

平成 29 年度

第 2 種

電力・管理

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の重要事項及び注意事項

指示がありましたら答案用紙（記述用紙）4枚を引き抜いてください。答案用紙には、4枚とも直ちに試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。

1. 重要事項

- a. 「選択した問の番号」欄には、必ず選択した問番号を記入してください。
記入した問番号で採点されます。問番号が未記入のものは、採点されません。
- b. 計算問題では、解に至る過程を簡潔に記入してください。
導出過程が不明瞭な答案は、0点となる場合があります。

2. 注意事項

- 記入には、濃度HBの鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。
- 答案用紙は1問につき1枚としてください。
- 計算問題の答は、特に指定がない限り、有効数字は3桁です。なお、解答以外の数値の桁数は、誤差が出ないように多く取ってください。

例：線電流 I は

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9} = 32.075 \text{ A} \quad (\text{答}) 32.1 \text{ A}$$

1線当たりの損失 P_L は

$$P_L = I^2 R = 32.075^2 \times 0.2 = 205.76 \text{ W} \quad (\text{答}) 206 \text{ W}$$

- 記述問題については、問題の要求を逸脱しないでください。
例：「問題文に3つ答えよ。」という要求で、4つ以上答えてはいけません。
- 氏名は記載しないでください。（答案用紙に氏名記載欄はありません。）

答案用紙は、白紙解答であっても4枚すべて提出してください。
なお、この問題冊子についてはお持ち帰りください。

第 2 種

電力・管理

問 1～問 6 の中から任意の 4 問を解答すること。(配点は 1 問題当たり 30 点)

問 1 ガスタービン主体に構成されるコンバインドサイクル発電プラントに関して、次の問に答えよ。

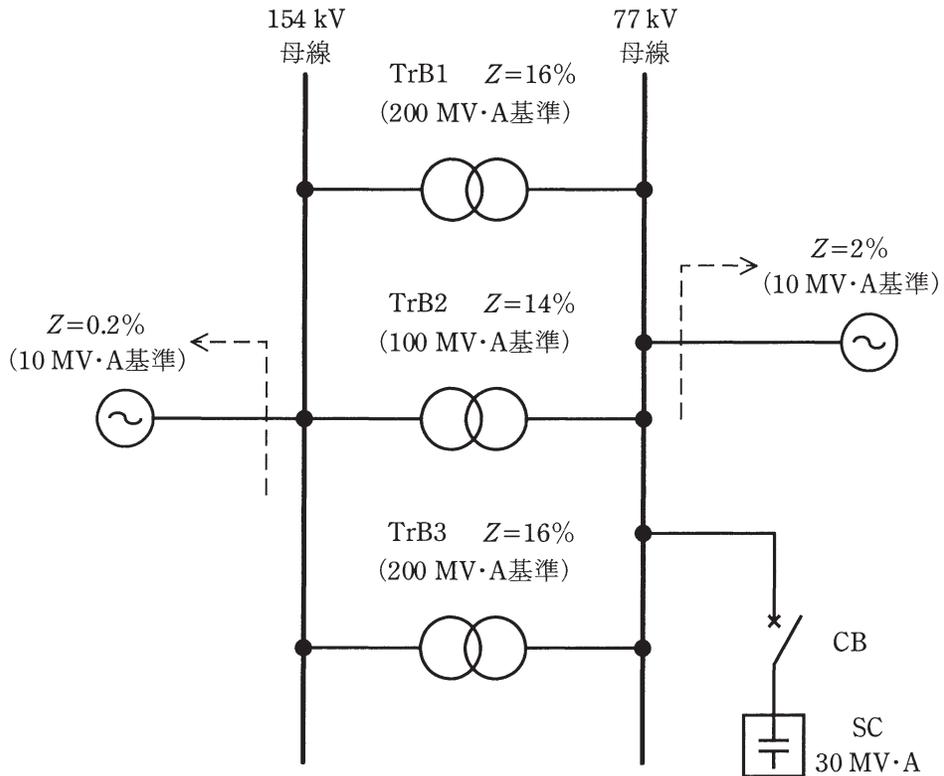
- (1) 大気温度上昇が最大出力に及ぼす影響について、その理由とともに説明せよ。
- (2) 回答(1)に対する改善策を挙げよ。

