の染み込み方に違いがあるか調べる

②実験に使用した物

紙・画用紙・お絵かき紙・半紙・コピー用紙
・ケント紙・模造紙・ノート・クラフト紙
・新聞紙・和紙・トイレットペーパー
・折り紙・厚紙・その他に使用されている紙
・マニカール
色水（水、絵の具）
注射器　定規　時計

③実験方法

1. 10cm×10cmの紙を各10枚重ねる
2. 1ccの色水を紙の上2cmから垂らす
3. 水が染み込み、表面の紙に水が浮いていない状態までの時間を計る。
4. 1番上の紙に染み込んだ大きさを測る（一番長い所）
5. 水の染み込んだ枚数を調べる



実験の様子

実験に使用した器具

実験した方法

④予想・仮説

・紙の種類によって、水の染み込み方はそれぞれ異なる
・厚い紙はなかなか染み込まずに表面にたまっている時間が長い
・厚い紙は下の紙に染み込まず、一枚目で広がる
・表面のつるつるした紙は、なかなか染み込まずに表面でたまっている時間が長い
・表面のつるつるした紙は、下に染み込まず、一枚目で広がる。
・半紙や和紙などの薄い紙や表面のザラザラした紙は染み込み易く、一枚目での広がりはあまり大きくならず、下の紙に染み込む

⑤結果

紙		染み込んだ時間	染みた枚数	1枚目の染みた面積	気付いた事
画用紙	1	11時間30分	1	1.3	なかなか染み込まずに表面に溜まっていた。2枚目には染み込まずに表面で溜まった。
	2	11時間30分	1	1.7	
	3	11時間30分	1	1.7	
	4	11時間30分	1	2.2	
	5	11時間30分	1	2.2	
ちえがき帳	1	11時間30分	1	2.2	なかなか染み込まずに表面に溜まっていた。2枚目には染み込まずに表面で溜まった
	2	11時間30分	1	1.6	
	3	11時間30分	1	1.7	
	4	11時間30分	1	1.8	
	5	11時間30分	1	2	
半紙	1	7秒	10	5.5	水を垂らしたら一瞬で大きく広がり、10枚目にも染み込んだ。10枚目の面積も、1枚目とほぼ同じ大きさ
	2	1秒	10	6	
	3	7秒	10	7.5	
	4	5秒	10	6.3	
	5	8秒	10	7	

紙		染み込んだ時間	染みた枚数	1枚目の染みた速さ	気付いた事
コピー用紙	1	37分	4	7.8	ゆっくり染み込んだ
	2	19分	6	6.5	1枚目にはりんか
	3	25分	5	7.1	ものすごく6～6枚目
	4	52分	4	6.6	まで染みこんだ
	5	40分	6	6.4	
ケント紙	1	11時間35分	1	2.5	なかなか染み込まず
	2	11時間40分	1	2.8	に表面に留まっていた。3枚目に少しだけ染み込んだ。長く置くと
	3	12時間15分	2	2.4	
	4	11時間10分	2	2.7	
	5	11時間35分	1	2.4	
模造紙	1	11時間45分	2	2.1	なかなか染み込まず
	2	11時間50分	3	2.4	に表面に留まっていた。2～3枚目まで
	3	11時間40分	2	1.8	
	4	12時間5分	2	3	染み込んだ。
	5	11時間10分	3	2.4	
ノート	1	6時間10分	10	4	なかなか染み込まず
	2	5時間45分	10	3.5	すに表面に留まっ
	3	6時間20分	10	3	ていた。時間をか
	4	5時間30分	10	3.6	けて1枚目まで染み
	5	6時間10分	10	4.5	込んだ。
クラフト紙	1	12時間10分	1	2.9	なかなか染み込まず
	2	12時間20分	1	2	に表面に留まっていた。
	3	11時間40分	1	2.6	3枚目に染み込んだ。
	4	11時間55分	1	2.1	3枚目に染み込んだ。
	5	12時間30分	1	2.4	
新聞紙	1	42分	3	9.2	水を垂らしたら瞬
	2	38分	3	9	に染みこむ。3枚
	3	37分	3	8.5	目まで染み込んだ。
	4	48分	4	10	3枚目まで染み込んだ
	5	5.9	3	7	

紙		染み込んだ時間	染みた枚数	1枚目の染みた直径	気付いた事
和紙	1	7秒	10	5.5	水を垂らしたら一瞬で広がり10枚目に染み込んだ。
	2	7秒	8	5.5	
	3	8秒	10	6	
	4	8秒	9	5.6	
	5	7秒	10	5	
トレーシングペーパー	1	13時間10分	1	2.1	薄いのですぐに染み込むと思っていたが一度染み込まなかった表面に蒸発した。
	2	13時間5分	1	2.2	
	3	13時間5分	1	3	
	4	12時間40分	1	2.5	
	5	13時間45分	1	2.4	
折り紙	1	12時間10分	1	2.6	なかなか染み込まずに表面に溜まっていた。2枚目からは早めに表面が蒸発した。
	2	12時間15分	2	2.5	
	3	13時間10分	1	2.7	
	4	12時間20分	2	3	
	5	12時間40分	1	2.4	
厚紙	1	6分	1	6.2	5~7分で染み込む感じ1枚目を染ませた時は2枚目は少し染みた
	2	5分	2	6	
	3	5分	2	5.8	
	4	7分	2	5.8	
	5	6分	2	5.6	
キッチンペーパー	1	1分	5	7.4	水を垂らしたら直ぐに広がり染み込んだ。水滴が小さかったからかもしれない。
	2	1分	3	9	
	3	1分20秒	4	9.3	
	4	1分	4	8.5	
	5	1分30秒	4	8	
ダンボール	1	1時間15分	1	7	水が広がりにくかった。1枚目の上の方は乾いていたが下の方は濡れていた。
	2	1時間30分	1	6.5	
	3	1時間45分	1	7.3	
	4	50分	1	6.4	
	5	1時間10分	1	6.5	

画用紙　　平均　1枚

おえかき帳　　平均　1枚

半紙

平均 14 枚

コピー用紙

平均 5 枚

ケント紙

模造紙

ノート　　平均　10秒

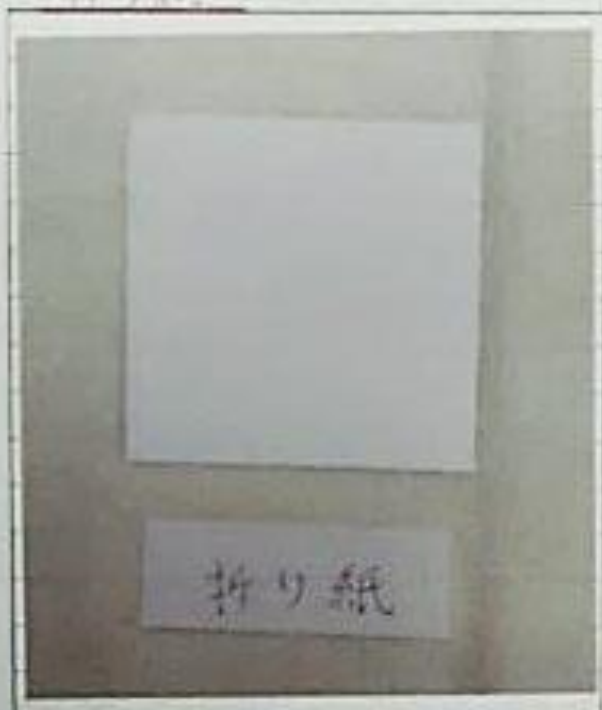
クラフト紙　　平均　1秒

新聞紙　　平均　5枚

和紙　　平均　4.4枚

トレーシングペーパー　　予想　1枚

折り紙　　予想　1枚

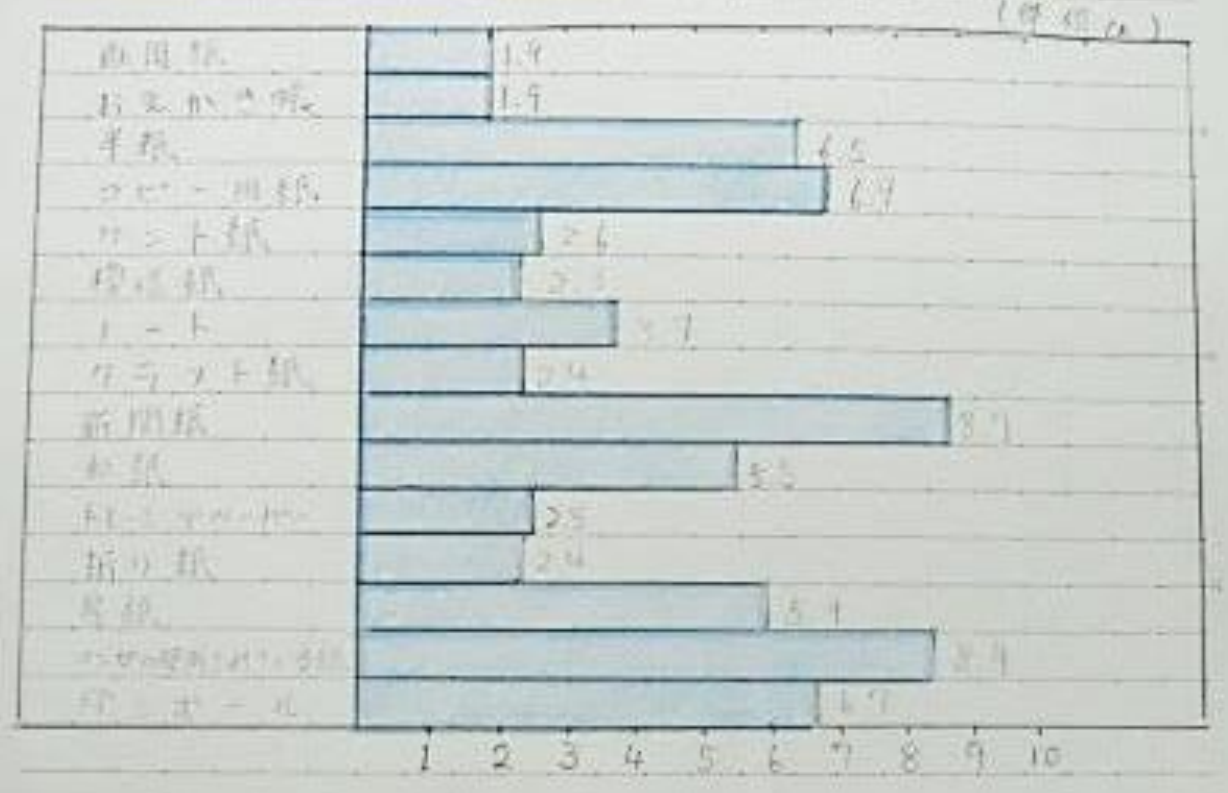


厚紙

オンクに使用されている紙

(実験5回の平均)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1番上の選み込んだ白紙　（実験5回の平均）



⑥考察

・水の染み込む時間、枚数、水の広がり方は、紙の種類の違いで異なった。
・半紙、和紙は水を垂らしたら直ぐに染み込み、広がり大きく、下の紙にも染み込んだ。
・表面がつるつるした、トレーシングペーパー、クレート紙、折り紙、模造紙、クラフト紙、画用紙、おえかき帳は、なかなか染み込まず、水が広がらず、表面で留まっていた。
・厚紙、ダンボールは厚さがあるので、染み込まないと思っていたが一枚目で大きく広がり染み込んだ

⑦結論

・紙の種類の違いで、水の染み込みはやさも、広がり方も、枚数も異なることがわかった
・水の染み込み方は、紙の厚さや薄さでは決まらない。
・紙の表面がつるつるしている紙は、なかなか染み込まない、予想では一枚目で広がると思っていたが、広がらずに小さく留まった状態だった。
・紙の表面がザラザラしている紙は、染み込みが速く、予想では一枚目では広がらず、すぐにとおれてしまうと思っていたが、大きく広がった

⑧はじめに疑問点

・紙の種類の違いで、水の染み込み方は異なることがわかった。そこで水で濡れた後に乾いた時にどうなる、しわも紙の種類の違いで異なるのではないだろうか

実験2　紙の種類による、水で濡らした後、乾いた時のしわになり易さに違いはあるか

①目的

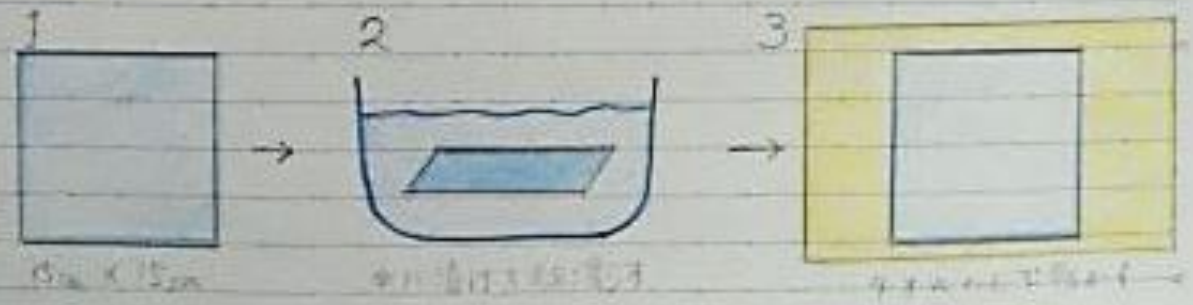
紙の種類を変えて、水で濡らした後、乾かしたときにしわになり易い紙としわになり難い紙を調べる

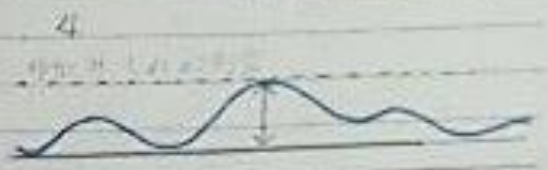
②実験に使用した物

紙・画用紙・おえかき帳・半紙・コピー用紙
・ケント紙・模造紙・ノート・クラフト紙
・新聞紙・和紙・トレーシングペーパー
・折り紙・厚紙・マンガに使用されている紙
・ダンボール
水、洗面器、タオル、定規、ノギス

③実験方法

1. 15cm×15cmの紙を用意
2. 紙を水に浸ける、充分濡らす
3. タオルの上に平置きして乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれを元の紙と比較する





一番高くなっている部分
紙をノギスで測定

使用した紙

1段目から　厚画紙
コピー用紙
画用紙
折り紙

2段目　お絵かき帳
半紙
和紙(淡色系)
和紙(はれ紙)

3段目　ルーズリーフペーパー
トレーシングペーパー
トート
クラフト紙

4段目　ハガキ程の厚い紙
新聞紙
障紙
ケント紙

【色分濃い順】

1段目から　クラフト紙
トレーシングペーパー
画用紙
折り紙

2段目　ケントボール
ケント紙
和紙(淡色系)
厚画紙

3段目　新聞紙
トート
お絵かき帳
コピー用紙

4段目　ハガキ程の厚い紙
障紙
和紙(はれ紙)
半紙

④予想・仮説

- 薄い紙の方が柔らかいのでより多くのしわができる
- 厚い紙は大きくゆがみ、しわにはなり難い。
- 紙の博物館で新聞の紙は両面から内側に力を加えて製造されていて、画用紙など裏、表がある紙は片面からの圧で製造されていると教わったので、新聞紙のゆがみ、しわになり難く、画用紙などはしわになり易い。

- 実験1で水が染み込み易かった紙は、より多くの水を吸収していそうなのでしわになり易い

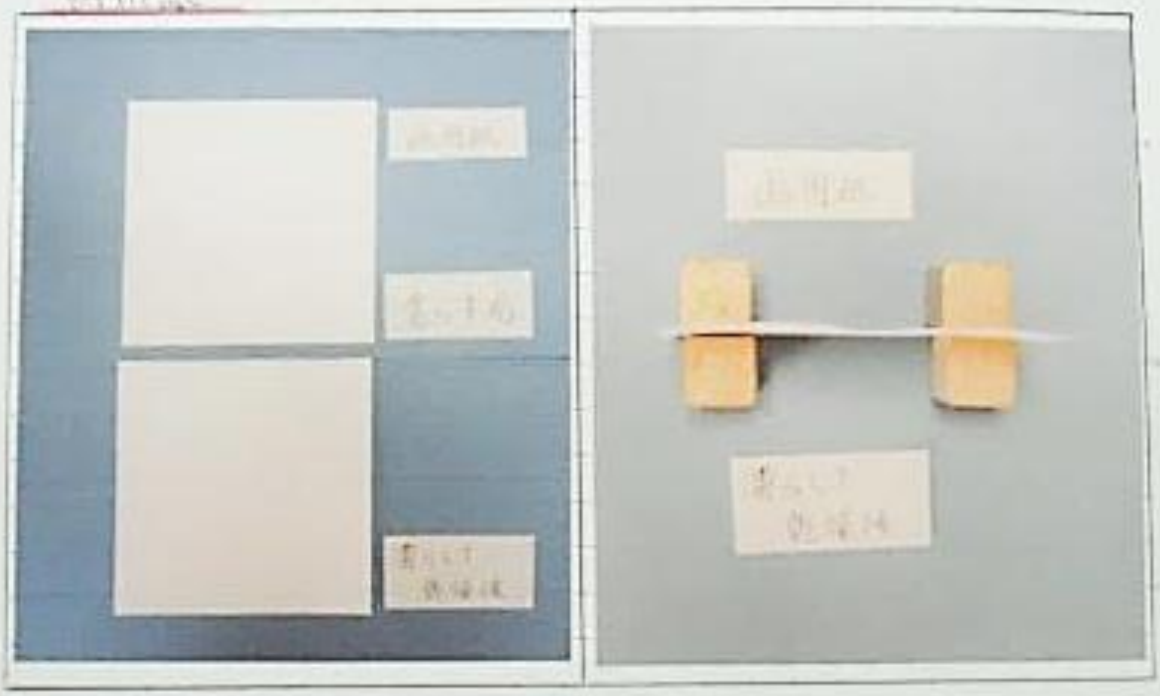
⑤結果

(単位mm)

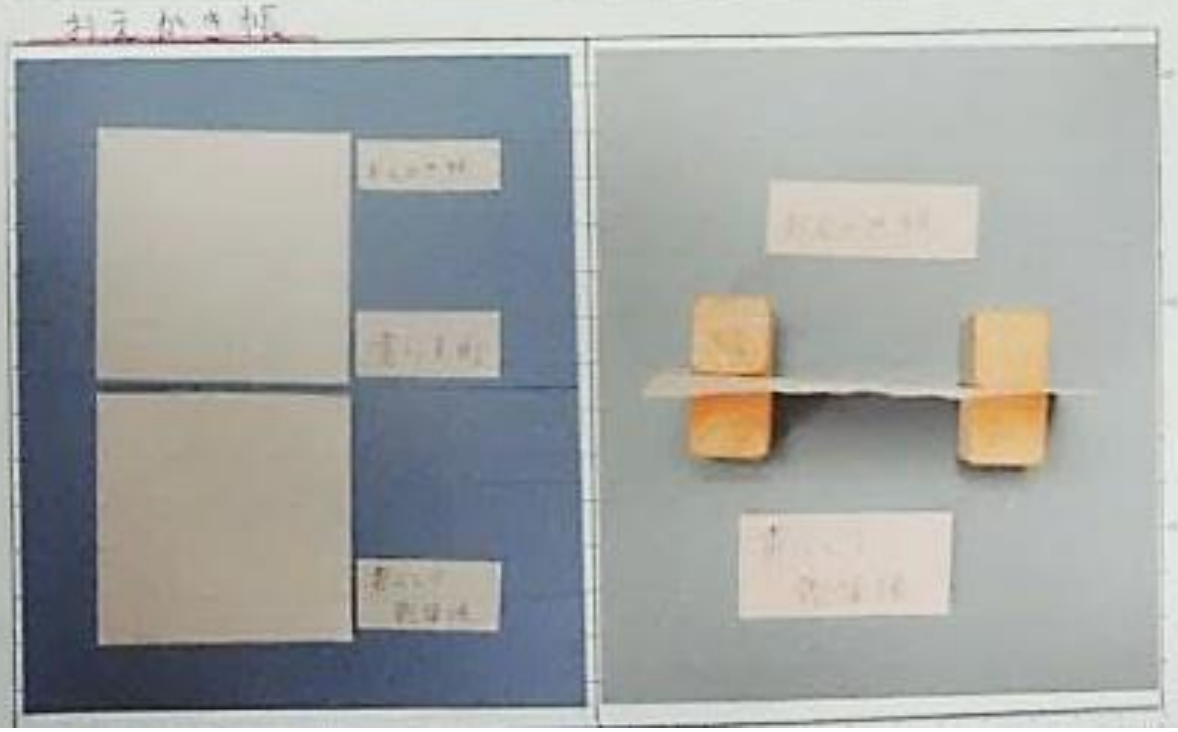
紙	1	2	3	4	5	気付いた事
画用紙	6	3.5	4	5	5.5	あまりしわにならずに結合した
おえかき帳	3.5	3.5	2	5	4	細かなしわが多くでました
半紙	3	3	3	4.5	3	細かなしわだけ多くできた
コピー用紙	4.5	4	6	6	3	全体にごつごつした感じが強かった
ケント紙	5	3.5	4	4	3	あまりしわにならずに結合した
模造紙	5	5	6	5	4	全体にごつごつした感じが強かった
ノート	7	4.5	4	4.5	5	全体にごつごつしていた感じがあった
クラフト紙	9	8	7	7	8	全体にごつごつしていた
新聞紙	3.5	3	3	3	3.5	細かなしわが多く出てきた
和紙（民芸紙）	3.5	7	4	3	3	細かなしわが多くでました
和紙（小川和紙）	3	4	4	5	4.5	細かなしわが多くでました
トレーシングペーパー	6・5.5	6	6	6	6	紙が透明のようになって全体にごつごつした
折り紙	4	3	4	2	4.5	全体にごつごつしていました
厚紙	10	7	8	8	7.5	気泡のようなものができた 紙がかたかった
マンガに使用されている紙	4.5	3	4	7	4	細かなしわが多くでました
ダンボール	6	8	4	7	7	紙がかたかった 側面がかたくなっていた

