マイクロマシンの基礎技術の研究

一その2 —

平成6年3月

財団法人 マイクロマシンセンター

マイクロマシンの基礎技術の研究

発 行 財団法人マイクロマシンセンター

東京都港区三田三丁目12番16号

電話:03(5443)2971

目 次

(調査	研究概要		
第1章	調査研	ff究の目的	G 3
第2章	調査研	ff究の実施方法 ·······	G 4
第3章	調査研	所究成果の要約 ····································	G 8
3. 1	マイク	プロマシン表面への水分子吸着とトライボロジ特性	G 8
3. 2	マイク	フロマシンに働く粘性力の評価と応用	G 9
3. 3	医療用	目アクチュエータ材料	G 11
3. 4	生体通	適合性髙分子材料の分子設計	G 13
3. 5	マイク	プロマシンのための先導設計	G 15
3. 6	マイク	フロマニピュレーションシステム	G 17
3. 7	アクラ	チュエータ・機構システム	G 20
3.8	形状詞	己憶合金アクチュエータシステム	G 22
(本	編)		
第1章	マイク	クロマシン表面への水分子吸着とトライボロジ特性	3
1. 1	緒言		5
1. 2	固体表	表面の諸特性とマイクロトライボロジー	7
1.	2. 1	マイクロトライボロジーについて	7
1.	2. 2	マイクロトライボロジーへのSPMの応用	11
1.	2.3	マイクロトライボロジーにおける表面改質技術	16
1. 3	化学的	内立場から見たマイクロマシンのトライボロジー	29
1.	3. 1	はじめに	29
1.	3. 2	潤滑油薄膜のトライボロジー特性	29
1.	3.3	ナノ薄膜のトライボロジー	30
1.	3.4	液晶による潤滑	33
1.	3. 5	分子配向と分子構造	35
1.	3.6	摩擦面における化学反応	37
1.	3. 7	新生面の化学的性質	38
1.	3. 8	ま と め	42
1	4 分·	子動力学法を用いた固体接触界面現象の解析	4.5

	1	•	4	•	1	緒	-	言	•	••••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	45
	1		4		2	分	子!	動え	力	学法	とを	用	l l	った	. 極	彷	红	١ţ	刀削	機	構	り	解	析	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	45
	1	•	4		3	計	算	機兒	実	験と	: 切	削	実	屬	हे	0	鬼	至台	性		••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	49
	1		4	•	4	工.	具	• †	皮)	钊杉	才界	面	ic	σ	材	术	抖	蝩	ħ	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	52
	1		4		5	極	微	小ţ	刃	判に	こお	け	る	切]く	ð	" 4	三月	えの	限	界	ع	バ	= :	シン	グ	••	••••	••••	••••	••••	••••	58
		-																											••••				65
1	•	5		マ	イク	□	マ	シ:	ンし	にま	ょけ	る	水	分	子	· 9	衤	Ì	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	• • • • •	••••	••••	••••	••••	••••	•••	67
	1		5		1	マ	1	クロ	σ.	マシ	ノン	۲	表	面	瑼	多	₹…	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	67
	1		5	•	2	実	験	装置	置	なら	っぴ	に	実	駠	方	泪	ţ	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	68
	1	•	5		3	実	験	結身	果	及で	卢考	察	; ••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	76
	1		5	•	4	今:	年月	变₫	のる	まと	<u>:</u> හ	. •	•••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	94
1		6		マ	イク	□ .	マ	シ:	ン(のト	・ラ	1	ボ	<u> </u>	ジ	· _	ع -	: 1	: +	ソ	電	子	放	射	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	98
	1		6	•	1	エ・	+	ソヤ	電-	子龙	射	٤	マ	· 1	ク	E	1 7	? >	ノン	•	••••	••••	••••	••••	• • • • •	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	98
	1		6		2	エ・	+	ソ乍	電-	子σ)放	射	ŧ	テ	゛ル	,	•••	•••	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	99
	1		6	•	3	電	界	刺	敫:	エキ	・ソ	電	子	龙	り	· ·	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	100
	1		6	•	4	ェ	+	ソ乍	電-	子龙	射	サ	1	ŀ	Ø	匍	乭	₹	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	101
	1	•	6	•	5	I.	+	ソ乍	電-	子龙	射	の	実	圧	l (Ł	; (2	盲] [て		••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	108
1	•	7		結	言	•	••••	••••	•••	••••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	111
第	2	章		マ	イク	П.	マ	シ:	ンし	に賃	力く	粘	性	:ナ	10	高	陌	£ 5	: 応	用	•	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	113
2	•	1		緒	言	·	•••	••••	•••	••••	••••	••••	•••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	• • • •	••••	••••	••••	••••	••••	•••	115
2		2		微	小振	動-	子(にん	乍月	甲す	- る	流	体	ナ	J Ø	膏	F 征	百治	ŧ٤	実	. 験	••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	116
					1																												
	2		2		2	櫛	型	マノ	ተ :	クロ	1ア	ク	チ	· ച	I	. –	- <i>호</i>	16	-作	用	す	る	流	体	力 …	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	•••	116
	2		2		3	微	小	なっ	力	ンチ	・レ	ノベ	: —	12	作	月	す	- 2	流	体	カ	••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	123
	2		2		4	機	械	版重	助均	揚る	和	用	し	, T	動	j <	7	? 1	ク			ボ	ッ	١ ١	こ及	ぼ	すか	允体	力。	D影	響	•••	125
2		3		流	体力	を	用	しいて	τi	泳く	:生	.物	の	メ	カ	=	- 7	(1	`	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	128
	2		3		1	は	じ	めし	こ	•••	· • • •	•••	•••	•••	•••	• • •	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	128
	2		3		2	流	体	da i	らき	受け	ける	力		•••	•••	• • •	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	128
	2		3		3	微	小	生物	物	の斬	已行	運	.動	j .	•••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	128
	2		3		4	蛇	行	運	動	•••	••••	•••	•••	•••	•••	• • •	••••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	133
	2		3		5	パ	ド	1]	ン・	グ	••••		•••		•••	•••	• • • •	• • •		•••		••••		••••	••••	••••	••••					• • • • ,	133

