

平成 25 年度

成長分野等における中核的専門人材養成の戦略的推進事業

クリエイティブ分野の中核的専門人材養成における モデルカリキュラムの開発と評価

テキスト編

学校法人第一平田学園
中国デザイン専門学校

□収録テキスト

1. ドローイング入門「素描から表現へ」	1
2. 製造技術論	49
3. デザイン基礎演習—導入編—	81
4. 人間工学演習—導入編—	95
5. 色彩—導入編—	111
6. 色彩—副読本—「カラーマネジメントの手法とツール」	149
7. 品質管理—副読本—「表面性状品質管理の手法と画像ツール」	171
8. マーケティングリサーチ—副読本—「連想からのマーケティング」	189
9. 実証講座テキスト教員研修「色彩」	203
10. 実証講座テキスト企業研修「NOC S 解説セミナー」	249

ドローイング入門

素描から表現へ

鉛筆で描く素描の基礎

素描から表現へ
～鉛筆で描く素描の基礎～

もくじ

□はじめに	・・・	5
1. 導入	・・・	6
1-1 いりぐち	・・・	6
1-2 絵を組み立てるのはこの3つ	・・・	9
2. 線で形を描く	・・・	17
2-1 形のヒントを見つける	・・・	17
2-2 形のジグソーパズル	・・・	19
3. 形を描く基礎	・・・	22
3-1 透視図法による遠近法の表現(パースについて)	・・・	22
3-2 色々な調子の役割	・・・	24
4. 描いてみよう	・・・	26
4-1 描く前に	・・・	26
4-2 立方体を描く	・・・	27
4-3 円柱を描く	・・・	34
4-4 球体を描く	・・・	40
5. 構図	・・・	44
5-1 構図について	・・・	44
5-2 バランスとアンバランス	・・・	45
おわりに	・・・	47

はじめに

「デッサンとは形ではない。形を見る見方のことだ」画家ドガ¹の言葉です。ドガは同時代の画家の中でも、デッサン家として卓越した存在でした。ドガほどのデッサンの名手が語っているだけに、この言葉の持つ意味は重いですね。ドガは、踊り子の微妙な動きや躍動感、また走る馬の一瞬の姿を見事に画面上に表現しています。それは形を正確に捉えるドガの写実力にあると思われがちですが、ドガはそのことを否定しています。「デッサンは形ではない・・・」と。形を正確に捉えるためには写真を撮れば済むことですが、あえて人の手を通して描くという理由は、作家の見方によって形を変えるためと言っても過言ではないでしょう。そこにこそ作家の存在理由や芸術性の秘密があるからではないでしょうか。また、ドガはこのようなことも言っています。「人は自分の見たいようにしか見ない。その意味ではそれは偽りだ。だが、その偽りこそが芸術を生み出す。」と。

私たちは、日常の中で当たり前のように何となくモノを見ているのではないのでしょうか。改めてモノの形を確認してみると、意外な発見があるはずです。自然の動物、植物、日用品等、私たちにとっては不思議なモノがたくさんあります。これらすべてのモノを、私たちは五感（視、聴、触、味、臭）を通して認識していますから、その感じ方には一人ひとり全て個性があって当然なのです。

ですから、描くことを通じて日常を新鮮に見つめ直し、感じ直してみませんか。形を捉える基本に添ったうえで、自分の感性を最大限に使って表現しましょう。

(内容の一部を高階秀爾「デッサン」より引用)

¹ エドガー・ドガ (1834年～1917年) フランスの画家。他の印象派の画家たちと同様、浮世絵、特に葛飾北斎の影響を強く受け、日本におけるジャポニスム研究の発端となった。

1 導入

描くことを気楽に楽しめたらいいのにとか、上手く描けないから絵は嫌いだとか思う人は多いようです。なんと日本人の70%～80%は、絵の鑑賞は好きだけれど描くことは嫌いなのだそうです。ほとんどの人が、自分は下手だと思い込んでいるからです。誰だって描くからには自分が満足できる絵を、描きたいのでしょう。

絵の表現要素は大きく分けて形と色彩です。色彩はそれぞれの感じ方によって異なりますし、本人が選んだ色に間違いはないというのが通例ですが、形はそうはいきません。形が異なると、何を描いたのかが伝わりにくいのです。このため、形が思うように描けないからという理由で絵を描くことから遠ざかってしまう人が多いのは、とても残念なことです。本物そっくりに上手に描きたいという気持ちは、向上心という観点から捉えれば当然のことかもしれません。形を正確に捉えて描くことは、絵を成り立たせている骨格となる部分ですから、この基礎を学んで描きたいものを的確に表現する力を養いましょう。

そこで2つの表現要素のうちの色彩はひとまず置いておいて、形を描くことに焦点を絞って学んでみましょう。素描の基礎を身につけることは、描く楽しみを広げてくれます。このテキストでは、モノクローム（白黒）で素描する基礎理論を学び、演習を重ねながら線で形を捉えて描くことを体得していただければと願います。

なお、専門的と思われる用語は、各ページ末に脚注で説明していますので、ご参照ください。

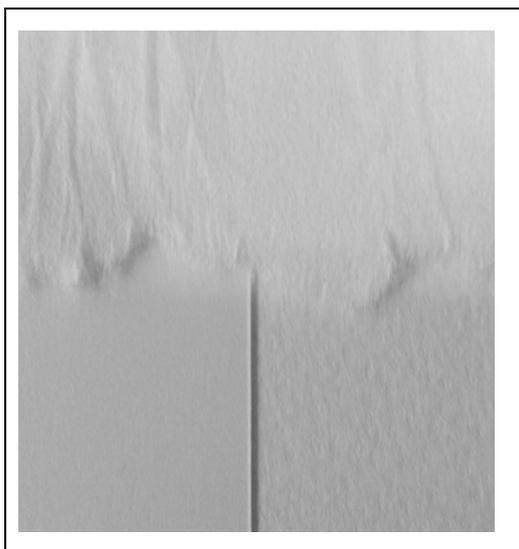
1-1 いりぐち

人は意志や感情を、いろいろな方法で伝えています。たとえば、言語や体表現、絵、音楽などです。また絵は、感情や印象等を優先した表現としての抽象表現と、現実のモノの形を優先した写実（具象）表現に大きく分けることができます。

このテキストでは、モノを写実で描く際の学びとして、幾何形体の立方体と円柱、球を描きます。その形を正確に描写するために、それらの特徴を整理しながら素描の基礎を学ぶと考えてください。

では学びをスタートするにあたって、描くための道具を知ることから始めましょう。描写用紙と用具には、専門的なものから日常的なものまで多種多様な価格と種類がありますので、白黒表現での素描にふさわしいと思われる代表的な画材を用紙と用具に分けて、その種類と特徴を紹介します。いずれも、画材店などで簡単に入手できる品です。これらは基本知識としての一般的な画材ですが、皆さんの演習では、とても身近な用具の鉛筆とこのテキストのページ紙を描写用紙として使っていただきます。

図1 描画用紙 上：和紙、下左：ケント紙、下右：画用紙

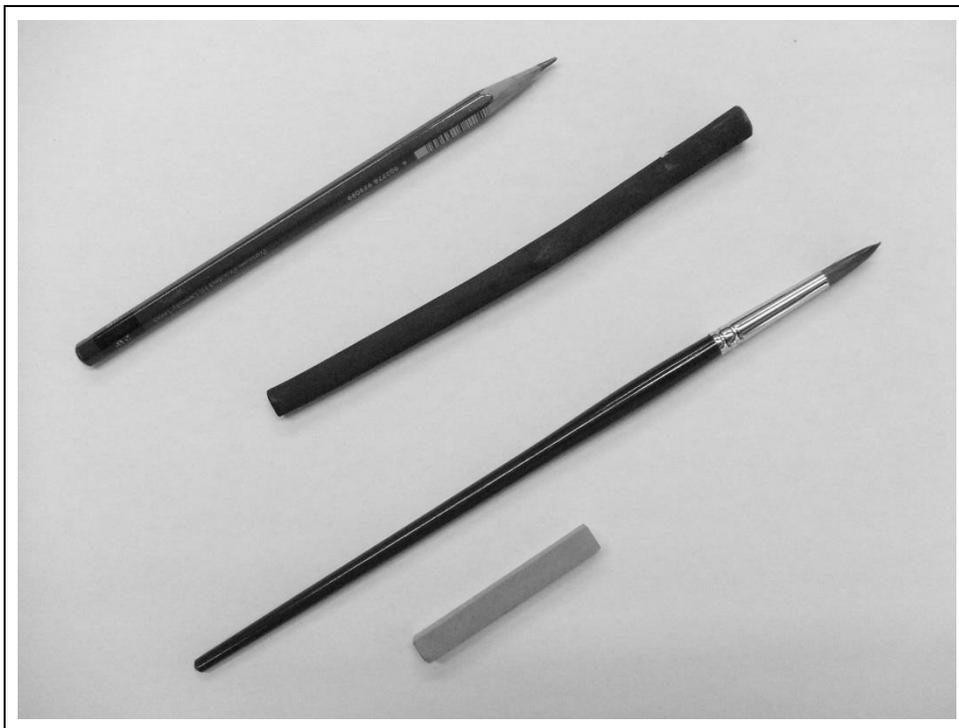


和紙：素朴で暖かい手触りが特徴の日本の伝統的な紙です。薄くても丈夫なので、修復作業にも使われます。

ケント紙：ツルツとした手触りの、きめの細かい表面が特徴です。精密画やデザイン画、製図等に使います。

画用紙：幼い頃から馴染の深い紙です。ザラツとした手触りがあり、吸水性に優れています。

図2 用具 左上から 鉛筆、木炭、筆、コンテ



鉛筆

最も身近な描写用具です。日常は HB を使うことが多いのですが、素描では色々な濃さを使い分けることもあります。芯が細いため、細部まで描くことができます。

木炭

寝かせ気味に使うと、広い面積を簡単に塗ることができます。また、指や食パン、布等で擦ることで、色々な効果や明暗の変化が生まれます。

筆

動きや勢いの表情が豊富で、描く際のカスレも魅力の一つです。

コンテ

硬質と軟質があります。寝かせたり重ねたりするタッチで、広い面積や明暗の変化などを繊細に表現できます。

1-2 絵を組み立てるのはこの3つ

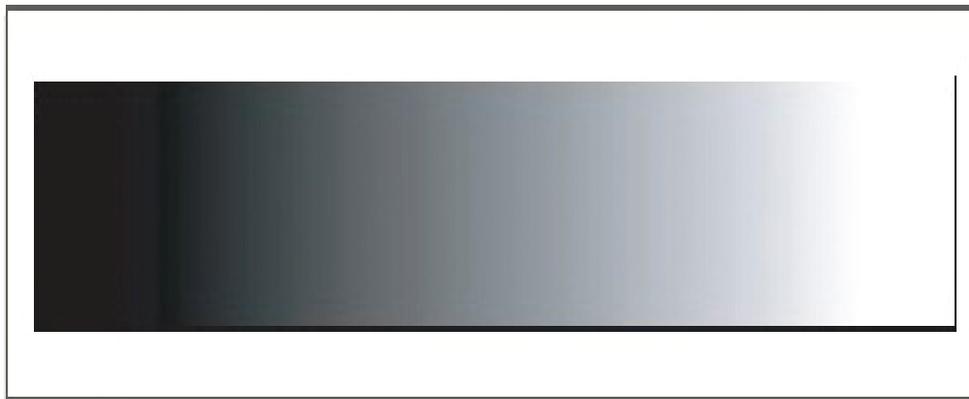
絵に必要な描写要素とは何かを突き詰めていくと、点と線、そして面に集約されるでしょう。この単純な3つの要素を多種多様に組み合わせることで、絵は生まれてきます。

そこで、点と線のそれぞれの練習を兼ねながら、白黒の表現での基本となる図3のようなグレースケール²を、演習1~2で作っていきましょう。演習は、暗い、中間、明るいに分けたマスを3マスずつに分割した9マスと、その両端に黒と白のマスを加えた計11コマで実施します。

*ポイント

描きながらグラデーションの変化がよく分からなくなった時は、目をうんと細くして眺めるとその変化がよく見えてきます。演習ではこうして確認しながら、明暗の変化を図3のようになだらかなグラデーションに少しずつ近づけていきましょう。

図3 グレースケール



² 色の濃さや明るさの連続的な変化を等段階的に表現したモノサシ。

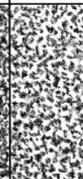
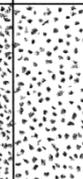
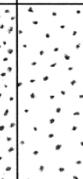
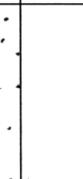
① 点の表現

1 cm四方に点が1個と点が100個の四角を見比べると、どちらが暗くて黒に近いグレーに見えるでしょうか。当然、点の数が多の方が暗く見えるはずです。このことを利用して、点を集合させたグレースケールを作成しましょう。

演習 1

図 4 を参考にしながら、それぞれのマスの中を点だけで埋めて、グレースケールを完成させてください。
ただし、No.1 は黒、No.11 は白の設定ですから、このマスへは点を描きません。

図 4 点のグレースケール

No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
										

演習 1 点のグレースケール

No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
										

② 線の表現

今度は、線を集合させてグレースケールを作成しましょう。

また、No.1 は黒、No.11 は白の設定ですから、このマスへは線の描写は必要ありません。

まず、左端のマスNo.2 から右端のマスNo.10 まで、同じ方向の線を引いてください。その次はNo.10 を外して、先ほどとは異なる角度の線をNo.2 から引きます。今度はNo.10～No.9 を外して、やはり先ほどとは異なる角度の線をNo.2 から引きます。このように線を引かないマスをNo.順に1マスずつ増やしながら、マスの中をいろいろな角度の線で埋めていってください。ただし、スタートは常にNo.2 のマスです。この結果、線が一番多く入ったマスNo.2 が、黒に一番近いグレーを表現していることになります。

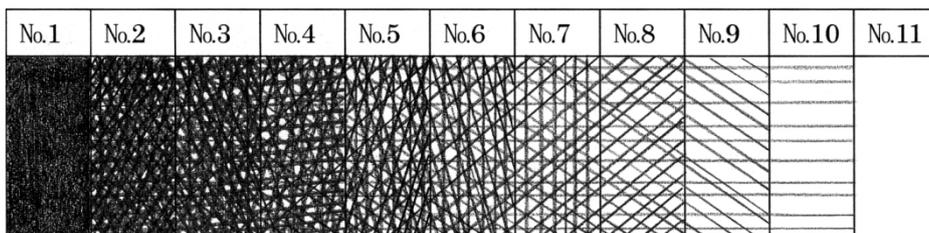
演習 2

図5を参考にしながら、それぞれのマスの中を線だけを使って埋めて、線によるグレースケールを完成させてください。多少はみ出しても、消しゴムで消しておけば大丈夫です。

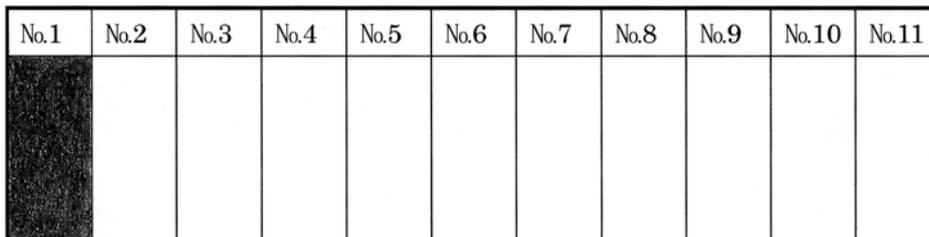
*ポイント

線と線の間隔と線を引く際の力加減は、始めから最後まで同じになるように意識して引いてください。

図5 線のグレースケール



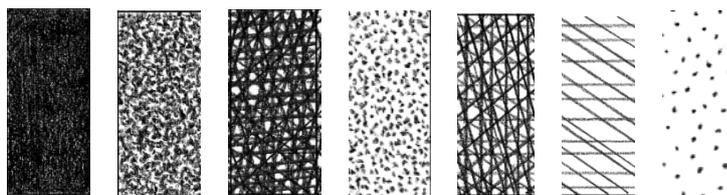
演習 2 線のグレースケール



③ 面の表現

点と線の練習を兼ねて作った**演習 1**と**演習 2**のグレースケールをもう一度眺めると、マスごとに徐々に変化していく明暗がとてもきれいです。このグレースケールで表現した 1 マス内は、それぞれの明暗を均等に表しています。このそれぞれの 1 マスを、面と言います。

図 6 面としての明暗



④ 線の表情

線の集合でグレースケールを作る際の注意として「線を引く際の力加減は、最後まで同じになるように意識して描いてください。」と記したことを、思い出してください。これはグレースケールを学んでいただくには、無表情な線がふさわしかったからです。すると「えっ、無表情な線？」の疑問がわいてきます。線の表情とはいったいどういうことなのでしょう。

その答えを体感から学ぶために、次ページからの**演習 3～8**の指示に添いながら、それぞれ 8 種類の線を引きましょう。

*ポイント

i **演習 3～8**で描く 6 種類の線は、同じ鉛筆で試みてください。
もし用意できれば、少し軟らかめの 2B～4B の鉛筆で試すと、線の表情を実感していただきやすいでしょう。

もちろん、日常的に使っている鉛筆でも構いません。

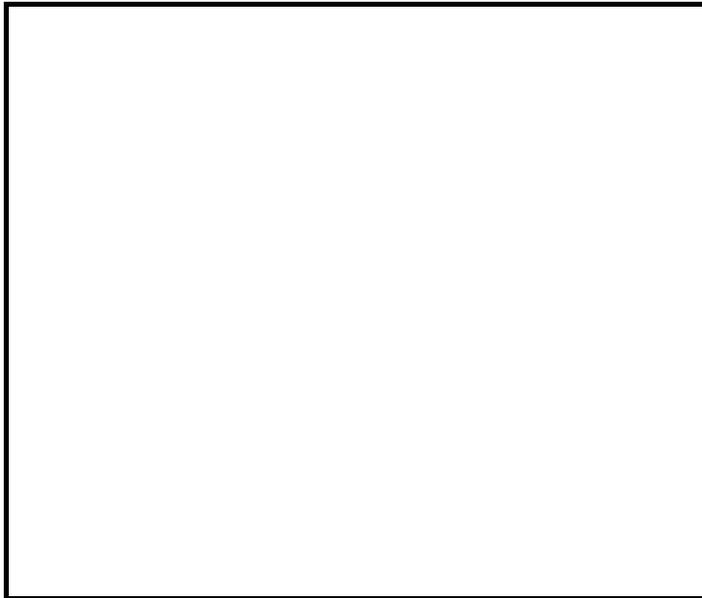
ii 演習の 1 回目は鉛筆で文字を書く時のように持った線を使い、2 回目では鉛筆を寝かせ気味にして芯の上から軽く押さえるように持って描く、この 2 種類の線を試してください。

iii 1 回目**演習 3～8**まで終了してから、2 回目の線を試してください。1 回目の線に、2 回目の線が重なっても構いません。

演習 3 : 定規を当てて 3 本の直線を描く。どの角度でもいいです。



演習 4 : フリーハンドで 3 本の直線を描く。どの角度でもいいです。



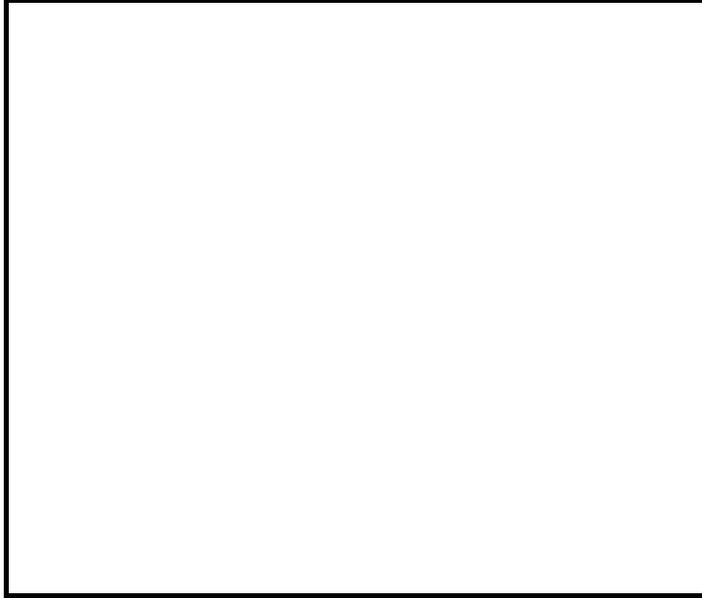
演習 5：速いスピードで3本～6本の線を描く。どの角度でもいいです。



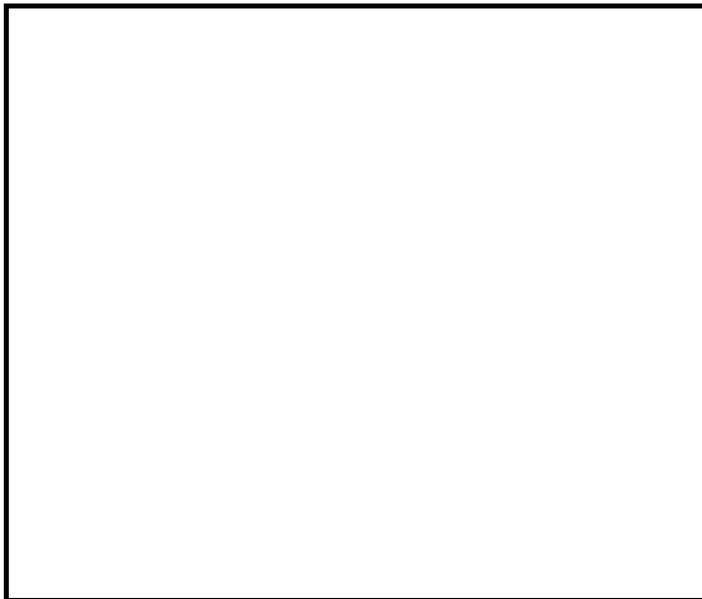
演習 6：グニャグニャと曲った、3本の線を描く。



演習 7 : 怒った時を思い出しながら、3 秒間線を描く。
(一番最近の出来事が、リアルでいいですね。)



演習 8 : 安らぎの時を想像しながら、3 秒間線を描く。
(例えば、赤ちゃんが母親の胸で眠っているところを想像してみましょう。)



いかがでしたか。ではさっそく、演習 3～8 で描いた 6 種類の線を見比べてみましょう。

・演習 3 「定規を当てて、3 本の直線を描く」では、正確できちんとした線が描けます。ただ、誰が描いても同じような線です。

・演習 4 「フリーハンドで、3 本の直線を描く」では、少しぎこちないけれどじっくりと描かれていて、それぞれの味わいがある線です。

・演習 5 「速いスピードで、3 本の線を描く」では、一本の線なのに、始めと終わりでは強さが異なっていて、線に変化が生まれています。

・演習 6 「グニャグニャと曲った、3 本の線を描く」では画面の上を自由に動き回っているかのようなようです。動き回りながら、筆圧の強弱もあるようです。あなたはどんなふうに動きましたか。

・演習 7 「怒り」と演習 8 「安らぎ」の線は、個人差が特に大きく出たのではないのでしょうか。どなたかと一緒に演習をされた方は、ちょっとお互いに見せ合ってみましょう。

演習 3～8 で描いたそれぞれの線は、明らかに異なった雰囲気になっていてということを見ましょう。ここでは同じ鉛筆を使って描いているにもかかわらず、筆圧やスピードの変化などによる線の強弱と明暗など、うまく言い表せないけれど…なんだか違うなということ、実感されることでしょう。これら描かれた線の微妙な変化を“線の表情”と、呼んでいます。

このように、1 本の線といえども線はさまざまな表情を持っています。また、それぞれの演習では 2 種類に鉛筆の持ち方を変化させていることから、さまざまな線の表情は演習数の 2 倍の表現がされていることになります。

この線の表情は、素描の表現を豊かに膨まらせてくれるエッセンスのひとつとして、感覚的な表現を大きく支えてくれます。普段はあまり意識しない視点ですが、素描の表現をさらに深めたい方は、線の表情にも着目して描かれることをお勧めします。

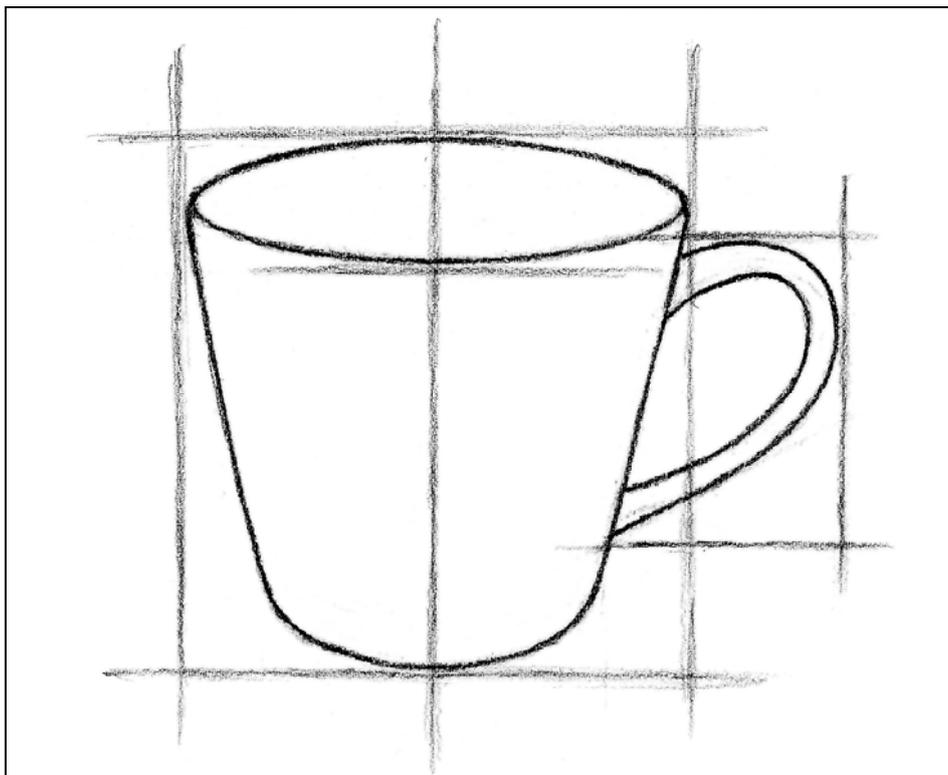
2 線で形を描く

いよいよ形を描きましょう。
今回は色彩による表現ではなく鉛筆で白黒だけの世界を表現しますから、
まずは、モチーフ³の形を輪郭線で描きます。

2-1 形のヒントを見つける

形を描く際に意識すると、とても役に立つ線があります。それが、
中心線と補助線です。これらの線は、形をより正確に描写するための
形のヒントです。図4をご覧ください。モノ（マグカップ）を描くた
めの中心線と補助線を入れて、線だけでとらえて描写しています。

図7 マグカップを輪郭線で描く



³ 動機、理由、主題という意味のフランス語（motif）。美術の分野では描く題材や対象をさすことが多い。

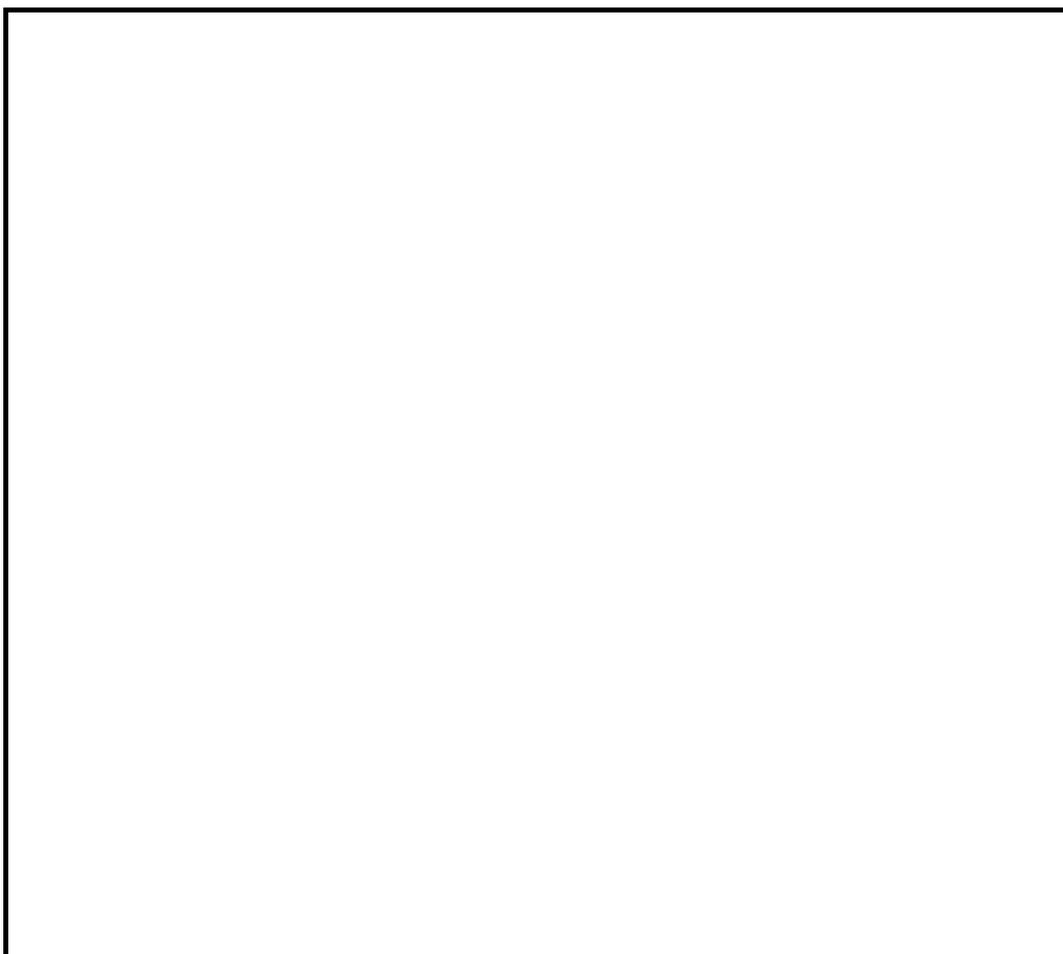
形を描く際の手助けとして、中心線や補助線が大きな役割を果たしてくれることはご理解いただけましたね。この中心線や補助線のことを手掛かりの線と言うこともあります。

演習 9

りんごを1個ご用意ください。りんごは、誰でも何処でも何時でも手に入りやすいモチーフです。りんごをその輪郭線だけで描きましょう。中心線と必要な補助線を見つけ出し、立体感は表現しないで、りんごの輪郭を線で捉えて描いてください。