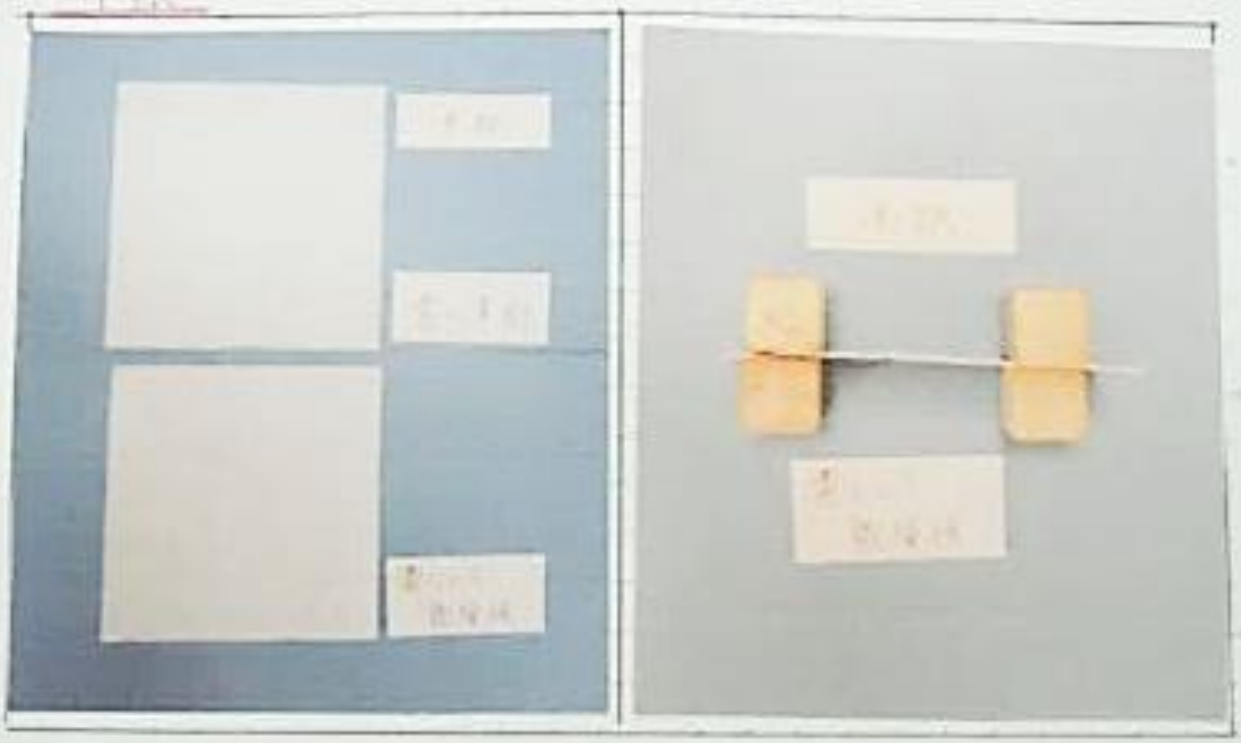
ⓗ濡らす前 ⓘ濡らして乾燥後	濡らして乾燥後 裏から見た中が丹

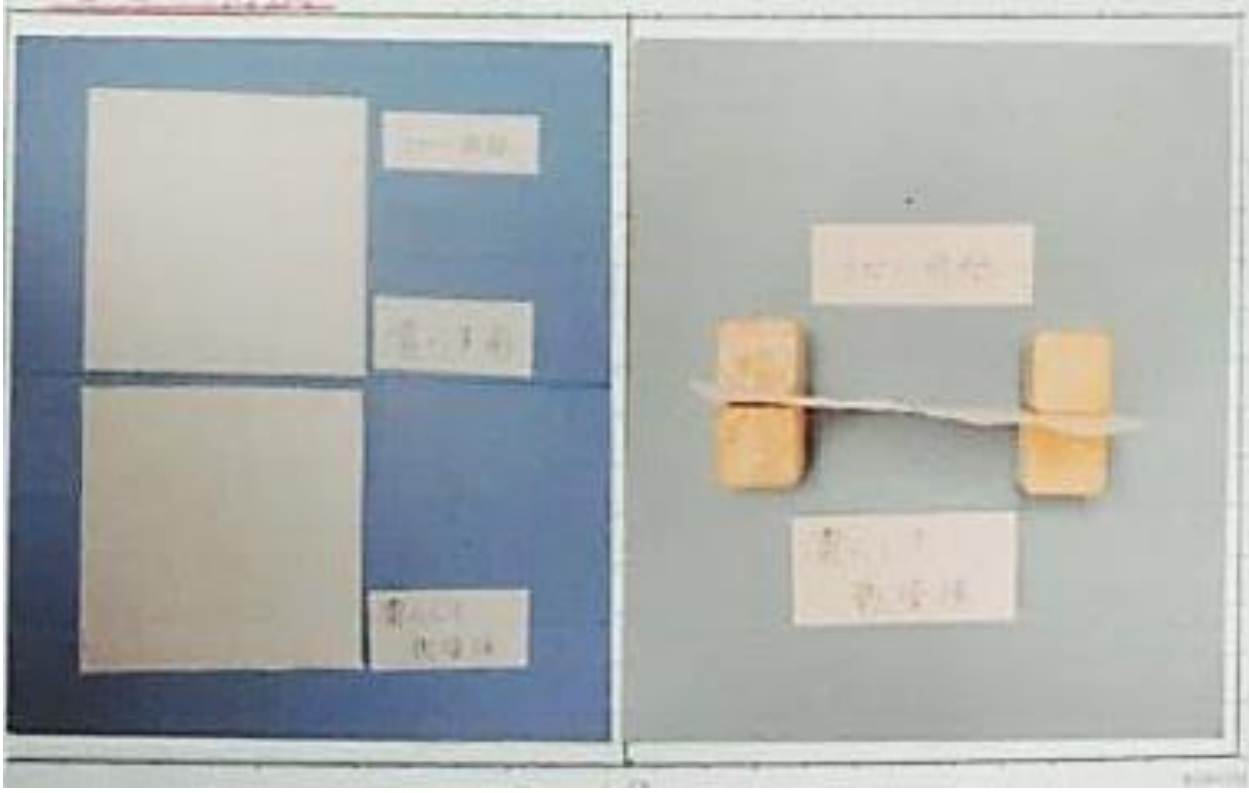
画用紙

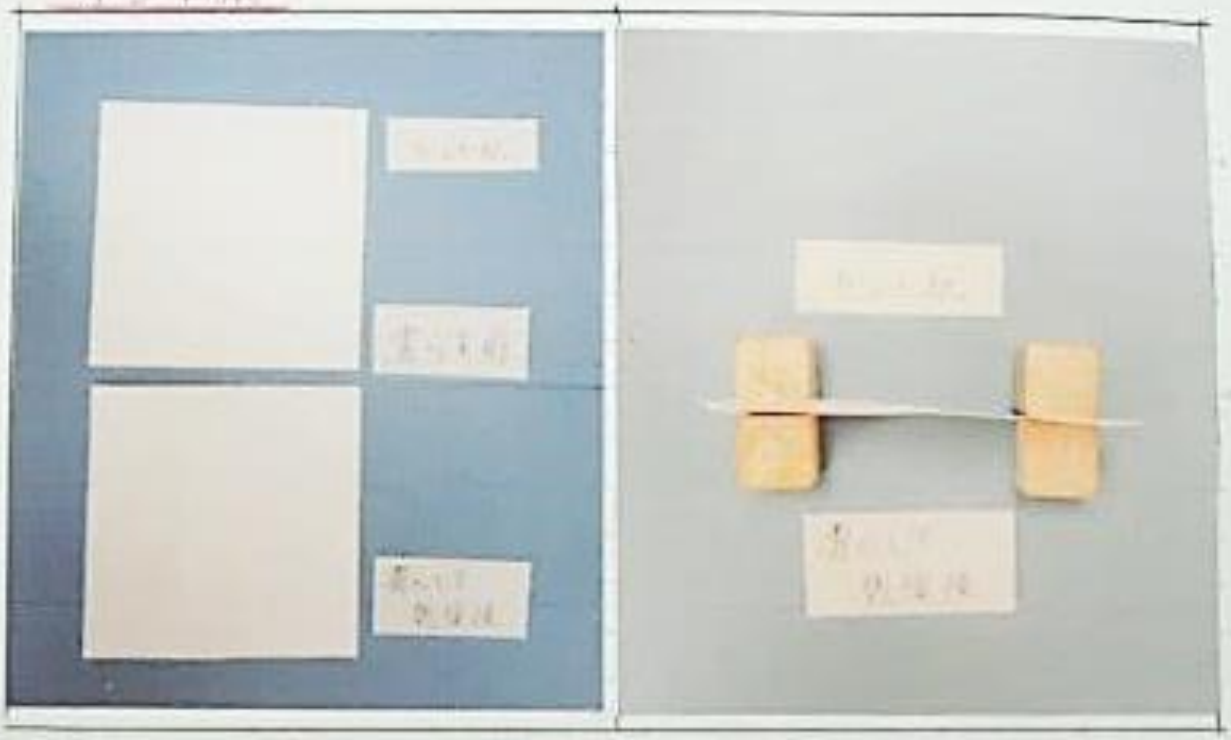


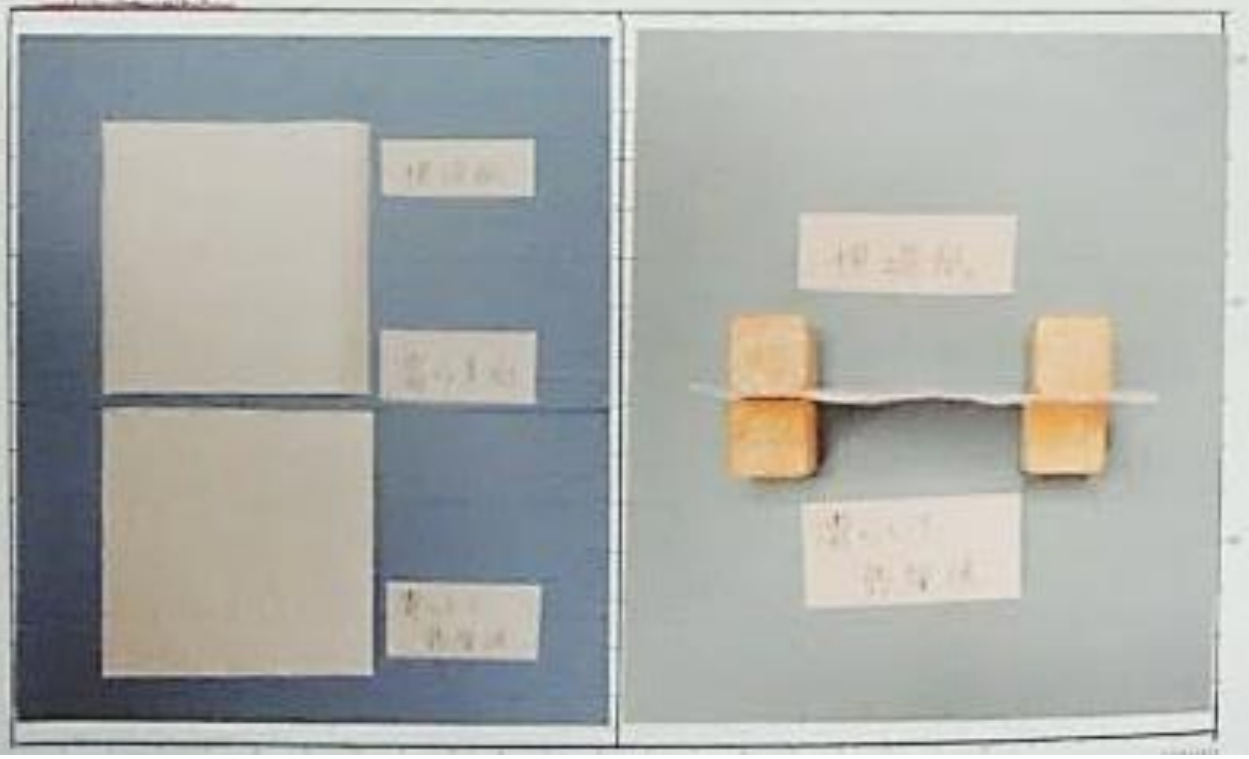
折り紙



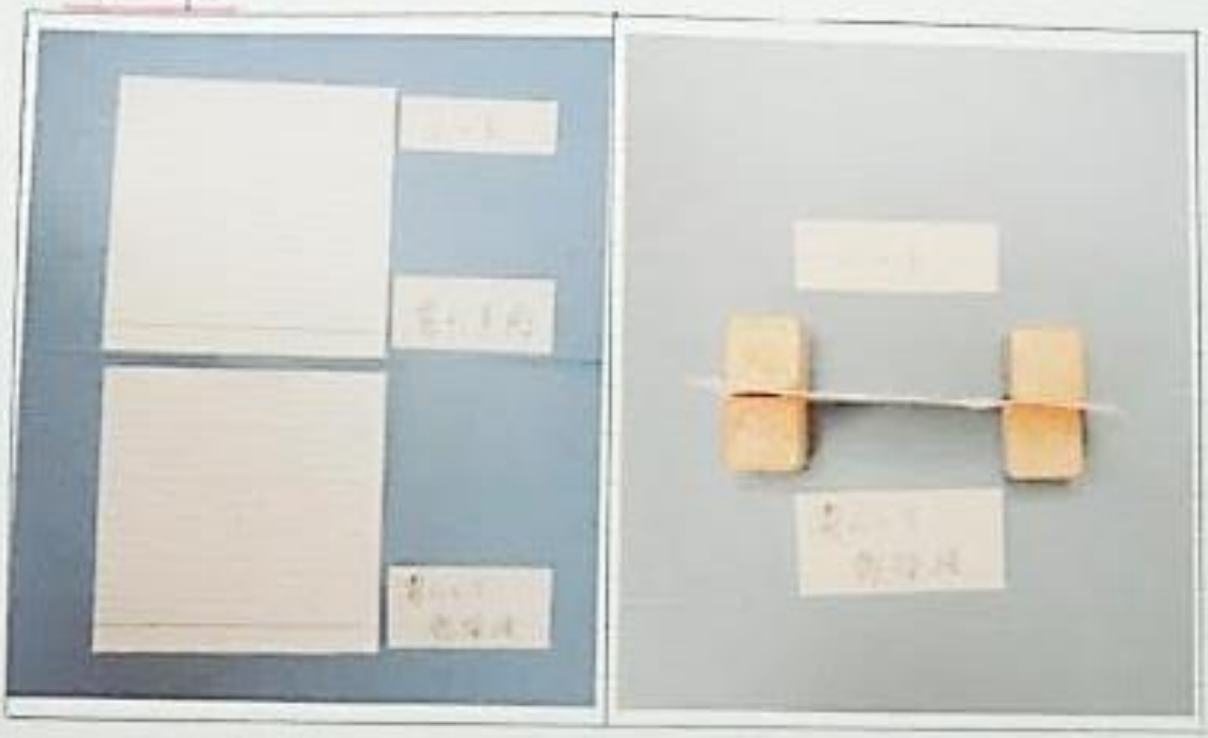




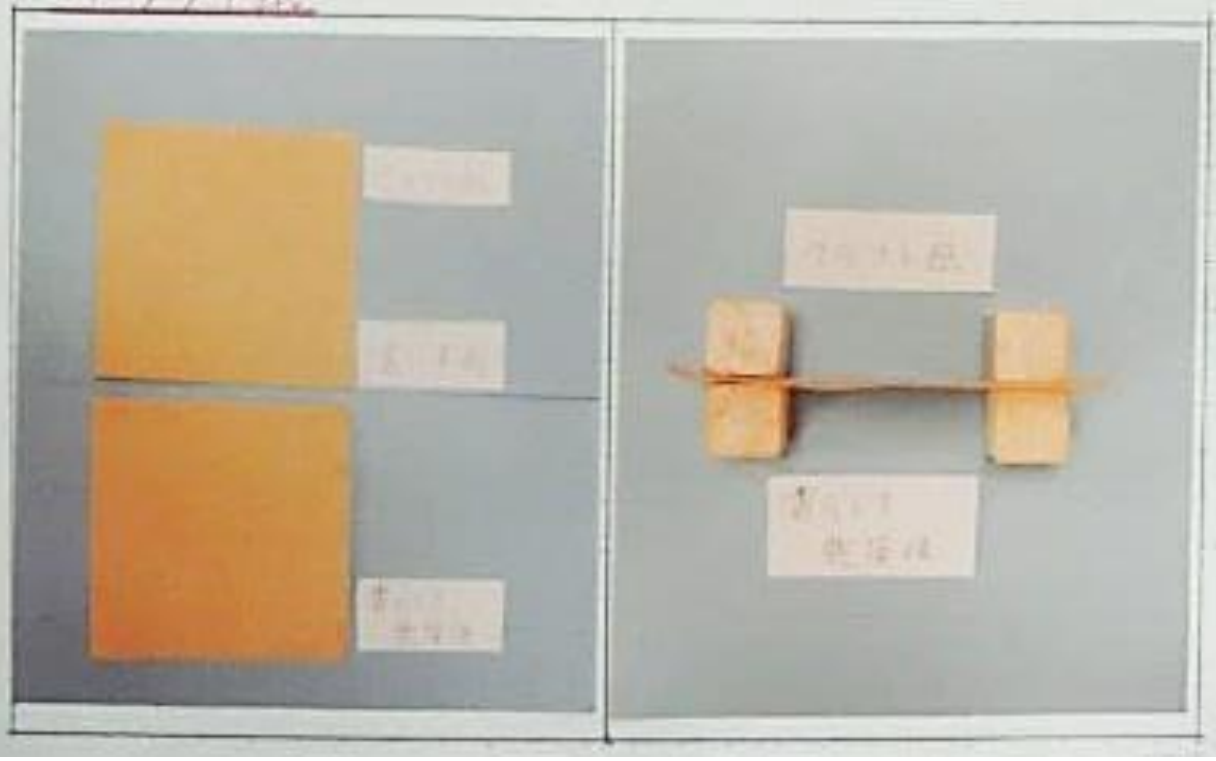


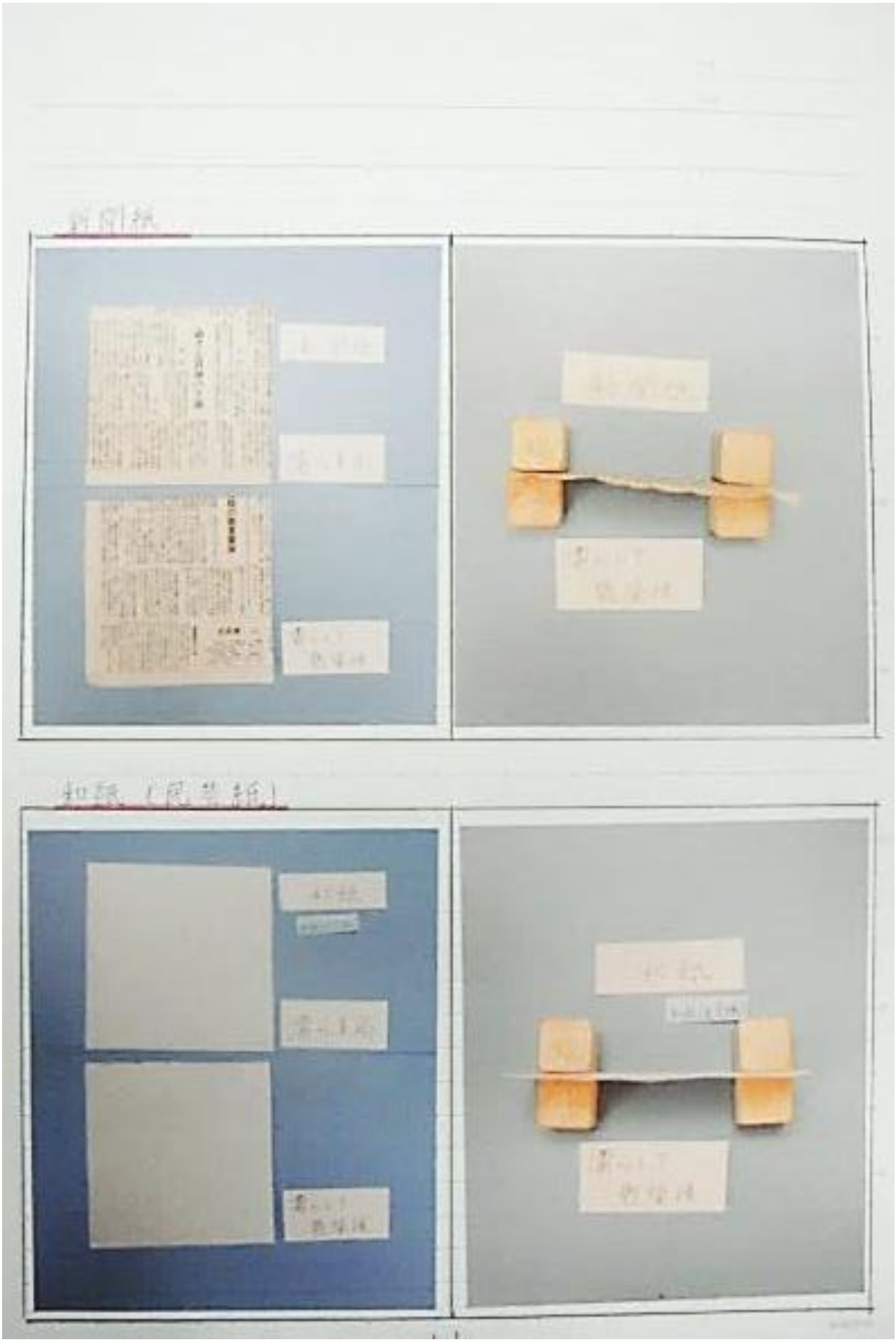


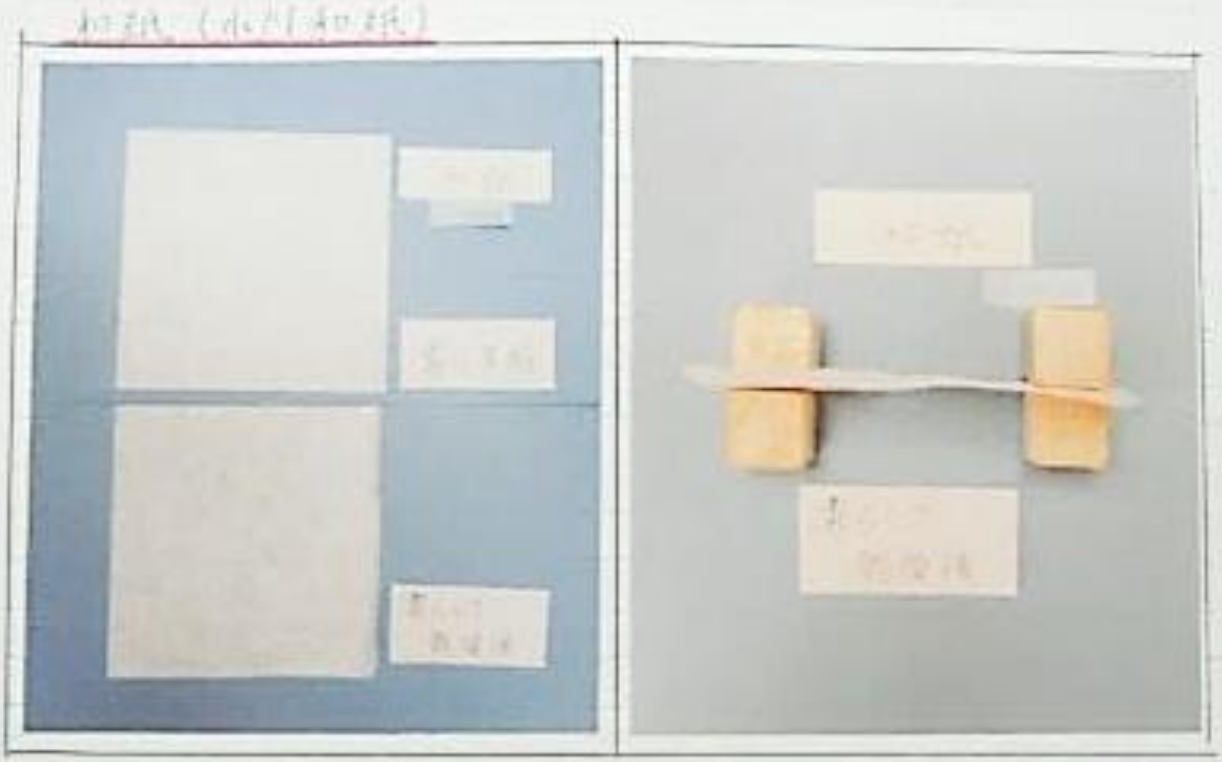
ノート

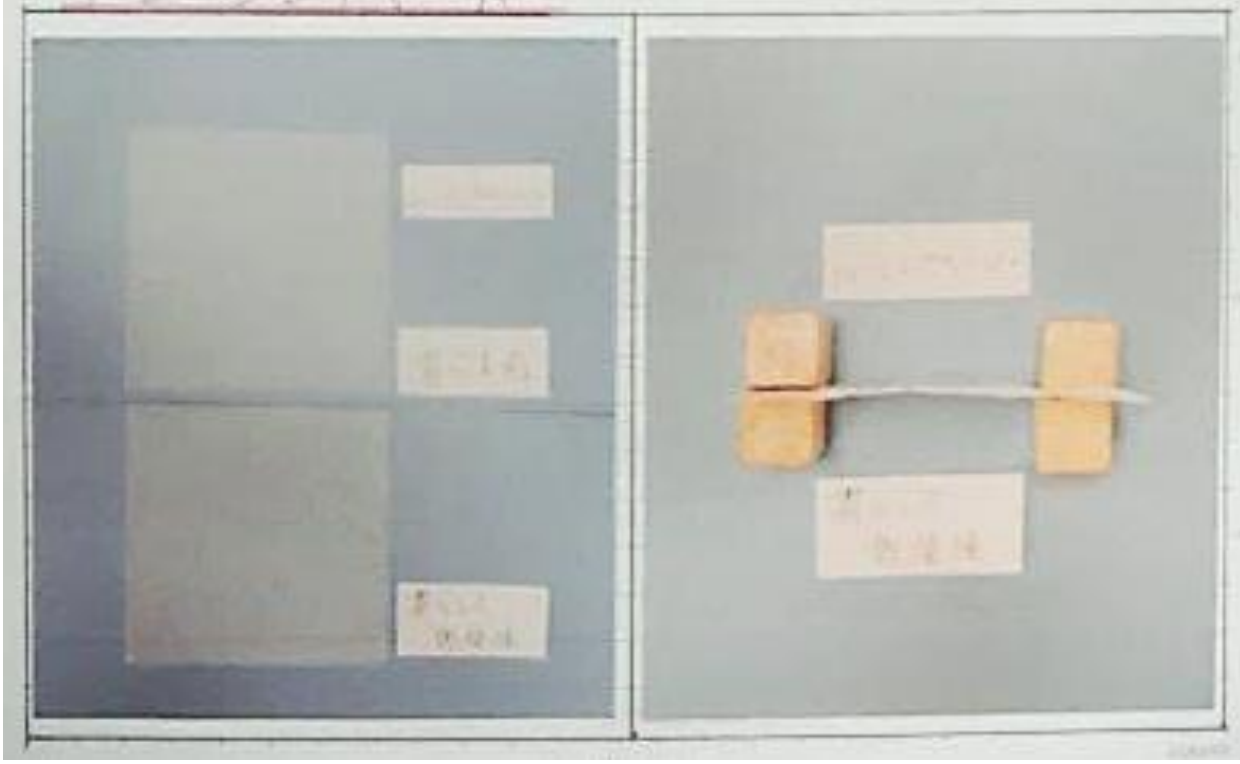


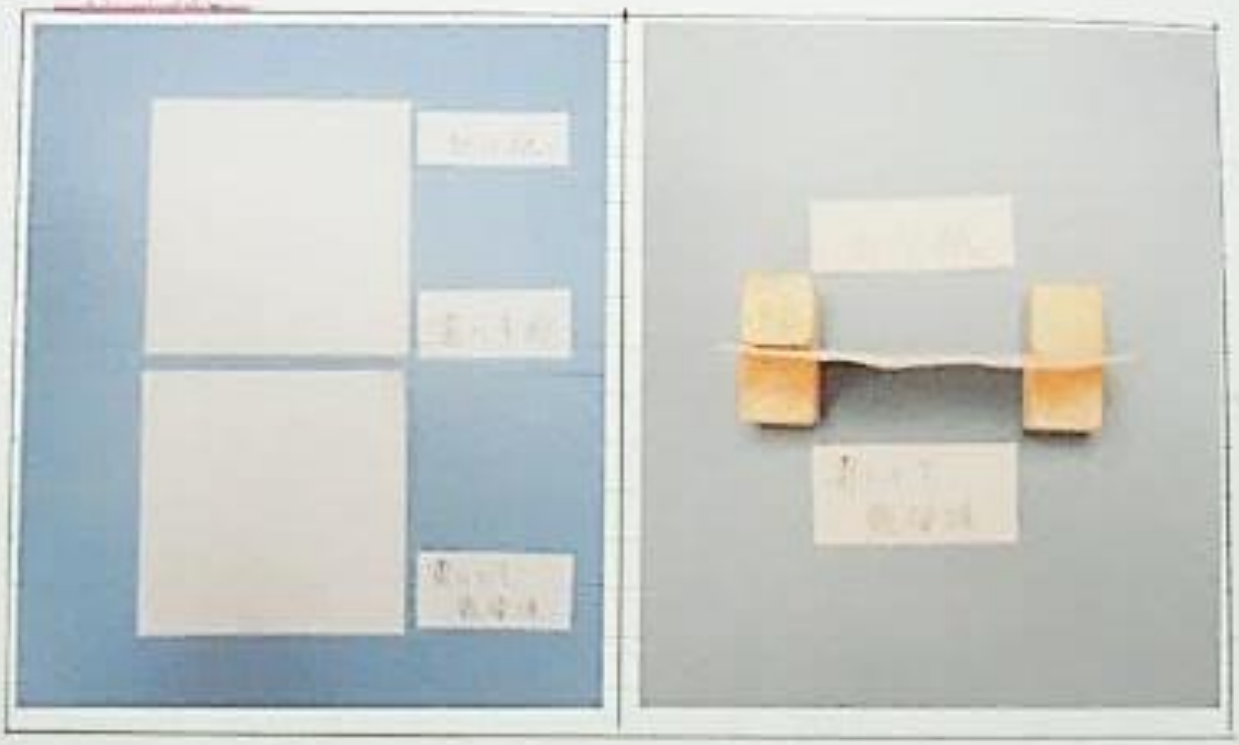
クラフト紙

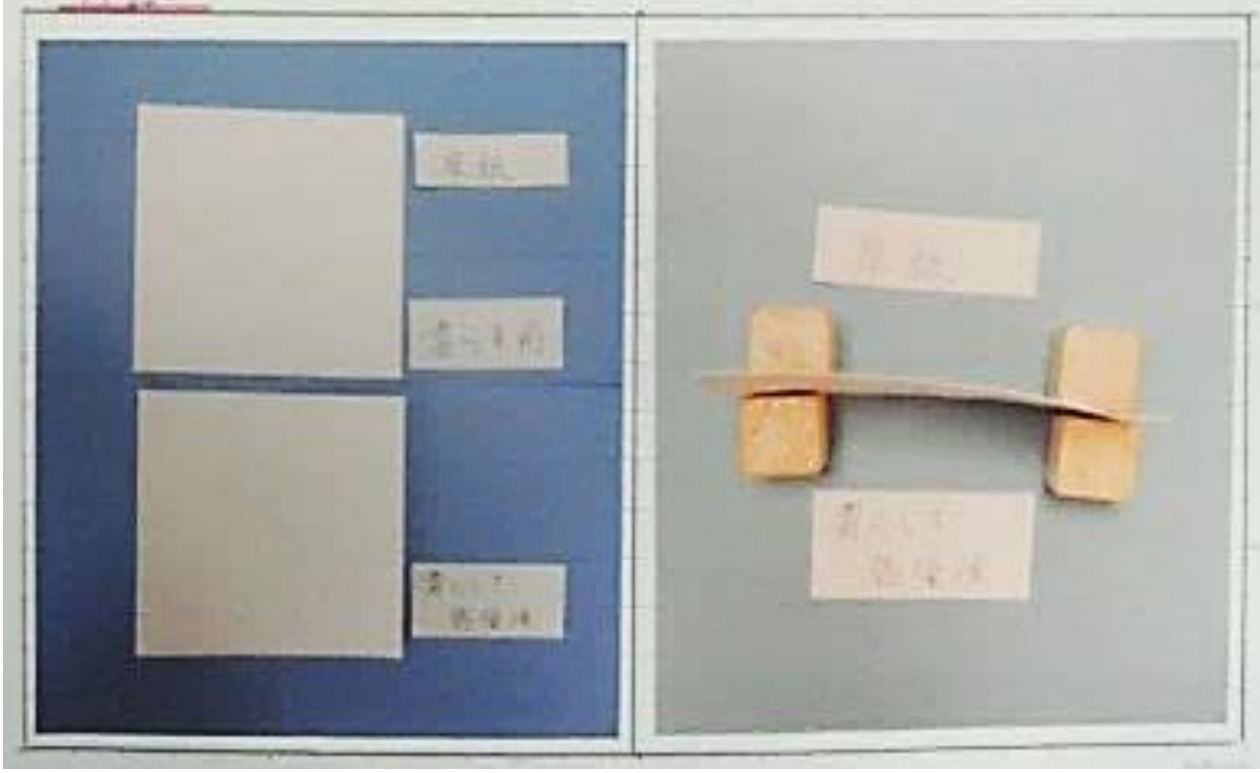


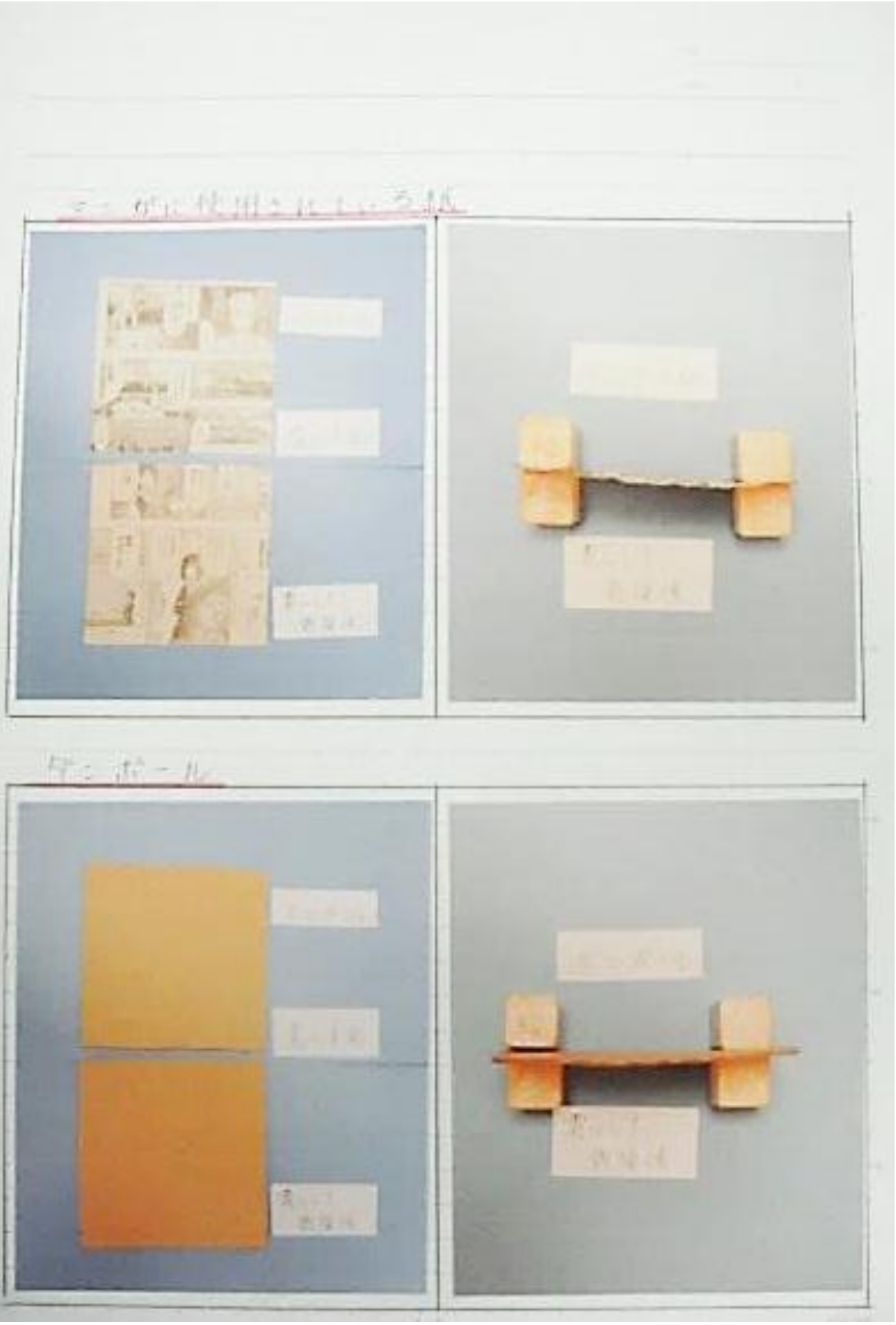












紙の種類の違いによるゆがみの違い　（単位mm）

⑥考察

・紙の種類の違いで、水で濡らした後に乾いた時のしわのでき易さが異なった。
・できたしわやゆがみも紙の種類の違いで異なった。
・画用紙やケント紙はあまりしわにならずにたゆがみがはじた。
・厚紙は反る、ゆがみがはじた。それに加えて2cm、3cm位の膨らみが出来た。
・薄い紙は、全体に均一のしわができた。
・厚い紙は側面が波打つしわができた。
・乾いた後の紙は、剥がれるとかなりガラして、濡らす前の紙とは異なる性質がある。

⑦結論

・私の種類の違いで水で濡らした後に焼いた紙のくねっとできるところにしわがあるとわかった。
・マニホールドの情報の少ない紙は、しわがやや少なく、全体でみればあまりなかった。これは、ダーマペーパーの方は、どのなかの繊維がよりよりとしていると言える。つまり関係していると思われる。
・小麦粉とカーボン紙の図、見ては、濡れた後に焼いたものしわができ難く、白っぽいものがみられた。逆に濡れた後には、全体にわたってしわが生じ、模様となった。濡れた後の方がしわになり易い事がわかった。

⑧はじめに課題

・私の種類の違いで、水に濡らした後に焼いた時のしわができ易さは異なる事がわかり、濡れた後のちがいにより焼き易い事がわかったが、紙と紙でも大きさが違うとしわのできやすさも違うのだろうか。

実験3　紙の大きさによる、水で濡らした後、乾いた時のしわになり易さに違いはあるか

①目的

紙の大きさを変えて、水で濡らした後、乾かした時にしわになり易さに違いがあるのか調べる

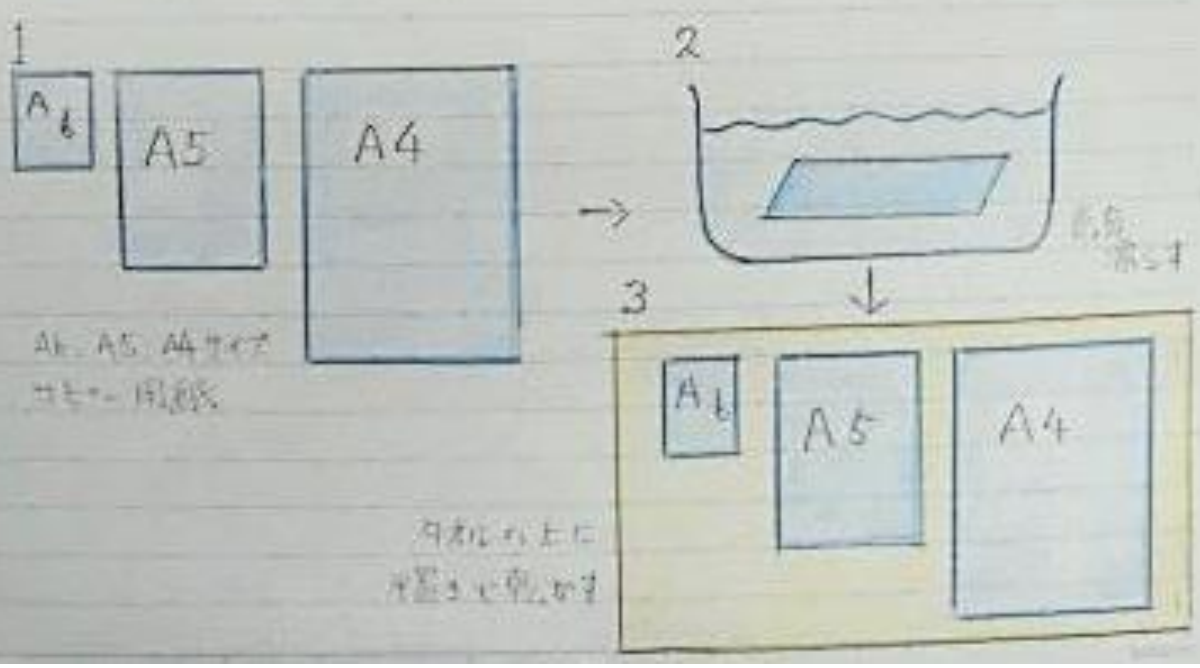
②実験に使用した物

紙・コピー用紙　A6、A5、A4サイズ

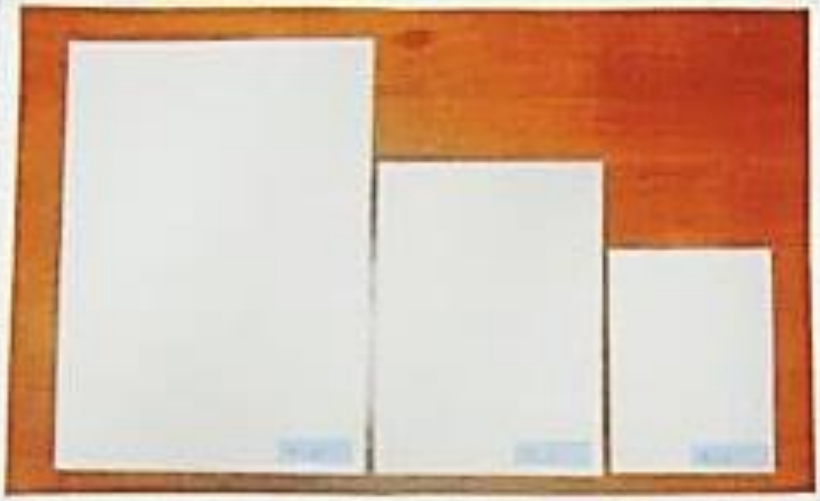
水、タオル、洗面器、ノギス

③実験方法

1. A6、A5、A4サイズのコピー用紙を用意
2. 紙を水に漬ける。充分濡らす。
3. タオルの上に平置きにして乾かす。
4. 完全に乾いたら、それぞれを元の紙と比較する



使用した紙



左から
A4
A5
A6

私が濡らす

左から
A4
A5
A6

④予想・仮説

- サイズの大きな紙の方が伸縮の幅があるので乾いた時のゆがみやしわが大きくなる
- A4サイズがしわになりやすい

⑤結果

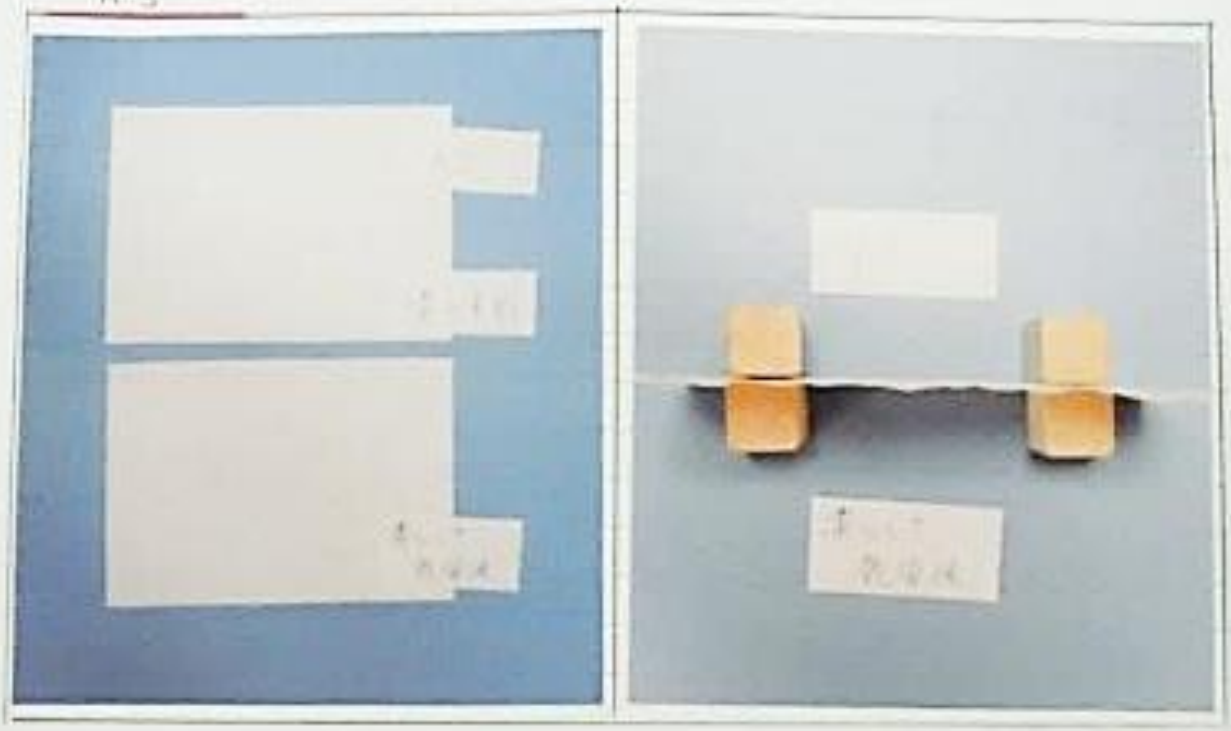
(単位mm)

