

全学自由研究ゼミナール（駒場）

## 身近な素材『紙』の 科学と環境

(2010年 4月～7月 火曜日16:20-17:50)

東京大学 大学院農学生命科学研究科  
生物材料科学専攻 製紙科学研究室  
江前敏晴・木村実・磯貝明・齋藤継之  
えのまえ としはる

### 講義の分担予定（一部変更もあり）

4/13	江前	ガイダンス/紙の起源、製造技術と機能
4/20	江前	紙の物性の基礎とやさしい測り方
4/27	江前	環境にやさしい紙と古紙利用率
5/11	江前	環境教育に取り入れる紙づくり
5/18	齋藤	『紙』から先端ナノ材料への展開
5/25	木村	紙の基本的な物性
6/1	木村	紙の歴史（和紙と洋紙）
6/8	木村	紙と印刷(1)
6/15	木村	紙と印刷(2)
6/22	磯貝	セルロースの結晶構造とナノファイバー
6/29	江前	先端的な材料として紙の応用
7/6	江前	「楽しい紙の科学」実験教室のやり方
7/13	江前	文化財としての紙

### 身近な素材『紙』の科学と環境 のホームページ

<http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/mijikami2010>

#### 連絡用メールアドレス

[enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp](mailto:enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp) (江前敏晴)

(レポートの提出先のアドレス)

そのままテキストとして書いてもよいし、  
MS-Wordなどの添付ファイルでもよい。

### ゼミの進め方

- 講義・説明(40分)
  - 卓上の実験・観察(あれば20分)
  - 質問・討論(20分～)
  - レポート記述(10分～)
- 毎回レポート(100～200字程度)があります。  
課題「今日のゼミで感じた“紙に対する考え”を自分なりに表現して下さい。」

### 参考文献

- 紙関係全般
  - 紙とパルプの科学, 山内龍男著, 京都大学出版会(2006)
  - 紙の文化事典, 尾鍋史彦総編集, 朝倉書店(2006)
  - 新しい紙の機能と工学, 門屋卓著, 裳華房(2001)
  - トコットやさしい紙の本, 小宮英俊著, 日刊工業新聞社(2001)
  - 紙・パルプの実際知識, 王子製紙編, 東洋経済新報社(2001)
  - パルプおよび紙, 大江礼三郎他著, 文永堂(1991)
  - 紙の基礎と印刷適性—構造・物性・加工・印刷品質評価, 江前敏晴著, 江前敏晴ホームページ(2006), <http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/Paper%20Science%20seminar2/>
- 紙関連の専門分野
  - 木材の構造, 木材の化学, いずれも文永堂(1985頃)
  - セルロースの材料科学, 磯貝明著, 東京大学出版会(2001)
  - 最新紙のリサイクル100の知識, 王子製紙編, 東京書籍(1998)

### 第2回 2010年4月20日

- 観察(パルプ繊維)
- 紙の密度と空気
- 坪量とは、厚さとは？
- 測ってみよう
  - 紙のpH、曲げこわさ、弾性率

## 観察(パルプ繊維)

- 針葉樹と広葉樹の繊維
  - 針葉樹パルプは、紙袋や牛乳パックなど強度が必要な紙に使う。
  - 広葉樹パルプは、本やノート、その他印刷用紙に使う
- その他の紙、印刷物

## 紙の密度(1)

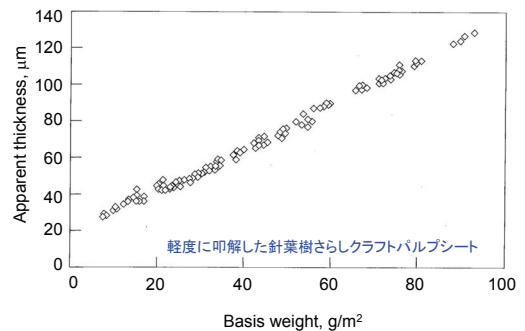
- 坪量( $g/m^2$ )
  - $23^\circ C$  50%r.h.における $1m^2$ あたりの質量(g)
- 厚さ
  - 2つの平行な円形加圧面で挟む構造のマイクロメータを使い、50kPa又は100kPaの加圧下で測定
- 密度
  - 坪量/厚さで、単位は $g/cm^3$ である。 $kg/m^3$ が使われることもある。

## 紙の構造-基本物性

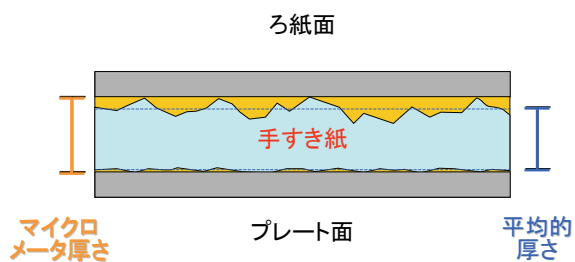
- 坪量( $g/m^2$ )
  - $23^\circ C$  50%r.h.における $1m^2$ あたりの質量(g)
- 厚さ
  - 2つの平行な円形加圧面で挟む構造のマイクロメータを使い、50kPa又は100kPaの加圧下で測定
- 密度
  - 坪量/厚さで、単位は $g/cm^3$ である。 $kg/m^3$ が使われることもある。

## 紙の構造-基本物性

- 密度(坪量/厚さ)は、坪量に影響される!?



