

Measurement of Water Transfer Characteristics of Water Absorbent Hygiene Products by Dynamic Image Processing System

YANG Xiaoqi*, YANG Minzhuang*, MATSUDAIRA Mitsuo*
KONDOU Kouji** and HANAO Hiroyuki**

* Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan

** Daiou Paper Converting co., 4765-11, Samukawa, Iyomisima, 799-0431 Japan

Received 5 November 2002; accepted for publication 23 May 2003

Abstract

Water transfer behavior in disposable diapers was investigated by dynamic image processing system and following conclusions were obtained. Water transfer behavior is explained by three characteristic curves such as absorbed water, diffused water, and remained water on the top sheet. New parameters showing diffusion rate in horizontal and perpendicular directions are defined from the characteristic curves of diffused water. Wetting rate and water remaining rate of the top sheet are also defined from the characteristic curves of remained water. These parameters agree well with free water and flow water behavior from diapers and total quality of disposable diapers is evaluated objectively by these parameters.

Key Words: Dynamic image processing system, Water absorbent Hygiene products, Diffusion of water, Characteristic value, Objective evaluation

動画像処理システムによる吸水性衛生材料の液体移動特性の計測

楊曉旗*, 楊敏壯*, 松平光男*, 近藤耕司**, 花生裕之**

1. 緒言

近年、吸水性衛生材料の消費量は年々増大しており、乳幼児用、介護用紙おむつおよび生理用ナプキンなど、広い範囲に用いられる。これからの消費量が更に拡大すると考えられる。従って、吸水性衛生材料の快適性に関する研究は今後ますます重要となるであろう。吸水性衛生材料着用快適性やその皮膚安全性は液体の拡散、吸収機構と密接的な関連がある^{1,2)}。

今まで吸水性衛生材料の液体吸収性能についての研究

では、主に以下の方法がある。1) 飽和吸収量, 2) 吸収速度, 3) 加圧下吸収量, 4) 液戻り量, 5) 斜面吸収量などである³⁾。これらの方法では、吸水性衛生材料の液体吸収性能の差異をある程度評価できるが、吸収の過程についての評価はほとんど行われていないのが現実である。吸水性衛生材料の液体吸収は複雑な動的過程で、吸収体の液吸収能力と関係があるだけでなく、表面材の諸性能にも密接的な関係がある。このため、静的な飽和吸収量を測定するだけでは、吸水性衛生材料の吸収機構を総合的には把握できない。

Table 1 Outlines of Representative Disposable Diapers

Sample	A	B	C	D	E
Top sheet	Nonwoven (Cotton-Air-Through)	Nonwoven (Air-Through)	Nonwoven (Point-Bond)	Nonwoven (Cotton-Air-Through)	Nonwoven (Spun Bond)
Second sheet	Nonwoven (Air-Through)	Nonwoven (Air-Through)	Nonwoven (Air-Through)	Nonwoven (Air-Through)	— —
Polymer	Fit-Cut (10.8g)	Fit-Cut (12.4g)	Fit-Cut (9.5g)	Fit-Cut (11.0g)	Straights (8.4g)
Water proof sheet	PE film	PE film	PE film	PE film	PE film

本研究では、紙おむつを研究材料として動画画像処理システム測定装置を用いて、吸水性衛生材料における液体の拡散、吸収状態を検討する。関連の液戻りと液モレの問題も研究される。液体移動の特徴曲線で動的な液体の拡散、吸収の過程を表現し、液体移動の特徴曲線から得た特性値により、吸水性衛生材料の液体吸収特性を総合的に評価することを試みた。

2. 実験方法

2.1 試料

実験に用いたサンプルは、表1に示すように、市販されている代表的な5銘柄の紙おむつ、股間中央部の12×12 cm²の部分である。周辺切り口はセロハンテープで液体を漏れないように固定する。

2.2 実験装置

外部の光を遮断した室で、図1に示すように、試料設置台の上方270mmにCCDカメラを取り付け、試料から50mmの上部に水流を自然に流し、流速は約5 ml/secである。動画画像処理システムにより、1コマ/secの間隔で連続撮影し、最大10分間—600枚の連続画像が撮られる。CCDカメラから取り込まれた画像を画像入力ボードにより、パソコンに取り込まれる。

