

第53回 労働安全コンサルタント試験
(機 械 安 全)

071021

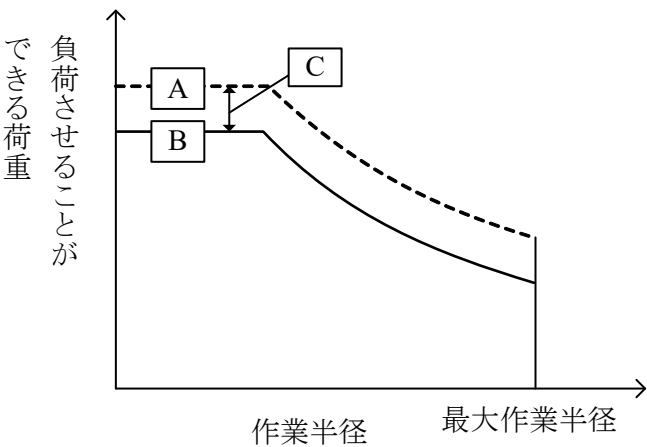
機械安全

1 / 6

注：試験問題は、全部で4問です。問1又は問2から1問、問3又は問4から1問、合計2問を選択して解答用紙に解答を記入してください。また、問3及び問4の解答は、計算過程も記入してください。

問 1 クレーン等に起因する労働災害を防ぐためには、クレーン等に関する用語や装置等について正しく理解しておくとともに、発生する可能性のある労働災害を想定して、対策を講じることが必要である。クレーン等に係る用語や労働災害について、以下の設問に答えよ。

なお、図はジブ式の移動式クレーンにおける作業半径に対する定格総荷重又は定格荷重の一例を示している。また、労働災害の事故の型による分類とその説明は表のとおりである。



図

表 事故の型分類表（一部抜粋）

分類項目	説 明
墜落、転落	人が樹木、建築物、足場、機械、乗物、はしご、階段、斜面等から落ちることをいう。 乗っていた場所がくずれ、動揺して墜落した場合、砂ビン等による蟻地獄の場合を含む。 車両系機械などとともに転落した場合を含む。交通事故は除く。感電して墜落した場合には感電に分類する。
転倒	人がほぼ同一平面上でころぶ場合をいい、つまずきまたはすべりにより倒れた場合等をいう。 車両系機械などとともに転倒した場合を含む。交通事故は除く。感電して倒れた場合には感電に分類する。
激突	墜落、転落及び転倒を除き、人が主体となって静止物または動いている物にあたった場合をいい、つり荷、機械の部分に人からぶつかった場合、飛び降りた場合等をいう。 車両系機械などとともに激突した場合を含む。交通事故は除く。
飛来、落下	飛んでくる物、落ちてくる物等が主体となって人にあたった場合をいう。 研削といしの破片、切断片、切削粉等の飛来、その他自分が持っていた物を足の上に落とした場合を含む。容器等の破裂によるものは破裂に分類する。
崩壊、倒壊	堆積した物（はい等も含む）、足場、建築物等がくずれ落ちまたは倒壊して人にあたった場合をいう。 立てかけてあった物が倒れた場合、落盤、なだれ、地すべり等の場合を含む。
激突され	飛来、落下、崩壊、倒壊を除き、物が主体となって人にあたった場合をいう。 つり荷、動いている機械の部分などがあたった場合を含む。交通事故は除く。
はさまれ、巻き込まれ	物にはさまれる状態および巻き込まれる状態でつぶされ、ねじられる等をいう。プレス of 金型、鍛造機のハンマ等による挫滅創等はここに分類する。 ひかれて巻き込まれる場合を含む。交通事故は除く。
切れ、こすれ	こすられる場合、こすられる状態で切られた場合等をいう。 刃物による切れ、工具取扱中の物体による切れ、こすれ等を含む。

（出典：労働災害分類の手引き（中央労働災害防止協会））

- (1) 図に示す線 A 及び線 B は、定格総荷重又は定格荷重のそれぞれどちらを表しているか答えよ。
- (2) 線 A 及び線 B の間にある荷重の差 C は、何によって生じているか答えよ。
- (3) 天井クレーンにおける走行及び横行について、どのような動作をいうか、それぞれ 30 字程度で説明せよ。
- (4) クレーンや移動式クレーンに設ける巻過防止装置により、どのような労働災害を防ぐことができるか、例を一つ挙げて 50 字程度で説明せよ。また、その労働災害の事故の型を表の分類項目から一つ選べ。
- (5) クレーンや移動式クレーンに設ける過負荷防止装置により、どのような労働災害を防ぐことができるか、例を二つ挙げてそれぞれ 50 字程度で説明せよ。また、それぞれの労働災害の事故の型を表の分類項目から一つ選べ。
- (6) 移動式クレーンに設けるアウトリガの主な役割を 50 字程度で説明せよ。また、アウトリガフロートの下部に敷板を使用する目的を 50 字程度で説明せよ。

