

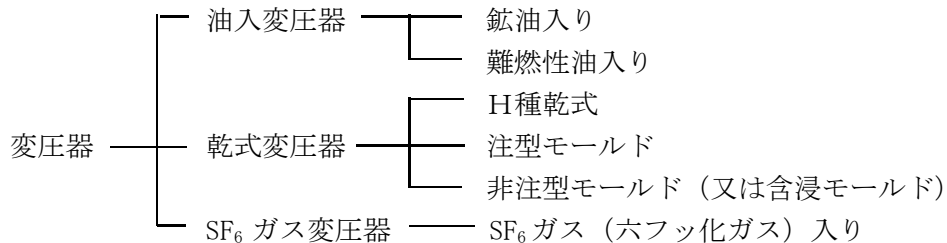
3.2 変圧器

3.2.1 変圧器の種類と構造

(1) 種類と構造

変圧器を大別すると次のように分類できる。

SF₆ガス変圧器は、絶縁と冷却媒体として不活性、不燃性、毒性のないSF₆ガスを用いる変圧器であり、特別高圧用に多く用いられているがここでは詳述しないものとする。



また、地球温暖化防止の一環として、エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律（2005年8月）（以下「改正省エネ法」という。）が施行され、その中で特に民生部門や運輸部門のエネルギー消費の増加を抑えるため、エネルギーを多く使用する機器毎に省エネルギー性能の向上を促すための目標基準（以下「トップランナー基準」という。）が設けられ、対象18品目の一つである変圧器（一部の油入、モールド変圧器）においても、損失を低減した高効率変圧器の採用が義務付けられている。

トップランナー基準に基づき油入変圧器は2006年4月から、モールド変圧器は2007年4月から高効率変圧器の採用が義務づけられている。また、2014年4月からは「トップランナー変圧器の第2次判断基準」が施行され、この基準に適合した変圧器の採用が義務づけられている。高効率変圧器の仕様、規格及び特性については本項のほか第7章7.4項を参考とする。

(2) 油入変圧器

巻線の絶縁と巻線、鉄心から発生する熱を外被、冷却器に伝える媒体として鉱油やシリコン油を用いる変圧器である。鉱油は絶縁性、冷却性に優れていることから現在最も広く使用されている。また、信頼性の向上、各種保護方式、予防保全の発達で事故は極めて少ない。しかし、鉱油は万一の火災の危険があるのが最大の欠点である。

油入（鉱油）変圧器の外観の例を図3.2-1、その構造の例を図3.2-2に示す。



図 3.2-1 油入（鉱油）変圧器の外観例

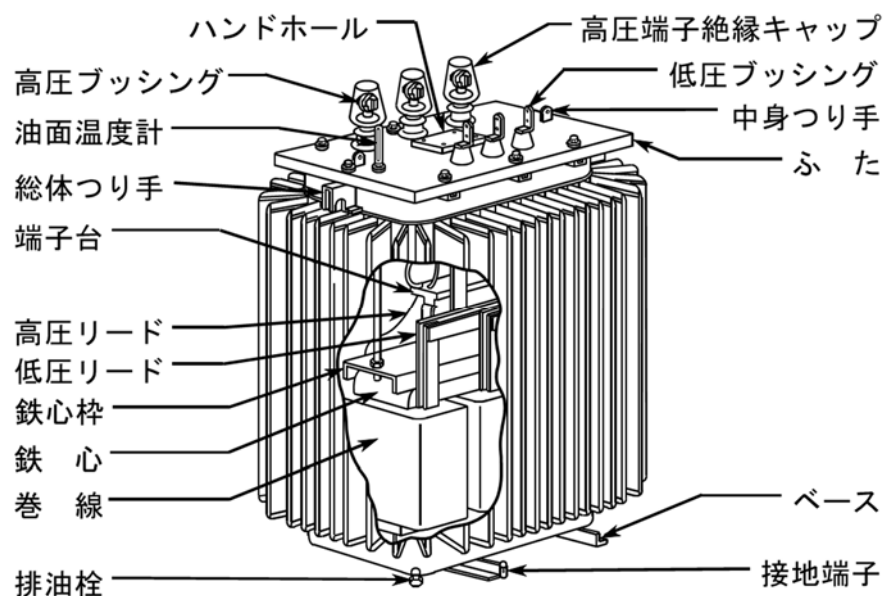


図 3.2-2 油入（鉍油）変圧器の構造例

(3) 乾式変圧器

第2次世界大戦後、防災に対する要求の高まり、絶縁材料の発達とともにまず欧米において、H種乾式変圧器が開発された。わが国でも1953年頃から製作が始まりビル等に採用されはじめ現在までに33[kV]、10[MVA]級まで多数の実績を重ねてきた。

しかし、1970年代に入ると、巻線を樹脂でモールドしたモールド変圧器がヨーロッパで開発・製作され、わが国でもその技術を導入し1975年以降急速に成長したため、H種乾式変圧器の採用は減少した。

(a) H種絶縁乾式変圧器

絶縁物として以前はマイカ・アスベスト類が使用されていたが、加工時の環境への影響等からほとんど使用されなくなり電氣的・機械的、熱的特性に優れたH種用絶縁材料が多数開発され、それらの中から耐熱性及びワニスとの適応性を考慮し、電線用にはポリイミド線やノーメックスが、また絶縁物構造材としてはアラミド系が多く用いられた。

(b) モールド変圧器

① 構造

その優れた難燃性からH種乾式変圧器が長年使用されてきたが、耐湿性及び耐塵埃性に不十分な点があり、例えば休止後直ちに入電する場合に予熱清掃が必要であった。

このため、より耐湿性・耐汚塵性を向上することが必要となり、その解決法として優れた樹脂類の開発と相まって樹脂によって巻線をモールドしたものが使用されるようになってきた。

この樹脂の条件としては絶縁性能・耐熱性能に優れ難燃性、自己消火性であることが要求される。これらの条件を満たすものとして、エポキシ、ポリエステル及びポリイミド系等が使用されている。また、更に機械的強度を高めるために、これらと添加物を調合しているものもある。

モールド変圧器の製作方法は大きくわけて、巻線をモールドする際に、金型を使用する方式(注型モールド)と、金型を使用しない方式(非注型モールド)の2方式がある。注型モールドは、絶縁電線巻線として巻きあらかじめ準備された金型内に入れて真空に引いた状態でその隙間に樹脂を充填し硬化させた後、金型をとり除く方式である。

一方非注型モールドは、高強度のガラス繊維材料等を巻線の内外周に巻いた後、樹脂を真空含浸させ加熱硬化させる方法と、前もってガラス繊維に半硬化樹脂を含浸させたものを巻線に巻いた後加熱硬化させる方法とがある。

注型モールドは金型によって成型されるので表面がなめらかであるが、金型によって寸法・形状が決まってくるので、仕様・特性面での多様なニーズに対応するには不経済となることがある。特に%インピーダンス電圧の指定、負荷パターンによる高効率運転を行うための鉄損・銅損の比を選定する場合等には金型を使用しない方式の方が有利となる場合がある。

図 3. 2-3、図 3. 2-4 にモールド変圧器の外観例を示す。



図 3. 2-3 注型モールド変圧器の外観例

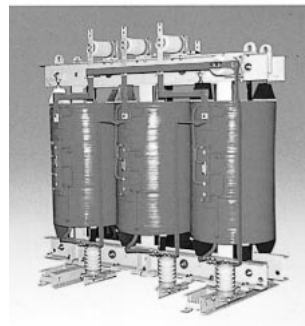


図 3. 2-4 非注型モールド変圧器の外観例

② 特 徴

(ア) 長 所

- ・災害に対する安全性が高い。
自己消火性の樹脂によりモールド化され不（難）燃性の絶縁材料を使用している
ので防災性が高い。
- ・耐汚塵性・耐湿性に優れている。
巻線の表面は耐湿性の高い樹脂によりモールド化され直接外気に触れないため、
耐湿性に優れ、塵埃の付着が少ない。
- ・保守点検が容易である。
耐湿性・耐汚塵性に優れているため、長時間休止後でも簡単な点検のみで運転再
開が可能である。
- ・堅ろうである。
巻線全体が樹脂でモールドされているため、機械的強度が大きい。

(イ) 短 所

- ・箱体又は盤内収納しなければ屋外使用ができない。
- ・油入変圧器に比べ騒音がやや高い。

ここに各種変圧器の比較表を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 各種変圧器の比較

項 目	油入変圧器	ガス絶縁変圧器	モールド変圧器
1) 耐熱クラス	A	H以下、一般にはFを適用	H以下、一般にはB、F及びH
2) 冷却方法	自冷又は強制冷却		
3) 絶縁強度		油入変圧器と同一強度	鉱油入変圧器より低い 6.6kV 以下変圧器では油入と同一
4) 耐湿・耐塵性	◎	◎	○
5) 燃焼性	油：引火点約 135℃ 着火すると、外部炎を遮断しても燃焼継続する。	ガス：不燃	モールド樹脂：難燃 着火しても表面のみ燃焼、外部炎を遮断すると自己消炎する。
6) 防災性	保護装置が適正に装備されていれば、発火の可能性は極めて低い。	不燃、非爆発性ガスを密封した構造となっており発火しない。	難燃材料で構成されており、発火しない。
7) 更新推奨時期	・20年 ・JEMA からの『汎用高圧機器の更新推奨時期に関する調査報告書』による。		
8) 運用	・耐環境性が高く、屋内外いずれにも適用できる	・単独据付、キュービクル収納又は直結ができる。	・一般屋内用 キュービクル収納に適している。
	・単独据付、キュービクル収納又は直結ができる。		
9) 製作限界		基本的に油入変圧器と同一と考えられているが、高電圧大容量に適用する場合は開発要素が高い。	・電圧 33kV 以下 ・容量 10MVA 程度以下（現状）

