

製紙科学(江前担当分)

2006年 11月28日
12月12日、19日
2007年 1月16日、23日、30日

製紙科学研究室
江前敏晴
えのまえとしはる

内容

日付	内容
11月28日	離解、叩解、パルプ繊維評価
12月5日	ウェットエンド化学(磯貝先生)
12月12日	抄紙機、紙層形成
12月19日	紙の物性-構造、表面
1月16日	吸液特性、印刷適性
1月23日	紙の物性-力学特性
1月30日	板紙、和紙、試験規格

講義の情報

- 「製紙科学講義(江前分)」のホームページ
<http://psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp/hp/enomae/>
講義資料
- 江前のメールアドレス
enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp

12月19日の内容

- 抄紙工程
- 繊維間結合
- 紙の物性-構造的な性質

抄紙 - アプローチパート

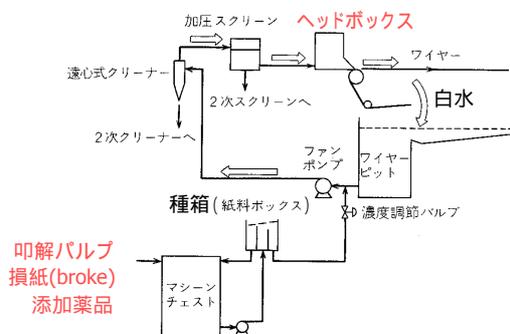
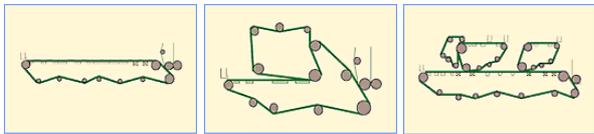


図 4.19 長網抄紙機のアプローチ系¹⁴⁾

抄紙 - ワイヤーパート

- ワイヤ(網)を使ってる過作用によって紙料から脱水する工程
- ワイヤの種類
 - PETのプラスチックワイヤ (以前はブロンズ製)
 - サテン織
 - 1本の横系の上、3本の横系の下を縦系が通る。縦系の磨耗防止
 - 二重織
 - 上層が微細繊維の歩留まり向上、下層が耐磨耗性、脱水性に適する構造
- 脱水の促進
 - サクションボックス、クーチロールなど

抄紙 - ワイヤーパート



フォードリニア ツインワイヤ オントップ
(長網抄紙機)

丸網抄紙機



抄紙 - プレスパート

- 加圧によってさらに脱水し、密度と湿紙強度を高める工程
- 乾燥よりプレスによる脱水の方がエネルギー消費が少なくてすむ
- 湿紙をはさむフェルトに水分を移動させる

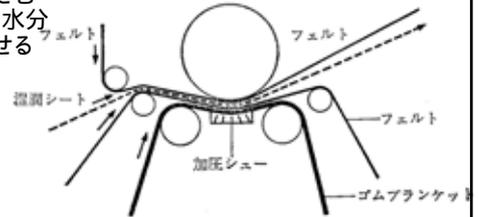


図 72 プレスの一例 (エキステンデッドニッププレス)

抄紙 - ドライヤパート

- 加熱して水を蒸発させる工程。
- 繊維間の自由水が蒸発し、ついで繊維内及びフィブリル間の自由水が蒸発し、水分9%以下では結合水が蒸発。繊維間結合が生成する。
- 多筒式ドライヤのシリンダにキャンパス(又はフェルト)で押さえつけて乾燥

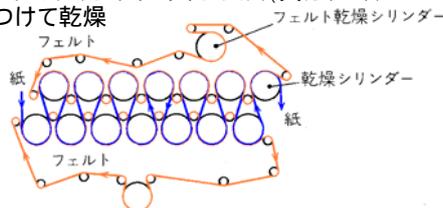
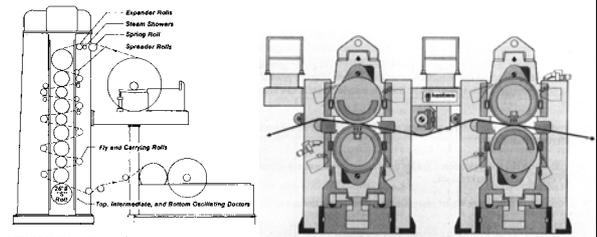


図 4.25 抄紙機ドライヤパート¹⁶⁾

抄紙 - カレンダーリング

- ロールによる圧縮、摩擦により、密度を上げ、平滑性、光沢を付与する工程



スーパーカレンダー
オフマシンで10前後のニップを通す

ソフトカレンダー
左のユニットでは下側が百数十度に加熱するスチールロールで上側が樹脂ロール

抄紙 - カレンダーリングによる紙の変化

- カレンダーリングによる光沢度の上昇と紙の圧縮

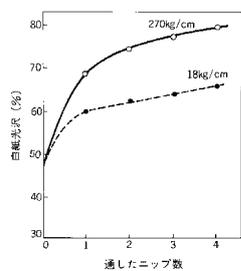


図 5.27 通したニップ数の関数としての白紙光沢の向上(オールSBラテックス系塗工カラー)¹¹⁾

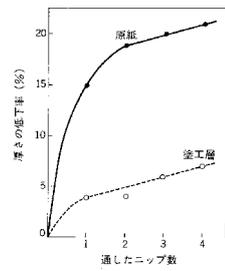


図 5.30 通したニップ数の関数としての塗工層と原紙の圧縮(オールSBラテックス系塗工カラー)¹¹⁾

抄紙 - カレンダーリングと表面粗さ

- カレンダーリングによる表面粗さの低下

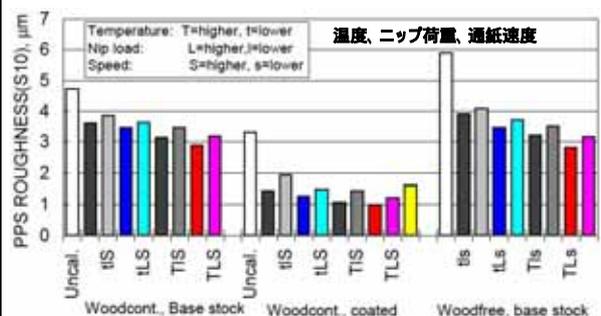
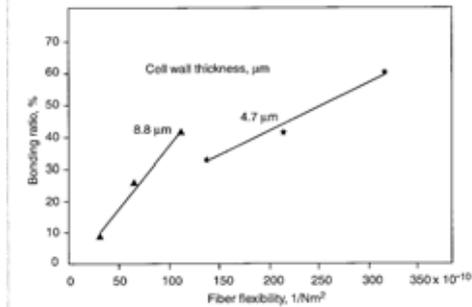