	2.	3	•	6	ジェッ	ト推	進 …	••••••	•••••	••••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••	133
															•••••		
2	. 4	Į	猟	翔	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••••	•••••	•••••	••	139
	2.	4		1	グライ	ドと	羽ば	たき飛	行 ·········· 行	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••	139
	2.	4		2	揚力・	抗力	につ	いて…	•••••	•••••	••••••	••••••	•••••	•••••	•••••	••	140
	2.	4		3	レイノ	ルズ	数と	抗力係	数の関係	ķ	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••	142
	2.	4		4	飛翔時	うのエ .	ネル	ギー供	給•制御	につ	いて・	••••••	••••••	•••••	•••••	••	147
2	. 5	5	流	本力	の計測	j	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••••	•••••	•••••	•••	149
	2.	5	•	1	はじめ	うに ・	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••••	•••••	•••••	••	149
	2.	5		2	流体力]の計	則実	験	•••••	•••••	••••••	••••••	•••••	•••••	•••••	•••	149
	2.	5		3	実験紀	黒と:	考察	••••••	••••••	•••••	••••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	155
2	. 6	3	結	言	• ••••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••••	•••••	•••••	•••••	•••	162
	2.	6		1	流体力	」のま	とめ	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • •	•••••	•••••	•••••	•••	162
	2.	6	•	2	マイク	00	ボッ	トの課	題	•••••	•••••	••••••	•••••	•••••	•••••	•••	162
第	3 葺	Ì	医	寮用	アクチ	ュエ	一 夕	材料 …	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • •	••••••	•••••	•••••	•••	167
3	. 1	l	姓	=	_												
	• 1	L	州日	Ħ	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	••••••	•••••	••••••	••••••	•••••	••••••	•••••	•••	169
3																	
3		2	医	寮用	アクチ	ュエ・	一夕:	材料の	研究	•••••	••••••	•••••	••••••	•••••		•••	170
3	. 2	2	医!	寮用 1	アクチ	ュエ	ータ:	材料の 学(人	研究工筋肉設		理論的	为基礎》)· ••••••	••••••	•••••	•••	170 170
3	3.	2 2 2	医?	寮用 1 2	アクチ 微小機 高分子	・ュエ 機構の! ビゲル	ータ: 物理: アク	材料の 学(人 チュエ	研究 工筋肉認 ータの認	と計の	理論的 応用・	为基礎))· ······	••••••	•••••	•••	170 170 180
3	3. 3. 3.	2 2 2 2	医 :	寮用 1 2 3	アクチ 微小機 高分子 高分子	・ュエ 機構の ・ゲル ・電解	ータ 物理 ク膜	材料の 学(人: チュエ のアク	研究 工筋肉認 ータの認 チュエー	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	理論的応用・	为基礎》)			•••	170 170 180 186
	3. 3. 3.	2 2 2 2 2	医;	療用 1 2 3	アクチの場合のおります。これでは、これでは、これでは、これでは、これでは、これでは、これでは、これでは、	・ュエ 横の - ゲル - 七電解 - 記憶合:	タ 理 ク 膜 を	材料の 学(人 チュエ の い れ	研究・・・・・ 工 タ か ま か の エ タ ュ ク エ ク	計の と計と - タヘ コマシ	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	为基礎))			•••	170 170 180 186 207
	3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2	医;	寮用 1 2 3 4 寮用	アクチ 微高 高 形 マイク	ュ は 構 の に で て て に に に に に に に に に に に に に に に に	ー 物 ア 質 金 シタ 理 ク 膜 を ン	材学チの用のかったのでは、	研究 ······ 工筋肉の サュィー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	と計の と計と - タヘ 1マシ	理論的応用・の応用・	的基礎 /)				170 170 180 186 207 213
	3. 3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3	医:	寮用 1 2 3 4 寮用	ア微高高形マ仮ク外分分状イ想子子記り	ュ 構 ゲ 電 憶 ロ 実 に	ー 物 ア 質 金 シ 間タ 理 ク 膜 を ン 技	材学チの用の術といいのといいで	研究・・・・・ 工筋肉の割 チュイー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	と計の と計と - タヘ ロマシ isted	理論的 応用・ の応用 ン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	的基礎) 					170 170 180 186 207 213 213
