

2010年度 卒業論文

複数のデバイスを用いた  
紙切りシミュレーション

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト  
学籍番号 M0107241  
篠田 高志

**2010年度 卒業論文概要**

**論文題目**

複数のデバイスを用いた  
紙切りシミュレーション

**メディア学部**

学籍番号：M0107241

**氏名**

篠田 高志

**指導  
教員**

渡辺 大地 講師

**キーワード**

3次元、デバイス、AR、GAINER、曲げセンサ、  
シミュレーション、紙切り

近年バーチャルリアリティ(Virtual Reality：VR)技術を用いて仮想空間上での物体操作を表現し、扱う研究が盛んに行われている。その中でも、一般的な道具であるハサミは様々な分野に応用されるためいくつものシステムが提案されている。例えば、仮想空間にハサミを定義し、仮想のハサミを介しての物体操作を実現する研究は種々に行われている。また、グローブ型の手形状入力装置を用いて、直接仮想物体を操作する研究もある。しかし、これらの研究はハサミの操作性の追求を目的としているため、物体操作の対象となる物体を動かすことは考慮されていない。そこで本研究では、ハサミと物体操作の対象となる物体をそれぞれ動かすことができるシミュレーターの表現方法を確立した。

ハサミで紙を切って形を作る日本の伝統芸能で紙切りというものがある。お客から切りだす形のお題をもらい、紙とハサミを同時に動かしながら紙を切ってお題のシルエットを切りだす芸である。一般的に紙切りは切り絵と混合される場合が多いが、黒や青の紙に切ったものを貼りつけてできた作品が切り絵である。つまり紙切りとは、切り絵を作る作業を指す。本研究では、この切り絵を作る作業である紙切りを研究対象とした。

仮想空間上の3Dモデルの位置と姿勢の決定にAR技術を用い、複数の3Dモデルの同時操作を可能とした。また、マーカだけではハサミの開閉の操作を行うことができないため、実際のハサミにGAINERを組み込んだものを用いて、実際のハサミの開閉角を取得し3Dモデルのハサミの開閉を行った。仮想空間内の3Dモデルの位置の操作には、USBカメラと紙表示用のマーカ、ハサミ表示用のマーカを使い、USBカメラがマーカを認識したら仮想空間内に3Dモデルを表示した。仮想空間内での切断処理の操作は、ハサミ表示用のマーカに組み込んだ現実世界のハサミとGAINERによって行った。紙の3Dモデルに対して、3Dモデルのハサミが切断処理を行うことで紙の3Dモデルに切れ込みを入れていき、完全に切り抜くまで繰り返して紙切りの作業とした。本研究を実装した結果、先行研究では不可能だった紙とハサミを同時に操作して紙切りを行う表現を実現できた。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景と目的 . . . . .	1
1.2	論文構成 . . . . .	3
<b>第2章</b>	<b>AR 技術について</b>	<b>4</b>
2.1	Augmented Reality(AR) . . . . .	4
2.2	ARToolKit について . . . . .	5
<b>第3章</b>	<b>提案手法と実装</b>	<b>6</b>
3.1	提案手法 . . . . .	6
3.2	曲げセンサ . . . . .	7
3.3	曲げセンサによる 3D モデルのハサミの開閉 . . . . .	9
3.4	3D モデルの位置・姿勢取得 . . . . .	10
3.5	ハサミの 3D モデル . . . . .	12
3.6	紙のモデルについて . . . . .	13
3.7	ハサミの状態と切断線の生成について . . . . .	14
3.8	切り抜き処理と紙の 3D モデルの再構築について . . . . .	15
3.9	ハサミの 3D モデルの位置補正 . . . . .	16
<b>第4章</b>	<b>検証と考察</b>	<b>19</b>
4.1	実装 . . . . .	19
4.2	考察 . . . . .	23
<b>第5章</b>	<b>まとめ</b>	<b>24</b>
	<b>謝辞</b>	<b>25</b>
	<b>参考文献</b>	<b>26</b>

# 目 次

1.1	紙切りの様子	2
2.1	マーカ例	5
2.2	ARToolKit による合成例	5
3.1	ハサミ表示用マーカ	7
3.2	紙表示用マーカ	7
3.3	曲げセンサ	8
3.4	ハサミと組み合わせた曲げセンサ	8
3.5	I/O モジュール	9
3.6	ARToolKit における座標系	10
3.7	ハサミの 3D モデルの調整の様子	12
3.8	CuttingPoint の位置	13
3.9	矢印の 3D モデル	14
3.10	切断処理中の状態遷移図	15
3.11	切り抜き処理による紙の 3D モデルの再構築の例	16
3.12	ハサミの 3D モデルの姿勢補正処理	17
3.13	ハサミの 3D モデルの位置補正処理	18
4.1	本研究のシステムの表示画面	20
4.2	切断中の状態に遷移した様子	21
4.3	切断処理を重ねた様子	22
4.4	作品：鳥	23

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

近年、3次元コンピュータグラフィックス技術の向上により、仮想空間での物体操作に関わる研究 [1][2] が広く行われている。また、その操作を行う入力装置も、行う操作に合ったさまざまな種類が開発されている。舟橋らの研究 [3] では、仮想物体を実世界に近い感覚で把持、移動、投げるなどの操作を行うシステムを提案した。入力装置にはグローブ型の手形状入力装置を用いて、直接仮想物体を操作している。

また、仮想空間に道具を定義し、仮想の道具を介しての物体操作を実現する研究も進められている。本研究では道具を介した物体操作を行うもので、日本の伝統芸能の一つである紙切り [4] という芸に着目した。紙切りとは、紙をハサミで切り一筆書きの要領で形を切り抜く芸である。主に寄席などで、芸人が客にお題をもらい漫談をしながら、紙とハサミをリズムカルに動かしてお題に沿った形を切り抜いて披露するといったものである。紙を切る際に、ハサミよりも紙を動かして切ることが多いという特徴がある。図 1.1 は、実際に紙切りをしている様子である。

