

印刷材料学

2006年7月12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/ 17	江前	概説	メディアの変遷、生産量、歴史、文献
24	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
5/ 1	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
8	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
15	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
22	江前	抄紙	叩解、紙料調成、薬品、抄紙、乾燥、カレンダー
29	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
6/ 5	江前	基礎物性	紙の構造、サイズ度、吸水、吸油性
12	江前	光学・力学物性	光学特性、力学特性
19	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
26	江前	光学・力学物性	光学特性、力学特性
7/ 3	岡山	バルブ	バルブ化/リサイクル(詳細は未定)
10	江前	紙と画像	画像の形成と印字品質評価
24	江前	実習(2回分)	実験1 - 抄紙、実験2 - 物性測定
31	江前	(休講)	

講義の情報

- 「印刷材料学」のホームページ
<http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/chiba2006/>
- 江前のメールアドレス
enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院農学生命科学研究科 2007年度大学院修士・博士課程学生募集

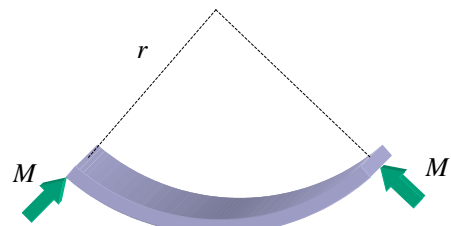
- 生物材料科学専攻 / 製紙科学研究室いつでも見学可能です。
<http://web2.jp.a.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>
- 修士課程を受験する人
出願7/14 ~ 20 試験8/21, 22, 29

今日の内容

- 紙の物性
 - 曲げこわさ
 - 摩擦係数
- 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
- 画像処理の印刷材料への応用

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/m²、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

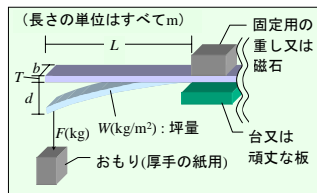
- 幅38mmの試験片を挟んで15°曲げ、荷重長が50mmとなったときの曲げモーメントを測定。
- この曲げモーメントをこわさ(テーパー)と定義する。



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(N・m²)を求める。
- ヤング率Eも評価できる。

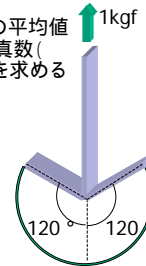


$$S = \left(\frac{Wlb}{8} + \frac{F}{3} \right) \frac{L^3}{d} \times 9.81$$

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

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。

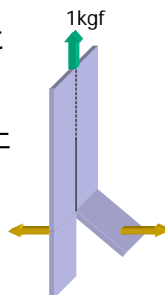


MIT耐折試験機

力学特性-引裂強度

・引裂強度

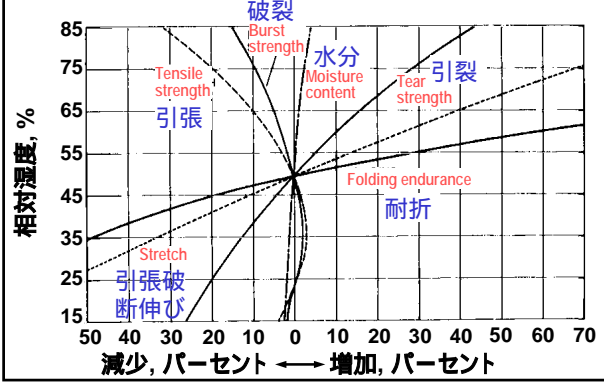
- 切れ目を入れて、90度方向に引き裂くときの仕事を測定し、荷重に換算する。
- 繊維長が長いと耐折強度が上がる。



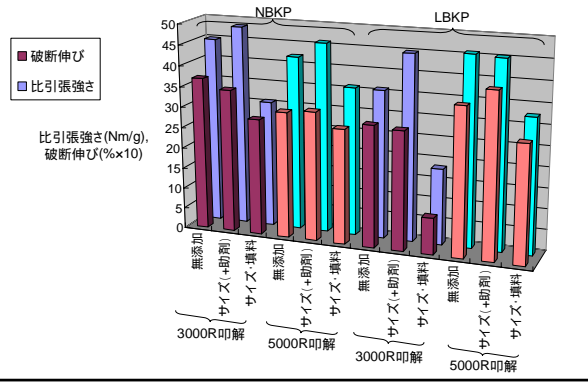
紙の強度発現に影響する因子

- ・ **組成**
 - 繊維の長さ・粗度
 - 填料の量と分布
- ・ **紙層構造**
 - 地合(ムラ)
 - 方向性(MDとCD)
 - 密度
- ・ **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
- ・ **環境**
 - 含水率
 - 温度