3.2.2 変圧器の分類

(1) 相数による分類

- a. 単相変圧器
- b. 三相変圧器

(2) 巻線の数による分類

- a. 単巻変圧器
- b. 二巻線変圧器
- c. 三巻線変圧器

(注) 二巻線が一般に多い。

(3) 冷却媒体による分類

変圧器の損失（巻線の抵抗損、鉄心に発生する鉄損等）は、ほとんど熱となり放熱する必要がある。この放熱の媒体によって次のように大別できる。

変 圧 器 方 式		冷 却 媒 体
油 入 変 圧 器		鉱 油
		難燃油（シリコーン油）
乾式変圧器	注型式モールド	空 気
	非注型式（又は含浸）モールド	

旧来はこれらの変圧器の内、安価で取扱いが簡単な油入（鉱油）変圧器が最も多く用いられてきた。しかし、近年は変圧器を盤内に収納するケースが増えてきたこと、保守がほとんど不要で、防災性の高い乾式変圧器の採用が多くなっている。

(4) 冷却方式による分類

変圧器は、巻線及び鉄心を直接冷却する媒体並びに、それらを更に冷却する周囲の冷却媒体（空気又は水）の種類と循環方式によって分類される。

冷却方式を記号で表示する場合には、冷却媒体の種類及び循環方式を、表 3.2-2 に示した順序に記号を配列する。同一変圧器で二つ以上の冷却方式を併用する場合は、それぞれの冷却方式の記号を並べて表示する。表 3.2-3 に冷却方式の記号の例を示す。

表 3.2-2 冷却方式の表示文字の配列順序と記号

文字順序	説 明	記号	冷却媒体の種類もしくは循環方式
第一文字	巻線および鉄心を直接冷却する媒体の種類	O K L A G	鉱油または燃焼点が300℃以下の合成液体 燃焼点が300℃を超える絶縁液体 燃焼点が測定できない絶縁液体 空 気 ガス（例えば、六ふっ化硫黄 S F ₆ ）
第二文字	巻線を直接冷却する媒体の循環方式	N F D	冷却器、巻線内ともに自然循環する。 冷却器内は強制循環するが巻線内には強制循環しない。 冷却器、巻線内ともに強制循環する。
第三文字	周囲の冷却媒体の種類	A W	空 気 水
第四文字	周囲の冷却媒体の循環方式	N F	自然対流 強制循環（冷却扇、ブロア、ポンプ）

備考 タンクのない乾式変圧器の場合は第一および第二文字だけで表示する。

表 3.2-3 冷却方式表示記号の例

記 号	冷却方式
O N A N	油入自冷式
O F A N	送油自冷式
O D A N	導油自冷式
O F A F	送油風冷式
O D A F	導油風冷式
O N W F	油入水冷式
O F W F	送油水冷式
G N A N	ガス入自冷式
G D A F	導ガス風冷式
A N	乾式自冷式
A F	乾式風冷式
A N A N	乾式閉鎖自冷式
A N A F	乾式閉鎖風冷式
A N A N / O N A F	油入自冷式 / 油入風冷式

冷却方式で多く採用される方式は次のとおりである。

① 油入自冷式（ONAN）

変圧器で最も普通に用いられる冷却方式で、ケース内の鉄心及び巻線を油中に浸してケースの外側を空気により自然冷却する方式で、ケースの外側は冷却面積を増すために波形にしたり、冷却フィンを設けるか冷却パイプを付けたりするのが一般的である。

② 乾式自冷式（AN）

乾式変圧器に適用され油を用いず、鉄心及び巻線を単に空気により冷却する方式である。この方式では冷却効果が低下するため耐熱性の良い絶縁物を使用したH種、F種及びB種絶縁が多く使用される。また、A種絶縁の乾式変圧器もあるが一般に小容量のものに使用されることが多い。

③ 乾式風冷式（AF）

乾式自冷式変圧器に対して別に設けられた送風機で強制冷却を行う方式で、大容量のものや特殊用途のものに使用される。

④ 油入風冷式（ONAF）

油入自冷式変圧器の放熱器にファンを取付けて強制冷却を行う方式である。

農業農村整備事業で用いられる受変電設備には次の変圧器が多く採用されている。

- ・ 単独屋内／屋外設置用、油入変圧器→ONAN（油入自冷）
- ・ 盤内収納屋内／屋外用、モールド変圧器→AN（乾式自冷）

(5) 設置場所による分類

- a. 屋内屋外単独設置：単独設置の場合、ケーブルダクトやバスダクトを用いて配電盤と接続するケースが多い。
- b. 盤内収納設置（屋内又は屋外設置）

（注）1：変圧器を盤内に収納することにより次のメリットがある。

- ・ 安全性、信頼性が高くなる。
 - ① 充電部の閉鎖と万一の盤内事故による外部への危険性の低減と事故拡大の防止。
 - ② 変圧器の対環境保全、外部からの損傷を防止するとともに小動物侵入による事故防止。
- ・ 保守性が良くなる ————— 塵埃等の付着が少なく変圧器の点検が容易にできる。

(注) 2：一般に 1000 [kVA] 程度までの変圧器を収納するケースが多く、その概略寸法は以下のとおりである。なお詳細は 3.3.4 配電盤の構成と選定を参照。

変圧器容量 [kVA]	盤寸法 [mm]			変圧器の収納方向
	W(幅)×D(奥行)×H(高)			
500	1000	×2000	×(2300+α)	縦方向
1000	1400	×2000	×(2300+α)	縦方向

換気ファン付の場合は+α：(400 程度)

(6) 油入変圧器の油劣化防止方式による分類

絶縁油は外気に直接接触すると吸湿及び酸化等により劣化するので、各種の防止方式(図 3.2-5 参照)がある。500 [kVA] 以下は一般に呼吸口のみで対策し、油劣化の対策はとられていない。

油劣化防止方式	図 例	備 考
ブリーザ式		・ 500 [kVA] を超えるものから 1000 [kVA] 以下に適用する。 ・ 活性アルミナを設け、油劣化防止を行う場合もある。
空 気 窒 素 ・密閉式 (コンサベータ なし)		・ 変圧器内に空気又は窒素を封じ込め外気から遮へいする構造で一般に多く用いられる方式である。 ・ 1000～2000 [kVA] に適用 ・ 主として特高用として採用される。
隔 膜 式		・ コンサベータ内に隔膜を設け変圧器内の油が外気と接触するのを防止する。又隔膜は油の膨張で上下するのでブリーザを通して呼吸させる。 ・ 5000～10,000 [kVA] に適用 ・ 主として特高用として採用される。

図 3.2-5 変圧器の油劣化防止方式

3.2.3 変圧器の定格と特性

変圧器は、JEC-2200-(2017)、JIS、JEM に詳細規定されており、7.4 項に JIS に規定されている変圧器の特性を記載する。以下に JEC-2200 に規定されている標準的仕様を示す。

(1) 標準容量

単相及び三相変圧器の標準容量を表 3.2-4 (JEC-2200 推奨) に示す。

なお、トッランナー基準 (油入: JISC4304、モールド: JISC4306) に基づき、単相 10~500kVA (油入、モールド) 及び三相 20~2000kVA (油入、モールド) においては、高効率変圧器の採用が義務付けられている。

表 3.2-4 単相、三相変圧器の標準容量

(a) 単相変圧器の標準容量 [kVA]

	1.5	15	150	1 500	15 000
	2	20	200	2 000	20 000
	3	30	300	3 000	30 000
	5	50	500	5 000	50 000
	7.5	75	750	7 500	
1	10	100	1000	10 000	

(b) 三相変圧器の標準容量 [kVA]

	15	150	1 500	15 000	150 000
	20	200	2 000	20 000	200 000
					250 000
	30	300	3 000	30 000	300 000
			4 500	45 000	400 000
5	50	500		50 000	450 000
			6 000	60 000	
7.5	75	750	7 500		
10	100	1000	10 000	100 000	

(注) 本指針は、高圧受変電設備のため、上表の容量は、2000kVA 以下に適用する。

(2) 標準定格電圧及び標準タップ電圧

JEC-2200 の抜粋を表 3.2-5 に示す。農業農村整備事業用で一般に用いられるのは分類 C 及び D に属する。詳細は表 3.2-14~表 3.2-15 変圧器の標準仕様を参照。

タップ電圧の前の記号 F、R 及び無記号は次のとおりである。

F : 全容量タップ電圧

R : 定格容量タップ電圧

無記号 : 低減容量タップ電圧 (容量を定格電圧とタップ電圧の比に低減して使用する。)

表 3.2-5 標準定格電圧と標準タップ電圧

分 類 ⁽¹⁾	一次電圧 [%] ⁽²⁾	二次電圧 [%] ⁽²⁾
A	注(3)参照	F115/R110/F105 または、 F110/R105/F100 ⁽⁴⁾
B	F115/R110/F105 (F115) ⁽⁵⁾ /F110/R105/F100 または、 (F110) ⁽⁵⁾ /F105/R100/F95	R110 または、 R105 ⁽⁴⁾
C	(F115) ⁽⁵⁾ /F110/R105/F100 または、 (F110) ⁽⁵⁾ /F105/R100/F95	R115 または、 R110 ⁽⁴⁾
D	F112.5/R110/F107.5/F105/102.5 または、 R110/F105/100	注(6)参照