	1	2	3	4	5	気付いた事
A6	4	4	3	4	5	全体的に凸状のしわが出た
A5	5	4	4	5	4	全体的に凹のしわが出た
A4	5	5	3	4	4	手伝いの影響でしわが出やすい

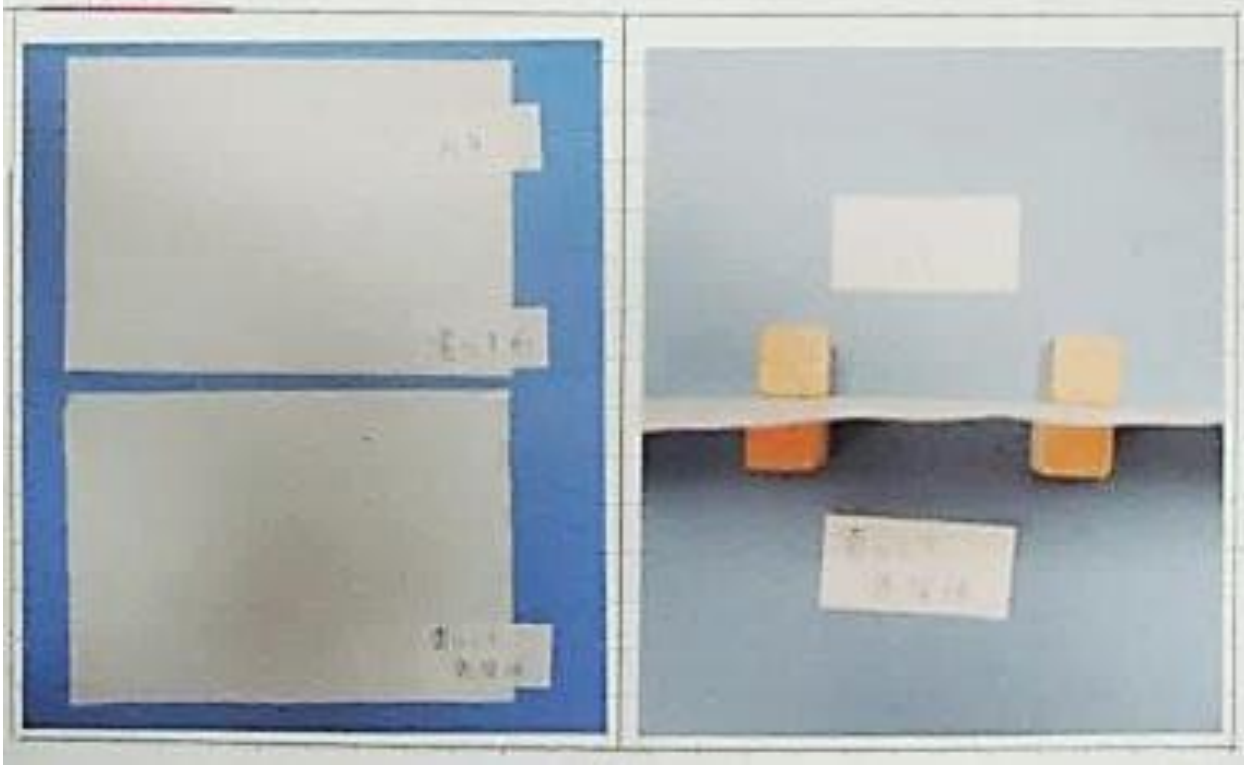
A6

㊀濡らす前 ㊁濡らして乾燥後	濡らしてから乾燥させるとゆがみやしわが出たから

A5



A4



⑥考察

- A6サイズ、A5サイズ、A4サイズ全てのサイズで全体に細かな凹凸のしわができた。
- 側面に斜めのしわができた。

⑦結論

- A6サイズ、A5サイズ、A4サイズ全てのサイズで全体に細かな凹凸のしわができて、しわにあまり差が無かった。
- 全てのサイズで側面に斜めのしわができて、しわにあまり差が無かった。
- 同じ種類の紙では、大きさの違いによるゆがみ、濡らした後に乾かした時にしわのでき易さに違いは見られない。

⑧見出した疑問

- 同じ種類の紙では、大きさの違いによって、水で濡らした後に乾いた時にしわのでき易さに違いは無かったが、同じ紙を使っても、濡らす水の違いで、しわのでき易さに違いがでるのではないだろうか。それは、冷たい水温でゆっくり縮むので、紙も濡らす水の温度でしわのでき易さが変わるのではないだろうか。

実験4　水の温度による、水で濡らした後、乾いた時のしわになり易さに違いはあるか

① 目的

濡らす水の温度を変えて、濡らした後、乾かした時のしわになり易さに違いはあるのか調べる

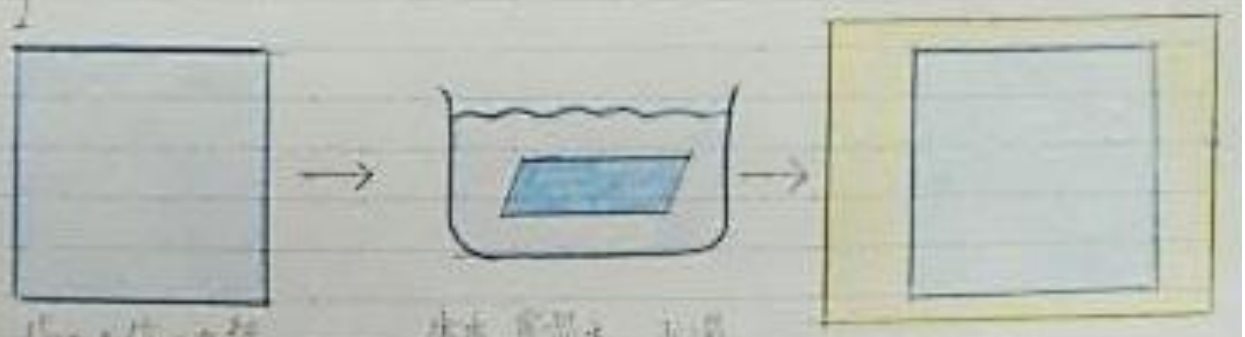
② 実験に使用した物

紙・コピー用紙　15cm × 15cm
水・氷水・常温の水・お湯
タオル、洗面器、ノギス、温度計

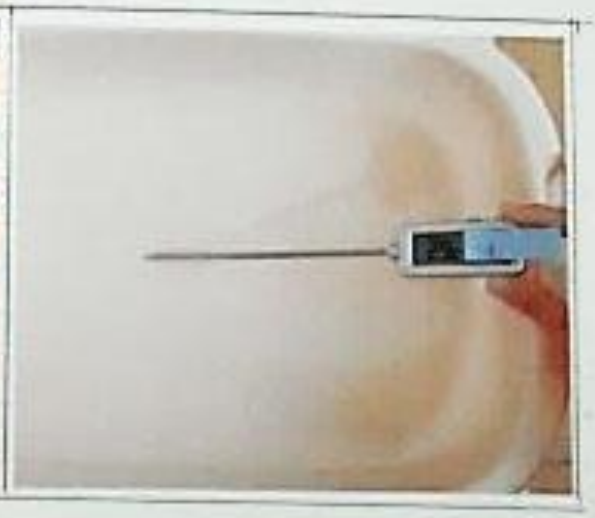
③ 実験方法

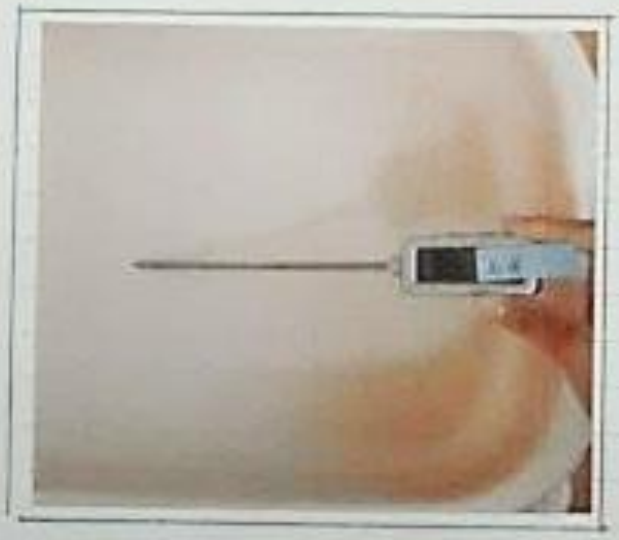
1. 15cm × 15cm のコピー用紙を用意
2. 氷水、常温の水、お湯にそれぞれ浸ける。
   充分濡らす
3. タオルの上に平置きにして乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれを元の紙と比較する。

1



実験で使用した水の温度





左上　氷水　1℃
右上　水　24℃
左下　お湯　85℃

④予想・仮説

・ウールのセーターなどを洗う時は、熱いお湯で洗うと縮んでしまったり、洋毛フェルトや動いてあれを作る時は、わざと熱いお湯に浸けて繊維を縮ませるので、熱いお湯だと、紙の繊維も縮んでしわができ易い。

⑤結果

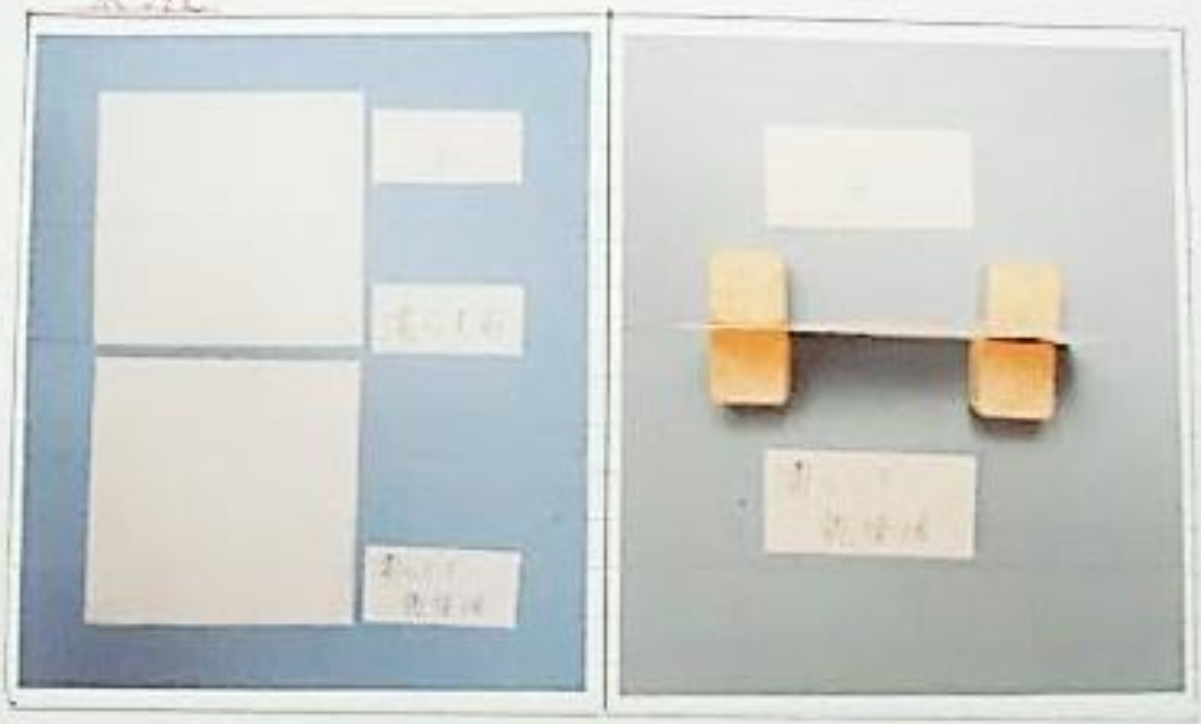
(単位mm)

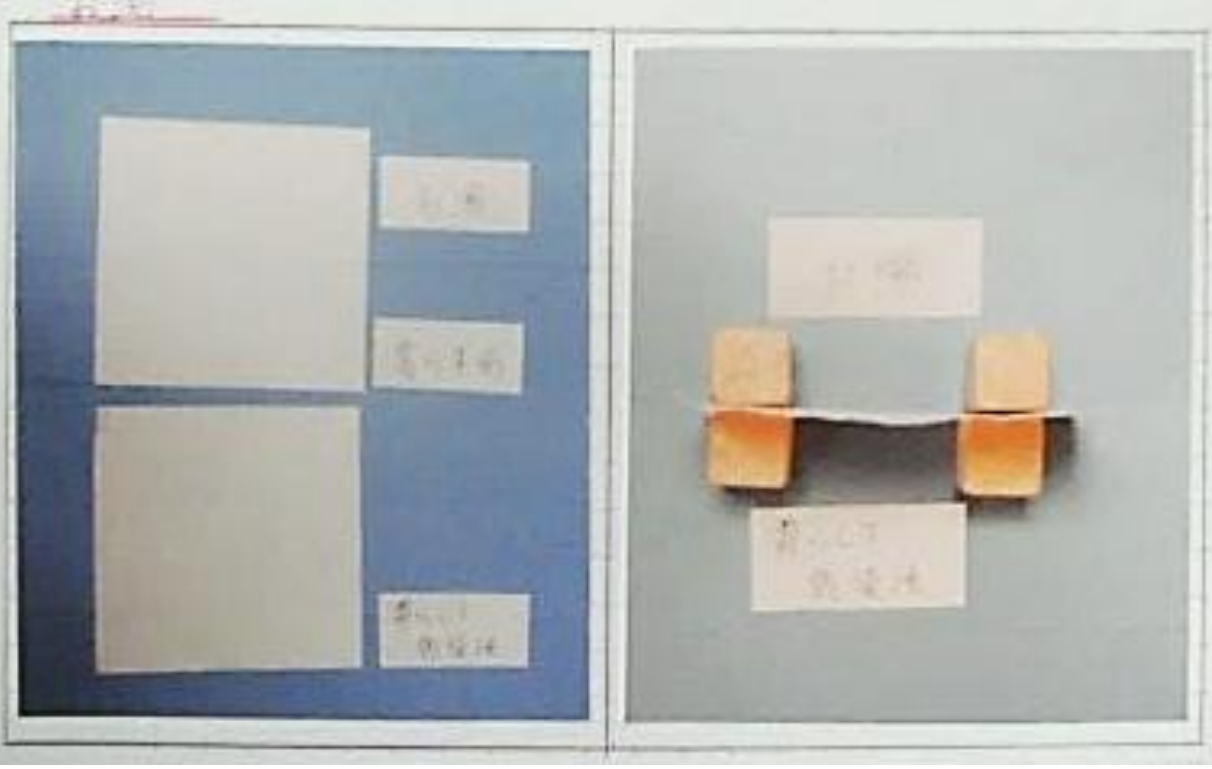
	1	2	3	4	5	気付いたこと
氷水 1℃	5	4	5.5	7	5	氷水はなかなか沈みこまなかった
水 25℃	3	3	4	4	4	氷水よりも沈みこみが浅く、お湯よりも浅い
お湯 85℃	5	4	5.5	7	5	お湯は底までの沈みこみだった。温度によって沈みこむ速さが異なった

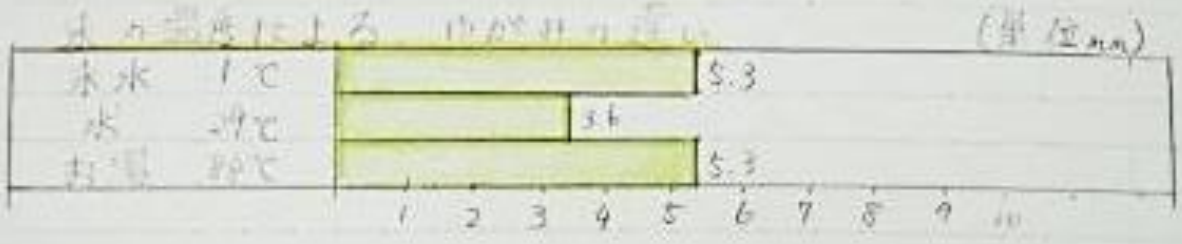
㋑温ちゃ前
㋺温ちゃして発泡後

温ちゃして発泡後
横から見たゆかみ

氷水 1℃







⑥考察

・氷水、お湯は常温の水で濡らしよりも乾いた時にしわになり易い
・熱いお湯に紙を入れた瞬間に、お湯は紙に染み込んだ
・氷水だとなかなか染み込まず、充分に濡れるまで時間がかかった。
・濡らした後に乾いた時のしわは、細かな凹凸が全体にできて、側面から見ると、氷水、水、お湯どれも同じように波打ったしわができていた

⑦結論

・氷水、お湯は濡らした後、乾いた時に常温の水よりしわになり易いことがわかった
・お湯は紙に染み込み、氷水はなかなか染み込まないが、充分に濡らした後、乾いた時にできるしわは、でき易さに違いはあるが、細かな凹凸が全体にできて、側面から見ると波打ったしわが同じようにできる事がわかった。

⑧出た疑問

・同じ種類の紙では、濡らす水の温度の違いによって、濡らした後、乾いた時にしわのでき易さに…

少しの違いがあった。そこで、濡らす液体を水以外の液体に変えたら乾いた時に、より一つ色に違いができるのだろうか。

日常の生活の中でも、あの上のお茶を飲んでノートを濡らしてしまうことはよくあるまた、洗濯の時に入り易い液体を使って調べたい。

実験5　様々な液体の違いによる、乾いた時のしわになりやすさに違いはあるか

①目的

色々な液体を混らして、混ぜる液体の違いで、乾かした時のしわになりやすさに違いがあるのか調べる

液体に含まれる物質や、液体の酸性、アルカリ性は影響するのか調べる。

②実験に使用した物

紙・コピー用紙　各辺15cm

水・アルコール・ジュース・コーヒー・お茶・炭酸水・砂糖・塩・重曹・クエン酸

洗面器、タオル、ノギス、リトマス試験紙、霧吹

砂糖
(水1L 砂糖1kg)

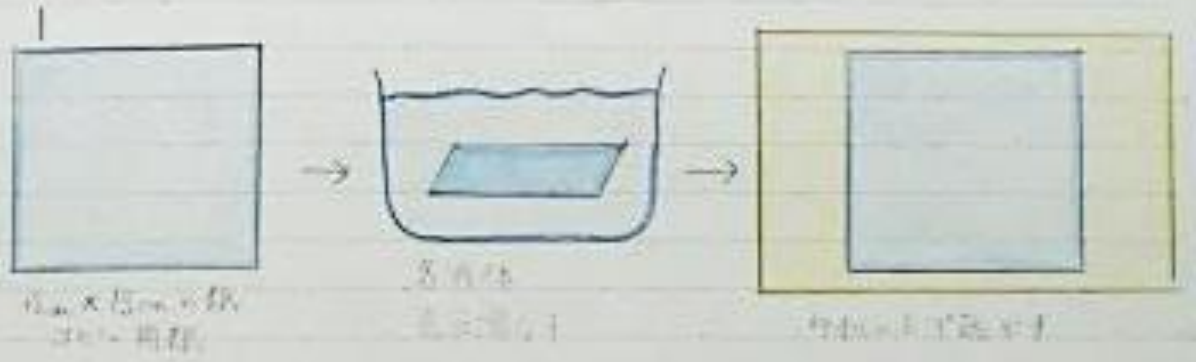
塩
(水1L 塩1kg)

重曹
(水1L 重曹1kg)

クエン酸
(水1L クエン酸1kg)

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
2. 各液体に浸ける。完全浸ける
3. 乾燥の上に平置きにして乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれを元の紙と比較する



液体の作り方

砂糖、塩、重曹
酢、酢酸を水に溶かす

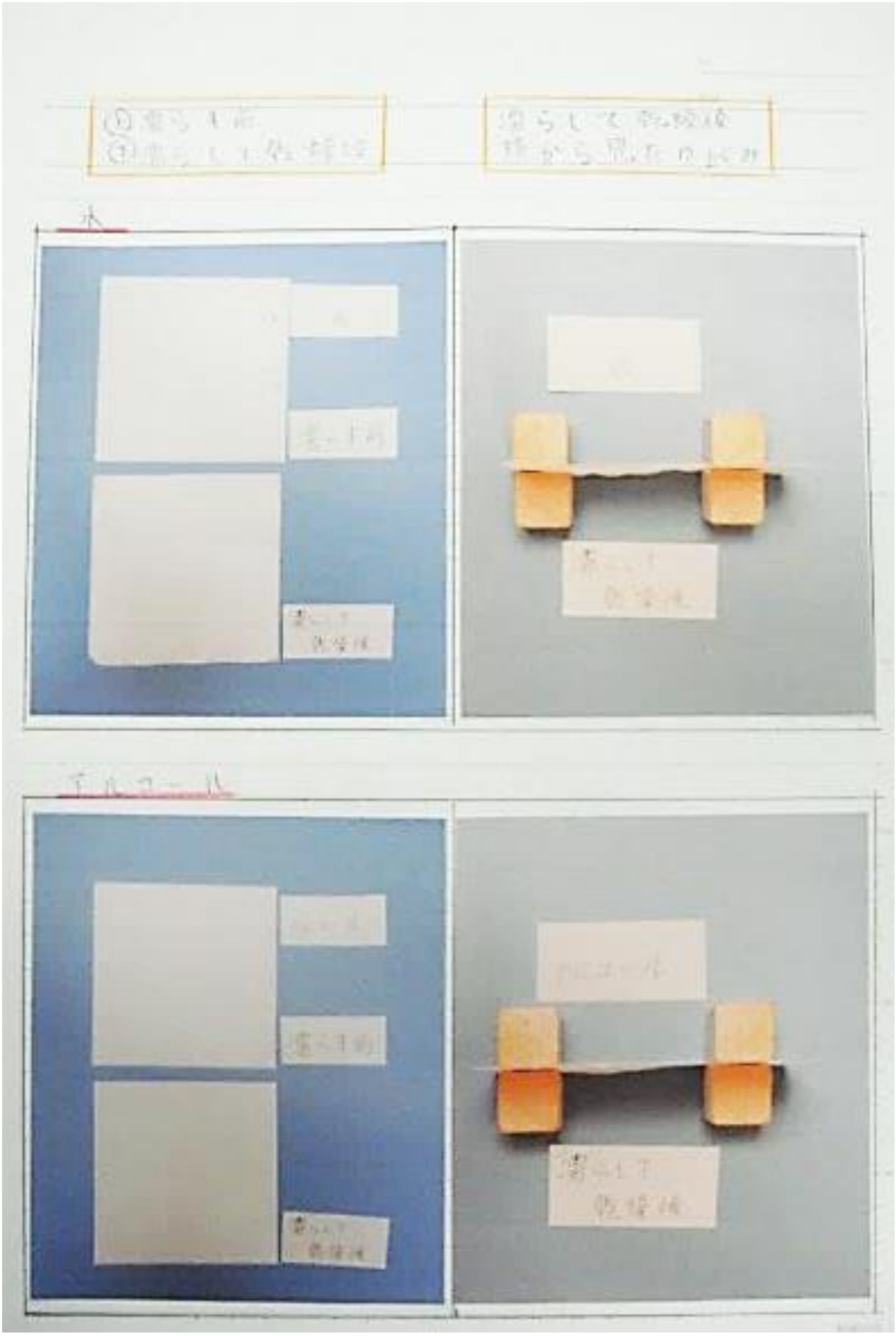
④予想　仮説

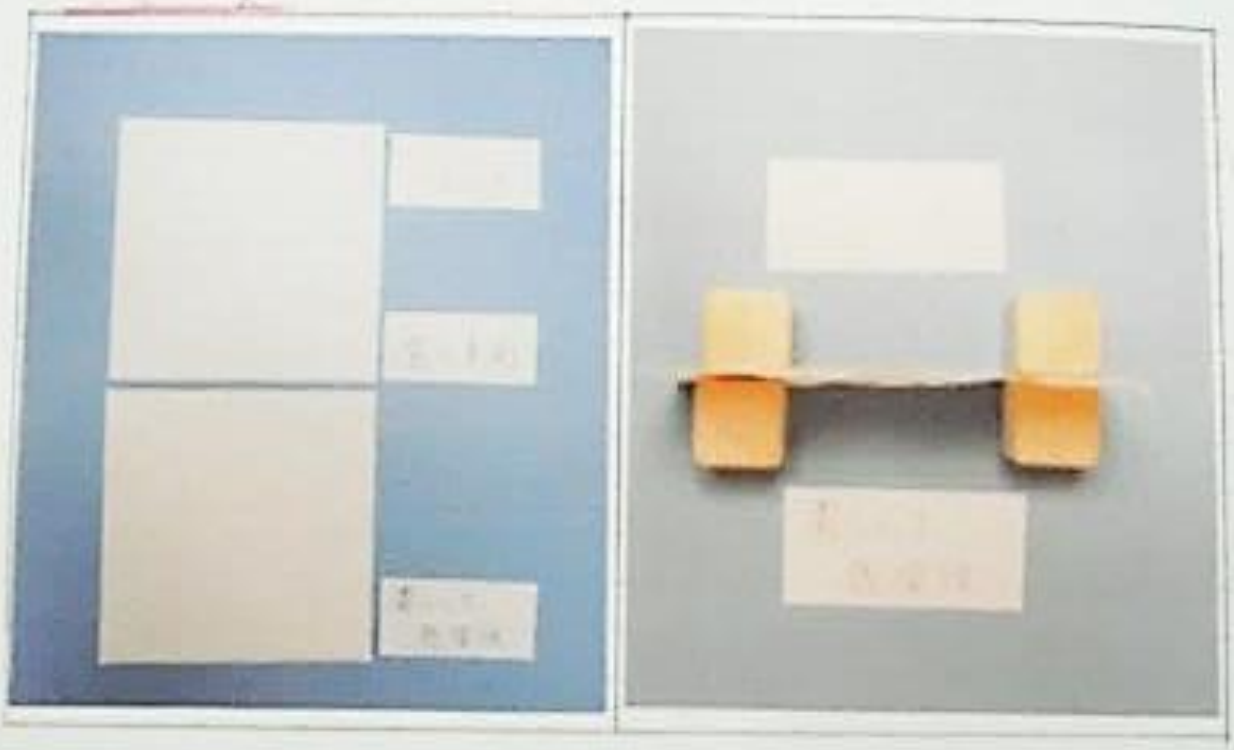
・水よりも、不純物を含んだ液体の方が、紙の繊維に入り込むなど紙に影響を与えるので、しわやはがれになり易い
アルカリ性や酸性のものは、紙の繊維に影響を与えるので、しわになり易い。

