

Examination of Water Transfer Characteristics in Disposable Diapers by Colored Salt Water

YANG Xiaoqi*, YANG Minzhuang*, MATSUDAIRA Mitsuo*,
KONDOU Kouji** and HANA O Hiroyuki**

* Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan, ** Daiou Paper
Converting Co., 4765-11, Samukawa, Iyomisima, 799-0431 Japan

Received 5 February 2004; accepted for publication 21 July 2004

Abstract

The water transfer behavior in disposable diapers was investigated by dynamic image analysis system using the colored salt water. The water transfer features are complex and the critical region of diapers occurs with the smaller amount of the water. New parameters showing the diffusion rate in the horizontal and perpendicular directions defined in the former paper could also be adapted for the salt water. The diffusion characteristics were also evaluated objectively by the four parameters and the three characteristic curves. The most suitable experimental conditions that can discriminate the difference between each sample were established as follows: quantity of flow; 6 ml/sec, amount of water pouring; 50 ml/times, the number of pouring repetition; 3 times.

Key Words: Dynamic image processing system, Disposable diapers, Colored salt water, Water transfer properties, Suitable measuring condition

有色塩水による紙おむつ内の水分移動特性の検討

楊曉旗*, 楊敏壯*, 松平光男*, 近藤耕司**, 花生裕之**

1. 緒言

現在、乳幼児用紙おむつは乳幼児のはじめての肌着として、日常生活の必需品になってきた。消費者の立場から見れば着用の快適性と皮膚への衛生、安全性は一番大切なことであり、快適性と衛生、安全性はともに紙おむつの有する尿液の拡散、吸収性能と深い関係がある [1]。

前報 [2] では動画処理システムを用いて、吸水性衛生材料の液体拡散、吸収特性を計測する方法を確立した。この計測方法では撮影した画像の液体面積の変化を計算して、液体拡散に関する 3 種類の特徴曲線（表面残留水曲線、拡散水曲線、吸収水曲線）を求める。この 3 種類の特徴曲線は動的に液体の拡散、吸収の過程が表現できるだけでなく、4 つの特性値（水平方向拡散率 F_w 、垂直方向拡散率 F_h 、最大面積率の平均値 \bar{S}_m 、残留面積率の平均値 \bar{S}_r ）も算出できる。

実験データによるとこの 4 つの特性値でサンプル間の液体拡散の差異を明確に表現することが出来た。吸水性衛生材料の液体吸収性能を客観評価するために、信頼性が高い方法を提供した。しかし、紙おむつを計測しようとする際にはいくつかの問題点が存在する。①人間の尿液は複雑な物質成分を含み、特にその中の塩分がポリマーの吸収量を低下させ [3]、飽和点、流失水が早めに出現し、特性値の信頼性が問題になる。②実験条件によっては液体拡散の特性値が変わるため、その変化には規則性があるかどうか、実際に測定するための適切な実験条件はどうなるかということが問題になる。本研究では、有色塩水を用いて紙おむつにおける水分拡散特性を検討し、様々な実験条件で紙おむつの液体拡散の影響要因を調べ、流失水が出ない条件で、試料間の差を明確に表現できる計測条件を確立する。

* 金沢大学, 金沢市角間町, FAX. 076-264-5613, E-mail : matsudai@ed.kanazawa-u.ac.jp

Table 1 Outline of Representative Disposable Diapers

Sample	A	B	C	D	E
Top sheet	Nonwoven (Cotton-Air-Through) PE/PP : C=97 : 3	Nonwoven (Air-Through) PE/PET	Nonwoven (Point-Bond) PP : PE/PP : C=72 : 25 : 3	Nonwoven (Cotton-Air-Through) PE/PP : C=97 : 3	Nonwoven (Spun Bond) PP
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
Weight of Sample	(10.6g)	(11.0g)	(10.4g)	(10.7g)	(9.7g)
Thickness of Sample	(4.4mm)	(4.7mm)	(4.1mm)	(4.5mm)	(3.9mm)

2. 実験

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銘柄の紙おむつの股間中央部の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が漏れないように固定する。

2.2 実験方法

実験装置はカトーテック(株)動画像処理システム(LDES)を用いる。図1に示すように、外部の光を遮断した密閉室で、試料設置台の上方270 mmのところから CCD カメラを取り付け、試料から50 mmの上部に水流を自然に流す。

