

3 種の範囲

R2 2種 問7 発電所に設置する開閉設備

遮断器は、平常時の電力の送電及び停止の際に**負荷**電流を開閉するために用いられており、送配電線や発電所内の機器に短絡・地絡が発生した際は**故障**電流を遮断するために用いられる。

断路器は、発電所内の回路の保守作業を行う際に安全のために作業箇所を電圧のある回路から切り離すことなどに用いられる。一般的に**断路器**は、単に電圧が加わっている回路で電流が流れていないときに開閉できるが、変圧器の**励磁**電流や送電線の充電電流、複母線の場合において甲母線から乙母線に運転を切り替えるときに流れる**ループ**電流などの開閉ならば行うことができる。

H21 問3 高圧変電所の断路器と接地開閉器

断路器は、単に充電された電路を開閉分離するために用いられるほか、下記のような開閉性能を要求される場合がある。

・複母線の変電所で甲母線から乙母線に運転を切り替えるときに流れる**ループ電流開閉性能**

・遮断器を遮断した後、遮断器と断路器間の回路を開放するときの進み小電流の開閉能力

接地開閉器は、無電圧の線路や母線部分などの主回路の接地を主たる用途としているが、それ以外に下記のような用途や性能が要求される。

・ガス接地開閉器の接地端子を大地電位から絶縁し、要求される用途に使用可能なこと。

・運転している隣接回線が発生する磁界により流れる電磁誘導電流及び回線間

の浮遊容量を通して流れる静電誘導電流の開閉能力を有すること。

・主回路が活線状態で、保守員が誤って接地開閉器を投入するような場合に、短絡投入性能を要求されることがある。

・**ケーブル送電線用の接地開閉器の場合、ケーブル残留電荷の放電性能**を有すること。

接地開閉器の制御は断路器とインターロックし、開放状態で、かつ線路側が無電圧でなければ投入できないようにすることと、接地機構が投入状態のときは断路器の投入操作ができないようにすることが必要である。

二次 H24 2種 問 6 常時監視をしない変電所の監視制御方式

次の表は、「電気設備技術基準の解釈」に基づく、常時監視をしない変電所の監視制御方式の種類、定義、適用電圧及び警報する場所等に関して記述したものである。A から F の記号を付した空欄に記入すべき適切な語句又は文章を答えなさい。

監視制御方式の種類	定義	適用電圧	警報する場所等
A	技術員が必要に応じて 変電所 に出向いて、変電所の監視及び機器の操作を行うもの	100 [kV] 以下	技術員（技術員に連絡するための補助員がいる場合は、当該補助員）
断続監視制御方式	B	170 [kV] 以下	E
遠隔断続監視制御方式	C	170 [kV] 以下	F

遠隔常時監視制御方式	技術員が変電制御所に常時駐在し、変電所の監視及び機器の操作を行うもの	D	変電制御所
------------	------------------------------------	---	-------

- A. 簡易監視制御方式
- B. 技術員が**当該変電所**又は 300 [m] 以内にある技術員駐在所に常時駐在し、断続的に**変電所**に出向いて、変電所の監視及び機器の操作を行うもの
- C. 技術員が**変電制御所**又は 300 [m] 以内にある技術員駐在所に常時駐在し、断続的に**変電制御所**に出向いて、変電所の監視及び機器の操作を行うもの
- D. 制限なし
- E. 技術員駐在所
- F. 変電制御所及び技術員駐在所

H30 2種 問6 変圧器の並行運転

変電所の負荷の増大などに対応するため、複数台の変圧器を並列運転することが必要となる。変圧器の並列運転に必要な条件は、各変圧器がその**容量**に比例した電流を分担し（条件①）、変圧器間の**循環電流**が実用上問題ないレベルとなる（条件②）ことである。

条件①を満足するためには、各変圧器の自己容量ベースの**短絡インピーダンス**が等しくなければならない。各変圧器を流れる電流の分担率は**短絡インピーダンス**に反比例する。

条件②を満足するためには、**変圧比**の差が小さいことが必要である。**変圧比**はタップにより変化するため、定格タップ以外の値についても確認する必要がある。また、結線（星形結線、三角結線など）により二次側電圧に**位相**の差が生じるため、これによる**循環電流**が生じないような結線・接続とする必要がある。

H22 問3 変電所の塩害及びその対策

変電所で電気絶縁のため使われるがいし、ブッシングの表面には、台風や季節

風などによる強い海風により運ばれる海塩が付着する。この表面が湿潤を受けて導電性を有するようになり、漏れ電流が流れ、その発熱により電流が集中するところに乾燥帯が形成される。汚損、湿潤の程度によって乾燥帯での局部的な放電の発生にとどまる場合から、表面が絶縁破壊し停電事故に至る場合もある。

変電所の塩害対策は、一線地絡時の健全相電圧上昇に耐えることを基本に、塩分付着量度合いを考慮して決められる。塩害対策は、母線がいしにおいては設計汚損量までは絶縁強化で対策し、機器用がいしやがい管は、0.03 ないし 0.06 [mg/cm²] まで絶縁強化で対策し、それ以上は洗浄による対策を施しているのが実情である。154 [kV] 以下の電圧ではシリコンコンパウンド塗布が用いられることもある。

また、重汚損地区では、屋内化や GIS など隠ぺい化の対策が採られることが多い。

変電所	軽汚損地区 0.03 [mg/cm ²] 以下	中汚損地区 0.03 超過 ～ 0.06 [mg/cm ²] 以下	重汚損地区 0.06 超過 ～ 0.12 [mg/cm ²] 以下	超重汚損地区 0.12 超過 ～ 0.35 [mg/cm ²] 以下	特殊地区 0.03 超過 [mg/cm ²]
154 [kV] 以下	絶縁強化	絶縁強化	絶縁強化	洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化
187 ～ 275 [kV]	絶縁強化	絶縁強化	洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化
500 [kV]	絶縁強化	絶縁強化または洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化	洗浄・隠ぺい化

二次 H14 2種 問4 電力設備の塩害

電力設備の塩害に関して次の問に答えよ。

1. 塩害が電力設備に及ぼす影響について簡潔に説明せよ。
2. 塩害による電力設備の被害を減少させるための対策について、項目を挙げて簡潔に説明せよ。

塩害が電力設備に及ぼす影響

母線，変圧器，遮断器，断路器のがいし・がい管の表面が海水の塩分を含んだ風を受けて汚損されると，それによりがいし類の耐電圧値が低下し，フラッシュオーバー事故となり，送電線の停止や発電電所の停止を引き起こす。

塩害対策

- ・ がいしの増結，長幹がいし，スモッグがいしなど耐塩害がいし類を採用し，絶縁強化を行う。
- ・ 適時，塩分付着量の測定を行い，規定値を超えた場合にがいし洗浄を行う。
- ・ GIS（ガス絶縁開閉装置）等の密閉形機器を採用する。あるいは屋内化を実施する。
- ・ がいし類の表面にシリコンコンパウンド等を塗布し，このアメーバ作用により付着した塩分をコンパウンド内に吸収させるとともに，はっ水性により湿潤を防止してがいし類の絶縁低下を防止する。

H30 問4 配電系統の塩害

塩害は，配電系統の中で，対策，処理が難しいものの1つであり，重汚損地域における塩害事故の発生には高圧配電線のトラッキングによるものがある。この発生機構は絶縁電線の表面が塩分などで汚損された状態で湿潤を伴うと，電線表面に漏れ電流が流れ，その発生熱により局部的に電気を通しにくい乾燥帯が生成される。このため，導電路が分断されて微小放電が起こり，放電箇所に炭化物が形成される。トラッキングは，これらが繰り返されることにより導電経路が形成されることである。

通常の塩分付着であれば，雨で洗い流されて問題ないが，台風時または強風時

には、雨を伴わない海からの風で、広範囲において塩分を含んだ風が侵入し、事故に至ることがある。

H21 問 6 氷雪

着氷雪した電線が風や着氷雪の落下により振動すると、相間短絡などの電気事故が発生する。この具体的な現象としては、電線に付着した氷雪が羽根状となって風を受けて電線が自励振動する**ギャロッピング**があり、その対策として、

電線振動時においても電線相互の間隔を確保するため、絶縁性の支持物で機械的に連結する相間スペーサ

多導体の送電線において、電線把持部に回転機構を設けたルーズスペーサが用いられる。

また、電線に付着した氷雪が脱落して電線が跳び上がる**スリートジャンプ**があり、その対策としては、垂直配列 2 回線鉄塔の上中下腕金長の差を大きくするというオフセットを設ける設計手法が用いられる。

二次 H13 2種 問 3 雪害

送電線に発生するスリートジャンプ及びギャロッピングについて、次の項目を説明せよ。

1. 現象のメカニズム
2. その影響と防止対策

スリートジャンプ

着氷雪の脱落時の電線の跳躍現象をスリートジャンプといい、ギャロッピングのような自励（共振）振動とは異なり、減衰振動であり持続性はない。

跳躍が大きいと相間短絡を引き起こす。

対策としては、オフセットを設ける。

ギャロッピング

電線の表面に、電線の断面に対して非対称な形に冰雪が付着し、これが肥大化すると、微風振動の場合と同様に、電線の風下側に比較的規模の大きいカルマン渦が発生し、電線に対して鉛直方向に上下交互の周期的な交番力が加わる。このとき交番周波数と電線の固有振動数が一致すると、共振状態となり振動が発生する。これをギャロッピングという。

ギャロッピングが発生すると、径間で相間短絡を起こしやすく、一度再閉路が成功しても、再度相間短絡を起こしやすい。また、電線の過大張力による素線切れおよび断線の発生、スパーサの損傷およびがいし金具の疲労による機械的強度の低下などの障害が発生する。

防止対策としては、気象条件を考慮した送電ルートを選定、相間スパーサを挿入した振動の抑制、フリーセンタクランプなどの防振装置の採用がある。

R2 2種 問2 架空送電線路の雷害対策

架空送電線路の雷害対策として、送電線への直撃雷を防止するために架空地線を設置することが有効である。架空地線の条数を増やせば、遮へい角は小さくなり、遮へい効率は向上する。架空地線や鉄塔に雷撃が生じると、雷撃電流は鉄塔を通して大地に流れる。これによって鉄塔の電位が上昇し、がいし連の絶縁耐力を超えると鉄塔から電力線に逆フラッシュオーバが発生する。これを防止するためには、塔脚の接地抵抗を小さくする必要があり、棒状の接地電極を埋め込むが土壌の性質によっては埋設地線を設けたりする。

- [サージ概論 | 雷過電圧解析・開閉過電圧解析の概要と解析例](#)

二次 H13 2種 問4 水トリー

電力用 CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）の代表的な絶縁劣化である「水トリー」について説明せよ。

水トリー劣化はポリエチレンおよび架橋ポリエチレン（CV）ケーブルの絶縁体中に侵入した水と異物やボイド、突起などに加わる局所的な高電界との相乗作用によって、トリー状の欠陥が発生・進展し、ケーブルの絶縁寿命が著しく低下する。このトリーを電氣的トリーと区別する意味で水トリーと呼んでいる。

水トリーは直径 $0.1 \sim 1$ [μm] の無数の水滴の集合体で、水トリーが発生したケーブルでは誘電体損、直流漏れ電流が増大するので、これらが劣化状況を推定する有力な手がかりとなる。

二次 H19 2種 問3 フェランチ効果

送電系統において、負荷が非常に軽い夜間のような状況で、受電端の電圧が送電端の電圧よりも高くなる現象が観測される。その理由をベクトル図を用いて説明するとともに、この現象について原因を二つ挙げ、その対策を述べよ。

受電端電圧上昇の理由

負荷の力率は、負荷が大きいときは遅れ力率であるから、電流は電圧より位相が遅れている。

一方、負荷が非常に非常に小さい場合、もしくは無負荷の場合には線路の充電電流の影響が大きくなり、電流は進み電流となり、受電端電圧 E_r は送電端電圧 E_s よりも高くなる。

原因

1. 軽負荷時に長距離架空送電線や地中送電ケーブル線路を運転することにより、進み電流が流れて受電端電圧が上昇する。
2. 軽負荷時に需要家の電力用コンデンサが投入されていることで、進み電流が流れて受電端電圧が上昇する。

対策

1. 軽負荷時には、並行回線または使用していない送電線の充電を停止する。
2. 需要家の電力用コンデンサの開放を要求する。

二次 H14 2種 問1 自己励磁現象

同期発電機を無負荷の長距離架空送電線や地中送電線など静電容量の大きい線路に接続したとき、次の問に答えよ。

1. 自己励磁現象について簡潔に説明せよ。
2. 送電線路の試充電において、自己励磁による異常現象を起こさない方策を三つ挙げよ。

1. 自己励磁現象

同期発電機に線路充電電流（**進相電流**）が流れると、**電機子反作用は増磁作用**となって、同期機の電圧を上昇させ、機器の絶縁を脅かすことがある。これを自己励磁現象という。

2. 自己励磁による異常現象を起こさない方策

- a. **短絡比の大きい発電機**を使用する。
- b. 発電機を 2 台以上母線に接続する。これにより、各発電機は容量と短絡比との積に比例して充電電流を分担するので安全に充電できる。ただしこの場合、界磁電流が小さいため同期化力が小さく並行運転に困難を伴う場合がある。
- c. **受電端に同期調相機**を接続して、同期調相機を低励磁運転して送電線から遅れ電流をとらせ、充電電流を中和減少させる。
- d. **受電端に並列リアクトル**や変圧器を接続する。

二次 H23 2種 問2 接地方式

6.6 [kV] 以上 154 [kV] 以下の送配電系統においては中性点接地方式として、主に抵抗接地方式と非接地方式がある。一線地絡事故に対するそれぞれの方式の特徴について両者を比較し、次の点に関して延べよ。

1. 事故点電流
2. 事故時の健全相電圧
3. 事故検出
4. 誘導障害

一線地絡事故に対する抵抗接地方式と非接地方式の特徴

	抵抗接地方式	非接地方式
事故点電流	事故点までの線路、中性点接地抵抗、事故点抵抗による閉回路が構成されるため、大きな電流が流れる。	中性点に電流が流れないため、事故電流は健全相と大地間の浮遊容量を介して流れる小さな電流となる。
事故時の健全相電圧	中性点の電圧上昇は事故電流と中性点接地抵抗の積によって与えられる値となるため、健全相の相電圧上昇は、接地抵抗値を小さくすることで抑えられる。	事故電流がほとんど流れないため、線間電圧は事故の影響を受けない。このため、事故相が大地電圧となり中性点電圧が事故相の分上昇し、健全相の相電圧は線間電圧がそのまま反映されることになる。すなわち、事故後の健全相の相電圧は電源電圧が対称三相の場合は事故前の $\sqrt{3}$ 倍となるが、更に大きな電圧が発生する場合もある。
事故検出	過電流リレーや方向距離リレーを含む各種のリレーが機能する。	事故電流が小さく、過電流リレーや方向距離リレーによる事故検出は不可能であり、地絡過電圧リレー、地絡方向リレーにより検出される。
誘導	大きな事故電流が大地	大地帰路電流が小さいため、他の通信線などへ

障害	帰路電流として流れるため、誘導障害が発生する可能性がある。	の誘導障害はほとんど起こらない。
----	-------------------------------	------------------

問 5 逆潮流による電圧上昇

1. 高圧配電線, 負荷, 太陽電池発電所及び柱上変圧器で考えられる電圧上昇抑制対策を二つ述べよ。

4. 高圧配電線, 負荷, 太陽電池発電所及び柱上変圧器で考えられる電圧上昇抑制対策

- ・ 電線を太くしインピーダンスを減少
- ・ 力率改善用コンデンサの開放
- ・ 新たな無効電力補償装置の設置
- ・ 太陽電池発電設備側でインバータによる無効電力補償の増
- ・ 柱上変圧器のタップ変更

点検・診断

H9 問 6 SF₆ ガス絶縁変圧器

SF₆ ガス絶縁変圧器の特長は、**不燃性**であり、地下や屋内変電所に適用した場合、消火設備や防火区画の合理化ができる。

また、油入変圧器に必要な**コンサベータ**や**放圧管**が不要なため、変圧器室の高さが低減できる。

最近、GIS（SF6 ガス絶縁開閉装置）が普及しており、これらの技術蓄積をもとに、SF6 ガス絶縁変圧器は、GIS との合理的な配置設計による建物建設コストの低減や長期信頼性が期待できる他、**保守**の省力化も可能である。

一方、SF6 ガスは、絶縁油に比べて、**熱伝達率（冷却能力）**が小さいため、大容量になるほど内部**温度上昇**に対する対策が必要になる。

二次 H10 問 5 GIS の性能低下の監視・測定

ガス絶縁開閉装置（GIS）の性能低下の監視・測定には、一般的に次に掲げる項目があるが、これらの監視・測定の意義とその具体的な方法を簡潔に述べよ。

1. ガス圧監視
2. 部分放電監視
3. ガス中水分測定
4. ガス分解生成物測定

ガス圧監視

ガス絶縁開閉装置（GIS）の絶縁媒体および消弧媒体として SF6 ガスを使用している。このガスは、数気圧以上の圧力を加えることによって絶縁性能および消弧性能が得られる。したがって、タンクや配管部分での破損、ねじやボルトの緩みがあると、ここからガスが漏れ、圧力が低下して絶縁破壊に至るおそれがある。このような理由からガス圧を監視することが必要である。

ガス圧監視の方法は、ガス圧力計や密度計による監視がある。

部分放電監視

タンク内の異物や突起物などにより電界が集中し部分放電が生じ、その結果、絶縁劣化が進み絶縁破壊に至る。このような理由から部分放電を監視する必要がある。

電気的方法として、絶縁スパーサの内部または外部に設けた検出用電極に静電的に生じるパルス電圧を検出する絶縁スパーサ法や、部分放電により GIS の接地線に生じたパルス電流を電磁的に検出する電磁カップリング法がある。

（UHF 法：部分放電独特の周波数を検出することができる→ノイズが少ない）

機械的方法として、部分放電による音波やタンクの振動を、振動加速度計やマ

イクロホンで検出する。(AE 法)

