

化粧道具にかかる圧力から肌への圧力を 間接推定することによる化粧支援システム

吉川理帆^{1,a)} 大西鮎美^{2,b)} 寺田 努^{2,c)} 塚本昌彦^{2,d)}

概要: 適切な圧力でベースメイクを行うことは、ベースメイクを肌になじませ、化粧の出来栄を向上させる助けとなる。しかし、人の肌にかかる圧力は直接計測できず本人の感覚でしか知覚できない。そこで本研究では、ベースメイク中に指がパフを把持する圧力から肌にかかる圧力を推定して可視化することで、化粧支援するシステムを提案する。提案手法では機械学習により肌にかかる圧力の間接推定を行うため、人工皮膚とマネキンを用いて、人の肌にかかる圧力の正解値を採取できる評価環境を構築し、複数の種類の圧力の加え方のデータを収集して、学習モデルを構築した。提案手法による肌にかかる圧力の推定精度を確認するために行った評価実験において、化粧方法、圧力を加える顔の部位ごとに推定精度を確認した結果、同じ被験者の同一の化粧方法のデータが学習データに含まれていれば、肌にかかる圧力を MAE が約 0.15 N で推定できた。

1. はじめに

化粧をすることは精神的健康に様々な良い影響を与える。化粧をした人は自信を持ち、心理的な幸福感が向上する [1, 2]。また、化粧をすることは外見的な魅力を高め、対人印象が良くなり [3, 4]、化粧によって対人印象が良くなれば、対人行動や自己呈示が積極的になることもわかっている [5, 6]。加えて、プロによる巧みな化粧によって、より幸福度が高くなることもわかっており [2]、化粧の出来栄を良くしたいと望む人々が多い [7, 8]。

化粧全体の出来栄には、化粧の下地を作るベースメイクの仕上がりが大きな影響を与える。ベースメイクはファンデーションや化粧下地などを肌に塗り、肌を本来よりも綺麗にする効果がある。ベースメイク以外の化粧の出来栄が良かったとしても、ベースメイクによって肌トラブルを隠せていない場合、疲れた印象や不健康な印象を与えてしまう。また、身体部位の中で肌の満足度が最も自尊心に影響を及ぼしており [9]、化粧の中でもベースメイクは重要である。

ベースメイクを含めた化粧全体の出来栄は、肌環境や

化粧品、技術力によって変化する。先行研究において、肌の温度によってスキンケアの効果が変化することや [10]、肌の水分量によって化粧の出来栄が変化する [11]、化粧品に含まれる物質によって肌へのダメージが変化する [12] が示されている。また、化粧の技術によっても出来栄は向上するため、様々な技術支援がなされている [13, 14]。

しかし、ベースメイクの技術向上は難しい。技術向上には SNS や本などを用いてプロの化粧方法を真似る方法が一般的であるが、真似たとしても肌にかかる圧力がプロと異なると、プロの化粧と同じ出来栄にならない。現状肌にかかる圧力を知覚する手段は感覚以外にないうえに、人の肌にかかる圧力を直接測定することはできない。ベースメイクの技術向上には、肌にかかる圧力を測定し、適切な圧力で肌にファンデーションを塗る必要がある。

そこで本論文では、指先に圧力センサを備えた手袋型のデバイスを用いて、ベースメイク中に指がパフを把持する圧力から肌にかかる圧力を推定して可視化することで、化粧支援するシステムを提案する。提案手法では、機械学習により肌にかかる圧力を間接的に推定するため、正解値として人の肌にかかる圧力を直接計測できる環境が必要となる。そこで本研究では、人工皮膚とマネキンを用いて、人の肌にかかる圧力の正解値を採取できる評価環境を構築し、複数の種類の圧力の加え方のデータを収集して、学習モデルを構築する。評価実験では、提案手法による肌にかかる圧力の間接推定精度を評価し、有効性を確認する。

