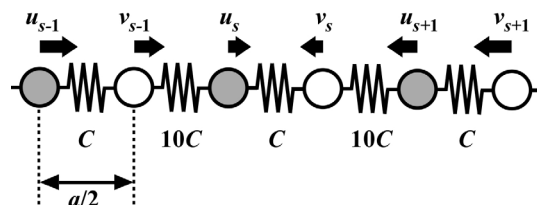


※解答は、点線より下に記入すること。

(注：この用紙の問題への解答はこの面のみとし、裏面にはしないこと。)

問題 同じ質量 M の 2 種類の原子が、右図のようにバネ定数 C および $10C$ で結ばれた 1 次元バネモデルを考える。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、隣接原子間の距離は $a/2$ であるとする。



- 1) s 番目のそれぞれの原子の変位量を u_s, v_s とすると、 u_s および v_s に関する相対変位は、それぞれ $u_s - v_{s-1}$ および $u_s - v_s, v_s - u_{s+1}$ および $v_s - u_s$ と表される。このとき、 u_s および v_s についての運動方程式を記せ。
- 2) これらの運動方程式は $u_s = u_0 \exp(isKa) \exp(-i\omega t), v_s = v_0 \exp(isKa) \exp(-i\omega t)$ で表される解 u_s および v_s をもつ。これらを運動方程式に代入して得られる連立方程式を記せ。ただし K を波数、 ω を角振動数とする。
- 3) この連立方程式が $u_0 = v_0 = 0$ 以外の解をもつためには、係数 u_0 および v_0 の行列式がゼロであることが必要である。このとき成立する K を含む ω の 4 次方程式の係数 A および B を記し、 ω の一般解を求めよ。
- 4) $K = 0$ および $K = \pi/a$ において、 ω はそれぞれ 2 つの値をもつ。これらの値を求めるとともに、その値を用いて分散関係のグラフを描け。また、これら低振動数と高振動数の ω の分岐はそれぞれ何モードに対応しているか答えよ。

解答欄 ※解答を欄内に記載

1) u_s :	$M \frac{du_s}{dt^2} = -C(u_s - v_s) - 10C(u_s - v_{s-1})$	v_s :	$M \frac{dv_s}{dt^2} = -C(v_s - u_s) - 10C(v_s - u_{s+1})$		
2) 運動方程式 ①	$-\omega^2 M u_0 = C(v_0 - u_0) + 10C(v_0 \exp(-iKa) - u_0)$	運動方程式 ②	$-\omega^2 M v_0 = C(u_0 - v_0) + 10C(u_0 \exp(-iKa) - v_0)$		
3) 4 次方程式 :	$\omega^4 - A \omega^2 + B (1 - \cos Ka) = 0$ ただし, $A : \frac{22C}{M} \quad B : \frac{20C^2}{M^2}$	ω の一般解 :	$\omega = \left[\frac{11C}{M} \pm \left(\left(\frac{11C}{2M} \right)^2 - \frac{20C^2}{M^2} (1 - \cos Ka) \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}$	分散関係 :	
4) $K = 0$:	$\omega = \left(\frac{22C}{M} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad 0$	$K = \pi/a$:	$\omega = \left(\frac{20C}{M} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \left(\frac{2C}{M} \right)^{\frac{1}{2}}$		
低振動数 ω :	音響 モード	高振動数 ω :	光学 モード		

科目	機能・設計系－1-B
----	------------

受験番号

氏 名

科目	機能・設計系－1-B
----	------------

※解答は、点線より下に記入すること。

(注：この用紙の問題への解答はこの面のみとし、裏面にはしないこと。)

問題 以下の問いに答えよ。ただし、電子は近似的に自由電子として取り扱えるものとする。また解答には、電子の質量 m 、プランク定数 $\hbar$ 、 L 、 ε 、 N_1 、 N_2 、および π のうち必要なものを用いよ。

- 1) 実空間において、一辺の長さが L の立方体の金属を考える。このとき、対応する逆空間において 1 個の k 点が占める体積を求めよ。
- 2) 立方体の金属中に N_1 個の電子が存在するとき、電子の状態密度 $D_1(\varepsilon) = dN_1/d\varepsilon$ を求めよ。
- 3) 実空間において、一辺の長さが L の正方形の 2 次元金属を考える。この 2 次元金属中に N_2 個の電子が存在するとき、フェルミ波数 k_F 、およびフェルミエネルギー ε_F を求めよ。
- 4) 3) の 2 次元金属中に存在する、電子の状態密度 $D_2(\varepsilon)$ を求めよ。

