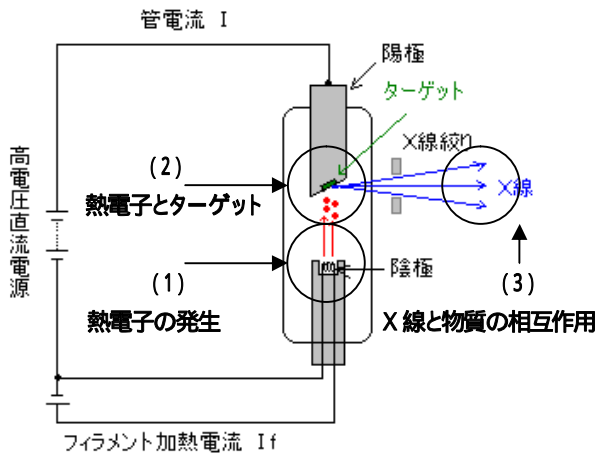


機器計算問題集

1. X線管とX線の発生



(1) X線管の中での熱電子の運動エネルギー

$$E = e \cdot V \text{ [eV]} \quad e: 1.602 \times 10^{-19} \text{ [C]} \quad v: \text{加速電圧}$$

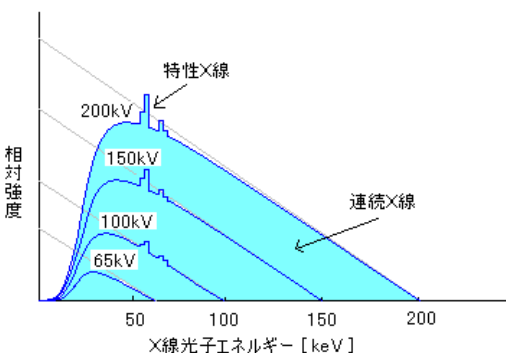
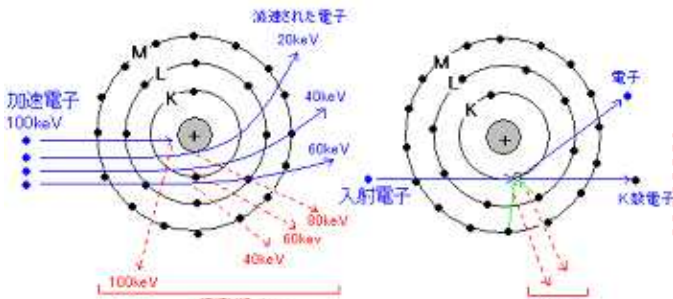
また, [eV] と [J] の換算は,

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1 \text{ [eV]} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

$$1 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 1 \text{ [J]} = 10^7 \text{ [erg]} = 0.238 \text{ [cal]}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(mv_1^2 - mv_2^2) = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)$$

(2) X線の発生(ターゲット金属の中での現象)



(連続X線)

ターゲット金属(W)より発生する連続X線の最短波長

(Duane-Hunt の法則)

$$\lambda_0 = \frac{12.42}{V} \times 10^{-10} \text{ [m]}$$

最短波長は加速電圧(管電圧)に反比例する。つまり、電圧が高くなると波長が短く(エネルギーが強くなる)。

[問題] 加速電圧が 100kV のときの最短波長は

$$\lambda_0 = \frac{12.4}{100} \times 10^{-10} = 0.124 \times 10^{-10} = 1.24 \times 10^{-11} \text{ [A]}$$

[問題] 加速電圧が 80kV のときの最短波長は

$$\lambda_0 = \frac{12.4}{80} \times 10^{-10} = 0.155 \times 10^{-10} = 1.55 \times 10^{-11} \text{ [m]}$$

連続X線の強度 W

発生するX線の1秒当たりの総エネルギー(X線強度)

$$W = K \cdot I \cdot V^2 \cdot Z \quad K: \text{定数 } 1.1 \times 10^{-6}$$

X線発生効率

1秒当たりに発生するX線の総エネルギーWと消費される電子エネルギー(電力 = V × I)との比

$$\eta = \frac{KIV^2Z}{IV} = KVZ \quad K: \text{定数 } 1.1 \times 10^{-6}$$

[問題] 衝突物質がタングステン(W:原子番号 74)で加速電圧Vが 100kV のときのX線発生効率 は

$$\eta = kVZ = 1.1 \times 10^{-6} \times 100 \times 74 \times 100 = 0.814 \text{ [%]}$$

重要 X線発生効率 は約0.8%にすぎず、残りのほとんどのエネルギーは熱損失となりターゲットを加熱する。

(特性X線)

特性X線のエネルギー E

$$E = W_1 - W_2 = h \cdot \nu \text{ [eV]}$$

特性X線の振動数 と物質の原子番号Zの関係 (Moseley の法則)

$$\sqrt{\nu} = K(Z - \sigma) \quad \nu = [k(Z - \sigma)]^2 \quad k, \text{ は定数}$$

X線の性質

X線は**電磁波(波)**であり**粒子**である。(X線の二面性)

電磁波

X線は電磁波の一種であるため波として空間を伝わり、その伝播速度は一定である。波長を [m]、振動数を [s⁻¹]とすると、次の関係式が成り立つ。

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad c: \text{光速 } 3 \times 10^8 [\text{m/s}]$$

