

印刷材料学

2006年6月12日
第9回(第4回江前担当)

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 | パルプ | パルプ化/リサイクル(詳細は未定) |
| 5/ 1 | 岡山 | パルプ | パルプ化/リサイクル(詳細は未定) |
| 8 | 岡山 | パルプ | パルプ化/リサイクル(詳細は未定) |
| 15 | 岡山 | パルプ | パルプ化/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 | パルプ | パルプ化/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、吸油特性 |
| 12 | 江前 | 光学・力学物性 | 光学特性、力学特性 |
| 19 | 岡山 | パルプ | パルプ化/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 | パルプ | パルプ化/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 | | (休講の予定ですが、この日に実習を行うかもしれません) |

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

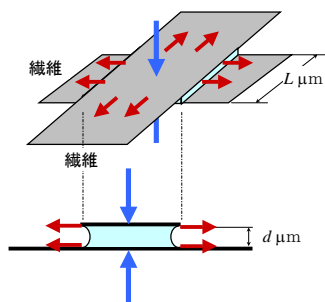
東京大学大学院農学生命科学研究科 2007年度大学院修士・博士課程学生募集

- 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.fp.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

繊維間の結合

繊維結合の生成に与える水の影響

- リボン状(扁平な)直行する2本の繊維を考える。交点は正方形になり、1辺の長さをLとする。乾燥が進んで繊維間距離が1μmになると、どの程度の収縮応力が働くか?
- このように繊維間で引き合う力をCampbell(キャンベル)効果と呼ぶ。



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

液体の浸透理論 毛管浸透のモデル

- 毛管(円管)内にできる液体のメニスカスに作用する力

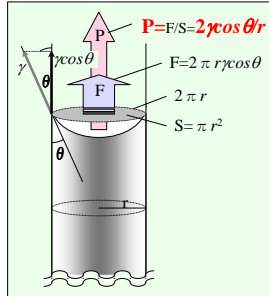
■ 円管内定常流の式

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

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

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

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

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

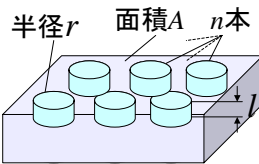
$$V = n \pi r^2 l$$

- 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、

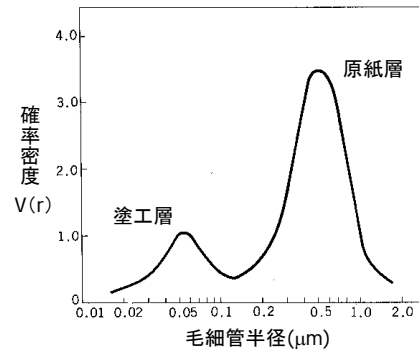
$$\frac{V}{A} = \phi \sqrt{\frac{R\gamma \cos \theta}{2\eta} t}$$



■ 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



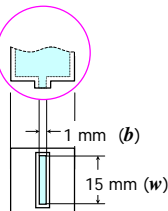
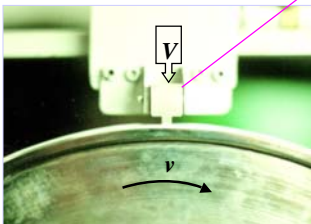
- 塗工層の平均毛細管半径は約0.05 μmで原紙0.5 μmの約10分の1

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 $t = v/b$
 - 液体転移量 $V_t = V/(wL)$
- 走査速度 v
 スリット幅 b
 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

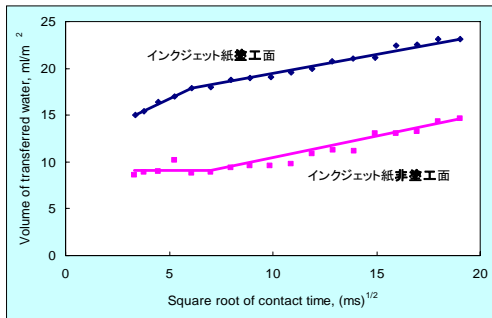


Automatic Scanning Absorptometer



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(プリストー法)

