

# 1 設計・計画／問題1 基礎科目／技術士第一次試験

## (1) 設計・計画

### ◇ システム設計

1技術士 1基礎 H30-1-1 H28-1-1 H27-1-1 H26-1-4 H24-1-1

#### システムの信頼度

下図に示される左端から右端に情報を伝達するシステムの設計を考える。図中の数値及び記号  $X$  ( $X > 0$ ) は、構成する各要素の信頼度を示す。また、要素が並列につながっている部分は、少なくともどちらか一方が正常であれば、その部分は正常に作動する。ここで、図中のように、同じ信頼度  $X$  を持つ要素を配置することによって、システム A 全体の信頼度とシステム B 全体の信頼度が同等であるという。

このとき、図中のシステム A 全体の信頼度及びシステム B 全体の信頼度を求める。

#### H30-1-1 の問題

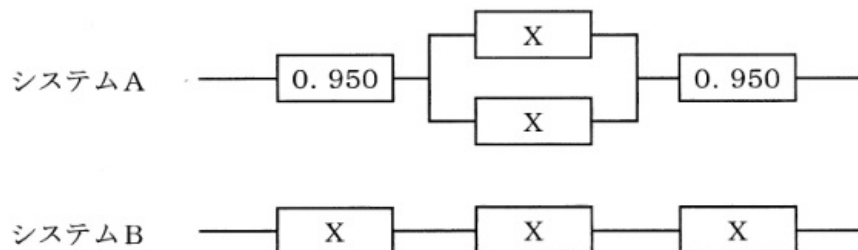


図 システム構成図と各要素の信頼度

解答：

信頼度を求め方は、直列は信頼度の積、並列は  $1 - \{ (1 - \text{信頼度}) \text{の積} \}$ 。

信頼度  $X$  と  $Y$  が直列につながっているときの信頼度は、 $X \times Y = XY$

信頼度 2 つが並列につながったときの信頼度は、 $1 - (1 - X)(1 - Y)$

システム A の全体の信頼度は、 $0.950^2 \times \{1 - (1 - X)^2\} = 0.950^2(2X - X^2)$

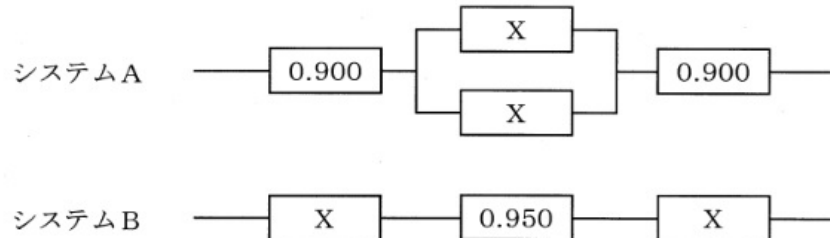
システム B の全体の信頼度は、 $X^3$

$$\therefore 0.950^2(2X - X^2) = X^3 \rightarrow X^2 = 0.950^2X - 0.950^2 \times 2$$

二次方程式を解いて、 $X > 0$  から、 $X = 0.966$

システム全体の信頼度は、 $X^3 = 0.901$  である。

H28-1-1 の問題



解答：

H30-1-1と同様の問題であるが、信頼度の並びと数値が異なる。

システムAの全体の信頼度は、 $0.900^2 \times \{1 - (1 - X)^2\} = 0.900^2(2X - X^2)$

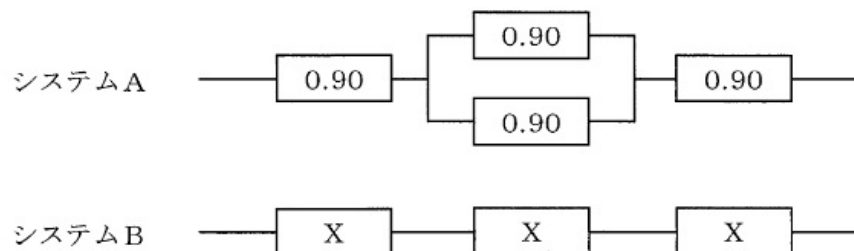
システムBの全体の信頼度は、 $0.950 \times X^2$

$$\therefore 0.900^2(2X - X^2) = 0.950 \times X^2$$

$$X = \frac{0.900^2 \times 2}{0.950 - 0.900^2} = 0.920$$

よって、システム全体の信頼度は、 $0.950 \times X^2 = 0.950 \times 0.920^2 = 0.804$

H26-1-4 の問題



解答：

H30-1-1、H28-1-1と同様の問題である。ただし、信頼度要素の位置、数が異なる。

システムAの全体の信頼度は、 $0.90^2 \times \{1 - (1 - 0.9)^2\} = 0.802$

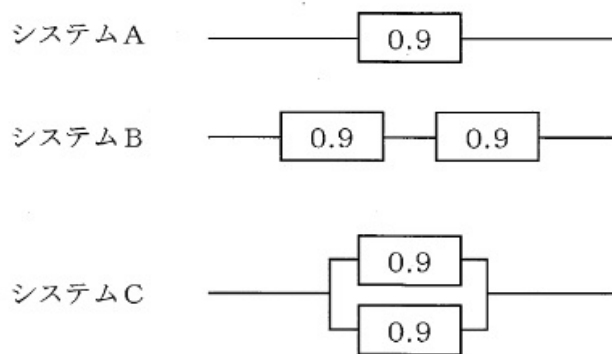
システムBの全体の信頼度は、 $x^3$

$$\therefore 0.802 = x^3 \rightarrow x = \sqrt[3]{0.802} = 0.929 \cong 0.93$$

よって、システム全体の信頼度は、0.93 となる。

H27-1-1 の問題

下図に示される左端から右端に電流を流す回路システム A、B、C を考える。  
システム A は信頼度 0.9 の単独回路からなり、B は信頼度 0.9 の回路 2 つが直列につながったもの、C は信頼度 0.9 の回路 2 つが並列につながったものである。  
各回路の故障が独立事象であるとき、システム A、B、C の電流が流せる信頼度の大小関係を求める。



解答：

信頼度を求め方は、直列は信頼度の積、並列は  $1 - \{ (1 - \text{信頼度}) \text{の積} \}$ 。  
システムごとの合成した信頼度は次のようになる。

システムA 0.9

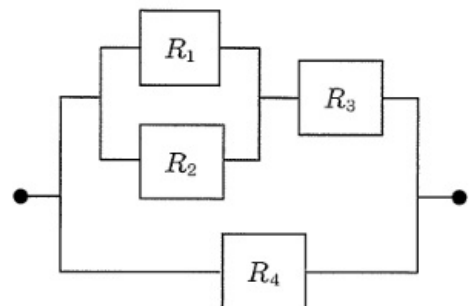
システムB  $0.9 \times 0.9 = 0.81$

システムC  $1 - (1 - 0.9) \times (1 - 0.9) = 0.99$

したがって、システムの信頼度の大小関係は、 $B < A < C$  となる。

H24-1-1 の問題

下図のような系において、各構成要素の信頼度が、 $R_1=0.9$ 、 $R_2=0.8$ 、 $R_3=0.5$ 、 $R_4=0.7$ のとき、この系の信頼度を求める。