注(1) 変圧器の分類は参考表2による。

(2) 本表の電圧値は、公称回路電圧を1.1で除した値に対する百分率で表してある。

(3) 分類Aの変圧器の定格一次電圧は、電圧変動率を考慮して、発電機端子電圧より0～5%低い値を選定する。

(4) 負荷端までの送電距離の短い場合に適用する。

(5) かっこ内のタップ電圧は、一次回路電圧が77kV以下の場合に適用する。

(6) 分類Dの変圧器の定格二次電圧は、105Vおよび210Vとする。

参考表2 変圧器の分類

略 号	分 類
A	発電機電圧から高圧または特別高圧に昇圧する変圧器
B	特別高圧から他の特別高圧に昇圧する変圧器
C	特別高圧または高圧から高圧に降圧する変圧器
D	高圧から低圧に降圧する変圧器

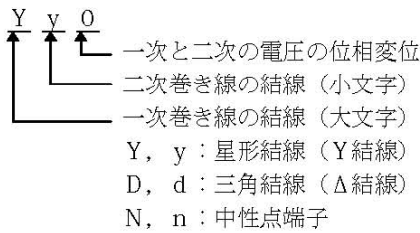
(3) 標準結線

(a) 一般に多く用いる三相、単相変圧器の結線を図 3.2-6 に示す。

① 三相変圧器の結線

ベクトル図		接続記号 (注1)	結線図
一次	二次		
		Yy0	
		Yd1	
		Dd0	
		Dyn11	

注1) 記号の説明



位相変位：一次巻き線の電圧ベクトルを時計の分針と見なし、二次巻き線のベクトルを時計と見なしたとき、分針が0の位置のとき時計の示す時数で表す。

② 単相変圧器の結線

回路方式	結線図	
1φ3W専用	(a)	(b)
1φ2W	(a)	(b)

③ スコット変圧器の結線

回路方式	1φ2Wまたは1φ3W	
接続図	一次	
	二次	

図 3.2-6 変圧器の標準結線

(b) 結線の適用

- ① Y-Δ Δ結線は第3高調波励磁電流を循環する利点がありYを高圧1次側、又は Δ低圧2次側とする受変電用変圧器に多く用いられる。また、Δを高圧 Δ-Y 1次側、Yを低圧2次側とし、低圧側を400〔V〕級配電とする場合に用いる。これは低圧側を中性点接地し利用できるからである。
- ② Δ-Δ 単相変圧器3台を用いてこの結線にする場合1台を将来設置することとして、当初はV結線で運転したり、1台故障時V結線で応急運転が可能である。しかし、三相変圧器の信頼性が高いこと、設置スペースが少ないこと、単相3台より安価等の理由からV結線はあまり利用されなくなってきている。
- Δ-Δは両方共第3高調波励磁電流を循環することから正弦波電圧を誘起する反面、中性点をとれない欠点はある。しかし、高圧は非接地系であることから中大容量の配電用、受変電用に用いる。また、6〔kV〕／3〔kV〕級変圧器として良く用いる。
- ③ Y-Y 中性点を接地できる1次、2次の位相が同じであるが、第3調波電流の循環ができないので電圧がひずみ、通信線に障害を発生する。したがって、小容量変圧器への適用が多く見られる。
- ④ スコット 3相から照明負荷等の単相負荷を多くとると3相側が不平衡電圧となり、3相負荷や予備発電機に悪影響を与える場合がある。したがって、特にまとまって単相負荷をとる必要のある場合は3相側を平衡にする機能のあるスコット変圧器を用いると便利である。ただし、スコット変圧器を採用する場合は単相回路を等容量2系統に分割する必要がある ((3)(a)③ スコット変圧器結線を参照)。

一般的に使用する変圧器の結線をまとめると表3.2-6になる。

表 3.2-6 一般的な変圧器の結線

一次電圧	二次電圧	結 線	備 考
6.6〔kV〕	210〔V〕	Y-Y	50〔kVA〕以下に適用
		Y-Δ	50〔kVA〕超過に適用
6.6〔kV〕	440(420)〔V〕	Δ-Y	

なお、結線の適用例については表3.2-14、表3.2-15 変圧器の標準仕様参照。

(4) 短絡インピーダンス

(a) 変圧器の短絡インピーダンスと電圧変動率

- ① 変圧器の電圧降下

変圧器の2次巻線において負荷を接続すると2次巻線の端子電圧が無負荷時より若干降下する。その理由は次のとおりである。

変圧器の1次及び2次巻線には巻線抵抗があり、負荷電流の有効分に比例する抵抗電圧降下を発生する。一方、1次及び2次巻線には各々の巻線とのみ交わる漏れ磁束によって生ずる漏れリアクタンス（交流回路特有の一種の抵抗と考えることができ以下単にリアクタンスという。）があり、負荷電流の有効分に比例するリアクタンス電圧降下を発生する。これら2つの電圧降下の合成の電圧降下、即ちインピーダンス電圧降下を発生するからである（図 3.2-7 参照）。このインピーダンス電圧降下とその巻線の定格電圧に対する百分率を短絡インピーダンスといい、次式で表される。

$$\text{短絡インピーダンス (\%Z)} = \frac{\text{インピーダンス電圧降下 [V]}}{\text{定格電圧 [kV]} \times 10}$$

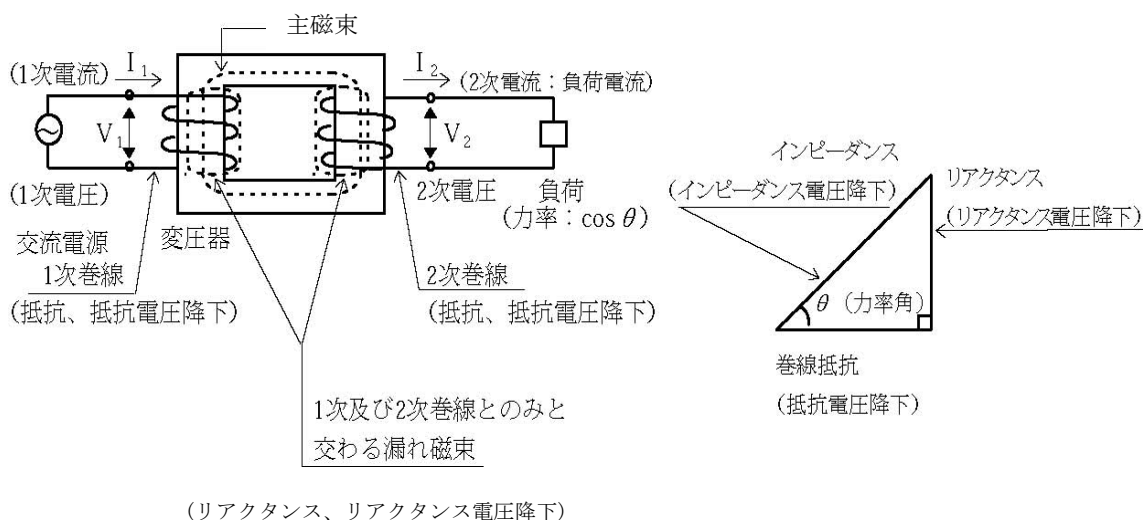


図 3.2-7 変圧器の電圧降下

変圧器の短絡インピーダンスは変圧器の容量を基準に表している。

短絡電流の計算を行う際、すべての短絡インピーダンス電圧を基準容量に換算後計算を行う必要がある。基準容量へ換算するには次の式を用いる。一般に基準容量は 10 [MVA] 又は、1,000 [kVA] とすることが多い。

$$\text{短絡インピーダンス(基準容量)} = \frac{\text{kVA (基準容量)}}{\text{kVA (変圧器容量)}} \times \text{短絡インピーダンス(変圧器容量)}$$

また、インピーダンスがオーム [Ω] 値で表されている場合の短絡インピーダンスへの変換は次式による。

$$\text{短絡インピーダンス} = \frac{\text{インピーダンス [Ω]} \times \text{kVA(基準容量)}}{\text{定格電圧 (kV)}^2 \times 1,000}$$

短絡インピーダンスは単に%インピーダンスと表現する場合もある。

② 電圧変動率 ε [%]

変圧器の電圧変動率は指定された電流（通常定格電流）と力率（ $\cos \theta$ ）及び定格周波数の負荷を2次巻線に加えその端子電圧を2次定格電圧とする。その時の1次巻線端子電圧をそのまま変えずに、2次巻線の負荷を無負荷とした時の2次巻線の電圧の変動（電圧上昇分）の2次定格電圧に対する百分率で表される。

ここで変圧器の百分率抵抗降下を q_r [%]、百分率リアクタンス降下を q_x [%] とすると電圧変動率 ε は次式で表される。

$$\varepsilon = (q_r \cos \theta + q_x \sin \theta) + \frac{(q_x \cos \theta - q_r \sin \theta)^2}{200} \quad [\%]$$

特に、力率（ $\cos \theta$ ） = 1 の場合の電圧変動率 $\varepsilon_1 = q_r + q_x^2 / 200$ [%] となる。（この ε_1 については変圧器の特性等とともに JIS で規定されている範囲のものは 7.4 項参照）

また、上式の第3項を省略し、次の実用式で表わされる。

$$\varepsilon = q_r \cos \theta + q_x \sin \theta$$

なお、短絡インピーダンスはその変圧器固有の値で銘板に記載され、次のような意味を持っている。

- ・ 負荷を接続した時に負荷電流と負荷の力率（ $\cos \theta$ ）によって決まる電圧変動率を生じる。
- ・ 負荷側で万一短絡を生ずると大きな短絡電流が流れる。その短絡電流の大きさを抑えるのが変圧器のインピーダンスでこの点からは短絡インピーダンスは大きい方が有利となる。
- ・ 同一容量の複数台の変圧器の並列運転を行う場合、等しい短絡インピーダンスを持つことが条件となる。

