

# 船舶電気装備技術講座

(中級)

## 電気計算編

## は し が き

この指導書は船舶電気装備業務に従事し特に設計業務をされる方を対象とし、電気理論、電源計画など設計に必要な計算方法を広範囲にわたり記述したもので、いわば電気公式集である。

したがって、なお一層詳細に勉強したい方は他の専門図書を参考としてもらいたい。

なお、大切と思われる個所はアンダーラインを引いてありますので特に留意して記憶にとめてもらいたい。

本書は競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて作成したものである。

# 目 次

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 1     | 電気理論                               | 1  |
| 1・1   | 電流・電圧・抵抗                           | 1  |
| 1・1・1 | 電流の大きさ                             | 1  |
| 1・1・2 | 電圧の大きさ                             | 1  |
| 1・1・3 | 電力                                 | 1  |
| 1・1・4 | 電力量                                | 1  |
| 1・1・5 | ジュールの法則とジュール熱                      | 2  |
| 1・1・6 | オームの法則                             | 3  |
| 1・1・7 | 電気抵抗、抵抗率、導電率                       | 4  |
| 1・1・8 | 温度による抵抗の変化                         | 4  |
| 1・1・9 | 抵抗の変化を利用した温度測定                     | 5  |
| 1・2   | 静電気・電流による磁界                        | 5  |
| 1・2・1 | 静電容量（一般式）                          | 5  |
| 1・2・2 | 平行板の静電容量（平行板コンデンサ静電容量）             | 6  |
| 1・2・3 | コンデンサの接続と合成容量                      | 6  |
| 1・2・4 | 線電流による磁界                           | 6  |
| 1・2・5 | 環状ソレノイド内部の磁界                       | 7  |
| 1・2・6 | 無限長単層ソレノイド内部の磁界                    | 7  |
| 1・2・7 | 起磁力                                | 7  |
| 1・2・8 | 磁化力                                | 7  |
| 1・2・9 | 磁束                                 | 7  |
| 1・3   | 電磁誘導                               | 8  |
| 1・3・1 | 誘導起電力                              | 8  |
| 1・3・2 | 平等磁界と直角方向を軸心として等速円運動する<br>導体の誘導起電力 | 8  |
| 1・3・3 | 交番起電力                              | 8  |
| 1・3・4 | 周波、周期、周波数                          | 9  |
| 1・3・5 | インダクタンス                            | 9  |
| 1・3・6 | 相互インダクタンス・自己インダクタンス                | 9  |
| 1・3・7 | 磁界中の電流に働く力（フレミング左手の法則）             | 10 |
| 1・3・8 | 直線状平行2導体間の電流力                      | 11 |
| 1・3・9 | 磁氣的吸引力                             | 11 |
| 1・4   | 交流の測定量、電力                          | 12 |
| 1・4・1 | 交流の測定量                             | 12 |
| 1・4・2 | 単相及び三相交流の電力                        | 13 |
| 1・4・3 | 等価抵抗、等価インピーダンス、等価リアクタンス            | 13 |
| 1・4・4 | 電力量                                | 13 |

