

G-20

拡張現実感を用いた耳介再建位置決定支援システムの開発 Development of support system for positioning an external ear in plastic surgery with Augmented Reality

渡邊 隆介† 原田 利宣† 山田 朗‡
Ryuusuke Watanabe Toshinobu Harada Akira Yamada

1. はじめに

形成外科手術の代表的なものに耳介再建手術が挙げられる。耳介形状の複雑さや、再建する位置の決定が困難なことから、耳介再建手術は再建外科の中で最も難易度の高い手術と言われている。耳介再建手術では医師の感性や経験に基づいて耳介形状の創成を行っているため、完成度には医師の熟練度や造形に関する能力差が反映されてしまう。だが、山田らが提案する耳介形状創成手法では、耳介形状のテンプレートをを用いて形状創成を行っている。これにより医師の経験や造形に関する能力差を減らすことができる。また原田らの研究では、耳介形状を分析し6種類のタイプに分類している。この結果からそれぞれのタイプのテンプレートを作成し、実際の手術で使用され、術後の耳介の整容性に貢献することが確かめられている[1]。

次に、再建する耳介の位置決定も耳介再建手術の中で重要な工程のひとつである。耳介位置が不自然な場所で再建されてしまうと、患者の幸福度を示すQOL

(Quality of Life) に多大な影響を与えてしまうことから、患者の希望によって再々建手術を行うケースもある。山田はこの問題を解決するため、耳介ポジショニングテンプレート(以下、EPT: Ear Positioning Template)を提案した。これは顔と耳介との位置関係を記した、再建する耳介位置を決定する際に使用するガイドラインとなる。EPTは実際の手術に使用され、その有用性が確認されている。しかし、EPTでは再建位置は確認できたとしても、術後の立体的な耳介形状をイメージすることは難しい。また、平面的なEPTを顔側面という曲面に押し当てて使用することから、再建位置にずれが生じる可能性があった。

そこで、本研究ではEPTが正確な再建位置を示すことができ、術後の再建イメージも確認できるシステムの開発を目的とする。具体的には、直感的に医師が操作でき、また顔側面にEPTを表示するために、拡張現実感(以下、AR: Augmented Reality)技術を使用し、現実環境に重ねてEPTを表示するシステムを開発する。また患者の正常な側の耳介、もしくは肉親の耳介画像を使用した、術後の再建イメージの確認が行えるシステムも開発する。これらのシステムは術前での患者への説明や術中での使用を想定しており、頭部装着型でハンズフリーであるヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD: Head Mounted Display)で使用する。

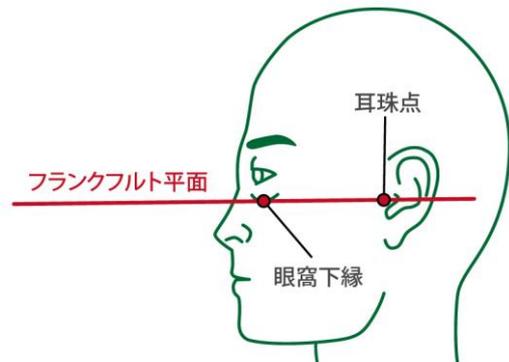


図1. メルクマールの位置とフランクフルト平面

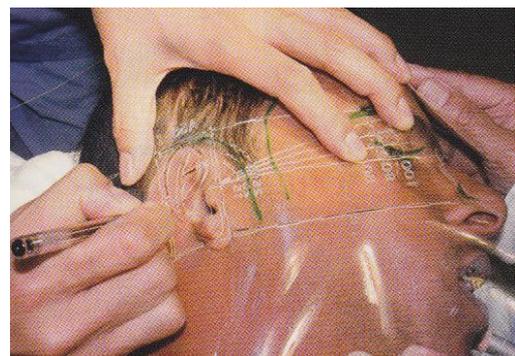


図2. EPT使用風景

2. EPTを使用した耳介再建位置決定方法

人の顔と耳介位置との関係性を示す指標のことをメルクマールと呼ぶ。主要なメルクマールは2点あり、ひとつは耳珠点、もうひとつは眼窩下縁である[2]。これらの点を結んでできる平面はフランクフルト平面と呼ばれる基準平面となる(図1)。この基準平面の傾きと、EPTの水平線を一致させることで位置決めを行う。このメルクマールから導き出された耳介位置にEPTを表示することで、正確な耳介再建位置が導き出せる。