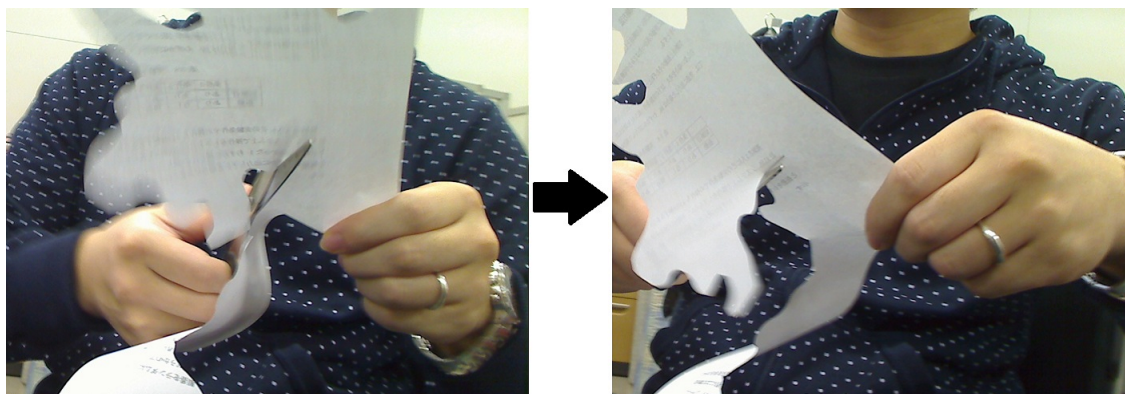


図 1.1: 紙切りの様子

仮想空間上で仮想ハサミを用いて仮想物体を切る研究は、さまざまな分野への応用として種々に行われているが、過去に紙切りを仮想空間上で表現した研究は存在しない。野口らの研究 [5] では、仮想上のハサミをマウスなどによって操作し、仮想上の紙を切る切断操作のモデルを実現した。しかし野口らのシステムでは、入力装置としてマウスなどを用いているため、現実世界で紙を切っているという感覚は得られない。若松らの研究 [6] では、実際のハサミを用いて物体の切断感覚を実現するシステムを提案している。しかし、ハサミによる切断を行った際の抵抗感を触覚として実現するシステムのため、ハサミの移動などに大きな制限があり自由に操作できるわけではない。川崎らの研究 [7] では、対向型 5 指触覚インターフェイス HIROIII を試作し、その HIROIII にハサミをとりつけ、触覚インターフェイスによって仮想環境でシート状の物体の切断作業を実現した。久保谷の研究 [8] では、希薄な触力覚フィードバック環境下において、臨場感のある仮想ハサミシステムを実現した。グローブ型の入力装置を用いて仮想の手を操作し、間接的に仮想のハサミを操作して仮想の紙の切断を行っている。しかし川崎らや久保谷の研究では、仮想空間上でハサミが紙を切るときの感触やリアリティを実現することを目的としており、切る対象である仮想物体の操作は想定されていないため、仮想物体を動かそうとしたときに正しくできない可能性がある。

そこで本研究では、先行研究の手法で行うよりも現実世界の紙切りに近い操作で仮想空間上の紙切りが行えることを目的とし、シミュレータを制作した。現実世界の紙切りに近づけるために、仮想ハサミと仮想紙の両方を操作して紙切りを行うことができる手法を提案する。仮想紙と仮想ハサミの位置と姿勢を取得するために、AR技術を用いた。ハサミの開閉の操作には曲げセンサを用い、現実世界のハサミに取り付けた曲げセンサからハサミの開閉角を取得し、仮想ハサミの開閉を現実世界のハサミの開閉に連動して行うこととした。仮想紙を操作するデバイスにはARのマーカを印刷した紙を用いた。仮想ハサミを操作するデバイスには、実際のハサミを危なくないよう箱で覆いその箱にARのマーカを貼りつけ、ハサミに曲げセンサを取り付けたものを用いた。この装置にはハサミを囲うように箱をかぶせその前方及び上下左右にマーカを設置しているため、どの方向からカメラに映しても、仮想ハサミを表示できる。現実世界の紙とハサミをそのままデバイスとして使用できるため、現実世界の紙切りの操作と同じ感覚で、仮想空間内の紙切りを行うことができた。また、従来のハサミのみを操作する手法では得られなかった、両手で紙とハサミの両方を動かしながら切るといった紙切りではかかせない操作も仮想空間上で表現できた。

## 1.2 論文構成

本論文は本章を含め全5章から成り、その構成は以下の通りである。第2章で本研究で扱うAR技術について述べる。第3章で本研究の提案を、どのようにシミュレーションするかを述べる。第4章では、本研究の実装、またその結果と考察について述べる。最後の第5章では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

# 第 2 章

## AR 技術について

本章では、AR 技術を用いて現実空間を認識する方法と、本研究で扱う ARToolKit についての解説を行う。

### 2.1 Augmented Reality(AR)

AR[9] とは、現実世界でカメラが撮影した映像に、コンピュータがリアルタイムで画像や文章などの情報を付加しその情報があたかもそこに存在しているかのよう  
に仮想世界に表示させる技術である。AR を実現するにあたって、現実世界と仮想  
世界との差を解決する必要がある。解決すべき差とは、現実世界と仮想世界の  
位置を合わせる幾何学的整合性 [10][11][12]、現実世界の物体を動かせば仮想物体  
も反応する時間同期に関する時間的整合性 [10][11][12]、現実世界と仮想世界の光  
源などの環境に関する光学的整合性 [13][14] であり多くの研究 [15] がおこなわれて  
いる。近年の AR では時間的整合性はコンピュータの性能によることが多く、幾  
何学的整合性とまとめて 1 つの問題として扱うことが多い。それに対して、現実  
同じような影や環境光を仮想世界に適応するための光学的整合性 AR を利用した  
コンテンツによって問題の重要度が変化する。

幾何学的整合性は、コンピュータ上に作られた仮想世界を撮影する仮想のカメラ  
の位置及び姿勢を、現実世界のカメラと同じ位置及び姿勢にすることによって



解決する。現実世界のカメラの姿勢を取得するために、GPS やジャイロセンサといった専用のセンサを用いる方法や、現実世界のカメラ画像に映った目印となる物体や風景の自然的特徴などの画像情報から計算する方法 [16] がある。

## 2.2 ARToolKit について

情報を適切な位置に表示するために、AR を用いるアプリケーションは現実世界を何らかの形で認識する必要がある。その方法の一つとして、ARToolKit[17] がある。ARToolKit は AR アプリケーションの開発を容易にするソフトウェアライブラリの一つである。ARToolKit では、カメラ画像に映ったマーカによって仮想空間上のカメラの位置・姿勢を計算する。マーカとは識別用に描かれたパターンという図柄の、周囲を黒で塗りつぶした正方形の目印である。この AR 技術を、紙やハサミの 3D モデルの仮想空間上における位置と姿勢を決定するのに利用する。図 2.1 は、マーカ例を示し、図 2.2 は ARToolKit を利用した例を示したものである。



図 2.1: マーカ例

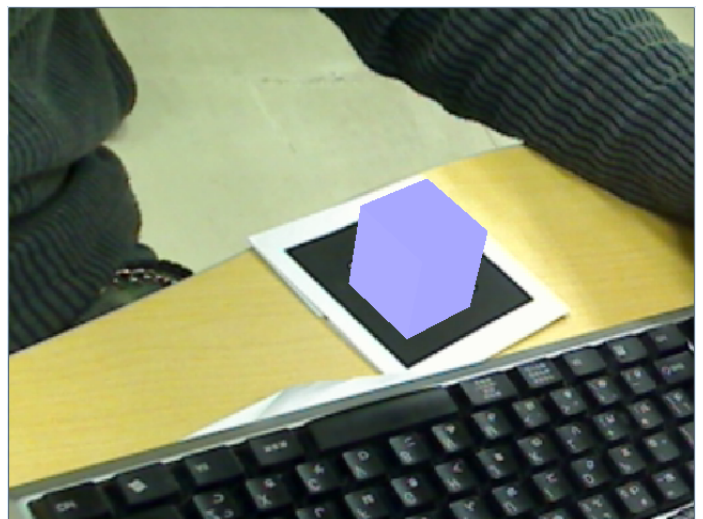


図 2.2: ARToolKit による合成例

# 第 3 章

## 提案手法と実装

本章では両手での操作による紙切りシミュレーションを実現する手法を述べる。3.1 節で本システムの提案手法を述べる。3.2 節で曲げセンサについて述べる。3.3 節では曲げセンサを用いたハサミの開閉操作について述べる。3.4 節では、AR のマーカを用いて 3D モデルの位置と姿勢を決める方法について述べる。3.5 節でハサミの 3D モデルについて述べ、3.6 節で紙の 3D モデルについて述べる。3.7 節では、切断線の生成とハサミの状態について述べる。3.8 節では、切り抜き処理によって紙の 3D モデルを再構築する方法について述べる。3.9 節では、切断処理を行っている際のハサミの 3D モデルの位置補正について述べる。本研究のシステムには、ARToolKit、曲げセンサ、及び 3DCG ツールキットシステムである FK ToolKit System[18] を用いた。また、本研究では仮想の紙は平面なものとし、曲がりとは考慮していない。なお、本研究ではハサミの刃と刃がかみ合う点を CuttingPoint と定義する。