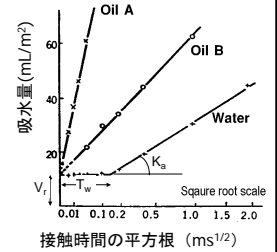
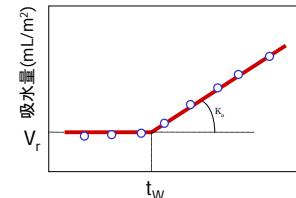


濡れ時間(プリストーの吸水理論)

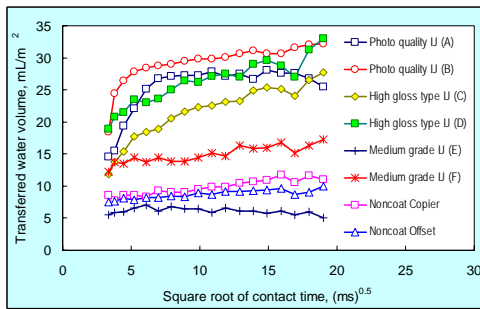
■ 濡れ時間の存在

- 水と紙の表面が接触してもしばらく吸収が始まらない遅れ(濡れ時間)がある。
- そのあとはL-W式に従って吸水

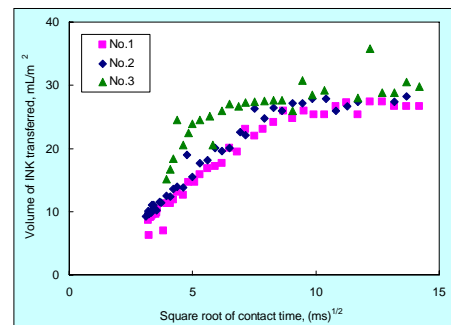
$$V = V_r + K_a \sqrt{T - T_w}$$



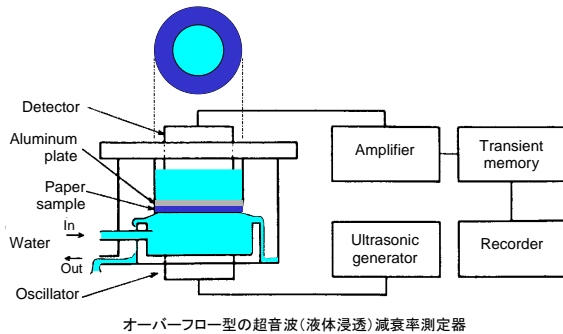
各種インクジェット専用紙の吸水挙動



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)

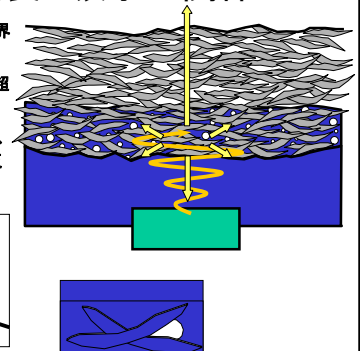
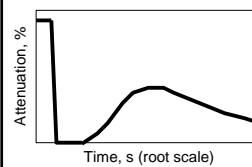


