

精密制御用
ニューアクチュエータ
便覧

目次

発刊にあたって

執筆者一覧

第 I 編 基礎編

第 1 章 精密制御用ニューアクチュエータ

第 1 節 序 論	〈内野 研二〉	5	
1. メカトロニクスの流れとニューアク チュエータ	5	4. ニューアクチュエータ概論	9
2. 従来の微小変位の制御方法	7	4. 1 固体変位素子御三家	10
2. 1 油圧式変位縮小機構	7	4. 2 圧電複合ダンパ	11
2. 2 モータと変位縮小機構	7	4. 3 光歪アクチュエータ	12
2. 3 ボイスコイルによる駆動	8	4. 4 超音波モータ	14
3. スマート・アクチュエータの思想	8	4. 5 電気粘性 (ER) 流体	15
5. ニューアクチュエータの市場	15		
第 2 節 リニア電磁アクチュエータ	〈荻田 充二〉	18	
まえがき	18	1. 5 リニア電磁アクチュエータの性 能分析	25
1. リニア電磁アクチュエータの概要	18	2. リニア電磁アクチュエータの高性能化	26
1. 1 リニア電磁アクチュエータの 歴史的背景	18	2. 1 リニア電磁アクチュエータのサ ーボ制御	26
1. 2 リニア電磁アクチュエータの分類	19	2. 2 設計・製造手法による高性能化	29
1. 3 リニア電磁アクチュエータの 原理と特長	19	2. 3 新しい磁気回路による高推力化	31
1. 4 リニア電磁アクチュエータへの 期待	24	3. これからのリニア電磁アクチュエータ	32
		あとがき	32
第 3 節 油圧アクチュエータ	〈横田 眞一〉	34	
1. 総 論	34	2. 2 ベーンモータ	37
2. 油圧アクチュエータ	35	2. 3 ピストンモータ	37
2. 1 歯車モータ	36	2. 4 揺動モータ	38

3. 油圧シリンダ	38	5. 油圧サーボモータ	41
4. デジタルアクチュエータ	40	6. その他	41
第4節 空気圧アクチュエータ			〈長岐忠則〉 43
1. 空気圧アクチュエータの基礎	43	2.3 精密速度制御	53
1.1 概説	43	2.4 精密ガイド動作	54
1.2 空気圧シリンダ	43	3. 精密制御用揺動アクチュエータ	56
1.3 空気圧揺動アクチュエータ	46	3.1 概説	56
2. 機密制御用シリンダ	47	3.2 位置制御	57
2.1 概説	47	4. 精密制御用複合アクチュエータ	58
2.2 精密位置制御	47		
第5節 セラミックアクチュエータ			〈高橋貞行〉 60
まえがき	60	2.1 同時焼結型積層素子構造	63
1. 動作原理	60	2.2 積層素子の製造方法	65
1.1 歪の発生機構	60	2.3 圧電セラミック材料	67
1.2 圧電アクチュエータの種類と特長	61	2.4 積層素子の基本的特性	68
2. 積層素子	63	あとがき	70
第6節 ニオブ酸リチウム圧電アクチュエータ			〈中村僖良〉 71
まえがき	71	4.2 アクチュエータ特性	75
1. LiNbO_3 単結晶の特質	71	5. 分極反転層を用いた回転変位アクチュエータ	75
2. 圧電定数の結晶方位依存性	72	5.1 すべり効果圧電定数と最適切断方位	75
3. 縦変位型積層構造アクチュエータ	73	5.2 アクチュエータの製作と光ビーム偏向特性	77
4. 分極反転層を利用した屈曲変位型アクチュエータ	74		
4.1 自発分極反転層	74		
第7節 高分子圧電アクチュエータ			〈瀬尾 巖/鄒 徳春〉 80
まえがき	80	2.3 圧電性 P(VDCN/VAc) を用いたバイモルフ素子の特性	85
1. アクチュエータ材料としての高分子圧電材料	80	3. 高分子圧電アクチュエータ素子の応用	85
2. 高分子圧電アクチュエータの特性	80	3.1 光制御素子	85
2.1 複合系圧電材料を用いたバイモルフ素子の特性	82	3.2 空気流発生とファンへの応用	87
2.2 圧電性 PVDF フィルムを用いたバイモルフ素子の特性	84	3.3 粉体, 液体輸送機構	87
		3.4 その他	88
		あとがき	89
第8節 超磁歪アクチュエータ			〈江田 弘〉 90
まえがき	90	4. 超磁歪アクチュエータの磁界設計	104
1. $\text{Tb}_x\text{Dy}_{1-x}\text{Fe}_2$ 超磁歪合金開発の経緯	90	4.1 理論	104
2. 常温超磁歪材料の諸特性	93	4.2 超磁歪磁気回路の計算と設計	104
3. アクチュエータへの応用	95		

第9節 磁性流体アクチュエータ	〈神山新一〉	112
まえがき		112
1. 磁性流体の特性		112
1.1 磁性流体の種類と磁化特性		112
1.2 磁性流体のレオロジー特性		113
2. 磁性流体アクチュエータの作動原理 と基本特性		114
2.1 磁場中で磁性流体に作用する力		114
2.2 アクチュエータの作動原理		114
2.3 アクチュエータの基本特性		115
3. 磁性流体アクチュエータの構造例		118
3.1 磁性流体を補助的に用いる例		118
3.2 界面変形を利用するアクチュエ ータ		119
3.3 磁性流体プラグの運動を利用す るアクチュエータ		119
3.4 その他の応用例		119
第10節 水素貯蔵合金アクチュエータ	〈高森 年〉	121
まえがき		121
1. MHの特性とその材料		122
2. アクチュエータの構成とモデル		123
2.1 原理的構成		123
2.2 試作アクチュエータの構成		123
2.3 アクチュエータのモデルと同定		124
3. ペルチェ素子の非線形特性補償		127
4. アクチュエータの駆動特性		128
4.1 位置制御特性		128
4.2 力制御特性		128
5. 水素貯蔵合金アクチュエータの応用例		129
5.1 介助用リフトへの応用		129
5.2 昇降洗面化粧台への応用		131
5.3 マイクロメカニズムへの応用		132
あとがき		132
第11節 形状記憶合金サーボアクチュエータ	〈生田幸士〉	133
まえがき		133
1. 形状記憶効果		133
1.1 熱弾性型マルテンサイト変態		133
1.2 形状記憶効果(SME)の発現原理		134
2. SMAアクチュエータの基本特性		134
3. 材料学的研究の進展		134
3.1 サーボアクチュエータ用SMA の探求		134
3.2 SMAの数学モデルと専用イン テリジェントCADの構築		135
3.3 新しいSMAの開発		136
3.4 マイクロアクチュエータ用 SMA薄膜の研究		136
4. アクチュエータの機構設計		136
4.1 アクチュエータの構成法		136
4.2 応答速度の厳密解析		136
4.3 最大発生トルクの平滑化機構の 開発		136
5. SMAの物性に着目した制御・ センシング手法		136
5.1 電気抵抗値フィードバックを用 いた温度外乱補償とヒステリシ ス低減法		136
5.2 SMAの直接的剛性制御法		139
5.3 抵抗値と位置情報からの力セン シング法		139
6. ミニチュア・マイクロロボットへの 応用		139
7. 研究開発の展望と指針		141
第12節 形状記憶セラミックアクチュエータ	〈内野研二〉	143
まえがき		143
1. 反強誘電体の電歪効果		143
2. 反強誘電体における電界誘起歪		144
3. 電界誘起歪の荷重下特性		147
4. 反強誘電体の応用の方向		147
4.1 キープリレー		147
4.2 機械的クランプ		148
5. 結 論		148
第13節 光アクチュエータ	〈高森 年/堂田周治郎〉	150
まえがき		150
1. 光アクチュエータの種類		150

