

# メガネ型デバイスを用いた 経皮水分蒸散量の常時測定システム

田中洸平<sup>1</sup> 寺田 努<sup>1,2</sup> 宇山彩香<sup>3</sup> 杉野哲造<sup>3</sup> 塚本昌彦<sup>1</sup>

**概要:** 皮膚の健康に保つためには、皮膚の状態を知り適切な対処を行うことが重要である。皮膚状態の診断には経皮水分蒸散量などの定量的な指標が用いられるが、測定には高価な機器が必要で、また定常的な測定はできない。定常的に測定を行い皮膚の状態を悪化させる原因がわかれば、皮膚の健康維持を支援できる。そこで本研究では、メガネ型デバイスに2つの温度・湿度センサを装着し、皮膚状態の評価指標である経皮水分蒸散量の常時測定を行う。2点の水蒸気量の差より、Fickの法則を用いて経皮水分蒸散量を算出できる。人工気象室を用い Tewameter TM300 と提案デバイスの比較実験を行い、相関が示された。また、洗顔後無処置と化粧水・乳液使用の場合での違いを提案デバイスで測定し、化粧水・乳液使用の場合で、洗顔直後の経皮蒸散量が増加することが示唆された。

## 1. はじめに

皮膚を美しく保つことは健康な生活を送る上で重要であり、そのためには皮膚の状態を正常に保つ必要がある。しかし、多くの人は皮膚を正常な状態に保つことが困難と感じ、何らかの悩みを抱えている。ヤーマン株式会社の調査では、9割以上の方が肌の悩みがあると答えた [1]。

皮膚が正常な状態では、皮脂腺から分泌される皮脂などが皮脂膜を形成し水分蒸散を防ぎ皮膚のバリア機能が働く。またバリア機能は、水や細菌などの侵入を防ぎ、逆に体内からの水分の喪失も防ぐ [2]。しかし、バリア機能は乾燥した外気や傷などが原因で破壊され、機能が低下し細菌などが侵入しやすくなる [3]。その結果、湿疹や蕁麻疹などの肌荒れが発生する場合があります、さらなるバリア機能の低下をもたらす悪循環につながるおそれがある [4]。肌荒れといった皮膚症状の治療や予防をするためには、肌の状態を定量的に測定し保湿などの適切な対処を行うことが必要である。

従来は皮膚の状態の診断として、はりやかさつき、色による経験的な指標が行われていたが、最近では角質水分量や経皮水分蒸散量などの定量的な指標が用いられる [5]。角質水分量は角質層に含まれる水分量のことである。経皮水

分蒸散量は体内から無自覚のうちに角質層を通じて揮散する水分量のことであり、汗とは区別される。肌荒れなどによりバリア機能が損なわれた皮膚では正常な皮膚に比べ、角質水分量が少なく、経皮水分蒸散量は大きくなるため、角質水分量や経皮水分蒸散量は皮膚バリア機能を反映する指標として用いられる [6]。

現在の皮膚の診断には、専用の機器や専門家が必要になるため、場所や時間に制限がある。また皮膚の診断を受けることに対して抵抗をもつ人も多い [7]。皮膚は環境から様々な影響を受けるため、現在の測定方法では皮膚の状態が悪化した原因を特定することは困難である。

そこで本研究では、メガネ型デバイスを用いた経皮水分蒸散量の常時測定システムを提案する。これは皮膚バリア機能の指標である経皮水分蒸散量のライフログを取得することにより、バリア機能が低下する原因となる環境変化を特定し、環境の変化を軽減させるような改善方法を提案するシステムを実現することが目的である。

## 2. 関連研究

### 2.1 環境が皮膚に及ぼすの影響

皮膚は環境と生体の境界であり環境の変化に敏感に反応する。皮膚に影響を及ぼす環境の変化には、温度や湿度などの気象要素がある。藤田らは人工気象室を用いた実験で、皮膚は温度・湿度・飽差といった気象要素の影響を受け、水分量や経皮水分蒸散量が変化すること示した [8]。水分量は温度が高いほど多いこと、蒸散量は温度が高いほど多く、湿度が高いほど少なくなことを示した。また温度・

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University  
<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきかけ  
Japan Science and Technology Agency, PRESTO  
<sup>3</sup> 株式会社桃谷順天館  
Momotani Juntenkan Ltd.