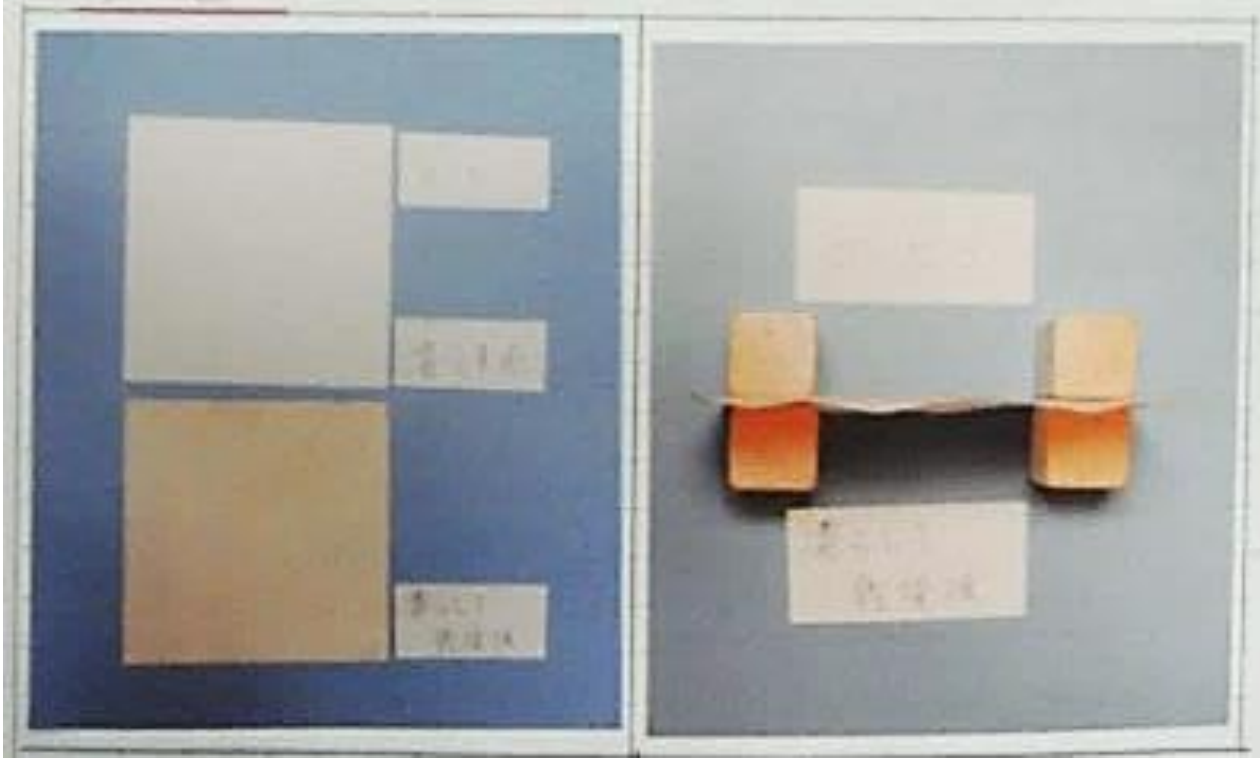
⑤結果

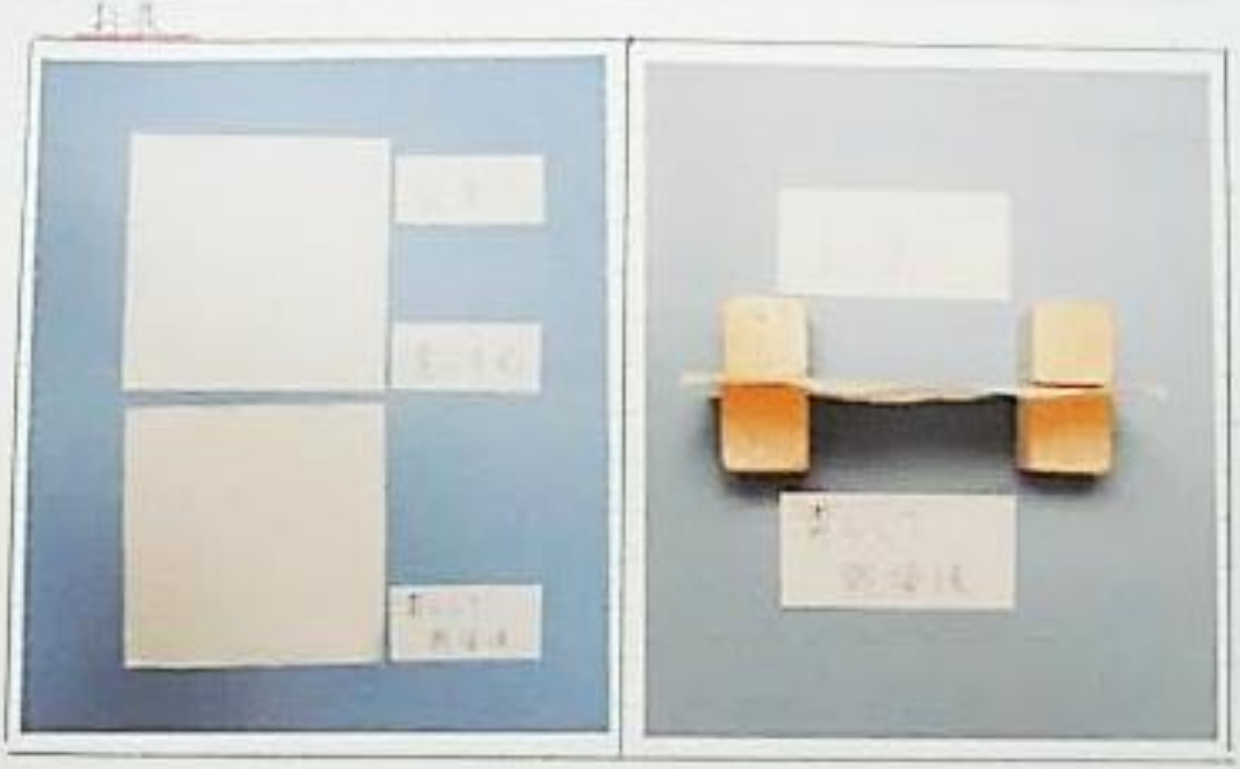
（単位…）

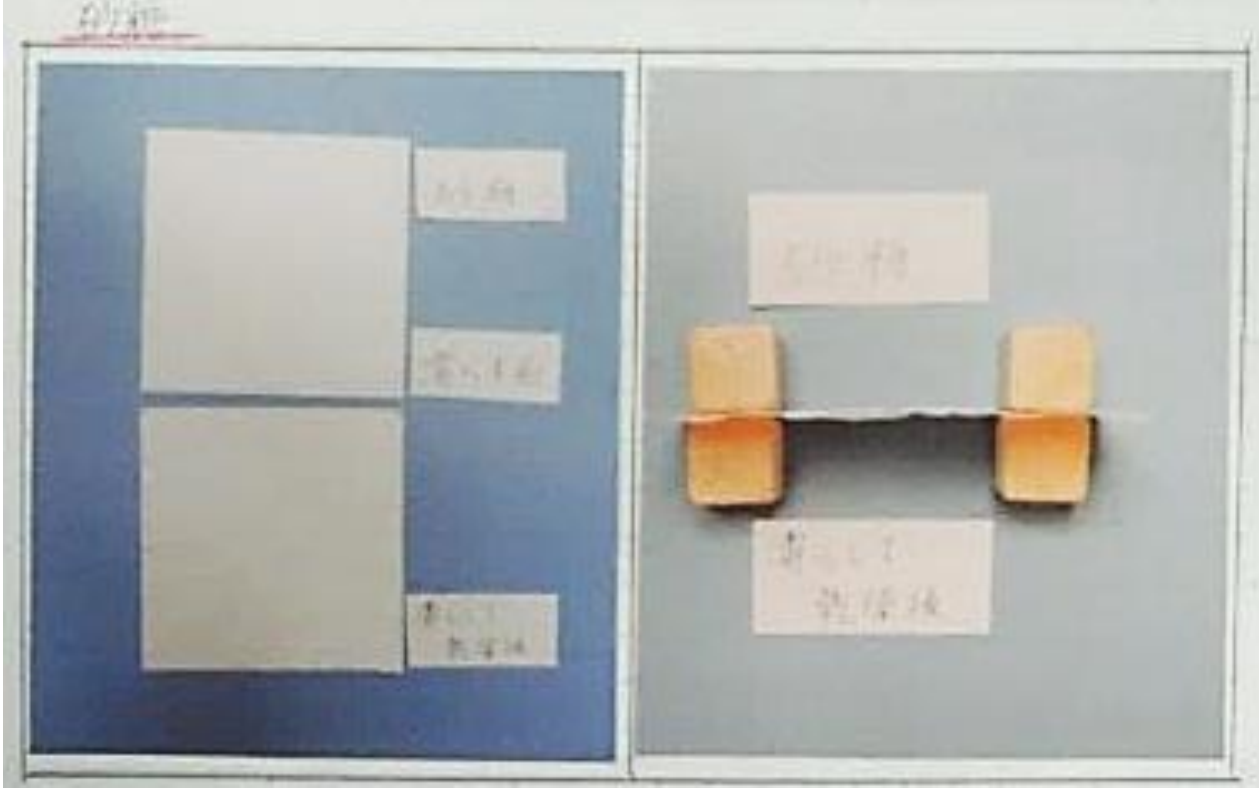
飲料	1	2	3	4	5	気付いた事
水（中性）	3	3.5	4	3	4	全体にあまり目立つ味がなかった。
アルコール（酸性）	4	3	3.5	3.5	4	飲みやすいと感じた。
ジュース（酸性）	3	2.5	2	2	2.5	あまりあまくなかったので飲みやすかった。
コーヒー（酸性）	4.5	2	6	4	5	全体にこってりしていた。苦味がやはりあった。
お茶（弱酸性）	5	3	5	3.5	4	全体にあっさりしていた。飲みやすさはこの中で一番よかった。
炭酸（中性）	3.5	4	3	3	4.5	他の飲み物よりもこの飲み物がとてもよかった。
塩（中性）	2	2	2.5	2	2	飲みはじめは塩っぽかったが、後味がすっきりした。
重曹（アルカリ性）	1	1.5	1.5	1.5	2	飲んだ瞬間重曹の味がしてあまりおいしくなかった。
クエン酸（酸性）	3	4	2.5	2.5	3	炭酸に酸味をいれただけだった。後味がすっきりしていた。
炭酸（酸性）	6	3	3	4	4	炭酸に砂糖をいれてみたら、後味がすっきりしていた。

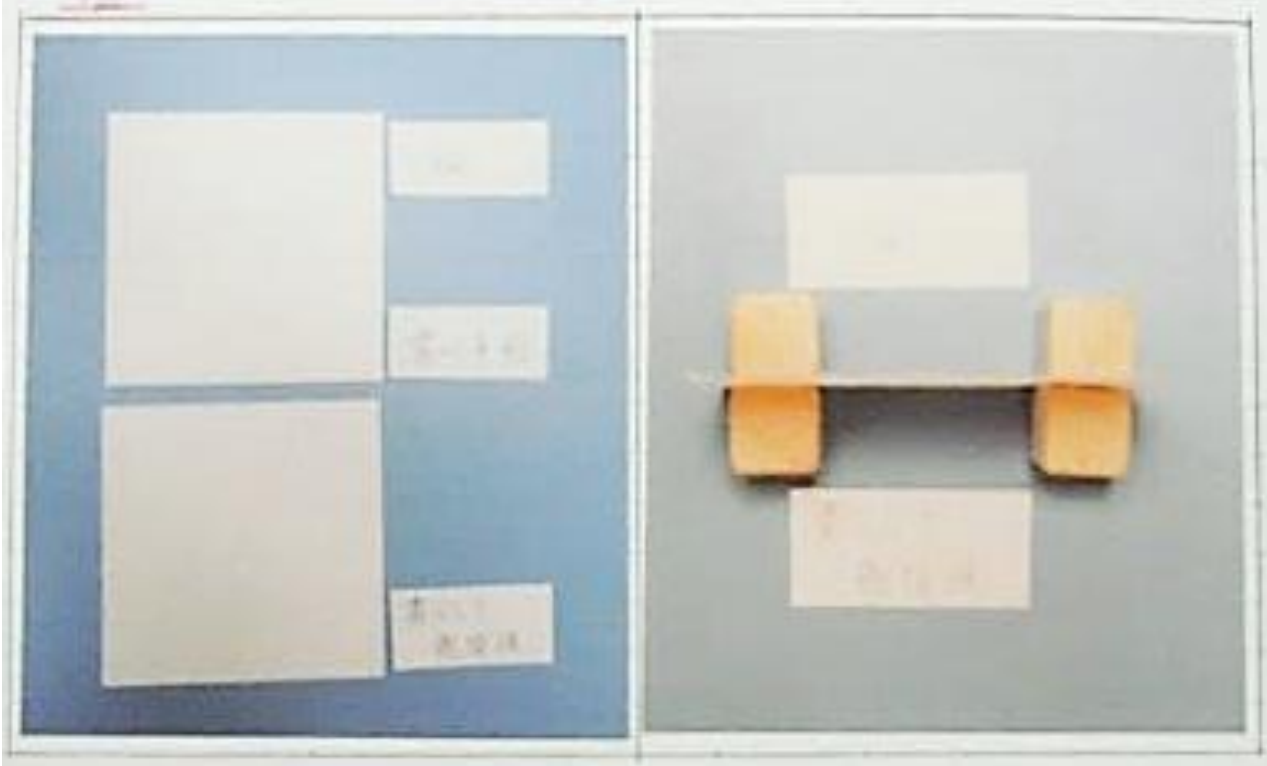


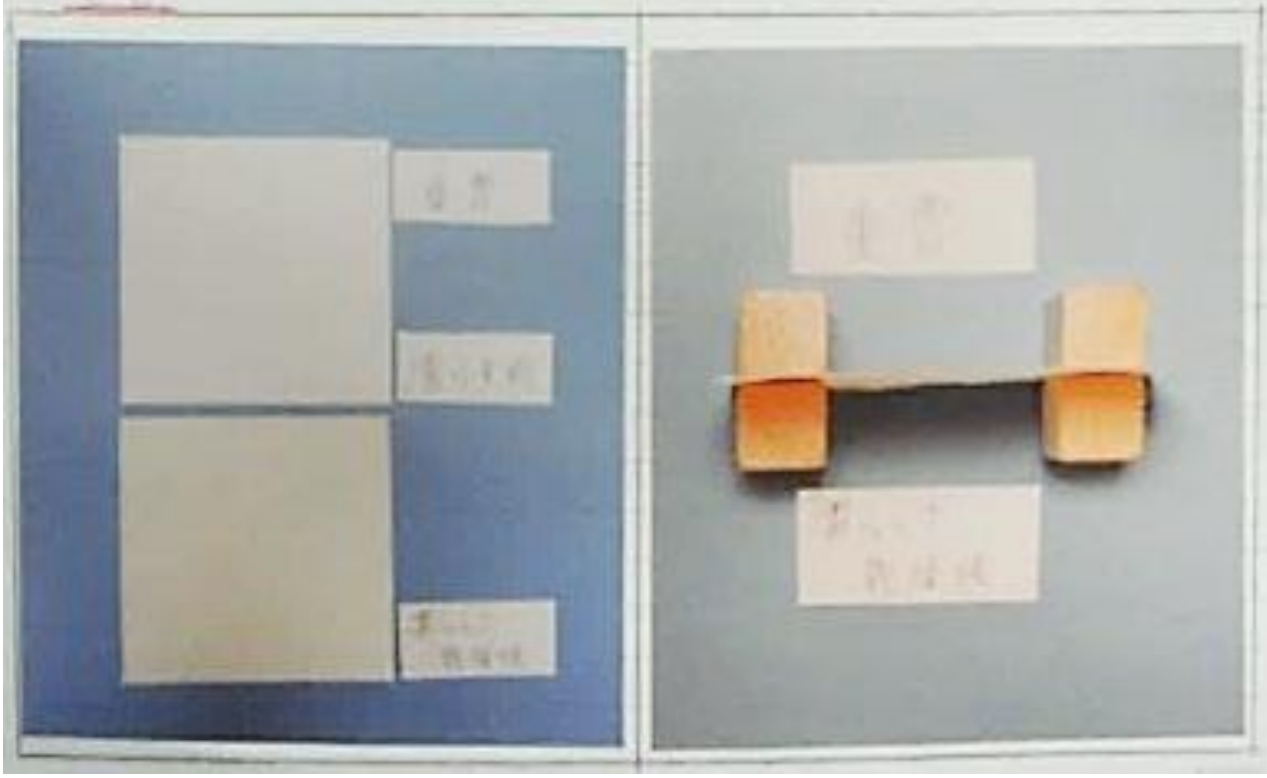


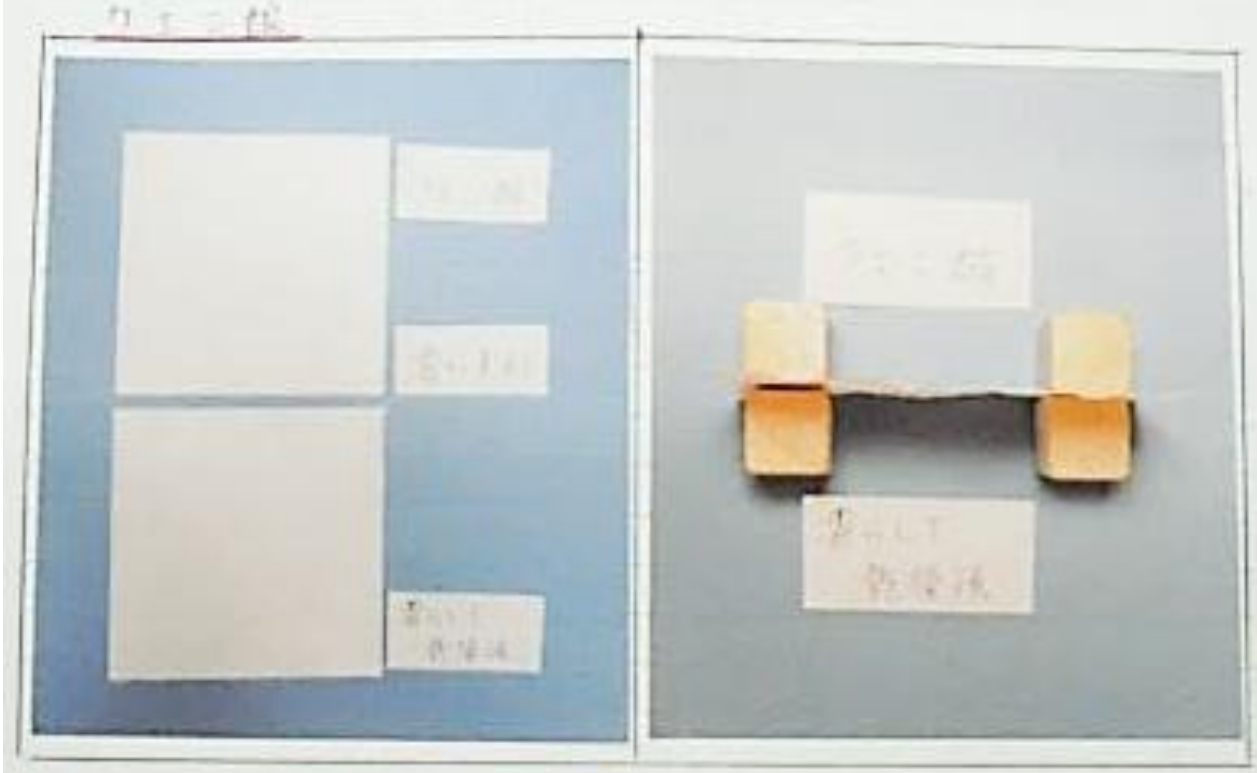


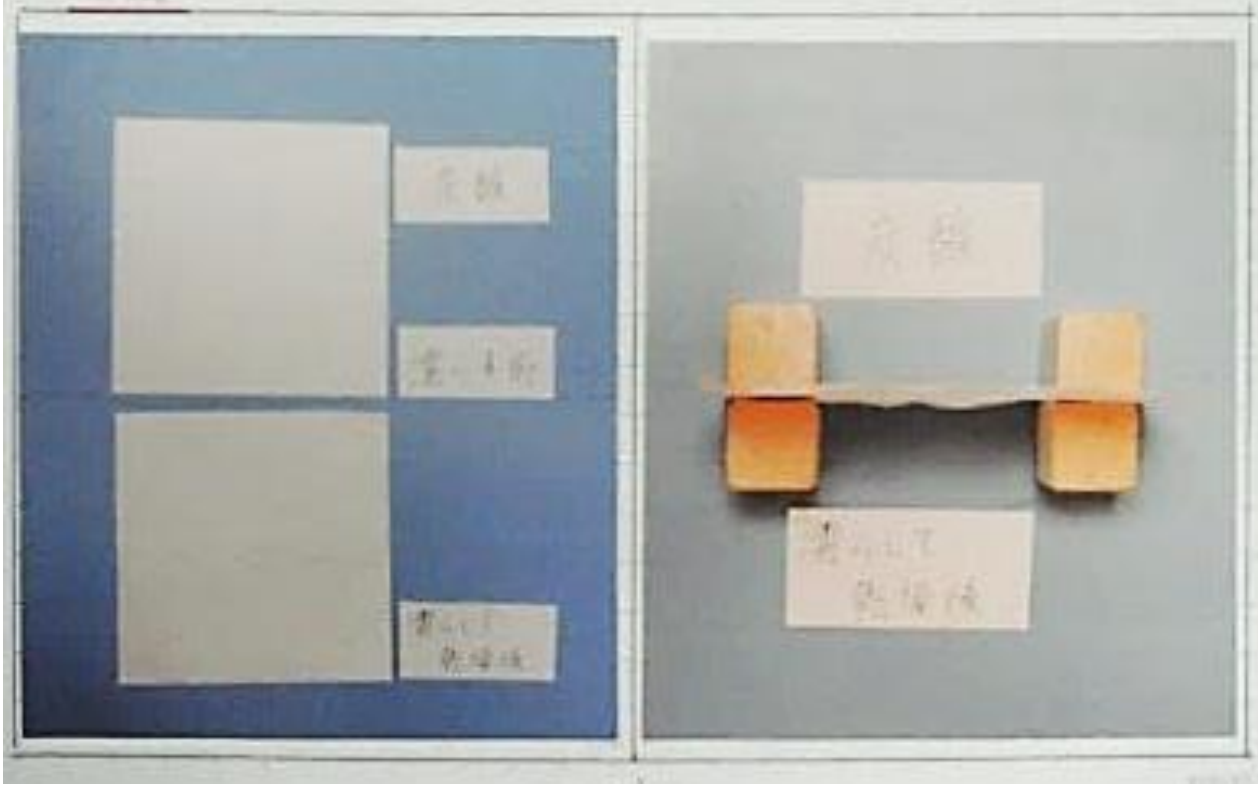












⑥考察

- 濡らす液体の種類を変えると、乾いた時にしわのできやすさに違いが出た。
- 酸性の液体では、表面がザラザラになった。
- アルコール、ジュース、酢、醤油は、水よりも乾いた時にしわになりやすい
- 醤油に濡らした後、乾かした紙は黄色に変色した。

⑦結論

- 同じ種類の紙でも、濡らす液体の種類の違いで、乾いた時のしわになりやすさに違いがある
- 同じ種類の紙でも、濡らす液体の種類の違いで乾いた時のしわや、ゆがみに違いがある
- 濡れた後に乾いた時にできるしわやゆがみは、紙の種類と濡らす液体の種類がそれぞれ関係している。
- ジュース、コーヒー、お茶、リンゴ酢などの酸性の液体に濡らした後に乾かした紙は表面がザラザ

こした感触になった。これは、液体の酸性が紙の繊維に影響したと考えられる。

・濡らした後に乾いた時のしわやひびが外が一番多かったのが、重曹だった。しかし、重曹の水溶液は無色透明だが、濡らした後に乾かした紙は黄色く変色していた。これは、液体のアルカリ性が紙の繊維に影響したと考えられる。

・メルコールは、濡らした後に乾いた時の表面のしわはあまり目立たなかったが、裏面の溶けのしわはやはりでてきてしまった。

⊗生じた疑問

・これまでの実験で、濡れた後に乾いた時のしわのできやすさやしわの状態は、紙の種類や濡らす液体の種類が関係していることがわかった。

・それでは、紙の種類も濡らす水も同じ条件で、1枚の紙と本の和人紙が重なっている場合では、濡らした後に乾いた時に、どのような違いがでるのだろう。

実験6　紙の重なる枚数による、濡らした後、乾かした時のしわになり易さに違いはあるか

①目的

1枚の紙と、本の様に紙が重なっている場合では、濡らした後、乾かした時にどの様な違いがでるのか、重ねる紙の枚数を変えて、しわになり易さに違いがあるのか調べる

②実験に使用した物

紙・コピー用紙　15cm×15cm
1枚、5枚綴り、10枚綴り、20枚綴り、30枚綴り

水、タオル、洗面器、ノギス、ホッチキス

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を1枚、5枚綴り、10枚綴り、20枚綴り、30枚綴りで用意
2. 水にそれぞれ漬ける。充分濡らす。
3. タオルの上に平置きにして乾かす。
4. 完全に乾いたら、それぞれを元の紙と比較する。

15cm×15cm　1枚
15cm×15cm　5枚
15cm×15cm　10枚
15cm×15cm　20枚
15cm×15cm　30枚

2.

→

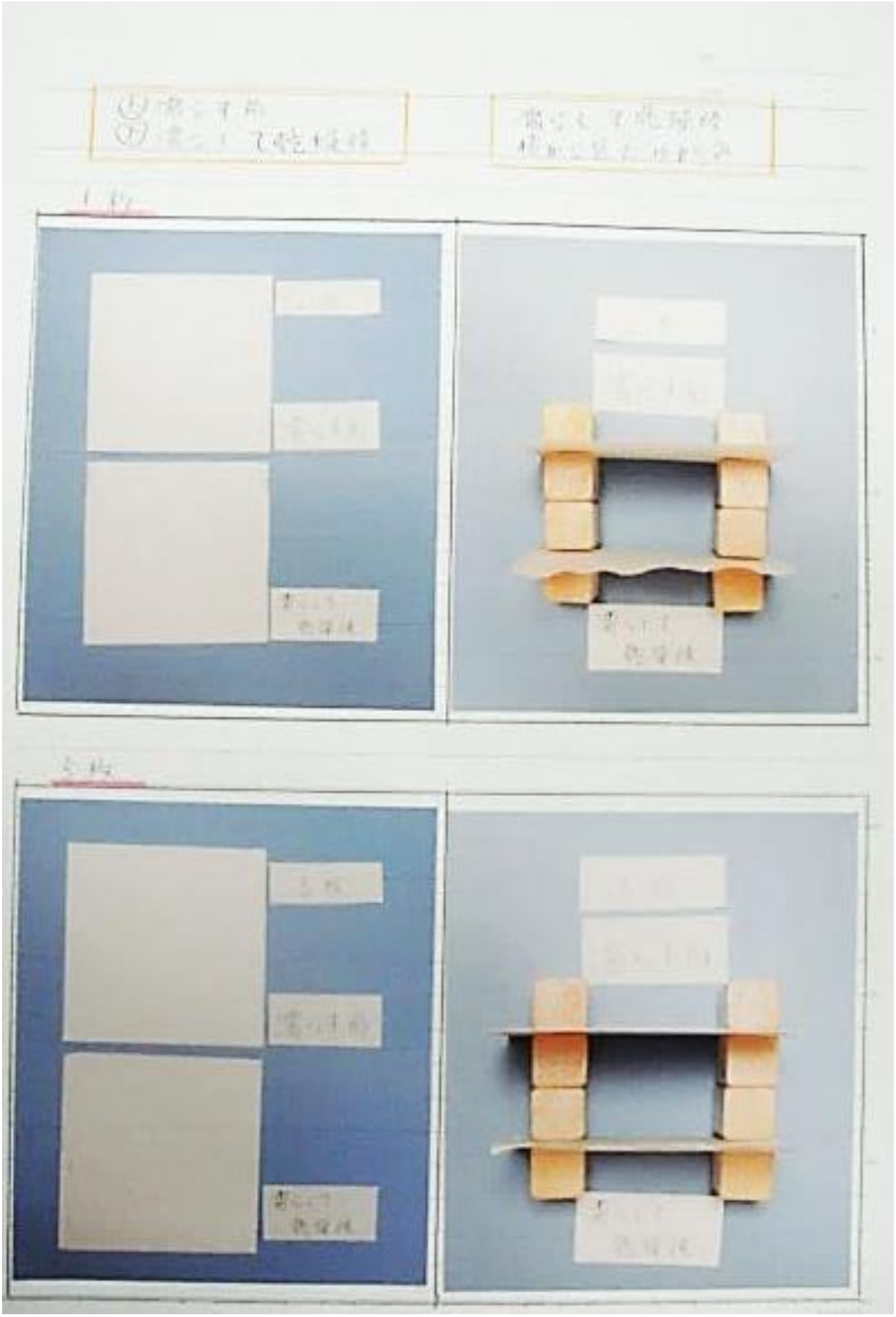
④予想・仮説

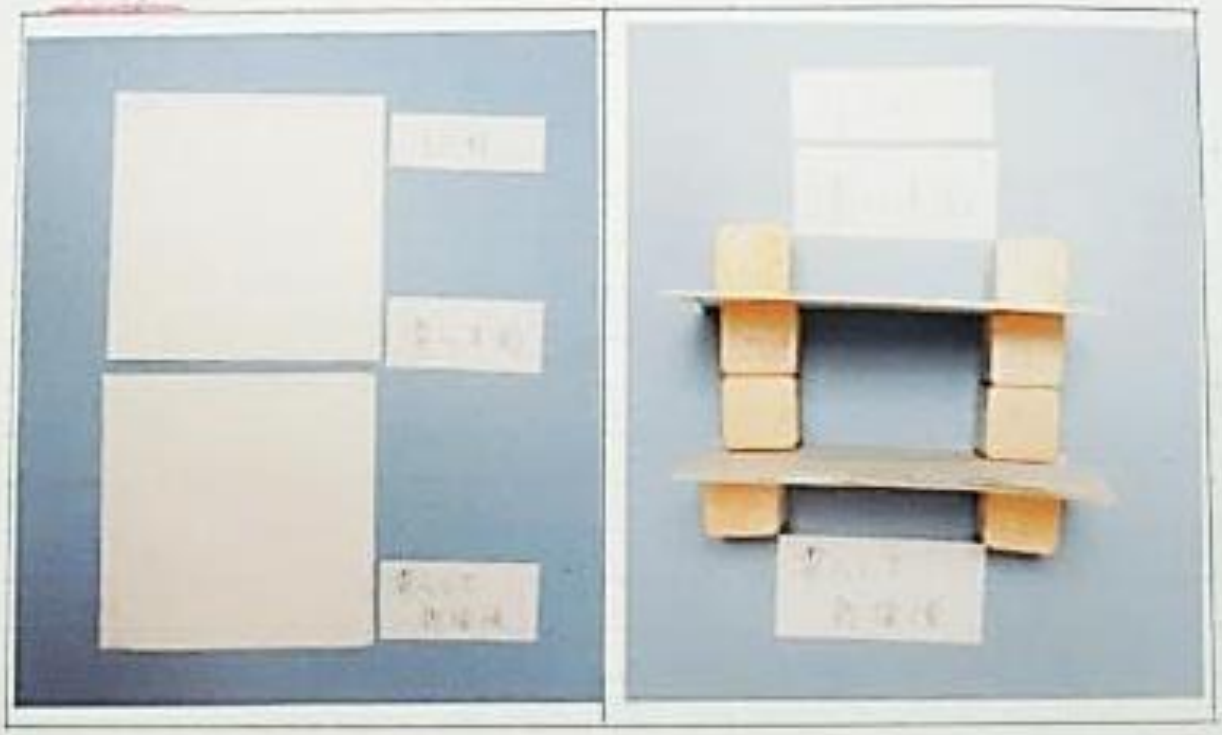
・紙1枚1枚の異なるゆがみが重なる事になるので重ねる枚数が多いほうが、ゆがみやしわになり易い。
・枚数が多いほうが水分を全体で吸く含むので乾くまでの時間が長くかかり、ゆがみやしわになり易い。

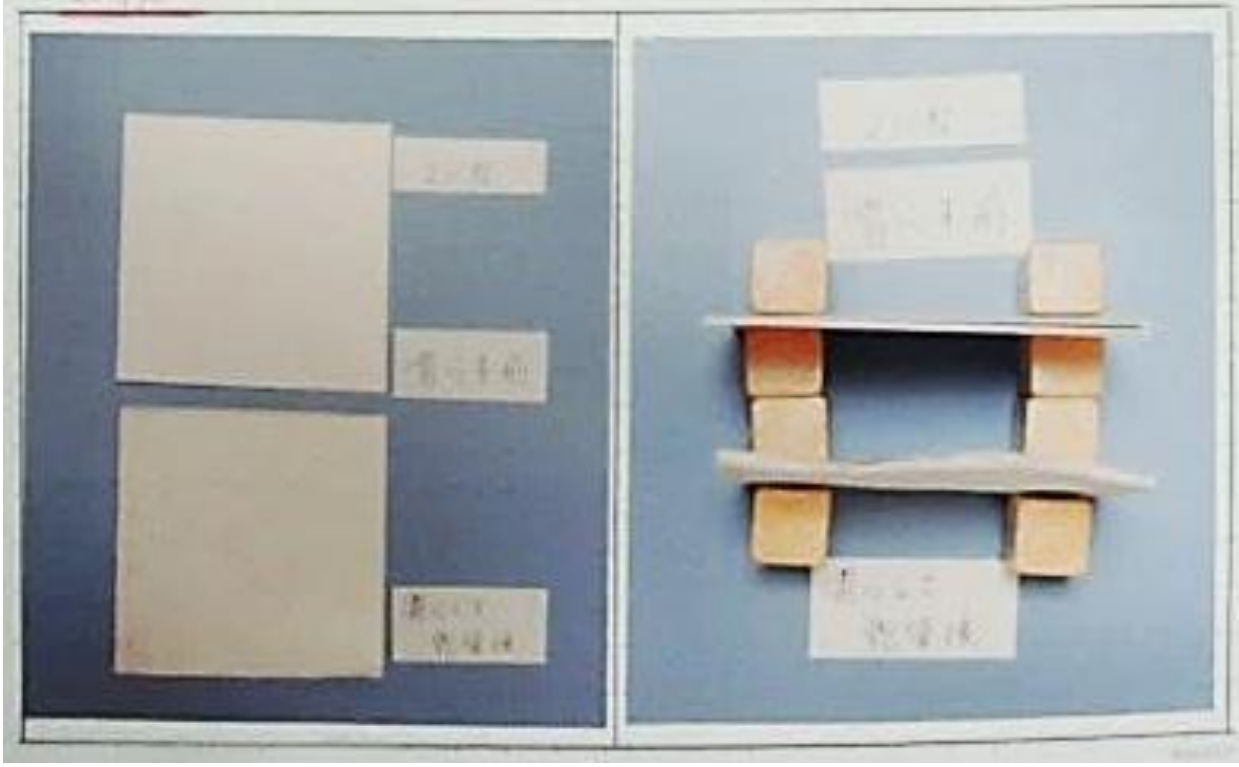
⑤結果

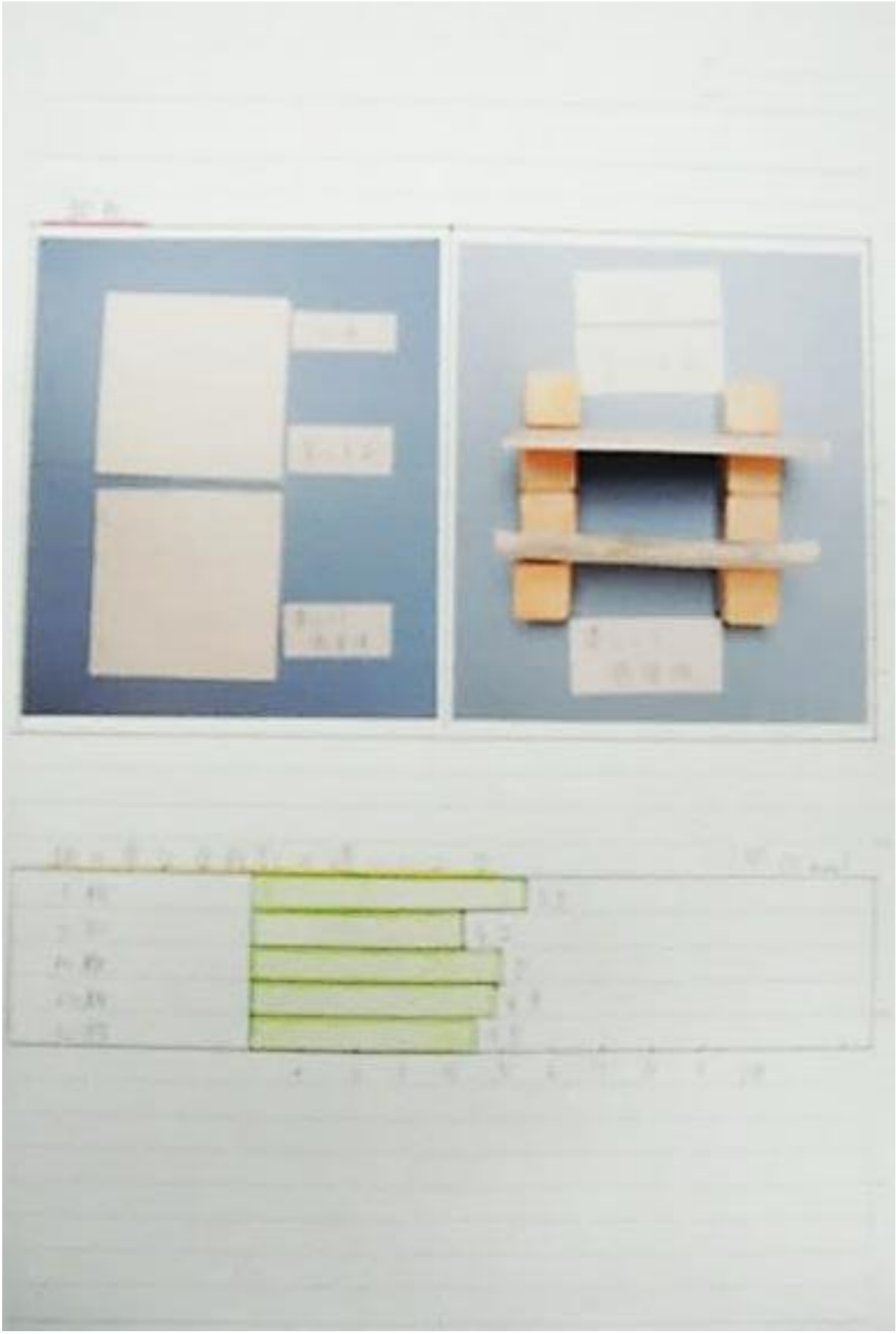
(単位cm)

