Color-Path: 手本動作の AR 表示によるヘアアレンジ再現支援システム

松井菜摘 * 大西鮎美 * 寺田 努 * 塚本昌彦 *

概要. ヘアアイロンは髪に熱を加えることで自由に髪形を変えることのできる道具である．しかし，ヘアアイロンの操作には回転や前後へ傾ける動きが混在しているため，手本映像を見ながら練習するのみではその操作を理解し再現するのが難しい．そこで本論文では，手本とする巻き髪を作るためのヘアアイロンの動かし方をユーザに直観的に理解させるスマートミラー型のヘアアレンジ支援システム Color-Path を提案する．提案システムでは，カメラとヘアアイロンに装着した加速度センサを用いてユーザのヘアアイロンの操作軌道を取得し，システムが保持する手本の操作軌道をスマートミラー上で AR 表示する．評価実験より，提案システムを使った際にヘアアイロンの操作軌道が再現できることを確認した．しかしシステムを使った際に手本の見た目を再現できるとはいえず，ヘアアイロンで髪に熱を加える時間が見た目の再現に関係する可能性があることがわかった．

1 はじめに

ヘアアイロンは髪に熱を加えることで自由に髪形を変えることのできる道具であり，パーマをかけずにカールスタイルを作ることができる．ユーザはヘアアイロンのクリップ部分で髪を挟み，本体を回して加熱部に髪を巻きつけながら熱を加えて髪の形を変える．近年では男性も使うようになり，ユーザ層が広がりつつある [1].

ヘアアイロンを用いたヘアアレンジは難しい．ヘアアイロンの操作は回転や前後へ傾ける操作が混在しており複雑で，ユーザが髪を上手く巻くためには練習が必要である．ヘアアレンジの練習ではユーザは鏡を見つつ，解説動画や本を見ながらその動きを真似る方法が一般的である．しかし，映像や画像のみで複雑な操作を理解し再現するのは難しく，巻き髪の見た目が不自然になってしまうことも多い．このようにヘアアイロンを用いたヘアアレンジは難しいが，スタイリングを支援するシステムは提案されていない．

そこで本研究では，ヘアアイロンの操作を再現できれば手本のヘアスタイルを再現できるという仮説をもとに，ヘアアイロンの複雑な操作をユーザに直観的に理解させるスマートミラー型のヘアアレンジ支援システム Color-Path を提案する．提案システムでは，PC のカメラとヘアアイロンに内蔵した加速度センサを用いてヘアアイロンの通過位置やヘアアイロンの角度，回転方向といった操作軌道の情報を算出し，図 1 のように直観的に理解できるように単純化してミラー型システムの画面上に提示する．

本論文の貢献は以下の 2 つである．

- 美容師のヘアアレンジの観察結果を設計に取り入れ，美容師の巻き方を手本としてヘアアイロンの操作軌道を単純化して提示し，ユーザに直観的に理解させるスマートミラー型のヘアアレンジ支援システム Color-Path を提案した．
- 提案システムの提示によって手本のヘアアイロンの操作軌道を再現できることを確認した．

図 1: 提案システムの提示画面と使用時の様子

本論文では以降，2 章で関連研究を紹介し，3 章で提案システムについて述べる．4 章で評価実験について説明する．5 章で実験結果と考察を述べ，最後に 6 章で本論文をまとめる．

2 関連研究

2.1 美容に特化したスマートミラー

美容に特化したスマートミラー製品は数多くある．HiMirror 社のスマートミラー HiMirror Mini には，鏡に映った顔から毎日の肌の状態を分析し，最適な化粧品を提案する機能が実装されている [2]．また，Mirror Roid 社のスマートミラー Mirror Roid はヘアスタイルやヘアカラーをシミュレーションできるスマートミラーであり，美容室などですでに導入さ

* 神戸大学大学院工学研究科

れている [3]．また，ユーザの化粧技術を支援するスマートミラーの研究も存在し，コーセー社のスマートミラー SnowBeauty では，理想の顔に近づくための最適なファンデーションの色味や質感，テクニックなどを提案し，ユーザに化粧に関する知識を提供する [4]．Iwabuchi らはメイク箇所への自動ズームや照明の変化をシミュレーションする機能を実装した Smart Makeup Mirror を提案している [5]．

