

環境工学基礎実験

えのまえ としはる
担当/江前敏晴

EC23123 2年次 春ABC

5月6日(金) 13:45-18:00 [2D110 及び総合研究A棟618]

Fundamental Environmental
Engineering Laboratory

Instructed by Toshiharu Enomae

EG60503/ 2nd grade/ SpringABC

Fri, May 6th, 13:45-18:00 [2D110 and SogoA618]

環境材料科学研究室－江前敏晴

飲料水や農業/工業用水に含まれる微量の有害物質を検出する紙センサーを開発している。Cu²⁺によって色が変わる色素を使い、2 ppm(WHOが定める飲料水上限値)の希薄なCu²⁺を、他のイオンが混在しても選択的にかつ迅速に検出できる。紙が光を散乱する性質のために色の差が明瞭になる。

キノソ誘導体色素を浸み込ませた紙(左)は、銅イオン水溶液により変色(右)

紙

電極(銅)

エレクトレット(テフロン)

振動

振動

紙の振動を電気に変換する発電機を開発している。音による紙の振動がエレクトレット(静電気を常時帯電)と電極間の距離を変化させ、起電力を生じる。音声や周囲の雑音から発電する。

振動する紙上の電極をエレクトレットに近づけたり離したりして発電させる装置(左)と、交流の起電力の経時変化をフーリエ変換すると紙の固有振動数に一致する46Hzに最大ピークが出現(右)

Paper device and Ecofriendly Material Sciences – Toshiharu Enomae

Paper-based sensors to detect Cu²⁺ in drinking water, is under development. The color of an quinone derivative dye on paper changes its color by the reaction with Cu²⁺ selectively despite the coexistence of Ni²⁺, Zn²⁺ and Ag⁺. The detection limit is lower than 2 ppm, which is the maximum amount allowed according to WHO.

Filter paper with quinone derivative dye (L) changed its color by the reaction with Cu²⁺ (R).

Electrode (copper)

Paper

Electret (Teflon)

Electrode (copper)

Vibration

Device for converting paper vibration to electricity, is being developed. Paper vibration caused by sound or noise changes the distance between an electrode and electret (always with static electricity) to induce alternative current (AC) as an energy harvesting system.

Power generator that makes an electrode approach and leave an electret (left) and Fourier transform of AC voltage change with time showing a peak at 46 Hz corresponding to specific frequency of paper (right)

班構成 (Grouping)

Group 1	Group 2	Group 3
南雲 亮佑	大川 真里奈	宮崎 美歩
伊東 茉奈美	菊島 未来	宮田 彩希
植松 美和	野中 美那	山田 枝梨乃
浦井 教光	藤井 未来	三井 貴博
WEN LIJIE	Xu Yufei	Chen Zhuoran

班構成 (Grouping)

Group 1	Group 2	Group 3
南雲 亮佑	大川 真里奈	宮崎 美歩
伊東 茉奈美	菊島 未来	宮田 彩希
植松 美和	野中 美那	山田 枝梨乃
浦井 教光	藤井 未来	三井 貴博
WEN LIJIE	Xu Yufei	Chen Zhuoran

Fundamental Experiment for Environmental Engineering by T. Enomae

1

自動走査吸液計による紙の吸水速度評価と ペーパーエレクトロニクス基礎

No.	時間	項目
1	13:45-	自動走査吸液計 (ASA) の原理と使い方
2	14:20-	3班に分かれて実験 ASAとPaper Electronics
		1班 2班 3班
3	14:20-	ASA (総合A618) レポート PE
	15:00-	PE (2D110) ASA レポート
	15:40-	レポート (2D110) PE ASA
4	16:20-	レポート作成 (~17:00)

Water absorption rate of paper and paper electronics fundamentals

No.	Time	What to do
1	13:45-	Automatic scanning absorptometer (ASA) -- Principle and how to use
2	14:20-	ASA and Paper Electronics after grouping
		Group 1 Group 2 Group 3
3	14:20-	ASA (SogoA618) Report etc. PE
	15:00-	PE (2D110) ASA Report etc.
	15:40-	Report (2D110) PE ASA
4	16:20-	Writing a report (~17:00)

