

紙おむつの換気性能の評価

薩本弥生¹⁾, George Havenith²⁾
横浜国立大学¹⁾, Loughborough University²⁾

Evaluation of ventilation in diapers

Yayoi Satsumoto¹⁾, George Havenith²⁾

1) Faculty of Education and Human Sciences, Yokohama National University, Japan,

2) Department of Ergonomics (Human Sciences), Loughborough University, United Kingdom

Abstract:

A device to evaluate the ventilation in diapers by using a tracer gas method (steady state method) during rest or walking between the interior of the diaper and the ambient atmosphere was developed to investigate the effect of the design- and material-factor of diapers on heat and water vapor transfer by ventilation. It was found that the air permeability of the diaper fabric affected the ventilation but did not dominate it. It means the ventilation was affected not only by the air permeability but also by the constructive factor of clothing. Leg movement caused about 20% increase of ventilation compared to the static condition. The pants design diapers were less affected by the walking movement. The repeatability of the microclimate ventilation values measured by the steady state method obtained in our study was better than that of the transient method in our earlier paper.

Key Words: thermal comfort, diaper, microclimate ventilation rate, tracer gas method, steady state method

要旨：紙おむつを通しての熱水分移動にデザインや素材要因がおよぼす影響を定量できるトレーサガス法の定常法を用いた装置を開発した。この装置は安静時と動作時のオムツ内気候の換気量を評価できる。通気性が換気率に影響するが、支配するわけではなく、構成要因も寄与することがわかった。歩行動作により安静時よりも 20%換気量が増えた。著者らの先行研究で計測した過渡法による計測データと比較して再現性が高かった。

キーワード：温熱的快適性、おむつ、換気、トレーサガス法、定常法

1.はじめに

今日、紙おむつの普及とともに、温熱的に快適な紙おむつが求められている。おむつは尿漏れ防止のため防水シートで覆われているため透湿性が小さかったが、透湿性シートが使用されるようになって透湿性が向上したが、高分子吸収体がある部位はなお、透湿抵抗が大きく素材を通しての熱水分移動は期待できない。一方、歩行時にはふいご作用による換気が生じることが予想され現状のおむつの蒸れを低減する上で重要な方策である。そこで本研究では、おむつ内の水蒸気を歩行動作により換気する方法でおむつ内の熱水分移動を促すようなおむつの構造面での開発を目指し、まずはふいご作用による換気を定量できる装置を開発するこ

とを目的として実験を行った。

薩本らの先行研究(薩本, 2008)ではトレーサガス法の過渡法で実験を行ったが、おむつ着衣時の再現性に問題があった。再現性を向上させるため、3次元網布を着装させてからおむつを着装させ、マネキン内の空気を循環させ CO₂ を偏在させないようにした。三次元網布をつけることによって、マネキンとパンツの間の衣服内空隙中に注入した CO₂ の対流を抑制する役割も果たした。

以上の改良により再現性は向上したが、ポンプでの空気循環で強制対流が生じるため、換気率が大きくなり、現実のオムツ内環境とは異なること、着衣状態が実際の着衣状態と異なることに問題が残った。

そこで、本研究では、トレーサガス法の定常法を用いて、3次元網布や循環ポンプを用いなくても再現性が得られる装置の改良を行い、一定の成果を上げたので報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験試料

パンツ型おむつの通気性の換気への影響を検討するため、通気性大のパンツと不通気性のパンツを試作した。また、市販の紙おむつ3個も、実験に供した。試料のKES法で計測した通気抵抗(おむつは高分子吸収体が含まれる部位と、不織布2枚、不織布1枚の3部位からなるため、各々の部位の通気抵抗を面積重みづけした)とJIS L1099 A-2法で計測した不織布部分の透湿抵抗を表1に示す。

Table 1 The characteristics of materials.

Sample	Area weighted air resistance (kPa · s/m)	Water vapor permeability (g/m ² /24h)
Permeable pant	0.05	—*
Diaper X	1.93	4525.6
Diaper Y	2.65	4078.3
Diaper Z	2.68	4640.2
Impermeable pant	—*	1807.4

*: impossible to measure

2. 2 歩行動作模擬幼児マネキン

歩行動作が換気に及ぼす影響を検討するため、図1に示すような下半身歩行動作模擬幼児マネキンがユニチャーム株式会社により開発された。マネキン表面は伸縮性のあるポリウレタン樹脂製である。歩行速度は48steps/minとした。

2. 3 トレーサガス法 (定常法)