解答：

信頼度を求め方は、直列は信頼度の積、並列は  $1 - \{ (1 - \text{信頼度}) \text{の積} \}$ 。

$R_1$ と $R_2$ を合成した信頼度 $R'$

$$R' = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = 1 - 0.1 \times 0.2 = 0.98$$

$R'$ と $R_3$ を合成した信頼度 $R''$

$$R'' = R'R_3 = 0.98 \times 0.5 = 0.49$$

$$R''とR_4を合成した信頼度 = 1 - (1 - R'')(1 - R_4) = 1 - 0.51 \times 0.3 = 0.847$$

1技術士 1基礎    H30-1-2    H28-1-4    H25-1-4    H23-1-3

アローダイアグラム

H30-1-2 の問題

設計開発プロジェクトのアローダイアグラムが下図のように作成された。ただし、図中の矢印のうち、実線は要素作業を表し、実線に添えた p や a1 など要素作業名を意味し、同じく数値はその要素作業の作業日数を表す。

また、破線はダミー作業を表し、○内の数字は状態番号を意味する。

このとき、設計開発プロジェクトの遂行において、工期を遅れさせないために、特に重点的に進捗状況管理を行うべき要素作業群を求める。

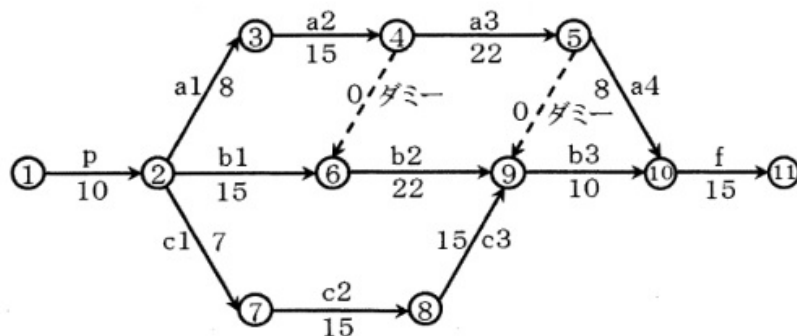


図 アローダイアグラム (arrow diagram : 矢線図)

解答：

このプロジェクトで、最も時間がかかっている作業順序は、次の2通りである。

$$\textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2} \rightarrow \textcircled{3} \rightarrow \textcircled{4} \rightarrow \textcircled{6} \rightarrow \textcircled{9} \rightarrow \textcircled{10} \rightarrow \textcircled{11} = 10 + 8 + 15 + 0 + 22 + 10 + 15 = 80 \text{日}$$

要素作業名 (p、a1、a2、b2、b3、f)

$$\textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2} \rightarrow \textcircled{3} \rightarrow \textcircled{4} \rightarrow \textcircled{5} \rightarrow \textcircled{9} \rightarrow \textcircled{10} \rightarrow \textcircled{11} = 10 + 8 + 15 + 22 + 0 + 10 + 15 = 80 \text{日}$$

要素作業名 (p、a1、a2、a3、b3、f)

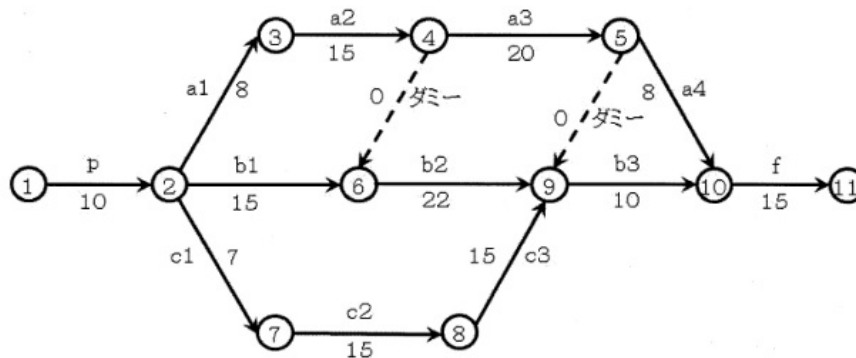
この2通りの作業順序について、重点的な進捗状況管理を行う必要がある。  
重点的な要素作業群は、(p、a1、a2、a3、b2、b3、f) である。

**H28-1-4 の問題**

設計開発プロジェクトの作業リストが下表のように示され、この表からアローダイアグラムが下図のように作成された。ただし、図中の矢印のうち、実線は要素作業を表し、破線はダミー作業を意味する。さらに要素作業 a2、a3、b1、b3 及び c1 は、作業リスト中の追加費用をかけることで1日短縮できることがわかった。設計開発プロジェクトの最早完了日数を1日短縮するのに最も安価な方法を選択したい。このとき、作業日数を1日短縮すべき要素作業を求める。

作業リスト

| 要素作業 | 先行作業       | 作業日数 | 追加費用(万円) |
|------|------------|------|----------|
| p    | —          | 10   |          |
| a1   | p          | 8    |          |
| a2   | a1         | 15   | 18       |
| a3   | a2         | 20   | 10       |
| a4   | a3         | 8    |          |
| b1   | p          | 15   | 5        |
| b2   | a2, b1     | 22   |          |
| b3   | a3, b2, c3 | 10   | 15       |
| c1   | p          | 7    | 6        |
| c2   | c1         | 15   |          |
| c3   | c2         | 15   |          |
| f    | a4, b3     | 15   |          |



アローダイアグラム (arrow diagram : 矢線図)

解答 :

このプロジェクトで、最も時間がかかっている作業順序は、

$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 = 10 + 8 + 15 + 22 + 10 + 15 = 80$  日 である。

a2 工程は、全体工期短縮につながり、18万円必要である。

a3 工程は、b2工程の方が長いため、全体工程短縮に寄与しない。

b1 工程は、短縮しても  $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$  工程が短縮できないから全体工程短縮とはならない。

b3工程は、全体工期短縮につながり、15万円必要である。

c1工程は、 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9$  工程の方が長いから全体工程短縮とはならない。

以上から、全体工程短縮に対し a2 工程か、b3 工程を短縮すれば、79日で終了できる。

この2つの工程のうち追加費用が安いのは、b3工程である。

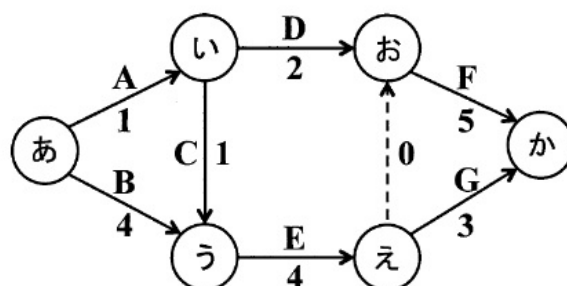
#### H25-1-4 の問題

設計開発プロジェクトの作業リストが下表のように示されている。下図は、この表から作成したアローダイアグラムである。表に示されているように、各作業(A から G)は、終了されていなければならぬ先行作業のあるものがある。また、追加費用を投じることによって、作業日数を1日短縮することができる作業もある。このプロジェクトの最早完了日数を1日短縮する最も安価な方法を選択したい。

