

---

## 1 電磁気物性測定の基本

---

1.1	はじめに：電磁気物性測定からわかること	1
1.2	電磁氣的物理量と単位	4
1.3	電気測定とインピーダンス	7
1.3.1	直流計測：電流・電圧・抵抗	7
1.3.2	交流計測：電気容量・インダクタンス・インピーダンス	10
1.4	基本的な回路	16
1.4.1	回路素子	16
1.4.2	増幅器	18
1.4.3	信号変換と電源	21
1.4.4	発振器・変調・検波	22
1.4.5	デジタル回路・パルス回路	25
1.4.6	アース・シールド・雑音	27
1.5	おわりに	31

---

## 2 基本電気計測計器

---

2.1	電流計	33
2.1.1	エレクトロメータ	34
2.1.2	デジタルマルチメータ (DMM)	34
2.2	電圧計	35
2.2.1	デジタルマルチメータ (DMM)	35
2.2.2	ナノボルトメータ	36

2.3	スキャナ・スイッチ	37
2.4	増幅器：特徴と使い方	39
2.4.1	直流増幅器	39
2.4.2	交流増幅器	41
2.4.3	差動増幅器	44
2.4.4	ロックイン増幅器	46
2.5	電 源	47
2.6	インピーダンス測定	49
2.7	発 振 器	51
2.8	オシロスコープ	53

### 3 電 気 抵 抗

3.1	電気抵抗測定の概要	57
3.2	直流電気抵抗測定	59
3.2.1	端子付け	59
3.2.2	蒸着・ペースト・電極配置	62
3.2.3	シールド線・コネクタ・アース	65
3.2.4	試料のセッティング・試料ステージ	67
3.2.5	角度回転機構	68
3.2.6	異方性測定	71
3.3	温度変化測定	72
3.3.1	クライオスタット（簡易型：He ストレージの利用）	72
3.3.2	クライオスタット（汎用測定）	74
3.3.3	市販低温冷凍機の活用	77
3.3.4	温 度 計	78
3.4	低周波交流測定	88
3.4.1	交流測定のメリット	88
3.4.2	位相検波（ロックイン）測定の概要	89
3.4.3	実際の測定：低抵抗の測定（交流法）	90
3.5	高周波伝導率測定（マイクロ波空洞共振器摂動法）	93
3.5.1	複素伝導率・複素誘電率	93
3.5.2	空洞共振器摂動法の原理	94
3.5.3	解 析 法	96
3.5.4	測 定 装 置	98

---

## 4 種々の輸送現象測定

---

4.1	ホール効果	103
4.1.1	原 理	103
4.1.2	測定の実際	105
4.2	磁気抵抗	108
4.3	角度依存磁気抵抗・量子振動	109
4.3.1	測定原理	109
4.3.2	測定技術	113
4.3.3	解析方法	113
4.4	熱電効果	115
4.4.1	熱電現象	115
4.4.2	熱電能	118
4.4.3	測定の実際	119
4.5	熱伝導度	121
4.5.1	固体の熱伝導率	121
4.5.2	熱伝導率の測定	122
4.6	非線形伝導	124
4.6.1	非線形伝導実験に関する誤謬	124
4.6.2	矩形短パルスを用いた電気伝導度測定	125
4.7	ノイズ測定	126
4.7.1	ノイズ・パワースペクトル・相関関数	126
4.7.2	ノイズ測定における注意点	127
4.8	トンネル分光測定	130
4.8.1	原 理	130
4.8.2	実 験 法	131
4.8.3	STM を利用した測定例	133
4.9	超伝導状態	137
4.9.1	超伝導の確認法と注意点	137
4.9.2	臨 界 温 度	140
4.9.3	臨界電流密度	141
4.9.4	臨 界 磁 場	142
4.9.5	超伝導ギャップ・磁場侵入長・コヒーレンス長	144

---

## 5 固体のイオン伝導体

---

5.1	イオン伝導性固体の特徴	147
5.2	測定の前準備	148
5.2.1	イオン伝導性固体の評価	148
5.2.2	試料の調整	149
5.2.3	電極の種類	149
5.2.4	電極の形状	151
5.2.5	測定セルと配線	152
5.3	伝導度の測定法	153
5.3.1	交流インピーダンス法	153
5.3.2	交流ブリッジ法	156
5.3.3	直流法	156
5.3.4	直流ステップ法	156
5.3.5	電子・イオン混合伝導体に関する注意事項	157
5.4	伝導イオン種の判定	158
5.5	高分子系の測定	159
5.6	ハイブリッド系の測定	160

---

## 6 誘電現象

---

6.1	はじめに	163
6.2	誘電現象の基礎概念	163
6.2.1	誘電分極とその起源	163
6.2.2	コンデンサによる一様な電場と誘電率の定義	166
6.3	振動する電場のもとでの誘電現象	168
6.3.1	交流電場と複素誘電率	168
6.3.2	誘電分散のモデル	170
6.3.3	振動電場のもとでの誘電体と導体	172
6.4	実験データの処理・解析	173
6.4.1	コール・コールの円弧則	173
6.4.2	複数の緩和の分類法	174
6.4.3	強誘電現象	175
6.4.4	臨界緩和	178

6.4.5	量子常誘電体 .....	179
6.5	測定法 .....	181
6.5.1	溶液・液晶・高分子測定 .....	181
6.5.2	固体測定 .....	184

