

## 第 3 章 機械設計概要

## 第3章 機械設計概論

学習のねらい

機械設計を行う上での前提知識や流れを把握し、後のCAE解析の利便性・必要性を理解する

第1節 機械設計と工学

第2節 製品完成までの流れ

第3節 機械設計の3要素

第4節 その他機械設計で考慮する項目

3-1

## 第1節 機械設計と工学

学習のポイント

- ・機械設計とは
- ・CAEの活用目的

機械設計と工学

3-2

### 【章全体のねらい】

機械設計を行う上での前提知識や流れを把握し、後のCAE解析の利便性・必要性を理解する。

### 【章全体の解説】

機械設計とCAEの関連、位置づけを把握する。

機械設計の流れを理解する。

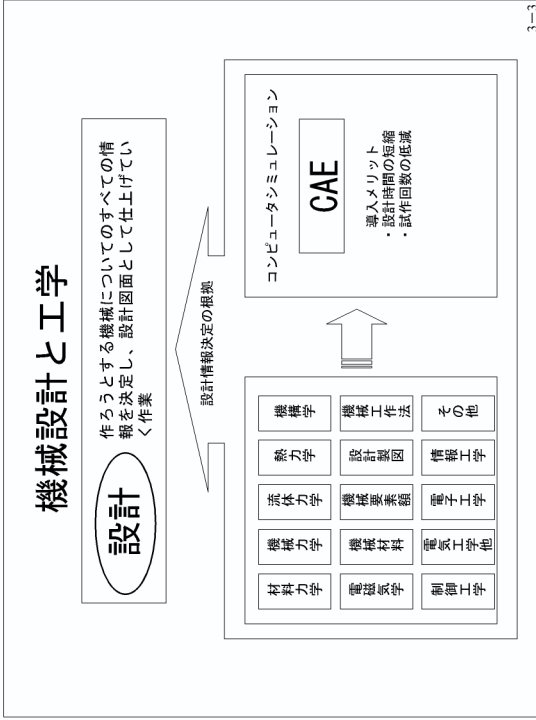
機械設計に必要な知識が何かを紹介する。

### 【節全体のポイント】

機械設計とは何か、工学上の構成、CAEの位置づけとその活用目的について解説する。

### 【節全体の解説】

機械設計とは何か、工学上の構成、CAEの位置づけとその活用目的について解説する。



3-3

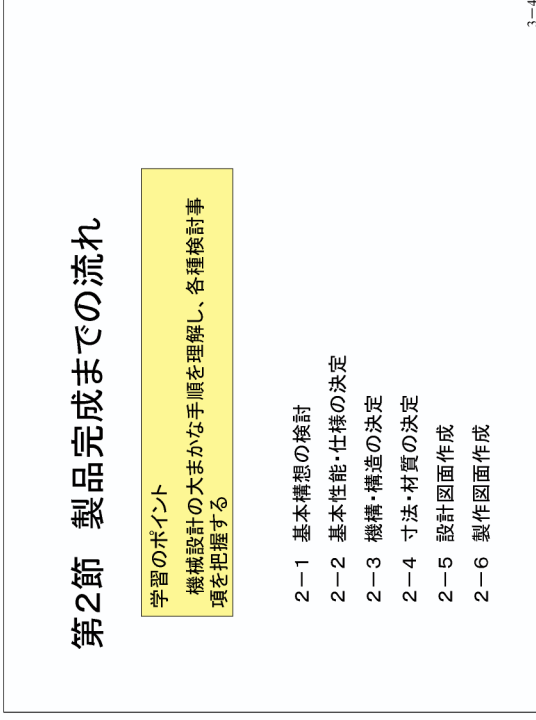
**【ポイント】**

機械設計とは何か、工学上の構成、CAEの位置づけとその活用目的について解説する。

**【解説】**

機械部品の寸法や形状を決める際には、少なからず明確な根拠(理由)が必要で、そのため設計計算などが必要になる。その学習は上記のとおり多岐にわたり、多岐の技術計算を用いて行った設計結果が適正となるまでこの作業が繰り返される。

