

2021 年作成

# 船舶電気装備技術講座

(初級)

## 電気機器編

# 目 次

1 電気機器に対する一般的要求事項	1 -
1.1 一般事項	1 -
1.1.1 大きさ	1 -
1.1.2 質量	1 -
1.1.3 温度	1 -
1.1.4 湿度	2 -
1.1.5 ほこり	2 -
1.1.6 塩水飛まつ及び酸霧	2 -
1.1.7 かび	2 -
1.1.8 金属の腐食	2 -
1.1.9 動揺及び傾斜	2 -
1.1.10 振動及び衝撃	3 -
1.1.11 電圧及び周波数の変動	3 -
1.1.12 外部磁界の影響	3 -
1.1.13 誘導障害	3 -
1.1.14 風圧	3 -
1.1.15 操作、手入及び調整	3 -
1.1.16 しゃ光	3 -
1.1.17 防鼠(そ)	3 -
1.1.18 耐圧強度	3 -
1.1.19 互換性	4 -
1.1.20 機器の外被の保護等級	4 -
1.1.21 防爆構造の種類	8 -
1.2 材料及び加工方法	9 -
1.2.1 材料	9 -
1.2.2 加工方法	10 -
1.3 部品	11 -
1.3.1 ボルト、ナット及び小ねじ	11 -
1.3.2 各部品	11 -
1.4 構造	11 -
1.4.1 寸法差	11 -
1.4.2 ハンドルの取っ手等の操作と状態の表示	12 -
1.4.3 端子等の配列及び表示	12 -
1.4.4 落下強度	13 -
1.4.5 機器への電線導入	13 -
1.4.6 絶縁距離	13 -
1.4.7 機器内部配線用電線の許容電流	14 -
1.4.8 防そ構造 (防鼠構造)	14 -

1.4.9	手入等のためのふた	14
1.4.10	電氣的保安構造	14
1.4.11	接地	15
1.5	性能	15
1.5.1	定格	15
1.5.2	効率	15
1.5.3	絶縁	15
1.5.4	温度上昇	16
1.5.5	母線の定格電流	16
1.5.6	電源電圧及び周波数の影響	17
1.5.7	スイッチ、接点等の開閉容量及び寿命	17
1.5.8	遮断器、接触器の開閉耐久性能及びヒューズの遮断容量	17
1.5.9	抵抗値の許容差	20
1.5.10	発生騒音	20
1.6	表示	20
1.7	予備品及び用具	21
1.7.1	予備品	21
1.7.2	用具	21
1.8	復習問題 (1)	22
	復習問題解答	22
2	電気機器	23
2.1	交流発電機	23
2.1.1	一般	23
2.1.2	原理	23
2.1.3	種類	24
2.1.4	規定による電圧特性上の区分	30
2.1.5	自動電圧調整器	31
2.1.6	主軸駆動発電装置	38
2.2	配電盤	42
2.2.1	種類	42
2.2.2	形状 (図 2.28 参照)	43
2.2.3	保護構造	44
2.2.4	交流配電盤の計画	44
2.3	変圧器	54
2.3.1	原理	54
2.3.2	変圧比	54
2.3.3	変流比	55
2.3.4	極性及び端子記号	56
2.3.5	インピーダンス電圧 (短絡インピーダンス)	56
2.3.6	定格及び特性	56