本研究における実験用水は人工尿を模擬するために、濃度0.9%の塩水を用いる。一方、画像を二値化処理し易くするため、実験用水を着色する。流量は約6 ml/秒である。注水方法は人間の排尿を模擬し何回か繰り返し、一回の注水後10-15分間放置する。

実験条件は室温(25±2)℃、湿度(55±10)%RHで、液体温度も室温と同一とした。

1回の注水で1コマ/秒で30枚、1コマ/3秒で10枚、1コマ/6秒で10枚、1コマ/30秒で10枚、1コマ/120秒で10枚の間隔で連続撮影し、最大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は画像入力ボードにより、パソコンに取り込まれる。CCDカメラで入力した試料画像の画素数は640×480で、解像度は0.0311 mm²/画素である。

CCDカメラから取り込まれた連続動画に対して、しきい値を設定し、画像を二値化処理した後、前報[2]で提案した手法を用いて、紙おむつにおける水分移動に関する3種類の特徴曲線を求める。この特徴曲線から以下の計算式により4つの特性値を算出した。

(1) 水平方向拡散率 F_w :

$$F_w = \frac{\sum A_i / N}{A} \quad (1)$$

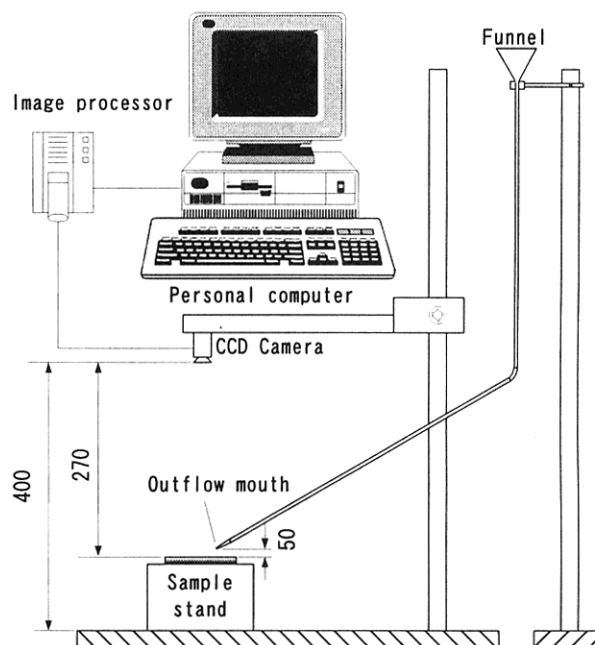


Fig.1 Experimental equipment

ただし、 A_i は注水時の拡散水曲線のピーク値、 $i=1, 2, \dots, N$ 、 N は注水の回数で、 A は画像の最大有効面積(定数)で、本実験では9550 mm²である。 F_w の範囲は $0 \leq F_w \leq 1$ であり、その値が大きいほど、液体が水平方向へ拡散しやすいことを表す。

(2) 垂直方向拡散率 F_h :

$$F_h = \log(\sum k_i / N) \quad (2)$$

ただし、 k_i は拡散水曲線が減少する傾き、 $i=1, 2, \dots, N$ 、 N は注水の回数である。 F_h が大きいほど、液体は垂直方向への拡散が迅速であることを表す。

(3) 最大面積率 S_m とその平均値 $\overline{S_m}$:

$$S_m = \frac{A_i}{A} \quad (3)$$

ただし、 A_i は注水時の表面残留水曲線のピーク値、 $i=1, 2, \dots, N$, N は注水の回数で、 A は画像の最大有効面積（定数）である。 $\overline{S_m}$ は S_m の N 回の平均値で、 $0 \leq \overline{S_m} \leq 1$ となる。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特性を表す。

(4) 残留面積率 S_r とその平均値 $\overline{S_r}$ ：

$$S_r = \frac{A_{ri}}{A_i} \quad (4)$$

ただし、 A_i は注水時の表面残留水曲線ピーク値、 A_{ri} は毎回の最終の残留面積値で、 $\overline{S_r}$ 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くなことを表す。