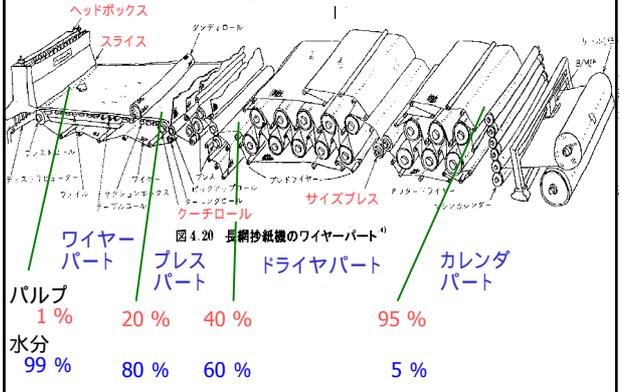
Fig. 2 Effect of calendaring parameters on roughness. Feltside.

繊維間の結合

- 繊維の柔軟性が相対(繊維間)結合面積RBA (=Relative Bonded Area)に与える効果



抄紙 - 抄紙工程(広義のワイヤーパート)と水分



抄紙 - ヘッドボックス～プレスパート - ビデオ

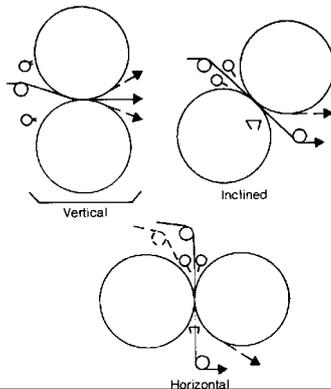


抄紙 - サイズプレス

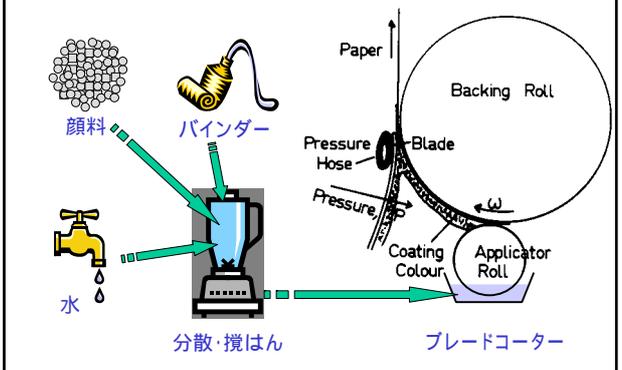
- **サイジング**
 - 内添サイズ (Internal sizing) - パルプ懸濁液に添加
 - 外添 (又は表面) サイズ (External or Surface sizing)
- **表面サイジング (サイズプレス) とは**
 - デンプンなどの物質を塗布することにより水などの液体に対する耐性を紙に与える処理を意味する。
 - 広義には耐水性以外の特性付与や、顔料を配合する場合も含む (固形分がおよそ30%を越えると塗工と呼ぶ)。
 - デンプンの他、カルボキシメチルセルロース、ポリビニルアルコール、ポリアクリルアミド(PAM)、スチレンアクリル酸系ポリマーなど多数。疎水性が強い必要がない。
 - 歩留まりが100%である。
 - 内添で見られる紙抄機の汚れや泡立ちがない。

抄紙 - サイズプレス

- **目的と効果**
 - オフセット印刷時のピッキング防止。
 - にじみを抑えるインクジェット適性付与。
 - デンプン塗工面のオフセット印刷時の湿し水による粘着性(ネツバリ)を改善する。
 - フィルム化したポリマーが空隙を満たすことにより吸水を抑える。

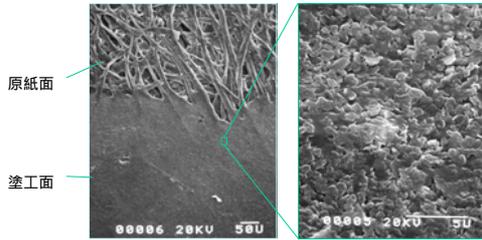


顔料塗工とは



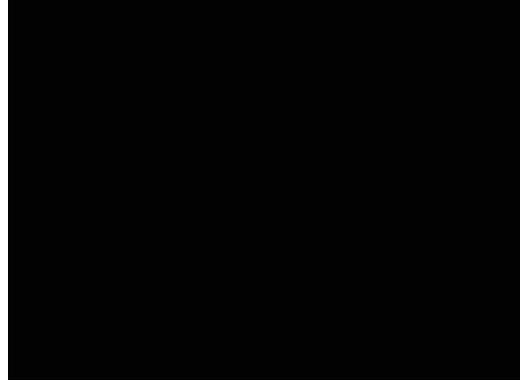
塗工紙表面

走査型電子顕微鏡写真



- 平滑性、白色度、不透明度、光沢の向上、液体浸透の制御などを目的とする。

抄紙 - ドライヤパート以降のビデオ



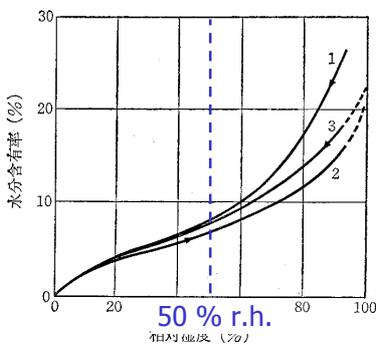
紙の構造を表す基本物性

- 調湿条件
- 構造を表す基本物性
- 表面化学特性
- 吸液特性
- 力学特性
- 光学特性
- など

調湿及び試験環境条件

- 温度23 相対湿度50%
 - 紙の物性は温度依存性はほとんどなく、湿度依存性が強い
 - ただし、温度が10 以上変わると引張(ひっぱり)強度などに有意な差が現れる。

調湿及び試験環境条件



- ヒステリシス
- 平衡含水率の1/2まで乾燥させてから吸湿し試験を行う
- 含水率は結晶化度に影響される

図 98 亜硫酸パルプシートの水分吸着等温線 (Seborg, C. O. et al., 1938)