2. 熱膨張型光アクチュエータ	151	4. 光歪効果型アクチュエータ	156
2.1 光-熱-力変換型	151	5. 光熱モータ	157
2.2 光-熱-流体圧力変換型	151	6. 光駆動型マイクロアクチュエータ	157
3. 化学反応型光アクチュエータ	155	あとがき	158
第14節 光歪アクチュエータ			
まえがき	160	2.4 残留分極依存性	164
1. 測定方法と試料作製	160	2.5 照射光偏光方位依存性	165
2. 基礎特性	162	3. 光歪アクチュエータ	165
2.1 作製法に対する依存性	162	3.1 光駆動リレー	166
2.2 添加物効果	163	3.2 微小歩行機構	167
2.3 粒径依存性	163	あとがき	167
第15節 レーザマニピュレーション			
まえがき	169	配列・輸送	173
1. レーザマニピュレーション	169	2.2 レーザ走査型マニピュレーション	174
1.1 微粒子に働く放射圧	169	3. レーザマニピュレーションによる単	
1.2 単一微粒子のレーザマニピュレーション	170	一微粒子の分光計測と加工	176
2. 新しいレーザマニピュレーション法の開発	172	4. マルチビームレーザ走査型マニピュレーション法を用いた微小構造物の組立て・駆動	178
2.1 レーザ光の干渉による微粒子の		あとがき	180
第16節 静電アクチュエータ			
まえがき	182	4.1 回転型アクチュエータ	185
1. 片側電極静電アクチュエータの動作原理	182	4.2 紙送り機構	185
2. 試作例	183	4.3 絶縁体フィルムの搬送	186
3. 静電人工筋肉	183	4.4 透明アクチュエータ	186
4. 他の静電アクチュエータの形態と応用分野	185	4.5 平面2自由度静電アクチュエータ	186
		あとがき	187
第17節 フレキシブルマイクロアクチュエータ			
まえがき	188	3.1 理論特性	193
1. 製造, 動作原理	188	3.2 実測データ	194
1.1 アーム型 FMA	188	4. ロボットへの応用	194
1.2 ハンド型 FMA	189	4.1 ロボットアーム	195
1.3 制御方法	190	4.2 ロボットハンドへの応用	195
1.4 駆動回路	191	4.3 歩行ロボット	195
2. $\alpha = 0$ アーム型 FMA の静特性	191	4.4 管内移動点検ロボット	196
2.1 理論特性	191	4.5 複数 FMA の協調作業	197
2.2 実測データ	192	あとがき	197
3. $\alpha = 0$ アーム型 FMA の動特性	193		

第18節 ER 流体アクチュエータ	〈森下 信〉	199
まえがき	応用	203
1. ER 流体の歴史	4. 2 スクイズフィルムダンパへの	
2. ER 流体に関する研究の現状	応用	205
3. ER 流体の特性	4. 3 可変減衰形動吸振器への応用	206
3. 1 電場の強さ, せん断速度の影響	4. 4 エンジンマウントへの応用	207
3. 2 粒子の含有率の影響	4. 5 バルブへの応用	210
3. 3 温度の影響	4. 6 パイプサポートへの応用	210
3. 4 交流電場の周波数影響	4. 7 クラッチへの応用	211
4. ER 流体を用いたアクチュエータ	4. 8 可変剛性・減衰板構造への応用	212
4. 1 車両用ショックアブソーバへの	あとがき	213
第19節 高分子電解質膜アクチュエータ	〈小黒啓介〉	215
まえがき	4. マイクロ化	218
1. 高分子電解質-金属接合膜の作製	5. 応用	218
2. 高分子電解質-金属接合膜の屈曲現象	6. 特長のまとめ	218
3. 作動メカニズム		
第20節 高分子アクチュエータ	〈鈴木 誠〉	220
まえがき	イバー	221
1. 非電解質高分子ゲル	2. 4 PAMPS と界面活性剤の相互作用	
2. 電解質高分子ゲル	用を利用した電氣的制御	222
2. 1 部分加水分解したアクリルアミ	2. 5 反復凍結による高出力イオン性	
ドゲルの相転移	PVA ゲル	222
2. 2 インターペネトレーション構造	2. 6 電歪類似高速応答性の発現	223
のゲル	3. 生物から学ぶもの	223
2. 3 ポリアクリロニトリルゲルファ	あとがき	224
第21節 べん毛モータ	〈宝谷 紘一〉	225
まえがき	1. 5 フック	229
1. べん毛モータの構造	1. 6 べん毛モータの組み立て	230
1. 1 LP リング	2. べん毛モータの回転特性	230
1. 2 MS リング	3. べん毛モータの回転機構	231
1. 3 MS リングと相互作用する構造	あとがき	232
1. 4 ロッド		
第22節 筋収縮メカニズム	〈石井 由晴〉	235
まえがき	と機能	240
1. 筋肉の構造	1. 7 筋収縮のスイッチ機構	240
1. 1 フィラメント構造	2. 筋肉の力学特性	240
1. 2 フィラメントの滑り運動説	2. 1 力-長さ関係	241
1. 3 筋収縮タンパク質	2. 2 力-速度関係	241
1. 4 ミオシン-アクチン相互作用	2. 3 エネルギー-速度関係	242
1. 5 ミオシン-アクチンの滑り運動	2. 4 Huxley モデル	242
1. 6 アクチン-ミオシン超分子構造	3. 筋肉の化学反応系としての特性	243

3. 1 筋肉中の ATP	243	4. 1 首振り仮説.....	244
3. 2 ミオシンの ATP 加水分解反応.....	243	4. 2 アクチンの滑り運動の観察.....	245
3. 3 アクチンによるミオシンの ATP 加水分解反応の活性化.....	244	4. 3 アクチンフィラメント 1 本から の力測定.....	245
4. 化学-力学変換システム	244		