### 3.1 提案手法

AR 技術を用いて仮想空間内で紙とハサミの 2 つの 3D モデルの位置と姿勢をそれぞれ同時に操作できるようにした。ただし、マーカだけでは切断を行う際のハサミの開閉までは操作できないため、GAINER と曲げセンサを用いることとした。

仮想空間内の 3D モデルの位置の操作には、USB カメラと紙表示用のマーカ、ハサミ表示用のマーカを使い、USB カメラがマーカを認識したら仮想空間内に 3D モデルを表示した。また、紙切りを行う際に、マーカが隠れてしまうと 3D モデルが表示されなくなってしまうため、今回は 1 つの 3D モデルに対し、マーカを複数用意した。各 3D モデルのマーカには優先順位を設定し、優先順位に従ってマーカが認識されているか確認し、1 つでも認識した時点で対応する 3D モデルを表示するようにした。仮想空間内での切断処理の操作は、ハサミ表示用のマーカに組み込んだ現実世界のハサミと GAINER によって行った。GAINER を用いることで、現実世界のハサミの開閉と 3D モデルのハサミの開閉を連動させた。3D モデルの紙が切れる状態にあればハサミの開閉に合わせて切断処理を行う。紙の 3D モデルに対して、3D モデルのハサミが切断処理を行うことで紙の 3D モデルに切れ込みを入れていき、完全に切り抜くまで繰り返して紙切りを行う。実際に用いたハサミ表示用のマーカは図 3.1、紙表示用のマーカは図 3.2 である。



図 3.1: ハサミ表示用マーカ

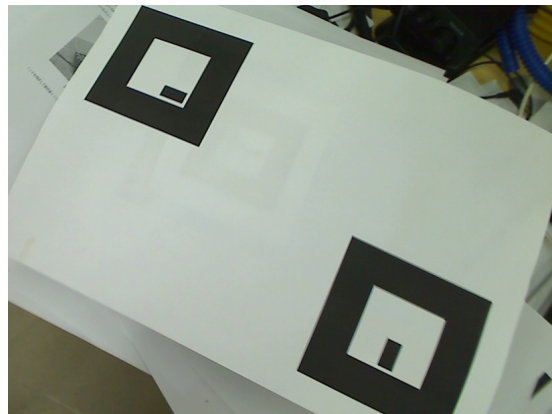


図 3.2: 紙表示用マーカ

## 3.2 曲げセンサ

仮想空間上のハサミを操作するうえで AR のマーカだけではハサミの開閉の操作をすることができない。そこで本研究では、曲げセンサを用いて実際のハサミ

の開閉角を取得し、3Dモデルのハサミをそれに連動して動かすこととした。曲げセンサとは、本体を曲げることで抵抗値が変化するセンサである。このセンサをハサミの手で持つ部分に貼り合わせることで、ハサミの開閉によって曲げセンサが曲がり、ハサミの開閉角を抵抗値の変化によって取得できる。この数値を利用して、現実世界のハサミの開閉を仮想空間上のハサミの開閉に反映する。図3.3は曲げセンサで、図3.4は曲げセンサを取り付けたハサミである。

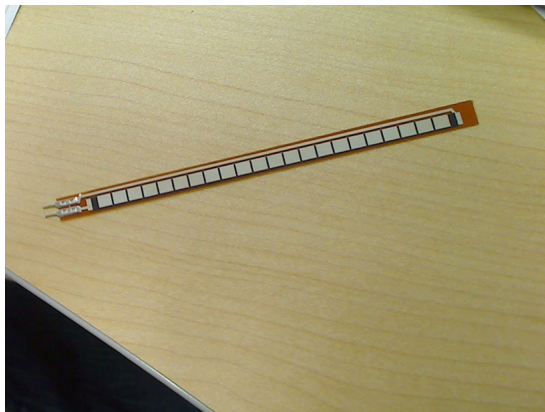


図 3.3: 曲げセンサ

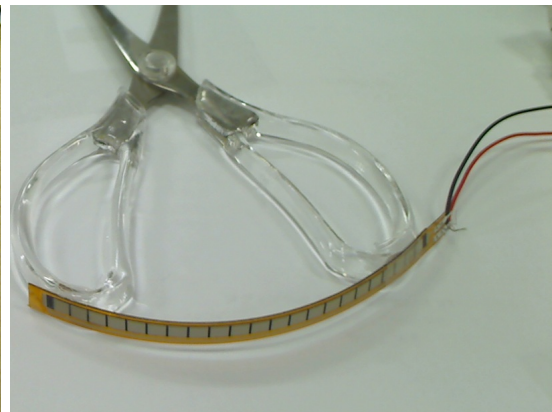


図 3.4: ハサミと組み合わせた曲げセンサ

曲げセンサとパソコンをつなぐI/OモジュールとしてGAINER[19][20][21]を使用した。GAINERとは、明るさや加速度などを測るセンサや、LEDやモータなどといったアクチュエータとパソコンを接続するI/Oモジュールと、Max/MSPやProcessing用のソフトウェアライブラリからなる環境である。この環境を用いることで、モニター、キーボード、マウスといった通常のパソコンの環境に留まらない作品や、インタフェースのプロトタイプを短時間で作り出すことができる。図3.5は、GAINERのI/Oモジュールである。

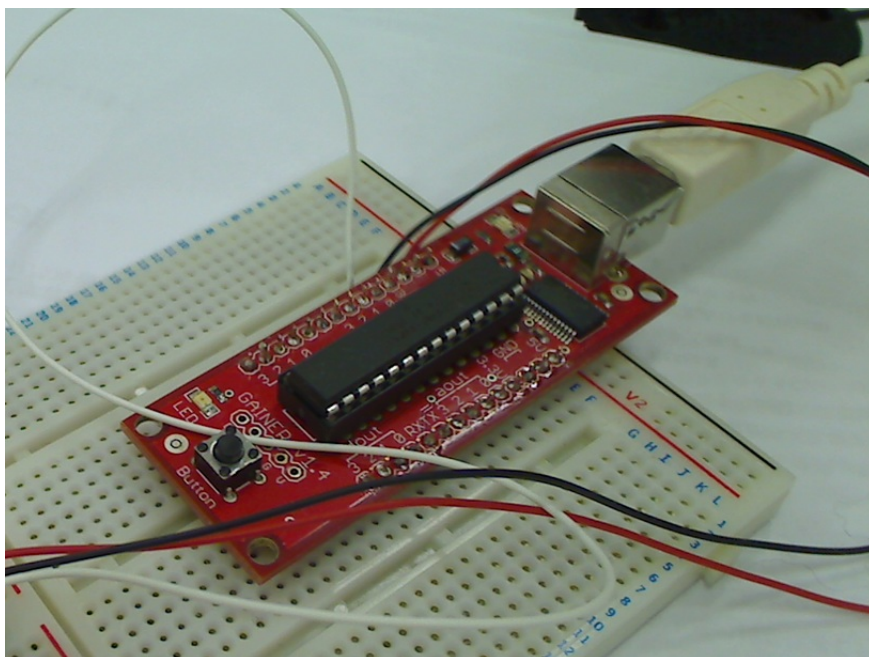


図 3.5: I/O モジュール

### 3.3 曲げセンサによる 3D モデルのハサミの開閉

現実世界のハサミの手で持つ部分に、曲げセンサをとりつけハサミの開閉角を GAINER を介して取得した。曲げセンサは曲がり具合に応じて電気抵抗が変わる仕組みになっている。曲げセンサを伸ばした状態の抵抗値は約  $10\text{k}\Omega$  で、曲げると徐々に抵抗が増えていき  $90^\circ$  曲がった時の抵抗は約  $40\text{k}\Omega$  となる。そこでハサミの開閉角の最大を  $90^\circ$  とし、曲げセンサを伸ばした状態で  $90^\circ$  に曲げたハサミの手で持つ部分に接着した。これにより、曲げセンサの抵抗の値が  $10\text{k}\Omega$  のときハサミの開閉角は  $90^\circ$  であるとし、抵抗の値が  $40\text{k}\Omega$  を超えたらハサミが完全に閉まった状態だとした。また、センサの抵抗の値は 21 ミリ秒間隔で取得することとした。