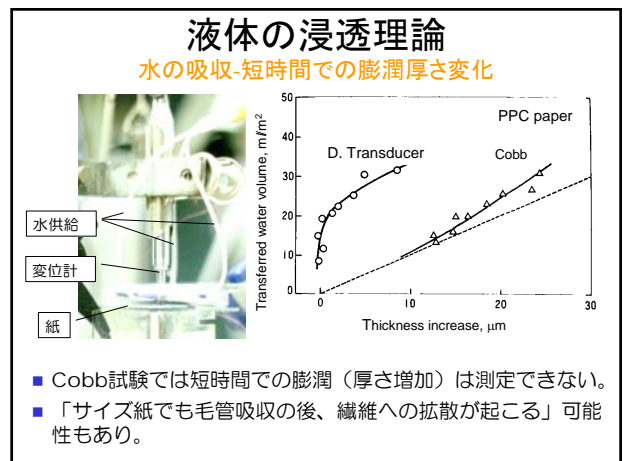
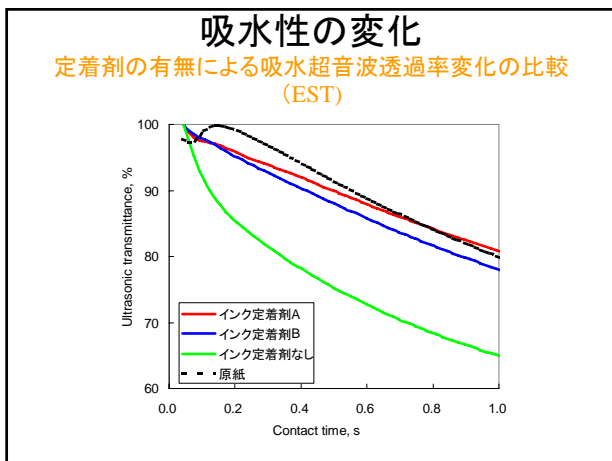
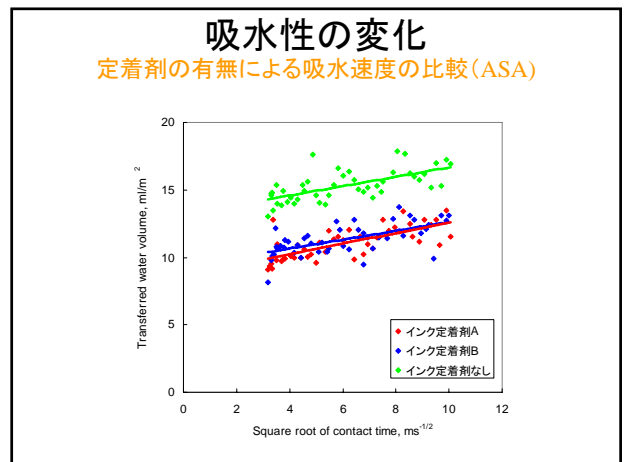
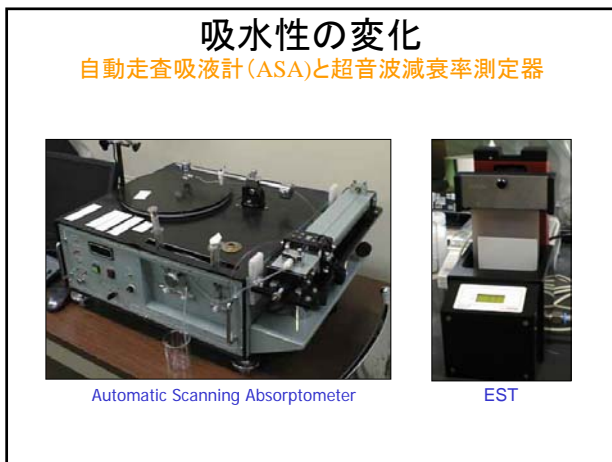
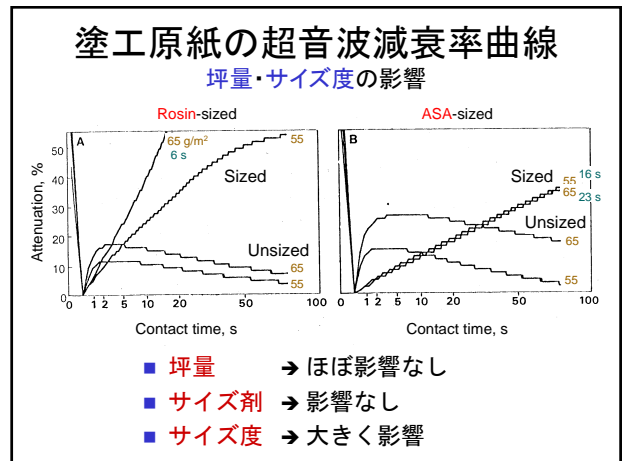
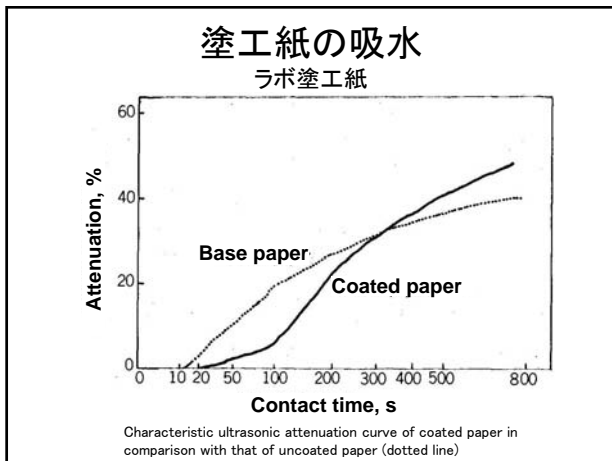
超音波減衰率測定器 構造と測定法