1月16日の内容

- 紙の物性
 - 構造、表面
 - 吸液特性、印刷適性

紙の構造的なパラメータ

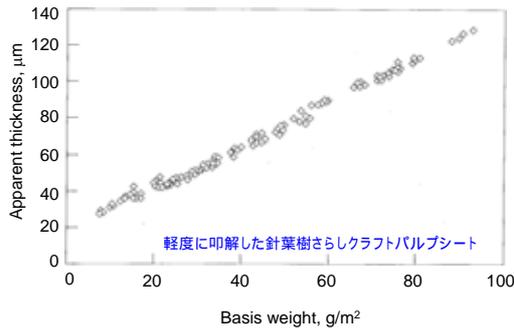
- 坪量 (g/m²)
 - 1m²あたりの標準調湿条件下での質量
- 厚さ (μm)
 - 2枚の金属板ではさんだときの距離
- 密度 (g/cm³) ■ 比容積 (cm³/g)
 - 坪量 / 厚さ ■ 密度の逆数
- 平滑度 (表面粗さ)
 - 空気漏洩式と表面形状測定
- 透気度
 - 空気の透過速度

紙の構造-基本物性

- 坪量 (g/m²)
 - 23 50%r.h.における1m²あたりの質量(g)
 - 105 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/cm³である。Kg/m³が使われることもある。

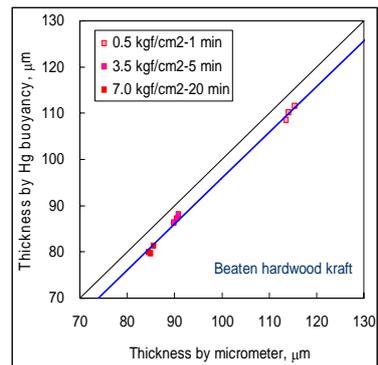
紙の構造-基本物性

- 密度 (坪量 / 厚さ) は、坪量に影響される!?

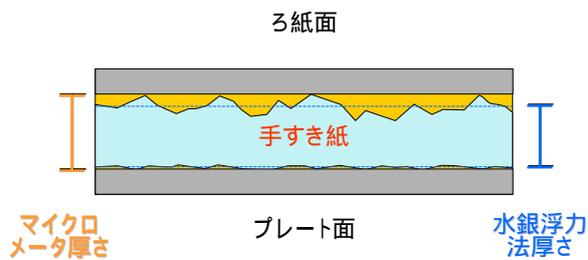


紙の構造-厚さの測り方

- 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

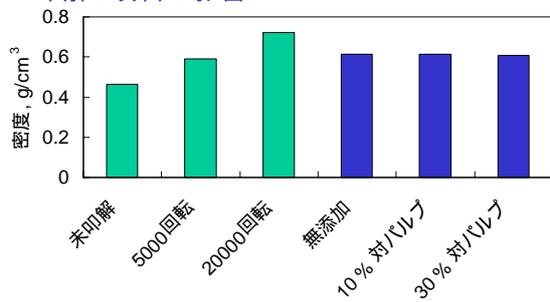


紙の構造-製紙工程の処理と密度

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

紙の構造-密度に影響する因子

■ 叩解と填料の影響

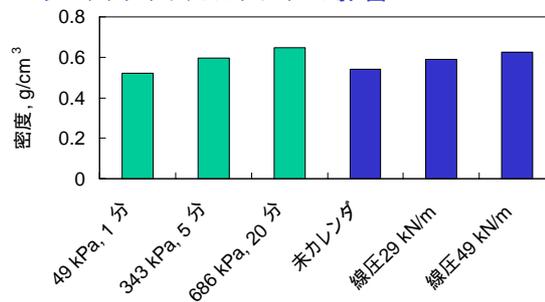


叩解数 (PFミル)

炭酸カルシウム添加量

紙の構造-密度に影響する因子

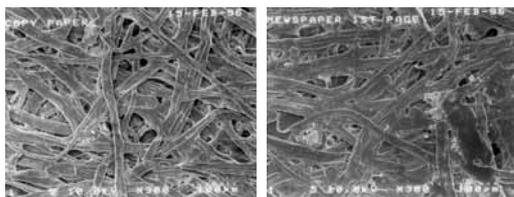
■ ウェットプレスとカレンダーの影響



ウェットプレス圧力

カレンダー線圧

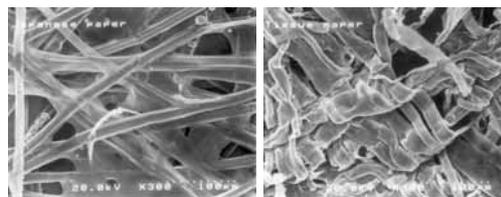
紙の構造-走査型電子顕微鏡写真



コピー用紙

新聞用紙

紙の構造-走査型電子顕微鏡写真



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

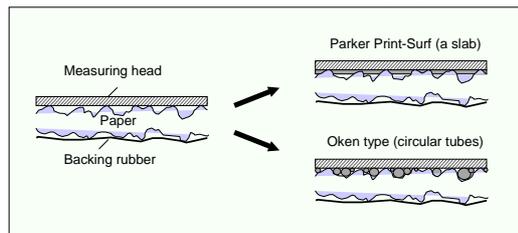
- 触針式
- 走査型プローブ顕微鏡
- 共焦点式光学顕微鏡
- 干渉式光学顕微鏡
- 多検出器走査電子顕微鏡

■ 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)



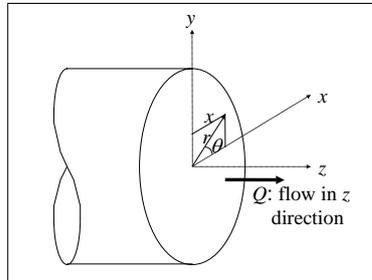
紙の構造-平滑度

■ 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

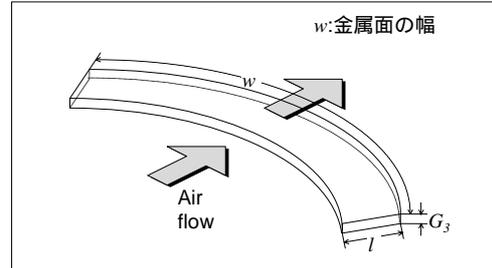


Fig. 3 Schematic diagram of a channel for air leak in the PPS model.