さらに、先入観にとらわれず、形の個性や自然の形の素晴らしさを実感しましょう。

演習 9 りんごを輪郭線で描く

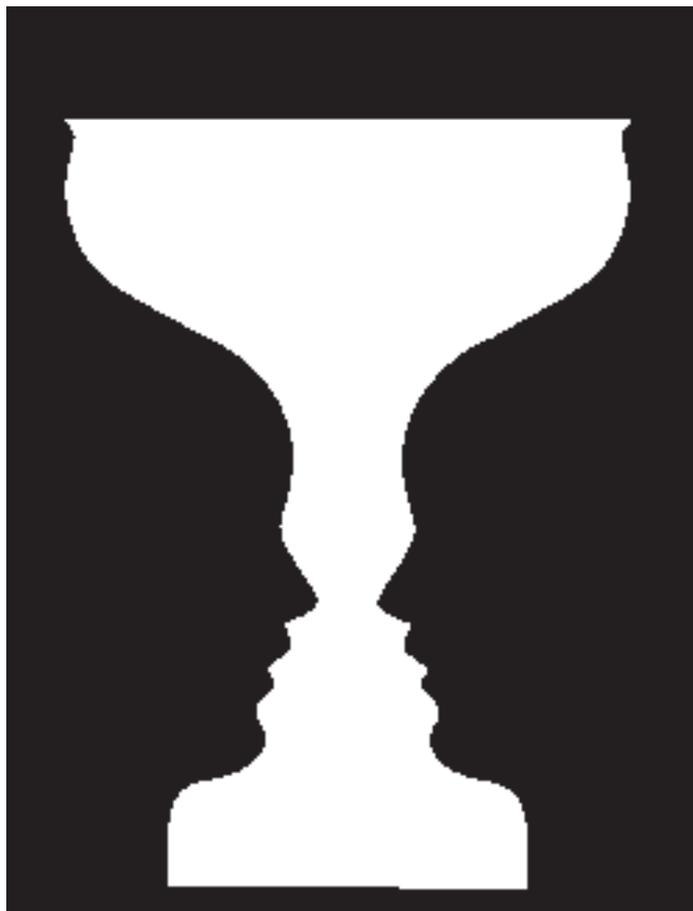


2-2 形のジグソーパズル

① ルービンの壺

「ルービンの壺」と呼ばれる絵を、ご覧になったことがありますか。
図8に記載した白黒の作品が「ルービンの壺」です。

図8 ルービンの壺



まず、この作品を白の方に着眼して眺めてみましょう。すると、壺が現れます。次に、黒の方に着眼を移して眺めると、向かい合った女性の横顔のように見えてくるのです。同じ1枚の作品にもかかわらずです。

このように白か黒のどちらに着眼するかで、見えてくる形は異なってきます。この白と黒を、本体と余白、またはポジとネガと言い方を変えてもよいでしょう。

② 手を描く

複雑な形を描くのは、素描に慣れている人にとっても難しいことです。よく観察すればするほど混乱してつじつまが合わなくなって、描きながらも形が繋がらなくなる等、よく聞く体験談です。こんな時には、着眼点を変えてみることを試みましょう。例えば、モチーフ本体ではなくその余白の方に着眼して、余白の形を描くのです。こうすることで、複雑な形が案外とたやすく描けるものです。まるで形のジグソーパズルのようですね。

演習 10

利き手ではない方の手を描きます。この時、手の輪郭線が見えやすいように、白か黒の無地の台紙の上に手を置くと良いでしょう。

手を置く台紙は余白の形を正しく把握できるように、**演習 10**の枠と同じサイズを用意してください。これで準備はOKです。

手の輪郭線は手と台紙の境目ですから、この境目の線から外側に向かって台紙の端までが、余白の形です。つつい手の方を見てしまいがちですので、意識的に手の外側の線を見つめながら描いてください。余白を描くことで、指の形の小さな変化も描き出せるはずですよ。

では、台紙の上に手を置いてポーズが決ったら、どこから描き始めるか決めてスタートしましょう。

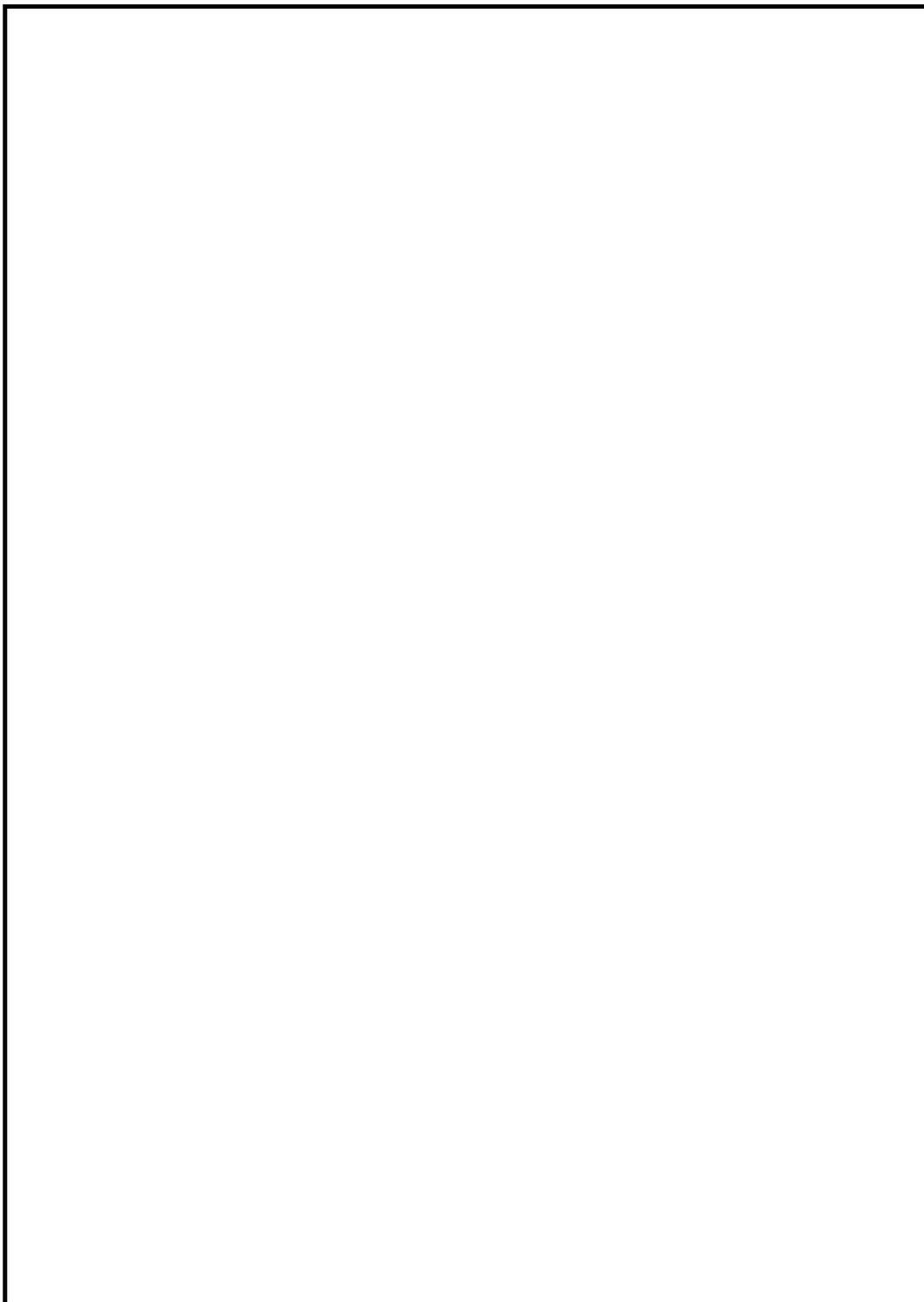
*ポイント

i 手を載せた台紙と描写紙をできるだけ体に近い位置に真横に並べ、余白の形に集中して描きましょう。

ii 消しゴムは使いません。

iii 線をつぎ足さないで、一筆書きのつもり、ゆっくりじっくりと描いてください。

演習 10 手の余白を描く



3 形を描く基礎

立体であるモノを平面に描くには、2種類の表現技法が必要です。1. 遠近感、そして2. 光と影をとらえての明暗表現です。

3-1 透視図法による遠近の表現（パースについて）

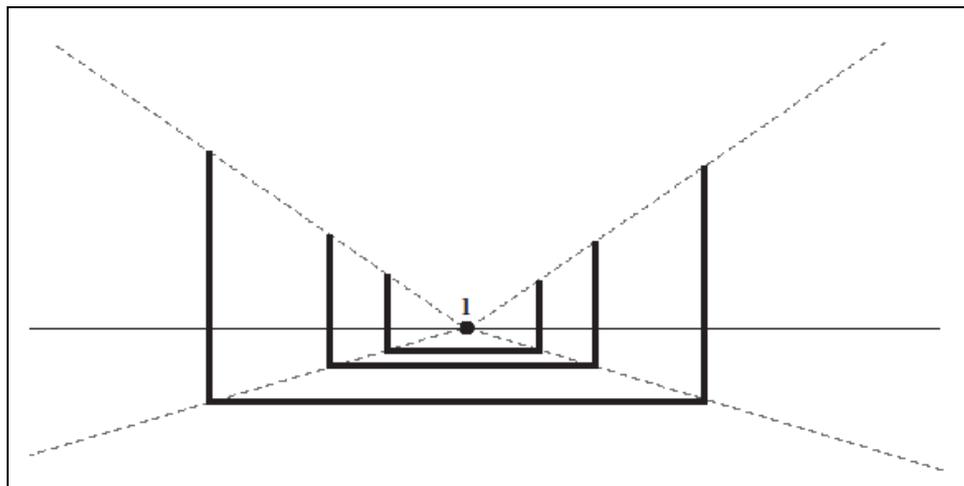
遠くと近くを表現する手法を、「遠近法」「透視図法」またはパースペクティブ、通称パースと称します。また、建築の分野では完成予想図としてのパース、デザインの分野ではレンダリングと言うこともあります。

では、遠近感を表現できる透視図法とはどういう手法なのかということ、一点透視図法と二点透視図法、三点透視図法の理論の図を通じて、遠近表現の基礎を学びましょう。

① 一点透視図法

一点の消失点（視点）を中心に、放射状に広がって描く図法です。まっすぐに遠くへ続く線路を想像してください。

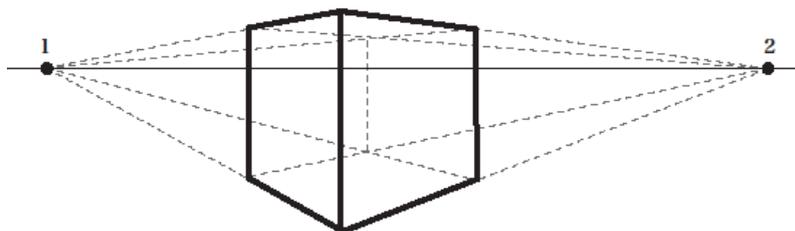
図9 一点透視図法



② 二点透視図法

一点透視図法から視点を少しずらし、左右二つを消失点として表現する図法です。段ボール箱などのあまり大きくないモノを描く時に使います。素描の基礎では、この二点透視図法のイメージを持つとよいでしょう。

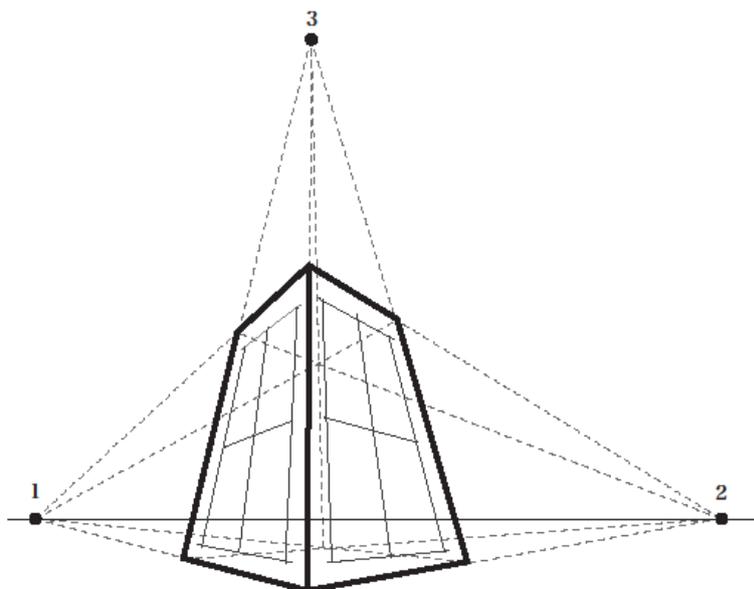
図 10 二点透視図法



③ 三点透視図法

二点透視図法に加えて、上下の消失点を設けた図法です。見下ろす、見上げるといった空間表現を広げることができます。たとえば、高層ビルを描く際の視点です。

図 11 三点透視図法



3-2 いろいろな調子の役割

モノの立体感を表現するには、3-1 で述べた透視図法による遠近の表現に加えて、明暗の調子による表現が強い味方となってくれます。明暗での表現を駆使することで、平面上に線で描かれたさまざまな形に、立体感を与えることができます。

さらに、明暗の調子で描き込むことによって、質感（テクスチャー）の描き分けも可能となります。

① 明と暗

明暗の調子とも言われる明暗の諧調は、すでに**演習 1 と 2** で作ったグレースケールがそうですから、皆さんはすでに体験済みですね。この演習では 11 段階の明暗を体験していただきましたが、実際に描く時はこの 11 の間に必要に応じた明暗の諧調を増やして、描き込むことが大切です。

また、モノの形の立体感や存在を表現するには、光があたってくる方向が重要です。光がモノにあたることで、モノに明るい部分と暗い部分をつくり出します。モノの立体感を表現するには、光がつくり出す明と暗の変化を、的確に描き分けましょう。

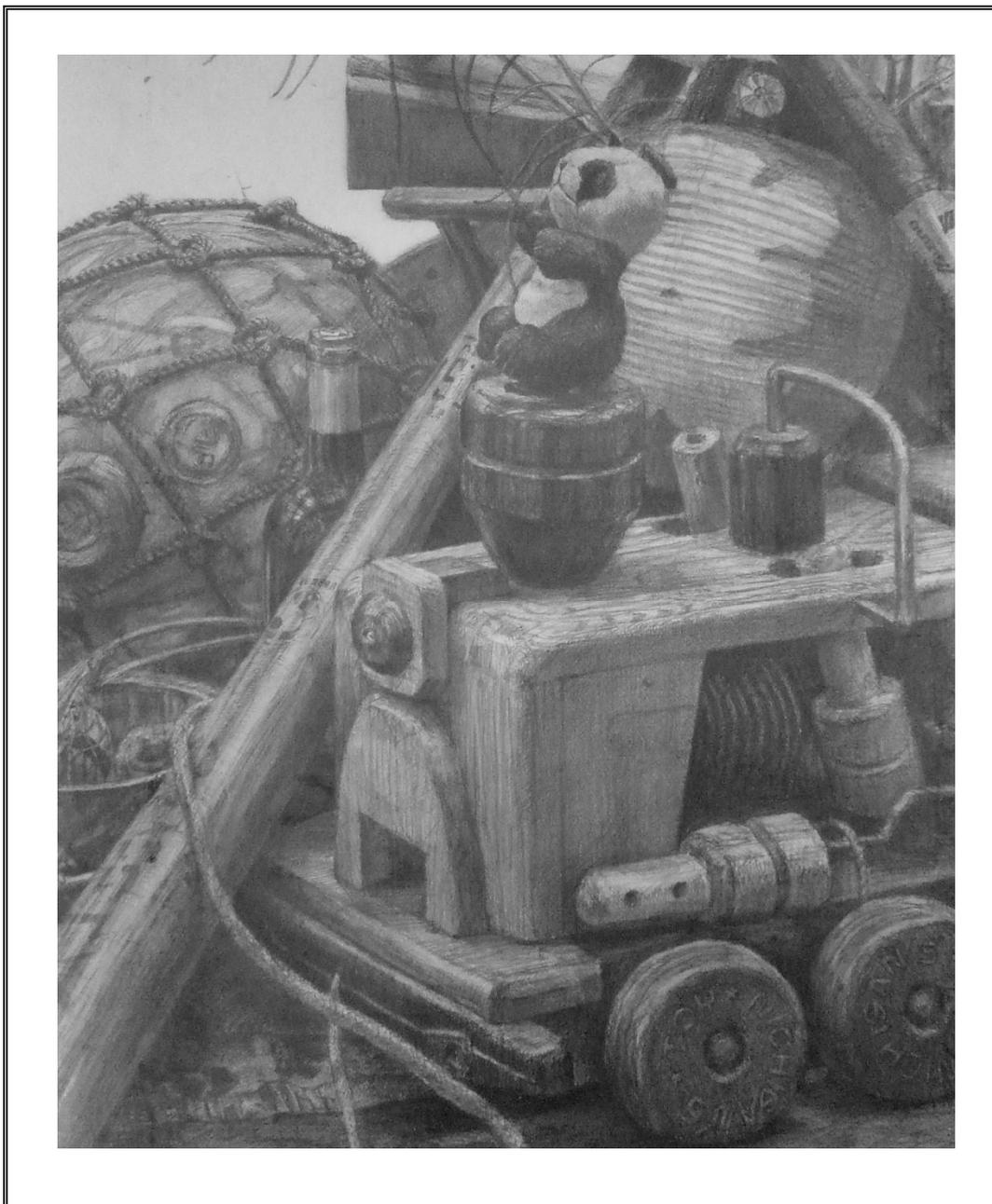
② 質感

モノには必ず質感があります。質感とは材質感とも言い換えることができます。これを感じ取るのは、五感の中で視覚と触覚が主な感覚です。視覚的には、鈍いや重い、キラキラ、軽いなどがあります。手触りは、柔らかい、硬い、ザラザラ、ツルツルなどがあり、これらを表わす言葉の種類はモノの数以上にあります。描写でも同じように、モノの数以上の表現の仕方があると言っていいでしょう。

ですから、質感を表現するうえで大切なことは、モノにあたっている光の変化の違いをよく観察することです。それが、質感を表現することで最も役に立ちます。

図 12 は、いろいろなモノを鉛筆だけで描写した作品です。モノクロームの美しい世界と、さまざまな質感をご覧ください。

図 12 さまざまな質感のある静物



4 描いてみよう

いよいよ、モノの形を立体的に描きます。形の基本である幾何形体の立方体や円柱、球体を描くことで、モノの立体感の表現を学びましょう。

4-1 描く前に

① モノを選ぶ

4-2から4-4でご覧いただく各描写プロセスで使用しているのは、美術を専門的に学ぶ人達が最初に描く、石膏で作られている幾何形体です。これを入手するのは困難ですが、安価な発泡スチロール製は入手しやすいですし、身近にあるモノでも代用できます。よく探せば意外と簡単に見つけ出せます。たとえば、立方体だと箱、円柱は茶筒、球体はボールを使って代用することができます。

ただし、白ではないモノの場合は光の変化を見定めにくいですから、よく集中してモチーフを観察して光の変化を捉えてください。この際、グラデーションでクレースケールをつくった時のように、目をうんと細めてモチーフを見ると、光による明暗の変化が良く見えてきます。

② モノと光と陰影の関係

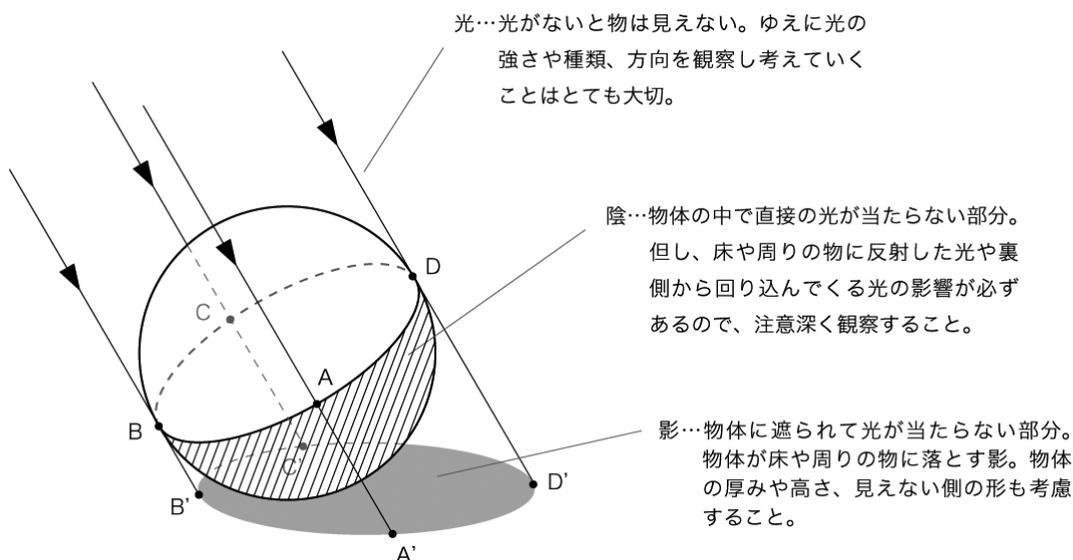
モノは立体です。3-2①でもふれましたが、光がモノにあたって変化する明暗を的確に描写することで、その立体が持つ特徴を捉えての描写ができます。また、モノが床（台）に落とす影には、そのモノの形が反映されます。その影は丸いモノであれば丸い形に、四角いモノであれば四角い形になります。これは、立体の構造によって変化する明暗と同様に光の方向や強さによって変化し、影の暗さや範囲も変わります。さらに光源が複数ある状況では、それぞれの光がつくり出す陰影は複雑に折り重なった状態になりますし、影同士が重なった部分だけがいっそう暗くなるため、明暗の見極めが一層難しくなります。この場合、床の影だけに着目して描いてしまうと、モノの形を無視した印象の影になってしまいます。

そこで素描の際は一番強くわかりやすい光源を選び出して、光の方向とモノの形と陰影の関係をよく整理して描く必要があります。この

陰影をわかりやすするために、スタンドの光をあてて強い光を演出して光の差してくる方向を強調すると、描きやすいでしょう。

図 13 にモノと光と陰影の関係をまとめましたので、参照してください。

図 13 モノと光と陰影の関係



4-2 立方体を描く

パースと明暗の両方を使って、立方体を描きましょう。

① パースについて

形を描く基礎 3-1 で透視図法理論の基礎を学びました。同じ大きさや幅であれば、視点から遠ざかるにつれて小さく表現します。

モノを描く際に遠近感が適切でないと、「パースがとれていない」や「パースがくるっている」、「逆パース」になってしまいます。逆パースはこの遠近の表現を無視して、遠くが大きく表現されている描写です。

ここで改めて、図 14 で復習してみましよう。パースを正しく捉えて描写することができれば、モノの素描を自然な印象に近づけることができます。

図 14 二点透視図法の立方体

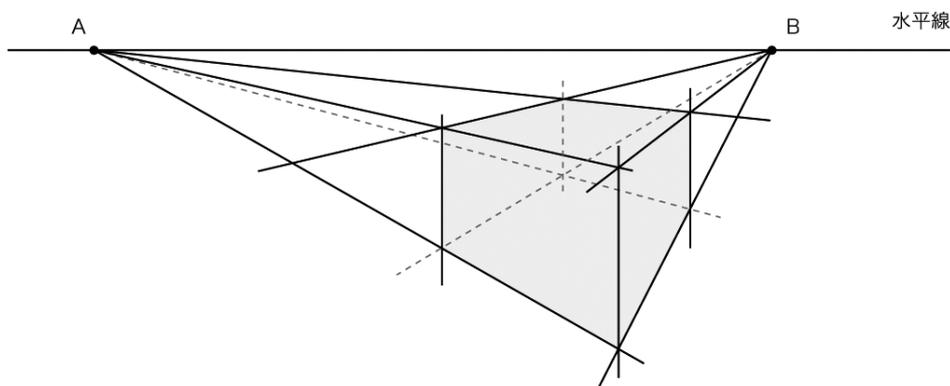
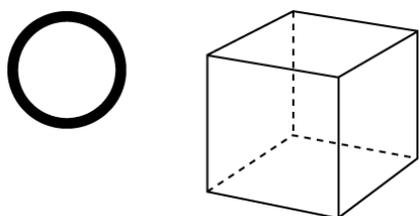


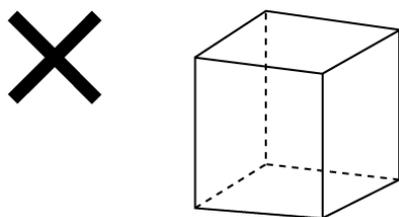
図 15～図 17 に二点透視図法に基づいて正しく描いた立方体と、間違って描いた立方体を示します。誰もが陥りやすい間違いですので、記憶にとどめておきましょう。

図 15 立方体 その 1



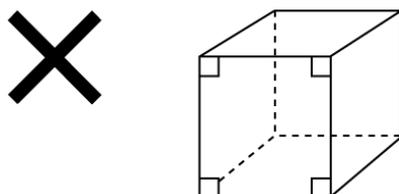
二点透視図法に基づいて描いた立方体。最も手前の辺から奥に行くに従って各辺が徐々に短くなり、自然な遠近感を表現している。直接は見えない向こう側の辺までも意識することが大切。

図 16 立方体 その 2



いわゆる「逆パース」の立方体。奥に行くに従って広がった形となっている。全体で捉えず、部分で見ると陥りやすい。

図 17 立方体 その 3

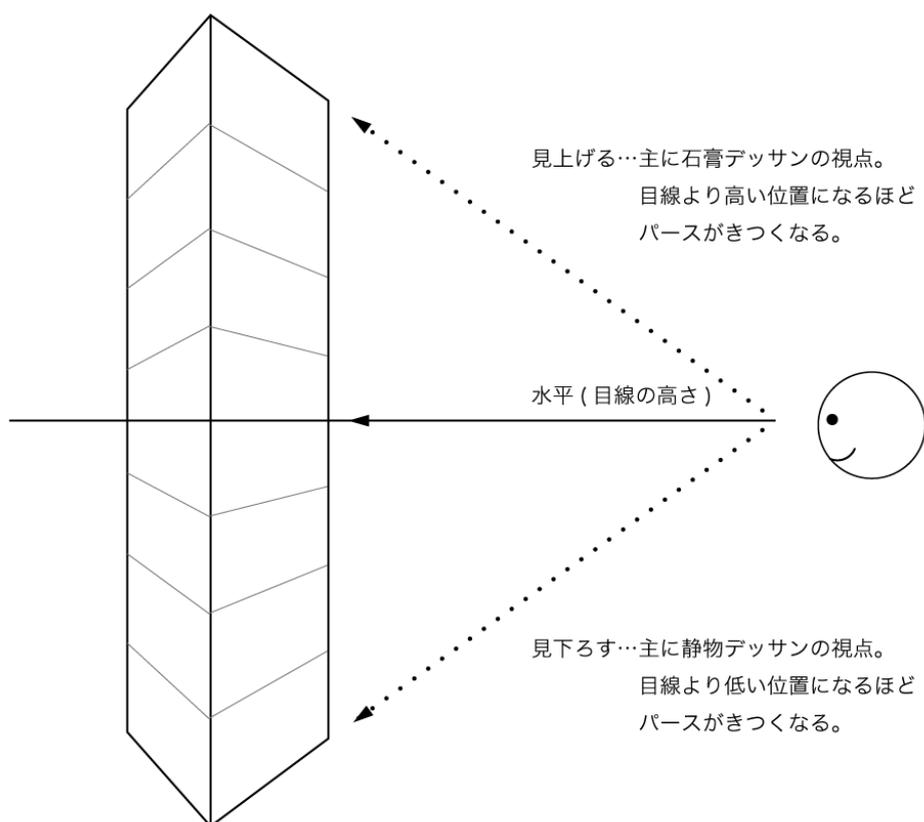


一見すると正しく見えるが、これも大きな間違い。側面が見えるということは斜めから見ているということなので、こういった状態は有り得ない。傾きのない面が現れるのは正面から見た場合となる。

② 視点の位置と見え方の違い（立方体 - その1）

見る位置（高さ）でモノの形は違って見えます。描き始める前に、立ち上がってモチーフを見て、その後徐々に目線を低くしてモチーフの底辺と同じになるまで下げていきながら、形が変化していくのを体験してください。図18～19で説明しますが、まずはご自身で体験してみてください。

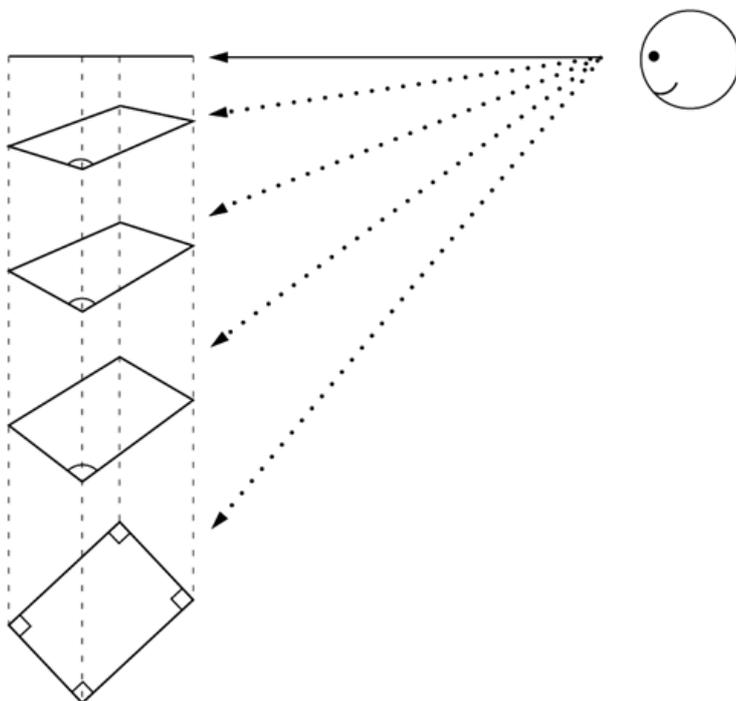
図18 視点の位置と見え方の違い（立方体 - その1）



③ 視点の位置と見え方の違い（立方体 - その2）

布や平らなモノが起き上がって見えるとか、なかなか水平にならない場合は、角の開き具合（角度）を再確認してみましょう。四角いからといって角を直角（90度）にしてしまうと、真上から見た描写になってしまいます。図19を参考に対象となるモノと視点の位置を考慮して、自然な見え方になるように画面内で調整しましょう。

図 19 視点の位置と見え方の違い (立方体 - その 2)

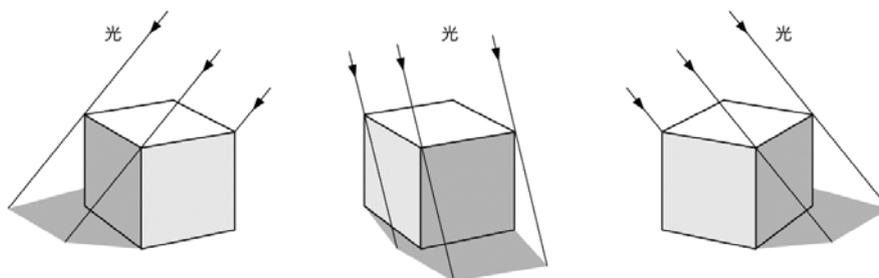


④ 光の方向と陰影 (立方体)

立方体はそれぞれの面によって明暗がはっきりと分かれていますから、光と影の関係がとてもわかりやすい形態です。図 20 のように、光源の反対側の面が最も暗くなり、この側の床へ影を落とします。

ただ、光の状態によっては隣接する面との明度差が少ないため、同じように見えることがあります。こんな時は、明度差を画面上で少し大げさにつけた方が、立方体の特徴を表現しやすいでしょう。

図 20 光の方向と陰影 (立方体)