トレーサガス定常法はHavenithらの研究で衣服の換気計測に用いられている (Havenith et al., 2000, 2009)。先行研究で用いた過渡法の場合は、換気率を算出するためにオムツ内の空気の容積の計測が必要である (Berglund, 1997)。トレーサガス法の実験と同時に容積を計測することは困難で別途計測するとしても、計測は高価で時間がかかりするため (Havenith & Zhang, 2000)、著者らは着装の度のオムツ内容積の変化による

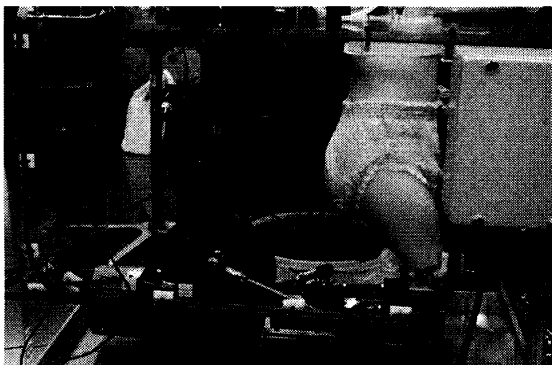


Fig.1 Photograph of the ventilation apparatus.

実験誤差を減らすため、換気率の計測のために容積の測定を必要としない定常法を用いた。

2. 4 トレーサガス法 (定常法) のシステム

図2に換気システムを示す。

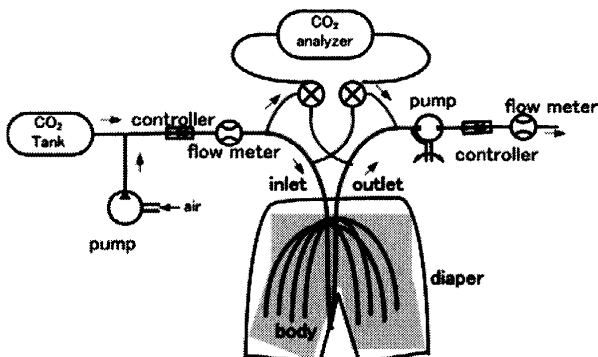


Fig. 2 Schematic diagram of ventilation system.

トレーサガス (100% CO₂) は空気と混合させて一定流量の流速に保たれ (mass flowmeter model 41221, TSI CO., LTD)、チューブシステムを介してオムツ内に導入された。inlet チューブの CO₂ 濃度を CO₂ 分析装置 (GMP343, Vaisala CO., LTD) でモニタした。Inlet の CO₂ 濃度は約 5000ppm に保たれた。Outlet チューブの CO₂ サンプリングは 3way バルブを用いて inlet と切り替えて同一の CO₂ 分析装置で分析した。Inlet と outlet のチューブシステムはどちらも 8 本に分岐してオムツ内のチューブの配置が均一になるようにした。さらに各チューブの先から 1cm 毎に 6 個の穴をあけて CO₂ 濃度の均一性を向上させた。

強制的な換気が生じないように Inlet の流速 (V_{in}) と outlet の流速 (V_{out}) は厳密に同一の値になるように (0.5 l/min) 図2に示すポンプとコントローラを用いて式(1)が成り立つように制御された。

(1)

マネキンは厚さ 10mm の PMMA 板の箱 (size : 530 × 680 × 400 mm) に固定され、実験の前後にボックス内の環境の CO₂ 濃度を分析装置で計測した。

2. 5 実験手順

実験は 20±2.0 °C, 50±10%RH の実験室で行った。トレーサガスシステムのポンプのスイッチを入れた後、inlet の CO₂ 濃度を約 5000ppm になるように調整し、inlet と outlet のチューブの流速を同じになるように調整し、モニタした。3way valve を切り替えて inlet と outlet の CO₂ 濃度を定常状態になるまで計測・保存した。実験は、1 試料につき少なくとも 3 回繰り返した。

2. 6 解析方法

定常法では、inlet の CO₂ 濃度 (CO_{2in})、outlet の CO₂

濃度(CO₂out)と箱内環境の濃度(CO₂e)を実測し、inletとoutletの流量Vも計測する。それらを用い、(2)を用いて換気率(VENT)を算出する。

$$VENT = V \times \frac{CO_2in - CO_2out}{CO_2out - CO_2e} \quad (2)$$

ここで、CO₂in : inlet の CO₂ 濃度 (ppm), CO₂out: outlet の CO₂ 濃度(ppm), CO₂e: ボックス内環境の CO₂ 濃度 (ppm), V: inlet と outlet でのチューブ内の流速 (l/min.).