2.3.7	種類	58
2.3.8	変圧器の接続	59
2.3.9	変圧器の定格及び特性等	61
2.4	三相誘導電動機	62
2.4.1	原理	62
2.4.2	種類	65
2.4.3	JIS 又は NK 規則電動機の相違点	66
2.4.4	三相誘導電動機の始動	67
2.4.5	始動器に関する主な事項	69
2.4.6	誘導電動機の世界制御	70
2.4.7	三相誘導電動機の単相運転防止	71
2.5	小形電動機	72
2.5.1	小形電動機の種類	72
2.5.2	各電動機類の要点	72
2.6	蓄電池	80
2.6.1	電池の種類	80
2.6.2	鉛蓄電池の原理	80
2.6.3	鉛蓄電池の構造	80
2.6.4	鉛蓄電池の化学式	81
2.6.5	鉛蓄電池とアルカリ蓄電池の比較	81
2.6.6	蓄電池の容量	82
2.6.7	船用鉛蓄電池の寸法と性能(JIS F 8101:2003)	82
2.6.8	蓄電池の充電	83
2.7	整流器と直流-交流変換装置	85
2.7.1	半導体素子	85
2.7.2	半導体整流器	90
2.7.3	非常電源用インバータ	102
2.7.4	蓄電池充電用整流装置	103
2.7.5	動力電源用インバータ	106
2.8	直流機	110
2.8.1	一般	110
2.8.2	直流発電機	110
2.8.3	直流電動機	112
2.8.4	直流電動機の始動及び速度制御	114
2.8.5	可逆運転サイリスタレオナード装置の結線方式	116
2.9	電熱装置	118
2.10	照明灯、船灯及び信号灯	118
2.10.1	光源	118
2.10.2	照明器具	121
2.10.3	防爆灯	121

2.10.4	投光照明器具	122
2.10.5	探照灯	122
2.10.6	非常灯	122
2.10.7	船灯	123
2.10.8	信号灯及び標識灯	124
2.11	船内通信装置	124
2.11.1	エンジンテレグラフ及び舵角指示器	124
2.11.2	電話装置	125
2.11.3	船内指令装置	127
2.11.4	ベル、ブザー、ホーンなどの音響信号装置	129
2.11.5	警報装置	129
2.11.6	汽笛	132
2.11.7	監視用テレビジョン	133
2.11.8	その他の警報装置	133
2.12	計測制御装置	134
2.12.1	温度計	134
2.12.2	流量計	134
2.12.3	液面計	135
2.12.4	回転計	135
2.12.5	その他の計測装置	135
2.12.6	論理制御回路の基本要素	137
2.13	航行設備	137
2.13.1	磁気コンパス(Standard Magnetic Compass)	138
2.13.2	ジャイロコンパス(Gyro Compass)	138
2.13.3	GPS コンパス	138
2.13.4	船首方位伝達装置(THD : Transmitting Heading Device)	138
2.13.5	自動操舵装置(Heading Controller)	139
2.13.6	回頭角速度計(Turn Rate Indicator)	139
2.13.7	コースレコーダ(Course Recorder)	139
2.13.8	航跡自画器	139
2.13.9	船内時計	139
2.13.10	風向風速計(Anemometer)	139
2.13.11	音響測深機(ESD : Echo Sounding Device)及び魚群探知機	140
2.13.12	船速距離計(速力航程計)	140
2.13.13	ソナー(Sonar)	140
2.13.14	無線方位測定機(方向探知器)(Radio Direction Finder)	141
2.13.15	衛星航法装置(GPS受信機 : Global Positioning System)	141
2.13.16	航海用レーダー(Marine Radar)	141
2.13.17	電子プロットイング装置(EPA : Electronic Plotting Aids)	142
2.13.18	自動物標追跡装置(ATA : Automatic tracking Aids)	142

2.13.19	自動衝突予防援助装置(ARPA : Automatic Radar Plotting Aids)	142
2.13.20	電子海図表示装置	143
2.13.21	船舶自動識別装置(AIS : Automatic Identification System)	143
2.13.22	航海情報記録装置(VDR : Voyage Data Recorder)	144
2.13.23	ワンマン・ブリッジ・コントロール・システム	144
2.13.24	船橋航海当直警報装置(BNWAS)	145
2.14	GMDSS 設備	146
2.14.1	ナブテックス受信機(NAVTEX : Navigation Telex)	146
2.14.2	インマルサット高機能グループ呼出受信機(EGC)	146
2.14.3	VHF デジタル選択呼出装置(DSC)	146
2.14.4	VHF デジタル選択呼出聴守装置 (DSC 聴守装置)	146
2.14.5	狭帯域直接印刷電信装置(NBDP)	146
2.14.6	双方向無線電話装置	146
2.14.7	極軌道衛星利用非常用位置指示無線標識装置(EPIRB)	146
2.14.8	レーダー・トランスポンダー(SART)	147
2.15	衛星通信装置	147
2.15.1	インマルサット装置	147
2.15.2	VSAT 装置	149
2.15.3	イリジウム移動衛星通信システム	149
2.16	その他の無線装置等	150
2.16.1	模写電送装置(ファックス FAX : Facsimile)	150
2.16.2	船上通信装置	150
2.16.3	衛星放送受信装置	150
2.17	復習問題 (2)	150
	復習問題解答	151
3	指示電気計器と計測	152
3.1	指示電気計器の階級と用途	152
3.2	計器取扱い上の注意	152
3.3	計器の三要素とその他部品	152
3.3.1	駆動装置	152
3.3.2	制御装置	153
3.3.3	制動装置	153
3.3.4	その他部品	153
3.4	永久磁石可動コイル形計器	153
3.4.1	直流電流計	153
3.4.2	直流電圧計	154
3.5	電流力計形計器	155
3.5.1	原理	155
3.5.2	交流電圧計	156
3.5.3	交流電流計	156