⑤ 立方体の描写プロセス

実際に鉛筆で描いた立方体の描写プロセスが図 21～25 です。各プロセスに描写の注意を記しましたので、参照してください。

図 21 立方体の描写プロセス 1

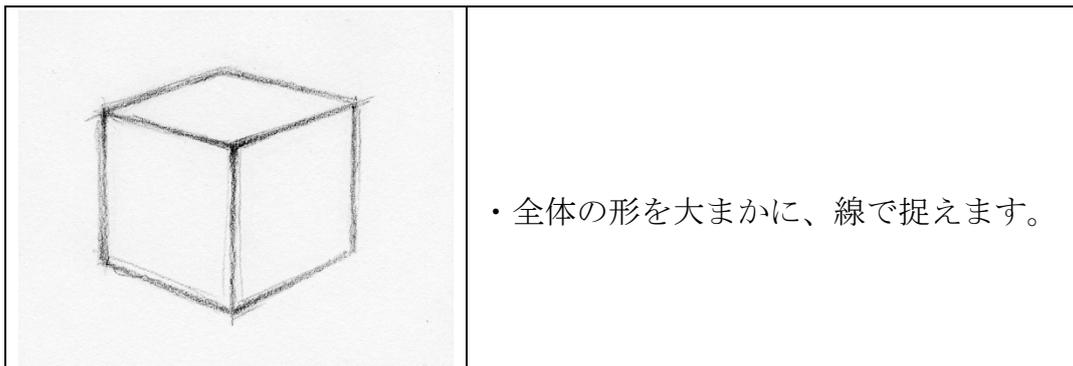


図 22 立方体の描写プロセス 2

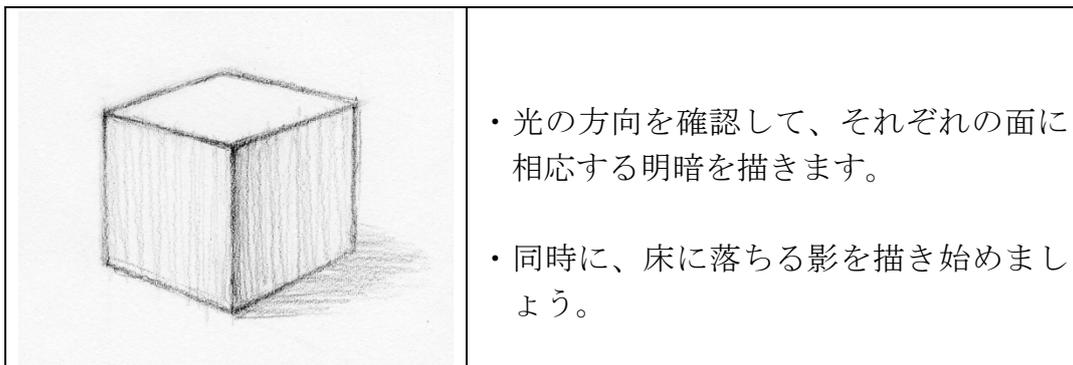


図 23 立方体の描写プロセス 3

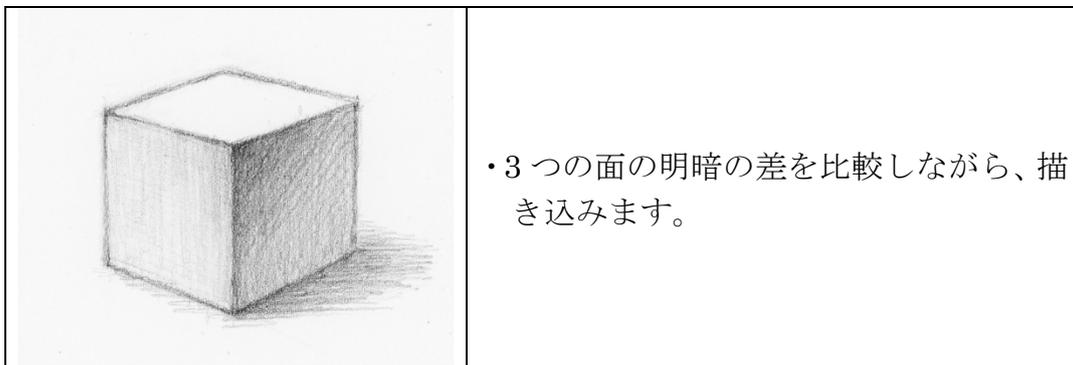
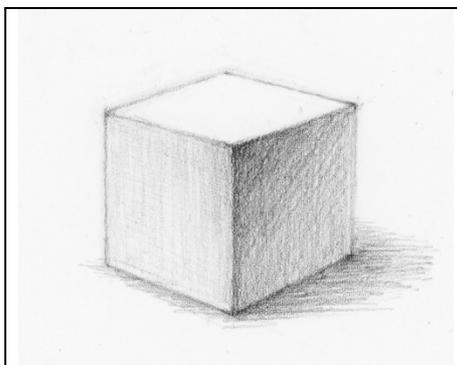
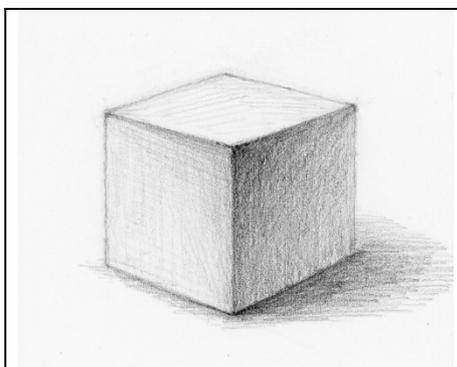


図 24 立方体の描写プロセス 4



- プロセス 1 で描いた線を弱めながら、面の調子を整えるように描き込みます。
- 一番手前の角をつくる 2 つの面の明暗の変化を少しだけ強調しましょう。これで、形と手前にあるということを、明確に感じる描写になります。

図 25 立方体の描写プロセス 5



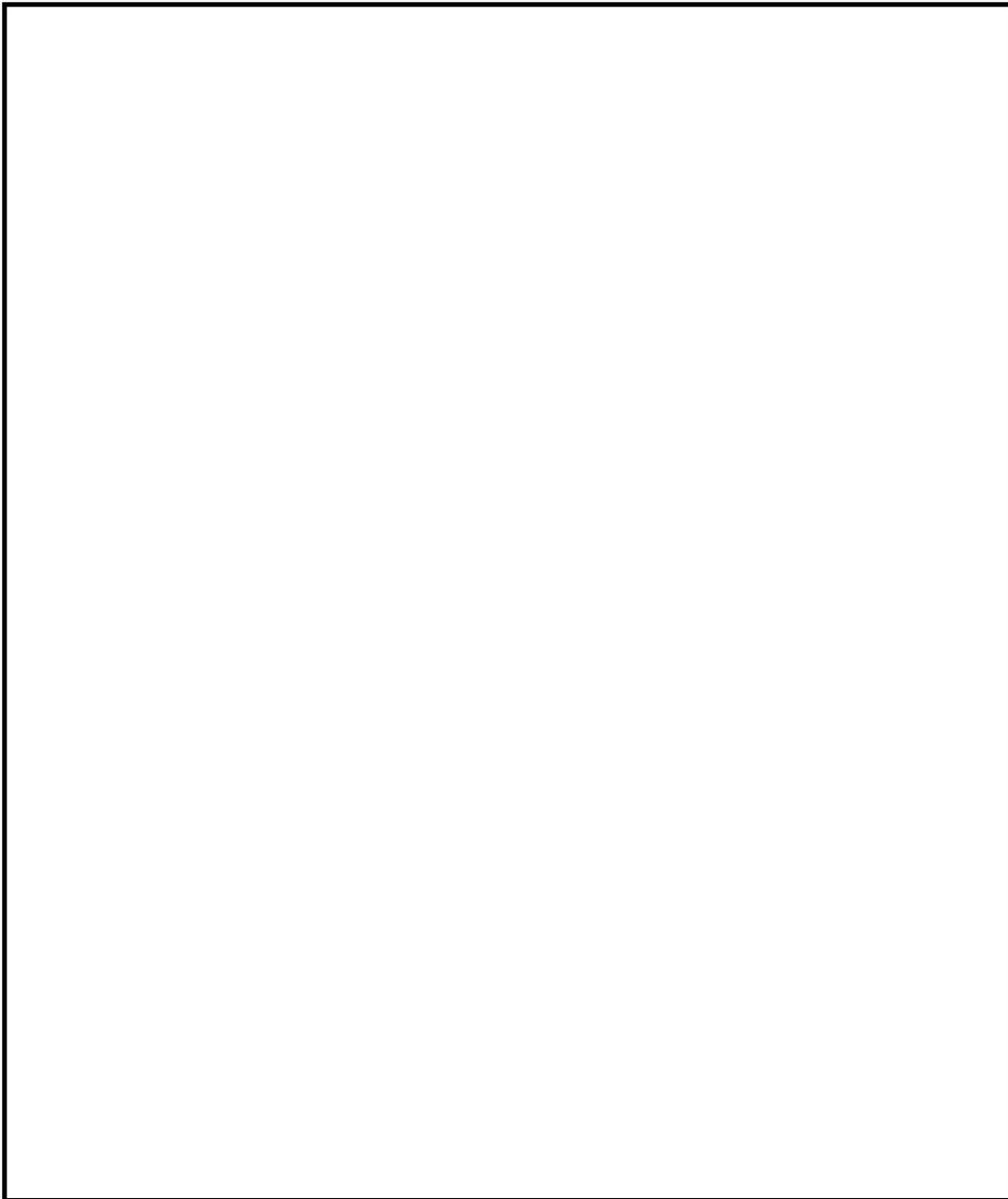
- 床に落ちる影を丁寧に描き込みます。
- もう一度手前と床との接点を、強調しましょう。

⑥ 立方体を描いてみよう。

演習 11

描写プロセス図 21～25 で見ていただいた立方体の描写と説明を参考にして、身近なモノで立方体を描きましょう。

演習 11 立方体を描く

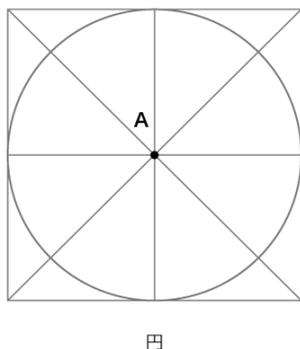


4-3 円柱を描く

円柱形は、立方体と球体の両方の要素を持っています。身近なモノに円柱形はたくさんあるので、最も活躍する基本の形の描写です。

① 円の表現

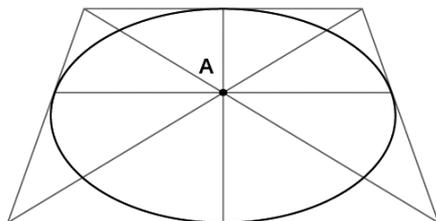
図 26 真上から見た円柱



瓶やコップ、その他円柱形の物を真上から見た状態。正円は正方形で囲むことができるので、わかりやすいように中心線と対角線を引いて説明していきます。



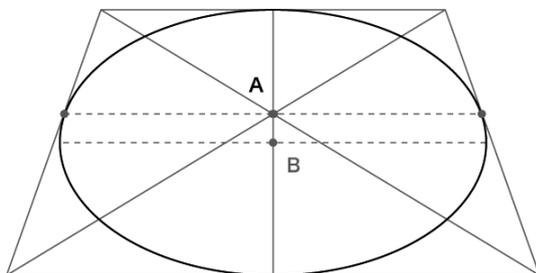
図 27 見下ろす視点の円柱の上部



斜め上から見下ろす視点でとらえると、円にもパースがつきます。枠を見てもらえばわかりますが、奥にいくにつれて幅が狭くなっていきます。手前が広がり奥が狭くなるため、中心点 A は若干遠くに見えます。

※平面的な図形としてとらえると、濃い黒色で示した線はきれいな楕円形になります。

図 28 パースをつけた円柱の上部



点 A…パースがついた円の中心（空間的意識）

点 B…楕円の中心（平面的・図形的意識）

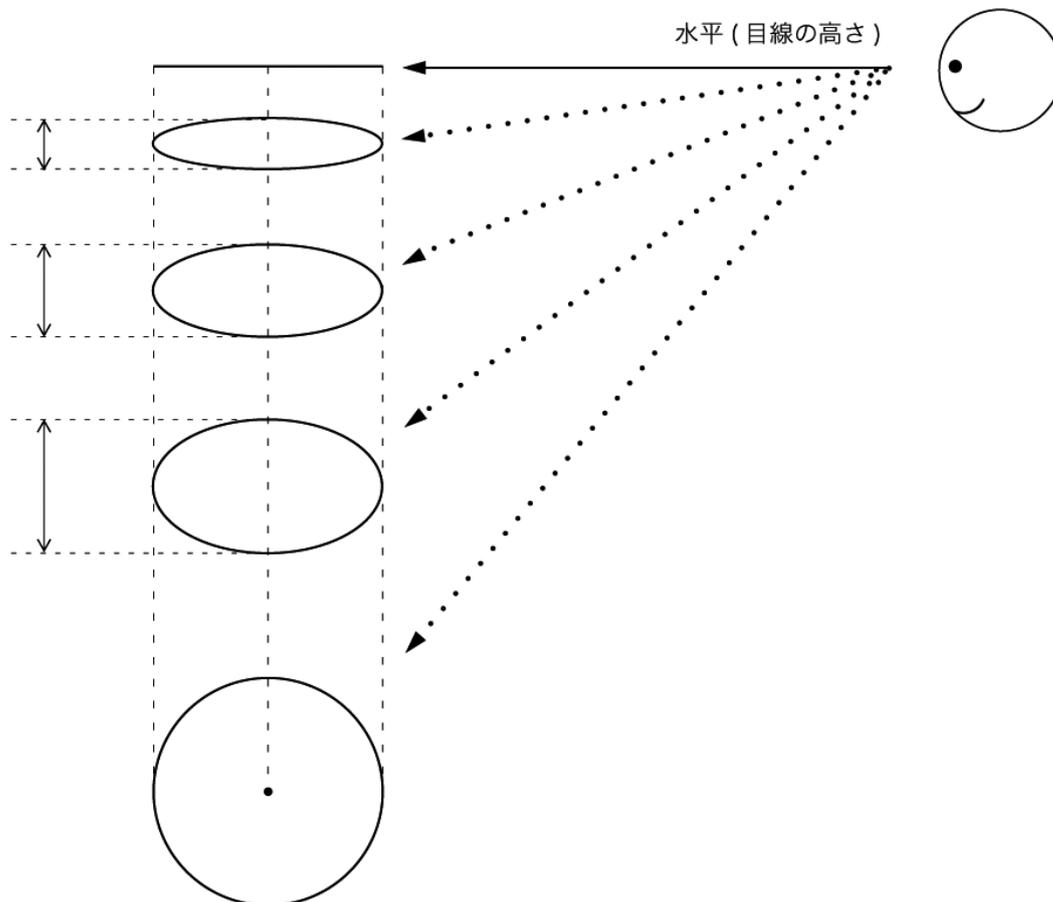
パースがついた円とそうして出来た楕円は、1つの重なった図形になります。但しデッサンとして見ればまったく別なものになります。パースがついた円の中心は、楕円の中心と重なりません。円の中心は周囲の枠に接する点をつなげた線の中心です。気をつけなければならないのは、楕円の中心を円の中心と勘違いしてしまうことです。その思い込みのまま描き進めてしまうと、不自然な形として仕上がってまいります。デッサンで円を描く場合は、空間的な中心を意識しましょう。

※トイレットペーパーのような、中心に円が重なるモチーフを描く場合は、空間的な中心がずれないように気をつけましょう。

② 視点の位置と見え方の違い その2

ビンやコップのような円柱形のモチーフを描いた場合に、垂直と水平や楕円がきれいに描けているのに、床や台の上に載った感じが出ていないことがあります。楕円をきれいに描こうとすることにあまりに、モチーフの上部と下部では見え方が違うということを忘れがちになります。この違いを考えずに描くと、不自然な印象になってしまいます。したがって、モチーフと視点の位置関係をよく考慮して、自然な見え方になるように画面内で微調整をしましょう。

図 29 視点の位置と見え方の違い その2



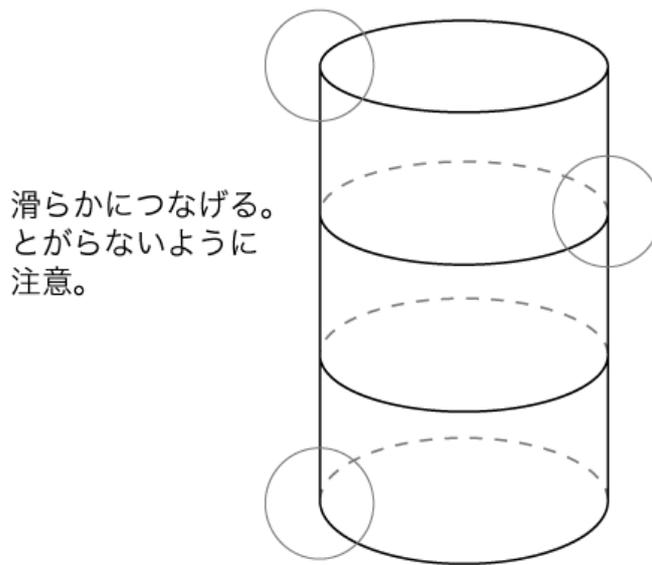
③ 裏側への意識と回り込み

形を捉える際は、見えない裏側の線も意識して描きましょう。

図 30 のように実際に裏側へ回り込む線を描いてみると、円柱の雰囲気

を捉えやすいでしょう。また、回り込む部分には実はかなりの距離が隠れていますので、安易に輪郭線だけで表現しないよう、注意が必要です。

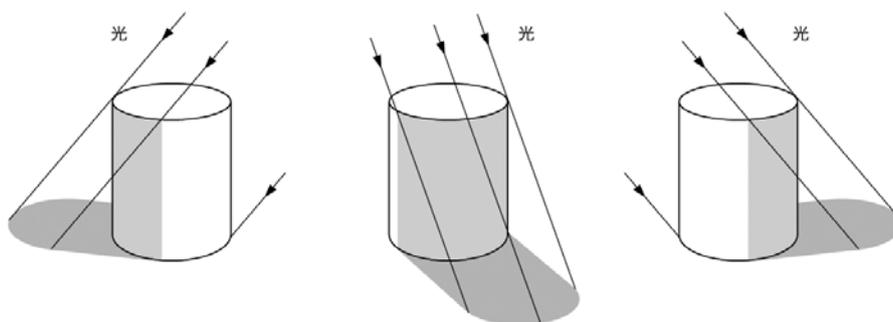
図 30 裏側への意識と回り込み その1



④ 光の方向と陰影（円柱）

円柱の上部は平面で側部は曲面です。このため、上部と側部での明暗は異なった変化ですから、注意しましょう。3方向からの光を想定した陰影の変化が図 31 です。

図 31 光の方向と陰影（円柱）



⑤ 円柱の描写プロセス

実際に鉛筆で描いた円柱の描写プロセスが図 32～36 です。各プロセスに描写の注意を記しましたので、参照してください。

図 32 円柱の描写プロセス 1

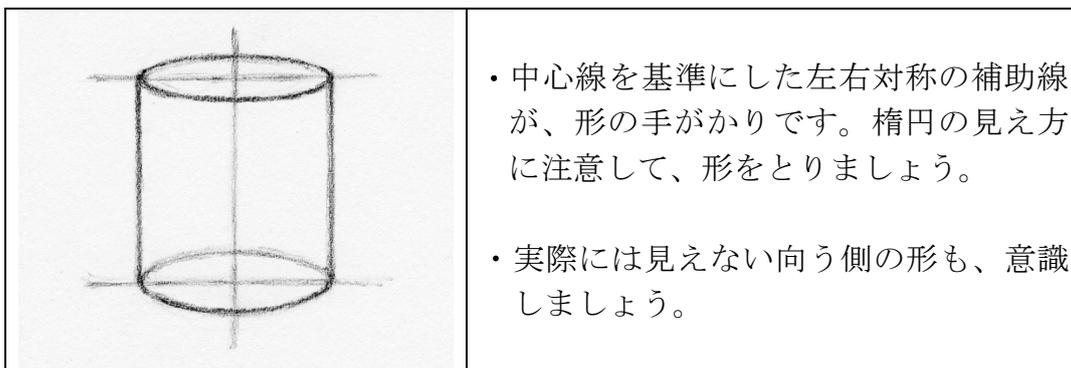


図 33 円柱の描写プロセス 2

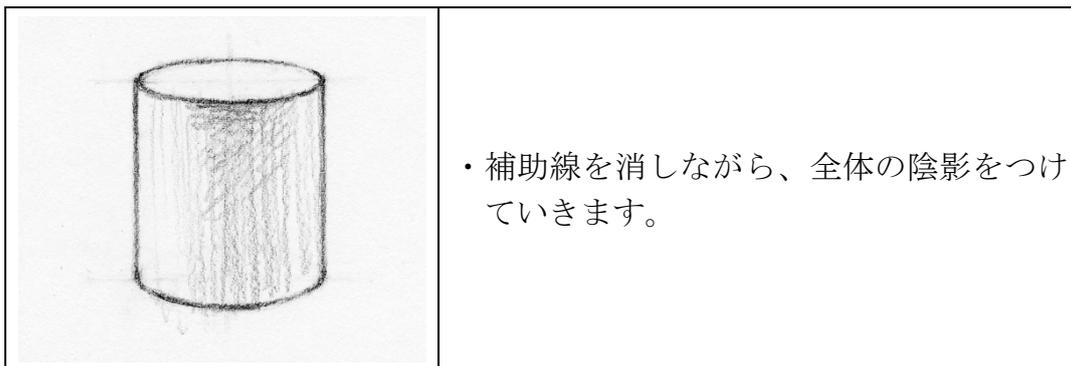


図 34 円柱の描写プロセス 3

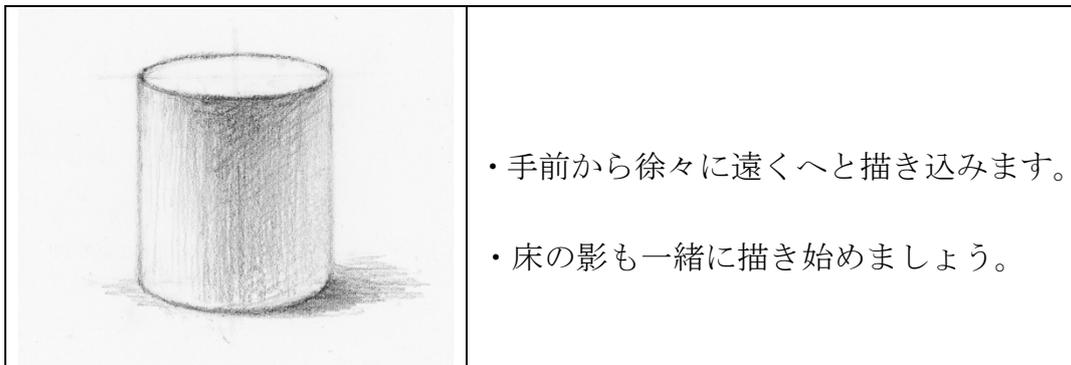


図 35 円柱の描写プロセス 4

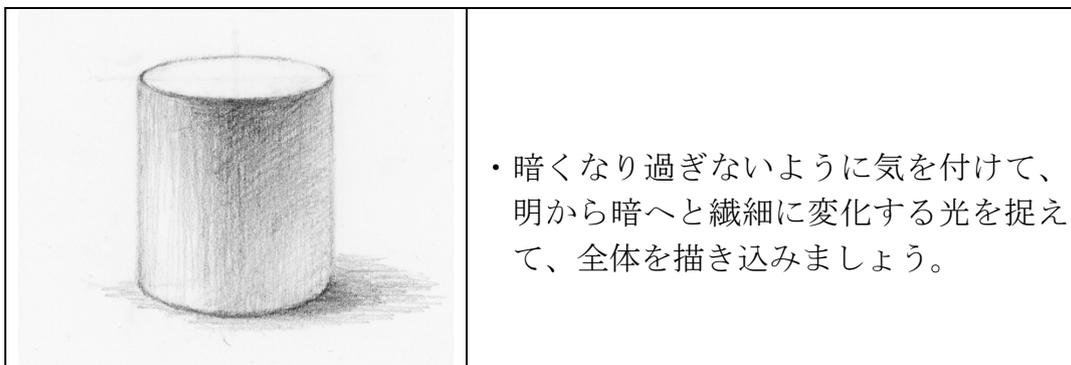
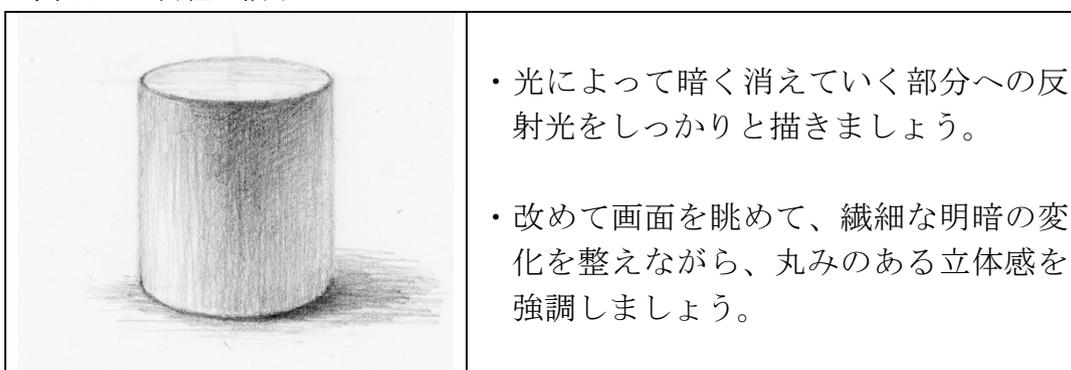


図 36 円柱の描写プロセス 5

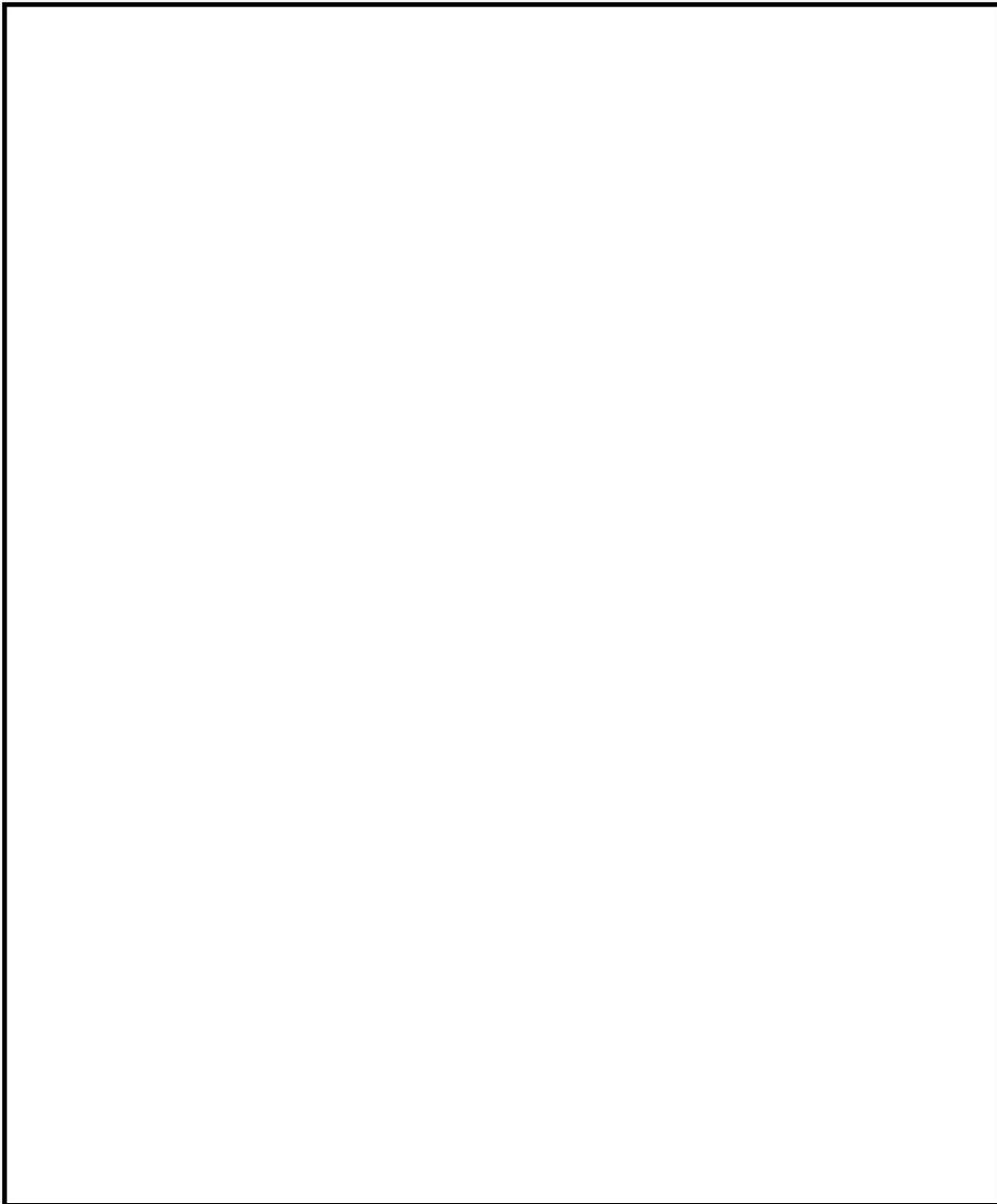


⑥ 円柱を描いてみよう

演習 12

描写プロセス図 32～36 で見ていただいた円柱の描写と説明を参考にして、円柱を描きましょう。

演習 12 円柱を描く



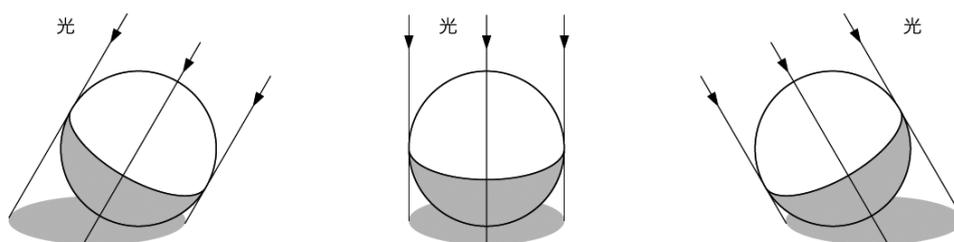
4-4 球体を描く

球体を描写できると、シンプルな球体であるボールや紙風船等だけでなく、林檎やミカン等の果物を描く際にも応用することができます。

① 光の方向と陰影

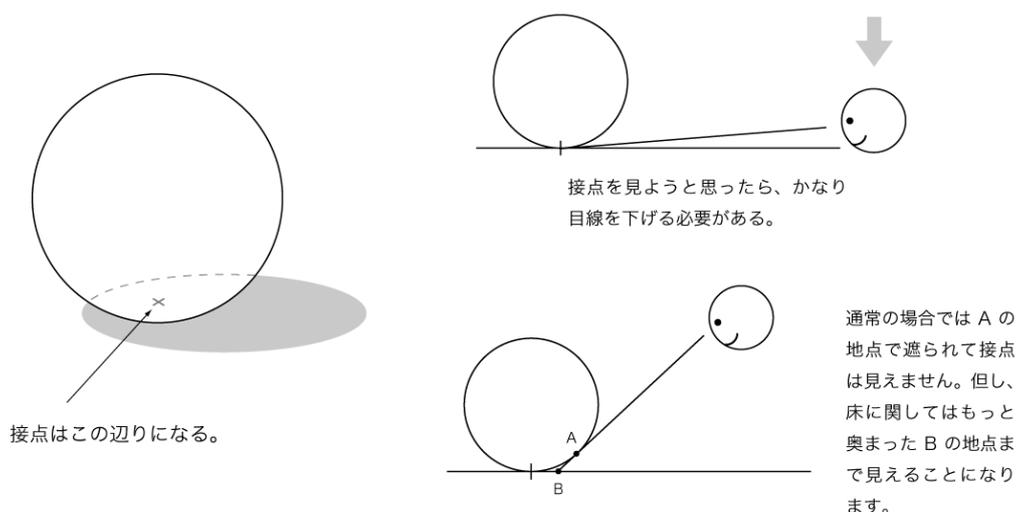
球には明確な面の変化がありません。縦にも横にも斜めにも微妙な変化を繰り返しながら成り立っていますから、光の変化を丁寧に追いながら繊細に描写することが大切です。3方向からの光を想定した陰影の変化が図 37 です。