振動数 が大きくなると波長 は短くなる。つまり、エネルギーは強くなる。

粒子

X線は粒子としての性質も持つ。このような粒子を **光子(Photon)** といい、光子エネルギーは **振動数** に比例する。

波動説 と **粒子説** をまとめた式は

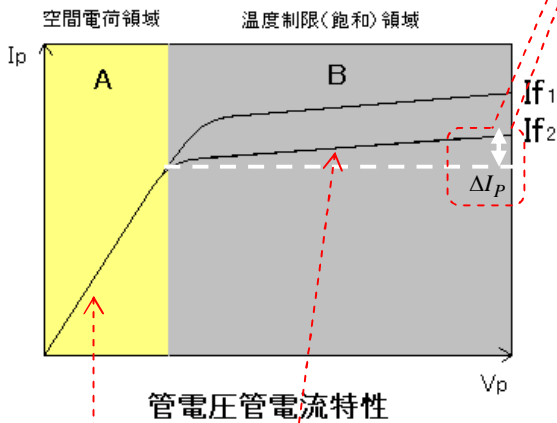
$$E = h \cdot \nu = h \cdot \left(\frac{c}{\lambda}\right) = \frac{1}{2}mv^2 \quad [\text{eV}] \text{ または } [\text{J}]$$

h: プランク定数 $6.625 \times 10^{-34} [\text{Js}]$

プランク定数は量子力学の基本単位

重要: プランク定数が入る式は粒子を表す。また $\lambda = \frac{c}{\nu}$ は、波を表す。

X線管の Vp - Ip (管電圧 - 管電流) 特性



管電圧管電流特性

X線管の整流作用

二極真空管では陽極を陰極に対して正電位にしたとき、熱電子が陽極に到達して陽極電流が流れるが、**電圧を逆極性に加えたときには** () ため陽極電流は流れない。この性質を () といい、二極真空管に限らず一般の真空管においても重要な性質である。

空間電荷電流 と 飽和電流

焦点が小さく、管電圧が低く、管電流が大きいほど () で動作し、管電圧の変化に対して管電流は () する。

焦点が大きく、管電圧が高く、管電流が小さいほど () で動作するが、管電圧の変化に対して管電流は () しない。

飽和領域で管電流が若干上昇する理由は

() 効果による。

重要 管電流(エミッション)特性

横軸に ()、縦軸に () をとり、() をパラメータとして表した曲線。

重要 フィラメント特性

() に対する () の関係を表した曲線。X線管の場合、5~15V, 3~5.5A 程度。

熱電子は陽極に到達できない

整流作用

空間電荷電流

大きく変化

飽和電流

ほとんど変化

ショットキー効果: 電界強度の増大による仕事関数の減少

フィラメント電流

管電流

管電圧

フィラメント電流

フィラメント電圧

【 Langmuir-Child の式 】

空間電荷制限領域で流れる電子流(管電流)を**空間電荷電流**といい、空間電荷電流 Ip [A] と印加電圧 Vp [V] の間には次式が成立する。

$$I_p = K \left(\frac{V_p^{3/2}}{d^2} \right) \quad K: \text{定数 } d: \text{電極間距離[m]}$$

管電流量は、電極間距離の二乗に半比例し、電圧の(3/2)乗に比例する。つまり、陰極と陽極の距離が開けば管電流量は指数関数的に減少する。電極間距離は 17~18 mm

【 Richardson-Dushman の式 】

フィラメント金属の単位表面積から放射される飽和電子流 I [A/cm²] と絶対温度 T [K] の関係は次式で与えられる。

$$i = A \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{\phi}{kT}}$$

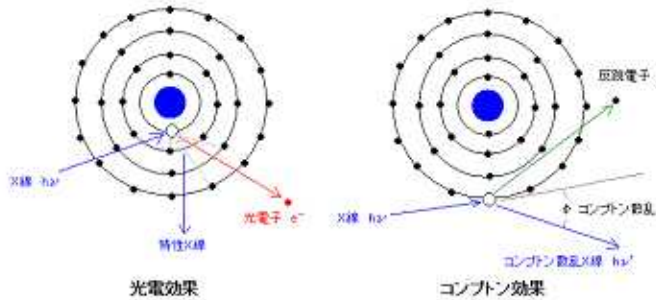
A: 熱電子放出定数 (120.4A/(cm²·K²))

K: ボルツマン定数 (1.38 × 10⁻²³ J/K)

飽和電流は**フィラメントの形状(A)**と**温度**で変化する。

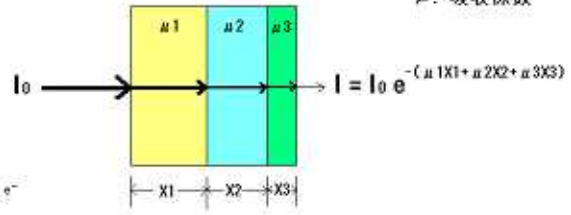
(3) X線と物質の相互作用

X線が物質内に入射すると、X線は物質と相互作用を起こし源弱する。その相互作用は**光電効果**、**コンプトン効果(散乱)**、**電子対生成**などによって行なわれる。電子対生成はX線光子エネルギーが**1.02 [MeV]**以上のときに起こるので診断領域では無視できる。



