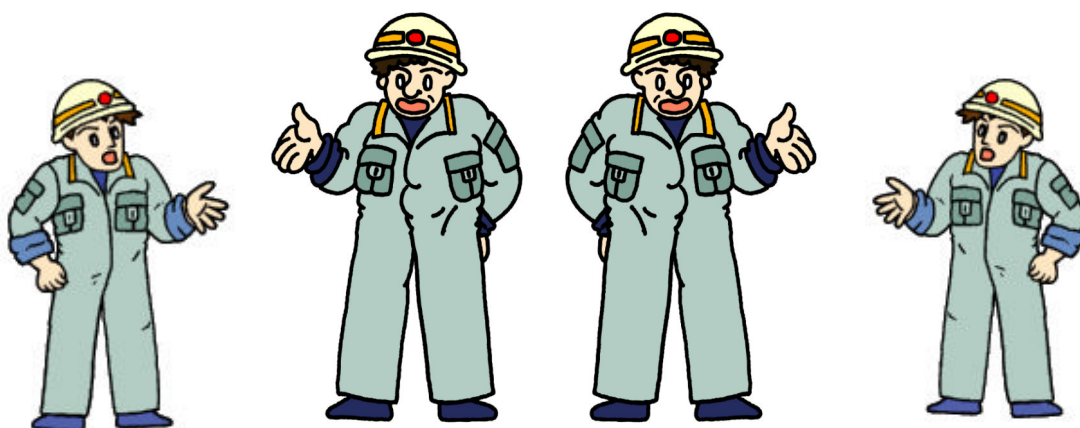


# 船舶の電気設備に関する技術入門書

先輩達が教える初歩からの電気



(社)日本船舶電装協会

## はじめに

この本を手にし、正に読もうとしている“あなた”  
あなたはラッキーですねえ。  
こんなに電気のことわかる本を目の前にされて！

これまで、電気の入門書を読んでも、なんか  
電気とは？ と分かったようで、わからなかったでしょう？

世の中に「電気」に関する入門書が数多く出ていますが、それを見てもなかなかさつきりしなかったのではないですか？ 皆さん！！

本書は、船舶に関連する電気技術者の入門書として、これから電気技術者になられる方、また、既に現場で活躍されている方にも使えるように、専門家を集めて編纂されました。

しかし、その内容は頭から丸暗記の技術テキストから脱却し、電気とは何かを肌で感じとれるような、つまり、電気の物性的な様々な現象説明を理解し易いように組み入れ、身近な現象と比較説明しながら、内容、数式と図解を工夫し、今までに無い身近に感じられる入り易い入門書を目指して作成されました。様々な数式、法則の説明においても、暗記するのではなく、現象を理解してもらう方針で説明されています。こういった編集方針に基づいて作成された本書を通して、無味乾燥と感じられていた数式、法則も、本書を読めばきっと裏側に秘められていた内容が深く理解でき、電気技術が楽しくなると思います。

本書のユニークな点は最初にあります。第1編は電気の基礎編ですが、第1章、2章では、電気の始原はなにか、電気とはどういうものかを、丁寧に図解しており、現場で活躍される電気技術者に是非一読いただきたい部分と言えます。第2編は実務編で難しい数式を極力避けて分かり易く図を中心にして説明し、更に付録として電気技術者に必要な基礎数学の公式説明を付けた、電気技術者に必携のハンドブックとして活用できるものと確信しております。

委員長 国立大学法人 東京大学  
生産技術研究所 海中工学国際研究センター  
教授 理学博士 浅田 昭

# 第 1 編

## 電氣工学入門

## 物性から電気現象を考える

一般の電磁気学では、静電気学と磁気学の二つに大別され、静電気学では、電荷にまつわる電界のお話から最終的にはコンデンサの諸特性が理解できるような体系になっています。

また、磁気学に関しては、磁石の性質から磁気によって生み出される電流や、電流から生み出される磁気に話が発展し、船内の変圧器や発電機、電動機といった電気の応用機器の分野に話が発展してきます。

