

# 空中触覚フィードバックを有する インタラクティブボクセル立体映像システム

2017年3月修了 47-156106 木村優太 指導教員: 篠田裕之 教授

キーワード: 立体映像, 非接触触覚フィードバック, インタラクティブ

## 1. 緒言

### 1.1 研究背景

近年 HMD が盛り上がりを見せているが, 装着の手間が無い裸眼立体視においても多くの手法が提案されてきた. また立体視の応用例として, ゲームやエンターテイメント等の体験系の他, 3次元空間に配置された空中映像を操作するユーザインターフェース(UI)への応用の期待も高まっている. しかし, 2つの問題により操作性の低下が懸念されてきた. 1点目は空中立体映像には2Dディスプレイにおける接触応力が存在しない点である. 2点目は空中結像した映像には三次元空間的位置を比較する対象がない点である. この操作性の低下を防ぐため, 三次元化した映像・UIに対し, ユーザと映像との間に触覚フィードバックを付与するという提案がなされてきた. ただし裸眼立体映像に対し, 非接触触覚フィードバックによる操作性の向上効果を明確に示す報告は未だ無く, 触覚の有用性を具体的に示すことも課題として挙げられている.

### 1.2 研究目的

そこで本研究は, 触覚フィードバックを有するインタラクションが可能な裸眼立体映像の製作を第一の目標とし, 製作した装置を用い, 立体映像に対するユーザの操作性が触覚フィードバックを付与する事で向上するかの検証を第二の目標として掲げる.

## 2. 提案システム

### 2.1 提案システム概要

Fig.1 に本研究における提案システムの概略図を載せる. 本装置は, 立体映像を描画する立体描画部とユーザの手の位置や姿勢をトラッキングするセンシング部, 触覚フィードバックを発生させる触覚生成部の3要素から構成される. よって, 分類した各構成要素のシステムを個別に論じていく. Fig.2 に実際に作成した装置の側面画像を載せ, 3要素に対応した部分を色分けした.

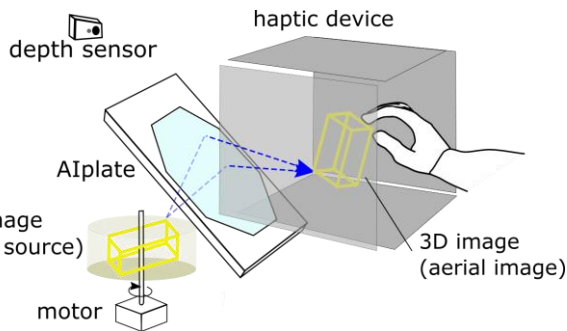


Fig.1 提案システムの概略図

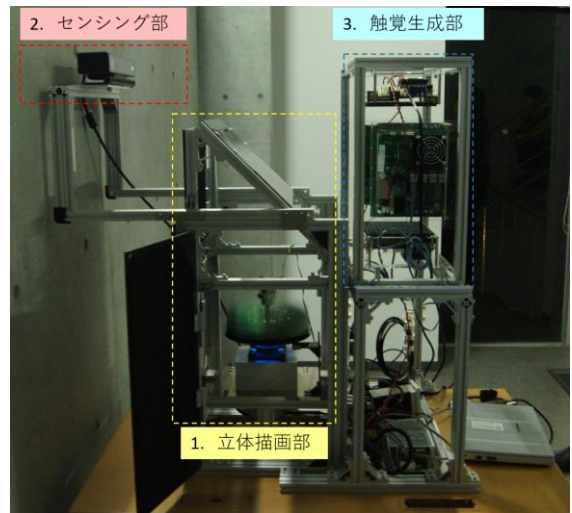


Fig.2 装置の背面画像

### 2.2 立体描画部

立体映像を描画する立体描画部は, ボリュームトリックな映像を描画する立体光源装置 (Fig. 3(a)) と, それを空中結像するマイクロミラーアレイ (AIplate) を組み合わせている. 立体光源装置は各 LED を回転中適切なタイミングで発光させることにより, LED 光の残像によるボクセルイメージを描画する (Fig. 3(b)). マイクロミラーアレイは直交した2方向に, 短冊状のミラーアレイが敷き詰められたもので, 光源装置における3Dイメージの光線をユーザ側に再結像することで, 接触可能な立体映像を構築している (Fig. 3(c)).