3.6	トランスデューサ形指示計器	157
3.6.1	トランスデューサ形の原理・・・電力計の例	157
3.6.2	電力計（トランスデューサ形）	158
3.6.3	周波数（トランスデューサ形）	158
3.7	可動鉄片形計器	159
3.7.1	原理	159
3.7.2	電流計	160
3.7.3	電圧計	160
3.7.4	使用上の注意	160
3.8	指示電力計	160
3.8.1	原理	160
3.8.2	直流回路の場合	160
3.8.3	交流回路の場合	161
3.8.4	接続法	161
3.9	三相電力計	161
3.10	周波数計	162
3.10.1	振動片形周波数計	162
3.10.2	電流計形周波数計	162
3.11	同期検定装置	163
3.11.1	同期検定灯	163
3.11.2	回転同期検定器	164
3.12	相順検定器（検相器）	165
3.12.1	三相誘導電動機を用いる場合	165
3.12.2	検相灯	165
3.13	電流計形力率計（三相式）	166
3.14	電気諸量測定法	166
3.14.1	直流電圧の測定	166
3.14.2	直流電流の測定	167
3.14.3	交流電圧の測定	168
3.14.4	交流電流の測定	168
3.14.5	抵抗の測定	169
3.14.6	直流電力の測定	171
3.14.7	単相交流電力・力率の測定	172
3.14.8	三相交流電力の測定	173
3.15	復習問題（3）	177
	復習問題解答	178
4	附録	179

# 1 電気機器に対する一般的要求事項

## 1.1 一般事項

船用電気機器と陸上用電気機器との相違を一言に表現することはむずかしいが船舶では航行中の運転条件、気象条件の影響、機器の装備される場所の周囲条件などが陸上与異なるので船用電気機器としては特に指定のある場合を除き次に述べるような一般的注意事項による。

### 1.1.1 大きさ

- (1) 外形寸法は使用目的、性能を損なわない範囲でできるだけ小型とすること。
- (2) 発電機、配電盤など特別の機器を除き普通の機器はハッチから出し入れできる寸法とする。特に比較的補修の機会が多い部品は小型とすること。

### 1.1.2 質量

- (1) 機器の質量はその性能、強度及び信頼性を損なわない範囲でできるだけ小さくすること。
- (2) 50 [kg] を超える機器は、吊り上げに必要な金具を備えることが望ましい。（例：発電機、電動機、配電盤、抵抗器など）  
なお、外形構造が搬入搬出に不便なものは 50 [kg] 以下でも吊り上げ金具を備えることが望ましい。
- (3) 携帯或いは移動して使用する機器は、できるだけ 50 [kg] 以下に質量を制限すること。

注記：「質量：mass」と「重量：gravity」の概念

- ① 「質量」とは、物質の量を表し、場所などの周囲状態に関係なく、不変の量のことである。例えば、宇宙空間の無重力の場所でも、地球上でも変化しない人間の質量（重量でも力でもない）などを計る単位 [kg] として、1999 年 10 月以降の国際単位系（略称を SI と呼称）で定義された。
- ② 「重量」とは、SI 単位系では使用禁止となったが、大学・高校・中学での教科書の中では、まだまだ使用されている旧重力単位系の単位 (kgf または kgw) であり、SI 単位系の「質量」とは違い、宇宙空間の無重力の場所や地球上での重力加速度の違いにより変化する単位（人間の重量など）である。