これらのようにスマートミラー製品は美容分野やヘアスタイルの提案といった様々な分野に普及しているが，ヘアアレンジの具体的な方法は提示されていない．また，システム使用後のユーザの見た目の変化やヘアアレンジの出来栄えについて評価されていない．そこで本研究では，ユーザにヘアアイロンの操作軌道を提示するスマートミラーシステムによって，ユーザにヘアアイロンの操作軌道を提示し手本のヘアアレンジの見た目も再現できるようにヘアアレンジ支援を行う．

2.2 動作習得支援の研究

スポーツやリハビリにおける目標とする動作を単純化し，動作軌跡を表示しユーザ自身の動きに重ね合わせて提示することでユーザの自主練習を支援するシステムの研究は数多くある．Anderson らは YouMove という全身の動作習得支援 AR ミラーを提案している [6]．システム内では単純で認知負荷が低くなるようにデザインされた提示が複数用いられている．例として，ユーザの静止時の姿勢が手本の姿勢と異なっているときにフィードバックを与える姿勢ガイド，動きが止まらない部分はそのまま動画を再生し，止まったところから次の動きのルートをリボン型のガイドで提示する動きガイドというような提示が提案されている．Sousa らは SleeveAR という，腕に装着したマーカをトラッキングしてリハビリテーション時の腕動作を単純なアイコンで表現し，それらを床に映し出すことでリアルタイムで動作のフィードバックを行うシステムを提案している [7]．従来のビデオを用いたフィードバックと比較した結果，提案システムを用いた方が手本のリハビリテーション動作をうまく再現でき，アンケート調査においても提示が分かりやすかったという意見が多数得られた．

これらの研究から，複雑な動作を単純な提示に置き換えることでユーザが動作を直観的に理解できると考えられる．本論文で提案するシステムでは，ヘアアイロン操作にこれらの手法を適用し，ヘアアイロンの回転動作や姿勢を単純化して提示することで動作再現支援を行う．さらに提案システム使用時に巻き髪の見た目を再現できているかを評価する．

3 提案システム

本研究では，手本のヘアスタイルを再現させるためにヘアアイロンの動かし方をユーザに直観的に理解させ，ヘアアレンジを支援することを目的とする．ユーザは自分の姿と手本を見ながらアレンジを進めるため，鏡のように自分の姿を見ながら使用できるデザインやユーザのアレンジの進み具合に合わせて次に何をすればよいかが分かる指示が行われる必要がある．手本の映像を見ることは手順の大まかなイメージをつかむために重要であると考えられるため，映像も参考にできた方が良いと考えられる．毎朝のヘアセットでの使用を想定しており，ユーザがシステム使用時に理想の髪形を再現することと未経験の巻き方でも何度も練習せずとも髪形が再現できることを目的とし，これによってユーザが新たなヘアスタイルに気軽に挑戦できる環境を提供することを目指す．したがって，ユーザのヘアアイロン技術の向上やそれによるシステムからの離脱を目的としない．

3.1 指示内容の決定のための予備調査

指示の内容を決定するため，ヘアアレンジに熟練しており，日常的にヘアアイロンを使って髪をセットしている女性美容師 2 名に自分自身の髪をアレンジしてもらい，そのときの動画を観察し，美容師の意見を聴取した．髪の巻き方は普段から行っている慣れた髪形を形成してもらった．また，美容師でない一般のヘアアイロン使用者 3 名に対して，手本の動画を参考にしながらヘアアレンジを行ってもらい，そのときの様子をビデオ撮影して観察し，よくある失敗を聴取した．

ヘアアレンジ中の動画では，美容師は 2 名とも常に鏡に映る自分の姿を見てヘアアイロンを操作していた．さらに，美容師は顔の位置に対して常にほぼ一定の距離でヘアアイロンを回転させており，それが回転の安定性などに寄与して見た目の再現性を高めていると考えられたため，顔位置に対するヘアアイロンの相対位置を提示する必要があるとわかった．

一般のユーザからは髪をアイロンで挟んだ直後に回転方向を間違えてしまうという意見が多数得られたため，回転方向の指示も必要であるとわかった．加えて，美容師はヘアアイロンの姿勢を常に一定に保って髪を巻いていた．それに対して一般ユーザは髪を挟む位置および角度と回転方向が一致していない場合も多く，巻いている途中でヘアアイロンの姿勢が変化して髪がたわんでしまうことがあった．髪の巻き方は，同じ位置を巻いてもヘアアイロンの姿勢によって形成される髪の見た目が大きく異なる．ヘアアイロンの姿勢が横向きであれば外はねや内はねが形成され，姿勢が縦向きであれば螺旋状の巻き髪が形成される．よって，ヘアアイロンの姿勢も見た目の再現に重要であると考えた．