### 3.4 3Dモデルの位置・姿勢取得

3Dモデルの位置及び姿勢の取得にはARを用いた。ARToolKitではウェブカメラの入力画像からマーカを検出するために、入力画像に対して2値化の処理を行いマーカ候補領域を探す。その中から4角形を探し、見つかった場合にマーカのパターンを用い、仮想空間のマーカ位置や向きを特定するために、画像比較の1つであるテンプレートマッチングを行い、最もパターンに近いと思われる場所をマーカとして検出する。カメラ及びマーカは、それぞれローカル座標を持ち、仮想物体は、このマーカの座標系の上に表現される。座標系はそれぞれカメラ座標系 $(X_c, Y_c, Z_c)$ 、マーカ座標系 $(X_m, Y_m, Z_m)$ と表せる。図3.6は、これらの座標系を表したものである。

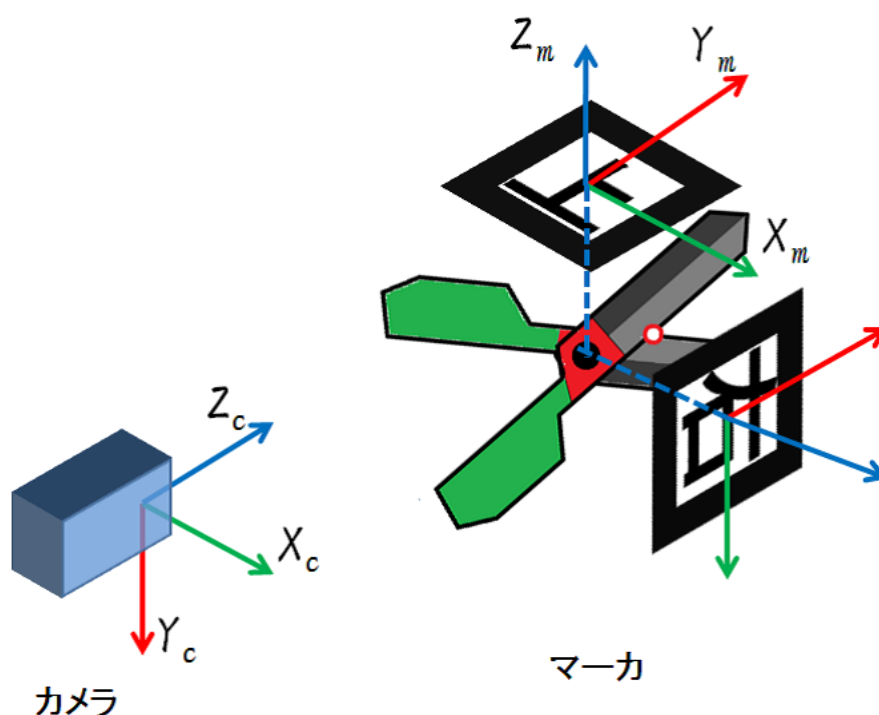


図 3.6: ARToolKit における座標系

紙のモデル用マーカは1枚の紙の隅に、それぞれ対角になるように2つ配置し、

手などで片方のマークが隠れてしまっても、もう片方が認識できていれば3Dモデルが表示できるようにした。また、マークはマーク毎に座標系をもっているため、それぞれのマークにおいて位置と姿勢の調整を行った。その時紙の3Dモデルの位置が、紙に描かれた二つのマーク間の中心の位置にくるように、表示される紙の3Dモデルの位置と姿勢をそれぞれのマーク座標系で調節した。また、現実世界の紙と紙の3Dモデルの位置が全く同じだと、紙のモデル用マークとハサミのモデル用マークがぶつかってしまうため、紙の3Dモデルは、紙よりも10cm程浮いた位置に表示した。なお、紙を裏返すことは本研究では考慮していない。

ハサミのモデル用マークは、パターンの異なる5つのマークと箱を用意し、箱の1辺を除く5つの辺にマークを貼りつけそのマークのうち1つでもカメラが認識できていればハサミの3Dモデルが表示できるようにした。そして箱の中心の位置にハサミの3Dモデルを表示するために、紙の3Dモデルと同様に各マークによって表示されるハサミの3Dモデルの位置と姿勢を、それぞれのマーク座標系で調節した。図3.7は、ハサミの3Dモデルの位置と姿勢の調整を示したものである。

