

~~~~~  
目 次  
~~~~~

第 1 章 総 論	森 榮 司	1
1.1 超音波とは		3
1.2 超音波の特徴		3
1.2.1 音波の伝搬速度（音速）と波長		3
1.2.2 超音波の加速度		4
1.2.3 超音波の指向性		4
1.2.4 超音波の反射と透過		4
1.2.5 超音波の強度		4
1.3 超音波応用の概観		5
第 2 章 超音波振動子の設計・製造・加工技術		9
2.1 ニューセラミックス系	坂 野 久 夫	11
2.1.1 各種圧電セラミックス材料		11
2.1.2 P Z T セラミックスの製造		12
(1) 原料及び混合粉碎		14
(2) 仮焼（圧電磁器の合成）		14
(3) 圧電材料の成形		16
(4) 圧電磁器の焼成法		20
(5) 圧電磁器の分極法		20
2.1.3 ボルト締めランジュバン型振動子（BLT）の設計		21
2.1.4 圧電セラミックス・高分子・複合材料の特性と超音波振動子への応用		24
(1) 圧電複合材料の構造		25
(2) 圧電複合材料ピエゾゴムの特性と超音波振動子への応用		26
2.2 高 分 子 系	永 井 愛 作	31
2.2.1 は じ め に		31
2.2.2 高分子系圧電材料の種類と特徴		31
(1) 光学活性高分子圧電体		31
(2) エレクトレット高分子圧電体		31
(3) 複 合 圧 電 体		32
2.2.3 高分子系振動子の等価回路と設計指針		35
2.2.4 高分子系振動子の製造プロセス		40

2.2.5	高分子振動子の今後の開発動向	41
2.3	磁歪振動子	松尾泰幸 45
2.3.1	概説	45
(1)	磁歪振動子の原理	45
(2)	磁歪材料の種類および特性	47
(3)	フェライト磁歪振動子の特徴	47
2.3.2	磁歪振動子の設計	47
(1)	共振周波数	47
(2)	偏倚磁化の設定	47
(3)	無疲労限変位の設定	47
(4)	電気インピーダンス	49
(5)	等価定数と力係数の算出	49
(6)	磁歪振動子の等価回路	49
(7)	磁歪振動子の能率の算出	50
(8)	インピーダンスマッチング	51
2.3.3	磁歪振動子の製造	51
(1)	材料の組成	51
(2)	製造工程	53
2.3.4	磁歪振動子の評価	53
(1)	材料定数の測定	53
(2)	実用型振動子特性の測定	55
(3)	動特性の測定	55
(4)	材料強度の測定	56
(5)	許容電気入力	56
2.3.5	フェライト磁歪振動子の製品特性と使用上の注意	56
第3章	超音波の発生技術	森 榮 司 61
3.1	電気音響変換器(振動子)	63
3.1.1	磁気ひずみ振動子	63
3.1.2	電気ひずみ振動子	64
3.1.3	圧電振動子	66
3.2	流体式変換器	66
3.3	超音波発生用電力発生装置	66
3.3.1	超音波パルス発生装置	66
3.3.2	連続波超音波発生装置	66

3.4	強力超音波の伝送、放射	67
3.4.1	固体振動(波動)伝送ホーン	67
3.4.2	振動方向変換伝送体	68
(1)	二次元振動方向変換伝送体	68
(2)	三次元振動方向変換伝送体	68
(3)	多次元振動方向変換伝送体	69
3.4.3	超音波パワー合成器	69
3.4.4	超音波放射体	70
第4章	超音波応用計測	73
4.1	超音波流量計	山本美明 75
4.1.1	まえがき	75
4.1.2	超音波による流速測定法の原理	76
(1)	伝搬速度差法	76
(2)	ドップラ法	78
(3)	その他の方法	79
(4)	まとめ	81
4.1.3	超音波流量計	81
(1)	時間差法	81
(2)	ドップラ法	84
(3)	流量測定の実際	86
4.1.4	開水路用超音波流量計	88
(1)	円形管渠流量計	88
(2)	方形開渠流量計	89
4.1.5	特殊な流量測定法	91
(1)	特殊なプローブ配置法	91
(2)	相関技術による流量測定	92
(3)	高温、低温下の流量測定	93
4.2	超音波温度センサ	平秀哉 95
4.2.1	はしがき	95
4.2.2	超音波温度センサの特長	95
4.2.3	計測方式の概要	95
(1)	センサ部材質の伝搬速度温度依存性を利用する方式	96
(2)	振動素子の共振周波数を利用する方式	96
(3)	測定対象物の超音波伝搬速度を直接計測する方式	96