また、変圧器の励磁突入電流により配電系統の電圧から 10% を超えて低下させるおそれがある場合は、励磁突入電流の抑制対策を講じること。

（注 1）変圧器の励磁突入電流の大きさは、変圧器の鉄心特性、遮断機の突入位相、配電線のインピーダンス等に依存するため、対策について電気事業者と協議を行うこと。

（注 2）変圧器の励磁突入電流の抑制対策には変圧器一次側への限流抵抗（又は限流リアクトル）の設置、変圧器の分散設置による順次投入、磁束密度を低減した変圧器の採用がある。

（上記は「高圧受電設備規程 JEAC8011・2014 1150・8 変圧器」による）

(b) 標準短絡インピーダンス

変圧器の短絡インピーダンスは、変圧器に負荷を接続した時の2次側の電圧降下を少なくするためには、小さい値が好ましいが、反面、2次側で短絡事故を発生した場合の遮断容量を小さくする面では大きい値を持つ方が好ましいという2つの相反する要求がある。

製造者により、インピーダンスが異なることから、各製造者に確認した数値を用いて、経済設計等を検討する。

設計段階で短絡インピーダンスが不明の場合は表 3.2-7 を使用する。

表 3.2-7 設計時に用いる変圧器の短絡インピーダンス

(a)二次電圧が高圧の場合

公称一次電圧 [kV]	インピーダンス [%]	公称一次電圧 [kV]	インピーダンス [%]
77	7.5	22	5.0
66	7.5	11	4.5
33	5.5	6.6	3

(b)二次電圧が低圧の場合

種 別	公称電圧 [kV]		インピーダンス [%]					
	一次	二次	25~100 [kVA]	300~750 [kVA]	1,000 [kVA]	1,500 [kVA]	2,000 [kVA]	2,500 [kVA]
油 入	0.4	0.1 0.2	2.0~3.0	—	—	—	—	—
乾 式	0.4	0.1 0.2	3.5~4.5	—	—	—	—	—
油 入 乾 式	3.3 6.6	0.4	4.5	5.5	7.5	—	—	—
油 入 乾 式	22 33	0.4	—	5.5	7.5	7.5	7.5	8.5

〔注〕電気学会 工場配電より

6.6kV/0.2kV の場合のインピーダンスは、6.6kV/0.4kV を参考値とする。

(5) 変圧器の絶縁強度

変圧器は、送配電線から受電するため、雷サージ（衝撃電圧又はインパルス電圧）等にさらされる機会が多く、ある程度までの雷サージ等が変圧器に侵入しても十分これに耐えるように設計する。雷インパルス耐電圧試験に耐える設計とした変圧器の試験電圧値を表 3.2-8 に示す。一般に 6 [kV] 高压油入変圧器及びモールド変圧器の雷インパルス試験電圧値は 60 [kV] を用いる場合が多い。

表 3.2-8 雷インパルス耐電圧試験に耐える設計の変圧器巻線路端子の試験電圧値

公称電圧 [kV]	試 験 電 圧 値 [kV]			備 考 (旧 JEC による表現) (絶縁強度)
	雷インパルス耐電圧試験		短時間交流 耐電圧試験 (実効値)	
	全 波	裁 断 波		
3.3	30	—	10	3B
	45	50	16	3A
6.6	45	—	16	6B
	60	65	22	6A

(6) 絶縁の耐熱クラスと許容最高温度

変圧器は構成する絶縁材料の耐熱特性によって、A種、E種、B種、F種、H種、200、220 及び 250 に分類される。

変圧器の各種絶縁材料は、表 3.2-9 に示す各耐熱クラス毎の許容最高温度を長時間持続して超えてはならない。また、連続負荷の油入変圧器の温度上昇限度を表 3.2-10 に、連続負荷のガス入変圧器及び乾式変圧器の温度上昇限度を表 3.2.11 に示す。

表 3.2-9 各耐熱クラスの許容最高温度（JEC-2200（2017））

耐熱クラス	許容最高温度 [°C]
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
500	250

表 3.2-10 連続負荷の油入変圧器の温度上昇限度 (JEC-2200 (2017))

変 圧 器 の 部 分		温度測定方法	温度上昇限度 ⁽¹⁾ [K]
巻線	油自然循環の場合 (ON, OF)	抵抗法	55
	油強制循環の場合 (OD)	抵抗法	60
油	本体タンク内の油が直接外気と接触する場合	温度計法 ⁽²⁾	50
	本体タンク内の油が直接外気と接触しない場合 ⁽³⁾	温度計法 ⁽⁴⁾	55
鉄心その他の金属部分の絶縁物に近接した表面		温度計法 ⁽⁵⁾	近接絶縁物を損傷しない温度

注 (1) 使用状態や適用絶縁材料を踏まえて、温度上昇限度を、以下の値に指定してもよい。

巻線の温度上昇限度 (ON, OF) : 65K, (OD) : 70K, 油の温度上昇限度 60K

(2) 油表面近くで温度を測定する。

(3) 開放形コンサベータ付の場合を含む。

(4) 本体タンク内の頂部近くで温度を測定する。

(5) タンク内の金属部分の温度は特に測定しなくてよい。

表 3.2-11 連続負荷のガス入変圧器および乾式変圧器の温度上昇限度 (JEC-2200 (1995))

変圧器の部分	温度測定方法	耐熱クラス	温度上昇限度 (K)
巻線	抵抗法	A	55
		E	70
		B	75
		F	95
		H	120
鉄心表面	温度計法		近接絶縁物を損傷しない温度

備考 1. H を超える耐熱クラスの場合の温度上昇限度は、注文者と製造者の協議により定める。

2. ガス温度上昇については特に規定しない。

(7) 変圧器の特性

現在 JIS で規定している変圧器の特性は 7.4 項を参照。

(8) その他 (混触防止板 (非標準))

電気設備の技術基準の解釈第 24 条において、高圧又は特別高圧から低圧に降圧する変圧器の二次側一線又は中性点が接地できない場合混触防止板を設けることが義務付けられている。高圧と低圧巻線間は十分絶縁を施してあるが万一絶縁破壊を起こすと、低圧巻線に、高圧の異常電圧がかかり危険である。この為、高低圧巻線間の絶縁物の間に導体 (一般に銅板) を巻きこれを接地することにより、低圧に異常高圧がかかることを防ぐが、この目的で使用する導体を混触防止板と言う。一般に速度制御装置用の変圧器はこれを付属する場合が多い。

(9) 変圧器の騒音

(a) 騒音発生原因

変圧器は運転すると低周波のブーンと言う音を発生する。これは鉄心が磁界の大小に従って、伸び縮みするいわゆる磁歪現象を発生するためで、主として鉄心の継ぎ目で起こる。

この騒音は、特に住宅地域で問題になるので施設の境界線で騒音防止法や各都道府県で制限値が設けられ規制されている。(各都道府県で多少異なるが、住居地域で昼間 50~55 [dB(A)]、朝夕 45~50 [dB(A)]、夜間 40~45 [dB(A)] 程度である。)