3. 結果

3. 1 紙おむつとパンツの換気率(VENT)の比較

図3に著者らの定常法で計測し、算出した紙おむつやパンツの換気率(VENT)を示す。

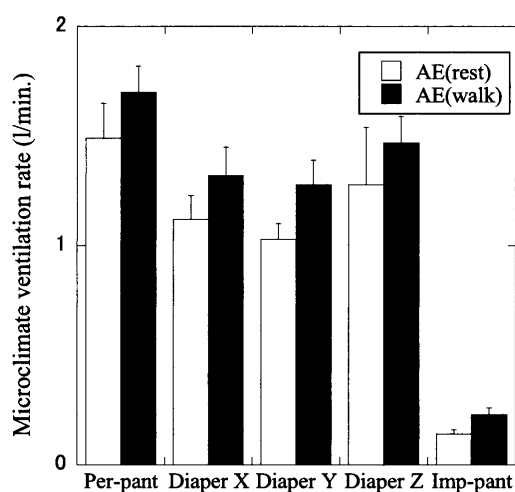


Fig.3 Overall microclimate ventilation rate of diapers and pants. Values are mean $\pm$ SE.

試料間の平均値の差の検定した結果を表2に示す。

Table 2 The difference of average value of VENT.

Unit:(l/min)

	Perp	Diaper X	Diaper Y	Diaper Z	impp
Perp	—	-0.38(*)	-0.44(*)	-0.22(*)	-1.41(*)
X	0.38(*)	—	-0.06(ns)	0.16(*)	-1.04(*)
Y	0.44(*)	0.06(ns)	—	0.22(*)	-0.97(*)
Z	0.22(*)	-0.16(*)	-0.22(*)	—	-1.19(*)
imp	1.41(*)	1.04(*)	0.97(*)	1.19(*)	—

Values : differences of mean, *:p<0.05 significant level
ns : not significant level.

試料 X,Y 間以外は 5%の有意確率で有意に試料間の有意差があった。

3. 2 歩行の換気率 (VENT) への影響

安静時と歩行時を比較した平均値の差の検定を行った結果を表3に示す。

Table 3 The walking effect on VENT. Unit:(l/min)

motion	N	AVG* ¹	SD* ²	t value	Df* ³	P* ⁴
rest	60	1.01	0.06	-2.03	118	0.045(*)
walk	60	1.20	0.07			

*1) average value, *2) standard deviation, *3)degrees of freedom, *4)provability (both sides), *:p<0.05

安静時と比較して歩行時には 5%の有意確率で有意に換気率 (VENT) が約 20%増加した。

3. 3 素材の通気抵抗の換気率 (VENT) への影響

図4に素材の通気抵抗と換気率 (VENT) との関係を示す。回帰直線も図中に示す。

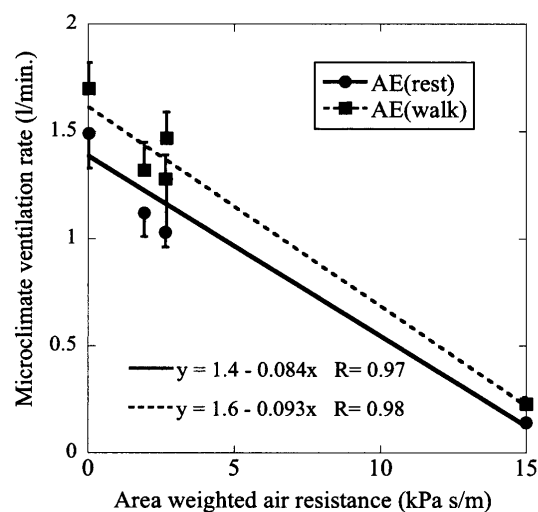


Fig.4 Relation between area weighted air resistance and the microclimate ventilation rate of diapers and pants

* For impermeable pant, as the air resistance of it could not be measured, guessed value is input.

図中の誤差線で標準偏差 (SD) を示す。図より通気抵抗が小さいほど換気率 (VENT) が大きい傾向がみられる。すなわち、通気性に比例して換気が大きくなる。回帰直線の傾きが歩行時の方が安静時よりも大きいため、通気性の換気への影響は歩行時により大きいことが示唆される。おむつの場合に換気直線から若干はずれる傾向が見られる。これは、おむつの場合、通気性だけでなく、開口部の大きさや衣服間隙のようなより複雑な衣服の構成要因が影響するためと考えられる。