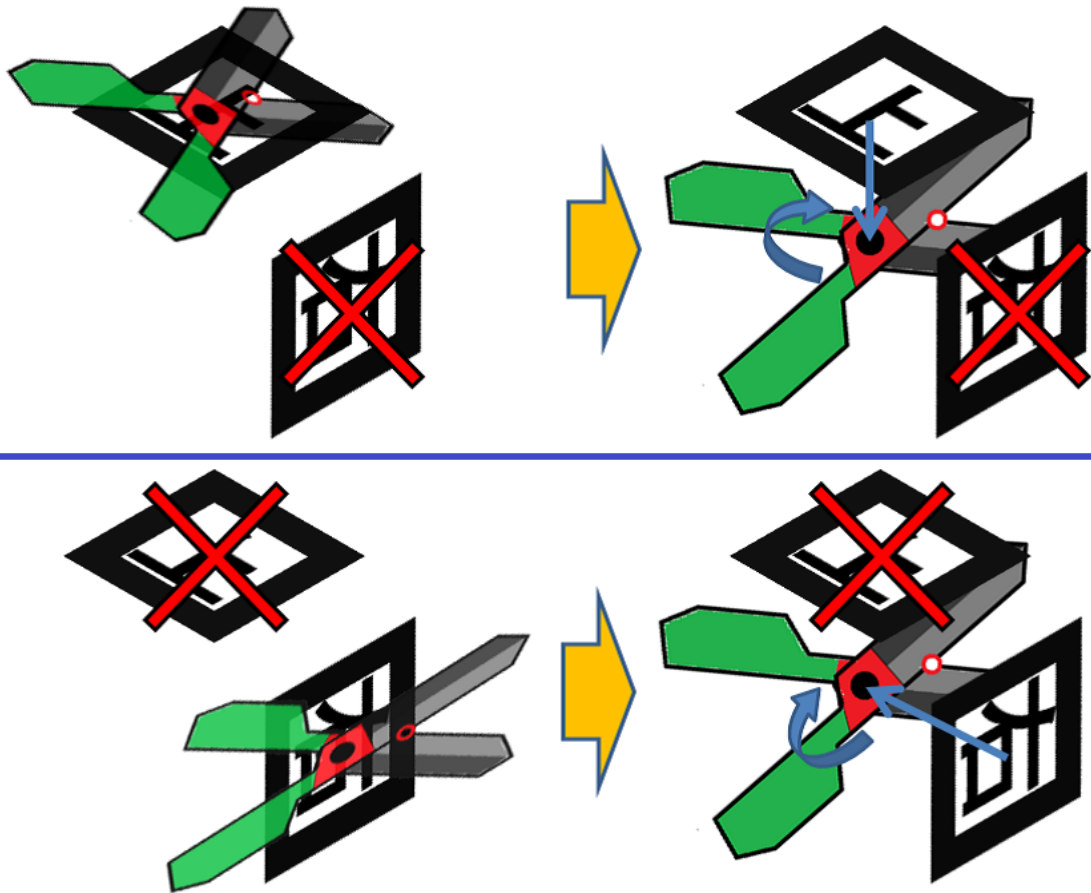


図 3.7: ハサミの 3D モデルの調整の様子

### 3.5 ハサミの 3D モデル

ハサミの 3D モデルは、ハサミの支点にあたる中心点、ハサミの刃 2 枚、現実世界の作用点にあたる CuttingPoint の 4 つのパーツから成り、CuttingPoint を除くそれぞれの 3D モデルの中心座標は同じ位置である。CuttingPoint は、ハサミの開閉に伴いハサミの 3D モデルの刃と刃がかみ合っている部分に合わせて移動するように調節した。図 3.8 は、CuttingPoint の位置を示したものである。



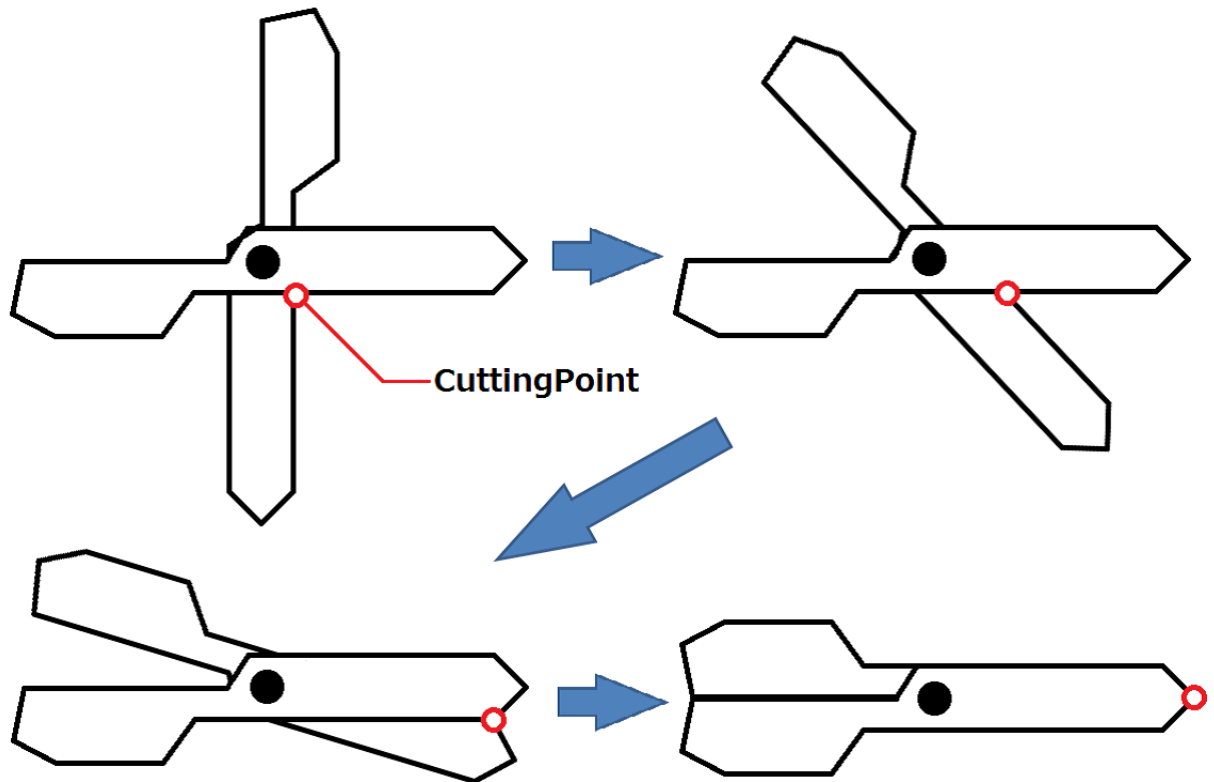


図 3.8: CuttingPoint の位置

### 3.6 紙のモデルについて

紙の 3D モデルは 1 枚の平面であるとし、各頂点を線分で結んだ閉空間であるとした。また、その頂点を結ぶ線を境界線、切断処理によって生成する切り込みを切断線とした。現実世界では紙が分断した際に 2 枚に分かれるが、本手法では紙の 3D モデルは 1 枚のみと定義しているため、紙の 3D モデルを分断した際にどちらか 1 枚を保持する状態にした。そのどちらを残すかは、紙の 3D モデルを分断した際にハサミの 3D モデルの中心点から先端に向かって見た視点でハサミの 3D モデルの右側か左側かで選択できるようにした。選択方法は、まず CuttingPoint に矢印の形をした 3D モデルをハサミの刃に垂直になるように表示し、キーボードの操作でハサミの刃の右側と左側のどちらかを指すようにした。そして紙を分断し

た際に、矢印の 3D モデルが向いている側が残るように紙の 3D モデルの再構築を行った。図 3.9 は、矢印の 3D モデルを示したものである。

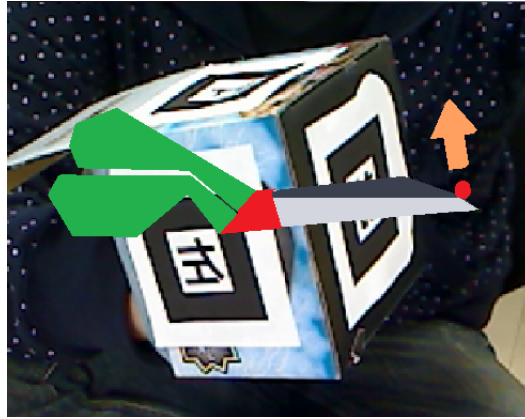


図 3.9: 矢印の 3D モデル

### 3.7 ハサミの状態と切断線の生成について

現実世界の紙切りでは、ハサミに関する操作のうち切断を行うのは刃を閉じる操作と、紙に刃を滑らせる操作である。ハサミの刃を滑らせるようにして紙を切る操作については、本研究では考慮しないものとした。刃を閉じる操作で切断を行うシステムで実現するために、仮想空間上で紙の切断を行う際のハサミの状態を以下の 2 つに分けた。1 つは、仮想ハサミの移動や刃を開く操作を行える非切断中の状態で、もう 1 つは刃を閉じる動作を行う切断中の状態である。システム開始時から刃を閉じる動作を行うまでは非切断中の状態であり、移動等の操作を行うことができる。非切断中の状態で、時刻  $t$  で得たハサミの開閉角を  $\theta$  とし、次の時刻  $t + \Delta t$  で得たハサミの開閉角を  $\theta'$  とした時、 $\theta > \theta'$  となる場合に切断中の状態に遷移し、切断中の状態で  $\theta < \theta'$  になったとき、非切断中の状態に遷移するようにした。刃を閉じる動作を行った際、刃が完全に閉じて  $\theta$  が 0 になった場合は、切断が終了したと判断し、非切断中の状態に遷移するようにした。

切断中の状態から、非切断中の状態に遷移する際に、切断線の生成を行うこととし

た。切断中の状態になってから、刃を開く動作を行うまでに得た、紙と CuttingPoint との接点の軌跡を切断線とした。切断中の状態で刃を開く動作を行った時に切断線を生成し、切断線を生成した後に非切断中の状態へと遷移するようにした。また、この切断線を生成する処理を切断処理とした。図 3.10 は、切断処理中にハサミの状態が遷移する様子である。