その場合の追加費用を支払い、作業日数を1日短縮すべき作業を求める。

#### 作業リストと作業日数を1日短縮するために必要な費用

| 作業名 | 作業日数 | 先行作業 | 追加費用(万円) |
|-----|------|------|----------|
| A   | 1    | —    | —        |
| B   | 4    | —    | 45       |
| C   | 1    | A    | —        |
| D   | 2    | A    | 15       |
| E   | 4    | B, C | 50       |
| F   | 5    | D, E | 40       |
| G   | 3    | E    | 30       |



アローダイアグラム

解答：

このプロジェクトで、最も時間がかかっている作業順序は、

**あ → う → え → お → か** の順に進めて13日である。

これを1日短縮するためには、B、E、F工程のどれかを短縮すればよい。

D工程、G工程は、同時に進む工程より日数が短いため、工期短縮には寄与しない。

**B 45万円， E 50万円， F 40万円** であるから、

作業 **F** が、最も安価に工程を1日短縮できる。

1技術士 1基礎    **H30-1-4**    **H28-1-5**    **H24-1-5**    H20-1-4

線形計画法

**H30-1-4 の問題**

ある工場で原料 A、B を用いて、製品1、2を生産し販売している。製品1、2は共通の製造ラインで生産されており、2つを同時に生産することはできない。下表に示すように製品1を 1kg 生産するために原料 A、B はそれぞれ 2kg、1kg 必要で、製品2を 1kg 生産するためには原料 A、B をそれぞれ 1kg、3kg 必要とする。また、製品1、2を 1kg ずつ生産するために、生産ラインを1時間ずつ稼働させる必要がある。原料 A、B の使用量、及び、生産ラインの稼働時間については、1日当たりの上限があり、それぞれ 12kg、15kg、7時間である。製品1、2の販売から得られる利益が、それぞれ 300万円/kg、200万円/kg のとき、全体の利益が最大となるように製品1、2の生産量を決定したい。1日当たりの最大の利益として、最も適切な値を求める。

表 製品の製造における原料の制約と生産ラインの稼働時間及び販売利益

|             | 製品1 | 製品2 | 使用上限 |
|-------------|-----|-----|------|
| 原料A[kg]     | 2   | 1   | 12   |
| 原料B[kg]     | 1   | 3   | 15   |
| ライン稼働時間[時間] | 1   | 1   | 7    |
| 利益[万円/kg]   | 300 | 200 |      |

解答：

線型計画法の問題である。

製品1、製品2の生産数をそれぞれ  $x$  ,  $y$  とすると、原料A、Bの使用条件から、

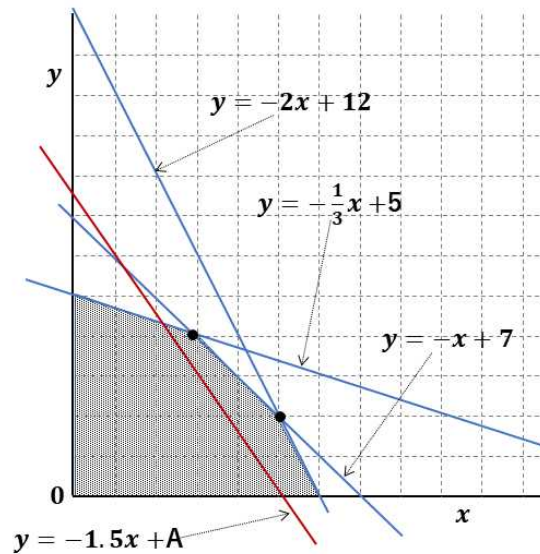
$$2x + y \leq 12 \quad x + 3y \leq 15 \quad \text{となる。}$$

ライン稼働時間仕様上限から、  $x + y \leq 7$  となる。

利益の目的関数は、  $300x + 200y$  となり、これを最大とする  $x$  ,  $y$  を求める。

条件式は下図のようになり、

条件式の不等式を同時に満足する  $x$  ,  $y$  は斜線の面積内にある。



この面積内を目的関数  $y = -1.5x + A$  が移動したとき、 $A$ を最大とするところは、

$$x + y \leq 7, 2x + y \leq 12 \quad \text{の交点である。}$$

したがって、  $x = 5, y = 2$  のとき利益が最大となり、

1日当たりの最大の利益は、  $300 \times 5 + 200 \times 2 = 1900$  万円 となる。

#### H28-1-5 の問題

材料 M1、M2、M3 を用いて、製品 P1 と P2 を製造・販売する。製品 P1 を1台製造するのに、材料 M1、M2、M3 はそれぞれ1個、1個、0個必要で、製品 P2 を1台製造するのに、0個、2個、2個必要であるとする。ただし、材料 M1、M2、M3 の個数に上限があり、それぞれ5個、9個、6個である。製品 P1 と P2 を各々1台製造・販売した際に得られる利益がそれぞれ2万円、5万円するとき、全体の利益が最大となるような最適な製品 P1 と P2 の製造・販売台数の組合せを求める。

| 材料 | 製品 |    | 材料の個数の上限 |
|----|----|----|----------|
|    | P1 | P2 |          |
| M1 | 1個 | 0個 | 5個       |



|    |       |       |    |
|----|-------|-------|----|
| M2 | 1個    | 2個    | 9個 |
| M3 | 0個    | 2個    | 6個 |
| 利益 | 2万円/台 | 5万円/台 |    |

解答：

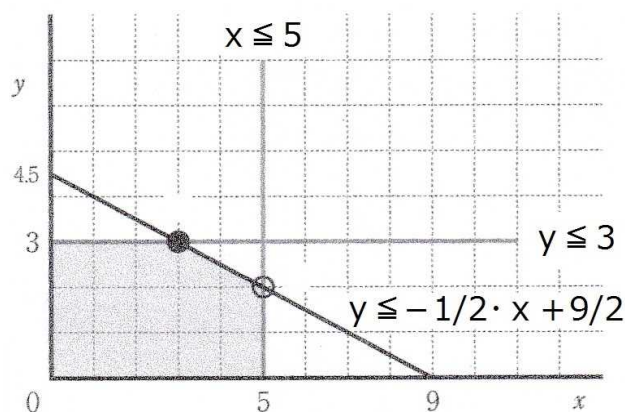
$P_1$  を  $x$  台、 $P_2$  を  $y$  台 製造・販売するとする。