	3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3	医:	療 用 2 3 4 東 1 2	了 微 髙 髙 形 マ 仮 能り 小 分 分 状 イ 想 動	ユ構ゲ電憶ロ実視エのル解合マ空鏡	一物で質金シ間のタ理ク膜をン技設	材学チの用の術計り、エクた究いでした。	研究・・・・・ 工筋肉部 ータェー チュイー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	と計の と計と - タヘ ロマシ isted	理論的 応用・ の応用・ surge	的基礎) 					170 170 180 186 207 213 213
	3. 3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3	医:	療用 1 2 3 4 寮 1 2 3	了 微 髙 髙 形 マ 仮 能 分ク 小 分 分 状 イ 想 動 散	ュ構ゲ電憶ロ実視人工のル解合マ空鏡工	一物で質金シ間の心タ理ク膜をン技設臓	材学チの用の術計の料(ユアい研と・・基本	研 エ ー チ マ	と計の と計と - タヘ ロマシ isted	理応のン surge s	的基礎) ····································					170 170 180 186 207 213 221 221
	3. 3. 3. 3. 3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3	医:	寮 1 2 3 4 寮 1 2 3 4	了 微 髙 髙 形 マ 仮 能 分 医ク 小 分 分 状 イ 想 動 散 療	ユ構ゲ電憶ロ実視人マエのル解合マ空鏡エイ	一物ア質金シ間の心クタ理ク膜をン技設臓ロ	材学チの用の術計のマ料(ユアい研と・・基シー・オージー・オージー・オージー・オージー・オージー・オージー・オージー・オー	研エーチマーde ・ 構の究筋タュイ・・ o ・ 想表 のエク・・ まごと面	は計の と計と - タマシ isted ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	的基礎) ····································					170 170 180 186 207 213 221 221 228 234
3	3. 3. 3. 3. 3. 3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3	医:	寮 1 2 3 4 寮 1 2 3 4 5	了微高高形 マ 仮能分医アク 小分分状 4 想動散療クチ で ま り ま 内 壁 用 チ	ユ 構 ゲ 電 憶 ロ 実 視 人 マュエの ル 解 合 マ 空 鏡 工 イェ	一物ア質金シ間の心クータ理ク膜をン技設臓ロタ	材学チの用の術計のマ・料(ユアい研と…基シセの人エクた究Vin 本ンン	研エーチマ… de … 構のサ究筋タュイ… o … 想表材のエク… as… と面料	は 計 か け り マ マ isted の は ひ と り く り く り く り り り り り り り り り り り り り	・・・・ 理 応 の ン ・・・ 実 修 ン ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	可基礎)	の解析				170 170 180 186 207 213 221 228 234 248
3	3. 3. 3. 3. 3. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4	医	寮 1 2 3 4 寮 1 2 3 4 5 寮	ア微高高形 マ仮能分医アマク小分分状 4 想動散療クイチ まりま 5 里 月 チク	・ 横 ゲ 電 憶 ロ 実 視 人 マ ュロエの ル 解 合 マ 空 鏡 工 イ エマ	一物ア質金シ間の心クーシタ理ク膜をン技設臓ロタン	材学チの用の術計のマ・研料(ユアい研と・基シセ究の人エクた究Vi・本ンンへ	研エーチマーde ・・構のサの究筋タュイ・・・o・・想表材企・・・肉のエク・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	計計 タマ isted	・・理応のン・・・・実修ンの論用応・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	が 基礎) ry 般 類 み・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・				170 170 180 186 207 213 221 228 234 248 264
3	3. 3. 3. 3. 3. 3. 3. 3. 4. 3.	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4	医 医	寮 1 2 3 4 寮 1 2 3 4 5 寮 1	了微高高形マ仮能分医アマ株ク小分分状イ想動散療クイ式チ機子子記クま内型用チク会	ユ 構 ゲ 電 憶 ロ 実 視 人 マ ュ ロ 社工の ル 解 合 マ 空 鏡 工 イ エ マ ア	一物ア質金シ間の心クーシイタ理ク膜をン技設臓ロタンシ	材学チの用の術計のマ・研ン料(ユアい研と… 基シセ究コの人エクた究 Vi	研エーチマ・de・ 構のサのモ究筋タュイ・ o・ 想表材企ス・ 肉のエク・ a・ と面料業研・ 説記・ロー 読 単加へと第	計計タマーは ではてのし所のとへシー 的とタて	・・理 応 の ン ・・・ 実 修 ン の ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	が 基礎) ry 吸組 着み	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・				170 170 180 186 207 213 221 228 234 248 264 264