湿度から算出される飽差と相関関係があり、飽差が多いほど蒸散量が多くなった。つまり、乾燥した環境であるほど蒸散量が増加する傾向を示した。しかし、化粧や行動などの気象要素以外の影響を受ける実環境で行った実験では顕著な結果は出ず、実環境での気象要素の影響を明らかにする必要性を述べた。化粧や行動などの気象要素以外の影響を受ける実環境における、気象要素の皮膚への影響は明らかにされていない。

また、化粧品の評価において環境からの影響をどの程度軽減できるかは化粧品の効果の指標となるため、化粧の影響を数値化することも望まれる。実際に、他社との差別化などを目的とした化粧品評価を受託する企業もある [9]。

皮膚は温度・湿度など短期的要因だけでなく、季節など長期的要因の影響も受ける。岡田らは、角質水分量・蒸散量は、高温高湿の夏季に大きくなり、低温低湿の冬季は小さくなり長期的要因の影響を受けやすい [10]。また、冬季に室温を夏季と同一の 25℃ に設定すると、蒸散量が上昇することを確認し、蒸散量は、室内環境の変化に即時的に反応することを示した。

櫻井らはエアコン暖房室と床暖房室において、温度・湿度を各 3 条件設定し、皮膚水分量などの測定を行った [11]。皮膚水分量は温度・湿度が高くなるほど増加する一方、エアコンによる気流速度が大きいほど減少することが確認した。被験者が少し暖かいと感じる 24℃ ではエアコンの気流速度が大きくなることによって水分量が減少することを示した。この結果より、エアコン暖房においては気流による乾燥を考慮する必要がある。

いずれの論文でも、環境から受ける影響には個人差があることを述べている。個人の皮膚状態を診断し、皮膚状態を改善させるためには、受けやすい影響を知る必要がある。本研究では、皮膚の状態が変化した箇所を見つけ、個人が影響を受けやすい要因を特定し、皮膚の状態を改善すること、また化粧による影響を数値化することを目指す。

## 2.2 皮膚状態の測定技術

角質水分量の測定には Corneometer CM825 [12] や SKICON-200EX [13] が用いられ、水分量を静電容量として計測している。

経皮水分蒸散量の測定は密閉式のプローブを測定部位にあて測定する閉鎖系と、中央の開いた円筒形のチャンバーを測定部位にあて測定する開放系があり、近年では小さく待ち時間なしで連続した測定が可能な Tewameter TM300 [14] などの開放系の測定器が用いられることが多い。Tewameter TM300 は大きく持ち運びができないため、実環境での常時測定には不向きである。

増田らは楕形電極を用いて角質水分量と経皮水分蒸散量の同時計測可能なデバイスを作成した [15]。蒸散量では既存のデバイスとの相関が見られたが、水分量では相関が見

られなかったが、簡便に皮膚の状態を把握できる可能性を示した。しかし、皮膚を覆う測定器であるため、常時測定は可能ではない。

経皮水分蒸散は角層から揮散する水分であり、汗は汗腺から分泌される水分で両者は異なるが、どちらも同じ法則に従い拡散するため、発汗で用いられる仕組みを蒸散量に応用できる。

坂口らは常時測定が可能な光学素子を用いた発汗計 SKN-2000 を開発し、従来の発汗計と比較し応答特性が向上し、ダイナミックレンジが 2 倍となった [16]。しかし、坂口らの発汗計ではチャンバーは小型であるが、空気ポンプによる換気が必要であり、持ち運びが困難である。Ogai らは温度・湿度センサ、バッテリー駆動のデータロガー、シリカゲルを備えたシリンダで構成されたデバイスを作成した [17]。湿度の変化から発汗による水蒸気を検知し、水蒸気をシリカゲルで吸着させることにより発汗の連続記録を可能にした。SKN-2000 や Ogai らのデバイスは密閉型であり、環境の影響を受けることがないため、環境の影響の調査には使用することができない。また経皮水分蒸散量は発汗と比較し小さく、換気やシリカゲルの影響などを考慮する必要がある。Salvo らは発汗量のリアルタイム測定可能な開放型のチャンバーを用いたウェアラブルセンサを開発した [18]。開放型であり環境の影響を遮断することがなく、また連続測定が可能である。本研究では、このデバイスの構造を参考とした。Salvo らは発汗量に着目し、運動を行うことで発汗量を変化させ実験を行ったが、本研究では経皮水分蒸散量の測定を目的にするため、実験では経皮水分蒸散量に適した条件設定を必要がある。また、Salvo らのデバイスはマジックテープで固定されているが、本研究では顔の経皮水分蒸散量を測定するため、皮膚を覆うことなく、日常装着していても不自然でないデバイスにする必要がある。