材料個数の上限から、次の不等式が得られる。

$$x \leq 5, \quad x + 2y \leq 9, \quad 2y \leq 6$$

利益を表す目的関数は、次のように表される。  $2x + 5y = A$

$x, y$  の個数は、 $x \leq 5, y \leq -\frac{1}{2}x + \frac{9}{2}, y \leq 3$  の3つの線で囲まれた面積内にある。



$y = -\frac{2}{5}x + \frac{A}{5}$  がこの面積内を移動し、直線の切片を最大とする点は、

$x = 5, y = -\frac{1}{2}x + \frac{9}{2}, y = 3$  の交点であり、 $(5,2), (3,3)$

$x = 5, y = 2$  の利益は 20万円、 $x = 3, y = 3$  の利益は 21万円

よって、 $P_1$  を 3台、 $P_2$  を 3台 製造することが、最大の利益となる。

#### H24-1-5 の問題

工場では資材 A、資材 B を用いて製品 X と製品 Y を生産している。下表に示すように、製品1個生産するために、製品 X は資材 A、資材 B をそれぞれ 3kg、1kg、また、製品 Y はそれぞれ 1kg、2kg 必要とする。ただし、資材 A、資材 B の使用上限は、それぞれ 9kg、8kg である。各製品1個を売却すると、それぞれ3万円、2万円の利益が得られるものとする。全体の利益が最大となるように製品 X と製品 Y の生産個数を決定したとき、その利益を求めよ。

|          | 製品X | 製品Y | 使用上限 |
|----------|-----|-----|------|
| 資材A(kg)  | 3   | 1   | 9    |
| 資材B(kg)  | 1   | 2   | 8    |
| 利益(万円/個) | 3   | 2   |      |

解答：

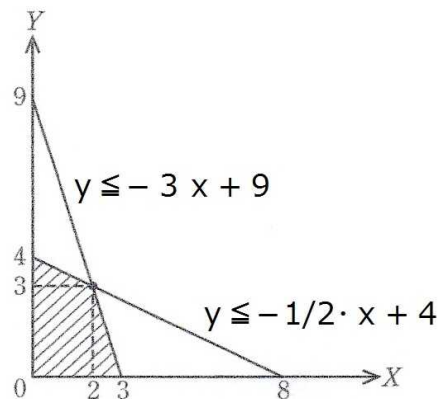
**X**を**x**個、**Y**を**y**個 生産するとする。

材料個数の上限から、次の不等式が得られる。

$$3x + y \leq 9 \quad , \quad x + 2y \leq 8$$

利益を表す目的関数は、次のように表される。  $3x + 2y = A$

**x, y**の個数は、 $y \leq -3x + 9, y \leq -\frac{1}{2}x + 4$  の2つの線で囲まれた面積内にある。



$y = -\frac{3}{2}x + \frac{A}{2}$  がこの面積内を移動し、直線の切片を最大とする点は、  
 $y = -3x + 9$  と  $y = -\frac{1}{2}x + 4$  の交点であり、(2,3)である。

**x = 2個, y = 3個**の利益は、 $2 \times 3 + 3 \times 2 = 12$ 万円 である。

1技術士 1基礎 H26-1-2

利益を得る必要来客人数

下記に示す条件で、飲食店の開業を考えている。月に100万円の利益を得るために、1つの客席当たり、1日に必要な来客人数を求める。

なお、ここでいう利益とは、売上高の総額より変動費の合計と固定費を差し引いた額である。

客1人当たりの売上高 500円/人

|            |          |
|------------|----------|
| 客1人当たりの変動費 | 200円／人   |
| 1か月の固定費    | 500,000円 |
| 1か月の営業日数   | 20日      |
| 客席数        | 50席      |

解答：

1日当たりの来客数を  $x$  とすると、1ヶ月分の売り上げから変動費と固定費を差し引いた値が利益になる。

$$500x \times 20日 - 200x \times 20日 - 500,000円 \geq 1000,000円$$

$$x \geq 250人$$

よって、1つの客席当たりの来客数は、 $250人 \div 50席 = 5人$

1技術士 1基礎 H25-1-3

### 最適化手法と線形計画法

最適化問題の定式化では、いくつかの**制約条件**のもとで、システムの最適性の尺度である**目的関数**を最大にする変数、あるいは最小化する変数を探索する。

最適化問題を数式的に表したものを数理計画問題といい、この問題を数理的に解くための手法を総称して数理計画法と呼ぶ。

最も代表的な数理計画法である線形計画法では、**制約条件**と**目的関数**がともに**一次式**で表される。

また、システムの最適設計や運用計画の効率化を考える場合、多くの解候補の中から最適な組合せを選択する。

これを組合せ最適化問題というが、最適解を求めるのに要する計算量が問題の規模に対して爆発的に増加する。この場合、**近似解法**が効率的な手法として利用される。

1技術士 1基礎 H29-1-1 H27-1-2 H25-1-5 H23-1-2

### 平均処理時間

#### H29-1-1 の問題

ある銀行に1台のATMがあり、このATMの1人当たりの処理時間は平均40秒の指数分布に従う。また、このATMを利用するために到着する利用者の数は1時間当たり平均60人のポアソン分布に従う。このとき、利用者がATMに並んでから処理

が終了するまでの時間の平均値を求める。

$$\text{平均系内列長} = \text{利用率} \div (1 - \text{利用率})$$

$$\text{平均系内滞在時間} = \text{平均系内列長} \div \text{到着率}$$

$$\text{利用率} = \text{到着率} \div \text{サービス率}$$

解答：

$$\text{利用率} \rho = \frac{\text{利用率}}{\text{サービス率}} = \frac{\text{利用者数(時間あたり)}}{\text{処理数(時間あたり)}} = \frac{60}{\frac{60}{40} \times 60} = \frac{2}{3}$$

$$\text{待ち時間(平均系内列長)} L = \frac{\rho}{1 - \rho} = 2$$

$$\text{平均待ち時間} = L \times \text{サービス時間} = 2 \times 40 = 80 \text{ 秒}$$

$$\text{平均応答時間} = \text{平均待ち時間} + \text{サービス時間} = 80 + 40 = 120 \text{ 秒}$$

#### H27-1-2 の問題

ある銀行に1台の ATM があり、1時間当たり50人が利用する。この ATM の1人当たりの平均処理時間は30秒である。このとき、客が ATM に並んでから処理が終了するまでの平均の時間として最も近い値を求める。