以上より，ヘアアイロンの動かし方は巻き髪の見

た目に影響を及ぼすと考えられ，特にヘアアイロンの位置，回転，姿勢の情報が重要であることがわかったため，本論文で提案するシステムではこれらをユーザが直観的に理解できるように指示を与える．

3.2 システム要件

想定環境と予備調査の結果をふまえ，以下の要件を満たすシステムを提案する．

- ヘアアレンジ中の自分自身の姿と指示を同時に見ることができる
- 次に動かすべきヘアアイロンの位置，回転，姿勢の情報が直観的に理解でき，動かし方が再現できる

システム要件に基づき，本研究ではヘアアイロンの操作軌道をユーザに提示するスマートミラー型のヘアアレンジ支援システムを提案する．PC 画面を鏡のようにして AR 表示で指示を与えることで，ユーザは自分の姿を見つつ，画面上の提示によってヘアアイロンの動かし方の指示を受けられる．

提示する操作軌道であるヘアアイロンの位置，回転，姿勢の情報は，関連研究 [6]，[7] を参考に単純化することで提示によって認知負荷が高まることを避けて直観的に理解可能なデザインにする．具体的には，ヘアアイロンにカラフルなシールを貼り，同じ色の提示に合わせていくことで位置や回転が合うようにする．姿勢は小型な加速度センサを用いて取得し，ヘアアイロンの傾きに合わせて変化する表示を用意し，それを目標に合わせるようにして一致させる．提示に合わせて動かせたときに提示を次に切り替える．

3.3 システム構成

図 2 に提案システムの構成を示す．システムはヘアアイロンと PC で構成され，PC 上で鏡のように画面にユーザの顔を映しながら手本の操作軌道を提示する．ヘアアイロンには，図 3 のように先端 1 周に 4 色の位置認識用シールを貼り，持ち手に加速度センサを取り付けてある．PC では Web カメラでシールの色検出を行いヘアアイロンの回転情報と位置を，無線で受信した加速度センサ値からヘアアイロンの傾きを表す姿勢角をそれぞれ算出する．提案システムでは，あらかじめ手本とするヘアアレンジにおけるヘアアイロンの回転や位置などの操作軌跡を保持しておく．システムがユーザの操作軌道と手本の操作軌道との一致を検出し提示を切り替えることで，ユーザのヘアアレンジ進度に合わせて PC 上に手本の操作軌道を提示する．システム画面は Unity[9] で作成し，ヘアアイロンは I-ne 社のセラミックカールアイロン 32mm[10]，マイコンは M5Stack 社の M5StickC[11]，加速度センサは，M5StickC に搭載された mpu-6886[12] を用いた．

図 2: Color-Path のシステム構成

図 3: 提案デバイス

3.4 ヘアアイロンの位置と回転および姿勢角の算出方法

ヘアアイロンの位置は，ヘアアイロンの先端に貼ったカラーマーカの画面内の位置とする．カラーマーカの位置は画面からマーカの色の RGB 値を満たす画素を検出し，その座標から算出する．ヘアアイロンの回転は検出するマーカの色の変化から算出する．

ヘアアイロンの姿勢角は，加速度センサの値から算出する．提案システムで算出する姿勢角は PC の画面に対するヘアアイロンの左右の傾きと前後の傾きである．

3.5 提示情報

ヘアアイロンの位置と回転および姿勢角の提示

提案システムの画面を図 4 に示す．2 種類の提示を組み合わせて操作軌道を提示する．

ゲート: ヘアアイロンの位置と回転を提示する．色のついた枠に同色のカラーシールが通るようにヘアアイロンの先端を合わせるための円状の目印である．

スティック: ヘアアイロンの姿勢角を提示する．ヘアアイロンの目標姿勢を示す棒状の提示である．左右の傾きは，スティックの傾きで示す．図 5 のように，ヘアアイロンの左右の傾きが手本に近いとスティック内の色が変化する．また，前後の傾きは，スティック内部の着色部分の増減で示す．ヘアアイロンの左右の前後の傾きが手本に近いとスティックの横にある三角形のアイコンの色が変化する．