図 37 光の方向と陰影（球体）



② 球体と床との接点

図 38 球体と床との接点



③ 球体の描写プロセス

実際に鉛筆で描いた球体の描写プロセスが図 39～43 です。各プロセスに描写の注意を記しましたので、参照してください。

図 39 球体の描写プロセス 1

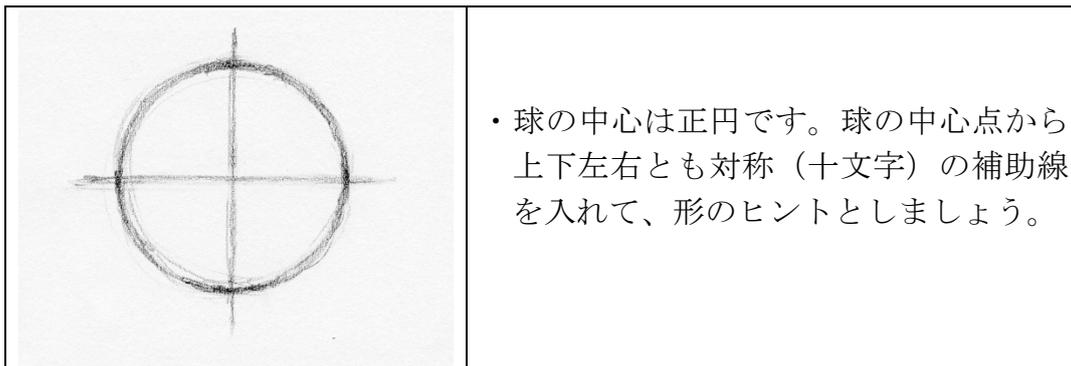


図 40 球体の描写プロセス 2

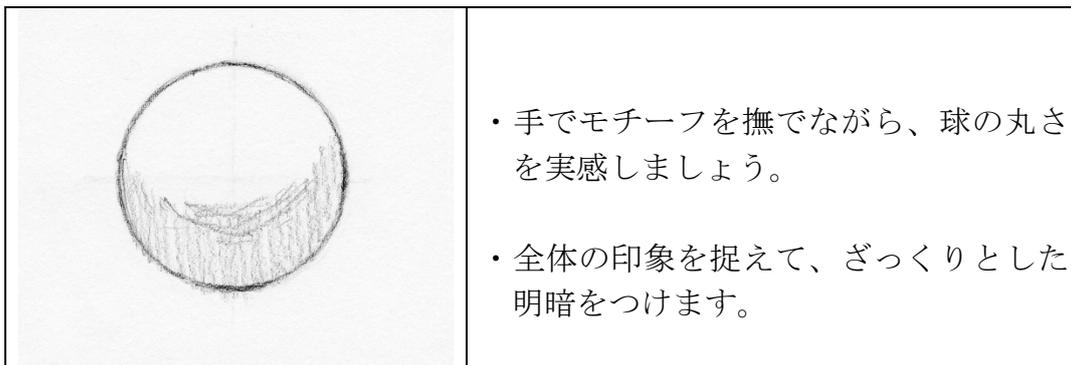


図 41 球体の描写プロセス 3

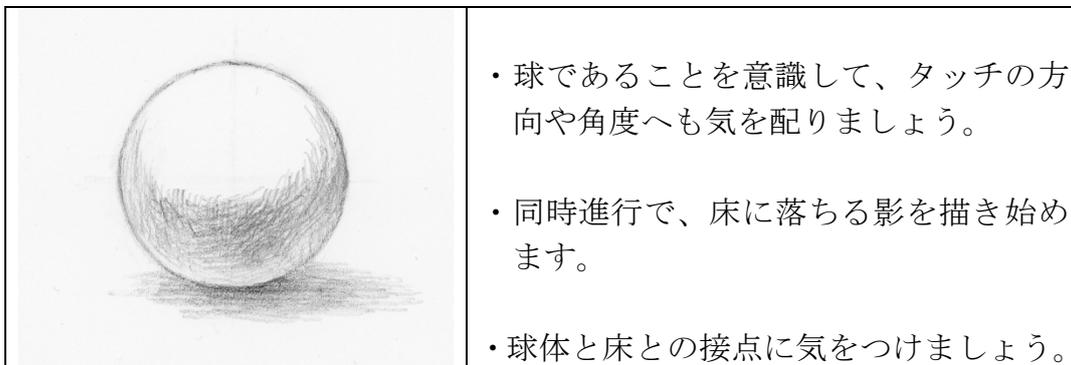


図 42 球体の描写プロセス 4

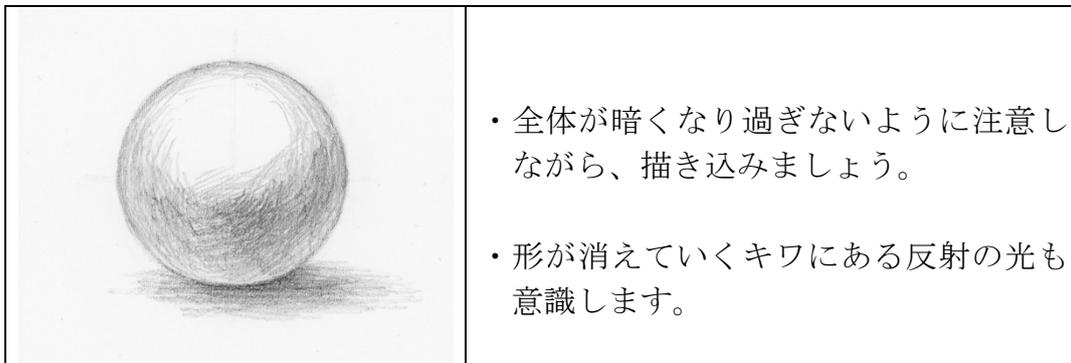
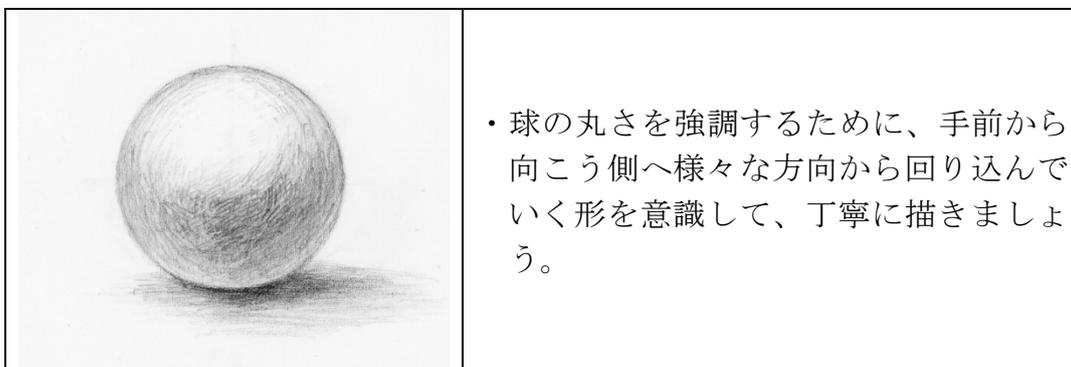


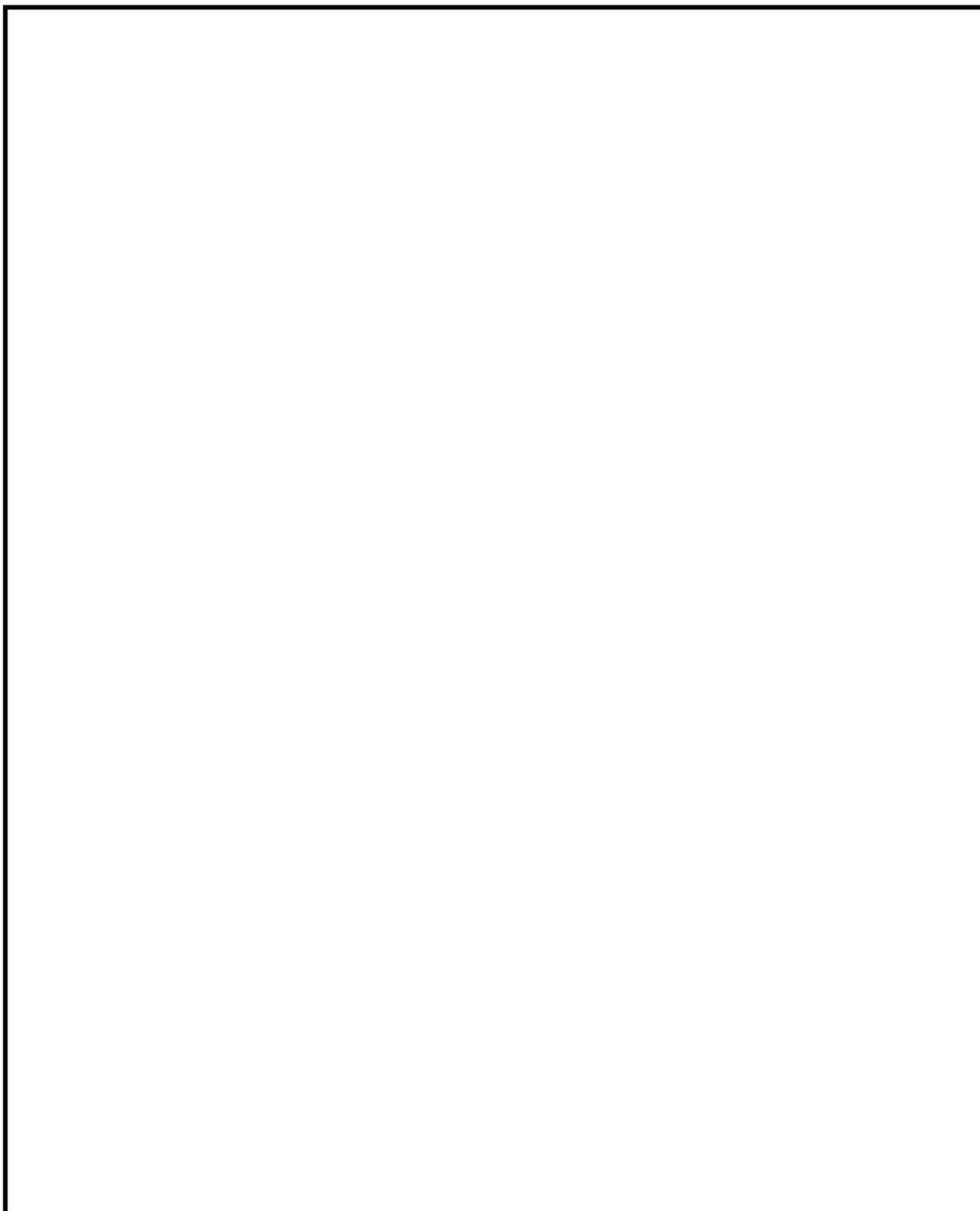
図 43 球体の描写プロセス 5



④ 球体を描いてみよう

描写プロセス図 39～43 で見ていただいた幾何形体の描写と説明を参考にして、身近なモノで球体を描きましょう。

演習 13 球体を描く



5 構図

芸術は、人の感覚を通して心に訴え掛けてくれます。たとえば、音のリズムやメロディー、ハーモニーを、体や聴覚を通じて心に訴えてくる感じます。絵を見る人は視覚を通して感じますので、視覚での面白さとも言えますか見る人の心地よさは、構図のさまざまな効果によって得ることができます。

モノを画面の何処に配置すると、どのような効果が生まれるのでしょうか。また、どのように感じさせることができるのでしょうか。

5-1 構図について

構図には特別な約束事はありません。過去のいろいろな作品は、作者それぞれの考え方の構図で描かれています。ですから、あなたの新しい構図を発見するのも、楽しみのひとつです。

はじめに で触れたドガの作品を、2点ご紹介しましょう。(図44～45) あなたはどのように感じますか。各自が感じたことに決して間違いはありませんから、どうぞ安心して心を開放して感じてください。

図44 ロンシャンの競馬



図45 バレエのレッスン



5-2 バランスとアンバランス

心地よい画面とは、必ずしも安定した構図とは限りません。人の心は変わりやすく飽きっぽいため、新しいものを求めていく傾向もあり、安定より冒険や変化を望むこともあるのです。

では、バランス（安定）とアンバランス（不安定）の構成を体験してみましょう。図 46 を別の紙に写して○、△、□の3つの形を切り抜き、演習 14～演習 15 の準備をしてください。

演習 14

枠の中にバランスをイメージして、この3つの形を配置しましょう。実際にいろいろと動かして、じっくりとくるまで試してみてください。バランスの構成が決定したら、それぞれの形の外側を鉛筆でなぞって描きましょう。

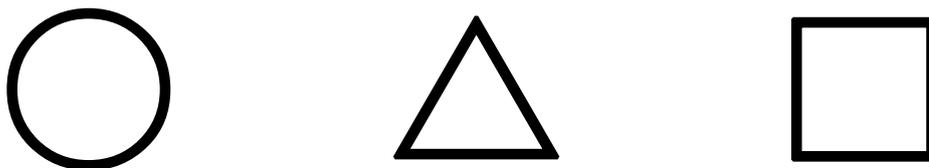
演習 15

次はアンバランスです。枠の中に先ほど使った3つの形をアンバランスに配置して構成してみましょう。ここでも、あれこれと納得がいくまで動かしてから決定して、バランスと同じように鉛筆で輪郭をなぞりましょう。

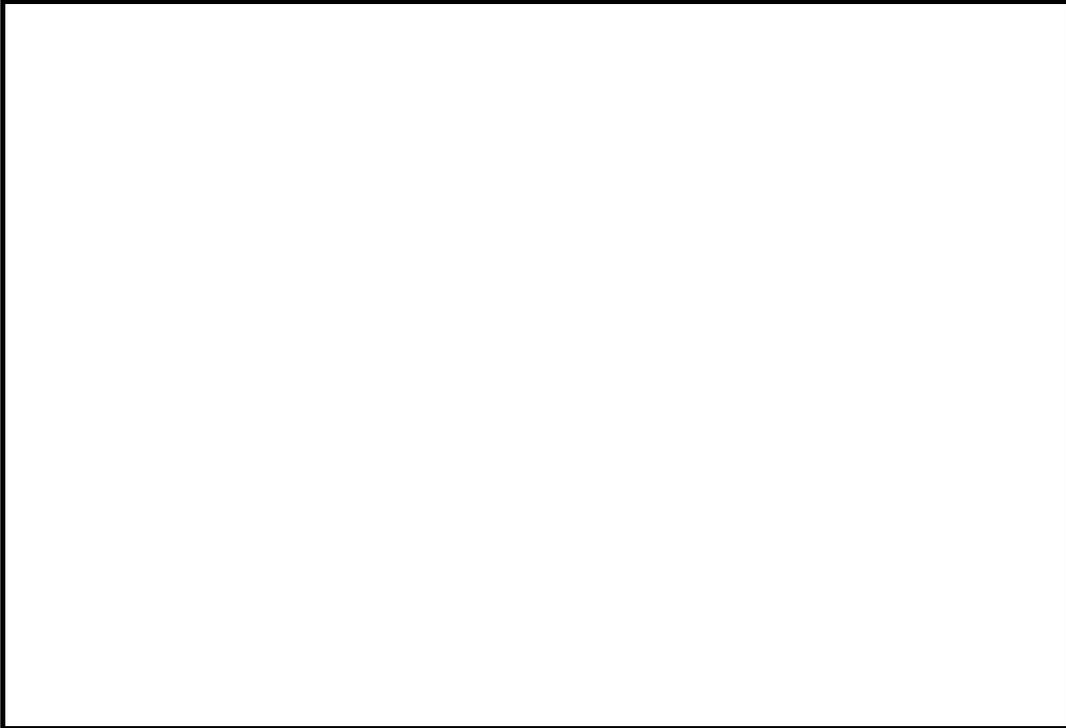
*ポイント

- i それぞれの形は幾つ使っても、重ねて使っても構いません。
- ii △は角度をいろいろと変えて試してみてください。

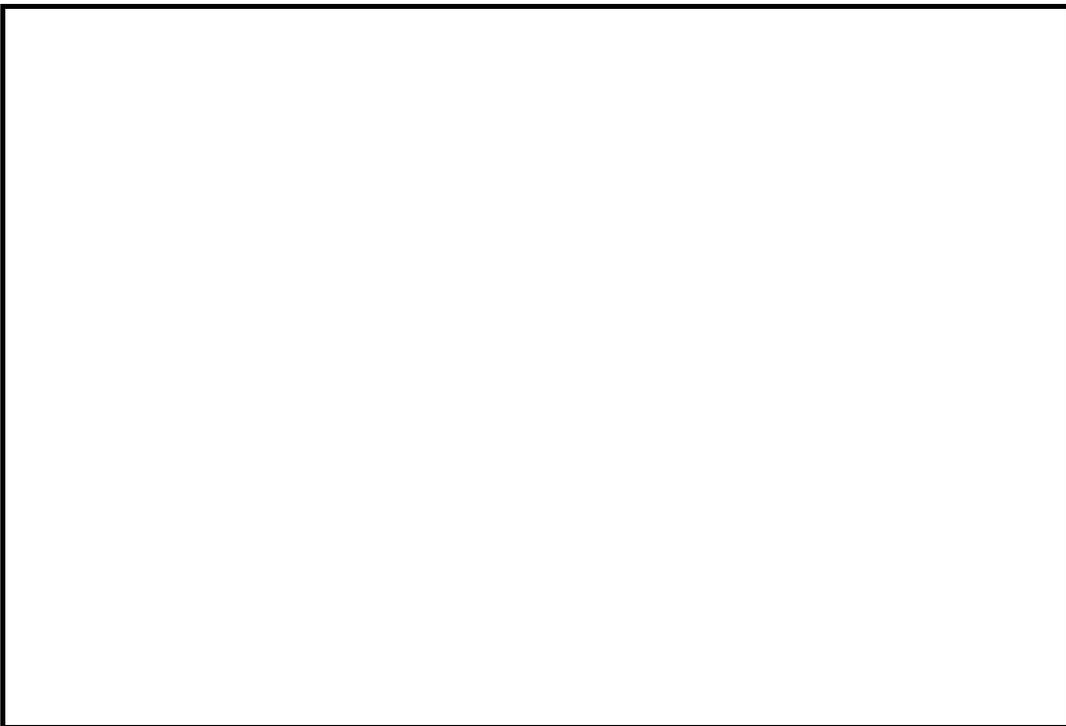
図 46 丸、三角、四角



演習 16 バランス



演習 17 アンバランス



おわりに

絵を描く際には、作者の目的や動機が制作への原動力となります。たとえば、パース画（景観図）やレンダリング（完成予想図）だけでなく、思い出として記録に残したいとか、感動したから等、理由はそれぞれでいいのです。

しかし描く際には、対象から何を感じたかやどのように感動したか等、自らの思いを表現することが重要です。思いを表現するからこそ、作品を鑑賞する人達も上手下手を超えた次元で、作者の感動に共感できるのです。ですから、上手に描こうとするよりも何を表現したいかを見つめて優先するのが、絵画表現の第一歩ではないでしょうか。

今回学んでいただいた素描の基礎は、魅力的な絵を描くための技術です。この技術の上にそれぞれの感性を重ねて、それぞれの表現へと繋いでいてください。

— 完 —

製造技術論

製造技術論

もくじ

1. 機械工作	・・・53
2. 鋳造加工	・・・54
3. 塑性加工	・・・59
4. 溶接	・・・63
5. 切削加工	・・・67
6. 研削加工	・・・71
7. 精密加工および特殊加工	・・・73
8. 粉末成形加工	・・・75
9. プラスチックの成形加工	・・・76
10. 積層造形法	・・・78
◇シラバス	・・・79

1 章 機 械 工 作

はじめに

鉄鋼、アルミニウム合金、銅合金などの金属材料やプラスチックなどの非金属材料などを部品として使用するためには、所望の形状と寸法にする必要がある。材料を所望の形状と寸法につくることを加工という。加工法は材料、加工精度、用途、コスト、製作個数、納期、安全・環境などを考慮し決定される。このため、デザイナーには、材料の性質とその加工性についての知識、および加工法を適切に選択する能力が求められる。

1・1 加工法の分類

表 1.1 加工法の分類

表 1.1 に加工法の分類を示す。どの加工法を選び、どのように行うかという設計にあたっては、次の項目を考慮する必要がある。

①加工が可能である。②精度が良い。③機械的性質が確保できる。④加工工程が少ない。⑤加工費用が安くできる。⑥環境に優しい。

加工法の種類	工作法	工作法の例
変形加工	鋳造	生砂型鋳造、ダイカスト法、消失模型鋳造法など
	塑性加工	鍛造加工、プレス加工、圧延加工、引抜加工など
除去加工	切削加工	旋削、フライス削り、平削り、穴あけなど
	研削加工	平面研削、円筒研削、内面研削、工具研削など
	研磨加工	ラップ仕上げ、ホーニング仕上げ、電解研磨など
	手仕上げ	やすり仕上げ、きさげ仕上げなど
付加工	溶接加工	ガス溶接、アーク溶接、抵抗溶接、特殊溶接など

1・2 製作の順序

一般的な製作する順序は、

- (1) アイディアを図面化し、製造者が図面から製作できる図面を作らなければならない。
- (2) どのような素材（コスト、用途、安全・環境など）を用いて製品を作るかを決定する
- (3) 各種工作法の中から使用する素材に適した工作法（加工精度、製作個数、製作の難易度、コスト、納期など）を決定する。

設計ではデザインはもとより、製品が所要の機能を充分発揮できることも重要となる。

1・3 金属素材の選び方

表 1.2 各種金属材料の物性値

品質が安定した製品を大量に生産でき、金属加工に適した均質な素材を選択する。均質な素材でなければ、できた製品の品質にばらつきが生じる原因となる。

	普通鋼 (SS400)	アルミニウム	マグネシウム	オーステナイト系ステンレス
密度 (g/cm ³)	7.8	2.7	1.7	7.9
引張り強さ(Mpa)	420	120~145	80	520以上
伸び(%)	22	6	7	40以上

鉄に関しては、工作法の種類に応じて選ぶ(表 1.2)。例えば、鋳造用の金属素材は、融点を選択のポイントになる。鉄を鋳造する場合は融点が 1,085℃の鋳鉄が広く使用されている。また、塑性加工では、常温や熱間での延性に優れた金属素材を選択する。延性に乏しい素材は、加工中に破断してしまう。切削加工では強度が大きく、加工性の良い金属素材が使う。溶接加工では炭素量が多い鋼は、溶接部の硬度が著しく増加して脆くなったり、溶接割れが生じるため炭素量が少ない鋼を使用する。

2 章 鑄造加工

2.1 概要

鑄造加工は鑄型に、溶融金属（溶湯ようとう・湯）を流し込み、冷却凝固後、これを鑄型から取り出す加工法である。鑄型に溶湯を注ぐので、複雑な形状の製品を作ることができる。鑄造加工は用途が広く、例えばエンジンのシリンダーブロックや工作機械のベツト、道路に設置された鉄製のマンホール蓋などの製作に利用されている。このほか、日用品やモニュメントなどの美術品にも使われている。また、中空の形状をしたものを容易につくれ、製作個数も数個から数万個以上まで柔軟に対応できる。

2.2 鑄造加工法の特徴

鑄造法の特徴を他の加工法と比較すると長所としては、

- (1) 外部形状に自由度がある。また中子の使用により中空製品が得られる。
- (2) 大きさに自由度があり、大形鑄物（奈良の大仏・250 トリ）から小形（装飾品）のものまで製作できる。
- (4) 溶解工程で他の金属を同時に溶かして合金化できる。ステンレス鋼など。
- (5) 鑄造は、リサイクル地金を使用できるのでリサイクルに適した加工法といえる。

一方、短所としては、

- (1) 欠陥が生じやすく、製品の品質に信頼性が欠ける。
- (2) 凝固時に体積収縮するので、冷却過程で収縮・変形が生じ、寸法精度が劣る。
- (3) 一般的には、薄肉製品の製造には適さない。

2.3 鑄造工程

図 2.1 に鑄造工程の概略を示す。ここでは、木型で砂型の場合について述べる。まず、図面からどのような方法で鑄造するかを決定する（鑄造方案）。次に製品と同じ形の模型を作る。木材で作られた模型を木型という。この木型を砂に埋め込んで取り出せば、木型と同じ形の空洞ができる。これを鑄型といい、砂で作った鑄型を砂型と呼ぶ。鑄型を作る工程を造型という。また、鑄物内部に空洞部を作るときには中子を作る。造型と同時に地金の溶解を行い、砂型に湯を流し込む。この工程を鑄込みという。注いだ湯が固まってから固まった金属を鑄型から取り出す工程を鑄ばらしという。さらに砂落とし、仕上げ、検査を経て製品となる。また、鑄造加工によりできた製品を鑄物という。

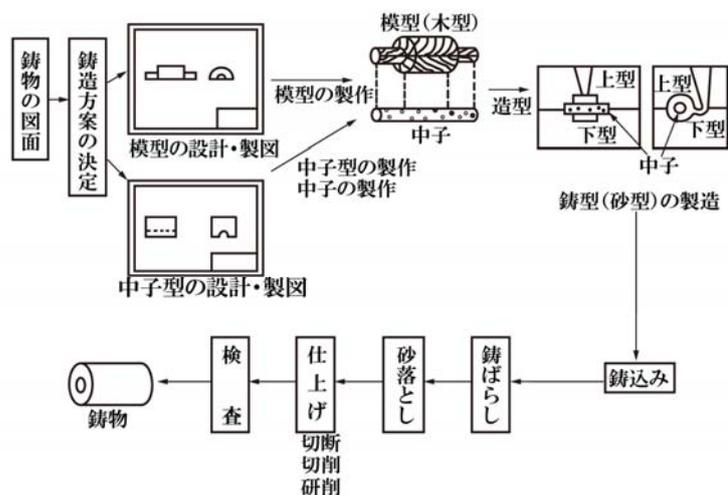
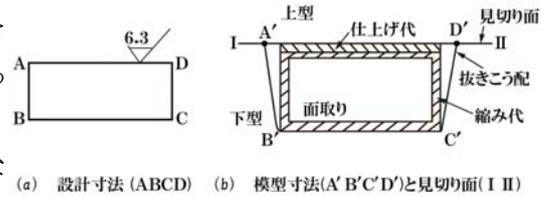


図 2.1 鑄造工程(生砂型)

2.4 模型

図 2.2 に模型と中子を示す。鑄物に空洞部を作るときは、この空洞部に湯が入り込ま

ないように中子を鋳型内に入れる。また、模型を設計するときの注意すべき事項は以下の通りである。



- (1) 縮み代：湯は凝固すると収縮し寸法が短くなるので、この縮み分を見込んだ模型を作る。
- (2) 抜きこう配：模型を抜くために抜く方向の面にこう配を付ける。
- (3) 仕上げ代：鋳造後、機械加工が必要な面に切削するための余分な肉厚を付ける。
- (4) 面取り：鋳物の角部は強度が低下するため角部に丸味を付ける。
- (5) 幅木：鋳型内に入れた中子が溶湯の衝撃などで移動しないよう保持するために付ける。

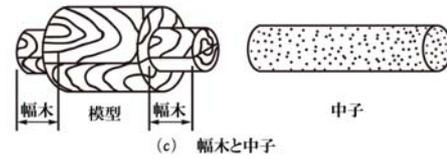


図 2.2 模型と幅木

表 2. 1 に現型模型を示す。

このほか、引き型があり鋳物が軸対象の場合、鋳物の一断面をもつ板状の模型を作る。この板の垂直軸を中心として回転して鋳型を作る。例えば、梵鐘(ぼんしょう)などは、この方法で作られる。

表 2. 1 現型模型

種類	説明	例 図
① 丸 型	鋳物とほぼ同じ形状で模型を分割しないで一体で模型を作る。	
② 割 り 型	鋳型製作を容易にするため二つ以上に分割して模型を作る。割り型には、模型の位置きを簡単にするためにダボとダボ穴を付ける。	

2. 5 鋳 型

鋳型を使用材料別に分類すると砂型(けい砂)、金型(金属)、特殊鋳型(セラミックス、石こう)になる。

2. 5. 1 砂型

【1】生型(生砂型) けい砂に数%のベントナイトおよび水を加えて混練したものを生砂といい、この生砂で造型したものを生型という。生砂は、再利用のための砂処理が容易で繰り返し使用できるため量産鋳物に適している。

【2】炭酸ガス鋳型(CO₂ガス鋳型) 炭酸ガス型はけい砂に4~5%けい酸ソーダを加えて混練した砂で造型後、これに炭酸ガスを吹き込んで硬化させる。鋳型の強度が大きいので取扱いは容易である。しかし、型ばらしの時は砂の崩壊性が悪い。

2. 5. 2 シェルモールド法

シェルモールド法は、熱硬化性樹脂(フェノール樹脂など)が加熱により硬化することを利用した方法である(図 2. 3)。金型を加熱し、この上に、けい砂に熱硬化性樹脂をコーティングしたシェル砂をかぶせると、金型の熱でシェル砂が結合して硬化する。シェル砂の硬化層は硬化温度に達した厚さとなる。次に金型を反転し

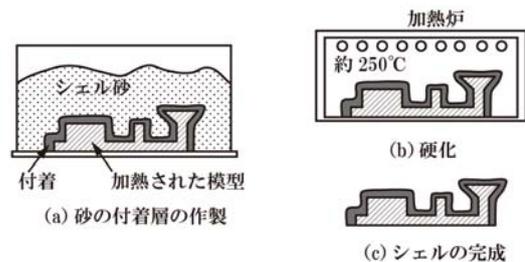


図 2. 3 シェルモールド法

て未硬化のシェル砂を除去し、金型に付着したシェル砂を完全に硬化させるため加熱炉で加熱する。さらに、押しピンでシェル型を取り出す。また、この方法は铸造後の砂の崩壊性が非常によく、中子にも多用されている。さらに、シェル砂の砂粒が微細なため铸件表面（铸肌）がきれいな铸件が得られるため機械加工せずに使用される。

2. 5. 3 Vプロセス法

Vプロセス法は、けい砂のみで造型し粘結剤、水は使用しない(図 2. 4)。模型の下には減圧箱があり、模型の上に薄いフィルムを敷き減圧したときに、フィルムが模型に密着するよう細い孔をあけた模型を使用する。まず、模型の上の铸枠にけい砂を投入後、この上に薄いフィルムで覆い、減圧すると铸枠内の砂が固まる。次に铸型の減圧を保った状態で減圧箱に空気を送り増圧すると、铸枠を模型から上げることができる。この方法で上下型を造型して組み合わせ減圧状態で注湯し、凝固後の型ばらし工程で減圧を停止すると砂は落ちて铸件が取り出せる。Vプロセス法は水を使わないため湯の凝固が遅れるので肉薄铸件が作れること、砂の再利用が簡単に行えるなどの長所がある。この铸造法でピアノのフレーム、門扉などが作られている。

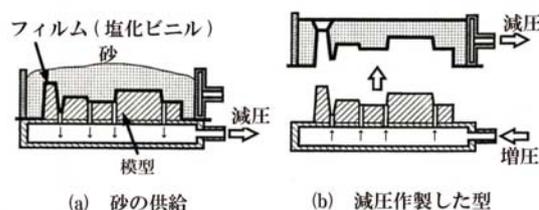


図 2. 4 Vプロセス法

2. 5. 4 消失模型铸造法（ロストフォーム法、フルモールド法）

消失模型铸造法は、発泡ポリスチレン樹脂製の模型を使用する(図 2. 5)。この模型を铸枠内に置き、けい砂を投入して造型した铸型に注湯すると、湯の熱で発泡ポリスチレン樹脂は瞬時に気化するので铸造できる。生産個数が少ない試作品、美術铸件などに用いられる。模型を木材で作るより、発泡ポリスチレン樹脂で作った方が迅速、かつ、安価に作れるのでこの铸造法が適している。

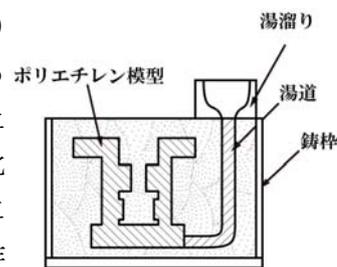


図 2. 5 消失模型铸造法

2. 5. 5 特殊铸型

[1] インベストメント法（ロストワックス法）

インベストメント法は、寸法精度がよく、铸肌も非常に美しい铸件が得られる(図 2. 6)。金型に溶融した蠟（ろう）を流して蠟模型を作る。次に蠟製の湯道に蠟模型を溶着してツリーを作る。このツリーをエチルシリケートと微細な耐火物を混ぜてスラリー状にしたものに浸漬して取り出し、耐火物を振りかける（サンディング）。サンディングした铸型を加熱して蠟を流し出すとともに強固な铸型とするため焼成するが、焼成直後に注湯するので肉薄の铸件ができる。例えば、航空機用および発電用のガスタービンのタービンブレード、精巧な美術铸件、指輪などの装身具などがある。