2.3 実験方法

本研究に用いた実験用液体は棒茶の抽出液とした。注水方法は人間の排尿を模擬するために、注水量は50 ml/回、その後10—15分放置した後、以上の過程を10回繰り返す。

毎回撮った画像の枚数は液体拡散の速度によって異なる。各回で撮られた画像の枚数は1—3回目：120枚/

回、4回目：150枚/回、5回目：180枚/回、6回目：240枚/回、7回目：300枚/回、8回目：360枚/回、9、10回目：400枚/回である。

実験条件は室温(25±2℃)、55±10%RHで、液体温度も室温である。

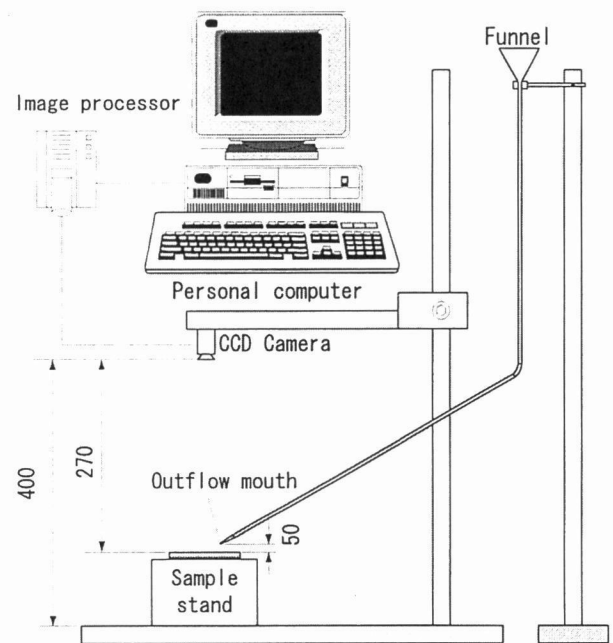


Fig. 1 Experimental equipment

3. 結果および考察

3.1 紙おむつの液体移動特徴曲線

CCDカメラから取り込まれた連続動画に対して、適当なしきい値を設定し、画像を二値化処理して、我々の開発した計算プログラムにより演算処理をすると、図2のように紙おむつ(サンプルA)における液体移動についての特徴曲線が3種類得られる。

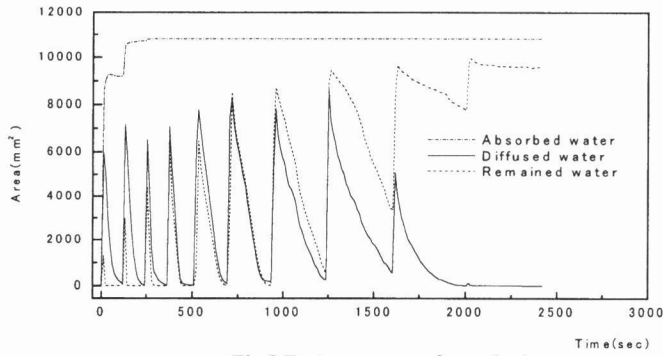


Fig.2 Feature curves of sample A

曲線 1、表面残留水曲線：紙おむつに液体を注いでから、奥まで浸透しない間に、紙おむつの表面に留まる液体の面積が時間につれて変化する曲線である。

曲線 2、拡散水曲線：紙おむつへ注水すると、その画像の輝度値の分布は液体の移動につれて変化するが、時間を経て最終的には平衡状態に達することができ、このときに輝度値のヒストグラムは安定状態になる。拡散水曲線は前回の平衡状態の輝度値と次回の平衡状態の輝度値の差を線形変化するものと仮定し、計算して得るものである。この曲線は紙おむつにおける液体の拡散の状況を直接的に表す。

曲線 3、吸収水曲線：サンプルへの未注水時の輝度値 255 よりやや小さい値の 252 をしきい基準として二値

化を行なって得る曲線である。この曲線はサンプルの中に吸収された液体によって占拠された面積が時間につれて変化するを表す。

ここでは、以下の仮説が成り立つものと仮定する：

1. 紙おむつは組織構造にむらがない連続体である；
2. 液体吸収によって紙おむつの厚みの変化は無視することができる。

計算するとき 1 画素あたりの面積は 0.03528mm^2 で、最大有効面積は 10798.54mm^2 である。

第 2 回目の注水に対する原画像と二値化した表面残留水、拡散水、吸収水の画像を図 3 に示す。サンプル B, C, D, E の特徴曲線はそれぞれ図 4～図 7 に示す。