第2章 ニューアクチュエータ用材料/プロセス

第1節 圧電/電歪効果	〈内野研二〉	249
まえがき.....	249	
1. 圧電/電歪の微視的起源	249	
2. 圧電/電歪の現象論	250	
3. 強誘電的分域回転に伴う歪.....	256	
第2節 ペロブスカイト族圧電セラミックス	〈坂田好一郎〉	261
まえがき.....	261	
1. $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 系およびその派生系材料.....	261	
2. 新材料の探索.....	266	
2. 1 複合ペロブスカイト酸化物.....	266	
2. 2 ペロブスカイト型固溶系の端成 分の組み合わせによる分類.....	267	
3. Bi 複合ペロブスカイト強誘電体を 主体とする圧電セラミックス.....	269	
4. 今後の課題.....	271	
第3節 ホットプレス法による圧電セラミックスの作製	〈永田邦裕〉	273
まえがき.....	273	
1. ホットプレス法.....	273	
1. 1 ホットプレス法の特徴.....	273	
1. 2 ホットプレス装置.....	273	
1. 3 ホットプレスの方法.....	274	
2. 圧電セラミックスのホットプレス.....	275	
3. 微細構造の制御とその影響.....	276	
3. 1 ホットプレス法による微細構造 の制御.....	276	
3. 2 圧電諸定数に及ぼす微細構造の 影響.....	277	
4. 透明圧電セラミックス作製技術.....	279	
4. 1 透明圧電セラミックスのホット プレス.....	280	
4. 2 透明圧電セラミックスの特性.....	281	
4. 3 透明圧電セラミックスの応用.....	283	
5. 粒子配向圧電セラミック作製技術.....	284	
5. 1 ホットプレス法による粒子配向.....	284	
5. 2 1軸粒子配向圧電セラミックス の作製.....	285	
5. 3 1軸配向した圧電セラミックス の特性.....	286	
あとがき.....	286	
第4節 ペロブスカイト系固溶体の組成制御	〈掛川一幸〉	289
1. 組成変動とは.....	289	
2. 組成変動定量法.....	290	
2. 1 一般論.....	290	
2. 2 2成分系.....	291	
2. 3 3成分系.....	293	
2. 4 4成分系.....	294	
2. 5 5成分以上の系.....	294	
2. 6 種々の物性を用いた組成変動の 定量.....	295	
3. 組成変動抑制法.....	295	
3. 1 湿式法とその問題点.....	295	
3. 2 湿式乾式組み合わせ法.....	296	
3. 3 湿式乾式組み合わせ法の拡張.....	299	
4. 組成変動と物性.....	302	
あとがき.....	303	

第5節 変成ジルコニアを用いた新乾式法によるPZTの作製 …………… 〈三輪直人〉 …… 305	
1. ジルコニアを含む強誘電体の作製について…………… 305	3. 1 PZT …………… 307
2. 新乾式法の応用…………… 306	3. 2 3成分系PZT …………… 311
2. 1 PZTへの応用 …………… 306	3. 3 新乾式法の特長…………… 312
2. 2 3成分系PZTへの応用 …………… 307	3. 4 3成分系PZTのアクチュエータ素子への応用…………… 313
2. 3 評価…………… 307	4. 結論…………… 316
3. 結果および考察…………… 307	
第6節 ビスマス層状構造圧電セラミックス …………… 〈竹中正〉 …… 317	
まえがき…………… 317	2. 3 D-Eヒステリシス・ループと残留分極…………… 324
1. ビスマス層状構造強誘電体と粒子配向型圧電セラミックス…………… 317	2. 4 電気抵抗率…………… 327
1. 1 ビスマス層状構造強誘電体(BLSF)…………… 317	2. 5 圧電特性…………… 328
1. 2 セラミックスの粒子配向技術…………… 320	3. 粒子配向型ビスマス層状構造圧電セラミックスの応用…………… 331
1. 3 ホット・フォーミング(HF)法 …… 320	3. 1 電気機械結合係数 k の異方性の利用…………… 331
2. ビスマス層状構造圧電セラミックスの粒子配向特性と電氣的異方性…………… 321	3. 2 波動デバイス用圧電基板…………… 332
2. 1 粒子配向特性…………… 321	あとがき…………… 334
2. 2 誘電特性…………… 322	
第7節 圧電セラミックスのハイパワー特性の評価法 …………… 〈広瀬精二〉 …… 336	
まえがき…………… 336	ての結果…………… 341
1. 測定原理…………… 336	4. 改良された等価回路と誘電体損失…………… 342
1. 1 等価回路ならびにモーショナル電流検出のための差動回路…………… 336	4. 1 機械的損失と誘電体損失を分離した等価回路…………… 342
1. 2 測定項目と測定方法…………… 337	4. 2 モーショナル電圧検出法…………… 342
2. 自動測定装置の回路構成…………… 338	4. 3 B型共振における諸定数の測定方法…………… 343
3. 測定結果の例…………… 339	4. 4 諸定数の測定結果の例と誘電体損失…………… 344
3. 1 Q の高いハード系の材料についての結果…………… 339	
3. 2 Q の低いソフト系の材料について	
第8節 圧電単結晶材料 …………… 〈安達正利〉 …… 347	
まえがき…………… 347	2. 圧電単結晶の特性…………… 349
1. 圧電単結晶の製造法…………… 347	2. 1 LNおよびLT単結晶…………… 349
1. 1 チョクラルスキー法による育成…………… 347	2. 2 LBO結晶…………… 352
1. 2 水熱合成法…………… 348	2. 3 α -水晶…………… 355
第9節 圧電薄膜材料 …………… 〈奥山雅則〉 …… 358	
まえがき…………… 358	1. 3 クラスタリーオンビーム…………… 358
1. ZnO膜…………… 358	1. 4 CVD…………… 359
1. 1 スパッタリング…………… 358	2. PZT膜…………… 359
1. 2 反応性イオンプレーティング…………… 358	2. 1 スパッタリング…………… 359

2. 2	レーザアブレーション	360	4. 4	ゾルゲル法	364	
2. 3	MOCVD	361	4. 5	その他の方法	364	
2. 4	ゾルゲル法	362	5.	AIN 膜	365	
2. 5	その他の方法	362	5. 1	スパッタリング	365	
3.	PLZT 膜	362	5. 2	CVD	365	
3. 1	スパッタリング	362	5. 3	反応性蒸着	365	
3. 2	MOCVD	362	5. 4	イオンビームスパッタリング	365	
3. 3	ゾルゲル法	363	6.	PVDF 系有機高分子膜	365	
3. 4	その他の方法	363	6. 1	PVDF 延伸フィルム	365	
4.	PbTiO ₃ 膜	363	6. 2	P(VDF-TRFE), PVDF 膜	366	
4. 1	スパッタリング	363	6. 3	その他	366	
4. 2	レーザアブレーション	363	あとがき		367	
4. 3	MOCVD	364				
第10節 圧電高分子材料					〈八木 俊治〉	369
まえがき						369
1.	圧電高分子の種類	369	3.	測定方法	375	
1. 1	強誘電性高分子	370	4.	特性	375	
1. 2	極性高分子	370	4. 1	PVDF	375	
1. 3	光学活性高分子	371	4. 2	VDF/TrFE 共重合体	376	
2.	圧電フィルムの製造プロセス	371	4. 3	VDCN/VAc 共重合体	376	
2. 1	フィルム加工と延伸	371	5.	特徴	378	
2. 2	電極蒸着	373	5. 1	物性面の特徴	378	
2. 3	分極処理 (ポーリング)	373	5. 2	加工面の特徴	378	
			6.	圧電性の向上	379	
第11節 複合圧電材料					〈坂野 久夫〉	383
まえがき						383
1.	複合材料の理論	383	2. 3	ハイドロホン用材料としての評価	393	
1. 1	複合材料の各種モデル	383	3.	0-3形複合圧電材料 (ピエゾゴム)		
1. 2	0-3形複合材料の理論	385		の応用	395	
1. 3	3-0形複合材料の理論	386	3. 1	ハイドロホン (水中マイクロホン)	395	
1. 4	0-3/0-0形複合材料の理論	391	3. 2	超音波音場センサ	397	
2.	各種複合圧電材料の特性	392	3. 3	水中送受波器	397	
2. 1	圧電セラミックスと複合圧電材料	392	3. 4	楽器用ピックアップ	397	
2. 2	3-3形, 1-3形と0-3形複合圧電材料	392	あとがき		399	
第12節 傾斜機能材料					〈河合 高志〉	401
まえがき						401
1.	傾斜機能材料の応用分野	401	2. 5	焼結を利用する方法	403	
2.	傾斜機能材料の作製方法	402	2. 6	充填法	404	
2. 1	物理蒸着を利用する方法	403	2. 7	重合法	404	
2. 2	CVD を利用する方法	403	3.	傾斜機能圧電アクチュエータ	404	
2. 3	プラズマ溶射による方法	403	3. 1	傾斜機能圧電アクチュエータの動作原理	405	
2. 4	メッキを利用する方法	403	3. 2	アクチュエータの作製方法	406	