(b) 変圧器の騒音測定と距離減衰

変圧器本体の騒音は騒音計（JIS C 1509(2017)）で変圧器の騒音レベル測定方法（JEC2200(2017)）に定める方法で計測する。

騒音は発生源からの距離で減衰する。この様子を図 3.2-8 に示す。

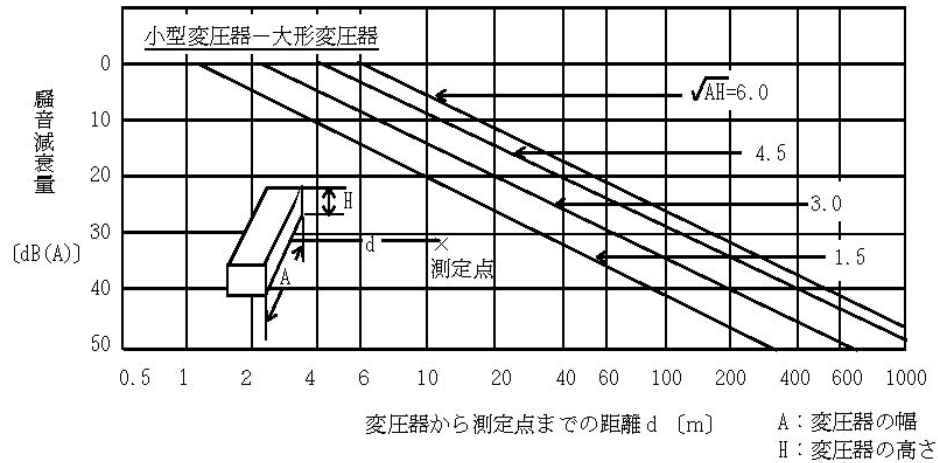


図 3.2-8 変圧器騒音の距離による減衰

(c) 騒音対策

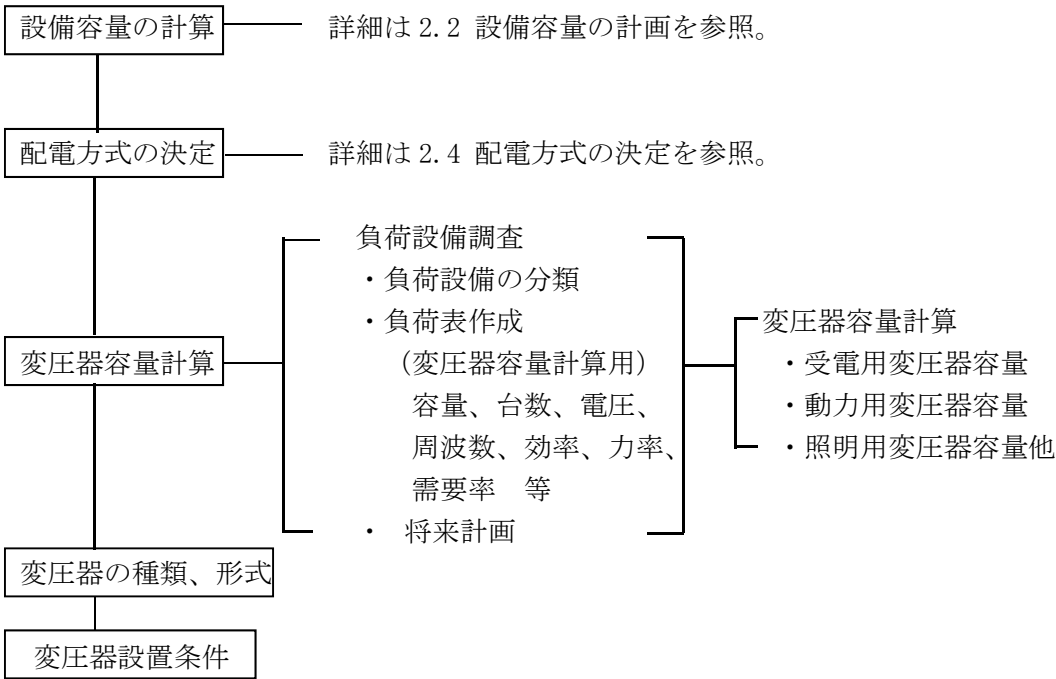
距離減衰で規定値を満足すれば問題ないが、もし満足しない場合は発生源側の対策を要する。その主なものは下記のとおりである。

- ① 磁束密度を低く設計する。
- ② 磁歪の少ない鉄心を使用する。
- ③ 中身の防振支持（防振ゴム）
- ④ タンクの補強

軽減すべき騒音値が 5～10 [dB] の場合は①、③、④等が経済的である。いずれにしても、特殊設計となるので、事前調査し、低騒音対策が必要かどうか明確にする必要がある。

3.2.4 変圧器の選定要領

変圧器の選定に当たっては以下の手順で行う。



以下に設備容量の計画、配電方式の決定に基づき、変圧器容量計算、変圧器の種類、形式の選定及び変圧器設置条件について述べる。

(1) 負荷設備調査

変圧器選定に当たっては、負荷の種類、運転台数、特性及び将来増設計画等の負荷設備調査が必要である。これらの負荷設備は関連する機械設備、建屋付帯設備計画により決定される。

(a) 負荷設備の分類

- ・ 動力負荷……………主機（ポンプ、ゲート等）、補機（予備発電機用補機を含む）、除塵機及び処理装置、直流電源装置、無停電電源装置等
- ・ 照明設備……………白熱灯、蛍光灯、水銀灯
- ・ 空調設備……………ユニットクーラー等
- ・ その他クレーン、換気装置、通信設備等

(b) 負荷表の作成

- ① 表 3.2-12 に示す負荷表を作成する。この段階では設備の要求から最適の電動機出力、定格電圧、周波数、極数等の大要が決まっているものとする。
- ② 負荷表は、変圧器単位に作成する。なお、変圧器区分は 2.4 配電方式の決定の項を参照。

受電用変圧器：6 [kV] / 3 [kV] 級変圧器又は動力用変圧器を併用する場合もある。
動力用変圧器：6 [kV] 又は 3.3 [kV] / 400 [V] 又は 200 [V] 級
照明用変圧器：6 [kV] 又は 3.3 [kV] / 200－100 [V] 又は 400 [V] / 200－100 [V] 級

（注） 1 照明変圧器を動力変圧器の下に接続する場合は、動力変圧器に照明負荷を加算しなければならない。標準の単相変圧器の場合は、照明負荷容量の $\sqrt{3}$ を加算し、スコット変圧器の場合は照明負荷容量をそのまま加算する。

③ 負荷表には、設備台数及びその内数である予備台数を記入し、予備機及び同時に運転しない負荷は除外し、実働容量とする。

④ 負荷の効率(η)、力率(pf)は次による。

低圧電動機効率：JIS C 4210(参考資料表 7.5-1)

JIS C 4212(参考資料表 7.5-2)

同 上 力率：コンデンサ付 0.9 コンデンサ無 JIS C 4210

高圧電動機効率：6kV 3.1 項の図 3.1-9

3kV JEM 1381(参考資料表 7.5-3)

メーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料

力率：コンデンサを含む力率とする。

照 明 負 荷 効 率：0.8

力 率：0.833

} (電気供給約款高効率形蛍光灯)

ただし、照明負荷が[kVA]で表示されている場合は、その値を P_s として記入する。

⑤ 電動機の始動電流

負荷表において、始動電流欄は電動機始動時の変圧器2次電圧降下を許容値以内に抑える変圧器容量の算出に利用する。したがって、変圧器にかかる最大電動機の始動電流のみを記入する。

電動機の始動電流 I_s は次による。

低圧電動機、6kV 電動機の場合は④で求めた特性により定格電流を算出し、次の計算による。

かご形 $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 900\%)$

標準として

低圧電動機 714 [%]

高圧電動機 555 [%]

巻線形 $I_s = \text{定格電流} \times (100 \sim 150\%)$

計画段階としては150%とする。

3kV 高圧電動機の始動電流は参考資料表 7.5-3 JEM1381(1993)による。

メーカーがわかっている場合はメーカーの資料

⑥ 需要率は総負荷設備容量に対する運転時最大需要電力の割合をいう。

$$\text{需要率} = \frac{\text{最大需要電力 [kW]}}{\text{総負荷設備容量 [kW]}} \times 100$$

最大需要電力とは下図のような需要家の日負荷曲線においてもっとも多く電力を使う値を最大需要電力という。つまり、電動機等はそれぞれの定格容量目いっぱいを使うことはほとんどないし、時間的に連続運転するもの、間欠運転するもの等さまざまである。また、全部の負荷が同一時間に集中してかかるわけではない。したがって、変圧器容量はこの最大需要電力を満足するように決める。その容量は負荷の算術和で求めた総負荷設備容量より小さい値となる。全体の需要率を規定することは難しいので、本指針では、各負荷毎に運転状況に基づく集計用の需要率を次のように定める。

連続運転：0.9(主ポンプ、冷却水ポンプ等)

間欠運転：0.5(吐出弁、所内排水ポンプ、ゲート等)

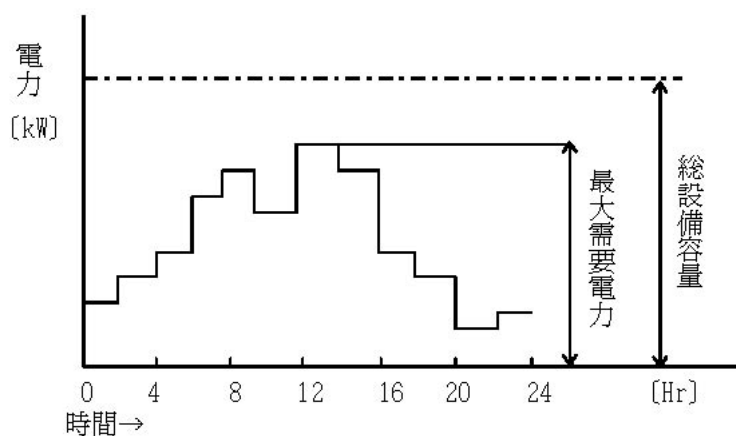


図 3.2-9 最大需要電力

表 3.2-12 負 荷 表

NO.	負荷名称	単機容量 P [kW]	電 位 [V]	設 備 台数	予 備 台数	効 率 η	力 率 pf	始動電流 I_s [A]	実働容量 P_o [kW]	入 力 P_{in} [kW]	入 力 P_q [kvar]	入 力 P_s [kVA]	需要率 β	$P_{in} \times \beta$ [kW]	$P_q \times \beta$ [kvar]	$P_s \times \beta$ [kVA]	備 考
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

- 計算方法
- $P_o = P \times (\text{設備台数} - \text{予備台数})$ [kW]
 - $P_{in} = P_o / \eta$ [kW]
 - $P_q = P_s \times \sqrt{1 - (pf)^2}$ [kvar]
 - $P_s = P_{in} / pf$ [kVA]

(c) 将来計画

将来の増設、改造計画などを予想し、必要な場合は余裕を見込んでおく必要がある。負荷の増加のたびに変圧器を追加設置することはバンク数が増えるだけでなく付属の開閉装置、保護装置が複雑となり、運転、管理、保守の簡易化が図られないうえに、設置場所に余裕がない場合には、電源を分割配置せざるをえないことになる。したがって、増設時期の想定を誤らないよう関係方面とよく打合せておくことが大切である。

特に将来増設する負荷が解っている場合は、負荷表に組込んで計画する。

(2) 変圧器の容量計算

変圧器容量計算には計算法1、計算法2がある。

計算法1の結果は全体負荷の定常時必要な変圧器容量であり、設備負荷の中で最大のかご形電動機の始動時容量が小さく、変圧器2次側の電圧を大きく降下させる心配のない場合に適用する。