|        |                    |    |
|--------|--------------------|----|
| 1・5    | 回路網                | 14 |
| 1・5・1  | オームの法則（再出）         | 14 |
| 1・5・2  | インピーダンス            | 15 |
| 1・5・3  | 回路の合成インピーダンス       | 15 |
| 1・5・4  | 基本交流回路             | 16 |
| 1・5・5  | R、L、Cなどの直列回路       | 16 |
| 1・5・6  | R、L、Cなどの並列回路       | 17 |
| 1・5・7  | 共振条件               | 18 |
| 1・5・8  | ホイートストーンブリッジ回路     | 18 |
| 1・5・9  | 三相回路（正弦波平衡回路の場合）   | 19 |
| 1・5・10 | 回転磁界               | 21 |
| 1・5・11 | 回転磁界の回転速度（同期速度）    | 21 |
| 1・5・12 | 回転磁界の回転方向と逆転（三相の例） | 21 |
| 1・6    | 復習問題(1)            | 22 |
| 2      | 計測                 | 23 |
| 2・1    | 指示計器の確度上から分類と用途    | 23 |
| 2・2    | 誤差と補正              | 23 |
| 2・3    | 分流器                | 23 |
| 2・4    | 倍率器                | 23 |
| 2・5    | 計器用変流器             | 24 |
| 2・6    | 計器用変圧器             | 24 |
| 2・7    | 中抵抗の測定             | 24 |
| 2・7・1  | 被測定抵抗Rが高い場合        | 26 |
| 2・7・2  | 被測定抵抗Rが低い場合        | 24 |
| 2・7・3  | ホイートストーンブリッジ法      | 24 |
| 2・8    | 直流電力の測定            | 24 |
| 2・9    | 単相交流電力・力率測定        | 25 |
| 2・9・1  | 3電圧計法              | 25 |
| 2・9・2  | 3電流計法              | 25 |
| 2・10   | 三相交流電力の測定          | 25 |
| 2・10・1 | 2電力計法              | 25 |
| 2・10・2 | 1電力計法              | 25 |
| 2・11   | 三相交流力率の測定          | 25 |
| 2・12   | 水抵抗器の設計            | 26 |
| 2・12・1 | 二極平行平板電極の場合        | 26 |
| 2・12・2 | 三極円筒形電極の場合         | 26 |
| 2・12・3 | 三極平行平板電極の場合        | 26 |
| 2・12・4 | 液の抵抗               | 27 |
| 2・12・5 | 電流密度               | 27 |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 2・13  | 復習問題(2)                             | 27 |
| 3     | 配電                                  | 28 |
| 3・1   | 配電方式                                | 28 |
| 3・1・1 | 直流又は単相2線式電線量                        | 28 |
| 3・1・2 | 直流又は単相3線式電線量                        | 28 |
| 3・1・3 | 三相3線式電線量                            | 29 |
| 3・1・4 | 三相4線式電線量                            | 29 |
| 3・1・5 | 各方式の電線量比較                           | 29 |
| 3・1・6 | 同一断面積の導体1本当りの配電電力の比較                | 29 |
| 3・2   | 配電回路の電圧降下                           | 30 |
| 3・2・1 | 直流2線式単一負荷の電圧降下                      | 30 |
| 3・2・2 | 直流2線式多数負荷の電圧降下                      | 30 |
| 3・2・3 | 交流単相2線式単一負荷の電圧降下                    | 31 |
| 3・2・4 | 交流三相3線式単一負荷の電圧降下                    | 31 |
| 3・2・5 | $K_1$ と $\delta$ について(上式における)       | 31 |
| 3・2・6 | 電圧降下許容値                             | 33 |
| 3・3   | 負荷力率改善用コンデンサの容量計算                   | 34 |
| 3・4   | 力率改善用コンデンサ容量と設置                     | 36 |
| 3・5   | 配電回路における短絡電流計算                      | 37 |
| 3・5・1 | 最大推定短絡電流の目安                         | 37 |
| 3・5・2 | 配電回路の短絡電流計算法の一方法<br>(パーセントインピーダンス法) | 41 |
| 3・6   | 復習問題(3)                             | 47 |
| 4     | 一次電源                                | 48 |
| 4・1   | 電源計画                                | 48 |
| 4・1・1 | 直流                                  | 48 |
| 4・1・2 | 交流                                  | 48 |
| 4・1・3 | 発電機容量算定と電力調査表                       | 48 |
| 4・1・4 | 需要率、不等率、負荷率                         | 50 |
| 4・2   | 復習問題(4)                             | 51 |
| 4・3   | 発電機械                                | 51 |
| 4・3・1 | 直流発電機                               | 51 |
| 4・3・2 | 交流発電機                               | 53 |
| 4・3・3 | 集魚灯用発電機の出力                          | 56 |
| 4・4   | 復習問題(5)                             | 57 |
| 5     | 二次電源                                | 58 |
| 5・1   | 変圧器                                 | 58 |