4. 傾斜機能圧電材料を用いたマイクロポンプ	409	あとがき	411
第13節 静電マイクロアクチュエータ		〈藤田博之〉	414
まえがき	414	問題点	419
1. 静電マイクロアクチュエータの特長	414	4. 静電アクチュエータの応用	421
2. 各種の静電アクチュエータとモータ	415	4.1 光学への応用	421
2.1 リニアアクチュエータ	415	4.2 走査プローブ顕微鏡への応用	422
2.2 回転モータ	417	4.3 その他の応用	422
3. 各種の静電アクチュエータの利点と		あとがき	423
第14節 超磁歪材料		〈小林忠彦〉	426
まえがき	426	3.1 ラーベス型金属間化合物	431
1. 磁歪の歴史	426	3.2 R(FeT) ₂ 系金属間化合物	434
2. 超磁歪	428	4. 超磁歪材料の結晶制御技術	435
2.1 磁歪現象	428	5. 超磁歪材料の諸特性	437
2.2 希土類金属の磁歪・起源	429	あとがき	438
3. 超磁歪材料	431		
第15節 フェライト磁性流体		〈羽田絃一〉	440
1. フェライト磁性流体の概観	440	3.2 磁性流体の粘性	446
1.1 磁気を帯びた流体	440	3.3 磁性流体の光学的性質	447
1.2 フェライト磁性流体とは	440	3.4 磁性流体の耐久性	447
1.3 フェライト磁性流体の現状	441	4. 磁性流体用超微粒子の磁性	447
2. フェライト磁性流体の製法	442	4.1 粒径の効果としての一般的性質	447
2.1 溶媒	444	4.2 超微粒子化による特異的性質	448
2.2 分散質(フェライト超微粒子)	444	5. フェライト磁性流体の応用と製品化の現状	450
2.3 界面活性剤	445	6. 将来の展望	452
3. フェライト磁性流体の特性とその制御	445		
3.1 磁性流体の磁化値	445		
第16節 形状記憶合金		〈堀川 宏/大塚和弘〉	454
1. 形状記憶合金とは	454	2.2 形状記憶特性	461
1.1 形状記憶合金の種類	455	2.3 超弾性特性	464
1.2 マルテンサイト変態	457	2.4 その他の特性	466
1.3 形状記憶効果のメカニズム	458	3. Ni-Ti 形状記憶合金の製造方法	467
1.4 超弾性のメカニズム	458	3.1 溶解鑄造	468
2. Ni-Ti 形状記憶合金の諸特性	459	3.2 加工・熱処理方法	468
2.1 変態温度とそのコントロール	459	3.3 コイルばねの成形方法	469

第Ⅱ編 応 用 編

第1章 圧電アクチュエータ

第1節 序 論	〈大矢寛二〉	475
まえがき		475
1. バイモルフ型圧電アクチュエータ		477
1.1 構 造		477
1.2 特 性		478
2. 積層型圧電アクチュエータ		480
2.1 動作原理		480
2.2 構造および特性		480
3. 圧電アクチュエータを使用した繰り返し試験装置		482
3.1 開発の背景		482
3.2 圧電積層体を使用した繰り返し疲労試験機の開発		483
3.3 圧電バイモルフ型繰り返し疲労試験機		483
第2節 多軸微細位置決め機構	〈村山 健〉	490
まえがき		490
1. 機構構成法		491
1.1 基本構成		491
1.2 多軸機構の構成例		492
1.3 機構構成上のポイント		493
2. 位置決め方法		494
2.1 単軸の制御方法		494
2.2 多軸の制御方法		494
3. 6軸位置決め結果		495
4. 応用/粗微動併用による位置決め		497
4.1 構 成		497
4.2 制御方法		497
4.3 位置決め結果		498
あとがき		499
第3節 SPMへの応用	〈坂井文樹/徳本洋志〉	501
まえがき		501
1. SPMの概要		501
1.1 SPM開発の経緯		501
1.2 SPMの原理		501
1.3 装置の基本構成および要素技術		502
2. SPM用圧電アクチュエータ		503
2.1 SPMにおける圧電アクチュエータの役割		503
2.2 SPM用圧電アクチュエータに求められる特性		503
2.3 アクチュエータの材質		505
2.4 圧電アクチュエータの形状		505
2.5 特性評価の方法		506
3. 装置の例, 測定例		508
あとがき		510
第4節 ガス流量の精密制御	〈清水哲夫/大笹 宏〉	511
まえがき		511
1. マスフローコントローラ		511
1.1 マスフローコントローラの役割		511
1.2 マスフローコントローラの構成		512
1.3 コントロールバルブに用いられるアクチュエータ		513
1.4 マスフローコントローラの高性能化		513
1.5 圧電アクチュエータ		514
1.6 圧電アクチュエータを用いたバルブの性能		514
1.7 圧電アクチュエータの駆動回路		516
1.8 高性能マスフローコントローラの性能		516

1. 9 マスフローコントローラ用圧電 ・アクチュエータの課題……………	517	2. 3 ピエゾ調圧器の特長……………	518
2. ピエゾ調圧器……………	517	2. 4 ピエゾ調圧器の性能……………	519
2. 1 はじめに……………	517	2. 5 ピエゾ調圧器の用途……………	519
2. 2 ピエゾ調圧器の構成……………	518	あとがき……………	520
第5節 超精密加工への応用 ……………			
まえがき……………	521	〈森山茂夫〉……………	521
1. 超精密加工用途で必要とされるアク チュエータの特性……………	521	応用……………	525
2. 軟X線用非軸対称非球面反射鏡加工 装置への応用……………	522	3. 非球面ガラスレンズ加工装置への応用……………	527
2. 1 軟X線用非軸対称非球面反射鏡 とは……………	522	3. 1 レーザビームプリンタ (LBP) 用非軸対称非球面レンズとは……………	527
2. 2 加工装置の概要……………	522	3. 2 非軸対称非球面レンズの加工原理……………	527
2. 3 動的切り込み量制御への応用……………	523	3. 3 加工装置の構成……………	527
2. 4 工具テーブル直進案内制御への 応用……………	523	3. 4 軸振れ補正制御への応用……………	528
		3. 5 評価結果……………	528
		あとがき……………	529
第6節 ナノメートル制御 ……………			
まえがき……………	531	〈飯塚 清〉……………	531
1. ナノメートル制御システムの構成……………	531	3. 1 ソフトウェア補正法……………	535
2. 圧電素子アクチュエータ微動機構を 有する XY ステージ……………	531	3. 2 チャージコントロール法……………	535
3. 圧電素子駆動方式……………	534	3. 3 コンデンサ挿入法……………	536
		4. AC リニアモータと転がり案内のばね 特性を用いたナノメートル位置決め……………	537
第7節 空気静圧と圧電素子を用いた非接触駆動 ……………			
まえがき……………	540	〈下河辺 明〉……………	540
1. 非接触アクチュエータの基本原則……………	540	4. 非接触アクチュエータの動剛性制御……………	545
1. 1 基本構成……………	540	4. 1 動剛性制御の目的……………	545
1. 2 2自由度制御系……………	541	4. 2 動剛性制御の原理……………	545
2. 非接触アクチュエータの動的モデル と制御系設計……………	542	4. 3 動剛性制御の例……………	547
2. 1 非接触アクチュエータによる位 置決め機構……………	542	5. 回転軸受への応用……………	548
2. 2 非接触アクチュエータの動的モ デル……………	542	5. 1 構造……………	548
2. 3 制御系の設計……………	543	5. 2 AAJB の制御系……………	549
3. 非接触アクチュエータの具体例……………	543	5. 3 試作 AAJB の性能……………	549
3. 1 動的パラメータ……………	543	6. 直線運動機構への応用……………	551
3. 2 外乱特性……………	544	6. 1 直線運動機構の原理……………	551
3. 3 目標値特性……………	545	6. 2 試作した AAS の構造……………	552
		6. 3 制御系……………	553
		6. 4 AAS の性能……………	554
		あとがき……………	556
第8節 デジタル変位制御 ……………			
まえがき……………	557	〈深海龍夫〉……………	557
1. 反強誘電体変位素子……………	557	1. 1 反強誘電体……………	557
		1. 2 スウィング動作……………	558