なお、物理学上では、「重量または重さ＝質量×重力加速度」の関係があると理解すればよい。

### 1.1.3 温度

- (1) 基準周囲温度の限度（以下基準温度という。）は次による。

NK 鋼船規則及び IEC の基準周囲温度の限度は、下記比較表のとおりである。しかし、特に高圧ボイラーの上部付近の高温場所あるいは冷凍室の低温場所などでは考慮を払う必要がある。



基準周囲温度比較表

NK鋼船規則	I E C
<p>すべての電気設備に適用する周囲温度の標準は次の各項によらなければならない。</p> <p>(1)海水温度：32°C</p> <p>(2)閉扉区域内：0～45°C</p> <p>(3)暴露甲板上：-25～45°C</p>	<p>周囲の空気及び冷却水の温度</p> <p>(a)周囲の空気又は冷却水の温度は次による。</p> <p>(1)供給一次冷却水：30°C</p> <p>(2)機械室の回転機の周囲温度：50°C</p> <p>(3)ケーブルの周囲温度：45°C</p> <p>(4)認定済防爆形機器の周囲温度：50°C</p> <p>(5)制御・計装機器の周囲温度：一般 0～55°C 暴露甲板 -25～55°C</p>

(2) 温度上昇の限度

機器は定格状態で動作するとき規定の温度上昇値を超えないこと。

1.1.4 湿度

機器は 1.1.3 に示す基準温度における相対湿度 95 [%] においても十分な絶縁抵抗をもち、使用上支障がないように構造、材料及び絶縁処理に考慮を払うこと。

1.1.5 ほこり

機器はほこり、油気などが浸入、たい積して沿面放電、絶縁不良などを生じないようにし、なるべく通風口のない構造とすることが望ましい。

1.1.6 塩水飛まつ及び酸霧

- (1) 機器は塩水飛まつにより腐食や絶縁不良を生じないように材料、塗装に十分考慮を払うこと。
- (2) 蓄電池室に装備する機器は酸霧に対し考慮を払うこと。

1.1.7 かび

機器の使用材料、絶縁処理及び塗装はかびの発生により絶縁不良や腐食を生じないように考慮を払うこと。

1.1.8 金属の腐食

機器の金属部は腐食の発生により支障のないよう十分な考慮を払うこと。特にアルミニウムのような軽金属と接する部分には電食防止に考慮を払うこと。

1.1.9 動揺及び傾斜

機器は船体に取付けた状態のもとで船体が次に示す角度で動揺又は傾斜しても各部に異常を生じたり誤動作をしないこと。

傾斜及び動揺に対する性能要件

	設備の種類	縦傾斜	縦揺れ	横傾斜	横揺れ
船舶設備規程	一般電気機器	10°	—	15°	22.5°
	非常電源等	10°	—	22.5°	22.5°
NK 鋼船規則	一般電気機器	5°	7.5°	15°	22.5°
	非常電源等	10°	10°	22.5°	22.5°

(注1) 非常電源等には、船舶設備規程では臨時の非常電源を含み、NK 鋼船規則では各種開閉装置（遮断器等）並びに電気及び電子器具を含む。

(注2) 左右方向と前後方向の傾斜は同時に起ることを考慮すること。

(注3) 液化ガスばら積船及び危険化学品ばら積船にあっては、船舶が浸水した状態で左右方向 30°まで使用可能なように非常電力を供給できるものであること。

#### 1.1.10 振動及び衝撃

機器は複振幅 1 [mm]、周波数 16.7 [Hz] に相当する加速度(0.558g) で周波数 5~33 [Hz] の船体の振動に耐えること。振動は船内装備の機械の回転又は往復運動、プロペラ羽根の回転角位置変化によるトルク変動及び波浪などにより発生する。また機器は船体の波浪、接岸などにより生ずる衝撃に耐えねばならない。ただし、船舶の自動化に関する自動制御及び自動監視用の装置に対しては、別に定める処による。(JIS F 8076 : 2007 船用電気設備－第 504 部:個別規定－制御及び計装参照)