材料の液体の関係

濡れ

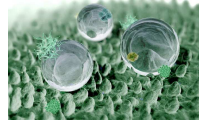
濡れは、固体の表面に液体が接触している状態のこと

接触角・表面エネルギー

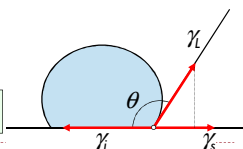
固体表面と液体の表面がなす一定の角度 θ のこと

ヤングの式

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



ハスの葉上の水滴



Relationship between materials and liquids

Wetting

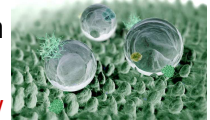
is a condition where a liquid is in contact with a solid surface

Contact angle / surface energy

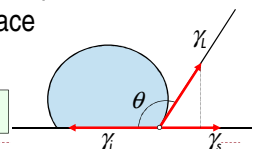
is the angle θ where a liquid/vapor interface meets a solid surface

Young's equation

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



Water drop on lotus

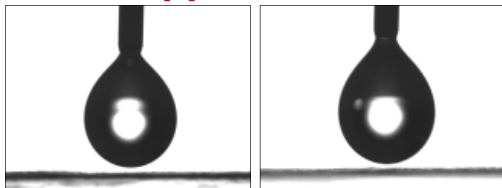


紙の表面化学特性-接触角

Surface chemistry of paper-Contact angle

■羊皮紙と紙の接触角変化の比較

■ Comparison in contact angle change between parchment and paper



羊皮紙

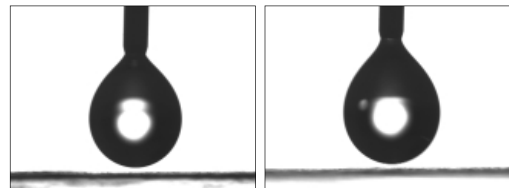
Parchment

紙 (中質紙)

Paper (medium grade)

Surface chemistry of paper-Contact angle

■ Comparison in contact angle change between parchment and paper



Parchment

Paper (medium grade)

紙と水（液体）の相互作用

- 濡れ
 - 接触角
 - 表面エネルギー
 - 液体の浸透・・・
 - 膨潤・・・
- 毛管浸透、毛細管現象
吸収による体積増加

Interaction between paper and water (liquid)

- Wetting
 - Contact angle
 - Surface energy
 - Liquid penetration ...
 - Swelling ...
- capillary force penetration
Volume increase by absorption

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

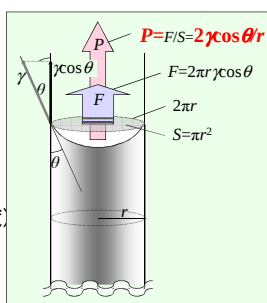
- 円管内定常流の式

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

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

(Hagen-Poiseuilleの式)

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



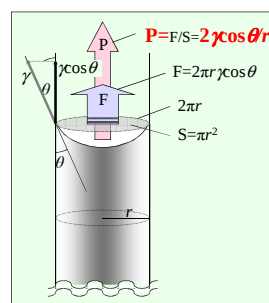
Liquid absorption theory - Capillary model

- Force developing around a meniscus of a liquid in a capillary (pipe)

- Steady flow in a pipe

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

- l : Capillary length
 - r : Capillary radius
 - η : Liquid viscosity
 - Q : Volumetric flow rate
- (Hagen-Poiseuille equation)



液体の浸透理論-毛管浸透のモデル

Q. 図にある関係式をHagen-Poiseuilleの式に代入し、Lucas-Washburn 式を導け。

- ハーゲン・ポアズイユ流れ

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

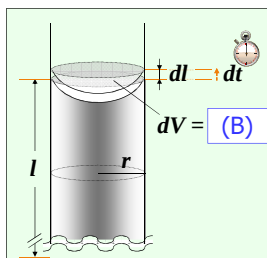
$$P = \frac{2 \gamma \cos \theta}{r}$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = (A)$$

代入

- ルーカス・ウォッシュバーン 式

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



Liquid absorption theory - Capillary model

Q. Substitute the relation represented in the figure into the H-P equation and develop the Lucas-Washburn equation.

- Hagen-Poiseuille flow

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

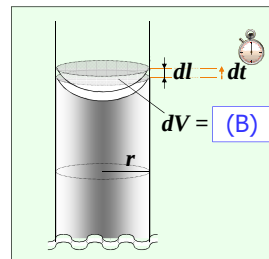
$$P = \frac{2 \gamma \cos \theta}{r}$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = (A)$$