ここで、EPTとは山田により提案された耳介の再建位置を客観的に評価するために使用されるガイドラインである。アクリル板に耳介テンプレートと主要なメルクマール、さらにメジャーをスリットとして入れてあり、これにより患者の顔側面に耳介の位置、形状を描き写すことが可能である。EPTは耳介のサイズに応じた種類を用意しており、実際の手術によりその有効性が確認されている。しかし、EPTは患者の顔に押し当てて使用するため、湾曲してしまい正しい位置関係を反映しにくいという問題がある(図2)。

† 和歌山大学, Wakayama University

‡ 大阪医科大学, Osaka Medical College

3. AR技術の利用方法

AR技術とは、ユーザが見ている現実のシーンに、CGによって描画された仮想物体をオーバーレイ表示することで情報を直感的に提示する技術である[3]。本研究では、システムのひとつとしてEPTをCGモデルとして作成し、患者の顔側面に表示する。これによりEPTでの課題として挙げていた、顔側面に沿って湾曲して耳介位置、形状がずれてしまう点が改善され、正確な位置のガイドラインとして利用できる。今回のシステムでは、このARの表示を2眼Webカメラが搭載されたビデオシーヌ方式のHMDで出力する(図3)。

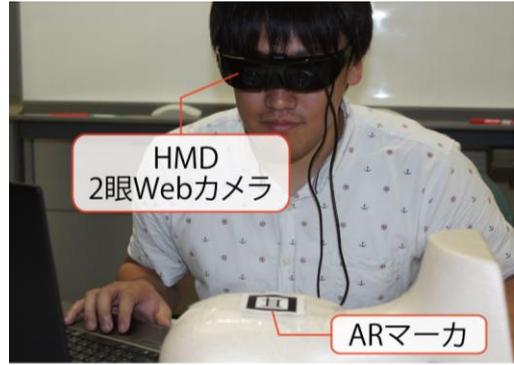


図3. システムの構成

4. ARを用いた耳介再建手術支援システム開発

今回開発したシステムは、手術中の効率化、高精度化を図ることを目的とし、再建する耳介位置を表示するためのEPT表示部と、術前、術中に再建後のイメージを表示するためのEMI表示部の2つからなるシステムを開発した。以下に詳細を述べる。

4.1 システムの流れ

本システムのフローを概説する(図4)。

HMDに視線方向と一致させた2眼Webカメラを装着し、撮影しているカメラ画像を取得する(図4 ①)。取得した画像からARToolKit [4]を用いてマーカの検出を行う(図4 ②)。検出されたマーカの映り方からカメラの姿勢・位置の推定を行い(図4 ③)、そこから計算された変換行列により、幾何学的整合性のとれた3Dモデルを表示する(図4 ④)。

4.2 EPT表示部

耳介形状はA-1タイプ、サイズは44mm~72mmまでの2mmピッチ、計15種類あるEPTの3Dモデルを作成し、データベースに保存しておく。手術中に耳介の再建位置を決める際、このEPT表示システムを使用し、患者に合った耳介形状をデータベースから選択し、表示する。表示されたEPTはキーボード、カーソルキーによる操作が可能である。この操作により、メルクマールやフランクフルト平面に合わせるためのEPTの移動や回転処理を行うことができる。

EPTはARによる表示のため、患者の顔側面に重ねあわせた形で表示される。これにより顔側面へ表示した際、EPTが湾曲してしまうことによる位置のずれを最小限にでき、より高精度に位置決定が行うことができる。

