

印刷材料学

2009年7月13日
第13回(第6回江前担当分)

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
えのまえ としはる

講義の分担

4/ 13	江前	概説・抄紙	メディアの衰退、生産量、歴史、叩解、紙料調成
20	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
27	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
5/ 11	江前	抄紙・物性	薬品、抄紙、乾燥、カレンダー、紙の構造
18	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
25	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
6/ 1	江前	抄紙・物性	薬品、抄紙、乾燥、カレンダー(2)
8	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
15	江前	物性	サイズ度、吸水
22	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
29	岡山	パルプ	パルプ化ノリサイクル(詳細は未定)
7/ 6	江前	紙加工	紙の物性、吸液特性、印刷適性
13	江前	画像解析	画像解析を利用した紙の特性評価
27	江前	抄紙実習	実験1-抄紙、実験2-物性測定(2回分)
30		(休講)	

印刷材料学の 講義用ホームページ

<http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/chiba2009>

連絡用メールアドレス

enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp (江前敏晴)

- 自分のメールアドレスを江前まで連絡してください。
休講や実習の急な案内を出します。

東京大学大学院農学生命科学研究科 2010年度大学院修士・博士課程学生募集 大学院受験ガイダンス日程

- 生物材料科学専攻オープンラボ(終了)
 - 2009年6月6日(土) 13:00~15:00
東京大学農学部セイホクギャラリー(東京メトロ南北線東大前)
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1
Tel 03-5841-8199(江前)
 - <http://web2.fp.a.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>
 - 終了後研究室ツアー
- 修士課程出願7/13~17 試験8/19, 20 面接8/27
- この日以外でもいつでも見学可能です。

紙の構造と物性

- 紙の物性
 - 構造
 - 力学
 - 光学
 - 液体との相互作用
 - サイズ度
 - 吸水・吸油特性

力学特性

- 引張(ひっぱり)
- 耐折(たいせつ)
- 引裂(ひきさき)
- 曲げこわさ
- 摩擦
- 破裂
- リングクラッシュ圧縮
- ショートスパン圧縮

紙の異方性 種類と発生原因

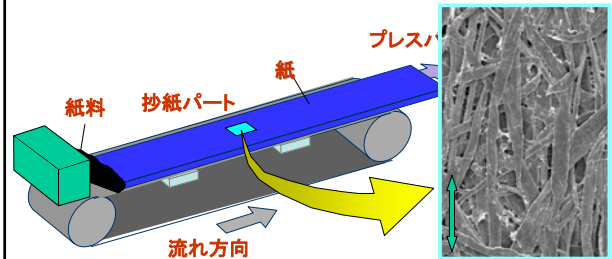
■ 縦方向 (MD) と横方向 (CD)

- スライスでの紙料の流れの中でMDに繊維が配向
- 紙料内での繊維の速度とワイヤーの速度比により配向

■ 面配向

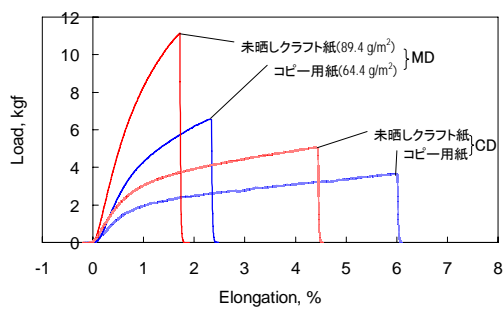
- 繊維がワイヤー面に平行になるように配向

紙の繊維配向とは

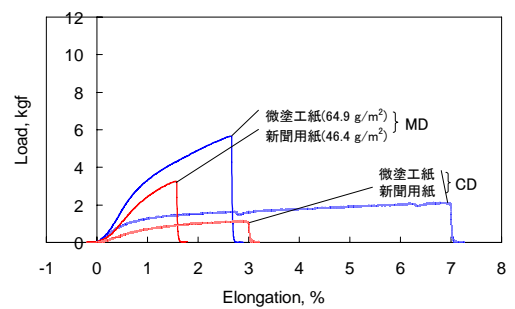


- 強度や伸びなどの異方性(方向性)が生じる.
- 縦と横では裂けやすさが違う

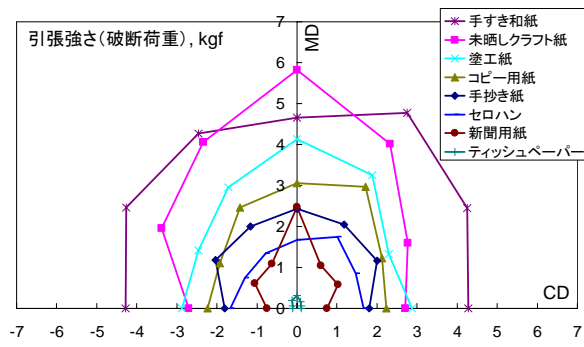
異方性 引張試験 (荷重-変形曲線)



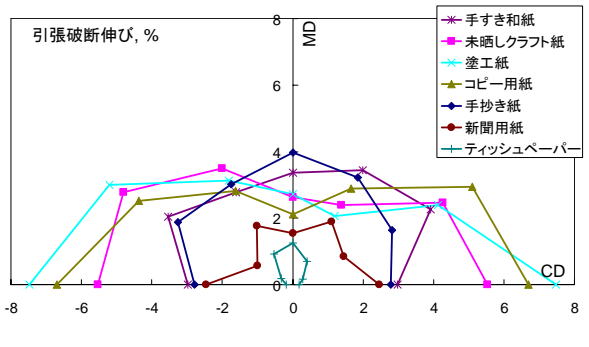
異方性 引張試験 (荷重-変形曲線)