ガス中水分測定

ガス中に含まれる水分が多くなると、固体絶縁物の表面に結露を生じ絶縁体耐力が低下し、絶縁破壊に至る。このような理由からガス中の水分を測定する必要がある。

五酸化りんの薄膜に吸収させた電極間に電圧をかけ、水分を水素と酸素に分離させ、流れる電流を測定する、

水分が入るとキャパシタンスが変化するエレメントを使い、キャパシタンスの変化を測定する、水分計法がある。

ガス分解生成物測定

タンク内で放電が生じると、分解ガスと生成物が生じるが、この分解ガスと生成物を測定することで部分放電などの有無を知ることができる。

呈色反応法を利用したガスチェッカーやガスクロマトグラフを用いる。

二次 H17 問 2 GIS 診断

超高圧など重要変電所に使用される GIS (SF₆ ガス絶縁開閉装置) の次の項目の診断技術について、その概要を述べよ。

1. GIS の絶縁部と導通部
2. SF₆ ガス遮断器の主回路部と機構部

1-1. GIS の絶縁部

絶縁部の異常は部分放電を伴うことから、部分放電の検出技術が主体となるが、そのほか部分放電や異物の振動により生じるタンクの機械的振動を測定する振動加速度計法、外被電極法、タンクフランジ絶縁部に発生する電位差を測定するフランジ間電位差法、部分放電光をタンク内に内蔵した特殊な光ファイバーで測定する蛍光ファイバー法などが開発されている。

1-2. GIS の導通部

接触不良により接触抵抗の増大とジュール熱が発生し過熱、溶損、発弧を経て事故に至る。接触部の温度に対応して振動、温度上昇、圧力上昇、放電および分

解ガスが発生する。これら諸量の測定により異常を検出するものである。

2. SF₆ ガス遮断器の主回路部と機構部

主回路部の開閉機能は、主接点と連動する補助接点の開閉時間、ストローク特性、制御電流波形などの変化から診断されている。遮断器の接点消耗量は遮断電流と開閉特性とを組み合わせた累積遮断電流モニタなどにより診断される。

二次 H26 問2 大容量 GIS の診断

超高圧などの重要変電所に使用される大容量 GIS において、下記の異常を診断する手法について、その概要を説明せよ。

1. GIS 母線の絶縁異常
2. GIS 母線のシール異常
3. GIS 母線及び SF₆ ガス遮断器の通電異常
4. SF₆ ガス遮断器の機械的異常

(1) GIS 母線の絶縁異常

絶縁異常の兆候をとらえる主な診断技術は部分放電の検出である。部分放電に伴ってタンク内部に発生する各種現象を電氣的（電磁波）、機械的（AE：Acoustic Emission）に検出する方法が使われている。また、分解ガスを検出する化学的方法、UHF 帯域の電磁波を検出することで部分放電を pC 感度で管理する方法も採用されている。

特に絶縁異常の主な要因である金属異物については、異物が交流電界内を振動中に、タンク表面に衝突して発生する音波や異物の存在により発生する部分放電を AE センサ（超音波センサ）や加速度センサにより検出する方法が使われている。

(2) GIS 母線のシール異常

ガス配管、フランジ部などでシール異常があると、ガス漏れが生じ、ガス圧力低下に至る。ガス漏れに対する診断技術としては、ガス圧力の変化を測定する方法とタンクからのガス漏れがないことを直接的に検出する方法があり、それぞれ ガス圧力センサや ガス密度スイッチを用いた測定、ガスリークディテクタに

よる検出が採用されている。

(3) GIS 母線及び SF₆ ガス遮断器の通電異常

GIS 母線の通電異常の要因として、主回路導体の接触不良がある。この接触不良を検出する診断技術としては、導体の接触抵抗を測定する方法、局部加熱に起因するタンク温度上昇を温度センサ、赤外線カメラで検出する方法、局部過熱により発生する SF₆ 分解ガスを測定する方法、また通電異常箇所から発生する部分放電を検出する方法などが採用されている。

SF₆ ガス遮断器の通電異常においては、コンタクト損耗異常の検知がある。このコンタクト損耗異常の主な要因としては、大電流遮断時のコンタクト損耗がある。コンタクトの損耗は開閉特性（ワイプ量の測定など）を確認する方法があるが、電流遮断によるコンタクトの損耗は、一様に発生しないため、開閉特性では確認できない場合もあり、累積遮断回数により管理する場合もある。

(4) SF₆ ガス遮断器の機械的異常

SF₆ ガス遮断器の操作機構部の固渋や不動作の要因として、グリスの劣化や電装品の不具合などが挙げられる。

機械的異常の診断技術としては、開閉動作特性を測定し、動作特性不良を判定する方法がある。開閉動作特性を測定する方法としては、制御電流や補助スイッチの動作を測定する方式、機構部の動作速度をセンサにて検出する方式がある。また、油圧操作用油圧系統の異常を油圧ポンプの動作頻度で検出する方法などがある。

二次 H29 2種 問6 定期点検とGIS設備診断

特別高圧の変電所の保全業務における定期点検と、特別高圧の変電所構成機器の一つであるGIS（ガス絶縁開閉装置）設備診断に関して、それぞれ以下の問に答えよ。

1. 変電所機器・装置の定期点検は、一般的には、おおむね1～3年を点検周期とする点検（本問において「普通点検」という。）及びおおむね6～12年を点検周期とする精密な点検（本問において「精密点検」という。）に分けて行われている。その場合の普通点検及び精密点検のそれぞれの目的と具体的な内容を、違いが分かるように簡潔に述べよ。
2. GISの設備診断のために、部分放電（絶縁材料の内部欠陥や表面の汚損などによって生じる微小な放電）を検出する技術が採用されている。部分放電を検出する方法として、電氣的原理に基づくもの及びその他の原理に基づくものを一つずつ挙げ、それぞれその原理と具体的な方法を簡潔に述べよ。

普通点検

機器・装置の機能確認・維持を目的として、主に外部から行う点検である。機器・装置の運転又は停止状態において、各部の異常の有無についての点検、清掃及び測定器による内部診断、性能試験を行う。

精密点検

機器・装置の機能の維持・回復を目的として、主として分解して行う点検である。

機器・装置の停止状態において、分解し点検、清掃を実施した後、損傷、磨耗、その他異常部分の補修又は基準に基づく部品交換を行い、併せて測定器により更に詳細な内部診断、性能試験を行う。

部分放電測定の電氣的原理に基づくもの

GIS内部に設置したUHF内部電極やスパーサ埋め込み電極、スパーサの外側に取り付けるサーチコイルなどのセンサのほか、各種アンテナ（ダイポール、バイコニカル等）を使用して電磁波を検出する。

部分放電測定の電氣的以外の原理に基づくもの

部分放電により発生するガス密度の振動や超音波を検出する。振動加速度セ

ンサや超音波センサを用いて振動や音波を検出する。

部分放電により発生する分解生成ガスの有無や種類を検出する。ガスチェッカ（呈色反応試薬）を用いて分解生成ガスの有無を調べたりガスクロマトグラフィーを用いてガスの種類や濃度を調べる。

H28 問 4 変圧器構成材料の劣化診断

変圧器の寿命は、絶縁材料の劣化の程度に左右される。絶縁油は劣化しても洗浄や交換などが可能であるが、紙材料は、一般に修理や交換は不可能である。紙材料の中では、巻線に巻かれている絶縁紙が最も高温になるので、変圧器の寿命は巻線に巻かれている絶縁紙の最高温度部の劣化程度に左右される。このため、運転時間とともに絶縁紙の機械的性能である引張強度が低下し、初期の引張強度の **50 ～ 60 %** が寿命とされている。絶縁紙の主要構成物質はセルロース分子であり、この分子の長さの目安として**平均重合度（平均分子量を繰り返し単位の式量で割った値）**が用いられ、絶縁紙が熱的に劣化すると、絶縁紙のセルロース分子間の連鎖が切断され、**平均重合度**が低下し、引張強度は低下する。つまり、絶縁紙の引張強度は、**平均重合度**という物差しで決めることができる。しかし、運転中に変圧器内の絶縁紙を採取することは困難であるため、変圧器の絶縁紙が劣化すると絶縁油中に溶解するセルロースの分解生成物である**フルフラール**等の量を用いて、**平均重合度**との相関から絶縁紙の経年劣化度を診断する方法が実用化されている。

二次 H28 2種 問 2 変圧器の油中ガス分析

変圧器の異常診断手法として油中ガス分析が用いられている。油中ガス分析は可燃性ガスの量や組成比などから内部異常の有無・様相を診断する手法である。油中ガス分析による異常診断方法及び最終的な処置を決定するための総合診断に関する下記項目について述べよ。

1. 過熱時に発生する特徴的なガスを二つ挙げ、その発生ガスの組成比などから推定できる過熱の様相について述べよ。

2. 放電を伴う内部異常時に発生する特徴的なガスを一つ挙げ、内部異常時以外にもこのガスが発生する要因について述べよ。
3. 油中ガス分析で内部異常と診断された場合、総合診断を行うために実施すべき試験・点検・調査事項並びに、最終的に決定する処置内容について述べよ。

1. 過熱時に発生する特徴的なガス

過熱時に発生する特徴的なガスとしてエチレン (C_2H_4) とエタン (C_2H_6) が挙げられる。

過熱レベル（高温過熱・低温過熱）により発生ガスの成分が変化し、高温過熱ではエチレンが、低温過熱ではエタンが多く発生する。また、組成比などから過熱部位（巻線部・金属部）の推定を行うことができる。

2. 放電を伴う内部異常時に発生する特徴的なガス

放電時に発生する特徴的なガスとしてアセチレン (C_2H_2)、水素 (H_2) が挙げられる。アセチレンは絶縁油から発生する分解ガスのうち、アーク放電など特に高温時に発生するものである。

水素は経年劣化でも発生する一方、アセチレンは微量であっても検出された場合は内部異常の可能性が高い。

アセチレンは LTC（負荷時タップ切換器）動作時に切換開閉器室内の絶縁油が分解することでも発生することから、LTC 内の絶縁油が変圧器本体タンクへ混入すると内部異常と誤診断されるおそれがあるため、注意が必要である。

3. 総合診断を行うために実施すべき試験・点検・調査事項

電氣的試験（巻線抵抗、部分放電測定など）、外部一般点検（放圧管の動作、タンクの変形など）、運転履歴・改修履歴の調査（過負荷運転など）などの項目を総合して、変圧器の運転継続可否、内部点検・修理の要否などの最終的な処置を決定する。

(1) 外部点検

変圧器などの外部一般点検は内部異常に伴う内圧上昇、温度上昇などによる外観の異常および補機類の状態など、以下の項目などにポイントをおいて行う。

- 放圧板の亀裂、噴油
- タンクの変形、振動、漏油、油温上昇、油面、窒素圧の異常

- ・ ブッシングの放電痕
- ・ 送油ポンプ，負荷時タップ切換装置の動作状態

(2) 運転歴，改修歴の調査

以下の項目などについて運転歴，改修歴を調査し，油中ガス分析結果の判定を誤らないようにする。

- ・ 運転年数，運転状態（過負荷，過励磁など）
- ・ 季節，負荷による油温変化
- ・ 負荷時タップ切換器の切換開閉器室のシール不良
- ・ タンクなどの溶接修理
- ・ 過去の事故時の残留ガス
- ・ 油劣化防止方式

(3) 電氣的試験

油中ガス分析による診断結果と関連させて試験項目を選定する。例えば，油中ガス分析結果において過熱異常と診断された場合には，主回路の各接続部およびタップ切換器などの接触不良を予測して各巻線および，各タップにおける巻線抵抗を測定する。また，放電異常と診断された場合には巻線の層間短絡を想定して変圧比試験，励磁電流測定などを実施する。

二次 H29 問 2 油入変圧器の内部絶縁材料

油入変圧器の内部絶縁には，絶縁油と絶縁紙（クラフト紙）などのセルロース系絶縁材料が使用されている。これら絶縁材料について次の問に答えよ。

1. 絶縁油には一般に鉱油が使用されているが，絶縁油が吸湿したり，空気に長時間さらされると絶縁性能が低下する。この場合の絶縁油の絶縁特性を確認する診断項目を四つ挙げ，その診断項目と絶縁性能低下との関係がどのようなになるかを簡潔に述べよ。
2. 不燃性・難燃性などの防災性や環境適合性の観点から，鉱油以外の絶縁媒体を使用した油入変圧器が実用化されている。鉱油以外の絶縁媒体を二つ挙げよ。
3. 絶縁紙の絶縁特性を向上させる方法の一つとして，油浸して気密度を上げる方法があるが，その他の方法を一つ説明せよ。

1. 絶縁油の絶縁特性を確認する診断項目

絶縁破壊電圧

酸化や水分量の増加，油中微粒子などにより絶縁油が劣化すると絶縁破壊電圧が低下する。

全酸価

絶縁油の酸化劣化により有機酸が生成され全酸価が増加すると，絶縁性能が低下する。

体積抵抗率

絶縁油が劣化するとイオン性の物質が増加し体積抵抗率が減少し，絶縁性能が低下する。

誘電正接（ $\tan\delta$ ）

絶縁油が劣化するとイオン性の物質を生成するため誘電体損が増加し，絶縁性能が低下する。

水分量（油中水分量）

絶縁油中の水分量が増加すると絶縁性能が低下する。

2. 鉱油以外の絶縁媒体

- ・ シリコン油
- ・ 合成エステル油
- ・ 植物油

3. 絶縁紙の絶縁特性を向上させる方法

- ・ 絶縁紙の密度を上げる。
- ・ 絶縁紙の含有水分量を減らす。

二次 H15 2種 問4 油入変圧器の絶縁診断

高圧又は特別高圧の油入変圧器の絶縁状態を診断するために行われる試験について試験の目的，原理，測定方法の概要について述べよ。

絶縁油耐圧試験

絶縁油の劣化を判定することを目的とする試験である。絶縁油の中に溶け込んだ空気中の酸素によって絶縁油は酸化され，絶縁油の抵抗率や耐圧は低下す

る。これらの低下の度合いにより、絶縁油の劣化を判定する。測定方法は、日本工業規格（JIS）に定められた電極容器に絶縁油を入れ約 3 分間放置し、印加電圧を毎秒 3 [kV] の割合で上昇させ絶縁破壊を生じる電圧を測定する。

絶縁油全酸価試験（絶縁油酸価度試験）

絶縁油の劣化を判定することを目的とする試験である。絶縁油の中に溶け込んだ空気中の酸素によって絶縁油は酸化され、絶縁油の酸価度は上昇する。この上昇の度合いにより絶縁油の劣化を判定する。測定方法は、試料油 20 [g] を正確に測定し、トルエンとエチルアルコールを混合した溶剤を入れ、アルカリブルー 6B 溶液を指示液として N/20 水酸化カリウム溶液を用いて滴定し酸化を測定する。

油中ガス分析試験

絶縁油、絶縁紙、プレスボードなどの劣化判定を目的とした試験である。変圧器運転中の熱（アーク熱、部分放電、局部加熱など）により、絶縁油が熱分解して種々のガスを発生する。このガスの油中溶存量より絶縁油の劣化を判定する。測定方法は、絶縁油中に溶け込んだガスの成分（種類と量）をガスクロマトグラフにより測定する。

経年劣化診断

絶縁紙の劣化判定を目的とした試験である。絶縁紙の劣化が進行すると絶縁紙の引張り強さや平均重合度残率などが低下するとともに**フルフラール**（有機化合物の一種）などの生成物が発生する。フルフラール生成物と絶縁紙の平均重合度残率との間に相関関係がある。したがって、フルフラール生成物の量を測定して変圧器のコイルの余寿命を判定する。測定方法は、少量の絶縁油を採取し、アサトニトリル溶液でフルフラールを抽出する。この抽出液を高速液体クロマトグラフ（HPLC）により、フルフラール生成物の量を測定する。この量からコイル絶縁紙の平均重合度残率を推定する。

1 価の塩基で $N/20 = 0.05\text{mol/L} = 1/20\text{mol/L}$

H26 問 2 変圧器の耐電圧試験

変圧器の耐電圧試験は、短時間交流耐電圧試験、長時間交流耐電圧試験、雷イ

インパルス耐電圧試験の 3 種に区分される。

短時間交流耐電圧試験は、所定の商用周波交流試験電圧を 1 分間程度印加し、絶縁破壊を生じることなく耐えることを確認する試験である。

長時間交流耐電圧試験は、有効接地系統に接続される段絶縁巻線の運転期間中の常規対地電圧と**短時間過電圧**に対する絶縁強度を検証することを目的とする。商用周波交流試験電圧を規定の時間印加し、**部分放電**を測定することにより、短時間交流耐電圧試験より低い印加電圧で、前駆的な段階での絶縁検証が可能である。550 kV 変圧器では、

475 kV × 5 分 ∼ **635 kV** × t 秒 ∼ 475 kV × **1 時間**

と規定されている。ただし、 $t = (120 \times \text{定格周波数}) / (\text{試験時の周波数})$ [秒] (注)である。

雷インパルス耐電圧試験は、主に雷サージに対する絶縁強度を検証することを目的とする。全波試験電圧波形は、標準雷インパルス電圧波形 **1.2/50 μ s** を用い、通常正負両極性において各 3 回ずつ印加を行う。550 kV 変圧器では、1 300 kV と 1 550 kV の値が規定されている。

(注)試験時の周波数が定格周波数の 2 倍以下の場合は、1 分とし、2 倍を超える場合に適用する。ただし、最短 15 秒とする。

長時間交流耐電圧の試験電圧と試験時間は、下表の通り。

公 称 電 圧 [kV]	試験電圧 [kV]		
	5 分	$t = (120 \times \text{定格周波数}) / (\text{試験時の周波数})$ [秒]	1 時間
187	170	225	170
220	200	265	200
275	250	330	250
500	475	635	475