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)
$G_3 = \left(\frac{12 \mu l Q}{w \Delta P} \right)^{\frac{1}{3}}$	$T_B = \frac{8 \mu V l}{\pi \Delta P r^4} = \frac{8 \mu V}{\pi (P_c - P) R_0^4} L_0$
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

紙の構造-表面形状測定

- 表面形状を2次元または3次元のプロファイルとして測定する方法もある。
- 触針、光(レーザー)、電子線、プローブ(走査型プローブ顕微鏡)などを用いる。

■ 中心線平均粗さ

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |y| dy$$

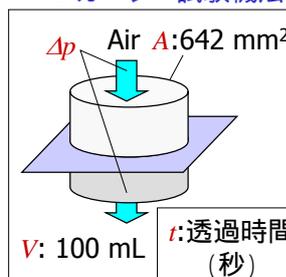
■ 自乗平均平方根粗さ

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} y^2 dy}$$

紙の構造-透気度

■ 測定方法

■ ガーレー試験機法



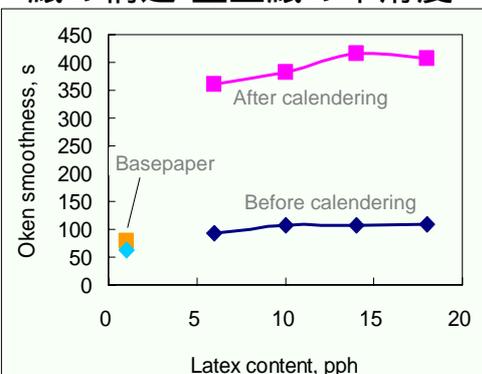
ISO透気度 P [$\mu\text{m}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$]

$$P = \frac{V}{1000 \times A \Delta p t}$$

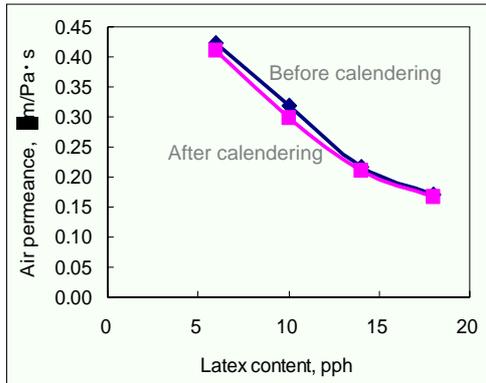
今後は一般化されたISO透気度で表現

t : 透過時間 = 透気抵抗度 (ガーレー) (秒)

紙の構造-塗工紙の平滑度



紙の構造-塗工紙の透気度

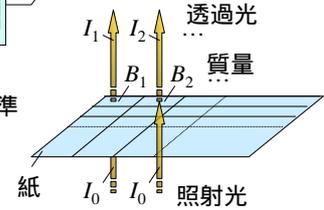


紙の構造-地合(じあい)

■地合

- (定義1)地合は、白色光を透過させたときに視覚的に感じられるむら。光学濃度の標準偏差又は変動係数

$$\log \left(\frac{I_0}{I_n} \right)$$

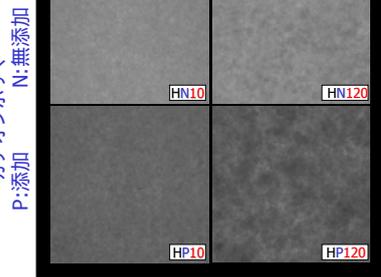


- 局所的な質量分布。局所質量 B_n の標準偏差又は変動係数

紙の構造-地合(じあい)

ろ水までの静置時間
10秒 120秒

- 針葉樹漂白クラフトパルプシートのフラットベッドスキャナの透過光像。
- カチオンポリマーの添加、ろ水までの静置時間の延長によって地合が悪くなる。
- カチオンポリマーは繊維の歩留まりを上げる。



紙の構造-地合(じあい)

- 地合の評価は標準偏差や変動係数でよいのか。

サンプル	HN10	HN120	HP10	HP120	相関係数 r
グレーレベル の平均	45.3	45.6	34.2	32.2	
" の標準偏差	2.1	2.3	1.7	3.0	0.36
光学濃度 の標準偏差	0.020	0.022	0.022	0.040	0.64
光学濃度 ² の標準偏差	0.030	0.033	0.038	0.072	0.79
(光学濃度 ² の標準偏差)/坪量, $10^{-3} \text{ m}^2/\text{g}$	47	53	52	95	0.86
主観評価値 (小さいほど地合良)	0.0	3.6	1.4	6.4	

ケンドールの相関係数は、この4種以外にも針葉樹パルプのデータを含む主観評価値と各パラメータとの間の相関を示す。

紙と水(液体)の相互作用

- 濡れ
- 接触角
- 紙の表面エネルギー
- サイズ度
- 液体の浸透
- 膨潤

紙の表面化学特性-接触角

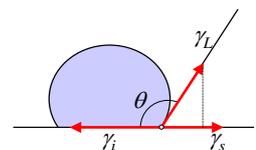
■接触角

- 液滴を水平な固体表面に置いたとき、固体表面と液体の表面が一定の角度をなすことがある。この角度を液体の内側で測ったものが接触角 θ である。
- $0^\circ < \theta < 90^\circ$ のとき“濡らす”、 $\theta > 90^\circ$ のとき“濡らさない”

■ヤングの方程式

- 接触角が保たれているとき、水平方向の成分の力が釣りあう。

$$\gamma_i - \gamma_s + \gamma_L \cos \theta = 0$$



紙の表面化学特性-接触角

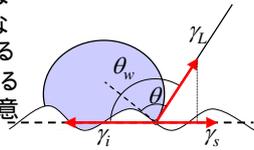
■ 粗い表面での接触角

- 粗い固体表面では、細かい凹凸を考慮した面積が見かけの面積の r 倍とすると、

$$\cos \theta_w = r \cos \theta$$

■ ウェンゼル(Wenzel)の接触角

- 粗面では $\theta < 90^\circ$ とき $\theta_w < \theta$ となるので、濡れやすい面は粗くすると濡れやすくなり、 $\theta > 90^\circ$ とき $\theta_w > \theta$ となるので、濡れにくい面は粗くすると濡れにくくなることを意味する。