3. 結果と考察

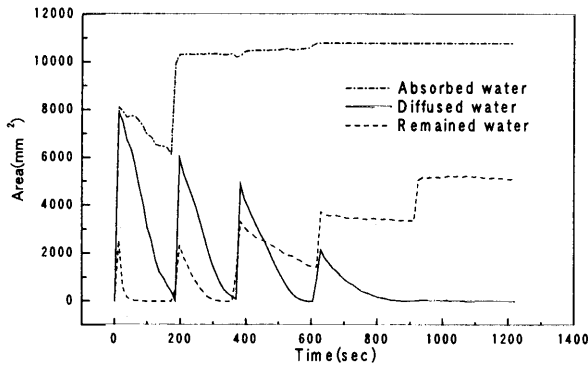


Fig.2 Feature curves of sample A with salt water

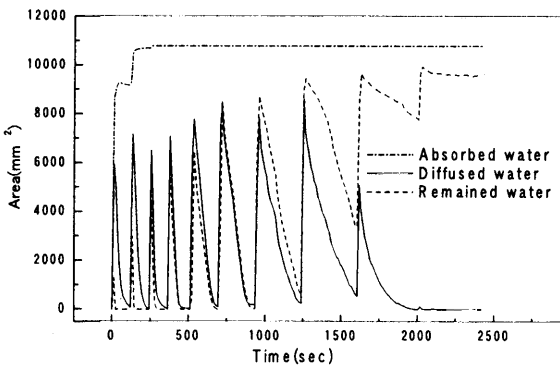


Fig.3 Feature curves of sample A with water

図2はサンプルAの有色塩水による特徴曲線である。前報[2]でのサンプルAの塩分を含まない場合の特徴曲線(図3)と比較すると、塩水の拡散の特徴は臨界区域が早く出現し、吸収量が減ることがわかる。実験条件は両方とも、注水量：50 ml/回、流量：6 ml/秒である。第一報で表面残留水と拡散水の曲線がほぼ同一になった状態を特徴曲線の臨界区域と定義した。よって、図2と図3に示すように、臨界区域は、

塩水では3回目の注水から、塩分を含まない場合では6回目の注水から出ている。

本研究では注水総量、流速、注水回数などの条件を変えて、一連の実験を行った。実験条件により実験結果は異なるが、変化の規則性は殆ど一定である。即ち各サンプルに関する評価結果の順位は実験条件によって変化しない。しかし注水量が多過ぎると、紙おむつの吸水飽和点を超え、流失水が現れるため、データの信頼性が低くなる。そのため、このような現象が起こった場合のデータについては本論文中の全図において白抜き印でプロットした。

3.1 注水量と特性値との関係

流量を6 ml/秒、注水回数を3回とし、毎回注水量を20 ml/回~90 ml/回に変えて実験した。実験結果を図4~図7に示す。

3.1.1 注水量と水平方向拡散率 F_w 、垂直方向拡散率 F_h との関係

図4及び図5に示すように、特性値 F_w 、 F_h は注水量の増加につれて増加し、ある注水量で最大値に達した後減少する。この現象は紙おむつの水分拡散のメカニズムにより説明することできる。すなわち、注いだ液体は、先ずパルプに素早く拡散された後、パルプの空隙に混在する高吸水性ポリマーに吸収され、液体が詰まったパルプを乾いた状