Substitute

- Lucas-Washburn equation

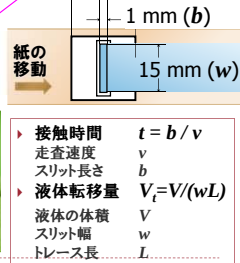
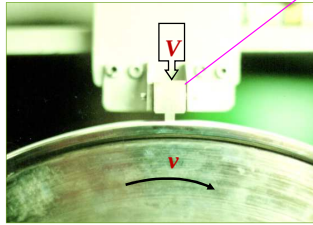
$$l = \sqrt{\frac{r \gamma \cos \theta \cdot t}{2 \eta}}$$



吸液試験装置 - プリストー法

■ プリストー装置

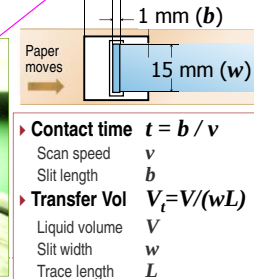
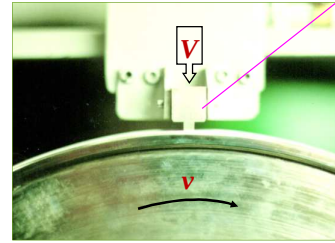
容積 V の液体を入れたヘッドを、速度 v (可変) で紙面上を走査する。



Water absorption rate - How to measure

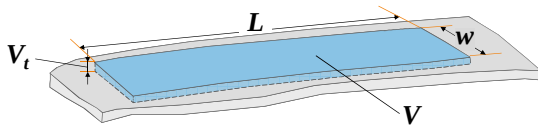
■ Bristow's apparatus

A liquid supply head filled with a liquid of volume V scans paper at various speeds v .



吸水速度 - 測定方法

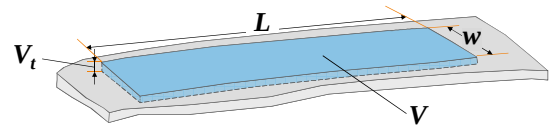
■ 単位面積当たりの水の転移体積 V_t を計算せよ。



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

Water absorption rate - How to measure

■ Calculate transferred volume per unit area V_t



▶ Contact time $t = b / v$	▶ Transfer Vol $V_t = V / (wL)$
Scan speed v	Liquid volume V
Slit length b	Slit width w
	Trace length L

液体の吸収挙動 - 水とオイル

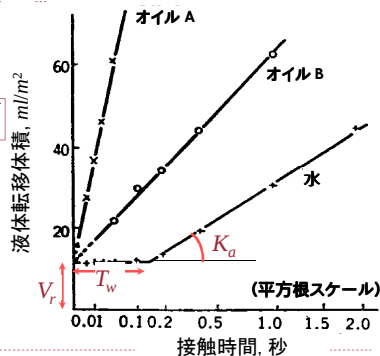
- プリストープロット
- クラフト板紙
- 水の場合

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

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 $T_w = 0$

$$V_t = \text{(C)}$$



Water absorption rate - Water and oil

■ For water,

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

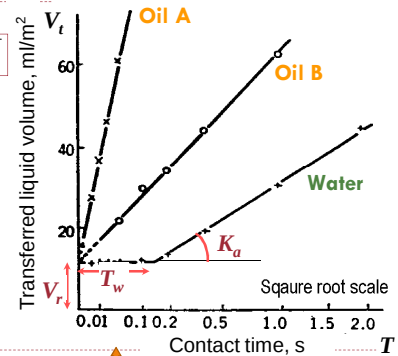
V_r	Roughness index
T	Contact time
T_w	Wetting delay
K_a	Absorption coeff.

■ For oil, $T_w = 0$.

Then,

$$V_t = \text{(C)}$$

▶ Bristow's plot of kraft paper



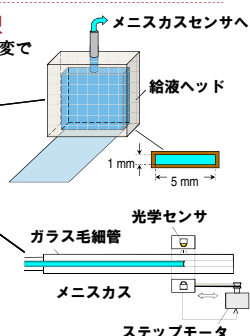
吸液試験装置-プリストー法の改良

自動走査吸液計(ASA)らせん走査型

ガラス製毛细管に連結したヘッドが、速度可変で紙面上で走査する。



自動走査吸液計



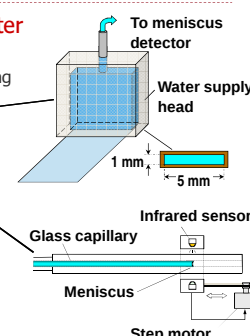
Water absorption rate - How to measure

Automatic Scanning Absorptometer (Spiral-scan Bristow's apparatus)