1. 3	形状記憶動作	558	3. 1	8ビットデジタルアクチュエータ	561	
2.	デジタルアクチュエータの基本構成	559	3. 2	8ビットデジタルアクチュエータの特性	562	
2. 1	デジタルアクチュエータの背景	559	3. 3	ビット数の限界	563	
2. 2	デジタルアクチュエータの構成	559	4.	デジタルアクチュエータの応用	564	
2. 3	デジタルアクチュエータ駆動回路	560	4. 1	応用の展望	564	
2. 4	デジタルアクチュエータの動作特性	561	4. 2	応用に関する課題	564	
3.	デジタルアクチュエータの高ビット化	561	あとがき		568	
第9節 高応答油圧サーボ弁					〈大内 英俊〉	570
まえがき						570
1.	マルチモルフ型電歪素子を利用したサーボ弁	570	速デジタル電気油圧変換器			575
1. 1	使用した電歪材料PMNについて	570	3. 1	ポペット型電気油圧変換器の構成	576	
1. 2	フラップの構造と駆動法	570	3. 2	ポペット変位のフィードフォワード制御	576	
1. 3	電歪フラップの特性	571	3. 3	試作変換器を用いたデジタル入力サーボ弁	577	
1. 4	電歪フラップを用いたサーボ弁の構成	571	4.	積層PZT素子を用いた超高速電気油圧サーボ弁(ソフトウェアによるヒステリシス特性補償)	578	
1. 5	サーボ弁の特性	572	4. 1	積層PZT素子の特性とサーボ弁駆動への応用	578	
2.	積層型電歪素子を用いたサーボ弁	572	4. 2	実時間高速逆ヒステリシス要素(IHE)の試作	578	
2. 1	積層PMN素子と変位拡大機構	572	4. 3	高速サーボ弁の構造	579	
2. 2	積層PMN素子を用いたサーボ弁の構成	574	4. 4	弁の動特性と応答性の改善	579	
2. 3	サーボ弁の特性	574				
3.	積層圧電素子を用いたポペット型高					
第10節 圧電アクチュエータのパルス駆動法					〈日下部千春/富川 義朗〉	583
まえがき						583
1.	残留振動防止と高速動作のパルス駆動法	583	3. パルス駆動による非対称変位の実現とその応用			590
1. 1	簡易等価回路による過渡応答解析	583	3. 1	非対称パルスによる無残留振動応答	591	
1. 2	単一パルスとステップ電圧の組み合わせ	583	3. 2	超音波モータ/リニアモータ	592	
1. 3	2段ステップ電圧駆動法	585	4.	超音波モータにおけるステップ駆動時の発音防止	596	
2.	振動変位の高速停止	585	4. 1	バースト駆動と過渡応答	596	
2. 1	残留振動が少ない停止	587	4. 2	台形波形パルス列駆動と過渡応答	598	
2. 2	多少の残留振動をゆるす停止	588	4. 3	変調波形パルス列駆動と過渡応答	600	
2. 3	超音波モータの応答制御	589				
第11節 圧電素子の急速変形を利用した微動機械					〈樋口 俊郎〉	603
まえがき						603
1.	移動機構の駆動原理	603	3. 2	マイクロロボットアーム	605	
2.	微小送り機構の特性	604	3. 3	走査トンネル顕微鏡の探針移動機構	605	
3.	応用例	605	3. 4	ペンシルサイズ放電加工機	606	
3. 1	超高真空用ステージ	605	あとがき		606	

第12節 細胞操作用マイクロマニピュレータ	〈工藤謙一〉	608
まえがき		608
1. 細胞操作用マイクロマニピュレータ の使用例		609
1.1 顕微授精		609
2. 圧電素子マイクロマニピュレータ		609
2.1 圧電素子に直接微細器具を取り 付け、作業を行うタイプ		609
2.2 尺取虫機構タイプ		609
2.3 圧電素子の急速変形を利用した 微小駆動機構を用いたタイプ		610
3. 顕微授精用圧電素子の急速変形を利 用したマイクロマニピュレータ		610
3.1 駆動原理		610
3.2 マイクロピペット駆動装置		611
4. DNA インジェクション用圧電素子 の急速変形を利用したマイクロマニ ピュレータ		612
4.1 駆動原理		612
4.2 DNA インジェクション用ピペ ット駆動装置		612
5. ステージタイプピペット駆動装置		612
6. 圧電素子の急速変形を利用したマイ クロマニピュレータの特長		613
第13節 インパクト式プリンタ	〈矢野 健〉	615
まえがき		615
1. インパクトプリンタの印字形成条件		615
2. 印字速度高速化のための条件		617
3. 圧電型プリンタヘッドの研究経緯		618
4. 圧電縦効果を用いたプリンタヘッド		621
4.1 NECのプリンタヘッド		621
4.2 ジューキのプリンタヘッド		624
4.3 NECのプリンタヘッド (その2)		625
4.4 富士通のプリンタヘッド		625
あとがき		627
第14節 偏光制御モジュール	〈江村克己〉	629
まえがき		629
1. 偏光制御の基礎		629
2. 偏光制御方法		631
3. 応答速度		632
4. 偏光制御装置		632
4.1 メタルコートファイバ		632
4.2 積層圧電アクチュエータ		634
4.3 偏光制御モジュール		634
4.4 偏光制御装置		634
5. システム適用実験		634
5.1 コヒーレント光通信への適用実験		635
5.2 耐環境性の検討(ヒートサイク ル試験)		635
あとがき		636
第15節 マイクロフォトリックデバイス	〈後藤博史〉	637
まえがき		637
1. マイクロフォトリックデバイス (MPD)		637
1.1 MPDの構成と特長		637
1.2 MFLの構成と作製方法		638
2. MFLパターン作製用電子ビーム描 画装置		639
2.1 装置構成		639
2.2 圧電素子を用いた超精密位置決 めステージ		640
2.3 電子ビーム描画装置性能		642
3. MC-LD光軸アライメント装置		643
3.1 装置構成		643
3.2 位置決めステージ		644
3.3 装置性能		644
4. 圧電素子を用いた超小型光スキャナ		644
4.1 光スキャナ構成		644
4.2 スキャナ動作原理		645
4.3 光スキャナ駆動用圧電アクチュ エータ(ムーニーアクチュエー タ)		646
4.4 光スキャナ性能		647
あとがき		647