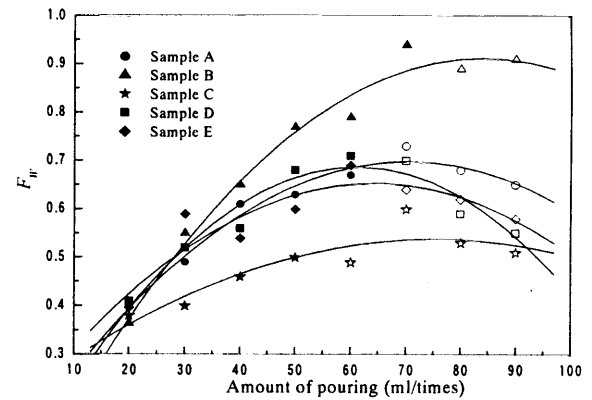


Fig.4 Relation between F_w and amount of pouring

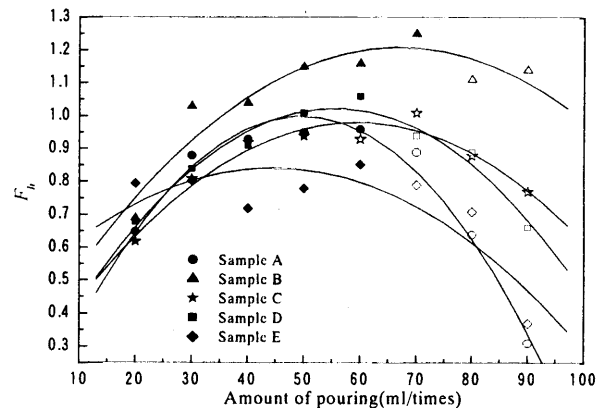


Fig.5 Relation between F_h and amount of pouring

態に戻し、次の注水を拡散可能とする [4]。関連文献 [5] によると、一回の注水量が多過ぎる (60 ml 以上) と、注水点近辺のポリマーは大量の液体を吸収し、膨潤し過ぎる状態になる。これにより、粒子は強度が低く変形し易くなり、粒子間の隙間を塞ぐため、その結果、粒子間の隙間を通る液体の拡散を妨げることになる。また、注水量が多過ぎると流し水が出るため、データの信頼性が低くなる可能性が高い。一方、低注水量の範囲ではデータの信頼性は高いが、データ間の差が小さいので、サンプル間の差を明確にすることは不可能である。それ故、各サンプルに対してそれぞれ適切な計測範囲が存在する。この適切な計測範囲の意味は流し水が出ない条件で、試料間の差を明確に出来る範囲である。今回の実験により、すべてのサンプルに同時に適合する計測範囲は狭いことが明瞭になったため、サンプルを計測する際には、選ぶべき実験条件がキーポイントになる。たとえば、サンプル C では 60 ml/回以上の注水量で流し水が観測されたため、本実験ではサンプル全体の評価には、50 ml/回の注水量を統一した計測条件として採用した。

3.1.2 注水量と最大面積率平均値 \overline{S}_m との関係

図 6 に示すように、水分拡散の最大面積率の平均値 \overline{S}_m と注水量間にはほぼ直線的な相関 ($r=0.85\sim 0.99$) が見られた。有意水準は 0.05 である。

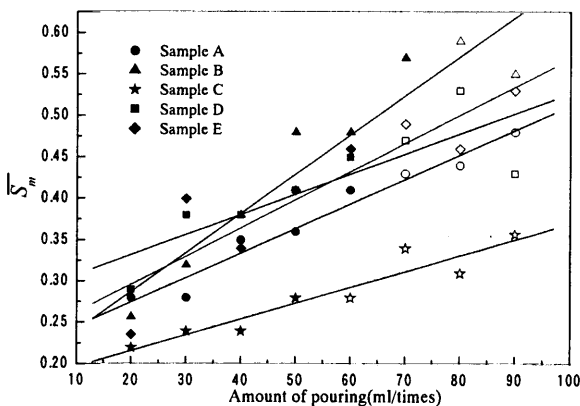


Fig.6 Relation between \overline{S}_m and amount of pouring

前報 [2] において最大面積率の平均値 \overline{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し、紙おむつの流し水と密接的な関係があることを指摘した。この関係が今回の実験により再確認された。図 6 において、一定の注水量に対して最も小さな \overline{S}_m 値を示すサンプル C (最下位にある曲線) では 60 ml/回以上の注水量で流し水が観測された。一方、一定の注水量に対して最も大きな \overline{S}_m 値を示すサンプル B (最上位にある曲線) では 70 ml/回以下の注水量で流し水が観測されなかった。このことは、他のサンプルに比べれば、サンプル C は有効な吸水容量が低いことを示しており、この現象にはポリマーの吸収力が低いこと、トップシートの親水性が悪いことが関連すると思われるが、

その詳細は、今後さらに検討すべき課題である。

3.1.3 注水量と残留面積率平均値 \overline{S}_r との関係

図 7 に示すように、水分拡散の残留面積率の平均値 \overline{S}_r と注水量間には指数関数的関係がみられる。即ち、低い注水量の場合、 \overline{S}_r の増加はあまり著しくないが、ある注水量を超すと \overline{S}_r は急に増大する。この転換点は前報 [2] で検討した紙おむつの水分吸収の飽和点と同じ意味と考えられる。実用面から見ればこの転換点以上で更に注水すると、トップシートに残った水分の残留面積は顕著に増加するため、トップシートの表面は濡れた状態になる。快適性や衛生安全性において、悪い影響をもたらす。