提示の切り替えは，ユーザのヘアアイロンが目標位置と目標姿勢角に一致しているとシステムが判定したときに行う．本システムでは，一連のヘアアレ

図 4: 提案システムの提示画面

図 5: スティックの変化で傾きの一致度を表す提示

ンジ動作を分割し，動作の指示を 1 つずつシステム画面に提示する．それぞれの動作にヘアアイロンの目標位置と目標姿勢角が設定されており，ユーザのヘアアイロンがそれらに一致しているとシステムが判定したときに次の動作の提示に切り替える．

ヘアアイロンと顔の相対位置を再現するための提示

提案システムでは提示とユーザの顔の相対位置が手本動作のヘアアイロンと顔の相対位置と同じになるように，映像から算出したユーザの顔位置に合わせて提示を移動させる．また画面と顔との距離も手本と同じにするために，図 4 に示す顔の大きさガイドを作成した．青色の枠で提示される手本の顔の大きさに，赤色の枠で提示されるユーザの顔の大きさをユーザ自身が合わせることで，画面と顔との距離を調整する．画面に映るユーザの顔の大きさが手本の顔の大きさに合っている場合のみゲートとスティックの提示が画面に表示される．

ヘアアイロンの姿勢保持の時間と回転方向の提示

髪に巻き髪の形をつけるには，ヘアアイロンを一定時間静止させ，巻く毛束に熱を加える必要がある．そこでユーザに髪の加熱時間を示すために，図 6 のようなゲート周辺の強調線の本数でヘアアイロンの姿勢を保持させる時間を示すアニメーションを作成した．また，ゲート下部に示す矢印でヘアアイロンの回転動作とその方向をユーザに提示した．

姿勢保持の残り時間を示すアニメーション

図 6: 姿勢保持の時間と回転方向の提示

図 7: 実験の様子

4 評価実験

4.1 実験方法

本実験では，システムによって被験者が手本の操作軌道を再現できているか，手本の操作軌道を再現できたときに見た目も再現できているかを評価した．被験者はシステムによる提示がない場合とある場合でヘアアレンジを行った．手本の髪形は 2 つ用意した．それらは美容師が髪全体をヘアアレンジしたものであり，それぞれ異なる髪形である．

被験者は 20 代女性 4 名で，日常的にヘアアイロンを使用している．ヘアアレンジする髪の長さ，髪質を統一するために，被験者はウィッグを装着してヘアアレンジを行った．被験者はシステムの提示なしの場合と提示ありの場合で手本の巻き方を再現するように髪全体をヘアアレンジした．各被験者の提示なしとありの順番と手本の髪形は以下のようにランダマイズした．

被験者 A 提示なし髪形 1 → 提示あり髪形 2

被験者 B 提示あり髪形 2 → 提示なし髪形 1

被験者 C 提示あり髪形 1 → 提示なし髪形 2

被験者 D 提示なし髪形 2 → 提示あり髪形 1

実験の様子を図 7 に示す．実験中はシステム画面を録画し，実験後に被験者の巻いたウィッグの写真を 4 方向から撮影した．またシステムに関する質問紙調査を行った．なお，本実験は神戸大学大学院工学研究科倫理委員会の承認を得て行った．

4.2 評価指標

提案システムによって被験者がヘアアイロンの操作軌道を上手く再現できているときに巻き髪の見た目が良くなれば，提案システムはヘアアレンジの支援を行うインタフェースとして有効であるといえる．

システムを用いて手本の操作軌道を再現できたかは，各被験者の手本との操作軌道のずれをシステムの提示がない場合とある場合で比較して評価する．手本との操作軌道のずれは，顔位置に対するヘアアイロンの相対座標とヘアアイロンの姿勢角の手本との差から評価する．顔位置に対するヘアアイロンの相対座標の差とヘアアイロンの姿勢角の差がシステムの提示がない場合よりもある場合の方が小さければシステムの提示が動作の再現に有効であるといえる．

軌道のずれの算出方法について，カラーマーカのいずれかの色が真正面に向いたときを通過点とし，その通過点での顔位置に対するヘアアイロンの相対座標とヘアアイロンの姿勢角の値の手本との差から軌道のずれを算出する．実験で用いた 2 つの手本では巻く毛束の数や 1 束ごとの巻きの種類がそれぞれ異なりヘアアレンジ全体の操作軌道の比較は難しい．そのため今回は 2 つの手本動画間で巻き方の種類，毛束の左右の位置，ヘアアイロンを回す方向が同じである髪 1 束を選ぶ．その 1 束を巻くときの顔位置に対するヘアアイロンの相対座標とヘアアイロンの姿勢角の手本との差の 1 通過点あたりの平均を算出して比較を行う．システム画面の座標空間と実験環境でのシステム画面に映る範囲を図 8 に示す．