問2 電力系統の過渡安定度向上対策に関して，次の間に答えよ。

以下の過渡安定度向上対策から三つを選定し，その原理を発電機の加速エネルギーや減速エネルギーの観点から説明するとともに，採用時の留意点を各対策につき 100～200 文字程度で簡潔に述べよ。

- (1) 直列コンデンサ
- (2) 励磁方式の応答性と発電機のシーリング電圧の改善
- (3) 高速遮断と高速再閉路方式
- (4) タービン高速バルブ制御
- (5) 低インダクタンス送電線

問3 図のような一次側が 154 kV、二次側が 77 kV の変圧器 3 台で連系された変電所がある。この変電所の 77 kV 側母線に接続された 30 MV・A の電力用コンデンサを投入したとき、次の問に答えよ。なお、各変圧器のインピーダンスはリアクタンスのみとし、その値は自己容量基準で図に示すとおりである。



- (1) 77 kV 母線の短絡容量 P_S [MV·A] を求めよ。なお、単位法における基準容量は 100 MV·A として計算せよ。
- (2) 電力用コンデンサを投入したときの 77 kV 側母線の基準電圧に対する電圧変動率 ΔV_{77} [%] を求めよ。
- (3) 電力用コンデンサを投入したときの 154 kV 側母線の基準電圧に対する電圧変動率 ΔV_{154} [%] を求めよ。

問4 図に示すように変電所の同一のバンクからA配電線とB配電線の2回線が引き出されており、負荷はそれぞれの配電システムの末端に集中して接続されているものとする。配電線路運用における区間切り換えのため、以下に示す条件のもとで連系開閉器を投入したときの連系点の電圧が6.6kVになった際の、図に示す連系点に流れるループ電流 \dot{I} の大きさを以下の小問に従って答えよ。ただし、それぞれの配電システムのインピーダンス及び系統末端負荷への供給電力は以下に示される条件とし、連系線のインピーダンスは 0Ω で、かつ、連系開閉器投入後も各負荷の消費電力は変化がないもの(定電力負荷)とする。

[条件]

- ・A配電線の末端負荷への供給電力

有効電力2400kW，進み無効電力800kvar

- ・A配電線のインピーダンス

$$\dot{Z}_A = R_A + jX_A = 0.3 + j0.39\Omega$$

- ・B配電線の末端負荷への供給電力

有効電力1715kW，遅れ無効電力457kvar

- ・B配電線のインピーダンス

$$\dot{Z}_B = R_B + jX_B = 0.2 + j0.16\Omega$$

- (1) 連系開閉器投入後の負荷電流 \dot{I}_A ， \dot{I}_B を，連系点の電圧の位相を基準(位相0)として求めよ。
- (2) (1)を用いて連系点に流れるループ電流 \dot{I} の大きさを求めよ。

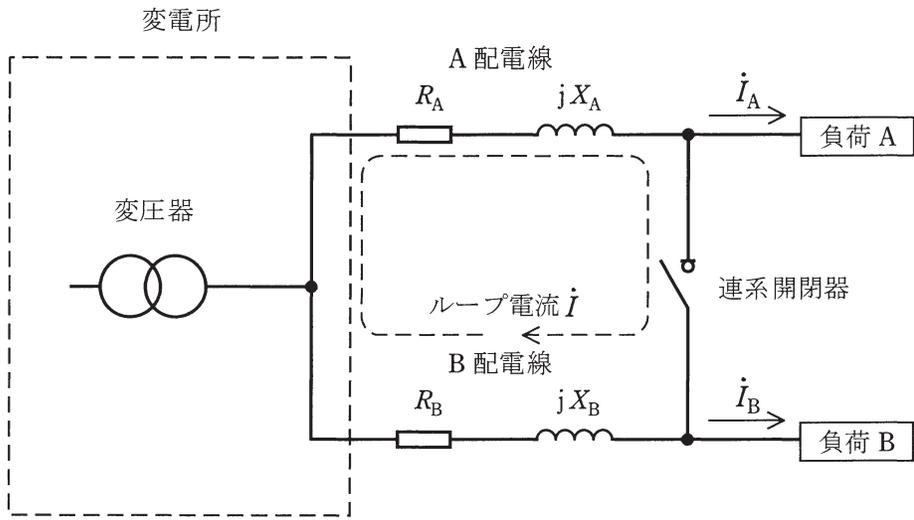


図 A, B 配電線路図

問5 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 6.6kV 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。

c 地絡保護リレーの動作

d 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。

問6 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、電気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。

