

(2) 導体および絶縁体

重要事項(これを理解します)

- 1, 絶縁物とは、どのような特性が必要かを学びます。
- 2, 絶縁油の試験方法を学びます。
- 3, どのような気体絶縁材料があるかを学びます。

【例題(よく出る問題)】:

B種絶縁材料の許容最高温度 [] は。

イ. 90 ロ. 105 ハ. 120 ニ. 130

【解法の準備】

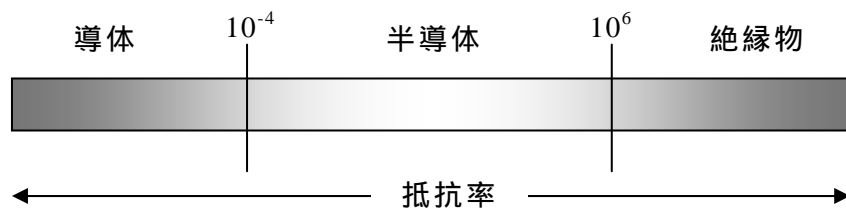
例題を解くために次のことを学びます。

1, 絶縁物とは

電気材料は、いろいろなものが使われます。 個体はもちろん、液体や気体も使われます。 そして、材料の分類の仕方に、導体・半導体・絶縁物という分類があります。 この項では、絶縁材料に使われる、絶縁物について説明します。

絶縁物は、電気の流れを絶縁する(遮断する)物をいいます。 読んで字のごとくですね。 なぜ絶縁物が必要かと言いますと、自分の回りにある物全てに電気が流れていて、どこを触ってもビリビリしていたら、おっかなくて触れませんね。 電気を安全に使う、そのために必要な材料が、絶縁材料なんです。

さて、それでは、一番肝心の絶縁の特性である、電気を通さない程度について、説明しましょう。



電気を通さない程度は、抵抗率と言うもので表すことができます。

抵抗率というのは、前節で学んだように抵抗値 R [] を求めるときに以下の式のように使われる : 抵抗率 [$\Omega \cdot m$] でしたね。

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad [\quad]$$

ここで、 R : 抵抗値 [Ω] : 抵抗率 [$\Omega \cdot m$]、 l : 抵抗体の長さ [m]、 S : 抵抗体の断面積 [m^2] です。

さて、図を見て解るように、導体と絶縁物の抵抗率の差は、最低でも

$$\frac{10^6}{10^{-4}} = 10^{6-(-4)} = 10^{10} \quad [\text{倍}]$$

となります。

すなわち、導体と絶縁物の抵抗率の差は、10,000,000,000 倍です。日本語で言うと、百億倍です。百億倍の大きさを感じるために、なにか、皆さんの身近な物で、百億倍違う物を考えてみてください。そんなに違う物は、多くはないはずです。例えば、世界一の資産家ビルゲイツでさえも皆さんの資産の百億倍は、持っていません。

ね、すごい倍率でしょ。

【確認問題 1】

次の抵抗率 [m] の物質のうちで絶縁物は。

イ . 10^{-6} ロ . 10^{-1} ハ . 10^4 ニ . 10^8

【確認問題 1 の解説】

答は、簡単ですね。「イ」は、導体です。「ロ」と「ハ」は、半導体です。「ニ」は、絶縁物です。

よって、選択肢は、二になります。

【確認問題 1 の回答】二

2 , 絶縁材料に必要な特性とは

それでは次に、絶縁材料に必要な特性を考えてみましょう。

必要な特性と言ってもいろいろな分類の仕方があります。良く行われている分類の仕方は、「電気的特性・機械的特性・熱的特性・化学的特性・その他」です。

では、それぞれの分類に従って、絶縁材料に必要な特性を考えてみましょう。

・絶縁材料に必要な電気的特性

- 1 絶縁抵抗が大きいこと
- 2 絶縁破壊強度が大きいこと
- 3 耐アーク性が優れていること
- 4 比誘電率が大きいこと
- 5 誘電損が小さいこと

・絶縁材料に必要な機械的特性

- 1 引張り強さが大きいこと
 - 2 圧縮強さが大きいこと
 - 3 曲げに強いこと
 - 4 衝撃に強いこと
 - 5 加工しやすいこと
 - 6 軽量であること
 - 7 耐摩耗性に優れていること
- ・ 絶縁材料に必要な熱的特性
 - 1 融点が高いこと
 - 2 沸点が高いこと
 - 3 発火点が高いこと
 - 4 高温でも特性が変化しないこと
 - ・ 絶縁材料に必要な化学的特性
 - 1 酸やアルカリに腐食しないこと
 - 2 化学的に安定であること
 - 3 毒性がないこと
 - ・ その他
 - 1 安価であること
 - 2 入手が容易であること
 - 3 取扱いが容易であること
 - 4 吸湿性が小さいこと