もし、その始動容量が大きく、変圧器2次電圧降下が懸念される場合は、計算法2により2次電圧降下を考慮して変圧器容量を算出する。

すなわち、定常時必要な容量と変圧器にベース負荷がかかっている状態で、その最大のかご形電動機を始動しても、変圧器2次母線における電圧降下が10%以内に抑える変圧器容量の両方を算出し、大きい容量をもとに最終的に変圧器容量を決定する。

以下これらの計算法の具体的適用について述べる。

(a) 計算法1の適用

- ① 負荷が明らかに小容量電動機群（補機電動機等）他の場合。
- ② 主機用電動機等が巻線形で、その他小容量電動機群（補機電動機等）の場合。

（注）この方法を適用する概略の目安として、負荷表の中の最大かご形電動機容量 P_{OM} [kW]がこの計算法1で算出した変圧器容量計算値 T [kVA]として、下式を満足する場合とする。

$$P_{OM} \text{ [kW]} \times K < \frac{T \text{ [kVA]}}{5}$$

ただし、 K ＝減電圧始動係数（直入れ＝1.0、その他減電圧始動係数は3.1項電動機、表3.1-11電源側始動電流参照）

$$\text{もし、} P_{OM} \text{ [kW]} \times K \geq \frac{T \text{ [kVA]}}{5} \text{ の場合は計算法2で計算する。}$$

(b) 計算法2の適用

- ① 負荷表の主機用電動機等がかご形で、表中の最大のかご形電動機の始動容量が大きく、変圧器2次側の電圧降下が大きくなることが懸念される場合。〔計算法1（注）の概略目安として計算法2で計算を要する場合等〕

第3章 機器の選定

② 計算法1で計算し、標準容量をわずかに超え、1ランク上の標準容量となるような場合、計算法2で再チェックする。

(c) 計算法1

計算法1で求める変圧器容量 P_{T1} [kVA] は次式で求まる。

$$P_{T1} = \Sigma (P_s \times \beta) \times \alpha \quad [\text{kVA}]$$

P_s : 入力容量 [kVA]

$$P_s = \frac{P_0}{\eta} \times \frac{1}{\text{Pf}} \quad [\text{kVA}]$$

P_0 : 実働負荷定格出力 [kW]

η : 同上負荷効率 …

- ・ 低圧電動機 参考資料 7.5 項の表 7.5-1, 2 参照
- ・ 6 [kV] 高圧電動機 3.1 項の図 3.1-9 参照
- ・ 3 [kV] 高圧電動機 JEM 1381 参考資料表 7.5-3 参照
- ・ 電動機のメーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料
- ・ 照明: 0.8

Pf : 同上力率 ………

- ・ 低圧電動機にコンデンサを設けた場合は 0.9
- ・ 低圧電動機にコンデンサを設けない場合は参考資料 7.5 項表 7.5-1 参照
- ・ 高圧電動機は進相コンデンサを含めた値とし計算結果による
- ・ 照明: 0.833

β : 同上需要率 …………… 電動機

連続運転負荷=0.9

間欠運転負荷=0.5

照明・その他 運転状況で 0.9
(想定した値)

α : 余裕率 …………… 1.1

上記計算結果から変圧器容量の選定に当たっては直近上位の標準容量とする。

(d) 計算法2

詳細に容量計算を行う計算手順を以下に示す。

① 定常時に必要な容量

負荷表により入力($P_{in} \times \beta$) [kW]、入力($P_q \times \beta$) [kvar] の合計を求め、次式より定常時に必要な変圧器の容量 P_{T2-1} [kVA] を算出する。

$$P_{T2-1} = \sqrt{\{\Sigma (P_{in} \times \beta)\}^2 + \{\Sigma (P_q \times \beta)\}^2} \times \text{余裕率 } \alpha \text{ [kVA]}$$

$$P_{in} : \text{有効分入力} \quad \frac{P_0}{\eta}$$

$$P_q : \text{無効分入力} \quad P_s \times \sqrt{1 - (Pf)^2}$$

α : 余裕率 1.1

② 電動機始動時に必要な容量

最大容量の電動機を最後に始動する時が最も重負荷となる。電動機の始動電流を I_s [A]、電圧を V [V]、始動力率を Pfs とすれば、始動時の合計容量は次のとおりとなる。

(ア) 基底負荷容量

基底負荷容量は各負荷の入力容量 $P_{in} \times \beta$ [kW]、入力容量 $P_q \times \beta$ [kvar] の合計から最大容量電動機の定常時における有効電力 P_m [kW]、無効電力 P_{qm} [kvar] を引いたものである。基底負荷の入力 P_B [kW] 及び入力 P_{qB} [kvar] は次式より求まる。

$$P_B = \Sigma (P_{in} \times \beta) - P_m \text{ [kW]}$$

$$P_{qB} = \Sigma (P_q \times \beta) - P_{qm} \text{ [kvar]}$$

(イ) 最大電動機始動容量

最大容量の電動機を始動したときの始動容量 P_{sms} [kVA] は次式となる。

$$P = \sqrt{3} \times V \times I_s \times 10^{-3} \times K \text{ [kVA]}$$

ただし、 K : 減電圧始動係数 (詳細 3.1 項電動機表 3.1-11 電源側始動電流参照)

電動機の始動電流 (I_s) ……

- ・ 高圧電動機の場合は JEM 1381 (1993) を参照
- ・ メーカーがわかっている場合はメーカーの資料
- ・ 計画段階等で不明の場合は下記で概略算出する。

かご形 $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 900\%)$

低圧電動機 714 %

高圧電動機 555 %

巻線形 $I_s = \text{定格電流} \times 150\%$

(ウ) 電動機始動時の始動容量 P_{ms} [kW] は次式となる。

$$P_{ms} = \text{始動 kVA} (P_{sms}) \times \text{始動力率} (Pfs) \text{ [kW]}$$

ただし、始動力率 (Pfs) ……かご形 : 0.4

巻線形 : 0.9

(エ) 電動機始動時の始動容量 P_{qms} [kvar] は次式となる。

第3章 機器の選定

$$P_{qms} = \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \sqrt{1 - (Pfs)^2} \text{ [kvar]}$$

よって始動時の合計容量 PS [kVA] は次式より算出される。

$$\begin{aligned} PS &= \sqrt{\{(kW)^2 + (kvar)^2\}} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{\{(P_B + P_{ms})^2 + (P_{qB} + P_{qms})^2\}} \times \alpha \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

ただし、 α : 余裕率 1.1

電動機始動時の電圧降下をある値以内とするための変圧器容量 PT2-2 は概略下式より求められる。

$$P_{T2-2} = \frac{\text{始動時の合計容量}}{\% \text{電圧降下}} \times \text{変圧器短絡インピーダンス [kVA]}$$

よって変圧器 2 次母線（電動機が接続されている直近の母線）における電圧降下を 10 [%] 以内に抑えるため % 電圧降下を 10 [%] として算出する。

- (注) 1 定常時必要な変圧器容量に比べ、電動機始動時必要変圧器容量が極端に大きい場合は電動機の始動方法、巻線形化等を含め再検討を要する。
- (注) 2 変圧器短絡インピーダンスは表 3.2-7 参照。