#### 1.1.11 電圧及び周波数の変動

電気機器は、特殊なものを除き、指定する入力電圧及び周波数の定常的変動に対しても、支障なく動作しなければならない。

#### 1.1.12 外部磁界の影響

機器のうち外部磁界の変動により動作や示度等に狂いを生ずるものは適切な磁気しゃへいを施した構造とすること。

#### 1.1.13 誘導障害

機器は動作状態において無線通信、船内通信及び自動化機器に誘導障害を生じないように設計すること。

#### 1.1.14 風圧

暴露部に装備する機器は風圧に対して十分な強度をもつこと。

[参考] 平均風速 30 [m/s]、瞬間風速 45 [m/s] の風圧で実用上支障なく動作し、また、平均風速 40 [m/s]、瞬間風速 60 [m/s] の風圧で破壊しないこと。

#### 1.1.15 操作、手入及び調整

機器は操作、取扱及び監視が容易であり、かつ、最少限の手入、調整により連続使用できるように設計しなければならない。

手入、調整を要する部分は外部から容易に接近できるようにし、また、手入、調整のための特殊な用具はなるべく必要としないよう考慮すること。

#### 1.1.16 しゃ光

船橋に装備する機器の中で、その照明が操船その他の作業に不都合を及ぼす恐れのあるものは機械的または電氣的の光度加減器などをつけ必要に応じ減光又は完全なしゃ光ができる構造とすること。

#### 1.1.17 防鼠(そ)

機器は内部にねずみが侵入しないよう通風口など外部に通じる開口は防そ構造とすること。

#### 1.1.18 耐圧強度

機器のうちで水圧、油圧又は気圧を受ける部分は指定圧力を加えても異常を生じない強度を持つこと。

〔参考〕例えば、JEM1274:2013（船用交流発電機）の水冷空気冷却器の水圧試験は6kgf/cm<sup>2</sup>、15分間行うことになっている。

### 1.1.19 互換性

同一用途の機器はなるべく種類を限定して、多種多様にわたるのを避け、同一機種の機器は製造年月又は製造業者が異っても相互に互換性をもつことが望ましい。

### 1.1.20 機器の外被の保護等級

電気機器は、その据付場所の状況に応じ、水の浸入に対し適切な外被構造のものでなければならない。回転機の場合は、更に周囲空気の影響に対する耐久性及び使用条件等を考慮し適切な冷却方式のものを選ぶ。

以下、JIS F 8007:2004(船用電気機器－外被の保護等級及び検査通則)による。

#### (1) 保護等級

保護等級とは、機器の外被からの危険な箇所への接近、外来固形物の侵入又は水(液体)の浸入に対する保護の度合いであって、標準化された試験方法によって検証される。

また、保護等級を表わすシステムとして、IPコード(IP code : IEC60529:2001, Degrees of protection provided by Enclosures (IP Code))があり、機器の外被からの危険な箇所への接近、外来固形物の侵入、水(液体)の浸入に対する保護の等級及びそれらの付加的事項などをコード化して表すシステムである。

#### (2) IP コードの要素とその意味

IP コード要素の概要は、次のチャートによる。

要素	数字又は文字	機器に対する保護性能	人に対する保護性能
コード文字	IP	—	—
第一特性数字	0 1 2 3 4 5 6	外来固形物に対する保護 (無保護) 直径≥50mm 直径≥12.5mm 直径≥2.5mm 直径≥1.0mm 防じん形 耐じん形	危険な箇所への接近に対する保護 (無保護) 手の甲 指 工具 針金 針金 針金
第二特性数字	0 1 2 3 4 5 6 7 8	水(液体)の浸入に対する保護 (無保護) 垂直落下 落下(15°偏向) 散水 飛まつ 噴流 暴噴流 一時的水没 継続的水没	—

付加特性文字 (オプション)	A B C D	—	危険な箇所への接近 手の甲 指 工具 針金
補助文字 (オプション)	H M S W	補足表示 高圧器具 水の試験中作動 水の試験中停止 気象条件	—