異方性 引張強さ

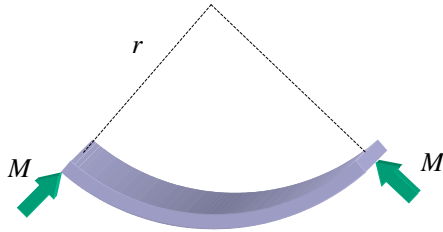


異方性 引張破断伸び



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)



力学特性-曲げこわさ測定器

- クラークこわさ
 - 試験片を挟んで上に向けて支持する。つかみの回転によりある角度で反対側に反り返る。この角度の左右両側での差が90度となるよう、つかみから試験片を張り出す。その張り出し長さ L (cm)の3乗の100分の1をクラークこわさとする。

$$\frac{L^3}{100} \propto \frac{L^3}{203} = \frac{EI}{bW} = \frac{ET^3}{12W}$$

ここで、坪量 W は kg/m^2 、厚さ T は m 、ヤング率 E は Pa を単位とする。



クラーク(低坪量用)

力学特性-曲げこわさ測定器

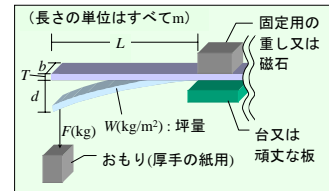
- テーパーこわさ
 - 幅38mmの試験片を挟んで15°曲げ、荷重長が50mmとなったときの曲げモーメントを測定。
 - この曲げモーメントをこわさ(テーパー)と定義する。



テーパー(主に高坪量用)

力学特性-曲げこわさ

- 片持ち梁の試験片を、15度曲げるのに要する曲げモーメント $S(\text{N}\cdot\text{m}^2)$ を求める。
- ヤング率 E も評価できる。

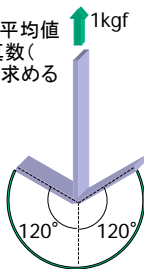


$$S = \left(\frac{WLb}{8} + \frac{F}{3} \right) \frac{L^3}{d} \times 9.81$$

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

力学特性-耐折強度

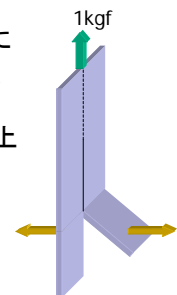
- 試験片を左右120°ずつ折り曲げ、破断するまでの往復折曲げ回数を測定する。
- その常用対数の平均値を計算し、その真数(ISO耐折回数)を求める。
- 繊維長が長いと耐折強度が上がる。



MIT耐折試験機

力学特性-引裂強度

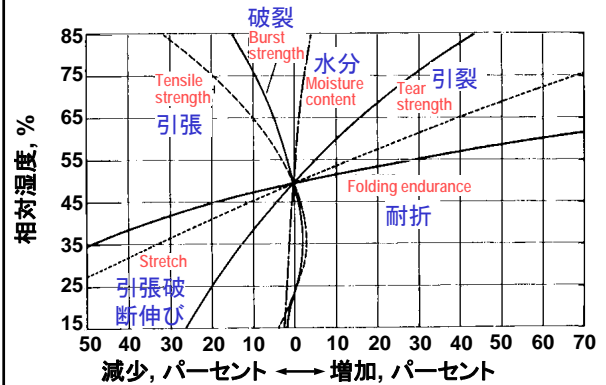
- 引裂強度
 - 切れ目を入れて、90度方向に引き裂くときの仕事を測定し、荷重に換算する。
 - 繊維長が長いと耐折強度が上がる。



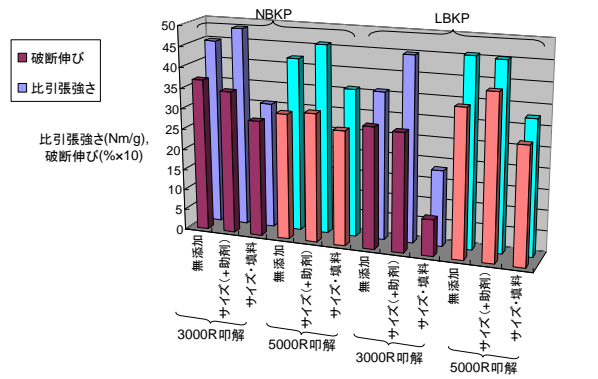
紙の強度発現に影響する因子

- **組成**
 - 繊維の長さ・粗度
 - 填料の量と分布
- **抄紙の履歴**
 - ウェットプレス
 - 叩解
 - 乾燥時の収縮量
 - 乾湿・温度の履歴
- **紙層構造**
 - 地合(ムラ)
 - 方向性(MDとCD)
 - 密度
- **環境**
 - 含水率
 - 温度