4.3 EMI表示部

再建後の耳介イメージを、術前に患者へ伝える、または術中に医師が再建位置や耳介形状を確認するための再建後イメージの表示部を開発する。具体的には、正常な耳介の顔側面の画像を取得し、その画像を反転させ透過させたものを手術する顔側面に重ね合わせる。この画像を、耳介ミラーリング画像(以下、EMI: Ear Mirroring Image)と呼ぶ。EMIは患者自身の耳介位置を直感的に理解できる指標となるため、術中ではEPTで再建位置を決めた後の確認用としても使用できる。術前では、患者とその家族にEMIを重ねた顔側面の画像を提示することで、術後のイメージを明確に伝えることができる。

EMIは、患者自身の正常な耳介がある顔側面、もしくは近親者の顔側面の画像をあらかじめ取得しておく。この画像をテクスチャとして保存しておき、ARで表示する際に透過処理を加えて表示する。この透過処理の部分では、Webカメラから取得されるカメラ画像を利用している。EMIを表示したい部分のカメラ画像のみを参照し、保存してある耳介画像と合成することで、HMDの視線方向にあった歪みのない透過画像が表示できる。

EMIもEPT表示部と同様、キーボード、カーソルキーによる操作が可能である。移動、回転、拡大、縮小処理の他、EMIは使用者の感覚や使用用途によって求める透過具合は異なるため、透過する段階の調節を行うことができる。

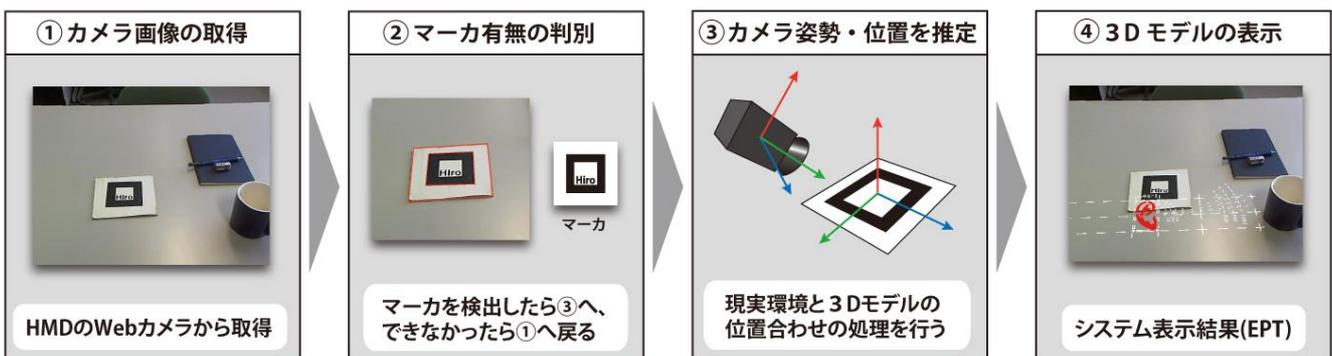


図4. ARとHMDを用いたシステムの流れ

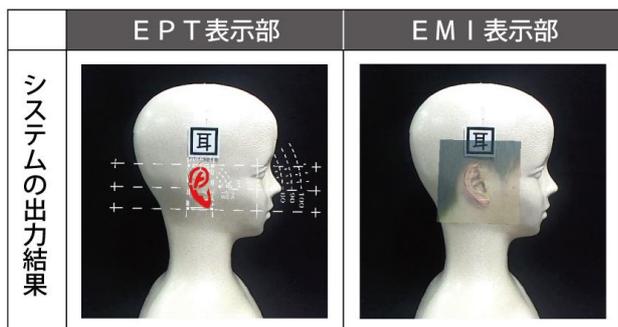


図5. EPT表示部, EMI表示部の各出力結果

5. システムの評価実験

5.1 システムの使用評価実験

実際に頭部モデルを利用して、EPT表示部、EMI表示部の視認性や操作性についての評価を行った。その結果を以下に示す(図5)。

- ・EPT表示部において、表示されたEPTが顔側面に重畳表示され、メルクマールに合わせてEPTのモデル変換処理を行うことで正しい位置に表示することができた。また、EPTの移動や回転、データベースに保存している別サイズのEPTとの表示切り替えを行ったが、時間的整合性を損なわず、リアルタイムでレンダリングが行われていた。
- ・EMI表示部において、歪みのない透過画像の表示が行えた。また、透過具合の調節をキーボード操作により行うことができるため、使用者の感覚に合わせた表示を行えることを確認できた。

