

## 要旨

ロボットとユーザー間の情報のやり取りにおいては一般的にディスプレイを必要とする事が多く、円滑なコミュニケーションを妨げる要因となっている。本研究では、実物体に対しプロジェクタ-カメラシステムを使用した画像投影による円滑な情報提示手法を提案する。提案手法では、AR マーカーによる位置姿勢検出を用いて対象物とユーザーとの関係を導き出し、画像歪補正式の有効性を検証する。

## 1. はじめに

今日まで、ロボットがユーザーに対して情報を提示する方法としてはディスプレイ等を介す必要があり、コミュニケーションにおいて、煩わしい側面があった。そこで、実物体に対し画像を投影する事が可能になれば、操作手順を投影によって指し示すというような事もでき、ロボットとの円滑なコミュニケーションを図る事が可能になる。本研究では、ユーザーに正しい情報を伝えるために必要な、実物体への投影手法について提案する。

## 2. プロジェクタ-カメラシステム

実物体に画像を投影するためには、通常対象物の精密な3次元位置の把握が必要となる。これに加えて、プロジェクタとカメラの位置と姿勢を事前にキャリブレーションにより正確に求める必要がある。それを解消する方法がハーフミラーを用いたプロジェクタ-カメラシステムである。このシステムではカメラとプロジェクタの光軸上にハーフミラーを設置する。このハーフミラーを介す事によって、カメラとプロジェクタを同軸上に扱い、距離による画角のずれを無くすることができる。これによって、カメラによる認識位置を利用した投影位置の決定がより精密に行える。

また、プロジェクタとカメラの投影範囲が一致している状態であれば、カメラで取得した画像情報の処理結果に応じて、任意の形状・位置への画像投影が可能である。

## 3. 撮影対象の位置姿勢検出

プロジェクタを使用し実物体へ画像を投影する際、問題となるのは実物体の形状による投影画像の変形である。プロジェクタから正確に平面なスクリーンへ映し出す場合、何も補正を行わなければスクリーンに対してプロジェクタの光軸が垂直である必要がある。実際のプロジェクタを扱う際は、本体の傾きをセンサによって感知し台形補正を行う事が多いが、投影対象となるスクリーンの傾きを検知する事は難しい。よって本研究では、対象となる物体の姿勢・位置の情報を得るのに ARToolKit (Augmented Reality Toolkit) を使用する。ARToolKit は拡張現実 (AR) アプリケーション<sup>3)</sup> を実現するための C 言語ライブラリであり、本研究ではカメラで認識した AR マーカーによって得られる位置・姿勢を使用し、投影対象となる物体の情報を得る。

ARToolKit では対象の3次元位置姿勢を計算するために正方形マーカーから得る特徴点を使用している。それら特徴点の座標値を  $(X, Y, Z)$  とし、マーカー座標系からカメラ座標系への変換行列を  $R_{mc}$ 、3次元上の座標からカメラ画像上への透視変換行列を  $P$  とした際に、カメラ画像上での点  $(x, y)$  との関係は式 (1) の様に計算できる。この式より対象の位置姿勢  $R_{mc}$  を求める。

$$s \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = PR_{mc} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