二次 H16 問 6 部分放電試験

高電圧機器の絶縁性能を確認するために行われる各種非破壊試験のうちの部分放電試験に関する次の事項について、簡潔に説明せよ。

1. 部分放電現象と絶縁性能との関連
2. 代表的な試験（測定）方法を二つ以上挙げ、その原理

1. 部分放電現象と絶縁性能との関連

部分放電は電極間に電圧を加えたときに、その間の絶縁媒体中で部分的に発生する放電現象であり、電極の突起、電極と絶縁物界面におけるはく離、絶縁物内部の異物やボイド、複合絶縁構成におけるトリプルジャンクション、絶縁物表面への異物付着、金属部分の接触不良など種々の原因により発生する。

部分放電が発生すると、これが発端となって絶縁破壊や局所的な絶縁劣化を引き起こすため、絶縁材料の寿命を決める要因となる。

2. 代表的な試験（測定）方法

一定時間内に発生する部分放電パルスの電荷量、発生頻度、放電エネルギーや交流電圧位相との関係を電気信号として検出する方法（パルス電流検出法）と、部分放電の発生に伴って生ずる超音波や光などを高感度マイクロホンや光電子倍增管あるいは光ファイバセンサなどを用いて、音響的あるいは光学的に測定する方法がある。

二次 H30 問 6 使用前自主検査

三相変圧器（定格電圧：一次 275 kV / 二次 77 kV、一次中性点：直接接地）を含む変電所を設置したときに実施する電気事業法に規定する使用前自主検査に関して、次の問に答えよ。

(2) 電気設備技術基準への適合性を電気設備技術基準の解釈の規定に基づき確認する場合について、以下の問に答えよ。

- a. 電気所の周囲にさくを設ける場合、構内に取扱者以外の者が立ち入らないように出入口に講じるべき措置を二つ説明せよ。
- b.
- c. 変圧器の電路の絶縁性能を確認する方法は、上記 b のように現地での試験電圧を印加して確認する方法以外に、変圧器の輸送、現地組立作業の品

質管理が確実にできていることを前提に、絶縁耐力を確認する方法がある。この確認方法について重要な要件を二つ説明せよ。

1. 接地抵抗値

2-a. 講じるべき措置

立入禁止等危険である旨を表示すること及び施錠装置を施設して施錠する等、取扱者以外の者の出入りを制限する措置を講じることである。

2-c 重要な要件

当該変圧器が、規格に定める交流耐電圧試験を工場において実施し、絶縁性能が確認されていること。

もう一つは、現地で変圧器に常規対地電圧を絶縁性能に影響がないことが確認できる一定時間（10 分間）印加すること。

二次 H17 問 5 使用前自主検査

次の表は、使用電圧が 170 [kV] 以上の発電電所で実施される使用前自主検査のうち一部の測定・試験項目について、実施する上での注意事項の概要を記述したものである。

測定・試験項目	実施する上での注意事項
電圧降下法による接地抵抗測定	1. 電圧回路に対する誘起電圧を低減するため、電流回路は電圧回路と 90 度以上の交差角を取ること。また、電圧回路は他の送配電線路とも、できる限り平行にならないよう考慮する。 2. 電流回路の電源を、1 線又は中性点で接地している場合は、必ず絶縁変圧器によって電流回路を電源回路から絶縁する。 3. 電圧測定には、内部抵抗の十分高い電圧計を使用する。
絶縁抵抗測定	1. 被測定機器の静電容量が大きくて（長い地中ケーブルなどを含む場合）1 分間では絶縁抵抗計の指針が静止しないときは、指針が静止したときの値をもって絶縁抵抗値とする。なお、測定後の回路は、必ず充電電荷を放電させること。 2. 電線またはケーブルなどの絶縁抵抗を測定する場合は、表面漏れ電流に基づく誤差を除くため、必要に応じて保護端子を使用することが望ましい。 3. 絶縁抵抗値は温度、湿度、汚損度などにより著しく変化するものであるから、天候、温度、湿度を記録しておくことが望ましい。 4. 同一電路の絶縁抵抗測定を定期的を実施する場合は、測定条件（天候、温度など）および測定方法をできるだけ一定にして行うことが望ましい。

電力用変圧器の 電路の絶縁耐力 試験	1. 試験前に、その回路が絶縁されていることを絶縁抵抗計で確認し、また、試験後にも絶縁に異常がないか絶縁抵抗計で確認するものとする。 2. 試験電圧には、商用周波数のなるべく正弦波に近い交流電圧を用いるものとする。 3. 試験電圧は、急激に上昇させずに徐々に規定電圧まで上昇させることが望ましい。 4. 試験中に電源電圧が変動するおそれのある場合は、試験電圧確認用電圧計の指針に注意し、常に一定の試験電圧が加えられるように調整するものとする。 5. 試験後の回路は、必ず接地して充電電荷を放電させるものとする。
機械器具等（電力用変圧器を除く）の電路の絶縁耐力試験	電力用変圧器の電路の絶縁耐力試験を実施する上での注意事項の他にも次の項目にも注意する。 1. 被試験回路中に、地中ケーブル、コンデンサ等がある場合には、充電電流が相当な値に達するので、試験用変圧器を使用する場合には、試験用変圧器の容量に応じて被試験回路を適切に分割する。 2. 被試験回路を分割する場合は、試験前にその区分点（遮断器等）の開放状態を確認し、加圧範囲が計画どおりであることを確認する。 3. 発電機にあっては発電機のサーチコイルの接地を、また、計器用変成器にあっては加圧されない巻線の接地を試験前にそれぞれ確認する。 4. 水銀整流器以外の整流器で、整流素子を複数個直列に接続している場合は、各整流素子の両端を短絡する。

二次 H19 2種 問5 変圧器の絶縁耐力試験

絶縁耐力試験を行う場合の注意事項を述べよ。

1. 試験前に、その回路が絶縁されていることを**絶縁抵抗計**で確認し、また、試験後にも絶縁に異常がないことを**絶縁抵抗計**で確認する。
2. 試験電圧は、**商用周波数**のなるべく**正弦波に近い交流電圧**を用いる。
3. 試験電圧は急激に上昇させず、徐々に**規定電圧**まで上昇させることが望ましい。
4. 試験中は、試験電圧確認用の電圧計の**指針**に注意し、**常に一定の試験電圧**が加えられるように調整する。
5. 試験後は、必ず被試験回路を**接地**して充電電流を放電させる。

二次 H11 2種 問6 ディーゼル式の非常用予備発電装置

需要設備に設置されているディーゼル式の非常用予備発電装置について、受電電源が停止した場合、当該予備発電装置を正常に始動させるために行う保守点検のチェック項目及び試験項目を、通常点検（おおむね毎月 1 回の点検）と特別点検（おおむね毎年 1 回）とに分けて述べよ。

通常点検のチェック項目

- ・ 水漏れの有無
- ・ 油漏れの有無
- ・ 燃料の確認（必要に応じて補給）
- ・ 潤滑油の確認（必要に応じて補給）
- ・ 冷却水タンクの水量の確認（必要に応じて補給）
- ・ 始動用空気タンクの圧力確認およびドレン抜き
- ・ 始動用蓄電池の液面、電圧、比重の確認
- ・ 軸受の潤滑油油量確認（必要に応じて補給）
- ・ 弁類の開閉状態の確認

通常点検の試験項目

非常用発電機を無負荷の状態で試運転して、運転状態を確認する。

特別点検のチェック項目

- ・ じんあいや異物の除去，清掃
- ・ 締め付け部，可動部のゆるみや損傷の点検
- ・ 経年劣化する部品や汚損損傷するものの取替

通常点検の試験項目

実負荷で運転したときの電圧・電流等の測定試験，シーケンス試験，保護継電器の動作試験が挙げられる。

二次 H19 問 6 停電事故の復旧

次の表及び文章は，ある一般電気事業者の電力系統全体にわたる停電事故（全停事故）が発生した場合の復旧手順と留意事項について，その概要を記述したものである。

復旧ステップ	手順	留意事故
初期電源の確保	一般的には，健全な隣接系統からの受電により順次再送電して復旧していくが，これが不可能な場合には，通常，短絡比が大きい大容量の水力発電所から試送電により初期電源を確保する。	フェランチ効果による電圧上昇や発電機の自己励磁が発生しないようにする必要がある。
基幹送電線の復旧	基幹系統の線路の全遮断器を開放した後，1 区間又は一定区間ごとに充電することにより，基幹送電線の復旧を行う。	線路充電容量による電圧上昇に注意する必要がある，分路リアクトル等の投入量を調整して適性電圧に保ちつつ充電を行う。
負荷への供給	各発電所の起動，立上げを図った後，給電指令に基づき，負荷への送電を行う。	系統融通量と自社供給力の増加に応じて負荷系統に順次送電する必要がある。

なお，全停事故の場合においても火力発電所の中には，系統からの解列により送電不能となった場合でも，所内負荷をもって**所内単独運転**を行うことにより，系

統の復旧時に**系統並列**, **系統連系**し, 電力供給を数時間でできる機能のあるものもある。

H30 問 6 雷過電圧とその試験法

送電線に発生する雷過電圧の原因としては, 雷しゃへい失敗による電力線への**直撃雷**や, 鉄塔あるいは架空地線に落雷が発生し鉄塔と電力線との電位差で生じる**逆フラッシュオーバ**によるものがある。この他に, **誘導雷**による雷過電圧があり, 雷雲から反対極性の電荷が送電線路に誘起され, 雷雲の放電に伴い, 送電線路上の電化は拘束を解かれ, **進行波**となって線路上を伝搬する。

送電線に現れる雷過電圧の波形は千差万別であるが, 試験規格においては**雷インパルス耐電圧試験**の波形を一義的に統一し, 標準波形と称している。標準波形は JEC-0202(1994)「インパルス電圧・電流試験一般」に規定されており, 正, 負の極性とも**波頭長**は $1.2\ \mu\text{s}$, 波尾長は $50\ \mu\text{s}$ が採用されている。**雷インパルス耐電圧試験**においては, 高電圧のインパルス電圧を発生させるため, 一般に多段式のインパルス電圧発生器が用いられる。その方式の一つに, 多数のコンデンサを並列状態で充電し, 直列状態にして放電させるものがある。印加電圧の波形は, 供試物との回路に直列に接続する**制動抵抗**, 並列に接続する**放電抵抗**, 波形調整用コンデンサ及びリアクトルによって調整する。

H19 2 種 問 2 酸化亜鉛形避雷器の試験

避雷器の試験には, 一般的な構造検査や絶縁抵抗測定試験の他, 代表的な次のような試験が挙げられる。

1. 漏れ電流試験は, 定格電圧の $90\ [\%]$ 及び連続使用電圧に相当する商用周波電圧を印加して測定する。この場合, 全漏れ電流の他, **抵抗分**漏れ電流も測定する。
2. 保護特性試験は, **急しゅん雷インパルス** ($1/2.5\ [\mu\text{s}]$), 雷インパルス ($8/20\ [\mu\text{s}]$) 及び開閉インパルス ($60/150\ [\mu\text{s}]$) の三種類の電流波形について, 所定の電流値における**制限電圧**を測定する。

3. 耐久性については、30 年間の使用期間中の連続運転電圧の課電、雷サージ（公称放電電流）15 回、開閉サージ（遮断器の正常動作で発生するレベル）50 回、**短時間過電圧** 50 回の四つの電氣的ストレスを等価模擬した安定性評価試験を行う。
4. 放圧試験は、避雷器の内部地絡をヒューズ発弧で模擬し、所定の放電電流を通電した場合、放圧装置が確実に動作し、**爆発飛散**しないことを確認する試験である。

H24 問 3 避雷器の試験

酸化亜鉛形避雷器は、優れた非直線抵抗特性を持っているため、直列ギャップを必要としないので、放電遅れがなく、構造的に簡単、かつ小形である。酸化亜鉛形避雷器の試験には、一般的な構造検査や絶縁抵抗測定試験のほか、代表的な次のような試験が挙げられる。

漏れ電流試験は、定格電圧の 90 [%] 及び連続使用電圧に相当する商用周波電圧を印加して測定する。この場合、全漏れ電流の他、抵抗分漏れ電流を測定する。

動作開始電圧試験は、酸化亜鉛形避雷器の電圧－電流特性の小電流域における所定の電流値（抵抗分漏れ電流 1 ～ 3 [mA]）に対する避雷器端子間電圧を測定する。動作開始電圧は、連続使用電圧や短時間過電圧に耐える能力の指標になる。

制限電圧試験は、急しゅん波雷インパルス、雷インパルス及び開閉インパルスの 3 種類の電流波形について、所定の電流値における制限電圧の値を求める。

酸化亜鉛形避雷器が「実系統で課せられる責務を果たした後、引き続き使用できること」を確認するために行う試験を**安定性評価試験**という。30 年間の使用期間中の連続運転電圧の課電、雷サージ（公称放電電流）15 回、開閉サージ（遮断器の正常動作で発生するレベル）50 回、短時間過電圧 50 回の 4 種類の電氣的ストレスを等価模擬した試験を行う。

H23 2種 問3 ケーブルの絶縁診断

油浸絶縁ケーブルの絶縁低下は、主にシースの腐食・外傷などによる絶縁体の吸湿、浸水やケーブルの熱伸縮などによる**空げき**の発生、長年月の使用による絶縁体の変質などの単独あるいは組み合わせにより発生する。また、CV ケーブルの絶縁低下は主に**水トリー**の進展により発生する。

主な絶縁診断方法は次のとおりである。

a. 直流漏れ電流測定

ケーブルの導体とシース間に一定の直流電圧を印加し、**漏れ電流**の大きさ・変化・三相不平衡などを時間で整理し、その形状や値から絶縁状態を調べる。

b. 部分放電測定

交流又は直流課電時の**部分放電**を測定し、一定時間内に発生する一定量を超えるパルス数などを電圧や時間などで整理し、その特徴を調べる。この方法では**部分放電**発生位置も測定しうる利点もある。

c. 油浸絶縁ケーブルの絶縁油調査

OF ケーブル、POF ケーブルの**絶縁油**を採取して、誘電特性、ガス含有量などの測定を行い、劣化の程度を調べる。

d. CV ケーブルの絶縁診断

CV ケーブルの**水トリー**による劣化に対する絶縁診断手法の主なものは、絶縁体中への空間電荷の蓄積現象を利用した残留電荷法、電流－電圧特性の非線形性を利用した交流損失電流法などがあげられる。

二次 H23 問6 OF ケーブルの異常診断

次の表は、OF ケーブルの異常診断法の測定内容と特徴（表 1）、及び絶縁破壊事故が発生した場合の事故点測定法の長所と短所、事故点までの距離（表 2）に関する記述である。

異常診断法	測定内容	特徴
油中ガス	採取した絶縁油中に溶	分析結果のガスの 種類 や 量 により、異常の有

ス分析	解した放電や熱分解による分解生成ガスを抽出・分析する。	無と異常の程度を推定することが可能である。	
絶縁油特性試験	採取した絶縁油の各特性（ 水分量，体積抵抗率，誘電正接 ，全酸価，絶縁破壊電圧）を測定する。	各特性の測定結果により，施工不良，気密性，絶縁油の汚損状況，熱劣化等を推定することで，異常の程度を推定することが可能である。	
コアずれ測定	放射線によりケーブルや接続箱の内部を撮影し，内部状況を調査する。	セミストップ部の変形，遮へい層の乱れや，コアずれ量による接続箱内の 絶縁紙のずれや損傷 を把握し，油中ガス分析と組み合わせることで，異常の程度を推定することが可能である。	
部分放電測定	発生している部分放電を測定し，一定時間内に発生する部分放電パルス数等を電圧や時間で管理する。	油中ガス分析では検出困難な ケーブル部の部分放電位置の検出 に有効である。停電ができない電線路の測定が可能である。	
事故点推定法	長所	短所	測定端から事故点までの距離： Ⅱ
マーレープ法	導体抵抗を利用したホイートストンブリッジ法のため，測定精度が高く，誤差は1[%]程度以下である。	並行健全相がない場合，事故点が放電する場合， 断線事故 には適用することができない。	ケーブル全長をL/相，測定辺抵抗をR1,R2 とすると，lは 2L・R1/(R1+R2) または 2L・R2/(R1+R2) と表される。
パルスレシ	パルス電圧を送出し，事故点からの反	測定操作，パルス波形の判読に熟	第1波パルスと第2波パルスの時間差をt，ケーブル内のサ

一ダ 法	射パルスを検知するため、地絡、短絡事故や 断線事故 に適用できる。	練を要する。	ージ伝搬速度を v とすると、 l は $v \cdot t/2$ と表される。
---------	--	--------	--

二次 H12 2種 問5 受変電設備の点検

屋外開放形の受変電設備の改修・点検作業や改修・点検時の機器操作において、作業者の感電等の人身事故を防止するためにとるべき安全対策を、次の項目について簡潔に述べよ。

1. 電気設備の設計，施工面での安全対策
2. 改修・点検時の作業や操作を行う際の設備面での安全対策
3. 改修・点検時の作業や操作を行う際の作業面での安全対策

電気設備の設計，施工面での安全対策

電気設備技術基準の遵守するとともに、労働や安全衛生規則による充電電路に対する接近限界距離を遵守する。また、経済性を考慮した上で、GIS 機器など充電部の露出部分を少なくする設計とする。施工面では、工程に余裕を持たせるとともに、安全に作業が進められるように、手順書の作成を行う。

改修・点検時の作業や操作を行う際の設備面での安全対策

- ・ 充電部との安全距離を確保するために、作業区画を実施する。
- ・ 超高圧設備など静電誘導電圧の高いところでは、静電シールドを実施する。
- ・ 機器配置や照明などの作業環境を整備する。
- ・ 誤操作防止を図るため、タブレットなどを用いる。

改修・点検時の作業や操作を行う際の作業面での安全対策

- ・ 定期的に安全教育を実施する。
- ・ 作業前に、TBM-KY（ツールボックスミーティング・危険予知）を実施する。
- ・ 作業・操作手順書を作業員全員に周知徹底する。

- ・ 誤操作防止処置（インタロックやタブレット）を確認する。
- ・ 電路の検電と接地を実施する。
- ・ 給電所・制御所など関係箇所と確実な相互連絡を実施する。
- ・ 予定外作業は絶対に行わない。
- ・ 基本動作の励行と，必要に応じて監視員を配置する。
- ・ 運転側・作業側など責任区分を明確化する。