¹ 神戸大学工学部
School of Engineering, Kobe University

² 神戸大学大学院工学研究科
Grad. School of Engineering, Kobe University

a) riho-yoshikawa@stu.kobe-u.ac.jp

b) ohnishi@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp

本論文は以下のように構成される。2章で関連研究を紹介する。3章では提案システムについて述べ、4章で評価実験について説明する。5章で実験結果をふまえて提案手法について議論し、最後に6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

本章では、化粧の出来栄えに関連した研究として、化粧品に関する研究および化粧支援に関する研究を述べる。

2.1 化粧品に関する研究

従来の研究より、適切な化粧品選びは化粧の出来栄えを良くするうえで重要であることがわかっている。斎藤らは、ファンデーションを塗布する際の使用感触を重要視しており、指に伝わる振動刺激とパフの塗布面の摩擦からファンデーションの使用感触を定量評価した [15]。また、有村らは、3種類のファンデーションの化粧崩れを客観評価しており、ファンデーションの種類ごとの長所や短所を示している [16]。例えば、ケーキ型のファンデーションは皮脂分泌の影響を受けやすく、皮脂分泌量が多い人や汗をかきやすい場面での使用に不向きである。さらに度会らは、顔の動きから生じる化粧よれをファンデーションごとに定量評価し、化粧よれ防止に有効なファンデーションの原料の組合せを明らかにした [17]。

以上の研究は、ベースメイクで用いるファンデーションをさまざまな指標に基づいて評価しており、適切な化粧品を選択するうえで参考にできる。一方、化粧の出来栄えは化粧品のみによって決まるわけではなく、化粧品を使用する際の化粧技術による影響も大きい。本研究では、化粧技術の向上に着目したシステムを提案する。

2.2 化粧支援に関する研究

化粧品とベースメイクの需要から、多くの化粧支援システムが提案されてきた。理想の顔画像を表示することで化粧を支援できることがわかっている。孫らは、顔の形状の個人差に着目し、ユーザの顔特徴点を抽出することで、平均顔に近づけるメイク手順を提示した [13]。ユーザは、システムによって提示された平均顔とメイク手順を参考にすることで、客観評価が向上した。また高木らは、ユーザの顔に化粧シミュレーションを施した3次元顔画像を見本として提示して化粧を行ってもらい、化粧後の顔画像と見本画像を比較し、化粧上達のためのアドバイスを行うシステムを提案した [18]。提案システムはアンケートによって評価されており、3次元顔画像比較によるフィードバックはメイクアップの参考になるという結果を得ている。

その他の研究として、岩渕らは、カラーマーカーを化粧用品に取り付け、電子化粧鏡とリンクさせることで、実際化粧を行っている該当箇所をズームし、ユーザがさらに化粧を施しやすくなる化粧支援システムを提示した [14]。中川

らは、化粧のバリエーション増加を目的として、化粧に関するライフログを取得、共有するシステムを提案した [19]。

しかし、これらの先行研究では肌にかかる圧力を考慮した支援は行っていない。本研究では、肌にかかる圧力を推定することで化粧を支援するシステムを提案する。

3. 提案システム

本章では、ベースメイクの仕上がりを改善するシステムについて説明する。システムは、ベースメイク中に肌にかかっている圧力を可視化し、適切な圧力で化粧を行えているかユーザが確認しながら化粧を行える。実際に肌にかかる圧力を直接測定することはできないため、ベースメイク中に指が肌にかかる圧力値を、指がパフにかかる圧力値から間接推定することによって計測する。

3.1 想定環境

実際に化粧を行う際には、人々は自身の顔にファンデーションがのっているかを鏡で確認しながらベースメイクを行う。また、人々は普段パフなどを用いてベースメイクを行い、その後様々なポイントメイクなどを施すことで化粧を完成させる。この過程では様々な化粧用品を円滑に持ち替える必要があり、作業の切り替えやすさが重要となるが、衛生面の問題から、同じパフを長期間使用することは難しい。さらに、肌の状態によって日々化粧時に肌にかかる最適な圧力は変わる可能性がある。そのため、その日の肌の状態に合わせて圧力支援ができるようなシステムにする必要がある。