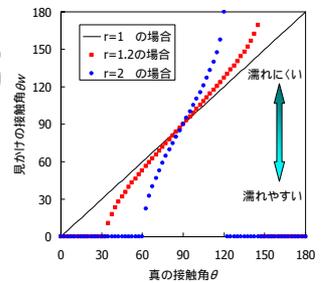


紙の表面化学特性-接触角

■ ウェンゼルの接触角

- 粗面では $\theta < 90^\circ$ とき $\theta_w < \theta$ となるので、濡れやすい面は粗くすると濡れやすくなり、 $\theta > 90^\circ$ とき $\theta_w > \theta$ となるので、濡れにくい面は粗くすると濡れにくくなることを意味する。

$$\cos \theta_w = r \cos \theta$$

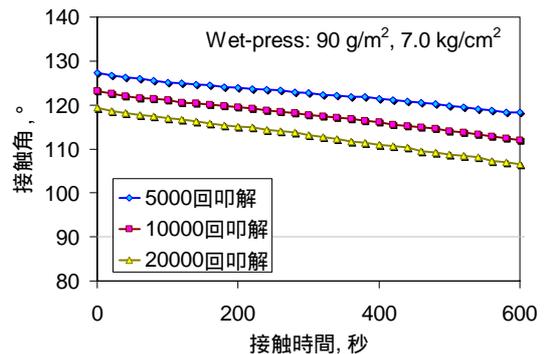


1月23日の内容

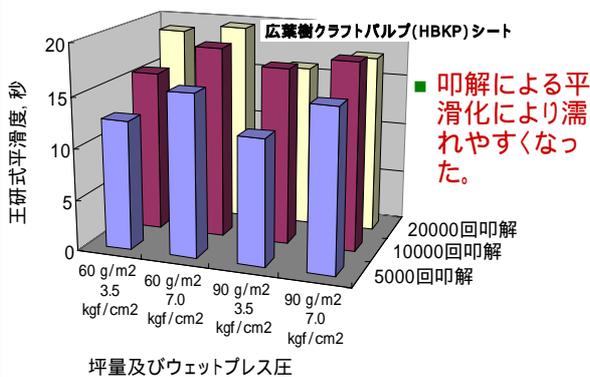
■ 紙の物性

- 吸液特性、印刷適性
- 力学特性

紙と水の接触角-叩解の影響



叩解と平滑度



紙の表面化学特性-接触角

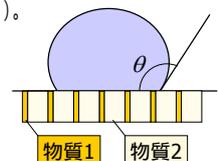
■ 複合面での接触角

- 表面エネルギーの異なる2種以上の材料からなる固体表面では面積率に比例した接触角 θ_c となる。

■ カッシー(Cassie)の接触角

- θ_1 , θ_2 は物質1, 2の滑らかな面に対する接触角で、 Q_1 , Q_2 は、実際の表面を物質1, 2が占める割合である(したがって $Q_1 + Q_2 = 1$)。

$$\cos \theta_c = Q_1 \cos \theta_1 + Q_2 \cos \theta_2$$



紙の表面化学特性-接触角

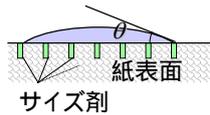
■ (問題1) 紙の接触角

- 紙に含まれるサイズ剤ははっ水性を出すために繊維全面を覆う必要はない。繊維表面の5%を覆っているとするときの接触角は何度か？
- 本来の繊維表面は接触角 0° 、サイズ剤は 120° と仮定すると、

$$\cos \theta_c = 0.95 \times \cos 0^\circ + 0.05 \times \cos 120^\circ$$

$$\cos \theta_c = 0.95 - 0.025 = 0.925$$

$$\theta_c = 22.3^\circ$$



紙の表面化学特性-接触角

■ (問題2) 紙の接触角(つづき)

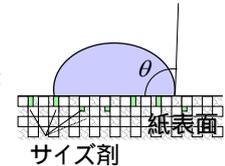
- 紙の約半分は空気であるので、表面の成分のうち50%が接触角 180° の空気であるとしたら接触角は何度か？
- サイズ剤を含む真の紙表面は接触角 22.3° 、空気は 180° とすると、

$$\cos \theta_c = 0.5 \times \cos 22.3^\circ + 0.5 \times \cos 180^\circ$$

$$\cos \theta_c = 0.5 \times 0.925 - 0.5$$

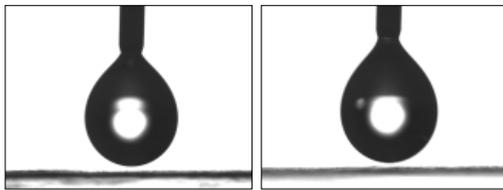
$$= 0.155$$

$$\theta_c = 92.1^\circ$$



紙の表面化学特性-接触角

■ 羊皮紙と紙の吸水速度の比較



羊皮紙

紙(中質紙)

紙の表面化学特性-表面エネルギーと濡れ、仕事

■ “濡れ”とは

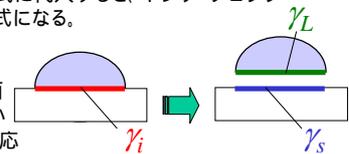
- 固体表面の一部が液体/固体界面でおきかえられる現象
- 固体/液体界面を等温可逆的に消失させて、固体表面と液体表面を新たに生成させるのに必要な仕事(単位面積あたり)は、

$$W_A = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_i \quad \dots \text{付着(接着)仕事}$$

- この式をヤングの方程式に代入すると、ヤング・デュプレ(Young-Dupre)の方程式になる。

$$\gamma_L(1 + \cos \theta) = W_A$$

- W_A が大きいと固/液界面を消失させにくい。 θ が小さいと濡れ易いことに対応



紙の表面化学特性-表面エネルギーと濡れ、仕事

■ 浸漬“濡れ”の場合は

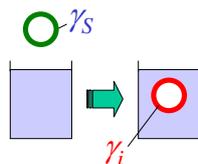
$$W_{IM} = \gamma_i - \gamma_S$$

…浸漬仕事

$$-\gamma_L \cos \theta = W_{IM}$$

…ヤングの方程式

- $\theta < 90^\circ$ のとき $W_{IM} < 0$ となり、自発的な浸漬が起こる。
- $\theta > 90^\circ$ のとき $W_{IM} > 0$ となり、自発的な浸漬は起こらない。



紙の表面化学特性-表面エネルギーと濡れ、仕事

■ 拡張“濡れ”の場合は

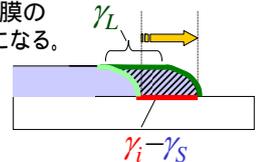
$$W_{SP} = \gamma_L + \gamma_i - \gamma_S$$

…拡張仕事

$$\gamma_L(1 - \cos \theta) = W_{SP}$$

…ヤングの方程式

- $\theta = 0^\circ$ のとき $W_{SP} = 0$ となり、液膜の重力で自発的に広がることになる。
- $\theta > 0^\circ$ のとき $W_{SP} > 0$ となり自発的には濡れ広がらない。