二次 H22 2種 問6 保安規定

1. 自家用電気工作物に関する保安規程が具備すべき事項

次の文章は，電気事業法及び同法施行規則に基づく自家用電気工作物に関する保安規程が具備すべき事項の一部である。

1. 事業用電気工作物の工事，維持又は運用に関する業務を管理する者の職務及び**組織**に関すること。
2. 事業用電気工作物の工事，維持又は運用に従事する者に対する**保安教育**に関すること。
3. 事業用電気工作物の工事，維持又は運用に関する保安のための巡視，点検及び**検査**に関すること。
4. 事業用電気工作物の**運転**又は操作に関すること。
5. 発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること。
6. 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること。
7. 事業用電気工作物の工事，維持又は運用に関する保安についての**記録**に関すること。
8. 事業用電気工作物の法定事業者検査に係る実施体制及び**記録**の保存に関すること。

2. 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること

- ・ 災害時の社内体制の確立（指揮命令系統・情報伝達経路の確立）
- ・ 災害時の外部機関との協力体制の確立
- ・ 保全要員，応急資材の調達，確保
- ・ 事業用電気工作物の予防強化策

- ・ 事業用電気工作物の運転又は停止手順
- ・ 災害後の臨時点検の実施

問 6 電気工作物の保全

電気工作物の保全について、次の問に答えよ。

1. 電気工作物の保全について、技術的見地からその必要性（目的）について述べよ。
2. 保全方式とは、事後保全（CM:Corrective Maintenance）と予防保全（PM:Oreventive Maintenance）に大別される。
 - a. 事後保全方式について説明せよ。
 - b. 予防保全方式のうち、定期保全方式について説明せよ。
 - c. 予防保全方式のうち、予防保全（状態監視保全）方式を採用する利点（メリット）を二つ述べよ。

1. 電気工作物の保全の必要性（目的）

電気工作物の故障等の発生により、公共の安全や電力の安定供給等が脅かされるので、常に法令で定める技術基準に適合するよう、その性能等を維持すると共に、事故の未然防止を図ることが必要であり、それが保全の目的となる。

2-a. 事後保全方式

故障停止又は著しい性能低下に至ってから修理を行う保全方式であり、**通常事後保全と緊急保全**とに管理上、分類できる。

2-b. 定期保全方式

従来の経験又は、その電気工作物の特性から一定期間の周期を定めて点検を行い、**定期的に分解・清掃又は部品交換や補修**を行い、突発事故を未然に防ぐ保全方式をいう。

2-c. 予防保全（状態監視保全）方式を採用する利点（メリット）

- ・ 機器・設備の劣化状態等を把握できるので、無駄な交換が不要となり、**保全費用を低減**できる。
- ・ 機器・設備の異常兆候の早期発見や予測などが可能であり、機器の故障や

システム停止を未然に防止できる。

- ・ 機器の劣化による機能低下を検知することができ、システムの機能及び性能の低下を防止できる。

二次 R1 2種 問6 発電用風力設備

事業用電気工作物としての発電用風力設備に関して、次の問に答えよ。

1. 発電用風力設備は、公衆安全と電気保安の確保のために、設置時のみならず、巡視・点検等継続的に保守管理を行うことにより、運用中も「[発電用風力設備に関する技術基準を定める省令](#)」に適合するよう維持しなければならない。発電用風力設備において維持すべき重要な技術要件を二つ答えよ。
2. 風車が構造上安全であるために設計上考慮すべき風圧荷重を二つ答えよ。
3. 避雷塔や避雷針を施設する方法以外に、雷撃からブレードを保護する措置を答えよ。
4. 風力発電設備内部を雷撃から保護するために等電位ボンディングという方法が採用されている。この保護の方法について答えよ。

(1)

- ・ 危険表示や接近する恐れがないような措置など取扱者以外の者に対する危険防止措置を維持する。
- ・ 風車のハブ・ナセルの落下、ブレードの飛散などが発生しないように風車の構造上の安全を維持する。
- ・ タワーの倒壊などが発生しないように風車を支持する工作物の構造上の安全を維持する。
- ・ 過回転時や制御機能喪失時の自動停止等により風車の安全な状態を確保する。
- ・ 雷撃防止措置等により風車の安全な状態を確保する。
- ・ 圧油装置等の危険の防止を図る。

(2)

- ・ 突風や台風等の強風による風圧荷重のうち最大のもの

- ・ 風速及び風向の時間的変化により生じる変動荷重

(3)

設置場所の落雷条件を考慮して、レセプタを風車へ取り付ける及び雷撃によって生じる電流を風車に損傷を与えることなく安全に地中に流すことができる引下げ導体等を施設する。

(4)

風力発電設備内部の離れた導電性部分間を直接導体又はサージ保護装置で電氣的に接続することで、その部分間に雷電流により発生する電位差を低減させて保護する。

変圧器

H23 問 6 変圧器の直流偏磁

変圧器の鉄心は、非常に磁化特性に優れた電磁鋼板（けい素鋼板）で構成されており、また、磁気回路も磁気抵抗が小さくなるような接合で構成されている。したがって、鉄心は直流偏磁の影響を非常に受けやすく、結果的に振動・騒音の増加、励磁電流の増大などを引き起こす。

直流偏磁が発生する要因としては、次のようなものがある。

交直変換装置のトリガ（点弧）点のばらつきなどによって発生する電流の正負のふぞろい分が直流成分となり、これが直接接続される変換用変圧器の励磁電流として供給される場合。

地磁気誘導電流の直流成分が、直接接地系の系統において中性点を介して電力用変圧器に流れ込む場合。

このような直流偏磁の防止策として、一般的には変圧器の中性点側に小さな値の抵抗を接続することなどで影響を抑制できる場合もあるが、系統条件との整合が必要である。

加えて、直流偏磁の影響を受けやすい自励式変換用変圧器では、直流偏磁を検出して抑制制御する手段が採られ、直流偏磁の検出を容易にし、各変圧器の交流電圧の分担を均一にするため、鉄心にギャップを設けて線形励磁特性としている。

H25 問 2 ガス絶縁変圧器

都市部の屋内・地下変電所では、防火対策が簡略化できることから従来の絶縁油に代わり、SF₆ ガスにて絶縁し、不燃化を図るガス絶縁変圧器が採用される例が増えている。GIS などのガス絶縁開閉機器との組み合わせも容易であり、**コンサベータ**が不要のため高さ低減もできるなどの利点がある。

ガス絶縁変圧器の絶縁は、SF₆ ガスと固体との複合絶縁で構成し、導体絶縁材料には**ポリエステル系フィルム（PET）**が使用されている。また、冷却は 60 [MV・A] 程度以下の小容量器では、SF₆ ガスを**循環**して冷却する方式が用いられている。SF₆ ガスは絶縁油に比べ、**比熱**が低く、巻線の冷却効率が劣るため、300 [MV・A] 程度の大容量器では、開発当初は、冷却媒体として不燃性で冷却性能の高いパーフルオロカーボンを用いる方式が用いられていたが、最近では SF₆ ガスの**圧力**を高め、冷却性能を高めた方式が主に用いられている。

H18 問 5 ガス絶縁変圧器の冷却方式

現在のガス絶縁変圧器では、巻線や鉄心を冷却する媒体として SF₆ ガスを用いている。SF₆ ガスは絶縁油と比べて熱容量が小さいことから、容量が大きな変圧器では、冷却性能を向上させるために SF₆ ガスの圧力（封入圧力）を高めたもの、パーフルオロカーボン（PFC）液を冷媒として用いるものが実用化されている。

ガス絶縁変圧器の適用効果の主なものとして、次のようなものがある。

絶縁、冷媒媒体が不燃性であり、消火設備や防火設備が簡素化できる。

集油槽、放圧管が不要となるとともに、温度変化による内圧変化が小さいため**コ**

ンサベータが不要となり、建物階高の低減が図れる。

ガス絶縁開閉装置と直結することにより、建物面積の縮小化が図れる。

このほか、SF₆ ガス、PFC 液は酸化劣化の心配がないこと、**吸湿呼吸器がなく、シリカゲルの交換が不要**であること、負荷時タップ切換装置にはアークによるガスの分解を防止するために真空スイッチを用いたものが適用され、**活線浄油機が不要**となるなどの特徴があり、保守性の向上も期待できる。

H25 2種 問2 変圧器の負荷時タップ切換装置

負荷時タップ切換装置における負荷時タップ切換器は、無電流状態でタップを選択する**タップ選択器**と、選択された回路の電流を開閉する切換開閉器と、タップ切換の際、タップ間が橋絡されたときに流れる**循環電流**を制限する**限流インピーダンス**とから構成される。

切換開閉器は、タップ切換の際、アークを発生し、切換開閉器室内の油を汚損したり、接点の磨耗が避けられない。このため、最近では、切換開閉器の長寿命化や切換開閉器室の浄油のための保守の省力化の観点から、**真空バルブ**を使った切換開閉器も使用されている。

通常、負荷時タップ切換装置の耐用切換回数としては、電気的には 20 万回、機械的には **80 万回**と決められ、形式試験で確認されている。

H27 2種 問2 変圧器の励磁突入電流

変圧器充電時における鉄心内の磁束は印加電圧の**積分**で表されるので、例えば電圧零の時点で電源が投入されると、最初の 1 サイクルの間に磁束は定常状態の磁束最大値の 2 倍に達し、飽和磁束密度を超えるので、過渡的に大きな電流が流入する。この電流を励磁突入電流という。変圧器投入時に鉄心内に**残留磁束**があり、それが印加電圧による磁束の変化と同一方向の場合には、両者が加算されるため更に大きな励磁突入電流となる。

このようにシフトした磁束は徐々に定常状態に戻っていき、それとともに励磁突入電流も落ち着くが、この継続時間は回路のインダクタンスと抵抗によっ

て決まり、**容量が大きくなる**ほど長く、数十秒以上に及ぶことがある。

このように大きな突入電流による比率差動リレーの誤動作を防止するため、変圧器投入後、一定時間リレーをロックする方法や、突入電流に**第二高調波**が多く含まれているので**第二高調波抑制機能付比率差動リレー**を用いる方法がとられる。

また、励磁突入電流による電圧変動を抑制するため、変圧器投入時の抵抗投入や**投入位相**の制御などを行うことがある。

H29 2種 問3 変圧器,母線の保護リレー

主要変圧器の保護には**比率差動リレー**が用いられる。**比率差動リレー**は変圧器内部事故を検出するもので、**巻線間短絡**事故などの事故電流が負荷電流よりも小さい事故でも検出することが可能である。なお、**励磁突入電流**による誤動作を防止するため、**励磁突入電流**に第二調波成分が多く含有することを利用した誤動作防止機能が吹かされている。

母線の保護には電流差動方式による母線保護リレーが用いられ、外部事故時に変流器が**磁気飽和**しても誤動作しない高インピーダンス形差動方式による一括保護、又は一括保護と母線切替え時の変流器切替えが容易な**低インピーダンス**形差動方式による分割保護の組み合わせが適用される。なお、近年のデジタルリレーでは、変流器**磁気飽和**対策を施し一括保護にも**低インピーダンス**形差動方式を用いる事が多くなっている。

H28 2種 問3 電力用変圧器の損失

変圧器の損失は無負荷損と負荷損からなる。この内、負荷損は一方の巻線を短絡した状態で他方の巻線へ定格周波数の電圧を加え、定格電流を流したときに生じる損失であるが、その値は巻線の抵抗損（電流の2乗×直流抵抗）よりも大きくなる。これは、漏れ磁束が巻線やタンクなどへ鎖交して渦電流が流れることによって**漂遊負荷損**を生じるためである。この損失は**高インピーダンス器**ほど大きくなるため、変圧器の設計に当たり配慮が必要である。

漏れ磁束によって巻線内に発生する損失は、漏れ磁束と**直交する方向**の巻線導

体幅の 2 乗におおむね比例することから、これを低減するためには導体の細分化が有効である。導体を複数の絶縁素線に分割し、途中で素線の**相互位置**を変える電線を**転移電線**といい、定格電流が大きい巻線などに適用されている。

また、漏れ磁束によってタンクなどで発生する損失は局部過熱の原因ともなる。タンクへ鎖交する漏れ磁束への対策として、けい素鋼板やアルミニウムなどのシールドを設置することが行われている。この内、アルミニウムなどの良導電性のシールドは、シールドに渦電流が流れタンクへ向かう漏れ磁束を**打ち消す**ことで損失・局部過熱を防止するものである。

H22 2 種 問 2 変圧器の低騒音化

変圧器騒音の発生原因の主なものとして次のようなものがある。

1. 鉄心の**磁気ひずみ**による振動
2. 鉄心のつなぎ目及び成層間に働く**磁気吸引力**による振動
3. 巻線導体間又は巻線間に働く**電磁力**による振動
4. **強制冷却**の場合、ポンプ、ファンなどの補機が発生する振動

これらの原因のうち、鉄心の**磁気ひずみ**による振動が変圧器の振動発生の主原因と考えられている。鉄心から発生する騒音を低減するためには、**磁気ひずみ**を小さくし、経時変化の少ない材料を使用したり、鉄心の磁束密度の値を下げたりする方法が考えられる。磁束密度の低減は、変圧器の大きさ、重量などに影響を与えるため、通常的设计値に比べ、大容量器では磁束密度の低減は **10 [%]** 程度、中容量器では **20 [%]** 程度が限度であり、それ以上は鉄板やコンクリート製の防音壁で変圧器本体の周囲を覆い、騒音を低減する方法を併用する。

H20 2 種 問 2 変圧器の負荷時タップ切換装置

負荷時タップ切換装置は、負荷時タップ切換器とその駆動装置及び保護などの付属装置から構成される。そのうち、負荷時タップ切換器は、無電流状態でタップを選択するタップ選択器と、選択された回路の電流を開閉する**切換開閉器**のほか、タップ切換動作の際、**タップ間**が橋絡されたときに流れる**循環電流**を制限する**限流インピーダンス**とから構成される。なお、変圧器の巻線が Y 結線の

場合には、負荷時タップ切換器は、通常、**絶縁**が容易な巻線の中性点側に設置される。

H16 2種 問4 変圧器に使用される鉄心材料

変圧器の鉄損はヒステリシス損と渦電流損とからなる。ヒステリシス損は交番磁界のもとで鉄心を磁化するとき、磁気ヒステリシスループを一巡するごとに必要とされるエネルギーが熱の形となって放出されるもので、磁気ヒステリシスループに囲まれた面積に比例し、鉄心を形成するけい素鋼板の厚さに**無関係である**。渦電流損は、磁束変化によって鉄心内に誘導起電力が生じ、これによって流れる渦電流によるジュール損であり、けい素鋼板のような薄板では厚さの**2乗に比例する**。変圧器の鉄心は、厚さ 0.3 ～ 0.35 [mm] 程度のけい素鋼板を互いに絶縁して積層しており、**板面を貫く（貫層）**方向に渦電流が流れるのを防止している。

電力用変圧器に一般的に用いられる方向性けい素鋼板は、結晶粒が**圧延方向**に配向しており、無方向性けい素鋼板に比べて鉄損が小さく透磁率が高いので、大容量変圧器の高性能化、小型化に寄与している。
アモルファス磁性材料は、原子配列が無秩序で結晶磁気異方性や結晶粒界がなく、抵抗率が高く保持力が小さい**高透磁率**材料である。このため、鉄損が小さい。

H19 2種 問6 差動リレー方式

変圧器の保護に一般的に用いられる電気式リレー方式として差動リレー方式が挙げられる。差動リレー方式を適用する理由は、事故電流の小さい**巻線間短絡**を検出できることである。

変圧器の一次、二次の結線が Y-Δ 結線の場合、変圧器一次、二次の電流の位相が異なる。そのため、差動リレー方式を適用する際、内部のソフトウェアで補正しない場合には、変圧器一次側の CT 二次結線には **Δ** 接続、変圧器二次側の CT 二次結線には **Y** 接続を用いて電流位相の整合をとらなければならない。CT 二次結線を、変圧器一次側 **Y** 接続、二次側 **Δ** 接続とした場合でも電流位相を合わせることができるが、変圧器一次側の中性点が接地してあると、外部地絡事故

が発生した場合、変圧器一次側の CT 二次回路にのみ**零相**電流が流れることで、リレーの誤作動につながる。

また、差動リレー方式のように複数の CT の差電流で事故を検出する場合、CT 間の特性差により誤差電流が発生することが考えられる。このようなことから、差動リレーの誤動作を防ぐために、リレーに入力された電流のスカラ和で**抑**制量を作り、リレーの感度を調整する比率差動リレーが一般に採用される。

H24 2種 問4 複合がい管・碍子の特性と適用

送電線や変電機器のがい管、がいしには、従来から磁器製のものが広く採用されているが、近年、これに加えて **FRP** 製の筒に**シリコンゴム**を被覆した複合がい管・がいしが採用されてきている。

複合がい管・がいしの長所は、軽量であること、**はっ水性**があるため耐汚損性能が良好であることなどである。一方、複合がい管・がいしは上記のような長所をもつ反面、寿命特性を十分確認することが必要である。

複合がい管・がいしは、軽量であることから、66 [kV]、77 [kV] 送電線では**相間スぺーサ**に多く適用されている。変電所ではガス遮断器のブッシングや**避雷器**にも一部適用されている。

H18 2種 問6 変電所のがいしの塩害対策

塩分ががいし表面に付着すると、霧や小雨により湿潤して溶解し、導電性があり、がいし表面の**漏れ電流**が増加する。これにより、がいし表面が乾燥して部分放電が発生したり、さらに、フラッシュオーバーに移行して事故にいたる懸念があることから、塩害対策を行っている。

塩害対策として、隠ぺい化などもあるが、屋外変電所では汚損マップやパイロットがいしによる実測等をもとに、がいしの**塩分付着密度**を決定し、これとは別に耐塩対策設計の重要な項目であるがいしの**耐電圧**の目標値を決定しておく。これらとがいし表面の**漏れ距離**を考慮して、使用するがいしを選定することになる。このほか、がいしを洗浄するのも対策の一つであるが、この場合、洗浄水