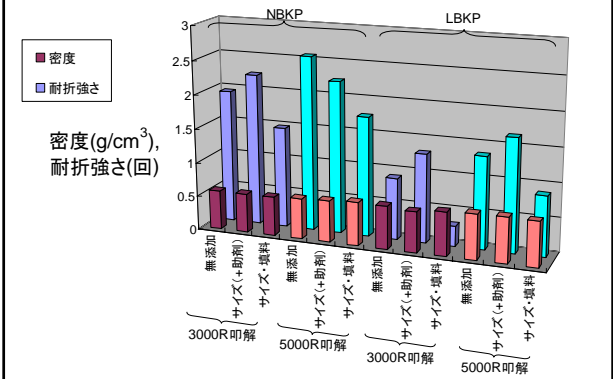
紙の強度- 含水率の影響



紙の強度 繊維組成、叩解、添加物の影響



紙の強度 繊維組成、叩解、添加物の影響



液体の浸透理論 毛管浸透のモデル

- 毛管(円管)内のできる液体のメニスカスに作用する力

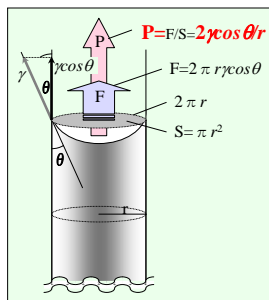
■ 円管内定常流の式

$$Q = \frac{\pi Pr^4}{8\eta l}$$

l : 毛管長さ
 r : 毛管半径
 η : 液体の粘度
 Q : 流量(体積速度)

(Hagen-Poiseulleの式)

- Hagen-Poiseulleの式に右図の条件を代入するとLucas-Washburnの式が得られる。



液体の浸透理論

Lucas-Washburnの式

■ 液体浸透の基本式

- 塗工紙へのオイル(インキ)の浸透で成り立つ

$$l = \sqrt{\frac{R\gamma \cos \theta \cdot t}{2\eta}}$$

l : 浸透深さ
 R : 毛管半径
 γ : 表面張力
 θ : 接触角
 η : 液体の粘度
 t : 時間

$$V \propto l = \sqrt{\frac{R \cos \theta}{2} \frac{\gamma}{\eta}}$$

V : 浸透体積

塗工層 液体・時間

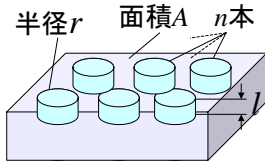
塗工層空隙率が影響する物性

■ 吸液速度

- Lucas-Washburnの式において、図の n 本の毛管集合体のモデルでは $V = n \pi r^2 l$
- 毛管集合体のモデルでは空隙率 ϕ は Lucas-Washburnの式 $\phi = n \pi r^2 / A$
- 単位面積あたり吸液量 V/A は、

$$l = \sqrt{\frac{R\gamma \cos \theta}{2\eta} t}$$

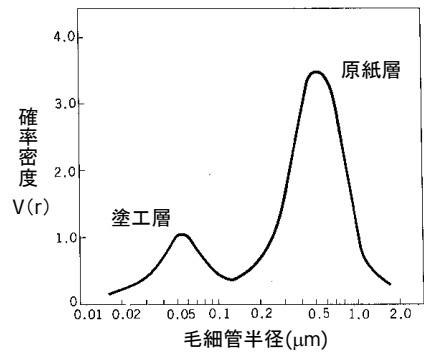
$$\frac{V}{A} = \phi \sqrt{\frac{R\gamma \cos \theta}{2\eta} t}$$



■ 多孔質体としての密度

- 軽量化できる。

塗工紙の毛細管の分布



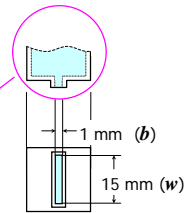
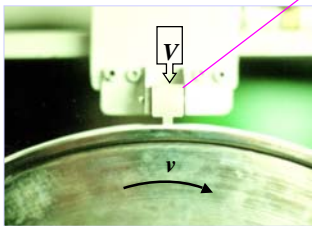
- 塗工層の平均毛細管半径は約0.05 μm で原紙0.5 μm の約10分の1

吸液試験装置

ブリストー法

■ ブリストー装置

一定量の液体を入れたヘッドを、速度可変で紙面上で走査する。短時間での吸液速度が測定できる。



- 接触時間 $t = v/b$
- 走査速度 v
- スリット幅 b
- 液体転移量 $V_t = V/(wL)$
- 液体の体積 V
- スリット長さ w
- トレース長 L

吸水性の変化

自動走査吸液計と超音波減衰率測定器



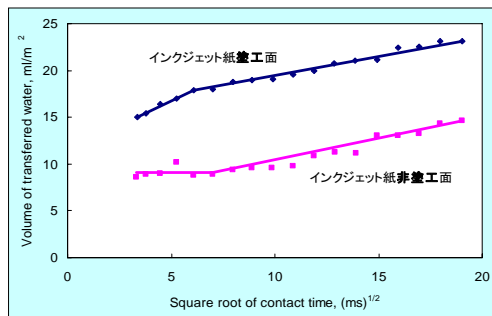
Automatic Scanning Absorptometer



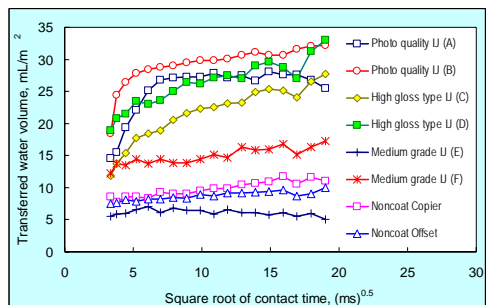
EST

インクジェット用紙表裏面の吸水挙動

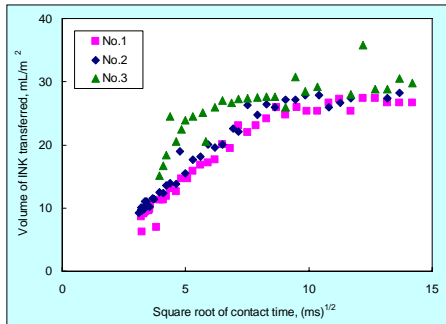
自動走査吸液計(ブリストー法)



