

寄 贈	
林原靖男氏	平成 年 月 日

パワーアシスト装置の制御法に  
関する研究

1996年3月

林原 靖男

## 目次

第1章 緒論 .....	1
1. 1 本研究の背景 .....	2
1. 2 本研究の目的 .....	7
1. 3 本論文の構成 .....	8
第2章 パワーアシスト法の提案 .....	11
2. 1 はじめに .....	12
2. 2 アクチュエータの最大トルクとアシスト効果 .....	13
2. 3 制御方法の提案 .....	15
2. 4 手法の定式化 .....	18
2. 5 手法の特徴 .....	20
2. 6 操作者負担率の決定法 .....	23
2. 7 検証実験 .....	25
2. 7. 1 実験装置 .....	25
2. 7. 2 実験方法 .....	28
2. 7. 3 実験結果及び考察 .....	32
2. 8 まとめ .....	35
第3章 多自由度システムへの適用 .....	37
3. 1 はじめに .....	38
3. 2 多自由度パワーアシスト装置の運動方程式 .....	40
3. 3 制御目標の定式化 .....	43
3. 3. 1 関節トルクに基づく方法と手先力に基づく方法 の比較 .....	43
3. 3. 2 アームのアシスト .....	47
3. 4 制御系の構成 .....	49
3. 4. 1 制御系の概略 .....	49
3. 4. 2 インピーダンス制御部 .....	53
3. 4. 3 重力負荷と動的負荷の分離 .....	58
3. 5 検証実験 .....	62
3. 5. 1 装置の構成 .....	62
3. 5. 2 アームのモデリング .....	66
3. 5. 3 実験方法 .....	77

3. 5. 4	実験結果及び考察	80
3. 6	まとめ	85
第4章	操作者負担率の決定法	87
4. 1	はじめに	88
4. 2	操作者負担率の決定指針	91
4. 2. 1	重力負荷の操作者負担率の決定指針	91
4. 2. 2	動的負荷の操作者負担率の決定指針	94
4. 2. 3	目標慣性行列, 粘性摩擦係数行列の決定指針	95
4. 3	目標慣性行列, 粘性摩擦係数行列の決定法	97
4. 3. 1	アーム手先の動力学特性	97
4. 3. 2	線形成分の抽出	98
4. 3. 3	目標慣性行列, 粘性摩擦係数行列の決定法	99
4. 4	アクチュエータのトルク飽和の有無の判別法	103
4. 4. 1	操作者の挙動とアクチュエータの出力トルク	103
4. 4. 2	重力負荷の操作者負担率に関する判別法	105
4. 4. 3	動的負荷の操作者負担率に関する判別法	106
4. 5	操作者負担率の決定法	115
4. 5. 1	重力負荷の操作者負担率の決定法	115
4. 5. 2	動的負荷の操作者負担率の決定法	118
4. 6	数値例	121
4. 6. 1	各パラメータの値	121
4. 6. 2	計算結果	122
4. 7	操作者の主観を加味した操作者負担率の決定法	125
4. 7. 1	実験方法	126
4. 7. 2	実験結果及び考察	127
4. 8	まとめ	132
第5章	重力負荷と動的負荷の分離法	133
5. 1	はじめに	134
5. 2	負荷とセンサ信号の関係の定式化	138
5. 2. 1	並進力成分の定式化	138
5. 2. 2	トルク成分の定式化	139
5. 3	分離法の提案	142
5. 3. 1	重力負荷の並進力成分の推定法	142

5. 3. 2 重力負荷のトルク成分の推定法 .....	148
5. 3. 3 動的成分の推定 .....	152
5. 4 床から受ける外力に対する対処法 .....	154
5. 4. 1 並進力成分に対する対処法 .....	154
5. 4. 2 トルク成分に対する対処法 .....	160
5. 5 検証実験 .....	163
5. 5. 1 並進力成分の分離法の実験 .....	163
5. 5. 2 トルク成分の分離法の実験 .....	169
5. 6 まとめ .....	172
第6章 結論 .....	173
謝辞 .....	179
参考文献 .....	183
関連業績一覧 .....	191

## 図番一覧

Fig.1-1	一般的なパワーアシスト装置の構成	6
Fig.2-1	従来の一関節型パワーアシスト装置の概念図	14
Fig.2-2	提案するパワーアシスト装置の概念図	17
Fig.2-3	一自由度パワーアシスト系	19
Fig.2-4	操作する軌道	21
Fig.2-5	操作者負担率とアクチュエータのトルク飽和の関係	22
Fig.2-6	一自由度パワーアシスト実験装置	27
Fig.2-7	操作者に提示される目標角とアーム関節角	30
Fig.2-8	実験に用いた目標角	31
Fig.2-9	実験結果	34
Fig.3-1	多自由度パワーアシスト装置に用いる多関節アームの例	42
Fig.3-2	制御系が目標とする操作者と負荷により生じる力・トルクの関係	46
Fig.3-3	多自由度系において提案するパワーアシスト法を実現する制御系の構成	51
Fig.3-4	回転行列	52
Fig.3-5	位置制御系	55
Fig.3-6	パワーアシスト装置のインピーダンス制御系	57
Fig.3-7	アームと負荷の関係	60
Fig.3-8	既知負荷における重力負荷と動的負荷の分離法	61
Fig.3-9	多自由度パワーアシスト実験装置	64
Fig.3-10	実験装置の外観	65

Fig.3-11	アームの各リンクの長さ .....	69
Fig.3-12	アームの運動学 .....	70
Fig.3-13	アームの逆運動学 .....	73
Fig.3-14	慣性, 粘性摩擦, クーロン摩擦, 重力 .....	76
Fig.3-15	操作者に提示される目標位置及びアーム手先位置 .....	79
Fig.3-16	実験結果 .....	83
Fig.3-17	アクチュエータのトルク飽和時の位置制御系の目 標位置とアーム手先位置 .....	84
Fig.4-1	目標慣性行列 $\mathbf{M}_d$ , 目標粘性係数行列 $\mathbf{B}_d$ の決定手順 .....	102
Fig.4-2	動的可操作楕円体 .....	114
Fig.4-3	重力負荷の操作者負担率 $\alpha$ の決定手順 .....	117
Fig.4-4	動的負荷の操作者負担率 $\beta$ の決定手順 .....	120
Fig.4-5	操作者が負荷をすばやく動かしたときにトルク飽和 が生じる領域 .....	124
Fig.4-6	パワーアシスト装置を用いた負荷操作時の操作者の主観 ..	130
Fig.5-1	既知負荷を対象とするパワーアシスト装置の応用例 .....	136
Fig.5-2	未知負荷を対象とするパワーアシスト装置の応用例 .....	137
Fig.5-3	力・トルクセンサに加わるトルクベクトル .....	141
Fig.5-4	重力負荷による並進力のローパスフィルタを用いた 推定法の概念図 .....	146
Fig.5-5	重力負荷による並進力のローパスフィルタを用いた 推定法 .....	147
Fig.5-6	重力負荷によるトルクの最小二乗推定を用いた推定法 .....	151

Fig.5-7	未知負荷における重力負荷と動的負荷の推定法	153
Fig.5-8	負荷持ち上げ時の重力負荷による並進力の推定	157
Fig.5-9	ローパスフィルタの時定数 $t$ を予め小さな値に設定 する方法	158
Fig.5-10	ローパスフィルタの時定数 $t$ を重力負荷変動時のみ 小さくする方法	159
Fig.5-11	負荷持ち上げ時に推定される負荷重心位置	162
Fig.5-12	実験結果	167
Fig.5-13	実験結果	171