

新生児用紙おむつの換気必要量

上田博之^{1*}・松平光男²

¹大阪信愛女学院短期大学・²金沢大学教育学部

紙おむつ内気候の湿り気を紙おむつ換気量で評価するための基準として、紙おむつ内気候に蒸発する水分を放散するための換気必要量を求めた。市販の3製品を用いて、試料実験により単位面積あたりの蒸発量を、マネキン着用実験により液体拡散面積と紙おむつ換気量を測定した。単位面積あたりの蒸発量に製品間の差はみられなかった。着用実験で吸水増加により液体拡散面積は増加、紙おむつ換気量は減少したが、製品間の差は液体拡散面積の最も少ない吸水条件だけでみられた。また、吸水による液体拡散面積の増加と紙おむつ換気量の減少は高い相関関係を示したが、回帰直線の傾きは製品により異なった。これらの結果から、紙おむつ内気候の湿り気を評価するためには、吸水した紙おむつから紙おむつ内気候に蒸発する水分量と紙おむつ内気候の蒸発水分を紙おむつ外に放散する換気量の両方を勘案すべきであると考えた。そこで、吸水した紙おむつの単位面積あたりの蒸発量と液体拡散面積の積を紙おむつ内に蒸発し得る水分量とし、この蒸発水分を放散するための換気必要量を求めた。この換気必要量に対する紙おむつ換気量の充足率で評価を試みたところ、液体拡散面積や紙おむつ換気量だけで捉えられなかった製品間の差を捉えることができた。

キーワード；紙おむつ・衣服換気量・衣服気候・湿り気

1. はじめに

新生児用紙おむつには利便性から吸水性の向上が望まれるとともに、おむつかぶれ防止が期待される。おむつかぶれは、排尿後のおむつ内の湿潤環境でふやけた皮膚におむつ表面の物理的・化学的・生物学的刺激、アンモニアなどの化学的・生物学的刺激が加わることで発症する[1]。おむつかぶれを防止するためには、尿を素早く吸収して、ふやけの原因となる紙おむつ内の湿度上昇を防ぐことが重要である。紙おむつ内の湿

度は、乳児の前腹部において排尿後に80%RH程度になることやおむつを前腕に巻いて人工尿を注入したモデル実験で80%RH以上になることが報告されている[2, 3]。一方、Berglundら[4]は防水材に通気性の乏しい素材と通気性に優れた素材を使用した紙おむつの衣服換気量（以降、紙おむつ換気量とする）に差があることを認め、その換気量の差が紙おむつ内の湿度に影響することを報告している。これらのことからすれば、排尿後、紙おむつ内に蒸発する水分を抑制すると共に紙おむつ内に蒸発した水分を紙おむつ外に放散できる換気を確保することにより、紙おむつ内の湿度上昇を防ぐことが可能になると考えられる。一般に、紙おむつは、表面材、吸収材、防水材から構成され、これらの集合体の吸収特性として、飽和吸収量、吸収速度、液戻り量などの評価がなされている[5]。着用状態の紙おむつ内の湿り気については、紙おむつ内の相対湿度の製品間比較にとどまり、製品開発に向けた定量的評価はほとんど行われていない。

そこで、本研究では、着用時の紙おむつ内の湿り気

Hiroyuki Ueda, Mitsuo Matsudaira :
Required Ventilation for Newborn Baby Diapers.
Human and Environment Vol. 1 (2008)

* 大阪市鶴見区鶴見 6-2-28 大阪信愛女学院短期大学,
Tel:06-6180-1041, Fax: 06-6180-1045,
E-mail:ueda@osaka-shinai.ac.jp

受付：2008年12月26日（受理）
©2008 大阪信愛女学院短期大学

表 1 実験に用いた紙おむつの概要と拡散特性値

Sample	A	B	C
Top sheet	Polyolefin/Polyester nonwoven fabric	Polyolefin nonwoven fabric	Polyolefin/Polyester nonwoven fabric
Absorber material	Absorptive paper, Flocculent pulp, Acrylic absorptive polymer	Polyolefin nonwoven fabric, Flocculent pulp, Absorptive polymer	Absorptive paper, Flocculent pulp, Absorptive polymer, Polypropylene nonwoven fabric
Water proof sheet	Polyolefin film	Polyolefin film	Polyethylene film
Horizontal diffusion ratio	0.86	0.78	0.9
Vertical diffusion ratio	1.22	1.11	1.20
Maximum wetting ratio	0.35	0.33	0.52