各種インクジェット専用紙の吸水挙動

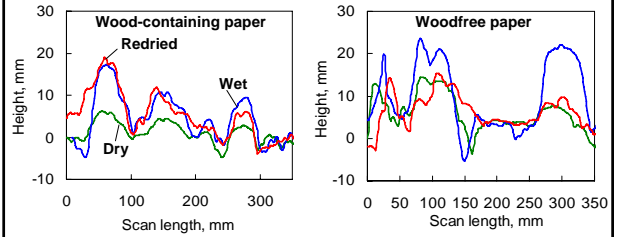


写真画質インクジェット用紙吸水挙動 自動走査吸液計(プリストー法)



非塗工紙の吸水

吸水と乾燥による表面プロファイルの変化



- 上質紙（化学パルプ）は中質紙（機械パルプ）よりも大きく膨潤する
- 中質紙は再乾燥時に収縮しない

最近の研究紹介

- レーザ蛍光顕微鏡を使ったインクジェットドットの三次元形態観察
- 高速顕微ビデオによるインク滴の浸透挙動解明

インクジェット液滴浸透過程の 顕微高速撮影と解析

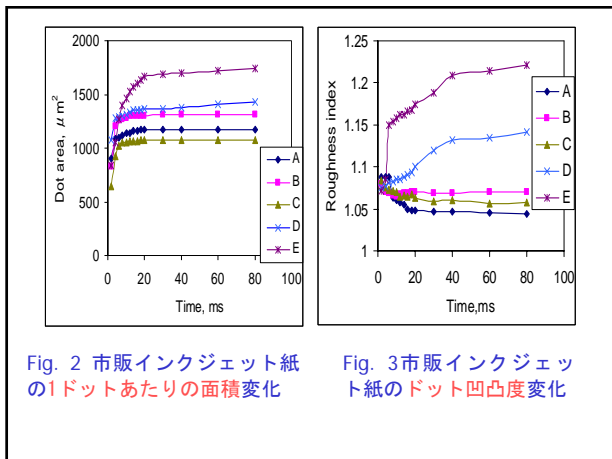
インクジェットのインク浸透のメカニズム

- 顕微高速ビデオカメラシステム



ビデオ画像

時間, ms	写真画質IJ用紙 A	写真画質IJ用紙 B	写真画質IJ用紙 C
4			
8			
40			
120			
200			



実験

高速度ビデオ撮影システムにより、微小水滴の側面投影形状を画像化した。

顕微鏡レンズ
紙
水滴
バックライト

実験 インク吐出の操作

実験 高速度ビデオ画像

試料: QP (写真画質紙) 10 μm

■ 以下の形状パラメータの時間変化を計算した。

- V: 体積
- R: 接触円の半径
- θ: 接触角
- H: 高さ

10 ms

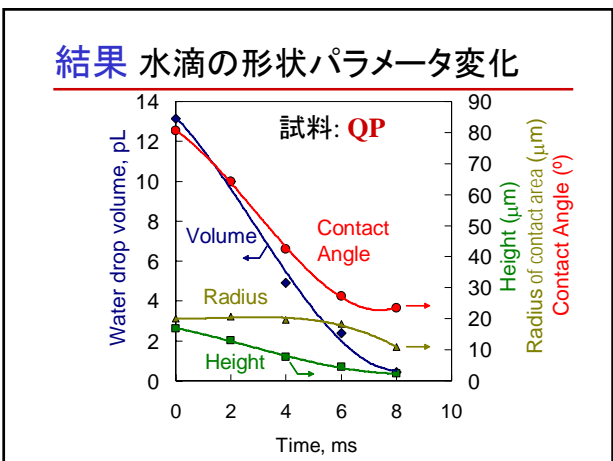
実験 水滴の解析

各フレームの画像に対し、 10 μm

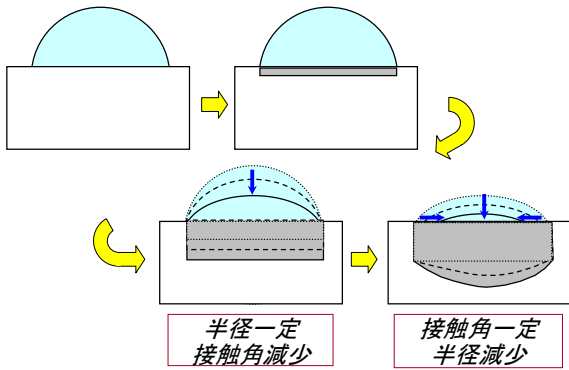
■ 以下の形状パラメータの時間変化を計算した。

- V: 体積
- R: 接触円の半径
- θ: 接触角
- H: 高さ

2 ms

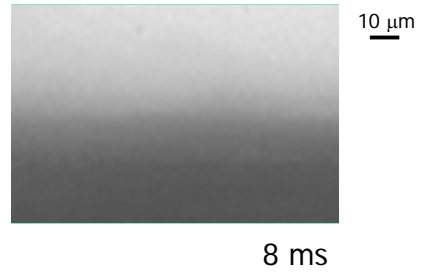


結果 水滴吸収過程の模式図



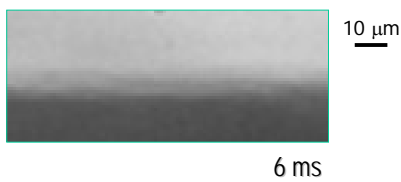
結果 高速度ビデオ画像

試料: **PM** (写真画質紙)