【解答】

$$1) (\Delta k)^3 = 8\pi^3/L^3$$

$$2) D_1(\varepsilon) = \frac{L^3}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} \varepsilon^{\frac{3}{2}}$$

$$3) \text{フェルミ波数 } k_F : (2\pi N_2)^{\frac{1}{2}}/L \quad \text{フェルミエネルギー } \varepsilon_F : \pi \hbar^2 N_2 / mL^2$$

$$4) D_2(\varepsilon) = mL^2/\pi \hbar^2$$

科目	機能・設計系－2-A
----	------------

受験番号

氏 名

科目	機能・設計系－2-A
----	------------

※解答は、点線より下に記入すること。

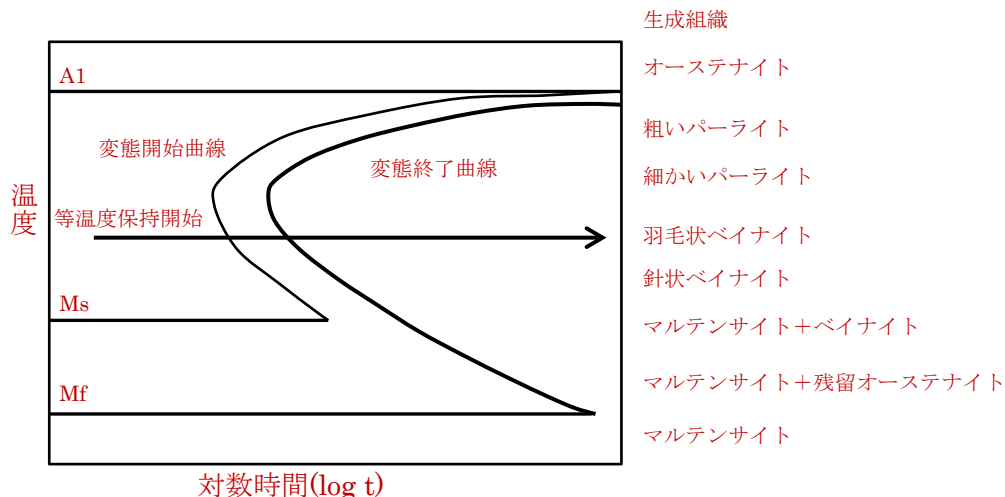
(注：この用紙の問題への解答はこの面のみとし、裏面にはしないこと。)

問題 鋼に関する以下の問いに答えよ。

- 1) 共析炭素鋼の T.T.T. 曲線を描き、その図の特徴について詳しく説明せよ。
- 2) ステンレス鋼の定義、種類と特性について詳しく説明せよ。

解答

- 1) 等温変態 T. T. T. 曲線を下図に示す。
T. T. T. 曲線は炭素鋼をオーステナイト組織の状態から A1 線以下の所定の温度まで急冷し、その温度で一定時間冷却を止めて保持すると、時間とともに組織変態が進行する。変態開始時間、終了時間をそれぞれ結んだのが TTT 図である。曲線は左に凸になっており、この部分はノーズ鼻と呼ばれる。どの温度で恒温にするかで、最終的な組織が大きく異なる。



- 2) 12%Cr 以上の Fe-Cr 合金がステンレス鋼、12%Cr 以下は耐食鋼である。

クロム系ステンレス鋼 (SUS400 系)

- ・フェライト系ステンレス鋼：熱処理ができない
- ・マルテンサイト系ステンレス鋼

焼入れ (950-1000℃)、焼戻し (600-750℃) が可能であり、耐熱、耐食性を有する。
ただし、 HNO_3 などの酸化性の酸に有効であるが、 H_2SO_4 、 HCl のような非酸化性の酸には腐食する。

クロム-ニッケル系ステンレス鋼 (SUS300 系)

- ・オーステナイト系ステンレス鋼

鋼の耐食性は γ 組織の方が α 組織より大きい。これは、原子密度が高い、1 相の組織になり易く、電気化学的に安定である。

約 10%以上 Ni 添加により、Cr%に無関係に耐硫酸性が向上するが、18%Cr, 8%Ni は、Ni 量が最も少なくても γ 組織になる組成である。

科目	機能・設計系－2-B
----	------------

受験番号

氏 名

科目	機能・設計系－2-B
----	------------

※解答は、点線より下に記入すること。

(注：この用紙の問題への解答はこの面のみとし、裏面にはしないこと。)