しかし、必要な特使性が多いですね。 以上の特性を全て十分に満足する絶縁材料は、それほど多くありません。

この絶縁材料に必要な特性の中で、特に重要な特性が、熱的特性です。 と言いますのは、全ての特性が、高温になるに従って、悪くなる傾向にあるからです。 そのため、絶縁材料は、使うことの出来る最高の温度とともに絶縁種別が決められています。

3 , 絶縁材料の絶縁種別とは

さて、絶縁材料は、上に述べたように、全ての特性が、高温になるに従って、悪くなる傾向にあります。 そのため、絶縁材料は、使うことの出来る最高の温度で分類され、その分類を絶縁種別と呼んでいます。

さて、この絶縁種別の表の覚え方を読者だけに、ナイショで教えましょう。

スケベな神様えべすが、イチゴのように美味しそうな女性の乳首を見て喋るセリフを憶えてください。

や あ え べ ぶ エッチ、イチゴ イチゴ と ニコ ニコ (じゃぶる)

Y A E B F H 15 15 10 25 25

90

90 + 15 = 105

105 + 15 = 120

120 + 10 = 130

130 + 25 = 155

155 + 25 = 180

200種、220種、250種は、数値そのままなので、数値そのまま覚えてください。

種別	許容最高温度 []	絶縁材料の例
Y種	90	木綿、絹、紙などワニス類で含浸しないもの、ポリエチレン、加硫ゴム、ビニル、ファイバ
A種	105	Y種絶縁物をワニス類で含浸したもの、電線用油性エナメル、ポリエステル樹脂
E種	120	エポキシ樹脂、ポリアミド樹脂、ポリビニルホルマール
B種	130	マイカ、石綿、ガラス繊維などを接着剤とともに用いたもの、メラニン樹脂、各種ガラス
F種	155	マイカ、石綿、ガラス繊維などをシリコンアルキッド樹脂などの接着剤とともに用いたもの
H種	180	マイカ、石綿、ガラス繊維などをシリコン樹脂などの接着剤とともに用いたもの、シリコン樹脂
200種	200	生マイカ、磁器、ガラス、石綿などを単体で用いたもの、石英、耐熱性樹脂
220種	220	
250種	250	

4. 固体・液体・気体の絶縁材料とは

前項までは、絶縁材料の特性で説明しました。この項では、絶縁材料の性状(固体・液体・気体)で説明しましょう。

さて、固体・液体・気体ですが、どの状態がよいと言うことは、ありません。なぜかといいますと、物体を固定するのに使う絶縁材料の場合は、固体の絶縁材料が適していますし、物体を冷却するのに使う絶縁材料の倍は、液体の絶縁材料が適していますし、運動している物体を絶縁するのに使う絶縁材料の場合は、

気体の絶縁材料が適しています。それぞれの用途によって使い分けています。

・ 固体絶縁材料

固体絶縁材料には、綿・絹・天然ゴム・マイカ・石綿・合成ゴム・プラスチックなどがあります。さらに、合成ゴムは、ブチルゴム（B）が、プラスチックには、ポリエチレン（E）・架橋ポリエチレン（C）・クロロプレン（N）・ビニル（V）が電線やケーブルの被覆絶縁材料として使われています。