3. 4 2つのトレーサガス法の比較

先行研究 (薩本ら、2008) で行った過渡法と本研究で行った定常法の結果を比較した。

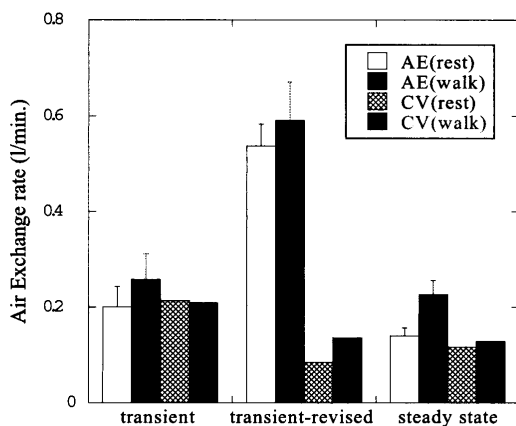


Fig.5. Comparison of two tracer gas method. For VENT, values are mean $\pm$ SE.

過渡法の計測から換気率 (VENT) を算出するためにはオムツ内容積が必要である(Berglund,1997)。同時計測は難しいため、3次元スキャン法で別途おむつの容積をおむつ着用時容積と裸体時の容積の差から求めた。オムツ自体の容積を含め、約 300cm³ となった。おむつの容積と時定数の逆数から換気率 (VENT) を算出した(Berglund, 1997)。過渡法では着衣時の再現性が悪かった。実験の度に構成要因が変化することが原因と考えられた。そこで過渡法 (revised) では、ポンプでオムツ内を強制換気しつつ、3次元網布でオムツ内3次元形状を固定し、着装状態の変化が生じにくいようにした。その結果、CV 値が下がり、再現性が向上したが、ポンプでの強制換気のため、換気率そのものが試料の同一条件で元の過渡法と比べ、かなり大きくなり、実際の着装状態と乖離してしまった。

本研究で新しく開発した実験装置で行った定常法の実験結果では、SD も CV 値も小さくなり、再現性が向上したことが分かった。

4. 考察

実験結果の素材間の比較で 5%の有意確率で紙おむつ X-Y 間以外はすべて有意差が見られ、通気パンツで最大、不通気パンツで最小の換気率となった。素材の通気性が換気率に影響することが分かったが、紙おむつでは通気抵抗と換気率の回帰直線から乖離することから、素材要因のみで決まるのではなく、開口部の開口条件や衣服間隙のような衣服の構成要因も影響することが示唆された。

歩行の影響は、本研究の歩行マネキンの歩行速度では (48steps/min) 安静時と比べて約 20%の換気率の増加となった。

著者らの先行研究(薩本ら,2008)での過渡法と本研究で行った定常法の2つのトレーサガス法の比較による

と本研究の定常法の方が、オムツ内の構成要因を代えることなく、再現性が向上した。

5. 結論

紙おむつを通しての熱水分移動にデザインや素材要因がおよぼす影響を定量できるトレーサガス法の定常法を用いた装置を開発した。この装置は安静時と動作時のオムツ内気候の換気量を評価できる。通気性が換気率に影響するが、支配するわけではなく、構成要因も寄与することがわかった。歩行動作により安静時よりも 20%換気量が増えた。著者らの先行研究で計測した過渡法による計測データと比較して再現性が高かった。

6. 文献

1. Berglund, L.G. and Akin, F. J., "Measurement of air exchange in diapers by tracer gas methods", TAPPI J., 80(9), 173-178 (1997)
2. Birnbaum, R. and Crockford, G. W., "Measurement of the clothing ventilation index", Applied Ergonomics, 9,194-200 (1978)
3. Crockford, G.W., M. Growder, and S.P. Prestidge, S.P., "A tracer gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates", Brit. J. Indust. Med. 29, 378-386 (1972)
4. Havenith, G. and Zhang, P., "Comparison of Different Tracer Gas Dilution Methods For The Determination of Clothing Vapour Resistance", EPSRC Report on Project GR/N10509/01 (2000)
5. Havenith, G. Ping Zhang, Kent Hatcher and Hein Daanen, "Comparison of two tracer gas dilution methods for the determination of clothing ventilation and of vapour resistance", submitted to ergonomics.
6. Satsumoto, Y., Takeuchi, M., Habu, C., Yoshizaki, A., Imamura, Y., Wada, M., Akaki, K. and Miyazawa, K., "Development of Device to evaluate the ventilation of diaper", Proceedings of Korea - Japan Joint Symposium on Human - Environment System, HES32 in Cheju, Korea, November. 2008

<連絡先>

著者名：薩本弥生

住 所：横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2

所 属：横浜国立大学教育人間科学部

E-mail アドレス：satumoto@ynu.ac.jp