を紙おむつ換気量で評価するための基準として、吸水状態の紙おむつから蒸発する単位面積あたりの蒸発量と着用状態で吸水したときの液体拡散面積から紙おむつ内の気候に戻り得る蒸発水分量を推定し、さらにこの蒸発水分量を紙おむつ外に放散するための換気必要量を求めた。

2. 方法

1) 実験用紙おむつ

市販されているテープタイプの新生児用紙おむつ 3 製品を実験用の紙おむつとして用いた。表 1 に各製品の構成素材と液体拡散特性[6]を示す。

2) 単位面積あたりの蒸発量測定

紙おむつの股下・中央部を一辺 12 cm の正方形に切り取って試料を作成した。その際、表面材、吸収材、防水材が剥離しないように、吸収材の厚みを確保して通気性のあるテープで切り口を固定した。液送ポンプ (Cole-Parmer Instrument 社製) を用いて、この試料の中央部に上部から模擬尿液 (0.9%NaCl を青色 1 号で着色した溶液) 50ml を注水して、直後に重量を測定した。そして、平面に置いた試料を上部からデジタルカメラで撮影し、その画像を画像解析ソフトウェア Scion Image (米国 Scion 社製) を用いて二値化画像に変換して液体拡散面積を求めた。注水から 1 時間放置した後に再び重量を測定し、減少重量を液体拡散面積で除して単位面積あたりの蒸発量を算出した。製品ごとに試料 6 枚の測定を行い、その平均値を各製品の代表値とした。すべての実験は、一般的な衣服内の快適な環境を想定して 32℃, 50%rh に設定した環境制御室 (ナガノ科学機械製作所) で実施した。

3) 吸水時の液体拡散面積の測定

実験には生後 1 ヶ月齢の新生児等身大マネキン (株 京都科学製) を用いた。仰臥位のマネキンに液送ポンプ (Cole-Parmer Instrument 社製) を接続して、注水速度 3ml/sec で模擬尿液 (0.9%NaCl を青色 1 号で着色した溶液) をマネキン股間部から着用させた紙おむつに注水した。注水後、紙おむつをマネキンから外して、その両端を 600gf で引っ張った水平状態を上部からデジタルカメラで画像撮影した。画像解析ソフトウェア Scion Image (米国 Scion 社製) を用いて撮影画

像を二値化画像に変換して液体拡散面積を求めた。

4) 紙おむつ換気量測定

新生児マネキンの股下皮膚面に 3cm 離れた 1 対の換気量測定用ノズルを固定した。一方のノズルから窒素ガス (N₂100%) を一定流速で送入し、他方のノズルから股下部空間のガスを同じ流速で吸引した。吸引したガスの酸素濃度を酸素濃度計 (Biopack 社製, O₂100A) で毎秒 1 回測定して、パーソナルコンピュータに保存した。窒素ガス送入開始後、紙おむつ内気候の酸素濃度は低下して、やがてほぼ定常状態に達する。測定は、窒素ガス送入開始から酸素濃度の定常状態が確認できるまで行なった。

紙おむつ換気量 (V) は、送入するガスの窒素濃度 (C_{in}), 吸引したガスの窒素濃度 (C_{out}), C_{in} と C_{out} の流量 (F), 実験環境の窒素ガス濃度 (C_e) を用いて次式で算出した[7]。

$$V = F \cdot [(C_{in} - C_{out}) / (C_{out} - C_e)]$$

なお、紙おむつ換気量の測定において、股下部空間のガスは十分拡散されている必要がある。この拡散の良否は送入・吸引ガス流量に影響されることから、ノズルからの送入・吸引ガス流量を変化させる実験を事前に行なった。