第16節 自動車用セミアクティブサスペンション	〈横矢 雄二〉	649
まえがき		649
1. 技術の背景		649
1.1 セミアクティブサスペンション		649
1.2 新セミアクティブサスペンション		650
2. システムの概要		651
2.1 システム概要		651
2.2 路面センサ		651
2.3 圧電アクチュエータ		656
2.4 制御ロジック		659
3. 性能評価例		663
4. 構造の改良		663
あとがき		663
第17節 アクティブ微振動制御	〈藤田 隆史〉	665
まえがき		665
1. 1次元微振動制御を対象とした基礎 実験		665
1.1 実験装置の概要		665
1.2 モデリング		666
1.3 制御系の設計		666
1.4 実験結果		668
2. 6自由度微振動制御装置の開発		669
2.1 装置の概要		669
2.2 モデリング		670
3. 6自由度微振動制御装置の制御系		671
3.1 制御手法の概要		671
3.2 制御系の構成		672
3.3 制御器の設計		672
4. 6自由度微振動制御装置の性能		673
4.1 動特性の同定		673
4.2 除振性能		674
4.3 制振性能		674
4.4 ロバスト性		674
あとがき		675
第18節 圧電複合ダンパ	〈住田 雅夫/大平 康幸〉	677
まえがき		677
1. 制振材料		677
1.1 制振材料の位置づけ		677
1.2 制振の概念		677
1.3 制振材料の機構と特性		680
1.4 制振性能の評価方法		680
2. 圧電ダンパ		683
2.1 圧電ダンパの制振原理		683
2.2 PVDF樹脂圧電複合ダンパの 振動減衰特性		683
2.3 エポキシ樹脂圧電複合ダンパの 振動減衰特性		685
2.4 圧電複合ダンパの特長と課題		687
3. 制振材料の用途展開		689
3.1 制振材料の市場動向		689
3.2 PVC系シート制振材の適用事 例と効果		689
あとがき		692
第19節 航空宇宙用途における微小変位素子 (アクチュエータ) 概論	〈Ben K. Wada (訳: 内野 研二)〉	694
まえがき		694
1. アクチュエータ各論		694
1.1 直線型アクチュエータ (変位量: 小)		694
1.2 埋め込み型アクチュエータ (変位量: 小)		697
1.3 表面型アクチュエータ		698
1.4 巨大歪アクチュエータ		699
2. 可変形鏡, 波長補正への応用		700
2.1 コンポジットアクチュエータ (変位量: 小)		700
2.2 セラミック表面装飾 (アップリ ケ), コールドフィンガー		700
2.3 間節支持鏡 AFM, WFPC-II		701
あとがき		703
第20節 圧電素子を用いた高精度回転微動機構	〈東条 徹〉	705
まえがき		705
1. 回転原理と構造		705
1.1 回転原理		705
1.2 設計と構造		706

2. 回転性能	708	4. 2 高速回転の確認	713
3. 実験装置および実験方法	710	4. 3 クランパクリアランスと回転速度の関係	715
3. 1 制御回路	710	4. 4 クランパクリアランスとトルクの関係	716
3. 2 回転微動機構	710	4. 5 回転移動分解能と位置決め精度	717
3. 3 実験装置	711	あとがき	718
4. 計算および実験結果	712		
4. 1 要素実験と回転原理の確認	712		
第21節 積層素子を用いた VTR オートトラッキングデバイス	〈林 正人〉		720
まえがき	720	2. 4 信頼性	723
1. 磁気ヘッドアクチュエータの説明	720	3. 特殊再生時の磁気ヘッド走査軌跡	723
1. 1 積層型圧電アクチュエータ素子	720	3. 1 家庭用 VTR の記録方法	723
1. 2 変位拡大機構	722	3. 2 特殊再生時の磁気ヘッド走査軌跡	724
2. 磁気ヘッドアクチュエータの諸特性	722	4. 磁気ヘッドアクチュエータの駆動方法	725
2. 1 電圧-変位特性	722	5. VTR への実装結果	727
2. 2 共振特性	723	あとがき	728
2. 3 温度特性	723		
第22節 リングバイモルフによる VTR オートトラッキングデバイス	〈川崎 修〉		730
まえがき	730	3. 1 回転シリンダの構造	732
1. ノイズレス可変速再生システム	730	3. 2 アクチュエータの構造	733
2. パターン発生部と自動トラッキング部	731	3. 3 圧電セラミック材料	734
2. 1 パターン発生部	731	3. 4 特性例	735
2. 2 自動トラッキング部	732	あとがき	737
3. 圧電ヘッドアクチュエータ	732		
第23節 平行ばね型バイモルフによる VTR オートトラッキングデバイス	〈北村友三郎〉		739
1. VTR のオートトラッキング	739	3. 2 バイモルフ構造設計	741
2. 圧電型平行ばね型バイモルフ	739	4. バイモルフヘッドの特性	746
2. 1 ピエゾ効果	739	5. ヒステリシス補正	746
2. 2 バイモルフの原理	740	6. 低ヒステリシスバイモルフ	747
3. 高感度バイモルフ	740	7. 記録用バイモルフヘッド	748
3. 1 圧電材料	740		
第24節 圧電式パーツフィーダ	〈大形万里〉		750
まえがき	750	2. 1 ボウル型振動機	751
1. パーツフィーダ用圧電アクチュエータ	750	2. 2 直進型振動機	753
2. 圧電式振動機の種類	751	あとがき	753
第25節 圧電ファン	〈井上二郎/藤本克己〉		756
まえがき	756	2. 音叉型ファン	758
1. 片持型圧電ファンの解析	757	2. 1 音叉型ファンの構造	758
1. 1 固有値決定式	757	2. 2 音叉型ファンの風速分布	759
1. 2 計算結果と風速の最大点の関係	757	2. 3 音叉型ファンの耐久性	759