## 7 圧電焦電現象ならびに表面電荷現象

7.1	圧電現象 .....	187
7.1.1	圧電現象の理論 .....	187
7.1.2	材料の圧電現象の測定 .....	190
7.1.3	その他の測定法 .....	193
7.2	焦電現象 .....	194
7.2.1	焦電現象の概要 .....	194
7.2.2	焦電現象の測定 .....	195
7.3	表面電荷現象 .....	196
7.3.1	静電気 .....	196
7.3.2	帯電の機構 .....	197
7.3.3	表面電位の測定 .....	198
7.3.4	電荷測定 .....	201

## 8 磁場の発生と制御

8.1	種々の磁石と特徴 .....	203
8.1.1	永久磁石 .....	204
8.1.2	電磁石 .....	205
8.1.3	超伝導磁石 .....	207
8.1.4	無冷媒超伝導磁石 .....	209
8.1.5	ハイブリッド磁石 .....	210
8.1.6	パルス磁石 .....	211
8.2	磁場の測定と制御 .....	212
8.2.1	磁場測定 .....	212
8.2.2	均一性・時間変動・磁場勾配 .....	214
8.2.3	遮蔽 .....	217
8.3	温度計の磁場による影響 .....	218

---

## 9 磁 性

---

9.1	磁性の起源	221
9.2	磁性の分類 (常磁性・反磁性)	222
9.2.1	反 磁 性	224
9.2.2	常 磁 性	225
9.2.3	強 磁 性	225
9.2.4	反強磁性	226
9.2.5	フェリ磁性	226
9.3	磁化過程と温度変化	227
9.3.1	常 磁 性	227
9.3.2	強 磁 性	230
9.3.3	反強磁性	232
9.3.4	フェリ磁性	235
9.3.5	超伝導体	237
9.4	静磁化率測定	238
9.4.1	測定法の分類	238
9.4.2	測定の実際	242
9.5	交流磁化率測定	248
9.5.1	交流磁化率の定義	248
9.5.2	複素磁化率と線形応答性	250
9.5.3	磁気相転移と複素磁化率	251
9.5.4	Hartshorn 型ブリッジを用いた測定	253
9.5.5	市販装置の活用	255

---

## 10 磁化率データの処理と解析

---

10.1	反磁性磁化率の補正・Pascal 則	261
10.2	反磁場の補正	263
10.3	不純物 (強磁性・常磁性) の補正	263
10.4	磁化率の解析	265
10.4.1	常磁性体の磁化率	265
10.4.2	交流測定による動的考察	277

10.5	磁気異方性測定 .....	280
10.5.1	磁気異方性測定の起源とトルク .....	280
10.5.2	磁気トルク計の実際 .....	281
10.5.3	常磁性物質の磁気異方性 .....	284
10.5.4	強磁性体 .....	285
10.5.5	反強磁性体 .....	286
10.5.6	超伝導体 .....	289

## 11 様々な手法による磁気測定

11.1	回折の実験手法 .....	293
11.1.1	中性子磁気回折実験 .....	293
11.1.2	X線磁気散乱 .....	298
11.2	磁気共鳴測定 .....	301
11.2.1	物性測定のための磁気共鳴 .....	301
11.2.2	ESR .....	306
11.2.3	固体広幅 NMR .....	316
11.3	磁気熱容量 .....	333
11.3.1	磁気熱容量から得られる情報 .....	333
11.3.2	測定法 .....	338
11.4	磁区・磁束の直接観察 .....	340

## 12 種々の磁気効果

12.1	磁歪 .....	343
12.1.1	磁歪定数 .....	343
12.1.2	磁歪の測定法 .....	345
12.2	磁気光学効果と起源 .....	346
12.2.1	ファラデー効果 .....	348
12.2.2	磁気カー効果 .....	348
12.2.3	磁気光学効果測定法 .....	349
12.3	スピנקロスオーバー現象 .....	353
12.4	光誘起相転移 .....	355

---

## 13 極端条件下測定

---

13.1 極低温技術 .....	359
13.1.1 $^3\text{He}$ 冷凍機 .....	359
13.1.2 希釈冷凍機 .....	361
13.2 高 圧 力 .....	365
13.2.1 圧力測定の一般的注意 .....	365
13.2.2 クランプ型セル測定 .....	368
13.2.3 一軸圧測定 .....	370
13.2.4 ダイヤモンドアンビルセル .....	372
13.3 光の導入 .....	376

---

## 14 コンピュータの利用

---

14.1 計測・制御とコンピュータ .....	379
14.1.1 はじめに .....	379
14.1.2 計測・制御のためのオペレーティングシステム .....	383
14.1.3 計測・制御のためのソフトウェア開発 .....	385
14.2 AD 変換 .....	391
14.3 ネットワーク .....	392
14.4 バスラインと入出力機器のインターフェース .....	393
14.4.1 PCIバス .....	393
14.4.2 GPIB .....	394
14.4.3 USB .....	396
14.4.4 RS-232C .....	397
14.5 実 例 .....	399
14.5.1 LabVIEW <sup>TM</sup> による磁場中電気抵抗・磁気トルク測定 .....	399
14.5.2 Microsoft 社 Visual Basic <sup>®</sup> を用いた電圧測定 .....	402

---

## 15 機能性材料

---

15.1 はじめに .....	409
15.2 分子性伝導体・超伝導体 .....	412



15.2.1	分子および結晶の設計	412
15.2.2	計算手法によるデザイン	423
15.2.3	結晶育成法	429
15.3	分子磁性	433
15.3.1	分子磁性体の構築	434
15.3.2	新機能性の探索	440
15.4	遷移金属酸化物	441
15.4.1	物質のデザイン	441
15.4.2	試料作成法	445
15.5	種々の新物質	448
15.5.1	新しい電気伝導体および磁性体へ向けて	448
15.5.2	電気伝導と磁性	449
15.5.3	最近の電気伝導体および磁性体の発展	450
索 引		457