3	•	5		結	言	• •••	••••	••••	•••	••••	••••	••••		•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	•••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	, • • • • •	· 2	283
第	4	章		生	体適	i合	性	高	分-	子村	才料	‡ の	分	子	- 影	と計	ŀ																
4		1		緒	言	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	• • • •	•••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	•••••	2	287
4	•	2		夕	ンパ	ク	質	の!	及	着る	を回	週	ŧす	- Z	ⅳ杪	才彩	ļ	••••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	• • • •	••••	••••	••••	••••	•••••	•••••	2	90
	4		2		1	緒		言	•	••••	••••	••••	••••	•••		••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	•••••	2	90
	4		2		2	夕	ン	パ	クラ	質(の呀	ŧ着	ŧ٤	: 🔻	7 1	ーク	, E	1 7	シ	ン	に!	与え	ŧ ?	3影	響・	••••	••••	••••	••••	•••••	•••••	2	90
	4	•	2		3	夕	ン	パ	クラ	質(の親	fl	, L 1	屷	2着	争通	줨	2解	析	法		••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 2	297
	4		2		4	夕	ン	パ	クラ	質(の吸	k着	を	扣	印伟	月す	- 2	高	分	子	のタ	分子	子記	设計	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	303
	4	•	2		5	結		語	•	••••	••••	••••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	309
4	•	3		m	小板	の	吸	着	を	回	避す	っる	材	术	۽ ڊ	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	• 3	311
	4		3		1	緒		言	•	••••	••••	••••	••••	•••	, 	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	311
	4		3		2	材	料	表i	面·	~(の血	山小	、板	į y	2 ء	盲の	X	ノカ	-	ズ	ム	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	311
	4		3		3	血	液	内	で)	用り	いら	5 † 1	しる	5 =	7 1	(ク	, =	1 4	・シ	ン	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	312
	4		3		4	Ш	小	板	の!	吸	首を	- 0	遥厄	ŧij	トる	5 杉	才米	半 の	分	子	設詞	計	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	313
	4		3		5	マ	1	ク	u .	マ	シン	/ 表	₹面	ī^	√ 0.	ÞЩ	山	卜板	įσ	吸	着	を回	回	誰す	るね	材料	4の	固定	定・	•••••	••••	. 3	319
	4		3		6	結	i	語		••••		••••	••••	•••	••••	••••	••••	• • • •	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	321
4		4		細	網内	皮	系	を	回;	避.	する	5村	才彩	† ·	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	324
	4		4		1	緒	i	言		••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	324
	4		4		2	細	網	内	皮	系	(F	R E	E S	;)	Ž	÷ [] [達す	- る	た	め	の!	ド	ラッ	グ・	+ 1	ァリ	ア	没計	†	••••	. 3	325
	4		4		3	ウ	1	ル	ス・	を	モラ	デ ル	レに	: l	ノナ	こキ	F 1	۲IJ	ア	シ	ス・	ティ	ム言	设計	• • • •	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. 3	328
	4		4		4	高	分	·子	3	也。	ル哲	世扩	七か	š A	も斉	ᆌ •	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••		332
4		5		組	織反	で応	を	回	避	す	るす	才彩	¥ •	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	. 	••••	••••	•••••	••••	. ;	339
	4	•	5		1	緒	í	言		•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	: ••••	••••	· • • •	•••••	••••	•••••	••••	. ;	339
	4		5		2	材	料	の	組	織	反肩	<u>ت</u>	••••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	, • • • •	•••••	••••	. ;	339
	4		5		3	組	l織	反	応	を	回通	连す	トる	5本	才米	斗0	D氰	殳音	t	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. ;	340
	4		5		4	組	総	中	で	機	能る	と万	戸す	卜木	才米	斗;	7	スラ	- A	٤	そ	のね	皮	及效	果	••••	••••	••••	••••	•••••	••.••	. ;	348
	4		5		5	結	i	語	. •	••••	••••	••••	••••	•••	•••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••		••••	•••••	••••	. ;	353
4		6		細	胞•	組	榴	に	吸	着	• <u>J</u>	兑衤	 事	刊名	卸了	でき	きる	る 杉	材料		••••	••••	• • • •	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	. ;	358
	4		6	•	1	緒	ź	言	•	••••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	• ;	358
	4		6		2	温	腹	に	応	答	しっ	て桿	黄迁	きる	を変	变亻	Ľ۶	する	6高	分	子	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	• ;	358
	4		6		3	外	卜的	」東川	激	で	機創	尼 罗	变化	<u></u>	す ;	る F	PI/	٩A	m-İ	酵	素複	复合	合体	ķ •	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	• ;	362