次々に物質を透過するX線。

I_0 : 入射X線
 I : 出射X線
 X : 厚み
 μ : 吸収係数



$$I_2 = I_1 \cdot e^{-\mu_2 X_2}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1} \cdot e^{-\mu_2 X_2}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1 + (-\mu_2 X_2)}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1 - \mu_2 X_2}$$

$$I_3 = I_2 \cdot e^{-\mu_3 X_3}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1 - \mu_2 X_2} \cdot e^{-\mu_3 X_3}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1 - \mu_2 X_2 + (-\mu_3 X_3)}$$

$$= I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1 - \mu_2 X_2 - \mu_3 X_3}$$

光電効果が生じる確立

$$\tau = K \left(\frac{Z^3}{E^3} \right) [\text{cm}^2/\text{g}] \quad k: \text{定数}$$

重要

光電効果が生じる確立は、入射物質の原子番号が高く、エネルギーが低いほど光電効果の確率は高くなる。

半価層の求め方 **重要だから必ず覚えること！放射線物理、計測学でも出題されるよ。**

透過X線強度(光子量)が、入射したX線の 1/2 となるときの厚みX [mm]を半価層という。したがって、以下の式より半価層が導かれる。
 $\log_e 2 \cong 0.693$ とする。

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2} \right) = e^{-\mu x}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu x}$$

ここで両辺の対数を取り

$$\log \frac{1}{2} = \log e^{-\mu x}$$

$$\log 2^{-1} = \log e^{-\mu x}$$

$$-\log_e 2 = -\mu x$$

$$0.693 = \mu x$$

$$x = \frac{0.693}{\mu}$$

X線減弱式の意味(指数の掛け算は足し算)

物質を次々に透過する透過 X 線の強度は最終的に出てくるときには、指数部分(それぞれの物質の厚み及び減弱係数の積)の和となる。

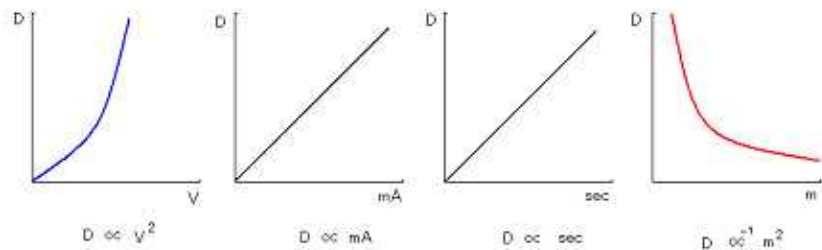
$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu_1 X_1}$$

写真効果 : Photo graphic effect (PE)

$$PE \propto \frac{V^n \cdot I \cdot t}{d^2}$$

ここで V : 管電圧 n : 管電圧指数 (n = 2~6) I : 管電流
t : 撮影時間 d : 撮影距離

写真効果は撮影**管電圧**と撮影**距離**により大きく変化する。



撮像パラメータと線量・線質

【 撮影パラメータと線量、線質の関係 】

撮影パラメータ	表示値	画質に与える影響
管電圧 V	ピーク値 [kV]	線量、線質に対してn乗の関係
管電流 mA	平均値 [mA]	線量に対して正比例の関係
撮影時間 s	秒 [s]	線量に対して正比例の関係
撮影距離 m	メートル [m]	線量に対して逆2乗の関係

【問題】 写真効果

充電電圧 60kV で、撮影距離 1m, 10mAs 放電と、撮影距離 2m で 40mAs 放電では写真効果は等しいか。

$$\frac{60^n \cdot 10}{1^2} : \frac{60^n \cdot 40}{2^2} \text{ となり、同じとなる。}$$

回転陽極の回転数 P30

陽極の回転は、ターゲット円板に直結された銅製の回転子と外部の固定子からなり、誘導電動機の原理により固定子から回転磁界が与えられ、回転子は次の速度で回転している。

$$N = \frac{120f}{P}(1 - S) [rpm]$$

f: 電源周波数(50Hz or 60Hz) P: 磁極の数(通常 2 極) S: 滑り(約 0.1)

注意 三倍高速回転陽極では電源周波数を 3 倍にする。

【問題】 大分大学医学部で使用されている一般撮影用回転陽極 X 線管の回転数を求めよ。ただし、電源周波数は 60Hz、普通回転陽極 X 線管であり固定子の極数は 2 極とする。

$$N = \frac{120 \cdot 60}{2}(1 - 0.1) = 3,240 [rpm]$$

回転陽極 X 線管の比負荷

0.1 秒以下の短時間負荷では次の関係式がある。

$$W = k \cdot \frac{l\sqrt{a \cdot d \cdot n}}{\sin \theta} \cong k \cdot \sqrt{d \cdot n} [W/mm^2]$$