このような計算をコンピュータにしてもいい、結果をコンピュータ上でグラフィック表示するようなソフトをCAEソフトといい、人間の労力を軽減し、設計時間の短縮・試作回数の低減など設計コストの削減に貢献している。



3-4

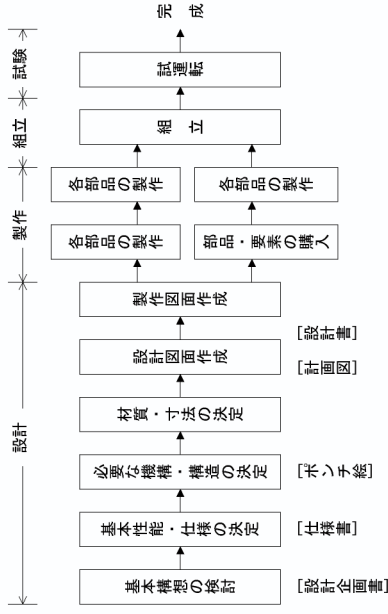
**【前全体のポイント】**

機械設計の大まかな手順を理解し、各種検討事項を把握する。

**【前全体の解説】**

設計する機械の目的、求められる性能・機能、その性能・機能を満たす機構・構造、寸法・材質の選定について解説する。

## 製品完成までの流れ



3-5

### 【ポイント】

製品完成までの「設計」「製作」「組立」「試験」という一連の流れを紹介する。

### 【解説】

一つの製品を完成させるには、様々な工程を踏んでいくこととなる。こちらはその一例である。  
すべての製品がこの工程を踏んでいるわけではないが、機械製品にあたる設計項目の個々についてこれから解説していく。

## 2-1 基本構想の検討

表 3-1 設計企画書例

1. 製作物	作業マイクロロボット
2. 目的	マイクロメカニクスコンテストへ出場するため（作業マイクロロボットは一般の立派な分（優秀な）は、各自のルールへ進むむむむ作業性と実行性を兼ね備えたマイクロメカニクスを目指すものである。）
3. 製作期間	3ヶ月
4. 基本仕様	大きさ 20 x 20 x 20mm 以内
5. 機能と性能	軽量・小形で強力なアクチュエータやエネルギー源、エネルギー伝送、独特なマイクロメカニクスで有効な新機構、位置・姿勢センサ等、優れたマイクロメカニクスシステムであること。作業マイクロロボットではサイコロをつかみ、6の目から1の目に返転させるハントを持ち、運轉する駆動系が必要となる。

3-6

### 【ポイント】

基本構想設計の内容をマイクロロボットの例を挙げて紹介する。

### 【解説】

まず、基本構想設計として、作ろうとする機械が全体としてどのような機能を目的としているかをばきりさせ、考える課題を明確にする。表3-1に設計企画書の一例を示す。  
この例ではマイクロロボットを挙げ、製作の目的、製作期間、満たさなければならぬ基本仕様等を明確にしている。

## 2-2 基本性能・仕様の決定

表3-2 マイクロロボットの設計仕様

1.寸法	幅20mm, 長さ20mm, 高さ20mm以内
2.重量	規定なし
3.材料	2000系アルミ合金, アクリル, ゴム
4.運搬物	1辺8mmのサイコロ(0.7gf)
5.機能	サイコロをつかむハンドの機構
6.駆動	サイコロを6の目から1の目に回転させる機構
7.動力	前後左右に自在走行が可能なこと
8.制御	電動モータ, 形状記憶合金, ハネ マイクロコンピュータ