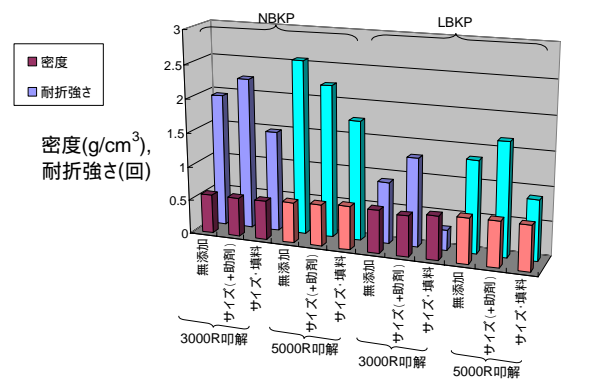
紙の強度- 含水率の影響



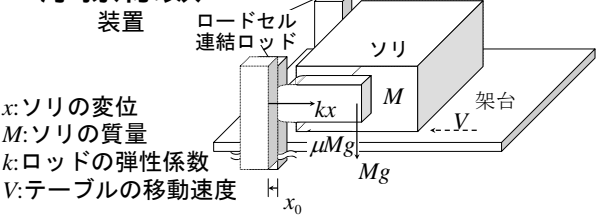
紙の強度 繊維組成、叩解、添加物の影響



紙の強度 繊維組成、叩解、添加物の影響

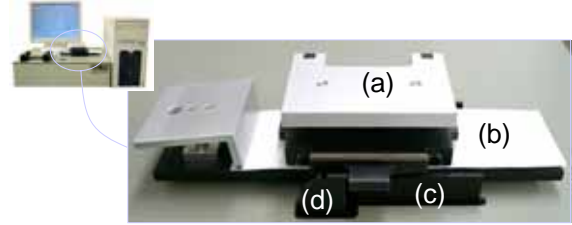


摩擦係数



ソリ側試料:	接触部分の面積が60 mm × 60 mm
架台側試料:	幅 > 60 mm
鉛直圧力:	2.2 kPa (800 gのおもりに相当)
滑り距離:	25 mm
滑り速度:	0.2 mm/s(静摩擦), 20 mm/s(動摩擦)

力学特性-摩擦係数



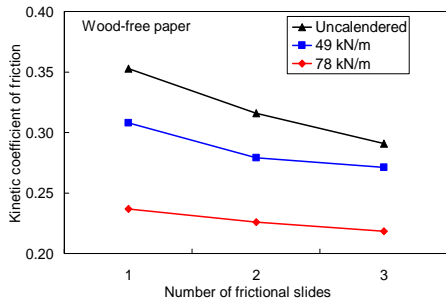
摩擦試験機 (野村商事製 NSF-100)
ソリ(a), 架台 (b), エレベータ (c),
摩擦力測定ロッド (d)

力学特性-摩擦係数 μ

$$\mu = \frac{\bar{F}}{mg}$$

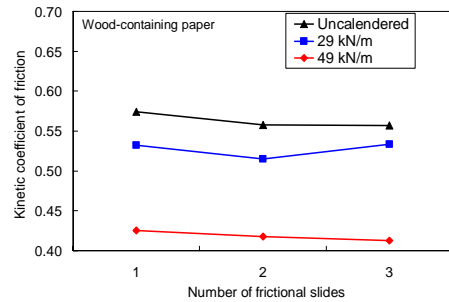
- μ : 静摩擦係数又は動摩擦係数
- \bar{F} : 平均摩擦力
- m : ソリの質量
- g : 重力加速度= 9.81 m/s²

力学特性-摩擦係数 市販上質板紙にさらにカレンダーリング



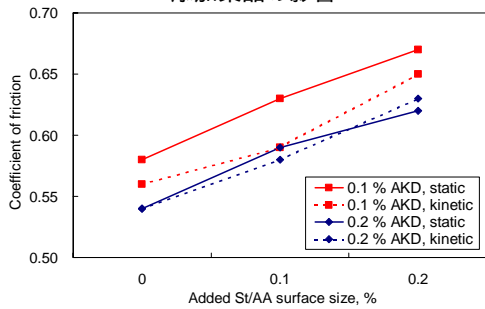
- 平滑であるほど動摩擦係数は小さい

力学特性-摩擦係数 -中質紙 (74 g/m²)



- 上質紙より動摩擦係数大きい
- 摩擦力の変動が大きく、測定中の低下がない。繊維が剛直で変形しにくい。

力学特性-摩擦係数 添加薬品の影響



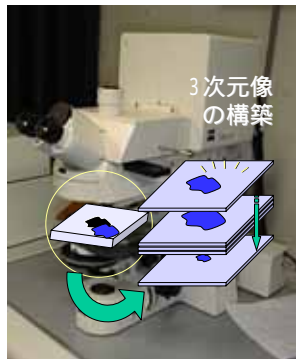
- AKDは紙を滑りやすくする
- Si/AA(スチレン/アクリル酸)+酸化デンプンをサイズプレスし防滑性を付与

最近の研究紹介

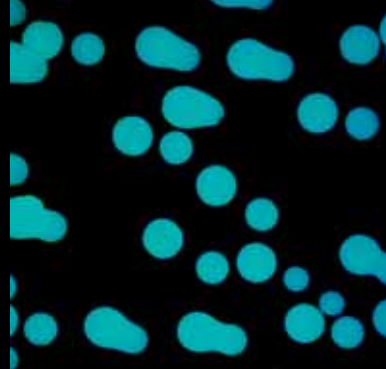
- レーザ蛍光顕微鏡を使ったインクジェットドットの三次元形態観察
- 高速顕微ビデオによるインク滴の浸透挙動解明