これらの実際の環境を考慮し、以下の要件を満たすシステムを提案する。

- 自身の顔を見ながらベースメイクを行える。
- 化粧工程を円滑に進められる。
- パフ本体にはデバイスを付けない。
- 肌にかかる圧力を推定できる。

本研究では、アプリケーション画面にユーザの顔を映しながら適切な圧力値を提示することで、ベースメイクを普段通り行える環境を構築する。化粧過程を円滑に進めるために、化粧をする際に無線マイコン付きのグローブを装着することでシステムの小型化を目指す。無線マイコン付きグローブは、ユーザの親指、人差し指、中指に圧力センサが取り付けられており、この3点の圧力から肌にかかる圧力を推定する。

3.2 システム構成

システムの構成を図1に示す。システムはセンサ付きグローブとPCで構成される。ユーザはセンサ付きグローブを装着してパフを把持し、ベースメイクを行う。グローブのセンサ値からユーザの肌にかかる圧力を推定し、アプリケーション上に推定値を提示することで、ユーザは適切な

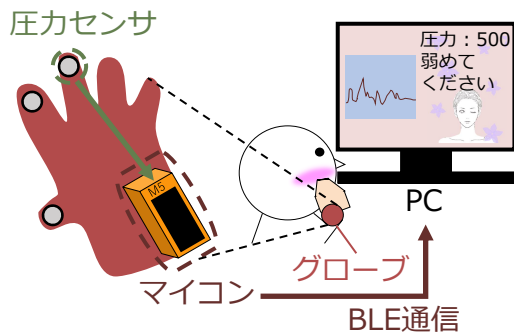


図 1: 提案システムの構成

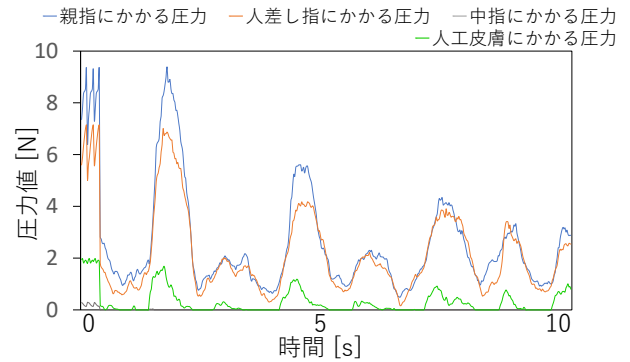
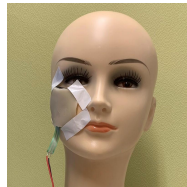


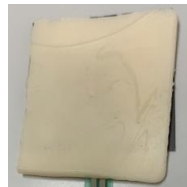
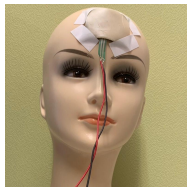
図 4: パフを人工皮膚に押し当てたときのデータの例



図 2: 圧力センサ付きグローブ



(a) 右頬に人工皮膚を張り付けた時 (b) 左頬に人工皮膚を張り付けた時



(c) 額に人工皮膚を張り付けた時 (d) 張り付けた人工皮膚

図 3: 肌にかかる圧力の正解データの収集環境

圧力で化粧を行えているかを確認できる。提案システムでは、グローブの圧力センサに Interlink 社の FSR402 [20]、マイコンには M5Stack 社の M5Stick C を用いた [21]。圧力センサのサンプリング周波数は 50 Hz である。

3.3 肌にかかる圧力の推定方法

提案システムは、図 2 のグローブ型デバイスに備えた圧力センサ値を取得して、あらかじめ取得した学習データに基づき構築したモデルを用いて肌にかかる圧力を推定する。グローブは 3 つの圧力センサを装着しているため、親指の圧力、人差し指の圧力、中指の圧力を測定する。推定に用いる特徴量は、グローブに装着した 3 つの圧力センサの瞬時値とし、肌にかかる圧力を正解データとする。推定に用いた機械学習アルゴリズムは、多重線形回帰モデルである。