問 2 産業現場では様々な自動制御の機械が用いられている。自動制御の機械は、プログラムに基づいて動作を繰り返すことができ省力化などの利点も少なくないが、異常動作をすることがあるなど安全上留意すべきことがある。機械の自動制御に関して、以下の設問に答えよ。

(1) フィードフォワード制御とはどのような制御か、ロボットアームで荷を運搬する際の速度制御を行うことを例に、100 字程度で説明せよ。

(2) フィードフォワード制御を用いる場合に留意すべき点を 100 字程度で説明せよ。

(3) フィードバック制御とはどのような制御か、ロボットアームで荷を運搬する際の速度制御を行うことを例に、100 字程度で説明せよ。

(4) フィードバック制御を用いる場合に留意すべき点を 100 字程度で説明せよ。

(5) 図のブロック線図で示される制御系がある。次の問に答えよ。

- ① この制御系は、フィードフォワード制御又はフィードバック制御のどちらに該当するか答えよ。
- ② この制御系の入力を U 、出力を Y 、各要素の伝達関数を G_1 及び G_2 としたとき、この制御系の伝達関数を G_1 及び G_2 を用いて表せ。導き出す過程も示すこと。

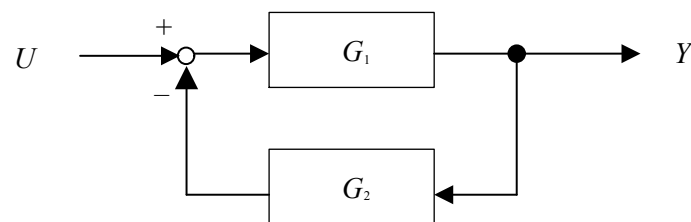


図 ブロック線図

問 3 プラントには多くの配管が張り巡らされており、その中を熱流体が流れている場合では配管は常温のときと比べて膨張し熱応力を受けた状態となっている。配管の固定方法等を誤ると熱応力の影響による破損等を生じる可能性がある。長さ 5.0 m、外径 250 mm、肉厚 10 mm の鋼管に生じる熱応力について、以下の設問に答えよ。

ただし、鋼の線膨張係数は温度にかかわらず $\alpha = 1.20 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 、ヤング率は $E = 210 \text{ GPa}$ とし、問題文中に常温と記述されている場合は $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ で計算すること。また、鋼管には内部に流体が流れるものとし、内圧及び周方向の変形は考えず、鋼管と流体の温度は等しく一様であると仮定する。

(1) 特に固定することなく、この鋼管を常温から $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ まで加熱したときの鋼管に生じる熱ひずみ ε_{T1} と鋼管の伸び $\Delta l [\text{mm}]$ を求めよ。

(2) この鋼管を常温で両端固定の状態にして、その中に $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の流体を流した。次の問に答えよ。

- ① 鋼管に生じる熱ひずみ ε_{T2} を求めよ。
- ② 両端固定であることを考慮し、弾性ひずみ ε_{E2} と熱ひずみ ε_{T2} の関係式を求めよ。
- ③ 鋼管の伸び $\Delta l [\text{mm}]$ を求めよ。
- ④ フックの法則を利用して鋼管に生じる熱応力 $\sigma_2 [\text{MPa}]$ を求めよ。

(3) この鋼管を繋ぎ合わせた配管を作成し常温で両端を固定した。内部流体の温度が $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の場合、座屈荷重に対する安全率を考慮して繋ぐことのできる鋼管の本数を求めたい。次の問に答えよ。

ただし、外径 d 、肉厚 t の鋼管の断面 2 次モーメント I 、及び両端固定における長さ L の鋼管の座屈荷重 P_{cr} は以下の式で与えられる。なお、円周率 (π) は 3.14 とし、また、鋼管及び流体の質量により生じる曲げと鋼管間の繋ぎ代は考慮しなくてよい。

$$I = \frac{\pi (d^4 - (d - 2t)^4)}{64} \quad P_{cr} = - \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

- ① 鋼管の断面積 $A [\text{mm}^2]$ を求めよ。
- ② 鋼管の断面 2 次モーメント $I [\text{mm}^4]$ を求めよ。
- ③ 鋼管に生じる熱ひずみ ε_{T3} を求めよ。
- ④ 鋼管に生じる熱応力 σ_3 を E と ε_{T3} を用いて式で表せ。
- ⑤ 座屈荷重に対しての安全率を 2 とするとき、繋ぐことのできる鋼管の最大の本数を求めよ。
- ⑥ 上式を使って座屈荷重を求めるためには、十分に細長い鋼管であることが必要である。⑤で求めた最大の本数を繋いだ配管が直径に対して十分な長さを有しているか細長比 λ を用いて確認せよ。

