

# 目 次

## 序章 バーチャルリアリティの歩み

1	現実感の可能性を追い求めた頃	2
2	仮想空間内での世界の表現	3
3	切離抵抗力の計算の歴史	4
4	物体の切離と反力提示装置	5
5	仮想物体構築のための数学モデル	7
6	研究を進めていくために	9
7	現実との対応と医療への応用	10

## 第1章 立体視による画像の3次元切離

1.1	3次元座標の入力と立体構成	14
1.1.1	両眼視差による仮想物体の立体視	14
1.1.2	立体視化マウスと3次元座標データの入力	15
1.2	立体視切離	15
1.2.1	任意平面による切離	15
1.2.2	マウスによる任意形状の切離	19
1.2.3	立体視による任意形状切離	22
1.3	3次元画像とその立体視	25
1.3.1	脳の3次元画像構成法	25
1.3.2	3次元画像の立体視	26
1.4	脳の3次元画像の立体視切離の結果	27

## 第2章 3次元空間内立体視設計システム

2.1	立体視設計システム	30
2.1.1	システムの概要	30
2.1.2	自動座標入力と設計・表示	32
2.1.3	座標回転と設計状況の監視	32
2.1.4	立体形状の変更	32

2.1.5	モデル表現の変更と質感の表現	33
2.1.6	部品形成のための設計図の出力	33
2.1.7	立体を構成する部品の自動作成	33
2.2	幾何学的矛盾の検出による形状設計に対する警告機能	35
2.2.1	平面を構成する3本の線分の判断	35
2.2.2	立体を構成する多角形の認識	36
2.2.3	角度の検証による幾何学的条件の判定法	37
2.3	設計システムの性能について	39
2.3.1	立体視設計システム	39
2.3.2	設計機器としての性能	40
2.3.3	システム稼働に関する考慮	40

### 第3章 ナイフ型デバイスによる力覚表示システム

3.1	切離デバイス	45
3.1.1	切離デバイスの製作	45
3.1.2	座標の取得	48
3.1.3	パラメータの決定	50
3.2	力覚表示システム	52
3.2.1	システム構成	52
3.2.2	立体切離に関する考慮	53
3.2.3	仮想物体の構成	54
3.2.4	仮想物体の切離シミュレーション	55
3.2.5	抵抗感の実現に関する仮定	56
3.3	力覚表示システムの検討	56
3.3.1	切離デバイスによる切離と抵抗感	56
3.3.2	性能の検討	57

### 第4章 ハサミ型デバイスによる紙状仮想物体の切離

4.1	ハサミによる切離の物理的解釈と条件設定	61
4.1.1	ハサミによる切離と動作に関する仮定	61
4.1.2	ハサミによる切離と得られる感覚	62
4.2	切離デバイス	64
4.2.1	ハサミ状器具の概要	64
4.2.2	ハサミの作用点の移動	65

4.3	力覚表示システム	66
4.3.1	システム構成と動作原理	66
4.3.2	立体視切離と力覚実現に関する考慮	67
4.3.3	切離箇所座標の取得と切離条件	68
4.4	仮想物体の切離と切離感	69
4.4.1	被切離物体の切離抵抗の測定	69
4.4.2	切離抵抗の実現と切離感の検討	71

## 第5章 リアルタイムで切離可能な仮想粘弾性物体

5.1	仮想物体の構築	76
5.1.1	粘弾性体の運動方程式	76
5.1.2	ワイヤフレームモデル	78
5.2	連続体としてのバネモデルの構築とシミュレーション	78
5.2.1	1次元モデルの構築	78
5.2.2	1次元モデルにおけるシミュレーションの結果	79
5.2.3	2次元モデルの構築	81
5.2.4	2次元モデルにおけるシミュレーションの結果	83
5.2.5	3次元モデルの構築	84
5.2.6	3次元モデルにおけるシミュレーションの結果	86
5.3	重力加速度を考慮した仮想物体の構築	88