	1	2	3	4	5	気付いた事
1枚	4.5	7	7	4.5	4.5	全体に均一のしわ、ゆがみがなくしわがやさし
5枚	5	5.5	4	3	3.5	全体に均一のしわ、ゆがみが少しあった
10枚	6	4	3.5	5	4.5	全体にしわ、1枚1枚が重なって伸びにくくなっていた
20枚	4	4.5	5.5	5	3.5	表面の横にそまったしわが目立つ伸びは1番小さくなった上部より横でのびた
30枚	4	5	5.5	4	4	表面の横にそまったしわが目立つ伸びは小さかった上部より横伸びが小さい









⑥考察

・紙を重ねた状態でも、紙が1枚の状態も1枚で比較すると、濡らした後に乾いた時にできるしわにあまりぱいはない。
・紙を重ねた場合も、全体に凹凸のしわができて、側面が波打つしわになる。
・重ねた1枚1枚のしわがずれて重なるので、横から見ると幅が広く、で見える。
・10枚と20枚重ねた紙は、縦に波打つしわが目立つ。
・波打つしわは、一定の方向（縦方向）にかけてできた。

⑦結論

・紙は、重ねた状態でも1枚の状態でも1枚では乾くと濡らした後に乾いた時のしわの大きさはほとんど変わらない。
・重ね重ねた状態でも1枚でも日ごとに全体に凹凸のしわができて、側面が波打つしわになる。
・紙を重ねた方が、よりしわになって見えるのは、1枚1枚のしわがずれて重なるので、紙を重ねた状態と横から見て幅が広く、で見えるので、よりしわになっている様に見えるから。
・10枚、20枚重ねた紙は、本やノートが置かれた時の様な一定の方向に波打つしわが目立った。

⑧ 生じた問題

・僕の仮説を確かめた実験で、数人の被験者は、ホットケーキを焼いた時の様な様子を感じられなかった。

・これは、どうしてできなかったのか？

仮説1. ホットケーキを焼めていると思が関係している

仮説2. 平面さを保ちた為に、上のものの様にすかさの様に焼くことにこだわる事が関係している

仮説3. 僕の先生は、教と様に関係していた。

実験7　波打つゆがみは、ホチキスで留めてある事に関係するのか

①目的

紙を重ねた実験で20枚重ねた紙は、壊れたもの様に波打つゆがみが出た。このゆがみが、ホッチキスで留めている事に関係があるのか調べる。

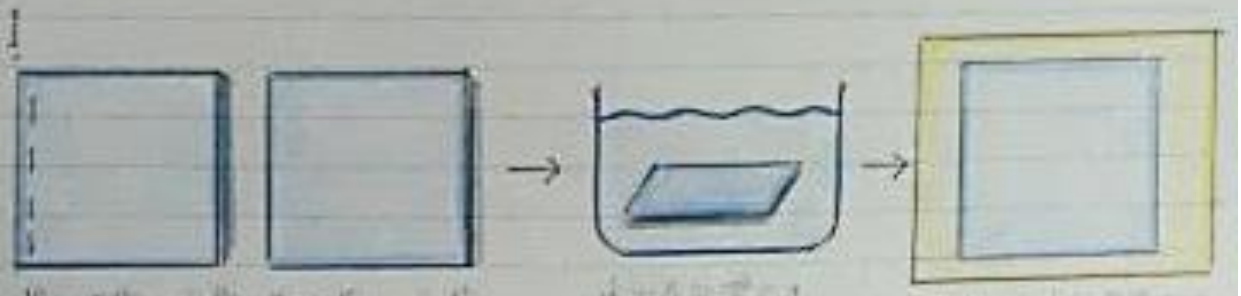
②実験に使用した物

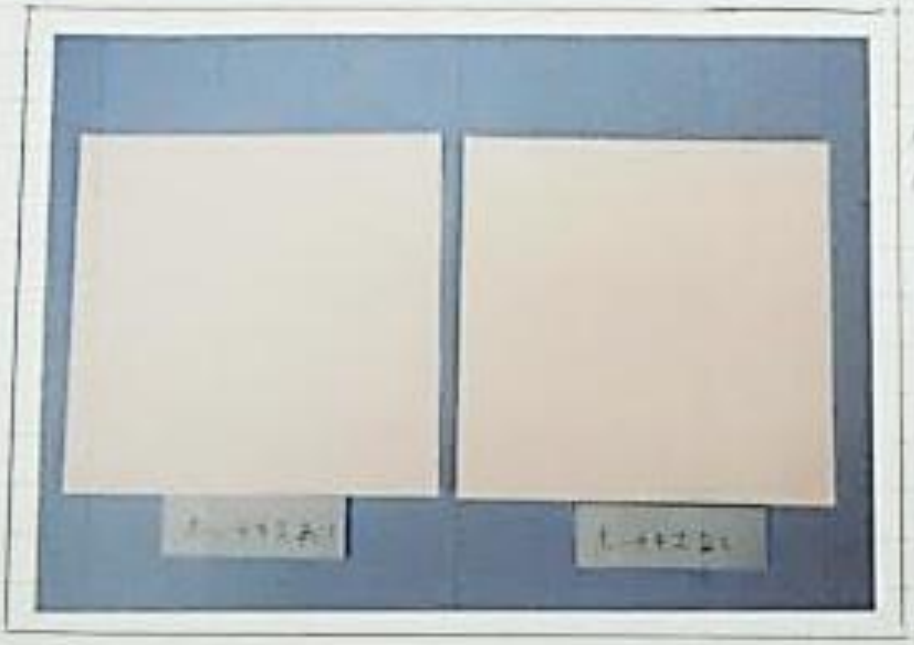
紙・コピー用紙　15cm×15cm
　・20枚綴りホッチキス留め
　・20枚重ねホッチキス無し

水、タオル、洗面器、ノギス、ホッチキス

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
　20枚重ねてホッチキスで留める
　20枚重ねただけのもの
2. 水に浸ける、充分濡らす
3. タオルの上に平置きにして乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれと元の紙とを比較する。





実験結果

左 ホッチキスあり
右 ホッチキスなし

実験結果
[illegible]

左 ホッチキスあり
右 ホッチキスなし

④予想・仮説

・ホッチキスで留めている事で、紙がかさなってゆがんだ時に、ホッチキスの所だけ動かないので、ゆがんでしまうことになる

⑤結果

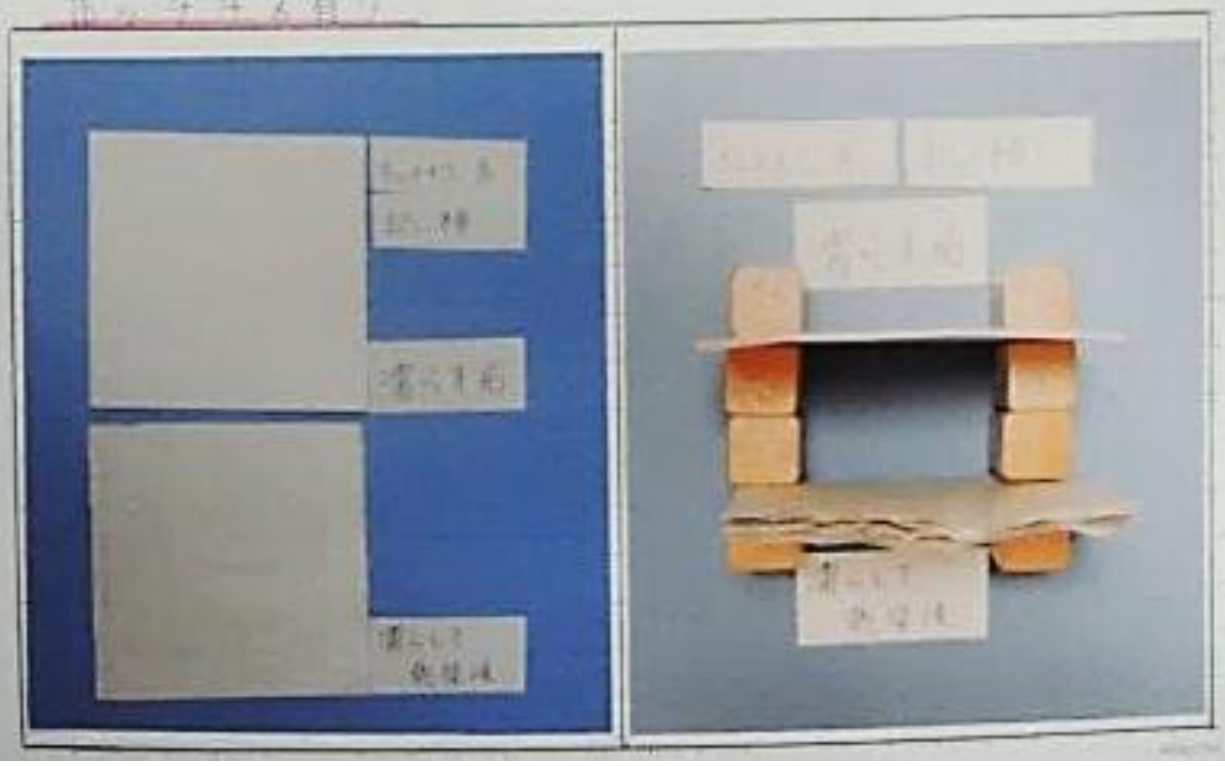
(単位mm)

	1	2	3	4	5	気付いた事
ホッチキス有り	5	6	5	7	5	横に曲がってしまいやすかった。
ホッチキス無し	4.5	4	6	4	4	ホッチキスに関係なく横に曲がってしまいやすかった

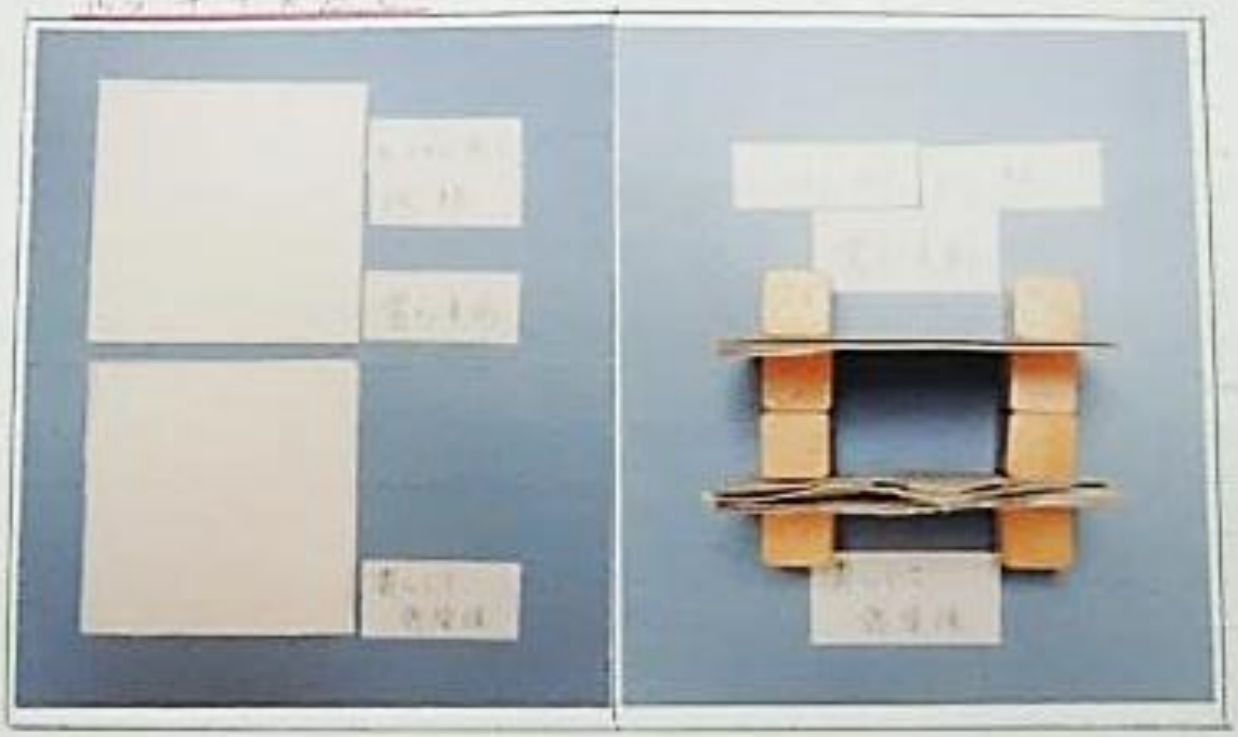
①温らす前
②温らして乾燥後

温らして乾燥後
横から見たゆがみ

ホッチキス有り



ホッチキス無し



⑥考察

・ホッチキス有り、ホッチキス無しどちらも同じ様に一定方向に波打つことができた。
・波打つことにあまり差はない。

⑦結論

・紙を重ねた状態でまっすぐ張らして貼りたいという今一定方向に波打つことのは、ホッチキス有りでもホッチキス無しでもどちらも同じ様にできあがって、ホッチキスで留めた事とは関係ないと言える。

実験8　波打つゆがみは、重ねた上の紙と下の紙の乾く速さに関係するのか

①目的

紙を重ねた実験で、20枚重ねた紙は濡れた本の様に波打つゆがみが出た。このゆがみが平置きで乾かす時の、上の紙と下の紙の乾く速さに関係があるのか調べる

②実験に使用した物

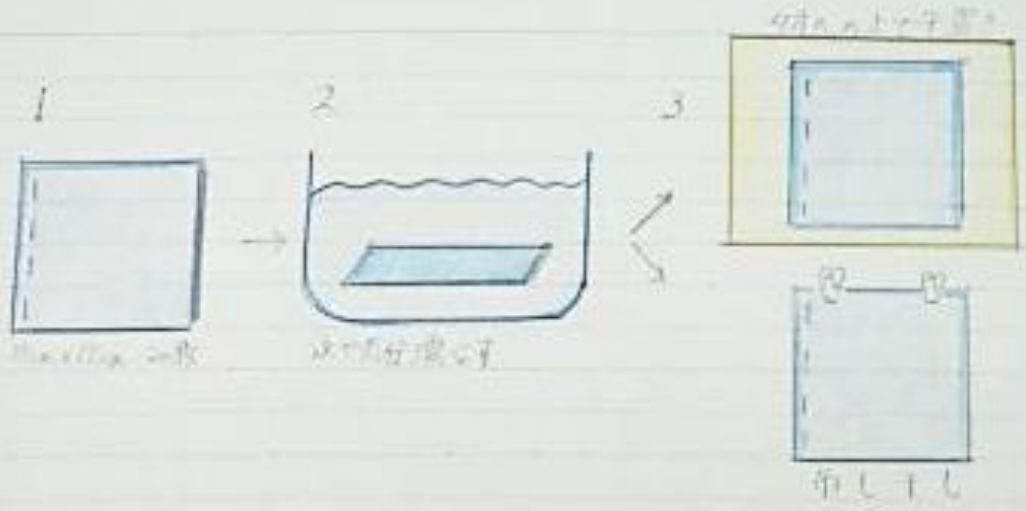
紙：コピー用紙　15cm×15cm
　　20枚綴りホッチキスで留める

水、タオル、洗面器、ノギス、ホッチキス、
ピンチ付きハンガー

③実験方法

重ねた紙の上と下の乾きの速さに違いを出さないために吊し干しにする

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
   20枚重ねてホッチキスで留める　2組
2. 水に浸ける。充分濡らす。
3. 片方はタオルの上に平置きにして乾かす。
   もう片方は吊し干しにして乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれを
   元の紙と比較する



④ 予想・仮説

・紙を重ねて平面にした事で、上の方の紙は、下の方の紙より遠く乾くので、それによって紙の伸縮の違いが生じて反りしが出る

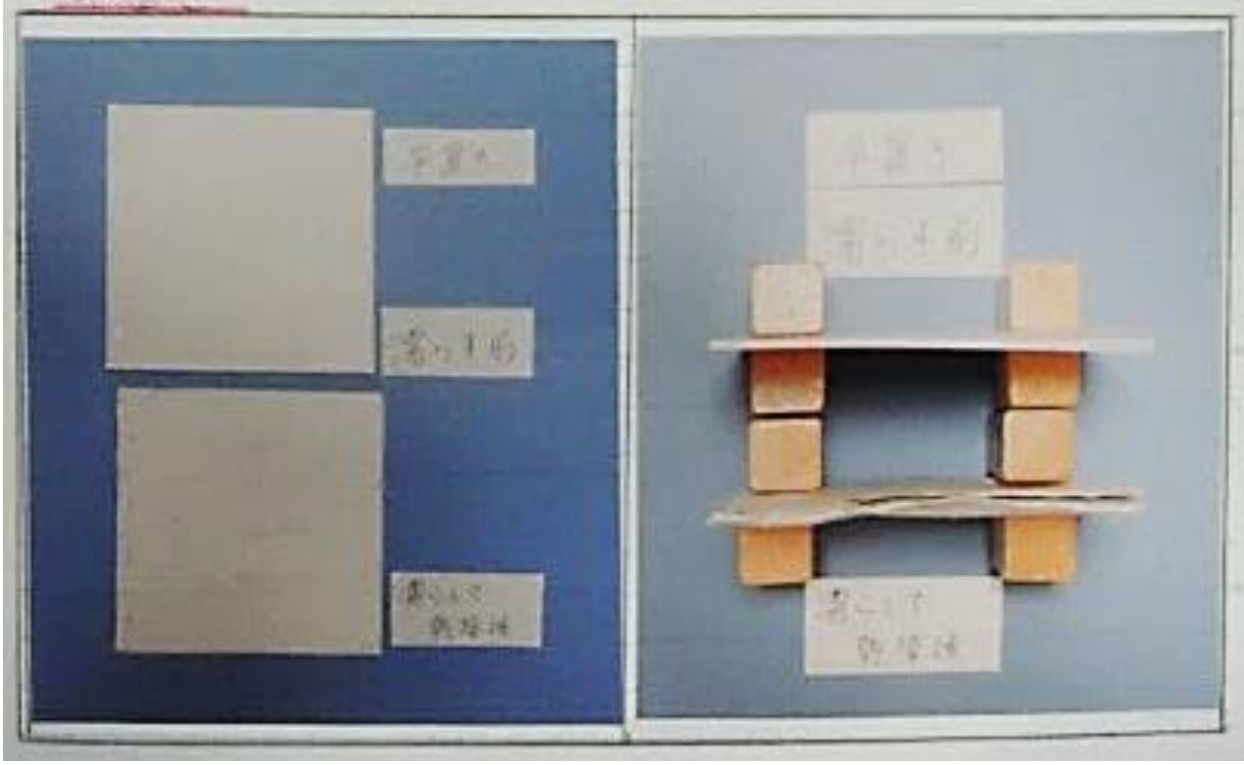
⑤結果

(単位mm)

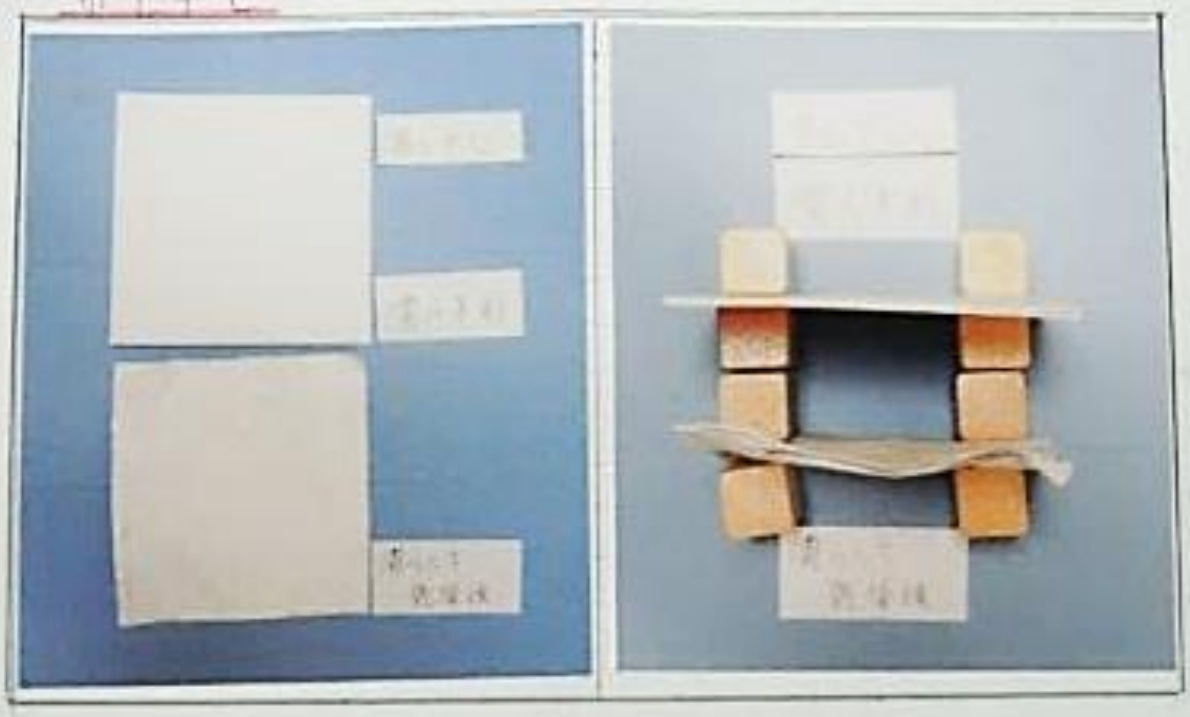
	1	2	3	4	5	気付いた事
平置き	6	4	5	6	4	横に安打ついわれてきた
巻しすし	9	8	8.5	9.5	7	巻かし方に関係なく、横に安打ついわれてきた

㋐巻らす前
㋑巻らして乾燥後

巻らして乾燥後
横から見たかが様



吊しすし



⑥考察

・平置き、吊しすし、どちらも同じ様に一定方向に波打つしわができた。
・吊しすしの方が全体のしわは少なかった。

⑦結論

・紙を重ねた状態でかたく巻いたり、ひだを一定方向にひだーりのように折りたたんだりすると同じ様にできるので、上の方の紙とすれちがわない長さに関係ないと言える。

実験9　波打つゆがみは、紙の縦と横に関係するのか

① 目的

紙を重ねた実験で20枚重ねた紙は、濡れた本の様に波打つ山が出ました。このゆがみが紙の縦と横に関係があるのか調べる

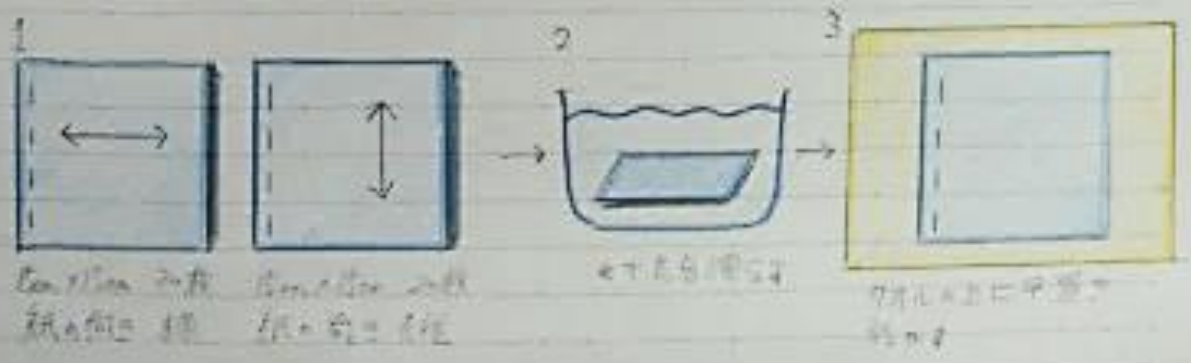
② 実験に使用した物

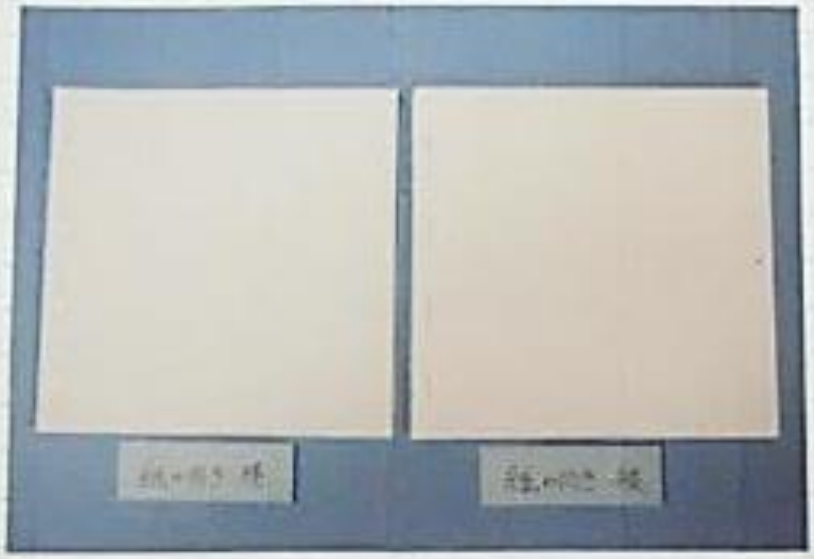
紙・コピー用紙　15cm×15cm
20枚(4)ホッチキス留め
(紙の縦方向、紙の横方向)

水、タオル、洗面器、ノギス、ホッチキス

③ 実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
   紙の縦方向に20枚重ねて留める。
   紙の横方向に20枚重ねて留める
2. 水に浸ける。数分置く
3. タオルの上に平置きにして乾かす。
4. 完全に乾いたら　それぞれを元の紙と比較する。





選ぶ手順

右 紙の向き 横

右 紙の向き 縦

選びとる理由

右 横の紙 横
右 縦の紙 縦

④ 予想・仮説

・紙には製造工程で縦と横があるから、縦方向で、簡単に裂くことはできるが、反対方向、横の紙と縦の紙は、水を含んだ時の強さに違いがあり、何かつしわが出来る。

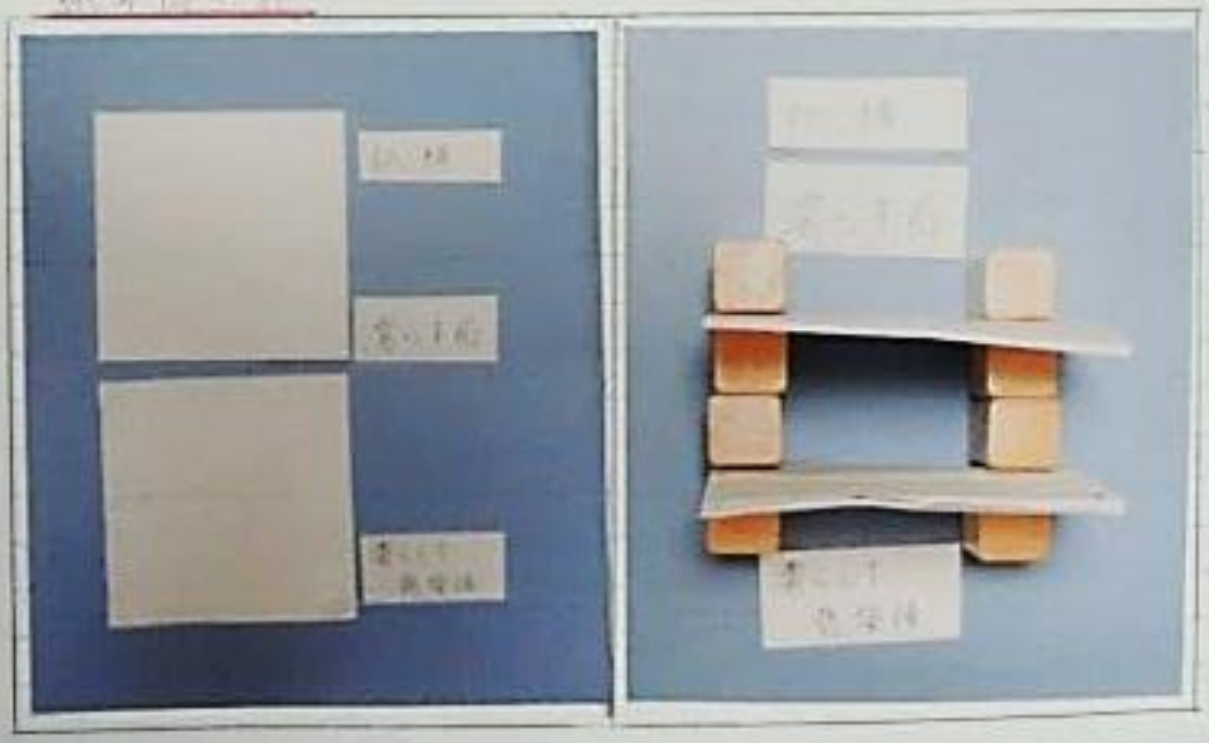
④結果

（単位cm）

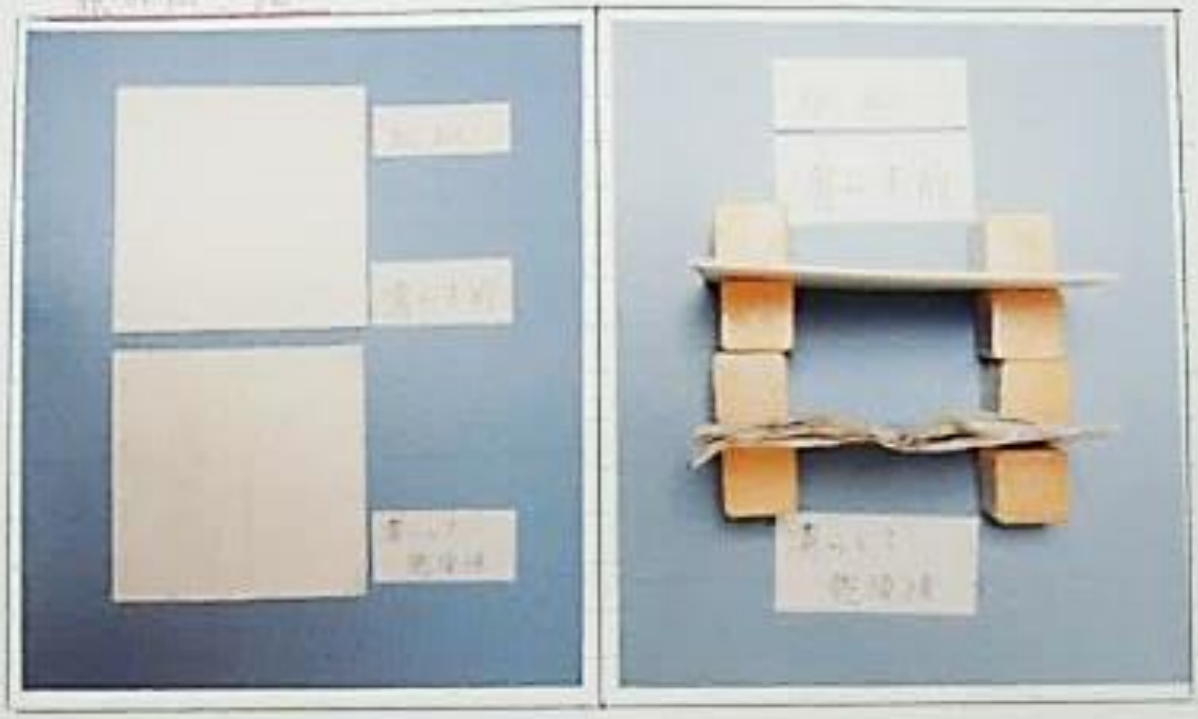
	1	2	3	4	5	気付いた事
紙の向き 横	3.5	3.5	4	5	4	横に広げることができた
紙の向き 縦	5.5	4	4.5	6.7	4	紙が縦にくっついてきて[illegible]縦よりも横の方がよかった