|        |                      |    |
|--------|----------------------|----|
| 5・1・1  | 電圧・電流と巻数比の関係         | 58 |
| 5・1・2  | 定格容量（定格出力）           | 58 |
| 5・1・3  | 効率                   | 58 |
| 5・1・4  | 等価回路                 | 58 |
| 5・1・5  | 電圧変動率                | 59 |
| 5・1・6  | インピーダンス電圧            | 61 |
| 5・1・7  | 単相変圧器三相結線時の出力        | 62 |
| 5・1・8  | 単相変圧器V結線時の出力         | 62 |
| 5・1・9  | 単相変圧器（スコット）結線時の出力    | 62 |
| 5・1・10 | 並行運転の条件              | 62 |
| 5・1・11 | 単巻変圧器                | 63 |
| 5・2    | 蓄電池（鉛蓄電池）            | 64 |
| 5・2・1  | 鉛蓄電池の充電反応            | 64 |
| 5・2・2  | 電解液比重                | 64 |
| 5・2・3  | 蓄電池の放電条件             | 64 |
| 5・2・4  | 容量                   | 64 |
| 5・2・5  | 容量の温度換算              | 65 |
| 5・2・6  | 充電中のガス発生量（蓄電池1セル当たり） | 65 |
| 5・2・7  | 蓄電池の強制換気量            | 65 |
| 5・2・8  | 蓄電池の短絡電流計算式          | 65 |
| 5・3    | 復習問題（6）              | 66 |
| 6      | 電動機と応用               | 67 |
| 6・1    | 直流電動機                | 67 |
| 6・1・1  | 端子電圧・逆起電力            | 67 |
| 6・1・2  | 毎分回転数                | 67 |
| 6・1・3  | トルク（回転力）             | 67 |
| 6・1・4  | 入力                   | 67 |
| 6・1・5  | 出力                   | 67 |
| 6・1・6  | 効率                   | 67 |
| 6・1・7  | 規約効率                 | 67 |
| 6・1・8  | 速度変動率                | 68 |
| 6・2    | 単相誘導電動機              | 68 |
| 6・3    | 三相誘導電動機              | 68 |
| 6・3・1  | 入力                   | 68 |
| 6・3・2  | 出力                   | 68 |
| 6・3・3  | 回転磁界の回転速度（同期速度）      | 69 |
| 6・3・4  | すべり（slip）            | 69 |
| 6・3・5  | 電動機の回転速度             | 69 |
| 6・3・6  | 効率                   | 69 |

|        |                    |    |
|--------|--------------------|----|
| 6・3・7  | トルク（回転力）           | 69 |
| 6・3・8  | 始動電圧と始動トルクとの関係     | 71 |
| 6・3・9  | 始動器による始動電流         | 71 |
| 6・3・10 | 負荷時間率（%ED）         | 71 |
| 6・3・11 | 短時間定格の定格時間と%EDとの関係 | 72 |
| 6・4    | 三相誘導電動機の推定始動時間     | 72 |
| 6・4・1  | 理論式                | 72 |
| 6・4・2  | 巻線形三相誘導電動機の場合の経験式  | 72 |
| 6・4・3  | 減電圧始動方式における経験式     | 72 |
| 6・5    | 電動力応用              | 73 |
| 6・5・1  | 補機用電動機             | 73 |
| 6・5・2  | 全電動式操だ装置           | 77 |
| 6・5・3  | ベルトコンベヤ            | 77 |
| 6・6    | 衝撃による応力            | 78 |
| 6・7    | 振動加速度              | 79 |
| 6・8    | 復習問題(7)            | 80 |
| 7      | 電気加熱               | 82 |
| 7・1    | 熱量の単位              | 82 |
| 7・2    | 所要加熱電力量            | 82 |
| 7・3    | 所要加熱電力             | 82 |
| 7・4    | 電熱器の容量計算           | 83 |
| 7・4・1  | 湯沸器                | 83 |
| 7・4・2  | 電気暖房器              | 83 |
| 7・4・3  | 機関機器用加熱器           | 84 |
| 7・5    | 交流アーク溶接機           | 85 |
| 7・5・1  | 定格使用率              | 85 |
| 7・5・2  | 温度上昇               | 85 |
| 7・5・3  | 許容使用率              | 86 |
| 7・6    | 復習問題(8)            | 86 |
| 8      | 電灯照明               | 88 |
| 8・1    | 光源                 | 88 |
| 8・1・1  | タングステン電球特性         | 88 |
| 8・1・2  | 蛍光灯の特性             | 89 |
| 8・2    | 照明の基礎              | 90 |
| 8・2・1  | 光束                 | 90 |
| 8・2・2  | 照度                 | 90 |
| 8・2・3  | 光度                 | 90 |
| 8・2・4  | 輝度（輝き）             | 91 |