・ 液体絶縁材料

液体絶縁材料には、絶縁油と純水があります。（水は、純粋であれば、絶縁材料なんですよ。驚きましたか？ 憶えてくださいね）

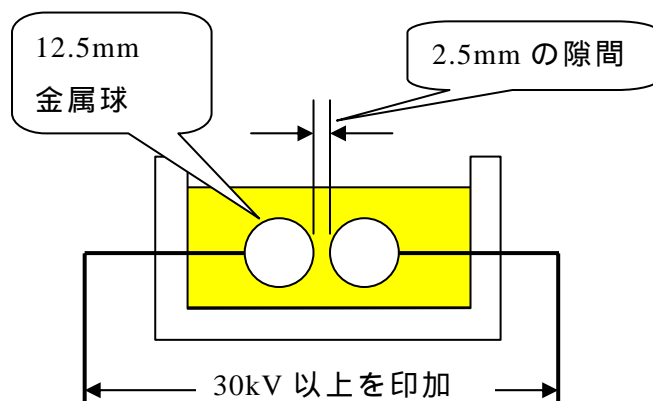
さて、液体の絶縁物ですが、純水は別にして絶縁油を説明しましょう。

絶縁油は、鉱油と合成油があります。合成油には、塩素化合物系（難燃性）とシリコン油（耐熱、耐寒、難燃性）があります。いまは使用禁止になっていますが、PCB も塩素化合物系（難燃性）の絶縁油として非常に良い特性を示していましたので、よく使われていました。（毒性が強くて、使用禁止になりましたが）

絶縁油は、変圧器などによく使われる材料であるために、特に絶縁油の試験方法も決められています。

試験方法は、耐圧試験と言いまして、日本工業規格（JIS）によれば、12.5mm の金属球を 2.5mm の隙間を空けて並べ、その金属球に高電圧を印加します。（電圧を加えることを、印加と言います）

そして、印加した電圧が 30kV でも絶縁破壊しないことを確認します。



ついでに、変圧器に使われる絶縁油の温度上昇限度〔 〕は、日本工業規格（JIS）によれば、50〔 〕と定められています。

・ 気体絶縁材料

さて、次に説明しますのは、気体絶縁材料です。 気体の場合、ほとんどは、絶縁材料です。 そして、特に気体の中で、よく使われるのが、空気・水素(H_2)・窒素(N_2)・六フッ化硫黄(SF_6)・フロン(F_12 (CF_2Cl_2))などです。

それでは、それぞれの特徴を説明しましょう。

空気：

まず、空気です。 空気は、私たち人間が呼吸するものです。 無味無臭で、無害です。 調達も容易で、それこそ空気のように存在を忘れてしまうくらいです。 絶縁材料としても優れていまして、直流で 30kV / cm の電圧まで、耐えることができます。

使われる場所は、町中にある送電線などが、空気絶縁です。 送電線のそばに住んでいる人が、感電したというのを、聞いたことがないですからね。

水素 (H_2)：

水素は、密度が低く、軽いのが特徴です。 そのため、高速で回転する電気機器を絶縁する部分に使われます。 なぜかと言いますと、密度が低く、軽いので、空気抵抗が小さくなるためです。(水素だから、水素抵抗かな?) 実際に使われている場所は、火力発電所にある発電機が、水素で絶縁されています。 火力発電所にある発電機は、3000[1/min]や3600[1/min]の高速回転機器です。 そのため、普通の気体では、抵抗が大きくて、損失も大きくなるからです。 また、質量が小さいことで、冷却能力も大きいようです。

窒素 (N_2)：

窒素は、化学的に安定であることが特徴です。 TVなどで、「タイムカプセルに、窒素を詰めて、長期間保存・・・」と言うのをよく聞いたことがあると思います。(タイムカプセルは、そんなに沢山無いか?アハハ)

窒素が、化学的に安定であるという証です。

さて、電気機器で実際に使われている場所は、変圧器です。 窒素封入変圧器と言って、実際の絶縁は、絶縁油で行いますが、絶縁油と外気が直接接するのを防ぐために変圧器の中に封入します。

窒素で変圧器を封入することで、絶縁油の絶縁低下を防ぐのです。

六フッ化いおう（SF₆）：

六フッ化いおうは、耐アーク性に優れているのが特徴です。耐アーク性と言うのをまず説明しましょう。まず、アークは、ご存じですか？映画の宣伝じゃないですよ。アークというのは、電気火花のことです。電気火花は、高電圧や大電流をスイッチでON・OFFときに発生します。

そのアークは、温度が数千 になっています。鉄の溶ける温度が、千数百 ですから、どんな金属でも溶かしてしまう、高温です。アークが発生したら、直ちに消す必要があります。そこで登場するのが、六フッ化いおうです。六フッ化いおうは、アークが発生したときに直ちに消す能力に優れているのです。