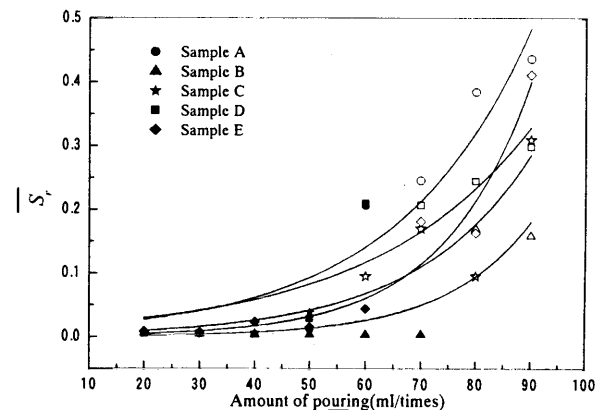


Fig.7 Relation between \overline{S}_r and amount of pouring

3.2 流量と特徴値との関係

流量とは一回に注いだ水量とその経過時間の比率 (ml/秒)、すなわち平均流量のことである。第 3.1.1 節の実験結果より、注水量を 50 ml/回、注水回数を 3 回として、流量は 4 ml/秒、6 ml/秒、8 ml/秒に設定して実験を行った。ここでは各サンプルの結果の規則性が同様である場合には、サンプル A を例として説明し、サンプル間に差異があったら、各々検討する。

3.2.1 流量と水平方向拡散率 F_w 、垂直方向拡散率 F_h との関係

図 8 に流量と水平方向拡散率 F_w 、垂直方向拡散率 F_h との関係を示す。実線は流量と水平方向拡散率 F_w の関係、破線は流量と垂直方向拡散率 F_h の関係を示す。図 8 に示すように、サンプル A の水平方向拡散率 F_w と垂直方向拡散率 F_h は注水の流量の増加につれて増大する。しかし、水平方向拡散率 F_w の方は高注水量の場合 (70 ml/回) と低注水量 (30 ml/回) の場合に曲線の傾きは比較的大きくなるが、50 ml/回の場合には流量の影響は比較的緩やかである。即ち、流量に依存する水平方向拡散率 F_w の変化は高注水量の場合と低注水量の場合に大きい。この事実は計測条件を選ぶ際に

重要となる。

一方、垂直方向拡散率 F_v も流量につれて増大することが図8からわかる。しかし、 F_v の直線の傾きと比較して、その傾きは著しく小さくなっている。この結果より、流量の拡散率に対する影響は垂直方向の方が水平方向より小さいことが明確になった。この現象が出現するメカニズムについては今の所まだ不明であるが、今後さらに検討する必要がある。

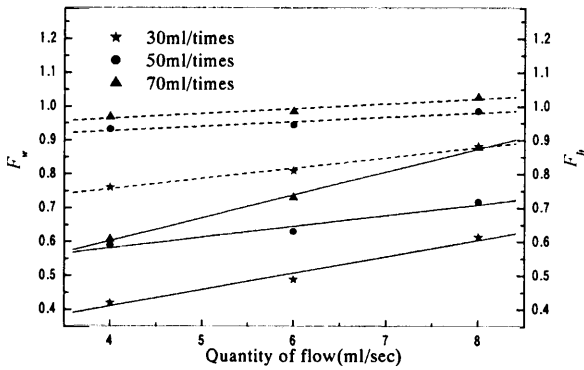


Fig.8 Relation between F_v, F_h and quantity of flow

3.2.2 流量と最大面積率平均値 \bar{S}_m との関係 :

図9より、水分拡散の最大面積率の平均値 \bar{S}_m は流量の変化につれて増加することがわかる。そして、高注水量の場合ではその変化が著しくなる。 \bar{S}_m は流失水と密接な関係がある特性量と考えられるが、単純な一対一の対応関係になるわけではない。図6と図9から \bar{S}_m は実験条件によって変化が大きいことがわかる。それ故、 \bar{S}_m より、サンプルから流失水が出る程度が定性的に把握できる。