③ 結 論

上記①、②のいずれか大きい容量で標準容量(表 3.2-4) によって変圧器容量を選定する。

3.2.5 変圧器の選定例

(1) 変圧器容量計算例

3.2.4(2)の計算方法に従って、図3.2-10の単線結線図に示すような用水ポンプ場の受電用変圧器、動力用変圧器、照明用変圧器容量を求めると次のようになる。

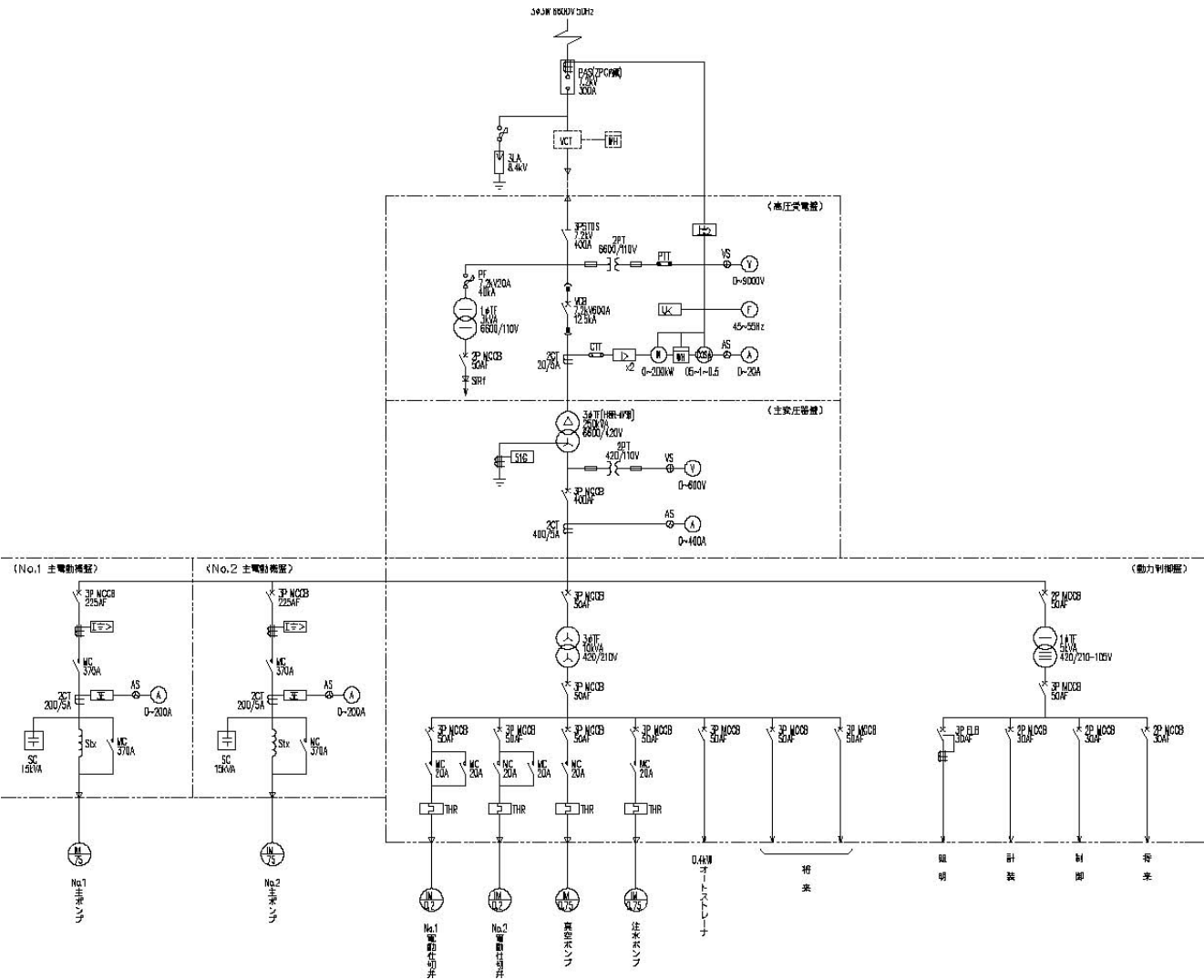


図 3.2-10 用水ポンプ場単線結線図例

(a) 負荷表の作成

用水ポンプ場の動力負荷、照明負荷、その他の負荷から、負荷表 表 3.2-13 を作成する。作成に当たっては次の事項を参考にする。

- ① 電動機の効率 (η)
力率 (Pf)
- ・ 低圧電動機 参考資料 7.5 項表 7.5-1, 2 参照
 - ・ 主ポンプの力率はコンデンサによる改善を考慮し 0.95 とした。
 - ・ メーカーがわかっている場合はそのメーカーの資料
- ② 電動機の始動電流 (I_s) 及び始動力率 (Pfs)
- ・ 高圧電動機参考資料 7.5 項表 7.5-3 参照
 - ・ メーカーがわかっている場合はメーカーの資料
 - ・ 計画段階等で不明の場合は下記で概略算出する。
かご形 $I_s = \text{定格電流} \times (500 \sim 800\%)$
低圧電動機 714 [%]
高圧電動機 555 [%]
巻線形 $I_s = \text{定格電流} \times 150\%$
 - ・ 始動力率 Pfs
かご形 : 0.4
巻線形 : 0.9
- ③ その他詳細は 3.2.4 項(1) 負荷設備調査を参照。

(b) 受電用主変圧器

比較的大きな低圧かご形電動機があるので、計算法2で計算する。

- ① 定常時に必要な容量
 負荷表により入力 $(P_{in} \times \beta)$ [kW]、入力 $(P_q \times \beta)$ [kvar] の合計を求め、次式により入力 P_{T2-1} [kVA] を算出する。

$$\begin{aligned} P_{T2-1} &= \sqrt{\{\Sigma(P_{in} \times \beta)\}^2 + \{\Sigma(P_q \times \beta)\}^2} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{(161.47)^2 + (58.53)^2} \times 1.1 \\ &= 188.9 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

ここで、 $\Sigma (P_{in} \times \beta) = 161.47$ [kVA]
 $\Sigma (P_q \times \beta) = 58.53$ [kVA]
 余裕率 $\alpha = 1.1$

表3.2-13 負荷表

No	負 荷 名 称	単機容量 P [kW]	電圧 [V]	設備 台数	予備 台数	効率 η	力率 pf	始動電 流 I_s [A]	実働容 量 P_o [kW]	入 力 P_{in} [kW]	入 力 P_o [kvar]	入 力 P_s [kVA]	需要率 β	$P_{in} \times \beta$ [kW]	$P_o \times \beta$ [kvar]	$P_s \times \beta$ [kVA]	備 考
1A	No.1主ポンプ	75	400	1		0.905	0.95 *		75.00	82.87	27.24	87.23	0.9	74.58	24.52	78.51	4極
1B	No.2主ポンプ	75	400	1		0.905	0.95 *		75.00	82.87	27.24	87.23	0.9	74.58	24.52	78.51	4極
	動力負荷小計													149.16	49.04	157.02	
	(動力変圧器)																
1B	No.1電動仕切弁	0.2	200	1		0.545	0.65		0.20	0.37	0.43	0.57	0.5	0.19	0.22	0.29	JIS C 4210
2B	No.2電動仕切弁	0.2	200	1		0.545	0.65		0.20	0.37	0.43	0.57	0.5	0.19	0.22	0.29	4極による
3B	真空ポンプ	0.75	200	1		0.68	0.77		0.75	1.10	0.91	1.43	0.5	0.55	0.46	0.72	
4B	注水ポンプ	0.75	200	1		0.68	0.77		0.75	1.10	0.91	1.43	0.9	0.99	0.82	1.29	
5B	オートストレーナ	0.4	200	1		0.62	0.72		0.40	0.65	0.62	0.90	0.5	0.33	0.31	0.45	
6B	将来	1.5	200	2		0.755	0.75		3.00	3.97	3.50	5.29	0.9	3.57	3.15	4.76	
	動力小計													5.82	5.18	7.80	
	(照明変圧器)																
1C	照明	2 [kVA]															
2C	計装	1 [kVA]															
3C	制御	1 [kVA]	5	1		1.00	0.833		7.21	7.21	4.79	8.66	0.9	6.49	4.31	7.79	1φ負荷は $\times\sqrt{3}$
4C	将来	1 [kVA]															
	合計													161.47	58.53	172.61	

注) 「予備台数」は「設置台数」の内数を示す。

計算方法・ $P_o = P \times (\text{設備台数} - \text{予備台数})$ [kW]
・ $P_{in} = P_o / \eta$ [kW]
・ $P_q = P_s \times \sqrt{1 - (\text{pf})^2}$ [kvar]
・ $P_s = P_{in} / \text{pf}$ [kVA]

② 電動機始動時に必要な容量

最大容量の電動機 (No 1B) 75 [kW] を最後に始動する時が最も重負荷となる。

電動機の始動電流を I_s [A]、電圧を V [V]、始動力率を Pf_s とすれば、始動時の合計容量は次のとおりとなる。

(イ) 基本負荷容量

基底負荷容量は各負荷の入力容量 $P_{in} \times \beta$ [kW]、入力容量 $P_q \times \beta$ [kvar] の合計から最大容量電動機の定常時における有効電力 P_m [kW]、無効電力 P_{qm} [kvar] を引いたものである。基底負荷の入力 P_B [kW] 及び入力 P_{qB} [kvar] は次式より求まる。

$$\begin{aligned} P_B &= \Sigma(P_{in} \times \beta) - P_m \\ &= 161.47 - 74.58 \\ &= 86.89 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{qB} &= \Sigma(P_q \times \beta) - P_{qm} \\ &= 58.53 - 24.52 \\ &= 34.01 \text{ [kvar]} \end{aligned}$$

ここで、 $P_m = 74.58$ [kW] , $P_{qm} = 24.52$ [kvar]

(ロ) 最大電動機始動容量

$$\begin{aligned} \text{始動 kVA} &= \sqrt{3} \times V \times I_s \times 10^{-3} \times K \\ &= \sqrt{3} \times 400 \times 899 \times 10^{-3} \times 0.65 \\ &= 404.8 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

ここで、 K : 減電圧始動係数 リアクトル始動=0.65

V : 電動機電圧 400 [V]

I_s : 電動機の始動電流(電動機定格電流の 714%)

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{75 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.905 \times 0.95} \times \frac{714}{100} \\ &= 899 \text{ [A]} \end{aligned}$$

(ハ) 電動機始動時の始動容量 P_{ms} [kW] は次式となる。

$$\begin{aligned} P_{ms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \text{始動力率}(Pf_s) \\ &= 404.8 \times 0.4 \text{ (かご形電動機の場合)} \\ &= 161.9 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

(二) 電動機始動時の始動容量 P_{qms} [kvar] は次式となる。

$$\begin{aligned} P_{qms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \sqrt{1 - (Pf_s)^2} \\ &= 404.8 \times 0.917 \\ &= 371.2 \quad [\text{kvar}] \end{aligned}$$

よって始動時の合計容量 P_s [kVA] は次式より算出される。

$$\begin{aligned} PS &= \sqrt{(\text{kW})^2 + (\text{kvar})^2} \times \text{余裕率 } \alpha \\ &= \sqrt{(P_B + P_{ms})^2 + (P_{qB} + P_{qms})^2} \times \alpha \quad (\text{注}) \text{ 余裕率 } \alpha = 1.1 \\ &= \sqrt{(86.89 + 161.9)^2 + (34.01 + 371.2)^2} \times 1.1 \\ &= 523.0 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

電動機始動時の電圧降下をある値以内とするための変圧器容量は概略下式より求められる。

$$\text{変圧器容量} = \frac{\text{始動時の合計容量}}{\% \text{電圧降下}} \times \text{変圧器短絡インピーダンス [kVA]}$$