3.2 紙おむつの液体拡散の機構

普通、紙おむつはトップシート、吸収体と防水シートからなる。液体を紙おむつに注いでいくと、液体はまずトップシートを潤して、シート表面に沿って水平方向へ拡散しながらトップシートを通して吸収体の奥へと拡散する。吸収体は高吸水性のポリマーとパルプからなる。高吸水性ポリマーは自重の何百倍も液体を吸収し、保持することができるため、貯水池のように水を蓄える役目を果たす⁴⁾。一方、液体を吸収し膨張してきたポリマー粒子は緊密的に積み重なり、粒子間の隙間が大幅に減少され

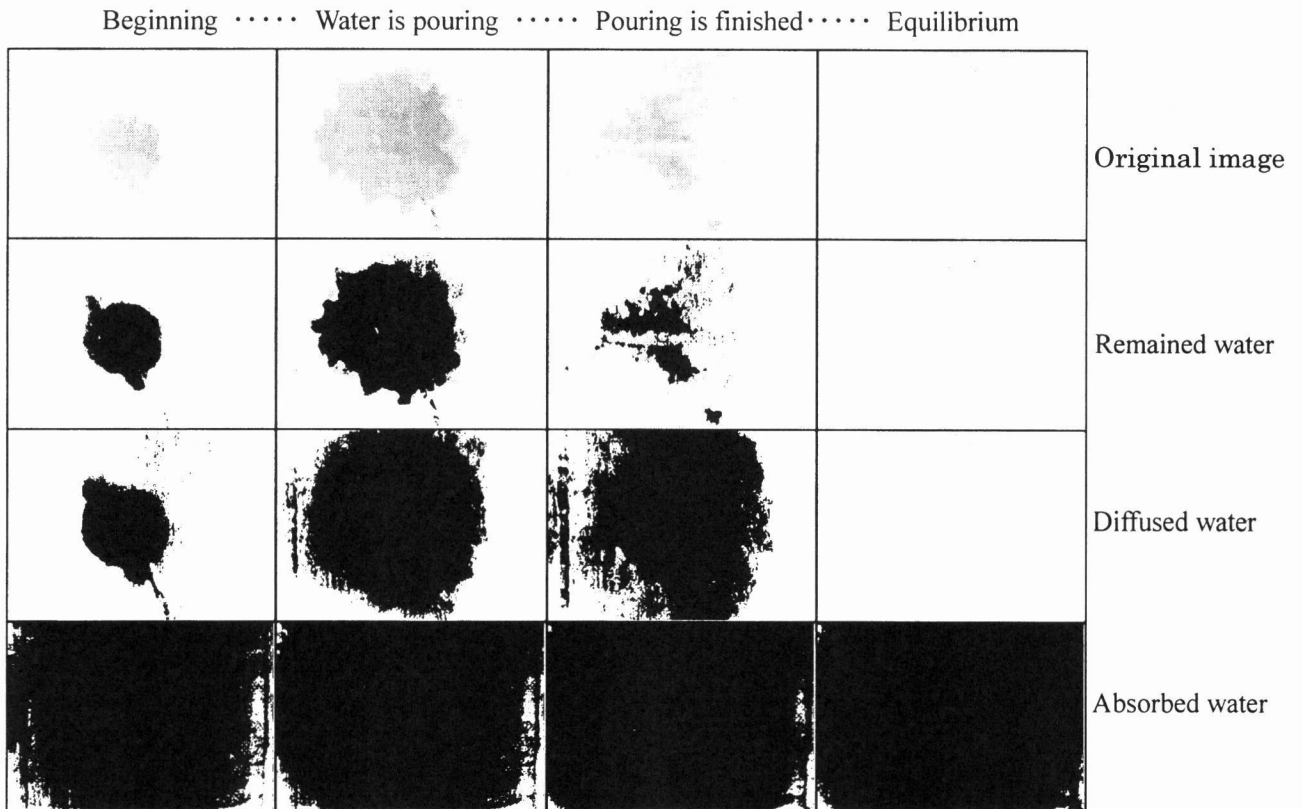


Fig.3 Binary image in the experimental process

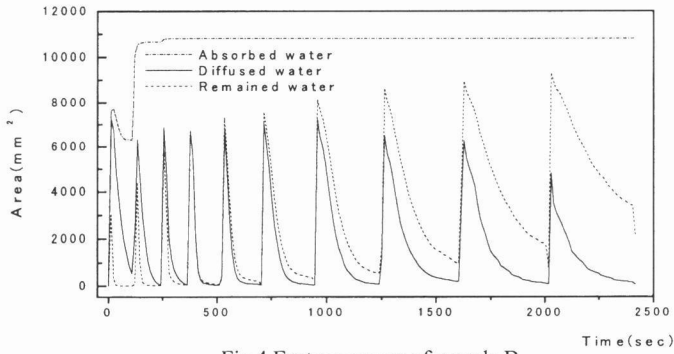


Fig.4 Feature curves of sample B

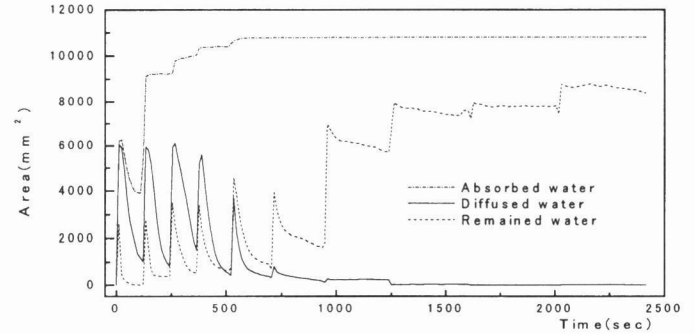


Fig.5 Feature curves of sample C