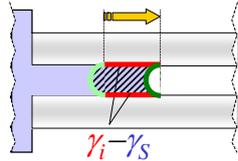
紙の表面化学特性- 表面エネルギーと濡れ、仕事

- 毛管浸透“濡れ”の場合は

$$W_{PO} = \gamma_i - \gamma_s \quad (\dots \text{浸漬仕事と同じ式})$$

$$-\gamma_L \cos \theta = W_{PO} \quad \dots \text{ヤングの方程式}$$

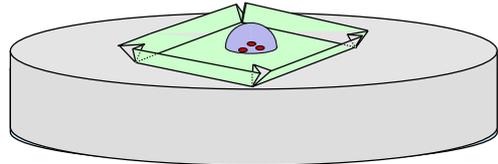
- $\theta < 90^\circ$ のとき $W_{PO} < 0$ となり、自発的な毛管浸透が起こる。
- $\theta > 90^\circ$ のとき $W_{PO} > 0$ となり、自発的な毛管浸透は起こらない。
- 浸漬濡れと同じである。



紙のサイズ度 ステキヒトサイズ度

- 紙の両面から吸水させたとき、水が中央で接触するまでの時間(秒)をステキヒトサイズ度とする。

- 5 cm四方の紙を船の形に折る
- チオシアン酸アンモニウム水溶液に浮かべ、塩化第二鉄水溶液を滴下し、計時を開始
- 赤色斑点が3つ現れるまでの時間(秒)を測定



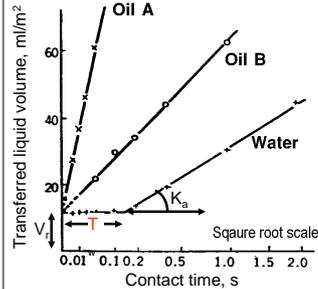
紙の表面化学特性-濡れ

- 紙の接触角

- 接触角は変化する。
- 液体の吸収が同時に起こる。

- 濡れ時間

- 右図のT
- 液体の浸透が始まるまでの時間でオイルには存在しない。
- 接触角が変化して $\theta < 90^\circ$ となるまでの時間



クラフト板紙でのプリストープロット。オイルでは濡れ時間が存在しない。

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

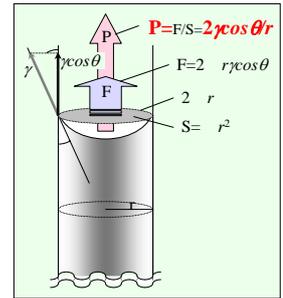
- 円管内定常流の式

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

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 : 浸透体積

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

材料の構造と濡れ特性

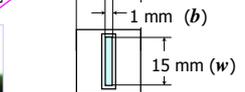
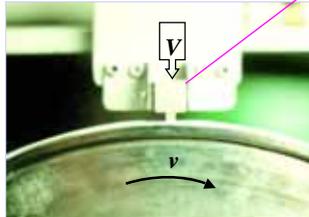
液体・時間

吸液試験装置

プリストー法

- プリストー装置

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

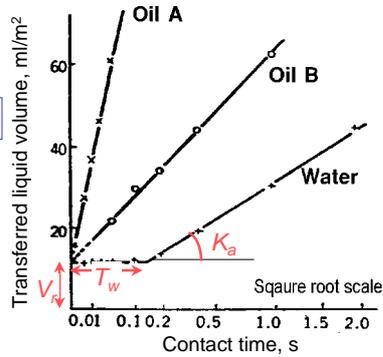
液体の吸収挙動 水とオイル

- プリストープロット
- クラフト板紙
- 水の場合

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

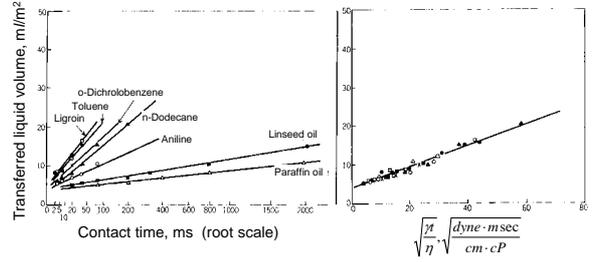
- V_r 粗さ指数
- T 接触時間
- T_w 濡れ時間
- K_a 吸収係数

- オイルでは $T_w = 0$



液体の浸透

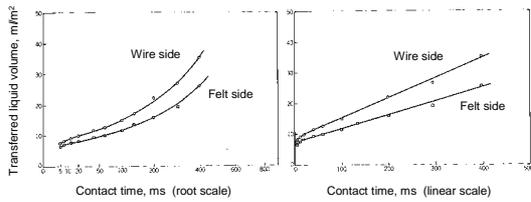
塗工紙への有機液体の吸収



- 有機液体の吸収ではLucas-Washburnの式が成り立つ。非塗工紙についても含水率によって接触角が変わる可能性もあるが、概ね成り立つ。

液体の浸透

水の吸収-弱サイズ非塗工紙



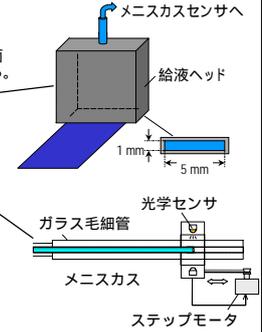
- 水の吸収ではLucas-Washburnの式が成り立たない。繊維(上質紙の場合セルロース)中への水分子の拡散で説明される。

吸液試験装置

プリスター法の改良

- 自動走査吸液計 (らせん走査プリスター装置)

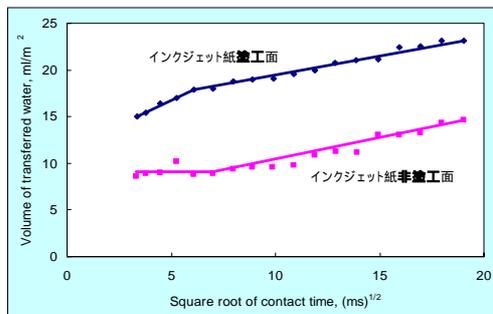
一定量の液体を入れたヘッドを、速度可変で紙面上で走査する。短時間での吸液速度が測定できる。



自動走査吸液計

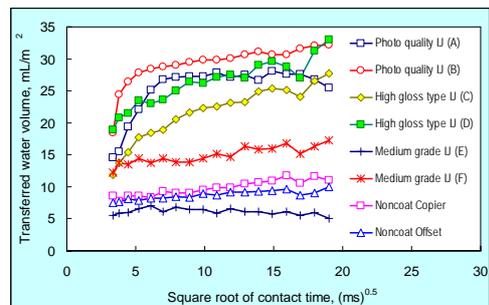
インクジェット用紙表裏面の吸水挙動

自動走査吸液計(プリスター法)