Scanning speed changes stepwise during measurement



ASA



吸液試験装置-試料

紙の種類

① コピー用紙

リサイクル100%、三菱製紙製

② コットンペーパー

木材ではなく綿の繊維100%、Southworth社製

③ プリンター共用紙

インクジェット、レーザープリンター用、Plus社製

Water absorption rate - Samples

Type of paper samples

① Copy paper

100% recycled (Mitsubishi paper mills, Japan)

② Cotton paper

Not from wood fibers but 100% cotton fibers (Southworth, USA)

③ Paper for printers

Specifically designed for printers such as ink-jet, laser and so on (Plus, Japan)

吸液試験装置-プロットの方法

自動走査吸液計のデータ

paper1.txt

ASA

Date: Fri June 30 14:38:58 2012

...

Contact Time (ms), Absorbance Per Area (ml / m²)

1004.175075, 17.456291

904.294391, 15.533211

808.234871, 14.07448

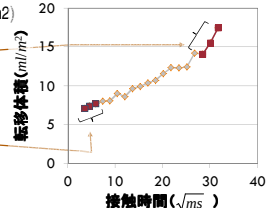
...

34.956779, 7.687096

20.589775, 7.410033

12.840465, 7.1144

3.583359



Water absorption rate - How to plot

ASA data

paper1.txt

ASA

Date: Fri June 30 14:38:58 2012

...

Contact Time (ms), Absorbance Per Area (ml / m²)

1004.175075, 17.456291

904.294391, 15.533211

808.234871, 14.07448

...

34.956779, 7.687096

20.589775, 7.410033

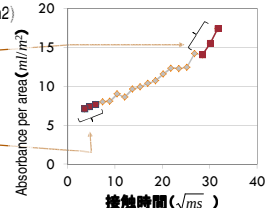
12.840465, 7.1144

3.583359

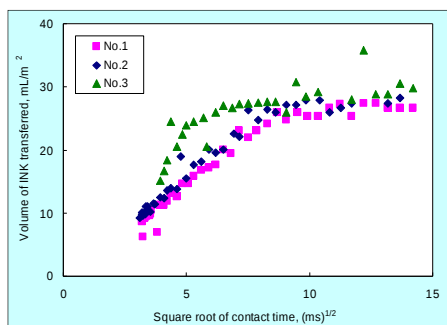
① Load to Excel as a CSV file

② Contact time to a square root

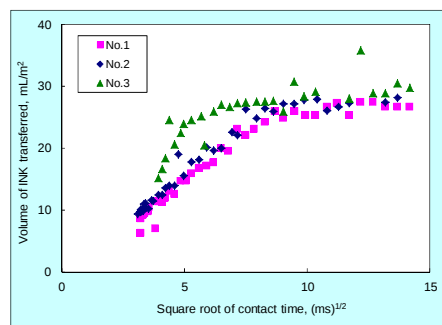
③ Plot Absorbance per area (ml/m²) vs contact time ($\sqrt{ms}$)



写真画質インクジェット紙吸水挙動



Water absorption rate of ink jet paper -ASA

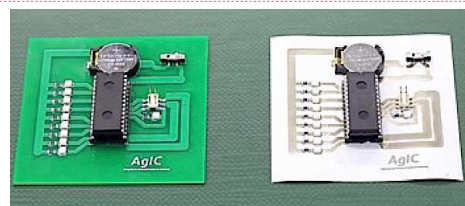


ペーパーエレクトロニクス基礎



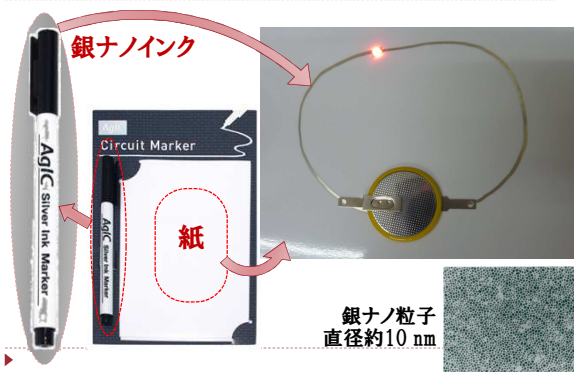
- ▶ 電子回路の基板は、ガラス、セラミックス、プラスチックから紙へ

Basics of paper electronics

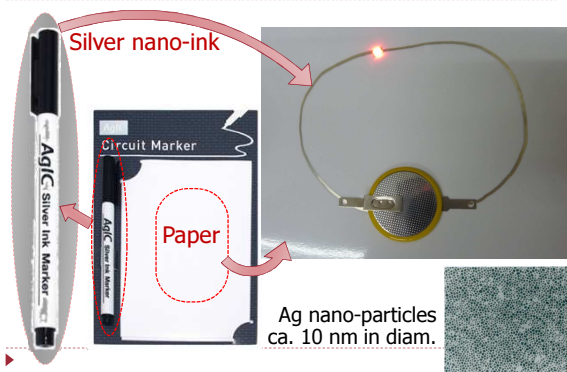


- ▶ Substrates of electronics are shifting from glass, ceramics, plastic to PAPER.