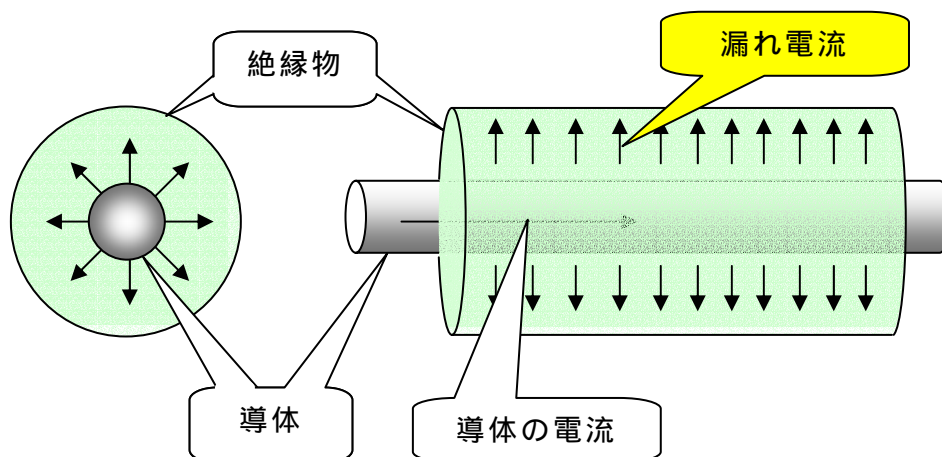
また、絶縁性能も優れていまして、1気圧で空気の2.5倍、2気圧で絶縁油に匹敵する絶縁性能があります。性質も良くて、無色無臭で毒性もなく無害です。

さて、実際に使われている場所は、遮断器などに多く使われています。遮断器と言いますのは、ブレーカの親玉みたいな物です。ブレーカは、家庭で電気を使いすぎるとその電気を安全のために遮断します。遮断器も同じように電気を使いすぎると電気を安全のために遮断します。

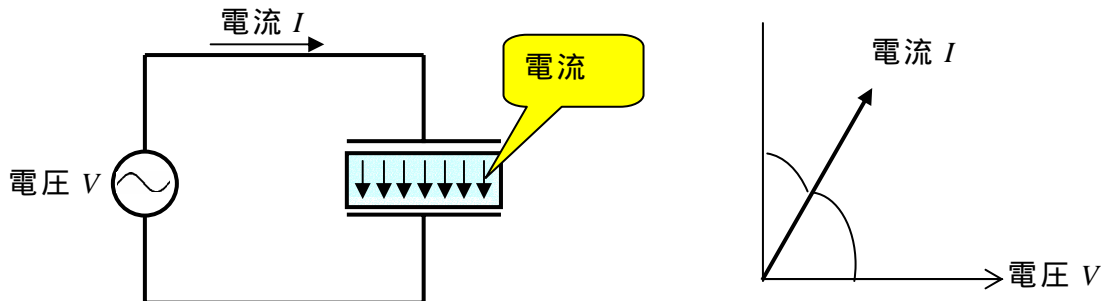
そして、電気を遮断するとき大きなアークが発生します。アークは、電気の火花でしたね。

5. 絶縁材料の電氣的性質

さて、絶縁材料は、電気を流さない材料ですが、完全に流さないかと言いますと、そうでもありません。わずかですが、漏れ電流を流します。



絶縁電線やケーブルの場合は、上の図に示すように漏れ電流が流れます。
また、板状の絶縁物の場合には、下図のように電流が流れます。



この誘電体に流れる電流と電源電圧とで電力を発生しますが、その電力を誘電体損といいます。(誘電体と絶縁物は、同じ意味だと思ってください)

この誘電体損は、

$$P = VI \cos \phi \approx VI \tan \delta \quad [\text{W}]$$

で計算されます。

5. 導体とは

さて次に、導体の説明です。導体とは、電気を流す物質のことです。導体として使われるのは、ほとんどの場合、金属です。なぜかと言いますと、金属の全てが、良い導体の性質を示すからです。

特に、抵抗率の小さい金属は、「銀・銅・金・アルミニウム」です。この中で、価格と性能的に一番使いやすいのが銅です。その次に使われるのが、アルミニウムです。参考までに、抵抗率を掲げておきますので、余裕のある人は、憶えておくとも便利です。

$$\text{軟銅の抵抗率} : \frac{1}{58} [\text{mm}^2/\text{m}] \quad \text{アルミニウムの抵抗率} : \frac{1}{35} [\text{mm}^2/\text{m}]$$