5) 測定手順

紙おむつ換気量および液体拡散面積を測定する模擬尿液の吸水量条件は 20, 40, 60, 80, 100ml の 5 段階とした。紙おむつをマネキンに着用 模擬尿液の注水 紙おむつ換気量の測定 マネキンから外して平面固定状態で画像撮影 (マネキンに着用) を 4 回繰り返して行い、製品ごとに紙おむつ換気量と液体拡散面積の測定を行った。すべての実験は、乳幼児の紙おむつ交換の経験が豊富な同一験者により、25℃, 50%rh に設定した環境制御室 (ナガノ科学機械製作所) で行なわれた。

6) 統計処理

すべてのデータを平均値 ± 標準偏差で表した。液体拡散面積および紙おむつ換気量を、製品ごとに吸水条件間の差について、また、吸水条件ごとに製品間の差について分散分析で検定した。分散分析において製品間の差が認められた場合には Tukey の事後検定を行った。有意水準はすべて p<0.05 に設定した。

3. 結果

32・50%RHの環境下で製品A,B,Cの試料に模擬尿50mlを吸水させて1時間放置したときの蒸発量をそれぞれの液体拡散面積で除して求めた単位面積あたりの蒸発量は、製品A: 0.17 ± 0.08 , B: 0.17 ± 0.06 , C: 0.14 ± 0.05 mg/cm²/minであった。このときの液体拡散面積(A: 92.2 ± 6.0 , B: 96.2 ± 5.9 , C: 114.2 ± 6.0 cm²)には製品間に有意な差が認められた(p<0.05)が、単位面積あたりの蒸発量には製品間で有意な差は認められなかった。

マネキン着用実験における紙おむつの液体拡散面積を図1に示した。いずれの製品も吸水量増加に伴って液体拡散面積が増加した(p<0.05)。また、20ml吸水時の液体拡散面積は製品間で有意に異なり(p<0.05)、製品BがA,Cより大きかった(p<0.05)。これらマネキン着用実験で得られた液体拡散面積と単位面積あたりの蒸発量の積は、紙おむつ内が32・50%rhならば排尿後に紙おむつ内気候に蒸発し得る水分量と考えることができる。製品ごとに各吸水条件におけるこの蒸発水分量を表2に示す。

トレーサーガス法による紙おむつ換気量の測定では、測定部においてトレーサーガスが十分拡散していなければならない。トレーサーガスの送入流速およびサンプリングガスの吸引流速(以降、ガス流量とする)はこの拡散に影響するため、これらの流速を変えてガス拡散状態を確認した。ガス流量が20ml/minの場合には、股下部へトレーサーガス送入後、股下部空間の酸

表2 紙おむつ気候への推定蒸発水分量(mg/min)

Absorbed urine (ml)	A	B	C
20	12.36	17.54	9.03
40	19.90	20.97	14.17
60	22.97	28.60	20.65
80	30.08	33.11	23.72
100	31.90	37.96	24.58

素濃度は低下するものの、その後、酸素濃度は不安定な上昇と下降を繰り返した。この不安定な変動は、サンプリング部の空間でトレーサーガスが十分拡散されていないことを示す。ガス流量を30ml/min以上に設定した場合は、酸素濃度は低下後にほぼ定常な状態を示した。ガス流量を多くすると測定部の酸素濃度はより安定しやすくなるが、その一方で、換気によるトレーサーガス濃度の変化は小さくなるために紙おむつ換気量の測定精度は落ちる。したがって、測定部で安定した酸素濃度を得ることができ、かつ少ないガス流量に設定することが望ましい。このような観点から、本実験におけるガス流量は30ml/minが適当であると考えた。

紙おむつ換気量測定時における酸素濃度変化の一例を吸水量条件ごとに図2に示した。トレーサーガス送入後、股下部空間の酸素濃度は低下し、3分程度で定常状態に達した。そして、定常状態に達したことを見極めた後30~60秒間測定を継続した。この間の酸素濃度の平均値から算出した股下部の窒素ガス濃度、送入されたトレーサーガスの濃度(N₂100%)、実験環境の窒素ガス濃度及び送入・吸引ガス流量より紙おむつ換気量を計算した。紙おむつ換気量を製品ごとに図3に