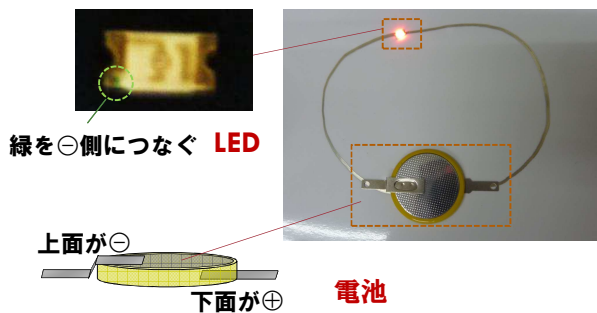
ペーパーエレクトロニクス基礎



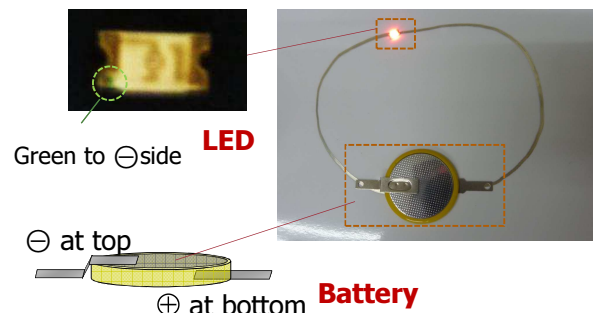
Basics of paper electronics



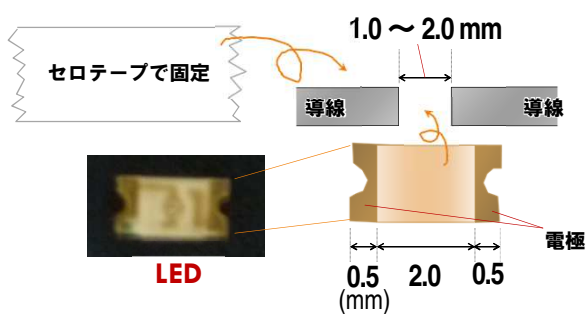
ペーパーエレクトロニクスの基礎



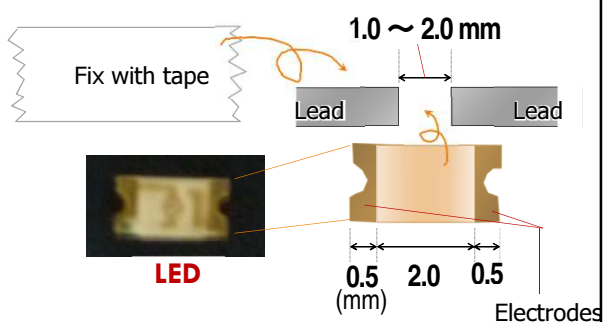
Basics of paper electronics



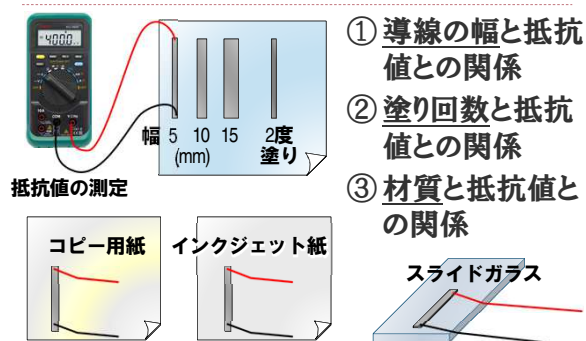
ペーパーエレクトロニクスの基礎



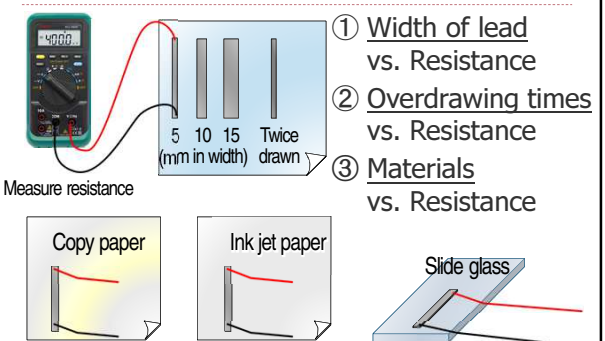
Basics of paper electronics



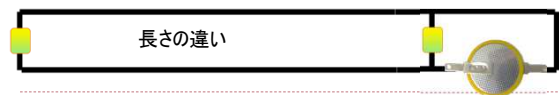
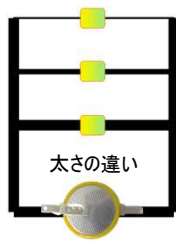
測定する項目



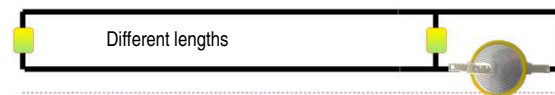
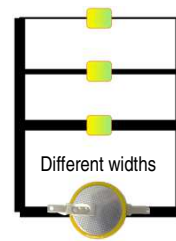
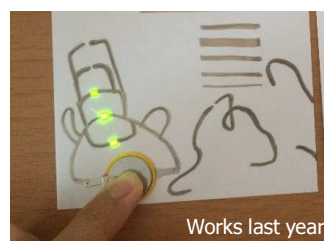
What you measure



簡単な回路作製



Simple circuit making



液体の浸透理論-毛管浸透のモデル

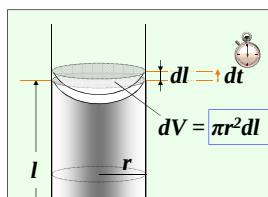
■ H-P 式

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

$$P = \frac{2 \gamma \cos \theta}{r}$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = \pi r^2 \frac{dl}{dt}$$

$$dV = \pi r^2 dl$$



■ Lucas-Washburn 式

PをH-P式に代入すると、 $Q = \frac{\pi \times \frac{2 \gamma \cos \theta}{r} \times r^4}{8 \eta l} = \frac{\pi^3 \gamma \cos \theta}{4 \eta l}$

$Q = \pi r^2 \frac{dl}{dt}$ なので、 $l dl = \frac{r \gamma \cos \theta}{4 \eta} dt$ 、辺々積分して、 $l = \sqrt{\frac{r \gamma \cos \theta}{2 \eta} t}$