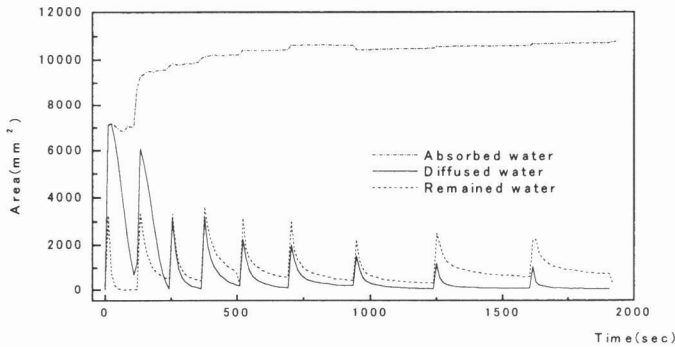


Fig.6 Feature curves of sample D

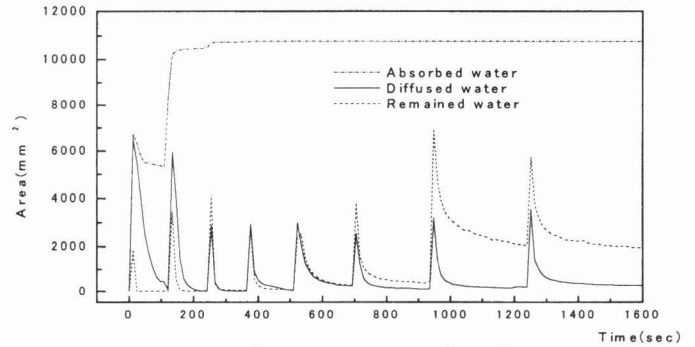


Fig.7 Feature curves of sample E

ることにより、液体が更に奥へ浸透する妨害になる。このとき液体はパルプの隙間を通して奥へ浸透していく。このようにパルプは毛細管現象によってある程度の液体吸収能力を持っているとはいうものの、その主な役目はポリマーへ液体を輸送し、拡散することである。紙おむつにおける液体の保有状態は二種類ある。ポリマーに吸収された液体は広義的に言えば化学結合水で、押しつぶしても出てこないが、これに対してパルプに入った液体は物理的結合水で、圧力をかけると外へ簡単に排出される。紙おむつの液戻り量はパルプに入った液体量の多少と密接な関係を持つ。換言すれば、紙おむつの液体吸収過程は貯水システムのように、トップシートはドア、ポリマーは貯水池、パルプは液体の輸送パイプのように説明できる。