|         |                               |     |
|---------|-------------------------------|-----|
| 8・2・5   | 反射率、透過率、吸収率                   | 92  |
| 8・2・6   | 光束発散度                         | 93  |
| 8・2・7   | 電灯の効率                         | 94  |
| 8・2・8   | 照明率                           | 94  |
| 8・2・9   | 器具効率                          | 94  |
| 8・3     | 照度と光度との関係                     | 94  |
| 8・3・1   | 光の方向に垂直な面の照度                  | 94  |
| 8・3・2   | 光の方向に対し面が角度 $\theta$ 傾いた場合の照度 | 94  |
| 8・4     | 点光源による直射照度                    | 95  |
| 8・5     | 球光源による照度                      | 96  |
| 8・6     | 被照面に平行な有限直線光源による直射照度          | 97  |
| 8・7     | 室内照明計算                        | 99  |
| 8・7・1   | 光束法                           | 99  |
| 8・7・2   | 灯数決定の簡便法                      | 100 |
| 8・8     | 投光照明                          | 101 |
| 8・8・1   | 投光器の位置と取付け高さ                  | 101 |
| 8・8・2   | 投光器数の計算                       | 101 |
| 8・9     | 航海灯の光度                        | 102 |
| 8・10    | 探照灯の光度（照射距離との関係）              | 102 |
| 8・11    | 探照灯の最大光度                      | 102 |
| 8・12    | 地理学的光達距離                      | 103 |
| 8・13    | 復習問題(9)                       | 103 |
| 9       | 復習問題解答                        | 105 |
| 10      | 付録 理工学及び求積関係公式                | 111 |
| 10・1    | 理工学関係式                        | 111 |
| 10・1・1  | 慣性モーメント〔J〕とはずみ車効果 ( $GD^2$ )  | 111 |
| 10・1・2  | 各種慣性モーメント                     | 112 |
| 10・1・3  | はずみ車効果 ( $GD^2$ ) の測定         | 112 |
| 10・1・4  | 合成はずみ車効果の例                    | 113 |
| 10・1・5  | 圧力、張力の強さ                      | 114 |
| 10・1・6  | 密度                            | 114 |
| 10・1・7  | 比重                            | 114 |
| 10・1・8  | 運動の速さ                         | 114 |
| 10・1・9  | 比熱                            | 114 |
| 10・1・10 | 湿度                            | 114 |
| 10・1・11 | 音波の速度測定法                      | 114 |
| 10・1・12 | うなりの定理                        | 115 |
| 10・1・13 | 周期と振動数                        | 115 |

|         |          |     |
|---------|----------|-----|
| 10・1・14 | 運動のエネルギー | 115 |
| 10・1・15 | 位置のエネルギー | 115 |
| 10・2    | 求積の式     | 115 |
| 10・2・1  | 三角形の面積   | 115 |
| 10・2・2  | 矩形の面積    | 115 |
| 10・2・3  | 平行四辺形の面積 | 115 |
| 10・2・4  | 台形の面積    | 115 |
| 10・2・5  | 円の面積     | 115 |
| 10・2・6  | 扇形の面積    | 115 |
| 10・2・7  | 球の表面積    | 115 |
| 10・2・8  | 直円筒の側面積  | 115 |
| 10・2・9  | 立方体の体積   | 115 |
| 10・2・10 | 球の体積     | 115 |
| 10・2・11 | 円筒の体積    | 115 |
| 10・2・12 | 円錐の体積    | 115 |
| 10・2・13 | 円周の長さ    | 115 |
| 10・3    | ギリシャ文字   | 116 |