このような電磁気学的な体系では、磁気学が論ずる磁界と静電気学で論ずる静電界との間に電荷と電流という決して切り離すことのできない関係が存在しており、また、電磁界という世界では電磁波が発生するなど、様々な電気現象を引き起こしています。

そして、その共通の起源をなすものが電子です。

全ての電気現象を引き起こす源を電子の性質というものに焦点をあてて、考えてみましょう。



# 第 1 編 も く じ

ページ

第 1 章	そもそも電気の始原はなに	1
1.	電気エネルギー生成に寄与する素粒子	1
2.	電子のふる舞いが電気（自由電子）	3
3.	電子が動き回る場とは（電界、磁界、電磁界の関係）	5
(1)	電界とは何か	5
(2)	磁界とは何か	7
(3)	電磁界とは何か	9
4.	電子と磁石（磁石の成り立ち）	11
(1)	電子の円運動とスピンの関係	11
(2)	電子は最小の磁石だ	13
(3)	ものによって磁性の現れ方が違う	14
5.	電流が永久に流れるわけ（超伝導の原理）	14
6.	電界と磁界の関係	17
(1)	電界中での電子のふる舞い	17
(2)	磁界の中での電子のふる舞い	17
(3)	電界と磁界の関係はこうだ	18
第 2 章	電気とはどういうものか	23
1.	電子のふる舞が電気なのです	23
2.	電気はどのようにしてつくられるか	23
3.	静電気	24
(1)	静電気の（+）と（-）はこういう意味なのです	26
(2)	静電気にはものによって序列があります	26
4.	動電気	26
(1)	動電気の（+）と（-）はこういう意味だ	28
(2)	電流は水のように高い電位から低い電位の方に流れます	29
(3)	動電気は自由電子が動くことだ	30
(4)	電子の動きを妨げるのは抵抗なのです	31
(5)	電子の移動を妨げる目安が電圧降下です	32
(6)	電流の大きさ、電荷（電気を帯びた電子）の大きさ	32
第 3 章	電気回路	34
1.	電気回路とはどんなもの	34
2.	電気回路の特徴	34
3.	電気の流れ	35
4.	電気回路の抵抗	35
5.	簡単な直流の電気回路	36
6.	オームの法則	37

7. 直列接続と並列接続	40
8. 直並列回路の合成抵抗	44
9. 直流回路の電源の接続	45
(1) 蓄電池の直列接続	45
(2) 蓄電池の並列接続	45
(3) 蓄電池の接続回路	45
第4章 電流の熱作用	48
1. 発熱のメカニズム	48
2. ジュールの法則	49
3. 熱の発生	51
第5章 電力と電力量	52
1. 電力とはなにか	52
2. 電力量とはなにか	53
第6章 磁気と電流の関係	56
1. 地磁気	56
2. 磁石の性質	56
3. 磁気のクーロンの法則	57
4. 磁界と磁力線	58
5. 磁気誘導	59
6. アンペールの右ネジの法則	60
7. ヒステリシス	62
8. 電磁力	64
(1) 電磁力が発生するわけ	65
(2) フレミングの左手の法則	65
9. 電磁誘導作用	66
(1) 誘導起電力は何故発生するか	66
(2) 磁界を動かしたとき	66
(3) 導体を動かしたとき	67
(4) 起電力の大きさ	68
(5) 起電力と方向	68
(6) うず電流	69
(7) うず電流と損失	70
(8) うず電流を抑える	70
(9) 誘導電動機モデル	71
(10) 自己誘導作用	72
(11) 相互誘導作用	74

	ページ
第 7 章 静電気 .....	75
1. 静電気のクーロンの法則 .....	75
2. 静電誘導 .....	76
(1) 静電誘導とは .....	76
(2) 電磁誘導との違い .....	76
3. 電界とは .....	77
4. 電気力線 .....	77
(1) 電気力線とは .....	77
(2) 磁力線との違い .....	77
5. 静電容量とは .....	78