## 第6章 ハサミによる切離抵抗感の表現

6.1	仮想物体のハサミによる切離と破壊	93
6.2	シミュレーションの結果	97

## 第7章 ハサミによる仮想物体の立体視加工

7.1	立体画像操作デバイス	103
7.1.1	ハサミ型デバイスの構成	103
7.1.2	仮想デバイスの構築と位置姿勢	104
7.1.3	ハサミ型デバイスと仮想デバイスの連携	106
7.2	力覚表示・システムの構成	107
7.2.1	ハードウェアの構成	107
7.2.2	3次元画像の立体視と動作の概略	109
7.3	力覚表示による仮想物体の切離	109

## 第 8 章 ナイフによる切離モーメントの表現

8.1 ナイフによる切離モーメント	117
8.1.1 粘弾性物体への刃の押入による沈降	119
8.1.2 垂直力を与えたときの物体の切離抵抗	124
8.2 シミュレーション結果	125
8.2.1 刃の押入深度の解析	125
8.2.2 物体の切離時の抵抗力の解析	126
8.3 刃が突き抜けた場合の切離時の抵抗力	128
8.4 ナイフによる粘弾性モデルの切離に関する補足説明	129

## 第 9 章 ノコギリの切離モーメントの表現

9.1 理論式の構築	135
9.1.1 押入時に歯に生じるモーメントと深度の算出	136
9.1.2 切離時に生じるモーメントの算出	138
9.1.3 切離時に生じる摩擦モーメントの算出	139
9.2 解析と動特性	143
9.2.1 シミュレーションによる検討	143

## 第 10 章 ノコギリ型デバイスによる力覚表示システム

10.1 はじめに	149
10.2 ノコギリの切離点と回転運動の中心点	149
10.3 ノコギリ型操作デバイスの構築	151
10.4 切離状態の画像表現	152
10.5 仮想ノコギリと仮想物体の構築	152
10.6 力覚表示システムの概要	153
10.7 システム動作の概要	154
10.8 力覚評価とコメント	159

## 第 11 章 3 種類の切離器具を用いた力覚表示システム

11.1 システムの開発	164
11.1.1 システムの概要	165
11.1.2 被切離物体の形状と性状	166

11.1.3	入力デバイスとしての切離デバイス選択の優先度	167
11.1.4	切離器具の変更に伴う切離点の継承	168
11.2	切離モーメントの計算	168
11.2.1	ハサミによる切離モーメント	169
11.2.2	ハサミの切離モーメントのシミュレーション	172
11.3	統合力覚表示システムの使用条件	173
11.4	統合力覚表示システムの操作実験結果	174
11.4.1	システムの表示について	174
11.4.2	システムの稼働状況	176
11.4.3	切離機構の違いについて	177
11.4.4	操作性について	178
11.4.5	統合システムとして	179

## 第 12 章 粘弾塑性体モデルで表現した物体間の相互作用による破壊

12.1	粘弾塑性体モデルの構築	183
12.1.1	塑性モデルの構築	184
12.1.2	モデル式の構築	185
12.1.3	仮想物体の構築について	186
12.1.4	仮想物体同士の接触	187
12.1.5	接触判定の高速化	188
12.1.6	シミュレーションのパターン設定	189
12.2	シミュレーション実験の結果	192
12.2.1	塑性を表すパラメータによる破壊の分類	192
12.2.2	相互作用による物体の変形	194
12.2.3	ループ時間に関する結果	196
12.3	変形に関するコメント	198
12.3.1	破壊の表現について	198
12.3.2	仮想物体の相互作用について	200
12.3.3	演算時間について	201
12.3.4	仮想物体の表現について	202

## 第 13 章 医学・工学への応用

13.1	モデルで構築した人工環境の提供	207
13.2	医療器具モデルの構築	207

13.2.1	採血針の構造	207
13.2.2	シリンジデバイスの設計	208
13.2.3	数学モデルによるナイフ型デバイス	210
13.3	モデルの相互作用により生じる力覚の算出	210
13.4	MRI データに基づく人工臓器モデルの構築	211
13.5	シミュレーションの方法と結果	213
13.6	まとめ	215
	あとがき	219
	索引	221