それから、絶縁物では、温度上昇とともに抵抗率が小さくなると言いましたね。導体の場合は、温度上昇とともに抵抗 R [] が、大きくなります。先ほどの絶縁物と逆ですね。

$$R_{t_1} = R_{t_2} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

この式は、温度が、 t_2 [] のとき抵抗値 R_{t_2} [] の導体は、温度 t_1 [] になったとき抵抗値 R_{t_1} [] になることを意味しています。

ここで、 α は、抵抗温度係数です。

【確認問題 2】

変圧器に使われている絶縁油の温度上昇限度 [] は、日本工業規格 (JIS) では。

イ . 3 0 口 . 4 0 ハ . 5 0 ニ . 6 0

【確認問題 2 の解説】

説明を読んでいれば、理解できていると思います。日本工業規格 (JIS) で絶縁油の温度上昇限度 [] は、5 0 [] ですね。

よって、選択肢は、ハとなります。

【確認問題 2 の回答】ハ

キーワード

絶縁材料の許容最高温度 []、絶縁種別、六フッ化いおう (SF₆)

【例題 (よく出る問題) の解説】

B 種絶縁材料の許容最高温度 [] ですから、下の表で、1 3 0 [] であることが、解りますね。

種別	許容最高温度 []	絶縁材料の例
Y 種	9 0	木綿、絹、紙などワニス類で含浸しないもの、ポリエチレン、加硫ゴム、ビニル、ファイバ
A 種	1 0 5	Y 種絶縁物をワニス類で含浸したもの、電線用油性エナメル、ポリエステル樹脂
E 種	1 2 0	エポキシ樹脂、ポリアミド樹脂、ポリビニルホルマール
B 種	1 3 0	マイカ、石綿、ガラス繊維などを接着剤とともに用いたもの、メラニン樹脂、各種ガラス
F 種	1 5 5	マイカ、石綿、ガラス繊維などをシリコンアルキッド樹脂などの接着剤とともに用いたもの
H 種	1 8 0	マイカ、石綿、ガラス繊維などをシリコン樹脂などの接着剤とともに用いたもの、シリコン樹脂
200 種	2 0 0	生マイカ、磁器、ガラス、石綿などを単体で用いたもの、石英、耐熱性樹脂
220 種	2 2 0	
250 種	2 5 0	

よって、選択肢は、八となります。

【例題（よく出る問題）の回答】：八

これがポイント

コツ1、種絶種別と許容最高温度 [] を憶えてください

コツ2、絶縁材料に必要な特性を憶えてください

コツ3、絶縁油の試験方法を憶えてください

復習

1 , 種絶種別と許容最高温度 [] は、全部憶えていますか？

2 , 絶縁油の試験方法は、説明できますか？

3 , 六フッ化いおう (SF₆) の特徴を説明できますか？

アドバイス

種絶種別と許容最高温度 [] は、必ず憶えてください。

練習問題

第 1 章 1 節 (2) 導体および絶縁体

【問 1】

絶縁材料の絶縁種別で許容最高温度 [] の高い順に並べてあるのは。

イ . H 種 B 種 E 種 A 種

ロ . B 種 H 種 E 種 A 種

ハ . H 種 E 種 B 種 A 種

ニ . A 種 B 種 E 種 H 種

ヒント 順番は下記ですね。

や あ え べ ぶ エッチ、イチゴ イチゴ と ニコ ニコ (じゃぶる)

Y A E B F H 15 15 10 25 25

【回答】 : イ

【問 2】

絶縁種別で E 種の許容最高温度 [] は、何度か。

イ . 9 0 ロ . 1 0 5 ハ . 1 2 0 ニ . 1 3 0

ヒント 絶縁種別の一覧表を憶えてくださいね。

【回答】 : ハ

【問 3】

金属で、一番抵抗率の小さな材料は。

イ . 金 ロ . 銀 ハ . 銅 ニ . アルミニウム

ヒント 金は、加工がしやすいのでよく使われますが。

【回答】 : ロ

【問 4】

次の材料で、絶縁物は。

イ . 水銀 ロ . 海水 ハ . 磁器 ニ . 黒鉛

ヒント 磁器は、送電線を支持するがいしなどに使われる材料です。

【回答】 : ハ

【問 5】

六フッ化いおう (SF_6) について、正しくないものは。

イ．絶縁物である ロ．薄い黄色いガスである 八．耐アーク性に優れている 二．無害のガスである

ヒント 六フッ化いおう (SF_6) は、無色透明な無害のガスです。

【回答】：ロ