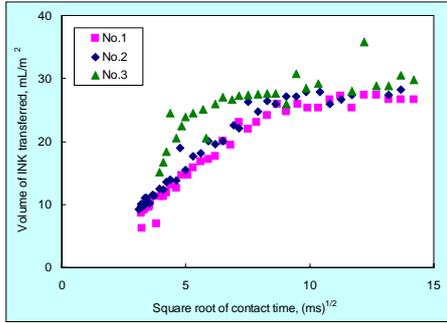


インクジェット用紙吸水挙動

各種インクジェット専用紙の吸水挙動



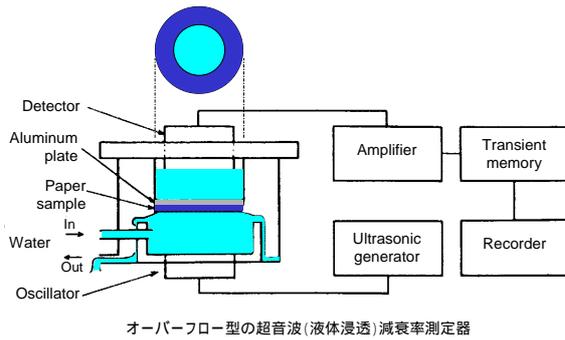
写真画質インクジェット用紙吸水挙動 自動走査吸液計(プリストー法)



1月30日の内容

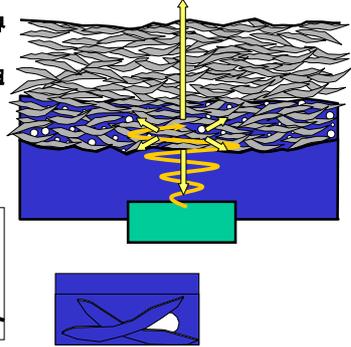
- 紙の物性
- 力学特性

超音波減衰率測定器 構造と測定法

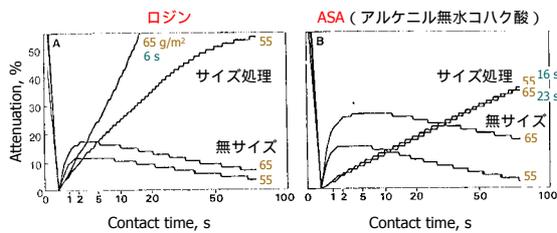


超音波減衰と吸水の関係

- 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に決まり、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。

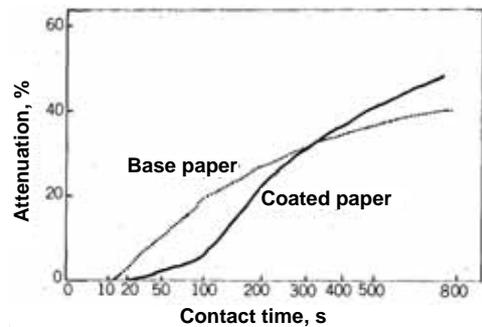


塗工原紙の超音波減衰率曲線 坪量・サイズ度の影響



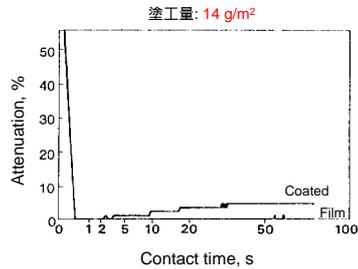
- 異なる坪量
- 異なる種類のサイズ剤を含有した手すき紙
- 異なるステキヒトサイズ度(秒)

塗工紙の吸水 ラボ塗工紙



- 塗工紙とその原紙の超音波減衰率曲線、塗工層と原紙層を水が浸透する過程で減衰速度が異なることがわかる。

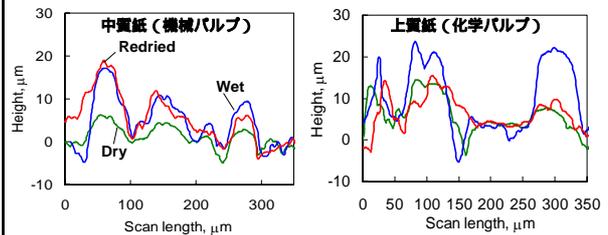
塗工紙の超音波減衰率曲線 塗工PETフィルムの場合



- 非吸収性フィルム上の塗工層(片面塗工)
- オイルでは減衰率は一定

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



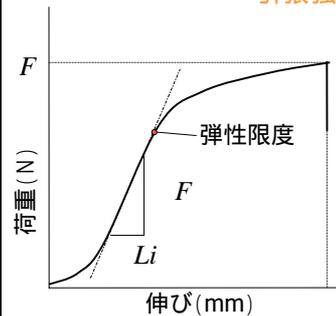
- 化学パルプ繊維は 機械パルプ繊維よりよく膨潤する。
- 機械パルプ繊維は、再乾燥後に収縮しない。

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

力学特性

引張強さ



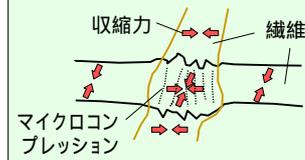
荷重-伸長曲線

- 試験法
 - 幅 15mm
 - つかみ間隔 100mm
 - 10mm/分で引っ張る
- 比引張強さ
 - 破壊荷重 F を幅 b と坪量 W で割る
- 引張破断伸び
 - 伸び L ($=\epsilon L$) をつかみ間隔 L で割る
- 引張弾性率(堅さ)
 - 最大の傾き/断面積 $= (F / Li) / (bT)$

力学特性-引張強さ



- 弾性変形領域**
- 繊維の弾性的伸び
 - ネットワーク構造の弾性的伸び



力学特性

引張(ひっぱり) 弾性率とポアソン比

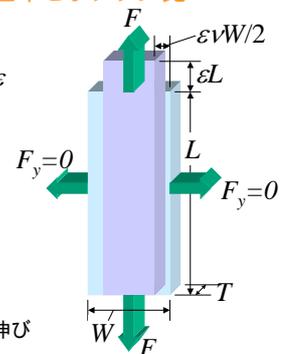
荷重-伸長曲線

■ 引張弾性率 E

$$E = d\sigma / d\epsilon = d\left(\frac{F}{WT}\right) / d\epsilon$$

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

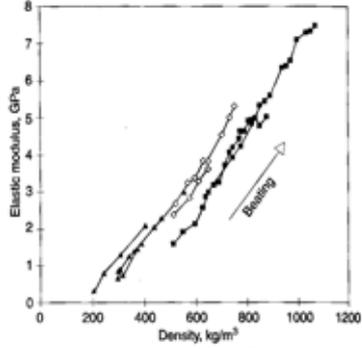
- ポアソン比 ν
- ν : ポアソン比=引張方向の伸びに対する垂直方向の収縮