結果 高速度ビデオ画像

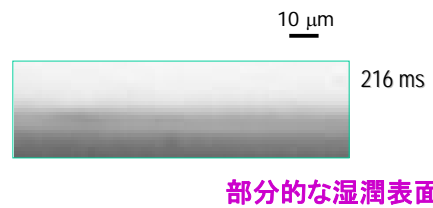
試料: **HG** (汎用紙)



結果 乾燥表面か湿潤表面か

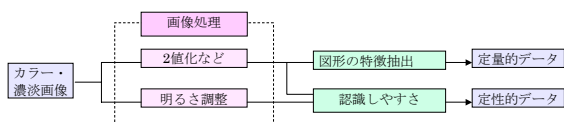
高速度ビデオ画像

試料: **PM** (写真画質紙)

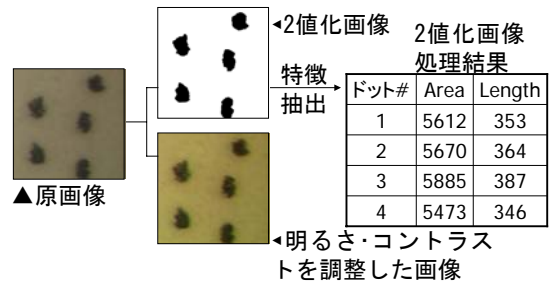


画像処理の目的

- 見やすさ、美観を目的とする **フォトタッチ**
- 計測を目的とする **画像解析**
- 顕微鏡画像などから定量的な測定データを得る画像解析法を扱う。



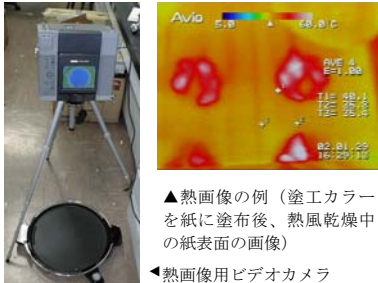
画像解析の例



(顕微鏡写真からインクジェット印字のドットの面積と周囲長を測定)

bmpファイルからの情報取得

- サーモグラフィ(熱画像法)
- 画像の同じ領域の温度の時間変化を調べる



bmpファイルからの情報取得

- 塗布直後からの表面の温度変化

炭酸カルシウム+
SBラテックス+
水溶性高分子
を水に分散し、
紙に塗布。ヘッド
レイヤー数本で
乾燥させた。

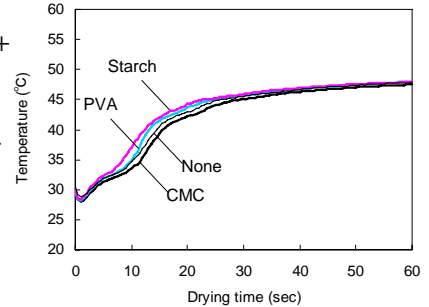


Fig. Temperature of coating surfaces during drying

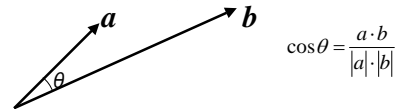
画像の類似性 - 画像の相関

- 画像は各座標の輝度を要素とするベクトル
32×32ピクセルの画像では要素が1024個ある。
 $f = (129, 128, 128, 129, \dots, 152, 129, 128, \dots, 153)$

129	128	128	129	..	152
129	128	128	128	..	
126	127	129	127	..	
125	126	128	128	..	
:	:	:	:	..	
128	130	131	133	..	153

画像の類似性 - 相関係数

- 画像間の相関係数
2つのベクトルの類似性は θ の大ききで決める。



画像では、平均輝度を差し引いたベクトルで考えるとよい。

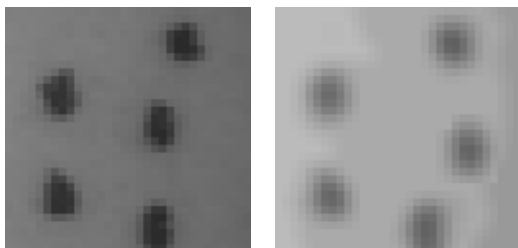
- ピアソンの相関係数

$$R = \frac{\sum_x \sum_y \{f(x, y) - \bar{f}(x, y)\} \times \{g(x, y) - \bar{g}(x, y)\}}{\sqrt{\sum_x \sum_y \{f(x, y) - \bar{f}(x, y)\}^2 \times \sum_x \sum_y \{g(x, y) - \bar{g}(x, y)\}^2}}$$

画像の類似性 - 相関係数

- ピアソンの相関係数の計算例 (Scion Imageの輝度のテキスト出力からExcelで計算する)

