

温熱的快適性を向上させた換気機構付きの革靴の開発

横浜国立大学 薩本弥生
(共同研究者) 桐蔭横浜大学 竹内正顯

The Development of Leather Shoes with Ventilation Mechanism Improving Thermal Comfort

by

Yayoi Satsumoto

*Faculty of Education and Human Sciences
Yokohama National University*

Masaaki Takeuchi

*Faculty of Culture and Sport Policy
Toin University of Yokohama*

ABSTRACT

The aim of study was to examine the effect of ventilation shoe which was made to improve thermal comfort of the foot. The ventilation shoe had the function to send off the air of the tip outside and to send the air of outside into the tip of a toe. The effect of the ventilation shoe was verified by the ventilation experiment by the tracer gas method. Moreover, it was verified by measuring the viable cell count after it had been put on continuously one week by subjective experiment. By water vapor transmission experiment of shoe in which a synthetic leather shoe was comparison with mesh type shoe, it was found that moisture transmission hardly occur for the synthetic leather shoe comparison with the mesh type shoe. By tracer gas method, the ventilation rate of ventilation shoe was compared with the dummy shoe and the mesh type shoe. It was clarified that the ventilation rate of ventilation shoe was about 40 percent improved

comparison with the dummy shoe while the mesh type shoe was 60 percent improved with the ventilation shoe. By measuring the viable cell count after week by subjective experiment, it was clarified that in the dummy shoe remarkably a lot of viable cell counts become insanitary easily from other parts. It was suppressed at the level that the bacterium in the tiptoe is the same as other parts in the ventilation shoe. It was suggested that the enforced ventilation by paving be effective while ventilating it to maintain hygiene from the above-mentioned result.

要 旨

足部の温熱的快適性を改善することを目的とし、指先に空気を送り込むとともに、指先の空気を送り出す機能を有する換気中敷き入りの換気靴を試作した。そして、その改善効果をトレーサガス法による換気量実験および被験者実験でフィールドでの連続着靴後の生菌数の計測により検証した。模擬足による靴の透湿性評価実験により合成皮革では、素材自体を通しての通気や透湿が起きないため、人体から放湿した水分が靴に溜まりこむ事が明らかになった。開発した換気中敷きが靴内の溜まりこんだ湿気の放湿に効果的であるかを検討するためにトレーサガス法により換気量を幾何形状は同じで換気機構のないダミー靴と比較した結果、換気中敷きにより換気量を4割増加できることが明らかになった。換気効果が連続着靴中の靴内の衛生状態を維持するのに効果的であるかを検討するために1週間の連続着靴後の生菌数を換気中敷き機構の有無で比較した。その結果、ダミー靴ではつま先部が他の部位よりも生菌数が顕著に多く、不衛生になりやすい事が明らかになった。換気靴ではつま先部の菌が他の部位と同じレベルに抑えられていた。以上の結果より、衛生状態を保つためには換気中敷きによる強制換気が効果的であることが明らかになった。

緒 言

日本人が靴着用の生活を始めてから約1世紀が経過し、生活時間中に靴を着用している時間が増加し、靴の履き心地、すなわち快適性が重視されるようになり、履いていて楽な靴、快適な靴の需要が高まりつつある。しかし、最近の厚底靴やミュールなどの流行のように若い女性を中心にデザイン性、ファッション性の高い靴ではなお、快適性は軽視されがちである。したがって、最近の靴に関する研究は、靴の形態的特性が歩行性能に及ぼす影響に関するものが多く見られる。しかし、靴の快適性に影響する要因でもう一方で重要なのは温熱的快適性である。

閉塞性の靴を着用した時、足はほぼ密閉状態になる。皮膚からは常に不感蒸散があり暑熱環境や運動時には発汗も生じ現代のようなストレス社会では足裏からのストレス性発汗量も多い。そのため、水分の除去が円滑に行われなければ、足に蒸れ感を生じ、足の衛生上また健康上にもさまざまな問題が生じると考えられる。特に高温多湿となる日本の夏季においては、“蒸れ”が大きな不快感をもたらす。したがって靴の換気に関する工夫は少なくない。しかし、現状では、多くの人々が換気は不十分と感じており、決定的な解決策が提案されていないのはもちろん、技術的な課題として問題点が明確になっている訳でもない。