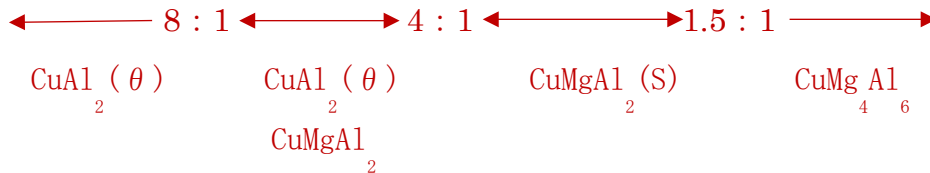
問題 非鉄金属材料に関する以下の問いに答えよ。

- 1) Al-Cu-Mg 合金の時効析出過程について説明せよ。
- 2) 工業用純銅の種類と製法について説明せよ。

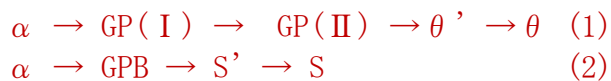
解答

1)

Cu/Mg 比（重量比）による安定相の変化は以下の通りである



時効析出過程は Cu/Mg 比により異なり、 $\text{Cu/Mg} > 8:1$ の場合は反応(1)、 $4:1 < \text{Cu/Mg} < 8:1$ の場合は反応(1)と(2)、 $1.5:1 < \text{Cu/Mg} < 4:1$ の場合は反応(2)となる。



GPB ゾーンは微細析出し、時効硬化への寄与が高い。

S' 相は不均一析出し、粗大化するため硬さの寄与が低い。

GPB ゾーン組織のときがもっとも硬さが大きい。

2)

工業用の純銅の種類には、酸素の量によって、タフピッチ銅、P 脱酸銅、無酸素銅(OFHC)の3種類がある。

電気銅（純度：99.99%以上、不純物：Sb, As, Bi, S, Pb, H₂（電解時））を以下の方法で還元すると純銅が得られる。

・天然ガス還元 - タフピッチ銅 酸素：250-500ppm. 高温で水素脆性を示す

・P 還元 - P 脱酸銅 酸素：200ppm 水素脆性を示さない・溶接やろう接用

固溶 P：電気伝導性低下する

・真空還元雰囲気 - 無酸素銅(OFHC) 酸素：10ppm 以下、導電性、耐水素脆性良好

科目	機能・設計系－2-C
----	------------

受験番号 _____

氏 名 _____

--

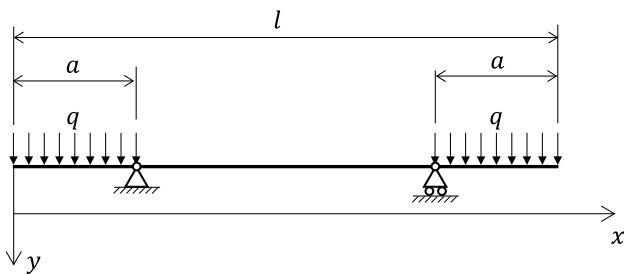
科目	機能・設計系－2-C
----	------------

--

※解答は、点線より下に記入すること。

(注：この用紙の問題への解答はこの面のみとし、裏面にはしないこと。)

問題 右図に示す長さ l (mm)の単純梁の両端の突き出し部の長さ a (mm)の箇所単位長さ当たり q (N/mm)の下向きの等分布荷重が作用しているとき、梁全体のせん断力図 SFD，曲げモーメント図 BMD を描け。ただし、答えの図だけでなく、導出過程を明記すること。



せん断力図 SFD



曲げモーメント図 BMD

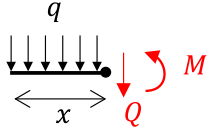
【解答】



梁および荷重は左右対称だから支持部の反力を R とする. y 軸方向の力の釣合より

$$+\downarrow \sum F_y = 0 \quad +qa + qa - R - R = 0 \quad \therefore R = +qa$$

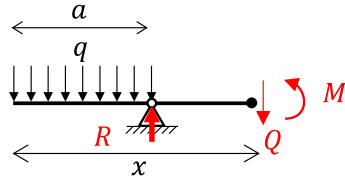
$$0 \leq x < a \quad +\downarrow \sum F_y = 0 \quad +qx + Q = 0 \quad \therefore Q = -qx$$