インクジェットドットの3次元形状

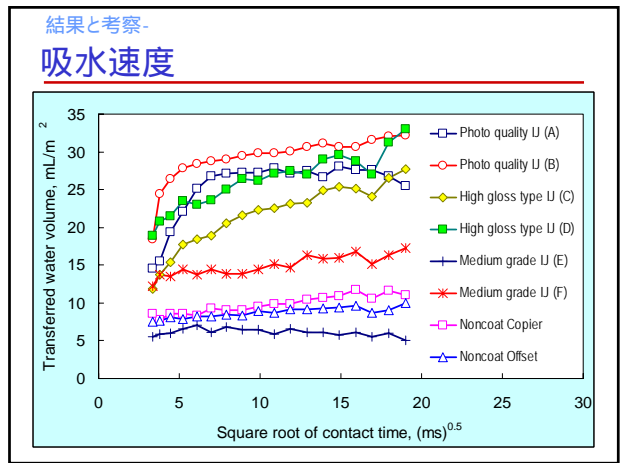
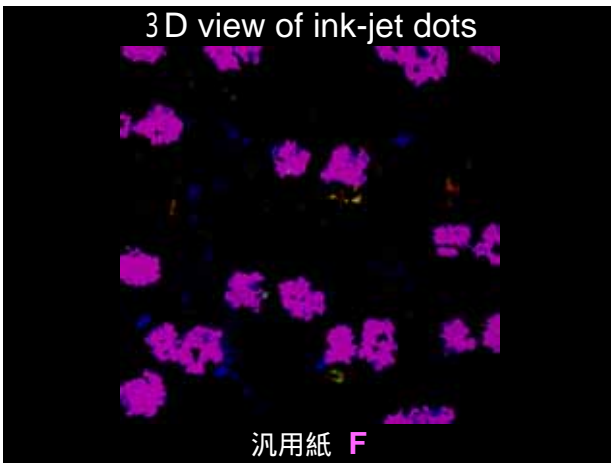
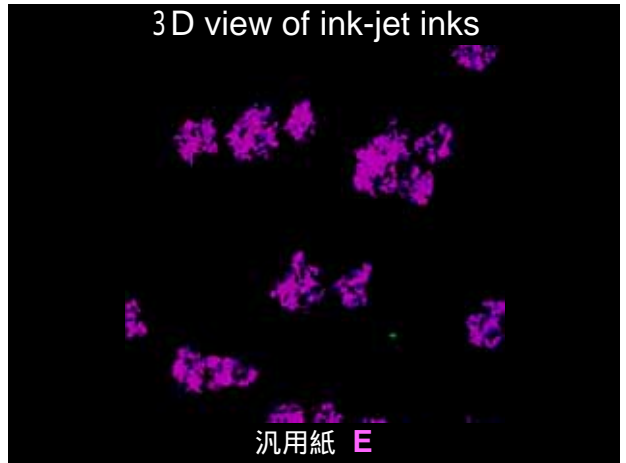
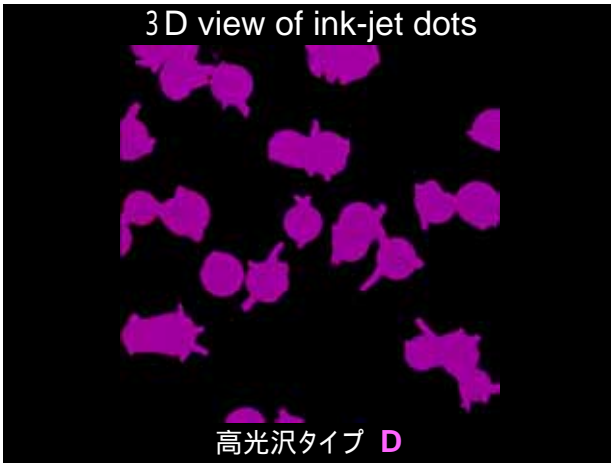
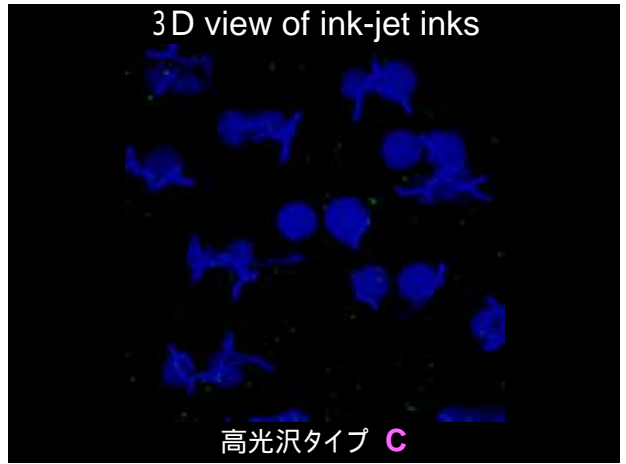
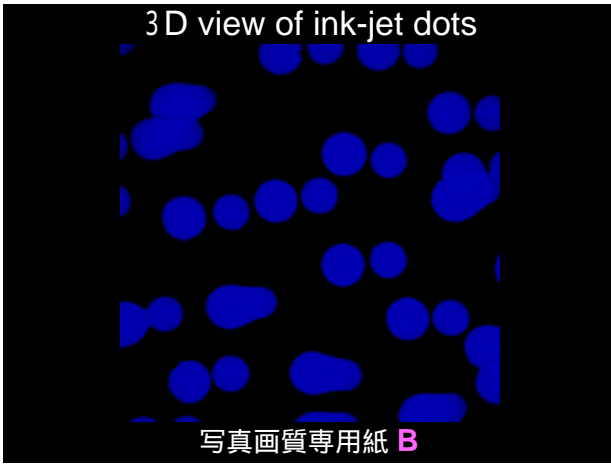
- 共焦点レーザー走査顕微鏡
- 約 1 μmの層ごとに蛍光を観察



3D view of ink-jet dots



写真画質専用紙 A



まとめ

- インクジェット用マゼンタ及びブラックの染料インクが発光する蛍光を利用し、共焦点レーザー走査顕微鏡を使って3次元的なドット形状を知ることができた。
- インクジェット紙上のドットの形状は顔料の均一性と吸水速度に関係していることが予測された。
- 定量的な画像解析により、ドット内のインクの厚さ方向分布がわかった。