そこで著者らはこれまでの研究で足部の快適性を保つことを目的とし、素材やフィット性の異なる靴の熱・水分移動性、歩行時の運動機能性について検討した¹⁻³⁾。トレッドミル上での4km/hr 歩行運動中のつま先部、土踏まず、甲の3か所の靴内温湿度の分布から高温高湿になり、最も蒸れやすい部位がつま先部で歩行によっても湿度低下が見られないことが観察された。また、土踏まず部では歩行中に顕著な湿度低下が見られたことから、ふいご作用による換気効果が高いことがわかった。土踏まず部のアーチに空気が貯まる空間があるために歩行時の踏み込みによる圧力で空気が押し出されて換気されたと考えられた。また、足囲に関して足にぴったり合ったもの(2E)と、少し広幅のもの(3E)、少し狭いもの(1E)の3種の靴で衣服内気候を比較したところサイズフィット性が良い小さいものほど、湿度低下が歩行時に見られた。確認のため、歩行時の足首の靴の開口部周りの8カ所での微風速を測定し、歩行によるふいご作用による換気量を推定した。その結果より測定結果から土踏まず部位の換気効果が大きいのは少し狭いもの(1E)であった³⁾。靴内と環境との差圧が大きくなるため、換気量が大きくなったと推測される。足に合うのはもちろん採寸に合ったもの(2E)で、換気効果の評価順位は寸法上のフィット感とはずれず。また、開口部付近の流速が換気量を反映するかどうかに関しては直接、換気量を計測して確かめる必要がある。

靴の温熱的快適性向上のためにはふいご作用を活用した放熱促進デザインが有効であるが、換気性能を客観評価するシステムは現状で規格化されていない。著者らは、すでにオムツの換気を計測するためにトレーサガス法(定常法)による換気量計測システムを開発し、現在、オムツ内の4箇所(甲、土踏まず、つま先)の計測が出来る装置が完成し、すでに論文にその成果はまとめている⁴⁾。

この装置の機構を靴計測用に応用し、トレーサガス法で靴の換気を計測するシステムを構築途上である。平均換気量ではフィット性が高いものほど換気量が大きいことが明らかになった⁵⁾。現状では局所の評価が未解決であるが、局所の換気計測を実測できるシステムは現状ではほとんど無いため、本研究の計測技術は新規性があると考えられる。

また、著者らは土踏まず部で観察されるふいご作用による換気効果を増幅させるために逆流防止弁を設けて逆流しないようにしたチューブで外気を取り入れて靴中底に貯めこみ歩行による踏み込みにより中敷き内の空気が靴内に吐き出され換気を促進するような機構を盛り込んだ換気中敷きを試作した。更なる換気性能向上に向け、吸気と換気の流路を独立にした二層中敷きを考案、特許出願を行なっている(特開2008-16174参照⁶⁾)。現在、一般の革靴の靴内気候は温熱的に快適な状況には無く、特に趾先部分が特に蒸れが生じていた¹⁾。一方商品化されている流入経路のみをもつ革靴では換気機能は非常に限定的であり、最も重要な“趾つま先”部の換気にはほとんど効果がなかった⁷⁾。

筆者らの先行研究では最適サイズの市販靴に換気中敷きを入れるとタイトになりすぎ身体適合性、運動適合性が悪いため、最適サイズよりもやや大きめの靴に開発した換気中敷きを入れて実験したため、運動機能性の点からは問題が残った。すなわち、換気機構を盛り込みつつ、歩行性能との両立を図ることが未解決の課題であった⁸⁾。

そこで、本研究では靴の製作段階で換気中敷きを靴内に導入し、歩行のために最適な靴内空間が確保されるような換気靴を靴メーカーの協力で試作した。そして、その換気性能をトレーサガス法を用いた被験者実験により検証し、さらに被験者実験でフィールドでの連続着靴後の

生菌数の計測により衛生状態の維持にも貢献するかを検証したので報告する。

1. 研究方法

1.1 実験靴

特許出願した換気中敷きの機構を図1に示す。換気機能を有する換気中敷きの機構を盛り込んだ換気靴を靴メーカー（アキレス株式会社）の協力で試作した。図では趾先に空気を送り込む導入経路とともに、趾先の空気を外部に送り出す排出経路を上下に2層に重ねて表記しているが、中敷を薄くするため導入経路と排出経路を各々中敷の後部と前部に分離した。換気機能比較のため換気機構が無く同じ構造の中敷きを入れ込んだ靴（以下 dummy（靴）と略す）も試作した。アッパー部には合成皮革を用いた。