(4) その他の方式	96
4.2.4 各方式の作動原理と構造	96
(1) パルス式温度計	96
(2) 共振式温度計	98
(3) SAW温度センサ	99
(4) 水晶温度計	100
(5) シングアラウンド法	100
(6) 液体及び気体温度分布の測定	101
4.2.5 応用例	103
(1) パルス方式の原子炉への応用	104
(2) 赤外線センサへの応用	104
(3) 温熱加療法への応用	104
4.3 超音波アクチュエータ	坂野久夫
4.3.1 アクチュエータ材料の特性	107
4.3.2 アクチュエータの構造と特性	110
(1) 積層型厚さ方向アクチュエータ	110
(2) バイモルフ型アクチュエータ	115
4.3.3 アクチュエータの各種応用	118
(1) 位置制御への応用	118
(2) 加圧振動試験装置への応用	123
(3) リニアステップモータへの応用	124
(4) レーザ光偏向素子としての応用	125
(5) 高速変位素子としての応用	126
(6) 点字機・印字機への応用	127
(7) その他の応用例	130
4.4 非破壊検査への応用	松山宏
4.4.1 はじめに	133
4.4.2 超音波探傷の原理	133
(1) 音響的不連続部分での反射	135
(2) 小さい音響的不連続部分からの反射	135
(3) 近距離音場限界距離	136
(4) 超音波の指向角	137
(5) 超音波探傷の周波数と試験体の種類	137
4.4.3 超音波探傷の現状と動向	137
(1) 超音波探傷試験の規格	137

(2) 超音波探傷の動向	138
4.4.4 最近の超音波探傷装置	145
(1) 手動探傷用の超音波探傷器	145
(2) 自動超音波探傷装置	148
(3) 保守検査用自動超音波探傷装置	152
4.4.5 結 言	152
4.5 超音波生体診断技術	155
4.5.1 超音波生体診断技術の特徴	155
4.5.2 超音波診断装置の原理	155
4.5.3 リアルタイム超音波断層装置	157
(1) 機械的セクタ走査	157
(2) 電子的リニア走査	158
(3) 電子的セクタ走査	162
4.5.4 ドプラ応用超音波診断装置	163
(1) 超音波ドプラ法の原理と歴史	163
(2) 連続波ドプラ血流観測装置	164
(3) パルスドプラ血流観測装置	165
(4) 2次元ドプラ血流観測装置	167
4.5.5 超音波組織性状診断	169
(1) 減 衰	170
(2) 音 速	170
(3) 非線形パラメータ B/A	171
(4) 散 乱	171
(5) ま と め	171
第5章 強力超音波応用技術	175
5.1 超音波加工技術(とりゅう応用)	177
5.1.1 超音波加工の方法と特徴	178
5.1.2 加工装置と特性	181
(1) 振動子部	181
(2) 加圧機構	182
(3) 発振器	183
(4) 適用周波数とその特性	184
5.1.3 加工能力	187
(1) 装置の性能	188

5.1.4	加工特性因子	191
5.1.5	おわりに	195
5.2	超音波研削加工技術	皆川 明 197
5.2.1	はじめに	197
5.2.2	加工の方式	197
(1)	コアリング	197
(2)	座ぐり穴	197
(3)	横送り	197
(4)	内面研削	198
(5)	三次元加工	199
(6)	送り方式	199
5.2.3	研削抵抗の減少	199
(1)	コアリングの場合	199
(2)	横送り加工の場合	201
5.2.4	加工速度例	202
5.2.5	加工面粗さ	205
5.2.6	加工面の観察	207
5.2.7	加工のメカニズム	207
5.2.8	超音波研削盤の構成・仕様	208
(1)	構成	208
(2)	仕様	209
5.2.9	効果的利用法	209
(1)	超音波印加の効果	209
(2)	クーラント	209
(3)	ダイヤモンド砥石	209
(4)	送り方式	210
(5)	研削モニター	210
5.2.10	今後の展開	211
5.3	超音波治療	二宮 鎮男 213
5.3.1	概要	213
5.3.2	治療用超音波の技術的諸問題	213
(1)	超音波の集束	213
(2)	生体中における超音波の減衰	215
(3)	キャビテーション	215
(4)	超音波機械振動系の諸問題	215