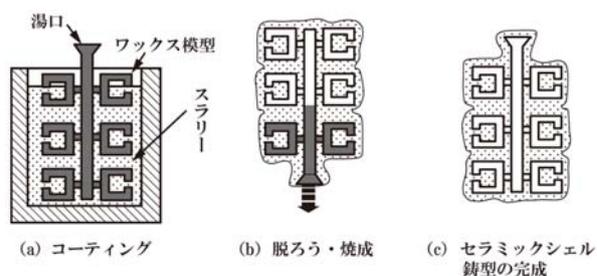


図 2. 6 インベストメント铸造法

[2] 石膏（せっこう） 鋳型

石膏鋳型は、インベストメント法と同様に寸法精度がよく、鋳肌も美しい鋳物が得られる。水に石膏を入れ混練してスラリー状にしたものを鋳枠に流し込み容易に鋳型ができる。例えば、指輪、ブローチなどの装身具、香炉などの工芸品、ゴムタイヤの金型などが作られている。

2. 5. 6 鋳造方案

湯の注入方法、鋳込み温度などを計画することを鋳造方案といい、鋳造方案の基本は、湯を静かに、かつ迅速に鋳型内に充満するである。鋳造方案の良し悪しは、鋳物の品質に大きく影響するので重要である。図 2. 7 に鋳型各部の名称を示す。湯は、受口から、湯口、湯口底、湯道を通り、せきから鋳型内に設けた空洞部に流れる。

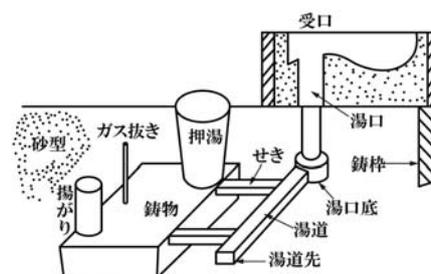


図 2. 7 鋳型各部の名称

注湯時に空洞部の空気、鋳型から発生した水蒸気およびガス、湯に混入したスラグなどを空洞部から排除する必要があるので、揚がりをつける。押し湯は湯の凝固収縮により鋳物表面あるいは内部にひけ巣（鋳造欠陥）が生じるので、収縮部分に湯を補給して、鋳造欠陥の防止を目的につける。

2. 6 地金溶解

[1] キュポラ キュポラは、コークスの燃焼熱で地金を直接溶解する方法で、鋳鉄の溶解に用いられるため溶銑炉とも呼んでいる。その構造は円筒状鋼板の内側に耐火レンガを張った炉体である。

[2] 電気炉 電気炉とは、電気エネルギーを熱として発生させて金属を溶解する炉をいう。電気炉には黒鉛電極と地金との間で直接アークを発生させ、鋳鋼などを溶解するアーク炉と誘導電流によって生じるジュール熱を利用した誘導電気炉および電気抵抗発熱体（ニクロム線など）に電流を通し、その発生するジュール熱の輻射熱を利用して金属を溶融する電気抵抗炉がある。

2. 7 鋳造品の欠陥

2. 7. 1 欠陥

鋳造は金属を溶解して凝固させるので、鋳物はこの過程で種々の欠陥が生じる。鋳造欠陥の種類は多いが、大まかに分類すると以下ようになる。

[1] ひけ巣 ひけ巣には外引け巣と内引け巣がある。外引け巣は鋳物表面に収縮が現れる欠陥で、内引け巣は鋳物の内部に生じたものである。

[2] 鋳巣 鋳巣には、ブローホールとピンホールがあり、ブローホールは大きなガス穴で、ピンホールは酸素ガスや水素ガスによって発生する 1~2mm 以下の欠陥である。

[3] その他の欠陥

(1) 砂かみ 砂の粒子が湯に混入して鋳物に含まれることをいう。

(2) 焼着 湯が砂粒のすき間に浸透して鋳肌に砂が焼付付いた状態をいう。

(3) 湯回り不良 湯が鋳型を完全に充満しないうちに凝固したものをいう。

2. 8 鋳物の設計

信頼性のある鋳物を生産するには、鋳物に適した設計が必要である。図 2. 8 に鋳物を設計するとき鋳物の肉厚が大きく変化する場合と交差する場合の例を示す。薄肉部と厚肉部が隣接していると両部の冷却速度や収縮速度も異なり、厚肉部に引け巣や亀裂が生じやすい。また、交差部は他の部分より温度低下が遅れる。この箇所を過熱部 (hot spot) といい、過熱部が最後に凝固するため湯の補給ができずにひけ巣が発生する。

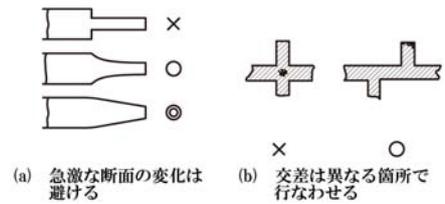


図 2. 8 鋳物の欠陥を避ける設計例

2. 9 特殊鋳造法

[1] 低圧鋳造法 低圧鋳造法は、主にアルミニウム合金の鋳造に用いられている。密閉されたるつぼの湯にパイプ (ストーク) を差し込み、上端を金型の注入口に連結し、湯面に空気を送り加圧すると、溶湯はストークを上昇して鋳型に注入される (図 2. 9)。

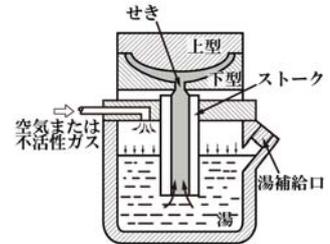


図 2. 9 低圧鋳造法

[2] 高加圧鋳造法 高加圧鋳造法は、金型内の湯にパンチで高圧を加え、凝固させる鋳造法でアルミニウム合金に多く使用されている。鋳型内に空気の巻き込みがないので鑄巣の発生がなく、凝固時高圧を作用させることによって高い寸法精度と結晶粒が微細化されるため強度に優れた鋳物が得られる。

[3] ダイカスト法 ダイカスト法は、溶湯を高圧・高速で精密な金型に射出して高精度で鋳肌のきれいな鋳物を短時間に大量生産する鋳造法である (図 2. 10)。主としてアルミニウム合金などの鋳造に用いられ、乗用車のエンジン部品などはダイカストで生産されている。しかし、湯を高速で金型に射出するため空気を鋳型内に巻き込むので鋳造品を溶接や熱処理で加熱すると鋳物内部の空気が膨張して表面が膨れる欠点もある。

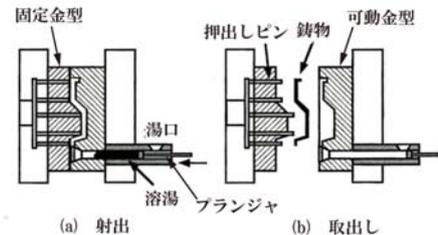


図 2. 10 ダイカスト法

[4] 遠心鋳造法 遠心鋳造法は、鋳鉄管のようなパイプ状の鋳物を作る場合、鋳型を高速で回転させながら注湯すると、遠心力で湯は鋳型内面に貼り付けられる。この状態で湯が凝固すると中空を形成せずに中空鋳物ができる。また、凝固中遠心力が作用しているのでもち密な材質の鋳物を歩留まりよく量産できる (図 2. 11)。

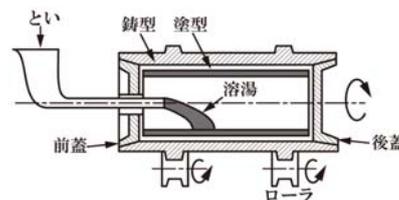


図 2. 11 遠心鋳造法 (横形)

[5] 連続鋳造法 連続鋳造法は、底のない水冷鋳型に湯を注入すると鋳型に接触した部分が急冷されて外殻は固まる。これをロールで下方に引張り、その過程で水冷凝固させて連続的に引抜き、棒状の鋳物を作る方法である (図 2. 12)。

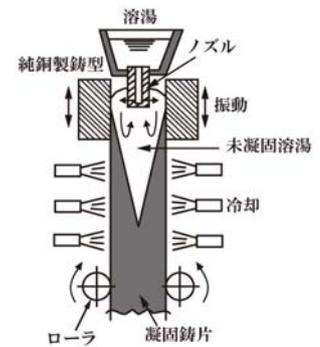


図 2. 12 連続鋳造法

3 章 塑性加工

3.1 概要

一般に金属材料に力を加えると変形してひずみを生じ、力を取り去ると元の形に戻る。しかし、力がある限界を超えると、力を取り去っても元の形に戻らなくなる。このような性質を塑性といい、そのときに受ける変形を塑性変形という。塑性加工とは、材料に塑性変形を与えて目的の形に加工することである。

塑性加工の長所としては、①素材全体を高速で変形するため加工時間が短く、生産効率が高い。②材質が均一で、同じ寸法の製品を精度良く、大量に作ることができる。

一方、短所としては、①高圧力、大荷重を必要とするため加工機械や金型が高価となり、少量生産ではコスト高になる。②金型の細部まで材料を充満するには高い圧力が必要なので製品形状には制約が多い。

3.2 鍛造

3.2.1 鍛造とは

鍛造とは、金属材料を加熱してやわらかくし、ハンマあるいはプレスによって塑性変形を与えて所定の形状の製品を作る加工法である。鍛造加工の歴史は古く、特に日本刀の生産においては、その技術は極めて洗練されたものであった。

鍛造加工は、所定の成形品が得られるだけでなく、素材中の気孔などを圧縮して密着させたり、金属組織を緻密したり材質の改善もできる。さらに鍛造によって組織に流れが生じる。この流れを繊維(fiber)といい、この現象をファイバフローという。これは材料の長さ方向の繊維組織が鍛造によって製品の形状に沿って流れて変形するためである。切削加工はファイバフローを分断するのに対し、塑性加工は製品形状に沿ってファイバフローがあるため強度、特に衝撃が大きい(図 3.1)。

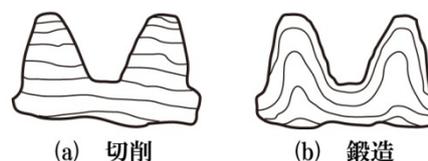


図 3.1 ファイバフロー

3.2.2 熱間加工と冷間加工

再結晶温度以上の温度での鍛造を熱間鍛造、再結晶温度以下での鍛造を冷間鍛造という。金属は加熱すると変形抵抗が低下し、伸びが増大する。熱間鍛造はこの特性を利用した加工であり、加工荷重を低く抑えつつ、大きな変形を一度に与えることができる。また、熱間鍛造では再結晶温度以上に加熱した素材を鍛錬することで、組織の微細化や均一化、内部空孔の圧着など材質改善効果が得られる。しかし、表面に酸化膜の発生や寸法精度はよくないため仕上げ加工が必要となる。

冷間鍛造は、熱間鍛造のように表面に酸化膜の発生がない良好な表面が得られる。しかし、熱間鍛造に比べ変形抵抗が大きく、伸びが小さいので大きな加工荷重が必要となり、大形の設定が必要となったり、金型の破損などが生じやすいため冷間鍛造に用いられる素材は、室温で延性に富む材質に限られる。

3.2.3 自由鍛造と型鍛造

自由鍛造は、加熱した素材を開放型で手ハンマまたは機械ハンマで素材を自由に変形す

る加工法である(図 3.2)。

型鍛造は、成形品の表面形状に合わせた金型を用い、自由鍛造に比べて寸法精度の高い成形品を効率よく生産することができる。し

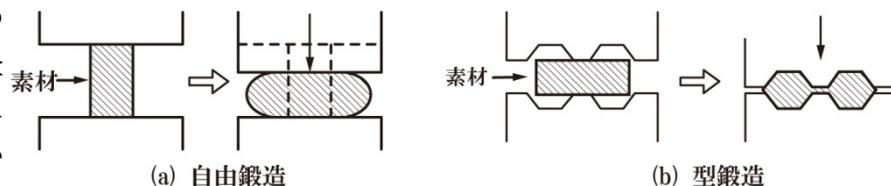


図 3.2 自由鍛造と型鍛造

かし、型鍛造は金型のコストが高いため少量多品種生産には不向きである。スパナ、クランク軸など比較的複雑な形状の鍛造品を大量生産するときに用いられる。

3.2.4 転造

転造は、棒状の素材を転造ダイスにはさみ転造ダイスを平行移動することにより、棒を回転させ成形する方法で、おねじの加工用に開発された加工方法である(図 3.3)。



図 3.3 転造

3.2.5 鍛造用機械

鍛造用機械には打撃によって成形品を作るハンマと、液体などによって圧力を型に加え鍛造するプレスがある。

例えば、ハンマにはスプリングハンマがある(図 3.4)。スプリングハンマはモーターでクランク軸を回転し、ばねのはずみを利用して工程と打撃力を大きくするようにしたハンマである。

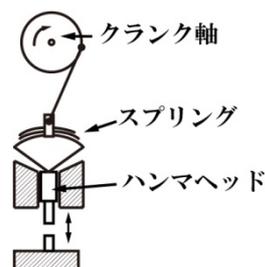


図 3.4 スプリングハンマ

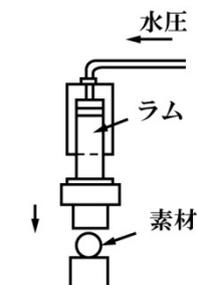


図 3.5 液体プレス

図 3.5 に液体プレスを示す。液体プレスは素材全体に圧力が加わるので、特に断面積の大きな素材の鍛造に適している。また、ストロークを加えたり、加圧力を変えることができる。しかし、生産速度が遅いため小物の大量生産には向かず、大物の製品に用いられている。

3.2.6 鍛造用材料

鍛造用素材としては、鋳鉄や高炭素鋼などのように延性に乏しい材料は鍛造できず、マグネシウムのように、軟らかくてももろい材料は鍛造が困難である。

一般に用いられている鍛造用材料は鋼で、低炭素鋼は鍛造に適している。非鉄金属材料としてはアルミニウム合金や銅合金などがある。いずれも純金属材料が鍛造に適しており、アルミニウム合金では、銅の増加により鍛造が困難になる。銅合金では黄銅系などが鍛造に適しており、亜鉛の20%程度含有するものは熱間鍛造しやすい。

3.2.7 材料の加熱

鍛造温度は材料の種類、大きさなどにより決められ、高すぎると表面が酸化し、結晶粒が粗大になる。一般に熔融がはじまる温度より250~350℃程度低い温度を用いる。

鍛造終了温度も重要であり、その材料の再結晶温度の少し上の温度が適当である。再結

晶温度まで加熱すると、伸びが増大し、強じんな鍛造品が得られる。これ以下の温度では、鍛造品の内部にひずみ残り亀裂が生じたりする。

3.3 圧延

3.3.1 圧延とは

圧延とは、回転するロールの間に素材を挿入して、板材、型材などに長さ方向に素材を延ばしながら板材、線材、型材などの一次加工品の製造に用いられる。鍛造と同様、再結晶温度以上での圧延を熱間圧延、再結晶温度以下での圧延を冷間圧延という。

圧延と鍛造の違いは、圧延は連続的にロールで加工するが、鍛造は不連続に素材に衝撃を与えて成形品を得る点である。圧延は連続的に加工するので大量生産に用いられている。

3.3.2 圧延機

現在では多種多様な圧延機がある。図 3.6 に基本的な圧延機である 1 対のロールを使用する 2 段圧延機を示す。ロールに必要な条件としては耐摩耗性、耐衝撃性、耐熱性および強度が高く、圧延中に折れないなどがあげられる。

圧延において、加工の程度を表す量を圧延率(圧下率)という。圧延前の板厚 t_0 、圧延後の板厚 t_1 とすると、圧延率は次式で求められる。

$$\text{圧延率 (\%)} = \{(t_0 - t_1) / t_0\} \times 100$$

また、 $(t_0 - t_1)$ を圧下量という。

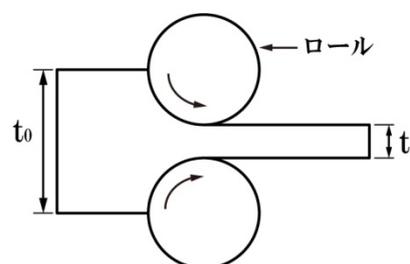
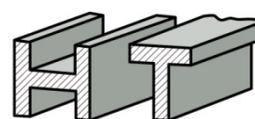


図 3.6 二段ロール

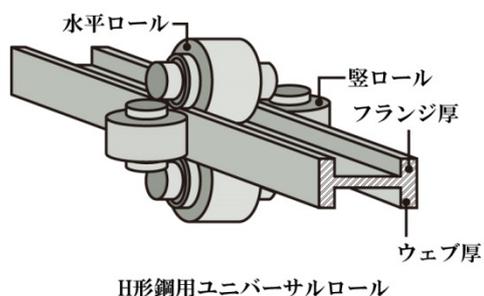


H形鋼 T形鋼
図 3.7 条鋼の断面形状

3.3.3 鉄鋼の圧延

[1]一次加工 一次加工品とは、形鋼、板材などの製品に加工する前段階の素材という。また、一次加工品を作るための圧延を分塊圧延という。

[2]二次加工 一次加工品を再び加工して図 3.7 に示す H 形鋼、T 形鋼などを得る加工を二次加工という。これらの成形品は形鋼圧延機を用いて作られる。図 3.8 に H 形鋼の圧延機を示す。また、管の製造も圧延で製造されることが多い。図 3.9 に継目なし鋼(シームレスパイプ)の代表的な加工法のマンネスマンせん孔法を示す。これはたる型をした



上下左右から挟み込むように圧延し、形状を整える

図 3.8 H形鋼の圧延

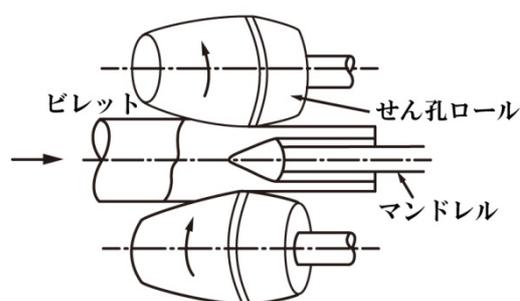


図 3.9 マンネスマンせん孔法

1対のロールが棒材に押し付けられて回転すると中心部が割れる性質を利用し、中心部に押し当てられたマンドレルにより中空材が得られる。

3.4 プレス加工

3.4.1 プレス加工とは

雄型と雌型の金型を取り付けた機械を用いて金型どうしを押しつけ、金型の間にはさんだ金属板を塑性変形させて製品を得る方法をプレス加工という。

プレス加工の特徴は、同一形状の成形品を迅速にかつ大量生産できる。また、成形する製品の数が多いほど生産性は高くなるのでコストは低減できる。さらに切削加工のような切りくずをださないのので、切りくずとして捨てる部分が少ない。しかし、金型はコストが高いため多品種少量生産には不向きである。

3.4.2 プレス加工の種類

[1]打抜き（せん断）加工 切り刃を持ったポンチとダイスで素材にせん断変形を与えて素材を打抜いたり、切断する加工を打抜き加工という（図 3. 10）。この加工に属するものとして、せん断加工（シャーリング）、打抜き（ブランキング）、穴抜き（ピアッシング）、縁切り（トリミング）などがある。

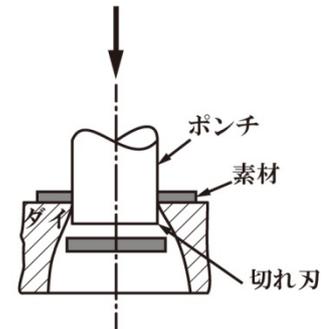


図 3. 10 打抜き

[2]曲げ加工 プレス機械に金型を取り付けて曲げる方法で、極めて適用範囲が広い。図 3. 11 に V 曲げ、U 曲げ加工を示す。曲げ加工で板材を所要の形状に曲げ、荷重を取り除き型から成形品を取り出すと、素材の弾性によってわずかに変形が回復する。これを跳ね返り（スプリングバック）という。この加工に属するものとして、ビーディング、エンボス、ネッキング加工などがある。

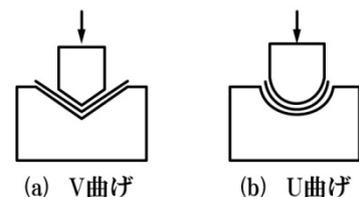


図 3. 11 プレス金型による曲げ加工

[3]絞り加工 絞り加工はパンチ（雄型）とダイ（雌型）の間に板をはさみ、パンチをダイのくぼみに入れることにより板を成形する方法である（図 3. 12）。この加工によって底のある中空容器が作れる。加工材にはしわが発生するので、しわの発生を防ぐためしわ押さえを用いる。缶ビールの缶は深絞り加工で作られている。

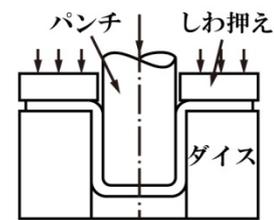


図 3. 12 深絞り加工

[4]押し出し 押し出し加工は、耐圧厚肉容器に素材（ビレット）を挿入し、素材を加圧してダイスの穴から押し出す加工法である（図 3. 13）。アルミサッシュなどは押し出しによって作られる。

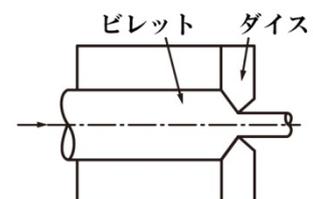


図 3. 13 押し出し

その他の加工としては、引抜き加工、硬貨、メタルなどの製造に用いられているコイニング、素材に凹凸を両方の型によってつけるエンボス加工などがある。

4 章 溶 接

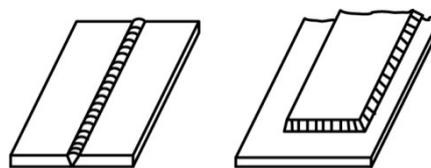
4. 1 溶接の概要

一般に溶接は、二つの材料の接合部分を溶かして接合するか、あるいは外部から溶けた材料を接合部分に加えて接合する方法である。溶接はリベットやねじなどによる機械的接合に比べ形状の自由度、重量の軽減、水密・気密性の保持などの長所がある。このため、船、車両、橋梁、建築および各種産業機械などの分野で広く用いられている。溶接法を大別すると、母材を溶融して溶接する融接法、加圧しながら溶接する圧接法および母材を溶融しないでろうを用いて接合するろう接法になる。また、溶接の熱源を利用して、金属を溶かして切断することもできる。

4. 2 アーク溶接

4. 2. 1 アーク溶接の概要

アーク溶接はアークの熱により溶接棒を溶融させ、それを溶接部あるいは肉盛り部に補給して溶接する方法である。溶接しようとする材料を母材といい、母材が板状のときの接合形式は、突合わせ溶接とすみ肉溶接の2種類がある(図4.1)。突合わせ溶接では母材の先端を加工し、開先をつくる(図4.2)。V形開先が最も良く用いられるが、厚い板の溶接では板の両側から溶接できるX型開先を用いる。



(a) 突合わせ溶接 (b) すみ肉溶接

図 4. 1 溶接の形式

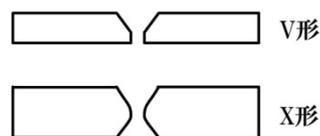


図 4. 2 開先の種類

4. 2. 2 被覆アーク溶接

被覆アーク溶接は、被覆アーク用接棒を用いて行うアーク溶接である。その溶着状況を図4.3に示す。この溶接は溶接棒と母材の間にアークを発生させ、溶接棒を移動させていく。アークの発生する高温で母材が解けて溶融池ができ、溶けた溶接棒は溶滴となって溶融池にはいる。溶融池は凝固し、溶接金属となる。アーク溶接棒は心線の周囲に被覆剤(フラックス)が塗布してあり、アークの熱で被覆剤は溶融したり、気化する。気化したガスは大気を遮断して酸化や窒化を防止し、アークを安定させる。溶融した被覆剤はスラグと

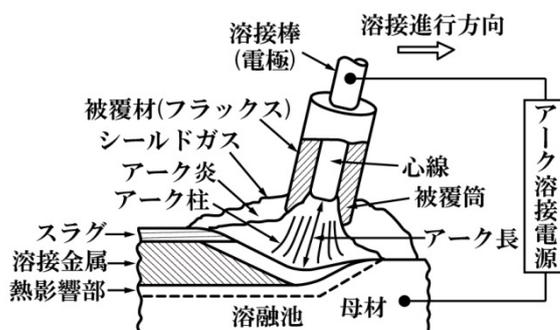


図 4. 3 被覆アーク溶接における溶着状況

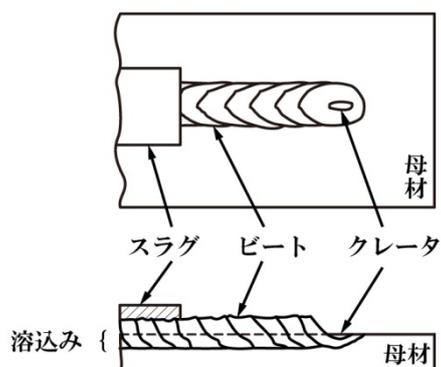


図 4. 4 溶接金属各部の名称

なり、溶接金属を覆って保護する。また、被覆剤は溶接金属の清浄作用もあり、母材の酸化不純物を除去することができる。溶接金属各部の名称を図 4. 4 に示す。

4. 2. 3 イナートガスアーク溶接

被覆アーク溶接では溶接部への大気混入を完全には防げない。そこでイナートガスアーク溶接法が開発された(図 4. 5)。シールドガスには不活性ガスのアルゴンガスなどが用いられている。アルミニウム合金、銅合金などの非鉄金属およびステンレス鋼などの溶接に用いられている。

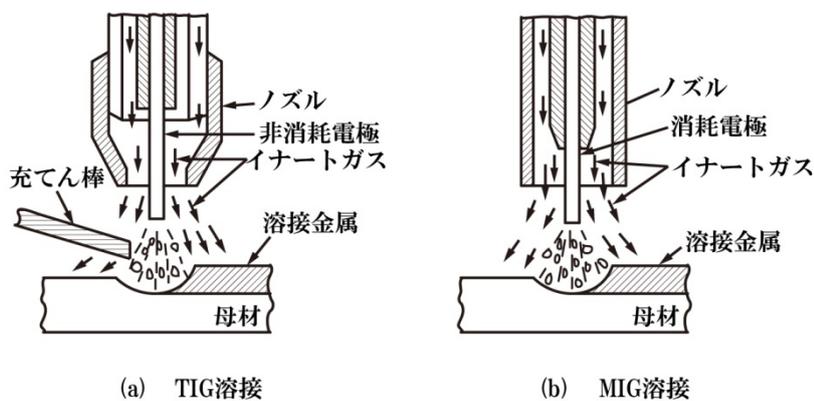


図 4. 5 イナートガスアーク溶接

TIG(tungsten inert-gas)溶接は、電極にタングステを用い、電極と母材の間にアークを発生させ、充てん棒を外から挿入しながら溶接を行う。タングステンは高融点であるため、不活性ガスの雰囲気中で極めて消耗が少ない(非消耗電極)。薄板から厚板まで、溶接欠陥も少なく高品質な溶接ができる。

MIG(metal inert-gas)溶接は、溶接ワイヤを電極(消耗電極)としてアークを発生させ、溶接ワイヤをトーチノズルから送り出し、溶かして溶接する。熱の発生は局部に止まるので、ひずみの発生が少なく、薄板の溶接に適している。

4. 2. 4 サブマージアーク溶接

サブマージアーク溶接は、継手の表面に盛り上げた粒状フラックスの中に裸溶接棒の電極を挿入して行うアーク溶接である(図 4. 6)。溶接棒へのフラックスおよび消耗電極線は自動的に供給される。この溶接法は溶込みが深く、溶接速度が速いので造船、橋梁、大きい圧力容器などの厚板で、長い母材の連続溶接に使用される。

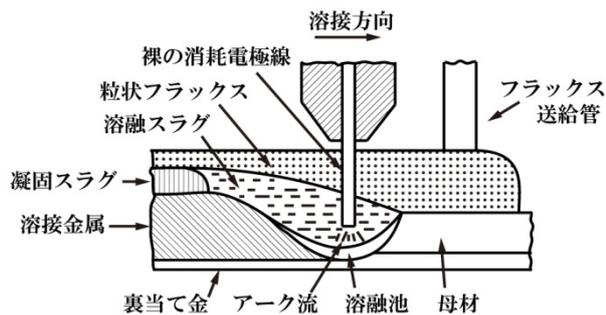


図 4. 6 サブマージアーク溶接

4. 3 抵抗溶接

抵抗溶接は、溶接する両部材を接触させ、加圧しながら大電流を短時間接解部に流し、その抵抗熱で接合する。ここでは点溶接(スポット溶接)について説明する。

点溶接は、2枚の板を2個の銅合金電極間にはさみ、加圧しながら通電して溶接する。接合部をナゲットといい点状である。溶接時間が短く、熱の影響も少ないのでひずみも小

さい。実用例としては、自動車のボディの接合に多用されている(図 4. 7)。

その他の抵抗溶接としては、縫合せ溶接(シーム溶接)がある。回転する円盤電極により加圧、通電することにより点溶接を連続的に行う。実用例としては、自動車のガソリタンクのように気密性を必要とする容器などの製作に使用される。

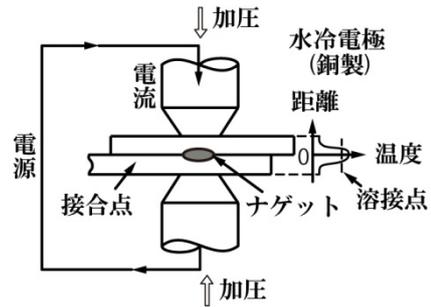


図 4. 7 点溶接(スポット溶接)

4. 4 その他の溶接

4. 4. 1 摩擦圧接

摩擦圧接は、固相接合法の1つで、2つの接合面を突合わせて、一方を固定し、他方を回転させることで生じる摩擦熱を利用して軟化させた後、接合面に向かって圧力を加えて接合する(図 4. 8)。機械的な方法で接合するので大量生産に適している。また、異種金属の接合もできる。

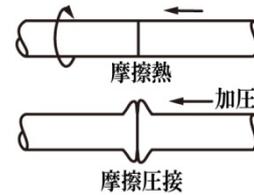


図 4. 8 摩擦圧接

4. 4. 2 ろう付けとはんだ付け

ろう付けは母材を溶接することなく加熱し、接合接触面に母材より融点の低いろう(金属)を溶融し、溶融させたろうを母材間のすき間に毛細管現象と濡れとでしみ込ませ、それを凝固させる接合法である。

ろうの融点が450°C以上のものを硬ろう、450°C以下のものを軟ろう、または、はんだとも呼ぶ。ろう付けは各種流体の貯蔵容器やICやプリント基板などに用いられる。

4. 4. 3 ガス溶接

ガス溶接は、アセチレンなどの可燃性ガスと助燃剤の酸素とを燃焼させ、この燃焼熱を利用する(図 4. 9)。溶接トーチと呼ぶ器具でアセチレンと酸素の混合ガスに着火して燃焼炎をつくり、母材と同種の溶加材を溶かして接合させる。加熱源の調整が比較的自由なため薄板や薄パイプなどの溶接ができる。

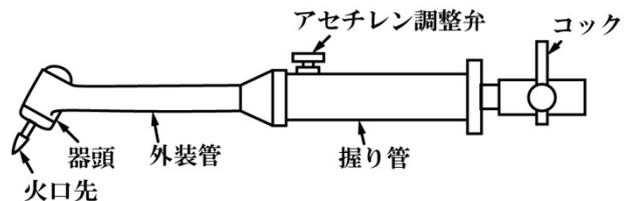


図 4. 9 低圧のトーチ

4. 4. 3 プラスチックの溶接

熱可塑性プラスチック板材などの接合には熱風溶接などがある(図 4. 10)。接合面と溶接棒を熱風で加熱して溶かし、加圧ローラで溶着させる溶接法は、強固な接合が得られ、信頼性の高い接合法である。