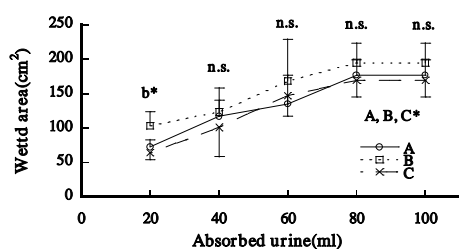


図1 吸水時の液体拡散面積。
A, B, C*: p<0.05 (吸水条件 20<40<60<80<100ml)
b*: p<0.05 (製品 B > A, C)

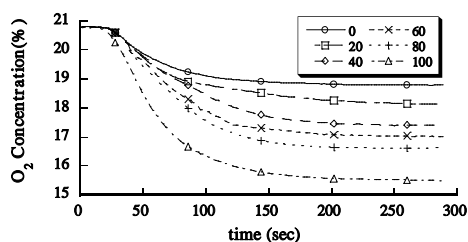


図2 各吸水条件(20~100ml)における紙おむつ換気量測定の一例。

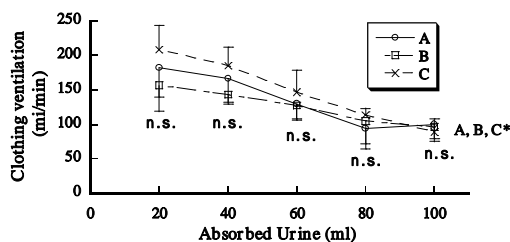


図3 吸水時の紙おむつ換気量。
A, B, C*: p<0.05 (吸水条件 20>40>60>80>100ml)

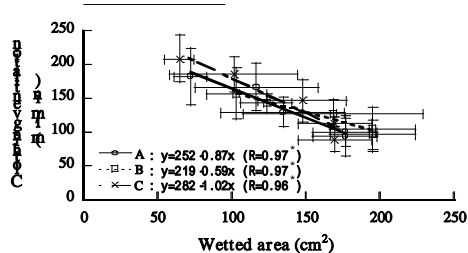


図4 各製品の液体拡散面積と紙おむつ換気量の関係。 * : p<0.05

示した。いずれの製品も、紙おむつ換気量は吸水量増加に伴って有意に減少した ($p < 0.05$)。そして、いずれの吸水条件においても、紙おむつ換気量に製品間で有意な差はみられなかった。各吸水量条件における液体拡散面積と紙おむつ換気量の平均値を用いて、製品ごとに回帰分析を行った結果を図 4 に示した。いずれの製品も液体拡散面積と紙おむつ換気量は高い負の相関関係を示したが ($p < 0.05$)、回帰直線の傾きは製品により異なった。

着用時の紙おむつ内気候における蒸発水分量の増加要因としては吸水した紙おむつからの蒸発水分量があり、減少要因としては紙おむつ内気候から紙おむつ外に放散される蒸発水分量があると考えられる。そうすれば、紙おむつ内気候の湿り気の評価するに際しては、蒸発する水分量と放散される水分量の両方を勘案することが望ましい。そこで、単位面積あたりの蒸発量と吸水時の液体拡散面積の積を紙おむつ内気候へ蒸発し得る水分量として、この蒸発水分を紙おむつ内気候から紙おむつ外へ放散するために必要な換気量（以降、換気必要量とする）を求めた。換気必要量は紙おむつ内外の絶対湿度差を用いて次式で導く。

$$\text{換気必要量 [l/min]} = \frac{\text{紙おむつ内に戻り得る蒸発水分量 [g/min]}{(\text{紙おむつ内の絶対湿度} - \text{滞在環境の絶対湿度}) [\text{g/l}]}$$

ここでは着用者の滞在環境の水蒸気圧が 8 ~ 16mmHg (おおよそ 20 ~ 24%rh ~ 30 ~ 50%rh)、排尿後の紙おむつ内の水蒸気圧が 20 ~ 34mmHg (おおよそ