平成 29 年度第二種電気主任技術者二次試験 標準解答

配点：一題当たり 30 点

電力・管理科目 4 題×30 点=120 点

機械・制御科目 2 題×30 点= 60 点

<電力・管理科目>

[問 1 の標準解答]

- (1) ガスタービン発電は大気温度の上昇によって最大出力が低下する特性がある。ガスタービン動翼入口温度は、高温部品の耐久性によって上限値が定められている。圧縮機が吸入する空気の体積流量はほぼ一定であり、大気温度の上昇により空気密度が低下するため、空気の質量流量が低下する。そのため、投入できる燃料量が減少し、ガスタービン出力は低下する。また、これにより排ガス量も減少することから、排熱回収ボイラで回収する熱量も減少し、蒸気タービン出力も低下するので、コンバインドサイクル発電の最大出力は低下する。
- (2) この対策として、圧縮機入口の空気温度を下げるため、吸気に水を噴霧することで水の蒸発潜熱によって吸気温度を下げ、空気の質量流量を増加し、出力低下を改善する方法や、エバポレータークーラ方式、チラー方式などのガスタービン吸気冷却装置を設置することが挙げられる。また、蒸気タービン出力の低下分を改善するために、排熱回収ボイラに助燃バーナを追設することもある。

[問2の標準解答]

(1) 直列コンデンサ

線路に直列にコンデンサを挿入して、送電線などのリアクタンスを補償し、全体のリアクタンスを小さくすることにより、減速エネルギーを増加させて、過渡安定度を向上させる。

留意点は、発電機・タービン系との軸ねじれ共振（SSR）、無負荷変圧器励磁時の鉄共振、故障電流によるコンデンサ端子電圧での異常電圧の発生などがある。（留意点は系統構成などによりこれ以外にも考えられるが、代表的な留意点として挙げている。以下の各項でも同じ。）

(2) 励磁方式の応答性とシーリング電圧の改善

発電機励磁方式を速応化し、かつ、シーリング電圧（頂上電圧）を高電圧化することにより、発電機内部電圧を上昇させることにより、減速エネルギーを増加させて過渡安定度を向上させる。

留意点は、速応化により振動発散現象（負制動現象）が生じやすくなるので、一般にはPSS（電力系統安定化装置）が付加されること、発電機の界磁巻線の絶縁である。

(3) 高速遮断と高速再開路方式

高速な保護リレーによる事故判定と高速な遮断器動作によって事故除去時間を短縮し事故中の加速エネルギーを減少させ、また、高速な再開路により減速エネルギーを増加させて、過渡安定度を向上させる。

留意点は、高速再開路に適した動作責務を持った遮断器にすること、発電機-タービン軸間の過大な軸トルクの発生と、消アークイオン時間を考慮した再開路時間の設定である。

(4) タービン高速バルブ制御

事故を検出して、高速に蒸気弁を閉鎖し、タービン出力を減じることにより、主に事故除去後の減速エネルギーを増加させて、過渡安定度を向上させる。蒸気弁としては、通常はインターセプト弁のみの制御であるが、加減弁を制御することもある。