の圧力や洗浄水の抵抗率とがいし洗浄耐電圧の関係をよく把握しておく必要がある。

変圧器の輸送

二次 H24 問 4 大容量変電機器の信頼性確保

大容量変電機器の信頼性確保に関して大容量変圧器及び大容量 GIS を例にとり、次の問に答えよ。

1. 大容量変電機器の品質を確保するために、輸送及び現地据付けに関して、設計時に配慮する事項を説明せよ。
 - a. 大容量変圧器及び大容量 GIS に共通して配慮する事項
 - b. 大容量変圧器及び大容量 GIS に個別に配慮する事項
2. 現地据付けにおいて品質管理に必要な配慮事項を、① 作業環境、② 絶縁物の吸湿防止、③ 異物混入防止に関して、機器ごとにそれぞれ説明せよ。

(1) 輸送及び現地据付けに関して、設計時に配慮する事項

a. 大容量変圧器及び大容量 GIS に共通して配慮する事項

工場で試験を終えた変電機器は、必要に応じて輸送のための分解、梱包を行ってから、現地へ輸送される。現地では、分解された機器を組み立て、絶縁媒体を封入し、試験を行い、運用を開始する。大容量変電機器の設計では、輸送において、輸送単位が機器一体輸送、または、分解数を極小化するように配慮する。また、現地据付けにおいては、現地作業の範囲を極小化、単純化し、施工不良の発生を減らすよう配慮して設計されている。

b. 大容量変圧器に配慮する事項

リード線の接続においては、工場製造時に取り付けた羽子板端子構造によるボルト締結とし、リード線切断を行わない構造としている。冷却部取り付け部の接続では、取り付け部のバルブを本体側のフランジに取り付けたまま、冷却器を取り外せる構造として、分解、輸送時の防水、防塵効果を高めている。

c. 大容量 GIS に配慮する事項

通電部の通電接触子を用い、導体部に、はめあい構造、ボルト締結といった簡易な接続方式を採用し、複雑な作業を伴わず、確実に接続できるよう配慮されている。タンク接続においては、フランジ部の防水構造化、吸着剤取り付けによる防湿対策がなされている。また、金属異物が発生しにくいはめ合い構造による異物対策がなされている場合もある。

(2) 現地据付けにおいて品質管理に必要な配慮事項

a. 大容量変圧器

- ① 作業環境：タンク内に塵埃や異物が混入しないよう、周囲に隔壁を設置するなどの防塵措置を施す。作業場周辺に散水を行うなどの作業環境を整備し、必要により粉塵計を使用して防塵管理を行う。
- ② 絶縁物の吸湿防止：タンク内作業時における絶縁物の吸湿を防止するため、絶縁物の露出時間を管理するとともに、作業に使用する乾燥空気の湿度とタンクの内部湿度を管理する。現地作業中に吸湿した水分を熱湯噴霧循環により乾燥させ、絶縁物表面部分の水分量を基準値以下にする。高真空化（0.1 ～ 3 [Torr]）で脱気装置を通して脱気ろ過した絶縁油を注油する。
- ③ 異物混入防止：真空脱気注油後、さらに絶縁油中の微小な塵埃を除去し、脱気度を向上させるため、タンク内の絶縁油を真空脱気装置を通して脱気ろ過循環する。

b. 大容量 GIS

- ① 作業環境：現地接続部の組立の品質は、作業環境の影響を受けやすい。雨天時の作業を回避するとともに、湿度、風速、及び塵埃を基準値以下にする。（湿度 80 [%] 以下、風速 5 [m/s]以下、塵埃 20 [カウント/min] 以下）
- ② 絶縁物の吸湿防止：組み立て中は、所定の防水処理を行い、吸着剤の放置時間は 30 分以内とする。
- ③ 異物混入防止：作業中はフランジ面への保護カバー取り付けや、Oリングの傷、異物がないことを確認する。防塵フェンスや防塵ハウスを設置し、防塵に配慮する。ガス処理を行う前に、導体接続部の目視確認を行い、真空掃除機などを用いて、タンク内部を清掃し、吸着剤を取り付ける。

二次 H12 問 2 GIS の輸送、据付、現地試験

SF₆ ガス絶縁開閉装置（GIS）の工場製作完了から現地据付・試験完了までの期間における次の事項について概要を述べよ。

1. 輸送に関して配慮すべき事項
2. 据付に関して配慮すべき事項
3. 現地試験において確認すべき事項

輸送に関して配慮すべき事項

我が国の陸上輸送は諸外国に比べ、一般に輸送重量・制限が厳しく、個々に輸送方法・経路を事前に確認する必要がある。検討する事項としては、以下の通り。

- ・ 輸送経路
- ・ 搬入路と荷下ろし方法
- ・ 輸送時の振動・衝撃

据付に関して配慮すべき事項

- ・ 基礎工事：据付ボルトの位置等
- ・ 据付作業
- ・ じんあい管理：粉じん計により測定し、20 カウント以下となるよう管理
- ・ 水分管理：分解ガスを発生しない機器は 500[ppm]以下、分解ガスを発生する機器は 150[ppm]以下
- ・ ガス充てん：リークディテクタにてガス漏れの有無を確認
- ・ 防水処理：コーキング等で防水処理

現地試験において確認すべき事項

- ・ 絶縁抵抗測定
- ・ 接触抵抗測定
- ・ 開閉試験
- ・ インターロック試験

二次 H17 2種 問2 変圧器の輸送，据付作業における品質確保

大容量変圧器の輸送，現地据付作業における品質確保に必要な管理項目について，絶縁物の吸湿防止，異物混入防止，過大な衝撃防止等の観点から 5 項目以上挙げ，その内容を説明せよ。

1. 変圧器輸送時は変圧器のブッシング保護の観点から、輸送車両にはタコグラフを取り付けて、工場から据付箇所までの輸送時における速度や加速度を管理して、過大な衝撃を防止する。
2. 据付作業準備時は天候によって作業の可否を決めるとともに、湿度および風速を管理する。また、粉じん計で、じんあいを管理する。
3. 本体据付時は防じん室や防じんカバーを設けて異物混入を防ぐ。また変圧器本体内で作業を行う作業員は、非導電性の作業服、靴、帽子を着用する。
4. ガス絶縁変圧器本体への SF₆ ガス封入時は、吸着剤を事前に封入するとともに、ガス封入後、ガス圧が定格値であることを確認する。また、SF₆ ガスの水分測定を行い、水分量が管理値以内であることを確認する。
5. 油入変圧器の絶縁油の注入は、変圧器を事前に乾燥させた上で、絶縁油の真空脱気注油を行う。また、絶縁油の水分、ガス分析を行い、管理値以内であることを確認する。

接地

二次 H16 問 5 変電所の接地

1. 変電所における次に示す接地について、その目的を記述例にならって簡潔に説明せよ。
 - a. 避雷器（雷害防止用）接地
 - b. 機器接地（金属製外箱等の接地）
 - c. 雑音（ノイズ）対策用接地

（記述例）系統接地：高圧又は特別高圧電路と低圧電路を結合する変圧器において、混触によって発生する低圧電路の災害を防止する接地である。

2. 接地設計においては、人体にかかる歩幅電圧及び接触電圧を考慮し、接地抵抗を検討する必要がある。歩幅電圧及び接触電圧について、それぞれ簡潔に説明せよ。

1. 変電所における接地の目的

避雷器（雷害防止用）接地

直撃雷や誘導雷によって発生する雷電流を安全に大地へ放流するための接地である。雷電流は継続時間は短いが、接地電流としては最大級であり、雷防止用接地として架空地線の接地があり、大小各種避雷器の接地も雷害防止用接地に含まれる。

機器接地（金属製外箱等の接地）

電気機器の絶縁が何らかの原因で劣化すると、内部の充電部分から外部の露出非充電金属部分に異常電圧が発生し、感電する危険があり、感電防止を図るための接地である。

雑音（ノイズ）対策用接地

雑音の侵入によって、電子機器装置が誤動作したり通信品質が低下することを防止するため、さらに、電子機器装置から発生する高周波エネルギーが外部に漏えいして、他の機器に障害を与えぬようにするための接地である。

<3>2. 歩幅電圧及び接触電圧について

変電所では、雷撃電流や高圧電路の地絡故障電流などが原因で接地電極近傍に電位が分布する。このとき、変電所構内の大地に人が立っているときの両足にかかる電位差を歩幅電圧という。一般に接触電圧は、接地系に接続された構造物とそれから 1 [m] 離れた地表面の電位差で評価される。歩幅電圧及び接触電圧ともわが国では、100 ～ 150 [V] が目安とされている。

二次 H21 2種 問3 変電所敷地内に敷砂利

(2) 変電所の敷地内に敷砂利を施設する効果について、接地抵抗の観点から定性的に説明せよ。

(2) 変電所敷地内に敷砂利を施設する効果

地表面に固有抵抗が高い敷砂利の層を設け、人体の足と大地間の接地抵抗を増加させることにより、人体に加わる歩幅電圧、接触電圧の許容値を上げることができる。

二次 H28 2種 問5 変電所の接地

変電所の接地に関して、次の問に答えよ。

1. 変電所の接地設計においては、人体にかかる歩幅電圧及び接触電圧を考慮する必要がある。歩幅電圧及び接触電圧について、それぞれ簡潔に説明せよ。
3. 歩幅電圧又は接触電圧が許容値を若干超えてしまう場合、対策として、取り扱われる機器の周囲の地表の砂利層を厚くすることがある。なぜ効果があるのか簡潔に説明せよ。

1-1. 歩幅電圧

接地極に大電流（事故電流）が流れるとき、大地の電位の傾きにより地表面の2点間に電位差が生じる。これにより人体の両足間に加わる電圧をいう。

1-2. 接触電圧

接地極に大電流（事故電流）が流れるとき、大地の電位の傾きにより、接地した物体とその物体と少し離れた地表面との間に電位差が生じ、接地した物体に人体が接触した場合に人体に加わる電圧をいう。

3. 砂利層の効果

足と大地との抵抗を大きくすることができるため、歩幅電圧と接触電圧の許容値を大きくすることができる。

二次 H15 2種 問3 交流電圧降下法

低い接地抵抗が要求される変電所の接地網の接地抵抗の測定は、交流電圧降下法によって行われる。これについて、次の問に答えよ。

1. この測定に際して、いくつかの留意すべき事項があるが、そのうちの三つを挙げよ。

注意事項

- 電圧回路への誘起電圧を低減するため、電流回路は電圧回路と 90° 以上の交差角をとる。
- 電流回路の電源が 1 線または中性点を接地している場合は、必ず絶縁変圧器によって電流を電源回路から絶縁する。
- 電流回路の電流値は、なるべく大きくする。
- 電圧補助電極の抵抗による誤差を避けるため高インピーダンス電圧計を使用する。
- 接地抵抗値は、電圧回路および電流回路と接地網の接続点をいくつか変えて測定し、それらの平均値を求めるようにする。

二次 H30 2種 問6 中性点接地方式

(2) 消弧リアクトル接地方式の仕組みと目的についてそれぞれ述べよ。

(2) 消弧リアクトル接地方式の仕組みと目的

この方式はドイツのペテルゼン氏の発明で、ペテルゼンコイル接地方式（PC 接地方式）ともいう。

仕組み

1 線地絡時に故障点から大地を通して、対地静電容量に流れ込む電流を打ち消すようなインダクタンスをもつ消弧リアクトルを中性点に設置し並列共振回路とすることで、地絡故障時のアークを消弧する。

目的

線路を遮断せず、そのまま電力の供給を続けること。

二次 H29 2種 問5 高圧配電系統

我が国の高圧配電系統に関して、次の問に答えよ。

1. 現在、我が国の大部分の配電系統は 6.6 kV 三相 3 線式中性点非接地方

式となっているが、我が国が従来から非接地方式を主体に発展してきた理由を次の観点から簡潔に説明せよ。

- a. 誘導障害の観点
 - b. 保安の観点
2. 近年、配電線に電力ケーブルが適用される場合が増加しているが、これが原因となって生じるおそれがある配電系統側の問題点について次の観点から簡潔に説明せよ。
- a. 地絡保護リレーの動作
 - b. 異常電圧の発生
3. 上記 2. の c と d の問題点に対し、両方に効果がある方法として、配電線の送り出し変電所側の対策を一つ挙げ簡潔に説明せよ。

1-a. 誘導障害の観点

6.6 kV 配電線は通信線とともに架空線で同一電柱に施設されることが多く、大地帰路電流の大きい接地方式を採用すると通信線に対する電磁誘導障害が問題となってくる。このため、地絡電流の小さい非接地方式が採用された。

1-b. 保安の観点

非接地方式によって地絡電流を小さく抑えると、**高低圧混触時に低圧線の電位上昇を低く抑える**ことができ、感電や火災の危険性の低減につながり、保安の観点で有利であった。

2-c. 地絡保護リレーの動作

電力ケーブルの増加によって線路の対地静電容量が大きくなると、地絡発生時の零相電圧が小さくなり、また零相電流は非接地系で小さいことから、地絡保護リレーの動作において、所要の地絡検出感度を得るのに困難な場合がある。

2-d. 異常電圧の発生

非接地方式の配電系統では、間欠アーク地絡が発生すると、配電系統に異常電圧が発生するおそれがある。この場合、配電系統に電力ケーブルが多く適用され、対地静電容量が大きいほど異常電圧の発生のおそれが高まる。

3. 配電線の送り出し変電所側の対策

- 1 台の配電用変圧器が受け持つ配電系統の負荷容量や対地静電容量が過大になった場合、配電用変圧器を新たに増設して受け持つ配電系統を分割する。

二次 H15 問 5 送配電系統の中性点接地方式

次の問は、送配電系統の中性点接地方式に関するものである。

(1) 次の表は、各種の中性点接地方式の特徴を記述したものである。表中の A, B, C 及び D の記号を付した空欄に記入すべき各種接地方式の長所及び短所をそれぞれ二つずつ挙げ、非接地方式の記述を参考にして、答案用紙に記入しなさい。

(2) 消弧リアクトル接地方式は、中性点に接地された消弧リアクトル（インダクタンス L ）により 1 線地絡故障点の電流 I_e を零近くまで減少させることにより、故障点アークを自然消弧させて送電を継続させる方式である。図のような消弧リアクトル接地方式の系統で線路のキャパシタンスを C としたとき、 I_e が零となるような条件を、 L 及び C と系統電圧の角周波数 ω を用いて示せ。

ただし、線路のインピーダンス、変圧器のインピーダンス及び負荷電流は無視する。（関係式を導くための計算過程も図の記号を用いて答案用紙に記入すること。）

中性点接地方式の特徴			
接地方式の種類	長所	短所	我が国で適用されている主な電力系統
非接地方式	1. 接地のための設備は不要である。 2. 低電圧・短距離の送電系統では、1 線地絡時に永久地絡でない限りアーク地絡等は持続しないので、故障は自然	1. 1 線地絡時の対地健全相電圧は線間電圧まで上昇する。 2. 低電圧・短距離の送電系統では 1 線地絡電流が小さいため高感度の地絡継電器が必要である。	33 [kV] 以下の電力系統に適用されている。

	に除去され, そのまま送電を続けられる機会が多い。	3. 高電圧・長距離の送電系統では, 1 線地絡電流が比較的大きくなり, 永久事故となることが多い。特に間欠アーク地絡等が発生すると, 高周波電気振動を伴う異常電圧・電流 が発生することがある。	
抵抗接地方式	A	B	22 [kV] から 154 [kV] の電力系統に適用されている。
直接接地方式	C	D	187 [kV] , 275 [kV] 及び 500 [kV] の電力系統に適用されている。

(1)

A

1. 直接接地方式と比較して 1 線地絡時の故障電流が小さく, 通信線に対する誘導障害が少ない。
2. 1 線地絡時の健全相電位上昇が非接地方式と比較して小さい。
3. 小勢力地絡継電器により選択遮断できる。

B

1. 接地のための抵抗器が必要となる。
2. 直接接地方式と比較して健全相の電位上昇は高くなり, 絶縁レベルを低減できない。

3. 接地抵抗が大きくなるほど地絡電流は小さくなるので、高感度の地絡継電器が必要となる。
4. 高周波による電磁誘導障害に対して注意が必要である。

C

1. 1 線地絡時の健全相電位上昇が小さいので、機器の絶縁レベルを低減できる。
2. 故障時の中性点電位がほぼ大地電位に維持されるので、段絶縁が採用できる。
3. 1. により、定格電圧の低い避雷器で系統の保護ができる。
4. 1 線地絡電流が大きいのので故障検出が容易で、高速遮断が可能である。