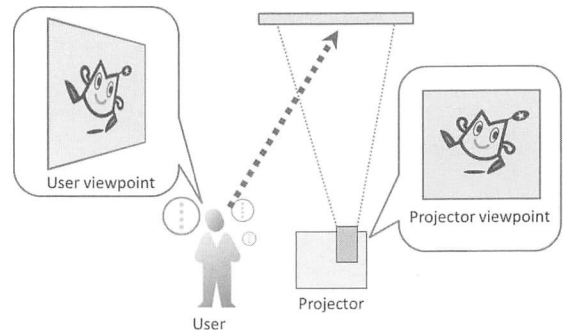


Fig.1 Distortion of picture

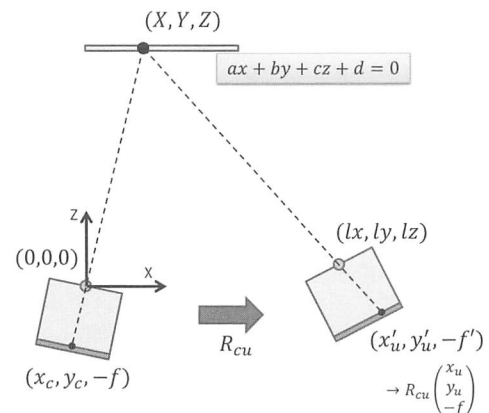


Fig.2 Derivation by coordinate transformation

## 4. ユーザー視点を考慮した投影画像の幾何補正

## 4.1 補正目的

望む画像を対象物体に投影しようとした際、実際に投影された画像は対象物体の姿勢に応じた変形が生じてしまう。これに加え、ユーザーへ画像を見せようとする際にも、ユーザー、プロジェクタ、対象物体との位置姿勢関係によって形が歪んで見え、望む情報をユーザーに与えているとは言い難い状況が生じてしまう (Fig.1)。そのため、環境に応じた幾何学的な補正を ARToolKit による姿勢情報によって行う。

## 4.2 平面との交点による導出

概要図を Fig.2 に示す。プロジェクタ-カメラを原点とした座標系に対して、AR マーカーから得るマーカー座標系への変換行列による平面の式を求める。その状態でユーザー視点との関係  $R_{cu}$  を既知とする。それぞれをピンホールカメラモデルとして扱い、その光点と撮像素子上の点を結ぶ直線と、求めた平面との交点より任意のユーザー視点上の点とスクリーン上の点、プロジェクタ-カメラにおける点を求める事により、ユーザーより見える画像、プロジェクタ-カメラシステムの投影画像、投影対象位置3つの関係を求める事が出来る。

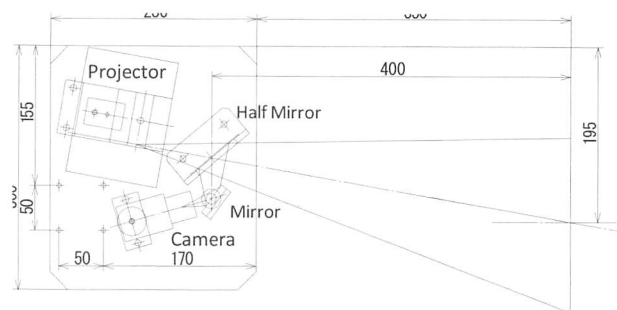


Fig.3 Projector-camera System

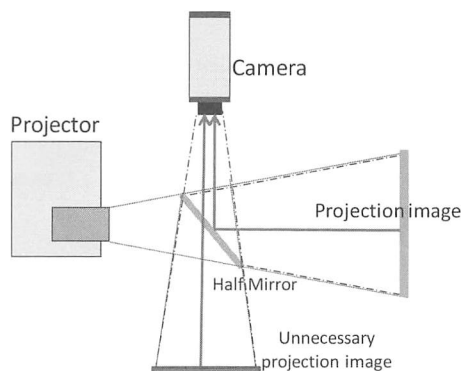


Fig.4 Negative influence by half mirror

## 5. 投影実験環境評価

補正実験を行うために使用するプロジェクタ-カメラシステムを Fig.3 のように構築する。またミラー、ハーフミラーを通じた投影・認識により生じる、実験を行う上での問題点を検証し、その際に生じた問題点として、以下の4点が挙げられた。

1. ハーフミラーの反射による不要な位置への投影
2. ハーフミラーによるカメラの不要な位置の撮影
3. プロジェクタとカメラの投影、認識範囲のずれ
4. 投影の光量不足

ハーフミラーによる不要な位置への投影、認識については、Fig.4 のようにカメラが2か所を同時に認識してしまう事から生じる。解決案として、光を反射しないような板を設置し片方を暗くし見えないようにする方法が考えられ、実際に使用する板等は今後検証していく。範囲のずれは、それぞれの画角の違いから生じるものであり、画角を調べシステムの位置を正確に定めれば解決できるものである。光量不足に関しては、プロジェクタ自体の光量を上げる、またはミラーの反射比を変えながら今後検証していく。