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



インク滴の着地と浸透

- 高速ビデオ画像 1/125の速度で再生



市販の写真画質インクジェット紙の比較

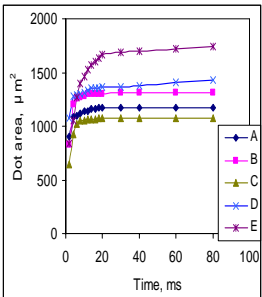


Fig. 2 市販インクジェット紙の1ドットあたりの面積変化

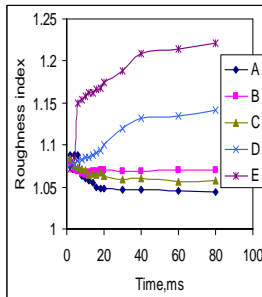
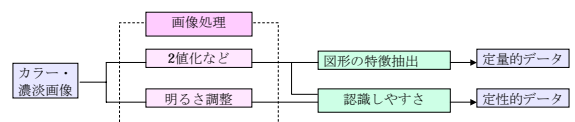
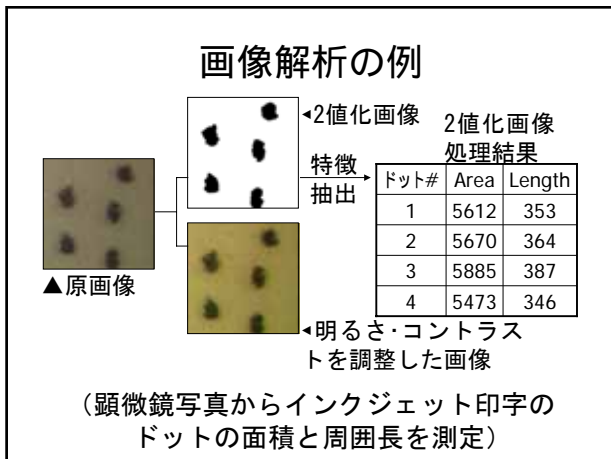


Fig. 3 市販インクジェット紙のドット凹凸度変化

画像処理の目的

- 見やすさ、美観を目的とするフォトレタッチ
- 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。





画像処理の一般的な方法

- Scion Image Beta 4.02 (<http://www.scioncorp.com/>)
- ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>)

- 粒子解析のやり方

ビットマップファイル(*.bmp)の構造

- 画像ファイル(512 pixel × 512pixelのカラー画像)の先頭から順に1バイトずつ読み込む

```

42 4D|36 00 0C 00|00 00 00 00|36 00 00 00|28 00
00 00|00 02 00 00|00 02 00 00|01 00|18 00|00 00
00 00|00 00 0C 00|C4 0E 00 00|C4 0E 00 00|00 00
00 00|00 00 00 00|5F 83 89|5B 82 8A|5B 82 8A|5C
...
  
```

ビットマップファイル(*.bmp)の構造

ファイルヘッダ (bmpファイルであることやファイルサイズなどのファイルの情報)

バイト数	データ	意味	
通算	サイズ		
1	2	42 4D	このコードを文字に変換すると"BM"
3	4	36 00 0C 00	ファイルサイズ, バイトごとに逆順にして00 0C 00 36 = C0036(16進数)を10進数にすると786486バイトとなる。
11	4	36 00 00 00	何バイト目からbitmapの画像情報が始まるか, 同じく逆順にして36(16進数)を10進数にすると54バイト, 54バイト以外もある。

情報ヘッダ (画像サイズなどの画像情報)
 パレットデータ (色の割り付け, 24ビットカラーでは省略される)
 画像データ (実際の各座標の色)

ビットマップファイル(*.bmp)の構造

情報ヘッダ (画像サイズなどの画像情報)

バイト数	データ	意味	
通算	サイズ		
15	4	28 00 00 00	画像情報ヘッダのサイズ, 28(16進数) = 40
19	4	00 02 00 00	画像の横pixel数, 200(16進数) = ?(いくつか)
23	4	00 02 00 00	画像の縦pixel数, 200(16進数) = ?(いくつか)
29	2	18 00	使用色ビット数18(16進数)を10進数にすると24ビット, RGB各色8ビットのカラー。
35	4	00 00 0C 00	画像のバイト数, C0000(16進数)を10進数にすると786432バイト, bOffBits(11バイト目からの4バイト)の54バイトを足すとファイルサイズの786486バイトとなる。

パレットデータ
 画像データ (実際の各座標の色)

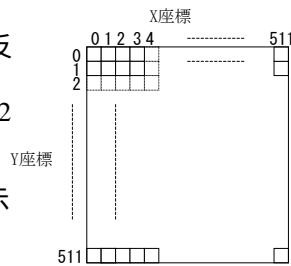
ビットマップファイル(*.bmp)の構造

パレットデータ (カラー画像では省略される)
 画像データ (実際の各座標の色)

バイト数	データ	意味	
通算	サイズ		
55	3	5F 83 89 座標(0, 511)	青輝度B 95 / 緑輝度G 131 / 赤輝度R 137
58	3	5B 82 8A 座標(1, 511)	青輝度B 91 / 緑輝度G 130 / 赤輝度R 138
61	3	5B 82 8A 座標(2, 511)	青輝度B 91 / 緑輝度G 130 / 赤輝度R 138
:	:	:	:
786484	3	?? ?? ?? 座標(511, 0)	青輝度B 91 / 緑輝度G 130 / 赤輝度R 138

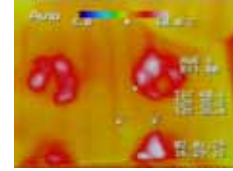
画像ファイルの座標

- 左上が原点
- bmpファイルは上下反転してデータを格納
- Scion Image Beta 4.02では、Infoウィンドウにカーソル位置座標のRGBの輝度が表示される。



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



▲ 熱画像の例 (塗工カラーを紙に塗布後、熱風乾燥中の紙表面の画像)

◀ 熱画像用ビデオカメラ

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。ヘッドライヤー数本で乾燥させた。

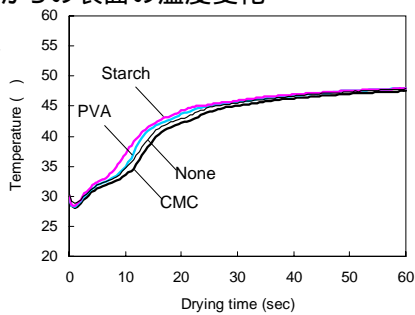
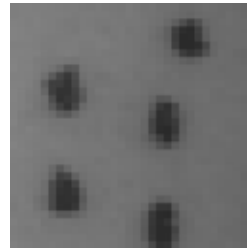


