

平成9年度

マイクロマシンの基礎技術の研究

〔 本 編 〕

平成10年3月

財団法人 マイクロマシンセンター



平成9年度 マイクロマシンの基礎技術の研究

〔本編〕

発行 財団法人マイクロマシンセンター

東京都千代田区神田司町2-2

新倉ビル5階

電話：03（5294）7131

# 本 編 目 次

## [概要編目次紹介]

第 1 章 調査研究の目的 .....	G 1
第 2 章 調査研究の実施方法 .....	G 2
第 3 章 調査研究成果の概要 .....	G 6
3. 1 マイクロマシン材料および部品の特性評価法に関する調査研究 .....	G 6
3. 2 生物のエネルギー利用法に関する調査研究 .....	G 8
3. 3 生物における群制御と信号伝達に関する調査研究 .....	G10
3. 4 微粒子組立による 3 次元マイクロ構造物製作手法に 関する調査研究 .....	G12
3. 5 高分子インテリジェント材料のマイクロマシンへの適用に 関する調査研究 .....	G15
3. 6 化学分析／センサー技術 ( $\mu$ -TAS) に関する調査研究 .....	G17
3. 7 マイクロマシンと光の融合技術に関する調査研究 .....	G20
3. 8 分子機械のマイクロマシンとしての利用性に関する調査研究 .....	G22

## [本 編]

はじめに

### 調査研究の実施方法

第 1 章 マイクロマシン材料および部品の特性評価法に関する調査研究 .....	1
1. 1 緒 言 .....	3
1. 2 マイクロ部品の形状・寸法計測手法に関する調査 .....	5
1. 2. 1 はじめに .....	5
1. 2. 2 マイクロ部品の寸法・形状計測の問題点 1) .....	5
1. 2. 3 マイクロ部品の形状測定装置用探針の製作 .....	7
1. 2. 4 おわりに .....	15
1. 3 各種マイクロマシン用材料の特性評価法に関する研究 .....	18
1. 3. 1 マイクロ塑性成形加工特性の評価法と変形特性 .....	18
1. 3. 2 超塑性マイクロ成形加工特性の評価法 .....	21
1. 3. 3 超塑性材料の微細成形特性評価法の提案 .....	23
1. 3. 4 おわりに .....	31



1. 4	マイクロ可動部品の設計手法とその評価法に関する調査	34
1. 4. 1	はじめに	34
1. 4. 2	マイクロ可動部品（アクティブヒンジ）の提案	38
1. 4. 3	アクティブヒンジのたわみ角解析	40
1. 4. 4	アクティブヒンジの製作および実験	44
1. 4. 5	実験結果および検討	45
1. 4. 6	おわりに	46
1. 5	リソグラフィー技術によるマイクロセンサの製作と評価法に関する調査	48
1. 5. 1	はじめに	48
1. 5. 2	熱を利用した情報の検出	48
1. 5. 3	主な熱式センサの動作と構造	48
1. 5. 4	熱式センサの性能評価	52
1. 5. 5	熱式センサ（ボロメータ、サーモパイル）の実際	54
1. 6	マイクロ3次元測定機用のナノプローブに関する調査	68
1. 6. 1	はじめに	68
1. 6. 2	レーザトラッピングの基本原理	69
1. 6. 3	光放射圧シミュレーション	71
1. 6. 4	位置検出プローブの基本原理	73
1. 6. 5	位置検出プローブの基礎実験	75
1. 6. 6	おわりに	84
1. 7	結 言	86
第2章 生物のエネルギー利用法に関する調査研究		
2. 1	緒 言	91
2. 2	昆虫内の酸素輸送	93
2. 2. 1	はじめに	93
2. 2. 2	気管系の構造	93
2. 2. 3	一般的なガス輸送メカニズム（拡散輸送）	98
2. 2. 4	特殊な呼吸メカニズム	100
2. 2. 5	筋組織内の酸素分圧の計測	104
2. 3	生体における外界からのエネルギー獲得	111
2. 3. 1	はじめに	111