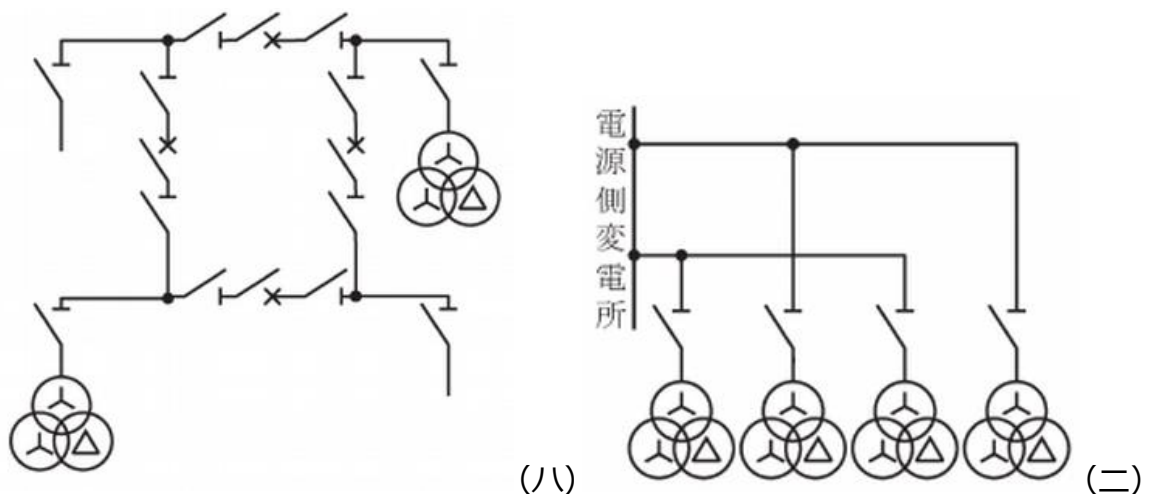
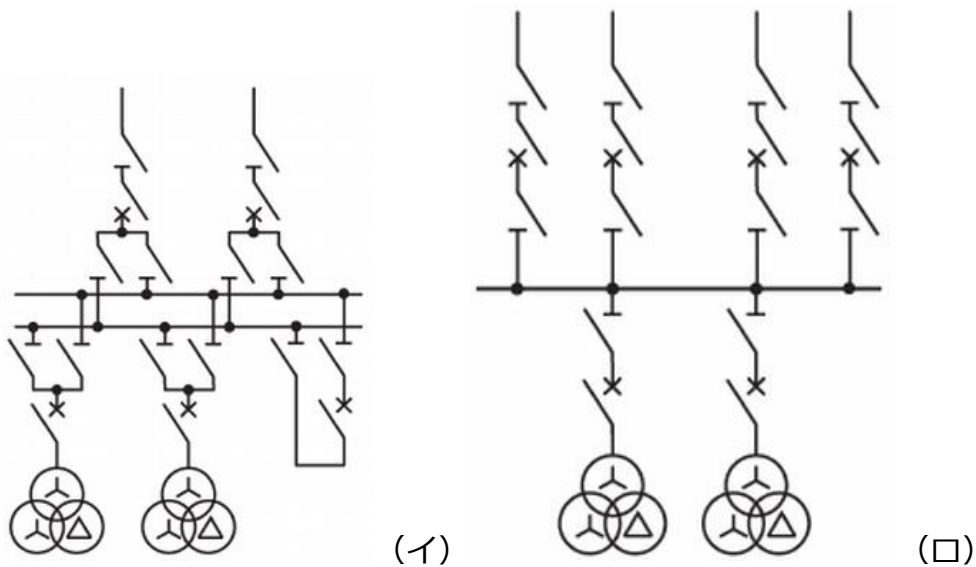
D

1. 1 線地絡電流が大きいのので、通信線への電磁誘導障害が著しい。
2. 地絡故障に対する過渡安定度が低いので、高速遮断と再閉路方式の採用検討が必要である。
3. 1 線地絡電流が大きく自然消弧しないことから、故障点の損傷被害のおそれがあるとともに、遮断器容量の選定に注意が必要である。

二次 H30 2種 問2 変電所母線の結線方式

変電所母線などの結線方式には、単母線方式、複母線方式（二重母線方式）、ユニット方式などがあるが、結線方法の選定の一般的な考え方と特徴について、次の問に答えよ。

- (1) 変電所の結線方式を決定する際に考慮すべきことを三つ述べよ。
- (2) 単母線方式、複母線方式、ユニット方式について、該当する単線結線図の記号を下図からそれぞれ一つ選べ。
- (3) 単母線方式、複母線方式について、それぞれの長所・短所を述べよ。



(1) 変電所の結線方式を決定する際に考慮すべきこと

- ・ 送電線事故，母線事故時の系統への影響・供給信頼性
- ・ 変化する電源，送電線工事に対応する適応性
- ・ 送電線や変圧器の増設工事における安全性
- ・ 点検等による停止の難易など系統運用操作の容易性
- ・ 設置スペースなども含めた経済性

(2) 該当する単線結線図の記号

- ・ 単母線方式：(ロ)
- ・ 複母線方式：(イ)
- ・ ユニット方式：(二)

(3) 単母線方式，複母線方式について，それぞれの長所・短所

項目	単母線方式	複母線方式
所要機器	少	多
スペース	小	大
母線事故	当該母線が停止し、送電線や変圧器も停止する	当該母線に接続されている送電線や変圧器を、もう一方の母線に直ちに切り替え可能
保守面	母線側断路器等の点検のために全停電となる場合がある	容易に停止可能

耐震設計（参考程度）

H8 問2 変電機器の耐震設計

がいし形の機器及び変圧器ブッシングの固有振動数は、10 [Hz] 以下であり、電圧階級の高いものほど低くなる傾向になる。一方、実際の地震波の卓越振動数は数ヘルツのところにあるので、これらの機器は地震動に対し共振を起こす可能性があり、また、応答も大きい場合が多いので、適切な耐震設計をするための手段として共振時のふるまいを正確に把握し、動的耐震設計を採用する必要がある。

H28 問5 変電所機器の耐震設計

変電機器のうち、がいし形機器やブッシングの固有振動数は 0.5 ～ 10 Hz 程

度であり、高電圧の機器になるほど低くなる。実際の地震波の卓越振動数は、上記固有振動数の範囲にあるので、頭部荷重が大きい変電機器は地震波との**共振**を起こす可能性があるため、適切な**動的耐震設計**を採用する必要がある。がいし形機器の設計地震力は加速度 3 m/s^2 の共振正弦 3 波を架台下端に印加する手法が用いられる。また、変圧器のブッシングは、設計地震力として加速度 5 m/s^2 の共振正弦 3 波をブッシングポケット下端に印加する設計手法が一般的に用いられるが、基礎や**地盤**の条件によっては個別検討となる場合もある。

変圧器本体は剛体とみなせるため**静的耐震設計**が採用されており、設計地震力は加速度 5 m/s^2 である。本体や中身の強度は輸送時の外力や**短絡電磁力**の大きさなどから決まり、耐震構造上は十分な強度を有している。ただし、変圧器本体を基礎に固定する**アンカーボルト**については、破断した際に本体の滑動が生じるおそれがあるため、強度を十分に確保することが必要である。

H16 問 2 屋外変電所の変電機器の耐震設計

変電所の耐震設計は、通常の機器の設計地震力については重力加速度の **0.5 ～ 1.5 倍**を水平加速度として設計している。しかし、最近では高電圧・大容量化に伴い機器の頭部荷重が増大し、これに**塩害**対策を考慮することによって充電部の高さがこれまで以上に高くなる傾向にあるので、変電機器については、**がいし形機器**やブッシングを主な対象として耐震設計がなされている。

これら変電機器の固有振動数は **10 [Hz]** 以下であり、高電圧の機器になるほど低くなるが、実際の地震波の卓越振動数は、上記固有振動数の範囲にあるので、頭部荷重が大きい変電機器は地震波との**共振**を起こす可能性があり、変位が大きくなる場合が多い。このため、地盤の特性を勘案して、適切な動的耐震設計を採用する必要がある。

二次 H18 問 6 地震時の応動概要

大規模地震が発生し、停電事故には至らなかったものの超高压屋外一次変電所

設備に高いレベルの地震力が加わったものと判断されたため、地震時の応動概要を考慮して下表により巡視を中心とした点検を行い安全を確認することとした。

主な設備		地震時の応動概要	主な目視外観点検項目	左欄以外の点検確認項目
屋外用主変圧器(送油風冷方式)	ブッシング	1. 固有振動数は10[Hz]以下で地震動との共振の可能性が高い。 2. 共振等による大きな曲げモーメントがブッシング(がい管)下部に加わる。	1. ブッシング(がい管)の亀裂・折損 2. セメント部の損傷 3. 締付ボルト類のゆるみ・ずれ	1. 電氣的保護リレー類の動作(警報・記録等を含む)内容確認 2. 上記以外の確認項目 3. ガス検出リレー動作確認 4. 衝撃油圧・ブッフホルツリレー動作確認(放圧板の動作等、機械的保護リレー動作確認) 5. 油面計の指示確認
	本体	1. 地震動との共振の可能性はない。 2. 元々 短絡電磁力や輸送時の外力等 の過大な力に耐える強固な設計であり、地震力にも耐える。	4. 主回路端子部の変形 5. 漏油(絶縁油) 6. 配管支えの緩み 7. 本体基礎及び基礎ボルトの変形・破損	
遮断器(空気・ガス)等、屋外がいし形機器		1. ほとんどがいし形機器は固有振動数が10[Hz]以下で地震動と共振の可能性が高い。 2. 共振等による大きな曲げモーメントが がいし・がい管(ブッシング) の下	《がいし形機器共通》 1. がいし・がい管(ブッシング) の亀裂・折損 2. セメント部の損傷 3. 締付ボルト類	《がいし形機器共通》 電氣的保護リレー類の動作(警報・記録等を含む)内容確認《遮断器》 1. ガス漏えい音確認 2. 圧力計(ガス・空気・操作油)の指示確認 3. 異音・異臭や過熱・変色確認

	部に加わる。	のゆるみ・ずれ 《遮断器》 1. 配管の支えの緩み 2. 漏油(制御油) 《断路器》 接触子の変形・ずれ	《避雷器》 気密確認(漏れ電流測定等)や 異音・異臭確認
蓄電池	1. 蓄電池単体の固有振動数は地震卓越周波数より高い。 2. 架台との組合せ で地震動との共振の可能性がある。	1. 蓄電池架台の 転倒・滑り(傾斜・変形や亀裂・不等沈下) 2. 母線・引き出し導体のはずれ 3. 蓄電池容器破損	1. 蓄電池液面・漏えい確認 2. 充電器の動作確認

二次 H20 問 2 変電機器の耐震設計

変電所の耐震設計については、現在、「JESC E 001(1999)/JEAG 5003-1999 変電所等における電気設備の耐震設計指針」が標準的に採用されている。

本指針に基づく変電機器の耐震設計(標準地盤)について、次の問に答えよ。

- 耐震設計手法には動的設計手法と静的設計手法の二つがある。従来広く用いられてきた静的設計手法に加えて、動的設計手法が採用されている理由を説明せよ。
- 屋外用がいし形機器(屋外に設置される開閉装置, 計器用変成器及び電力用ケーブルヘッド)の耐震設計に関して、設計手法, 設計地震力を説明せよ。

3. 154[kV]以上の屋外変圧器の耐震設計に関して、変圧器本体とブッシングについて、それぞれ設計手法、設計地震力を説明せよ。

動的設計手法が採用されている理由

がいし類を多く使用するがいし形機器や変圧器ブッシングは地震に共振する可能性があり、地震に対する動的応答の方が静的水平加速度 $5 \text{ [m/s}^2\text{]}$ (0.5 G) よりも厳しい場合が多く、また、過去の地震による被害も静的設計手法により設計されたがいし形機器及び変圧器ブッシングに集中している。したがって、これらの機器を対象に動的設計手法が採用されている。

屋外用がいし形機器の耐震設計に関する設計手法、設計地震力

設計手法は、擬共振法による動的手法を採用する。

設計地震力の水平加速度は $3 \text{ [m/s}^2\text{]}$ 、波形は共振正弦 3 波、印加点は架台下端とする。ただし、機器の固有振動数が 0.5 [Hz] を下回るとき、または 10 [Hz] を上回るときは、設計波形の振動数をそれぞれ 0.5 [Hz] 、 10 [Hz] とする。

154 [kV] 以上の屋外変圧器の耐震設計に関する、変圧器本体とブッシングの設計手法、設計地震力

変圧器本体については、静的設計手法を採用する。設計地震力としては、静的水平加速度が $5 \text{ [m/s}^2\text{]}$ である。

ブッシング部分については、擬共振法による動的設計手法を採用する。設計地震力の水平加速度は $3 \text{ (←?) [m/s}^2\text{]}$ 、波形は共振正弦 3 波、印加点は架台下端 (←?)とする。ただし、機器の固有振動数が 0.5 [Hz] を下回るとき、または 10 [Hz] を上回るときは、設計波形の振動数をそれぞれ 0.5 [Hz] 、 10 [Hz] とする。

変電機器の耐震設計は、機器の構造と地震応答により、動的設計を行うものと静的設計を行うものとに区分される。地震動と構造上で共振する可能性のある機器は擬共振法による動的設計を採用し、標準地盤（地震波のうち横波の進行波速度が 150 [m/s] 以上または N 値が 5 以上の地盤）において次の条件に耐える設計とすることが推奨されている。

二次 H21 問 2 地下変電所の設計

地下変電所の設計に当たり、次の２点について、考慮すべき事項を説明せよ。

1. 機器配置
2. 変圧器と電力ケーブルの防火対策

機器配置

機器配置に当たって、次の事項を考慮する。

- ・ 変電所のユニット化
- ・ 保守の安全化
- ・ 点検修理における安全確保と作業スペースの確保
- ・ 将来の需要を見込んだ機器配置
- ・ 所要面積の縮小
- ・ 主要変圧器などの重量機器を最下層部に配置し、重量を直接、基礎から地盤に伝達できるようにする。
- ・ 自動消火設備の適正配置
- ・ 排気装置の設置
- ・ トータルガス絶縁化による防災対策と変電所の縮小化
- ・ 機器搬入への考慮
- ・ 浸水対策の検討

変圧器と電力ケーブルの防火対策

変圧器については、絶縁油を使用しない乾式変圧器（H種絶縁など）やガス絶縁変圧器を使用する。油入変圧器を使用する場合は、タンクを補強し、内部事故時のタンク破壊による発火を防止する。

電力ケーブルについては、OF ケーブルを採用せず、CV（架橋ポリエチレン）ケーブルを採用、ケーブルシース・介在物に難燃性を付加したケーブルを採用する。さらに変電所ピットへの砂の充填、難燃材料（防火シート）のケーブルへの巻き付け・塗布も有効である。また、壁貫通部などには耐災シール材で防火区画を施す。

二次 H13 問 3 大容量変圧器の事故防止

超高圧大容量油入変圧器の重大事故防止対策について、流動帯電、雷サージ、

地震に着目して、設計上配慮すべき事項について説明せよ。

流動帯電

流動帯電現象は、大容量の送油式変圧器において、絶縁油が変圧器内を循環することによって、固体（絶縁紙）の表面に負、絶縁油中に正の電荷が蓄積されることにより生じる現象で、これがあるレベルを超えると、局部的に絶縁油の耐圧値を超え、部分放電が発生し、重大事故に至る。

雷サージ

雷サージは変圧器に対してその絶縁を脅かす脅威であり、系統の絶縁協調を考慮して巻線端子に加わる雷サージ電圧を想定し、一定の波形と波高値の雷インパルス耐電圧試験に耐えることを目標にして絶縁設計しなければならない。

地震

設計にあたって基準とする地震は、地表面水平加速度 $0.3 [G]$ 、卓越振動数の範囲を $0.5 \sim 10 [Hz]$ とする。また、S 波速度 $150 [m/s]$ 以上、または、N 値が 5 以上の地盤を選定する。

調相設備

問 5 無効電力及び静止型無効電力補償装置

以下の文章は、静止型無効電力補償装置の種類及び動作に関する記述である。

（イ）から（へ）の記号を付した空欄に当てはまる語句又は文章を、次の解答方法に従って答案用紙に記入せよ。

解答方法

（イ）、（ロ）、（ハ）、（二）及び（ホ）：適切な語句を記入すること。

（へ）：適切な文章を記入すること。

- a. パワーエレクトロニクスを利用した静止型無効電力補償装置には、**(TCR)**、TSC、自励式 SVC がある。**(TCR)** は、サイリスタの位相制御によってリアクトル電流を制御して無効電力を**(連続的)**に調整する。リアクトル電流のみでは進み無効電力を発生できないので、**(コンデンサ)**又は TSC を並列に設置することがある。
- b. TSC は、サイリスタによってコンデンサを**(開閉)**して無効電力を調整する。採用に当たっては、**(連続的)**に調整することはできないこと及び投入位相によっては**(突入電流)**が流れることを考慮しなければならない。
- c. 自励式 SVC は STATCOM と呼ばれ、自励式電力変換装置を用いて無効電力を発生し、又は吸収する。同期調相機と比較した場合、電力系統に並列運転をして無効電力を発生し、又は吸収する点は同じであるが、電気回路要素として両者は次の点で相違している。
- (同期調相機は電圧源として動作するのに対して、自励式 SVC は電流源として動作する。)**

二次 H22 問 2 代表的な調相設備

代表的な調相設備のうち電力用コンデンサ、同期調相機及び静止形無効電力補償装置（他励式 SVC）について、各装置の仕組み、調整方法、電圧調整や安定度への効果、電力損失及び保守性の観点から特色をそれぞれ述べよ。

電力用コンデンサ

- ・ シンプルな静止機器で、高調波や突入電流を抑制するために直列リアクトルを接続することがある。
- ・ 開閉器の開閉操作によって遅れ無効電力を発生（進み無効電力を補償）・停止する。
- ・ 開閉器の開閉操作により調整するため、電圧や無効電力の変化が段階的となり、きめ細かな電圧調整や安定度の向上への期待はあまりできず、開閉器操作により系統に急激な変化が生じないよう 1 台当たりの容量選定に配慮が必要である。
- ・ シンプルな構造であり、同期調相機や SVC よりも電力損失が小さい。

- ・ 静止機器であるため保守が容易。

同期調相機

- ・ 無負荷状態で運転する同期電動機。
- ・ 界磁電流の調整により無効電力を発生・吸収（進み・遅れ双方を補償）する装置であり、電圧調整の即応性に優れる。
- ・ 調整が連続的で、回転子の慣性質量により系統の電圧特性や安定度を向上させる効果がある。
- ・ 回転機固有の軸受・ブラシの摩擦損や風損、励磁回路損などの影響により、電力用コンデンサや SVC に比べて電力損失が大きい。
- ・ 回転機であることから、可動部分や補機類があり、電力用コンデンサや SVC に比べて保守に時間と労力が多くかかる。

静止型無効電力補償装置（SVC）

- ・ リアクトル、電力用コンデンサ、これらを制御するサイリスタで構成する装置。
- ・ サイリスタの点弧各位相を制御することによりリアクトルや電力用コンデンサの通過電流を連続的に変化させ、無効電力を発生・吸収（進み・遅れ双方を補償）する装置であり、電圧調整の即応性に優れる。
- ・ リアクトルや電力用コンデンサ電流の大きさを変化させることにより連続的に調整できるため、系統の電圧特性や安定度を向上させる効果がある。
- ・ リアクトル、電力用コンデンサ、サイリスタなど複数機器から構成されるため、電力損失は電力用コンデンサよりも大きい、同期調相機よりも小さい。
- ・ 静止機器ではあるが、サイリスタ冷却用の装置もあり、保守は電力用コンデンサほど容易ではない。