図 5: アプリケーション画面

3.4 データ収集環境

正解データには肌にかかる圧力を用いるが、人の肌にかかる圧力を直接測定ができないため、図 3 のようにマネキンに人工皮膚を貼り付け、人工皮膚にかかった圧力を正解データとする。顔の部位ごとに、指の圧力と肌にかかる圧力の関係性が異なると考えたため、図 3 のように右頬、左頬、額の計 3 箇所人工皮膚を貼り付けた。人工皮膚の下には Interlink 社の圧力センサ FSR406 [22] を設置した。

3.5 推定した圧力の提示方法

図 5 にアプリケーション画面を示す。アプリケーションでは推定した肌にかかる圧力を可視化し、適切な圧力を指示する。ユーザはアプリケーション画面を見ながらベースメイクを行うことで圧力を調節できるため、ベースメイクの出来栄の向上が期待できる。

4. 評価実験

本章では提案手法による肌にかかる圧力の間接推定の精度を確認するために行った評価実験とその結果について述べる。なお、この実験は神戸大学の研究倫理審査委員会の承認を得て行った。

4.1 実験方法

肌にかかる圧力の推定値の精度を評価するために、図 6 のように実験を行った。被験者はマネキンの額、右頬、左



図 6: 実験の様子

頬の3か所につけた人工皮膚に対して3章で述べた手袋型の提案デバイスを用いて、実際にベースメイクを行うようにパフを用いて化粧をした。被験者はグローブを右手に装着した状態でパフを持ち、3か所の部位に対して、代表的な3種類のベースメイクの塗り方 [23] でそれぞれ圧力を加え、計9通りのデータを収集した。この9通りを1試行として、被験者は合計2試行実験を行った。被験者は化粧歴4年の20代女性3名で、パフと持ち方は被験者間で統一して実験を行った。3種類のベースメイクの塗り方と同様の圧力の加え方は以下の3つである。

長押し 5秒おきに人工皮膚に圧力を加える、離すを繰り返す

スライド ベースメイクを広げるように人工皮膚の端から端にスライドする

タッピング パフを人工皮膚に対して細かくタッピングする

これら3種類の化粧方法で、被験者には実際のベースメイクの際に行う圧力の加え方と同様に、圧力を自由に加えてもらった。また肌にかかる圧力を様々な強弱で推定できるかの確認のために、被験者には力加減を変化させながら圧力を加えてもらった。パフにかかる3種類の圧力の瞬時値と、人工皮膚にかかる圧力の瞬時値の計4種類の圧力の瞬時値のデータを機械学習にかけた。推定精度の評価指標には、マネキンの圧力センサの瞬時値と推定値の平均絶対誤差 (MAE: Mean Absolute Error) を用いた。

化粧支援システムにおいて、用いる学習データによってユーザの使用時の負荷は異なる。そこで本実験では標本データに、額、右頬、左頬の3か所の化粧部位ごと、長押し、スライド、タッピングの3種類の圧力の加え方ごとの計9通りの実験データを用い、ユーザ負荷の小さい順で検証を行った。行った3種類の検証を以下に述べる。なお、全ての検証において被験者ごとにデータセットを分けて推定精度を調べた。

評価1: 化粧部位、圧力の加え方を全て混合にしたデータセットを用いた検証

化粧部位、圧力の加え方を全て混合にしたデータセットの

表 1: 評価1における全被験者の MAE [N]

| 被験者 | MAE [N] |
|-----|---------|
| A | 0.88 |
| B | 0.58 |
| C | 0.81 |

1試行目を学習データに、2試行目をテストデータにして精度を確認する。この検証における推定精度が高ければ、提案システムは、部位ごと、圧力の加え方ごとに学習データを切り替える仕組みをもつ必要がない。