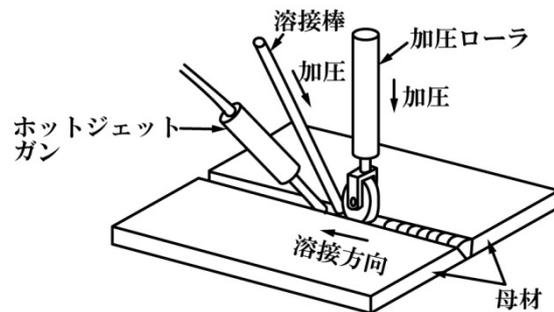


図 4. 10 プラスチックの熱風溶接

4. 4. 4 金属溶射

金属溶射は、金属線や金属化合物の粉末を加熱し、半熔融状態として溶射ガンのノズルから工作物に吹き付け密着被覆する方法である(図 4. 11)。溶射金属が冷たい表面と接触すると、小さな粒子は平らに延ばされて急速に固着する。

工業的には、耐食性向上のためステンレス鋼の被覆、耐摩耗性向上のため押出ダイスにアルミナの被覆などがある。また、プラスチック製美術品に錫などの低融点金属を被覆して金属光沢を与えるなどに使用されている。

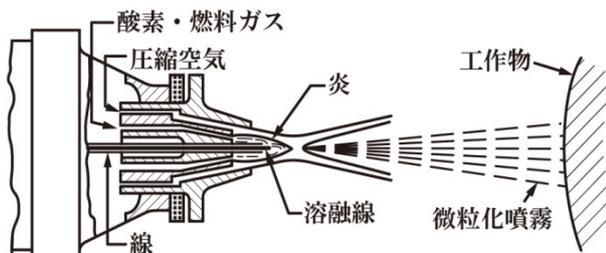


図 4. 11 金属溶射ガン

4. 5 溶接部の性質

4. 5. 1 溶接部分の組織

母材と溶接棒は熔融して混合する。このとき母材の固相部と溶接金属の液相部の境界面にほぼ垂直方向に、液相部から固相部に向かって熱は流れ、凝固して生じる結晶は熱の流れとは反対方向に発達して成長して柱状晶となる(図 4. 12)。

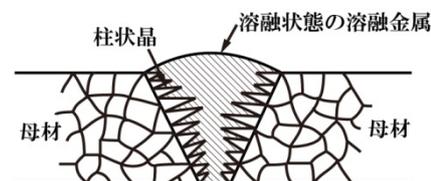


図 4. 12 柱状晶の組織

4. 5. 2 母材の変質

溶接金属に接する母材は融点には達しないがきわめて高温になる。そのため、組織の変化した熱影響部が生じ、融合部付近から急激に硬くなる(図 4. 13)。これは融合部付近の母材が溶接金属の熱で加熱された後、急速に冷却されるのが主因である。特に母材中の炭素量が多くなると焼入れされて、著しく硬さくなる。

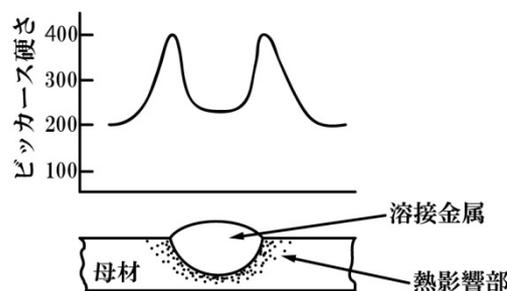


図 4. 13 溶接後の硬さ分布(中炭素鋼)

4. 5. 3 溶接ひずみと変形

溶接によるひずみは加熱により膨張し、冷却時に収縮する。そのため残留応力が生じ変形する(図 4. 14)。

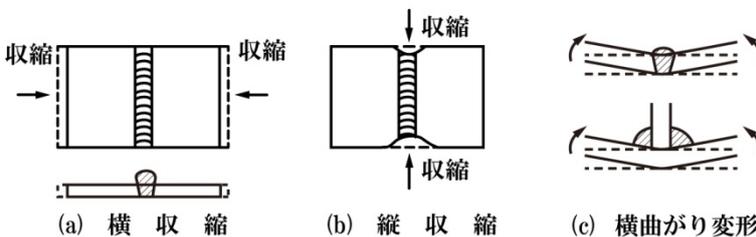


図 4. 14 収縮と変形の例

4. 5. 4 溶接部の欠陥

[1]ブローホールとピット 溶接金属に生じる気泡が内部に閉じ込められたものをブローホールと呼び、外に現れたものをピットという。

[2]スラグ巻き込み スラグが溶接金属内に残って固まったもの。

[3]割れ 溶接後の収縮力に起因して割れを生じることがある。溶接部の割れの種類としては、ビード(溶接金属)縦割れ、ビード横割れなどがある。

5 章 切 削 加 工

5. 1 概 要

切削加工は、刃物(切削工具)を使って工作物から不要な部分を切りくずとして削り取り、所定の形状にする加工法である。切削の特徴は、他の加工法に比べて高い精度の加工が可能である。また、NC 装置を組み合わせることによって自動化しやすい。しかし、加工時間が長くなりコスト高になりやすい。

5. 2 切削理論

5. 2. 1 切削機構

実際の切削では切りくずの排出は、材料の複雑な三次元変形によって行われるが、簡単な二次元切削の場合を取り扱うことが多い。

図 5.1 に二次元切削模型を示す。切りくずを押し出す面をすくい面、被削材と接する面を逃げ面という。すくい角 α で逃げ角 β のバイトによって、切削厚さ t_1 で切削速度 v なる二次元切削を行うとき、刃先先端の点 A から被削材表面の点 B に向かってせん断作用が起こり、 t_2 の厚さの切りくずが出る。この時、切りくずは点 C まですくい面に接触し、点 C から離れ切りくずとして排出される。

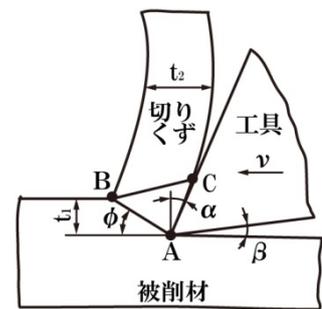


図 5. 1 二次元切削模型

5. 2. 2 切りくず

切りくずの種類は、4 種類に分類される(図 5.2)。

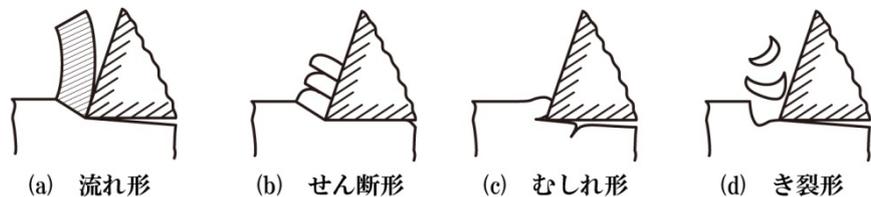


図 5. 2 切りくずの形態

[1] 流れ型切りくず

刃先から斜め前方に向かうせん断変形が安定して連続的に発生し、切りくずはカールしながら連続して排出される。切削抵抗の変動も少なく、最も良好な切削面が得られる。

[2] せん断型切りくず 工具の進行とともに切りくずの受けるひずみが増え、厚さが増し、ある限界を超えるとクラックが発生して急に薄くなり、また厚くなるという過程を繰り返すことにより切りくずが排出される。切削抵抗が周期的に変動するので切削面は凹凸になる。

[3] むしれ型切りくず 刃先端の少し前方で材料に小さな裂け目が生じ、その後刃先から斜め上方にせん断が起こり切りくずはばらばらになって出てくる。切削面はき裂によって生じたむしりあとが残るため粗くなる。

[4] き裂型切りくず 切りくずが刃先の前方で脆性的に破壊されながら生成し、き裂は切削面に食い込むので、非常に粗い切削面となる。脆性材料の切削のとき生じやすい。

5. 2. 3 構成刃先

構成刃先は切りくずと工具すくい面との間に高い圧力と摩擦熱によって切りくずの一部

が加工硬化して刃先に溶着することにより発生する。

図 5.3 に構成刃先を示す。構成刃先は刃先の前方に堆積し、あたかも刃物のような作用をしながら工作物を切削し、刃先の鋭さが鈍り、不安定な状態で切削する。また、不規則に発生、成長、分裂、脱落を繰り返し、その周期は 0.01~0.1 秒と非常に短い。

構成刃先が生成すると、(1) 切込量が増して仕上げ寸法が狂う。(2) 刃先の鋭利性がなくなり仕上げ面が悪くなる。(3) 工具寿命が短くなる。

荒加工では、構成刃先を有益と考えることもあるが、高精度の仕上げ面が要求される場合は、構成刃先の発生は防止する必要がある。

その防止法には

(1) 切削速度を大きくして刃先の温度を被削材の再結晶温度以上にすると、加工硬化が抑制されて構成刃先ができにくくなる。

(2) 工具材料を選ぶ。高速切削で刃先が軟化するような工具では不適當であり、かつ、溶着しにくい工具を選ぶ。例えば、鉄鋼材を切削するときには、高速度鋼より超硬合金、さらにセラミックスの方が溶着しにくい。

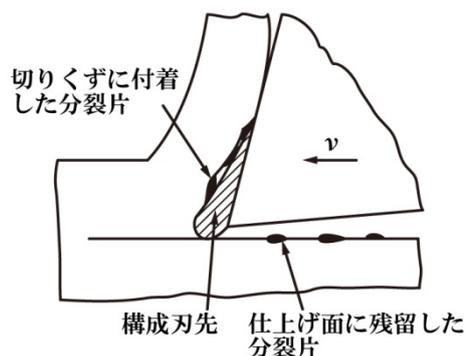


図 5.3 構成刃先の生じたときの切削状態

5.2.4 切削速度

切削加工によって仕上げられる面の良し悪しは、切削速度と密接な関係がある。したがって切削速度は、工具の材質、被削材の材質などによって決めなければならない。切削速度の計算式は工作機の種類によって異なるが、旋盤を例にとると、図 5.4 に示すように被削物の外径 d (mm)、被削物の回転数 N (rpm) とすると、切削速度 V (m/min) は、次式によって求められる。

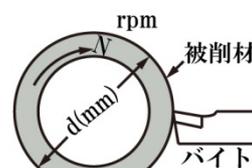


図 5.4 削り速度

$$V = \pi d N / 1000 \quad (\text{m/min})$$

5.2.5 工具材料

工具材料に要求される条件として高温で被削材より硬い、靱性が高く、欠けにくい、耐磨耗性が高い、被削材が溶着しにくい、熱膨張係数が小さいなどがあげられる。

工具材料の種類は多く、炭素工具鋼、合金工具鋼、高速度鋼、超硬合金、サーメット、セラミックス、立方晶窒化ホウ素、ダイヤモンドなどがある。

現在、切削工具材料として最も多く使用されているのは、超硬合金である。超硬合金は炭素タングステン(WC)などの微粉末に結合剤としてコバルト(Co)の微粉末を加え、高压で成形し、1,300~1,550°Cで焼結した合金である。硬さは HRC85~95 と硬く、この硬さは高温でも低下が小さい。鋼や鋳鉄の高速切削をはじめ、非鉄金属や非金属の高能率切削に広く使われている。

5.3 工作機械

5. 3. 1 旋盤

図 5.5 に普通旋盤を示す。旋盤は、主として丸棒の加工に使用され、工作物を回転させ、バイト（切削工具）を用いて加工する。

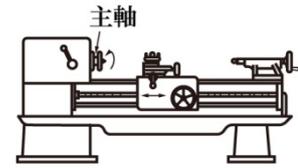


図 5.5 普通旋盤

[1] 旋盤を用いてできる加工 図 5.6 に旋盤を用いてできる加工を示す。外丸削りは丸棒の外径を小さくする。正面削りは端面の加工、穴あけは棒の中心軸に穴をあける。中ぐりは中心軸にあけた穴を広げる。おねじ切り、めねじ切りは、おねじ、めねじを加工する。突切りは製品を長い丸棒から切り離す加工である。

[2] 旋盤加工で用いる工具 図 5.7 に旋盤加工で使用するバイトを示す。剣、片刃、真剣バイトは主として外丸削り、テーパ削り、正面削りに用いる。平バイトは切削面を平滑にするときに用いる。

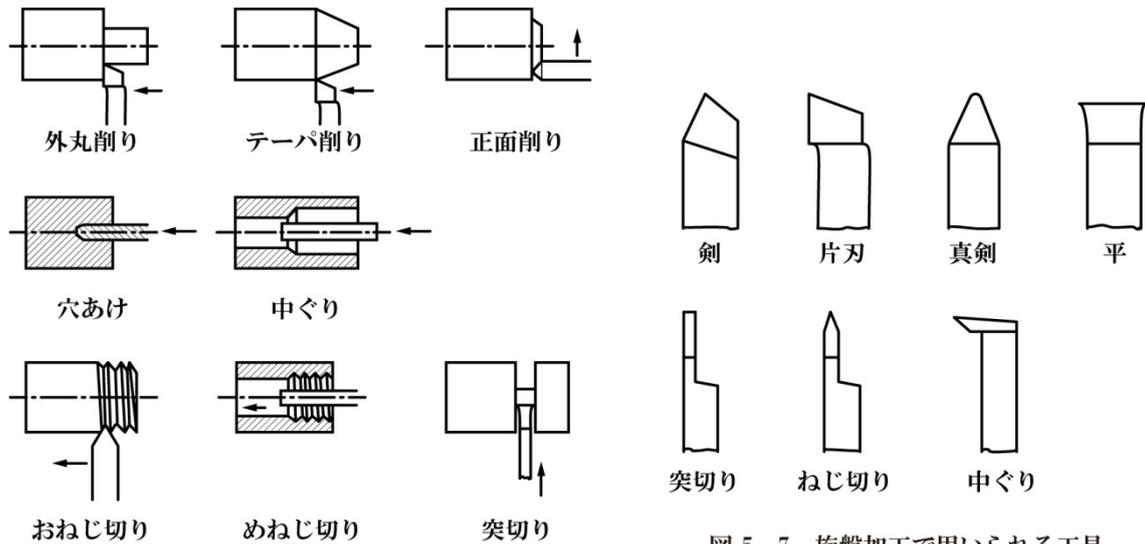


図 5.7 旋盤加工で用いられる工具

図 5.6 旋盤でできる加工

5. 3. 2 ボール盤

ボール盤は、ドリルなどの工具によって工作物に穴をあける機械である。ドリルを主軸に取り付けて回転させながらドリルを下方に送り穴をあける。工作物が比較的小さいときには卓上ボール盤を用い、大きいときには図 5.8 に示すラジアルボール盤が用いられる。また、リーマ加工もリーマ（6~8 枚の刃を持った工具）をボール盤に取り付けて、ドリルであけた穴の表面粗さ、精度を向上させるためボール盤を使用することがある（図 5.9）。

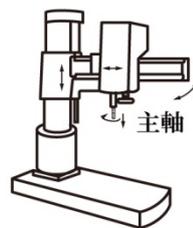


図 5.8 ラジアルボール盤

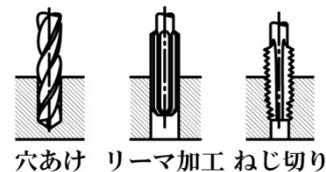


図 5.9 ボール盤による加工

5. 3. 3 フライス盤

図 5.10 に立てフライス盤、図 5.11 に立てフライス盤で使用する工具を示す。テーブル上に工作物を固定し、回転する工具で切削する機械である。立てフライス盤を用いてできる加工は

[1]溝掘り エンドミルを用い掘りたい溝の深さや幅をテーブルを移動して加工する。

[2]平面加工 正面フライスを用いて、角材の直角を出したり、平面を出す加工。

[3]段付け エンドミルまたは正面フライスを用いて段差のある加工。

その他の汎用工作機械としては、ボール盤などであけた穴を高精度に広げる中ぐり盤、大形工作物の平面加工、溝掘りを行う平削り盤、比較的小形の工作物の平面加工、溝掘りを行う形削り盤、歯車を切削加工によって製作するボブ盤などがある。

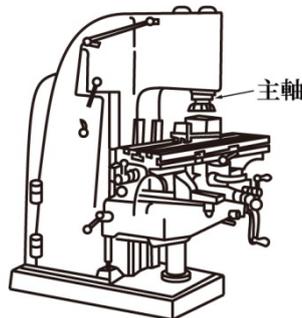
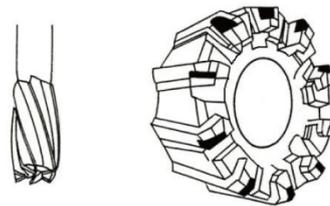


図 5.10 ひざ形立てフライス盤



エンドミル 正面フライス

図 5.11 立てフライス盤で用いる工具

5. 3. 4 マシニングセンタ

マシニングセンタは、主轴の向きによって、横形マシニングセンタと立て形マシニングセンタに分けられる。図 5.12 に立て形マシニングセンタを示す。マシニングセンタは、フライス削り、穴あけ、中ぐり、ねじ切りなどの複数の作業をプログラムによって順次実行する工作機械である。一般的なマシニングセンタは X、Y、Z 方向に直進できる 3 軸を有しているが、これに、回転、傾斜を加えた 5 軸制御マシニングセンタもある。図 5.13 に 3 軸制御・5 軸制御マシニングセンタの工具の工作物への接近性を示す。5 軸制御マシニングセンタは工具軸の方向を変えることによって優位な条件で加工できる。加工例としては、自動車のボディのような三次元形状のもの、複雑な形状の加工と高精度な加工が求められる金型加工などがある。

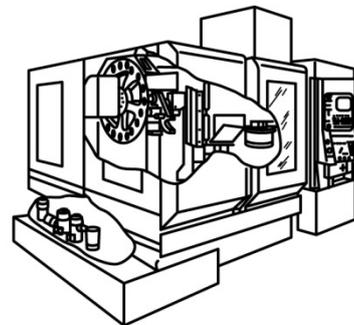


図 5.12 立て形マシニングセンタ

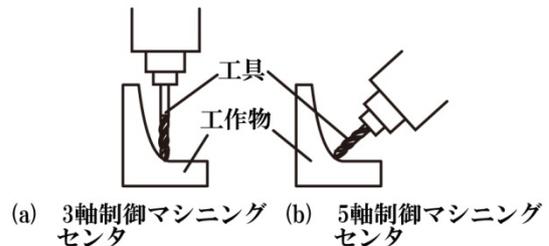


図 5.13 工具の工作物への接近性

6 章 研削加工

6.1 概要

研削加工は、多数の硬い砥粒を結合剤で固めた円筒状の砥石を高速回転させて工作物を切削する。平面研削の状態はフライス加工とよく似ている。しかし、研削加工と切削加工では異なる点があり、平面研削とフライス削りを例にあげて示す。

(1) 平面研削では、高硬度な焼入れ鋼やセラミックの研削が可能である。

(2) フライス削りでは、一刃当たりの切込み深さを微小にすることは困難であるが、平面研削では砥粒切込み深さを微小にしても切削できる。このため研削加工では良好な加工精度と仕上げ面が得られる。

(3) フライス削りに比べ平面研削の切削速度は、かなり大きい。研削では微小切削にもかかわらず材料の除去量は大きい。

(4) フライス削りでは、工具が摩耗すると工具を研削して切れ味を回復させる必要がある。砥石は砥粒が摩耗しても自生作用によって研削を続けることができる (図 6.1)。

砥石の切れ刃は、砥石に練り込まれた砥粒である。この砥粒のコーナ部が砥石から少しだけ頭を出した状態でなければ切削できない (6.1(a))。

砥石 I の砥粒切れ刃は、工作物を高速で切削することにより切れ刃は摩耗して丸くなり、切れ味が悪くなる (6.1(b))。その結果、切れ刃には大きな切削抵抗が作用し、砥粒 I は破碎や脱落が生じる。砥粒が破碎した場合、へき開が生じ、新たに鋭い切れ刃が現れる (6.1(c))。さらに砥粒 I やその周辺の結合剤が摩耗し (6.1(d))、脱落すれば下層にある新しい砥粒 II が出現して切削を行う (6.1(e))。このように砥粒のへき開、脱落、新しい砥粒の出現を繰り返しながら切削している。この現象を砥石の自生作用という。

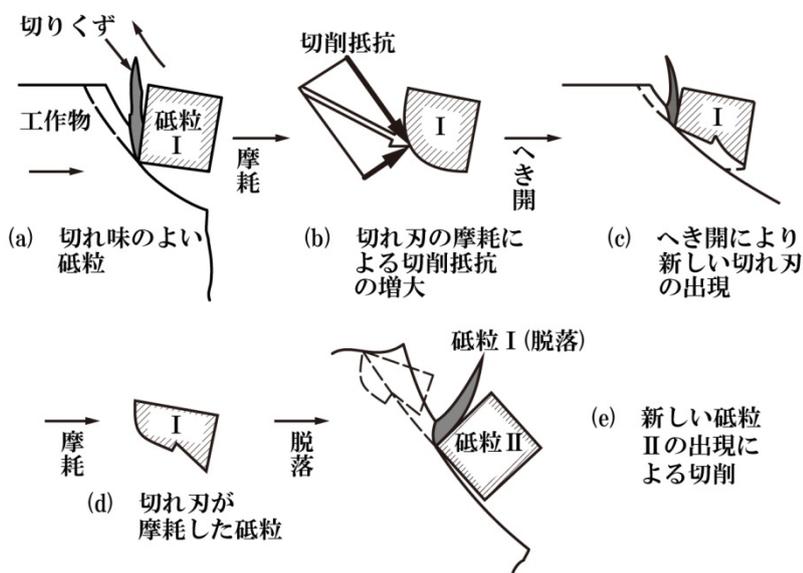


図 6.1 砥石の自生作用

6.2 研削砥石

6.2.1 研削砥石の構造

研削砥石は、砥粒は結合剤によって保持・連結されており、その間に多数の気孔がある。研削砥石は砥粒、結合剤、気孔で構成されており、これを砥石の3要素という (図 6.2)。

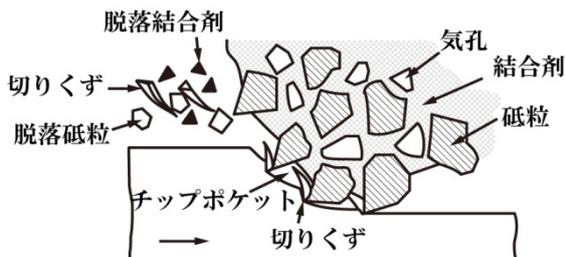


図 6.2 平面研削

6. 2. 2 砥石の研削状態

砥石の自生作用を持続させるには、研削条件の選択が適正でなければならない、選択条件が不都合な場合には目つぶれ、目づまりが生じる（図 6. 3）。

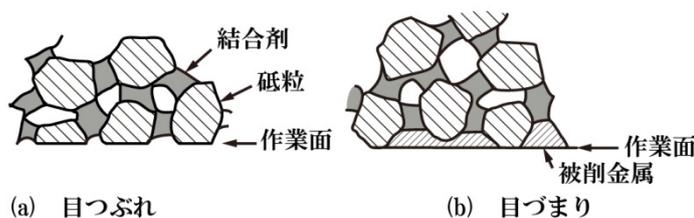


図 6. 3 研削砥石の目づまりと目つぶれ

- [1] **目つぶれ** 砥粒切れ刃が摩耗していき、この砥粒が脱落しないため砥粒切れ刃が平坦になり作業面がつるつるになる状態を目つぶれという。
- [2] **目づまり** 切りくずや砥石の破片などが気孔に詰まった状態のことを目づまりという。
- [3] **目こぼれ** 砥粒の脱落・破砕が激しく起こる状態を目こぼれという。

6. 3 平面研削

工作物の平面を研削する加工を平面研削といい、このとき使用する研削盤が平面研削盤である。平面研削の方法は、砥石軸の方向により横軸形と立て軸形に分けられる（図 6. 4）。

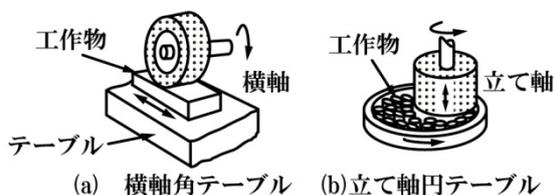


図 6. 4 平面研削法

横軸角テーブル形平面研削盤は、角テーブルを往復運動させ、砥石軸がテーブルに平行な平面研削盤である。一般平面研削や金型などの精密研削に適する。

立て軸円テーブル形平面研削盤は、円テーブルを回転させ、テーブルに垂直な砥石軸をもつ平面研削盤で比較的小形の工作物を能率よく研削できる。

6. 4 円筒研削

円筒研削とは、円筒状の工作物の外周を研削することで、工作物の両端をセンタで支持して研削する（図 6. 5）。砥石の半径方向に切込みを与えて砥石軸を工作物の軸方向に平行移動させながら研削を行う方法である。一般に、工作物を往復運動させることが多い。

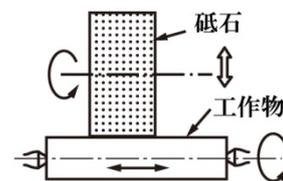


図 6. 5 円筒(外面)研削

6. 5 内面研削

内面研削とは、穴の内面を研削する場合に工作物を回転させ、その穴に回転している砥石を挿入して研削する加工法である（図 6. 6）。加工方式に

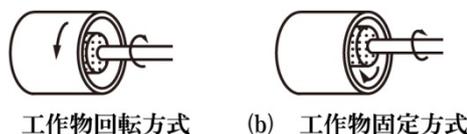


図 6. 6 内面研削加工

- [1] **工作物回転方式** 工作物回転方式は、工作物を回転させながら、砥石に回転と送りを与えて加工を行う。
- [2] **工作物固定方式** 工作物固定方式は、工作物を固定して、砥石に自転と公転の遊星運動(プラネタリ)を行わせながら、送りを与えて加工を行う。工作物が大きく工作物を回転させるのが難しい場合、形の複雑な工作物の内面加工に適している。

7 章 精密加工および特殊加工

7.1 概要

切削・研削で得られた仕上げ面の寸法精度の向上あるいは平滑化する場合、ホーニングなどの精密加工が行われる。また、通常の切削・研削では加工が困難な工作物を加工する場合、物理・化学エネルギーを利用して加工する。このような加工を特殊加工という。

7.2 ホーニング

ホーニングは、穴の内面を研削する加工法の1つである。棒状砥石を一定の圧力で円筒内面に押し付け、砥石軸を回転させながら往復運動させる加工法である(図 7.1)。一般に研削油を注ぎながら加工する。内熱機関のシリンダなど比較的深穴となる円筒形状の内面を精密研削する加工に利用されている。

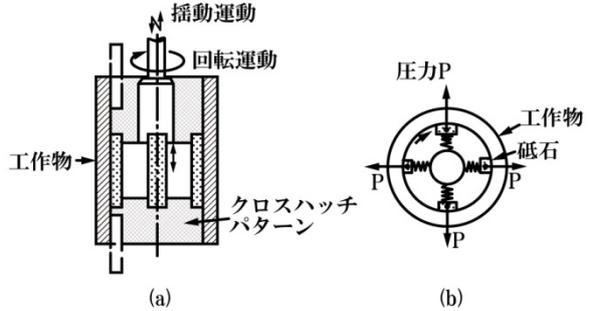


図 7.1 円筒内面ホーニング
(加工条件は工作物が鋼材の場合で参考値)

ホーニングの特徴は、

- (1) 前加工の加工誤差を修正し、安価に、能率的に、高精度な仕上げ面が得られる。
- (2) 仕上げ油にクロスハッチ(砥粒による綾目)の切削条痕(じょうこん)が形成されるため保油性に優れた仕上げ面が得られる。
- (3) 砥粒 1 個あたりに作用する切削力が小さい、ホーニング速度が低い、研削油によって冷却されるため加工ひずみ、加工変質層が少ない仕上げ面が得られる。

7.3 超仕上げ

超仕上げは、粒度の細かい砥石を低圧力で工作物に接触させ、工作物を回転させながら砥石に往復振動を与えて仕上げる加工法である(図 7.2)。砥石と工作物の接触面に適度の粘度をもった工作液を注ぎながら加工する。各種シャフトやベアリン用ローラなど円筒外面のほか、平面などの加工もできる。

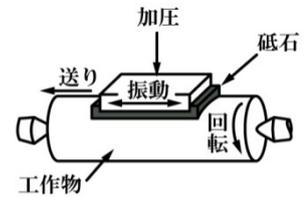


図 7.2 超仕上げ

超仕上げの特徴は、

- (1) ホーニングやラッピングに比べ、きわめて短時間の加工で鏡面が得られる。
- (2) 低圧、低速度の加工のため発熱が少なく、かつ工作油をしようするので、加工変質層を除去するため仕上げ面は耐摩耗性、耐食性に優れた仕上げ面が得られる。
- (3) 仕上げ面の平滑度が非常によい。

7.4 ラッピング

ラッピングとは、工作物とラップの間にラップ剤(砥粒)をはさみ込み、工作物に圧力を加え

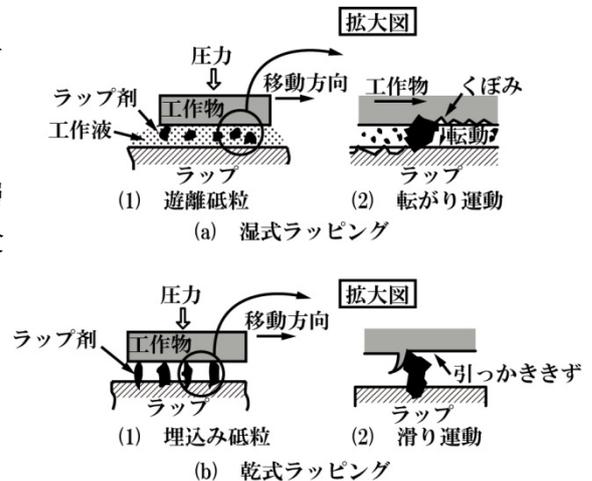


図 7.3 湿式ラッピングと乾式ラッピング

ながらしゅう動させ、砥粒による工作物を微小切削して工作物表面を仕上げる加工法である(図 7.3)。加工能率は低いが平滑な仕上げ面が得られるためゲージなどの仕上げ工程に用いられている。

ラッピングには、工作液(ラップ液)を使用する湿式ラッピングと使用しない乾式ラッピングがある。

ラップ剤には、アルミナ系砥粒、炭素けい素系砥粒が用いられ、ラップには組織が緻密な鋳鉄が使われる。

[1] 湿式ラッピング 湿式ラッピングでは、砥粒が工作液中を転がりながら研磨するため加工量が大きく熱の発生が少なく、ラップ焼けが起こりにくい。しかし、研磨面は不規則なラップ痕(こん)が残り、無光沢梨地の粗面になる。荒・中仕上げに用いられる。

[2] 乾式ラッピング 乾式ラッピングは、ラップに埋め込まれた砥粒が工作物に対し滑りながら研磨を行うので、加工量は少ないが光沢のある面になる。仕上げに用いられる。

7.5 放電加工

放電加工とは、加工液(水または油)中に置いた工作物と工具電極(銅など)の間でパルス状の放電を起こさせ、アーク放電で材料を熔融、蒸発し、同時に発生する衝撃圧力で除去する加工法である(図 7.4)。

