１章　問題解答

予習

１．　（２），（５），（６）

２．　（１）Fe，（２）Cr，（３）Al，（４）Mg，（５）Cu，（６）Ti

演習問題Ａ

1-A1

解答例を示す。

「金属材料は，金属光沢を持ち，電気や熱の良導体である。力学的な性質として,弾性変形の限界を超えて加工すると塑性変形することができ，加工性に優れている。

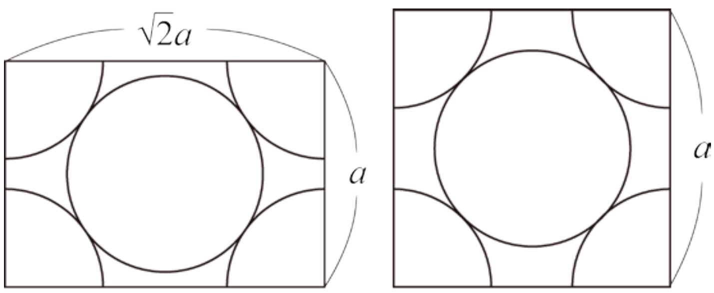
セラミックス材料は一般に硬く，耐熱性に優れる。導電性や熱伝導性は小さい。硬いが脆いため，伸びは少なく破断しやすい。

高分子材料に含まれるプラスチックやゴムは，一般的に軽く，加工性に優れ，粘弾性を示す。」

上記以外にも材料の特徴を挙げることができるので，物理的性質や化学的性質について考えて見よう。

1-A2

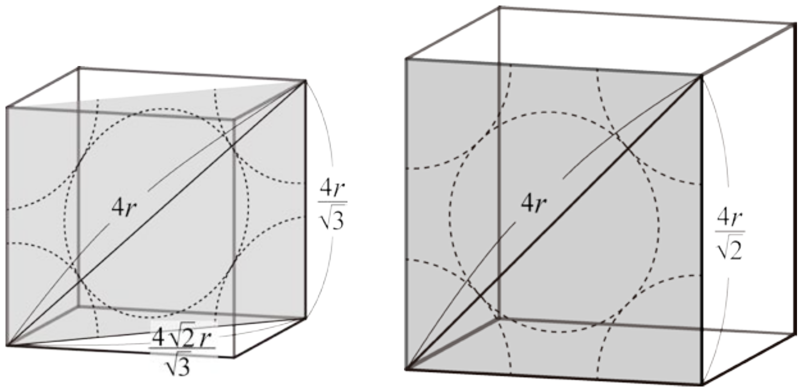
体心立方構造，面心立方構造の最密面は，それぞれ(110)，(111)である。格子定数を a とすると，下図の原子配列が描ける。



bcc (110)　　fcc (111)

1-A3

各結晶構造における原子半径と格子定数の関係を下図に示す。



a)体心立方構造　　　　b)面心立方構造

体心立方構造の格子定数 a，原子半径 r として，a を r で表すと，図 a) より，

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathbf{4}\boldsymbol{r}}{\sqrt{\mathbf{3}}}$$

図 1-8 a) より，体心立方構造は，単位格子中の体心位置に 1 個，頂点に 1/8×8 個あり，合計 2 個の原子を含むので，充填率 f_{bcc} は，

$$f_{\mathrm{bcc}}=\frac{2\times\dfrac{4\pi r^3}{3}}{\left(\dfrac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3}=\frac{\sqrt{3}\pi}{8}=0.680$$

となる。よって，体心立方構造の充填率は 68%となる。

同様に面心立方構造の格子定数 a，原子半径 r とすると，図 b) より，

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathbf{4}\boldsymbol{r}}{\sqrt{\mathbf{2}}}$$

となる。

面心立方構造は，図 1-8 b) より単位格子当たり 4 個の原子を含むので，充填率 f_{fcc} は，

$$f_{\mathrm{fcc}}=\frac{4\times\dfrac{4\pi r^3}{3}}{\left(\dfrac{4r}{\sqrt{2}}\right)^3}=\frac{\sqrt{2}\pi}{6}=0.741$$

となる。よって，面心立方構造の充填率は 74%となる。

演習問題B

1-B1

　最密六方構造の格子定数を a，c とすると，

$$a = 2r,\quad c/a = \frac{2\sqrt{6}}{3} \text{ より，}\quad c = \frac{4\sqrt{6}}{3}r$$

となるので，単位格子当たり2個の原子を含むことを考慮し，最密六方構造の充填率 f_{hcp} は，

$$f_{\mathrm{hcp}} = \frac{2\times\dfrac{4\pi r^3}{3}}{2r\times\sqrt{3}r\times\dfrac{4\sqrt{6}}{3}r} = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.741$$

と求められる。<u>最密六方構造の充填率は74%となる。</u>

1-B2

　体心立方構造の格子定数 a，鉄の原子半径 r として，a と r の関係は，

$$r = \frac{\sqrt{3}a}{4}$$

となるので，<u>鉄の原子半径は 0.124×10^{-9}m または 0.124nm。</u>

1-B3

　bcc 構造の[100]方向について，鉄原子間に存在する隙間は，a−2r となる。その値は，

0.287 − 2×0.124 = 0.039 nm となる。

　一方，fcc 構造では，格子定数 a と原子半径 r の関係が，

$$r = \frac{\sqrt{2}a}{4}$$

となるので，r = 0.129 nm となる。すき間の大きさは，

0.366 − 2×0.129=0.108nm

となる。この隙間は八面体位置となっている。

　まとめると，bcc 構造では<u>0.039nm</u>，fcc 構造では<u>0.108nm</u>となり，fcc 構造の方が隙間は大きい。炭素原子の直径は，0.140nm となるので，bcc 構造では炭素が侵入すると格子は大きく歪むことになる。よって，bcc 構造のα鉄は炭素固溶量が非常に少ない。一方，fcc 構造の方が隙間は大きく，炭素は侵入しやすいので炭素固溶量は大きい。格子は歪むため，すべての八面体位置を炭素原子が占有することはできない。

1-B4

原子量と密度から原子の個数を求める。

1cm^{3}の鉄の質量は，7.58g = 7.58×10^{-3}kg。この鉄中に原子の数は，原子量を 55.9，アボガドロ数を 6.02×10^{23}とすると，

$$N = \frac{7.58}{55.8} \times 6.02 \times 10^{23} = 8.177.. \times 10^{22}$$

これより，空孔数 N_v は，

$$Nv = N\exp\left(-\frac{Q_v}{k_B T}\right) = 8.178 \times 10^{22} \times \exp\left[-\frac{1.08}{8.62 \times 10^{-5} \times (900 + 273)}\right]$$

$$= 1.878.. \times 10^{18}$$

となり，空孔数は 1.88×10^{18}個となる。

1-B5

初期、および強化後の材料の強度について、強化後の結晶粒径を *d'*としてホール・ペッチの式を立てると、

$$2\sigma_0 = \sigma_0 + k\frac{1}{\sqrt{d}}$$

$$3\sigma_0 = \sigma_0 + k\frac{1}{\sqrt{d'}}$$

これらの式から k を消去すると，

$$\sqrt{\frac{d'}{d}} = \frac{1}{2}$$

$$d' = 0.25d$$

となる。よって，強化後の結晶粒径を強化前の 1/4 にすればよい。