評価2: 圧力の加え方ごとにデータセットを分けた検証

化粧部位を全て混合にして圧力の加え方ごとに分けたデータセットの1試行目を学習データに、2試行目をテストデータにして精度を確認する。この検証における推定精度が高ければ、提案システムは圧力の加え方ごとに学習データを切り替える仕組みをもつ必要がある。

評価3: 部位ごとにデータセットを分けた検証

圧力の加え方は全て混合にして化粧部位ごとに分けたデータセットの1試行目を学習データに、2試行目をテストデータにして精度を確認する。この検証における推定精度が高ければ、提案システムは部位ごとに学習データを切り替える仕組みをもつ必要がある。

4.2 実験結果と考察

実験に参加した被験者が人口皮膚に加えた圧力の実測値は、最大18N、最小で0.060Nであり、最大最小差は17.94Nであった。これらの値に基づいて3種類の検証結果の精度を検討した。

評価1: 化粧部位、圧力の加え方を全て混合にしたデータセットを用いた検証

化粧部位、圧力の加え方を全て混合にしたデータセットを用いた検証の結果を表1に示す。被験者AのMAEは0.88N、被験者CのMAEは0.81Nであるのに対して、被験者BのMAEは0.58Nであり被験者Bのみ比較的推定精度が高かった。本実験では、化粧をする部位や圧力の加え方によって、人工皮膚にかかる圧力が変化すると仮定しているため、化粧部位、圧力の加え方でデータを分けてモデルを構築する場合の方が、全てのデータを混合して学習モデルを構築した場合よりも推定精度が高くなるはずである。以降の検証では化粧部位、圧力の加え方ごとに分けたデータの精度が高くなるかをこの混合データを用いた場合のMAEと比較して議論する。

また学習データとテストデータの部位、圧力の加え方を全て混合した場合の実測値と推定値のグラフを被験者ごとに以下に示す。どの結果においてもグラフのピーク値における推定が上手くいかなかった。今回の提案システムでは、ユーザが強い圧力を加えた時に、程よい圧力値に誘導