被験者が手本の操作軌道を再現できたときに見た目も再現できたかは，被験者の操作軌道の再現度と見た目の良さの関係から評価する．巻いた髪の見た目の再現度がシステムの提示がない場合よりもある場合に高くなっていれば，提案システムの提示が見た目の再現に有効であるといえる．見た目の評価は手本の髪形と実験で被験者が巻いた髪形の写真を見比べて，被験者が巻いた髪形が手本の髪形の再現として許容できるかできないかをヘアアイロンを使ってヘアアレンジをしたことのある，被験者を除く 4 名の女性に判定させた．

また，提案システムの提示がユーザにとって理解しやすいことも重要であるため，質問紙調査の結果から提示に関する主観的な分かりやすさも評価する．被験者にはゲート，スティック，顔位置の提示がそれぞれヘアアレンジで役立ったか，提示が顔に合わせて動くことに違和感を感じてヘアアレンジはやり辛かったかをそれぞれ回答させた．

図 8: 座標空間の定義

(a) 顔位置に対するヘアアイロンの x 座標

(b) 顔位置に対するヘアアイロンの y 座標

(c) 前後の傾き

(d) 左右の傾き

図 9: ヘアアイロンの操作軌道の手本との差

5 実験結果と考察

5.1 操作軌道の再現

顔位置に対するヘアアイロンの相対座標とヘアアイロンの前後左右の傾きの手本との差を図 9 に示す．被験者 4 名の全員が全ての評価項目でシステムの提示ありの場合に手本との差が小さくなっており，システムの提示なしよりも提示ありの方が手本の操作軌道を再現できていた．よって，システムの提示が操作軌道の再現に有効であったと考えられる．

5.2 操作軌道と見た目の関係

被験者が手本の操作軌道を再現できたときに見た目が再現できたかを確かめるために，手本と被験者の試行における操作軌道の差，見た目の差の関係性を調べた．各被験者のそれぞれの試行で巻いた髪形が手本の再現として許容できるかどうかを実験の被験者と異なる女性 4 名に判定させた．判定する人にはそれぞれの試行で巻いた髪形とその手本の髪形の後ろ姿の写真 2 枚を提示し，手本の再現として許容できるかどうかを逐次回答させた．結果を表 1 に示

表 1: 髪形の写真と許容できるか判定した結果

			提示なし		提示あり	
		手本	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D
髪形1						
見た目の許容(人)	できる		2	4	3	3
	できない		2	0	1	1
		手本	被験者C	被験者D	被験者A	被験者B
髪形2						
見た目の許容(人)	できる		3	0	1	0
	できない		1	4	3	4

す．髪形 1 では提示なしと提示ありで手本として許容できるという回答が同数であった．提示ありの被験者 C，被験者 D の見た目に関して,「緩く巻かれているという全体的な雰囲気は一緒だと感じる」「巻き具合が手本に似ている」という意見があった．しかし髪形 2 では提示ありよりも提示なしの方が許容できるという回答が多かった．提示ありの被験者 A，被験者 B の見た目に関して,「全体的に強く巻きすぎているように感じる」「全体のシルエットが違う」という意見があった．

そこで，巻きの強さに影響する要素である髪に熱を加える時間について分析した．操作軌道の再現度を調べるために用いた髪 1 束を巻くときの手本よりも超過した時間を図 10 に示す．髪形 1 を提示ありで再現した被験者 C，D より髪形 2 をシステムの提示ありで再現した被験者 A，B が巻き終わるまでの時間が手本よりも長かった．これは被験者が提示に合わせるのに時間がかかったことで手本動作よりも髪に熱を加える時間が長くなり，これによって巻きが強くなったと考えられる．したがって，今後システム使用時に髪を 1 束巻く所要時間が手本の所要時間に近くなるように提示方法を工夫する必要がある．

5.3 提示に関する質問紙調査

提示に対する主観的な評価としてゲートと顔位置の提示が役に立ったかという質問に対しては 4 名とも全ての提示が役立ったと回答した．しかし，スティックの提示が役立ったかという質問に対して 4 名は役立ったと回答したが，1 名が提示に合わせるのが難しかったため役立たなかったと回答した．