3-7

### 【ポイント】

性能・仕様の決定についてマイクロロボットの例を挙げて紹介する。

### 【解説】

次に、その目的を実現する定量的な性能(仕様)を決定し、設計したものがこの基本条件を満足するかを常にチェックしていく。上の運搬用ロボットの例でいくと、運搬可能な重量は何kgで、移動距離は何メートル、運搬精度、運搬時間などを定量的に決定する。しかし仕様が厳しすぎると、それを満足できるように部品や加工法がないとか、費用がかかりすぎてしまふことになる。

表3-2に製作するマイクロロボットの設計仕様について示す。

## 2-3 機構・構造の決定

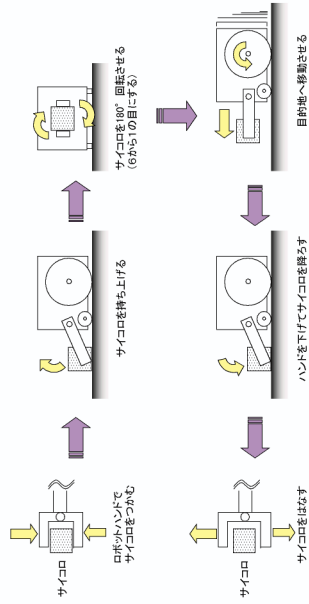


図3-3 ポンチ絵の例

3-8

### 【ポイント】

機構・構造を決める際のポンチ絵を紹介し、それらに必要な機械要素や機械構造を検討する。

### 【解説】

次に、その仕様を満足するための機構や動力源等の機械の構成要素を考えていく。

例えば動力源からの回転運動を直線運動に変える機構ならば、ねじ送り機構とリニアガイドの組み合わせやラック・ピニオン機構、ピストン・クランク機構、油圧駆動などいろいろ考える。それらの中から目的にあった最適なものを採用する。