二次 H27 2種 問2 静止形無効電力補償装置

電力用半導体を用いた静止形無効電力補償装置（SVC、STATCOM）について、次の問に答えよ。

1. SVC は具体的にどのような目的に用いられるか、系統側、需要側の事例

をそれぞれ一つずつ挙げよ。

2. SVC の代表的な方式である TCR と TSC について、それぞれの動作原理と制御の特徴を簡潔に述べよ。
3. STATCOM（自励式 SVC あるいは SVG）の動作原理を述べよ。あわせて、TCR 方式の SVC と比較した制御の特徴を簡潔に述べよ。

1-1. SVC の目的～系統側の事例～

SVC（Static Var Copensator：静止形無効電力補償装置）の目的～系統側の事例～は、以下の通り。

- ・ 設置点の送電系統の事故時の電圧維持による同期安定性を向上させる
- ・ 配電系統の末端など、電源系統の弱い地域において、負荷変動などに起因する電圧変動を抑制する

1-2. SVC の目的～需要側の事例～

SVC の目的～需要側の事例～は、以下の通り。

- ・ アーク炉、採石場のクラッシャー等の変動負荷による急激な電圧変動を抑制する
- ・ 負荷で発生する無効電力をキャンセルして力率を改善する

TCR と TSC について

TCR（Thyristor Controlled Reactor：サイリスタ制御リアクトル方式）は、サイリスタを用いてリアクトル電流の位相制御を行う方式で、誘導性（遅れ）の無効電力を連続的に制御できる。また、並列にコンデンサを接続することにより、進みから遅れの領域にわたる無効電力を連続的に変化させることができる。

TSC（Thyristor Switched Capacitors：サイリスタ開閉コンデンサ方式）は、サイリスタを用いてコンデンサの開閉を行う方式で、容量性（進み）の無効電力を制御できる。突入電流が流れない位相でオンオフ制御を行うため、無効電力は段階的にしか制御できない。

STATCOM の動作原理

STATCOM（STATic synchronous COMpensator）は、自己消弧素子を用いた自励式変換器を用いることにより、進みから遅れまでの幅広い無効電力補償を、連続かつ高速で行うことができる。TCR 方式の SVC に比較して、系統電圧の低下時にも高い補償能力が得られるため、電圧安定性を高める効果に

優れる。

二次 H16 2種 問2 電力系統の各種調相設備

種類	原理	長所・短所
電力用コンデンサ（並列コンデンサ）	進相無効電力を系統から吸収することで、系統の遅相電流を減少させ、系統電圧が低下しないように段階的に調整する。	（長所） - 設備コストは比較的安価である。 - 保守が容易である。 （短所） - 電圧調整制御は段階的である。
分路リアクトル	遅相無効電力を系統から吸収させることにより、系統の進相電流を減少させ、系統電圧が上昇しないように段階的に調整する。	
同期調相機	無負荷の同期電動機と等価であり、界磁電流を調整することにより、無効電力を遅相から進相まで変化させて系統に供給する。	（長所） - 電圧調整制御は連続可変で高速である。 - 高調波の発生がない。 - 電圧源として能動的に働くため制御性に優れ、電圧安定度を向上させうる。 （短所） - 回転機のため、保守は大変である。 - 始動も静止器よ

		り大変である。 騒音が大きく，高価である。
静止形無効電力補償装置 (SVC)	電力用コンデンサと分路リアクトルを組み合わせ、分路リアクトルまたは電力コンデンサに流れる電流を、光サイリスタによって高速で連続的に制御し、無効電力を遅相から進相まで変化させて系統に供給する。	(長所) - 保守は比較的容易である。 - 電圧調整能力が高い。 - 電圧調整制御は連続可変で高速である。 - 制御性能に優れ、電圧安定度を工場させる。 (短所) - 整備コストは比較的高価である。 - 高調波対策が必要である。

二次 H22 問 4 電力系統と設備との協調

電力系統は、構成要素である送電線・変電機器などの設備が有機的に関係し合い、システム全体として、最適な機能を発揮するように設計する必要がある。このような電力系統と設備との協調（「システムコーディネーション」と呼ばれている）に関して、次の問に答えよ。

1. 系統の大容量化・集中化により増大する短絡電流を抑制するために、変圧器の仕様及び変圧器の機器設計で考慮すべき事項を述べよ。

2. 大都市に電力を供給するために 275[kV]の大容量の電力ケーブルを使用した系統が導入されている。架空系統と異なり、地中系統に用いられる送電線用遮断器、リアクトル開閉用遮断器及び計器用変圧器についてそれぞれ考慮すべき事項を述べよ。
3. 500kV 送電線では、開閉過電圧が送電鉄塔の大きさを決める大きな要因である。この開閉過電圧を抑制するために、変電所の機器で採用している対策を述べよ。

変圧器の仕様及び変圧器の機器設計で考慮すべき事項

変圧器の仕様

短絡電流を抑制するために、変圧器のインピーダンスを大きく設定する。変圧器のインピーダンスを大きくすれば、電圧変動率が大きくなり、系統安定度が悪くなる方向にいくので、システムコーディネーションの観点から、系統と機器のバランスを考え、変圧器のインピーダンス値を選定している。例えば、500 kV 変圧器で一般的なインピーダンスが 14 [%] に対して、高インピーダンスでは 23 [%] が用いられることが多い。

変圧器の機器設計

高いインピーダンスにするために、巻回数の増大、巻線径増大が行われる。

地中系統に用いられる送電線用遮断器、リアクトル開閉用遮断器及び計器用変圧器についてそれぞれ考慮すべき事項

地中送電線用遮断器

地中送電線路では、充電遮断電流の値が架空送電線路より大きいため、進み小電流遮断電流値として、架空送電線路より大きな値が必要である。例えば、275 kV 系統では、充電遮断電流は、架空送電線用では 200 [A] に対して、地中送電線用では 500 [A] が規格化されている。

リアクトル用開閉遮断器

275 [kV] ではケーブルの充電容量が大きいため、それを補償するためにリアクトルが設置されることが多い。リアクトル開閉用遮断器には、再発弧サージへの考慮が必要である。その抑制対策として、開極位相制御が採用されている。

計器用変圧器

ケーブル系統では残留電荷の減衰時定数が長いため、計器用変圧器によって残留電荷を放電する機能が求められる。

開閉過電圧を抑制するために、変電所の機器で採用している対策

送電線に発生する開閉過電圧を抑制するため、500 kV 変電所に設置される送電線用の遮断器に、抵抗投入方式を採用している。投入抵抗値は 1 000 [Ω] が用いられ、開閉過電圧は 2 [p.u.] 以下に抑制されている。最近では、変電所の送電線回路に高性能避雷器を併用する場合も多く、より効果的に送電線に発生する開閉過電圧の抑制が行われている。

H25 問 6 直列コンデンサ

直列コンデンサを挿入することによる利点は、**電圧変動**の改善、**長距離送電線の安定度向上**、送電損失の低減などが挙げられる。一方、直列コンデンサの容量性リアクタンスは、**送電線リアクタンス**との関係において、軸ねじり振動を起こす可能性がある。

H14 問 6 調相設備設置の目的とその開閉装置の特徴

調相設備設置の目的は、送電線路の受電端側で**無効電力**を補償して送電線路損失を軽減し、これによって送電容量を確保し、また、**系統電圧**を適正に維持することである。さらに最近では、静止形無効電力補償装置の**高速動作**を利用して、系統の安定度を維持することも行われている。

調相設備開閉の特徴は、一般の負荷開閉に比べて**開閉頻度**が高いこと及び開動作時に開閉器極間に発生する過渡回復電圧の様相が一般の負荷遮断の場合と異なることである。

電力用コンデンサを開放するときには、コンデンサ回路の残留電圧と電源電圧との関係によって、最初の電流遮断後 1/2 サイクルの時点で、開閉器極間の定常対地電圧波高値の約 **2 倍**の過渡過電圧が現れる。このとき、**再点弧**を起こすと高いサージ電圧が発生する場合がある。また、コンデンサ投入時には、回路の定数で決まる固有周波数の**突入**電流が流れるので、これを抑制するために直列リアクトルが設置される。

分路リアクトルを開放するときには、リアクトル回路の遅れ小電流を電流遮断能力の高い遮断器で遮断すると、**電流裁断**により高い過渡回復電圧が発生する場合がある。

H20 問 6 電力系統の潮流制御

ループ系統の運用にあたっては、電力潮流が線路容量を超過しないよう、他の系統からの回り込みも考慮しつつ適切な潮流管理を行う必要がある。リアクタンス成分が支配的である一般的な電力系統においては、系統の地点間の相差角によって有効電力潮流が、そして電圧差によって無効電力潮流が調整できる。ループ潮流を調整する手段として、発電機の出力行調整の他に、ループを構成する系統のリアクタンスを調整する SVC (Static Var Compensator) や、相差角を調整する位相調整変圧器が用いられる場合がある。

H12 問 6 電力用コンデンサに接続する直列リアクトル

電力用コンデンサは主として力率改善と**電圧調整**のために用いられるが、使用によって電圧波形にひずみが生じることがある。これは一般に、電力用コンデンサ設置点からみた系統側の高周波インピーダンスが**誘導性**のとき、電力用コンデンサのみを回路に投入すると、電力用コンデンサにかかる高周波による電圧が大きくなって波形がひずむからである。これを防ぐためには、通常、電力用コンデンサに直列にリアクトルが接続される。

一般に、三相回路の高調波は、第 5 調波が主で、以下第 7, 第 11, 第 13 . . . などの高周波がある。この発生原因の主なものは、変圧器など鉄心を有する誘導機器の**整流負荷**によるものである。原理的に第 5 調波に対して同調するのは、直列リアクトルのリアクタンスが電力用コンデンサのリアクタンスの 4 [%] のときであるが、実際には経済性や**周波数**の低下などに対する安全率を考え、直列リアクトルのリアクタンスを高めの値に選定するのが一般的である。

第 5 調波より高次の高調波に対しては、例えば第 7 調波では **2.1 [%]** 以上の直列リアクトルを挿入すればよいが、すでに第 5 調波用に直列リアクトルが挿入されているため、改めて考慮する必要はない。

また、直列リアクトルには、この他にも、電力用コンデンサ投入時の**突入電流**の抑制、電力用コンデンサ開閉時の**過電圧**抑制などの効果もある。

H23 2 種 問 7 配電線の電圧調整

低圧需要家への供給電圧を電気事業法で定められた範囲内に維持するためには、配電用変電所の**送出電圧**を合理的に調整し、配電系統各部の電圧降下を適切に配分することが必要である。ただし、近年普及してきた分散形電源が接続された系統では、需要家構内の消費電力より発電電力が大きい場合に、需要家から系統側へ電力が供給されるいわゆる**逆潮流**が生じ、部分的に系統の電圧上昇を発生することがあるので注意を要する。

また、こう長が長く電圧降下が大きい配電線のように、配電線の電圧を限度内に保持することが困難な場合には、配電線に**線路電圧調整器**が使用される他、電力用コンデンサや静止形**無効電力**補償装置（ SVC 及び STATCOM ）などを用いて、配電線に流れる**無効電力**を調整することにより電圧調整を行うこともある。

その他に、配電線に直列コンデンサを挿入して、配電線のリアクタンスを補償することにより電圧改善を行うこともできるが、配電線事故時の事故電流により過電圧が生じるなどの弊害もあるため、あまり採用されていないのが実状である。

H20 2 種 問 7 送電線の電圧制御

送電線の送電端及び受電端の電圧を一定範囲に保つためには、送受電端において適切に無効電力の授受を行わなければならず、このために用いるのが**調相**

設備であり、電力用コンデンサ、分路リアクトル、ロータリーコンデンサ、SVC（Static Var Compensator）などが用いられている。**調相**設備を適切に用いることによって、受電端の電圧が高いとき**遅れ無効電力**を供給して電圧を上げる。ロータリーコンデンサは**界磁電流**を抑制することによって、また、SVC は、サイリスタの**制御角**を変えて**リアクトル**を流れる電流を制御することによって、発生あるいは消費する無効電力を自由にしかも連続的に変えることができ、端子電圧を一定に保つことができる。

調相設備の設置目的は次のとおり。

- 無効電力潮流を改善する。
- 電力損失を低減する。
- 送電容量を確保する。
- 系統電圧を適性に維持する。
- 安定度の向上を図る。

ケーブル

二次 H27 2種 問6 水トリー

電力用 CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）の水トリーに関する次の問に答えよ。

1. 水トリーの発生要因、特徴について簡潔に述べよ。
2. 以下に示す CV ケーブルの水トリー劣化診断技術の中から二つ選び、その概要について簡潔に述べよ。
 - a. 損失電流法
 - b. 残留電荷法
 - c. 耐電圧法
 - d. 直流漏れ電流測定

1. 水トリーの発生要因、特徴

CV ケーブルの絶縁体内に水分が多く含まれている状態で電圧が印加されると、突起周辺など**電界集中部に水分が集まり凝集し、樹枝状劣化が進む**が、この劣化痕を水トリーと呼ぶ。水トリー内部は、健全部分に比べて導電率はけた違いに高く、電界は低くなるので、水トリーが発生しても、電気トリーとは異なり部分放電は観測されない。このため、水トリーの発生は検知しにくいというに、水トリー先端の電界が高い部分より電気トリーが発生すると短時間で絶縁体の全路破壊に結びつくことが多い。

CV ケーブルの水トリー劣化診断技術

- a. **損失電流法**：ケーブル絶縁体に流れる充電電流から課電電圧と同位相の電流成分（損失電流成分）を抽出し、その中に含まれる高調波電流（主に第三高調波電流）を劣化信号として用いる。
- b. **残留電荷法**：水トリー劣化部に蓄積された電荷の放出状況を評価して劣化状況を診断する。具体的には、直流電圧をケーブルに課電し、接地後、水トリー劣化部に蓄積された電荷を、交流電圧を印加することにより放出させて診断する。
- c. **耐電圧法**：水トリー劣化ケーブルのスクリーニングを目的とし、常規電圧よりも高い電圧をケーブル線路に課電する。スクリーニングする劣化レベルに応じて試験電圧や、効果的な試験電圧種類（商用周波、超低周波、可変周波）を選定する。
- d. **直流漏れ電流測定**：ケーブルの導体－シース間に一定の直流電圧を印加し、漏れ電流の大きさ・変化・三相不平衡などを時間で整理し、その形状や値から絶縁状態を調査する。

H24 2種 問 6 送電線の振動

毎秒数メートルの微風が、電線と直角に当たると電線の背後にカルマン渦ができて電線に**鉛直方向**に周期的な力が働き、これが電線の**固有振動数**と一致すると微風振動が発生する。全振幅は 3 [cm] 程度以下と小さいが、電線が長い間繰り返し応力を受けて電線を構成する素線が切れたり断線のおそれが生じる。

微風振動は径間が長い場合や、直径が大きい割に重量の軽い電線の場合、電線

の張力が大きい場合に発生しやすい。

雨で電線の下面に水滴が付き、しずくが落ちる状態では、コロナ放電が最も激しくなる。電線から帯電した水の粒子が射出するためその反作用で電線の振動を誘発する。これをコロナ振動といい**無風**の場合に発生しやすい。

電線に冰雪が付着して強風が当たると、冰雪の付き方が非対称であるため**揚力**が発生し、自励振動を生じて電線が上下に大きく震動する。これをギャロッピングという。

多導体に特有の振動で、風上にある素導体によって乱された気流により風下の素導体が振動を起こす。素導体の間隔を数十メートル毎に保持している金具を支点とした振動である。この振動を**サブスパン振動**という。

問 3 架空送電線の電線の太さの選定

架空送電線の電線の太さの選定について、次の問に答えよ。

架空送電線の電線の太さを選定するにあたっては、様々な要因を考慮する必要があるが、その要因としては、電氣的要因、機械的要因（強度・重量・耐振性・工事上の取り扱いなど）や価格などがある。

1. 太さの選定に関係する主要な電氣的要因を 4 項目挙げて、その概要を説明せよ。
2. 上記の文章で説明されている要因のうち、機械的強度、重量、価格に上記(1)で挙げた各項目を加えた 7 項目の要因それぞれに関して、電線の太さが太い方が望ましいか細い方が望ましいかを理由を付して述べよ。

1. 太さの選定に関係する主要な電氣的要因

許容電流

一般に電線に電流が流れると温度が上昇し、ある限度以上に高くなると引張強さなどの性能が低下するので、電線の性能に悪影響を及ぼさない温度限度（最高許容温度）以下で使用しなければならない。この限度の電流を許容電流といい、電線の材質、構造、表面の状況、周囲温度、日射状態、風雨などにより異なる。

電力損失

電線の径が小さい場合、抵抗 R が大きくなる。抵抗 R の電線に電流 I が流れると I^2R に相当する電力損失が発生するが、エネルギー輸送の観点から望ましいことではない。

コロナ

特に高電圧の送電線において電線の径が小さい場合、周囲の電界強度が高くなり、これが過大な場合にはコロナ放電が発生し電力損失、ラジオ雑音、近接通信線の誘導障害などを与えるので、これが発生しない範囲（AC 21 kV/cm 程度）で使用しなければならない。

電圧降下

電線の径が小さい場合、抵抗 R と作用インダクタンス L が共に大きくなるので、直列インピーダンス $Z=R+j\omega L$ も大きくなる。直列インピーダンス Z の電線に電流 I を流すと ZI の電圧降下が生じるが、送配電機器や負荷の電圧は可能な限り定格値近くで運用する方が望ましい。すなわち、電圧降下が過大にならないようにしなければならない。