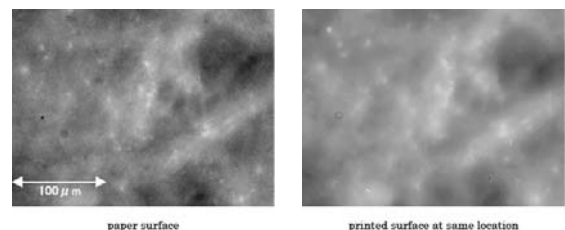
$$R=0.845$$



画像の類似性 - 相関係数

- 印刷前の紙表面と印刷後の同じ位置での紙表面の形状(三次元的な形状)のピアソンの相関係数

$$R=0.88$$



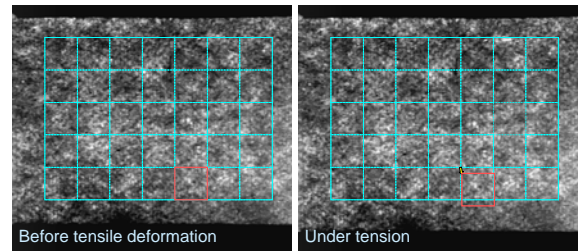
画像相関法による移動計測

- 画像の相関を利用し、動画のある画像の1部分がその後どこに移動したかを計測することが可能
- パターンマッチング
- 類似度は、正規化内積 S_{fg} で判定

$$S_{fg} = \frac{\iint f(x, y)g(x, y)dxdy}{\sqrt{\iint |f(x, y)|^2 dxdy \iint |g(x, y)|^2 dxdy}}$$

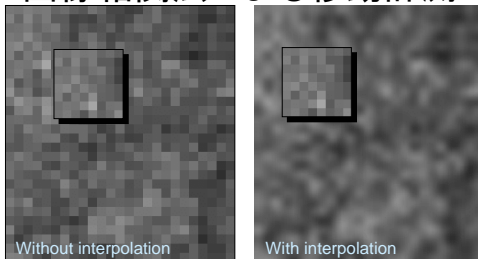
- 又はピアソンの相関係数など

画像相関法による移動計測



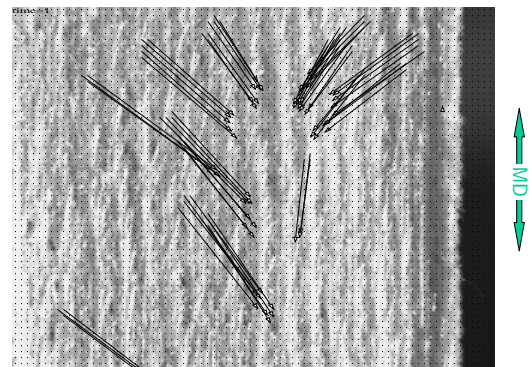
左画像内の赤枠のブロックが、右画像内のどこに移動したかをブロック画像の類似度から探し出す