図3-3に機構・構造設計例としてマイクロロボットのハンド機構のポンチ絵を示す。

## 2-4 寸法・材質の決定

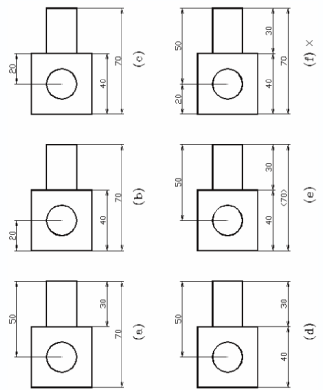


図3-4 寸法指定の違い

3-9

### 【ポイント】

設計の具体的な決定項目としての寸法、材質についての注意点を紹介する。

### 【解説】

機構・構造が決まれば、これについての具体的な項目を決定していく。

寸法は設計する機械のもとも具体的な情報であり、この情報によりものを作る事ができる。

必要な機能を満たす機構・構造を具体的に形状に表し、寸法を決めていく。

寸法を決めていく条件としては、まず基本的な仕様から主要部分の寸法が決まり、それに合わせて周辺の寸法が決まってくる。

また、目標寸法どおりに加工することは不可能なため寸法公差とその基準位置を考慮することも重要である。

図3-4に示すようにその内容が製造者に伝わるように寸法の入れ方にも配慮を要する。

## 主な工業材料の種類

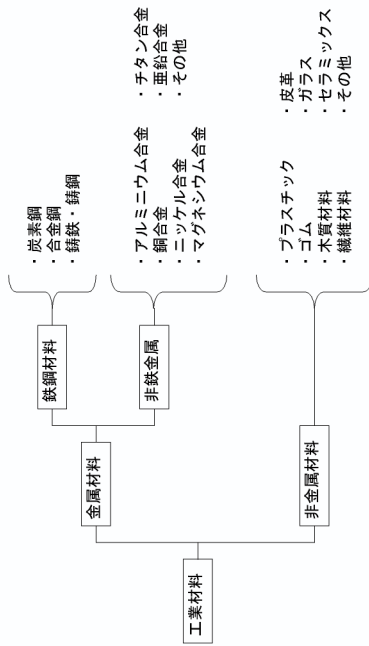


図3-5 主な工業材料の種類

3-10

### 【ポイント】

工業材料の種類を示し、主として用いられる材料について紹介する。

### 【解説】

必要な強さを満足するように材質や熱処理法、表面処理法を指定する。

重量の制約や耐久性なども材質を選定する条件となる。

図3-5に主な工業材料の種類を示す。このなかで、機械に用いる材料としては鉄鋼材料が主である。

これは入手しやすく、安価で、強度が高く、加工もしやすく、熱処理などにより必要な性質を与えやすいなどの特徴があるためである。

## 鉄鋼材料の種類と用途

表3-3 炭素鋼の種類と用途例

分類	C%	記号例	備考
構造用鋼	規定なし	SS400	建築、橋や船その他一般構造になどに用いられ、JISでは引張強さが規定されている
機械構造用炭素鋼	0.05~0.6%	S45C	一般構造用鋼材より信頼性が高く、軸・歯車などの機械等の構造用に用いられる
炭素工具鋼	0.6~1.8%	SK1	不純物の少ない高炭素鋼で、刻印、やすり、たがね等の工具類に用いられる

表3-4 合金鋼の種類と用途例

分類	鋼種	主な用途
構造用鋼	強靱鋼 高張力鋼	クランク軸、歯車、ボルト・ナット、キー・軸など 船舶・建築用
工具用鋼	合金工具鋼 高速度工具鋼	切削工具・ダイス型・ポンチなど
耐食耐熱用鋼	ステンレス鋼 耐熱鋼	刃物、容器、食器用品、化学工業装置など 内燃機関のバルブ、タービン羽根、高温・高圧容器など
特殊用途鋼	包絡鋼 ばね鋼 耐摩耗用鋼 耐衝撃鋼	歯車、ボール・ナット、キー・軸など 各種ばね鋼 クロムスチール・硬質鋼 転がり軸受の軌道鋼・転動体

3-11

## 2-5 設計図面作成 2-6 製作図面作成

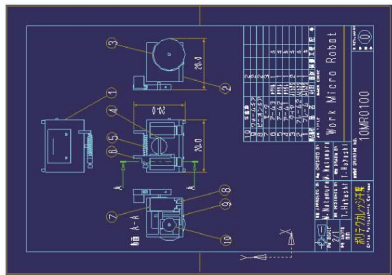


図3-6 3次元CADによる設計例

図3-7 組立図の一例

3-12

### 【ポイント】

鉄鋼材料・合金鋼について主な用途を紹介する。

### 【解説】

表3-3に炭素鋼、表3-4に合金鋼の種類と用途例を示す。軽量化を図る場合などは、アルミニウム、マグネシウム、チタンやプラスチックなどを検討する。このように、材料の選定には、使用する材料の物理的性質を理解し、設計においてその材料に働く応力を知ることと材料の許容応力を越えないように材料の種類や寸法、形状を決定する必要がある。

### 【ポイント】

設計した内容を具体的な図面にした 設計図面、製作図面について紹介する。

### 【解説】

すべてを検討して具体的に決定した結果を図面として表す。設計の妥当性確認や組立・製品PR用などで用いられる三次元CADによる設計図面や、物を製作するときに必要な製作図面(二次元図面)を制作していく。

## 第3節 機械設計の3要素

学習のポイント

機械設計の大きな柱である機構設計・構造設計・機械制御方法について学習する

3-1 メカニズム

3-2 強度剛性

3-3 コントロール

3-13

【節全体のポイント】

機械設計の大きな柱である機構設計・構造設計・機械制御方法について学習する。

【節全体の解説】

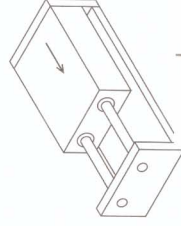
機械の各種機構・機械要素、構造物の強度計算の概略、機械制御の概略について解説する。