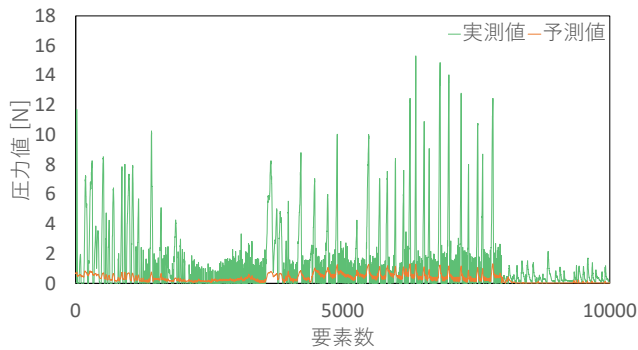


図 7: 被験者 A の評価 1 における実測値と予測値

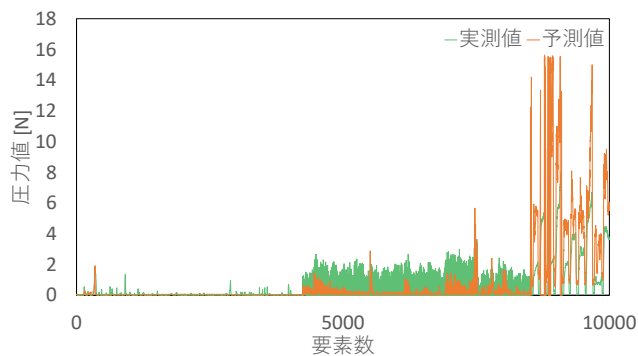


図 8: 被験者 B の評価 1 における実測値と予測値

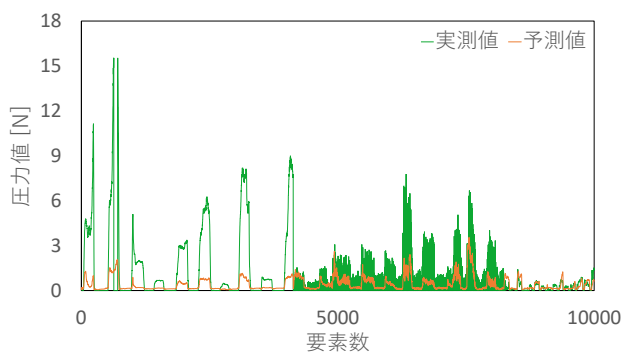


図 9: 被験者 C の評価 1 における実測値と予測値

表 2: 評価 2 における全被験者の MAE [N]

| 被験者 | 圧力の加え方 | | |
|-----|--------|------|-------|
| | 長押し | スライド | タッピング |
| A | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| B | 0.50 | 0.30 | 1.3 |
| C | 0.70 | 1.4 | 0.79 |

することを目的とするため、ピーク値における圧力の推定も必要である。そのために今回の実験環境における特徴量の見直しが必要である。

評価 2: 圧力の加え方ごとにデータセットを分けた検証

圧力の加え方を分けた後の検証による結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、被験者 A は圧力の加え方を分けても推

表 3: 評価 3 における全被験者の MAE [N]

| 被験者 | 顔の部位 | | |
|-----|------|-------|------|
| | 左頬 | 額 | 右頬 |
| A | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| B | 0.70 | 0.079 | 0.11 |
| C | 0.89 | 0.12 | 0.11 |

定精度が高くなった。よって、被験者 A は圧力の加え方に差をつけてベースメイクを行っていると考えられる。被験者 B は長押しとスライドに関しては、圧力の加え方を分けた方が推定精度が高く、MAE が 0.50 N 以下におさめられた。またタッピングにおいては推定精度が低くなった。被験者 C は長押しとタッピングに関しては、圧力の加え方を分けた方が推定精度が高かった。またスライドにおいては推定精度が低くなった。

圧力の加え方ごとによる推定精度の差から実験環境の改善と特徴量の見直しが必要であると考えられる。また、圧力の加え方ごとに学習データを分けることで、平均して推定精度が高くなることがわかった。よって提案システムにおいて圧力の加え方ごとに学習データを変更させる機能により、ユーザが化粧中に今から行う化粧方法を入力するなどの操作をすることを許容すれば、推定精度をより高められる。

評価 3: 部位ごとにデータセットを分けた検証

部位ごとにデータセットを分けた検証結果を表 3 に示す。表 3 に示すように、被験者 A は顔の部位ごとに分けると全ての部位において推定精度が高く、MAE が 0.11 N 以下に収まった。被験者 B, C は左頬に関しては、部位を分けた方が推定精度が高かったが、右頬、額においては推定精度が低くなった。結果より、被験者 A については部位を全て分けると推定精度が向上したが、被験者 B, C は左頬以外は向上していない。よって、部位ごとにデータを分けることが推定精度の向上に寄与するかは、被験者によって異なる傾向となった。

5. 議論

評価実験の結果より、圧力の加え方ごとにデータセットを分けてモデルを構築した場合に、化粧部位、圧力の加え方のデータを全て混合させたときよりも推定精度が高かった。今回の実験で化粧部位ごと、圧力の加え方ごとでデータセットを分けた場合に精度が高くならなかった原因の一つとして、圧力センサの値を機械学習にかけたあとに力 [N] に変換したことが考えられる。マイコンで取得した圧力センサ値を力に変換する際には、取得した電圧値に応じて圧力値は非線形に変化するため、どのタイミングで変換を行うかによって変化の大きさが異なる。よって今後は、電圧値を圧力値に変換したのちに機械学習にかけ、モデル

