# 目次

第1章 序論 1

1.1 研究背景 2

1.2 関連研究 6

1.2.1 理論的設計手法 6

1.2.2 人の作業履歴を用いたパラメータ設計手法 8

1.2.3 実験的パラメータ設計手法 8

1.3 研究目的 10

1.4 本論文の構成 11

第2章 力制御の概要 13

2.1 はじめに 14

2.2 力制御の分類 15

2.3 ダンピング制御 19

2.4 おわりに 21

第3章 最適パラメータ設計手法 23

3.1 はじめに 24

3.2 問題設定 25

3.3 パラメータ設計手法の定式化 26

3.4最適化手法 28

3.4.1滑降シンプレックス法 28

3.4.2 Simulated Annealing 32

3.4.3滑降シンプレックス法とSAを組み合わせた最適化手法 35

3.5作業シミュレータ 37

3.5.1 シミュレータのシステム概要 38

3.5.2 作業環境モデル 39

3.5.3 ロボットのモデル化 39

3.5.4 制御系モデル 40

3.6 おわりに 42

第4章 Peg-in-Hole作業への適用 43

4.1 はじめに 44

4.2 基礎実験 45

4.2.1 ロボットの剛性測定実験 46

4.2.2 Peg-in-Hole作業 47

4.3 Peg-in-Hole作業シミュレータ 53

4.3.1 作業環境モデル 53

4.3.2 制御系モデル 54

4.3.3 シミュレ－ションパラメータの調整 55

4.3.4 シミュレーション結果 56

4.4 パラメータ最適化シミュレーションの設定 60

4.4.1 最適化するパラメータ 60

4.4.2 制約条件 60

4.4.3 初期位置・姿勢誤差 64

4.5 パラメータ最適化シミュレーション結果 66

4.6 実機による検証 71

4.6.1検証のためのシミュレーション結果 71

4.6.2実機実験結果 73

4.6.3 実機を用いたパラメータ最適化 77

4.6.4 実験結果の考察 78

4.7 おわりに 80

第5章 クラッチ嵌合作業への適用 ...............................................................................81

5.1 はじめに 82

5.2 クラッチ嵌合作業の基礎実験 83

5.3 クラッチ嵌合作業シミュレータ 90

5.3.1 作業環境モデル 90

5.3.2 制御系モデル 92

5.3.3 シミュレーション結果 93

5.4 パラメータ最適化手法の詳細 98

5.4.1 最適化するパラメータ 98

5.4.2 考慮すべき制約条件 98

5.5 パラメータ最適化シミュレーション結果 100

5.6 おわりに 105

第6章 結論と展望 ...............................................................................107

6.1 結論 108

6.2 今後の展望 110

謝辞 113

参考文献 117

付録 接触のモデル化 123

付録-1 DADSにおける接触のモデル化 124

付録-1.1 接触力 124

付録-1.2 接触形状 125

付録-1.3 接触力の発生範囲 127

付録-2 Peg-in-Hole作業シミュレータ 129

付録-3 クラッチ嵌合作業シミュレータ 130