本研究では、環境から受ける影響を調査することが目的であるため、環境からの影響を遮ることのない開放型で日常での常時測定可能なメガネ型デバイスを目指す。

## 3. 提案システム

提案するデバイスを図 1、装着図を図 2 に示す。デバイスは温湿度センサ (AM2322) 3 個、紫外線センサ (G5842, G6262) 2 個、Arduino Nano で構成されている。デバイスは常時測定に適したメガネ型を採用し、Arduino Nano に接続した SD カードにデータを記録する。また、ユーザの見た目を損わない社会性を考慮し測定部位はこめかみにした。図 3 に示すように、アクリル製のチャンバー内部に 2 個の温湿度センサを 8mm 間隔で配置し、チャンバーと測定部位が接触するようにチャンバーをメガネに接着した。こめかみから蒸発した水分は、チャンバーを通り拡散に関する Fick の法則に従い空気中に拡散する。まず、Fick の法則を適用するために、センサの場所での水蒸気量を算

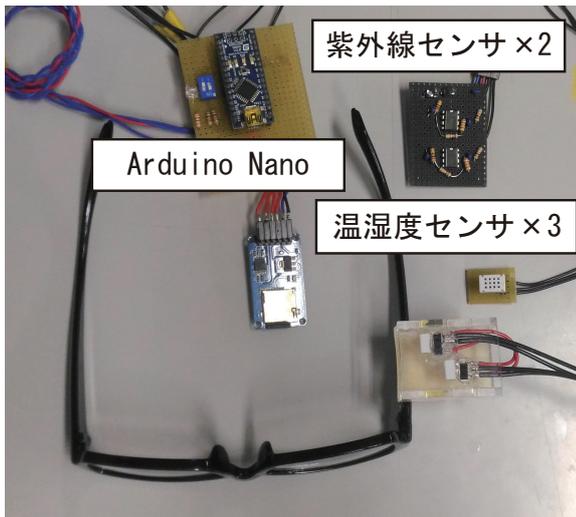


図 1 デバイス

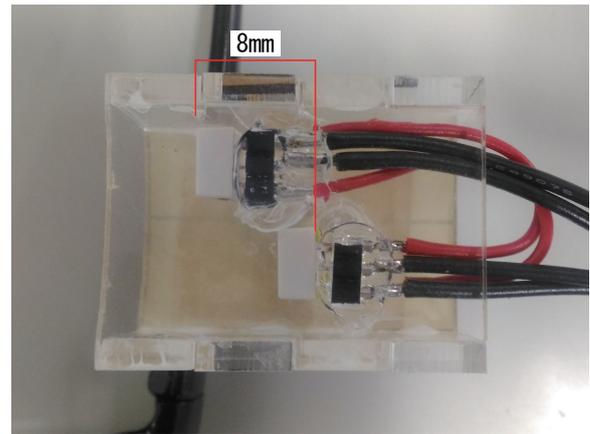


図 3 チャンバー



図 2 デバイス装着図

出する。T: 温度 (°C), RH: 湿度 (%) とすると、水蒸気量  $\rho w [g/m^3]$  は

$$\rho w = 217 * 6.1078 * 10^{\frac{7.5T}{T+237.3}} * \frac{1}{T + 273.15} * \frac{RH}{100}$$

である。2 個の温湿度センサの位置での水蒸気量を計算し、それらの差を  $\Delta [g/m^3]$  と定義する。Fick の法則より、経皮水分蒸散量  $J [g/(m^2 \cdot h)]$  は

$$J = -D \frac{\Delta}{dx}$$

となる。D は拡散係数であり、dx はセンサの間隔である。また、1 個の温湿度センサは環境の温湿度を測定、紫外線センサは環境の紫外線量・ブルーライト量を測定し、気象要素と経皮水分蒸散量の関係を調べる。

## 4. 評価実験

実環境における実験に先立ち実験室環境において提案デ

バイスと既存デバイスで測定したデータに相関があるかを調査する必要がある。以下で行う評価実験 1 では既存デバイスで測定した経皮水分蒸散量・角質水分量との相関を調査を行う。評価実験 2 では評価実験 1 で相関が確認された経皮水分蒸散量に限定し、測定環境数・被験者を増やし提案デバイスとの相関を調査した。また、提案デバイスのデータから経皮水分蒸散量を算出する変換式を提案する。