5.3.3	強力超音波の治療への応用	217
(1)	ハイパーサーミア	217
(2)	衝撃波結石破壊装置	218
5.3.4	機械振動型超音波の治療への応用	218
(1)	超音波手術器	218
(2)	経皮的結石破壊装置	220
(3)	眼科用白内障手術装置	221
5.4	超音波洗浄	柴田 元 223
5.4.1	超音波洗浄の原理	223
(1)	キャビテーション	223
(2)	加 速 度	223
(3)	直 進 流	223
5.4.2	超音波洗浄機の構成	224
(1)	超音波発振器	225
(2)	超音波振動子	226
(3)	超音波振動子の取付方式	227
5.4.3	超音波出力と周波数の選定法	229
(1)	超音波出力	229
(2)	周 波 数	230
5.4.4	超音波照射法	230
(1)	上方向照射法	230
(2)	下方向照射法	231
(3)	側方向照射法	231
(4)	多方向照射法, 上下二方向照射法	231
5.4.5	超音波洗浄の実例	232
(1)	工業用洗浄機	232
(2)	医療用洗浄機	233
5.4.6	最近の超音波洗浄機の動向	235
(1)	振幅変調方式	236
(2)	周波数変調方式	236
(3)	同時多周波方式	236
(4)	交互多周波方式	237
(5)	樹脂製洗浄槽	237
(6)	ハイメガソニック	238
5.5	乳化・分散への応用	白井健至 241

5.5.1	はじめに	241
5.5.2	分散系	241
	(1) 分散系の種類と定義	241
	(2) エマルジョンの生成法	241
	(3) エマルジョンの型	242
	(4) エマルジョンの安定化	243
	(5) 転相	243
5.5.3	超音波分散	244
	(1) 原理と特徴	244
	(2) 装置構成	245
	(3) 乳化分散条件	246
5.5.4	応用例	248
	(1) 鉱物油の乳化	248
	(2) 化粧品の製造	249
	(3) マイクロカプセルの分散	249
	(4) 燃料油改質装置	250
	(5) ミクロソニックセパレータ	252
5.5.5	おわりに	252
5.6	超音波利用微粒化技術	高橋 実 255
5.6.1	概要	255
5.6.2	原理	255
5.6.3	発生粒径の観察	257
5.6.4	霧化発生のツール	259
	(1) 10 k～100 kHz の霧化器	259
	(2) 100 k～300 kHz の霧化器	262
	(3) 400 k～800 kHz の霧化器	264
	(4) 800 kHz～3 MHz の霧化器	265
5.6.5	微粒化技術の問題点	272
5.6.6	今後の活用分野	272
5.7	超音波プラスチック溶着(接)	中島 孝正 坪根 重正 275
5.7.1	超音波プラスチック溶着とは	275
5.7.2	超音波プラスチック溶着装置	275
5.7.3	超音波プラスチック溶着の特徴	277
5.7.4	超音波プラスチック溶着の種類と方法	280
	(1) 伝達溶着	280

(2) 直接溶着とスポット溶着	287
(3) リベッティング・スウェーピング	289
(4) インサート	295
(5) 連続シール	296
(6) ゲートカット	299
(7) 集束超音波溶着	300
5.8 超音波金属溶接	小 玉 満 303
5.8.1 ま え が き	303
5.8.2 接 合 過 程	303
5.8.3 接 合 条 件	304
5.8.4 接合に影響を及ぼす要因	305
(1) 工具の形状および摩擦係数	305
(2) 周波数の影響	306
(3) 試料の寸法効果	306
(4) 試料の表面粗さ及び汚染度	306
(5) ア ン ビ ル	307
(6) 試料の重ね代	307
5.8.5 接合強度と変形制御	308
5.8.6 応 用 例	308
(1) 超音波ワイヤボンディング	308
(2) 電解コンデンサの接合	309
(3) 自動車電装部品への応用	310
(4) アモルファス合金の接合	310
(5) 絶縁被覆線の接合	311
(6) シ ー ム 溶 接	311
(7) 上下駆動方式	312
(8) 突き合せ溶接	312
5.9 超音波乾燥技術	瀬 谷 浩一郎 315
5.9.1 乾燥について	315
(1) 乾 燥 条 件	315
(2) 乾 燥 の 段 階	315
5.9.2 音による乾燥の促進	316
5.9.3 音波乾燥の機構	317
(1) 恒率乾燥期間	317
(2) 減率乾燥期間	319