5.4 議論

提案システムでは髪全体のヘアアレンジの操作軌道を 1 束ずつに分けて提示したが，それぞれの毛束の位置や毛量をユーザに提示できていない．これらが手本と異なるとき，毛束におけるカールの位置も

図 10: 髪 1 束を巻くときの手本よりも超過した時間

手本と異なるため再現度が低くなる可能性がある．また，見た目の許容について，全体の雰囲気で判定するという意見が多かった．提案システムの提示は髪 1 束の見た目の再現度を高めるようなものであり，全体の雰囲気やバランスの再現は考慮できていない．毛束の位置や毛量は巻き髪の仕上がりに影響する要素であり，これらが全体の雰囲気やバランスに影響する可能性がある．今後これらの提示の実装についても検討する．加えて見た目の再現度をより詳細な基準を設けて評価し，髪形のどの部分が雰囲気やバランスの良さに影響するのかを評価する．

6 まとめ

本論文ではヘアアレンジの手本動作を再現できるように，ユーザにヘアアイロンの操作軌道を提示するスマートミラー型のシステム Color-Path を提案した．提案システムでは端末のカメラと加速度センサからヘアアイロンの位置座標と姿勢角を取得する．取得した値に基づき，提案システムはユーザのヘアアレンジ進度に合わせて提示を適切に切り替えてヘアアイロンの操作軌道をスマートミラーの画面上に AR 表示する．操作軌道の提示にはヘアアイロンの位置と回転を示すゲート，ヘアアイロンの姿勢角を示すスティックを用いた．ユーザの顔に対するヘアアイロンの相対座標が手本と同じになるように，操作軌道の提示はユーザの顔に追従させて表示した．

提案システムの提示の有効性を評価した結果，ユーザは提案システムを用いてヘアアイロンの操作軌道を再現できた．しかし，提案システムを用いて見た目も再現できるとはいえなかった．今後は，ヘアアイロンの操作軌道と見た目の再現度の関係についてより詳しく調査し，見た目の再現度を高めるためにシステムを改良していく．

謝辞

本研究の一部は，情報処理推進機構 (IPA) の 2020 年度未踏 IT 人材発掘・育成事業，及び JST CREST (JPMJCR18A3) の支援を受けて実施されたものである．ここに記して謝意を表す．

参考文献

[1] 花王: ヘアスタイルとスタイリング技術の歴史, urlhttps://www.kao.com/jp/haircare/history/14-2/.

[2] HiMirror: HiMirror Mini, https://www.himirror.com/ja-JP/product/HiMirrorMini.

[3] Mirror Roid: Mirror Roid, https://www.mirrorroid.co.jp/products/.

[4] KOSÉ Corporation: 肌分析機能内蔵の「Snow Beauty Mirror」でデジタル技術を活用した最先端のパーソナライズ提案を開始パナソニックと協業へ向けた実証実験, https://www.kose.co.jp/company/ja/content/uploads/2019/12/191206.pdf.

[5] E. Iwabushi, M. Nakagawa, and I. Siio: Smart Makeup Mirror: Computer Augmented Mirror to Aid Makeup Application, *Proc. of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction* (*HCI 2009*), pp. 495–503 (July 2009).

[6] F. Anderson, T. Grossman, J. Matejka, and G. Fitzmaurice: YouMove: Enhancing Movement Training with an Augmented Reality Mirror, *Proc. of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (*UIST 2013*), pp. 311–320 (Oct. 2013).

[7] M. Sousa, J. Vieira, D. Medeiros, A. Aesenio, and J. Jorge: SleeveAR: Augmented Reality for Rehabilitation using Realtime Feedback, *Proc. of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces* (*IUI 2016*), pp. 175–185 (Mar. 2016).

[8] CREATE ION: ヘアアイロンメーカー公式 コテ・アイロン 巻き方テクニックまとめ, https://createion.jp/column/kote-technique.

[9] Unity Technologies: Unity, https://unity.com/ja.

[10] I-ne: SALONIA セラミックカールヘアアイロン 32mm, https://salonia.jp/product/hair/iron/curl/.

[11] M5Stack: M5StickC, https://shop.m5stack.com/collections/stick-series/products/stick-c?variant=17203451265114.

[12] InvenSense: MPU-6886, https://m5stack.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/resource/docs/datasheet/core/MPU-6886-000193%2Bv1.1_GHIC_en.pdf.