１．機械材料概要

1.1　材料の分類

機械は様々な材料で作られた部品で構成されている。機械で使われる工業材料を材質によって以下のように分類することができる。

- 金属
  - 鉄鋼
    - 炭素鋼
    - 合金鋼
    - 鋳鉄、その他
  - 非鉄鋼
    - アルミニウム、アルミ合金
    - 銅、銅合金
    - その他
- 非金属
  - 有機材料
    - 樹脂
      - 熱可塑性
      - 熱硬化性
    - ゴム
  - 無機材料
    - セラミックス
    - ガラス、その他

これらの中から、各材料の機械的性質、コストなどを考慮し、最適なものを選定する。

1.1.1　金属材料

工業用の金属材料のうち、主に使われるものとして以下のものがある。なお、ここでの汎用金属とは、その金属を主材料（主要成分）としたものを意味する。

鉄、Fe　：汎用金属。主に炭素と混じり合った鋼として使われる。

アルミニウム、Al：汎用金属。他の金属を混ぜ合わせたアルミ合金として使われる

銅、Cu　：汎用金属。他の金属を混ぜ合わせた銅合金として使われる。

亜鉛、Zn　：銅に添加して黄銅として使われる。汎用金属としても使われる。メッキでも使われる。

ニッケル、Ni　：他の金属に添加する材料として使われる（合金鋼、特殊鋼、白銅）。汎用金属としても使われる。さびにくい、高価。

マグネシウム、Mg　：他の金属（アルミ、銅）に添加する材料として使われる。汎用金属としても使われる。軽量、強度と剛性に優れる。発火しやすい（爆発の恐れあり）、サビやすい、加工しにくい。

チタン、Ti　：汎用金属。軽量、酸化しにくい。

鉛、Pb　：蓄電池、半田、クリスタルガラスなどで使われる。快削を目的として他の金属に添加されることもある。有害物質。

錫、Sn　：銅に添加して青銅として使われる

クロム、Cr　：メッキ、合金鋼などで使われる。六価クロムは有害物質。

カドミウム、Cd　：メッキ、Ni-Cd 電池や光センサ（CdS セル）などで使われる。有害物質。イタイイタイ病の原因。

水銀、Hg　：水銀電池、蛍光灯。水銀灯、温度計、体温計などで使われる。その他、金や塩化ビニル（アセトアルデヒド)、塩化アルカリの製造過程で使われる。水禽の種類として金属水銀、無機水銀、有機水銀（メチル水銀など）があり、有機水銀は有害物質で水俣病の原因。

カドミウム、鉛、水銀、六価クロムは RoHS で有害金属として指定されている（ヨーロッパでは使用できない)。その他、ヒ素やベリリウム、さらにはアルミニウムや銅も量によっては有害となる（アルツハイマーの原因か？　足尾銅山)。

1.2　材料の性質

材料は様々な性質を持っている。材料の物理的性質として密度、融点、外力による変形のしやすさ、熱による変形のしやすさなどがある。外力による変形のしにくさを剛性といい、剛性を示すものとして縦弾性係数がある。同様に熱による変形のしにくさを示すものとして線膨張係数がある。

また、材料の機械的性質として、強度（破断しにくさ)、硬さ（傷のつきにくさ)、じん性（粘り強さ（延性)、もろさ（脆性))、伸び、絞りなどがある。

また、そのほかの性質として、耐摩耗性、耐熱性、耐食性、加工性などがある。

1.3 材料試験

材料の様々な性質を知るものが材料試験である。材料試験により、強度を示す耐力や引張強さ、破断点などを、剛性を示す縦弾性係数を、硬さを示すビッカース硬さなどを測定する。特に、強度と硬さは機械材料を選定するうえで重要な評価項目となる。材料試験として、引張試験、硬さ試験、衝撃試験、疲労試験などがある。

1.3.1 引張試験

機械部品には、力がかかっても容易に変形したり破壊しないことが求められる。材料の強度を調べる試験として引張試験がある。これは材料にゆっくりと引張荷重をかけ、その時の伸びを測定し、この二つの関係を調べる試験である。

実際の引張試験では、材料の大きさの影響を受けないようにするため、材料にかける荷重の代わりに単位面積あたりの力である応力を、同様に、変形の度合いを示す伸びの代わりに単位長さあたりの伸びであるひずみを用いる。

応力　：単位面積あたりの力

$\sigma = F/S$　　[Pa]、[N/m2]、[kgf/mm2]

ひずみ：単位長さあたりの伸び

$\varepsilon = \Delta L/L$　　ひずみの単位はない（無次元数）

応力とひずみ関係を図で示したものを応力－ひずみ曲線といい、この図から材料の様々な

特性を知ることができる。

応力とひずみの関係

変形のしやすさ：剛性（縦弾性係数）

弾性変形の範囲（比例限、弾性限、降伏応力、耐力）

弾性変形領域、塑性変形領域（ぜい性材料、延性材料）

設計上の強度の限界の応力：強度（引張強さ、破断点）

一般的な材料（アルミ合金など）の応力－ひずみ曲線

鋳鉄の応力－ひずみ曲線　　低炭素鋼の応力－ひずみ曲線

a. 比例限度

材料に引張荷重をかけると、あるところまで応力とひずみは比例する。比例する限度点を比例限度といい，応力が比例限度を超えると，ひずみの増加割合は大きくなる。比例限以下では応力とひずみは比例し（フックの法則)、その比例定数を縦弾性係数（ヤング率）という。

$\sigma = E\varepsilon$　　E：縦弾性係数（材質で決まる比例定数）

b. 弾性限度

材料に引張荷重を加えると材料は伸び、除去するともとの寸法に戻る。このような性質を弾性といい､その変形を弾性変形という｡弾性変形が起きる限界の応力を弾性限度という。応力が弾性限度を超えると荷重を取り除いても変形が残り、元の寸法には戻らない。このような性質を塑性といい、その変形を塑性変形という。塑性変形し元の寸法に戻らなくな

ったときのひずみを永久ひずみという。

c. 降伏応力
応力が弾性限度を超えると、応力がほぼ一定のままひずみが増大する現象が現れる材料がある。この現象を降伏といい、この時の応力を降伏応力（降伏点）という。降伏が生じると応力はわずかに減少し、降伏直前のピークの応力を上降伏点、わずかに減少した降伏直後の応力を下降伏点という。軟鋼（低炭素鋼）などにみられる性質で、一般の材料や高炭素鋼などでは降伏点は現れない。

d. 耐力
降伏点がない材料で降伏点の代わりに使われるもので、0.2%の永久ひずみが残る応力を耐力という。機械部品の設計では、降伏応力、もしくは耐力以上の応力が生じると塑性変形するものと考えて設計を行う。

e. 引張強さ
ひずみの増加に対して、応力はある点まで増加してその後は減少する。このときの最大応力のことを引張強さという。機械部品の設計では、引張強さ以上の応力が生じると破断するものと考えて設計を行う。

f. 破断点
材料が破断するときの応力。

1.3.2 硬さ試験
硬さ試験は、傷のつきにくさ（塑性変形のしにくさ）を調べる試験である。金属の硬さ試験では、圧子を一定荷重で材料に押し付け、その時に生じる圧痕（塑性変形量）で硬さを評価する。

1) ビッカース硬さ
ダイヤモンド四角錐圧子を 1～50kgf の決められた試験荷重で試験片面に押し付け、そのときに生じるくぼみの対角線の長さから硬さを求める。
小さな圧子と小さな荷重（0.01～1kgf）で測定するマイクロビッカース硬さもある。

2) ロックウエル硬さ
ダイヤモンド四角錐圧子や球圧子を 50～150kgf の決められた試験荷重で試験片面に押し付け､そのときに生じるくぼみの深さから硬さを求める｡異なる荷重で深さを 2 度測定し、その深さの差から硬さを求める。2 回測定することから、表面状態や接触状態などの影響を受けにくくなる。圧子の種類やかける荷重によって幾つかのスケールに分けられる。

3) ブリネル硬さ
球圧子を 500～3000kgf の決められた試験荷重で試験片面に押し付けたときに生じるくぼ

みの表面積（直径）から硬さを求める。球径 10mm の圧子を使うことが多く、不均一な材料で広い範囲での平均的な硬さを求めるのに適している。

4) ショア硬さ
ハンマをある一定の高さから落とし、その跳ね返りの高さから硬さを求める。ゴムなどの塑性変形しない材料の硬さの評価で使われる。

金属材料の硬さ試験ではビッカース硬さやロックウェル硬さ（C スケール）がよく使われる。

1.3.3 衝撃試験
衝撃試験は、瞬間的に大きな力をかけたときの壊れやすさを調べる試験である。持ち上げたハンマを一気に振り下ろし、試験片切断後の持ち上がったハンマーの位置によって破断に要したエネルギーを測定する。シャルピー衝撃試験機、アイゾット衝撃試験機　（試験片の切り欠きの向きが異なる）がある。

1.3.4 疲労試験
材料に破断に至らない小さな荷重であっても、その荷重を繰り返しかけることによって破断に至ることがある。このような破壊を疲労破壊という。疲労試験は疲労破壊に至る荷重と繰返し数を調べるための試験である。応力振幅がある値以下では疲労破壊しない。この疲労破壊しない応力を疲労限という。縦軸に応力振幅、横軸に繰返し数をとった S－N 曲線で評価される。
掛ける荷重として、引張荷重、曲げ荷重、ねじり荷重、回転曲げ荷重などがあり、それぞれ荷重の方向が一定の片振り、荷重の方向が変わる両振りがある。

S－N 曲線

2. 機械部品の作成

2.1　主な加工方法

機械部品は各種材料から作られる。これらの部品の形を作る方法として以下のものがある

成形加工：鋳造、射出成型など

素材を溶かし、型に流し込んで形をつくる。

塑性加工

母材に力を加えて変形させる。主に以下のものがある。

鍛造加工、プレス加工（せん断加工、曲げ加工、絞り加工）、へら絞り、圧延加工、押出し加工、引抜き加工、転造加工　など

材料によっては力を加えた時にき裂やひびが入ったり、折れたりするものもある（脆性材料）

粉末冶金

金属粉体に結合剤（バインダ）を加えたものをプレス加工で成形し、低温で加熱することで金属粉黛が結合して形を作る

成形加工の中でも、型（主に金型）を使った方法は大量生産に適している

除去加工：切断、切削、研削など、

母材から切削工具や研削砥石などを使って不要な部分を除去する。硬い材料は除去加工が困難で、また、刃物の摩耗も早い。一方、柔らかい材料は、切ったときの切りくずが刃にまとわりついたりする。