32 ~ 50%rh ~ 35 ~ 80%rh) である場合の各製品の換気必要量を推定した (図 5)。ただし、この換気必要量は、32 ~ 50%rh の環境下で測定した単位面積あたりの蒸発水分量に基づいており、さらに、紙おむつ内気候における水分の拡散状態は均一で、紙おむつ内外の換気が理想的に行なわれることを前提としている。

4. 考察

平面状態の紙おむつに注水すると液体は表面材を通じて素早く吸収材のパルプに吸収される。この吸水初期段階では垂直方向よりも主に水平方向に拡散される [8]。本研究における単位面積当たり蒸発量測定実験において、水平方向拡散率と最大面積率で最大値を示す製品 C の液体拡散面積が最も大きかった。平面状態で試料に吸水させた場合の液体拡散面積は、楊ら [6] により液体拡散面積のピーク値から導かれた水平方向拡散率や表面材の残留水の最大面積から導かれた最大面積率と相関すると考えられる。しかし、マネキン着用実験では、20ml 吸水時において水平方向拡散率及び最大面積率の最も小さい製品 B の液体拡散面積が、製品 A、C よりも大きかった。また、40~100ml 吸水時において、水平方向拡散率や最大面積率の異なる製品間で液体拡散面積の差は見られなかった。着用状態における紙おむつの液体拡散は平面状態と異なり、必ずしも水平方向拡散率や最大面積率に反映されるとは限らないようである。製品 B は垂直方向拡散率の最も小さい製品であったことから、むしろ、製品 A、C の大きい垂直方向拡散率が同じ尿量を狭い面積で吸収させのかも