2. 電線の太さ

電線の太さが太い、細いで 7 項目の要因を比較する。

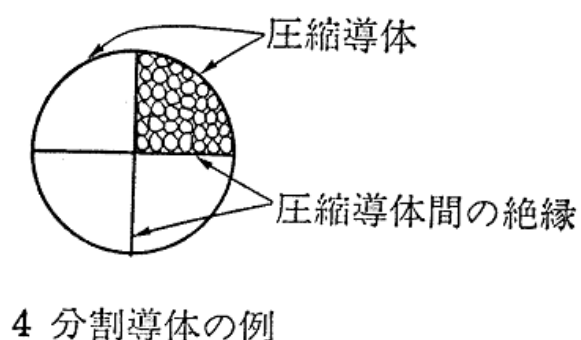
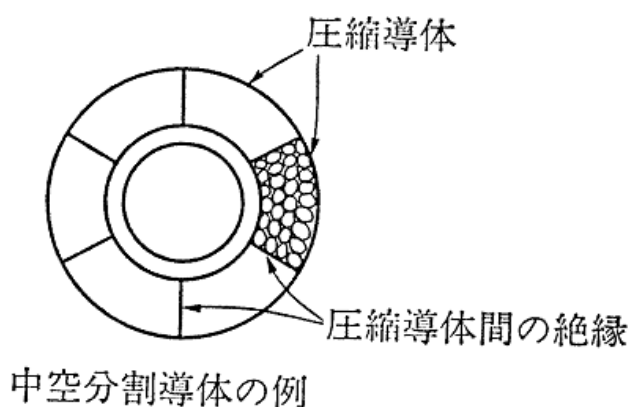
要因	太い電線	細い電線
機械的強度	○ 引張強さ 大	× 引張強さ 小
重量	× 大	○ 小
価格	× 高価	○ 安価
許容電流	○ 大	× 小
電力損失	○ 小	× 大
コロナ ※単導体で比較	○ 小	× 大
電圧降下	○ 小	× 大

H8 問 6 ケーブルの損失低減

- a. ケーブルの導体損失の主要な低減方策としては、導体の大サイズ化による交流導体抵抗の低減があげられる。しかし、導体の大サイズ化に伴い**表皮効果**によって、この効果は小さくなるため、これを抑えるために大サイズ導体では**分割圧縮導体**が採用されている。また、最近では、素線絶縁導体も開発されている。
- b. ケーブルの誘電損失は、誘電率と誘電正接に比例し、電圧の **2 乗** に比例して増大するため、特に超高圧線路では問題となってくる。このため、最近では超高圧地中送電線路においては、誘電率と誘電正接が小さい **CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）** 及び低損失 OF ケーブル等が採用されてきている。
- c. ケーブルのシース損失には、シース回路損失とシース渦電流損失があり、前者の対策としては、単心ケーブルの**クロスボンド接地**があげられる。また、後者の対策としては、適正なケーブル配置等により対処している。

分割導体

定義 交流導体抵抗を低減するために、おのおのが軽度に絶縁された圧縮導体を数個より合わせた導体。



R2 問 3 ケーブルの温度上昇

ケーブルの許容電流は、絶縁体の性能を長期にわたり損なわない温度条件から定められ、例えば CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)の最高許容温度(連続使用時)は **90 °C** 程度である。ここにケーブルの温度は、ケーブルから発熱と周囲への熱放散とから定める。

ケーブルからの発熱は、導体での銅損、誘電体損、シース損などによる。誘電体損は、印加電圧の **2 乗** と静電容量、誘電体の $\tan\delta$ などに比例する。一方、シース損は、シース各部への鎖交磁束に起因する**渦電流損**と線路の長手方向に誘導されるシース電圧に起因するシース回路損などからなる。単心ケーブルでは、シース内に三相導体が収納されている三心ケーブルに比べ、シース電圧が大きくなる。単心ケーブルでシース回路損及びシース電圧を減少させるには、シース回路に**クロスバンド接地**を採用することが有効である。

ケーブルからの熱放射は、周囲温度や土壌等の熱抵抗とともに、ケーブルの条数や布設方法により異なる。例えば図のような管路に、全て同一種類で同一サイズ

のケーブルを布設し同一の電流を流した場合には、放熱効果は (a), (b), (c) のうち **(b)** が最も大きい。ここにケーブル電流は許容電流程度であり、地表面からの日射の影響は無視できるとする。

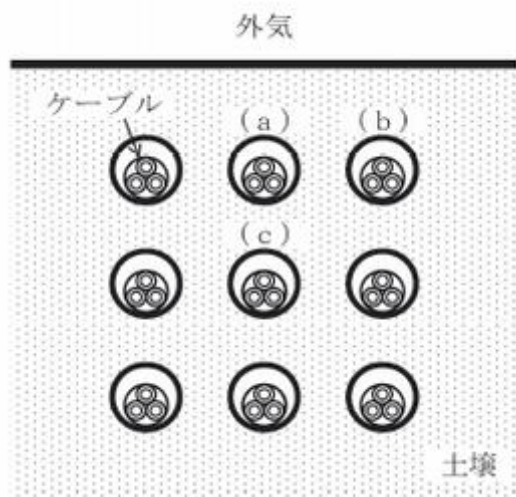


図 ケーブル管路

H29 問 4 地中配電線路のケーブル布設方法

地中配電線路のケーブルの敷設方法には、一般に直接埋設式、管路式及び**暗きよ**式がある。

直接埋設式は埋設条数の少ない本線部分や引込線部分で用いられ、土中に**防護物**を並べケーブルを引き入れてから埋設する方式で、ケーブル取り替えの場合には再掘削が必要となる。

管路式は、交通量や舗装などの関係から再掘削が困難な場所に求められる方式で、地中箱などの間を複数条のパイプで結んだものであり、ケーブルの引入れ、引抜き、接続などのケーブル工事に伴う再掘削は不要である。

暗きよ式はあらかじめトンネル状の構造物を作っておき、その側壁に設けた受棚上にケーブルを敷設する方式である。特に幹線道路やビル街などでは道路の反復掘削防止や地下空間の有効利用などを目的に、電力、通信、ガス、水道、下水などを一括して収納する**共同溝**が用いられる。このうち配電線等のように需要家供給を目的とした設備だけ収容するものは**供給管共同溝**と呼ばれ、主として**歩道**部分に設けられる。

一方、地中設備の建設費用は架空設備に比べて格段に高額なものになることから、現在ではより経済的で施工しやすい施設方式が広く採用されている。例えば、**CAB (Cable Box)** は**共同溝**の一種であり、主として**歩道**の下にふた掛け式の大形 U 字構造物を設置してこの中に電力・通信・その他ケーブルを布設する方式である。ケーブルの工事や維持補修はふたの開閉によって行われ、そのために必要な最小限の作業スペースが確保されている。

H24 問 2 多導体

多導体は、単導体に比べて次に挙げるような多くの利点があるため、主に超高压以上の送電線に多く採用されている。

単導体と合計断面積が等しい多導体は、単位長当たりの全導体表面積が大きくなるとともに、表皮効果が小さいので、許容電流を大きくとることができる。送電線のインダクタンスが減少し、また、静電容量が増加するため、固有送電容量が増加する。

導体表面の電位傾度を減少できるので、コロナ開始電圧が高くなり、コロナ損失、雑音障害を防止できる。

送電線のインダクタンスが小さくなるので、系統安定度が向上する。

なお、多導体では、導体相互の間隔を保持するためにスペーサを取り付ける必要があるが、スペーサの取り付け間隔は、サブスパン振動、常時電流による電磁吸引現象、捻回復元現象及びクランプ把持力によって決定される。

H25 問 3 架空送電線路に使用される電線

架空送電線路に広く使用されている鋼心アルミより線は、亜鉛めっき鋼線の外側に硬アルミ線をより合わせた合成より線である。硬アルミ線の導電率は硬銅線の約 60 [%] で鋼心線よりは高く、一般に、鋼心線には電流が流れないものとして抵抗値を計算する。一方、電線のたるみを計算する際に用いられる弾性係数 [Pa] は、硬アルミ線と鋼心線の特徴を考慮し、 $\frac{E_a A_a + E_s A_s}{A_a + A_s}$ と計算される。ただし、硬アルミ線と鋼心線の弾性係数 [Pa] をそれぞれ E_a , E_s とし、断面積 [mm²] をそれぞれ A_a , A_s とする。

電流に流すことのできる電流（許容電流）は、電線の軟化特性を考慮して決定された最高許容温度を超えない電流として算定される。電流が連続的に流れる場合の許容電流（連続許容電流）は、外部環境の影響を受けるため、最高許容温度の状態において抵抗損と日射による熱量の増加と、風と放射による熱量の減少が平衡する電流値として計算される。このとき、電線の抵抗値が電線温度の上昇により増加することや、表皮効果などにより電線の抵抗値が直流の場合に比べて増加することを考慮する必要がある。

架空送電線路に広く使用されている鋼心アルミより線は、亜鉛めっき鋼線の外側に硬アルミ線をより合わせた合成より線である。硬アルミ線の導電率は硬銅線の約 60 [%] で鋼心線よりは高く、一般に、鋼心線には電流が流れないものとして抵抗値を計算する。一方、電線のたるみを計算する際に用いられる弾性係数 [Pa] は、硬アルミ線と鋼心線の特徴を考慮し、 $E_a A_a + E_s A_s$ と計算される。ただし、硬アルミ線と鋼心線の弾性係数 [Pa] をそれぞれ E_a , E_s とし、断面積 [mm²] をそれぞれ A_a , A_s とする。

電流に流すことのできる電流（許容電流）は、電線の軟化特性を考慮して決定された最高許容温度を超えない電流として算定される。電流が連続的に流れる場合の許容電流（連続許容電流）は、外部環境の影響を受けるため、最高許容温度の状態において抵抗損と日射による熱量の増加と、風と放射による熱量の減少が平衡する電流値として計算される。このとき、電線の抵抗値が電線温度の上昇により増加することや、表皮効果などにより電線の抵抗値が直流の場合に比べて増加することを考慮する必要がある。

R1 問 4 地中 CV ケーブル

CV ケーブルは、ポリエチレンを絶縁体としたケーブルにおいて大きな欠点であった耐熱性を改善した架橋ポリエチレンを絶縁体としたケーブルである。乾式架橋方式は、絶縁性能も良く、OF ケーブルと比較して $\tan\delta$ （誘電正接）や比誘電率が小さいため誘電体損失や充電電流が小さくなる。また、三心一括の CV ケーブルと比較して、曲げ特性の改善のため、22 ～ 77 kV で導体断面積 400

mm² までのケーブルは、3 条をより合わせてトリプレックス形としている。
CV ケーブルの特徴的な現象として、絶縁体の架橋ポリエチレンに水トリーという**絶縁劣化**現象が生じることがある。水トリーは絶縁体中の**ボイド**とそこに供給される水の相乗作用により、トリー（樹枝）状に**絶縁劣化**が進展する現象である。

CV ケーブルは、架橋ポリエチレン絶縁ケーブル（cross linked polyethylene insulated vinyl sheathed cable）の略称。

水トリー現象とは、ポリエチレン内に水が含まれると枝状となって進展する現象。

H19 問 5 送電線ケーブルを構成する各部の機能

地中送電線には、OF（油入）、CV（架橋ポリエチレン絶縁）等のケーブルが使われているが、この中で CV ケーブルは OF ケーブルに比べ施工や保守管理が容易なことから、1960 年代後半以降使用が拡大している。

H15 問 5 送電線の微風振動

比較的緩やかで一様な風が送電線に直角に吹き付けると、電線の風下側に**カルマン渦**が生じ、電線に対して上下鉛直方向の圧力が与えられて振動することがある。この振動数が電線の固有振動数と一致すると、持続的な**振動**が発生する。これが微風振動であり、**長径間**であって、直径が大きい割に重量の軽い電線の場合や、電線の張力が大きい場合に発生しやすい。

電線は微風振動により上下方向の曲げ疲労を生じ、素線切れや断線に至る場合がある。対策としては、電線の支持点付近に**アーマロッド**を巻き付けて電線を補強したり、**ダンパ**を取り付けて振動を吸収したりする方法がある。

H18 問 3 交流回路における電力ケーブルの施設

電力ケーブルを施設する場合、金属シースは安全対策から接地しているが、接地の方式にはいくつかあり、それぞれ特徴がある。

単心ケーブルを施設する場合、シースを片端接地するとシース回路損は生じないが、他端には接地点からの距離に応じてシースと大地の間に電位差が生じる。この大きさは基本的には主回路電流と導体・シース間の相互インダクタンスから算出できる。この対策として、必要により避雷器等を設置することになる。

シースを複数箇所で接地する方式では、シース電位はほとんどないが、シース回路損が発生し、送電容量は低下することになるので注意が必要である。

長距離送電線では、単心ケーブルを何本もつなぎ合わせて必要こう長になるように施設する場合が多い。この場合、シース電位がほとんどなくシース回路損が低減できるように、ケーブル接続箱で、ある相のシースを他相のシースに接続するクロスボンド方式が採用されている。

シース電位低減策としては、接地方式のほか、三相単心ケーブルの配列を工夫したりねん架する方式もある。

H17 2種 問7 電力ケーブルの構造面からみた 問題点

電力ケーブルを構造面からみると、コンパクトな外形を実現するため、高い電界の下で長期間安定に使用できる**絶縁体**が必要である。このため、使用される電圧階級に応じ、各種のケーブルが開発され使用されている。また、電力ケーブルは地中の暗きよ等で使用されるので、架空送電線に比べて**熱放散**が悪く、電流容量の確保が重要な技術的課題となっている。このため、**送電損失**を少なくし、熱抵抗を減らす工夫が積極的になされている。大容量送電が必要な場合には**強制冷却方式**が採用される。また、負荷変動に伴って生じるケーブルの**伸縮**に対する配慮も重要である。

H15 2種 問7 高電圧の送電線に発生する放電現象

空気が絶縁破壊を起こす電位の傾きは、標準気象状態（20 [°C, 1013 [hPa]）では、波高値で約 **30 [kV/cm]** である。電線表面のごく近い電位の傾きがこの値に達したとき**コロナ**放電が発生し、そのときの電圧を**コロナ臨界電圧**と呼ぶ。この放電が発生すると、**コロナ損**のために送電効率が低下する。また、送電線近傍におけるラジオ等に**受信障害**をもたらすだけでなく、可聴音である**コロナ騒音**などの問題も発生する。

H19 2種 問7 電力用 CV ケーブル

電力用 CV ケーブルの充電電流が大きくなると、送電容量に影響を与えることから、設計に際して考慮が必要である。充電電流は単位長当たりのケーブル静電容量、**送電電圧**及び線路長に比例して大きくなる。ケーブル導体サイズが同じであれば、単位長当たりのケーブル静電容量は、絶縁体の誘電率が大きいほど、また、**絶縁体厚さ**が小さいほど大きい。

CV ケーブルの**誘電体**損失も送電容量に影響を与える。これは、充電電流にいくらかの有効成分があるために発生する損失であり、送電電圧が同じ場合、**誘電正接**が大きいものほど発生量が大きい。

また、**単心ケーブル**を鉄管に入線すると鉄損が大きくなることから、送電容量が低下させることになるので注意が必要である。

H17 2種 問6 架空送電線路

架空送電線路は発電所で発生した電力を効率よく、安定に、しかも経済的に需要地域まで輸送する役割を担っている。そのため架空送電線路に使用する電線の電氣的性能としては**導電率**が高いものが望ましく、機械的性能としては**引張強さ**が大きいものが望ましい。

一般に**引張強さ**は不純物の含有量が増加するにしたがって増大する傾向にあるが、**導電率**は逆に減少する。

架空送電用の電線として、鋼より線の周囲にアルミ線をより合わせた鋼心アルミより線が広く使われている。アルミ線の導電率は銅線の約 60 [%] のため、単位長さ当たりの抵抗値を同じにするには等価的に銅線の約 **1.3** 倍の直径が必要であるが、単位体積当たりの重量が約 3 分の 1 のため、それだけ太くなくても同等の銅線よりまだ軽く、しかも補強の鋼線による引張強さが大きいので、支持物径間を銅線の場合より長くとれる。

架空送電線路は電線のほか、支持物、**がいし**、架空地線などで構成されている。**がいし**は支持物と電線をつなぎ、同時に電線を大地から絶縁する役割をしている。架空地線は架空送電線を**直撃雷**から守る目的で設置されている。

H19 2 種 問 3 架空送電線のアークホーン

架空送電線路では、腕金で電線を支持するために懸垂がいし連や長幹がいしを用いるが、一般に、このがいし連の**両端**にアークホーンが設置されている。アークホーンを設置する主な目的は、落雷事故などにより絶縁破壊が生じ、交流アーク放電が続いた場合に、放電路が**がいしの表面**を通らないようにすることである。この他にアークホーンを設置すると以下のような効果が得られる。

1. 個々のがいしの電圧分担を**均等化**することができる。
2. アークホーンの間隔を変えることによって送電線の絶縁を系統全体から見て適切な強度とする。また、**コロナ放電**の低減効果を併せて期待する場合には、シールドリングを設置することがある。

H21 2 種 問 7 通信線路の電磁誘導障害

送電線に隣接する通信線路への電磁誘導による異常時誘導電圧は、送電線に **1**

線地絡事故が発生した場合に事故電流が**大地帰路**電流となって流れることにより誘起される。

誘起電圧低減対策のうち、送電線の対策としては、架空地線の低抵抗化や条数を増やす方法などが実施されている。また、通信ケーブルの対策としては、通信線ルート変更による**離隔**の確保、**遮へい**効果の高いケーブルへの張替え、**避雷器**の設置による誘導電圧の低減などが実施されている。

H28 2種 問7 送電線の振動

比較的緩やかな一様な風が、電線と直角に当たると電線の背後に**カルマン渦**ができて鉛直方向の周期的な力が電線に働き、これが**電線の機械的固有振動数**と一致すると微風振動が発生する。全振幅は数センチメートル以下と小さいが、電線が長い間繰り返し応力を受けて、電線を構成する素線が切れることがあり、さらに断線に至る可能性がある。微風振動は径間が長い場合や、直径が大きい割に重量の軽い電線の場合、具体的には**鋼心アルミより線**などの場合に発生しやすい。

電線に冰雪が付着して強風が当たると、付着した冰雪の**非対称性**が原因となって揚力が発生し、自励振動を生じて電線が上下に大きく振動する。これがギャロッピングという。一方、電線の下面に水滴が付くと**コロナ**がさかんに発生する。電線から帯電した水の粒子が射出するためその反作用で電線の振動を誘発する。これを**コロナ振動**といい無風の場合に発生しやすい。