### 4.1 評価実験 1

#### 4.1.1 実験方法

予備実験では、経皮水分蒸散量・角質水分量と提案デバイスの  $\Delta$  に相関があるかを調査した。

人工気象室を用い、(温度 (°C), 湿度 (%))=(25, 65), (25, 50), (25, 40), (20, 65) の 4 通りの条件で実験を行った。それぞれの条件で入室後 10 分間で体を慣らし測定を行った。頬とこめかみの蒸散量、水分量、こめかみの提案デバイスの  $\Delta$  の測定した。蒸散量は Tewameter TM300、水分量は Corneometer CM825 とカネボウ社製肌水分センサ [20] を使用した。カネボウ社製肌水分センサはスマートフォンのイヤホンジャックに装着し肌水分を計測できるデバイスであり、提案デバイスと並行して使用することを考慮し、測定項目に加えた。被験者は 20 代の男女 2 名 (A, B) である。

#### 4.1.2 実験結果

温度 25 °C における被験者 A, B の  $\Delta$  と湿度・蒸散量・水分量 (CM825)・水分量 (カネボウ) の相関係数を表 1 に示す。A の  $\Delta$  との相関係数は相関係数、湿度: -0.95, こめかみの蒸散量: 1.00, 頬の水分量 (CM825): -0.97, こめかみの水分量 (カネボウ): 0.96 で有意な相関がみられた。B の  $\Delta$  との相関係数は相関係数、湿度: -0.92, こめかみの水分量 (カネボウ): 0.92 で有意な相関がみられたこめかみの蒸散量と正の相関があり、湿度との負の相関があることは、乾燥しているほど蒸散量が大きくなるという現象を提案デバイスで確認できたことを意味する。 $\Delta$  と水分量 (CM825) は負の相関がある一方、水分量 (カネボウ) は正の相関があ

表 1 被験者 A, B の  $\Delta$  と各データとの相関 (25℃)

被験者	湿度	蒸散量		水分量 (CM825)		水分量 (カネボウ)	
		頬	こめかみ	頬	こめかみ	頬	こめかみ
A	-0.95	0.59	1.00	-0.97	-0.85	N/A	0.96
B	-0.92	0.85	0.88	-0.84	-0.82	0.62	0.92

表 2 被験者 B の  $\Delta$  と各データとの相関

被験者	湿度	蒸散量	
		頬	こめかみ
B	0.52	-0.21	0.00
C	0.37	-0.43	0.30
D	-0.79	0.62	0.05

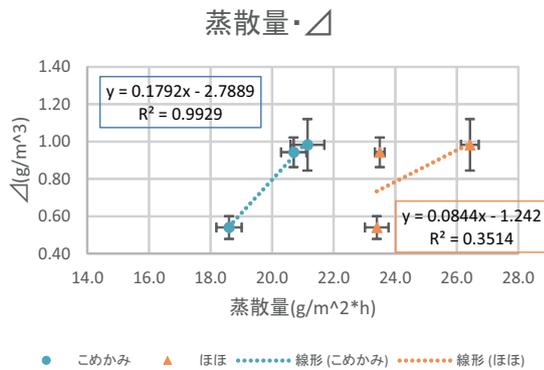


図 4 被験者 A の蒸散量と  $\Delta$  の関係

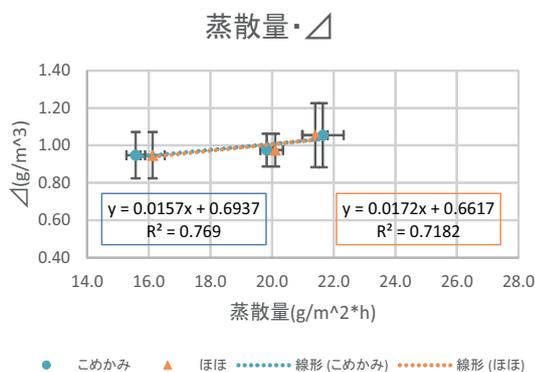


図 5 被験者 B の蒸散量と  $\Delta$  の関係

る。湿度との関係を調べると、水分量 (CM825) と正の相関がある一方、水分量 (カネボウ) と負の相関がある。乾燥しているほど水分量が小さくなるという知見より、正の相関を示すことが予想されるため、水分量 (カネボウ) の測定は見直す必要がある。

実験で得られた被験者 A, B の蒸散量と  $\Delta$  の関係をそれぞれ図 4 と図 5 に示す。図 4 より、被験者 A の  $\Delta$  との相関係数は、こめかみの蒸散量: 1.00 で比例関係がみられ、図 5 より、被験者 B の  $\Delta$  との相関係数は、こめかみ: 0.88, 頬の蒸散量は相関関数: 0.85 の比例関係がみられる。