を構築することで推定精度が向上するかを確かめる。

また、図9などの推定結果のグラフをみると、圧力がピーク値の時に推定精度が低かった。化粧をする際の適切な圧力は、最大と最小の間にあると予想されることから、強い力をかけた際の値も正確に推定できることが望ましい。今回の特徴量は瞬時値のみを用いたため、今後は時間情報を加味する特徴量を用いることを検討し、推定精度の向上を目指す。

今回パフはハウス型に限定し、持ち方も制約したが、形や持ち方を変えることで実験結果に影響するのではないかと考えられる。さらパフやグローブに圧力センサ以外のセンサを取り付けることで推定精度が向上するかを検討し、ユーザ負荷の小さいシステム開発を目指す。

今回の提案システムでは、指にかかる圧力を測るために、圧力センサを付けたグローブを装着してベースメイクを行ったため、実際の化粧時にパフを持つ感覚と異なっている。先行研究において、豆野らは、LEDやフォトダイオードを用いることで、爪の色の変化のみで、指にかかる圧力を非接触で推定する手法を提案している [24]。したがって本システムでも、このように非接触で肌にかかる圧力を推定できるように改善できれば、より実際の化粧環境に近づけられると考えている。

提案システムのアプリケーションによる圧力の提示は、現在肌にかかる圧力のリアルタイムの推定結果であり、過去の記録を提示する機能は備えていない。しかし、過去のベースメイク時における顔の部位ごとの肌にかかった圧力値のログを表示させることで、使用するたびに適切な圧力値かつ理想的な化粧の出来栄えに近づけられる可能性があるため、今後はそのような機能をアプリケーションに追加する。

6. まとめ

本論文では、化粧の出来栄えを向上させるためにベースメイク中に肌にかかる圧力を機械学習により間接的に推定して提示することで、化粧支援するシステムを提案した。提案システムでは、ベースメイク中にパフが肌に及ぼす力をPC画面に表示し、その圧力値を適正值に近づけられるようにリアルタイムに可視化することで、化粧を支援する。システム構築のために、人工皮膚を用いてデータ収集環境を作り、学習モデルを構築した。

提案手法の評価実験を、長押し、スライド、タッピングの3種類の圧力の加え方と、左頬、額、右頬の3種類の顔の部位ごとに分けて9通りのデータを収集して評価したところ、9通りのデータを混合したデータによる検証では、平均してMAEが約0.88 N以下となった。圧力の加え方ごとにデータセットを分けてモデルを構築した検証においては、全て混合した場合よりも全体的に推定精度が高かった。よって圧力の加え方ごとに学習データを変更させる手順が