## 3-1 メカニズム

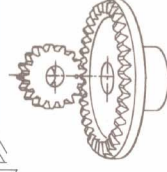
### (1) 運動と機構

平面運動

・直線運動機構



・回転運動機構



3-14

【ポイント】

メカニズムの運動の種類を紹介する。

【解説】

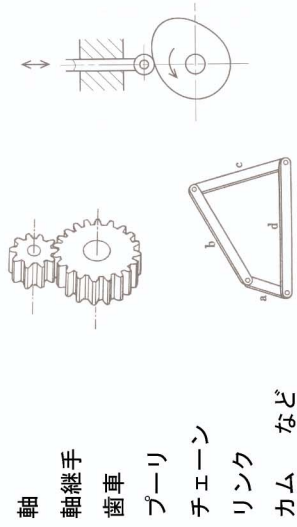
運動は平面運動、螺旋運動、球面運動に分けられるが、機械部分の運動の多くは平面運動である。

平面運動を実現するメカニズムは基本的に直線運動機構と回転運動機構及びその組合せ機構に大別される。



## (2) 動力伝達方法

- ・ 動力を伝達する機構



3-15

### 【ポイント】

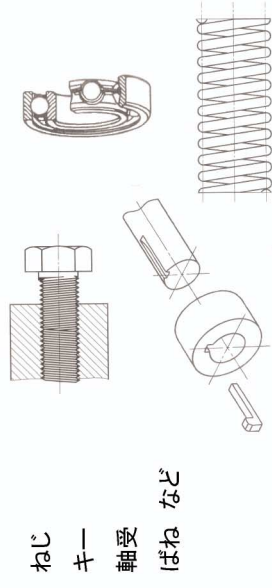
動力伝達のための機械要素を紹介する。

### 【解説】

機械を動かすためには何らかの方法で動力を供給しなければならぬ。モーターや他の機械の動力を伝達する機構が必要になってくるわけである。動力伝達に用いられる機械要素として一例を挙げる。

## (3) メカニズムの構成要素

- ・ 様々な機械要素



3-16

### 【ポイント】

その他の機械要素について紹介する。

### 【解説】

機械要素としては、動力伝達機構以外にも部品の固定、連結などに用いるボルト、測定機能などに用いるねじ類や軸、歯車やプーリ等の固定に用いるキー、ピン、回転軸を保持する軸受、そのほか、ばねや密封装置など多種存在する。

これらは様々な機械構造物に用いられるため、寸法などを規定し規格化されている。製作コストを抑える為にはこれら規格品を用いることが基本である。

## 3-2 強度剛性

### (1) 材料の機械的性質

- ◆ 応力と歪
  - ・ 応力 : 物体内部に作用する単位面積あたりの力
  - ・ ひずみ : 変形量のものとの長さに対する割合

$$\text{・ 垂直応力 } \sigma = \frac{P}{A}$$

P : 荷重 A : 断面積

$$\text{・ 垂直ひずみ } \varepsilon = \frac{\lambda}{L}$$

$\lambda$  : 伸び L : 元の長さ

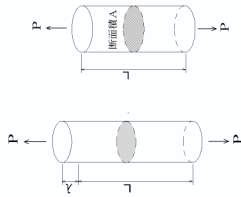


図3-8

3-17

#### 【ポイント】

材料の機械的性質を表す用語(応力・ひずみ)について説明する。

#### 【解説】

機械要素が使用中に破損あるいは不都合な変形を生ずることがないように考えておかなければならない。これらは一般に強度設計と呼ばれ、要素に作用する荷重から応力を見積り、それと材料の強さを比較して強度上十分安全であるかを検討する。

図3-8のように機械の部材に外力が作用すると、変形すると同時に内部に応力とひずみが生じる。この応力( $\sigma$ )は、製品や構造物が壊れる(破損)かどうかを判断する重要な指標であり、外力(W)を部材の断面積(A)で割ることによって求められる。また、材料の変形量( $\lambda$ )を部材の元の長さ(L)で割ったものをひずみ( $\varepsilon$ )という。

