

# 電子工学 中間到達度試験 対策分析まとめ

提供された資料（試験範囲、2024年過去問、2023年過去問）を詳細に分析しました。この試験は、「電子放出（熱・光・二次・電界）」と「真空中での電子の運動」の2大テーマで構成されています。過去問の傾向が極めて明確であり、毎年似た形式で出題されています。以下に、得点源となる重要なポイントと解法の定石を解説します。

## 1 エネルギー準位とバンド理論（基礎知識）

【出題箇所】2024問1・問2、2023問2

【ポイント一覧】①～⑤

まず、言葉の定義と図の関係を暗記してください。

- **孤立原子 vs 金属:** 原子が集合して金属になると、電子の軌道が重なり「バンド（帯）」を形成します。
  - **充满帯 (Filled Band):** 電子が詰まっているバンド。
  - **禁制帯 (Forbidden Band):** 電子が存在できないエネルギー領域（バンドギャップ）。
  - **伝導帯 (Conduction Band):** 電子が自由に動けるバンド。
- **フェルミ準位 ( $E_F$ ):** 絶対零度 (0K) で電子が詰まっている最大のエネルギー準位。
- **仕事関数 ( $\phi$ ):** 電子を固体表面から真空中に取り出すのに必要な最小エネルギー。
  - 数式定義： $\phi = W - E_F$  (真空準位  $W$  とフェルミ準位の差)
  - **重要:**  $\phi$  は「表面の障壁」の高さです。

## 2 熱電子放出（計算問題の最重要）

【出題箇所】2024問3、2023問3

【ポイント一覧】⑧～⑩

ダッシュマン・リチャードソンの式を使って計算させられます。

$$J = AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \quad (1)$$

- $J$ : 電流密度 [ $\text{A}/\text{m}^2$ ]
- $A$ : リチャードソン定数（問題文で与えられます）
- $T$ : 温度 [K]

- $k$ : ボルツマン定数
- $\phi$ : 仕事関数 [V] または [eV] (※指数の計算時は単位に注意)

## 【解法の定石】

- (1) 電流  $I$  と電流密度  $J$  の関係:

$$I = J \times S$$

ここで  $S$  は表面積です。円柱状の電線（タンクスチレン線など）の場合、半径  $r$ 、長さ  $L$  とすると表面積は  $S = 2\pi rL$  です。

- (2) 式の変形:

- 2024 年は  $\phi$  を求める問題なので、対数をとって変形します。
- 2023 年は  $r$  を求める問題なので、 $I = (AT^2 \exp(\dots)) \times 2\pi rL$  から  $r$  について解きます。

## 3 光電子放出（光電効果）

【出題箇所】2024 問 4、2023 問 4

【ポイント一覧】⑪～⑬

AINSHUTAIN の光電効果の式が全てです。

$$h\nu = \phi + \frac{1}{2}mv_m^2 \quad (2)$$

- $h\nu$ : 入射光のエネルギー ( $h$ : プランク定数、 $\nu$ : 振動数)
- $\phi$ : 仕事関数 (脱出に必要なエネルギー)
- $\frac{1}{2}mv_m^2$ : 飛び出した電子の最大運動エネルギー

## 【よく使う変換】

- 振動数と波長の関係:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ( $c$ : 光速)
- 限界波長  $\lambda_0$ : 電子がギリギリ飛び出す (運動エネルギー 0) 条件なので、 $h\frac{c}{\lambda_0} = \phi$  となります。
- 単位の罠: 仕事関数  $\phi$  は [eV] で与えられますが、計算式ではジュール [J] に直す必要があります。

$$1 \text{ [eV]} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

## 4 二次電子放出と光電子増倍管 (PMT)

【出題箇所】2024 問 5・問 6、2023 問 5

【ポイント一覧】⑭～⑯

ここも毎年必ず計算が出ます。パターンは決まっています。

## 【光電子増倍管の出力電流 $I$ の求め方】

プロセスは「光が入る → 光電子が出る → 二次電子で增幅される」です。

- (1) 初段の電流（光電流）：

$$\text{光電流} = \text{入射光パワー } P [\text{W}] \times \text{光電感度 } \eta [\text{A/W}]$$

※ 2024 年問 6、2023 年問 5(2) では、 $\eta$  の単位 [mA/W] に注意。

- (2) 増幅（ダイノード）：1 段あたりの二次電子放出比を  $\delta$ 、段数を  $n$  とすると、增幅率（ゲイン）

は  $\delta^n$  です。

- (3) 最終出力電流  $I$ :

$$I = (P \times \eta) \times \delta^n \quad (3)$$

## 【記述対策】

- ・ **スーパーカミオカンデ**: 「ニュートリノ観測装置。チエレンコフ光を光電子増倍管で検出し、電気信号に変える」という概要を押さえる（2023 問 5(3)）。

## 5 電界放出・ショットキー効果・ポアソン方程式

【出題箇所】2024 問 7・問 8、2023 問 1・問 6

【ポイント一覧】⑯～⑲

### ショットキー効果（2024 問 7）

- ・ 強い電界をかけると、鏡像力（イメージ力）と外部電界の合成により、金属表面の電位障壁が下がる現象。
- ・ これにより熱電子が放出しやすくなります。
- ・ 図の説明：点線が元の障壁、実線が合成後の障壁（頂点が低くなっている）を示します。

### 電位と電界の計算（2024 問 8、2023 問 6）

- ・ **関係式**：電界  $E = -\nabla V$ （電位の傾きのマイナス）。

- ・ **手順**：

- (1) ポアソン方程式 ( $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$ ) を立てる。

- (2) 積分して電界、さらに積分して電位を求める（境界条件で積分定数を決定）。

- (3) あるいは、電位の式  $V$  が与えられている場合（2023 問 6）、単に  $x$  で偏微分してマイナスをつければ  $E_x$  になります。

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$$

## 直前対策まとめ

これらの方針で学習すれば、60分以内に十分完答可能です。計算ミス（特に指数の桁）にだけ注意してください。

(1) **単位換算を徹底する:**

- エネルギー: eV → J ( $\times 1.6 \times 10^{-19}$ )
- 長さ: nm → m ( $\times 10^{-9}$ )、cm → m ( $\times 10^{-2}$ )
- 電流: mA → A ( $\times 10^{-3}$ )

(2) **必須公式 3 選:**

- 热電子放出:  $J = AT^2 e^{-e\phi/kT}$
- 光電効果:  $h\frac{c}{\lambda} = \phi + K_{\max}$
- PMT 増幅:  $I_{\text{out}} = P \cdot \eta \cdot \delta^n$

(3) **「鏡像法」の力:**

- 金属表面から距離  $x$  にある電子が受ける力  $F = \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 x^2}$  (2023 問 1) も式変形できるようにしておいてください。