超音波減衰と吸水の関係

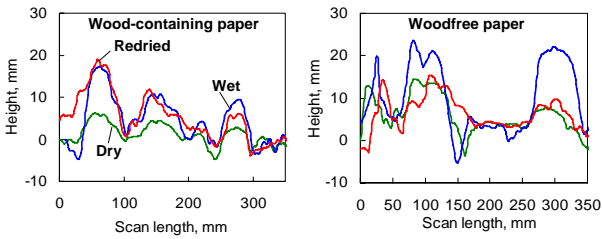
- 弾性的性質の異なるものの境界面で超音波は反射する。
- 材料内部に傷(空気)があると超音波は、反射/散乱される。
- その度合は傷の大きさで決まり、波長に比べて充分小さい傷は、反射/散乱をほとんど起こさない。





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

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

紙の構造的なパラメータ

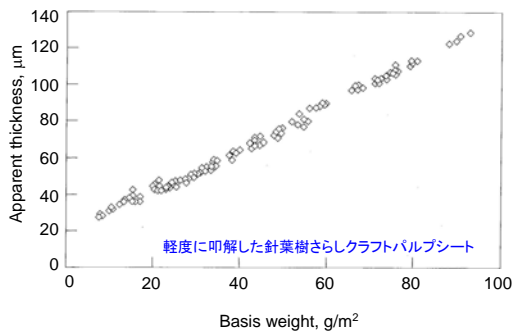
- 坪量 (g/m^2)
 - 1m^2 あたりの標準調湿条件下での質量
- 厚さ (μm)
 - 2枚の金属板ではさんだときの距離
- 密度 (g/cm^3)
 - 坪量 / 厚さ
- 比容積 (cm^3/g)
 - 密度の逆数
- 平滑度 (表面粗さ)
 - 空気漏洩式と表面形状測定
- 透気度
 - 空気の透過速度

紙の構造-基本物性

- ・ 坪量 (g/m^2)
 - 20°C 50%r.h.における 1m^2 あたりの質量(g)
 - 105°C で恒量となるまで乾燥すると絶乾坪量
- ・ 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
 - バルク厚さ(10枚重ね)と単一シート厚さ
 - 表面の凹凸も含めた厚さであるので厚めに測定される。
- ・ 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。

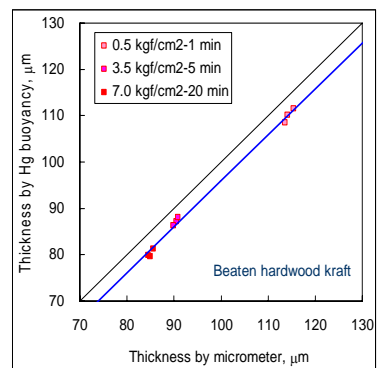
紙の構造-基本物性

- ・ 密度 (坪量 / 厚さ) は、坪量に影響される!?