5.9.4	併用空気流について	320
5.9.5	音の強さと周波数について	320
5.9.6	超音波乾燥装置	321
(1)	空中用超音波音源	321
(2)	乾燥装置	322
(3)	熱による表面固化のある物質の乾燥例	323
5.9.7	試料の物質と乾燥効果	324
5.9.8	現状と将来	326
5.10	超音波の化学反応促進への応用	花房昭静 市原潤子 329
	－有機化学反応の場合－	
5.10.1	序 言	329
5.10.2	金属を固相とする固液二相不均一反応の促進	329
(1)	アルカリ金属が関与する反応	329
(2)	亜鉛が関与する反応	330
(3)	その他の金属が関与する反応	332
5.10.3	無機化合物を固相とする固液二相不均一系反応の促進	332
(1)	アルカリが関与する反応	332
(2)	シアン化物塩が関与する反応	333
(3)	酸化・還元反応	335
5.10.4	均一系反応の促進	336
(1)	塩化第三ブチルのソリポリシス	336
(2)	鉄カルボニル錯体の関与する反応	336
5.10.5	その他の有機化学反応	336
第6章	超音波モータ	熊田明生 341
6.1	序 論	343
6.1.1	超音波モータ開発の意義	343
6.1.2	超音波モータへの期待	344
6.1.3	特許面から見た超音波モータ開発史	345
6.2	超音波モータの基礎	353
6.2.1	定在波型超音波モータの動作原理	353
6.2.2	圧電現象と圧電セラミックの性質	355
(1)	圧電素子	355
(2)	焦電効果・圧電効果と高電圧の発生	356
(3)	たて、よこ、すべり圧電効果	356

(4) セラミック圧電体の圧電率	357
6.3 超音波振動子	359
6.3.1 棒の振動	359
(1) たて振動：Longitudinal vibration	359
(2) たわみ振動：Bending vibration	359
(3) ねじり振動：Torsional vibration	360
6.3.2 ランジュバン振動子	360
(1) ランジュバン振動子の機能	361
(2) ランジュバン振動子の出力	362
(3) ランジュバン振動子による浮力	363
6.4 超音波モータの理論的構成	365
6.4.1 ステータの構成	365
(1) 最適圧着力，浮力，振幅増幅率	365
(2) 定格電圧，最大トルク，停止保持トルク	366
6.4.2 超音波モータの理論的動特性	367
(1) 無負荷回転数の電圧特性	367
(2) 回転数の負荷特性	367
(3) 定格特性と回転変位分解能	369
6.5 超音波モータの理論に基づく試作例	370
6.5.1 ねじり結合子を用いた超音波モータ	370
(1) ねじり結合子を用いた超音波楕円振動子	370
(2) ねじり結合子の設計条件	371
(3) 超音波楕円振動子の設計	372
(4) ねじり結合子のサイズ限界	373
6.5.2 ねじり結合子の梁と溝との交叉角 θ	375
6.5.3 コーン/ホーン/ステップ型モータ	375
6.6 課題と解決	377
6.6.1 摩擦力と給油	377
6.6.2 周波数特性の広帯域化と可逆回転	378
(1) 双峰共振系の導入	379
6.6.3 超音波モータの運転と保守	379
6.7 将来展望	381
6.7.1 メカトロニック・フィード・バック	381
6.7.2 非線形共振系の導入	381
6.7.3 ホメオスタティック・モータは機械文明新展開の芽か？	382
公開特許	385

第7章 超音波の測定法	上羽 貞行	393
7.1 振動振幅・振動速度の測定		395
7.1.1 電氣的測定法		395
(1) 容量変化を用いる振動測定		395
(2) 渦電流検出による振動測定		395
7.1.2 光学的測定法		395
(1) 顕微鏡を用いる方法		395
(2) ドップラー効果を用いる方法		395
(3) 光ホモダイン法		397
(4) 光ヘテロダイン法		397
(5) 光プローブの利用		398
(6) ホログラフィ干渉法		398
(7) スペックル干渉法		400
(8) スペックル写真法		402
(9) その他の光学的方法		402
7.2 超音波パワーの測定		403
7.2.1 動アドミッタンス法		403
7.2.2 電力計法		404
第8章 今後の動向	森 榮司	407
索引		411