	4		6		4	親水性-疎水性を変化させる表面	364
	4		6		5	培養細胞の接着・脱着の制御	365
	4		6		6	微粒子の温度モジュレーション	368
4	•	7		現	在使	[用されている埋め込み型人工臓器(補足資料)	374
	4		7		1	緒 言	374
	4		7		2	現在実用化されている植え込み型人工臓器	374
	4		7		3	結 語	380
4	•	8		結	言	••••••	385
第	5	章		マ	イク	ロマシンのための先導設計	
5	• •	1		緒	言		389
5		2		光	熱駆	「動型マイクロアクチュエータの設計	390
	5		2		1	はじめに	390
	5		2		2	光熱駆動型マイクロアクチュエータ	391
	5		2		3	圧力上昇のメカニズム	393
	5		2		4	高応答性実現のための設計指針	400
	5		2		5	アクチュエータの試作	404
	5		2		6	試作されたアクチュエータの応答性の検証	406
	5		2		7	光熱駆動型マイクロポンプ	•408
	5		2		8	まとめ	410
5		3.		血	流を	・利用したカテーテル誘導メカニズムの設計	•411
	5		3		1	はじめに	411
						血管内拍動流再現装置 ······	
	5		3		3	血管内パイロットシステム	413
	5		3		4	性能実験	417
	5		3		5	臨床的観点からの今後の展望	419
	5		3		6	先導設計と異分野コラボレーション	426
5		4		人	工衛	f星のマイクロ化設計	432
	5	•	4	•	1	衛星設計の現状	432
	5		4	•	2	研究の目的	432
	5	•	4		3	先導設計のマイクロ人工衛星への応用	433
	5		4		4	スピン衛星の熱制御系におけるスケール効果	434