W: 最大入力 l: 実効焦点の長さ K: 定数 θ: ターゲット角
a: 実効焦点幅 d: 焦点軌道直径 n: 陽極回転数

【問題】 陽極回転数が 3 倍上がれば許容負荷は何倍上がるか。

$$k \cdot \sqrt{d \cdot n} : k \cdot \sqrt{d \cdot 3n} \text{ より}$$

3 倍高速 X 線管では $\sqrt{3}$ 倍 = 1.7 倍。

【問題】 陽極の軌道が 2 倍上がれば許容負荷は何倍上がるか。

$$\sqrt{2} = 1.41 \text{ 倍となる。}$$

問題 11 回転陽極 X 線管で 0.1 秒以下の負荷において、陽極回転数を 3 倍、焦点軌道直径を 1.3 倍にすると短時間許容負荷は約何倍か。

1. 1.7 **2. 2.0** 3. 2.3 4. 3.0 5. 4.0

$$W = k\sqrt{n \cdot d} = k\sqrt{3n \cdot 1.3d} \text{ より } \sqrt{3.9} = 1.97 \cong 2$$

X 線管入力(kW)

X 線管入力(陽極入力)とは、X 線を発生させるために陽極に加えられる電力($P = IV$ [kW])。

$$P = U \times I \times f \times 10^{-3} [kW]$$

P: X 線管入力 [kW]

U: 管電圧 [kV] ピーク値

I: 管電流 [mA] 平均値

f: 管電圧のリプル百分率で決まる定数

ピーク値と平均値を実効値に換算する係数。

f = 1.0 : リプル百分率が 10% 以内

(インパルス式、定電圧形、三相 12 ピーク形に相当)

f = 0.95 : リプル百分率が 10% を超え 25% 以内

(三相 6 ピーク形に相当)

f = 0.74

(単相 2 ピーク、単相 1 ピーク形に相当)

ヒートユニット(HU)

HU とは、X 線管の入力を表す特別な単位。陽極蓄積熱量などを表す。

HU = 0.71[J] として換算する。

(1) 単相全波整流回路、単相半波整流回路、自己整流回路

$$HU = U \times I \times t \quad HU / \text{sec} = U \times I$$

(2) 三相全波整流回路または同等のリプル百分率回路

$$HU = U \times I \times t \times 1.35 \quad HU / \text{sec} = U \times I \times 1.35$$

(3) 定電圧回路

$$HU = U \times I \times t \times 1.41 \quad HU / \text{sec} = U \times I \times 1.41$$

(4) コンデンサ式

$$HU = 0.71 \times C \times (U_1^2 - U_2^2)$$

U: 管電圧 [kV] ピーク値で表す

I: 管電流 [mA] 平均値で表す

t: 負荷時間 [s]

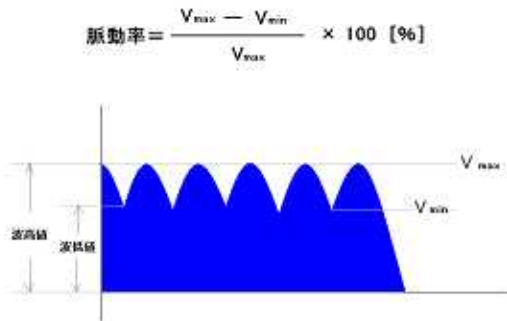
C: コンデンサ容量 [μ F]

U_1, U_2 : 放電開始時と放電終了時の管電圧

脈波別脈動率

脈波種類	脈動率
単相半波・単相全波	100 %
3相6ピーク	13.4 %
3相12ピーク	3.4 %
インバータ式装置	1~3 %

色付きはJISによるリプル4%以下の定電圧装置



X線管許容入力(電力)

問題 26

回転陽極X線管において短時間負荷が 100kV, 400mA のとき, X線管入力は約何kWか。ただし, X線高電圧装置の管電圧リプル百分率は30%とする。

$$100 \times 10^3 \times 400 \times 10^{-3} \times 0.74 = 29,600 \cong 30 [kW]$$

問題 9 管電圧 100kV, 管電流 800mA, 撮影時間 0.1sec, 管電圧リプル百分率 30%のインバータ式 X線高電圧装置がある。この装置の公称最大電力[kW]はどれか。

1. 46.5 **2. 59.2** 3. 65.7 4. 70.2 5. 89.7

$$100 \times 800 \times 0.74 = 59,200 = 59 [kW]$$

問題 9 6ピーク形 X線高電圧装置を用いて 100kV, 400mA, 0.1sec で撮影した。X線管の陽極に加えられる電力(陽極入力[kW])はどれか。

1. 3.8 2. 4.8 3. 5.4 **4. 38** 5. 40

$$100 \times 400 \times 0.95 = 38,000 = 38 [kW]$$

問題 15 回転陽極 X線管において短時間負荷が 0.1 秒, 100kV, 400mA のときX線管入力は約何 kW か。ただし, X線高電圧装置の管電圧のリプル百分率は30%とする。

- 1. 30** 2. 38 3. 40 4. 54 5. 56

$$100 \times 400 \div 0.74 = 29,600 \cong 30 [kW]$$

ヒートユニット(HU)

問題 23 P265

単相2ピーク形装置で 120kV, 500mA, 0.02s の条件で 20 回連続撮影をしたい。X線管の熱容量は少なくとも何HUのものがよいか。ただし, その冷却効果は無視する。

$$120 \times 10^3 \times 500 \times 10^{-3} \times 0.02 \times f(1) \times 20 = 24,000 [HU] = 24 [KHU]$$