⑤高さ手前 ⑥高さ奥手前	高さ奥手前 横から見た出っぱり

紙の向き横



紙の向き



⑥考察

・濡らした後に乾いた時にできる、波打つしわは紙の向きと横に、たては、縦向きに、でき、紙の向きを縦にしたのは、縦向きにできた。
・縦向きに出来たしわと横向きにできたしわは、向きの違いだけで、同じ性なしわになった。

⑦結論

・紙を重ねた状態で水に濡らして乾かしたときにできる一定方向に波打つしわは、紙の流れ目の向きと関係していることがわかった。

⑧生じた疑問

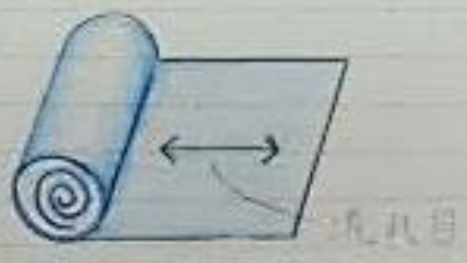
紙の向きに合わせて、横方向に文打つもわが出来る事がわかった。だが、ずっと始めの方で部が文打つしわが出来る。そのうち乾いて文打つもわが出来なくなり、コ字型に、水分をとったが、コ字型にしなければ文打つしわは出来ないのではないか。

紙の流れ目に平行する様に波打ったしわができる理由

・紙の製造方法と関係・

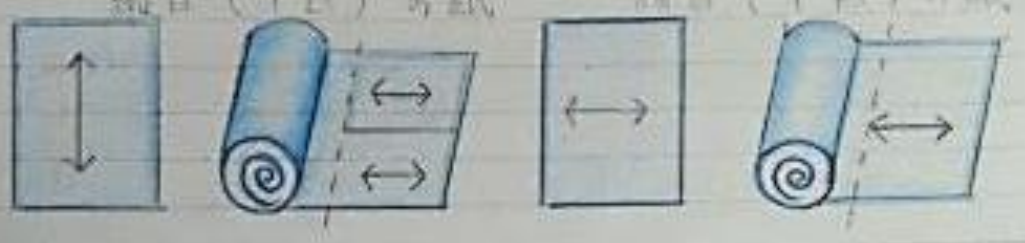
原紙は機械で抄かれるため、繊維の方向により「目」ができる
具体的には、紙は製造される時に原料の繊維がワイヤー上で揺ふされながら、高速に進んでいく。その際に進行方向へ引っ張られた繊維は同じ方向に並ぶ。
その繊維が一定方向に並んでいる方向を「紙の目（流れ目）」という

抄紙機



紙は、大きなロールに巻き取られながら製造される。

縦目（T目）の紙　　横目（Y目）の紙

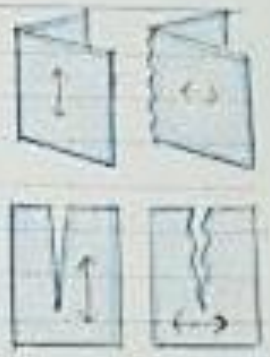


紙の繊維の電子顕微鏡写真

コピー用紙、電子顕微鏡 100倍写真

紙の繊維が一定方向でなく――うに長くなっている
のがわかる。

流れ目の特性



- 流れ目に沿って力が加わると破れやすい
- 流れ目に沿って力が加わると裂けやすい
- 湿気を吸収したとき、流れ目の方向には伸びにくい
- 流れ目に垂直に力を加えると破れにくい
- 流れ目と垂直に力を加えると裂けにくい
- 濡らすと流れ目に対して垂直に縮み込みます。

推測

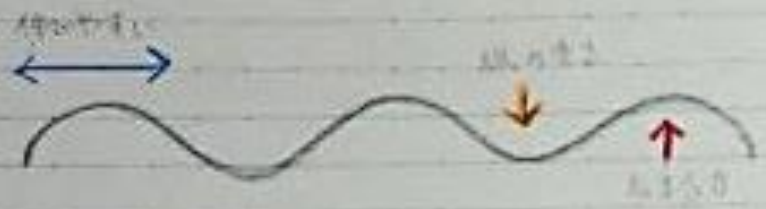
上記の特性から推測して
水に濡れた紙が流れ目と垂直方向に伸び、なおかつ流れ目方向と垂直にねじまろうとする

↓

紙が乾いている事によりそれがなかなかかかり、すぐに伸び

↓

まきろうとする力をそれに抑えきれなくなり、でしまう



実験10 乾かす時に含まれる水分の量は、乾いた時のしわになり易さに関係するのか

①目的

紙の縦方向への波打つしわは、すしゃめた、出来て、そのまま乾く事で出来てしまうので、事前にしっかり、水分を取ってからにしたら波打つしわは出来ないのか調べる。

②実験に使用した物

紙・コピー用紙　15cm×15cm
　20枚綴りホッチキス留め

水、タオル、洗面器、量り、ノギス、ホッチキス

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
　20枚重ねてホッチキスで留める
2. 水に漬ける、充分濡らす
　片方は軽く水分を取る　(含まれる水の量は少ない)
　片方はしっかり水分を取る(含まれる水の量は多い)
3. タオルの上に平置きにして乾かす。
4. 完全に乾いたら元の紙と比較する

1

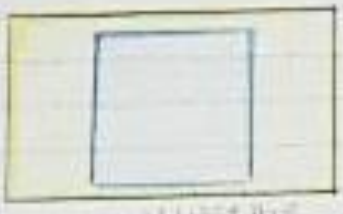
15cm×15cmの紙
ホッチキス留め

→

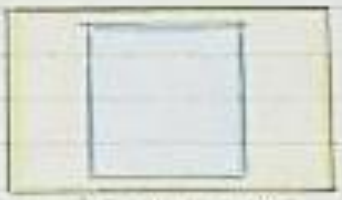
2

水で充分濡らす

3



しっかり水分を取る



軽く水分を取る

5
しっかり水分を取る

6
軽く水分を取る

水が含んだ水の重さ　(濡らす前 → 濡らした後)(単位 g)

	1	2	3	4	5	平均
(軽く) 全体	81	80	83	84	82	82
水	54	53	56	57	55	55
(しっかり) 全体	117	116	114	114	115	115.2
水	40	39	37	37	38	38.2

④ 予想・仮説

・乾燥時に水分を多く含んでいると考えたことから、
その分を吸収しやすくなる。
また前の水分をしっかり取ってからにすると
(しない) その分をしめだしたことが強く

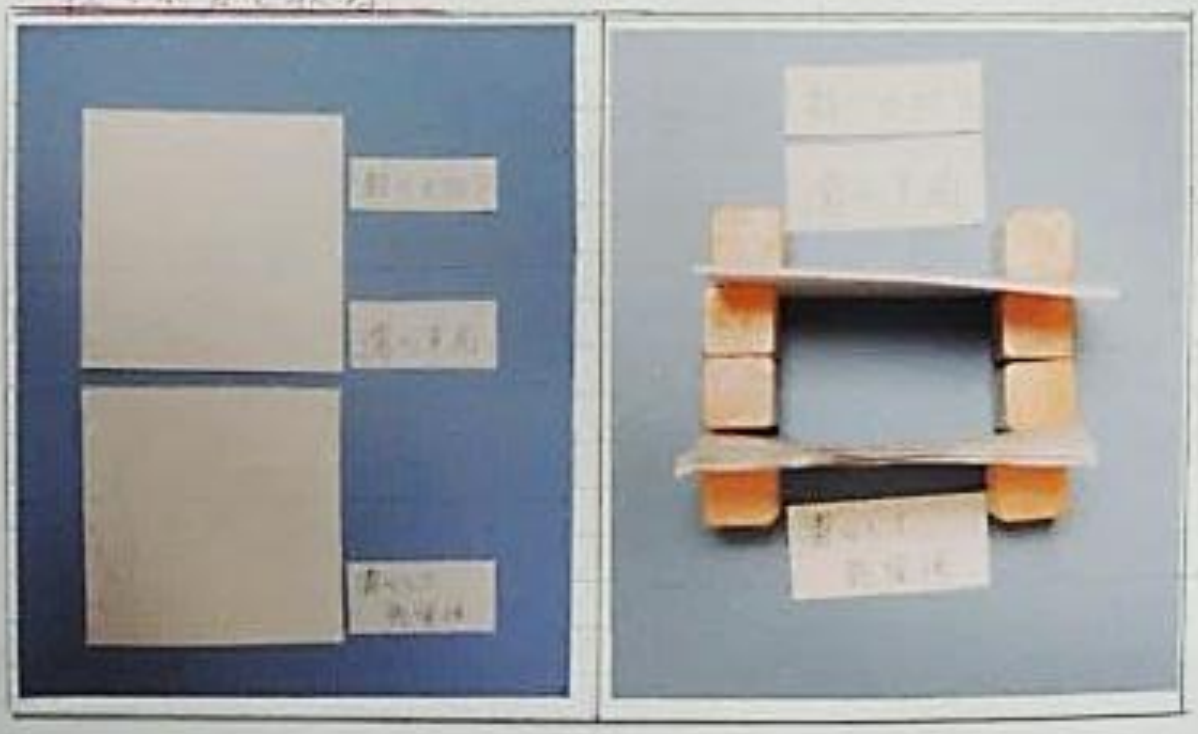
⑤結果

(単位mm)

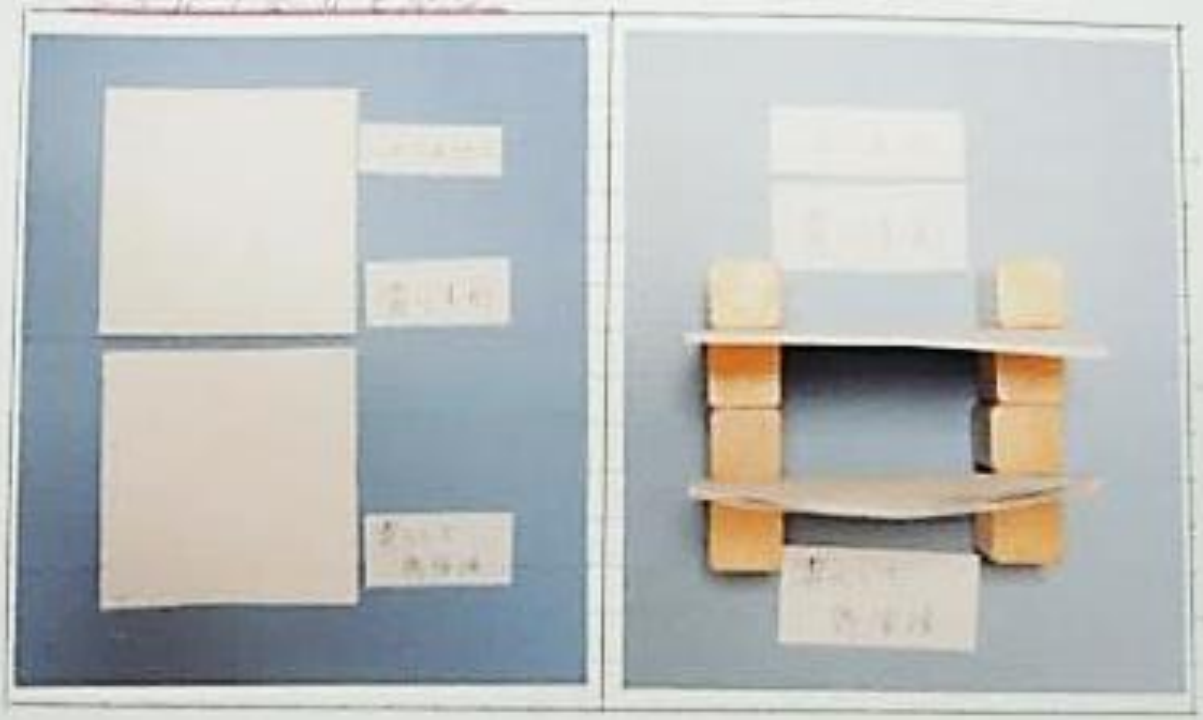
	1	2	3	4	5	気付いたこと
軽く	3.5	5	2.5	5.5	6	1枚1枚が違うはずなので、全体としては高かったり厚みが出た
しっかり	4.5	10	4.5	8	8	全体がまとまって同じ押し方になった。1つの差は大きい

㋐濡らす前 ㋑濡らして乾燥後	濡らして乾燥後 横から見たりかた

軽く水分を取る



しっかり水分を取る



④考察

・しっかり水分を取って乾かすと、1枚1枚がかさばって、でこぼこの状態になった。
・軽く水分を取って乾かすと、1枚1枚がばらばらになって、横から見ると間があった。

⑤結論

・しっかり水分を取って乾かしても、重ねた後に乾いた時のしわはできる。重ねた紙がまとまり、大きなかさばになることがわかった。
・軽く水分を取って乾かすと、1枚1枚がばらばらになり、全体としてかさばは大きくなる事がわかった。

実験1～実験4で、どのような条件で濡らすと乾いた時にしわになり易いのか調べた。
また乾かし方の違いでしわになり易さに違いがあるのか調べる

実験1　乾かし方の違いで、乾いた時に、しわになり易さに違いがあるか

①目的

乾かし方を変えて、乾いた時にしわになり易さに違いがあるか調べる

②実験に使用した物

紙・コピー用紙　15cm×15cm

ぬいぐるみ、扇風機、ドライヤー、ドライヤー(冷風)、扇風機(弱風)、ティッシュ、ペーパータオル、濡れ用ペット、ボトル、ピンセット、ハサミ

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
2. 水に濡らす。そのまま置く
3. ぬいぐるみの上に平置、ドライヤー、ドライヤー(冷風)、扇風機(弱風)、ティッシュ、それぞれ1、シリコンボールの中に入れる。ペーパータオルではさんでピンセットで、ボトルで、濡れ用ペットを上に置いてから、それぞれ乾かす
4. 完全に乾いたら、それぞれと元の紙と比較する

気がとれた

平置き

傾き平し

ドライヤー（温風）

扇風機で風を当てる

※アイロンは危険なので
先生のまえでしか使えません
ふくらませてからアイロンを
かけました

天日干し

アイロン

こりかけた

上から重し

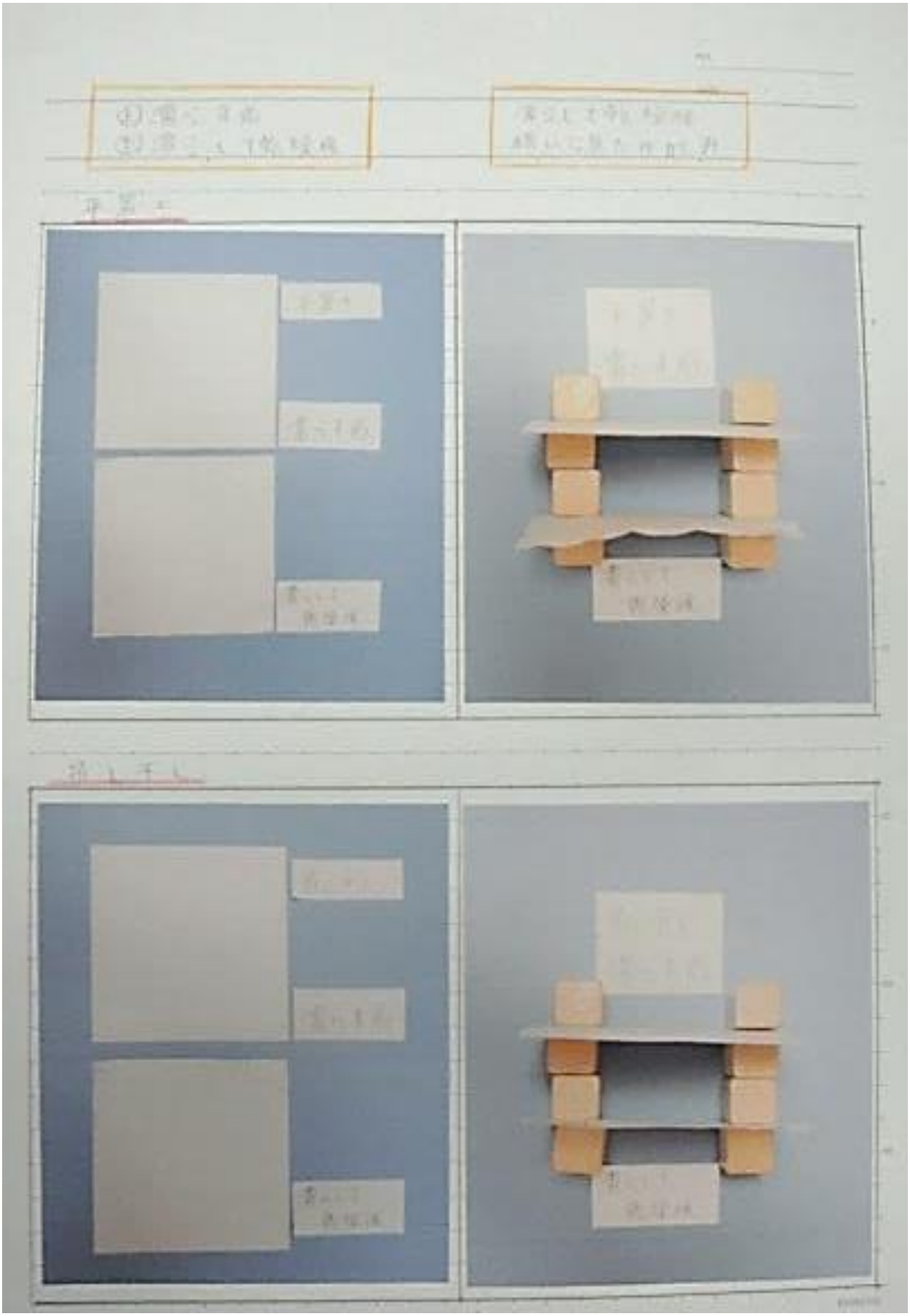
④予想・仮説

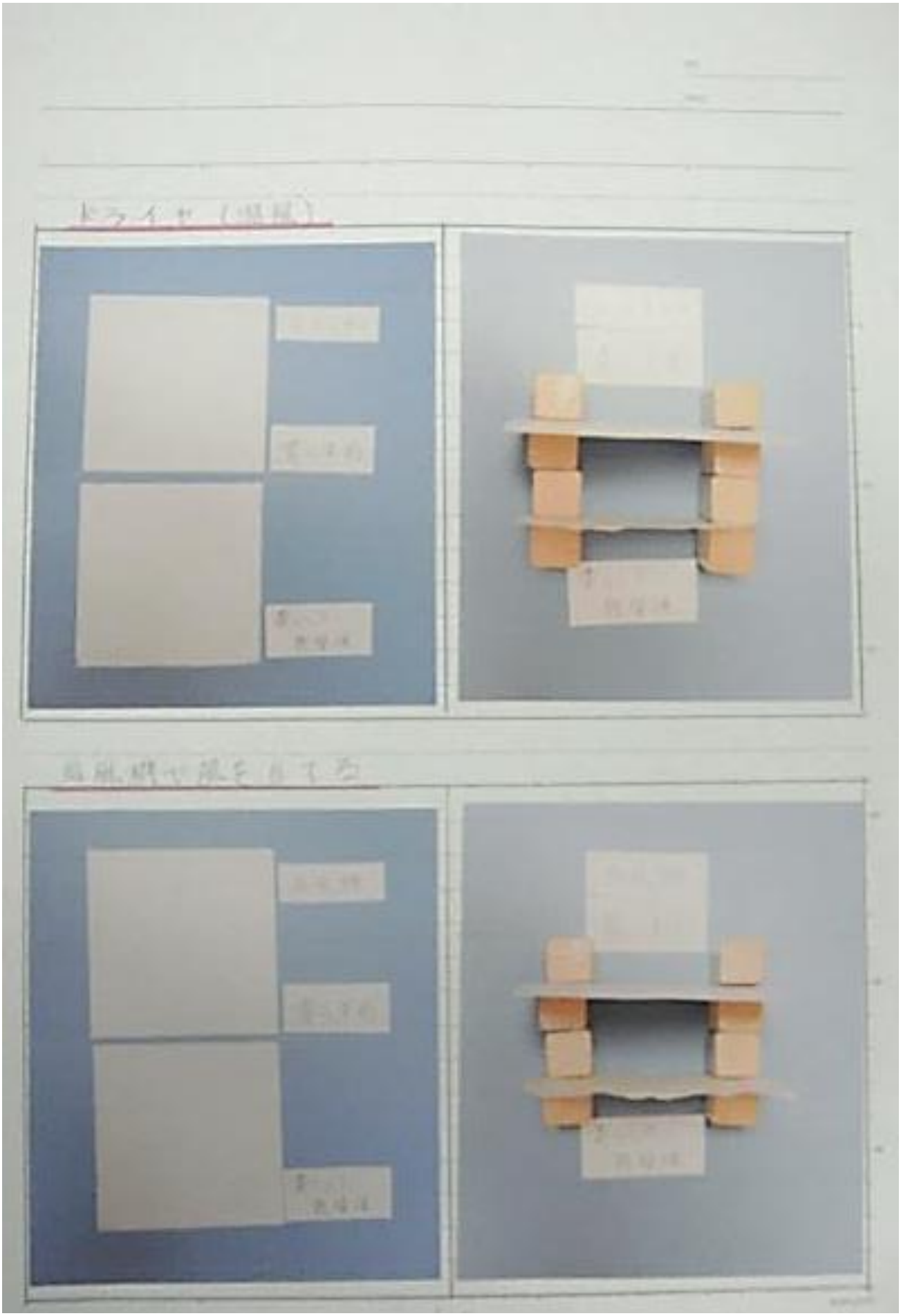
・アイロン：手らにとながら乾かすと、しわなく乾く。シリカゲルやドライヤーで乾かすと、濡れている時間が長くなるので、しわになり易い。
重しで平らにして乾かすと、しわなく乾く。

⑤結果

(単位mm)

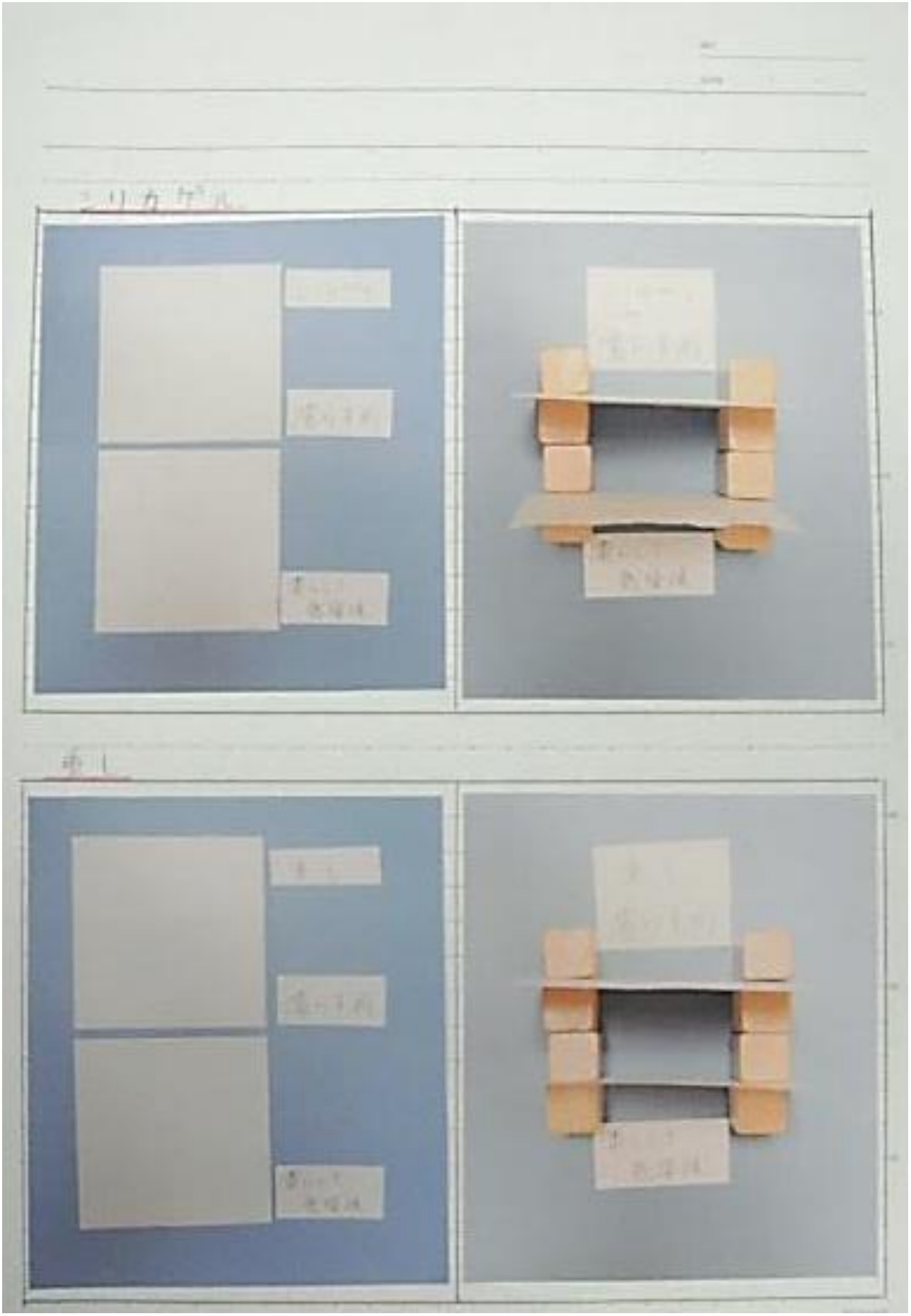
	1	2	3	4	5	気付いた事
平置き	4.5	5	5	6	4.5	全体に細かい凹凸のしわ。側面に波打つしわ
吊し干し	4.5	4.5	5	5.5	4.5	平置きより目立つ凹凸のしわ
ドライヤー送風	3	2.5	4.5	3.5	3	全体に凹凸のしわ。側面に波打つ凹凸のサイズが大きめ
扇風機(強ちゅう)	4	3	3	4	4	平置きよりも目立つ凹凸のしわ。側面にも波打つしわが細かくたくさんある
天日干し	5	3	4.5	4	3	紙が少し変色した。ぱりぱりした感じ
アイロン	5	5	3	6	4	熱で変形しそうで直接当てるとすぐ伸びるので平らにするのが難しい
シリカゲル	3	6	5	5	4	早く乾くが、細かいしわができる
重し	4.5	3	4	4.5	3.5	表面にしわは無く、全体で見ると一番平らできれい。側面に波打つしわ

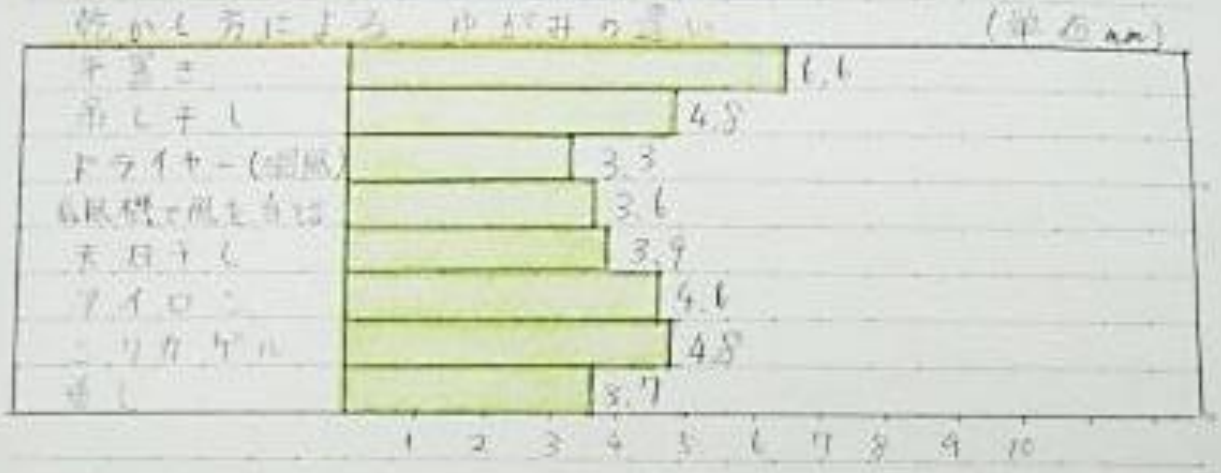




太日干し

アイロン





⑥考察

- 同じ種類の紙を同じ様に濡らしても、乾かし方を変えると、濡らした後に乾いた時にしわのでき方に違いがあった。
- 布しきは平置きより面の凸凹が目立つ。
- ドライヤー(温風)や、アイロンはまかしている時に紙により大きなしわやゆがみが出てしまった。
- 天日干しは、日焼けしてしまい変色してパリパリした感じになった。
- シリカゲルはとても速く乾いたが、細かいしわがたくさんあった。
- 重しわがなく、ピンとしていたのが、重しをのせた紙だったが、紙の端に波打つしわができた。

⑦結論

- 同じ種類の紙を同じ様に濡らしても、乾かし方の違いで、乾いた時にしわになり易さに違いがあることがわかった。

・ドライヤーやアイロンは、強くあては使わず、熱が使って乾燥してしまい、しわになりやすい。
・天日干しは、日焼けして、色褪せる
・こりがれは書き方が、しわになりやすいと、思っていたが、細かなしわがたくさんできた。
・実験したなかでは、重しを使って乾かす方法が全体的にしわの少なさが一番よかった。
・一番よかった重しを使う方法でも、袖は皺がつしわができてしまった。
・しわがなくなる状態に戻った紙はなかった。

⑧生じた疑問

・1枚の紙では、乾かし方で乾いた時のしわのなりやすさ、しわの状態に違いがあったが、本の紙に挟まれた場合でも、乾かし方の違いで乾いた時のしわになりやすさに違いはあるのか、またあるのなら、どの状態が違いがあらわれるのか

実験D 乾かし方を変えて、乾いた時に、しわになり易さに違いがあるか（紙、2枚重ね）

①目的

乾し方を変えて、乾いた時にしわになり易さに違いがあるか2枚重ねた紙でも調べる

②実験に使用した物

紙・コピー用紙 15cm×15cm

水、タオル、洗面器、ホッチキス、
ピン付きハンガー、ドライヤー、扇風機、
アイロン、ミリカゼル、ペーパータオル、
重し用ペットボトル、下じき、ノギス

③実験方法

1. 15cm×15cmのコピー用紙を用意
   2枚重ねてホッチキスで留める
2. 水に濡らす、余分落とす。
3. タオルの上に平置き ドライヤー（弱風）、
   扇風機で風を当てる、アイロン 表裏
   ミリカゼルの中に入れる、ペーパータオルでは
   さんで下じきを上に置いてペットボトルで重し
   乗しする 紙 横向き ホッチキス横し
   紙 縦向き ホッチキス縦し
   紙 横向き ホッチキス上
   紙 横向き ホッチキス横
   紙 縦向き ホッチキス上
   紙 縦向き ホッチキス横
   それぞれ乾かす
4. 完全に乾いたら それぞれを元の紙と比較する。