接合　　：溶接、接合など

溶接は、二つの部品を部分的に溶かし、つなぎ合わせる。材料によっては溶け合わせた時にひびが入ったりする

接合は、二つの部品の間に溶けた別の材料を介してつなぎ合わせる。

それぞれの材料の特性に合わせて、最適な方法（加工の可不可、コスト、精度、時間など）で形を作る。

2.2 金属材料の熱処理

金属材料を加熱した後に冷却すると、冷却の仕方によってその材料の結晶構造が異なり、その違いによって機械的特性が変化する。このことを熱処理という

熱処理として、焼入れ・焼戻し、焼なまし、焼ならしがある。

焼入れ：材料を加熱炉で高温まで加熱したのち急冷することにより、材料が硬くなる（強度が上がる）。逆にもろくなる。

焼戻し：焼入れ後に行う熱処理で、再度加熱し冷却することにより、材料が粘り強くなる。その一方多少軟らかくなる。

焼なまし：材料を加熱後（処理の種類によって異なる）、炉中で徐冷する。加熱温度により、材料が均一になったり（結晶粒が大きくなる）、内部の力（残留応力）がなくなったりする（完全焼きなまし、応力除去焼きなまし、軟化焼きなまし、球状化焼きなまし）。

焼ならし：材料を高温まで加熱したのち空冷する。材料が製造直後の原料と同じ状態になる。

2.3 金属材料の表面処理

2.3.1 表面硬化

鉄鋼材料の表面を硬化させる方法として、高周波焼入れ、浸炭、窒化等がある。

高周波焼入れ：電気コイルによる電磁誘導により材料表面のみを加熱し、油や水で焼入れする。

浸炭　：表層部に炭素を拡散浸透させて表面を硬化させる。硬化層は 1mm 以上。

窒化　：表層部に窒素を拡散浸透させて表面を硬化させる。処理温度が低いため製品のひずみが少なくなる。硬く耐摩耗性がある。硬化層は 0.1mm 程度。

2.3.2 メッキ

材料の表面に別の金属を付着させるもので、防錆、表面硬化、耐摩耗性、装飾を目的としている。めっきの方法として、電気メッキ、無電解めっき、溶融めっきがある。電気めっきは、金属溶液中に材料を入れ、電圧をかけて溶液中の金属を付着させるもの、無電解めっきはめっきとして付けたい金属を含む溶液中に材料を入れ､その表面で反応を起こし、目的とする金属を化学的に付着させるもの、溶融めっきは溶かした金属の液体中に浸して金属を付着させるものである。

メッキ処理で有害物質である六価クロム、シアン化合物などが使われることが多い。これらのものは環境に悪いため、代替え物質を使うことが多くなってきている。

めっきの種類として、次のものがある。

電気亜鉛メッキ	そのまま使うことはなく、クロメート処理の下地として使用
有色クロメート	亜鉛メッキ後、六価クロムで処理する。メッキ層に六価クロムが残留。環境に悪い。薄金色。安価
光沢クロメート	通称ユニクロメッキ　亜鉛メッキ後、六価クロムで処理する。メッキ層に六価クロムがわずかに残留。環境にはあまり良くない。青銀色。安価
三価クロメート	亜鉛メッキ後、三価クロムで処理。環境対応。やや安価
ニッケルめっき	銅メッキ後、ニッケルでめっき。外観が良い。下地用もある
クロムメッキ	ニッケルめっき後､クロムでめっき｡硬度が高く､外観が良い。メッキ厚が薄いもの（2~4μm）は装飾用、メッキ厚が厚いもの（10μm）は耐摩耗性が良いため工業用で使われる。
無電解ニッケルめっき	ニッケルを含む溶液中に製品を入れ、その表面に金属を析出させる。金属以外でも可能なニッケルめっき。やや高価
四三酸化被膜処理	鉄の表面に化学的に四三酸化被膜を付ける。安価でやや耐食。
アルマイト処理	アルミの表面処理。白色、黒色などがある。電気的に絶縁。
溶融亜鉛メッキ	溶かした亜鉛に浸す。通称ドブメッキ。メッキ厚が厚い。安価で耐食性に優れる。ブリキ。溶融すずメッキはトタン

このほかにも、金メッキ、銅メッキなどがある。

3. 金属材料の性質

3.1 金属の結晶構造

固体は、それを構成する原子が規則正しく並んでいる。原子配列の主なものとして三斜晶系、単斜晶系、斜方晶系、六方晶系、三方晶系、正方晶系、立方晶系の 7 種がある。その中で金属の結晶配列として、立方晶系の中の体心立方格子、面心立方格子、そして立方晶系の六方最密構造(稠密六方格子)がある。

一つの材料において、すべて同じ配列の結晶構造の物を単結晶といい、いくつかの結晶の領域（結晶粒）に別れているものを多結晶という。結晶粒の大きさによって機械的性質も異なる。同じ原子であっても、結晶構造によって木炭とダイヤモンドのように別の物質とみなされるものがある。

4. 鉄鋼材料

4.1　鉄の特性

鉄は原子番号 26 番の元素で、S10C（炭素量 0.1%）の場合、融点は約 1540 ℃ 、比重は 7.8 、引張強さは 310MPa、縦弾性係数は 206 GPa、伸びは 33%、線膨張係数は 12×10^{-6} /K である。降伏点を持ち降伏応力は 205MPa である。実際に純鉄と呼ばれているものは機械材料として使われることはほとんどなく、炭素との合金である鋼が広く使われている。また、強磁性体で磁石につく性質を持つ。

4.2 鉄鋼材料の精錬

鉄鋼材料は、鉄鉱石（酸化鉄＋不純物）、コークス（石炭を蒸し焼きにして硫黄、コールタールなどの不純物を取り除いたもの　炭素）、石灰石を混ぜ合わせたものを高炉(溶鉱炉)で加熱・溶融して銑鉄を取り出し、銑鉄を再度、転炉もしくは電気炉で加熱することに製造される。コークスを使って鉄鋼材料を取り出すので、取り出された鉄鋼には炭素が混じっている。石灰石は、ケイ素、リン、硫黄などの不純物の除去および酸素の除去（還元）のために使われる。

鉄鉱石＋コークス＋石灰石→（高炉（溶鉱炉））→銑鉄＋スラグ（残物質）

銑鉄には、多くの炭素が含まれている（1.7%以上、おおよそ 4～5%)。そのため、もろく、融点は低い(約 1200 度)。また、不純物も多少残っている。

銑鉄＋他の金属＋O2 酸素→（転炉、電気炉）→鋼＋CO2＋不純物

鋼（炭素鋼）は炭素量を約 0.02～2.14%程度で、強く、融点は高い。

製造された鉄鋼材料は鉄や炭素のほかにもいくつかの物質が混じり合っている。複数の物質が均一に混じりあっているものを固溶体といい、鉄鋼材料は鉄と主に炭素が混じり合った合金である。炭素のほかにも Si、Mn、S、P などが混じり合っている（五元素)。それぞれの元素は以下のような影響を及ぼす

C、炭素	強度や硬さが向上する。一方、延性は低下する。
Si、ケイ素	延性、靭性は損なわずに強度が上がる。多すぎるともろくなる。
Mn、マンガン	焼入れ性が向上し、靭性を損なわずに強度を上げる。
P、リン	強度や靭性を低下させる。被削性や耐候性は向上する。
S、硫黄	靭性や溶接性を低下させる。被削性は向上する。

鉄鋼材料は特に炭素量によって性質が異なる。

炭素量	少ない	多い
強度	弱い	強い
硬さ	軟らかい	硬い
溶接性	良い（可能）	悪い（困難）
焼入れ性	不可	可
融点	高い（約 1500℃）	低い（約 1200℃）
耐食性	悪い（さびやすい）	やや悪い（多少錆びる）

4.3　鉄鋼材料の種類

鉄鋼材料は鉄と炭素が交じり合った合金で、炭素量によって　0.02%以下の純鉄、0.02～2.14%の炭素鋼、2.14%以上の鋳鉄に分けられる。

a）純鉄　　鉄（炭素 0.02%以下）

鉄鋼に含まれれる炭素を極力減らしたもの。強度が低く、軟らかい。また強い磁性を持っている（強磁性体、磁石に付く）。そのため、純鉄は機械材料としてはほとんど使われず、磁気を使う電気材料として使われる程度である。

常温では鉄原子の配列が体心立方格子（α鉄）、温度が上がると面心立方格子（γ鉄）、さらに温度が上がると体心立方格子（δ鉄）になる。常温ではα鉄と炭素が混じりあっており（α固溶体、炭素量 0.02%以下）、このα鉄をフェライトという。

b）炭素鋼　　鉄と炭素（0.02～2.14%）

鉄に含まれれる炭素量が 0.02～2.14%のもの。機械材料とし最も多く使われる。

常温では 0.02%以下の炭素を固溶したフェライト（α固溶体、α鉄、（炭素量 0.02%以下））と、セメンタイト（炭素量 6.67%）が混在している。炭素量が増えるにつれてセメンタイトの割合が多くなってくる。実際には、フェライトとセメンタイトが層状になったパーライト（炭素量 0.77%）として現れる。炭素量 0.77%未満ではフェライトとパーライトが現れる。このような鋼を亜共析鋼という。炭素量が増えるについてパーライトの割合が多くなり、炭素量 0.77%では全てパーライトになる。この鋼を共析鋼という。さらに炭素量が増えるとパーライトとセメンタイトが現れる。このような鋼を過共析鋼という。

＊セメンタイト（Fe_3C　化学的に Fe と C が結合しているのではなく、Fe の間に C が混ざりこんでいる）の結晶構造は斜方晶で、金属ではなくセラミックスの一種である。炭素量は 6.67%までで、とても硬くてもろいという特徴を持っている。