問題 24

単相2ピーク形装置で, 最大冷却率 240[HU/s]のX線管がある。このX線管で 80kV, 300mA, 0.1s の条件で反復負荷を行う場合の最短使用間隔を求めよ。また, 毎分の使用頻度数は何回か。

$$\frac{80 \times 10^3 \times 300 \times 10^{-3} \times 0.1 \times f(1)}{240} = 10 [s]$$

$$\frac{60 [s]}{10 [s]} = 6 \text{ 回}$$

問題 25 **第 47 回国試問題**

3相全波整流装置を用いて 100kV, 200mA, 0.1s の条件で撮影を行う場合, 連続して許される最大撮影回数は何回か。ただし, 使用するX線管の陽極蓄積熱容量は 100×10^3 HU とする。

$$\frac{100 \times 10^3}{100 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 1.35} \cong 37.03$$

従って 37 回

変圧器容量

問題 10 管電圧 150kV, 管電流 300mA, 撮影時間 1s 通電したとき 単相全波整流装置の高電圧変圧器の最大出力は何 kVA か。

- 1. 35** 2. 40 3. 45 4. 50 5. 55

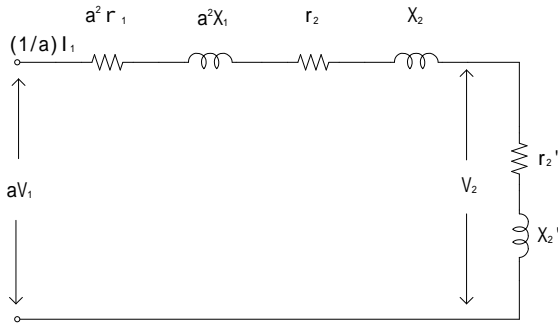
$$\frac{150}{1.41} \times 300 \times 1.11 = 35,425 \cong 35 [kVA]$$

変圧器（2次側換算等価回路）

一次側を全て二次側に置き換えて、等価回路としたもの。

$$Z = \frac{V_2}{I_2} \quad \text{より} \quad \frac{a \cdot V_2}{1/a \cdot I} = a^2 \cdot Z$$

簡易等価回路として励磁アドミタンス Y_0 を無視して二次側に換算すると図2のようになる。



一次側を二次側に換算した場合、一次側の抵抗 r_1 およびリアクタンス X_1 は a^2 倍、電圧 V_1 は a 倍、電流 I_1 は $1/a$ 倍となるので

$$r_2' = a^2 \cdot r_1 + r_2 \quad \dots$$

$$X_2' = a^2 \cdot X_1 + X_2$$

$$I_2 = \left(\frac{1}{a}\right) \cdot I_1$$

の関係より、二次側電圧 V_2 は

$$V_2 = a \cdot V_1 - (r_2' + jX_2')I_2$$

で表される。

X線管の場合は、一次側と二次側の換算（実効値に直す）に注意する。

変圧器等価回路計算

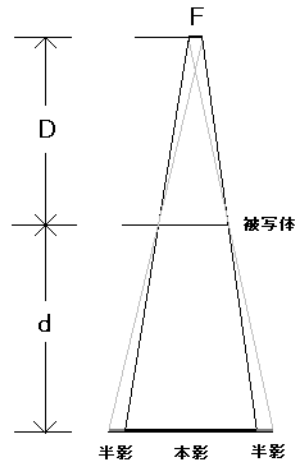
国語問題 第47回

一次側抵抗 $r_1=0.2$, 二次側抵抗 $r_2=25k$, 巻線比 $n_2/n_1=500$ の変圧器がある。二次側等価抵抗は何 k か。ただし漏洩リアクタンス、励磁アドミタンスは無視する。

式より

$$\begin{aligned} r_2' &= a^2 \cdot r_1 + r_2 \\ &= 500^2 \times 0.2 + 25 \times 10^3 \\ &= 75 \times 10^3 [\quad] \\ &= 75 [k \quad] \end{aligned}$$

拡大率(M) と 半影H を求める式を導け。



【 拡大率:M 】

$$M = (D + d) / D = 1 + \frac{H}{F} \quad \dots$$

【 半影:H 】

$$H = (M - 1)F \quad \dots$$

M: 拡大率

H: 半影の大きさ。0.2mm 以上でぼける。

F: 焦点の大きさ

問題 49 エックス線撮影において、幾何学的不鮮鋭度である半影を表す式はどれか。ただし、F は焦点サイズ、l は被写体焦点間距離、m は被写体フィルム間距離とする。

1. $l \times m \times F$
2. $(m/l) \times F$
3. $(l/m) \times F$
4. $(m/l) \times (1/F)$
5. $(l/m) \times (1/F)$

$$H = (M - 1)F = \left[\left(\frac{l+m}{m} \right) - 1 \right] \times F = \left[\left(\frac{l}{m} \right) + \frac{m}{m} - 1 \right] \times F = \frac{l}{m} \times F$$