留意点は、蒸気弁の閉鎖により蒸気圧力が上昇しすぎないこと、タービン出

力の急変に対し PSS が正常に動作することを確認することである。

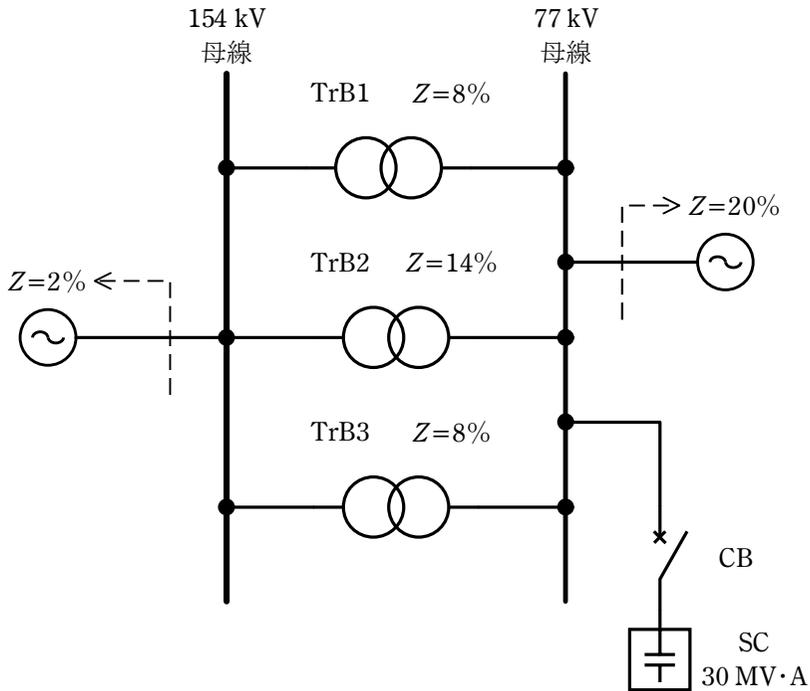
(5) 低インダクタンス送電線

送電線を複導体化し、主に複導体の等価半径を大きくして、送電線のリアクタンスを減少させ、主に減速エネルギーを増加させて、過渡安定度を向上させる。

複導体化に伴う留意点は、電気的には静電容量の増加、機械的には荷重の増加、ギャロッピングやサブスパン振動および複導体の稔回（ねじれ）などへの対処である。

[問3の標準解答]

(1) 図の各%インピーダンスを 100 MV・A 基準に換算すると下図のとおりとなる。



変電所の変圧器のリアクタンス x_t は,

$$x_t = \frac{8 \times 14 \times 8}{8 \times 14 + 14 \times 8 + 8 \times 8} \doteq 3.1111 \%$$

77 kV 母線からみた電源側の%インピーダンス Z_s [%] を求めると,

$$Z_s = \frac{(2 + 3.1111) \times 20}{(2 + 3.1111) + 20} \doteq 4.0708 \%$$

よって 77 kV 母線の短絡容量 P_s [MV・A] は,

$$P_s = \frac{100}{\%Z} P = \frac{100}{4.0708} \times 100 \doteq 2456.5 \rightarrow 2460 \text{ MV}\cdot\text{A} \quad \dots (\text{答})$$

- (2) 基準電圧を V_{77} [kV]，電力用コンデンサ投入後の電力用コンデンサの電流を I_C [kA]，77kV 母線から電源側を見た時のインピーダンスを Z [Ω]とすると，電力用コンデンサ $Q = 30 \text{ MV}\cdot\text{A}$ を投入したときの 77kV 側母線の電圧変動率 ΔV_{77} [%]は，

$$\Delta V_{77} = \frac{I_C \times Z}{\frac{V_{77}}{\sqrt{3}}} \times 100 = \frac{\sqrt{3} \times V_{77} \times I_C}{\frac{V_{77}^2}{Z}} \times 100$$

となり，ここに，電圧変動率が十分小さいと仮定すると簡易的に

$$Q = \sqrt{3} \times V_{77} \times I_C \text{ と表すことができ，}$$

77kV 母線の短絡容量 $P_S = \frac{V_{77}^2}{Z}$ であることから，

$$\Delta V_{77} = \frac{Q}{P_S} \times 100 = \frac{30}{2456.5} \times 100 \doteq 1.2212 \rightarrow 1.22 \% \quad \dots (\text{答})$$

- (3) このときの 154kV 側母線の電圧変動率 ΔV_{154} [%]は，154kV 母線から電源側の外部リアクタンスを x_{154} とすれば，

$$\begin{aligned} \Delta V_{154} &= \Delta V_{77} \times \frac{x_{154}}{x_t + x_{154}} \\ &= 1.2212 \times \frac{2}{3.1111 + 2} \\ &\doteq 0.47786 \rightarrow 0.478 \% \quad \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

[問4の標準解答]

- (1) 連系開閉器投入後の各配電線の負荷電流 \dot{I}_A , \dot{I}_B は、連系点の電圧 V が 6.6 kV であることから、

$$\dot{I}_A = \frac{\overline{P-jQ}}{\sqrt{3}V} = \frac{(2400+j800) \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 10^3} \doteq 209.95 + j69.982 \rightarrow 210 + j70.0 \text{ A} \quad \cdots (\text{答})$$

$$\dot{I}_B = \frac{\overline{P+jQ}}{\sqrt{3}V} = \frac{(1715-j457) \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 10^3} \doteq 150.02 - j39.977 \rightarrow 150 - j40.0 \text{ A} \quad \cdots (\text{答})$$