## 4.2 評価実験 2

### 4.2.1 実験方法

実験では、経皮水分蒸散量と提案デバイスの  $\Delta$  に関係があるかを調査した。人工気象室を用い、温度 (℃)=26, 湿度 (%)=60, 55, 50, 45, 40, 45, 50 の 7 通りの条件で実験を行った。実験では 60, 55, 50% を午前に行い、休憩後、午後 45%~50% の測定を行った。それぞれの条件で入室後 10

分間で体を慣らし測定を行った。頬とこめかみの蒸散量、水分量、こめかみの提案デバイスの  $\Delta$  の測定した。蒸散量は Tewameter TM300, 水分量は SKICON-200EX-USB とカネボウ社製肌水分センサを使用した。被験者は 20 代の女性 3 名 (B, C, D) である。

### 4.2.2 実験結果

被験者 B, C, D の  $\Delta$  と湿度・蒸散量を表 2 に示す。実験 1 と比較し相関が低下した原因は、湿度変化の値が小さく、蒸散量の変化が小さいためと考えられる。

そこで  $\Delta$  から蒸散量への変換式を考えた。ここで被験者 B のデータはこめかみの蒸散量との相関が悪かったため除外した。Fick の法則、被験者 C, D それぞれの  $\Delta$  とこめかみの蒸散量から算出した近似曲線 (C),(D) の 3 つの変換式を用いて  $\Delta$  を変換し、Bland-Altman 分析を行った。C の蒸散量と近似直線 (D) から予想した蒸散量の分析を図 6, C と Fick の法則から予想した蒸散量の分析を図 7, D と近似直線 (C) から予想した蒸散量の分析を図 8, D と Fick の法則から予想した蒸散量の分析を図 9 に示す。図 6 には加算誤差と比例誤差が見られる。C の蒸散量は 15.6~18.3 であるのに対して、近似曲線 (D) から予想した蒸散量は 23.8~23.9 と範囲が小さいため近似曲線 (D) は補正の必要がある。図 7 は加算誤差が見られるが (Average, Difference)=(19.0, -5.5) の外れ値を除くと、標準偏差が 0.71 になり、Fick の法則から蒸散量が推定できる。

図 8 には加算誤差と比例誤差が見られる。また、図 9 は標準偏差が 2.25 と大きい。D の蒸散量の標準偏差が 1.23 と小さいため、予想が正確にならないと思われる。

今回の実験では、いずれの被験者も蒸散量の変化量が小さくまた、こめかみの蒸散量と湿度の相関が弱く、理想的な測定結果でなかった。蒸散量との提案デバイスの  $\Delta$  との関係を調べるにあたり、蒸散量を下げるテープストリッピングやオレイン酸塗布などが必要と思われる。

## 5. 実環境における実験

### 5.1 皮膚バリア低下による影響

#### 5.1.1 実験方法

セロハンテープなどを用いて皮膚から角質層を取り除くテープストリッピングを行うと皮膚のバリア機能が低下し経皮水分蒸散量が大きくなる [19]。実験では、傷や乾燥が原因で皮膚バリアが損なわれる場面を想定し、提案デバイ

