



# 目 次

## 0. ベクトル解析

### <まとめ・演習>

0.1	ベクトルの4則	1
a.	スカラー, ベクトル, テンソル	1
b.	ベクトルの表示	1
c.	ベクトルの和, 差	2
d.	ベクトルのスカラー積	2
e.	ベクトル積と面積ベクトル	2
f.	3つのベクトルの積	3
0.2	スカラー場とベクトル場	5
a.	スカラー場と勾配	5
b.	ベクトルの発散とガウスの定理	6
c.	ベクトルの回転とストークスの定理	7
d.	スカラー場, ベクトル場の2階微分	8
0.3	座標系	10
a.	直交座標系	10
b.	微分演算子の変換	12
0.4	テンソル	13
a.	2階3元テンソル	13
b.	テンソルとベクトルの積	13
<問題と解>		15

## 1. 静電場

### <まとめ・演習>

1.1	クーロンの法則	20
a.	点電荷による電場	20
b.	電場内の電荷が受ける力	20



c.	電荷間の力 .....	20
d.	2個の点電荷による電場 .....	21
1.2	電 位 .....	22
a.	電位差 .....	22
b.	点電荷による電位 .....	22
c.	電位と電場の強さの関係 .....	23
d.	ガウスの定理 .....	23
e.	電気力線と電束線 .....	24
1.3	電気2重極と多重極 .....	25
a.	電気2重極 .....	25
b.	2重極のつくる電位と電場 .....	25
c.	2重極が受ける力とトルク .....	25
d.	2重極の持つ位置エネルギー .....	25
e.	電気4重極テンソル .....	26
1.4	誘電体中の電場 .....	28
a.	電気分極 .....	28
b.	電気変位 .....	28
c.	分極電荷 .....	29
1.5	静電場の解 .....	30
a.	異なる誘電体の境での境界条件 .....	30
b.	ポアソンおよびラプラスの式 .....	30
c.	$\Delta V(r)=0$ の解 .....	30
d.	解の唯一性 .....	31
e.	電気映像法 .....	31
<問題と解>	.....	40

## 2. 静電エネルギーと導体系

### <まとめ・演習>

2.1	静電エネルギー .....	48
a.	電荷の持つエネルギー .....	48
b.	アーンショウの定理 .....	49
c.	電場の持つエネルギー .....	49
2.2	導体系 .....	49



a. 導体と静電場 .....	49
b. 2個の導体間の静電容量 .....	50
c. 1個の導体の自己静電容量 .....	50
d. 導体系の電荷と電位の関係 .....	50
e. 導体系の静電エネルギー .....	51
2.3 静電エネルギーと力 .....	52
a. 静電エネルギーと電場の及ぼす力 .....	52
b. 電位一定と電荷一定 .....	52
<問題と解> .....	59

### 3. 直 流 電 流

#### <まとめ・演習>

3.1 電流とその法則 .....	64
a. 全電流と電流密度 .....	64
b. 電荷の保存則 .....	65
c. 電場の強さと電流 .....	65
d. オームの法則 .....	65
e. ジュール熱 .....	66
f. 導体内の電場と誘電体内の電場 .....	66
3.2 抵抗の接続と回路網 .....	67
a. 直列および並列接続 .....	67
b. キルヒホッフの法則 .....	68
c. 独立な閉回路の数 .....	69
3.3 導電性の誘電体 .....	70
a. 電荷と電流 .....	70
b. 電荷密度の減衰 .....	70
c. 異なる媒質の境界 .....	70
<問題と解> .....	75

### 4. 電 流 と 磁 場

#### <まとめ・演習>

4.1 磁場とアンペールの貫流則 .....	79
------------------------	----



a.	ビオ・サバールの法則 .....	79
b.	アンペールの貫流則 .....	80
4.2	物質内での磁場 .....	82
a.	磁気誘導 (磁束密度) .....	82
b.	磁場内の電流が受ける力 .....	83
c.	磁気2重極 .....	83
d.	磁場内の磁気モーメントが受ける力 .....	84
e.	磁気モーメントの生じる磁場 .....	84
f.	磁 化 .....	84
4.3	$B, H, M$ の関係 .....	86
a.	$B, H$ の基本式 .....	86
b.	磁気スカラーポテンシャル .....	87
c.	$B, H$ についての境界条件 .....	87
d.	磁気回路 .....	88
4.4	ベクトルポテンシャル .....	88
a.	ベクトルポテンシャル $A$ の性質 .....	88
b.	電流とベクトルポテンシャル .....	89
c.	磁気モーメントとベクトルポテンシャル .....	89
	<問題と解> .....	99