温度が上がるとフェライトとセメンタイトは炭素を固溶した面心立方格子のオーステナイト（γ固溶体、γ鉄＋炭素）になる。γ鉄は面心立方格子で、炭素を 2.14%まで固溶することができる。

2.14%までの炭素を固溶したオーステナイト（γ鉄）は、温度が下がると炭素をほとんど含まないフェライト（α鉄）と、鉄と炭素が混じり合ったセメンタイトになる。亜共析鋼（炭素量が 0.77%C 未満）の場合、先にフェライトが析出され、その周囲は炭素量が多くなり、セメンタイト（パーライト）が析出される。逆に過共析鋼（炭素量が 0.77%C より多い）場合、先にセメンタイトが析出され、その周囲は炭素量が少なくなり、フェライト（パーライト）が析出される。

炭素鋼を炭素量で分類することもある

低炭素鋼　炭素量 0.02～0.25%　軟らかく、強度はあまり高くない。切削性よく、溶接は可能、焼入れは不可能。用途として構造用や焼入れをしない機械部品。

中炭素鋼　炭素量 0.25～0.6%　硬く、高強度。溶接は困難、焼入れ可能。用途として一般機械部品。

高炭素鋼　炭素量 0.6～2.14％ 硬くてもろい。工具鋼に分類される。用途として、熱処理を施し（焼入れ・焼き戻し）工具や金型など。

c) 鋳鉄　　鉄と炭素（2.14～6.67%）

鉄に含まれれる炭素量が 2.14%以上のもの。温度を上げても、全てがオーステナイト固溶体（γ 鉄）となることはなく、融けた鉄とオーステナイトが混じった状態になる。融点が約 1200℃と低く、鋳造で使われる。硬くてもろい。液体の状態から早く冷却すると、パーライトとセメンタイトが析出される。このような鋳鉄を白鋳鉄という。白鋳鉄はもろいためあまり使われない。炭素量を多くするにつれてパーライトの量が少なくなり、6.67%で全てセメンタイトになる。セメンタイトは炭素を 6.67%までしか含めないので、6.67%以上では炭素とセメンタイトが析出される。なお、炭素は 6.67%以下でも冷却速度が遅いと現れるようになる。またケイ素を添加しても現れるようになる。実際には意図的に炭素を黒鉛（黒鉛、100%C）として析出させたものが使われる。これによりもろさや強度が改善される。

d) 合金鋼（特殊鋼）　　鋼（鉄＋炭素）とその他の金属

炭素鋼に他の元素を添加したもので、機械的性質が改善される。特殊鋼ともいわれる。合金元素として、マンガン、クロムなどがある。

マンガン Mn　：粘さを損なわず、強さと硬さを増す。
クロム Cr　　：磨耗に強くなる。錆びにくくなる。
モリブデン Mo：粘さが増す。高温下での強さ・硬さが増す。
ニッケル Ni　：粘さと強さが増し、Cr と併用で錆びにくくなる。耐熱性も向上する。高価。
バナジウム V　：強さと硬さを増し、磨耗しにくくする。
タングステン W：Mo 同様の作用がある。

（コバルト Co　：Ni と似た作用がある。
銅 Cu　　：錆びにくくなる。
ボロン B　　：ごく少量で硬さを増す。
チタン Ti　　：表面の硬さを増し、錆にも強くする。）

4.4. 鋼の状態図

鉄と炭素の混合物が、その割合および温度に対してどのような状態なのかを表した図。
鉄、炭素の状態として以下のものがある。

フェライト　　：体心立方格子の鉄で、炭素をほとんど含まない（0.02%C 以下）　軟らかい　α 鉄
セメンタイト　：鉄と炭素の金属間化合物（Max6.67%C、）。　セラミックスに分類され、非常に硬いてもろい
パーライト　　：フェライトとセメンタイトが層状になったもの
オーステナイト：高温状態で鉄が面心立方格子になり、最大 2.14%の炭素を固溶したもの　γ 鉄

マルテンサイト：体心立方格子の鉄に炭素が過剰に入ったもの。もっとも硬い
トルースタイト：マルテンサイトを 400~500℃まで再加熱してから急冷　マルテンサイトよりも少し軟らかくなるが、靭性向上
ソルバイト　　：マルテンサイトを 500~650℃まで再加熱してから急冷　トルースタイトよりも少し軟らかくなるが、靭性はさらに向上

＊マルテンサイトについて
面心立方格子のオーステナイトに炭素が侵入し、急冷して体心に戻る際、炭素が抜けきらず、内部に炭素が過剰に残った状態で体心立方格子になった構造。焼入れした炭素鋼の結晶構造。鉄鋼材料の中で最も硬い。

変態点
鋼の温度を変化させた時、結晶構造や磁気的な性質などが変わることを変態といい、このときの温度を変態点という。

A1 変態点　フェライトやセメンタイトがオーステナイトに変化し始める点（もしくは、この反対）　炭素量に関係なく 727℃
A3 変態点　亜共析鋼で、フェライトやセメンタイト（フェライトとパーライト）が全てオーステナイトに変化する点(もしくは､この反対)　純鉄で 910℃、共析鋼で 727℃
Acm 変態点　過共析鋼で、フェライトやセメンタイト（セメンライトとパーライト）が全てオーステナイトに変化する点（もしくは、この反対）　共析鋼で 727℃、炭素量 2.14%で 1130℃

鉄鋼材料の状態遷移図

4.5 鉄鋼材料の熱処理
炭素量の多い鋼では、材料に熱処理をすると硬さや強さが改善される。
1) 焼入れ
高温まで加熱してオーステナイトにしたのち、水や油に入れて急冷してマルテンサイト組織にする。これにより硬さを増すことができる。一方、もろくなる。

亜共析鋼の場合 A3 変態点以上まで、過共析鋼の場合 Acm 変態点以上まで加熱したのち、急冷する。過共析鋼では、実際には焼割れなどの問題が生じることから、一般的には A1 変態点まで加熱する。

2) 焼戻し

焼入れ後数時間以内に、再度 A1 変態点以下まで加熱し冷却する。一般的に焼もどしにより降伏応力、引張強さ、硬さは低下し、伸び、絞り、衝撃強さが上昇する。また、焼入れによる残留応力は減少する。

350 度以下（150～200 度程度）まで再加熱し空冷する低温焼き戻しと、350 度以上まで再加熱し急冷する高温焼き戻しがある。また、高温焼き戻しには、400 度まで加熱し急冷する焼き戻しと、550～600 度まで加熱し急冷する焼き戻しがある。前者は、マルテンサイトがトルースタイトになり、多少じん性が向上し、やや軟らかくなる。後者は、マルテンサイトがソルバイトになり、じん性がさらに向上するが、多少軟らかくなる。

3) 焼ならし

オーステナイトになるまで加熱後（A3 変態点、Acm 変態点以上）、空気中でゆっくり冷却する。これにより、内部組織が均一化し、引張強さ、降伏応力などの機械的性質が製造直後の状態に戻る。

一般的な焼ならしは、亜共析鋼では A3 変態点以上まで、過共析鋼では A1 変態点以上まで加熱する。

4) 焼なまし

500～800 度まで加熱後、炉の中で徐冷する。加熱温度によって、600℃前後の応力除去焼なまし、A1 変態点以下の球状化焼なまし、A3 変態点もしくは Acm 変態点以上の完全焼なましなどがある。

炭素量の多い鋼では、材料に焼入れ、焼き戻しをすることにより、硬さや強さを調節することができる。このことを調質という。

5. 炭素鋼

5.1 一般鋼

5.1.1 一般構造用炭素鋼　（SS***、SS 材　数値は引張り強さ）

強度（引張強さ）だけで分類。炭素量を規定しないが、一般的に低炭素鋼（0.15～0.2%C）。鋼板、平鋼、棒鋼、形鋼にした一般的な安価な鉄鋼。ただの「鉄」。引張強さは SS400 で 400MPa。炭素量が少ないので、軟らかい、加工性良好、溶接性良い、錆びやすい、焼入れ不可。橋や鉄骨などの一般構造物、一般機械部品などで使われる。板材では t6 以上

SS400、（SGD400　SS400 相当の丸棒）

＊以前は歩留まりが良い（品質の悪い）リムド鋼で作られていたが、今は連続鋳造で生産されるため、品質の良いキルド鋼と同等となる。

5.1.2 機械構造用炭素鋼　（S**C、SC 材　数値は炭素量　）

炭素量によって分類。S10C～S58C。炭素量の違いで性質が異なり、低炭素鋼はねじや座金など、中炭素鋼以上は一般的な機械部品で使われる。引張強さは S20C で 400MPa 以上、S45C で 570MPa 以上、S50C で 630MPa 以上、また伸びは S20C で 28%以上、S45C で 20%以上となっている。

S45C（棒材）、S50C（板材、ブロック材）、S55C

5.1.3 機械構造用合金鋼（S##***）

炭素鋼に別の合金元素を添加して焼入れ性を良くした材料。熱処理することにより機械的性質（硬さ、強さ、じん性、焼入れ性など）が向上する。添加する元素として、クロム、マンガン、モリブデン、ニッケルなどで、クロム鋼、マンガン鋼、クロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼などがある。基本的に熱処理（焼入れ、焼戻し）をして使う。3 桁の数値で表し、末 2 桁は炭素量。添加合金が少ないほうが安価。

SCM435、SCM440（クロムモリブデン鋼）　安価で強度が強い

引張強さ 930MPa 以上（焼入れ後）

SCr***（クロム鋼）、SMn***（マンガン鋼）、SNC***（ニッケルクロム鋼）、SNCM***（ニッケルクロムモリブデン鋼）

5.2 工具鋼

5.2.1 炭素工具鋼鋼材（SK**　数値は炭素量）

炭素量 0.6～1.5%C の炭素鋼。炭素量 1.5%C 以上は引張強さは低下する（約 1.4%C 程度がピーク）。炭素量によって SK60～SK140。焼入れ硬度が高いので硬く、耐摩摩耗性に優れる。熱による硬化軟化が起こりやすい。刃物、ドリル、プレス型、冶工具などで使用。

