

# 目 次

## 基礎編

<b>1</b>	<b>弾性論の基礎</b>	<b>3</b>
1.1	応力 .....	3
1.2	ひずみテンソルと工学ひずみ .....	6
1.3	フックの法則と弾性定数 .....	8
1.4	固体の弾性対称性 .....	10
<b>2</b>	<b>固体内の超音波の基礎</b>	<b>19</b>
2.1	波動方程式と音速・位相 .....	19
2.2	平面波の一般解と波数ベクトル .....	21
2.3	等方体内を伝播する超音波 .....	23
2.4	異方性物質を伝播する超音波とクリストッフェル 方程式 .....	25
2.5	反射・屈折と音響インピーダンス .....	28
2.5.1	SH 波の反射・屈折 .....	29
2.5.2	縦波・SV 波の反射・屈折 .....	31
2.6	レーリー波 .....	35
2.7	ガイド波 .....	38
2.7.1	位相速度と群速度 .....	38
2.7.2	SH 板波 .....	40
2.7.3	ラム波 .....	42
2.7.4	棒縦波 .....	43
2.7.5	ねじり波 .....	47
<b>3</b>	<b>圧電型超音波センサー</b>	<b>49</b>
3.1	はじめに .....	49
3.2	誘電体と電気力学の基礎 .....	50
3.3	圧電現象の基礎式と圧電定数 .....	54
3.4	圧電体内を伝播する超音波 .....	59

3.4.1	水晶の $x_3$ 軸方向に伝播する平面波縦波	60
3.4.2	水晶の $x_1$ 軸方向に伝播する平面波縦波	60
3.4.3	水晶の $x_1$ 軸方向に伝播し, $x_2$ 軸方向に振動する 平面波横波	61
<b>4</b>	<b>電磁超音波センサー</b>	<b>63</b>
4.1	はじめに	63
4.2	導体内に生じる電磁場	63
4.3	ローレンツ力	68
4.4	磁化力	70
4.5	磁歪力	71
4.5.1	$x_3$ 軸方向に均一なバイアス磁場を加える場合	74
4.5.2	$x_2$ 軸方向に均一なバイアス磁場を加える場合	78
4.6	EMAT の受信原理	79
4.7	EMAT の具体例	80
4.7.1	横波垂直入射用 EMAT	80
4.7.2	縦波・横波垂直入射用 EMAT	81
4.7.3	レーリー波・ラム波・斜角 EMAT	81
4.7.4	ワイヤー縦波用磁歪型 EMAT	82
4.7.5	表面 SH 波用 EMAT	83
4.7.6	軸対称 SH 波 EMAT	84
4.7.7	ねじり波用 EMAT	87
4.7.8	焦点型 EMAT	87
<b>5</b>	<b>レーザー超音波法</b>	<b>89</b>
5.1	はじめに	89
5.2	超音波発生原理	89
5.3	光照射による超音波受信原理	91
<b>6</b>	<b>超音波減衰</b>	<b>93</b>
6.1	はじめに	93
6.2	回折減衰	94
6.3	散乱減衰	95
6.4	吸収減衰 (内部摩擦)	96
6.4.1	質点の減衰振動モデル	96

6.4.2	内部摩擦 .....	99
6.4.3	結晶転位による吸収減衰 .....	101
6.4.4	熱活性因子による吸収減衰 .....	103

## 応用編

<b>7</b>	<b>共鳴超音波スペクトロスコピー (RUS) 法と 弾性定数測定</b>	<b>109</b>
7.1	はじめに .....	109
7.2	共鳴周波数の測定 .....	111
7.3	共鳴周波数の計算と弾性定数の逆計算 .....	113
7.3.1	リッツ法による固有値問題への帰着 .....	113
7.3.2	基底関数と振動対称性 .....	117
7.3.3	逆計算による弾性定数の決定 .....	120
7.4	測定例 .....	122
7.5	圧電体に対する適用 .....	124
<b>8</b>	<b>電磁超音波センサーによる非破壊材料評価</b>	<b>131</b>
8.1	はじめに .....	131
8.2	電磁超音波共鳴法 .....	132
8.2.1	音弾性応力測定 .....	135
8.2.2	EMAR 法と RUS 法の融合 .....	139
8.2.3	転位と点欠陥の相互作用評価 .....	143
8.2.4	金属の疲労寿命評価 .....	145
8.3	ガイド波による配管の非破壊検査 .....	148
8.4	焦点型 EMAT による非破壊検査 .....	152
<b>9</b>	<b>ピコ秒レーザー超音波法</b>	<b>153</b>
9.1	はじめに .....	153
9.2	光学系と計測システム .....	154
9.2.1	ポンプ・プローブ光学系 .....	154
9.2.2	非同期サンプリング光学系 .....	157
9.3	パルスエコー法 .....	160
9.4	共鳴法 .....	160

9.5	ブリルアン振動法 .....	161
<b>10</b>	<b>水晶振動子センサー</b> .....	<b>165</b>
10.1	はじめに .....	165
10.2	AT カット水晶と板厚せん断共鳴モード .....	166
10.3	水晶振動子バイオセンサー .....	168
10.3.1	QCM バイオセンサーの原理 .....	168
10.3.2	Sauerbrey 方程式 .....	170
10.3.3	反応速度論と周波数変化 .....	171
10.3.4	生体分子膜の粘弾性挙動と周波数応答 .....	173
10.3.5	QCM の無線化 .....	176
10.3.6	MEMS QCM センサー .....	178
10.3.7	センサー表面の修飾と増感法 .....	179
10.4	水素ガスセンサー .....	183
	参考文献 .....	187
	索引 .....	193