2. 4 音叉型圧電ファンの改良	760	3. 3 センサへの送風	762
3. 圧電ファンの応用	761	3. 4 気体の拡散	762
3. 1 半導体素子の冷却	761	4. 圧電ファンの今後の課題	762
3. 2 滞留気体や粉末の攪拌	762		
第26節 カメラ用圧電シャッタ		〈田中良弘〉	764
まえがき	764	と変位の解決)	767
1. バイモルフシャッタの原理	765	3. 2 バイモルフ駆動回路 (ヒステリシスの解決)	768
1. 1 バイモルフ	765	3. 3 バイモルフの定電流駆動 (温度変化の解決)	769
1. 2 バイモルフシャッタの原理	765	あとがき	771
2. バイモルフの実用上の問題点	766		
3. 問題点の解決	767		
3. 1 バイモルフとシャッタ機構 (力			
第27節 点字読取りデバイス		〈森田明義/谷 義之〉	772
まえがき	772	4. 可搬型ペーパレス・ブレイル・ピンディスプレイ (Braille Note 20A, 40A)	776
1. 触知ピンの駆動素子と駆動回路	772	あとがき	779
2. 点字キャラクタの表示と触知ピンの押圧力および支点位置	773		
3. 小型点字セル	774		
第28節 オートフォーカス用アクチュエータ		〈川崎 修〉	780
まえがき	780	2. 2 構成	781
1. オートフォーカスの方式	780	3. 圧電アクチュエータ	782
1. 1 アクティブ方式	780	3. 1 アクチュエータの構造	783
1. 2 パッシブ方式	780	3. 2 圧電セラミック材料	784
2. TTL方式ピエゾオートフォーカス	781	3. 3 特性	784
2. 1 動作原理	781	あとがき	786
第29節 管内移動機械		〈青島伸一〉	787
1. 管内移動機械の現状と提案	787	4. 移動速度および牽引力の理論解析	791
2. 機構および移動原理	788	5. 移動特性実験と検討	794
3. アクチュエータの動特性解析	788	あとがき	795
第30節 バイモルフ光スイッチ		〈若月 昇〉	797
まえがき	797	3. 5 アクチュエータの特性	802
1. 光スイッチの損失	797	3. 6 アクチュエータ駆動電気回路	803
2. 光スイッチの構成	798	4. 光スイッチの切り換え光路	803
3. 圧電バイモルフ型アクチュエータ	800	4. 1 光路切り換え部の製作手順	803
3. 1 分極を中央で反転した LiNbO ₃ 結晶板	800	4. 2 単結晶シリコン板のV字形溝の製作	804
3. 2 たわみ型アクチュエータの構成	800	4. 3 ファイバアレーの切断	804
3. 3 圧電バイモルフのたわみ変位	801	4. 4 アクチュエータとファイバアレーの組立て	805
3. 4 スイッチ切り換え時の振動のダンピング	801	5. 光スイッチとしての特性例	805

第31節 圧電ポンプ	〈佐藤 壯 征〉	807
まえがき		807
1. マイクロポンプへの要求機能		807
2. 圧電マイクロポンプ		809
3. 圧電平板直動式ポンプの構造		810
3.1 構造		810
3.2 構成部品		810
3.3 材料の耐液性・耐薬品性		811
4. 圧電平板直動式ポンプの特性		811
4.1 吐出圧, 吐出量と印加電圧		811
4.2 吐出圧, 吐出量と印加周波数		811
4.3 粘度と印加周波数と吐出量		812
4.4 温度特性		812
4.5 吐出圧のアップ		813
4.6 経時変化		813
あとかき		813
第32節 SAW ストリーミング	〈塩川 祥子〉	815
1. SAW ストリーミングとは		815
2. SAW ストリーミングの機能		815
2.1 SAW ストリーミングによる表面波の観察		815
2.2 水のジェット現象		816
2.3 SAW ストリーミングの推力(反力)		816
3. アクチュエータへの応用		817
3.1 SAW ストリーミング流体素子の特長		817
3.2 飛翔型ポンプ		817
3.3 モータ		818
3.4 液滴移送器		818
4. SAW ストリーミング理論		819
4.1 ストリーミングの原理と理論		819
4.2 SAW ストリーミング理論		820
第2章 超音波モータ		
第1節 序 論	〈川崎 修〉	825
まえがき		825
1. 超音波モータの歴史		825
2. 超音波モータの動作原理と特長		827
2.1 動作原理		827
2.2 超音波モータの特長		829
3. 超音波モータの分類		830
3.1 単一振動モード方式		831
3.2 複数振動モード方式		831
4. 開発要素技術		833
4.1 振動体		833
4.2 出力取出し		834
4.3 回路部		834
あとかき		835
第2節 拡大機構を有するディスク型超音波モータ	〈川崎 修〉	839
まえがき		839
1. ディスク型超音波モータ		839
1.1 モータ構造と振動モード		839
1.2 駆動電極構造		841
1.3 拡大機構による出力取出し		842
1.4 圧電セラミック材料		844
2. 特長と特性例		845
2.1 特 長		845
2.2 特性例		845
2.3 応用例		845
あとかき		846
第3節 電歪公転子モータ	〈熊田 明生〉	849
1. 開発の背景		849
1.1 モータの小形化の意義		849
1.2 電池の需要		849
1.3 次世代小形モータ		850
2. 開発の目標仕様		851
2.1 回転トルクの創造		851
2.2 目標1Vの低電圧ドライブ		851
2.3 低インピーダンス化		852

2. 4	インテリジェント制御	852	5.	応用例	857
2. 5	低コスト化	853	5. 1	時計 (Time peace)	857
3.	電歪公転	853	5. 2	インテリジェント・インディケータ	857
3. 1	設計の基本概念	853	5. 3	ミュージックボックス	858
3. 2	設計理論	853	5. 4	ディスク・ドライブ・モータ	858
3. 3	電歪公転子の単位共振モデル	854	6.	問題提起と応用哲学	859
3. 4	電歪公転子の特性測定	855	6. 1	モータは電力/動力トランスデューサ	859
3. 5	双峰特性と結合共振	855	6. 2	モータは発電機の相反	859
4.	電歪公転子モータ	855	6. 3	モータは非線形共振系	859
4. 1	圧着面精度と回転むら	855	6. 4	高くても多量に売れる商品の低コスト量産	860
4. 2	圧着力と回転方向	856			
4. 3	電流制御法	856			
4. 4	位置決めと指令制御	856			
第 4 節	複合振動子型超音波モータ			〈上羽 貞行/中村健太郎〉	861
まえがき		861	4.	ねじり振動系の設計	868
1.	モータの構成と動作原理	861	5.	縦振動系の設計	870
2.	動作解析モデル	863	6.	過渡特性と制御方式	872
3.	基礎的特性	865			
第 5 節	モード変換型超音波モータ			〈黒澤 実〉	874
まえがき		874	4.	モード変換に圧電素子を用いた超音波モータ	882
1.	振動片型超音波モータ	874	あとがき		885
2.	弾性フィン超音波モータ	876			
3.	ねじり変換子型超音波モータ	881			
第 6 節	多重モード振動子型超音波回転モータ			〈富川義朗/高野剛浩/青柳 学〉	887
1.	多重モード振動子と超音波モータ	887	3.	異形縮退モード利用回転モータ	897
1. 1	超音波モータの原理	887	3. 1	縦-ねじり振動利用モータ	897
1. 2	多重モード振動子	887	3. 2	縦-屈曲振動利用モータ	904
1. 3	超音波モータの構成	888	3. 3	伸び-屈曲振動利用モータ	906
1. 4	電磁モータとの類似性	888	4.	機能的応用	908
2.	同形縮退モード利用回転モータ	888	4. 1	角変位自己補正モータ	908
2. 1	屈曲音片モータ	888	4. 2	エンコーダ機能付きモータ	909
2. 2	小型音さモータ	890	4. 3	エンコーダレス・ステッピングモータ	909
2. 3	面垂直屈曲円板の同相駆動モータ	890	5.	展開	911
2. 4	面内屈曲円板モータ	892			
2. 5	面内屈曲正方形板モータ	896			
第 7 節	多重モード振動子型超音波リニアモータ			〈高野剛浩/富川義朗〉	914
1.	多重モード振動子型超音波リニアモータの概説	914	2. 2	正方形板の面内振動を利用するリニアモータ	915
2.	同形縮退モード利用リニアモータ	914	3.	異形縮退モード利用リニアモータ	916
2. 1	音片の屈曲-屈曲振動を利用するリニアモータ	914	3. 1	円環の径方向対称伸び振動と非軸対称振動を利用するリニアモ	