ただし、単位時間当たりに利用する客の数の分布はポアソン分布に、また、処理に要する時間は指数分布に従うものとする。これによる計算式を次に示す。

$$\text{待ち行列長} = \text{利用率} \div (1 - \text{利用率})$$

$$\text{平均待ち時間} = \text{待ち行列長} \times \text{平均処理時間}$$

$$\text{利用率} = \text{単位時間当たりの平均到着人数} \div \text{単位時間当たりの平均処理人数}$$

$$\text{平均応答時間} = \text{平均待ち時間} + \text{平均処理時間}$$

解答：

$$\text{利用率} \rho = \frac{\text{利用率}}{\text{サービス率}} = \frac{\text{利用者数(時間あたり)}}{\text{処理数(時間あたり)}} = \frac{50}{\frac{60}{30} \times 60} = 0.417$$

$$\text{待ち時間(平均系内列長)} L = \frac{\rho}{1 - \rho} = 0.715$$

$$\text{平均待ち時間} = L \times \text{サービス時間} = 0.715 \times 30 = 21 \text{ 秒}$$

$$\text{平均応答時間} = \text{平均待ち時間} + \text{サービス時間} = 21 + 30 = 51 \text{ 秒}$$

### H25-1-5 の問題

ある駅に1つの改札があり、1分当たり6人が到着する。この改札の1人当たりの平均処理時間を6秒とする。このとき、利用客が改札に並んでから処理が終了するまでの平均の時間を求める。

単位時間当たりに到着する人数の分布はポアソン分布に、また、処理に要する時間は指数分布に従うものとする。参考までに、本問題に関係する計算式を次に示す。

$$\text{待ち行列長} = \text{利用率} \div (1 - \text{利用率})$$

$$\text{平均待ち時間} = \text{待ち行列長} \times \text{平均処理時間}$$

$$\text{利用率} = \text{単位時間当たりの平均到着人数} \div \text{単位時間当たりの平均処理人数}$$

$$\text{平均応対時間} = \text{平均待ち時間} + \text{平均処理時間}$$

解答：

$$\text{利用率} \rho = \frac{\text{利用率}}{\text{サービス率}} = \frac{\text{利用者数(時間あたり)}}{\text{処理数(時間あたり)}} = \frac{6}{\frac{60}{6}} = \frac{3}{5}$$

$$\text{待ち時間(平均系内列長)} L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{3}{2}$$

$$\text{平均待ち時間} = L \times \text{サービス時間} = \frac{3}{2} \times 6 = 9 \text{秒}$$

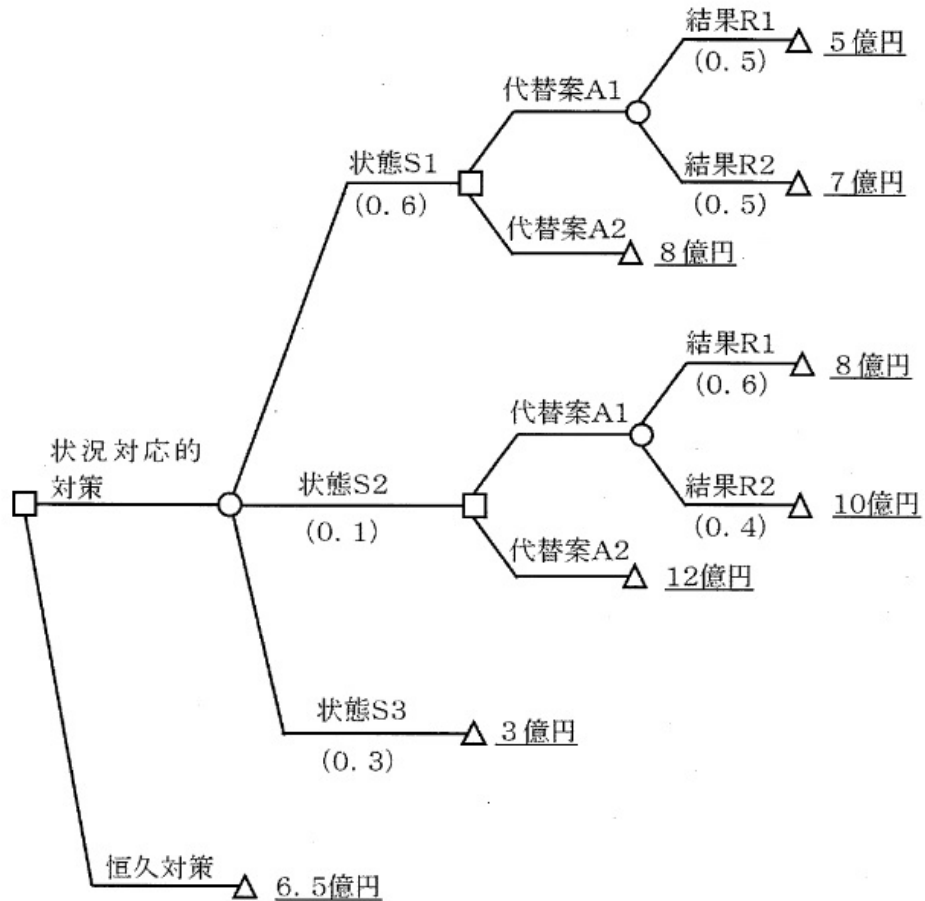
$$\text{平均応答時間} = \text{平均待ち時間} + \text{サービス時間} = 9 + 6 = 15 \text{秒}$$

1技術士 1基礎 H29-1-3

期待総損失額

工場の災害対策として設備投資をする際に、恒久対策を行うか、状況対応的対策を行うかの最適案を判断するために、図に示すデシジョンツリーを用いる。決定ノードは□、機会ノードは○、端末ノードは△で表している。端末ノードには損失額が記載されている。また括弧書きで記載された値は、その「状態」や「結果」が生じる確率である。

状況対応的対策を選んだ場合は、災害の状態 S1、S2、S3 がそれぞれ記載された確率で生起することが予想される。状態 S1 と S2 においては、対応策として代替案 A1 若しくは A2 を選択する必要がある。代替案 A1 を選んだ場合には、結果 R1 と R2 が記載された確率で起こり、それぞれ損失額が異なる。期待総損失額を小さくする判断として、最も適切なものを求める。



- ① 状況対応的対策の期待総損失額は 4.5億円となり、状況対応的対策を採択する。
- ② 状況対応的対策の期待総損失額は 5.4億円となり、状況対応的対策を採択する。
- ③ 状況対応的対策の期待総損失額は 5.7億円となり、状況対応的対策を採択する。
- ④ 状況対応的対策の期待総損失額は 6.6億円となり、恒久対策を採択する。
- ⑤ 状況対応的対策の期待総損失額は 6.9億円となり、恒久対策を採択する。

解答：

状況対応的対策の期待総損失額は、状態S1、S2、S3で発生する確率に応じた損失額の期待値であり、これと恒久対策の対応の期待値と比較すればよい。

・ 状態S1の損失額は、代替案A1を選ぶと、

$$5 \times 0.5 + 7 \times 0.5 = 6 \text{ 億円} \text{ となり、代替案A2より小さいため代替案A1を選択する。}$$

・ 状態S2の損失額は、代替案A1を選ぶと、

$$8 \times 0.6 + 10 \times 0.4 = 8.8 \text{ 億円} \text{ となり、代替案A2より小さいため代替案A1を選択する。}$$