なお、細長比 λ は、管の長さ L 、断面積 A 及び断面 2 次モーメント I を用いて以下の式で求められ、100 を超える場合は十分に細長いといえる。

$$\lambda = L \times \sqrt{\frac{A}{I}}$$

問 4 機械等に電気・電子・プログラマブル制御の機能を付加することにより、当該機械等によるリスクを低減するための措置を「機能安全」という。これについて、以下の設問に答えよ。

(1) SRP/CS とは、制御システムの安全関連部であり、安全関連信号に応答し、安全関連出力信号を生成する制御システムの部分をいう。例えば、「I（入力装置）」、「L（論理）」、「O（出力装置）」の3つの部品などである。図は、安全スイッチ、汎用コントローラ及び電磁接触器から構成されるカテゴリ 1 の SRP/CS の指定アーキテクチャである。この SRP/CS を構成する部品の動作は以下のとおりである。

- a) アクチュエータを安全スイッチに差し込むことにより、内部接点を閉じる。
- b) 汎用コントローラが安全スイッチの動作を検知する。
- c) 安全スイッチからの信号を汎用コントローラを介して電磁接触器に送り、コイルの電源を励磁させることにより、主接点が閉じて、機械の運転を開始する。

これらの部品で構成された SRP/CS について、次の問に答えよ。

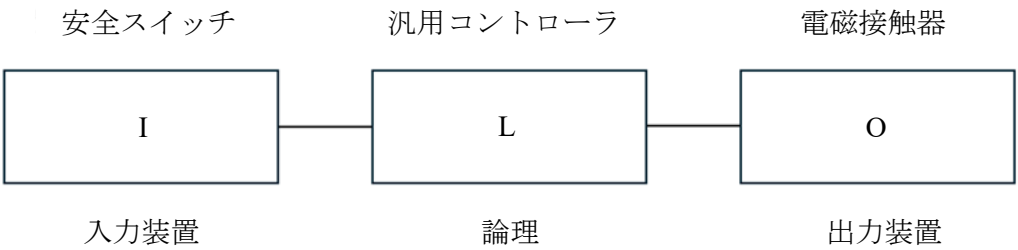


図 カテゴリ 1 の指定アーキテクチャ

- ① MTTF_D とは、部品やシステムが危険側故障（安全性を失うような故障）を生じるまでの平均時間の期待値である。安全スイッチの MTTF_D は 40 年、電磁接触器の MTTF_D は 50 年、汎用コントローラの MTTF_D は考慮しなくてよいという条件としたとき、この SRP/CS の MTTF_D [年] を求めよ。
- ② PFH_D とは、部品やシステムの単位時間当たりの危険側故障の平均頻度である。①の場合において、1 年を 365 日、1 日を 24 時間として、i) 安全スイッチの PFH_D [回/時間]、ii) 電磁接触器の PFH_D [回/時間]、iii) この SRP/CS の PFH_D [回/時間] を求めよ。
- ③ PL（パフォーマンスレベル）とは、予見可能な条件下で、安全機能を実行するための制御システムの安全関連部の能力を規定するために用いられる区分レベルである。①の場合において、表からこの SRP/CS の PL を答えよ。

表 PL と PFH_D の関係

PL	PFH _D
a	$10^{-5} \leq \text{PFH}_D < 10^{-4}$
b	$3 \times 10^{-6} \leq \text{PFH}_D < 10^{-5}$
c	$10^{-6} \leq \text{PFH}_D < 3 \times 10^{-6}$
d	$10^{-7} \leq \text{PFH}_D < 10^{-6}$
e	$10^{-8} \leq \text{PFH}_D < 10^{-7}$

(2) NC 旋盤に使用される非常停止装置について、次の問に答えよ。

- ① n_{op} とは、1 年当たりの平均操作回数である。非常停止装置が 1 か月に 5 回動作するとき、この非常停止装置の n_{op} [サイクル/年] を求めよ。
- ② B_{10D} とは、部品又はシステムの 10 %が危険側故障を起こすまでの平均サイクルである。①の非常停止装置の B_{10D} が 100,000 回の場合の $MTTF_D$ [年] を求めよ。
- ③ T_{10D} とは、部品の 10 %が危険側故障を起こすまでの平均時間である。②の $MTTF_D$ の値を用いて、①の非常停止装置の T_{10D} [年] を求めよ。
- ④ DC とは、安全関連部の危険側故障検出の有効性を表すパラメータである。検出される危険側故障率を 95 %、全危険側故障の故障率を 100 %とした場合の DC [%] を求めよ。