SK85（旧 SK5）、SK105（旧 SK3）

5.2.2 合金工具鋼鋼材（SK$***）

炭素工具鋼にタングステン、クロム、モリブデン、バナジウムなどを添加。耐摩耗性、耐衝撃性、耐熱性、焼入れによる耐変形量、などが向上。切削工具用、耐衝撃工具用、冷間金型用、熱間金型用がある。切削工具、耐衝撃工具（たがね、ポンチなど）、ゲージ、金型、

ガイドレールなどで使われる。

（SKS2）、SKS3、（SKS4）、SKS93、SKD2、SKD11、（SKD61）

5.2.3 高速度工具鋼鋼材（ハイス）　（SKH**）

炭素工具鋼にタングステン、クロム、モリブデン、バナジウムなどを比較的多量に添加。耐摩耗性と靭性が向上。切削工具、ドリル、プレス型、冶工具などで使われる。

SKH51、SKH55

5.3 特殊鋼

5.3.1 ステンレス鋼　SUS　クロムを 10.5%以上含む特殊鋼

表面に透明の酸化皮膜ができるため、さびにくい（さびない）。削ること（切削加工）がやや困難である。

a) マルテンサイト系

クロム量概ね 11~18%、炭素量 0.4%未満。焼入で硬化させることができる。溶接に適しない。耐磨耗性に優れている。耐食性は比較的良い（小さな錆が生じる程度）。磁性有り。13%クロム鋼が代表的。用途として、刃物、一般機械部品、軸受、ゲージ、ポンプ、タービン翼など

SUS410（13 クロム）、SUS416（快削）、SUS420、SUS440 など

b) フェライト系

クロム量概ね 11~24%、炭素量 0.12%未満。安価（炭素用よりやや高価）で、耐食性は比較的良い（さびにくいという程度）。磁性有り。溶接可能。18 クロム鋼が代表的。用途として、一般家庭用器具、建築内装材料、厨房器具など。

SUS430（18 クロム）

c) オーステナイト系

耐食性に優れ、マルテンサイト系やフェライト系では腐食する硫酸や塩酸に対しても腐食しない。錆がほとんどでない。溶接性に優れている。加工しにくい。非磁性で種類が多い。18%クロム 8%ニッケル鋼がその代表的。一般的に広く使われ、機械部品、半導体装置、化学工業設備、建築材料、シャフトなど

SUS304　18%Cr‐8%Ni

ステンレスの定番。切削性が良くない。

SUS303　18%Cr‐8%Ni　+　リン（P）、硫黄（S）

SUS304 に成分添加より切削性を向上。耐食性は SUS304 より劣る。

SUS316　18%Cr‐10～14%Ni　2%Mo

耐食性の良いステンレス鋼。ニッケルの量を増やし（約 12%)、耐食性のよい Mo を添加したもの。海水をはじめ各種媒質に優れた耐食性がある。用途として、化学薬品用、各種化学工業、船舶電気関係など

SCS13　SUS304 相当のステンレス鋳鋼品

5.3.2 軸受鋼　SUJ

ベアリング鋼。切削性、焼入れ性、耐久性、耐摩耗性に優れている。用途として、軸受、ローラ、ゲージ、ガイドレールなど

SUJ2

5.3.3 ばね鋼　SUP（SUP3～SUP11）

引張強さが高く、じん性にすぐれている。特に疲労強さが大きい。用途として、板ばね、コイルばね、トーションバーなど

5.3.4 耐熱鋼　SUH（SUH1、SUH3、SUH5・・・）

高温での強度や耐酸化性に優れる。用途としてエンジンバルブ、タービンブレードなど

5.3.5 快削鋼（SUM）

快削性元素（S、Pb など）を添加したもの。快削が目的で機械的性質は保証されていない。用途として、ボルト、ナット、一般機械部品など

5.4 鋼板（板材）

5.4.1　冷間圧延鋼板（SPC*、SPC 材）

一般的な冷間圧延の鋼板。厚さの精度は良い。表面がきれい。炭素量は 0.15%C 以下と少なく、溶接性や、切断、曲げ、絞り加工性良好。鋼製家具、弱電、自動車などのカバー、ケースなどで使われる。

SPCC（一般用）、SPCD（絞り加工用）、SPCE（深絞り加工用）

5.4.2 熱間圧延鋼板（SPH*）

一般的な熱間圧延の鋼板。引張強さは 270MPa。厚さの精度は比較的良い。t1.6 以上。熱間なので表面が黒皮。ただの「鉄板」。酸洗いで黒皮を除去したものもある。酸洗いしたものはさびやすいので、塗装やメッキを施して使用する。

SPHC（一般用）、SPHC-P（酸洗い）

5.4.3　電気亜鉛メッキ鋼板（SEC*）

さびにやや強い一般的な鋼板。SPC*に電気亜鉛メッキを施したもの。水分の少ないところで、そのまま使用される。家電製品や屋内用電気機器内部の板で使われれる。

SECC（ボンデ鋼（商品名））

5.4.4　溶融亜鉛メッキ鋼板（SGCC、トタン）

冷間圧延鋼板に溶融亜鉛メッキを施したもので、建材など屋外で使われる。

5.4.5　電気メッキ鋼板（SPTE、ブリキ）

冷間圧延鋼板に電気すずメッキを施したもので、 飲料や塗料の容器などで使われる。

5.5　その他

5.5.1 溶接構造用高張力鋼材（SM***）

一般構造用鋼材よりも強度を向上させた鋼材（引張り強さ 500MPa 以上）。

マンガンやシリコン等の元素を添加。軽量化が可能。橋梁、ガスタンク、石油タンク、自動車のボディなどで使われる。

5.5.2 高張力鋼

規格化されていないが、概ね引張強さが 500MPa 以上を高張力鋼という。ハイテンション鋼（ハイテン鋼）ともいわれる。各社独自で開発しており、1000MPa 以上のものもある。自動車の鋼板などで使われる。

5.5.3　鋳鋼

融点の高い炭素鋼を溶融し、硬し流し込んで生産する。切削加工や塑性加工が困難な部品の製造に使われる。炭素とケイ素、マンガンだけを加えた炭素鋼鋳鋼と、他の元素も加えた合金鋼鋳鋼がある。

SC360 など

6. 鋳鉄、鋳鋼

6.1　鋳鉄

鋳鉄とは、炭素を 2.1%以上含み、炭素が黒鉛として析出した鉄の合金。炭素を含むことで融点が下がり、純鉄の融点が 1530℃に対して、鋳鉄の融点は 1200℃程度になる。そのため、鋳鉄は溶かした状態で型（砂型）に流し込んで形作ることができる（鋳造）。
鋳鉄には、炭素の他にケイ素（Si）、マンガン（Mn）、リン（P）、硫黄（S）が含まれており、これらの添加成分の比率によって特性が変わる。ケイ素を添加することによって炭素が黒鉛として析出する。黒鉛が析出することにより、強度を増すことができ、黒鉛がなければ硬くてもろいセメンタイトが多くなる（白鋳鉄）。

析出する黒鉛の量や形状よって性質が変化する。析出する黒鉛は Si や Mg などの添加する物質、高温からの冷却速度などのよって変化する。これらを適切に制御するよとにより必要となる鋳鉄を作ることができる。

片状黒鉛鋳鉄（ねずみ鋳鉄）　一般的な鋳鉄（ねずみ色）。黒鉛の形状が先端が鋭利な片状となって析出される。

球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）　黒鉛の形状を球状にすることにより、強度が上がる。

可鍛鋳鉄　白鋳鉄に熱処理を施して黒鉛を析出させることによって、強度やじん性（粘り強さ）が向上する。

鋳鉄の機械的性質として、

①C、Si の含有量が低いほど，引張強さは大きく硬い
②黒鉛が減摩剤として作用し，組織のすき間に潤滑油がたまるので，耐摩耗性に優れる
③伸び・衝撃値は小さい
④振動を吸収する減衰能に優れ，工作機械の本体に使われる

片状黒鉛鋳鉄（ねずみ鋳鉄）　FC***　数値は引張強さ

炭素の大部分が先端が鋭利な片状黒鉛として析出する鋳鉄。安価なので一般機械用材料に使用される。鋳造性、切削性、耐磨耗性。振動吸収性（減衰性）、耐食性などに優れる。早く冷却すると、黒鉛が析出せず、白鋳鉄となる。用途として、マンホールのふた工作機械ベット、エンジン部品、歯車など

FC200、FC250、FC300

球状黒鉛鋳鉄　FCD***　　数値は引張強さ

炭素の大部分が鋭利な先端がない球状黒鉛として析出する鋳鉄。組織配列が均一になっているため、強度が高く、衝撃に強い。めっきもがかかりやすい。ダクタイル鋳鉄ともいう。用途として、鉄道部品、自動車部品、水道管、軸受など

FCD400、FCD500、FCD600

他に

黒心可鍛鋳鉄(FCMB 材)

ねずみ鋳鉄と鋳鋼の中間材料，熱処理により延性をもたせている

FCMB270,310,340,360(数字は必要引張強さ)

パーライト可鍛鋳鉄(FCMP 材)

黒心可鍛鋳鉄の黒鉛化を完全におこなわず，途中で熱処理方法を変え，パーライトを残留させ，引張強さを 440~690[N/mm^2]以上にしたもの

FCMP440~690

白心可鍛鋳鉄(FCMW 材)

引張強さ 330~540[N/mm^2]以上

FCMW330,370,FCMWP440,490.540

7. アルミニウム、アルミニウム合金

7.1　アルミニウムの特性

アルミニウムは原子番号13の元素で、融点は約660℃、比重は2.7、引張強さは約60MPa、耐力は約 30MPa、縦弾性係数は約 70GPa、線膨張係数は 2.4×10^{-6}/K である。代表的な軽金属で、熱伝導性・導電率も銅についで高く、耐食性、展延性、加工性に優れる。非磁性。酸素との結合力が強く、空気中で表面に薄い（1nm 程度）透明の酸化被膜を作るため腐食しにくい。