Fig. Temperature of coating surfaces during drying

画像の類似性 - 画像の相関

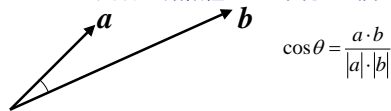
- 画像は各座標の輝度を要素とするベクトル
32 × 32ピクセルの画像では要素が1024個ある。
 $f = (129, 128, 128, 129, \dots, 152, 129, 128, \dots, 153)$



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 $\cos \theta$ の大きさで決める。



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。

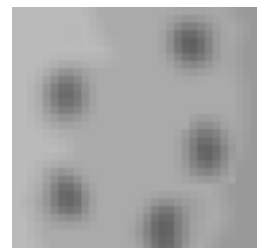
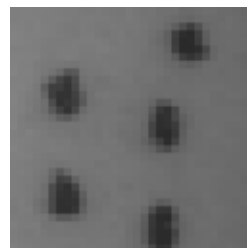
- ピアソンの相関係数

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

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)

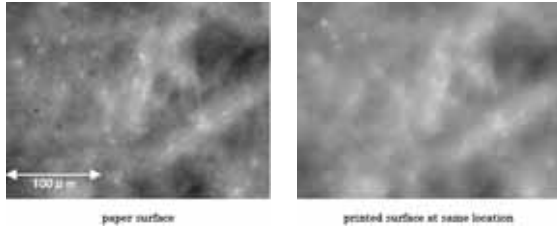
$$R=0.845$$



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

$R=0.88$



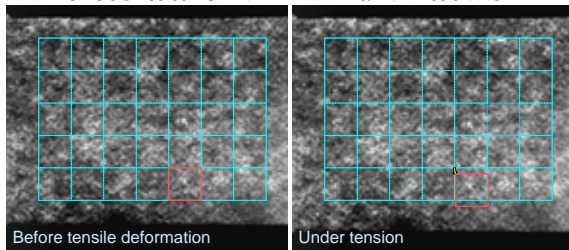
画像相関法による移動計測