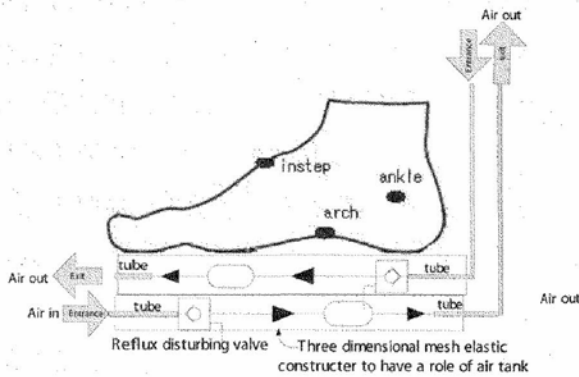


図1 換気中敷きの基本構造

試作靴に用いた合成皮革（PVCレザー / ポリ塩化ビニル）の諸元を表1に示す。

表1 合成皮革の素材物性

測定項目		測定値	[単位]
引張強度	タテ	575	N/3cm
	ヨコ	507	N/3cm
伸び率	タテ	14	%
	ヨコ	18	%
引裂強度	タテ	63	N
	ヨコ	85	N
破裂強度		1.9	MPa

実測はしていないが、合成皮革は通気・透湿性はない。今回の試作にあたり換気靴に組み込

んだ換気中敷きは、空気が淀みやすい、つま先部からの空気の出入りを強制的に起こすため前部を排出経路、後部を外気導入経路とする2層構造にして厚みを抑えるように工夫した。中敷きの構成模式図を図2に示す。

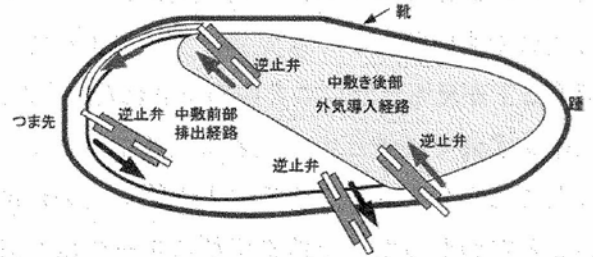


図2 換気中敷きの構成

比較のため同社が開発し市販している素材自体の通気性が高いメッシュタイプをアッパー部に用いた靴も含め3種を実験に用いた。各靴の外観を図3に示す。

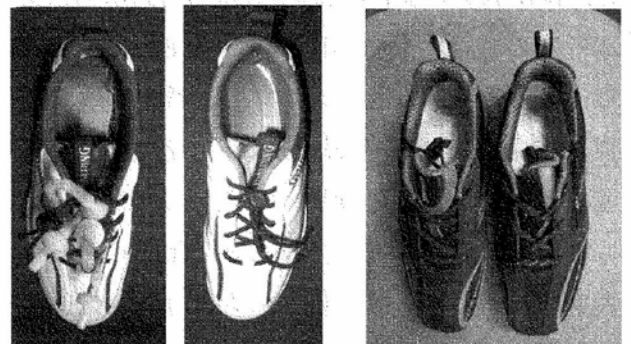


図3 換気計測に用いた3種の靴の外観

1.2 模擬足による靴の透湿性能抵抗測定

筆者らは靴の透湿性能を評価するために水蒸気が透過する模擬足装置を開発し、簡便にかつ再現性よく靴形状のまま、靴の透湿性を評価できるシステムを構築している⁹⁾。図4に模擬足透湿性計測装置の概要を示す。これを用いてメッシュ靴とダミー靴の透湿性を評価した。

