

マイクロマシンの基礎技術の研究

— その 1 —

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 調査研究の目的	G 3
第2章 調査研究の実施方法	G 4
第3章 調査研究成果の要約	G 8
3. 1 マイク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 マイクロマシンに働く粘性力の評価と応用	G 9
3. 3 医療用アクチュエータ材料	G 11
3. 4 生体適合性高分子材料の分子設計	G 13
3. 5 マイクロマシンのための先導設計	G 15
3. 6 マイクロマニピュレーションシステム	G 17
3. 7 アクチュエータ・機構システム	G 20
3. 8 形状記憶合金アクチュエータシステム	G 22

(本 編)

第1章 マイ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	45

1. 4. 1	緒言	45
1. 4. 2	分子動力学法を用いた極微小切削機構の解析	45
1. 4. 3	計算機実験と切削実験との整合性	49
1. 4. 4	工具・被削材界面での材料挙動	52
1. 4. 5	極微小切削における切くず生成の限界とバニシング	58
1. 4. 6	結言	65
1. 5	マイクロマシンにおける水分子吸着	67
1. 5. 1	マイクロマシンと表面現象	67
1. 5. 2	実験装置ならびに実験方法	68
1. 5. 3	実験結果及び考察	76
1. 5. 4	今年度のまとめ	94
1. 6	マイクロマシンのトライボロジーとエキソ電子放射	98
1. 6. 1	エキソ電子放射とマイクロマシン	98
1. 6. 2	エキソ電子の放射モデル	99
1. 6. 3	電界刺激エキソ電子放射	100
1. 6. 4	エキソ電子放射サイトの観察	101
1. 6. 5	エキソ電子放射の実用化に向けて	108
1. 7	結言	111
第2章 マイクロマシンに働く粘性力の評価と応用		
2. 1	緒言	115
2. 2	微小振動子に作用する流体力の評価法と実験	116
2. 2. 1	はじめに	116
2. 2. 2	橢型マイクロアクチュエータに作用する流体力	116
2. 2. 3	微小なカンチレバーに作用する流体力	123
2. 2. 4	機械振動場を利用して動くマイクロロボットに及ぼす流体力の影響	125
2. 3	流体力を用いて泳ぐ生物のメカニズム	128
2. 3. 1	はじめに	128
2. 3. 2	流体から受ける力	128
2. 3. 3	微小生物の蛇行運動	128
2. 3. 4	蛇行運動	133
2. 3. 5	パドリング	133

2. 3. 6	ジェット推進	133
2. 3. 7	扇ぎによる運動	135
2. 4	飛翔	139
2. 4. 1	グライドと羽ばたき飛行	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	142
2. 4. 4	飛翔時のエネルギー供給・制御について	147
2. 5	流体力の計測	149
2. 5. 1	はじめに	149
2. 5. 2	流体力の計測実験	149
2. 5. 3	実験結果と考察	155
2. 6	結言	162
2. 6. 1	流体力のまとめ	162
2. 6. 2	マイクロロボットの課題	162
第3章	医療用アクチュエータ材料	167
3. 1	緒言	169
3. 2	医療用アクチュエータ材料の研究	170
3. 2. 1	微小機構の物理学（人工筋肉設計の理論的基礎）	170
3. 2. 2	高分子ゲルアクチュエータの設計と応用	180
3. 2. 3	高分子電解質膜のアクチュエータへの応用	186
3. 2. 4	形状記憶合金を用いたマイクロマシン	207
3. 3	医療用マイクロマシンの研究	213
3. 3. 1	仮想現実空間技術とVideo assisted surgery	213
3. 3. 2	能動内視鏡の設計	221
3. 3. 3	分散型人工心臓の基本構想と基礎的実験	228
3. 3. 4	医療用マイクロマシンの表面加工と修飾	234
3. 3. 5	アクチュエータ・センサ材料へのタンパク吸着の解析	248
3. 4	医療用マイクロマシン研究への企業としての取り組み	264
3. 4. 1	株式会社アイシンコスモス研究所	264
3. 4. 2	住友電気工業株式会社播磨研究所	270
3. 4. 3	三菱電線工業株式会社	276