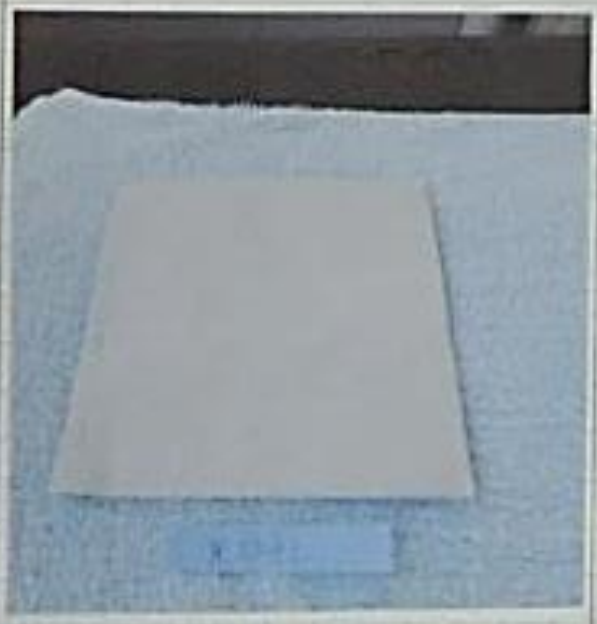
乾かし方

平置き

ドライヤー（温風）

扇風機で風を当てる

太陽干し



ストロー　　シカガル

赤し

ストローは曲げると
戻りるので、ケーキ、ク
オルを上から、セーナ、ス
ロローをかけました

第1子1

生徒5

紙 横向き
ホッチキス横

紙 横向き
ホッチキス上

紙 縦向き
ホッチキス横

紙 縦向き
ホッチキス上

紙 横向き
ホッチキス無し

紙 縦向き
ホッチキス無し

④ 予想・仮説

上に示した枚数分だけ紙を重ね、重かった順番で、紙が不明瞭になるまで、おもりを乗せていった。

1枚の実験では、重ねた紙が一番下のものが、先に、上のものが、おもりの力を受けて、曲がっていくと考えた。

残りの実験では、同じ向きにホッチキスを付けた紙の向きで結果が異なると考えた。

⑤結果

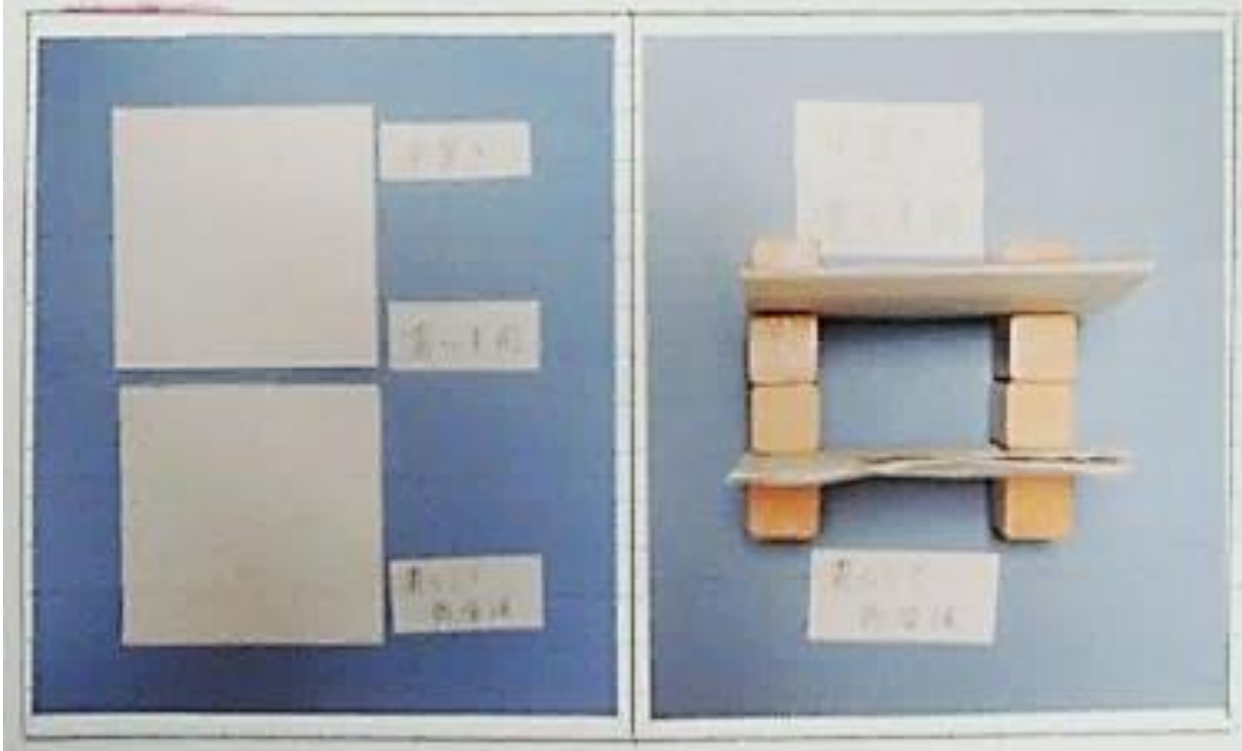
(単位cm)

	1	2	3	4	5	気付いた事
平置き	6	4	5	6	4	横に少ししわ 側面から見ると一応真横に 張れている
ビニイヤー 張風	6	4.5	5	5	5.5	全体的に細かいしわ 色ムラが多い
扇風機 (風を当てる)	7.5	7	6	3	3	全体に満遍なくしわ 側面から見ると張れる部分が ない
天日干し	9	6	5	4	8	日に焼けて、赤色に変色 全体に凹凸のしわ
アイロン	5	5	5	5.5	4.5	二枚重ねてアイロンを当てる ことの難しさ多い 1枚ずつアイロンを当てる
シリカゲル	5.5	6	5	4.5	5	とても速く、パリパリに乾いた 凹凸、波打つしわ、模様ある
重し	4	2	2	3	1	つぶされて平坦に見えるが一番 伸びていない。少し形は変わ っていた
吊し干し 紙・横 高さ1メートル	5.5	7	6	8.5	9.5	少し紙が側面にくっついた ん表面にしわ
吊し干し 紙・縦 高さ1メートル	3	7	4	12	10	縦に波打ったしわができる
吊し干し 紙・横 高さ1メートル	7	4.5	8	4	4	紙の端が内側にくるんだように しわができた

	1	2	3	4	5	気付いた事
弟くしゃくしゃ紙・横 ホッチキス横	6.5	7.5	11	9	8	横に波打っており側面から見ると、ふくらみが大きい
弟くしゃくしゃ紙・縦 ホッチキス上	6	8	10	6	5.5	紙の向きに合わせた形での波打ちはあまりない
弟くしゃくしゃ紙は縦 ホッチキス横	10	6	9	9.5	3.5	紙の向きに合わせた向きで波打っているものもある

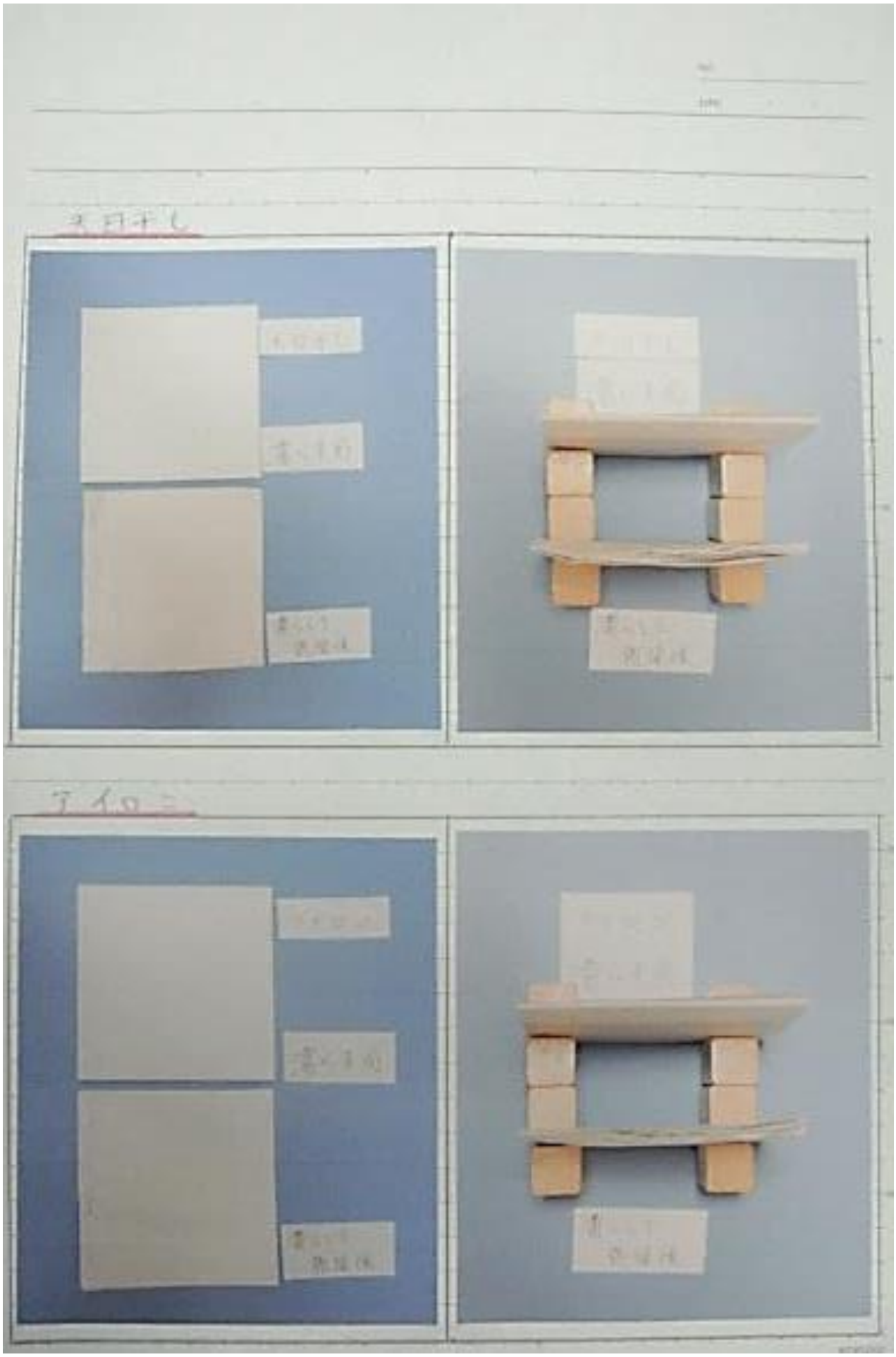
速く落ちる事	遅く落ちる事
空気抵抗	横から見た断面積

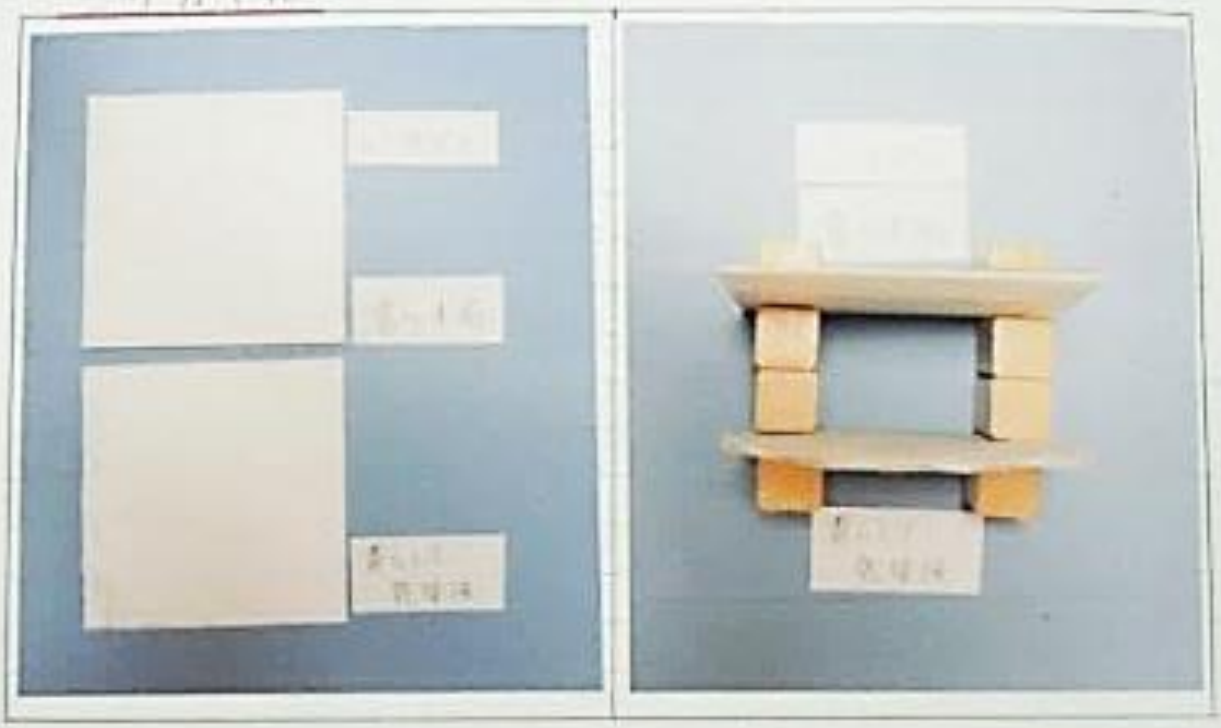
予想

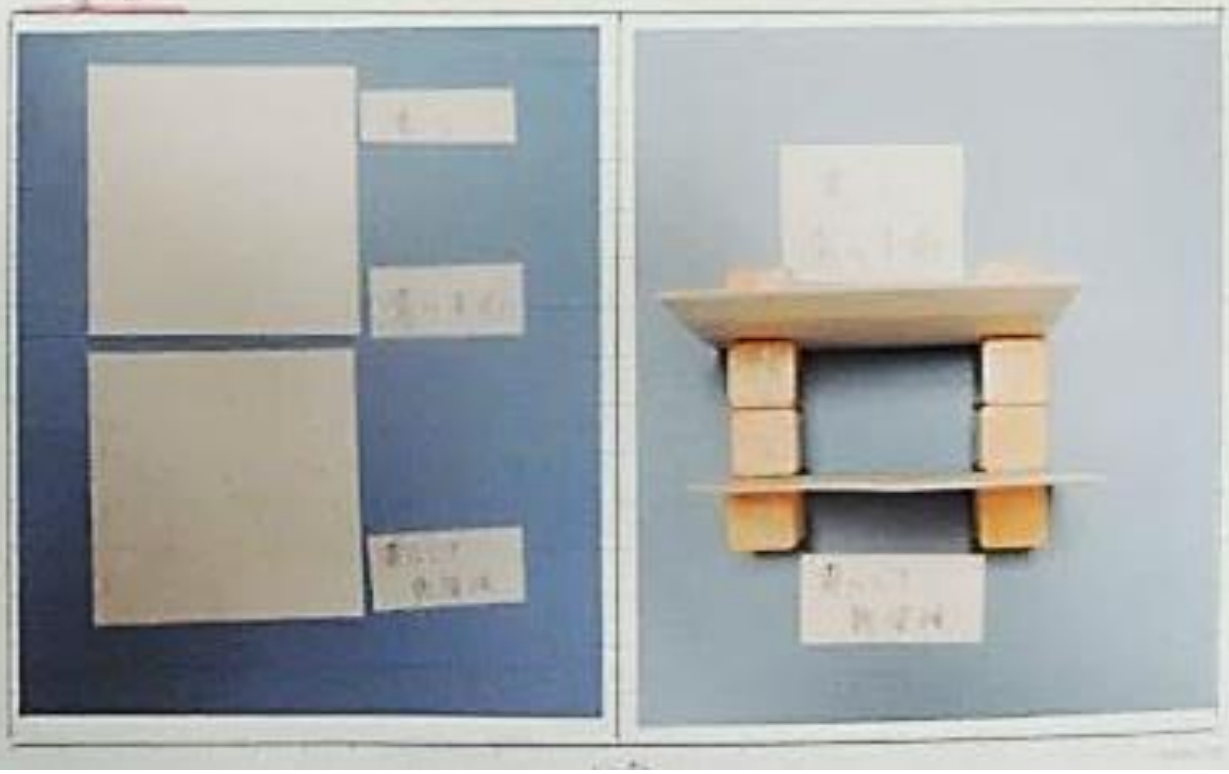


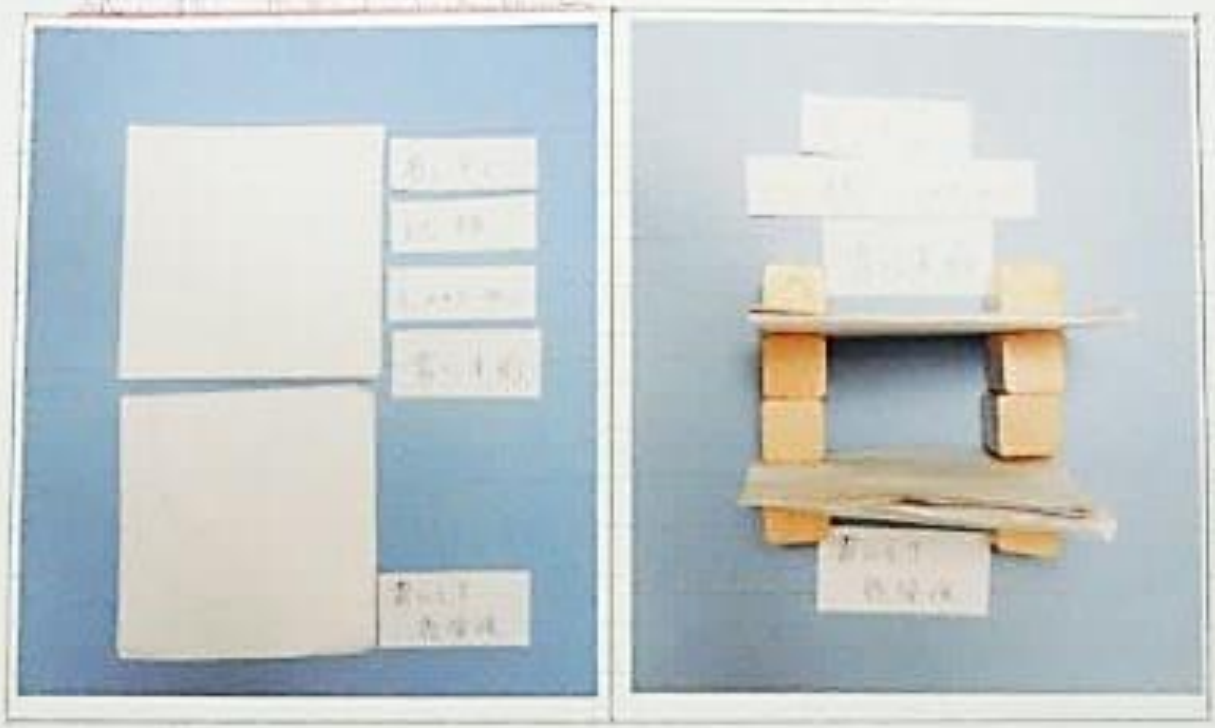
ドライヤー（洗面）

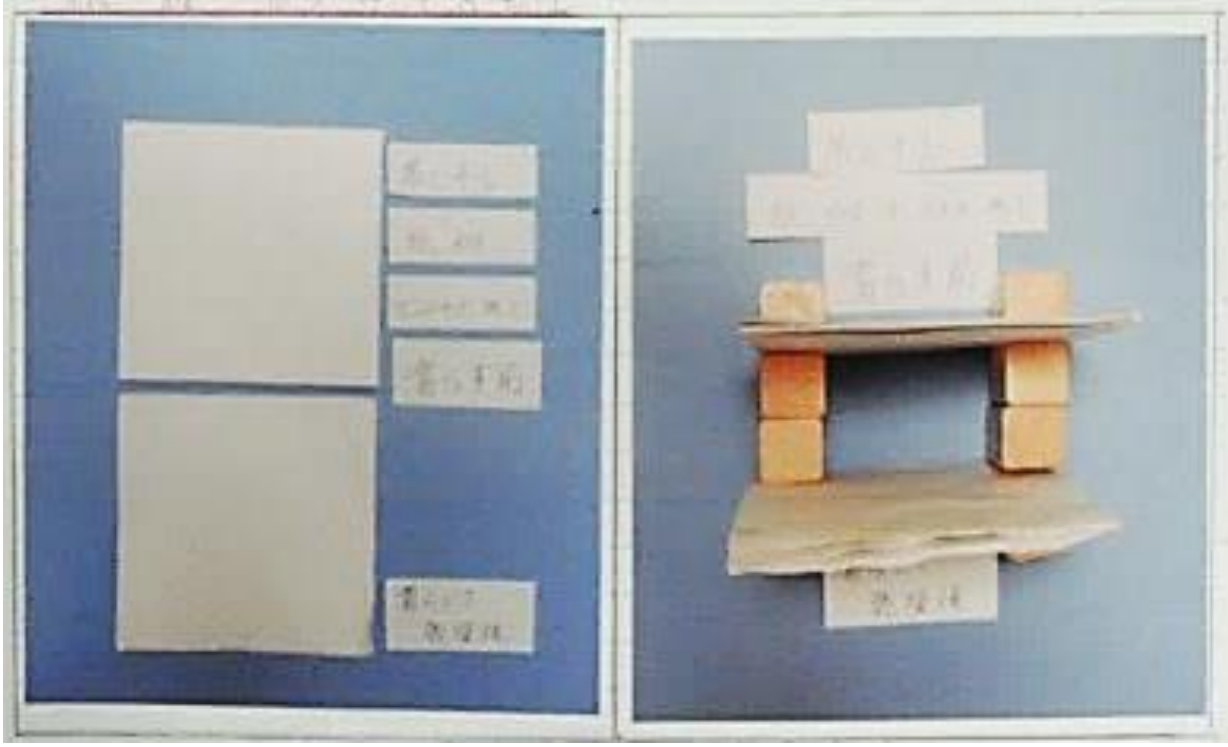
風呂焚き口及び洗濯機

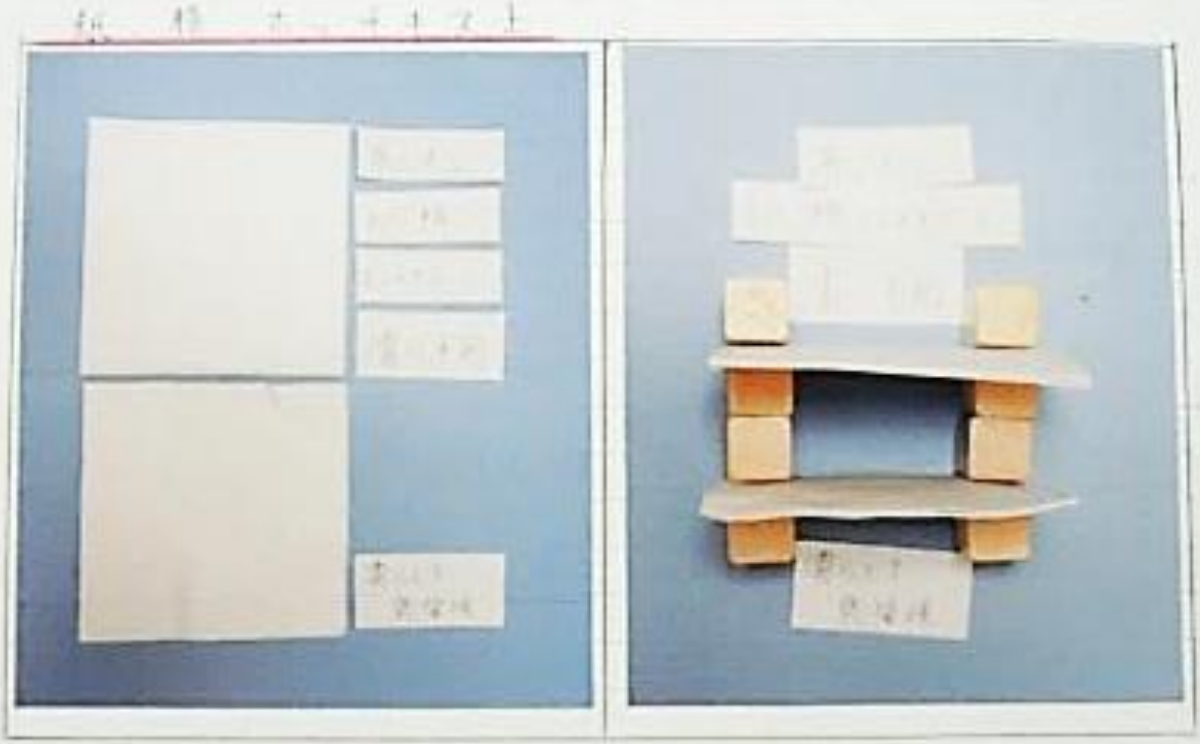


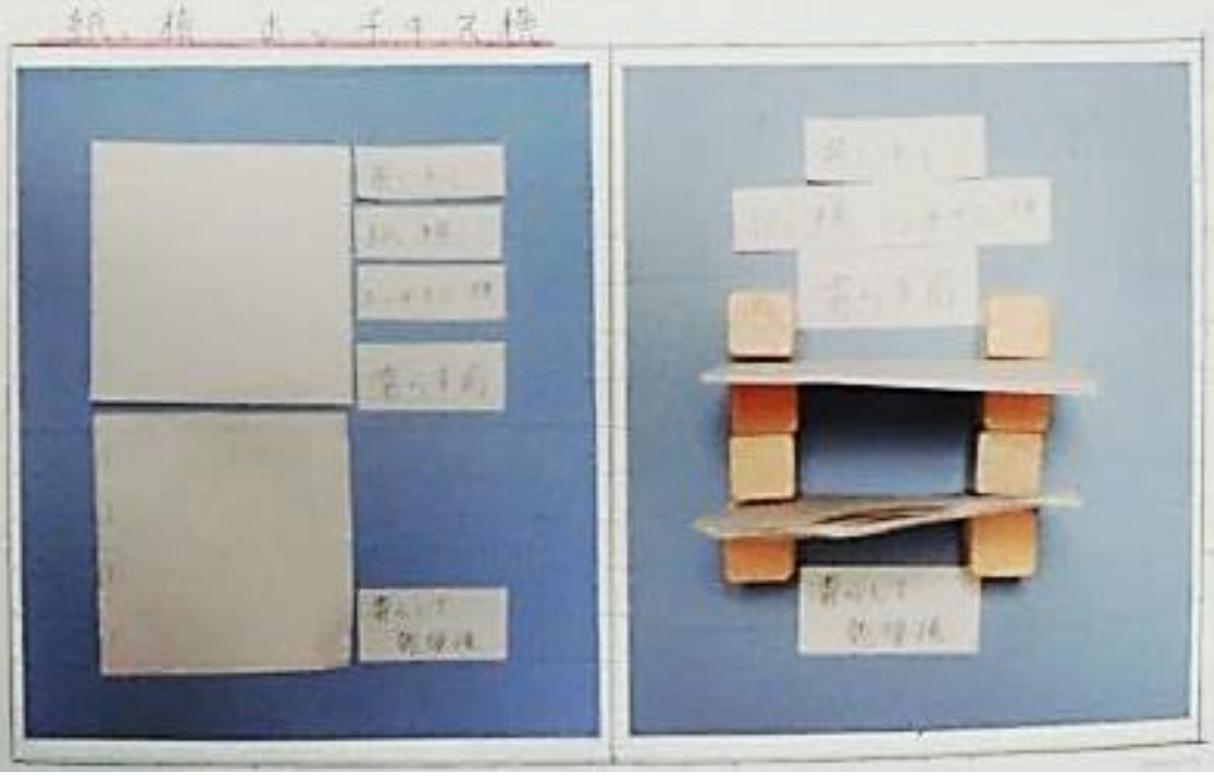


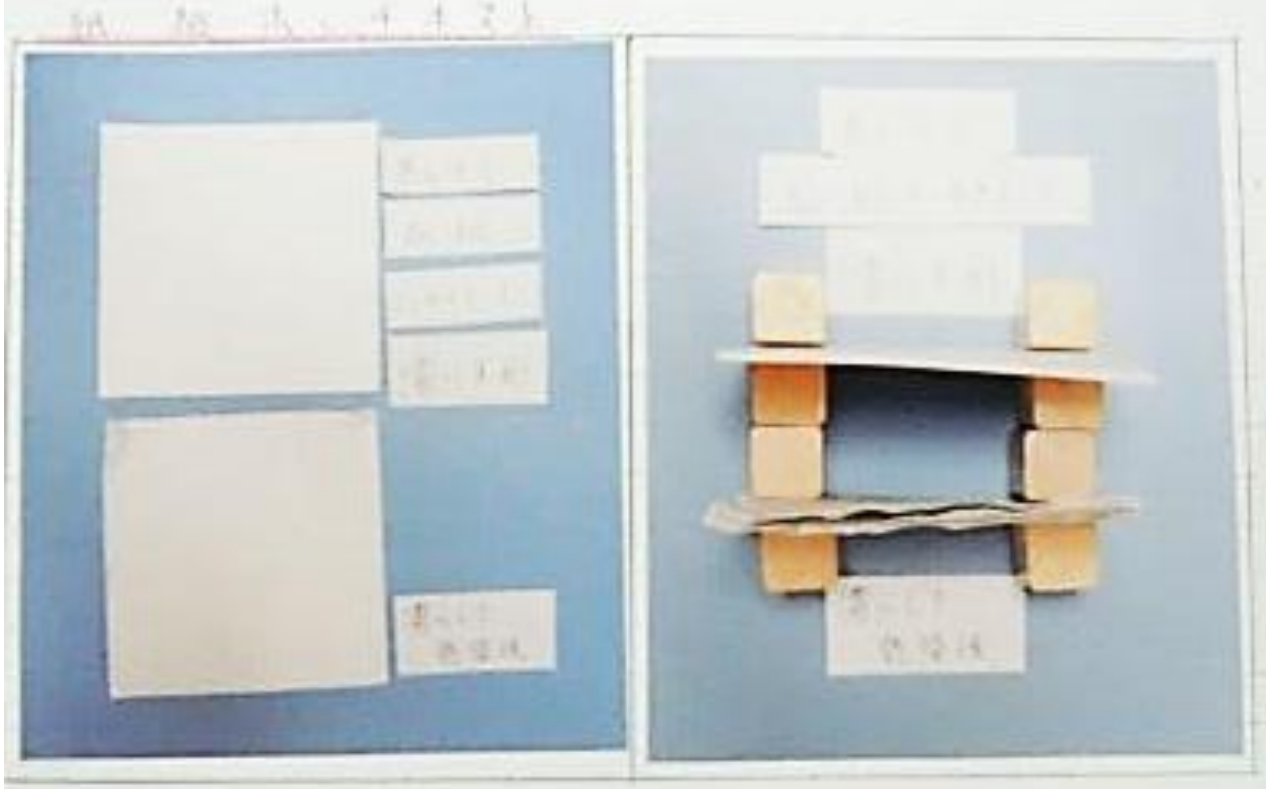


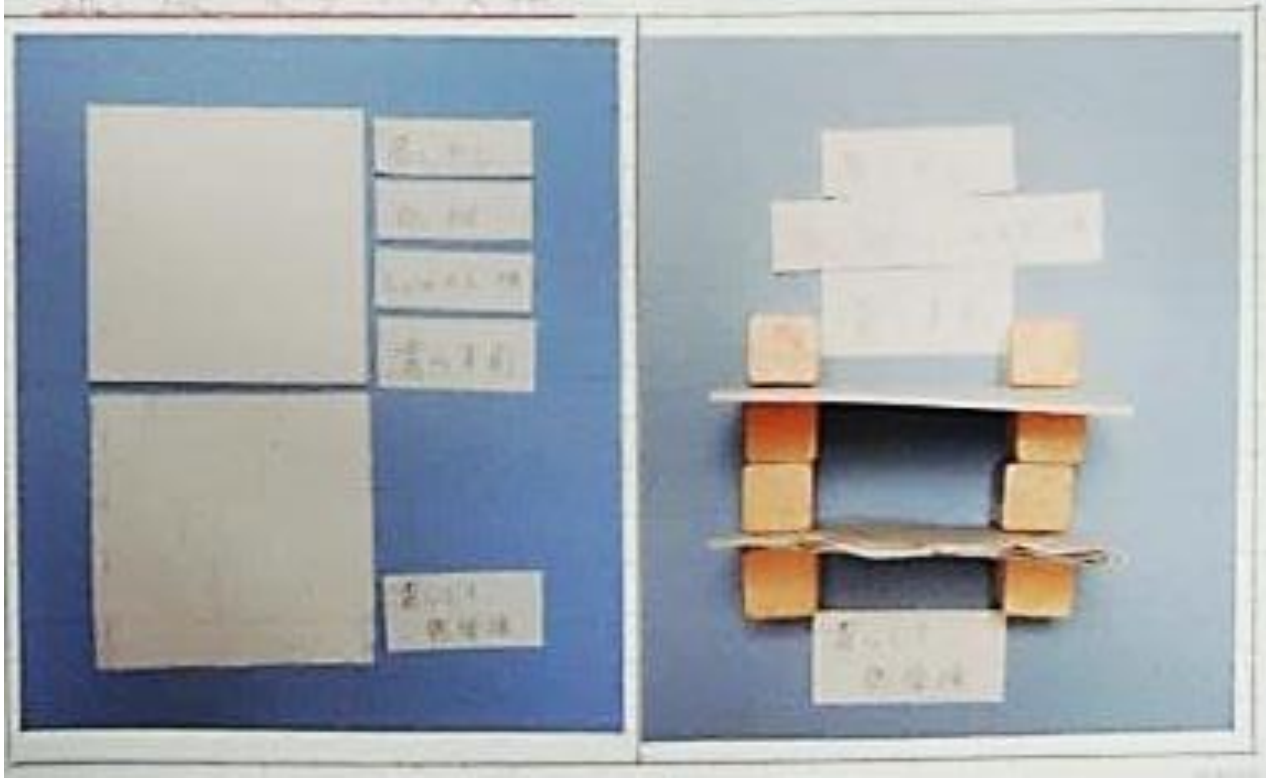


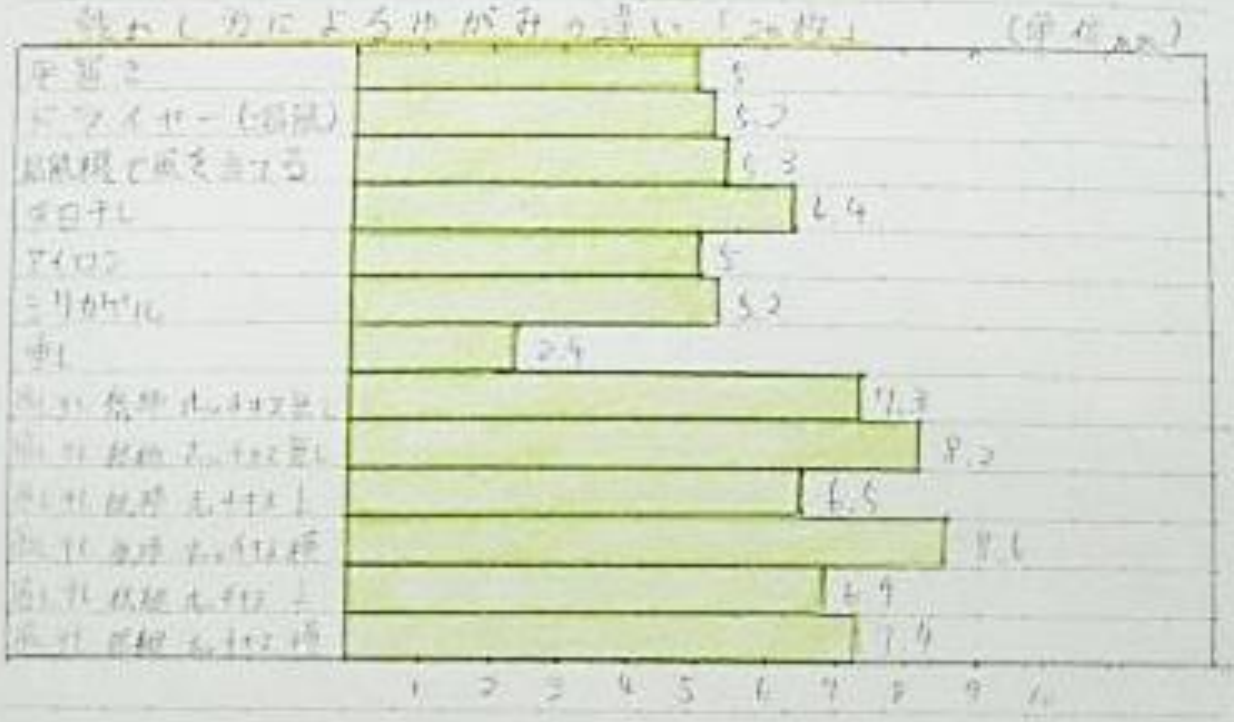












⑥考察

・乾かし方の違いで、乾いた時にくわたなり易さに違いがあった。
・しわになり易さ、しわの状態は、それぞれ異なるが、表面にのみのしわ、裏面から見たときのしわは出来る。
・ドライヤー、アイロンは1枚の実験用紙が、折り変形した。
・こりかぎりは、20枚重ねた紙でも、とてもきれいでした。全体が角から引っ張られるしわがある。
・重しを乗せた紙が一番しわが少ない。
全体としても広がりがみられない。
・日干しとは、条件を変えてもあまり違いが出なかった。