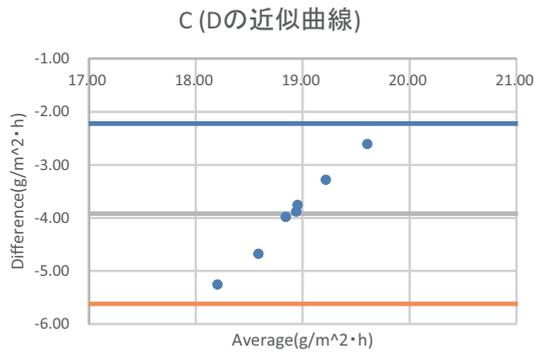


図 6 C の蒸散量と D の近似曲線から予想した蒸散量  
Bland-Altman グラフ

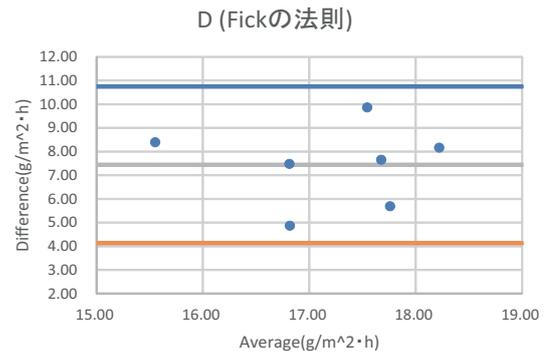


図 9 D の蒸散量と Fick の法則から予想した蒸散量  
Bland-Altman グラフ

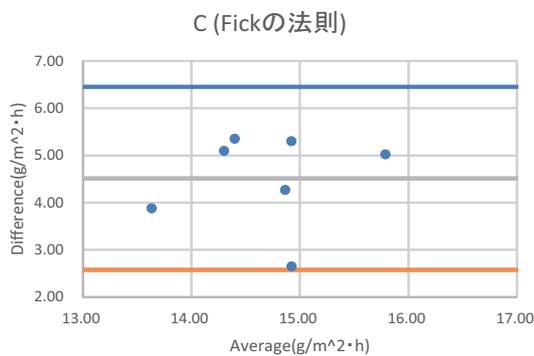


図 7 C の蒸散量と Fick の法則から予想した蒸散量  
Bland-Altman グラフ

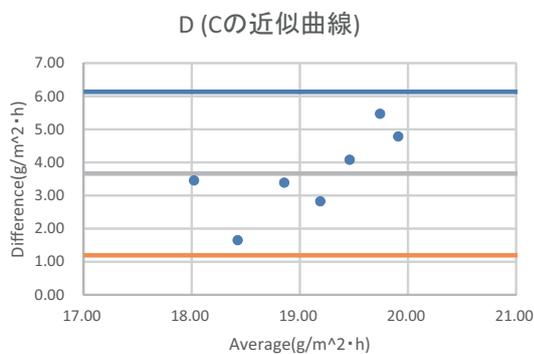


図 8 D の蒸散量と C の近似曲線から予想した蒸散量  
Bland-Altman グラフ

スを用いてテープストリッピング前後で  $\Delta$  の値が変化するか、また皮膚バリア機能の低下が確認できるかを調査した。

被験者は温度：22℃、湿度：38～40%の部屋で測定部位を露出し、10分間安静にした状態で待機させた後に測定を行った。測定時間は2分、測定間隔を30秒空け5回の測定を行った。測定と測定の間ではデバイスを着脱した。次にテープストリッピングを行い、同様に測定を行なった。サンプリング間隔5秒とした。被験者は20代の男性1名である。

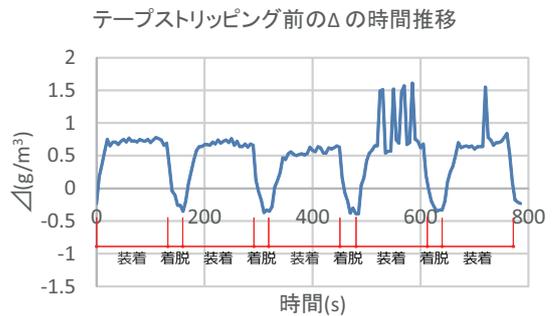


図 10 テープストリッピング前の  $\Delta$  の時間推移

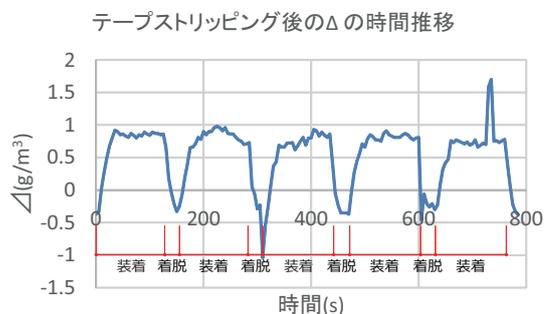


図 11 テープストリッピング後の  $\Delta$  の時間推移

### 5.1.2 実験結果

テープストリッピング前後の  $\Delta$  の時間変化を図 10、図 11 に示す。測定時間の2分間のうち最も安定であった30秒の  $\Delta$  の平均値を測定結果とした。テープストリッピング前の4回目の測定では、センサの外れ値が多く検出され正確な測定結果を得ることができなかった。テープストリッピング前の4つのデータとテープストリッピング後の5つのデータ、それぞれ平均と標準誤差を図 12 に示す。自由度=7での t 検定の結果、テープストリッピング前後での  $\Delta$  の値は  $p=0.01 (<0.05)$  で有意な差があり、 $\Delta$  はテープストリッピング後の方が大きくなることがわかった。つまり、テープストリッピング後には蒸散量が上昇することが予想される。