## 6. 投影画像歪補正実験

### 6.1 概要

プロジェクタ-カメラシステム・投影対象・ユーザー視点における補正式を導入し、ユーザー視点において任意の画像が見えるような投影を行い補正式の有効性を検証する。

プロジェクタ-カメラシステムに対してユーザー視点となる位置に USB カメラを据え、ユーザー視点とプロジェクタ-カメラシステムとの姿勢変換行列  $R_{cu}$  を既知とする (Fig.5)。また、対象となるスクリーンの姿勢を AR マーカーを張ることににより対象物体からプロジェクタ-カメラシステムへの姿勢変換行列  $R_{mc}$  を認識できるようにする。それらの状態で、ユーザー視点から見た際に正しい画像に見えるよう、あらかじめ歪みを持たせた画像をスクリーンに投影し、ユーザー視点に据えたカメラにて予想した画像が見られるかどうかを検証する。

### 6.2 考察

実験結果を Fig.6 に示す。それぞれプロジェクタ-カメラシステムの位置とは異なるユーザー視点より見た画像であり、(a) が画像補正を導入せずそのまま投影したもの、(b) はユーザー

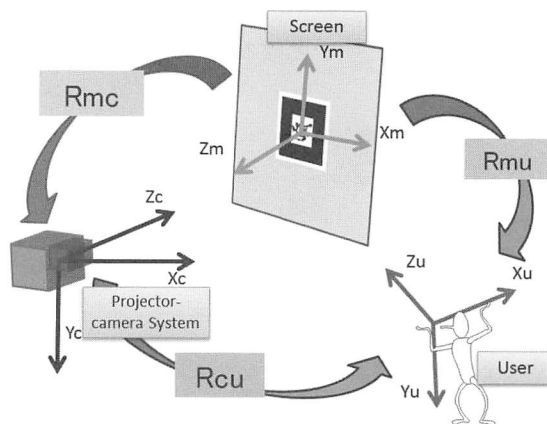
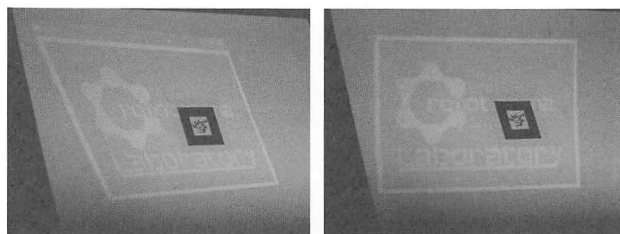


Fig.5 Calculation by plane equation



(a) Before compensation

(b) After compensation

Fig.6 User viewpoint image

視点にて正しい画像を見せられるような画像補正を行ったものである。補正式を導入していない投影 (a) と比べると、(b) は明らかに見易い図を投影できている事が確認できる。元の画像が長方形である事より、ユーザー視点から見える投影画像の外周に長方形を描き、外接長方形とユーザー視点画像との不一致部分の面積の割合を求めた結果、(a) 補正前：32.6%，(b) 補正後：5.0% となり、大幅に歪みを修正できている事が値よりわかる。

その上で、(b) にわずかな歪みが残っている原因としては、スクリーン自体の歪みを AR マーカーでは検出できない事や、ユーザー視点に据えた USB カメラの位置がプログラム内で指定した位置とわずかにずれている可能性も考えられる。今回 AR マーカーを使用し対象物の姿勢検出を行ったが、マーカーを使うことによる問題点として、

1. 投影画像と AR マーカーの重なりによる認識の難しさ
2. 明るさの不足による誤認識
3. プログラム内処理による反応の遅れ

等が挙げられた。これらの問題点は今後の改善、または別の姿勢検出手段を検討する。

## 7. おわりに

本研究では画像投影を行うためにプロジェクタ-カメラシステムを構築し、その評価を行った。またピンホールモデルを使用した平面と直線の交点による画像補正の式を使用し、この有用性を確めた。今後は複雑な形状の対象物を想定した画像投影を行い、より広い範囲への投影を可能にしていく。

### 参考文献

- 1) 伊與田哲男 ほか：実物ベース遠隔コラボレーション支援システム "LightCollabo"，富士ゼロックス テクニカルレポート，No.16(2006)，pp.54-63.
- 2) 町野保 ほか：カメラとプロジェクタを搭載した移動ロボットによる実空間視野共有コラボレーションシステム，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.6(2010)，pp.746-755.
- 3) 田村秀行 ほか：複合現実感，映像情報メディア学会誌，映像情報メディア 52(3)(1998)，pp.266-272.