# 第2編

## 電気機器学入門



## 先輩から一言！

第2編は電気機器学として主に交流理論をまとめました。

第1編と同様に図絵を見ながら、交流の電気はどんな電気なのかを説明し、起電力の発生から電動機が回転する理由を説明しました。

図絵を見ながら交流の電気を学習するわけですから、指し示す指や矢印の方向には十分注視しながら読んで下さい。

もし分からないことが出たときは、必ず、第1編の基礎に立ち戻り物性や電気現象を復習してから先に進んで下さい。特に、第2編では磁力線の性質とファラディ・レンツの法則が大活躍します。今まで難しいと苦労した交流理論も、きっと「なーんだ、そーなんだ」と気がつくはずですよ。



**第1章**は、交流の電気の基本的な性質を学習するために発電機の起電力の方向や周波数、交流波形の見方、直流の電気との相違点を説明しました。交流の電気は電線の中をどのように流れているか、やさしく解説しました。

**第2章**は、少しボリュームがありますが、どのようにして交流が発生するかフレミングの右手則や回転電機子型交流発電機や単相交流発電機、三相交流発電機モデルを使って、丁寧に起電力の発生メカニズムと周波数を説明しています。また、誘導電動機が回転する原理を電磁力と回転磁界発生メカニズムを図絵で説明し、電動機が回転する仕組みを説明しています。

**第3章**は、交流の数式化を取り上げています。交流の電気の動き方を知るには、周期関数を知らないと理解できません。ここでは詳しく説明しましたので、きっと、スラスラと理解できると思います。

**第4章**は、交流の電気の種類を取りあげ、単相交流と電流三相交流の電圧と電流を説明しています。良く質問される、「どうして三相なの」という問題にもやさしく説明しました。

きっと三相交流が大好きになるものと思います。

**第5章**は、交流の電気の表し方を説明しました！

交流の電気の大きさを表す種類の瞬時値、平均値、実効値や波形から見た種類を説明していますが、なぜ実効値を使うのか、についても詳しく書きましたので楽しく読んで下さい。その次は、本題となる交流の電気の位相や三相交流の相順、そして三相交流の接続方法と現れる電圧と電流の違い、三相変圧器の接続について説明をしています。

ここまできると波形ばかりと、ぼやきが出てきそうですが、ベクトルと合わせて考えて行くと納得して学習が進みます。

**第6章**は、交流の基本的な性質を説明しています。いよいよ交流抵抗のインピーダンスの出現ですが、ここも少しボリュームがあります。この章では、前章で説明した交流電流を制限する3人組（**R**、**L**、**C**）を電気回路に登場させ、ベクトルとともに電圧と電流の関係を説明しています。ここは大切ですから集中して取り組んで下さい。

**第7章**は、交流の電力と電力量を、波形を使って詳しく説明しています。交流の電力も3種類あって、この電力がどういうものか、よく図絵を見ながら学習下さい。

驚くことに仕事をしない電力は、仕事場から帰ってきていることが分かり、交流は非常に人間的な側面もあるのだなと感じます。最後は、電力と電力量の意味を書きました。

下世話な話ですが、エコロジーの時代ですから電気料金も書かせていただきました。

## 第 2 編 も く じ

ページ

第 1 章 交流の電気の基本的な性質	1
1. 一般	1
2. 交流とは	1
3. 直流の電気との相違点	5
第 2 章 交流の電気の発生	7
1. なぜ交流の電気が発生するのか	7
(1) フレミングの右手の法則による起電力の発生	7
(2) 交流起電力の発生	7
① 回転電機子型発電機の内容図及び簡略構造	7
② 交流起電力の発生原理	9
(3) 単相交流発電機	11
① 単相交流発電機の簡略構造	11
② 発生電圧波形	11
(4) 三相交流発電機	11
① 三相交流発電機の簡略構造	12
② 発生電圧波形	12
2. 交流の電気は周波数がある	12
3. 発電機の回転数と周波数の関係	13
(1) 2 極交流発電機	14
(2) 4 極の交流発電機	15
① P 極の交流発電機	15
4. 電磁力について	15
(1) アンペールの右ねじの法則及び電流と磁束の関係	16
(2) フレミングの左手の法則	16
(3) 三相交流の回転磁界について	17
① 同相電流によるコイルに発生する磁界	17
② 同相電流による回転磁界	17
③ 対称三相交流電源	18
④ 三相交流電源による回転磁界の発生	18
⑤ 三相誘導電動機の原理 (例 2 極の三相誘導電動機)	20
⑥ 直流発電機の原理 (参考)	22
第 3 章 交流の数式化	24
1. 交流を数式で表す方法 (単相交流で説明)	24
2. 交流の表記方法	25
(1) 瞬時値表示 (波形表示)	26
(2) ベクトル表示	26