7.2　アルミニウムの精錬

ボーキサイトに化学的処理を施すことによってアルミナ(Al_2O_3)が作られ(バイヤー法)、それをさらに電気分解することによってアルミニウムが作られる（ホール・エルー法)。ホール･エルー法によるアルミナからアルミニウムを作る工程では多量の電気が必要となる。

アルミニウムのインゴットの溶融や、アルミスクラップの再溶融には、電気炉が使われる。なお、この時の電力量はアルミナからアルミニウムを精製するときの電力量の 3%程度で済むことから、現在の日本では、ボーキサイトからアルミニウムを生産することはなく、アルミスクラップのリサイクル（約 50%）とアルミニウムインゴット（地金、塊）の輸入（約 50%）で賄っている。

7.3　アルミニウムの特徴

アルミニウム合金は、調質と呼ばれる処理によって機械的特性を調整する。調質の種類として、熱処理（焼入れ、焼きなましなど)、加工硬化、溶体化処理、時効処理、人工時効硬化処理など、およびこれらの組み合せがある。製造のままのものを F、焼きなましをしたものを O、加工硬化させたものを H、溶体化処理をしたものを W、熱処理を施したものT などの記号で表す。

アルミニウムの表面処理としてアルマイト処理（陽極酸化処理：白色、黒色など）がある。この処理は電解質溶液の中に製品を入れて電流を流すことによってアルミニウム表面に陽極酸化皮膜を作るものである。これにより、耐食性・耐摩耗性の向上、装飾、電気絶縁などの効果がある。

7.4　アルミニウムの分類

アルミニウムに Cu、Si、Mg などを添加し、アルミニウム合金を作る。強度、切削性、耐食性、熱処理性、溶接性、流動性（鋳物）などが変わる。Cu を添加すると強度が増すが、耐食性は悪くなる。Mg を添加すると強度は増すが、流動性は悪くなる。Si を添加すると流動性が良くなる（鋳物）が、切削性は悪くなる。

用途によって展伸用と鋳造用に分けられ、展伸用の方が成分比率が厳密である。

7.4.1　展伸用アルミニウム

展伸用　A****

添加する元素によって、A1000 系、A2000 系、A3000 系、A4000 系、A5000 系、A6000 系、A7000 系に分けられる。2000 系、6000 系、7000 系が熱処理合金（熱処理可能）で、それ以外は熱処理不可能。機械部品として、A5000 系、A2000 系、A6000 系、A7000 系が良く使われる。

1) 純アルミ（A1000 系）

高純度アルミニウム。耐食性・溶接性に優れるが強度が低い。陽極酸化処理(アルマイト処理)をすると光沢がよくなる

A1050

99.5%以上の純アルミ。加工性、耐食性、溶接性などに優れているが、強度は低い（引張強さ 78MPa）。

用途：家庭用品、電気機器、銘板、装飾品、熱交換器、フィン、導電材

その他、A1070、A1100、など

2) Al-Mg 系合金（A5000 系）

耐食性に優れ、マグネシウムの増加に従い強度が高くなる。

A5052

強度は 260MPa（引張強さ）で、耐食性、加工性が良い。非熱処理合金。一般的な工作に一番向いている。疲労性に優れており、耐海水性あり。おもに板材で使用。

用途：一般機械材料、一般板金、軽量切削部品。一般板金・アルミ船舶・車両・建築材、事務機器、カメラ部品など

A5056

耐食性に優れ、切削による表面仕上りが良い。アルマイト処理による染色性が良い。

用途：軽量切削部品、事務機器、光学機器部品、通信機器部品・ファスナーなど

3) Al-Cu 系合金（A2000 系）

銅材に匹敵する強度がある。鍛造性・切削性はよいが、耐食性が劣り、溶接性もよくない。

A2017

一般的にジェラルミンと呼ばれ、硬くて強度が高い(引張強さ 425MPa)。耐食性は良くない。鍛造することも可能。曲げ加工は不可。

用途：航空機、自動車、二輪車部品、現金輸送ケースなど

その他、A2024（超ジュラルミン）

4) Al-Zn-Cu 系合金（A7000 系）

アルミニウム合金の中で最も高い強度を有する。溶接性・耐食性に劣る。

A7075

超々ジュラルミンと呼ばれ､アルミ合金の中で最強の強度を持つ(引張強さ 570MPa)。耐食性は劣る。応用腐食割れが生じやすく、耐久性はあまり良くない。

用途：航空機材、機械、スポーツ用品、治具、金型

その他、A7050

5) Al-Mg-Si 系合金（A6000 系）
耐食性と強度が比較的よく，焼入れ・焼もどしの熱処理により強度を出す
A6063
代表的な押出用合金。押出性に優れ、断面が複雑な形状も可能。耐食性、表面処理も良好。高温加工（押出）後の冷却で焼入れ効果が得やすい。
用途：アルミ建材、電化製品、家具、日用品、配管、レール、サッシ・建築材・ガードレール・車両・家具・電化製品・装飾品など
その他、A6061

よく使われる展伸用アルミ材とその比較

	強度	熱処理	溶接性	耐食性	切削性
A1050	弱い	不可	良い	良い	悪い
A5052	そこそこ	不可	良い	良い	良い
A2017	強い	可	悪い	悪い	良い
A7075	最強い	可	悪い	悪い	良い
A6063	そこそこ	可	悪い	良い	良くない

7.4.2　鋳造用アルミニウム
鋳造用アルミニウムには、鋳物用（AC**)、とダイカスト用（ADC**）がある。鋳造性を良くするため、Si が添加されるものが多い。融点が低いため、砂型鋳造のみならず、溶融したアルミを金型に圧力をかけて注入するダイカストでも使われる。

a)　鋳造用アルミニウム　　AC**　（AC2A、AC3A、AC4A、AC7A など）
鋳造に適さないアルミニウムに Si を添加することにより鋳造性が向上する。Si、Cu、Mg などを添加したもので、砂型や金型で鋳造する。展伸用に比べて強度は低い。
大きく Al-Si 系合金（Al-Si 系、Al-Si-Mg 系、Al-Si-Cu 系、Al-Si-Cu-Mg 系、Al-Si-Cu-Ni-Mg 系）、Al-Cu 系合金（Al-Cu-Mg 系、Al-Cu-Si 系、Al-Cu-Ni-Mg 系）、Al-Mg 系合金に分けられる。よく使われるものとして AC2B：22%、AC4B20%、AC4CH：17%、AC4C：16%、AC8A：10%、AC7A がある。

1) Al-Si 系　　AC3A　他
シルミンと呼ばれる。12～14%Si 合金で、鋳造性、耐食性が優れているが、 耐力が低く、切削性は良くない。用途は薄肉品に限られており、ケース類、カバー類など
引張強さ：170MPa、縦弾性係数：77GPa

2) Al-Si-Mg 系　　AC4C、AC4CH　他
改良型シルミン（γシルミン）と呼ばれる。シルミンの Si を減らし Mg を添加することによって、強度を向上させたもの。熱処理効果が大きく、機械的性質に優れている。
AC4A は代表的なもので、ブレーキドラム、ギヤボックスなどで使われる。

AC4C は高温強さが良く溶接も可能。エンジン部品やシリンダーヘッドなどで使われる。AC4H は不純物を極力抑えた高純度合金で、伸び、耐食性、耐熱性も優れる。自動用ホイールで使われる。

3) Al-Si-Cu 系　　AC4B　他
鋳造性、切削性が良い。熱処理可能で、強度が上がるが伸びは下がる。耐食性は良くない。クランクケース・シリンダヘッド・マニホールドなどの自動車用部品、航空機用電装部品などで使われる。

4) Al-Si-Cu-Ni-Mg 系　　AC8A　他
ローエックスと呼ばれる金型鋳造用で、強度および耐熱性が優れ、熱膨張係数が小さい。自動車用ピストン、プーリー、軸受などで使われる。

5) Al-Cu-Si 系　　AC2A、AC2B　他
ラウタルと呼ばれる平均的な鋳造用アルミ。銅を添加することにより強度が上がり、さらに Si を添加することにより鋳造性が良くなる。引張強さは高いが、伸びが小さい。マニホールド、ポンプボディ、シリンダーヘッド、自動車用足回り部品、架線用部品などで使われる。

6) Al-Mg 系　　AC7A　他
ヒドロナリウムと呼ばれる。非熱処理型合金。靭性が高いため、衝撃荷重がかかると、折れずに変形する。耐食性に優れている。鋳造性は良くない。航空機や船舶部品、架線金具などで使われる

b)　ダイカスト用アルミ合金　　ADC**
金型に溶融したアルミを高圧で流し込んで成型する。金型で生産するため表面がきれいで量産性が良い。

1) Al-Si-Cu 系　　ADC12
ダイカスト用アルミの中でも生産性が高く、湯流れ性、切削性、機械的性質、全てにおいて高いレベルでバランスが良い。アルミダイカストの生産量 90%以上。自動車用のミッションケースなど各種部品、産業機械用部品、光学部品、家庭用器具など広範囲。耐食性があまり高くない。引張強さ：310Mpa、縦弾性係数 71MPa。

2) Al-Mg 系　　ADC5
ダイカスト用アルミの中で最も耐食性に優れている。また、耐海水性にも優れる。伸びや衝撃にも優れているので、強度が必要な時に使用する。鋳造性が低いため、複雑な形状の鋳造には向いていない。

8. 銅及び銅合金

8.1　銅の特性

銅は原子番号 29 番の元素で、融点は約 1083℃ 、比重は 9.0、引張強さは約 230MPa、耐力は 200MPa、縦弾性係数は 110 GPa 、線膨張係数は 16.2×10^{-6} /K である。他金属との融合性に富んでおり亜鉛、錫、ニッケルなどと容易に融合し、いろいろな合金をつくる。

銅及び銅合金は、電気伝導率、および熱伝導率が良好で、適度な強度がある。耐食性、耐摩耗性、耐圧性も一般に優れている。伸延性、圧延性にすぐれているため、線、条および板などの各種加工にも適している。また、外観が綺麗であり、殺菌性もあるため衛生上も優れている。