問題 50 0.1mm の焦点サイズを用いて拡大撮影を行う場合、ボケの許容を 0.2mm までとすると最大拡大率の限度は何倍か。

1. 2 **2. 3** **3. 4** 4. 5 5. 6

教科書 P52 下から 3 行目

問題 66. 拡大撮影で 50 μ m のエックス線管焦点を使用した場合、ボケの許容を 0.2mm までとすると最大拡大率は何倍が限度か。

1. 3 倍 2. 4 倍 **3. 5 倍** 4. 6 倍 5. 8 倍

教科書 P52 下から 3 行目

変圧器一次側，二次側，電圧・電流計算

問題 無負荷時において一次電圧 150V で管電圧 100kV を発生する単相 2 ピーク形 X 線装置がある。この装置で管電流 500mA を通電したときの一次電流を求めよ。

$$I_1 = \frac{V_2}{V_1} \times I_2 = \frac{100 \times 10^3}{150} \times 500 \times 10^{-3} \times 1.11 \cong 262 \text{ [A]}$$

問題 巻線比 a = 500 の単相 2 ピーク形 X 線装置がある。管電圧 150kV，管電流 500mA 負荷時の一次電圧，一次電流を求めよ。

$$a = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \text{ を利用する}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = 500 \text{ より}$$

$$V_1 = \frac{V_2}{500} = \frac{150 \times 10^3}{500} = 212 \text{ [V]}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 500 \text{ より}$$

$$I_1 = I_2 \times 500 = 500 \times 10^{-3} \times 1.11 \times 500 \cong 278 \text{ [mA]}$$

平成 15 年 (第 55 回)

問題 14 無負荷時において，1 次電圧 200V で管電圧 140kV を発生する単層 2 ピーク形 X 線高電圧発生装置がある。この装置で，1 次電流が 100A のときの管電流は何 mA か。ただし，励磁電流は無視する。

1. 140 2. 160 **3. 180** 4. 200 5. 220

$$(I_2 \times 1.11) \times \left(\frac{V_2}{1.41}\right) = I_1 \times V_1 \text{ より}$$

$$I_2 = \frac{I_1 \times V_1}{1.11} = \frac{100 \times 200}{1.11} \cong 181.6$$

平成 12 年 (第 52 回)

問題 14. 無負荷時において 1 次電圧 200V で管電圧 150kV を発生する単相 2 ピーク形 X 線高電圧装置がある。この装置で管電流 200mA 通電したときの 1 次電流は約何 A か。ただし，励磁電流は無視する。

1. 106 **2. 118** 3. 150 4. 166 5. 212

$$(I_2 \times 1.11) \times \left(\frac{V_2}{1.41}\right) = I_1 \times V_1 \text{ より}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \times 1.11 \times V_2}{V_1}$$

$$I_1 = \frac{200 \times 10^{-3} \times 1.11 \times 150 \times 10^3}{200} = 118 \text{ [A]}$$

平成 11 年 (第 51 回)

問題 11 巻線比 $n_2/n_1 = 500$ の単相 2 ピーク X 線高電圧装置がある。一次電圧 150V のときの無負荷 X 線管電圧は約何 kV か。

1. 75 2. 83 3. 91 **4. 106** 5. 150

$$\frac{V_2}{V_1} = 500 \text{ より } \left(\frac{V_2}{1.41}\right) = 500$$

$$V_2 = 500 \times 150 \times 1.41 \cong 106 \text{ [kV]}$$

平成 10 年 (第 50 回)

問題 12. 1 次電圧 200V で管電圧 125kV を発生する単相全波整流装置がある (無負荷時)。管電流 500mA 通電したときの 1 次電流は約何 A か。

1. 111 2. 221 **3. 245** 4. 313 5. 347

$$I_1 = \frac{I_2 \times 1.11 \times V_2}{V_1}$$

$$I_1 = \frac{500 \times 10^{-3} \times 1.11 \times 125 \times 10^3}{200} \cong 246 \text{ [A]}$$

平成 8 年 (第 48 回)

問題 13. 巻線比 530 の単相全波整流高電圧装置で管電流 400mA 負荷時の 1 次電流は何 A か。ただし，励磁電流は無視する。

1. 212 **2. 235** 3. 1,325 4. 2,120 5. 2,350

$$\frac{I_1}{I_2} = 530$$

$$I_1 = 530 \times 400 \times 10^{-3} \times 1.11 \cong 235$$

問題 三相 6 ピーク形 (-Y・Y) 装置がある。1 脚あたりの巻線比 $n_2/n_1 = a = 136$ ，無負荷時整流出力電圧 (波高値) 100kV のときの一次電圧はいくらか。(教科書 P268)

$$V_1 = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{2} \times 2 \times \sqrt{3} \times 136} = 150 \text{ [V]}$$