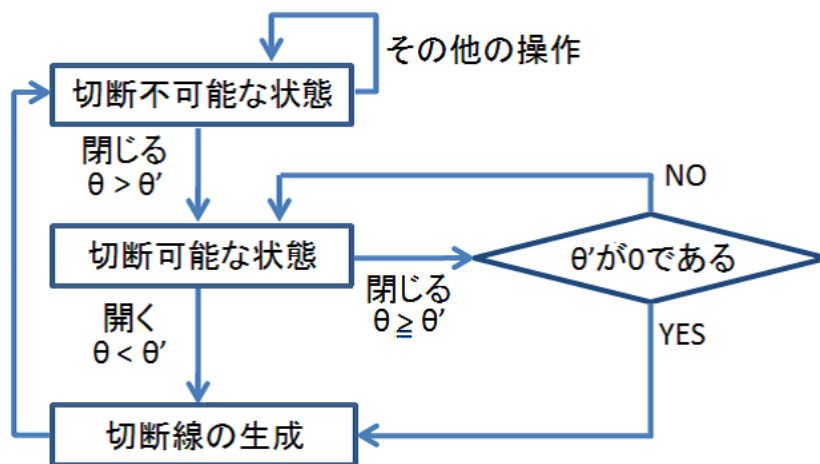


図 3.10: 切断処理中の状態遷移図

### 3.8 切り抜き処理と紙の 3D モデルの再構築について

切断処理を繰り返し行い、紙が切り抜けるようになるまでを紙の切り抜き処理とした。切り抜き処理の開始点は、切り抜き処理が行われていない状態で切断処理を行い、その際にハサミの 3D モデルと紙の境界線が接した位置を切り抜き処理の開始点とした。また、その切断処理で生成する切断線の始点も、切り抜き処理の開始点と同じ位置とした。紙切りは一筆書きの要領で行われるため、紙の切り抜き処理開始時の切断線の始点は紙の境界線上にあり、紙の切り抜き処理が終わる際の切断線は、境界線ないし他の切断線と交差する。よって、紙の切り抜き処理は、切断線が境界線ないし他の切断線と交差した時点で終了したと判定することとした。紙の切り抜き処理が終了してないと判定した場合は、繰り返し切断処

理を続ける。紙の切り抜き処理が終了したと判定したら紙の 3D モデルを再構築を行うが、終了した際に切断線が交差したのが境界線か切断線かで異なる処理を行った。切り抜き処理終了時の切断線が境界線と交差していた場合、切断処理開始時の切断線の始点から、次に生成した切断線及び 3.6 節で示した矢印の 3D モデルの向きの側の境界線を通り、再び切断処理開始時の切断線の始点を通るまでの線を境界線として、紙の 3D モデルを再構築した。切り抜き処理終了時の切断線が他の切断線と交差していた場合は、3.6 節で示した矢印の 3D モデルの向きにかかわらず、切断線で囲まれた閉空間を紙の 3D モデルとし、それらの切断線を境界線として紙の 3D モデルの再構築を行った。図 3.11 は、切断処理から切り抜き処理が終了となった場合の紙の 3D モデルの再構築の例である。

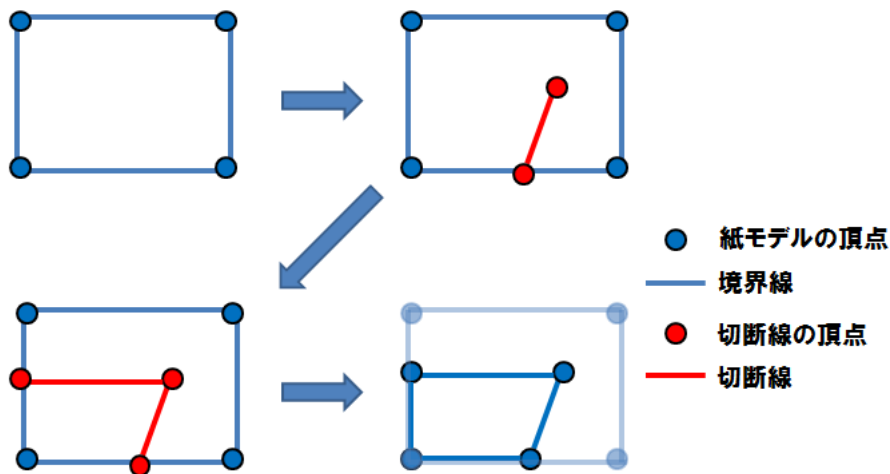


図 3.11: 切り抜き処理による紙の 3D モデルの再構築の例

### 3.9 ハサミの 3D モデルの位置補正

現実世界の紙切りでは一筆書きの要領で紙を切り抜くので、一度切れ込みを入れた後次の切れ込みを入れる際にハサミを移動し、切れ込みの終わった位置にハサミを合わせなくてはならない。そこで本研究では仮想空間上の紙切りをよりスムーズに行うために、切り抜き処理中にはハサミの 3D モデルに位置の補正処理を

行った。切り抜き処理中の切断中の状態の時にはハサミの 3D モデルの移動を行わず、姿勢のみをマークで操作することとした。このときハサミの 3D モデルの位置は、切断開始時の紙の 3D モデルの位置にハサミの中心を合わせるようにし、ハサミの 3D モデルの位置は紙のマークによって紙のモデルと同時に変化するように調節した。ただし、ハサミの 3D モデルの姿勢はハサミ用のマークから取得することとした。また、切断線を生成しても切り抜き処理が終了しない場合には、切断線の終点が次の切断線の始点となりハサミの中心の位置もそこに移動するようにした。この補正処理により、紙の 3D モデルとハサミの 3D モデルの位置がずれることなく紙切りを行うことができる。図 3.12 はハサミの姿勢の補正を、図 3.13 は、ハサミの位置の補正を示したものである。