画像相関法による移動計測



左の原画像の1 pixelを右のように10分割して補間すると、移動の距離と方向の分解能が10倍向上

Hemp 25 % + Rayon 75 % Time= 10 s



Vectors 5 times actual deformation

画像相関法による移動計測

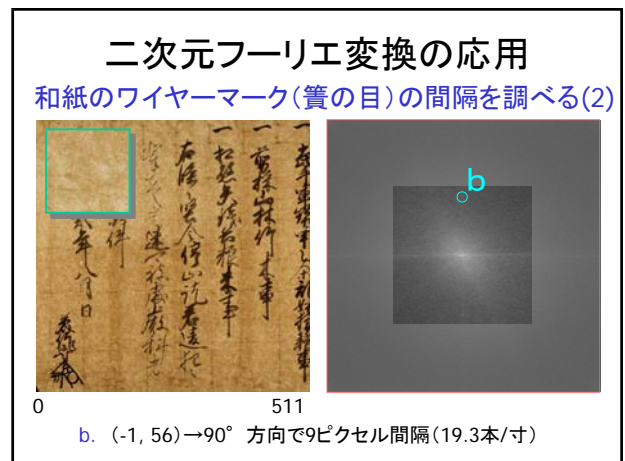
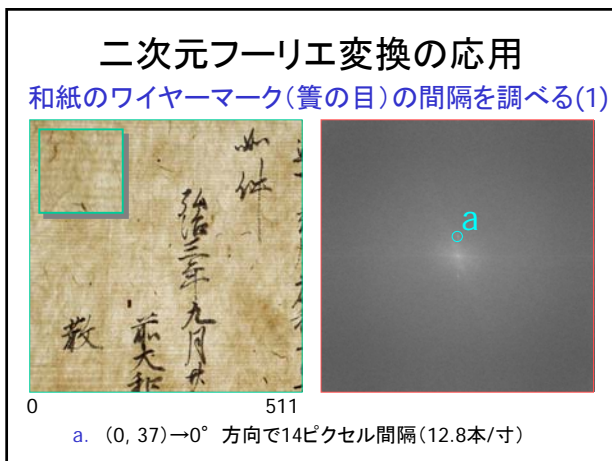
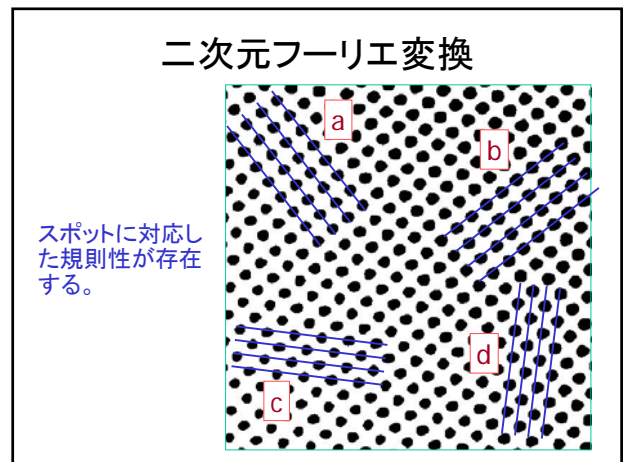
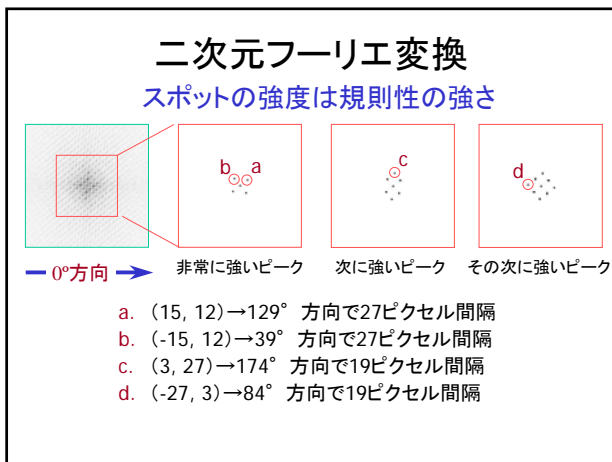
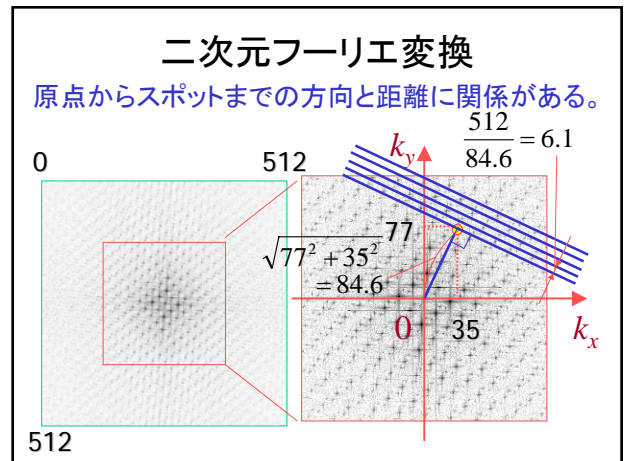
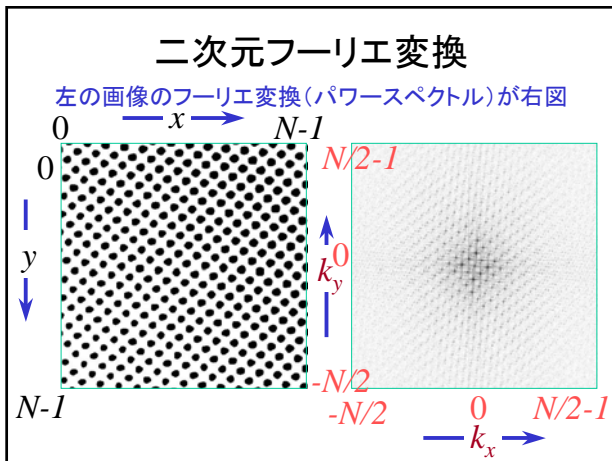
- この計測のためのソフトウェアは配布可能(無料)です。
- 希望者は江前敏晴までどうぞ。

二次元フーリエ変換

- $N \times N$ 画素の大きさの画像 $f(x, y)$ について、フーリエ変換 $F(k_x, k_y)$ は次式で表される。なお、 f は座標 (x, y) における輝度である。

$$F(k_x, k_y) = \sum_{y=0}^{y=N-1} \sum_{x=0}^{x=N-1} f(x, y) \exp\left\{-i \frac{2\pi}{N} (k_x x + k_y y)\right\}$$

$(k_x = 0, 1, \dots, N-1 \quad k_y = 0, 1, \dots, N-1)$



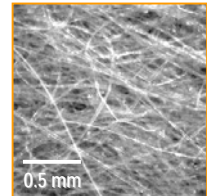
二次元フーリエ変換の応用(2)

- 紙の中での繊維配向(繊維の向き)を調べる。
- 向きや流れが見えるすべての画像に適用できる。

二次元フーリエ変換の応用(2)