問題 三相 12 ピーク形 (-Y・) 装置で一次電圧 152.5V，1 脚あたりの巻線比 300 とすれば，無負荷時整流出力電圧 (波高値) はいくらか。

$$V_2 = \sqrt{2} \times 1.932 \times 300 \times 152.5 = 125 \text{ [kV]}$$

整流方式	整流器	管電圧	脈動率	陽極入力	正負電圧波形
6 ピーク	-Y	$\sqrt{2} \times \sqrt{3} \times e \times a$	134	$P = 3 / \pi \times VA$	非対称
	-YY	$2 \times \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times e \times a$	134	$P = 3 / \pi \times VA$	対称
12 ピーク	-Y	$\sqrt{2} \times 1.932 \times e \times a$	34	$P \cong VA$	非対称
	-Y Y	$2 \times \sqrt{2} \times 1.932 \times e \times a$	34	$P \cong VA$	対称

コンデンサ式X線装置

平成13年(第53回)

問題 16 容量 $0.5\mu\text{F}$ のコンデンサ式 X 線装置において充電電圧 90kV で 15mAs 放電したときの波尾切断電圧は何 kV か。

1. 30 2. 45 **3. 60** 4. 75 5. 80

$$15 = 0.5 \times (90 - x) = 45 - 0.5x$$

$$0.5x = 30$$

$$x = 60$$

平成9年(第49回)

問題 11. コンデンサ式エックス線装置で 80kV , 10mAs の撮影を行った。撮影終了時に管電圧計が 70kV を示していた。この装置に用いられている高圧コンデンサの容量はどれか。

1. $0.5\mu\text{F}$ **2. $1.0\mu\text{F}$** 3. $1.5\mu\text{F}$ 4. $2.0\mu\text{F}$ 5. $2.5\mu\text{F}$

$$10 = x(80 - 70) = 10x$$

$$x = 1$$

問題 静電容量 $1\mu\text{F}$ のコンデンサ式 X 線装置について、充電電圧 100kV で 50mAs 放電した。放電時間はいくらか。ただし、放電開始時の管電流は 500mA 。X 線管は単純な抵抗とし、 $\log 2 = 0.7$ とする。
(教科書 P269)

$$t = CR \ln\left(\frac{V_0}{V}\right) = \left(\frac{100 \times 10^3}{0.5}\right) \times 1 \times 10^{-6} \times \ln\left(\frac{100}{50}\right) = 0.14 \text{ [sec]}$$

X線CT

問題 23 スライス厚 5mm, ガントリー1回転ごとのテーブル移動 10mm で撮像するヘリカルCTのピッチはどれか.

1. 0.2 2. 0.5 **3. 2** 4. 5 5. 20

$$HP = \frac{10mm}{5mm} = 2$$

問題 23 シングルスライスCTによりヘリカルピッチ 1.6 で撮影する場合, 撮影できる範囲は何 mm か. ただし, 公称スライス厚は 5mm, 管球が1回転するには0.5秒かかり, 撮影時間は20秒間とする.

1. 160 2. 220 3. 260 **4. 320** 5. 360

$$x = 1.6 \times 5 \times 40 = 320 [mm]$$

問題 26 エックス線 CT 装置において有効視野が 40cm で画素数が 512×512 のとき, CT 画像の1画素の一边の長さは約何 mm か.

1. 0.1 2. 0.3 **3. 0.8** 4. 1.3 5. 1.8

$$1 \text{ pixcell} = \frac{400mm}{512} = 0.78 \cong 0.8 [mm]$$

平成 14 年 (第 54 回)

問題 21 マトリックス数 1,000×1,000, 階調数 16 ビットの画像のデータ量は何メガバイトか.

1. 0.1 2. 0.2 3. 1 **4. 2** 5. 16

$$\frac{1000 \times 1000 \times 16}{8} = 2,000,000 = 2 [M \text{ byte}]$$

平成 20 年 (第 60 回)

問題 X線CT装置で中心値CTDIが10mGy, 周辺値CTDIが15mGy のとき, 重み付けCTDI[mGy]で正しいのはどれか.

1. 11.0 2. 11.7 3. 12.5 **4. 13.3** 5. 14.0

右ページの CTDI_w の式より

$$CTDI_w = \frac{1}{3} \times 10mGy + \frac{2}{3} \times 15mGy = 13.5mGy$$

平成 20 年 (第 60 回)

問題 CTDI_wの中心と辺縁部分の線量係数を問う問題が出題されました.

$$CTDI_w = \frac{1}{3} CTDI_{100} (Center) + \frac{2}{3} CTDI_{100} (Perioid)$$

CT線量指数(Computed Tomography Dose Index: CTDI)を求める式を2種類(CTDI₁₀₀とCTDI_w)説明せよ.