Liquid absorption theory - Capillary model

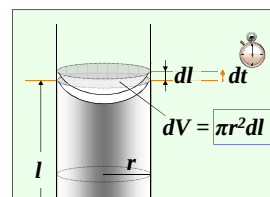
■ H-P equation

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

$$P = \frac{2 \gamma \cos \theta}{r}$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = \pi r^2 \frac{dl}{dt}$$

$$dV = \pi r^2 dl$$



■ Lucas-Washburn equation

Substitute P into H - P equation. $Q = \frac{\pi \times \frac{2 \gamma \cos \theta}{r} \times r^4}{8 \eta l} = \frac{\pi^3 \gamma \cos \theta}{4 \eta l}$

Apply $Q = \pi r^2 \frac{dl}{dt}$. $l dl = \frac{r \gamma \cos \theta}{4 \eta} dt$. Integration gives, $l = \sqrt{\frac{r \gamma \cos \theta}{2 \eta} t}$

液体の吸収挙動-水とオイル

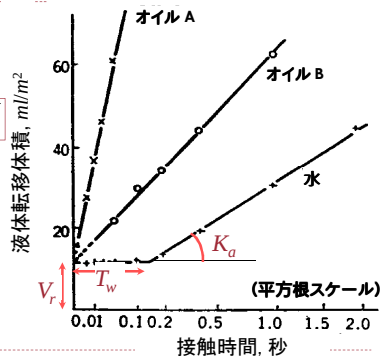
- プリストープロット
- クラフト板紙
- 水の場合

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

- 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 $T_w = 0$

$$V_t = V_r + K_a \sqrt{T}$$



Water absorption rate - Water and oil

- Bristow plots
- Kraft paper board
- Liquid: Water

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

- V_r Roughness index
- T Contact time
- T_w Wetting delay
- K_a Absorption coefficient

■ For oils, $T_w = 0$

$$V_t = V_r + K_a \sqrt{T}$$