以上から、状況対応的対策の期待値は、

$$0.6 \times 6 + 0.1 \times 8.8 + 0.3 \times 3 = 5.38 \text{ 億円} \text{ となり、恒久対策費用 6.5 億円より小さい。}$$

よって、

- ② 状況対応的対策の期待総損失額は 5.4億円となり、状況対応的対策を採択する。

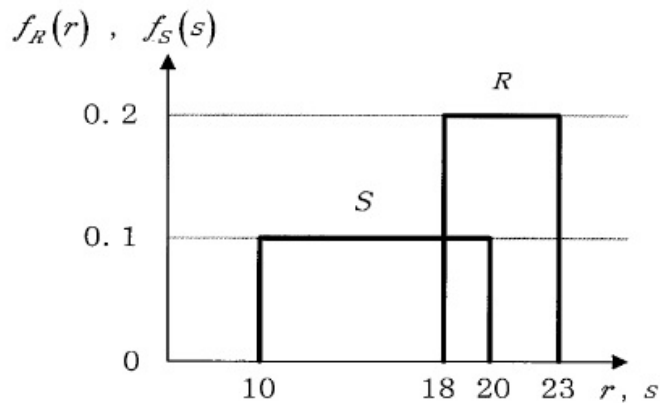
### 構造物の破壊確率

構造物の耐力  $R$  と作用荷重  $S$  は、材料強度のばらつきや荷重の変動などにより、確率変数として表される。

いま  $R$  と  $S$  の確率密度関数  $f_R(r)$ 、 $f_S(s)$  が次のように与えられたとき、構造物の破壊確率として、最も近い値を求める。

ただし、破壊確率は、 $\Pr[R < S]$  で与えられるものとする。

$$f_R(r) = \begin{cases} 0.2 & (18 \leq r \leq 23) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}, \quad f_S(s) = \begin{cases} 0.1 & (10 \leq s \leq 20) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$



解答：

構造物の耐力以上の作用荷重が発生したときに破壊するから、 $f_R(r), f_S(s)$  が重なった面積の確率が、構造物の破壊確率である。

$$R \text{の面積は、} 0.1 \times (20 - 18) = 0.2$$

$$S \text{の面積は、} 0.1 \times (20 - 18) = 0.2$$

$$\therefore P_r = 0.2 \times 0.2 = 0.04$$

## ◇ 設計理論

1技術士 1基礎 H30-1-3 H26-1-1 H24-1-4 H20-1-1

### バリアフリー・ユニバーサルデザイン

・バリアフリーデザインとは、障害者、高齢者の社会生活に焦点を当て、**物理的な障壁**を除去するだけでなく、**障害者への配慮**というソフト面を含むデザインという考え方である

・ユニバーサルデザインとは、施設や製品等について新しい障壁が生じないように、誰にとっても利用しやすく設計するという考え方である。

・建築家ロン・メイスが提唱した**ユニバーサルデザインの7原則**は次のとおりである。

1. 公平な利用、誰もが公平に利用できる
2. 利用における柔軟性、利用における自由度が高い
3. 単純で直感的な利用、使い方が簡単で分かりやすい
4. 認知できる情報、情報が理解しやすい
5. 失敗に対する寛大さ、ミスをしても安全である
6. 少ない身体的な努力、身体的に省力で済む
7. 接近や利用のためのサイズと空間、利用する際に適切な広さの空間がある

・ユニバーサルデザインは、ロナルド・メイスにより提唱され、特別な改造や特殊な設計をせずに、すべての人が、可能な限り最大限まで利用できるように配慮された製品や環境の設計をいう。

・**ユニバーサルデザインの7つの原則**は、次の通りである。

- (1) 公平な利用、
- (2) 利用における**柔軟性**、
- (3) 単純で**直観的**な利用、
- (4) 認知できる情報、
- (5) **失敗**に対する寛大さ、
- (6) 少ない**身体的**な努力、
- (7) 接近や利用のためのサイズと空間、

1技術士 1基礎 H28-1-6

### エンジニアリングデザインの原理・原則



- ・エンジニアリングデザインは、調和することによって成立する。
- ・エンジニアリングデザインは、複雑とすると全容が見えず最善ではない。
- ・システムが困難化、巨大化するときは分割する。
- ・各機能の独自性が高いものほど、志向すべき良いシステムである。
- ・システムには、概ねばらつきがある。

1技術士 1基礎 H30-1-6 H27-1-4 H25-1-1 H20-1-2

## 製造物責任法

### 製造物責任法 第一条（目的）

製造物責任法は、**製造物の欠陥**により人の生命、身体又は財産に係る被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任について定めることにより、**被害者の保護**を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。

### 製造物責任法 第二条（定義）

製造物責任法において、**製造物**とは、製造又は加工された動産をいう。また、**欠陥**とは、当該製造物の特性、その通常予見される使用形態、その製造業者等が当該製造物を引き渡した時期その他の当該製造物に係る事情を考慮して、当該製造物が通常有すべき**安全性**を欠いていることをいう。

1技術士 1基礎 H29-1-2 H23-1-5

## 安全係数

次の(ア)～(ウ)に記述された安全係数を大きい順に並べる。

- (ア) 航空機やロケットの構造強度の評価に用いる安全係数
- (イ) クレーンの玉掛けに用いるワイヤロープの安全係数
- (ウ) 人間が摂取する薬品に対する安全係数