#### ◆ 応力ひずみ線図

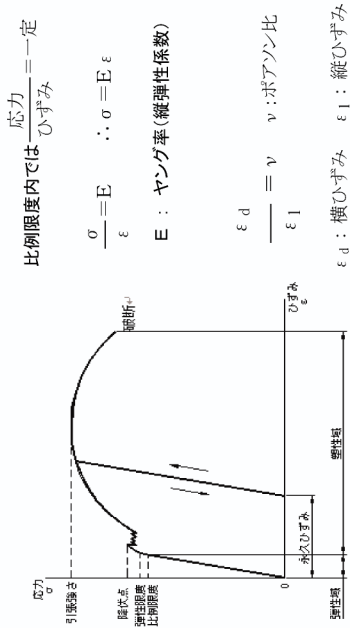


図3-9

3-18

#### 【ポイント】

軟鋼の引張試験の応力ひずみ線図をもちいて、ヤング率・ポアソン比等の用語について説明する。

#### 【解説】

軟鋼や中炭素鋼などの部材に外力がかかり、破壊するまでの応力とひずみの関係を図3-9に示す。

弾性変形領域内では、変形は荷重に比例し(フックの法則)、その比例定数を縦弾性係数、又はヤング率(E)という。

また、縦ひずみと横ひずみの比を取ったものをポアソン比という。

ヤング率、ポアソン比はCAE解析ソフトにおいて力学的な解析を行う場合、材料物性として用いられる。

## 多軸応力状態での降伏条件

主応力  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

降伏応力  $\sigma_y$

- 最大主応力説

$$\sigma_1 = \sigma_y, \sigma_3 = -\sigma_y$$

- 最大せん断応力説(トレスカの降伏条件)

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

- 最大せん断ひずみエネルギー説(ミーゼスの降伏条件)

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2$$

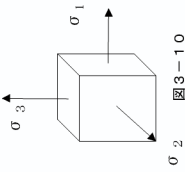


図 3-10

脆性材料では最大主応力説、延性材料では後者の2つがよく用いられる

3-19

### 【ポイント】

多軸応力状態での降伏条件において、その種類と用途について説明する。

### 【解説】

実際の機械要素、部材には図3-10に示すように2軸あるいは3軸応力状態の応力が作用することも多い。

このような多軸応力状態での降伏条件としては、代表的なものとして次のようなものが考えられている。

最大主応力説、最大せん断応力説(トレスカの降伏条件)、最大せん断ひずみエネルギー説(ミーゼスの降伏条件)である。

これらは材料の性質により使い分けられているが、脆性材料では最大主応力説、延性材料では後者の2つがよく用いられる。

## 材料の機械的性質

材料	材料記号	降伏点・耐力 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ [N/mm <sup>2</sup> ]	縦弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比
一般構造用鋼	SS400	245以上	400~510		
高炭素鋼	S45C	490以上	685以上		
鋳鋼	SC450	225以上	450以上	206	0.31
鋳鉄	FC250	-----	250以上		
ステンレス	SUS304	205以上	520以上		
純アルミ	A1050-H112	20以上	65以上		
アルミニウム	A2017-T4	215以上	345以上	72	0.33
黄銅	C2600	-----	275以上	101	0.35
プラスチック	PP	-----	30~39	0.5~3	
セラミックス	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	-----	-----	240~400	

表 3-5 出典(材料の機械的性質 : JIS規格他参照、炭素鋼及び合金鋼の種類と用途例 : 実教出版 機械工作1)

3-20

### 【ポイント】

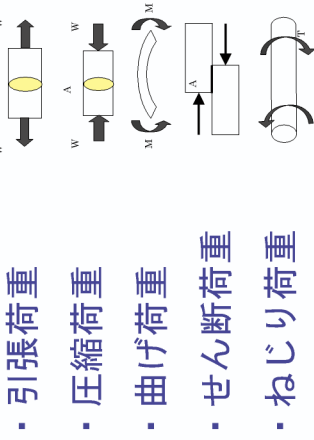
機械構造物に用いられる一般的な材料について、基本的な機械的性質(降伏点・引張強さなど)を紹介する。