⑦結論

・紙を2枚重ねた実験でも、同じ種類の紙を同条件で濡らしても乾かし方の違いで、乾いた時にしわになり易さ、しわの状態に違いがあることがわかった。
・重しそしの実験では、条件を変えても、乾いた時にできるしわの状態には、あまり差がでなかった。
・紙を2枚重ねた場合、紙1枚よりもしわが多い様に乾かすのは難しい。
・紙を2枚重ねた実験でも、重しを乗せて乾かしたものが一番しわが少なく乾いた。
・重しを乗せたものでも、少しぼわっとしわができていた。完全にしわをなくす乾かすのは難しい。

⑧生じた疑問

・乾かし方を変えた実験で、重しを乗せて乾かす方法が一番しわが少なく乾かせることがわかった。実際に木を使、てしわが多い様に乾かすことができるのだろうか。

・一度濡れて乾いた時にしわになったものを、もう一度濡らして重しを乗せて乾かすことで、しわが少い様に乾かすことができるのだろうか。

実験13　実際に本を使って、しわになり難い方法で乾かす

①目的

①～⑫の実験結果を元にして、しわになり難い方法で実際に本を使って、しわになり難いのか確かめる。

しわになり難いと考えられる濡らし方・乾かし方
- 水につけて大分はしっかり取る。
- 平置きにする
- 上から重しをして乾かす
- 濡れた紙がくっつき、波打ってしわにならない様に上からおさえる
- 水でゆるんだ繊維が再びくっつく時にしわにならない様に上からおさえる。

②実験に使用した物

本　21cm×29.8cm　19枚
大　洗面機　タオル　ペーパータオル
板　重し　1ずつ

③実験方法

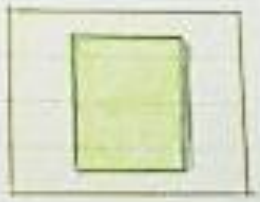
1. 21cm×29.8cm　19枚の本を2冊用意。
2. 水に漬ける　充分濡らす。
3. しっかり水分を取る
4. 板の上にペーパータオルを置いてその上に本を置く。本の上にペーパータオルを置いて板を乗せてはさみ、上に重しを乗せる
5. 一冊はタオルの上に平置きにして乾かす。
6. 完全に乾いたら、元の本と比較する。

重しなし（平面）

水で表面張力

↓

サオリの上に平面を
広げる



重しあり（しかなり重いもの）

水で表面張力

↓

しっかり水分を取る

↓

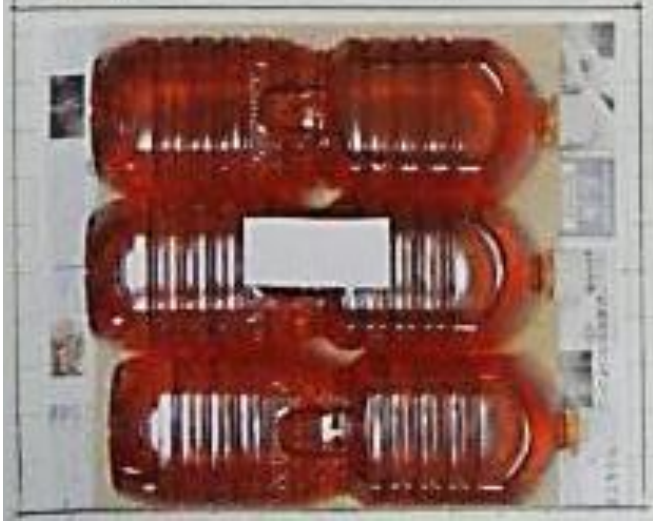
板の上にペーパータオルを敷き、その上に本を置き、ペーパータオルを一枚ずつはさむ

↓

上から重く

↓

途中、ペーパータオルを取り替えて水分を抜かす



計測方法

水の一番高い所を測る

④予想・仮説

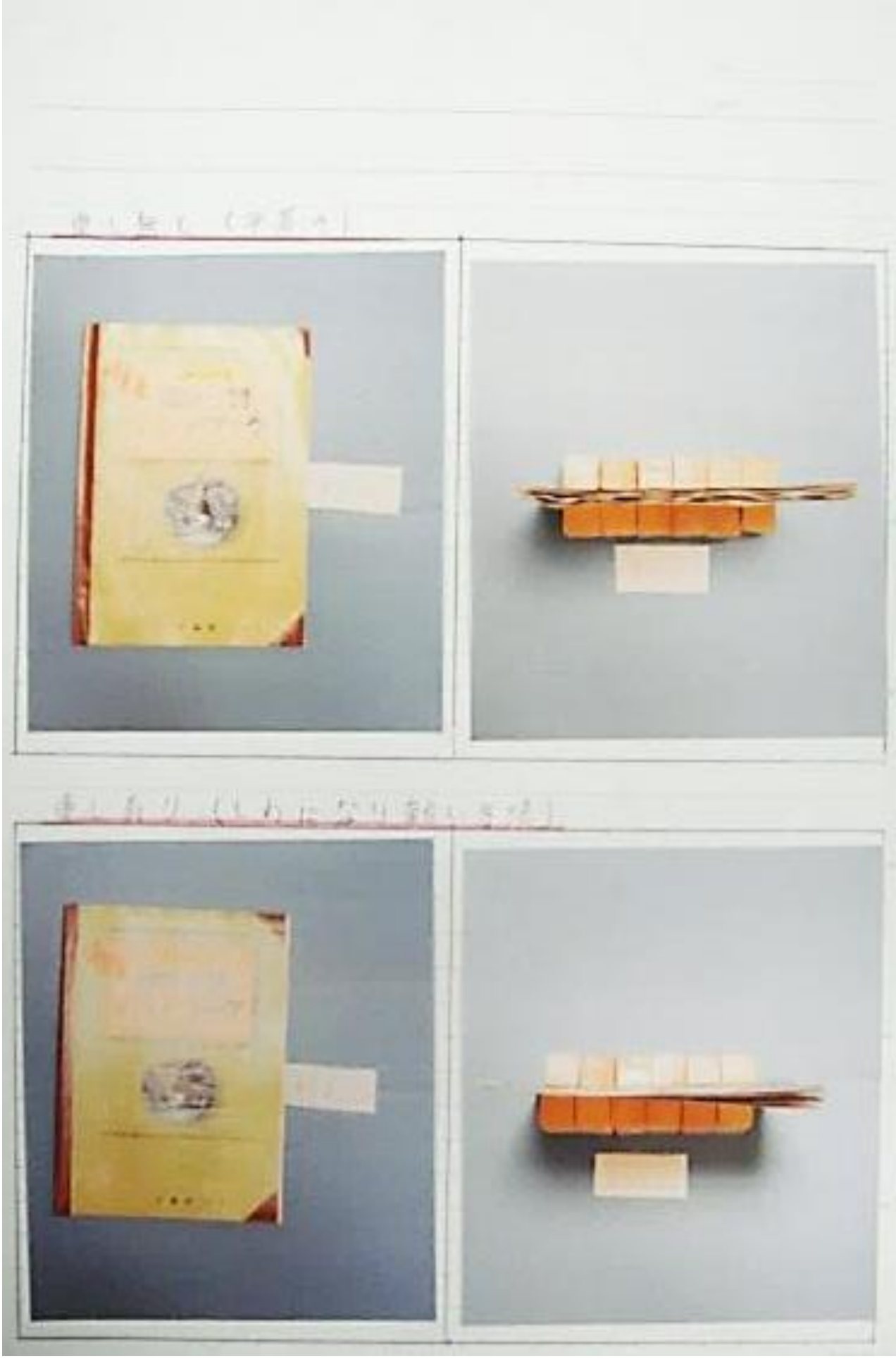
- 重しを使っていないものは波打つしわができる。
- 1枚1枚しわになり、側面から見たら波打ってしわになりそうだが、上部がたかくなる。
- 重しを使ったものは、紙の手ざわりが変わってザラついているが、あまりしわになったり波がったりしていない。

⑤結果

(単位mm) 濡らす前の本の厚さ 2mm

	1	2	3	4	5	気付いた事
重しなし (予想)	3.5	4	4	6	5	1枚1枚の紙が波打った感じ。しわもある。まん丸が多い。
重し有り (しわが無い感じ)	2.5	3	2.5	3	2.9	1枚1枚の紙に波打ちはあるが、見た目ではあまり目立たない。側面はしっかり波打っている。

濡らす前の本の厚さ 2mm



⑥考察

・重しを乗せていない本は、1枚1枚が凹凸のしわになり、波打ったしわもバラバラで本の厚みがでた。見た目でもボコボコした感じで波打っている。
・重しを乗せた本は、1枚1枚の凹凸が小さく、見た目ではかなりすっきりとなっている。
・紙がピラピラした感触になって、1枚1枚のハリが無くなっている。

⑦結論

・1～4の実験から、一番しわになりにくい方法としてわかった。濡れた水分をしっかり取り、板にはさんで上から重しを乗せて乾かす方法は、実際のものもかなりれんぜんとさせることがわかった。
・ほかの本に比べて重しをしたものがかなり少ない。1枚1枚のしわも少なく、あまり目立たなくできる。
・しかし、紙の質が変化してしまい、しわも完全に無くすことはできなかった。

⑧生じた疑問

・本を板で挟んで、重しを乗せて乾かす方法だと、途中に何回もペーパータオルを交換してみたが、なかなか乾かず、完全に乾くのに4日間かかってしまった。速く乾く方法はないだろうか。

実験14　1度濡れて、乾いた時にしわが出来ましょった紙は、しわの無いように戻せるのか

① 目的

濡らした紙は乾かすとしわが少なく乾く。そこで、1度濡れて乾いた時にしわができた紙をまでくしゃくしゃにしわがついた紙を濡らして重しを乗せて乾かすことでしわを無くすことができるか。

② 実験に使用した物

紙、コピー用紙　15cm×15cm
水、皿、ペーパータオル、重し、ノート

③ 実験方法

1. 15cm×15cmの紙を3枚用意
   ①そのまま、しわのない紙
   ②1度濡らした後、乾かしてくしゃくしゃにしわのついた紙
   ③手でくしゃくしゃにしわをつけた紙
2. 水に浸ける。完全濡らす
3. 板の上にペーパータオルを乗せて、その上にア、①、②、③の紙を乗せる
   その上にペーパータオルを乗せて、板を乗せて、はさみ、上から重しを乗せて乾かす
4. 完全に乾いたらそれぞれを元の紙と比較する。

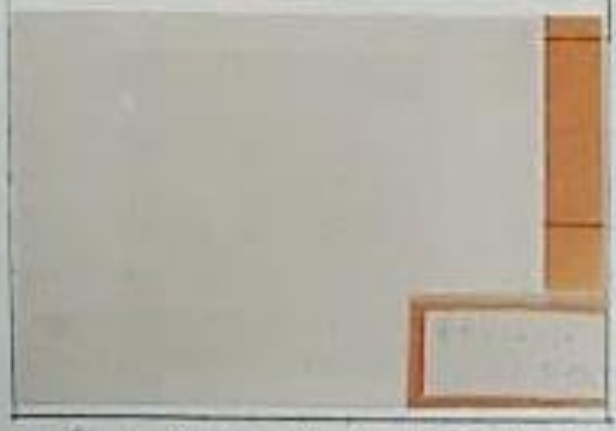
たから
りくわわせい紙

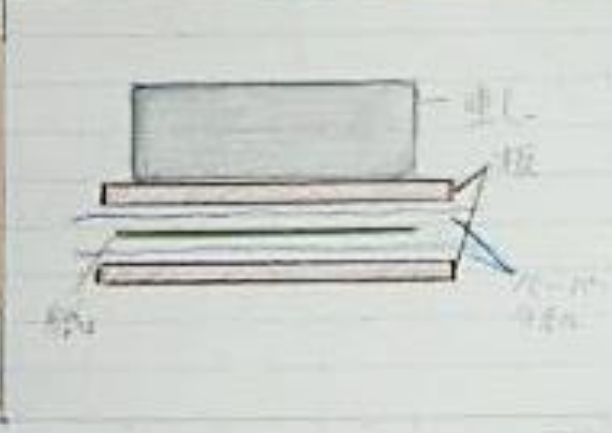
(1)1度濡らした
後、乾かして
さたしわのあ
る紙

(2)手でもんで
しゅくさせて
しわをつけた
紙

(1)しわのない紙

(2)水でもめたなった紙





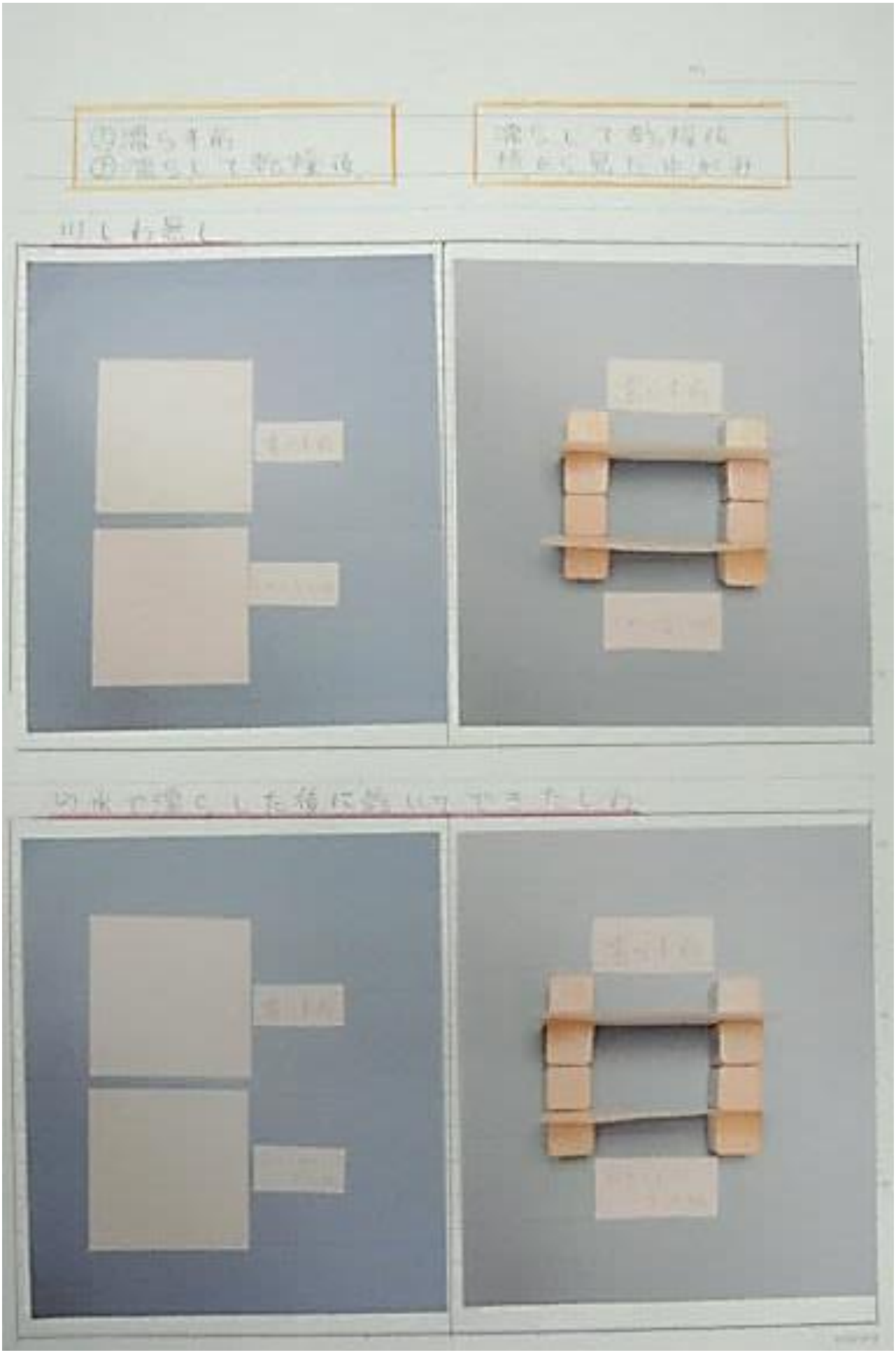
手でくしゃくしゃにした紙

④予想、仮説

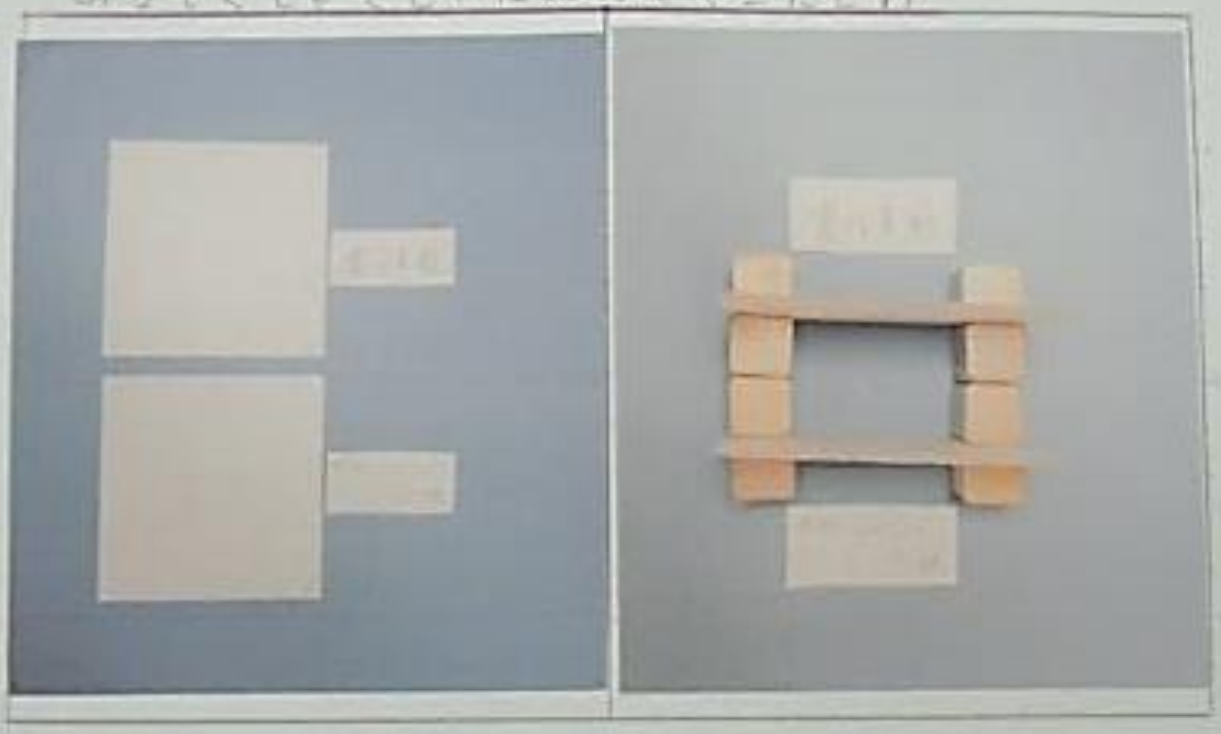
・水で繊維のつながりをゆるめて、再び組むのだから、しわは多くなる。
・濡れた手の状態になったりしたが、指に挟んで強く丸めれば、しわが増えるのではないか。
・手でくしゃくしゃにしわを作った紙も同様に、しわが増えて年とった紙になる。

⑤結果

	1	2	3	4	5	
①しわ無し	3	2	2.5	2	2.7	しわは、紙全体ではなく、端の方が少しかすかしわがある
②水に浸らした紙を強いてできたしわ	1.5	2	2	2	2	元々、全体にあった若干のしわは消えたが、端に少しかすかしわがある
③手でくしゃくしゃにしわをつけてできたしわ	2	2	2	3	2.5	もかなりにあったしわが見て目立たなくなった。端の方にはかすかなしわがある



(3) きてくしゃくしゃにねめてできたしわ



④考察

・水で濡らした後、乾いてできたしわは、目立たなくなった。指のあとに小さな凹みができた。きてくしゃくしゃにねめてできたしわは、濡らした後ほとんど目立たなくなった。ほんの少しだけ小さな凹みっぽいものができた

⑤結論

・水で濡らした後に乾いてできたしわも、きてくしゃくしゃにねめてできたしわも、水で濡らしてしわを伸ばして平らな板で挟み、上から重しを置いて乾かすと、しわは目立たなくなる。
指の先に小さな凹みしかできないようのものを作るには、水で濡らすと折り

変化してしまう。

生じた疑問

・1にしわになってしまった板のしわを目立たない様にできたが、縫い方が少し波打ってしわが寄ってしまったので、完全にしわをなくすり方はないだろうか。
・重しを乗せる以外のより良い方法はないだろうか。

5 実験のまとめ

- 紙の種類を変えて同じ液で実験すると、紙の種類によって、伸び縮みの大きさや、縮む長さが、それぞれ異なる事がわかった。
- 細かい字を書くノートや、精巧な絵等は、細かい繊維がまき込まれたり、高品質繊維に付着していた。
- 水で濡らして乾いた紙の繊維には筋が出てなくて、繊維と繊維の絡みもゆるい
- 紙の種類によって水の吸収速度や量も異なる
- 紙の種類によって水に濡らして乾いた後のしわになり易さが異なる事がわかった。厚い紙はしわになり難く、薄い紙はしわになり易い。
- 全体に均一のしわができて伸縮が安定
- 同じ種類の紙では、紙の大きさにより、水に濡らして乾いた後のしわになり易さや、しわの状態に大きな違いは見られない
- 水の温度の違いでは、水の吸収速度に違いがあり、お湯や冷水の方が常温の水よりしわになり易い
- 同じ種類の紙でも濡らす液体の違いで乾いた後のしわになり易さが異なる事がわかった。水よりも純度を含む液体の方がしわになると思っていたが、水よりもしわにならない液体があった。
- 酸性の液体に濡らすと、紙の表面がザラザラになったり、重量では変色してしまった。紙の形が変質してしまった。
- 紙を重ねて水に濡らした場合、乾いた時のしわの状態は、1枚で見ると、あまり違いはないが、重なり合う1枚1枚の紙のしわがずれて重なるので、横から見ると、縦がなかなか見えない。その為にしわが大きくゆったりと見える

・紙を、紙と重ねて濡らすと、ボヤッーとぼかしたような、ぼかしが紙に浮かびあがってくる。
・浮かびあがってくる模様は、ふつうにきれいなものであるとは限らない。
・浮かびあがってきた模様は、濡れた紙がふかれて乾いたあとでも、紙の表面にのこっている。
・浮かびあがってくる模様は、紙を開いてみる時にできる紙の流れの方向と関係しているようだった。
・紙は濡れると、流れ目に対して垂直にねじれやすく、伸びにくい。流れ目の向きに対しては、ねじれにくく伸びやすい。紙の使い方を考えるときにこれらの事がそれぞれ役立てることができる。
・紙が乾いてから、かげが何度かかぶさるように、重ねてぬれたものを乾かすと、ぼかしが、ぼやけたものになる。
・乾かした後の紙は、乾いた時のしわになり易さが異なる事がわかった。
・ドライヤーで温風をあてたり、ストロボをかけたりすると、紙が乾くのが、ずいぶんはやくなった。
・彼に採み乗りを乗せて色がきれいにかかった事を作ることで、しわが出てきにくくなった。
・重しを乗せる方法でも、ぼかしの模様がはっきりしてきた。
・水で濡れて乾いてきたしわも、ぬれたままでくしゃくしゃにしたしわは、水に濡らして乾かしてもかすかに全体のしわが目立たなくなる。
・しかし、紙の端部は、ぬれたり、端のカドにさわったりしわができて、乾いた元の状態にはもどらない。

9. 全体の考察

- 紙とは植物繊維（木）を水の中に浮かし、これを網ですくって、繊維と繊維を水素結合により、絡ませてからかしたもの
- 水素結合で結合している紙は、水に濡らすと簡単に水素結合がはどけてしまう。分子間の結合がほどけ、かかっていたなりが解されることれるので、分子がどこかに戻ろうとするので紙全体がゆがみ、厚さ方向に膨らむので変形させてもとに戻らない。
- 紙の製造では、材料の流れる方向に、紙の繊維はまんでしまう（縦目、流れ目）
- 電子顕微鏡で紙の繊維を観察すると、一定の向（流れ目）にまんでいるのがわかる
- 紙は水に濡らすと紙の流れ目方向には縮むのに対して、流れ目と垂直方向に縮みにくい
- 紙は紙の流れ目方向には曲がりにくく、流れ目と垂直方向にはまがりやすい。このことで、紙はのりを塗れるようにすることができる
- 紙によって繊維のすき具合や絡み合い方が異なる。一部の機械紙などには長い繊維がなく、繊維と繊維のすき間が多く絡み合っている。それにより紙はいろいろな性質をもっている
- 水の吸収しやすさは、繊維と繊維の絡み具合と詰められている素材によって異なる
- 水で濡らした後の紙の繊維の状態を観察すると、繊維と繊維の絡み合いがほどけている。機械などの場合ほどけていない。このため一度ぬらすと強度が弱くなってしまう。
- 紙の種類によって水に濡らして乾かした時のしわになりやすさ、しわの状態は異なる。

- 濡れた手に強いた時にできるしわは、紙の繊維と繊維の水素結合がほどけて再び結合する時のゆがみが原因でできる紙全体の凹凸のしわと、乾燥の時にできる強い引っぱりによって生じたしわとが合わさってより目立つことが原因でできる一定方向に走るしわがある。
- 濡れた手に強いた時にできるしわは、条件によってできるものとしわの性質が異なる。紙の種類でも異なり、固い紙や厚い紙はしわになりにくい。薄い紙はしわになりやすい。濡れる液体でも異なる。液体が酸性やアルカリ性の場合は、紙が黄ばみや変質してしまう。
- 濡れてしまった紙は、元の状態には完全にはならないが、凹凸のしわや、濡れてしわにならない程度のしわとして、一番有効な方法が、板に挟んだ重しを乗せて、紙伸ばがきない程にキラにして乾かす事であった。
- 紙を製造する時も、圧力をかけて成型して乾かすので、再び同じ様に圧力をかけてやらなければしわが戻ってしまう。
- 一度しわになった紙は、いくらでも同じ事が言える。

10、研究のまとめ

- 先ほど雨に降られて、教科書やノートが濡れてしまい、乾かしたらしわになってしまいました。この様な体験は誰でも一度はあると思う。濡らしてしまった時に、しわにならずに乾かす方法はあるのだろうかと思って研究を始めた。
- 簡単なコツがあって、その方法できれいに元通りになると思っていたが、紙が濡れるとしわになる理由を調べると、繊維の結合と繊維の中に水が入る事であるが、乾燥の時に加えられる圧力でゆがんだ繊維がもとに戻り、再び固まることでしわができると知り驚いた。
- 霧吹きを使って紙の繊維を観察し、水に濡れた後に乾した紙の模様を比較した結果と繊維の膨らみがゆるくなって指紋などの事などの内容がなくなった。この事により、濡れた後に乾いた紙は型たがを通りもまわってしまったとわかった。
- 濡れた紙が乾いた時にしわになり易い条件を探る為に、色々な実験を行った。その中で、紙をまわるまでしわになり易さに違いはあるのか調べた時に、水彩紙や厚ぬた紙は教科書やノートのしわの性に似ている事に気づいた。
- 皆打つしわはどうしてできるのか、仮説をたてて調べた結果、紙の繊と繊が関係しつりと事に気付いた。紙の繊と繊の関係を調べる事にした。
- 紙の繊と繊は製造の時に原料が流れる方向に繊維がかたよりはらみて一定方向によって生まれてくる。紙の目（紙の流れ目）となる
- 紙は濡らすと流れ目に平行に伸び易く、丸まり易い。逆に流れ目に平行には伸び難く、丸まり難い。その繊維により縦に伸びる事、丸まろうとする力、紙の事などが関係しあい、濡れつりとはなにかと推測した

- しわになる理由がわかったので、しわにならない乾かし方を様々な色々実験した結果、紙を加工すると乾いてしまう事がわかった。
- 伸びた紙、しわになった紙をピンとさせてから、板で挟み重しを乗せて乾かす方法だと、しわが思いきれいに乾かす方法だとわかった。
- 一度しわになった紙でも、まだ可能性は低いが重しを乗せる方法でしわが目立たなくなることができるとわかった。

11 反省・感想

濡れた紙が乾いた時にしわにならない方法を探そうと思って調べたら、繊維の水素結合と書いてあり、水素結合がわからず、元々そこから調べはじめる事になり、思っていたより、とても複雑な理由でしわになっている事に驚きました。
初め、どのような実験をしたらしわになり易いかがわかり、しわにならない乾かし方に辿り着くのかとても悩みました。紙の枚数の実験で、紙が濡れている事に気付いて、その濡れた理由を考え、紙の性質に関係しているのではないかと思い実験し、調べて、紙の流れ目が濡れたしわと関係があるのではないかと推測に辿り着けた時は嬉しかったです。
今回、電子顕微鏡を使用して紙の繊維を観察しましたが、とても緊張しましたが、貴重な経験ができてとても嬉しく感じました。
また、完璧にしわが無い状態に乾かせていない事、重しを乗せて乾かすと時間がかかる事を考えて、より良い乾かし方が他にも無いか探してみたいです。

12 参考文献

紙のなんでも小事典　ルビィスからスケッチした紙まで
紙の博物館
講談社

紙・パルプの実際知識　ミツモ製紙
東洋経済新報社

紙のできるまで
紙の原料・製造工程・紙製品
財団法人　紙の博物館

財団法人　紙の博物館
東京都　北区王子　見学

インターネット

国立国会図書館が教える！水に濡れた本や資料をもとに戻す！乾かかた、濡れ、水濡れの修復！
国立図書館　matome.naver.jp

雨で濡れたり、シワシワになってしまった紙を元通りにする方法　jp.ｙａｈｏｏ-bigaku.jp

どうして紙は濡れると元に戻らずシワになってしまうのか　m.chiebukuro.yahoo.co.jp

紙　wikipedia　http://ja.m.wikipedia.org/wiki/

紙の博物館　Paper-museum.jp

印刷の歴史とは　jp.fujitsu.com/pfu/ecm/

重不織布紙　ja.m.wikipedia.org

13. 実験協力

千葉商科学館