2. 3. 2	光合成による光エネルギー獲得機構	111
2. 3. 3	バクテリアの鞭毛モータにおけるエネルギー獲得機構	113
2. 3. 4	生体エネルギー獲得機構のマイクロマシンへの応用	118
2. 4	生物とマイクロマシンのエネルギー変換	120
2. 4. 1	生物のエネルギー消費	120
2. 4. 2	マイクロマシンのエネルギー消費	124
2. 4. 3	まとめ	127
2. 5	生物の運動機構とエネルギー利用	129
2. 5. 1	はじめに	129
2. 5. 2	生物の運動機構	129
2. 5. 3	まとめ	136
2. 6	結 言	138
第3章	生物における群制御と信号伝達に関する調査研究	139
3. 1	緒 言	141
3. 2	昆虫の感覚器とコミュニケーション	143
3. 2. 1	昆虫の五感	143
3. 2. 2	昆虫の感覚器と中枢情報処理の特性	143
3. 2. 3	昆虫の感覚器官	147
3. 3	昆虫の音響信号の多様性について	160
3. 3. 1	昆虫の空圏の情報通信の特徴	161
3. 3. 2	昆虫の交信信号の特徴	163
3. 3. 3	発音する昆虫の生理的特徴	166
3. 3. 4	昆虫の振動信号の作出方法	167
3. 3. 5	音の環境と微気象	170
3. 3. 6	音響信号の通信チャンネルにおける障害の克服	172
3. 3. 7	信号の複雑性の適応的過程	174
3. 4	昆虫の社会構造維持のための情報伝達の諸相	176
3. 4. 1	多様な伝達様式とその分類	176
3. 4. 2	情報の調節	183
3. 4. 3	情報の保存 —学習と記憶—	185
3. 4. 4	単純な原理によるシステム全体の制御	185

3. 5	社会性昆虫における分業構造・血縁, 巣仲間, 異物の識別および 情報化学物質によるコロニー(群)の制御機構	189
3. 5. 1	巣仲間・血縁識別の仕組みと, 「仲間識別関与」 情報化学物質による群の制御	190
3. 5. 2	異物に対する特異的な行動と, 「異物識別関与」 情報化学物質による群の制御ー異	196
3. 5. 3	働き蜂の分業および仕事の転換ー幼若ホルモン(JH)による 個体の制御から群の制御へ	197
3. 5. 4	情報化学物質による群内・個体間に認められる社会性秩序の 制御機構	200
3. 6	昆虫とマイクロマシン	207
3. 6. 1	昆虫が示唆するマイクロマシンの群制御	207
3. 7	動物個体群に見られる群れ形成について議論 ～その工学的応用への展望～	212
3. 7. 1	記述的な群れ形成理論	214
3. 7. 2	top-down指向の群れ形成理論	216
3. 7. 3	Collectionism的解釈	221
3. 7. 4	Collectionism的解釈の限界	225
3. 7. 5	ロボティクスへの応用に向けて	231
3. 8	生物に学ぶロボットの群制御	235
3. 8. 1	複数のロボットによる協調作業	235
3. 8. 2	生物型自律システム	240
3. 8. 3	生物型自律システム	242
3. 8. 4	画像処理への昆虫の群制御の応用	243
3. 8. 5	カオスの応用	244
3. 9	結 言	247
第4章	微粒子組立による3次元マイクロ構造物製作手法に 関する調査研究	251
4. 1	緒 言	251
4. 2	微粒子組立技術とその問題点	252
4. 2. 1	微粒子による構造物製作手法	252

4. 2. 2	微粒子組立技術の現状	256
4. 2. 3	微粒子組立技術の問題点	262
4. 3	微粒子に作用する付着力の理論	265
4. 3. 1	微小寸法領域における力	265
4. 3. 2	微粒子に作用する付着力	265
4. 3. 3	付着力理論の実際の現象への適用	271
4. 3. 4	付着力理論の問題点	274
4. 3. 5	実環境下付着力測定の必要性	280
4. 4	付着力測定システムの構築	282
4. 4. 1	付着力測定システムの要求機能	282
4. 4. 2	付着力測定システムの構成	284
4. 4. 3	キャリブレーションの方法	292
4. 4. 4	付着力測定システムの特性	298
4. 4. 5	静電力測定によるシステムの性能評価	302
4. 5	微粒子に作用する付着力の測定	307
4. 5. 1	電子顕微鏡下の金属微小球に作用する付着力	307
4. 5. 2	電子顕微鏡下の高分子微小球に作用する付着力	316
4. 5. 3	微粒子に作用する付着力のまとめ	332
4. 6	結 言	333
第5章	高分子インテリジェント材料のマイクロマシンへの適用に 関する調査研究	335
5. 1	緒 言	337
5. 2	超分子系のマイクロマシンへの適用可能性	340
5. 2. 1	超分子構造を有する高分子の設計コンセプト	340
5. 2. 2	分子ピストン機能を有するロタキサン、ポリロタキサン	342
5. 2. 3	生体内分解機能を有するポリロタキサン	346
5. 2. 4	IPN構造からなる生体内分解性ヒドロゲルの設計と そのインテリジェント機能	353
5. 3	高分子アクチュエータ材料のマイクロマシンへの適用可能性	360
5. 3. 1	高分子アクチュエータ材料	360
5. 3. 2	導電性高分子の酸化還元で作動するアクチュエータ	361