8.2　銅の精錬

黄銅鉱（CuFeS2）が含まれた銅鉱石（銅 3%程度）を粉砕して、水槽に入れて浮遊選鉱して銅が多く含まれる鉱石（銅約 30%）を取り出す。これと珪石（SiO2）、酸素を自溶炉に入れると、銅と酸素が反応し、自らの発熱によりマット（Cu2S・FeS、銅 60%）とスラグ（不純物）に分離する。マットを転炉に入れて酸素を吹き込むことによって、粗銅（銅 99%）を作る。粗銅を精製炉に入れてブタンガスを還元剤として吹き込むことによって酸素が除去され、銅（99.5%）を作る。銅 99%以上を純銅という。

8.3　銅および銅合金の種類

銅は純銅（99%以上）の他に、錫や亜鉛、鉛、アルミなどの別の金属などと混ぜ合わせた銅合金がある。用途によって展伸用と鋳造用があり、展伸用は伸銅品とも呼ばれる。
銅・銅合金は種類によって名前が付けられ、その種類に応じて JIS 記号が付けられる。そのため JIS 記号で呼ばれるより名称で呼ばれることが多い。また JIS 記号も新 JIS 記号と旧 JIS 記号があり、今は両方が混在している状態である。新 JIS では展伸用は C****と、鋳造用は CAC***と番号が付けらている。JIS で規格化されていない銅合金も多く使われている。

銅・銅合金は熱処理など様々な処理がなされる。この処理を調質と言い、調質によって強度などの性質が異なる。製造のままのものを F、焼きなましをしたもの（最も軟らかい）を O、熱処理を施して硬くしたものを順番に 1/2H、H、EH、SH などの記号で表す。

8.3.1　伸銅品（展伸用銅）の種類

ここでは名称、および記号（新 JIS 記号、旧 JIS 記号など）で分類する。

1）純銅

純度 99.9%以上の銅。電気・熱の伝導性、展延性・絞り加工性に優れ、溶接性・耐食性・耐候性がよい。

無酸素銅　C1020

銅 99.96%以上の金属。還元性雰囲気中で高温に加熱しても水素ぜい化を起こすおそれがない。

用途：電気用、化学工業用など。

タフピッチ銅　C1100

銅 99.90%以上の金属。酸化銅の状態で酸素を 0.02～0.05%含む。還元性雰囲気中で高温加熱すると水素ぜい化を起こす場合がある。

用途：電気用、蒸気がま、建築用、化学工業用、ガスケット、器物など。

2）高銅合金

純度 99%以上の銅に別の金属を添加したもの。各種の特性が向上する。

ベリリウム銅　C1720

ベリリウム銅 25（C1720）やベリリウム銅 50（C17510）があり、純銅の中で最も強度が強く（C1720-O で 500MPa 程度）、硬い。火花が出ないため、防爆工具の材料としても使わる。ベリリウムには毒性がある。

テルル銅 C14500

快削。テルルには毒性がある

クロム銅　Z3234

クロムを 0.4～1.2％添加。導電性、熱伝導性、耐熱性、耐食性に優れる。

3）黄銅

銅と亜鉛（20～45%）の合金で適度な強度、展延性を持つ。真ちゅう（真鍮、真中）、ブラスとも呼ばれる。亜鉛の量が 20%未満のものは丹銅に分類される。亜鉛の割合が多くなるにつれて赤みが薄くなり、強度や硬さは増すが逆に脆くなるため、45%以上は使われない。切削性、展性に優れており、冷間加工でも使用される。用途は広い。

六四黄銅　C2801（銅が約 60%、亜鉛が約 40%）

黄金色に近い黄色を示す。 強度が強く（C2801-O で引張強さ 328MPa 以上）展延性がある。

用途：摺動部品、配線器具、曲げなどの板金加工用、 一般板金用・ネームプレート計器版

七三黄銅　C2600（銅が約 70%、亜鉛が約 30%　イエローブラスとも言う）

黄銅の中で最大の伸長性を持っており、深絞りに最適。展延性・めっき性も良い。

用途：時計部品、電球口金、薬きょう、スナップボタン、カメラ部品、魔法瓶の内側、端子コネクター、配線器具、端子

高力黄銅　C6782

六四黄銅にマンガン、アルミ、鉄を添加した材料。強度が高く、熱間鍛造性、耐食性に優れる。引張強さ 400MPa 以上

快削黄銅　C3605、C3713

鉛やカドミウムを加え切削性を良くした材料。カドミウムや鉛は有毒であるため、これらを添加しない快削黄銅もある（カドミレス：C3604、ビスマス系：C6801）。

ネーバル(naval)黄銅　C4640

黄銅に錫を添加し耐海水性を高めた材料。海軍黄銅とも言う。

用途：管板、海洋構造材、船舶部品

4）青銅

銅と錫の合金。錫 30%までが実用。錫だけの合金は使われず、りんを添加したりん青銅などが使われる。錫の量が少なければ純銅に近い赤銅色、多くなると黄金色となり、ある一定量以上では白銀色となる。大気中で徐々に表面が酸化されて、青緑色になる。
適度な展延性と、鋳造に適した融点の低さや流動性があり、鉄が、銅よりも安価かつ大量に供給される前は広く利用されていた（青銅器時代)。錫の量が多くなるにつれ、強度は増すが、もろくなる。
海水に対する耐食性は黄銅より大きく、船舶機械部品として多く用いられる。耐摩耗性もよい。りんを加えたりん青銅は弾性に富み，ばね材に適する
錫以外の合金も青銅と呼ばれることがあり、アルミニウム青銅、マンガン青銅、シルジン青銅などがある。

すず青銅

ほとんど使われない

りん青銅　C5191（旧 PBP2）

銅に錫 3.5～9.0%、りん 0.03～0.35% を含む合金。強度、展延性・耐疲労性・耐食性が良い。

用途：スイッチなどの電気機器用部品、軸受

快削リン青銅

C5441　リン青銅に鉛を加えたもので、切削性が良い

C5341　C5441 から鉛を少なくしたもの。Rohs 規格内の材料。

ばね用りん青銅 C5210（旧 PBSP）

りん青銅より若干硬く、ばね性が良い。用途として、電気機器用ばね、ボタン電池接点用ばね、板ばねなど

5) アルミニウム青銅

銅とアルミの合金。銅合金の中で最も強度があり、耐摩擦性、耐食性が良い。

C6191(旧 ABB2)　、C6241

6) 白銅

銅とニッケル（10～30%）の合金。ニッケルの量が増えると白（銀色）になり、銀貨の代わりの硬貨の材料としても使われる。

白銅 C7060、C7150（ニッケル 9.0～33.0%）

耐海水性と高温強度に優れている。

用途：船舶部品、熱交換器用伝熱管、小銃の薬莢、硬貨（100 円、50 円、旧 500 円硬貨は Cu75%-Ni25% ）など

洋白　C7521

白銅に亜鉛を加えたもの。柔軟性、屈曲加工性、対疲労性、耐食性に優れ、外観が美しい。機械的性質においては黄銅より優れている。

用途：装飾品、食器、電気抵抗線、バネ材料、楽器（主にフルート)、硬貨（現行の五百円硬貨は、銅 72%、亜鉛 20%、ニッケル 8%)、医療機器など

8.3.2　鋳造用銅、鋳造用銅合金の種類

JIS では銅鋳物、銅合金鋳物として分類される。鋳造用銅合金は、銅に錫、鉛、亜鉛などを加えたもので、青銅系、黄銅系、アルミニウム青銅系、鉛青銅系などがある。その特徴は基本的に伸銅品と同じである。引張強さは概ね 200MPa 程度。旧規格で BC6（CAC406）や PBC2（CAC502）がよく使われる。

主な用途として、給排水金具、ポンプ、バルブ、コック、フランジ類、一般機械部品、歯車、軸受、スリーブ、ブッシュ、電気部品、装飾用品、などがある。

1）銅鋳物　CAC1**

銅 99%以上。電気伝導率、熱伝導率が良い。引張強さ 150MPa 程度。

用途：架線金具、電気機器の部品全般、電極ホルダーなど

CAC101

2）青銅鋳物　CAC4**

銅、錫、亜鉛の合金。鉛を加えたものと加えないものがある。鋳造性が良く、耐圧性、耐食性、耐衝撃性に優れている。表面の鋳肌がきれい。電気や熱の伝導率では黄銅系よりも小さい。

用途：ポンプ、バルブ、給水栓、羽根車、歯車、軸受、スリーブ、ブッシュなど

CAC406（旧 BC6）　靭性が高く、砲金と呼ばれる。鉛の量がやや多い

CAC403（旧 BC3）　鉛が含まれない。水道部品で使われる

3）ビスマス青銅鋳物　CAC9**

人体や環境への影響から、青銅鋳物で使われる鉛の代わりにビスマスやセレンを使った新しい素材。水道系に最もよく使われる青銅鋳物（CAC4**）の代替。

CAC902C

4）りん青銅鋳物　CAC5**

銅と錫にリンを加えた合金。硬度、耐摩耗性が向上。青銅系と比べて特に硬さに優れている。鋳造性にも優れ、耐磨耗性も良好。

CAC502C（旧 PBC2C）

5）鉛青銅鋳物　CAC6**

銅と錫に鉛を多く添加したもの。耐衝撃性、耐荷重性や摩擦、磨耗に優れる。特に、摩擦を受けた際に相手との焼き付きがおきにくく、なじみ性にも優れており、摩擦係数が小さく潤滑油に対する耐食性があることから、摺動部品にも使われる。