	5.	4	•	5	まと	め・	••••	•••••	•••••		•••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	•••••	•440
5	. 5		光	造形	法に	基っ	š < -	マイ	クロ	マミ	シンの	の設	計	•	製化	乍 ·	••••	•••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	440
	5.	5	•	1	マイ	クロ	マ	シン	の先	導的	勺設計	† Ł	光	造	形力	加工	·	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	440
	5.	5	•	2	マイ	クロ	光	造形	法概	論・	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	441
	5.	5	•	3	微細	加工	:~(のア	プロ	- 5	۶	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	446
	5.	5	•	4	機械	シス	テ・	ム製:	造へ	のフ	アプロ	-	チ	•	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	448
	5.	5 .	•	5	今後	の課	題	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	•••••	•452
	5.	5	•	6	まと	め	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	454
5	. 6		結	言	•••••	•••••	••••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	455
第	6 章	•	マ.	イク	ロマ	ニピ	° '	レー	ショ	ンミ	ンスラ	テム	. •	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	459
6	. 1		緒	言 …	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	459
	6.	1	•	1	研究	の背	景	••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••		•••••	••••	459
	6.	1		2	研究	の푨	状	••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	460
	6.	1		3	研究	の目	的	••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	464
	6.	2	í	微細	作業	シス	テ・	ムの	要求	機能	崔…	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••		•••••	••••	467
	6.	2		1	微細	作業	の	恃徴	••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	467
	6.	2		2	微細	作業	ミシ	ステ	ムの	要习	ド機 能	ŧ	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	468
6	. 3		微	細作	業シ	ステ	· ム (の基	本構	成·	•••••	••••	••••	••••	••••	• • • • •	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	471
	6.	3	•	1	マニ	ピュ	レ・	- タ	••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	472
	6.	3 .	•	2	作業	台	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	475
	6.	3	•	3	顕微	鏡	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	477
					ロハ																				
	6.	4	•	1	構成	•••••	••••	•••••	•••••	•••••	••••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	: •••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	478
	6.	4	•	2	制御	シス	テ・	ム …	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	478
6	. 5		作	業実	験 …	•••••	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	486
	6.	5		1	マイ	クロ	ΙΙ.	アタ	ーピ	ンク	の組ュ	之	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	•,••••	486
	6.	5		2	マイ	クロ	鳥	居の;	組立	· · · ·	•••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	491
	6.	5		3	マイ	クロ	五	重の:	塔の	組7	ኒ	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	495
	6.	5	•	4	作業	シス	、テ・	ムの	評価	i • #	考察・	••••	••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	••••	••••	••••	•••••	••••	498
6	. 6		結:	言	•••••	•••••	• • • • •		••••	••••		••••	••••	••••	••••	• • • • •		•••••	••••	••••	•••••	••••	•••••	••••	500