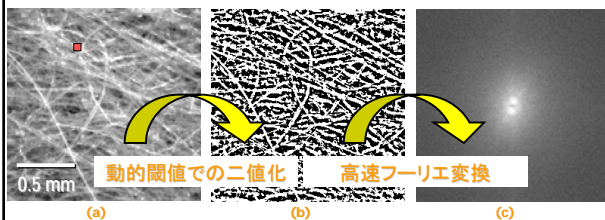
紙の中での繊維配向(繊維の向き)を調べる。

- デジタル顕微鏡による紙表面の写真撮影
- フーリエ変換画像処理
- 繊維の配向角度と強度の決定



配向角度と配向強度

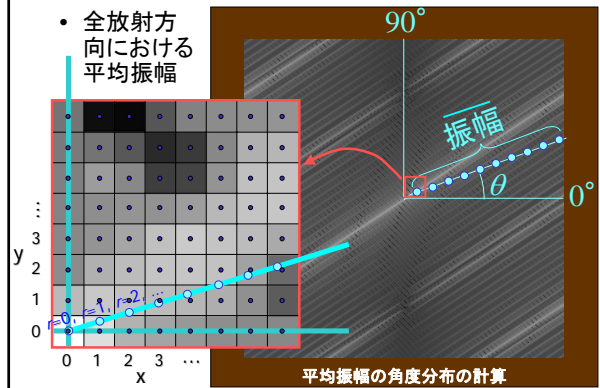
- 実際の計算例



紙表面の光学顕微鏡写真 (a), 二値化画像 (b) 及びパワースペクトル (c)

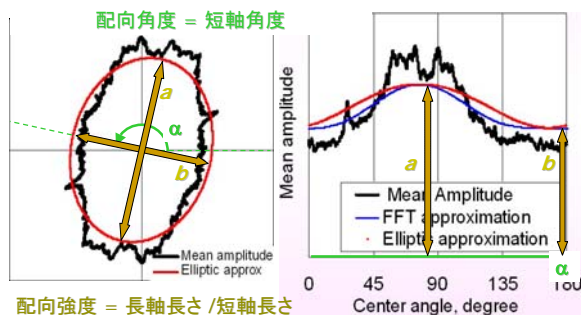
繊維配向の角度分布の計算

- 全放射方向における平均振幅

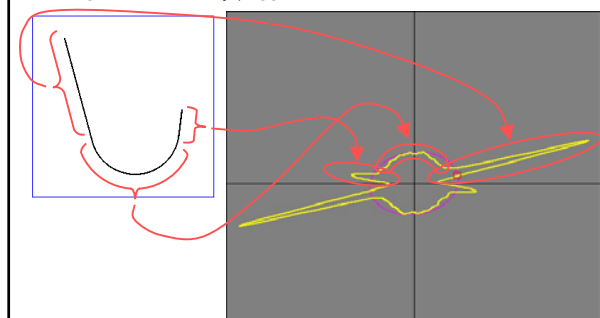


配向角度と配向強度

- 実際の計算例



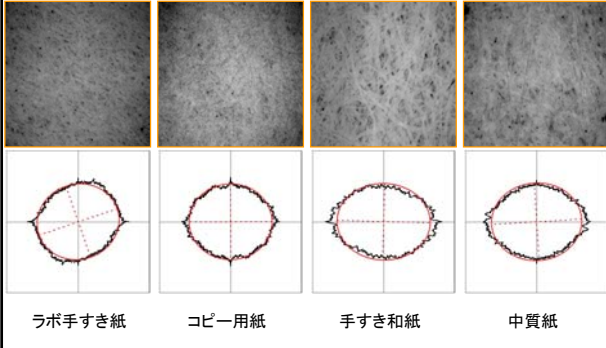
屈曲した繊維モデルの配向図



- 各繊維の向きを計算するのではなく、繊維内の各セグメントの長さや角度に応じた配向を示す。

二次元フーリエ変換の応用(2)

種々の紙の表面にある繊維の向き



7/27(月)抄紙実習

- 西千葉駅16:10発ー西船橋で東京メトロ東西線
16:38発に乗り換え、飯田橋で南北線17:19発に乗り換えて東大前駅17:24着(560円)又は、西千葉駅から乗り、JR飯田橋駅で南北線に乗り換えると東大前駅17:18の到着(780円)
- 実験は東京大学農学部5号館地下4及び1号室で
- 17:30～ 実験1ー抄紙
- 19:00～ 実験2ー物性測定
- 20:00～ ディスカッションなど(21時終了予定)
- 遅れる人は江前まで連絡:090-9291-6374
又は、enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp
- 不参加の人はレポート(課題は後でホームページに)

印刷材料学レポート課題

締め切り 8月9日(金)必着

提出方法 MS-wordなどで解答を作成し、添付ファイルで
enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp に送信する。FAX 03-5841-5271、郵送も可

次の(1)~(4)すべてについて答えよ。

- (1) 抄紙のワイヤはPETの繊維で織られている。PET繊維の直径は0.15~0.30mmである。織ったときの目の細かさは40~140メッシュ(1インチ=2.54cmあたりの本数)である。縦横のPET繊維が一本ずつ交互に直角に織られていると考えて、格子状になっているワイヤとそれに重ねてパルプ繊維及び填料の相対的大きさを表す図を、次の条件について描け。PET繊維の直径0.15mm、140メッシュ、広葉樹パルプ繊維の長さ1.00mm、幅0.02mm、填料の炭酸カルシウムの一辺が0.01mmの立方体(一辺が0.01mmの正方形として描く)とする。

印刷材料学レポート課題(続き)

- (2) 次の用語を説明せよ(各50~100字程度)。
(a) 叩解 (b) カレンダー (c) 坪量
(d) 地合 (e) 紙の異方性
- (3) 印刷媒体としての紙は今後どのように変化して行くか予測するか?生産量、品質、用途、紙に変わる媒体など自分の好きな観点から論ぜよ(150~300字程度)。
- (4) 抄紙実習で行った実験について、紙のどのような処理がどのような性質を決めているかを説明せよ。