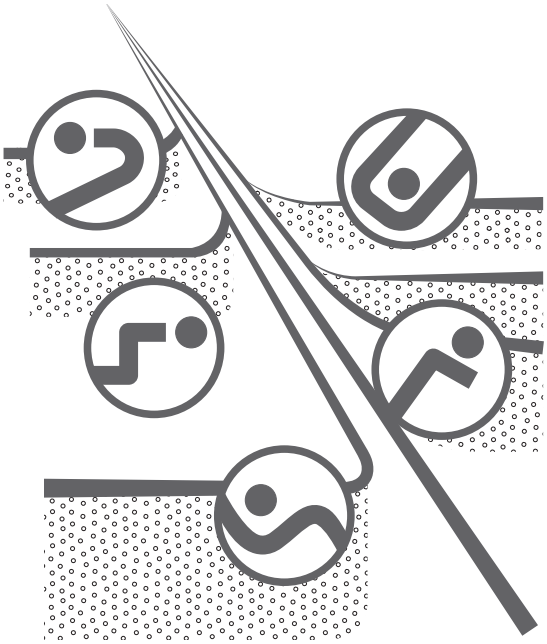
実務に役立つ機械シリーズ

ー機械工学・材料コースー

NO.2

材　料



コガク

目　次

学習のねらい **1**

第 1 週　金属材料 **3**
1.1　金属材料の種類 4
1.2　金属材料の組織 6
1.2.1　金属の結晶構造 6
1.2.2　結晶の面と方向 7
1.2.3　合金の構造および状態図 9
1.3　材料の特性 14
1.3.1　炭素鋼 14
1.3.2　応力ーひずみ曲線 17
1.3.3　塑性変形と転位 19
1.3.4　強度特性 22
1.4　金属材料の応用 26
1.4.1　熱処理の目的 26
1.4.2　熱処理の方法 27
1.4.3　鋼の表面処理 29
1.4.4　腐食とその防止 29
『まとめと練習問題』 **36**

第 2 週　樹脂材料 **37**
2.1　プラスチック材料の種類と特徴 38
2.1.1　プラスチックの種類と分類 38
2.1.2　熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂 39
2.1.3　プラスチックの特徴 39
2.2　プラスチックの特性 42
2.2.1　粘弾性挙動 42
2.2.2　時間ー温度換算則 42
2.2.3　疲労特性 43
2.2.4　耐熱性 44
2.2.5　光学特性 46
2.3　プラスチックの用途 47
2.3.1　エンプラの位置付け 47

2.3.2　射出成形の成形プロセス 49
2.4　特殊プラスチック 51
『まとめと練習問題』 53

第 3 週　ゴム材料 55
3.1　ゴムの歴史 56
3.2　天然ゴム 57
3.3　合成ゴムと製造工程 58
3.3.1　合成ゴム 58
3.3.2　製造工程 59
3.4　ゴムの応用 60
『まとめと練習問題』 62

第 4 週　セラミック・新材料 65
4.1　セラミック材料 66
4.1.1　材質上からのセラミック材料の分類 66
4.1.2　用途上からのセラミック材料の分類 67
4.1.3　セラミック材料の利用法 67
4.1.4　非破壊検査 68
4.1.5　セラミック材料の適用例 70
4.2　形状記憶合金 73
4.2.1　合金の組成 73
4.2.2　形状記憶合金の応用 75
4.3　複合材料 77
4.3.1　複合材料の種類と特徴 77
4.3.2　複合材料の複合則 79
4.3.3　複合材料の適用例 82
4.4　新材料 86
4.4.1　水素吸蔵合金 86
4.4.2　超電導材料 87
4.4.3　アモルファス合金 88
『まとめと練習問題』 92

STEP UP 93
練習問題の解答 94
索　引 96

学習のねらい

工業分野での材料の利用の仕方は，大きく分けて２つに分類されます。一つは，機械そのものの作動を可能とする目的で，その材料の機械的性質，特に剛性，強度に注目して選ぶ場合です。もう一つは，その材料の他の特徴的性質，たとえば，電気的，化学的，光学的特性などに限定した目的で選ぶ場合です。前者は構造材料と呼ばれ，従来から工業材料の根幹をなしてきました。後者は機能性材料と呼ばれ，最近の製品の多様化，特にエレクトロニクス，メカトロニクス製品の急増にともなって，重要性も増してきました。これらいずれの材料も工業製品を生みだすために基本的な役割を担っています。

本分冊では，これら工業材料の種類，基本的特性，成形法などの基礎技術と，利用技術を身につけることを目的としています。

■ 第１週 ■

金属材料

【学習のポイント】

工業材料や機械材料の最近の進歩は著しいですが，これら材料のうちで最も主流をなすのは，やはり金属材料です。なぜなら，金属材料は資源の豊富さ，精製プロセスの容易さ，そして何よりもその利用上の便利さなどで総合的に群を抜いて優れた性質をもっているからです。

今週は，まずこの金属材料の基礎として種類，組織，熱処理など金属学的な学習をします。

1.1　金属材料の種類

工業材料として単体金属の状態で使用するのは，鉄（Iron），ニッケル（Nickel），銅（Copper），アルミニウム（Aluminum），亜鉛（Zinc），すず（Tin），鉛（Lead），マグネシウム（Magnesium），チタン（Titanium）などの限られた金属です。これらの金属は互いに合金を作りますが，合金成分の重要な金属としては，クロム（Chromium），マンガン（Manganese），モリブデン（Molybdenum），タングステン（Tungsten），バナジウム（Vanadium），ベリリウム（Beryllium），ケイ素（Silicon）などがあります。また，合金成分の重要な非金属としては炭素（Carbon），窒素（Nitrogen）があります。