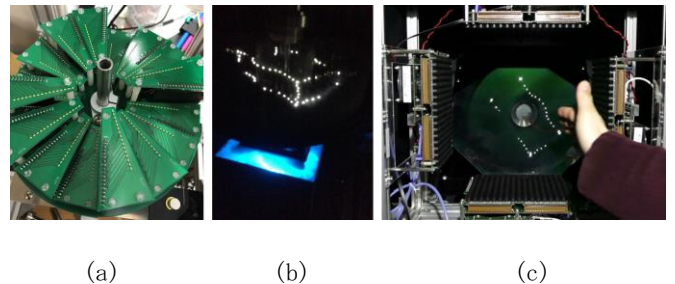


Fig.3 (a): 立体光源装置 (b): 描画した3Dイメージ (c): 空中結像した3Dイメージ

### 2.3 センシング部

センシング部では, ユーザの手の位置・姿勢をセンシングし, 3Dモデリングツール (Unity) 内にモデル化する. Unity 上でのインタラクション (手のモデル ⇄ 3Dオブジェクト) が実空間上でのインタラクション (ユーザの手 ⇄ 立体映像) と同期するように, 「Unity 上におけるモデルと

オブジェクトの位置関係」と「実空間上における立体映像とセンサの位置関係」を調整する。これによって実空間上でのインタラクションをUnity内で物理演算処理する。

### 2.4 触覚生成部

触覚の生成には、非接触によるフィードバックを実現する為、超音波収束装置(AUTD)を用いる。本装置では井上らの手法[1]を参考にし、AUTDでワークスペースを取り囲むことで、空中任意の位置において触像の生成を可能にしている。この触覚を、3Dイメージとユーザの接触点に発生させることで、ユーザはより実感を持って3Dイメージに触れることができると考えられる。

## 3. トレース実験

### 3.1 実験目的

本研究では”触覚フィードバックの付与により、3Dイメージへのハンドリングやマニピュレーション精度が向上するか検証する”を目的の一つとしている。その初期実験として、”触覚フィードバックの付与により、3D物体への接触位置精度が向上するかを検証する”ための実験を行った。これは3Dイメージへのインタラクションを行う際、光学的結像位置に対する奥行き知覚の精度が重要な事を念頭に置き、触覚フィードバックを付与する事で奥行き知覚の精度が向上するかを検証するための実験である。

### 3.2 実験方法

空中にLED光によるピクセルでできた光の環を描画し、指先でなぞるというタスクを課す。その際、フィードバックなし(nonFB)・視覚フィードバック付与(viewFB)・視覚+触覚フィードバック付与(hapFB)の3条件で実験を行い、各条件において光学的結像位置と毎フレーム取得する指先座標とのずれ具合を定量化する。これをもって、視覚フィードバックに加え触覚フィードバックを付与することにより、立体映像に対する奥行き知覚精度が向上するかを評価した。なお被験者には、各条件において9回ずつ(計27回)の試行を課した。Fig.3に実験中の様子を載せる。