5. 3. 3	気体分子の吸脱着で作動するアクチュエータ	366
5. 3. 4	空気中で電場駆動するフィルムアクチュエータ	370
5. 3. 5	高分子圧電アクチュエータ	371
5. 3. 6	高分子静電アクチュエータ	373
5. 4	高分子ソフト材料のマイクロマシンへの適用性	378
5. 4. 1	機能性高分子ソフト材料（高分子ゲル）の生体模倣材料への展開	378
5. 4. 2	酵素包括高分子ゲルを用いたエネルギー変換系の構築	379
5. 4. 3	ゲルの膨潤・収縮速度制御	382
5. 4. 4	化学反応により自律振動する高分子ゲルの設計と構築	386
5. 5	高分子インテリジェント材料の2次元加工化	396
5. 5. 1	2次元加工化の手法	396
5. 5. 2	交互吸着法による2次元組織化膜の作製と機能	397
5. 5. 3	球状高分子シュガーボールの機能とその2次元組織化	398
5. 5. 4	ポリロタキサンの生化学的機能と2次元加工化	401
5. 6	高分子インテリジェント材料の3次元加工化	411
5. 6. 1	高分子の3次元加工化の現状	411
5. 6. 2	親水性高分子鎖の高分子微粒子上への3次元加工化	411
5. 6. 3	高分子微粒子の3次元加工化	417
5. 7	結 言	427
第6章	化学分析／センサー技術（ $\mu$ -TAS）に関する調査研究	429
6. 1	緒 言	431
6. 2	マイクロ化学分析システム（ $\mu$ TAS）の分類	434
6. 2. 1	モノリシックタイプ $\mu$ TAS	434
6. 2. 2	ハイブリッドタイプ $\mu$ TAS	436
6. 3	Microfluidicsとその応用デバイス	441
6. 3. 1	Microfluidics	441
6. 3. 2	Microfluidics応用デバイス	442
6. 4	マイクロ流体制御素子（Micro Flow Control Devices）	446
6. 4. 1	機械式マイクロ流体制御素子	446
6. 4. 2	非機械式マイクロ流体制御素子	453
6. 5	$\mu$ TASの製作技術	460



6. 5. 1	はじめに .....	460
6. 5. 2	無機材料を流路壁に用いたマイクロチャネル形成法 .....	461
6. 5. 3	有機材料を流路壁に用いたマイクロチャネル形成法 .....	470
6. 5. 4	メタル材料を流路壁に用いたマイクロチャネル形成法 .....	475
6. 5. 5	おわりに .....	478
6. 6	$\mu$ TASの応用 .....	481
6. 6. 1	環境分析システムへの応用 .....	481
6. 6. 2	キャピラリー電気泳動分析 .....	481
6. 6. 3	ゲノム分析、DNAチップ .....	499
6. 6. 4	生物学への応用 .....	510
6. 7	結 言 .....	525
第7章	マイクロマシンと光の融合技術に関する調査研究 .....	527
7. 1	緒 言 .....	529
7. 2	光MEMSの最近の開発例 .....	533
7. 2. 1	MEMSファブリ・ペロー干渉計の応用 .....	533
7. 2. 2	マイクロ光スイッチ .....	547
7. 2. 3	光スキャナとチョッパー .....	565
7. 2. 4	ポリシリコンの3次元構造を用いた光学素子 .....	574
7. 2. 5	マイクロレンズと可変焦点ミラー .....	577
7. 2. 6	LIGAプロセスで製作した光学的要素 .....	581
7. 2. 7	ディスプレイ .....	583
7. 2. 8	マイクロ光ディスク .....	587
7. 2. 9	走査型近接場光学顕微鏡 (NSOM) .....	588
7. 2. 10	光学式マイクロエンコーダー、および光学式変位センサー .....	589
7. 2. 11	MEMS構造を持った集積化導波路センサー .....	591
7. 3	最近の国際会議にみる光マイクロマシンの動向 .....	611
7. 3. 1	マイクロマシンの光技術への応用国際会議 .....	611
7. 3. 2	IEEE MEMS 98 国際ワークショップ .....	616
7. 3. 3	1997年固体センサ&アクチュエータ国際会議, シカゴ (Transducers 97) .....	626
7. 4	まとめ .....	631

第 8 章	分子機械のマイクロマシンとしての利用性に関する調査研究	633
8. 1	緒 言	635
8. 2	細胞レベルでの分子機械性のサーベイ	636
8. 2. 1	機械的応力に応答する細胞	637
8. 2. 2	細胞工学的マニピュレーション	645
8. 2. 3	生体細胞成分の再構築	658
8. 2. 4	生体組織の人工構築	668
8. 3	蛋白レベルでの分子機械性のサーベイ	676
8. 3. 1	蛋白質レベルの観察手法	676
8. 3. 2	蛋白質分子運動のメカニズム	683
8. 3. 3	脂質薄膜の構造と動力学	687
8. 4	遺伝子レベルでの分子機械性のサーベイ	693
8. 4. 1	遺伝子 DNA の転写	696
8. 4. 2	DNA による機能の実現	698
8. 4. 3	遺伝子の利用法 — 治療への応用 — その 1	705
8. 4. 4	遺伝子の利用法 — 治療への応用 — その 2	708
8. 5	結 言	719