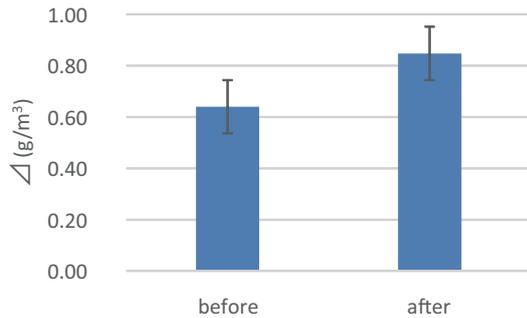


図 12 ストリッピング前後の Δ の変化

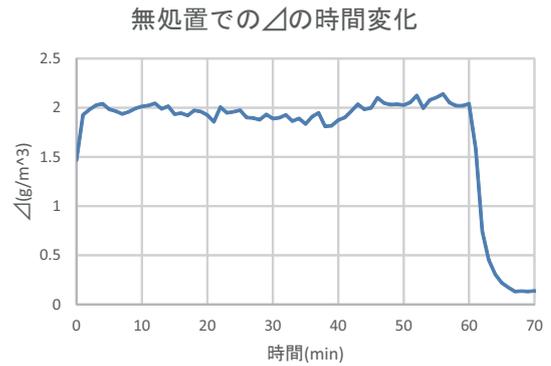


図 13 無処置での Δ の変化 (1 回目)

## 5.2 洗顔方法による影響

### 5.2.1 実験方法

実験では、洗顔方法の影響を提案デバイスの Δ から確認できるかを調査した。洗顔後に無処置の場合と化粧水・乳液を使用した場合をそれぞれ 2 回行い Δ の値を比較した。10 分間安静にし体を慣らし後、測定を行った。1 回目は、安静で 10 分測定した後、洗顔を行い無処置での測定した。別日程で、同様に 1 回目の化粧水・乳液使用での測定を行った。2 回目は、安静で 10 分測定した後、洗顔を行い化粧水・乳液使用での測定、再度洗顔を行い無処置での測定を行った。被験者は 20 代の男性 1 名 (A) である。

### 5.2.2 実験結果

1 回目の無処置、化粧水・乳液使用の洗顔前の Δ の値はそれぞれ 1.73, 2.12 となり、2 回目の洗顔前は 2.27 となった。1 回目の洗顔後無処置での Δ の時間変化を図 13、化粧水・乳液使用を図 14 示す。2 回目の無処置、化粧水・乳液使用を図 15 に示す。肌の状態は日々変化するため、連続で行った 2 度目の無処置、化粧水・乳液使用間以外は Δ の大きさを比較することはできない。図 13、図 15 の無処置では、提案デバイス装着直後を除き洗顔後一定値であった。一方、図 14、図 15 の化粧水・乳液使用では、装着直後から高い値を示し 20 分かかけ徐々に低下し、その後一定値であった。化粧により蒸散量は低下するという知見があるが、図 15 より化粧水・乳液使用の方が洗顔後に Δ の値が大きくなる傾向が見られた。化粧水を塗布することにより、皮膚表面に余剰な水分が残る皮膚表面からの水分蒸散が多くなったことも考えられる。今回は 1 種類の化粧水・乳液を使用した。複数の化粧水・乳液またローションを使用することで塗布直後の浸透力や保湿力の違いを観測できる可能性がある。

### 化粧水・乳液使用での Δ の時間変化

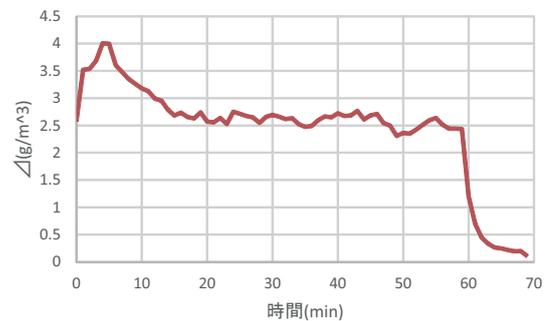


図 14 化粧水・乳液使用での Δ の変化 (1 回目)

### 無処置、化粧水・乳液使用での Δ の時間変化

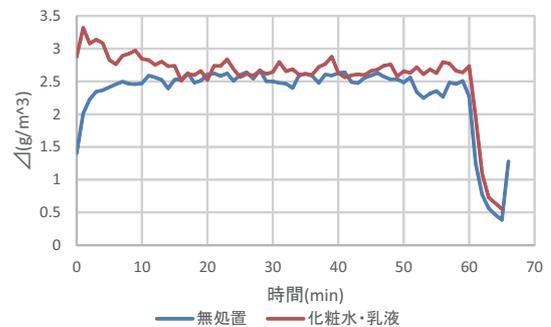


図 15 無処置、化粧水・乳液使用での Δ の変化 (2 回目)

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、チャンバー内の水蒸気量を常時測定するメガネ型デバイスを提案した。評価実験 1 では、Δ と湿度と相関があり、Δ から経皮水分蒸散量を算出できる可能性が