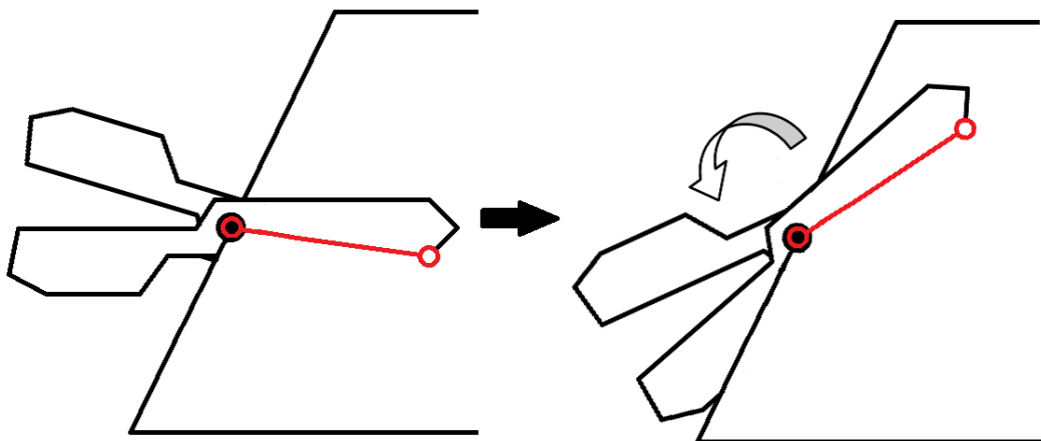


図 3.12: ハサミの 3D モデルの姿勢補正処理

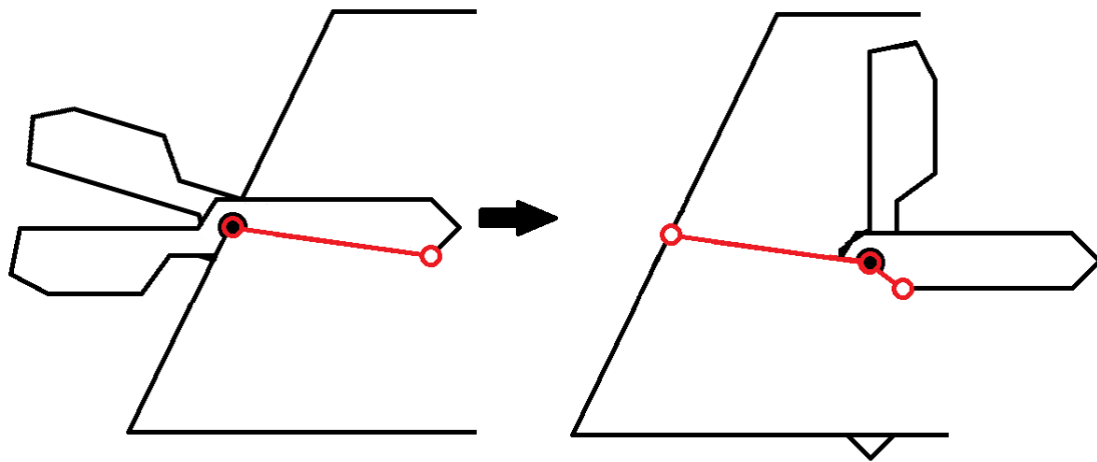


図 3.13: ハサミの 3D モデルの位置補正処理

# 第 4 章

## 検証と考察

本章では提案した紙切りシミュレーションの表現方法について検証と考察を行う。

### 4.1 実装

本研究では、現実世界の紙切りに近づけるために、仮想ハサミと仮想紙の両方を操作して紙切りを行うことができる手法を提案し、仮想空間上で紙切りが行えるシミュレータを実装した。図 4.1 は、実際のシステムの表示画面である。

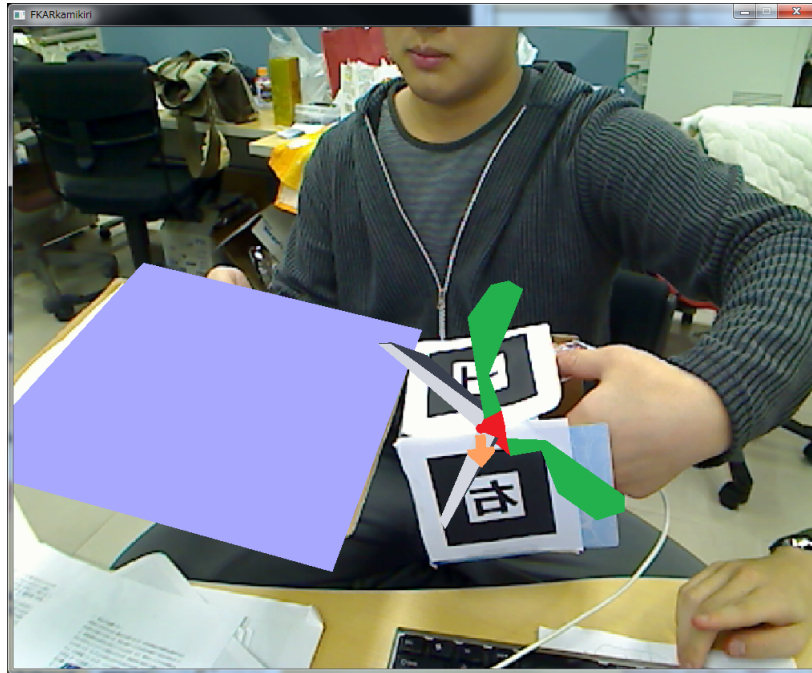


図 4.1: 本研究のシステムの表示画面

ハサミが切断中の状態になるまでは仮想ハサミを自由に動かせる。切断中の状態に遷移すると、仮想ハサミの中心が仮想紙のいちばん近い境界線上の点に移動する。図 4.2 は、非切断中の状態から切断中の状態に遷移した様子を示す。



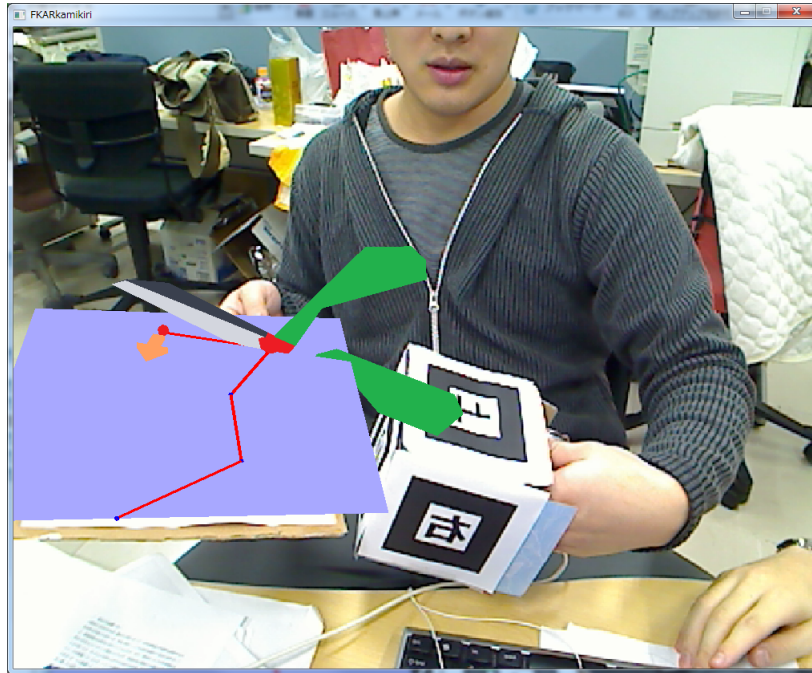


図 4.2: 切断中の状態に遷移した様子

切断中の状態から非切断中の状態に遷移すると、切り抜き処理が終了したと判定するまで仮想ハサミは切断線の終点の位置から移動しない。切り抜き処理中はマーカの方向のみを仮想ハサミに反映させ、位置の移動は行わない。仮想紙は仮想ハサミの状態に関わらず自由に操作できる。図 4.3 は、図 4.2 からさらに切断処理を重ねた様子を示す。