となる。

- (2) \dot{I}_A , \dot{I}_B の合計電流 \dot{I}_{sum} は、

$$\dot{I}_{\text{sum}} = \dot{I}_A + \dot{I}_B = (209.95 + j69.982) + (150.02 - j39.977) = 359.97 + j30.005 \text{ A}$$

連系開閉器を投入したときに、下図に示すようにループ電流 \dot{I} が生じる。

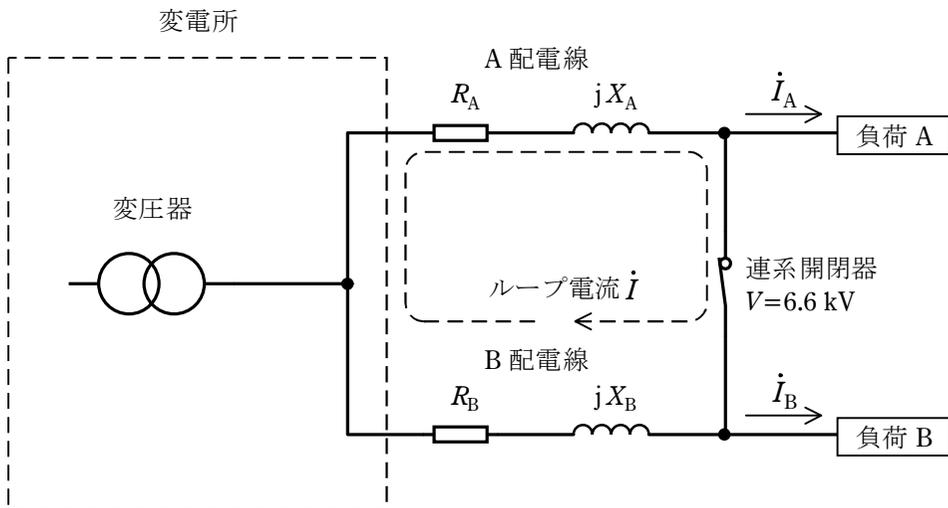


図 連系開閉器投入後の配電線路図

連系開閉器投入後の A 配電系統の線路電流 \dot{I}_a は合計電流 \dot{I}_{sum} に対して、線路インピーダンスの逆比で流れる。

したがって、

$$\begin{aligned}\dot{I} &= \dot{I}_a - \dot{I}_A \\ &= \frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_B} \dot{I}_{\text{sum}} - \dot{I}_A \\ &= \frac{(0.2 + j0.16)}{0.3 + j0.39 + 0.2 + j0.16} (359.97 + j30.005) - (209.95 + j69.982) \\ &= \frac{0.188 - j0.03}{0.5525} (359.97 + j30.005) - (209.95 + j69.982) \\ &= -85.833 - j79.318\end{aligned}$$

$$|\dot{I}| = \sqrt{(-85.833)^2 + (-79.318)^2} \doteq 116.87 \text{ A} \rightarrow 117 \text{ A} \quad \dots \text{ (答)}$$

なお、ループ回路にキルヒホッフの法則を用いた場合も同じ解を導出できるため正解とする。

[問5の標準解答]

(1)

- a 6.6kV 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。
- b 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 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。
- d 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)

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。

[問6の標準解答]

(1) 普通点検と精密点検について

定期点検は、日常の巡視点検の際に点検手入れが出来ず、かつ定期的に点検手入れの必要がある部分に対して行うもので、工具・測定試験器を適宜活用して点検を行い、必要に応じて補修を行う。

a 「普通点検」

機器・装置の機能確認・維持を目的として、主として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。

b 「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。

(2) GIS の設備診断(部分放電検出技術)

a 電気的方法

以下のいずれかを挙げてあれば正解とする。

原理 部分放電により発生する電磁波や電圧・電流を検出する。

- ・電磁波検出 :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、バイコンカル等)を使用して電磁波を検出する。
- ・電圧検出 :外被電極(箔状の金属電極)をタンク外側に取り付けて電圧を検出する。
- ・電流検出 :接地線 CT を GIS の接地線に接続して電流を検出する。面電流センサを使っても電流検出が出来る。

以下のいずれかを挙げてあれば正解とする。

b 振動・音響法

原理 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。

c 分解生成ガスを用いた方法

原理 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。

d 光を利用した方法

原理 部分放電による発光を検出する方法

光電子増倍管(PMT)やフォトダイオードを用いて放電光を検出する。蛍光ファイバによっても発光を検出できる。