紙おむつへ注水すると液体はまず輸送パイプを通して貯水池へ詰め込み、次第にあらゆる貯水池は満たされ、注水し続けると、液体は液体の輸送パイプにまで留まる。それ以上注水したら、液体は吸収しつづけることができないため、流失される。これは紙おむつの液体吸収のモデルであるが、実際の液体吸収の過程は上述の単純な三段階ではなく、かなり複雑である。これはポリマーの量とポリマーの配布状態、パルプにおける繊維の細さと繊維間の隙間などもろもろの因子と密接的な関連をもっており、トップシートにも関係がある。

液体移動の特徴曲線を通じて紙おむつの液体移動の機構と特性を説明できる。例えば図2のA試料の場合では、

初期の注水段階（1回目～3回目）には表面残留水の面積より拡散水的面積の方がずっと大きく、液体は速やかに移動し拡散することを意味する。それに伴う吸収水も素早く最大面積に達する。6回目には表面残留水と拡散水の曲線はほぼ同一になり、それ以後になると拡散水の面積は徐々に小さくなり、紙おむつの表面液体は吸収しにくくなり、一部分の液体は表面残留の状態となる。

3.3 特徴曲線の臨界区域

前述のように液体拡散の特徴曲線で紙おむつの液体移動の機構と特性を説明できる。特に6回目の注水をする時、表面残留水と拡散水の曲線はほぼ同一になり、これを特徴曲線の臨界区域と定義する。この臨界区域の意味を説明するために、以下の実験を行なった。毎回注水したサンプル(10分間放置した後)を洗濯機で5分間脱水し、重さを量る。脱水機で排出された液体を自由水とする。自由水とは前に述べた物理的結合水であり、下の式で自由水分率が算出できる：

$$\text{自由水分率 (\%)} = \frac{\text{脱水前の重量} - \text{脱水後の重量}}{\text{脱水前の重量} - \text{サンプル重量}} \times 100 \quad (1)$$

これにより自由水分率曲線が図8のように得られる。これを液体拡散の特徴曲線と比べると、臨界区域とは紙おむつの中に大量の自由水が生じる転換点であることがわかる。つまり臨界区域になる前に紙おむつに入れた液

体はほとんどポリマーに吸収されて、自由水の量は非常に少ないが、臨界区域を越すとポリマーの液体吸収能力は飽和状態に近づき、更に注水し続けた液体は基材の隙間に入るしかなく、自由水になる。これは前に述べた液体吸収の三段階機構とぴったり一致する。実用面から言えば、臨界区域を越すと紙おむつの液戻りの出る可能性が高い。従って、この臨界区域を紙おむつの飽和点と考えられる。この実験では、圧力の影響は検討されていなかったが、もし体圧を考えれば、飽和点はこれより早く出ると思う。