模擬足はゴアテックスラミネートの布でできている。模擬足に靴を履かせ、チューブに2方向

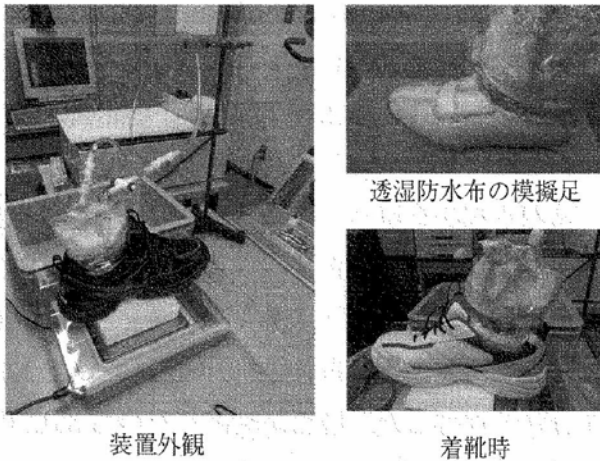


図4a 透湿性能を評価する模擬足装置写真

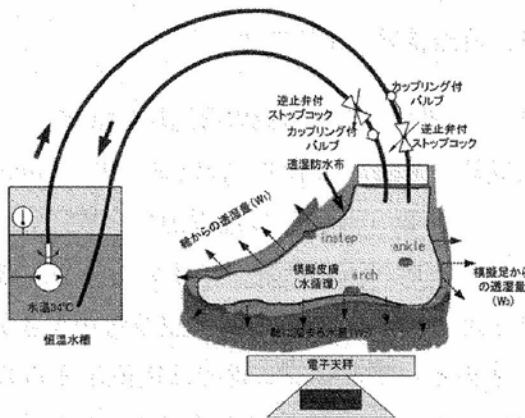


図4b 靴の透湿性能を評価する模擬足装置

ストップコック（逆止弁付）とワンタッチで着脱可能なカップリング付きのバルブを取り付け恒温水槽で一定温度に模擬足が温まった後、チューブを恒温水槽から切り離し、20分間電子天秤に着靴模擬足を載せ、5秒ごとに質量を連続計測する。質量変化速度を靴の透湿速度（ W_1 ）とする。靴の実験前の乾燥質量と実験直後の靴のみの質量を計測し、1時間当たりに換算した値を W_2 とする。 W_1 と W_2 を足し合わせた質量を模擬足からの放湿速度（ W_3 ）とする。

$$W_3 = W_1 + W_2 \dots \dots \dots (1)$$

W_1 : 靴の透湿速度 (g/hr)

W_2 : 靴に溜まる速度 (g/hr)

W_3 : 模擬足からの放湿速度 (g/hr)

1.3 被験者

換気性能および連続着靴後の生菌数を評価するために被験者実験を行った。被験者は男女各1名である。生菌数評価は被験者Aのみ実施した。被験者の諸元を表2に示す。

表2 被験者の諸元

被験者	最適サイズ (mm)	足長 (mm)	足囲 (mm)
A (女)	24.5 2E	Right236 Left237	Right237 Left240
B (男)	26.5 2E	Right255 Left257	Right258 Left259

1.4 トレーサガス法による換気量測定

図5に示すようなトレーサガス法（定常法）を用いて靴の換気性能を評価した。

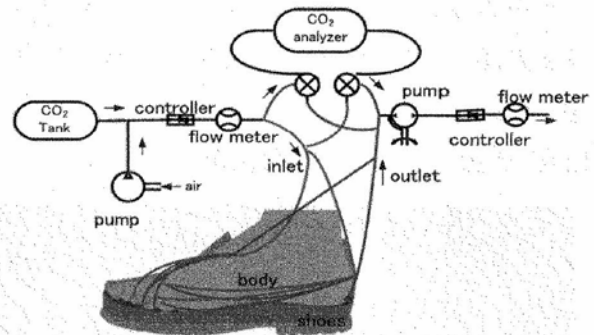


図5 トレーサガス法の実験装置模式図

トレーサガスとして炭酸ガス（99.95%の純度）を用い、マスフローコントローラー兼流量計（山武会社製、型式：MQV）により外気とミックスしたガスを一定炭酸ガス濃度でガスチューブを通じて靴内に導入する。靴内で均等に導入されるようにチューブは分岐させた。分割チューブの数は多い方が導入する炭酸ガスが均等になるが多すぎると靴の側面の面積が小さいためチューブが靴内に収まらず、狭い空隙に、チューブが多すぎると靴内で空気が滞留することが明らかになったため⁵⁾、分岐数は導入経路に4分岐とした。内訳は外側部2か所、内側部1か所、足裏部1か所である。サージカルテープで身体

に留めつける。靴内に挿入する部分のチューブはできる限り靴内空隙を乱さないように均等分布させたいためチューブの径は外径2.0mm、内径1.0mmの硬質チューブを用いた。また、出口から1cm間隔で片側16か所の孔をチューブにドリルで開けて靴内でさらに均等に炭酸ガスが分布するように工夫した。

1.5 連続着靴後の生菌数の測定

換気中敷きの換気効果が連続着靴後の靴中敷表面の衛生状態に影響するかを検討することを目的として、連続着靴後の生菌数の測定を以下の実験方法で実施した。

1.5.1 実験手順

1.5.1.1 試料の調整と靴への装着

木綿布2cm×2cmにカットしたものを中敷のつま先部・中央部・踵部の3箇所に縫い付けた(図6参照)。この中敷きをアルミホイルで覆い、120℃で20分間、高圧蒸気滅菌を行った。