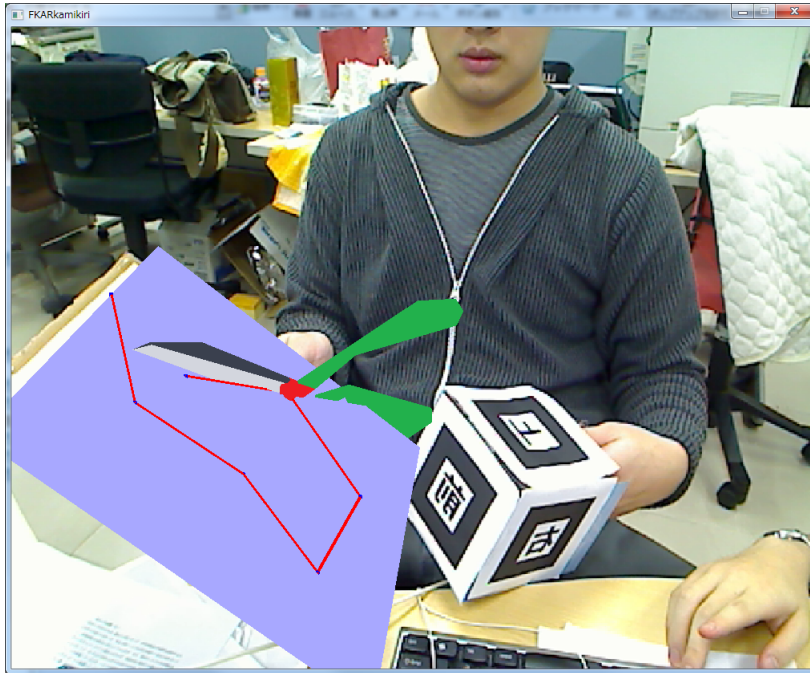


図 4.3: 切断処理を重ねた様子

切り抜き処理が終了した時点で、仮想紙を再構築し仮想ハサミが自由に動かせる状態となる。図 4.4 は、本システムの紙切りによって作成した作品である。

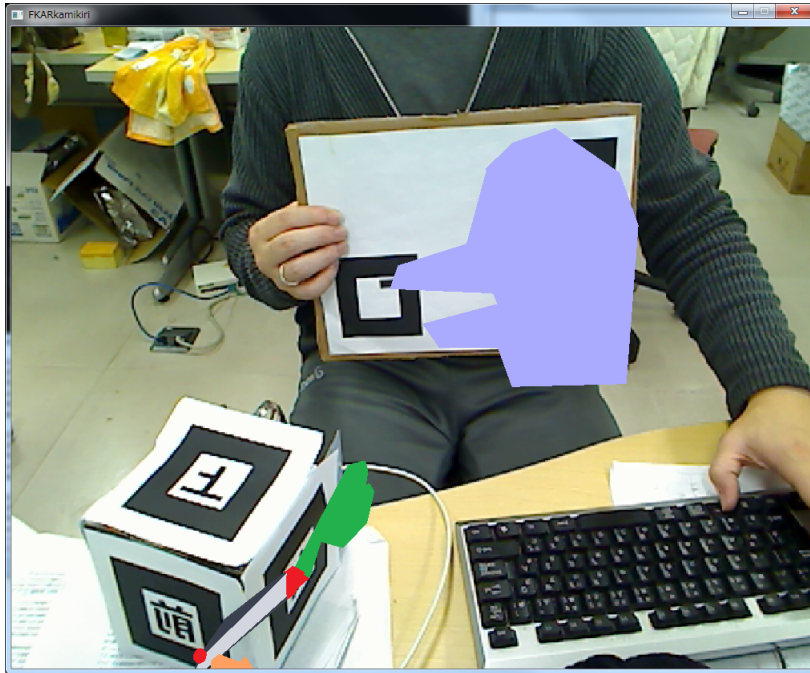


図 4.4: 作品：鳥

## 4.2 考察

本研究では、AR 技術と曲げセンサを用いることで、仮想空間上の紙とハサミを同時に操作して紙切りを行うことができるシミュレータを実現することができた。仮想ハサミは、切り抜き処理中に移動を行うことができないが、回転及びハサミの開閉は行えるため紙切り自体に支障は起きなかった。本システムを実装した結果、本研究の目的である紙とハサミをそれぞれに動かして切るといふ、紙切りの特徴を仮想空間上で表現できた。

# 第 5 章

## まとめ

仮想空間における仮想ハサミによる仮想紙の切断操作のモデルを提案し、仮想空間で直感的に紙とハサミを操作し紙切りを行えるシステムを作成した。

AR技術を用いることで既存研究では不可能だった両手での操作を可能とし、操作のデバイスに実際の紙とハサミを用いたため、より実際の紙切りに近い感覚で仮想空間内での紙切りを行えるようになった。

今後の展望として、マーカ認識の精度が悪いことで細かな動きや素早い動きなどには対応できない問題があるため、精度を高めていく必要がある。さらに、今回はハサミ用のデバイスとして曲げセンサと GAINER を用いたが、これは工学の知識がないものには組み立て等に難があるため、より容易に準備できるものを模索しなければならない。

また、本研究ではハサミを滑らせて紙を切るような動きや紙の曲がり・変形は考慮していないため、それらのシミュレーションも実現していく必要がある。

# 謝辞

本研究を締めくくるにあたり、多くのご指導をいただきました本校メディア学部の渡辺大地講師と三上浩司講師に心より深く感謝いたします。

また、研究を進めるにあたり、相談に乗っていただいた院生の方々にも深く感謝いたします。最後に私と関わったすべての方に感謝します。本当にありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 高見雄介, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, “道具型デバイスを活用した新しい幾何形状モデリングの実現,” **ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009** (2009).
- [2] 加藤博一, Mark Billingham, Ivan Poupyrev, 鉄谷信二, 橋啓八郎, “拡張現実感技術を用いたタンジブルインターフェース,” **芸術科学会論文誌 1(2)** (2002).
- [3] 舟橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, “3次元仮想空間における仮想手による物体操作モデルと一実現法,” **電子情報通信学会論文誌 D-II J81-D-II(5)**, 822–831 (1998).
- [4] 日本辞典, “紙切り-演劇・演芸.” [http://www.nihonjiten.com/monogatari/data\\_26.html](http://www.nihonjiten.com/monogatari/data_26.html).
- [5] 野口博和, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, “仮想空間でのハサミによる切断操作のモデルと実現,” **情報処理学会論文誌 39(12)** (1998).
- [6] 若松秀俊, 安名正和, “鋏状デバイスによる紙状立体仮想物体の切断感覚の実現システム,” **電気学会論文誌 116-C(10)** (1996).
- [7] 川崎晴久, “ネットワーク触覚インターフェイスの研究開発,” tech. rep., 戦略的情報通信研究開発推進制度 (2008).

- [8] 久保谷太亮, **希薄な触力覚フィードバック環境下における仮想はさみシステムの検討**, Master's thesis, 名古屋工業大学大学院 (2005).
- [9] 橋本直, [*ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門*], アスキー・メディアワークス (2008).
- [10] Mark Fiala, "Artag, a fiducial marker system using digital techniques," *National Research Council of Canada* (2004).
- [11] Taehee Lee, Tobias Höllerer, "Handy ar: Markerless inspection of augmented reality objects using fingertip tracking," *2007 11th IEEE International Symposium* (2007).
- [12] Georg Klein, David Murray, "Parallel tracking and mapping for small ar workspaces," *Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on* (2007).
- [13] 神原誠之, 横矢直和, "現実環境の照明条件と奥行きの実時間推定による仮想物体の陰影表現が可能な拡張現実感," **画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004)**, 247-252 (2004).
- [14] 仁科勇作, 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和, "適応的なハイダイナミックレンジ画像合成による拡張現実感のための光学的整合性の実現," **日本バーチャルリアリティ学会大会論文集** (2008).
- [15] 石黒祥生, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, "複合現実空間操作用対話デバイスのハイブリッド型位置姿勢決定法," tech. rep., 社団法人 電子情報通信学会 (2008).
- [16] 佐藤智和, 横矢直和, "Ar/mr における幾何位置合わせ手法の現状- 自然特徴を使った手法の研究動向と課題," *Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on* (2009).

- [17] “ARToolKit.” <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [18] 渡辺大地, “FK ToolKit System.” <http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.
- [19] 小林茂, “GAINER.cc.” <http://gainer.cc/>.
- [20] GainerBookLabo, くるくる研究室, [*+GAINER*], 九天社 (2007).
- [21] 布留川英一, [**はじめての *Gainer* プログラミングガイド**], 工学社 (2008).