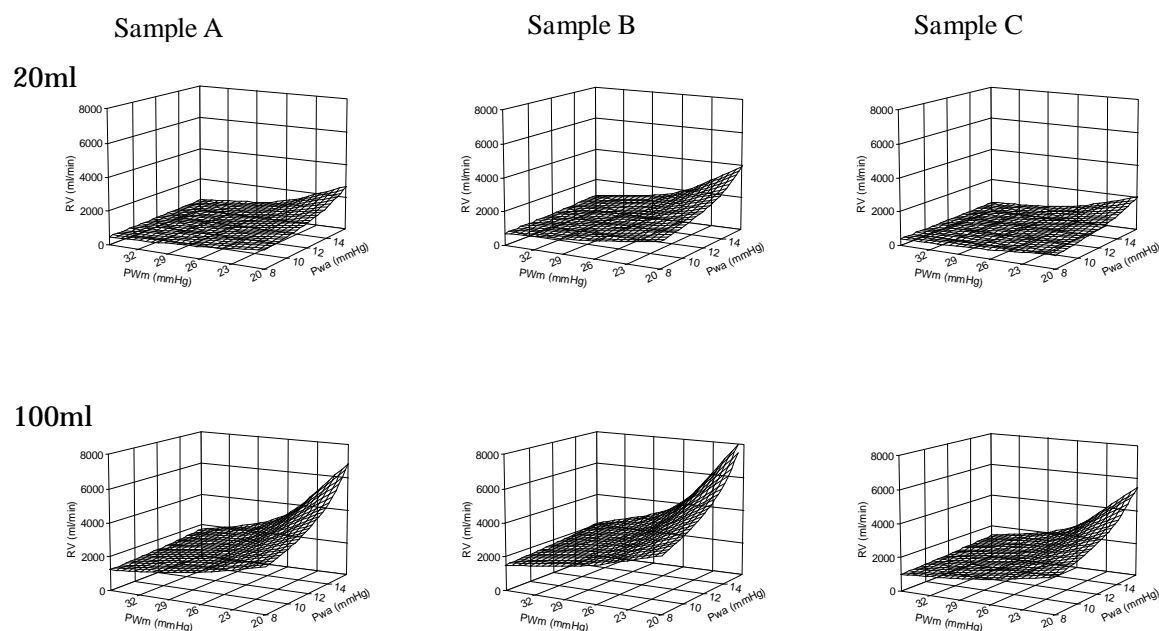


図 5 20 および 100ml 吸水したときの各製品の換気必要量(RV).
Pw: 滞在環境の水蒸気圧, PwM: 紙おむつ内気候の水蒸気圧

しれない。積層布の蒸発速度は、減率乾燥段階において乾燥面（表面）の布の蒸発速度に等しくなることが知られている[9]。本実験に用いた新生児用紙おむつの表面材の素材は異なるものの単位面積当たりの蒸発量に製品間の差が認められなかった。吸水時の液体拡散面積や単位面積当たりの蒸発量は主に表面材の特性が反映されると考えられる。試料を用いた平面吸水実験は極めて容易に実施することができるので、これにより導かれた水平および垂直方向液体拡散率、最大面積率から着用時の液体拡散面積や単位面積当たりの蒸発量を推測できれば表面材の開発・改善の一助になると考えられる。今後、表面材の素材や組織などを統制して、平面吸水における液体拡散特性と着用時の液体拡散面積の関係について精査すべきと考える。

衣服換気量測定には、衣服気候内へのトレーサーガス送入時もしくは送入停止後のガス濃度の変化から算出する方法[10,11]とトレーサーガスを一定流量で送入して定常状態になるガス濃度から算出する方法（定流量測定法）[12]が提案されている。前者の測定方法では衣服内外の換気率と衣服内気候量の2つの測定を必要とするが、紙おむつにおいては衣服内気候量の測定や推定は極めて困難である。これまで新生児用紙おむつの換気量を報告した事例はなく、本実験では新生児用紙おむつの股下部換気量を定流量測定法で測定するための条件を示すことができた。

紙おむつ換気量はいずれの製品も吸水量の増加に伴って減少することが明らかになった。紙おむつの換気は紙おむつを貫通する空気と着用時の胸部や脚部から入れ換わる空気による。各製品において液体拡散面積と紙おむつ換気量には強い負の相関関係が認められることから、吸水材の吸水によるゲル化面積の増加によって吸収材部を介して出入りする空気が減少したと考えられる。しかし、各製品の回帰分析の結果から、吸水時の液体拡散面積増加が紙おむつ換気量減少に及ぼす影響は製品によって異なることが示された。吸水時には、吸水材の膨張により着用状態（フィット性）が変化し、胸部や脚部からの換気量も変化すると推察できる。製品の素材やデザインはこのような状態の変化に差異をもたらすため、液体拡散面積の増加が紙おむつ換気量の減少に及ぼす影響は製品により異なると考えられる。

以上のように、いずれの製品においても、吸水による液体拡散面積の増加は紙おむつ内への蒸発水分を増加させ、加えて紙おむつ換気量を減少させることが明らかになった。しかし、吸水量に対する液体拡散面積や液体拡散面積の増加に対する衣服換気量の減少率は製品により異なるために、液体拡散面積や衣服換気量だけから紙おむつ内気候の湿り気进行评估することは難しい。また、紙おむつの開発や改善に向けては、吸水した紙おむつからの蒸発量と紙おむつ内から外部に

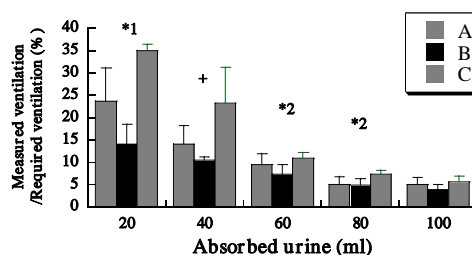


図6 20ml 吸水時の換気必要量に対する実測換気量。
*1: $p < 0.05$ (製品 C>A,B), *2: $p < 0.05$ (製品 C>B), +: $p = 0.06$