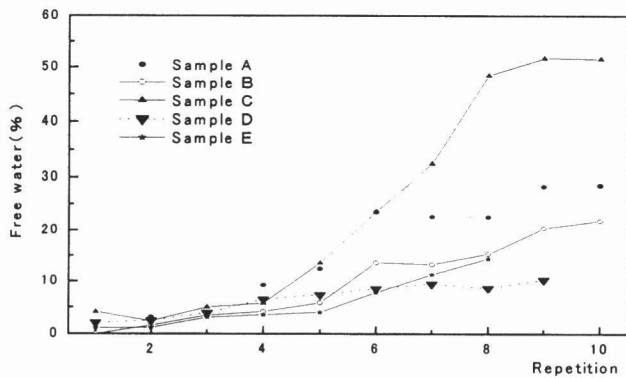


Fig.8 Curves of free water

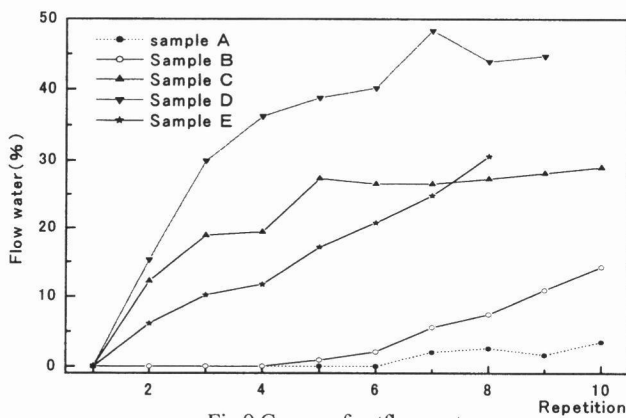


Fig.9 Curves of outflow water

3.4 液モレと関連する流失水

流失水とは紙おむつに注いだ水のうち吸収されずにトップシートの表面に沿って外へ流れる水のことである。流失水は紙おむつモレが生じる根源である。紙おむつの流失水の多少は流失水量/注水量のパーセンテージで定義できる。それを流失水率と呼ぶ。図9は各サンプルの流失水率曲線である。この図を見ると各サンプルの流失水の様子はかなり異なる。液体吸収の特徴曲線と比較すると、サンプルBとAは臨界区域を越した後で流失水が出て、しかもサンプルAの流失水率は最後まで低い。それに対してサンプルC、D、Eは液体吸収がまだまだ飽

和状態に達していないのに、流失水が大量に生じている。特にサンプルDは二回目から大量の流失水が起こる。液体がトップシートを通過して奥へ浸透しにくいからだと思う。紙おむつの液体吸収の模型から考えると、流失水を起こす原因は水ドア、貯水池と液体輸送パイプの三つの視点から考えられるしかない。その一として、ポリマーの吸収速度、ポリマーの割合及びその配置などは流失水に深い影響を与える；その二として、流失水はトップシートと液体間の界面張力に関係があり、サンプルDはこの例である。その三として、紙おむつの液体吸収状態と関連を持ち、臨界区域に越すと多かれ少なかれ流失水が出て、サンプルAとBはこの例である。

実は液体移動の特徴曲線から流失水の状態も見える。サンプルDを例として見るとDの表面残留水面積は終始大きくなく、各回のピーク値は面積の最大値の半分に至らないほど小さい。液体はトップシートの水平方向へひろがりやすいことを表し、それにその拡散水の面積も小さく、吸収水の面積はなかなか最大値に達していないため、このことにより、サンプルDは流失水が多いと判断できる。サンプルCとEの状況も大体同傾向である。逆にもし液体とトップシートの間には小さい界面張力があれば、注水の回数の増加につれて表面残留水の峰值と拡散水の面積の峰值がだんだん大きくなるべきで、サンプルAとBの状況はこのようになっている。

3.5 紙おむつの特性値

紙おむつの構造の差異が液体移動特徴曲線からわかる。液体移動特徴曲線から幾つかの紙おむつの特性値が算出できる。

3.5.1 液体拡散率

拡散水曲線は一つの平衡状態から次の平衡状態まで液体移動する様子を表すものである。そのピーク値は液体の水平方向への移動を表す。ピーク値が大きいほど液体の水平方向への移動性能がよいことを意味している。そして曲線の減少する傾きは液体の垂直方向への移動を表す。その傾きが大きいほど液体の垂直方向への移動が速いことを意味している。以下のように液体拡散率を定義する。

1. 水平方向拡散率 F_w :

$$F_w = \frac{\sum A_i / N}{A} \quad (2)$$

ここで、 A_i は毎回のピーク値、 $i=1,2,\dots,N$,

N は注水の回数、

A は定数、本実験では 10789.54 となる。

$0 \leq F_w \leq 1$, その値が大きいほど、液体は水平方向への拡散が早いことを表す。

2. 垂直方向拡散率 F_h :

$$F_h = \log(\sum k_i / N) \quad (3)$$

ここで、 k_i は曲線が減少する傾き、 $i=1.2. \dots N$,
 N は注水の回数、

F_w が大きいほど、液体は垂直方向への拡散が早いことを表す。

3.5.2 トップシートの特性値

表面残留水曲線はトップシートの表面に留まる液体の状況を表すものである。表面残留水曲線から以下の特性値を定義する。

1. 最大面積率 S_m とその平均値 $\overline{S_m}$:

$$S_m = \frac{A_i}{A} \quad (4)$$

ここで、 A_i は毎回のピーク値、 $i=1.2. \dots N$,
 A は定数、本実験では 10789.54 となる。
 これより、最大面積率曲線を図 10 のように得る。