(3) 複素数表示 .....	27
第4章 交流の電気の種類 .....	28
1. 単相交流 .....	28
(1) 単相交流波形 .....	28
(2) 単相交流回路 .....	28
(3) 単相交流の電圧と電流 .....	28
2. 三相交流 .....	29
(1) 三相交流波形 .....	29
(2) 三相交流回路 .....	30
(3) 三相交流の定義 .....	31
(4) なぜ三相なのか .....	31
第5章 交流の電気の表し方 .....	33
1. 交流の大きさの表し方 .....	33
(1) 基本事項 .....	33
(2) 一般事項 .....	33
① 最大値 .....	33
② 平均値 .....	34
③ 実効値 .....	34
2. 各種交流の大きさの表し方 .....	35
(1) 基本事項 .....	35
① 条件 .....	35
② 特性値 .....	36
③ 交流波形例 .....	36
3. 位相とは何か .....	37
4. 三相交流の相順と位相 .....	40
5. 三相のつなぎ方 .....	40
(1) Y結線の考え方 .....	40
(2) Δ結線の考え方 .....	41
(3) 実際の結線 .....	41
① 電源の結線方式 .....	42
② 負荷の結線方式 .....	42
6. 三相接続における電圧と電流の現れ方の違い .....	43
(1) Y-Y結線 .....	43
① 回路図 .....	43
② 電圧ベクトル図 .....	43
(2) Y-Y結線における電圧と電流の考え方 .....	44
① 回路図 .....	44

② ベクトル図	44
(3) $\Delta - \Delta$ 結線	45
① 回路図	45
② ベクトル図	45
(4) $\Delta - \Delta$ 結線における電圧と電流の考え方	46
① 回路図	46
② ベクトル図	46
(5) $Y - \Delta$ 結線	47
① 回路図	47
② ベクトル図	47
(6) $Y - \Delta$ 結線における電圧と電流の考え方	48
第 6 章 交流の基本的な性質	49
1. 交流の抵抗には 3 つの種類がある	49
(1) 直流抵抗	49
(2) 交流抵抗 ( $X_L$ : 誘導性リアクタンス)	49
(3) 交流抵抗 ( $X_C$ : 容量性リアクタンス)	50
(4) 3 つをベクトルの的に合成したインピーダンス ( $Z$ [ $\Omega$ ])	51
2. 交流の電気を抵抗、誘導性リアクタンス容量性リアクタンスに 流したときの電圧と電流の関係	53
(1) 直流回路	53
① RL 直列回路	53
② RC 直列回路	53
③ RLC 直列回路	53
(2) 並列回路	54
① RL 並列回路	54
② RC 並列回路	54
③ RLC 並列回路	54
第 7 章 交流の電力と電力量	55
1. 交流の電力には 3 種類ある	55
(1) 電圧と電流が同相の場合の電力波形	55
(2) 電流が電圧より $\frac{\pi}{2}$ 遅れている場合	56
(3) 電流が電圧より $\frac{\pi}{2}$ 進んでいる場合	57
(4) 電流が電圧より $\theta$ 遅れている場合	58
(5) 電流が電圧より $\theta$ 進んでいる場合	59
2. 皮相電力とは何をする電力	60

	ページ
(1) 皮相電力、有効電力及び無効電力の関係	60
(2) 電力から見た実効値	60
3. 有効電力とは何を表す電力	61
4. 無効電力とは何を表す電力	62
5. 電力の計算式	62
(1) 平衡三相交流回路の三相電力の計算式	63
6. 力率とは	66
7. 力率の考え方	66
(1) 力率の意味について	67
(2) 力率改善について	67
① 設備の有効利用を図る	67
② 電気料金の優遇	67
8. 交流の電力量	67
9. 電力と電力量について（補足）	68