- (a) 第一特性数字は、次のことを表している。
- その外被は、人体の一部、人が所持する工具などの侵入を防ぐか又は制限して、人の危険な箇所への接近に対して保護している。
  - と同時に
  - その外被は、外被内の機器を外來固形物の侵入から保護している。
- (b) 第二特性数字は、水（液体）の浸入による機器への有害な影響に対する外被の保護等級を示すものである。
- (c) 保護等級に対する簡単な説明を次表に示す。

表 1.1 危険な箇所への接近に対する保護等級

第一特性数字	意味	保護性能
0	無保護	無保護
1	手の甲が危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径50mmの接近度プローブで試験したとき、危険な箇所との間に適正空間距離が確保されている。
2	指での危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径12mm、長さ80mm関節付試験指の先端と危険な箇所との間に適正空間距離が確保されている。
3	工具での危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径2.5mmの接近度プローブが侵入しない。
4	針金での危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径1.0mmの接近度プローブが侵入しない。
5	針金での危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径1.0mmの接近度プローブが侵入しない。
6	針金での危険な箇所への接近に対して保護されている。	直径1.0mmの接近度プローブが侵入しない。

備考 第一特性数字が3、4、5及び6の場合、危険な箇所への接近に対する保護は、十分な空間距離が保たれていれば満足である。

(注：十分な空間距離は、本規格 JIS F 8007:2004 の定めるところによる。)

表 1.2 外来固形物に対する保護等級

第一特性 数字	意味	保護性能
0	無保護	無保護
1	直径50mm以上の大きさの外来固形物に対して保護されている。	直径50mmの球状の固形物プローブの全体が侵入 <sup>(1)</sup> しない。
2	直径12.5mm以上の大きさの外来固形物に対して保護されている。	直径12.5mmの球状の固形物プローブの全体が侵入 <sup>(1)</sup> しない。
3	直径2.5mm以上の大きさの外来固形物に対して保護されている。	直径2.5mmの固形物プローブが全く侵入 <sup>(1)</sup> しない。
4	直径1.0mm以上の大きさの外来固形物に対して保護されている。	直径1.0mmの固形物プローブが全く侵入 <sup>(1)</sup> しない。
5	防じん形	じんあいの侵入を完全に防止することはできないが、器具の所定の動作及び安全性を阻害する量のじんあいの侵入がない。
6	耐じん形	じんあいの侵入がない。

注<sup>(1)</sup> 外被の開口部を、固形物プローブの全直径部分が通過してはならない。

表 1.3 第二特性数字で示される水（液体）に対する保護等級

第二特性 数字	意味	保護性能	旧JIS C 0920: 1993による呼 称（参考用）
0	無保護	無保護	—
1	垂直に滴下する水に対して保護されている。	鉛直に滴下する水が有害な影響を及ぼさない。	防滴 I 形
2	15°以内で傾斜しても垂直に滴下する水に対して保護されている。	外被が垂直に対して両側に15°以内で傾斜したとき鉛直に滴下する水が有害な影響を及ぼさない。	防滴 II 形
3	散水に対して保護されている。	垂直線から両側に60°までの角度で散水した水が有害な影響を及ぼさない。	防雨形
4	水の飛まつに対して保護されている。	機器に対するあらゆる方向からの飛まつによっても有害な影響を及ぼさない。	防まつ形
5	噴流に対して保護されている。	機器に対するあらゆる方向からのノズルによる噴流水によっても有害な影響を及ぼさない。	防噴流形
6	暴噴流に対して保護されている。	あらゆる方向からの強力なジェット噴流の水が有害な影響を及ぼさない。	耐水形
7	水に沈めても影響がないように保護されている。	規定の圧力及び時間で外被を一時的に水中に沈めたとき有害な影響を生じる量の水の浸入がない。	防浸形
8	潜水状態での使用に対して保護されている。	関係者間で取り決めた数字7より厳しい条件下で外被を継続的に水中に沈めたとき有害な影響を生じる量の水の浸入がない。	水中形