よって変圧器2次母線（電動機が接続されている直近の母線）における電圧降下を 10 [%] 以内に抑えるため%電圧降下を 10 [%] として算出する。

なお、変圧器%インピーダンスは 4 [%] とする。

$$\text{変圧器容量} = \frac{523.0}{10} \times 4 = 209.2 \quad [\text{kVA}]$$

③ 結 論

上記①、②の大きい容量で標準変圧器容量(表 3.2-4)によって 300 [kVA] を選定する。

(c) 動力用変圧器

小容量の低圧電動機のみであり、計算法1で計算する。

$$\begin{aligned} \text{動力変圧器容量} &= \Sigma (P_s \times \beta) \times \alpha = 7.80 \times 1.1 \\ &= 8.58 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

以上により、10 [kVA] を選定する。

(d) 照明用変圧器

計算法1で計算し、以下のようになる。

$$\text{照明用単相3線式変圧器容量} = 5 \quad [\text{kVA}] \times 1.0 = 5.0 \quad [\text{kVA}]$$

以上により、5.0 [kVA] を選定する。

(注) この場合、負荷表の各負荷にすでに余裕をとっているので、 $\alpha = 1.0$ とした。

(e) 以上 b、c、d より、各変圧器容量を次のとおりとする。

- ① 受電用主変圧器：三相 300 [kVA]
- ② 動力用変圧器 ：三相 10 [kVA]
- ③ 照明用変圧器 ：単相3線 5 [kVA]

(2) 変圧器の種類、形式の選定

3.2.1 項の変圧器の種類と構造及び 3.2.2 項の変圧器の分類で詳述したように変圧器の種類は各種あるが農業農村整備事業用で用いる変圧器は一般に次の2種類から選定する。

- ・油入変圧器……………
 - ・屋内又は屋外の単独設置用。
 - ・小～中容量を屋内又は屋外盤内に収納設置する。
 - ・油の検査、交換等の保守を要する。
 - ・乾式に比し安価。
 - ・難燃が必要な地下設置等には難燃油にするか消火設備を設ける必要がある。

以上から難燃要求のない場合やスペースの余裕があり屋内又は屋外に単独設置可能な場合は、経済性から油入変圧器が有利である。

- ・乾式モールド変圧器 ……………
 - ・すべて盤内収納で屋外盤又は屋内盤に収納設置。
 - ・小形で油の検査、交換等の保守が不要。
 - ・難燃性であり、防災性に優れる。
 - ・油入変圧器よりやや高価。
 - ・鉄心等が露出する構造である。また、油入変圧器に比べ、騒音がやや大きい。

以上から乾式モールド変圧器は防災性を要する所に最適であるだけでなく、小形で盤内収納できるので省スペース、油の検査、交換等のメンテナンスが不要などから油入変圧器より少し高価であるが多く採用されている。

(3) 変圧器の結線の選定

3.2.3(3)で述べたように各種の結線方式があるが、結線の選定に当たって表 3.2-14 及び表 3.2-15 を参照。

3.2.6 変圧器の標準仕様

農業農村整備事業用に多く用いる油入（鉱油）及び乾式モールド変圧器の標準仕様の例を次に示す。

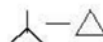
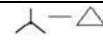
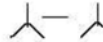
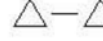
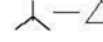
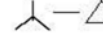
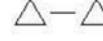
(1) 変圧器の設置条件その他

変圧器の設置条件は一般に下記のとおりである。

- ・屋内又は屋外(乾式モールド変圧器は屋内)
- ・周囲条件：最高 40℃以下
屋内設置の場合は十分な換気に注意する。
- ・標 高：1000m以下
- ・雰 囲 気：塩害、有害な腐食ガスは特別仕様となるので注意する。
- ・標準付属品以外の条件：1 次、2 次のバスダクトフランジ。
混触防止板。
活性アルミナ。(油入変圧器のみ)
ダイヤル温度計。(100kVA 以上)
防振ゴム。
基礎ボルト。
耐塩ブッシング。(油入変圧器のみ)

(2) 油入（鉱油）変圧器の標準仕様

表 3.2-14 油入変圧器の標準仕様（参考）

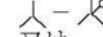
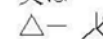
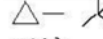
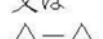
規 格				JEC-2200(2017)、JIS C 4304(2013)		定 格		連 続			
外 形		・ 屋外 ・ 屋内		油入自冷		・ 吸収式 ・ (空気) 密封式 ・ 窒素、密封式		耐熱クラス		A	
相 数		容量 (kVA)		周波数 (Hz)		1 次電圧 (kV)		2 次電圧 (V)		結線	
単 相		10,15,20,30,50		50		R6.6-F6.3-6.0		210-105		単 相 3 線	
		75,100,150 200,300,500		又は 60		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075					
三 相		75,100,150 200,300,500		50 又は 60		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		210			
						F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075					
						F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075					
		750,1000,1500		50 又は 60		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		420 440			
		75,100,150,200 300,500,750 1000,1500,2000		50		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		210			
				60							
				50		R440-R420-F400		210			
				60		F460-R440-F420					
10,15,20,30,50		50		F440-R420-F400		210					
		60		F460-R440-F420							
75,100,150,200		50		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15		3150 3300 3150 3300					
		60									
		50									
		60									
三 相 6kV／ 3kV 級		300,500		50		3150					
				60		3300					
		750,1000 1500,2000		50		3150					
				60		3300					
低 圧 スコット		10,15,20,30,50		50/60		210 (三相)		210-105 単相 2 回線			
		75,100,150,200		50 又は 60							
雷インパルス耐電圧試験電圧値						60kV (6 kV 級)、45kV (3 kV 級)					
交流耐電圧試験電圧値						22kV (6 kV 級)、16kV (3 kV 級)					
オプション		・ 混触防止版 ・ 活性アルミナ ・ 基礎ボルト ・ ダイヤル温度計 ・ 耐塩ブッシング ・ 車輪 ・ 防振ゴム ・ 端子保護カバー ・ ダクトフランジ									

〔トップランナー 油入変圧器 仕様（参考）〕

規格	JIS C 4304 (2013)				
相数	容量 [kVA]	周波数 [Hz]	1 次電圧 [kV]	2 次電圧 [kV]	結線
単相	10, 20, 30, 50	50	R6. 6—F6. 3—6. 0	210-105	単相 3 線
	75, 100, 150, 200, 300, 500	又は 60	F6. 75—R6. 6—F6. 45— F6. 3—6. 15		
三相	20, 30, 50	50 又は 60	R6. 6—F6. 3—6. 0	210	人 — 人
					人 — △
	75, 100, 150, 200, 300, 500		F6. 75—R6. 6—F6. 45— F6. 3—6. 15		人 — △
	750, 1000				人—△, △—△
	1500, 2000				△—△
	20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000	50	F6. 75—R6. 6—F6. 45— F6. 3—6. 15	420	△—人 (中性点端子付き)
		60		440	

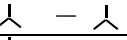
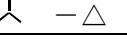
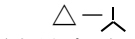
(3) 乾式モールド変圧器の標準仕様

表 3.2-15 乾式モールド変圧器の標準仕様（参考）

規 格	JEC-2200(2017)、JIS C 4306(2013)			定 格	連 続
形 式	屋内 (注)	乾式モールド変圧器		耐熱クラス	B,F,H
相 数	容量 (kVA)	周波数 (Hz)	1 次電圧 (kV)	2 次電圧 (V)	結 線
単 相	10,15,20,30,50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0 又は R3.3-F3.15-3.0	210-105	単相 3 線
	75,100,150 200,300,500		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075		
	10,20,30,50, 75,100	50	420	210-105	
		60	440		
三 相	20,30,50	50 又は 60	R6.6-F6.3-6.0 又は R3.3-F3.15-3.0	210	
	75,100,150		F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075		
	20,30,50	50	R6.6-F6.3-6.0 又は R3.3-F3.15-3.0	420(210)	 又は 
		60		440(220)	
	75,100,150 200,300,500	50	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075	420(210)	 
		60		440(220)	
	750,1000,1500 2000	50	F6.75-R6.6-F6.45-F6.3-6.15 又は F3.375-R3.3-F3.225-F3.15-3.075	420(210)	
		60		440(220)	
	10,15,20,30,50 75,100	50	F440-R420-F400 F460-R440-F420	210-105	 又は 
		60			
低 圧 スコット	10,15,20,30,50 75,100	50 又は 60	210 (三相)	210-105 単相 2 回線	
雷インパルス耐電圧試験電圧値			60kV (6kV 級)、45kV (3kV 級)		
交流耐電圧試験電圧値			22kV (6kV 級)、16kV (3kV 級)		
オプション		・ 混触防止版 ・ 基礎ボルト ・ ダイヤル温度計 ・ 車 輪 ・ 防振ゴム ・ 低圧端子向き 90℃変更			

(注) 一般に盤内収納で使用する。また、屋外盤に収納して屋外で利用できる。

〔トップランナー 乾式モールド変圧器 仕様（参考）〕

規格	JIS C 4306 (2013)				
相数	容量 [kVA]	周波 数 [Hz]	1 次電圧 [kV]	2 次電圧 [kV]	結線
単相	10, 20, 30, 50	50	R6. 6—F6. 3-6. 0	210-105	単相 3 線
	75, 100, 150, 200, 300, 500	又は 60	F6. 75-R6. 6-F6. 45-F 6. 3-6. 15		
三相	20, 30, 50	50 又は 60	R6. 6-F6. 3-6. 0	210	
					
	75, 100, 150, 200, 300, 500		F6. 75-R6. 6-F6. 45-F 6. 3-6. 15		
	750, 1000				
	1500, 2000				
	20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000	50 60	F6. 75-R6. 6-F6. 45-F 6. 3-6. 15	420 440	 (中性点端子付き)