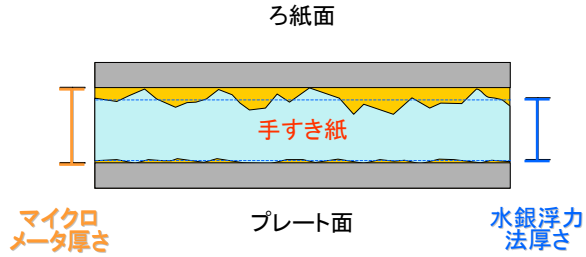


紙の構造-厚さの測り方

- ・ マイクロメータ
- ・ 水銀浮力法



紙の構造- なぜ測定される厚さが異なるか

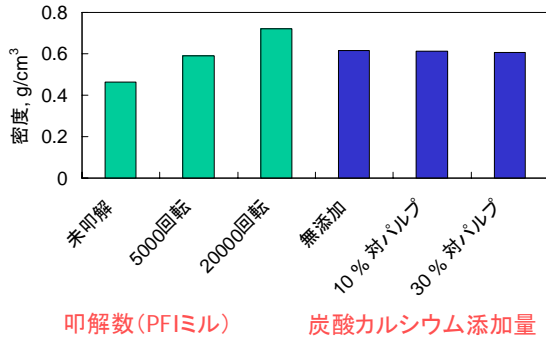


紙の構造- 製紙工程の処理と密度

| 工程 | 条件 | 密度, g/cm ³ |
|-----------------|------------------|-----------------------|
| 叩解 | 未叩解 | 0.463 |
| | 5000 回転 (PFI ミル) | 0.592 |
| | 20000回転 (PFI ミル) | 0.722 |
| 填料 (炭酸カルシウム) | 無添加 | 0.615 |
| | 10 % 対乾燥パルプ | 0.614 |
| | 30 % 対乾燥パルプ | 0.606 |
| ウェットプレス | 49 kPa 1分間 | 0.521 |
| | 343 kPa 5分間 | 0.595 |
| | 686 kPa 20分間 | 0.647 |
| カレンダ | 未カレンダ | 0.540 |
| | 線圧29 kN/m | 0.588 |
| | 線圧49 kN/m | 0.624 |

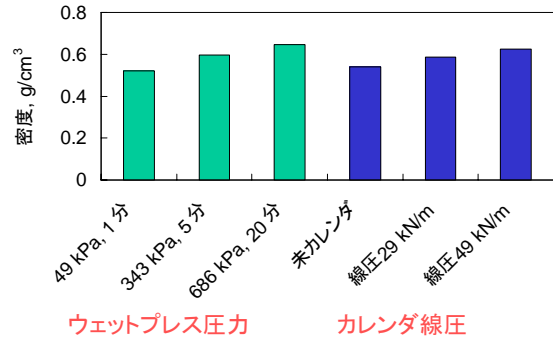
密度

■叩解と填料の影響

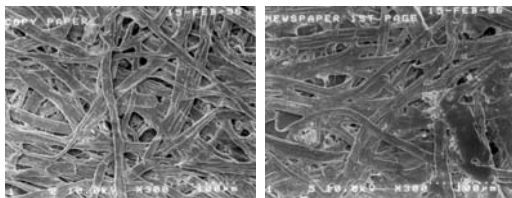


密度

■ウェットプレスとカレンダの影響



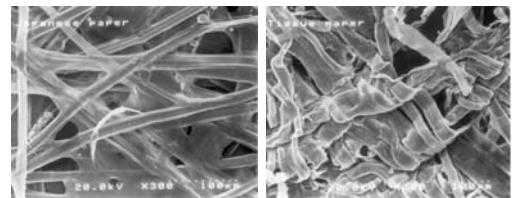
紙の構造 走査型電子顕微鏡写真①



コピー用紙

新聞用紙

紙の構造 走査型電子顕微鏡写真②



和紙

ティッシュペーパー

紙の構造-平滑性(表面粗さ)

■空気漏洩式

- 平滑な金属面と紙表面が接触したときにできる隙間を空気が漏れ出る速度で表現

■表面形状測定(顕微鏡を利用)