$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \quad +\int_0^x qd\xi \cdot \xi + M = 0 \quad M = -\int_0^x qd\xi \cdot \xi = -q \frac{x^2}{2} = -qx \cdot \frac{x}{2}$$

これは集中荷重 qx が長さ x の中央に作用していると考えても良い

$$a \leq x < l - a$$



$$+\downarrow \sum F_y = 0 \quad +qa - R + Q = 0 \quad \therefore Q = +R - qa = +qa - qa = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \quad +\int_{x-a}^x qd\xi \cdot \xi - R(x-a) + M = 0$$

$$M = R(x-a) - q \left[\frac{\xi^2}{2} \right]_{x-a}^x = qa \cdot (x-a) - q \cdot \left(\frac{x^2}{2} - \frac{(x-a)^2}{2} \right)$$

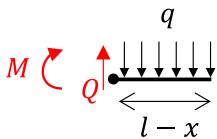
$$= qa \cdot (x-a) - q \cdot \left(\frac{2ax}{2} - \frac{a^2}{2} \right) = qa \cdot (x-a) - qa \cdot \left(x - \frac{a}{2} \right) = -q \frac{a^2}{2}$$

これは集中荷重 qa が長さ a の中央に作用していると考えても良い

$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \quad +qa \times \left(x - \frac{a}{2} \right) - R(x-a) + M = 0$$

$$M = R(x-a) - qa \times \left(x - \frac{a}{2} \right) = qa \cdot \left(-\frac{a}{2} \right) = -q \frac{a^2}{2}$$

$$l-a \leq x \leq l$$



$$+\downarrow \sum F_y = 0 \quad +q(l-x) - Q = 0 \quad \therefore Q = +q(l-x)$$

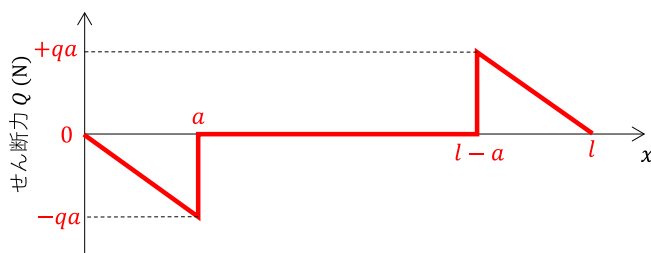
$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \quad -\int_0^{l-x} qd\xi \cdot \xi - R(x-a) - M = 0$$

$$M = -q \left[\frac{\xi^2}{2} \right]_0^{l-x} = -q \cdot \left(\frac{(l-x)^2}{2} \right) = -q(l-x) \times \left(\frac{l-x}{2} \right) = -\frac{q}{2}(l-x)^2 = -\frac{q}{2}(x-l)^2$$

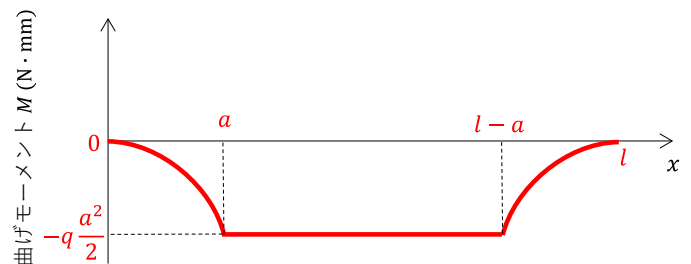
これは集中荷重 $q(l-x)$ が長さ $(l-x)$ の中央に作用していると考えても良い

$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \quad -q(l-x) \times \left(\frac{l-x}{2} \right) - M = 0$$

$$M = -q(l-x) \times \left(\frac{l-x}{2} \right) = -\frac{q}{2}(l-x)^2 = -\frac{q}{2}(x-l)^2$$



せん断力図 SFD



曲げモーメント図 BMD

機能・設計系－2-C

【出題の意図】

材料力学における梁の形式, 曲げモーメントおよびせん断力に関する知識を確認する. また, 曲げモーメント図, せん断力図を作成するための思考力, 計算力を評価する.