### 解答：

安全係数（安全率）とは、あるシステムが破壊または正常に作動しなくなる最小の負荷と、予測されるシステムへの最大の負荷との比（前者/後者）のことである。

安全率は、おおよそ次のようになっている。

- (ア) 航空機や宇宙 1.5
- (イ) 玉掛けのワイヤーロープ 6.0

安全係数の大きい順は、(ウ)>(イ)>(ア) である。

1技術士 1基礎 H29-1-4

### 材料の機械的特性

材料の機械的特性を調べるために引張試験を行う。特性を荷重と**伸び**の線図で示す。

材料に加える荷重を増加させると**伸び**は一般的に増加する。

荷重を取り除いたとき、完全に復元する性質を**弾性**といい、き裂を生じたり分離はしないが、復元しない性質を**塑性**という。

さらに荷重を増加させると、荷重は最大値をとり、材料はやがて破断する。

この荷重の最大値は材料の強さを表す重要な値である。これを応力で示し**引張強さ**と呼ぶ。

1技術士 1基礎 H29-1-5 H26-1-6

### 製作図作成の基本事項

・工業製品の高度化、精密化に伴い、製品の各部品にも高い精度や互換性が要求されてきた。**形状の幾何公差は重要な図面記載事項である。**

・寸法記入は製作工程上に便利であるようにするとともに、作業現場で計算しなくても寸法が求められるようにする。

・車輪と車軸のように、穴と軸とが相はまり合うような機械の部品の寸法公差を指示する際に「はめあい方式」がよく用いられる。

・JISでは、図面は投影法において**第三角法を使用することが規定されており、例外的に第一角法や矢示法を認めている。**

ISO規格では、第一角法、第三角法が用いられる。

・図面には、表題欄、部品欄、あるいは図面明細表が記入される。

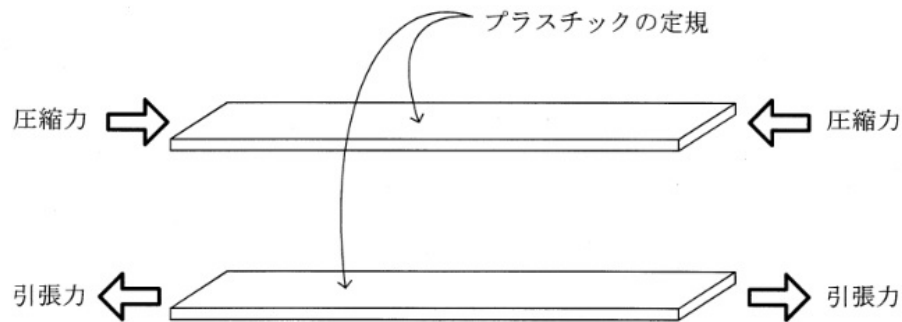
1技術士 1基礎 H28-1-3 H25-1-2

### 材料の強度

下図に示すように、プラスチックの定規に手で**引張力**を与えて破壊することは難しいが、**圧縮力**を加えると容易に変形して抵抗をなくしてしまう。これが**座屈**現象である。

設計に使用される許容応力度は、材料強度の特性値である設計基準強度を**安全率**で除

して決められている。



1技術士 1基礎 H27-1-3

### 引張り荷重の作用と設計

丸棒に引張り荷重が作用した構造を金属で設計する際の事項は、次の通りである。

- ・材料を選択し極限強さを決定する場合、許容応力は **極限強さ ÷ 安全率** で求めることができる。
- ・安全率は荷重の種類や性質、材料の性質や信頼度を考慮し、通常 **2以上の値** が用いられる。
- ・棒の断面は発生する応力が許容応力以下になるように決定する。
- ・設計した棒の変形量を計算するためには、材料に発生する応力とひずみの関係を示す **フックの法則** を用いる。このとき、棒の変形量は **荷重** に比例する。

1技術士 1基礎 H24-1-2

### 構造物の安全性の照査

すべての構造部材が破壊に至らなければ、構造物の安全性は十分に確保されるが、不静定次数の**高い構造物**では一部の部材が**限界状態**に至って耐荷機構を失っても、構造全体の安全性が直ちに損なわれない場合もある。

部材の**部分的な破壊**を許容した上で、安全性を要求する場合には、耐震性の照査同様に部材の**非線形性**と、部材の破壊以後の挙動を考慮して照査することが必要である。

\*不静定次数：「静定」とは、力の釣り合いだけで、反力と各部の断面力が定まる構造のことである。一方、力の釣り合いだけから反力又は断面力を決められない構造を、「不静定」と呼ぶ。不静定な構造において、未知反力の数から釣り合い式の数を引いた数を不静定次数という。

\*照査：規格や基準に適合しているかどうかをチェックすること。

品質要素の重要度

下記の品質表は、ライターの要求品質と品質要素との対応関係の強さを表したものである。表中の(◎○△)は、対応関係の強さを示し、数量化してそれぞれ 5、3、1とする。要求品質重要度と対応関係の強さから、品質要素重要度が計算される。

品質要素 A、C、D の重要度の大小関係を求める。

表 ライターの品質表

| 品質要素展開表   | 品質要素 |    |     |     |     | 要求品質重要度 |
|-----------|------|----|-----|-----|-----|---------|
|           | A    | B  | C   | D   | E   |         |
|           | 形状寸法 | 重量 | 耐久性 | 着火性 | 操作性 |         |
| 要求品質展開表   |      |    |     |     |     |         |
| 確実に着火する   |      |    | ○   | ◎   | ○   | 5       |
| 使い易い      | ◎    | ◎  |     |     | ○   | 5       |
| 要求品質      |      |    |     |     |     |         |
| 安心して携帯できる | ○    | △  | ◎   | ○   |     | 4       |
| 長い間使用できる  |      |    | ◎   | ○   | ○   | 3       |
| 良いデザインである | ○    | ○  |     |     |     | 4       |
| 愛着が持てる    |      |    | △   |     | △   | 3       |
| 品質要素重要度   |      |    |     |     |     |         |

注記：品質表とは、ユーザの要求する真の品質を言語表現によって体系化し、これと品質要素との対応関係を表示しユーザの要求を品質要素に変換して作成する表である。一般には、◎は「強い対応関係がある」、○は「対応関係がある」、△は「対応関係が予想される」ことを意味する。

解答：

品質要素重要度 =  $\Sigma$  (要求品質重要度 × 対応関係強さ) で表される。

A から E まで、それぞれの品質要素重要度を求める。

**A**  $5 \times 5 + 4 \times 3 + 4 \times 3 = 49$

**B**  $5 \times 5 + 4 \times 1 + 4 \times 3 = 41$

**C**  $5 \times 3 + 4 \times 5 + 3 \times 5 + 3 \times 1 = 53$

**D**  $5 \times 5 + 4 \times 3 + 3 \times 3 = 46$

$$E \quad 5 \times 3 + 5 \times 3 + 3 \times 3 + 3 \times 1 = 42$$

以上から、品質要素 C > 品質要素 A > 品質要素 D > 品質要素 E > 品質要素 B となる。

## ◇ 品質管理

1技術士 1基礎 H30-1-5

### 総費用を最小とする検査回数

ある製品1台の製造工程において検査を  $X$  回実施すると、製品に不具合が発生する確率は、 $1/(X+2)^2$  になると推定されるものとする。

1回の検査に要する費用が30万円であり、不具合の発生による損害が3,240万円と推定される場合の、総費用を最小とする検査回数を求める。

解答：

総費用  $y$  は、次のようになる。

$$y = \frac{1}{(X+2)^2} \times 3240 + 30X$$

$y$  を最小とするのは、 $\frac{dy}{dX} = 0$  とする  $X$  検査回数である。

$$\frac{dy}{dX} = \frac{6480}{(X+2)^3} + 30 = 0$$

$$(X+2)^3 = 216 = 6^3$$

$$\therefore X = 4 \text{ 回}$$

1技術士 1基礎 H28-1-2 H26-1-3

### 抜取検査

ロットの合格・不合格を計数值抜取検査によって判定する場合、ロットを構成するアイテムを一部抜き取ったサンプルを検査し、その**不適合品の数**等で合格・不合格を決定することになる。