3. 5	結 言	283
第4章 生体適合性高分子材料の分子設計		
4. 1	結 言	287
4. 2	タンパク質の吸着を回避する材料	290
4. 2. 1	結 言	290
4. 2. 2	タンパク質の吸着とマイクロマシンに与える影響	290
4. 2. 3	タンパク質の新しい吸着過程解析法	297
4. 2. 4	タンパク質の吸着を抑制する高分子の分子設計	303
4. 2. 5	結 語	309
4. 3	血小板の吸着を回避する材料	311
4. 3. 1	結 言	311
4. 3. 2	材料表面への血小板吸着のメカニズム	311
4. 3. 3	血液内で用いられるマイクロマシン	312
4. 3. 4	血小板の吸着を回避する材料の分子設計	313
4. 3. 5	マイクロマシン表面への血小板の吸着を回避する材料の固定	319
4. 3. 6	結 語	321
4. 4	細網内皮系を回避する材料	324
4. 4. 1	結 言	324
4. 4. 2	細網内皮系 (RES) を回避するためのドラッグキャリア設計	325
4. 4. 3	ウイルスをモデルにしたキャリアシステム設計	328
4. 4. 4	高分子ミセル型抗がん剤	332
4. 5	組織反応を回避する材料	339
4. 5. 1	結 言	339
4. 5. 2	材料の組織反応	339
4. 5. 3	組織反応を回避する材料の設計	340
4. 5. 4	組織中で機能を示す材料システムとその波及効果	348
4. 5. 5	結 語	353
4. 6	細胞・組織に吸着・脱着制御できる材料	358
4. 6. 1	結 言	358
4. 6. 2	温度に応答して構造を変化する高分子	358
4. 6. 3	外的刺激で機能変化するPIAAm-酵素複合体	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
5. 3. 2	血管内拍動流再現装置	412
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	光造形法に基づくマイクロマシンの設計・製作	440
5. 5. 1	マイクロマシンの先導的設計と光造形加工	440
5. 5. 2	マイクロ光造形法概論	441
5. 5. 3	微細加工へのアプローチ	446
5. 5. 4	機械システム製造へのアプローチ	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 マイクロマニピュレーションシステム		
6. 1	緒言	459
6. 1. 1	研究の背景	459
6. 1. 2	研究の現状	460
6. 1. 3	研究の目的	464
6. 2	微細作業システムの要求機能	467
6. 2. 1	微細作業の特徴	467
6. 2. 2	微細作業システムの要求機能	468
6. 3	微細作業システムの基本構成	471
6. 3. 1	マニピュレータ	472
6. 3. 2	作業台	475
6. 3. 3	顕微鏡	477
6. 4	マイクロハンドリングシステム	477
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	マイクロエアタービンの組立	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立	495
6. 5. 4	作業システムの評価・考察	498
6. 6	結言	500

第7章	アクチュエータ・機構システム	503
7.1	緒言	503
7.2	アクチュエータの駆動原理	503
7.3	半導体マイクロマシーニング	504
7.4	各種マイクロアクチュエータとその応用例	509
7.4.1	静電アクチュエータ	509
7.4.2	電磁アクチュエータ	520
7.4.3	圧電アクチュエータ	521
7.4.4	熱バイモルフアクチュエータ	523
7.4.5	形状記憶合金アクチュエータ	526
7.4.6	熱膨張アクチュエータ	526
7.5	静電アクチュエータの構造設計の検討	531
7.5.1	くし歯形アクチュエータ	531
7.5.2	くし歯形アクチュエータの支持構造	531
7.5.3	アクチュエータの試作およびその特性	532
7.5.4	まとめ	537
7.6	圧電アクチュエータの構造設計の検討	539
7.6.1	はじめに	539
7.6.2	駆動機構に関する検討	540
7.6.3	まとめ	549
7.7	論文抄訳	549
7.8	結言	611
第8章	形状記憶合金アクチュエータシステム	615
8.1	緒言	615
8.2	形状記憶合金アクチュエータの原理	616
8.2.1	形状記憶合金の伸縮特性	616
8.2.2	形状記憶合金アクチュエータの設計原理	617
8.3	形状記憶合金細線アクチュエータ	621
8.3.1	形状記憶合金(TiNi)細線の力学特性 z	623
8.3.2	TiNi細線リニアアクチュエータの位置制御系の構成	626
8.3.3	TiNi細線リニアアクチュエータの位置制御系の数学モデル	628

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	形状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	形状記憶合金薄膜アクチュエータ	679
8. 5. 1	はじめに	679
8. 5. 2	形状記憶合金(TiNi)成膜法	679
8. 5. 3	形状記憶合金薄膜の熱処理と力学特性	682
8. 5. 4	形状記憶合金薄膜の制御	693
8. 5. 5	可逆形状記憶合金薄膜の熱処理と変形特性	697
8. 5. 6	可逆形状記憶合金薄膜の制御	701
8. 5. 7	応用例	703
8. 6	形状記憶合金アクチュエータの評価	709
8. 7	結 言	711