CAC603（旧 LBC3）

7）アルミニウム青銅鋳物　CAC7**

銅とアルミニウムの合金。もっとも機械的強度に優れ（引張強さ 500MPa 程度）、耐食性もよい。鋳造性は悪い。

用途：船舶用スクリュー、軸受、歯車、ブシュ、羽根車、ボルト、ナット、安全工具、化学工業用機械部品

CAC703C（旧 ALBC3）、CAC702（旧 ALBC2）

他に、強度の強い高力黄銅鋳物（CAC3**、引張強さ 600MPa 程度）、湯流れの良いシルジン青銅鋳物（CAC8**）などがある。

9. その他の非鉄金属

性質：原子番号、密度 g/cm、融点℃、引張強さ MPa、縦弾性係数 GPa

特徴：

種類：

用途：

9.1　ニッケル・ニッケル合金

性質：原子番号 28、密度 9.8、融点 1453、引張強さ 335、縦弾性係数 200

特徴：耐食性に優れる、塑性加工しやすい。また、高い耐熱性を持つ。高価

種類：ニッケルクロム合金：インコネルやハステロイ

ニッケル銅合金：モネルやキュープロ

ニッケル鉄合金：パーマロイやコバール

用途：化学工業用耐食材料、レーシングカーのマフラー素材、調理器具、医療機器

9.2　マグネシウム・マグネシウム合金

性質：原子番号 12、密度 1.74、融点 650、引張強さ 230、縦弾性係数 45

特徴：実用金属の中でもっとも軽く、強度と剛性に優れている。切削性は良い。燃えやすい、水と反応し、熱を出す。耐食性がよくない。塑性加工は困難

種類：

用途：ノートパソコン、福祉用品　　航空機、自動車、農業機械、工具、精密機械、スポーツ用具、スピーカーの振動板、携帯用機器の筐体、医療機器、宇宙船、兵器など

9.3　チタン・チタン合金

性質：原子番号 22、密度 4.54、融点 1668、引張強さ 320、縦弾性係数 116

特徴：軽量で強く、耐食性が良い。耐熱性・耐食性に優れる。生体親和性が高い。加工が困難。高価。実用化され始めたのは 1946 年

種類：純チタン、α型合金、β型合金、α＋β型合金

用途：宇宙産業、航空機部品、潜水艦部品、自転車やゴルフクラブなどの競技用機器、化学プラント、腕時計、眼鏡フレーム、生体インプラント、人工関節、人工骨、建築材料

9.4　亜鉛・亜鉛合金

性質：原子番号 30、密度 7.1、融点 420、引張強さ、縦弾性係数 108

特徴：溶解温度が低く、複雑な形に成形しやすい。ダイカストに使われる。耐食性・加工

性は純度の高いものがよく、亜鉛合金はアルミ合金より強度が高い。添加材料やメッキに使われる（亜鉛メッキ、溶融亜鉛メッキ)。アルミやマグネシウム、銅などを添加した亜鉛合金も使われる。

9.5　その他

1）鉛、Pb

特徴：快削を目的として他の金属に添加されることもある。有害物質。

用途：蓄電池、半田、クリスタルガラス

2）錫、Sn

特徴：

用途：メッキ、銅に添加して青銅として使われる。

3）クロム、Cr

特徴：六価クロムは有害物質。

用途：メッキ、合金鋼などで使われる。

4）カドミウム、Cd

特徴：亜鉛に構造が似ているため、亜鉛に不純物として含まれる。有害物質。イタイイタイ病の原因。

用途：メッキ、Ni-Cd 電池や光センサ（CdS セル）などで使われる。

5）水銀、Hg

特徴：有機水銀（メチル水銀など）は有害物質。水俣病の原因。

用途：電池、

6）その他

金 Au、白金 Pt、銀 Ag、タングステン W,コバルト Co、ベリリウム、テルル、

１）軸受用合金

a.ホワイトメタル(WJ 材)

高中速高荷重用には Sn 系，中高速小中荷重には Pb 系を用いる

b.軸受用銅・鉛合金鋳物(KJ 材)

ケルメットと呼ばれる Cu-Pb 系合金

高速高荷重用で，高速になるほど Pb の少ないものを用いる

熱伝導性にすぐれ，軸と焼付きを起こすことが少ないので熱機関の軸受に用いる

10.　樹脂

10.1　樹脂の分類

樹脂は原料、製造方法、特徴などにより以下のように分けられる

樹脂	天然樹脂	漆、松脂、天然ゴム、琥珀、にかわ（ゼラチン）、べっ甲	
	合成樹脂	熱可塑性（プラスチック）	汎用
			エンプラ
			スーパーエンプラ
		熱硬化性	

厳密にいうと、プラスチックは熱可塑性樹脂のこと。樹脂全体はレジン。一般的には合成樹脂もしくは樹脂全体をプラスチックと呼ぶことが多い。

10.2　天然樹脂

樹木や動物、鉱物などの自然のものから得られる液体が硬化したもの。工業製品の原材料としてはほとんど使われていない。琥珀、べっ甲、にかわなど。

10.3　合成樹脂

主に原油を精製して作られるナフサを原料とし、そこから化学反応などにより作られた高分子化合物からなる天然樹脂に似た物質を合成樹脂という。原料や調合を変えることで、様々な特性をもたせた合成樹脂が数多く開発された。

金属と比較して、軽量（比重が小さい、0.8～1.5 程度）、融点が低い（80～250 度）、強度が低い、耐候性が良くない、生分解性に乏しい、種類が多いためリサイクル性が悪い、などの特長がある。射出成型により大量生産に適する。

大きく分けると、成形後に熱を加えると軟化する熱可塑性樹脂（プラスチック）と、成形後に熱を加えても軟化しない熱硬化性樹脂とに分けられる。

10.4　熱可塑性プラスチック

加熱すれば溶融、冷却すれば固化を繰り返すことができる樹脂。

10.4.1　汎用プラスチック

安価で一般的に使われる。溶融温度は 100 度以下。

1) ポリエチレン樹脂(PE)

電気絶縁性、耐水性、耐薬品性、環境適性に優れる。機械的に強靭で柔らかく、低温でももろくならない。耐熱性は乏しい

高密度ポリエチレン（HDPE）

機械強度、耐衝撃性、耐薬品性に優れる。他のポリエチレンと比べて耐熱性は良い。

用途：食品袋、日用品（シャンプー・リンス容器、バケツ、洗面器、食品容器）、灯油ポリタンク、コンテナ

低密度ポリエチレン（LDPE）

用途：透明な袋、ホース、柔らかい容器、包装材（袋、ラップフィルム、食品チューブ、袋)、農業用フィルム、電線被覆、

2) ポリプロピレン(PP)

最も比重が小さい。耐熱性が比較的高い。機械強度に優れる。

用途：自動車部品、家電部品、包装フィルム、食品容器、キャップ、トレイ、コンテナ、パレット、衣装函、繊維、医療器具、日用品、ごみ容器

3) ポリスチレン（PS）　（別名、ポリスチロール）

（一般用）透明で剛性がある GP グレードと、乳白色で耐衝撃性をもつ HI グレードがある。着色が容易。電気絶縁性がよい。ベンジン、シンナーに溶ける。

用途：CD ケース、食品容器、OA・TV のハウジング、

（発泡）発泡スチロール。軽くて剛性がある。断熱保温性に優れる。ベンジン、シンナーに溶ける。

用途：梱包緩衝材、魚箱、食品用トレイ、カップ麺容器、畳の芯

4）ポリ塩化ビニル　（PVC）

耐薬品性、電気絶縁性に優れ、燃えにくい。比重が大きい（1.4)。表面の艶・光沢が優れ、印刷適性が良い。軟質と硬質がある。一般的にグレー、透明もある。

用途：上・下水道管、継手、雨樋、波板、サッシ、床材、壁紙、ビニルレザー、ホース、農業用フィルム、ラップフィルム、電線被覆

5) ABS 樹脂　（ABS　アクリロニトリル・ブタジエン・ステレン)

耐薬品性、耐熱性、耐衝撃性に優れる。光沢があり、外観も良い。

用途：電気製品（エアコン、冷蔵庫、ゲーム機、OA 機器など）や電気電子製品の外装・筐体。機構部品類、自動車の内装部品、文具･雑貨類、事務用家具部材など。

6) メタアクリル樹脂　（PMMA　ポリメタクリル酸メチル)、アクリル

無色透明で光沢がある。ベンジン、シンナーに侵される。

用途：自動車リアランプレンズ、食卓容器、照明板、水槽プレート、コンタクトレンズ

7) ポリエチレンテレフタレート(PET)

無色透明。耐熱性、耐寒性に優れ、耐クリープや耐疲労性が大きく、成形性、寸法安定性が良い。ガラス繊維を配合して強化したものは、エンジニアリングプラスチックとして用いられる。

用途：飲料・食品などの容器（ペットボトル)、光学用機能性フィルム、磁気テープ、写真フィルム、包装フィルム絶縁材料、クリアホルダー、各種透明包装、衣料用繊維（ポリエステル)、

g)　その他
AS 樹脂など

汎用プラスチックのリサイクルマーク

ペット
ペットボトル、ビデオのテープ、たまごのパックなど

高密度ポリエチレン
レジ袋（スーパーの袋)、バケツ、灯油缶、弁当箱など

塩化ビニール樹脂
ラップ、パイプ、ホース、農業用ビニールなど

低密度ポリエチレン
ラップフィルム、農業用シート、ポリ袋、マヨネーズのチューブなど。

ポリプロピレン
食品容器、浴用品、収納容器、フィルムなど

ポリスチレン
CD ケース、食品包装材料（容器、トレー)、漁箱、植木鉢、おもちゃなど

その他の石油製品

10.4.2　エンジニアリングプラスチック（エンプラ）
100～150 度で溶融。耐熱性・耐摩耗性・機械的強度に優れている。加工が難しい。高価。材料によっては、加水分解や劣化が起こりやすい。寸法変化があるものもある。

1)　ポリアセタール　(POM)　商品名：デルリン、ジュラコン
白色、不透明で、強度、耐薬品性、耐衝撃性に優れ耐摩耗性が良い。摩擦係数が小さい。
用途：各種歯車、自動車部品、各種ファスナー・クリップ

2)　ポリアミド(PA)、　商品名：ナイロン。ナイロン 6、ナイロン 66
乳白色で、耐衝撃性、耐摩耗性、自己潤滑性、耐熱性、耐寒冷性、耐薬品性が良い。欠点として、吸水性が大きく寸法変化や性質変化が起きやすい。耐酸性に劣る。ナイロン 6 の性能を高めたものとして MC ナイロンがある。一般的に青色に着色されている。
用途：自動車部品、歯車、軸受、コネクタ、スイッチ、日用雑貨、容器、玩具、建築資材、食品フィルム、パレット、絶縁材など

