

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。
 - **充満帯 (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 (0 K) で電子が詰まっている最大のエネルギー準位。
- **仕事関数 (ϕ)**: 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**: ϕ 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 [A/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
- ϕ : 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（タングステン線など）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 ϕ 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

アインシュタイン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、 ν : 振動数)
- ϕ : 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 λ_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。
- 単位の罫: 仕事関数 ϕ 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】⑭～⑰

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 → 二次電子で増幅される」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、 η の単位 $[\text{mA/W}]$ 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 δ 、段数を n とすると、増幅率（ゲイン）は δ^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。チェ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】⑱～㉑

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: $\text{eV} \rightarrow \text{J} (\times 1.6 \times 10^{-19})$
- 長さ: $\text{nm} \rightarrow \text{m} (\times 10^{-9})$ 、 $\text{cm} \rightarrow \text{m} (\times 10^{-2})$
- 電流: $\text{mA} \rightarrow \text{A} (\times 10^{-3})$

(2) 必須公式 3 選:

- 熱電子放出: $J = AT^2 e^{-e\phi/kT}$
- 光電効果: $h\frac{c}{\lambda} = \phi + K_{\text{max}}$
- 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。