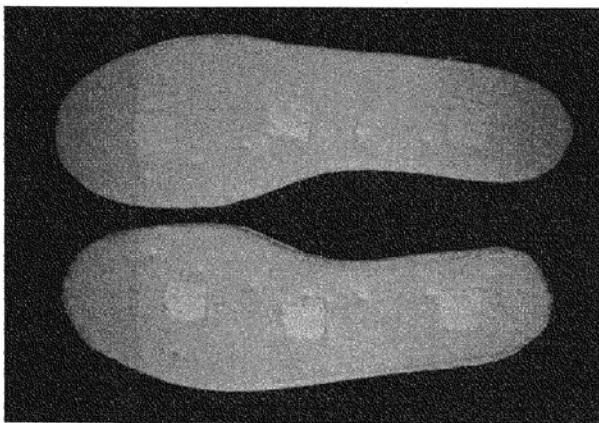


図6 生菌数の計測のために挿入した中敷

上記滅菌処理した中敷を靴に装着後、1週間、被験者は右足を換気靴、左足をダミー靴で(図3参照)表3に示すスケジュールで連続して合計6日間(1日平均10時間35分)着靴した後に生菌数の測定を行った。

表3 連続着靴測定の実験スケジュール

3日間着靴	1日休み	3日間着靴
-------	------	-------

1.5.1.2 生菌数の測定

試料木綿布を無菌的な操作を用いて滅菌ヴァイアル瓶に入れ、滅菌生理食塩水9mlを加え、攪拌した。

希釈平板法を用いて1gあたりの生菌数を測定した。すなわち、滅菌生理食塩水9mlを用いて段階希釈した菌液を各1mlずつシャーレに接種し、50℃に調整したPlate-Count-Agar(MERCK)を分注・攪拌した。培地が凝固したのち35℃で48時間培養を行い、各希釈段階毎の生育コロニー数をカウントし、1gあたりの菌数に換算した。

2. 実験結果および考察

2.1 模擬足による靴の透湿性能抵抗

実験結果を図7に示す。合成皮革靴(dummy)とメッシュ靴(mesh)の透湿速度(W_1)は2.3倍メッシュ靴の方が透湿しやすい。一方、靴に溜まる速度(W_2)は1.8倍合成皮革靴が大きかった。結果としてメッシュ靴では模擬足からの放湿速度(W_3)の58%が靴を透湿できたが、合成皮革は通気性・透湿性ともないため、靴の中に湿気が溜まり込み20%しか透湿できなかった。すなわち、合成皮革靴では素材以外の方法で靴外に水分を排出する方策が必要であることが明

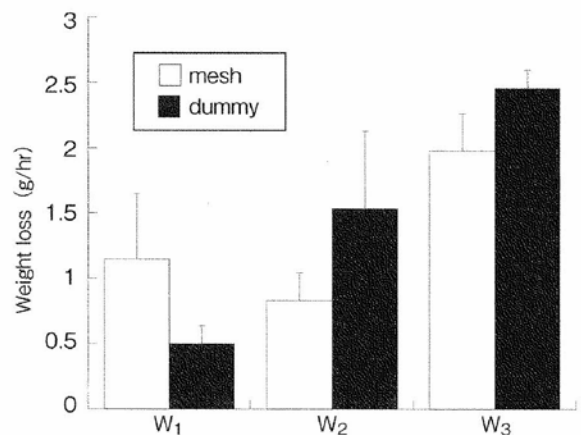


図7 靴の質量変化

らかとなった。

2.2 トレーサガス法による換気量測定

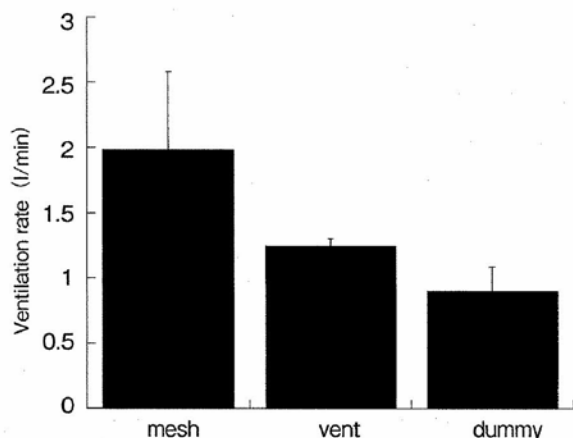


図8 靴の種類による換気量の実験結果比較

実験結果を図8に示す。素材の通気性が大きいメッシュは換気靴の6割増の換気量であった。素材の通気性がない合成皮革同士で比較すると換気靴ではダミー靴に比べ約4割換気量が増加し、蒸れを緩和できる可能性が示唆された。