### 【解説】

先ほどの応力・ひずみ線図の時のように、材料に引張荷重をかけた場合の最大応力(引張強さ)や降伏点などは実験値より次のような値をとる。

また、縦弾性係数やポアソン比などCAE構造解析において用いられるデータにおいても一般的な材料においては、上記のような値をとることが知られている。ただし、これらの値は熱処理の状況、温度や形状製造法、その他の要因により変化するものもあるため、参考値として見てください。

(2) 荷重、応力の種類  
a 荷重の作用による分類



3-21

【ポイント】

荷重の作用による分類について紹介する。

【解説】

部材の強度を検査するには作用している荷重の種類を知らなければならぬ。  
荷重を分類する場合、荷重のかかる向きや作用の仕方による分類、時間に対する荷重変化に対する分類、荷重の分布状態による分類等がある。

部材にかかる荷重の作用の仕方(荷重のかかる向き)によって表3-7に示すように分類される。

b 時間的に見た荷重の分類

静荷重	時間に対してほとんど変化しない一定荷重
動荷重	繰返し荷重 同じ荷重振幅が繰返し作用する
	交番荷重 繰返し荷重のうち、力が作用する方向も変化するもの
	変動荷重 時間によって荷重の大きさが変化する
	衝撃荷重 瞬間的に外から作用する荷重

表3-6

3-22

【ポイント】

時間的に見た荷重の分類について説明する。

【解説】

機械要素に加わる荷重は、荷重の加わる速さにより静荷重、動荷重に分類される。その分類を表3-6に示す。

### C 荷重分布別による荷重の種類

種類	内容	分布様式
集中荷重	小さい範囲に集中して作用する荷重	
分布荷重	ある広さの範囲に分布して作用する荷重	

表3-7

#### 【ポイント】

荷重分布別による荷重の種類とCAEにおける活用方法について説明する。

#### 【解説】

表3-7に荷重分布別による荷重の種類を示す。

集中荷重はその名前の通り一点に集中して作用する荷重、分布荷重は部材形状に依存する連続的に作用する荷重です。

分布荷重は、作用する部材の形状に依存するため、一般には荷重の定義が複雑である。

一方、集中荷重は、節点にのみ作用させることを約束事としているため、定義も直接的でかつ利用者も理解しやすいという点でメリットがある。

しかし、現実の多くは集中荷重ではなく分布荷重の場合がほとんどですから、有限要素法では、分布荷重を等価な集中荷重に置き換えることが一つの重要な技術となる。

### (3) 許容応力と安全率

・許容応力  $\sigma_{al} = \sigma / S$

$\sigma_{al}$ : 許容応力  $\sigma$ : 基準強さ  $S$ : 安全率

#### ・安全率

一般的な安全率 (例)

材料	静荷重	動荷重		
		繰返し荷重	交番荷重	重衝撃・変動荷重
鋼	3	5	8	12
鑄鉄	4	6	10	15
木材	7	10	15	20
石材 いか	20	30	—	—

表3-8 出典(安全率:産業図書 材料力学 中沢一他共著 平成5年2月10日)

#### 【ポイント】

安全設計のための用語(許容応力・安全率)などを説明し、代表的な安全率の値について紹介する。

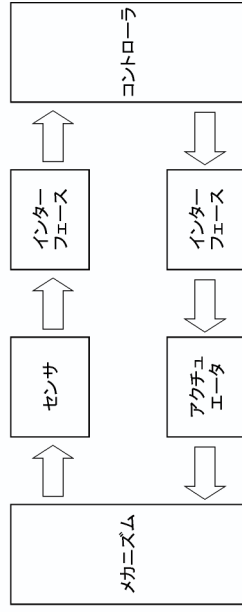
#### 【解説】

設計した機械や構造物は使用期間中に有害な変形や破壊することなく、安全かつ十分にその機能を果たさなければならない。したがってこれらの部材に生ずる応力は、その材料が変形や破壊を生ずる応力と比較して十分に小さく安全な応力でなければならない。このような応力を許容応力という。