## 紙の構造-なぜ測定される厚さが異なるか

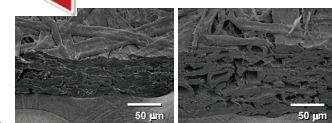
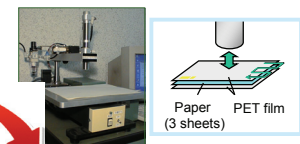


## 紙の密度を上げる

- 密度を上げるには

- 衝撃圧縮  
1.1~1.2

- ナノファイバーシート  $1.5 g/cm^3$



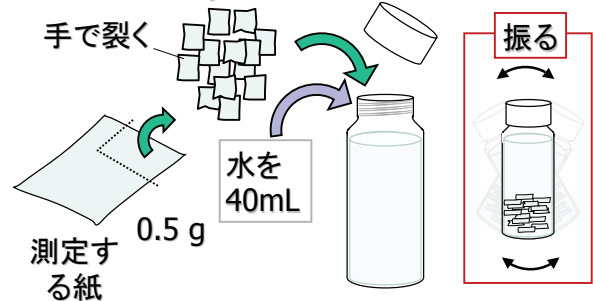
0.3 MPa 圧縮      圧縮処理なし

## 紙のpH測定

- 測定する紙と添加薬品など
  - ろ紙
    - 硫酸アルミニウム0.5%
  - 文化財保存用紙
    - 炭酸カルシウムの液
  - 中質紙
    - (木を磨砕して製造したパルプ=機械パルプなどから作る印刷用紙)

## 紙のpH(酸性/アルカリ性)

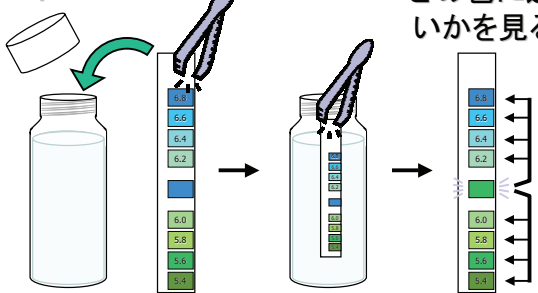
### 紙のpHを測ってみよう



## 紙のpH(酸性/アルカリ性)

### pH試験紙の場合

どの色に近い  
いかを見る



## 紙のpH(酸性/アルカリ性)

- 紙を作るときに入れる薬品
  - サイズ剤(水をはじく)
  - サイズ剤などを紙に残すための薬品 (PAEの他硫酸アルミニウム)
  - 紙を白くする薬品 (炭酸カルシウムなど)
- 酸性紙/中性紙
  - 20年ほど前に、昔の本(紙)がボロボロになることが問題になった。酸性紙であることが原因であることがわかり、中性紙を作ることが主流になった。

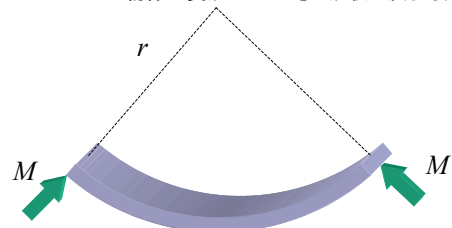
## 紙の弾性率測定

- 紙の
  - 曲げこわさ
  - 弾性率

材料	弾性率 (GPa)
鉄	205.9
銅	122.6
アルミニウム	70.6
ナイロン	1.8 - 5.9
PET	3.9
紙	2 - 20

## 力学特性-曲げこわさ

- 曲げこわさ $S$ は、材料の曲がりにくさを示す。
  - $S=Mr$  ( $M$ はモーメント、 $r$ は曲率半径)
  - $S=EI$  ( $E$ はヤング率、 $I$ は断面二次モーメント)
  - $I$  (断面二次モーメントは、曲げに対する物体の変形のしにくさで形状で決まる)



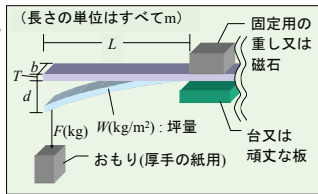
## 力学特性-曲げこわさ

- 片持ち梁の試験で、曲げモーメント  $S(\text{N}\cdot\text{m}^2)$  と弾性率  $E$  を評価できる。
- コピー用紙では
  - 厚さ 0.10mm
  - 坪量 60 g/m<sup>2</sup>

### 【課題】

- コピー用紙の弾性率を計算せよ。

- $F=0$  として測定
- 2つの式から  $E$  を簡略に
- 変位  $d$  を測定し、コピー用紙の弾性率を計算せよ。



$$S = \left( \frac{WLb}{8} + \frac{F}{3} \right) \frac{L^3}{d} \times 9.81$$

$$S = E \cdot I = E \frac{bT^3}{12} \quad (\text{板状の場合})$$