■測定方式

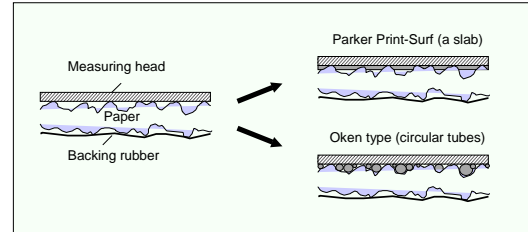
- 触針式
- 走査型プローブ顕微鏡
- 共焦点式光学顕微鏡
- 干渉式光学顕微鏡
- 多検出器走査電子顕微鏡

■粗さの表現方法

紙の構造-平滑度

・空気漏洩式

- プリントサーフ粗さ(μm)
- ベック平滑度、王研式平滑度(秒)



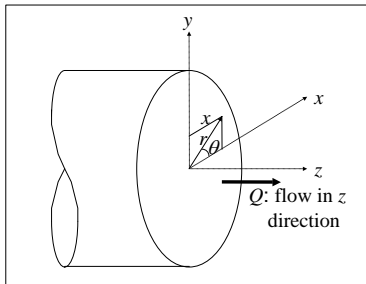
紙の構造-平滑度

・空気漏洩式の理論

- ハーゲンポアゼイユの流れ

$$Q = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \mu l}$$

Q : 空気の体積速度
 ΔP : 圧力差
 μ : 空気の粘度
 r : 円管半径
 l : 円管長さ



紙の構造-平滑度

- プリントサーフ粗さのモデル図

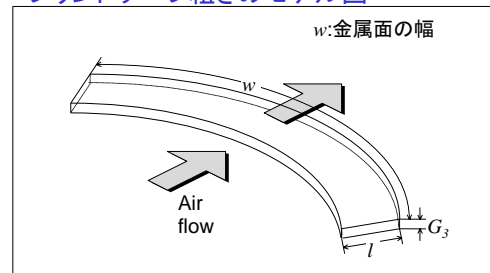


Fig. 3 Schematic diagram of a channel for air leak in the PPS model.

紙の構造-平滑度

- プリントサーフ粗さと王研式平滑度の比較

| プリントサーフ粗さ(μm) | 王研式(ベック)平滑度(秒) |
|--|--|
| $G_3 = \left(\frac{12 \mu l Q}{w \Delta P} \right)^{\frac{1}{3}}$ | $T_B = \frac{8 \mu V l}{\pi \Delta P r^4} = \frac{8 \mu V}{\pi (P_c - P)} \frac{L_0}{R_0^4}$ |
| G_3 : 平均間隙[距離] | T_B : 王研式平滑度[時間] |
| μ : 空気の粘度 | μ : ← |
| l : 金属面の長さ | l : ポア長さ, L_0 : 連結管の長さ |
| Q : 空気の体積速度 | V : 空気の体積 = $Q \times T_B$ |
| w : 金属面の幅 | r : ポア半径, R_0 : 連結管の長さ |
| ΔP : 圧力差 | ΔP : ←, $P_c - P$: 定圧室と測圧室の圧力差 |

表面形状の式

■表面形状の2次元、3次元的測定

■表現する式

- 傾きを補正のために基準直線(又は面)を、その上下にできる面積(体積)が等しくなるように定め、そこからの各点までの距離を直線xに対する距離y, xy面に対する距離zとして求める。

■中心線平均粗さRa

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell |y| dy \quad R_a = \frac{1}{\ell_x \ell_y} \int_0^{\ell_x} \int_0^{\ell_y} |z(x, y)| dx dy$$

■自乗平均平方根粗さRMS

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^\ell y^2 dy} \quad RMS = \sqrt{\frac{1}{\ell_x \ell_y} \int_0^{\ell_x} \int_0^{\ell_y} z(x, y)^2 dx dy}$$

平滑性(表面粗さ)

■共焦点式光学顕微鏡

印刷後のインク表面に残るスプリットパターン