弾性率 叩解の影響

- 叩解により密度及び引張弾性率が上がる

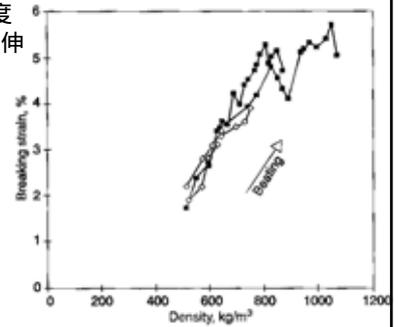
- 他の抄紙条件が同じであれば叩解の程度によらず、密度と弾性率に一定の関係がある。



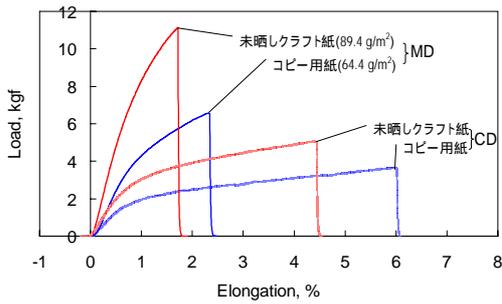
引張破断伸び 叩解の影響

- 叩解により引張破断伸びは一定値まで上がる

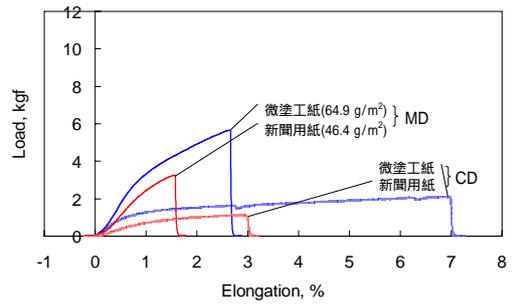
- 叩解が進むと密度とともに引張破断伸びも大きくなるが、ある密度に達すると、引張破断伸びは一定となる。
- 引張破断伸び = 固有の伸び + 乾燥収縮量



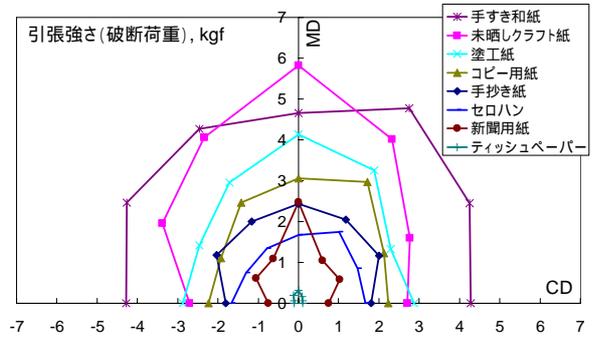
異方性 引張試験 (荷重-変形曲線)



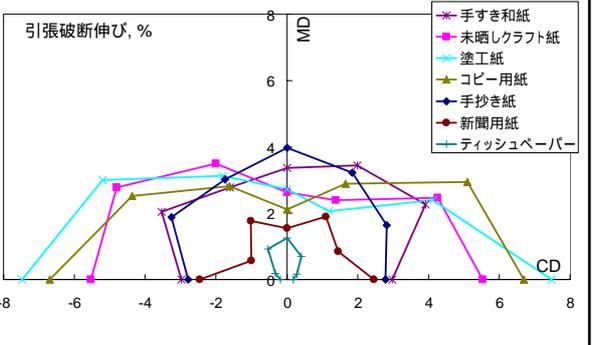
異方性 引張試験 (荷重-変形曲線)



異方性 引張強さ

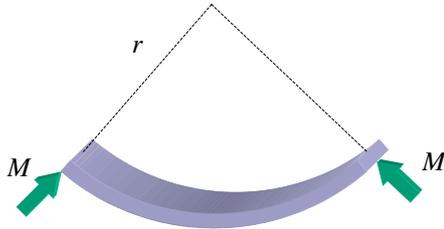


異方性 引張破断伸び



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 mm 、ヤング率 E は Pa を単位とする。



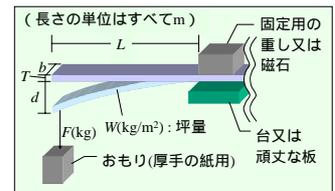
力学特性-曲げこわさ測定器

- 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。



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。

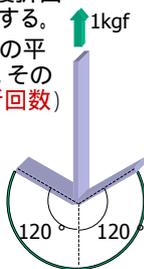


$$S = \left(\frac{WLb}{8} + \frac{F}{3} \right) \frac{L^3}{d} \times 9.81$$

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

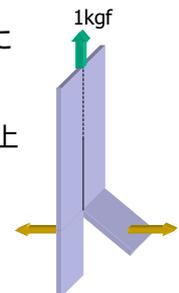
力学特性-耐折強度

- 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。



力学特性-引裂強度

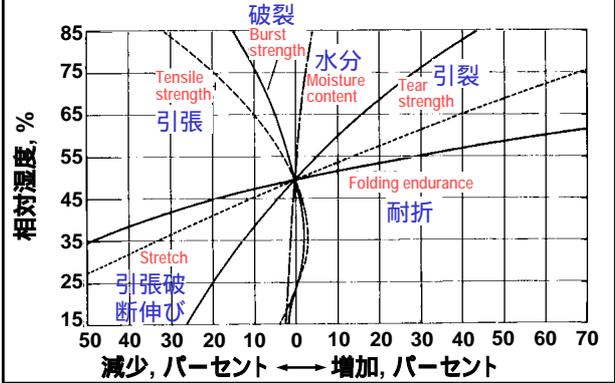
- 引裂強度
 - 切れ目を入れて、90度方向に引き裂くときの仕事を測定し、荷重に換算する。
 - 繊維長が長いと耐折強度が上がる。



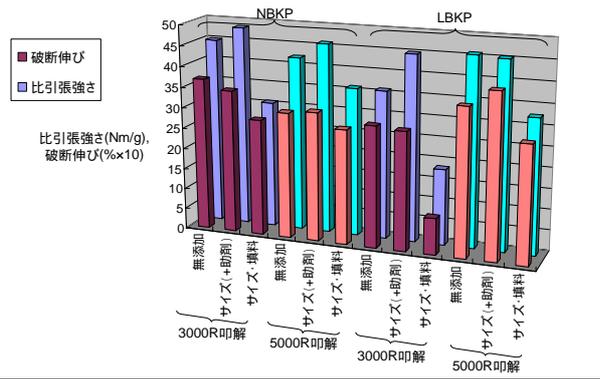
紙の強度発現に影響する因子

- **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