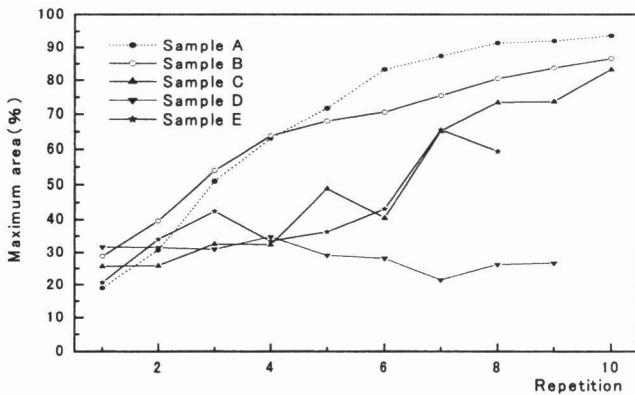


Fig.10 Curves of the maximum area

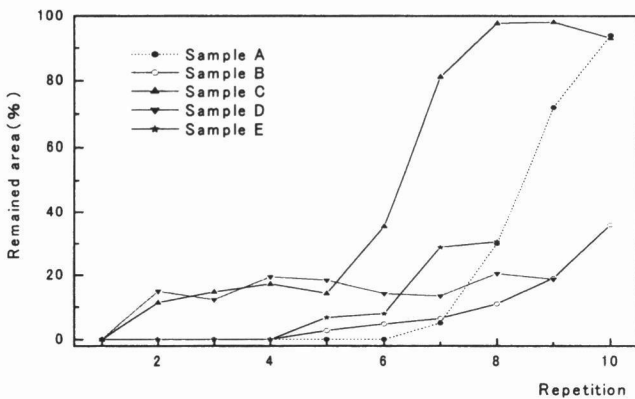


Fig.11 Curves of water remaining area

最大面積率 S_m は液体がトップシートの表面に沿って拡散する性能を表す。トップシートの界面張力と関連を持つ。

図 10 を図 9 と比較すると、最大面積率 S_m と流失水は負の相関関係にあることをわかる。トップシートの界面張力は流失水に大きな影響を与える。

$\overline{S_m}$ は S_m の N 回の平均値であり、 $0 \leq \overline{S_m} \leq 1$ 。

2. 残留面積率 S_r とその平均値 $\overline{S_r}$:

$$S_r = \frac{A_{ri}}{A_i} \quad (5)$$

ここで、 A_i は毎回のピーク値、

A_{ri} は毎回の最終の面積値、

これによって残留面積率曲線を得る (図 11) 。

$\overline{S_r}$ は S_r の N 回の平均値である。 $0 \leq \overline{S_r} \leq 1$, この値が小さいほど、シート表面に残留水が少ないことを表す。

図 11 を図 8 と比較すると、両図の形態は類似している。これは自由水の量がトップシートの残留水に直接的に影響を与えていることを示している。つまりトップシートの表面のサラサラ感の評価する時には、トップシートの性能だけでなく吸収体の性能も関連することになる。

3.6 特性値でサンプルを評価

各サンプルの特性値を表 2 に示す。

Table2 Characteristic Value of Each Sample

サンプル	A	B	C	D	E
F_w	0.64	0.63	0.28	0.30	0.40
F_h	1.89	1.96	1.55	1.63	2.16
$\overline{S_m}$	0.69	0.65	0.50	0.29	0.42
$\overline{S_r}$	0.20	0.08	0.46	0.15	0.09

前述のように紙おむつの液体吸収過程は貯水のシステムと考えられる。したがって紙おむつの性能を評価することは、ドアと貯水池と水通路に評価を評価することにほかならない。

表 2 の特徴値によりサンプルは二つのグループに分けられる。A と B は各項目の値がよく、そのサンプルの性能が優れていることを表している。B の $\overline{S_r}$ 値は A よりはるかに小さく、B のほうはサラサラ感が強いことを

表している。これは図2と図4に示す状況と合致している。一方Bの F_h 値はAより大きく、Bの垂直方向への拡散がよいことを意味している。

更に詳細な検討を行ない、以下の三図を得た(図12~図14)。

図12は紙おむつの総水容量図で、縦軸は各回注水後のサンプルの重量とサンプルの初期重量との比率である。

図13は各サンプルの有効水容量曲線で、縦軸は各回注水してから脱水後のサンプルの重量とサンプルの初期重量との比率である、これは紙おむつの貯水池としての容量に相当する。図14は各サンプルの水通路の水容量曲線で、縦軸は各回注水後の脱水で排出された液体量とサンプルの初期重量との比率である。本図は自由水率曲線(図8)とほぼ同じであるが、水重量を基準に求めている。