CTDI₁₀₀

$$CTDI_{100} = \frac{1}{NT} \int_{-50mm}^{+50mm} D(z) dz [mGy]$$

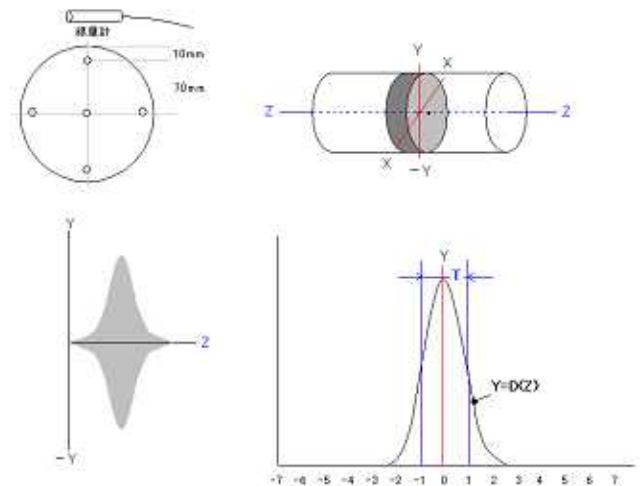
D(z):スライス面に対し垂直な線に沿って100mm範囲の線量プロファイル

N:単一スキャンで得られる断層数

T:公称スライス厚

CTDI_w

$$CTDI_w = \frac{1}{3} CTDI_{100} (Center) + \frac{2}{3} CTDI_{100} (Perioid)$$



MRI

【例題】 ^1H の磁気回転比 $\gamma = 42.6[\text{MHz/T}]$ とすると、磁場の強さ B_0 が $0.5[\text{T}]$, $1.0[\text{T}]$, $1.5[\text{T}]$ のときの共鳴周波数はそれぞれいくらか。

$$\omega = \gamma \cdot B_0 \quad 2\pi \cdot f = \gamma \cdot B_0 \quad f = \frac{\gamma \cdot B_0}{2\pi}$$

$$\gamma \cdot B_0 = 42.6 [\text{MHz/T}] \times 0.5 [\text{T}] = 21.3 [\text{MHz}]$$

$$\gamma \cdot B_0 = 42.6 [\text{MHz/T}] \times 1.0 [\text{T}] = 42.6 [\text{MHz}]$$

$$\gamma \cdot B_0 = 42.6 [\text{MHz/T}] \times 1.5 [\text{T}] = 63.9 [\text{MHz}]$$

【例題】MRIでの撮像時間を求めよ。
撮像時間(T)を求める式。

$$T = TR \times \text{mat} \times NEX$$

TR : 繰り返し時間

mat : 位相方向のマトリクス数

NEX : 信号加算回数

重要

加算回数をN回加算すれば、撮像時間はN倍長くなるが、信号強度は \sqrt{N} 倍となる。

$$SNR = \text{Boxcell} \times \sqrt{\frac{NEX}{BW}}$$

NEX: 加算回数 BW: バンド幅

バンド幅が変わっても信号量は変わらないが、白色雑音が変わる。

超音波診断装置

【例題】腹部超音波診断装置(3.5MHz)の生体軟部組織の平均音速 1530m/s とすると、このときの超音波の波長を求めよ。

$$1530 \times 10^3 / 3.5 \times 10^6 \cong 0.437 [\text{mm}]$$

【例題】 1530m/s の音波が発信から受信まで $100\mu\text{s}$ 要した。媒質臓器までの距離を求めよ。

$$1.530 = \frac{2L}{100 \times 10^{-6}} \text{ より}$$

$$L = \frac{1.530 \times 100 \times 10^{-6}}{2} = 0.0765[\text{m}] \cong 7.7[\text{cm}]$$

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad c = f \cdot \lambda$$

【例題】 $c_1 = 1500[\text{m/s}]$, $c_2 = 870[\text{m/s}]$ のとき $\theta_1 = 60^\circ$ で入射した音波の屈折角 θ_2 を求めよ。

$$\sin \theta_2 = \left(\frac{c_2}{c_1} \times \sin 60^\circ \right) = \left(\frac{870}{1500} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cong \frac{1}{2} \quad \theta_2 = 30^\circ$$

【例題】 530m/s の音波が発信から受信まで $100\mu\text{s}$ 要した。媒質臓器までの距離を求めよ。

$$1.530 = \frac{2L}{100 \times 10^{-6}} \text{ より}$$

$$L = \frac{1.530 \times 100 \times 10^{-6}}{2} = 0.0765[\text{m}] \cong 7.7[\text{cm}]$$

【例題】周波数 $f = 3.5\text{MHz}$ (波長 $\lambda \cong 0.43\text{mm}$)、Qファクタが5、人体内の音速が 1500m/s のときの距離分解能を求めよ。

解答 ($\times 1\text{mm}$)

$$\Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

x: 距離分解能 λ : 波長 n: パルス幅

n: 波数(Qファクタ:1回の超音波ビームに含まれるパルス数で通常は4~5)

を2で割る意味は「サンプリング定理」による。

周波数が高く、波数が少ないほど向上する。

【例題】入射角が 60° で送信された超音波の周波数が $F_0 = 5[\text{MHz}]$ で、検出されたドプラシフト周波数が $F_d = 1[\text{kHz}]$ であった。生体の音速を $c = 1500[\text{m/s}]$ として、このときの血流速度を求めよ。

$$v = \frac{c}{2 \times \cos \theta} \times \frac{F_d}{F_0} = \frac{1500[\text{m/s}]}{2 \times \cos 60^\circ} \times \frac{1[\text{kHz}]}{5[\text{MHz}]} = \frac{1.5 \times 10^3[\text{m/s}]}{2 \times 0.5} \times \frac{1 \times 10^3[\text{Hz}]}{5 \times 10^6[\text{Hz}]}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^6[\text{m/s}]}{5 \times 10^6} = 0.3[\text{m/s}] = 30[\text{cm/s}]$$

流速 $v = 30 [\text{cm/s}]$