

目 次

緒 言

第1章 超電導現象

1.1 超電導体	1
1.1.1 初期の実験	1
1.1.2 完全導電性と完全反磁性	5
1.1.3 超電導体の熱力学	10
1.1.4 エネルギーギャップと超電導性	14
1.1.5 第一超電導体と第二種超電導体	15
1.2 超電導体の量子効果	18
1.2.1 電子の波動性と不確定性関係	19
1.2.2 BCS 理論	20
1.2.3 磁束の量子化	24
問 題	26

第2章 高温酸化物超電導体

2.1 新材料発見の経過	27
2.2 酸化物超電導体の性質	30
2.2.1 結晶構造	30
2.2.2 磁性イオンの影響	35
2.2.3 電気・磁気特性	36
2.2.4 電子状態	38
2.3 高温超電導を生ずる機構	42
2.4 今後の学術的展望	44
問 題	45

第3章 応用の基礎となる超電導特性

3.1 第二種超電導体の磁化特性	47
3.1.1 中間状態と混合状態	47
3.1.2 磁束量子線の運動とピン止め効果	49
3.1.3 臨界状態モデル	52
3.1.4 磁束跳躍	54
3.2 ジョセフソン効果	57

3.2.1 単一電子のトンネル効果	57
3.2.2 電子対のトンネル効果	59
3.3 スクイド	63
3.3.1 直流スクイド	63
3.3.2 高周波スクイド	65
問 題	66

第4章 超電導線

4.1 超電導材料	67
4.1.1 電磁石用線材	67
4.1.2 新しい候補材料	70
4.2 実用超電導線	70
4.2.1 超電導線の断面形状	70
4.2.2 超電導線の製造法	74
4.3 超電導線の不安定	76
4.3.1 超電導電磁石不安定性とその原因	76
4.3.2 機械的不安定性によるじょう乱	78
4.3.3 磁気的不安定性—磁束跳躍	81
4.4 極細多心線	82
4.4.1 原 理	82
4.4.2 フィラメント間の電磁的結合防止とより	85
4.4.3 自己磁界の影響	89
4.5 冷却による超電導線の安定化	90
4.5.1 常電導部の伝搬	90
4.5.2 完全安定化	93
4.5.3 冷却端安定性—マドックの安定化基準	104
4.5.4 過渡的安定性	109
4.5.5 内部冷却超電導線	114
4.6 含浸および冷却の悪い場合の安定性	117
4.6.1 含浸した場合	117
4.6.2 冷却の悪い場合の安定性	119
4.7 電流密度と安定化の方法およびその評価基準	120
4.8 交流用超電導線	122
4.8.1 低磁界における交流損失	122
4.8.2 高磁界の場合の交流損失	125
4.8.3 実用交流超電導線	133
4.8.4 大形交流超電導線	139
問 題	141

第5章 超電導電磁石

5.1 電磁気の基本	143
5.1.1 磁界と磁束密度との関係	143
5.1.2 ビオ・サバールの法則	144
5.1.3 磁界が電流に及ぼす力	145
5.2 コイルのインダクタンス	146
5.3 円筒形コイルの磁界	147
5.3.1 中心軸の磁界	147
5.3.2 コイル内の軸から離れた点の磁界	149
5.4 その他のコイルの磁界	151
5.4.1 ヘルムホルツコイル	151
5.4.2 環状コイル	156
5.5 超電導電磁石の実例	158
5.5.1 小形超電導電磁石	158
5.5.2 大形超電導電磁石	160
5.6 超電導電磁石システム	164
5.7 電流供給法	167
5.7.1 リード線	168
5.7.2 磁束ポンプ	171
5.8 磁界の測定	174
5.8.1 ホール効果	174
5.8.2 磁気抵抗効果	177
5.8.3 核磁気共鳴 (NMR) と電子スピン共鳴 (ESR)	178
問 題	179

第6章 極低温技術

6.1 冷媒としてのヘリウムと窒素	181
6.2 液体ヘリウム	187
6.3 熱力学の基礎	190
6.3.1 温 度	190
6.3.2 内部エネルギー, エンタルピー, エントロピー	191
6.3.3 比熱, 比熱比	194
6.3.4 気体の状態変化	195
6.3.5 冷却に要する仕事	197
6.4 低温の発生	198
6.4.1 膨張機による冷凍	198
6.4.2 ジュール・トムソン効果による冷凍	201

6.5	ヘリウム液化機	204
6.5.1	カスケード式ヘリウムの液化機	204
6.5.2	膨張機付ヘリウム液化機	205
6.5.3	小形冷凍機	206
6.6	低温容器	207
6.6.1	真空断熱	207
6.6.2	貯液デュワー容器	210
6.6.3	クライオスタット	211
6.7	冷却法	213
6.7.1	小形超電導電磁石の場合	213
6.7.2	大形超電導電磁石の場合	214
6.8	超臨界ヘリウムによる強制冷却	215
6.9	低温度の測定	218
6.10	低温材料	221
6.10.1	構造材料	221
6.10.2	電気絶縁材料	226
	問 題	232

第7章 超電導の応用

7.1	産業分野への応用	233
7.1.1	直流機	233
7.1.2	タービン発電機	235
7.1.3	変圧器	236
7.1.4	超電導電力ケーブル	238
7.1.5	MRI 用電磁石	239
7.1.6	エネルギー貯蔵	241
7.1.7	MHD 発電	244
7.2	高エネルギー物理	247
7.2.1	加速器用超電導電磁石システム	247
7.2.2	大形薄肉超電導ソレノイド	248
7.3	核融合への応用	250
7.3.1	トカマク形	250
7.3.2	ミラー装置用超電導電磁石	254
7.4	エレクトロニクス分野への応用	256
7.4.1	スクイッド磁力計	256
7.4.2	超電導コンピュータ	259
7.4.3	電圧標準	260
7.4.4	超電導空洞共振器	261

7.5 交通機関への応用	262
7.5.1 列車の超電導磁気浮上	262
7.5.2 海上輸送機関への応用	268
問 題	269
付 録	271
問題解答	276
索 引	277