図12~図14からサンプルAの液体の総容量が大きい

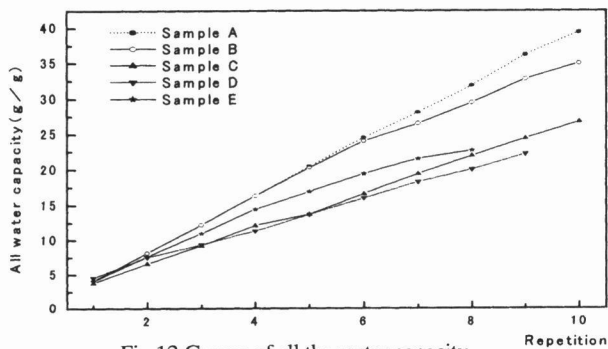


Fig.12 Curves of all the water capacity

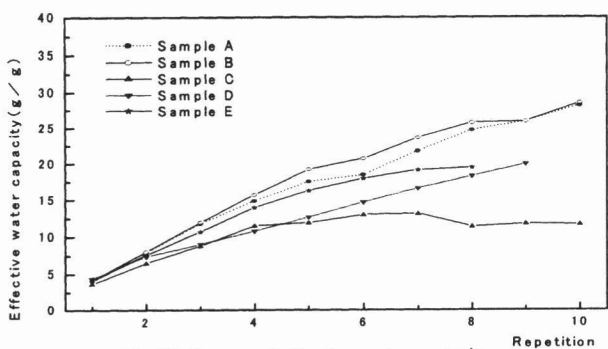


Fig.13 Curves of effective water capacity

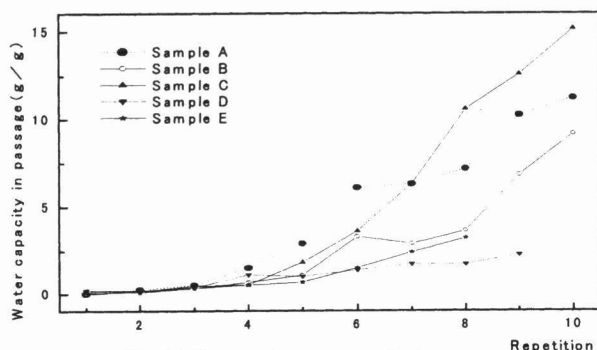


Fig.14 Curves of water capacity in passage

が、有効水容量では、Bの方がやや大きい。これはBの

貯水池の容量が大きいことを意味している。

水平方向拡散率 F_w は水通路の容量と関係があり、つまり吸収体内のパルプの性能と関係があるが、垂直方向拡散率 F_h は貯水池の容量と関係がある。つまり吸収体内のポリマーの状況と関係がある。

サンプルC、D、EはA、Bとは別のグループになる。

このグループの中で共通する特徴は $\overline{S_m}$ 値が小さいため、

流失水が多い。特にサンプルDの $\overline{S_m}$ 値は最も低く、流失水が最も多く、吸収体の中に入る液体が有限のため、吸収体内の素材が十分に利用されていない。これはサンプルDのトップシートの界面張力が大きいことにより、液体がそのシートを通過しておむつの中に入ることは難しく、ドアの性能が悪い例である。実験により、

もし、 $\overline{S_m} = 0.5$ とすれば、流失水は多くなる。このグループの中でE試料の各特徴値が比較的によいため、Eの性能もよいと言える。

4. 結論

画像処理により紙おむつの液体の拡散を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 動画画像処理システムにより、紙おむつの液体拡散形態を三種類の特徴曲線で詳しく表すことができる。
- (2) 特徴曲線の臨界区域を紙おむつの飽和点とすることができる。
- (3) 特徴曲線から得た特徴値で紙おむつの性能を総合的に評価できる。
- (4) 紙おむつモレと関連する流失水はトップシートの $\overline{S_m}$ 値に関係がある。 $\overline{S_m} = 0.5$ となると流失水が多くなる。

References

- [1] Toyoma, K and Komatsu, M.; *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, **30**(5), 223(1989)
- [2] Toyoma, K.; *Journal of Home Economics of Japan*, **45**(12), 1121 (1994)
- [3] Toyoda, H.; *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, **41**(2), 281 (2000)
- [4] Yashuda, H.; "The Most Advanced Macromolecule", Mita Press, p. 23 (1994)