## 5. 電磁誘導と磁気エネルギー

### <まとめ・演習>

5.1	電磁誘導 .....	106
a.	ファラデーの電磁誘導則 .....	106
b.	誘起電場 .....	107
c.	時間変化する電場, 磁場の関係 .....	107
d.	運動と誘起電場 .....	107
5.2	自己誘導と相互誘導 .....	109
a.	自己誘導係数 .....	109
b.	相互誘導係数 .....	109
c.	ノイマンの式 .....	110
d.	$L, M$ を含む回路 .....	110
5.3	磁気エネルギー .....	112



目次	7
a. 電流の持つエネルギー	112
b. 場の持つ磁気エネルギー	112
5.4 磁気エネルギーと力	113
a. 磁気エネルギーと力の関係	113
b. ローレンツ力と磁気エネルギー	114
5.5 強磁性体	115
a. 強磁性体の $B-H$ 曲線	115
b. 磁化のエネルギー	115
c. 永久磁石の動作点	116
d. ヒステリシス損	116
<問題と解>	124

## 6. 交流

### <まとめ・演習>

6.1 時間変化する電流	130
a. ゆっくり変化する電流	130
b. 交流でのキルヒホッフの法則	130
c. 電氣的振動系と力学的振動系	131
d. 振動系の解	131
6.2 交流の複素数表示	132
a. 複素量としての電圧, 電流, インピーダンス	132
b. インピーダンスとアドミッタンスの接続	133
c. 交流の電力	134
6.3 共振回路	136
<問題と解>	142

## 7. マックスウェルの方程式と電磁波

### <まとめ・演習>

7.1 マックスウェルの方程式	147
a. 変位電流	147
b. マックスウェルの方程式	148
c. マックスウェルの方程式の物理的意味	148



d. 電磁気基本量とマックスウェルの方程式 .....	149
7.2 $E, B$ についての波動方程式 .....	151
a. 電信方程式と波動方程式 .....	151
b. 調和振動の場合 .....	151
c. 誘電体中での電磁波 .....	152
d. 導電性媒質中での電磁波 .....	153
e. 高い導電率の場合 .....	153
f. 媒質の特性インピーダンス .....	154
7.3 ポインティングベクトル .....	155
a. マックスウェルの式とポインティングベクトル .....	155
b. 電磁波でのエネルギーの関係 .....	155
7.4 $V, A$ についての波動方程式 .....	156
a. マックスウェルの式と $V, A$ .....	156
b. 遅延ポテンシャル .....	157
c. 球面波 .....	158
7.5 振動する電気 2 重極 .....	159
a. 振動 2 重極と振動電流 .....	159
b. 振動 2 重極による $V$ と $A$ .....	159
c. 電波域と 2 重極範囲 .....	160
d. 振動 2 重極からの輻射エネルギー .....	161
e. 輻射抵抗 .....	161
<問題と解> .....	167

## 8. 電磁波の伝播特性

### <まとめ・演習>

8.1 電磁波の反射と透過 .....	172
a. 境界条件 .....	172
b. 誘電体 1 → 誘電体 2 での反射と透過 .....	172
c. 誘電体 1 → 導電性媒質 2 での反射と透過 .....	174
d. 誘電体 1 → 金属 2 での反射と透過 .....	174
e. 誘電体 1 → 完全導体 2 での反射と透過 .....	174
8.2 矩形導波管 .....	176
a. 導波管 .....	176



b. TE 波での電場と磁場	176
c. 伝播域と減衰域	177
d. 位相速度と群速度	178
8.3 分布定数回路	180
a. 送電線と分布定数	180
b. $V, I$ の波動方程式	181
c. 電圧, 電流の反射	181
d. 純進行波と定在波	182
e. 等価インピーダンス	183
<問題と解>	190

## 付 録

1. 電磁気単位系	195
2. 物理定数抜粋	196
3. ギリシャ文字	196
4. 数学公式抜粋	197
A. 一般	197
B. 積分, 微分方程式	197
C. ベクトル	198
5. 類題の答	200
索引	207