示された。評価実験 2 では、Δ から経皮水分蒸散量に変換する手法を提案し、Bland-Altman 分析を行い、変換が可能であることを確認した。実環境における実験では、経皮水分蒸散量がテープストリッピング後の方が有意に大きくなることが予想された。また、洗顔後無処置の場合と比べ化粧水・乳液使用した場合の方が、洗顔直後の経皮蒸散量が増加することが予想された。

評価実験では経皮水分蒸散量の変化量が小さかったため、今後、経皮水分蒸散量を大きく変化させることのできるテープストリッピングやオレイン酸塗布などを行い、再度実験を行う必要がある。また、実環境で気象要素以外の

要素が含まれた場合の気象要素の影響や、今回測定した洗顔後の化粧水・乳液以外の化粧や行動などの気象要素以外の要素の皮膚への影響について明らかにする必要がある。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1)およびJST さきがけ(JPMJPR15D4)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 20–30代女性の過半数が気にしている「肌の悩み」って？, <http://wol.nikkeibp.co.jp/atcl/trend/15/105974/102300021/>
- [2] 正木 仁: 外界と生体の動的インターフェースとしての皮膚の役割, 表面科学, Vol. 35, No. 1, pp. 11–16 (2014).
- [3] 肌のバリア機能 | 皮膚科医に聞く ミニ知識 | d プログラム (d program) | 資生堂, <https://www.shiseido.co.jp/dp/column/vol21.html>.
- [4] 皮膚の特徴 ~皮膚バリア機能とは~, <https://www.maruho.co.jp/medical/hirudoid/skin/>.
- [5] 高橋元次: 皮膚の機能・特性と物理計測, 表面科学, Vol. 35, No. 1, pp. 4–10 (2014).
- [6] 経表皮水分蒸散量 | 化粧品用語集: SCCJ 日本化粧品技術者会, <http://www.sccj-ifsc.com/terms/detail.php?id=35>.
- [7] 若返り効果!? “美肌力”のある女性は“勝ち組”!? | 日本ロレアル株式会社のプレスリリース, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000005706.html>.
- [8] 藤田友香, 山本 享, 田村照子, 福岡義隆: 皮膚に及ぼす気象要素の影響 – 夏季・秋季について –, 地球環境研究, Vol. 10, pp. 49–67 (2008).
- [9] 売上へつながる評価試験 — 化粧品 OEM のコスメディアラボラトリーズ, <http://www.cosmedia.jp/evaluation/>.
- [10] 岡田ルリ子, 松川寛二, 小林敏生, 宮腰由紀子: 前腕角層水分量に影響する要因—冬季と夏季の比較—, 日本生気象学会雑誌, Vol. 52, No. 2, pp. 131–137 (2015).
- [11] 櫻井柚夏, 廣瀬文郁, 松前和則, 村上礼雄, 田辺新一: 暖房時の室内温熱環境が皮膚水分量と熱的快適性に与える影響, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, pp. 125–128 (2014, June).
- [12] Corneometer CM825, <http://courage-khazaka.de/index.php/en/products/scientific/55-corneometer>.
- [13] 皮表角層水分量測定装置 SKICON-200EX-USB, <http://www.yayoi841.co.jp/product/product.cgi?cid=m0404&id=20130130140749>.
- [14] Tewameter TM300, <http://www.courage-khazaka.de/index.php/en/products/scientific/139-tewameter>.
- [15] 増田 学, 関口直孝, 米田隆志, 小山浩幸, 山本紳一郎, 煙山健仁: 皮膚水分量計測装置の開発 (第 2 報), バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 20, pp. 215–216 (2008).
- [16] 坂口正雄: 発汗の計測 — 精神性発汗から多量発汗まで —, 繊維製品消費科学, Vol. 50, No. 4, pp. 303–308 (2009).
- [17] K.Ogai, M.Fukuoka, K.Kitamura, K.Uchide, and T.Nemoto: Development of a small wireless device for perspiration monitoring, *Medical Engineering and Physics*, Vol. 38, Issue 4, pp. 391–397 (Apr. 2016).
- [18] P.Salvo, A.Pingitore, A.Barbini, and F.Di Francesco: A wearable sweat rate sensor to monitor the athletes' performance during training, *Science & Sports* (Mar. 2017).
- [19] 菊池啓介: 角層テープストリップング法を用いた医薬品と化粧品の新しい適用法及び評価法に関する研究, 城西大学

- (2016).
- [20] 365 日キレイが計れる、キレイを育む。 smile connect, <http://ap.kanebocos.net/>.