第	7	章		ア	クチ	· ച	エ	- :	タ	• 枝	幾桿	卑シ	17	ス :	テ	ム	•••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	•••	••••	• • • • •	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	503
7		1		緒	冒	•••	••••	••••	•••	••••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	•••	•••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	503
7		2		ア	クチ	· _	エ	- ;	タ (の舅	区重	协原	更	里	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	503
7		3		半	導体	マ	1	クリ	п.	マミ	ン-	- =	= ;	ン :	グ	•••	•••	•••	•••	••••	•••	•••	••••	•••	•••	••••	•••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	504
7		4		各	種マ	・イ	ク	-	ア:	クラ	F =	. J	<u> </u>	- :	9	と	そ	σ,	応	用	例	•	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	509
	7		4	•	1	静	電	ア:	ク :	F =	₂ J	r -	- 3	9	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	509
	7		4		2	電	磁	ア:	ク :	チェ	1]	c -	- 3	ጛ	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	520
	7		4		3	圧	電	ア:	ク :	チェ	₁ J	c -	- 3	ጛ	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	521
	7		4		4	熱	バ	イ:	モ	ルフ	フラ	7 /	ל ל	F .	2	エ	_	タ	,	•••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••		••••	523
	7		4		5	形	状	記	燱ኂ	合会	全フ	7 /	7 =	F .	2	エ	_	タ	,	••••	••••	•••	····	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	• • • •	••••	••••	526
	7		4		6	熱	膨	張	ア:	クラ	F =	2]	c -	- :	9	•	• • •	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	526
7	•	5		静	電ア	ゥ	チ	ച :	エ・	- 4	9 0	り相	舞光	告言	没	計	Ø	梭	討	t	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	531
	7		5	•	1	<	L	歯	形`	アク	クラ	F =	1	r.	_	夕	••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	531
	7		5	•	2	<	L	歯	形`	アク	クラ	+ =	1	r ·	_	夕	Ø	支	技	構	造	•	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	531
	7		5		3	ア	ク	チ	ے ۔	I -	- 3	7 0	D 記	式1	作	お	ょ	. U	ょそ	· の	特	性	••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	532
	7	•	5		4	ま	٤	め	•	••••	•••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	537
7	•	6		圧	電ア	ク	チ	ے ۔	エ、	- 5	90	り有	構力	告	設	計	0	杉	信	ŀ	••••	••••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	539
	7		6		1	は	じ	めし	に	••	•••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	539
	7		6		2	駆	動	機	構	に関	月で	† ?	5 t	矣	討	••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	540
	7		6		3	ま	٤	め	•	••••	•••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	549
7		7		論	文抄	訳	···	••••	•••	••••	•••	••••	•••	•••	• • •	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	549
7		8		結	ī	· · ·	••••	••••	•••	••••	•••	• • • •	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	611
第	8	章		形	状記	憶	合	金`	ア	クラ	F =	₂ J	r -	_	夕	シ	ス	・デ	۲ -		••••	•••	••••	•••	•••	••••	:	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	615
8		1		緒	1	· · ·	••••	••••	•••	••••	•••	••••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	615
8		2		形	状記	惶憶	合	金`	ア:	クラ	F :	₂ J	c -	-	夕	の	原	珥	E	•••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	616
	8		2		1	形	状	記	燱1	合会	全	D作	申糸	宿	特	性	••	•••	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	616
	8		2	•	2	形	状	記	燱ィ	合会	金ブ	7 /	クラ	F .	ュ	エ	_	· 5	σ,	設	計	原	理	•	•••	••••	••••	• • • •	•••	••••	••••	••••	••••	••••	617
8		3		形	状記	憶	合	金組	細網	線フ	P !	クラ	۴ <u>:</u>	1 .	エ	_	夕	• • •	•••	••••	••••	•••	••••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	621
	8		3		1	形	状	記	燱1	合会)全	Ti	Ni) }	細	線	の	ナ)学	特	性	z	••	•••	•••	••••	••••	••••	•••	••••	••••	••••	••••	••••	623
	8		3		2	Ti	Ni	細絲	泉	リ <i>=</i>	- 7	7 7	7	7 -	チ	ュ	エ	_	· 夕	の	位	置	制	御	深	の	構具	戊…	•••	••••	••••	••••	••••	••••	626
	8		3		3	Тi	Ni	細糸	溴 :	I) =	- 7	7 7	- /	, ,	£		エ	_	· 夕	の	付	置	制	御	系	。 の	数学	させ も	: 7	・ル	••	••••	••••	••••	628

.8	8.	3	•	4	TiNi細線リニアアクチュエータの位置制御実験	632
;	8.	3	•	5	TiNi細線リニアアクチュエータの力制御系及び制御実験結果	636
:	8.	3		6	TiNi細線リニアアクチュエータについてのまとめ	637
	8.	3		7	TiNi細線利用の他の形状記憶合金(SMA)アクチュエータシステム …	638
8.	4		形	伏記	憶合金薄板アクチュエータ	658
:	8.	4	• • •	1	座屈タイプ	658
:	8.	4	•	2	スパイラルタイプ	665
8 .	5		形	伏記	憶合金薄膜アクチュエータ	679
1	3.	5	•	1	はじめに	679
8	В.	5	•	2	形状記憶合金(TiNi)成膜法 ·······	679
1	3.	5	• 1	3	形状記憶合金薄膜の熱処理と力学特性	682
8	3.	5	•	4	形状記憶合金薄膜の制御	693
8	3.	5	•	5	可逆形状記憶合金薄膜の熱処理と変形特性	697
	3.	5	•	6	可逆形状記憶合金薄膜の制御	701
8	3.	5	•	7	応用例	703
8.	6		形	伏記	憶合金アクチュエータの評価	709
R	7		紶	글		711