- 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

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

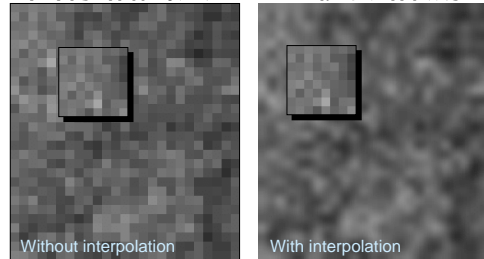
- 又はピアソンの相関係数など

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

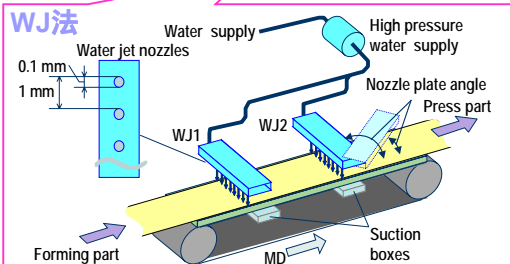
画像相関法による移動計測



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

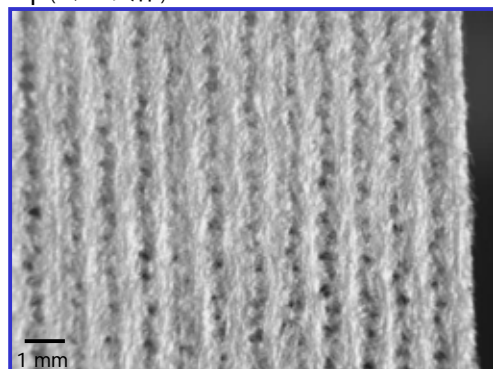
画像相関法による移動計測の応用 - 不織布の引張変形

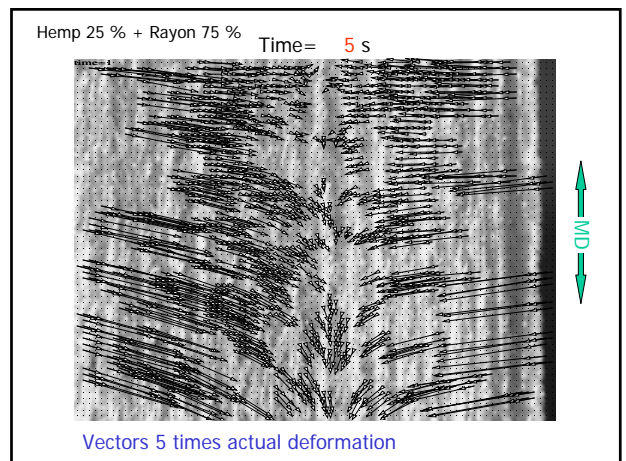
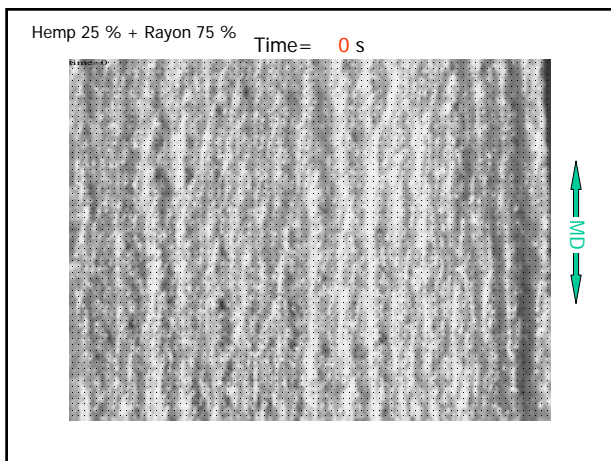
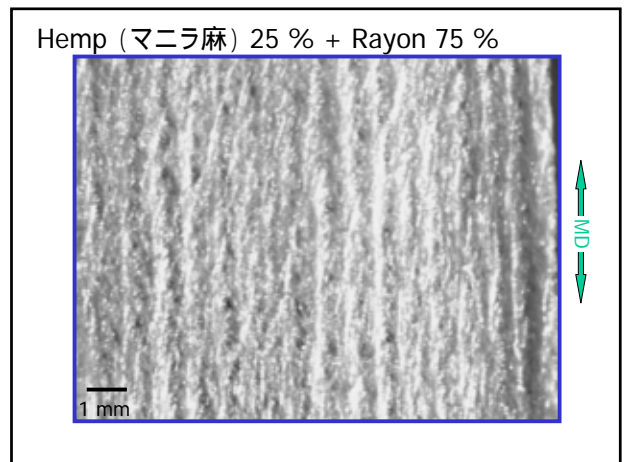
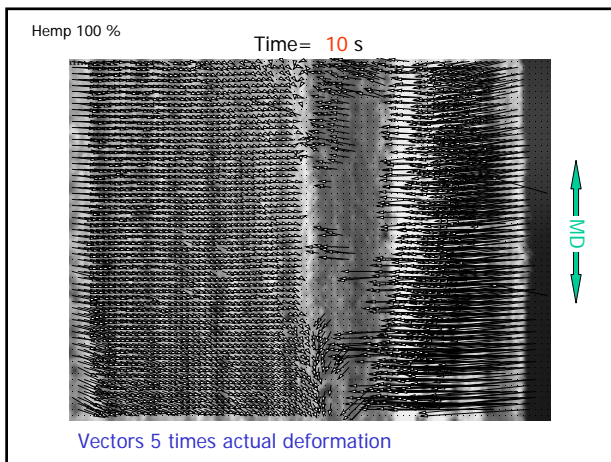
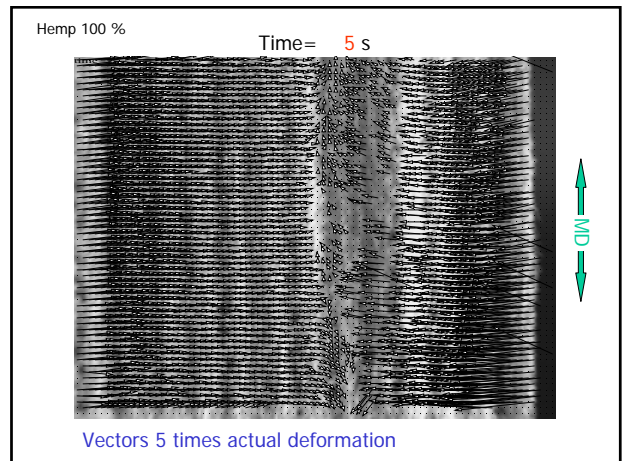
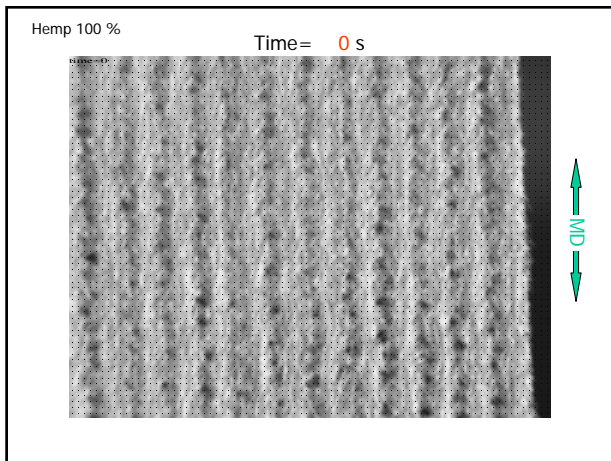
湿式ウェブ形成 → ウェブ結合(繊維の交絡) → ウェブ乾燥

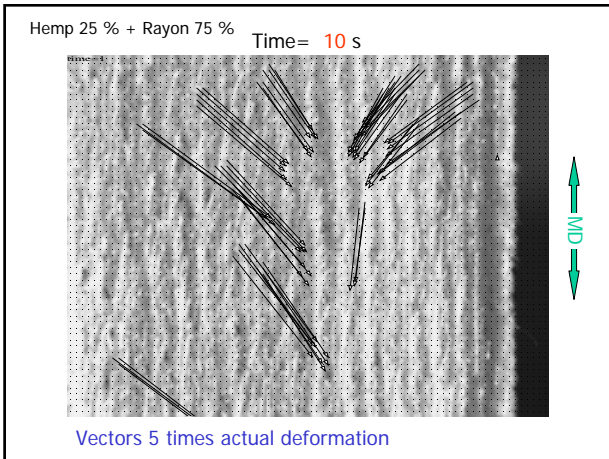


- 速度 5.0 m/min
- 水圧 0.98 MPa @ WJ1及び WJ2(レーヨン使用時はもっと高い)