この際、満足な製品を不合格とする確率及び不満足な製品を合格とする確率のバランスが重要となる。前者を**生産者危険**といい、後者を**消費者危険**という。

この2つの確率は抜取検査手順を固定するとトレードオフの関係にあり、そのバランスは**合格判定個数**で調整される。

検査が一連のロットに対して行われる場合には、先行ロットの結果を利用して後続ロットの抜取検査の厳しさを変更する**なみ検査**と**きつい検査**の切換えルールの設定など

が行われる。

1技術士 1基礎 H27-1-5

### 標準偏差の結合

独立に製造された長さ 1800mm の部材 A と長さ 1700mm の部材 B とをぴったり接続し、長さ 3500mm の結合部品を作成する。部材 A、B の長さが独立に正規分布に従っていると仮定でき、部材 A、B の長さの標準偏差がそれぞれ 0.4mm、0.3mm である場合、結合部品が 3501.5mm を超える確率は **0.2% 未満** となる。

ただし、平均0、標準偏差1の正規分布で値が  $z$  以上となる確率は以下となる。

|       |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|
| $z$   | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |
| 確率[%] | 15.9 | 6.68 | 2.28 | 0.62 | 0.13 |

解答：

部材Aは、(平均,分散) =  $(\mu, \sigma^2) = (1800, 0.4^2)$

部材Bは、(平均,分散) =  $(\mu, \sigma^2) = (1700, 0.3^2)$

となる正規分布を示すから、合成した部材の分散は、

$$\sigma^2 = 0.4^2 + 0.3^2 = 0.5^2$$

となるので、合成した部材は次の正規分布を示す。ここで  $\sigma$  は標準偏差である。

$$(\mu, \sigma^2) = (3500, 0.5^2)$$

合成部材の誤差1.5mmは標準偏差の3倍、すなわち  $1.5\text{mm} = 3 \times 0.5\text{mm} = 3\sigma$  である。

$$(\mu, \sigma^2) = (0, 1^2)$$

は標準正規分布であり、 $z = 3.0$  は  $3\sigma$  に当たる。

そのため、 $3\sigma$  を超える確率は0.13%であるから、合成部材が誤差1.5mmを超える確率は0.13%となり、0.2%未満の確率である。

1技術士 1基礎 H27-1-6

### P D C Aサイクル

ISO 9001 : 2008 (JIS Q 9001 : 2008 品質マネジメントシステム－要求事項)では、

【 Plan → Do → Check → Act 】 のサイクルによって計画と実施をモデル化し、必要な改善を計画にフィードバックし、継続的な改善が達成できる仕組みとなっている。

解答：

ISOマネジメントシステムのPDCAサイクルは、

Plan 計画・方策

Do 実施

Check 見直し

Act 改善

である。

1技術士 1基礎 H26-1-5

### 設備や機械の保全

設備や機械などの対象(以下、アイテムと記す。)を運用可能状態に維持し、又は故障などを回復するための処置及び活動は、保全と呼ばれる。

保全は、アイテムが使用中に故障することを未然に防止するために、規定の間隔や基準に従ってアイテムの機能劣化や故障の確率を低減するために行う**予防保全**と、フォールトの発見後にアイテムを要求機能遂行状態に修復する**事後保全**とに大別される。

また、**予防保全**は、定められた時間計画に従って行う**時間計画保全**と、アイテムの動作状態や劣化傾向のモニタリングに基づいて行う**状態監視保全**とに分けられる。

さらに、**時間計画保全**は、予定の時間間隔で行う**定期保全**と、アイテムが予定の累積動作時間に達したときに行う**経時保全**とに分けられる。

1技術士 1基礎 H25-1-6

### 品質管理に関する用語

- ・ **工程能力指数**：特性の規定された公差を工程能力で除した値
- ・ **回帰分析**：応答変数に説明変数を結びつけるモデルを評価するための手続きの集まり
- ・ **管理図**：工程異常の検出を目的として用いる、プロセスの変動を視覚化するための図
- ・ **ヒストグラム**：測定値の存在する範囲をいくつかの区間に分けた場合、各区間を底辺とし、その区間に属する測定値の度数に比例する面積をもつ長方形を並べた図



## 品質管理の考え方

- ・品質管理の基本的な考え方の一つとして、「品質は工程で作り込め」がある。
- ・品質保証を行う方法としては、出来上がった製品・サービスが規定要求事項に適合しているかを判定する**検査**を行い、不適合なら後工程や顧客に引き渡さないようにすることが考えられるが、**検査**のみに頼る品質保証は必ずしも効果的・効率的ではない。
- ・製品・サービスを生み出す一連のプロセスにおいて、できる限り上流のプロセスを維持向上・改善・革新する**源流管理**により体系的に品質保証を達成することが重要である。
- ・これを進めるにあたって、プロセスを設定する**標準化**が重要となる。
- ・これに始まる PDCA を回し、設定されたプロセスを維持向上・改善・革新することで、**プロセス**に基づく管理を効率的に行える。

◎は、予想が的中したものです。

|                    | 重点<br>予想 | H30 | H29 | H28 | H27 | H26 | H25 | H24 | H23 | H22 | H21 | H20 |
|--------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>(1) 設計・計画</b>   |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>◇ システム設計</b>    |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| システムの信頼度           | ○        | ◎   |     | ◎   | ◎   | ◎   |     | ○   |     |     |     | ◇   |
| アローダイアグラム          |          | ◎   |     | ◎   |     |     | ◎   |     | ○   |     |     |     |
| 線形計画法              | ○        | ◎   |     | ◎   |     |     |     | ◎   |     |     |     | ○   |
| 利益を得る必要来客人数        |          |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |
| 最適化手法と線形計画法        | ○        |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |
| 平均処理時間             | ○        |     | ◎   |     | ◎   |     | ◎   |     | ○   |     |     |     |
| 期待総損失額             | ○        |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 構造物の破壊確率           | ○        |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>◇ 設計理論</b>      |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| バリアフリー・ユニバーサルデザイン  | ○        | ◎   |     |     |     | ◎   |     | ◎   |     |     |     | ○   |
| エンジニアリングデザインの原理・原則 | ○        |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 製造物責任法             |          | ◎   |     |     | ◎   |     | ◎   |     |     |     |     | ○   |
| 安全係数               |          |     | ◎   |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |
| 材料の機械的特性           | ○        |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 製作図作成の基本事項         | ○        |     | ◎   |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |
| 材料の強度              | ○        |     |     | ◎   |     |     | ○   |     |     |     |     |     |
| 引張り荷重の作用と設計        | ○        |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |
| 構造物の安全性の照査         |          |     |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |
| 品質要素の重要度           |          |     |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |
| <b>◇ 品質管理</b>      |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 総費用を最小とする検査回数      |          | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 抜取検査               | ○        |     |     | ◎   |     | ○   |     |     |     |     |     |     |
| 標準偏差の結合            | ○        |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |
| PDCAサイクル           | ○        |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |     |
| 設備や機械の保全           | ○        |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |     |
| 品質管理に関する用語         |          |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |     |
| 品質管理の考え方           | ○        |     |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |     |