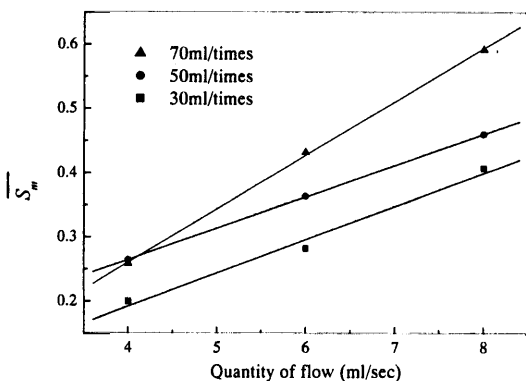


Fig.9 Relation between \bar{S}_m and quantity of flow

一方、流失水は紙おむつの使用にとって重要な問題と考えられる。流失水は速やかに吸収されないので、水モレの原因になる。実際に流失水が観測された場合には二つのタイプがある。一つは吸収体がすでに“飽和”状態に達してから出るものであり、これが“飽和流失”と言える。本実

験で用いた5銘柄のサンプルでは、Bはこのタイプに属し、A, D, Eも大体このタイプに属することが観察された。このタイプのサンプルの \bar{S}_m 値は流量によって変化するが(図9)、流失水が出るのは流量によらずほぼ変わらなかった。例えば、サンプルAは3種類の流量で実験して、すべて70 ml/回の注水量で流失水が出た。その一方、別のタイプは吸収体がまだ“吸収飽和”状態になっていないのに出てしまった流失水である。これは“非飽和流失”と言える。サンプルCの流失水はこのタイプである。表2はサンプルCの流量と流失水の実験結果である。“No”で流失水が出ない、“Yes”で流失水が出ていることを表す。

Table 2 Amount of Flow and Outflow Water on Sample C

Flow quantity	Pouring amount		
	30ml×3times	50ml×3times	70ml×3times
4ml/sec	No	No	No
6ml/sec	No	Yes	Yes
8ml/sec	Yes	Yes	Yes

このタイプの流失水が出るのは注水の流量と大きな関係がある。表2から、8 ml/秒の高流量の実験では、30 ml/回という低注水量でも流失水がしばしば観測された。この結果は“非飽和流失”と“飽和流失”のメカニズムが異なることを示している。“飽和流失”は自然な流失であり、貯水池の水がいっぱいになると溢れるようなものであり、吸収体の容量、たとえばポリマーの含量を変えれば調節できると考えられる。“非飽和流失”は貯水池が満ちていないのに、迅速に貯水池に入り込まないため、外へ流れてしまった水分である。非飽和流失では吸収体が活用されておらず、吸収体の容量を無駄にしている。“非飽和流失”はトップシートの表面特性と密接な関係を持っているので、注水の流量と大きな関連があると考えられ、詳細はさらに研究する必要がある。製品の製造面から言えば、トップシートを選択を工夫して、できるだけ“非飽和流失水”を少なくさせるべきであろう。

3.2.3 残留面積率平均値 \bar{S}_r と流量の関係

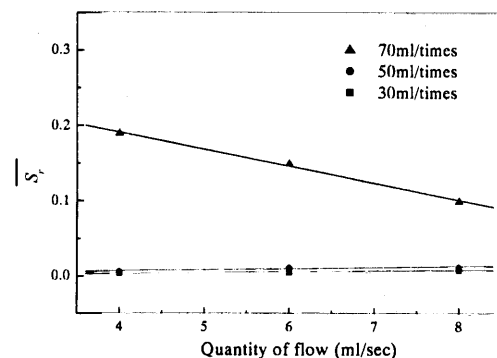


Fig.10 Relation between \bar{S}_r and quantity of flow

図10に示すように、表面残留水の残留面積率の平均値 \bar{S}_r は低、中注水量の場合では、ほぼ変わらない。しかし、高注水量の場合では残留面積率の平均値 \bar{S}_r と流量間に負の相関($r=-0.99$, 有意水準が0.05)が見られる。この事実から残留面積率に影響を与える要因は注水量であることがわかる。表面残留水の残留面積が小さくならないのはポリマーに吸収された水分が飽和になるからである。