ータ	916	4. 機能による応用	924
3. 2 正方形板の対称伸び振動と屈曲 振動を利用するリニアモータ	918	4. 1 カードリーダーへの応用	924
3. 3 平板の縦振動と屈曲振動を利用 するリニアモータ	919	4. 2 紙・シート送りへの応用	925
		4. 3 粉体移送デバイスとしての応用	927
		あとがき	930
第8節 圧電サイクロイドモータ		〈林 巖〉	932
まえがき	932	4. 3 圧電サイクロイドモータの出力 トルク	937
1. 圧電サイクロイドモータの回転原理	932	5. 高周波駆動時の出力特性	937
2. 試作した圧電サイクロイドモータ	932	5. 1 共振周波数	937
3. 低周波駆動時の出力特性	934	5. 2 出力回転数	938
3. 1 ステータの揺動円運動	934	5. 3 負荷時の回転特性	938
3. 2 低周波駆動時の出力特性	934	5. 4 出力トルク	938
4. 動力学解析	935	5. 5 消費電力および効率	939
4. 1 駆動系の周波数特性	935	あとがき	940
4. 2 駆動ユニットの発生力	936		
第9節 超音波リニアモータ		〈大西一正〉	942
まえがき	942	解析	948
1. C. B. A 方式超音波アクチュエータ	942	3. 4 動作特性	949
1. 1 基本構造	942	4. π 形超音波リニアアクチュエータ駆 動のXYステージ	949
1. 2 動作原理	943	4. 1 XYステージの構成	951
1. 3 FEMによる設計	943	4. 2 ステージの基本特性	951
1. 4 実験的検討	944	4. 3 XYテーブル用の制御回路	952
2. Y形超音波リニアアクチュエータ	945	4. 4 位置決め特性	954
2. 1 構造	945	4. 5 磁気ヘッドギャップ検査装置へ の応用	954
2. 2 動作原理	945	5. 信頼性を向上させた π 形超音波リニ アアクチュエータ	955
2. 3 有限要素法による振動解析	946	5. 1 摩擦材耐久試験	955
2. 4 実験的検討	946	5. 2 寿命試験	956
3. π 形超音波リニアアクチュエータ	948	あとがき	958
3. 1 構造	948		
3. 2 動作原理	948		
3. 3 有限要素法 (FEM) による振動			
第10節 縦-ねじり複合振動子型超音波モータ		〈井上武志/大西 修/冥加 修〉	959
まえがき	959	4. 実験結果	962
1. 構成	959	4. 1 共振周波数と振幅分布	962
2. 動作原理	960	4. 2 モータ特性	963
3. 有限要素法解析	960	あとがき	965
第11節 非接触駆動超音波モータ		〈広瀬精二/山吉康弘〉	967
まえがき	967	3. 薄板に作用する推力の測定	968
1. 非接触駆動超音波モータとは	967	4. 超音波モータの構成と特性	969
2. ステータ用振動子の構成	967	5. トルクの測定	971

第12節 オートフォーカス用超音波モータ	〈細江三弥〉	973
まえがき		973
1. オートフォーカスシステム		974
1.1 フォーカス検出方式		974
1.2 フォーカス制御方式		976
1.3 EOSカメラのAFシステム		977
2. AF用超音波モータ		979
2.1 円環形超音波モータ		979
2.2 マイクロ超音波モータ		983
3. 超音波モータの今後の展開について		986
第13節 超音波2次元モータとそれを用いた高分解能XYステージ	〈舟窪朋樹〉	987
まえがき		987
1. 超音波2次元モータとその駆動原理		987
2. 超音波2次元振動子の構成		988
3. 超音波2次元振動子の振動特性		990
4. 超音波2次元モータの駆動方法		991
5. XYステージの構成		991
6. XYステージの特性		992
6.1 2次元駆動特性		992
6.2 印加電圧サイクル数とステップ 変位置		993
6.3 印加電圧の大きさとステップ変 位置		994
6.4 慣性質量負荷とステップ変位置		994
6.5 変位の応答性		994
6.6 往復動作特性		995
6.7 推力速度特性		995
7. 本XYステージの特長と特性のま とめ		996
あとがき		996
第14節 超音波モータの数値シミュレーション	〈加川幸雄〉	997
まえがき		997
1. 有限要素法による圧電弾性体振動の 定式化		997
2. 定常応答		1000
3. 非定常応答		1000
4. 圧電超音波モータの例		1001
5. 超音波リニアアクチュエータの例		1003
6. 磁歪と磁歪振動の有限要素法による 定式化		1006

第3章 新原理アクチュエータ

第1節 形状記憶合金アクチュエータ	〈本間 大〉	1011
1. 形状記憶効果と形状記憶合金		1011
2. SMAアクチュエータ		1012
3. SMAアクチュエータの特長と寸法 効果		1014
4. SMAの通電加熱駆動		1015
5. SMAアクチュエータの応用例		1016
6. SMAアクチュエータの今後		1021
第2節 マイクロマシニングによるアクチュエータ	〈江刺正喜〉	1022
まえがき		1022
1. 各種の静電マイクロアクチュエータ		1022
2. リニア静電マイクロアクチュエータ		1023
3. 分布型静電マイクロアクチュエータ		1024
4. 静電サーボ型加速センサ		1025
5. 静電駆動振動子		1027
6. 静電マイクロアクチュエータに関連 したマイクロマシニングの新技術		1029
6.1 低温高速反応性イオンエッチン グ技術		1029
6.2 レーザ支援エッチング		1029
6.3 フィードスルー構造と真空封止 パッケージング		1029
6.4 非平面の微細加工技術		1031
6.5 プロジェクション光CVD		1031
あとがき		1031

第3節 インクジェットプリンタ	〈林 巖〉	1034
まえがき		1034
1. インクジェット記録技術の概要		1034
1.1 インクジェット記録技術の歴史		1034
1.2 インクジェット記録方式の分類		1035
1.3 インクジェット記録方式の特長		1037
2. バブルジェット記録方式		1037
2.1 バブルジェット記録の原理		1037
2.2 バブルジェットヘッドの構造		1038
2.3 インクと記録媒体		1039
3. 最近の話題と今後の展開		1040

付 編

1 圧電アクチュエータの特許動向	〈宮内昌宏〉	1043
まえがき		1043
1. 既応の調査・報告例		1043
2. 特許出願人と出願件数の傾向		1043
2.1 調査条件		1043
2.2 調査結果		1045
3. 技術内容別にみた特許傾向		1049
4. 主要各社の開発動向		1049
5. 最新の特許動向		1053
5.1 圧電アクチュエータ素子		1053
5.2 応用		1054
あとがき		1057
2 超音波モータの特許動向	〈熊田明生〉	1058
まえがき		1058
1. 公開特許からみた動向		1059
1.1 質と量からみた動向		1059
1.2 基礎技術か用途開発か		1060
1.3 モータ専業メーカー不在の開発体制		1060
1.4 出願内容からみた動向		1060
1.5 主な企業の出願動向		1063
2. 今後の課題		1067
2.1 次世代モータとしての技術開発		1067
2.2 バランスの良い総合技術の開発		1067
2.3 高くても量販できる商品開発		1068
2.4 質の良い特許の効率的な出願		1068