提案システムの中に含まれる必要があると考えられる。部位ごとにデータセットを分けてモデルを構築した検証においては、混合したデータセットを用いた場合よりも推定精度は低い場合が多かった。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)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] 余語真夫, 浜 治世, 津田兼六, 鈴木ゆかり, 互 恵子: 女性の精神的健康に与える化粧の応用, 健康心理学研究, Vol. 3, No. 1, pp. 28-32 (1990).
- [2] 高島直子, 五十嵐靖博, 平尾元尚, 村川由梨: 美容専攻学生の自意識と化粧の心理効果, 山野研究紀要, Vol. 17 pp. 11-16 (2009).
- [3] J. A. Graham and A. J. Jouhar: Cosmetics Considered in the Context of Physical Attractiveness: a Review, *International Journal of Cosmetic Science*, Vol. 2, No. 2, pp. 77-101 (Apr. 1980).
- [4] 伊波和恵, 浜 治代: 高齢女性と化粧—化粧の臨床心理学的適用の方法および実践—, 繊維機械学会誌, Vol. 53, No. 6, pp. 222-228 (June 2000).
- [5] 岩男寿美子, 松井 豊: 化粧の心理的効用—化粧後の心理的变化—, 日本社会心理学会第25回大会発表論文集, pp. 128-129 (Oct. 1984).
- [6] 菅原健介 岩男寿美子 松井 豊:化粧の心理的効果—自己呈示としての化粧行動—, 日本社会心理学会第26回大会発表論文集, pp. 106-107 (Oct. 1986).
- [7] 米澤 泉: コミュニケーションとしての化粧: 「化粧センス」とは何か, 大阪大学言語文化学, Vol. 10, pp. 257-271 (Mar. 2001).
- [8] 岡田明子, 芳住邦雄: 女子学生の化粧に対する意識と行動, 繊維製品消費科学, Vol. 47, pp. 652-660 (Nov. 2006).
- [9] M. Ohmura, Y. Kojima, Y. Nakata, and Y. Sawamiya: Beautiful Skin Hides All Faults—Effects of Body Satisfaction on Self-esteem and Shyness in Japanese Female Youths, *International Journal of Psychology and Counselling*, Vol. 7, No. 3, pp. 47-53 (Apr. 2015).
- [10] 佐藤克成, 長谷早紋, 北原 圭, 伊藤 綾, 松森孝平, 齋藤直輝: 化粧水の塗布動作時の温度計測に基づく塗布感の推定, 日本感性工学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 311-318 (Aug. 2021).
- [11] 久留戸真奈美, 河野弘美, 塩原みゆき, 池田祐子, 竹内直人, 林 洋雄: 化粧用コットンによるパッシングのスキンケア効果, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 45, No. 4, pp. 329-333 (July 2011).
- [12] J. E. Fulton: Comedogenicity and Irritancy of Commonly Used Ingredients in Skin Care Products, *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, Vol. 40, pp. 321-333 (Nov. 1989).
- [13] 孫 啓譜, 浦野 幸, 星野准一: 魅力的な顔になるためのメイクアップ支援システム, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC 2014), No. 33, pp. 1-7, (Mar. 2014).
- [14] 岩淵絵里子, 椎尾一郎: 電脳化粧鏡: メイクアップを支援する電子鏡台, 第16回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2008) 予稿集, pp. 45-50 (Nov. 2008).
- [15] 齋藤直輝, 長島 愛, 柿澤みのり, 荒川尚美: ファンデーション塗布動作時の摩擦および振動特性評価システム,

- ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2015, No. 2A1-A01, pp. 1-3 (May 2015).
- [16] 有村直美, 星屋博子, 平井裕香, 正木 仁, 藤井政志: ファンデーションの化粧もちの解析と評価方法 タイプによる化粧くずれの機構の違い, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 22, No. 3, pp. 149-154 (Dec. 1988).
- [17] 度会悦子, 五十嵐崇訓, 渡邊美香子, 矢後祐子, 福田啓一: 化粧よれ評価法の開発と化粧下地への応用, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 49, No. 3, pp. 218-225 (Apr. 2015).
- [18] 高木佐恵子, 波川千晶, 吉本富士市: メイクアップ技能上達のためのアドバイシステム, 芸術科学会論文誌, Vol. 2, No. 4, pp. 156-164, (Dec. 2003).
- [19] 中川真紀, 塚田浩二, 椎尾一郎: Smart Makeup System: ライフログを用いた化粧支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1563-1572 (Apr. 2013).
- [20] Interlink Electronics, Inc.: FSR 402, <https://www.interlinkelectronics.com/fsr-402>.
- [21] M5stack Holdings: M5StickC Plus ESP32-PICO Mini IoT Development Kit, <https://shop.m5stack.com/collections/stick-series/products/m5stickc-plus-esp32-pico-mini-iot-development-kit>.
- [22] Interlink Electronics, Inc.: FSR 406, <https://www.interlinkelectronics.com/fsr-406>.
- [23] STEFANY GINZA TOKYO: リキッドファンデーションの塗り方を解説! コツやおすすめアイテムも紹介, <https://stefany.co.jp/blog/blog/b340/>.
- [24] H. Mameno, M. Imura, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, and O. Oshiro: Estimation of Fingertip Contact Force Direction Based on Change in Nail Color Distribution, 生体医工学, Vol. 52, pp. 155-156 (Oct. 2014).