設計時の応力(許容応力)を危険な応力(基準強さ)よりも十分小さくするために用いる係数を安全率といい、一般に各種条件によって決まる。

表3-8は材料とそれにかかる荷重の種類による条件での安全率の目安である。

### 3-3 コントロール



3-25

### 第4節 その他機械設計で考慮する項目

#### 学習のポイント

機械設計においてこれまでに学習した内容以外に考慮しなければならない事項について項目を挙げる

- 4-1 加工法・組立・分解・操作性
- 4-2 耐久性・安全性
- 4-3 標準・法規

3-26

#### 【ポイント】

ハードを動かすコントロール部分について簡単に紹介する。

#### 【解説】



ハードが出来れば、それをどのように動作させるかを検討する。メカニズムに目的の動作をさせるためには、駆動源としてモータやシリンダなどのアクチュエータが必要であり、センサによりその位置や動作などの状態をセンシングする。そしてコントローラによりアクチュエータを制御してメカニズムの動作を制御する。

【節全体のポイント】  
機械設計においてこれまでに学習した内容以外に考慮しなければならない事項について項目を挙げる。

#### 【節全体の解説】

設計時に考慮しなければならない各種加工法・製品操作性、製品の耐久性と安全性、各種規格について解説する。

#### 4-1 加工法、組立、分解、操作性

- ・加工しやすい形状  コスト削減
- ・組立・分解しやすい形状
- ・操作しやすい形状  顧客ニーズ

3-27

#### 【ポイント】

設計において、形状の決定要素の一因を紹介する。

#### 【解説】

設計上考慮しておくべきことは多くあるが、その一例として加工・組立・分解のしやすさ、ユーザーの側に立った設計として、製品の使いやすさが挙げられる。

#### 4-2 耐久性・安全性

- ・耐久性の考慮
  - さび、摩耗などの対策
- ・安全性の考慮
  - カバー、スイッチ類の配置、安全制御
- ・環境を考慮
  - 環境汚染、騒音、リサイクル

3-28

#### 【ポイント】

安全性・環境を考慮した設計について説明する。

#### 【解説】

また製造物責任法(PL法)の制定により、製品の欠陥によってユーザーに危害が加わった場合、多大な賠償責任を負うこととなる。そのため製品の耐久性、安全性には十分考慮し、試験した上で出荷しなければならぬ。

さらに環境汚染や騒音、振動又はリサイクルの問題など、環境に配慮した設計を心がけなければならない。

## 4-3 標準・法規

- ・団体規格
  - 電気学会規格 (JEC)
  - 日本建築学会規格 (JASS)
  - 米国機械学会規格 (ASME)
  - 米国電気電子技術者協会規格 (IEEE) など
- ・国家規格
  - 日本工業規格 (JIS)
  - アメリカ工業規格 (ANSI)
  - イギリス工業規格 (BS)
  - ドイツ工業規格 (DIN) など
- ・国際規格
  - 国際標準化機構 (ISO)
  - 国際電気標準会議 (IEC) など



JISマーク



ISOロゴマーク

3-29

【ポイント】  
設計上の指針となる各種規格について紹介する。

【解説】  
グローバルな製品開発のためには、各規格に準拠した設計は必要不可欠である。  
各種規格は品質向上や大量生産、生産費低減、互換性等を目的としており、国際規格、国家規格、団体規格、社内規格と様々である。  
安全性などの関連から各種規格を満たさない製品などを受け入れない国・地域もあるため、輸入先などの規格を事前に調べておくことも必要となる。