3)　ポリカーボネート　(PC)、
無色透明。特に耐衝撃性に優れ、耐熱性、耐油性、耐薬品性、ガスバリア性も優れる。酸には強いが、アルカリに弱い。
用途：DVD・CD ディスク、電子部品ハウジング（携帯電話他)、自動車ヘッドランプレンズ、カメラレンズ、透明屋根材など

4)　ポリブチレンテレフタレート(PBT)

強靭性、耐油性に優れている。耐アルカリ性や耐熱水性に弱い。
用途：自動車部品（ドアハンドル、バルブ、スイッチ、駆動部の部品など)、電気製品（ドライヤ、電話機など)、電子部品（コネクタ、スイッチ)、医療部品、精密機械部品など

10.4.3　スーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンプラ）
耐久性や機械的強度に優れる。150 度以上の耐熱性を持つ。耐薬品性、難燃性、寸法安定性などを大きく改善したものがある。高機能なものほど高価。

1) フッ素樹脂(PTFE　ポリテトラフルオロエチレン)　商品名：テフロン
乳白色で耐熱性、耐薬品性が高く非粘着性を有する。耐熱性、耐低温性、耐薬品性、電気絶縁性に優れる。高価。にすぐれ，-100~260℃で使用，吸水率 0 で寸法安定性に優れ，自己潤滑性があり摩擦係数が極めて小さい。
用途：フライパン内面コーティング、絶縁材料、軸受、ガスケット、各種パッキン、フィルター、半導体工業分野、電線被覆

2) ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)
白渇色。耐熱性、耐薬品性、耐磨耗性、機械加工性などすべての特性に優れている。耐熱温度は約 250℃。
用途：半導体設備や薬品用設備用のボルト、ナットなど

10.5　熱硬化性樹脂
熱や光などの化学反応で硬化し、その後再加熱しても溶融しない樹脂。

1) フェノール樹脂(PF)　ベークライトとも呼ばれる
電気絶縁性、耐酸性、耐熱性、耐水性が良い。燃えにくい。
用途：プリント配線基板、アイロンハンドル、配電盤ブレーカー、鍋・やかんのとって、つまみ、合板接着剤 食器類､鍋蓋つまみ類､アイロン柄

2) メラミン樹脂(MF)
耐水性が良い。陶器に似ている。表面は硬い。水・油・薬品に強く，電気絶縁性があり，耐熱性に優れる
用途：食卓用品、化粧板、合板接着剤、塗料 化粧合板､合板接着剤、電気部品

3) ユリア樹脂(UF)
メラミン樹脂に似ているが、安価で燃えにくい。着色性は良いが、衝撃に弱い。最近は使われていない。
用途：ボタン、キャップ、電気製品（配線器具)、合板接着剤、灰皿、食器等

4) ポリウレタン(PUR)
柔軟～剛直まで広い物性の樹脂が得られる。接着性・耐摩耗性に優れ、発泡体として

も多様な物性を示す。

用途：発泡体はクッション、自動車シート、断熱材、合成皮革

非発泡体は工業用ロール・パッキン・ベルト、塗料、防水材、スパンデックス繊維

5) エポキシ樹脂(EP)

物理的特性、化学的特性、電気的特性などに優れている。炭素繊維で補強したものは強い。

用途：電気製品（IC 封止材、プリント配線基板)、塗料、接着剤、各種積層板

6) 不飽和ポリエステル樹脂(UP)

電気絶縁性、耐熱性、耐薬品性が良い。ガラス繊維で補強したものは強い。

用途：浴槽、波板、クーリングタワー、漁船、ボタン、ヘルメット、釣り竿、塗料、浄化槽、FRP 用

7) シリコーン（Si）

耐熱性、耐薬品性、自己潤滑性、耐磨耗性に優れている。耐熱温度は約 316℃。

用途：電気絶縁部品、耐熱塗料、耐熱部品など

8) ポリエステル

機械強度、電気絶縁性、耐溶剤性、耐酸、耐水性に優れる。大型成形が可能。耐熱温度は約 150℃～170℃。熱硬化性樹脂。

用途：燃料タンク、建材、ボード、自動車部品、スポーツ用品など

11.　ゴム

11.1　汎用ゴム

1) 天然ゴム（NR）

ゴムの樹から採取した樹脂（ラテックス）から生成した天然資源。弾力性、耐摩耗性、機械的強度が高い。表面摩擦力も大きい。耐油性、耐熱性、耐オゾン性、耐候性が悪い。圧縮永久歪みが生じる

用途：タイヤ、ホース、ベルト、パッキン、振動吸収板など

2) イソプレンゴム（合成天然ゴム）（IR）

天然ゴムとほぼ同じ性質を持つ。天然ゴムと比べて安定性が良い。表面摩擦が少ない。耐油性、耐熱性、耐オゾン性に劣る。機械的強度がやや弱い。

用途：タイヤ、ホース、ベルト、パッキン、振動吸収板など

3) スチレンブタジエンゴム（SBR）

耐摩耗性に優れる。また、天然ゴムと比較して耐熱、耐油性が良好である。耐寒性や耐油性が低い。天然ゴムに較べて弾性小、動的発熱が大きい。

用途：タイヤ、履物、ベルト、パッド、ローラー

4) ブタジエンゴム（BR）

耐摩耗性、反発弾性、低温性、動的発熱性に優れている。機械的強度は劣る。

用途：タイヤ、防振ゴム

11.2　特殊ゴム

1) クロロプレンゴム（CR）

耐候性、耐オゾン性、耐熱性、耐油性に優れている。特殊ゴムの中での汎用ゴムといえる。低温性が劣る。

用途：自動車用部品、一般工業用品、接着剤、ブーツ、電線被膜、防振ゴム

2) ニトリルゴム（NBR)○

耐摩耗性、耐油性に優れている。耐候性、耐寒性、耐オゾン性は劣る。

用途：自動車用部品、一般的な O リング、オイルシール、各種シール材、耐油ホース、炊事用・作業用手袋

3) ブチルゴム（IIR）

気密性、耐老化性、耐候性、耐オゾン性、電気絶縁性に優れている。反発弾性が小さい。接着性、弾性に劣り、鉱油に対する耐性がない。

用途：タイヤのインナーチューブ、電線被膜、窓枠ゴム、防振ゴム、衝撃緩衝材

4) エチレンプロピレンゴム（EPDM）

耐候性・耐オゾン性、耐熱性、耐水性、電気絶縁性に優れている。耐油性、接着性が

劣る。
用途：電線被膜、自動車用窓枠、スチームホース、ラジエターパッキン

5) シリコンゴム（Q、SI）
耐熱性、耐寒性、耐候性・耐オゾン性、電気絶縁性に優れている。食品衛生法適合品。
機械的強度が劣る。価格がやや高い
用途：パッキン、ガスケット、オイルシール、ロール

6) フッ素ゴム （FKM、FPM）
耐熱性、耐油性、耐薬品性、耐候性、耐オゾン性に優れている。価格が高い。
用途：燃料ホース、パッキン、航空機・軍需用パッキン、バルブ

7) ウレタンゴム

12. 無機材料・その他の材料

工業材料は金属材料、有機材料、無機材料に大別される。無機材料には陶器、磁器、煉瓦、ガラス、セメントなどがある。これらのものを作る産業を窯業という。

12.1 セラミックス

無機物質に加熱処理などをして固めたものをセラミックスといい、耐熱性・耐食性・高硬度などの性質を持つ。

1) 陶器・磁器
陶土や陶石を焼いて固めたもの。
用途：食器、置物、タイル、土管、便器、碍子、電気用品（絶縁）など

2) 煉瓦
住宅のエクステリアや、金属を溶かす炉の内張などで使われる。

3) ファインセラミックス
高純度に精製した天然原料や、化学的プロセスにより合成した人工原料、天然には存在しない化合物などを混合し、成形、焼成する方法で作られる。硬さや耐摩耗性、耐熱性に優れる。一方、脆く、加工しにくい。 アルミナ、ジルコニアなどがある。
用途：切削・研削用工具、ブロックゲージ、軸受などの機械部品、IC や碍子などの電子部品、フェルールやスリーブなどの光通信部品、人工歯根などの医療用製品など

12.2 ガラス

ほとんどのガラスは二酸化けい素（SiO2）を主成分とする

1) ソーダ石灰ガラス

もっとも普通のガラス。二酸化けい素、酸化ナトリウム（Na_2O）、酸化カルシウム（CaO）が主成分。

用途：窓ガラス、びん、多くの食器類など

2) 鉛ガラス（クリスタルガラス）

装飾品などに使われガラスで、二酸化けい素、酸化カリウム、酸化鉛（PbO）が主成分。ソーダ石灰ガラスに比べて、透明度が高く、屈折率が大きく、比重が大きい。カット模様をつけるとキラキラと輝く

用途：高級食器など

3) ほうけい酸ガラス（耐熱ガラス）

二酸化けい素の割合が大きく、ほかにほう酸（B_2O_3）、酸化ナトリウムあるいは酸化カリウム、酸化アルミニウム（Al2O3）などを含んでいる。化学的な侵蝕や熱衝撃（急な温度の変化）に強い。

用途：化学工場の製造プラント、理化学用ガラス器具、薬アンプル、医療用薬びん、耐熱食器など

4) 石英ガラス

二酸化けい素の純度が高い。透明度・耐食性・耐熱性が高い。

用途：化学実験器具、太陽望遠鏡の平面鏡、光ファイバ、半導体製造装置、放射線関連など

12.3 セメント

水で練ると硬化する無機質粉末をセメントという。セメントは、水をくわえると、発熱しながら、やがて硬化する。セメントにはいくつかの種類があるが、ケイ酸三カルシウム、ケイ酸二カルシウムなどを主成分とするポルトランドセメントが多く使われる。

1) モルタル

セメントと砂とを水で練り混ぜたもの。左官職人がコテを使って塗り付ける。柔らかく加工がしやすいため、建物の外壁やレンガ、ブロックの接着剤として使用される。強度が強くないため、建物の構造体には使用されない。

2) コンクリート

セメントに骨材（砂・砂利）及び水を練り混ぜたもの。砂利の隙間を砂で満たし，セメントで固めたものがコンクリート。

以上