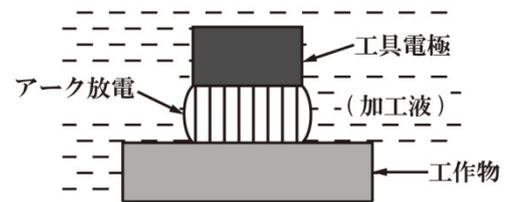


図 7.4 放電加工の概念図

放電加工の長所としては、

導電体であれば、硬度に関係なく加工でき、電極と工作物が非接触の状態であり、かつ液体中での加工法であるため加工ひずみが少ない高精度加工ができる。

一方、短所としては、

加工速度が遅く、加工物は導電体でなければならない。

放電加工には、工作物に対して整形された電極を送り込んで加工する型彫り放電加工と、一定速度で連続供給されるワイヤ電極を用いて糸鋸のように工作物を切断するワイヤ放電加工がある。

7.6 電解研磨

電解研磨とは、工作物を陽極、電極を陰極とし電解液中に浸漬して電流を流すと工作物の表面が溶け出すことを利用した加工法である(図 7.5)。この加工法は、平滑な光沢面が得られるので洋食器などの鏡面仕上げなどに使用される。

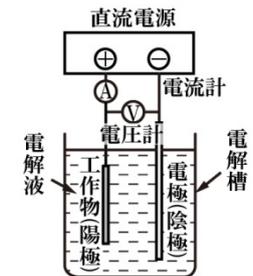


図 7.5 電解研磨

7.7 超音波加工

超音波加工とは、軸方向に超音波振動する工具を工作物に押し付け、そのすき間に砥粒を混ぜ込んだスラリーを注入し、工具断面形状に相当する穴形状を加工物にあける加工法である(図 7.6)。振動工具によって繰り返し砥粒が工作物に当たるハンマリング作用を利用するため工作物は、硬くてもろい材質に限られる。

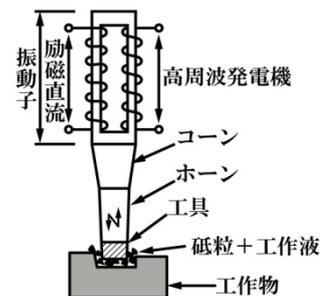


図 7.6 超音波加工

8 章 粉末成形加工

8. 1 概要

粉末成形は、金属粉末または非鉄粉末を原料として所定の形状・寸法の製品を加工する方法である。その工程としては、粉末の製造→粉末の混合と調整→圧縮成形→焼結→仕上げがある。粉末冶金製品は、軸受ブシュ、歯車、超合金、マグネット磁石、ボールペンのペン先部品などに使用されている。

8. 2 粉末冶金

8. 2. 1 粉末の製造

粉末冶金は、使用した粉末の粒子の大きさ、分布、形状および純度により性質が大きく影響される。

粉末の製造方法には、①酸化物の還元法、②カーボニル法、③ボールミル法、④アトマイジング法などがある。

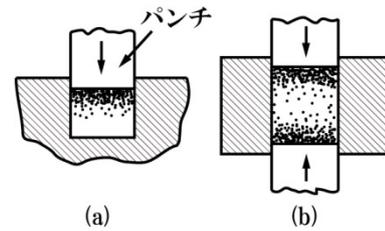


図 8. 1 粉末の圧縮成形

8. 2. 2 圧縮成形

混合調整された粉末を金型に入れて成形圧力 $2\sim 6\text{t/cm}^2$ 程度で圧縮成形する。このとき成形品の各部分が均一な密度となることが重要となる。一般に成形品の厚さが厚い場合パンチから離れた部分の密度は小さくなる(8. 1. a)。このような場合には上・下方向から圧縮して密度の均一化をはかる(8. 1. b)。

8. 2. 3 焼結

圧縮成形後、一般には金属の融点の70~80%の温度に加熱して焼結する。また、焼結時の雰囲気も重要で酸化や燃焼を防止するため、例えば鉄、非鉄系合金の焼結には水素、解離アンモニアなどの還元ガスが用いられることが多い。

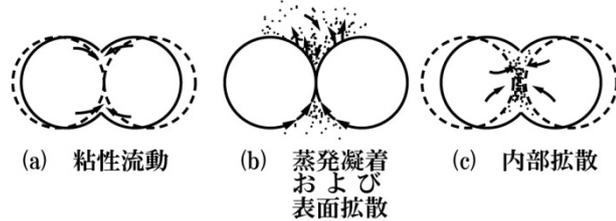


図 8. 2 固体粒子の焼結過程を示す模型図

焼結過程(図 8. 2)では、圧縮成形により粉末は密着変形した状態となり、加熱により粉末の一部が軟らかくなることによる流動(8. 2. a)、蒸発しやすい物質が接触部に凝着し表面張力による流動(8. 2. b)、あるいは物質原子の拡散(8. 2. c)などの現象が起これらと考えられている。粒子間の結合がさらに進行すると、成形品は一層微密になり強度が向上する。

8. 3 静水圧成形

粉末合金は、多孔質体で多数の微細気孔があり、この気孔を利用した無給油の軸受あるいはろ過用フィルタがある。しかし多孔質体であるため、強度が劣る。

静水圧成形とは、製品内部の気孔を消滅させ強度の向上を目的とした加工法である。変形可能な容器(ゴム)内に金属粉末などを密閉し水や油などの流体に入れて圧力をかけることで粉末を圧縮して成形する。この静水圧成形はパスカルの原理を応用した成形法である。

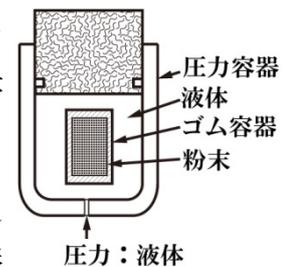


図 8. 3 静水圧成形

9 章 プラスチックの成形加工

9.1 概要

プラスチックの成形加工は、粉末状、粒状、液状の高分子の成形材料を所定の形状と寸法に作る加工で、「溶かす」→「流す」→「形にする」→「固める」の工程によって成形する。

プラスチック成型加工は、切削などの除去加工やプレス加工の変形加工とは異なり、一度の加工で複雑形状の製品を高精度に、かつ簡単にできる大きな特徴があるため大量生産に適した加工法である。

例えば、テレビなどの電気製品の筐体や機構部品、バンパーなどの自動車部品、包装用フィルム、ペットボトルなどの容器、衣服の繊維、光学レンズなどに広く用いられている。

9.2 プラスチック材料

プラスチック材料には熱硬化性プラスチックと熱可塑性プラスチックに大別される。その代表的な例を表 9.1 に示す。熱硬化性プラスチックは加熱により流動化するが、冷却されて硬化したものを再加熱しても軟化しない性質の材料である。

熱可塑性プラスチックは加熱すると軟化・流動化し、冷却すれば固化する。この過程を

表 9.1 代表的なプラスチックの特性と用途

種類	名称	略称	特性	用途
熱可塑性樹脂	ポリエチレン	PE	低摩擦、耐水性、絶縁	バケツなどの日用品、フィルムなど
	ポリ塩化ビニル	PVC	分子量が小さい硬質のものと、高分子の軟質とがある	包装用フィルム、電線被覆、パイプなど
	ポリプロピレン	PP	電気絶縁性、耐水性、耐薬品性	電気部品、ロープ、バンパなど
	ポリエチレンテレフタレート	PETP	耐熱性、高強度	飲料水容器、ガラス繊維強化板など
	ナイロン(ポリアミド)	PA	高強度、高弾性係数エンジニアリングプラスチック	歯車など機械部品、電気部品など
熱硬化性樹脂	フェノール樹脂	PF	耐熱性、難燃	基盤、コネクタ、スイッチなど
	アクリル樹脂	PMMA	耐水性、耐薬品性、透明	タンク、化粧板など
	エポキシ樹脂	EP	接着性、耐候性、耐薬品性	接着剤、機械部品など

繰り返してできるのでリサイクルに適した材料である。

9.3 圧縮成形

圧縮成形は粉末状のプラスチック材料を加熱した金型に入れ、加圧加熱して成形する方法である。その工程を図 9.1 に示す。プラスチック材料は金型内で加熱されると、流動状態となり、

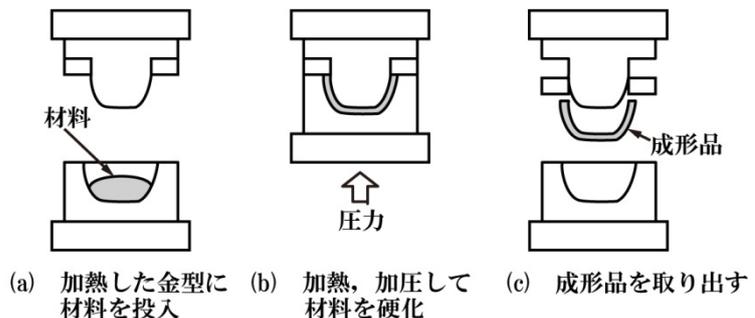


図 9.1 圧縮成形の工程

金型中に行きわたると同時に化学反応が起こり固化する。圧縮成形装置は圧縮機構だけなので設備費や金型加工費が比較的安価であり、大形の製品成形に適している。しかし1リサイクルごとに金型を加熱、冷却するので熱効率が悪い。樹脂材料としては、主に熱硬化性プラスチックが使われ、食器、厨房器具、自動車大形部品などが作られている。

9.4 射出成形

射出成形は熱可塑性プラスチックの代表的な加工法であるが、熱硬化性プラスチックにも適用できる。この成形法は材料(ペレットと呼ばれるチップ状)投入から製品取り出しまで連続的に生産ができ、その所要時間も短いので生産性が高く、複雑な形状の成形品が容易に成形できるなどの利点がある。実用例としては、テレビなど家庭家電製品のフレーム、自動車部品、機械部品、事務用品、日用雑貨品など広範囲にわたり利用されている。近年、射出成形機の発展はめざましくコンピュータが導入され、取出しロボット、材料供給装置、成形品搬出装置などと組み合わせて全自動で製品を生産できる。

図 9.2 に射出成形機の概略図と工程を示す。成形工程は、材料の供給、型締め、射出、保圧、冷却、型開き、成形品の取出しである。ホッパに投入された材料はスクリー

によりシリンダ前方に送られる。シリンダにはヒータが設置され、ここで樹脂は流動化するまで加熱される。次に高圧でスクリーを急速前進させ金型のキャビティ内に射出し、保圧の後に冷却を待つて成形品を取り出す。

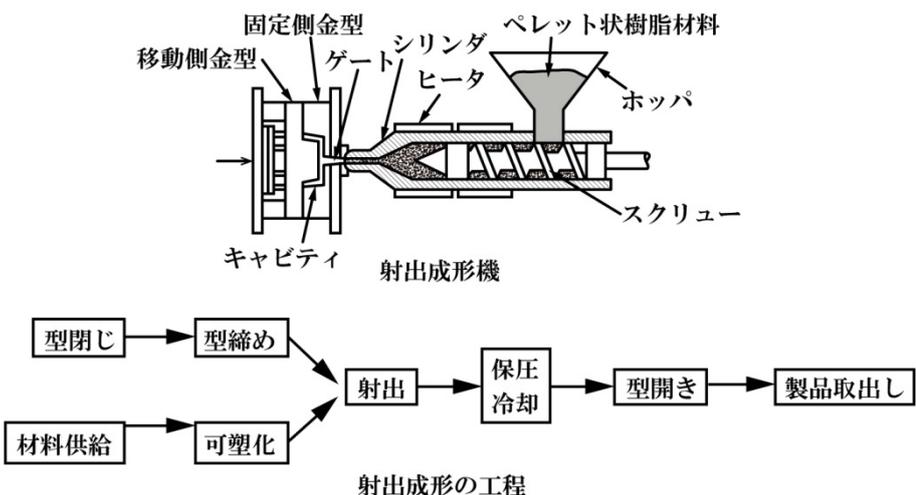


図 9.2 射出成形機とその工程

9.5 ブロー成形

ブロー成形は、中空成形とも呼ばれパリソンという予備成形品を金型に入れると同時に内部に空気を吹き込む成形方法である(図 9.3)。飲料用のペットボトルを始め各種容器やガソリタンクなどの中空成形品の成形に用いられている。

この成形法の長所は、複雑形状の中空品を成形できる、金型が安価にできる、ラベルを事前に挿入すれば同時に加飾ができる。

一方短所としては、金型との接触が片面であり、肉厚分布が生じやすい。

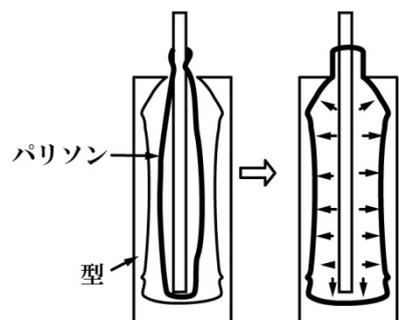


図 9.3 ブロー成形法

10 章 積層造形法

10.1 概要

積層造形法とは、三次元 CAD データを水平方向に薄くスライスした二次元データに変換し、1 層ごとのスライスデータを積重ね・接合・一体化して立体モデルを作る方法である。現在、低価格の 3D プリンタが市販され簡単に立体物がつくれるようになりものづくりの方法が大きく変わろうとしている。

10.2.1 光造形法

光造形法の原理を図 10.1 に示す。三次元 CAD データをスライスデータ処理し、1 層ごとのスライスデータを用いてレーザー光などによる光造形装置を用いて造形する。

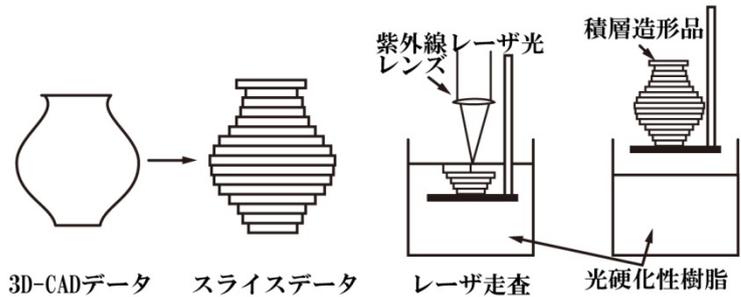


図 10.1 光造形法の原理

まず、液状の光硬化性樹脂の入った容器の中に上下に移動できる

可動テーブルを第 1 層分の厚さまでテーブルを樹脂に沈める。次にスライスデータに基づいて、レーザー光を走査すると、テーブルの上には第 1 層目の樹脂が固化する。次の層を造形するため 1 層の厚さ分だけテーブルを下げ、液面下に固化物を沈め、第 2 層目をレーザー光で走査すると第 1 層と第 2 層が結合した硬化層が形成されていく。

この工程を繰り返し、最終の層まで樹脂を硬化させて立体模型の造形が完了する。

10.2.2 粉末焼結法

粉末焼結法は、光造形法と同様に二次元データを基に粉末素材にレーザー光を照射して、1 層ごとに焼結させて層を積み上げるにより立体物を造形する方法である(図 10.2)。焼結された造形物の周りには未焼結粉末が充てんされた状態になっている。粉末材料には、金属粉末のほかにナイロン粉末などが使用できる。

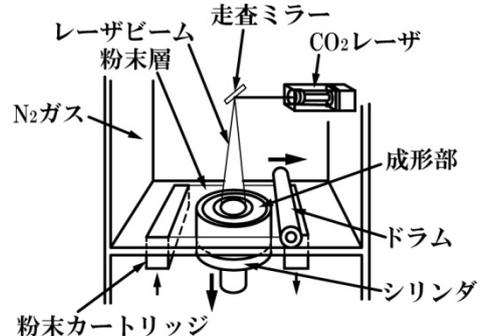


図 10.2 粉末焼結法

10.2.3 インクジェット法

インクジェット法とはノズルから液滴を滴下させ、堆積固化させて立体物を形成する方法である(図 10.3)。インクジェットタイプのヘッドを平面内で走査し、ノズルから固化材

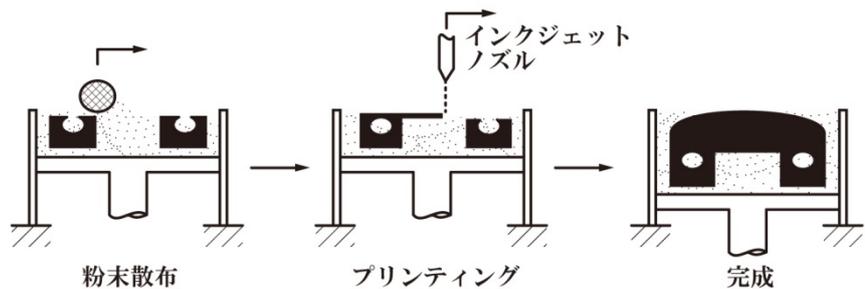


図 10.3 インクジェット法

料粉末に接着剤を噴出して薄い層を形成し、積層して造形する方法である。固化させる対象には、石こう、樹脂粉、金属粉、セラミックス粉などがある。

10. 2. 4 熔融樹脂押出法

熔融樹脂押出法とは、細いノズルの先端から溶けたワックスや樹脂を押出し、この細線状樹脂を固化させながら面状に走査させて積層造形する方法である(図 10. 4)。

押出物には、ワックスのほか、ABS 樹脂などを使用できるため、造形品は弾力性に富み、そのまま実用品に用いることが可能である。ワックスで作製されたモデルは、ロストワックスモデルとして利用でき、指輪などの製作に多用されている。

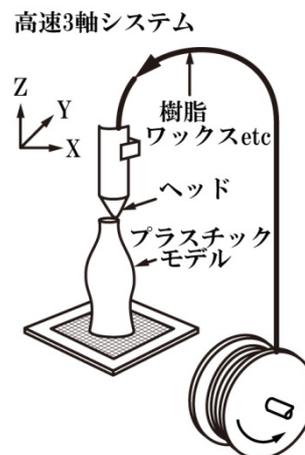


図 10. 4 熔融樹脂押出法

10. 2. 5 シート積層法

シート積層法は、他の積層造形法のように薄層を作りながら積層するのではなく、紙や樹脂などのシート材料を光造形法と同様にスライスデータで切断しそれを積層する方法である(図 10. 5)。

接着剤が塗布されたロールシート材を CO₂ レーザで切断する。切断する前に熱ローラで加熱接着し、表面の一層のみをレーザ切断する重ね切りを行う。

シート積層法では、中空部が存在する造形品では、内部不要部を取出すことが不可能なため、造形途中で機械を停止して中空部を取出すか、分割して製作して、後で接着することが必要となる。

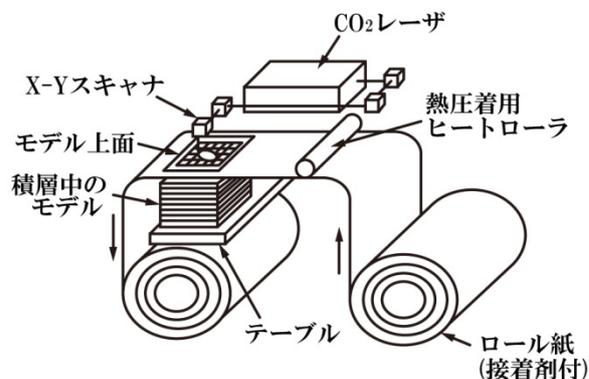


図 10. 5 シート積層法

参 考 文 献

- 小坂田宏造 基礎生産加工学 朝倉書店 2012
- 平井三友 機械工作法(増補) コロナ社 2007
- 横田 理 基礎からの材料加工法 日新出版 2010
- 古閑伸裕 生産加工入門 コロナ社 2009
- 浅田千秋 機械工作要論 理工学社 2013
- 生田稔郎 新編機械工作学 産業図書 2012
- 日本機械学会編 機械工学便覧 加工学・加工機器 2006
- 中川威雄 積層造型システム 工業調査会 1996

プロダクト関連講座<基礎>「製造技術概論」

科目名	製造技術概論	授業時間	15コマ
分野	プロダクト関連講座<基礎>		
受講者	これまで高等教育機関でプロダクト関連の教育を受けたことのない社会人や学生		
カリキュラム開発における科目の位置づけ 各種製品製造関連企業において「デザイン視点によるプロダクトマネジメント」を遂行するために必要な技能や知識のうち、各種材料の特性や加工技術について学習する。			
授業のねらいと進め方 各種製品の開発・製造を実施するためには多くの加工法のなかで、材料特性も考慮した最適な加工法を選択する必要がある。ここでは製品つくるための加工技術全般について解説するが、特に鋳造加工、塑性加工、溶接、切削加工、研削加工、精密加工、プラスチック成形加工、積層模型について取り上げる。			

授業内容

	単元テーマ	概要	到達目標と評価法
1	ガイダンス	講座の進め方	製造技術として必要な知識について理解する。
2	機械工作	加工工程一般	機械工作における一般的な加工工程について理解する。
3	鋳造加工Ⅰ	鋳造加工一般	鋳造加工の特徴について理解する。また鋳造品の実例をあげられる。模型、鋳型、溶解炉、鋳造欠陥について説明できる。
4	鋳造加工Ⅱ	各種鋳造法について	消失模型鋳造法、インベストメント法、シェルモールド法、ダイカスト法、遠心鋳造法、連続鋳造法について説明できる。
5	塑性加工Ⅰ	塑性加工法について	塑性加工法について理解する。また、熱間加工と冷間加工について説明できる。
6	塑性加工Ⅱ	鍛造、圧延、プレス加工について	鍛造品、圧延品、プレス加工された製品の例をあげ、それぞれの加工法について説明できる。
7	溶接Ⅰ	接合法について	接合法の種類について理解する。皮膜アーク溶接、イナータガスアーク溶接、サブマージ溶接について説明できる。
8	溶接Ⅱ	溶接部の性質について	溶接部の組織について説明できる。スポット溶接による製品例をあげることができる。摩擦圧接について説明できる。
9	切削加工Ⅰ	切り屑形態と構成刃先	切り屑形態、構成刃先、切削速度について説明できる。
10	切削加工Ⅱ	工作機械	旋盤、フライス盤、ボール盤、マシニングセンターについて説明できる。
11	研削加工	研削加工と砥石の自生作用	砥石の自生作用について理解する。研削砥石の構造について説明できる。
12	精密加工と特殊加工	特殊加工の種類	ホーニング、ラッピング、放電加工、超音波加工について説明できる。
13	焼結成形加工	粉末冶金について	粉末製品製品をあげられる。粉末の焼結過程を理解する。
14	プラスチック成形加工	プラスチック成形法について	ペットボトルの製造法を説明できる。プラスチック材料、射出成型法、圧縮成形法について理解する。
15	積層造形法	三次元造形技術の種類と特徴	光造形法、インクジェット法、粉末積層法について理解する。

デザイン基礎演習

導入編

デザイン基礎演習 導入編 <デザインとは>

デザインとは？ —デザインの基本的要素を理解する—

【歴史的概観】

- そもそもデザインとは何なのか？
美術・工芸からの分離／歴史様式の呪縛／表面装飾としてのデザイン
- 産業革命と機械による大量生産
注文一品生産から機械生産への移行／芸術家と職人／大量消費社会と競争
- 機械生産上のデザイン
機械生産に適する形の創出／装飾・歴史様式からの脱却／ジオメトリックの流行と「モダン」という意識の芽生え
- 目的や機能に合致する形態／新しい素材／装飾性の排除と新しい機能美
- 消費者のニーズ／宣伝広告と消費／流行とマーケティング

【モダンデザインの意義】

- 機能主義的なデザイン／グッドデザイン運動
- よいデザインの定義

Q1 よいデザインの定義とはどういうことでしょうか？

- バウハウスなどの教育機関や市民教育

【現代のデザインの持つ意味】

- ① 色彩や形態などの外観を決定する要素のこと
 - ② 計画や企画、設計など一連のものやコトができあがるまでのプロセスのこと
 - ③ 情報や要素を集め、ある方法論やシステムにそって再構築すること、そのための組み立てや構造
- もののデザイン (①) とコトのデザイン (②)、あるいはそれらの複合 (③)

- ものを中心としたカタチをつくるデザイン→**Style Design**
- 人・もの・環境あるいはコトなどの周辺まで考えて関係性を考えるデザイン
→**System Design**

【日本における展開】

- 1945 年終戦～52 年占領時代の終わり／家電製品と対米向け輸出／アメリカのライフスタイルへの強い憧れ
- 3 種の神器と家電製品生産の黄金時代へ／ものを揃える幸せ

Q2 当時3種の神器と呼ばれた家電をあげてください

- 1960 年代…「色彩の時代」東京オリンピック／ファッション業界や印刷業界のカラフル化／カメラ（レンズ）の進歩や印刷インクの改良
- 1970 年代…「光の時代」大阪万博／カラーテレビの普及／印刷の色彩から光のカラーへの変化
- 1980 年代…「映像の時代」筑波科学博／科学とテクノロジーの進歩と人間の暮らし／家庭へのビデオの普及（素人による映像の撮影・編集）／テレビゲームの流行／PC の登場
- 1990 年代…バブル崩壊による不況／テクノロジーは停滞せず進歩を続ける／ワープロの一般化／デジタルという概念／PC の可能性と「マルチメディアの時代」／BSTV・CATV の普及
- 2000 年代…「インターネットの時代」不動産から情報への価値の転換／ものからコトへの拡大／「個人の時代」とアメニティの追求
- 2010 年代…「モバイルの時代」スマートフォンやタブレット PC に代表されるように個人で小さい PC を持ち歩き、24 時間情報と連絡をとる時代／軽薄短小／物質レスへ／東日本震災による絆や家庭への回帰

Q3 2010 年代後半はどういった時代になっていると思いますか？

【デザインにおける変化】

- 1980年代以降のPCの導入における変化…不器用な人でもデザイナーになれる→アイデアとセンスがよければ美術造形以外の分野出身の人たちがデザイナーに育ってくる／デザイナーとアートディレクター／DTPの普及と職業構造の変化／イッセイミヤケの挑戦／3Dプリンターの登場
- デザインという言葉と概念の拡大／社会現象としてのデザイン
- 消費者の差異化とニーズの多様性／デザインは使うためのものから持っている人の経済状態やライフスタイルを現す「記号」となる
- 中国・東南アジアでのものづくりの影響
- テクノロジーの進歩の速さと素材の展開
- キーワードとしての「UD」「インタラクション」「サスティナブル」「エコ」

Q4 それぞれの言葉の意味を説明してください

UD…

インタラクション…

サスティナブル…

エコ…

【では製造業はどうするか？】

- モノの価値からコトや周辺や環境までも含んだ価値への転換が必要
- 視点のシフトをモノからノウハウやソフトに変えて考えてみる
- 技術によってデザインの作り方は全く変わってくる→今持てる技術の他への積極的な働きかけにより新しい分野のデザインを開拓し参入する
- デザインは進化するほど実態が見えづらくなる→人間は見えるもの触れるモノに耳目を奪われ本質が見えなくなる→ではどうするか？「働き」をデザインする／新しい働きを発明すること＝創造
- ライフスタイルまで変えるようなデザインによる価値の創造に取り組む／機能や性能による価値の創造の時代ではなくなった
- 誰かのためのデザイン→「誰か」に自分を置き換えて考える

【これからのデザインは？】

- 欲求はよりニッチに／デバイスはより高度に複雑に精緻に／ソリューション（問題の解決策）機能の拡充
- デザインの評価基準→豊かさの評価基準の変化→日本社会の成熟さ
- モノを創って売るだけではダメで、どうやったら人と産業と社会を豊かにできるのかをデザインで解決していく→そのためにモノもコトもすべてを関係させて考える
- コモディ化が進むと単なる価格競争になるので「デザインによる価値の創造」を目指す

Q5 コモディ化とは何でしょうか？

● デザインによる価値の創造の背景：

- ① QCD 戦争
- ② モダンデザインの平均化標準化
- ③ ニーズの極小化
- ④ 単独のプロダクトでは顧客満足は望めない
- ⑤ ものづくりだけでは需要を創作できない→ではものづくりに何を加えたらいいのか？

● 具体的なデザインの4つの方向：

- ① より高度に、より精緻に進歩し極まっていくデザイン
- ② 解決策を違う視点から提案するデザイン
- ③ 技術と結びついて新たな次元の世界を具現化するデザイン
- ④ 地域社会・コミュニティとの絆やありかたを再考するデザイン

Q6 あなたが考えるこれからのデザインとは？

リーフレット、パンフレットデザインの基礎

—文字組デザインのレイアウト方法を理解する—

● グラフィックデザインとは何か？

印刷物になる平面系のデザインの総称／紙媒体・印刷メディアとも表現されます／印刷対象は紙だけではありません／以下おおまかな種類です

- ① ポスター、チラシ、フライヤー、DMなどの平もの
- ② 書籍、雑誌、カタログなどの冊子綴じもの
- ③ パンフレット、POP-PUカードのような折りもの
- ④ 紙袋や封筒などの袋物
- ⑤ パッケージなどの箱もの
- ⑥ 看板や標識などのサイン計画

● 印刷の種類：

- ① 実用的な大量印刷（オフセット印刷／活版印刷／グラビア印刷）
- ② 美術作品印刷（リトグラフ／シルクスクリーン印刷／銅版画／エッチング）
- ③ 趣味的な印刷（ステンシル／判子／木版画）

● グラフィックデザイン全体に求められる機能や目的：

事実の伝達／雰囲気や感覚のコミュニケーション／見えやすさ・視認性／読みやすさ／分かりやすさ etc.

Q1 グラフィックデザインをする上で何が一番重要だと思いますか？

● リーフレットやパンフレットのデザインの特徴：

手元にとって「読む」デザイン／ページもの場合はめくって読むので、各ページ間の統一感が必要／誌面の大きさは限定されるので、その中に以如に情報を読み易く大量に詰め込むか／レイアウトされる「要素」の多さと選択／その印刷物の目的・ターゲット層と個性の創出／単発発行か定期刊行物か

● **レイアウトデザイン：**

雑誌の誌面のように、決められた範囲内で平面的に割り付けをしていくデザインはレイアウトと呼ばれます

Q2 レイアウトされる「要素」とは何でしょうか？

● **レイアウトにおける画期的なデザイン手法「グリッドシステム」：**

スイスのモダンタイポグラフィーの特徴／ヨゼフ・ミューラー＝ブロックマンの実践（プリントを参照しながらの解説）

● **演習1：実際の雑誌のコピーからグリッドの大きさや文字のおさめ方を探ってみましょう（『Tarzan』608号より）**

● **グリッドシステムをレイアウトに導入する目的・意義：**

- ① 反復機能（ページもの場合の統一感／読者の期待／デザイン上の便宜）
- ② 構図（グリットのフォーマットを構築しておくことで乱れが出ない）
- ③ 伝達（余白を持たせることで、メッセージの伝達において読者の関心をひき、読み易さを助長する）

● **グリッドシステムに必要な構成要素：**

用紙の種類と大きさ／書体（フォント）の種類や名称／書体の大きさ／書体の組み方／行間と段間／文字の加工とウェイト／段組みの設定／余白／ノンブル（ページのナンバー）／本文原稿／見出し原稿／写真／図や表、イラストなど etc.