5.2 システムを使用した耳介の位置決め精度評価実験

開発したEPT表示部のシステムを使用し、実際に頭部モデルに対して耳介の位置決めを行い、その精度評価を行った。実験には片側の耳介がない頭部モデルを利用した(図5)。

まず、頭部モデルの耳介がある側面上でEPT表示部のシステムを使用し、メルクマールからEPTの位置関係と耳介のサイズを決定する。その後、EPTを反転させ頭部モデルの耳介がない側面に表示し、耳介位置を直接頭部モデル上に描き写す。

次に、精度評価を行うためシステムを使用して描いた耳介位置と比較対象となる正確な耳介位置を求める。この位置座標の取得にはレイアウトマシンを使用した(図6)。レイアウトマシンとは、立体物の精密な計測を行う際に使用する3次元測定器である。レイアウトマシンを用いて計測した耳介位置を左右反転して描いたものと、システムを用いて描いた耳介位置の比較の結果を、以下に示す(図7)。

- ・システムを使用して描いた耳介位置と耳介のサイズは、レイアウトマシンで描いたものと一致した。
- ・システムを使用して描いた耳介形状は、最大で2mm程度のずれが生じてしまった。サイズ、メルクマールが一致している点から、このずれは使用者の描き方の問題、もしくはモデル表示の際に、マーカの認識角度から起こるモデル自体の幅方向での形状歪曲が原因だと思われる。現在、形状歪曲を減少させるためシステムの改善を行っている。



図6. レイアウトマシンによる計測

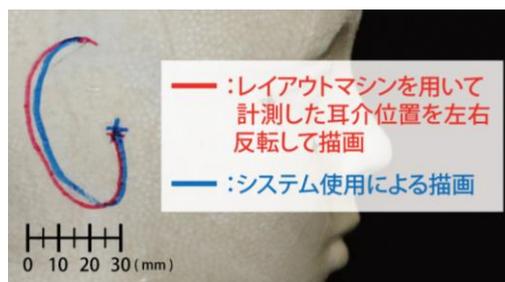


図7. システムとレイアウトマシンによる耳介位置比較

6. まとめ

本研究では以下に示す成果が得られた。

- 1) HMDを使用し、ARを用いた耳介再建位置の決定及び確認を行うことができるシステムを開発した。
- 2) システムを使用した耳介位置決め精度評価実験を行い、システムが耳介位置を正確に決定できる手がかかりになる可能性が考えられた。

また、今後の課題として以下のようなものが考えられた。

- 1) EPT表示システムにおける、モデル表示の安定化を行う。
- 2) 実際に医師によるシステムの評価実験を行う必要がある。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構(JST)のFSステージ探索タイプ(課題番号:AS242Z03813P)によるものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 原田利宣, 山田朗, 佐藤瑛, 富田郁成: 耳介形状における曲線の分析と形成外科手術用テンプレートの開発, デザイン学研究 Vol. 57, No. 5, pp. 21-26, (2011)
- [2] Nelson Powell, Brian Humphreys, 高橋 一朗, 木下善之介: 顔面のバランスと審美, 医歯薬出版, pp. 7, (1996)
- [3] 神原誠之: 拡張現実感(Augmented Reality: AR)概論(特集)拡張現実感(AR), 情処学誌, Vol. 51, No. 4, pp. 367-372, (2010)
- [4] 加藤博一: 拡張現実感システム構築ツールARToolKitの開発, 電子情報通信学会研究技術報告, PRMU, p. 79-86, (2002)