Hemp(マニラ麻) 100 %







画像相関法による移動計測

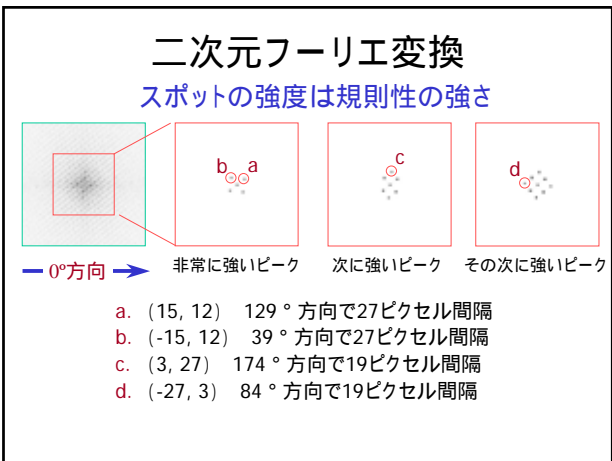
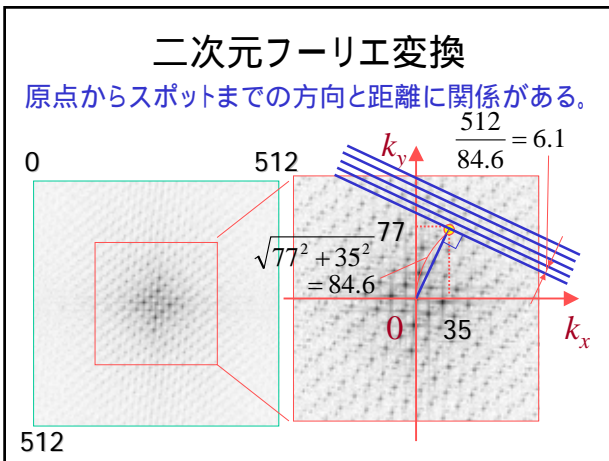
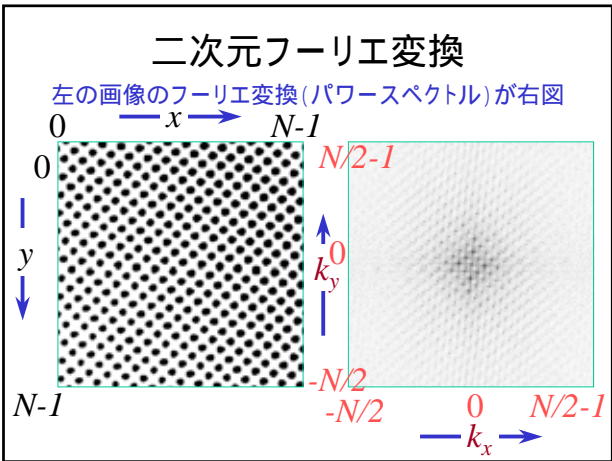
■この計測のためのソフトウェアは配布可能(無料)です。
 ■希望者は江前敏晴までどうぞ。

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。

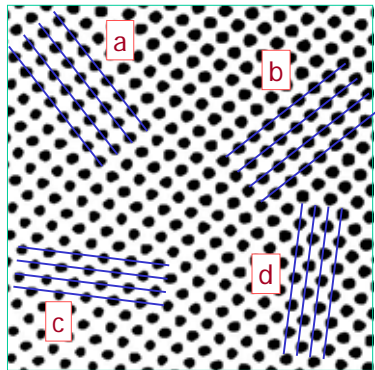
$$F(k_x, k_y) = \sum_{y=0}^{y=N-1} \sum_{x=0}^{x=N-1} f(x, y) \exp\left\{-i \frac{2\pi}{N} (k_x x + k_y y)\right\}$$

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



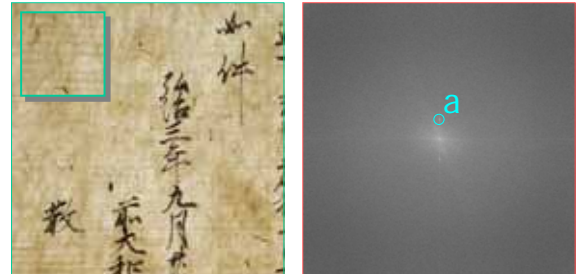
二次元フーリエ変換

スポットに対応した規則性が存在する。



二次元フーリエ変換の応用

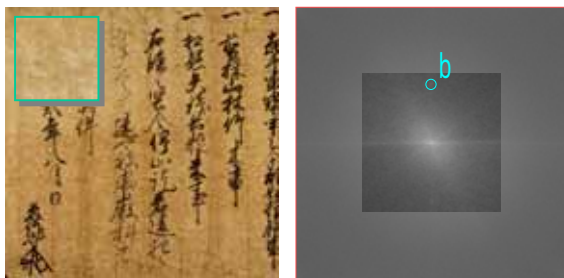
和紙のワイヤーマーク(簀の目)の間隔を調べる(1)



0 511
a. (0, 37) 0°方向で14ピクセル間隔(12.8本/寸)

二次元フーリエ変換の応用

和紙のワイヤーマーク(簀の目)の間隔を調べる(2)



0 511
b. (-1, 56) 90°方向で9ピクセル間隔(19.3本/寸)

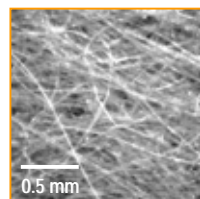
二次元フーリエ変換の応用(2)

- 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)

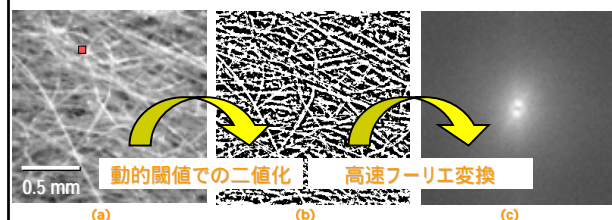
紙の中での繊維配向(繊維の向き)を調べる。

- 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

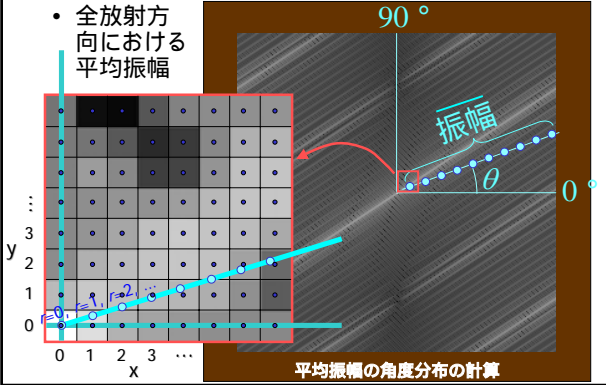
- 実際の計算例



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)