2.3 連続着靴後の生菌数

連続着靴後の靴内には生菌数の計測結果を表4

表4 生菌数の靴と部位による比較

部 位	dummy shoe	vent shoe
つま先部	1.6×10^4	2.0×10^2
中央部	1.0×10^2	1.0×10^2
踵 部	1.0×10^2	1.0×10^2

に示す。

実験の結果から、比較に用いた dummy 靴のつま先部の菌数が他の部位よりも2ケタ大きく菌数が多く不衛生になりやすいことが明らかとなった。一方、換気靴ではつま先部の菌数は他の部位と同じ程度で菌の増殖が抑制されていることが明らかになった。中央部や踵部ではどちらでも全般に菌数は少なく換気中敷きの効果は見られなかった。

総 括

模擬足による透湿性評価実験により合成皮革では、素材自体を通しての通気や透湿が期待できないため、人体から放湿した汗や不感蒸散に

よる水分が靴に溜まりこむ事が明らかになった。

靴に溜まりこむ水分を靴外に排出するために開発した換気中敷きが効果的であるかを検討するためにトレーサガス法により換気量を幾何形状は同じで換気機構のないダミー靴と比較した結果、換気中敷きを入れることで換気量を4割増加できることが明らかになった。

換気の効果連続着靴中の靴内の衛生状態を維持するのに効果的であるかを検討するために靴の中敷きに滅菌した試料を縫い付け、1週間の連続着靴後の生菌数を換気中敷きの有無で比較した結果、ダミー靴ではつま先部が他の部位よりも生菌数が顕著に多く、不衛生になりやすい事が明らかになった。換気靴ではつま先部の菌が他の部位と同じレベルに抑えられていた。衛生状態を保つために換気中敷きによる強制換気が効果的であることが明らかになった。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に対し助成いただいた公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究を実施するにあたり、試験靴の試作に協力いただいたアキレス株式会社の商品企画開発部技術機能開発課の捧逸磨氏、柳川清美氏を始めスタッフの皆様に感謝いたします。

生菌数の計測でご協力いただいた横浜国立大学教育人間科学部准教授の物部博文氏に感謝の意を表します。実験および研究の遂行に貢献いただいた横浜国立大学、教育学研究科大学院・薩本研究室所属の劉雨さんに感謝いたします。

文 献

- 1) 薩本弥生, 竹内正顕, 靴の熱・水分伝達性能への靴の材料特性や形態特性の影響と温熱的快適性, 科学研究費補助金基盤研究(B) (2) 報告書(2005)
- 2) 薩本弥生, 朴善花, 竹内正顕, 革靴の素材・フィット性が熱・水分移動性に及ぼす影響革靴の素材・

- フィット性が熱・水分移動性に及ぼす影響, 第 16 回繊維連合研究発表会要旨集(2005)
- 3) Satsumoto Y., Shanhua P., Takeuchi M., The Effect of Size Factor and Material Property of Leather Shoes on Heat and Water Vapor Transfer relating to Shoes Microclimate, *Proceedings of 8th International conference*, (2006)
 - 4) Satsumoto Y., Havenith. G., Evaluation of overall and local ventilation in diapers, *Textile Research Journal*, 80, No.17, 1859-1871 (2010)
 - 5) Satsumoto Y., Takeuchi M. and Havenith G., The Effect of Size Factor of Leather Shoes on Ventilation Rate in Shoes, *Proceedings of 4th International conference of ICHES*, (2011)
 - 6) 特許出願, 2006-354871 (2006)
 - 7) 薩本弥生, 竹内正顯, 靴内換気の工夫, 第 44 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (2007-5)
 - 8) 薩本弥生, 柳瀬貴之, 竹内正顯, 換気中敷きによる革靴の靴内換気の促進, 繊維学会年次大会要旨集(2007)
 - 9) 薩本弥生, 模擬足による革靴の透湿性を計測する装置の開発, 第 34 回人間-生活環境系シンポジウム要旨集(2010)