3.3 注水回数の影響

流量を6 ml/秒、注水総量を150 ml一定として、注水回数を50 ml×3回と30 ml×5回に変化させて実験を行った。実験結果は表3にまとめた。

Table 3 Results of Characteristic Parameters

Parameter		Fw	Fh	\bar{S}_m	\bar{S}_r
Pouring method					
A	30ml×5times	0.46	0.886	0.313	0.042
	50ml×3times	0.631	0.945	0.364	0.012
B	30ml×5times	0.431	0.908	0.372	0.007
	50ml×3times	0.765	1.146	0.477	0.004
C	30ml×5times	0.319	0.625	0.246	0.047
	50ml×3times	0.503	0.943	0.277	0.039
D	30ml×5times	0.43	0.733	0.359	0.057
	50ml×3times	0.683	1.014	0.413	0.016
E	30ml×5times	0.451	0.713	0.377	0.079
	50ml×3times	0.603	0.778	0.406	0.029

表3から注水総量が同じであっても、多回数、小注水量の注水方式の実験データと少回数、大注水量の注水方式の実験データには大きな差があり、前者より後の方が各特性値はずっと良いことが見られる。これは繰り返しの注水が、紙おむつの水分拡散性能を劣化させることを意味している。そのメカニズムはまだ解明出来ないが、この現象は2つのヒントを与える。一つは、本実験の目的である適切な計測条件を選ぶことについてのものである。計測のコストを考慮すれば、注水回数は少ないほど良いと考えられる。しかしながら、もし注水回数が少な過ぎたら、例えば1回だけでは、実験より得られる情報量は減少し、臨界区域の判定は難しくなると考えられる。前報では表面残留水と拡散水の曲線がほぼ同一になる区域を特徴曲線の臨界区域と定義した。この臨界区域を求めるために、注水回数は多いほどデータが正確になる。それ故、入手したい情報量と

計測にかかる時間などの諸方面からバランスを考えれば、三回の注水回数が最も適切だと思う。もう一つのヒントは製品の設計に関するものである。過去の研究によると[6]、低月齢乳児の毎回の排尿量は少ないが、排尿の頻度が高く、6ヵ月ぐらいまで1日当たり15-20回の高頻度である。それ故、製品の設計では排尿の総量だけでなく、頻度も考慮すべきである。特に、 \bar{S}_r は回数の変化に敏感なので、製品を用いた対象によって採用するトップシートを考慮すべきである。

4つの特性値で各サンプルの水分拡散の差異が現されるが、特性値と主観評価との関連はどうなるか、これは今後の研究テーマとして検討する予定である。

4. 結論

有色塩水による紙おむつにおける水分の拡散についての研究結果から、以下の結論が得られた：

- (1) 有色塩水による紙おむつの水分移動特性は極めて複雑で、その水分の拡散の特徴は塩分を含まない場合に比べて、臨界区域が早く出て、吸収量が減ることである。
- (2) 前報で確立した動画像処理システム測定装置による吸水性衛生材料の液体拡散、吸収特性を計測する方法は紙おむつの有色塩水拡散の場合も同様に適用可能であり、紙おむつの塩水の拡散状況を三種類の特徴曲線、4つの特性値で客観的に評価することができる。
- (3) 各々のサンプルに適切な計測範囲が存在するが、同時にすべてのサンプルに適用できる統一的な実験条件範囲が狭い。本実験より、流失水が出ない条件で、試料間の差を明確に表現できる実験条件が見出された。それは流量を6 ml/秒、注水量を50 ml/回、注水回数を3回である。

References

- [1] Toyoma, K.; Journal of Home Economics of Japan, 45(12), 1121 (1994)
- [2] Yang, XQ., Yang, MZ., and Matsudaira, M.; J.Text.Mach. Soc.Japan, 56(9), 7(2003)
- [3] Koishi, M., and Kurematsu, K.; "Impregnation Technique and Its Application, Analysis", Techno System Co., p.204 (1990)
- [4] Masita, B.; "Super Absorbent Polymer" Kyoritsu Shuppan Co., LTD, p.81 (1987)
- [5] Nagda, Y.; "Handbook of Gel", NTS Co., p.287 (1997)
- [6] Sakurai, A.; Kagaku to Kyouiku, 38(6), 652(1990)