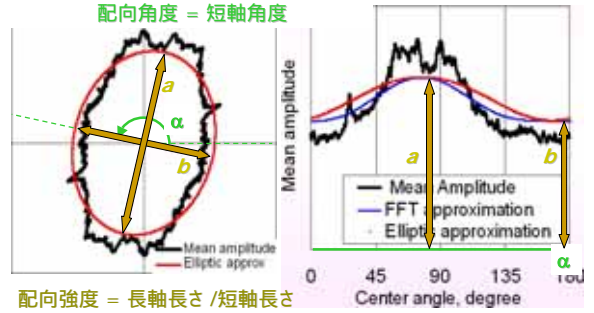
繊維配向の角度分布の計算

- 全放射方向における平均振幅

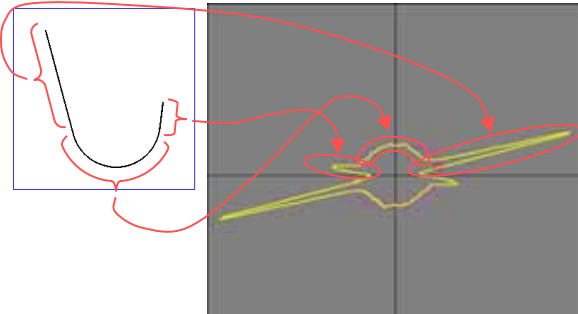


配向角度と配向強度

- 実際の計算例



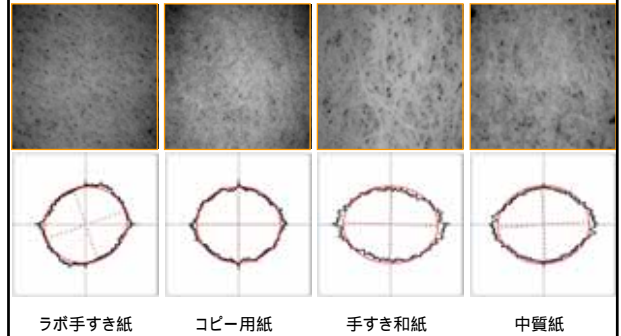
屈曲した繊維モデルの配向図



- 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。

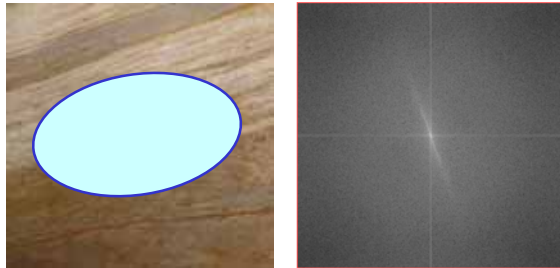
二次元フーリエ変換の応用(2)

種々の紙の表面にある繊維の向き



二次元フーリエ変換の応用(2)

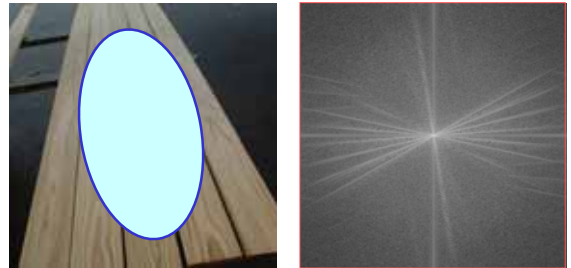
地層の向き



Orientation angle (degree) 9.7
Orientation intensity 1.74

二次元フーリエ変換の応用(2)

板の向き



Orientation angle (degree) 100.5
Orientation intensity 1.76

7/24(月)抄紙実習

- 西千葉駅16:10発又は16:18発-稲毛から錦糸町まで快速、で飯田橋まで行き、東京メトロ南北線に乗り換えて東大前駅17:20着
- 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 - 抄紙
- 19:00 ~ 実験2 - 物性測定
- 20:00 ~ ディスカッションなど (21時終了予定)
- 参加者は江前までメールで必ず連絡
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10日必着
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 も可
次の(1)~(4)について答えよ。A4サイズで1~2枚にまとめよ。

- (1) 抄紙のワイヤはPETの繊維で織られている。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ると、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) ある脂取り紙は、面積50cm²、厚さT=60μm、空隙率が40%であり、半径1μmの毛管が屈曲率 = 1.5で分布しているとする。オリーブ油は、32.0 mN/mの表面張力、150 mPa·sの粘度、0.90 g/cm³の密度を持つとする。この脂取り紙を使って、このオリーブ油で揚げたトンカツから油を吸いだすとき、1枚の脂取り紙が全部の毛管を脂で満たすまでに要する時間は何秒で、1枚の油紙で何gのオリーブ油が吸い取れるか？なお、接触角は0°とする。

<ヒント> 2006-6-12.pdfの2ページ目真ん中左にある $V/A = \dots$ の式を使って考えよ。なお、屈曲率 の意味は、紙の中で毛管が曲がっている度合いで、厚さ方向に直線的ならば1、曲がっていれば1より大きくなる。 $V/A = L$ (毛管長さ) = $T \times$ と定義される。

印刷材料学レポート課題(続き)

- (3) 画像処理法(講義で説明したものでもそうでないものでもよい)の中で自分の研究や興味に関係しそうなものを選び、どのような画像から何を知らることができそうかを書け。
- (4) 印刷媒体としての紙は今後どのように変化して行くと予測するか？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。