金属および合金はその性質によって次の４つのグループに分けることができます。

（1）高融点重合金

主なものとしては鉄合金，ニッケル合金および銅合金があります。この他に，機械材料としてはあまり用いられていませんが，貴金属もこの分類に含まれます。

①　鉄合金

鉄を母金属とする合金で，工業材料として量的に最も多く使用されています。強さ，硬さが一般に優れていて，機械用，構造用に適します。鉄合金として最も重要な合金は，鉄－炭素系で鋼（Steel）と呼ばれています。炭素の他にも有用元素を含む鉄合金を合金鋼と呼んでいます。炭素を多量に含む鉄合金は融点が低下し，鋳造性が良いため鋳鉄（Cast iron）として使われています。

②　ニッケル合金

ニッケル合金の物理的性質は鉄合金と似ています。しかし，鉄合金に比べると耐食性がきわめて優れています。この合金は高価なので，一般の機械構造にはほとんど使用されないで，耐食，耐熱など特殊な用途に限られています。たとえば，鉄－ニッケル－クロム鋼はステンレス鋼として広い用途があります。ニッケル－クロム合金をはじめとするニッケル基の各種の耐熱合金は，ガスタービン，ジェットエンジンなど高温機器に欠かすことのできない材料です。

③　銅合金

銅合金は鉄合金，ニッケル合金に比べると，強さ，硬さが劣りますが，耐食性はニッケル合金に匹敵します。鋼－亜鉛合金の黄銅（Brass），銅－すず合金の青銅（Bronze）をはじめとして，銅合金には鋳造性，加工性の良いものが多く，機械材料としても多く使われています。また，銅合金の特徴は，電気伝導率に優れていることで，電気機器の導電体に欠かすことのできない材料でもあります。

④　貴金属

金，銀，白金，パラジウム，イリジウムなどの金属は貴金属と呼ばれ，いずれも美麗な金属光沢を有していますが，極めて高価です。これらを機械材料として大量に用いることは少ないですが，銀合金は軸受や接合用ろう材として欠かすことのできない材料です。また，貴金属は化学的に安定なので，特殊用途の化学機器に用いることがあります。

（2）低融点重合金

この分類に属する主要な実用金属は亜鉛，鉛，すず，カドミウム，ビスマス，アンチモンなどで，融点が低いこれらの物質は原子間の結合力が小さいために，強度は低いです。これらの金属は互いに合金を作りますが，均一組織の合金になりにくい性質があります。このような組織の特性を生かしたものに軸受合金（ホワイトメタル）があります。

（3）軽合金

比重の軽いアルミニウム，マグネシウムと，それらの合金が軽金属です。アルミ合金は航空機，最近では車輛，自動車など高速輸送用構造材料として重要性を増しています。

（4）新金属

最近の工業の発達にともなって開発された金属，および高純度で優れた特性を発揮する金属を新金属といいます。チタンはジェットエンジンの開発につれて注目されるに至った金属で，高温強さは耐熱鋼と同程度ですが，密度が 4.51 と鋼よりもはるかに小さく，航空機関係材料として重要です。また，ロケット材料として用いられるベリリウム，原子炉材料のジルコニウムなども新金属です。一般にこれらの材料は製錬が難しくコストがかかる欠点があります。

1.2　金属材料の組織

1.2.1　金属の結晶構造

一般に，金属の原子は規則正しく周期性をもって配列し結晶を作ります。この規則正しい三次元的な配列を空間格子，配列の最小単位となる１区画を単位胞と呼んでいます。工業用金属の結晶の多くは面心立方晶（fcc），体心立方晶（bcc），および最密六方晶（hcp）のいずれかに属します。それぞれの結晶構造を**図 1.1** に示します。この他にもいくつか結晶構造があります。たとえば，体心正方晶は，体心立方晶が上下に伸びたものと考えればよいです。鋼のマルテンサイトが体心正方晶です。面心立方晶の単位胞は，立方体の８個の隅と６個の面の中心に原子が存在します。

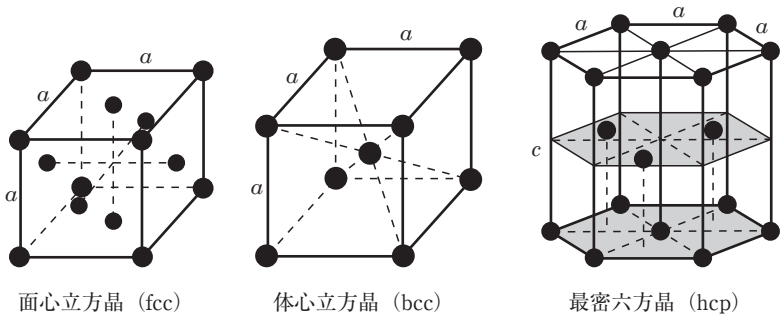


図 1.1　金属の結晶構造

Cu，Ag，Au，Al，Pb，Ni，Pt および γ － Fe などはこの型の金属です。この単位胞の陵の長さ a は面心立方晶の各種の金属によって異なる特定の値となっており，これを格子定数と呼んでいます。a の長さは X 線回折図形から知ることができ，10^{-8}cm（1Å（オングストローム））の数倍程度の値です。体心立方晶の単位胞は，原子が立方体の中心と８個の隅とに存在します。 Mo，W，Nb，α － Fe および δ － Fe などはこの型に属します。最密六方晶の単位胞は，正六角柱を呈しています。これを６個の正三角柱に分けると，その各正三角柱の隅と，一つおきの三角柱の中心に原子が存在している型式になります。Mg，Zn，Cd，Ti などはこの最密六方晶金属に属します。

以上のように，金属結晶の原子配列はそれぞれ特有の型式を有していますが，金属