放散される水分量の両面から検討されることが望ましい。そこで、本研究では、紙おむつ換気量で紙おむつ内の湿り気进行评估するため基準として、紙おむつから紙おむつ気候に蒸発し得る水分量を紙おむつ外に拡散するために必要な換気必要量を求めた。そして、この換気必要量に対する紙おむつ換気量の充足率により評価を試みる。先行研究では排尿後に紙おむつ内湿度が80%rh以上になることが報告されている[2,13]。20ml 吸水して紙おむつ内が 32 80%rh(28.6mmHg)になり、滞在する環境(25 50%rh)と理想的に換気されたと想定した場合に、各製品の換気必要量はそれぞれ A: 780, B: 1150, C: 592 (ml/min)となる。これらの必要換気量に対する測定された紙おむつ換気量の充足率はそれぞれ $23 \pm 7\%$, $14 \pm 4\%$, $35 \pm 2\%$ となつて、製品 C が製品 A, B より有意に高い値を示す($p < 0.05$)。同様に、40~100ml 吸水した場合の必要換気量に対する測定された紙おむつ換気量の充足率を製品間で比較すれば図6のようになる。この換気充足率は20, 60, 80ml 吸水時に製品間で有意な差がみられ($p < 0.05$)、40ml 吸水時にも製品間で差がみられる傾向にあった($p = 0.06$)。本実験で紙おむつ換気量だけをみれば製品間に差が認められなかったが、このように換気必要量に対する紙おむつ換気量の充足率では製品間の差をみることができた。このことからすれば、紙おむつ内へ蒸発し得る水分量から推定する換気必要量を基準にすることにより、紙おむつ内気候の湿り気にみられる製品間の差をより現実的に即して捉えることができることに加えて、開発や改善に向けてよりの確な定量的評価を行なうことができるのかもしれない。しかし、換気必要量は、紙おむつ内に拡散する蒸発水分が均等であり、紙おむつ内外の換気が理想的に行われることを前提にしたものである。今後は、実測された紙おむつ内湿度との相関などによりこの評価の信頼性について検討する必要がある。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究 C, 18500589）の助成を受けたものである。

引用文献

- [1] 細谷京子, 杉原喜代美: おむつ皮膚炎の発現要因の検討. ヘルスサイエンス研究, 18-22 (1999)
- [2] 古松弥生, 横田由美子, 齋島富士江, 尾崎淳子: おむつの着装時の被服気候と快適性. 小児保健研究 51(1), 82-88 (1992)
- [3] 中橋美智子, 有賀敦子: おむつに関する衛生学的研究 - 皮膚温・衣服気候・着用感評定を中心として - . 日本衣服学会誌 28(1), 16-21 (1984)
- [4] Berglund L.G., Akin F.J.: Measurement of air exchange in diapers by tracer gas methods. Tappi. J. 80(9), 173-178 (1997)
- [5] 樋田治三: 紙おむつの性能と評価方法. 繊維製品消費学会誌 41 (2), 39-42 (2000)
- [6] 楊 暁旗, 楊 敏壮, 松平 光男, 近藤 耕司, 花生 裕之: 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. J. Text. Mach. Soc. Japan, 56(9), T67-T73 (2003)
- [7] Ueda H., Matsudaira M., Inoue Y.: The Effect of Urine Loading on the Wetted Area and Clothing Ventilation in Disposable Diapers. Proceedings of the 36th Textile Research Symposium at Mt. Fuji, 175-177 (2007)
- [8] 楊 暁旗, 楊 敏壮, 松平 光男: 有色塩水による紙おむつ内の液体拡散の動力学解析. J. Text. Mach. Soc. Japan 58(1), T1-T6 (2005)
- [9] 坂本雄二, 原川和久: 積層布の乾燥特性と含水率分布の測定. 繊維機械学会誌 48(5) 53-61 (1995)
- [10] Birnbaum, R.R., Crockford, G.W. Measurement of clothing ventilation index. Appl. Ergonomics 9, 194-200 (1978)
- [11] Reischl U., Spaul W.A., Dukes-Dobos F.N., Hall E.G.: Ventilation analysis of industrial protective clothing. Trends in Ergonomics / Human Factors, Elsevier Science Publishers B.V. Holland, 421-428 (1987)
- [12] Havenith G., Heus R., Lotens W.A.: Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: changes due to posture, movement and wind. Ergonomics 33, 67-84 (1990)
- [13] 豊間和子: 小児用紙おむつ内の尿量・湿度と不快感の関係. 日本家政学会誌 45(12), 1121-1136 (1994)

論文集「人と環境」Vol. 1 (2008)
大阪信愛環境総合研究所編集発行