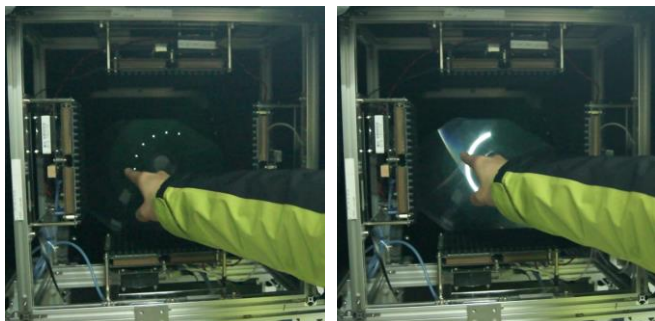


Fig.3 (a): 定常状態 (b): 視覚フィードバック発生時

### 3.3 実験結果

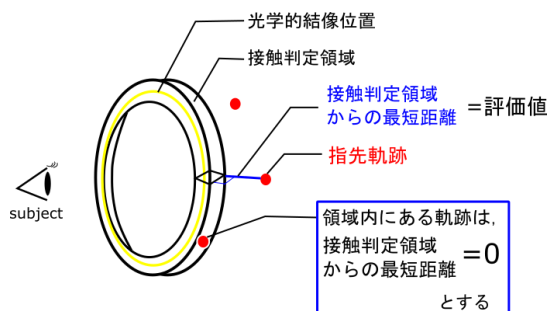


Fig.4 接触判定領域と評価値

本実験では、接触判定領域というフィードバックが発生する領域を、光学的結像位置の周囲に設けている。Fig.4に示す接触判定領域からの最短距離を、接触位置精度の評価値として採用する。即ち、接触位置精度が向上するほど、評価値は小さい値をとる。ただし、Fig.4 青枠のように、接触判定領域内にある指先位置は評価値0とする。これは、たとえ指先が光学的結像位置とずれていたとしても、接触判定領域内に収まっていれば接触の合図であるフィードバックが発生するため、接触判定領域内のデータは”接触”と判断すべきであるという根拠に基づいている。

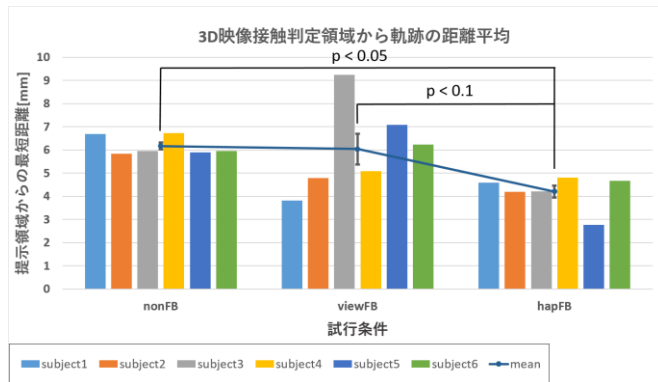


Fig.5 全被験者における実験結果

全被験者6名において、3条件ごとに9回の試行の評価値平均を図Fig.5にまとめた。横軸は実験条件であり、左からフィードバックなし・視覚フィードバック付与・視覚+触覚フィードバック付与である。各グラフは被験者ごとに色分けをしており、縦軸は実空間スケールに直した評価値を表している。折れ線グラフはさらに6人の被験者同士で平均をとったものである。6人の平均において評価値はnonFB・viewFB・hapFBの順に低下したことがわかる。これから、被験者の平均において、触覚を付与した場合が最も円環イメージと指先位置のずれが少なかったと言える。

### 3.4 考察

hapFBが最もずれが少なくなった結果について考えられる要因を2点挙げる。まず1つ目は、実験環境実装の段階で、hapFBに比べviewFBの発生フレームレートが低くなったため、hapFBがより正確に接触したというフィードバックを返していたという点である。2点目は、接触に対する反力及び振動刺激を感じることで深部感覚と統合し[2]、指先の位置感覚が高まった可能性である。

## 4. 結論

本稿では、非接触の触覚フィードバックを有するインタラクションが可能な三次元立体映像システムの提案を行った。製作した立体光源装置では解像度に限界があり、代表的な図形のワイヤーフレームを描画するに留まったが、実験を行う十分な環境を構築する事が出来た。実験では触覚フィードバックの優位性を示す結果を得ることが出来たが、考察で挙げたフレームレートの問題は根源的ではないため、同条件で比較する事は重要な課題である。また、指先への皮膚刺激が位置感覚を高めた可能性がある事を論じたが、超音波による振動触覚と人間の知覚特性の関係を明らかにし、この仮説を明確する事も今後の課題である。

### 参考文献

[1] Seki Inoue, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda. 2015. Active touch perception produced by airborne ultrasonic haptic hologram. IEEE World Haptics Conference, 362--367.  
 [2] 下条 誠, 前野 隆司, 篠田 裕之, 佐野 明人. 触覚認識メカニズムと応用技術-触覚センサ・触覚ディスプレイ-. S&T 出版. 2014.