Q3 あなたが今現在一番気に入っている、あるいは興味を持っている雑誌は何ですか？その誌面デザインはどうですか？

● **演習2:裏面の説明をよく理解して、各自で見開きの簡単なパンフレットのレイアウトデザインをしてみましょう**

読み物ページのレイアウトデザインの基本

- 配布されたグリッドシステムのフォーマット（基本の格子）に沿って各自でレイアウトを試みてください。

【配布物】

- ・ A3 フォーマット用紙（赤と緑の2パターンのグリッドが書いてあります）
- ・ A3 レイアウト用紙（淡い水色の点が1センチ間隔に印刷してある薄い用紙）
- ・ レイアウト原稿（本文や見出しや使用する写真が1枚の紙にコピーしてありますので、必要なところをはさみで切り取って使ってください）
- ・ 仮貼り用の両面テープ、あるいはマスキングテープ

【方法】

- ① フォーマット用紙の2パターンのグリッドからどちらか1つを選択します。
- ② フォーマット用紙の上にレイアウト用紙をのせ、マスキングテープで仮止めをしてから「誌面サイズ」と「レイアウト面」「印刷トンボ」を定規をあててきれいな直線で写し取ります。グリッド線は写しません。
- ③ 配布されたレイアウト原稿から、レイアウトしたい内容の記事や写真や図などを選び、きれいに周囲をはさみで切り抜きます。
- ④ グリッド線を基にして、写真や図と本文をレイアウトし、テープで仮止めしてみましょう。
- ⑤ レイアウトが気に入らなければ、何回でも貼り直して納得のいくまで構図を工夫してください。

【注意点】

- ・ グリッド上の1区画の範囲に必ず収まるようにする。基本的に写真も文字原稿もはみ出してはいけない。
- ・ 大きな写真や図などで2区画分使うときは文字スペースとのバランスを考える。
- ・ 文字だけで全部のページを埋めない。必ず余白を設けて読み易くする。

付録:自分でグリッドシステムのフォーマットをつくるには

今回は時間がないので、こちらであらかじめフォーマットを作ってきましたが、本来は皆様ご自分でつくる作業です。以下、手順を示しますので、余裕のある方はチャレンジしてみてください。

- ① 誌面サイズを決める
- ② レイアウト面の枠を決める (天地アキとノド・小口あきの寸法を決定する)
- ③ 本文の読み文字の大きさと、全体をタテ組みかヨコ組みにするかを決める
- ④ おおまかな段組みを考える (4X5 とか 3X4 とか)
- ⑤ ④で仮に決めた段組みに③の本文文字を流し込み、1行に何文字収まるか、1段に何行収まるかを計る
- ⑥ うまく収まらない場合は、天地アキや小口アキを調整してレイアウト面自体を多少動かす
- ⑦ 段間は基本的に2文字分くらいをとる
- ⑧ ページノンブルの位置を決める
- ⑨ 最後に、出来上がったフォーマットにきれいにスミを入れて完成させる

以上が基本的なフォーマットの作成手順ですが、現在ではほとんどのページレイアウト系のソフトにはこの機能が組み込まれているので、よほどのことが無い限りはご自分で基本フォーマットを起こす事はないでしょう。

ただし、この方法で作ると、最初に作りたいページや雑誌の形をイメージしなくてはレイアウト面が浮んできません。アプリの中でただ流し込み作業をするのと違って自分のこだわりが前面に出てきますので、個性的で画期的なレイアウトになるかもしれません。

基本的に、ヨーロッパではアルファベットの横組ですから単語ごとの読み易さの追求が不可欠でしたので、早くから誌面レイアウトという意識が育っていました。日本では漢字+仮名+カタカナという複雑でアンバランスな形の縦組だったのでグリットという発想が遅れていました。今では漢字は正方形の枠(仮想ボディという)に収まるようにデザインされているので縦でも横でも組み易くなっています。

● 山折りと谷折りの基本と展開

演習 → プリント裏面を参照しながら基本の折り方に挑戦してみましょう！

材料および用具：ケント紙／カッター／定規／鉛筆

● 「折り」のプロダクトデザインへの応用と可能性

例：ランプシェード／パッケージ／エコバック／医療器具／間仕切り etc.

Q5 「折り加工」のどういうところが応用できるのか考えてみましょう

例1：紙であることの強み→価格／強度／軽さ／可燃（ゴミの分別がしやすい）
／コーティングによる耐水性耐油性／電気を通す紙／固まる紙 etc.

例2：構造の強み→縮む広げるが誰にでも容易である／弾力が出る／自力で曲りを維持できる／特殊な技法や道具がいらす素手で作業できる etc.

Q6 あなたは今回体験した「折り」をどのような製品に応用してみたいですか？

（簡単なスケッチも描いてください）

● まとめ：

単純な作業の繰り返しでしたが、一度コツを覚えると応用がしやすい構造です。複雑化することで立体としての強度が増し外見も魅力的になりますが、シンプルな構造そのものも、質感やスケール感を変えることで違った面白さが出てきます。単純で基礎的ゆえに可能性が大きい立体構成で、いろいろなプロダクトデザインへの応用が期待されます。

山折りと谷折りの基本と展開

- 配布されたプリントの中からいくつか選んで、基本的な折り方にチャレンジしてみましょう！

[基本レベル] 134/135/139/142

[一見複雑だが応用の間く基本レベル+ α] 136/140/144

[余裕があれば是非チャレンジしてほしいレベル] 137/141/143/147

[難易度が高いレベル] 138/145/146

- ① まずケント紙に、折る為の**下書き線**を鉛筆で作図します。
→ **2センチ位の幅**の平行線を、定規あてて薄く鉛筆でひきます。
→ 次に斜めの線をひきますが、この時；
 斜線の角度が鋭角→折り方はあまり角度の変化がでない
 斜線の角度が鈍角→角度が急に变化する折り方になる
 ので注意しましょう。見本に出ているくらいの角度で作図してみてください。
- ② プリントでは実線は山折りをあらわし、点線は谷折りを表現していますが、今日は**全部実線**で構いません。
- ③ 作図が済んだら、カッターの**背刃**で軽く折り線に**傷をつけて**折りやすくします。
- ④ 作図線の全部に傷をつけたら、手をきれいに洗って、さあ！折ってみましょう。まず、**ハリセン**のように平行線の山と谷を折り、それから**斜線を折り込み**みます。
- ⑤ だいたい折れたら、角や稜線をもう一度きれいに**プレス**して（プロは湯のみ茶碗を伏せてプレスします）クリップや輪ゴムで**押さえて**おきましょう。

- 今日の作業の目標：

基本的な折り方の構造が、山&谷折りと斜めに入る折り方でできる、ということを理解します。ここで体験することは、とりあえず基本を知ることとであり、各自の創造性よりも基礎知識+技術の体得です。

● この作業の発展や応用：

- ・ これらの折り方は基本の幅を同じにしておけば、複合させることができます。細かくすればより複雑で美しいかたちに仕上がります。
- ・ 大きい用紙で折り、丸めたり、反らしたりして内部空間のある形にまとめてみましょう。内部空間が創出されることでプロダクトデザインとしてのヒントが生まれてきます。
- ・ 素材を紙以外のものに変えてみましょう。例えば、ユポ紙やトレーシングペーパー、ポリプロピレンやボール紙、あるいは布など。
- ・ プリントした紙やデータを出力した紙など、折り方によって図柄の見えがかわるものにチャレンジをすると面白いコミュニケーションになります。
- ・ 幅や、斜線の角度など、作図上でグラデーションやプログレッションや数列的な変化を応用すると、ダイナミックな造形になります。
- ・ 少し難しいのですが、作図の直線をゆるいカーブの線にかえてみると大変魅力的な折りの形ができあがります。

Q 他にもどのような応用ができるか考えてみましょう！

● 構造や形態からデザインを発想すること：

普通のデザインでは、求められる機能や目的に解決策を与えていく段階でデザインの形が見えてきますが、今回の課題のように、形態をつくり出しながら目的を考えると逆の発想でもデザインは可能です。ただし、単なるきれいな形、珍しい形というだけでは製品にはなりません。

Q それでは、こうした基本的な技法に何をプラスしたら製品として世にだせるのでしょうか？

人間工学演習

導入編

人間工学概論

Copyright © JCRI. All rights reserved.

1

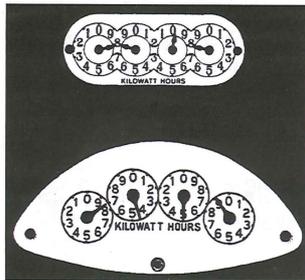
part 1 人間工学とは？ 2つの側面と対象領域

Copyright © JCRI. All rights reserved.

2

このメーター、いくつを示しているでしょう？

1930年初頭の航空機の計器盤



アナログ計器：
歯車に針がついている。
歯車の噛み合わせの都合で、一つずつ逆転

Reference: [kW/h meter] Chapuis, A. Man-machine engineering, 1965

Copyright © JCRI. All rights reserved.

3

人間中心デザインの歴史 (1)

- 第二次世界大戦時、戦闘機がロッキー山脈に激突する事故、エンジンオーバーヒートで爆発
 - ◎ 航空機専門家：設計・製造ミス？
 - ◎ 航空機の整備ミス？
- 学際的調査チームで調査開始
 - ◎ 山脈激突を免れたパイロット(624名)に取材・調査
 - 「空中飛行時、山越可能な高度を高度計で確認→目前に山肌が」
 - 「エンジン回転数を確認→エンジンを浮かしたら発火」

Copyright © JCRI. All rights reserved.

4

人間中心デザインの歴史 (1)

計器の見誤りで事故が多発



Reference: [kW/h meter] Chapuis, A. Man-machine engineering, 1965

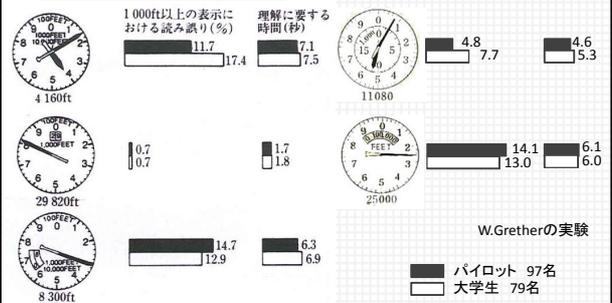
- ↓
- ・操縦士が“間違えないように注意”するか
- ・“見やすい計器”に変更するか
- ↓
- 見やすい計器を作るべきである！

アメリカを中心とする人間工学 (Human Factors)

Copyright © JCRI. All rights reserved.

5

人間中心デザインの歴史 (1)



Instrument reading - The design of long-scale indicator for speed and accuracy quantitative readings, J. Applied Psychology Vol33, 1949)
(エルゴノミクス: 朝倉書店より)

W. Gretherの実験
■ パイロット 97名
□ 大学生 79名

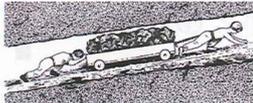
Copyright © JCRI. All rights reserved.

6

人間中心デザインの歴史 (2)

- 炭鉱労働者・工場労働者の疲労・労働条件改善
 - ① 人間の作業に関する法則を見つける学問領域
 - ② 労働・安全衛生、産業医学がベース
 - ③ 人間の身体的(形態)、生理的特性に合わせた環境設計、作業方法、製品設計等

Ergo = 仕事
 Nomos = 法則
 -ics = 学問



1840年代ごろのイギリスの炭鉱労働

- ヨーロッパ中心の人間工学
- Ergonomics(ギリシャ語):アーゴノミクス(人間工学)

Copyright © JCR. All rights reserved.

7

part 2 | 製品設計と人間工学 使いやすさとは？

8

カール事務機



LP-35-R /133238/ レッド
 フルフラットゲージつき
 ハンドルロックつき
 プッシュ式紙あて
 穴あけ枚数35枚
 ごみ捨て後ろ開き方式
 W134×L125×H117(ロック時H54)mm/480g



CPN-18
 サイドゲージつき
 ハンドルロックつき
 穴あけ枚数18枚
 W122×L92×H83(ロック時H51)mm/325g

9

ココヨ



PN-92NB

専ら厚紙対応
 (PPC用紙)
 約23円



PN-93NDM

専ら厚紙対応
 (PPC用紙)
 約45円



●穴位置が見えるので狙った場所に穴あけできます。(PN-82N-83Nのみ)
 ●A4両辺までのセンター合わせが簡単にできるゲージ付きです。
 ●使用しない時にはゲージが折りたためるので用紙の挿入のしやすくなります。

10

穴あけパンチ 製品としての目的 ……穴をあける

それが満たされれば、使いやすい穴あけパンチになる？

- 誰が使う？ → 年齢・性別 身体的特徴
- どう使う？ → 片手持持操作 机上に置き操作
- どこにしまう？ → 机の上・引出
- 利用の際の一連動作は？ → 運搬 カスの処理 廃棄

- <情報収集や確認・検証>
 - ・操作力は適切か → 手の操作力のデータ収集
 - ・片手持持が可能な寸法か → 手長等のデータ収集
 - ・表示は見やすいか
 - ・安全性は確保されているか
 - ・子どもの指が入らないか → 子どもの指幅のデータ収集
 - ・ハンドルロック可能か？
 - ・紙カス処理は容易か？
 - ・持ち運びしやすいか？等々

利用状況を想定し、使いやすさを規定していく！
 そして、ユーザーの意図する目標を達成できているか確認。

11

人間工学(Ergonomics/Human Factors)

「仕事を人の特性に合わせる」 ・人間中心設計

“Fitting the task to the Human”
 -E. Grandjean:“Fitting the task to the man”,1985-



茶碗 試験管 洗面器
 動作が同じでも、環境が異なればエラーになる

Copyright © JCR. All rights reserved.

12

使いやすさはどのように測定？

「ある製品が、特定の利用者によって、特定の利用状況の下で、特定の目標を達成するために用いられる際の、有用さ・効率・満足度の度合い」

ISO9241-11
人間工学-VDTを用いるオフィス作業 part11,使用性の手引き

有用さ(effectiveness) : 目標達成する際の正確さと完全さ
 効率(eficiency) : 目標達成に費やした資源(時間・労力など)
 満足度(Satisfaction) : 製品利用に対する肯定的な態度

利用状況の理解と利用品質

ISO9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals

実際の利用状況下で、ユーザーが製品に対してどの程度の“有用さ・効率・満足”を持つのか？
 その度合い = 利用品質

- **利用状況を理解する！**
 ...ユーザー、装置(ハードウェア・ソフトウェア)、製品が使用される物理的・社会的環境など
 ...ユーザーの目標、ユーザー特性、タスク特性、環境特性など
- **使いやすさは「製品固有の属性ではない」!**
 ...ある特定の利用状況における使いやすさを規定
 ...経験、文化・組織、身体能力、年齢、性別、...
- **検証と妥当性を確認!**
 ...設計の意図通りに製品が作られているか、設計原則等との整合
 ...想定するユーザーが意図する目標を達成しうるかの確認

part 3 人間工学設計・計画の概略

人間工学設計・評価計画の概略 例えば、500mlペットボトル

設計対象	身体的側面		認知的側面	
	検証 (既存原則との照合・検証)	妥当性確認 (モニター評価)	検証 (既存原則との照合・検証)	妥当性確認 (モニター評価)
キャップ 飲み口 本体形状 (内容物特性) ラベル	握り部の形状 キャップ操作力 (トルク) ラベル剥がし ・方向通則 ・キャップのトルク ・ラベル剥がしのためのツマミ面積	実タスクによるモニター観察 -パフォーマンス測定(時間など) -筋電図測定等	<表示部の視認性評価> -ラベル(内容・注意事項) -ラベル(剥離部) ・文字サイズ ・背景色と文字色 <ラベルデザイン評価>	実環境下における視認性評価 -官能評価 実タスクによるモニター観察 -パフォーマンス測定 ラベルデザイン評価 -官能評価
利用品質評価による、設計の妥当性確認 -顧客ニーズ把握-				

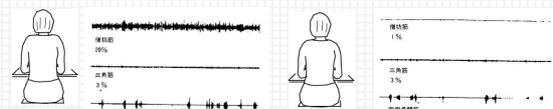
part 3-1 人間の特性を知る 身体的側面

人間の様々な特性を測定する

作業台の高さ

立位作業・椅座位作業ともに
作業台の高さは肘高を目安に

必要データ: 肘頭高(人体計測) ... 床から肘頭までの高さを測定
 検証実験 : 筋電図 ... 筋肉の使われ方を測定



高い作業台での作業: 肩が拳上

肘高の作業台での作業

チェックリストやチェックポイントの活用

例えば、「ワークステーションの改善チェックポイント」

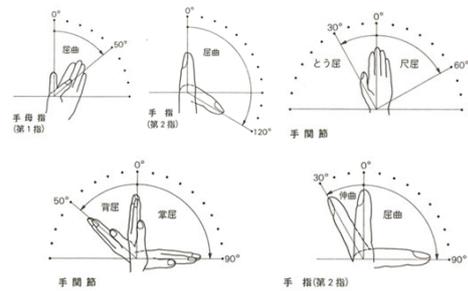
原典: ILO: Ergonomic Checkpoints
 小木訳: 「人間工学チェックポイント」

- 2-1. 肘高を目安にした作業面の高さに調整する。
- 2-2. 材料や道具をすぐ手の届く範囲内に置く。
- 2-3. 作業対象の保持を容易にする固定具を有効に利用する。
- 2-4. 高さの調節ができる椅子を使い、十分な足回り空間を確保する。
- 2-5. 作業位置からすぐ読みとれる場所に、簡潔で要領のえた作業指示書を置く。

19

関節を中心にした手の動き

人間の特性を知る



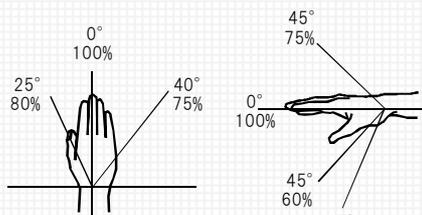
「建築設計資料集3 単位空間1:丸善より」

Copyright © JCRI. All rights reserved.

20

手首の変位と握力

人間の特性を知る



Sunyab-IE(1982/83)

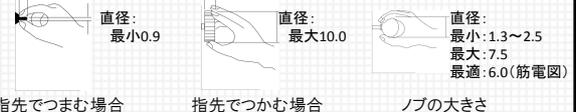
Copyright © JCRI. All rights reserved.

21

ツマミの大きさと手すりの径

人間の特性を知る

長さ: 最小1.3~最大2.5 厚さ: 最小1.3~最大2.5



「建築設計資料集3 単位空間1:丸善より」

手すり

- 1) 身体を預けるような握り方をする場合
 握りやすい径の直径a: 第3手長に対する比が0.2~0.23(36~38mm)
- 2) 持つように握る場合
 握りやすい径の直径a: 第3手長に対する比が0.19~0.2

エルゴノクス朝倉書店より

Copyright © JCRI. All rights reserved.

22

把手の太さと握りやすさ

人間の特性を知る

荷重	手身長	把手の太さ (mm)				
		28	29	30	31	32
1 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■
2 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■
3 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■
4 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■
5 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■
7.5 kg	16.0-16.59	■	■	■	■	■
	16.6-17.19	■	■	■	■	■
	17.2-17.79	■	■	■	■	■
	17.8-18.39	■	■	■	■	■
	18.4-19.00	■	■	■	■	■

(エルゴノクス朝倉書店p.180図6.36を改変)

23

28~32mmの把手太さ

29mm前後が良好

・官能評価
 重たくなるにしたがって、握りやすい太さが大きくなる傾向を示す。

・筋電図
 荷重の少ない場合は把手の太さの違いによる筋活動度の差は少し
 ・荷重が大きくなるに従い、細い把手の場合は筋活動度が大きい

32mm前後が良好

大きなモノを握る

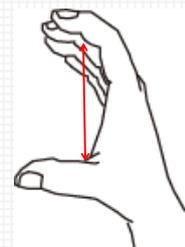
人間の特性を知る

大きくて、重量があるモノ
 ・特に片手で操作する必要がある場合

第2指中節と第1指基底部までの長さ
 以下にするべき!

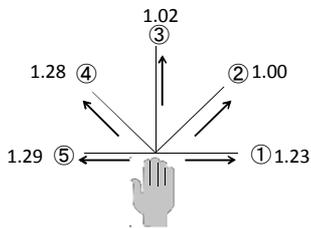
日本人の手の大きさのデータから
 (第2指長 × 1/2 + 手身長 × 1/2) を求める

例えば、
 第2指名: 7.03cm、手身長: 10.09cmの場合
 8.56cmとなる!



24

手の動く早さ



40cm程度の距離に手を伸ばさず場合の実験結果
②が最も早い
(数値は②を1.0としたときの、割合を示す)(横溝)

25

操作の方向性

操作の方向と、
それによって制御される対象物の運動の方向について標準化
製品の安全性や使用性を向上

対象物の運動方向 状態の変化の表示

操作機器の操作方向と
対象物や表示の運動方向との適切な関係を決定するための法則

Copyright © JCRI. All rights reserved.

26

On・Offスイッチ・レバーの方向

1)直線操作系の方向

垂直パネルのスイッチ・レバー
→On・増加は上方向、OFF・減少は下方向
水平パネルのスイッチ・レバー
→On・増加は前方向、OFF・減少は後ろ方向

2)回転操作系の方向

On・増加は時計回りの方向、OFF・減少は反時計回りの方向

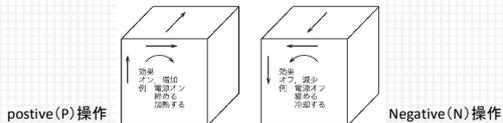
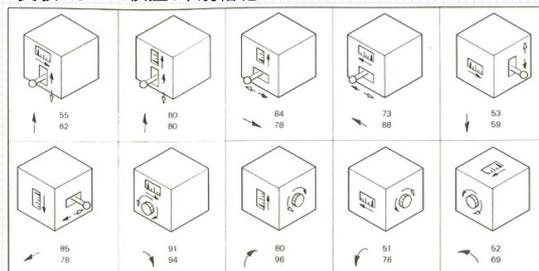


図 J4.5-1 操作機器の動きと表示の動きとの間のステレオタイプ
JISZ8907-2012 空間的方向性及び運動方向-人間工学的要求事項
ISO1503-2008 Spatial orientation and direction of movement - Ergonomic requirement

27

On・Offスイッチ・レバーの方向

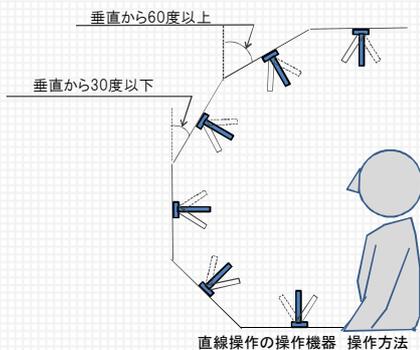
実験によって検証し、規格化



指針方向に対する操作方向選択のステレオタイプ
(2つの実験データを記載、上段:高橋ら、下段:石橋の測定(単位:%))
「建築設計資料集成3 単位空間1:丸巻より」

28

Check ! Onの方向はどっち?



JISZ8907-2012 空間的方向性及び運動方向-人間工学的要求事項より引用
ISO1503-2008 Spatial orientation and direction of movement - Ergonomic requirement

29

ポピュレーションステレオタイプ ...類形行動

操作の方向及びその操作によって起こる動きの方向について人間が抱く自然な感覚を示す言葉

その1. 加法的な量を並べる場合???

(1)水平方向	10	20	30
(2)垂直方向	.	(3)回転方向	10	
	.			20
	30			30
	20			
	10			40
				50

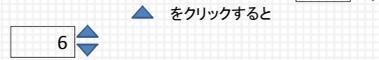
30

その2. 順次的な量を並べる場合???

(1)水平方向 1位 2位 3位 ……

(2)垂直方向 1位 2位 3位 . . .
 (3)回転方向 1位 2位 3位 4位 5位

Check !



▲ をクリックすると

▼ をクリックすると

加法的な量の動的表示

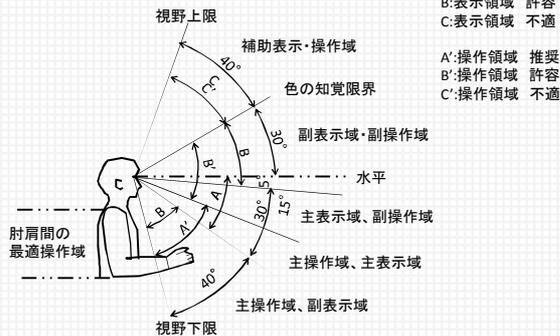


▲ をクリックすると

▼ をクリックすると

順次的な量の動的表示

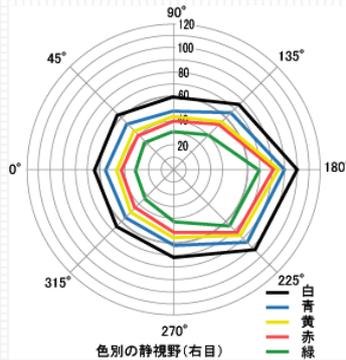
表示・操作機器の位置選定



A:表示領域 推奨
 B:表示領域 許容
 C:表示領域 不適
 A':操作領域 推奨
 B':操作領域 許容
 C':操作領域 不適

図中の角度を用いて表示位置を算出する場合、作業者の眼の高さを考慮することが望ましい。ビデオ画面などの表示を快適に見るための操作者の眼と画面との典型距離は400-700mm

色視野も重要!



色によって色視野が異なる!
 緑→赤→黄→青→黒

操作パネルの配置



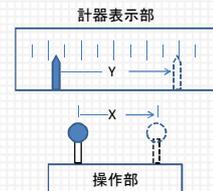
C/D比

人間の特性を知る

Control(制御部) / Display(表示部)

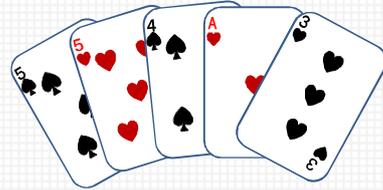
■ 操作部の操作量と表示部の指針の変化(又は作用量)の適正比

■ 必要とされる操作の精密度と作用量によりその比率は決定される



part 3-2 人間の特性を知る
認知的側面
(例:表示物)

紛らわしい表示 いけないのはどこ？



表示は背景色と文字色のコントラストが重要 ……文字

オフィス・街中で見かけた表示



明度差をつけることが見やすさにつながる

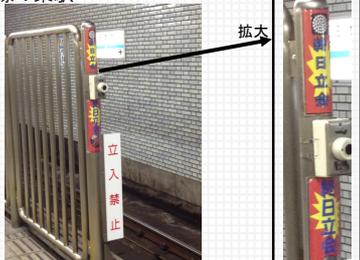
表示は背景色と文字色のコントラストが重要 ……ピクトグラム

学校の音楽室の入り口にあったピクトグラム(絵文字)



表示は背景色と文字色のコントラストが重要 ……文字背景の図柄

東西線の某駅



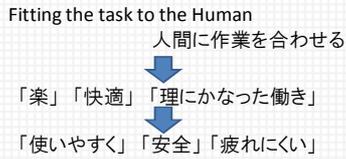
日立？

正解は
「終日立会」

コントラスト不足に加えて、
背景に図柄があると、
文字の輪郭がわかりにくくなる

人間工学について
整理してみましょう

人間工学(Ergonomics/Human Factors)



製品に人間工学を活用する！

- ・使いやすい製品：使う人の身体寸法・形状・大きさによく合う
- ・ヒューマンエラーが起きにくい
- ・使っていて疲れない

そして、現在 ユニバーサルデザインへの関心が高まっている・・・

43

ユニバーサルデザイン

誰にとっても使いやすい

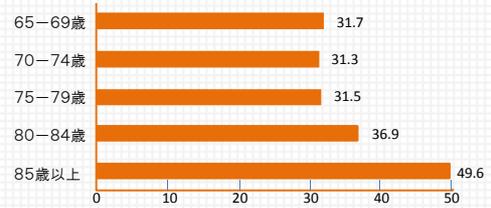
7つの原則がある！

- | | |
|---|-----------------|
| 原則1 Equitable Use | 誰もが公平に使える！ |
| 原則2 Flexibility in Use | 柔軟な使い方ができる！ |
| 原則3 Simple and Intuitive | 簡単に理解できる！ |
| 原則4 Perceptible Information | 情報がわかりやすい！ |
| 原則5 Tolerance for Error | 失敗に対する寛大さがある！ |
| 原則6 Low Physical Effort | 身体的負担が少ない！ |
| 原則7 Size and Space for approach and use | 使いやすい大きさと広さがある！ |

44

生活用品・食料品の事例

開封の不便さを感じる高齢者



「開封に不便を感じることもある」と回答した人の割合 (%)

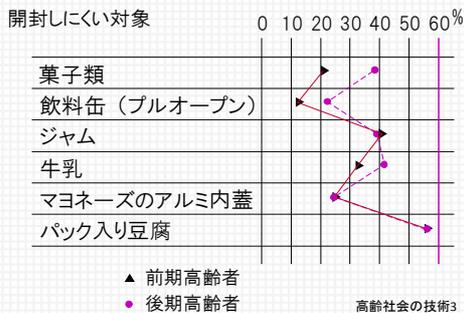
「ユニバーサルデザイン：高齢社会に向けたものづくり」 p.187

45

日常よく使う製品
良い事例もあるが
問題のある事例も多い

45

生活用品・食料品の事例



47

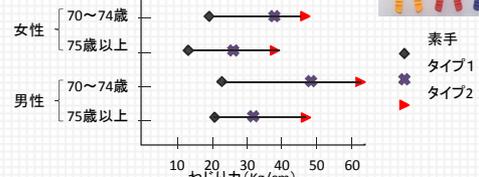
生活用品・食料品の事例

工夫が見られる例

ビンの蓋が開けにくい！！ を手助けしてくれる製品

ピンオープナー

ねじり力は格段にアップする。



ビンの蓋を開ける→蓋にトルクを掛けること！
→蓋の中心から力の作用点までの距離が大きいほど楽に回すことができる

48

生活用品・食料品の事例

もう一ひねり必要

ラベルが剥がしにくい……

- 原因 (1) 分かりにくい 剥がす切りこみ部 の表示
 (2) 剥がすのに指先の細かな動作が必要になる
 (3) 剥がすために必要となる力が大きい



矢印はあるものの、目立たない
 (背景ラベルの白にかぶる)

49

生活用品・食料品の事例

もう一ひねり必要



点線の切込みがあるのみ

「あける」の文字と矢印表示
 逆さ方向表示と分かりにくい矢印形状



生活用品・食料品の事例

もう一ひねり必要

「操作の分かりやすさ」



- ・「温めてお召し上がりください」の表示。
- ・ただし、温める際の注意点が 分かりにくい。
- ・Openの文字は大きいですが、温める際の切込みがあることは分かりにくい

51

生活用品・食料品の事例

工夫が見られる例



開封口を分かりやすくする工夫

52

文具の事例

KOKUYO



軽く内側につまむだけで開く

片手で開閉できる

53

文具の事例

KOKUYO



目に優しい中紙を採用しています

日本大学生産工学部人間工学研究室、財団法人日本色彩研究所、コクヨ株式会社の3者共同研究により、目の疲労感を軽減する紙の白さを追求しました。

安全性を配慮した製品

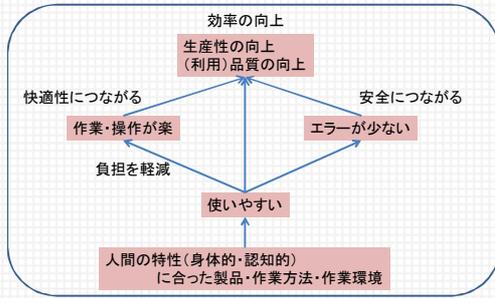


拡大

54

使いやすい、疲れにくく、安全な製品

キーワードは人間工学



55

人間工学グッドプラクティス (GPDB) 事例紹介

1

人間工学グッドプラクティスデータベースとは

<http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html>

人間工学的に設計された「良好事例・良好実践」の総称

Good Practice Data Base …略してGPDB

- ・人間工学的に設計された製品事例
- ・バリアフリー・ユニバーサルデザイン導入によるまちづくり事例
- ・労働条件や環境を人間の諸特性に適合された職場改善事例 などなど

人間工学の普及・啓発活動のために、2008年から運用
2012年からグッドプラクティス賞を新設

2

人間工学グッドプラクティスデータベース

<http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html>

人間工学の具体的な実践事例等の情報を誰もが簡単に情報入手できる手段を提供



データベースの4つの部門

- | | | |
|--------------|-----|------------------|
| ①デザイン部門 | --- | 人間工学製品設計事例 |
| ②グッドプラクティス部門 | --- | 生活・労働の場における実践改善例 |
| ③ガイドライン部門 | --- | 人間工学的設計手法 |
| ④工芸部門 | --- | 日本の伝統的な技から学ぶ |

3

人間工学GPBDのねらい

<http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html>

1. 「人間工学が導入されたものには、よい製品や実践がある」ことを社会へ発信。多くの方々に人間工学の魅力を知ってもらう。
2. 設計・開発部門に対し、人間工学の必要性を働きかけ、人間工学導入製品の開発を促すこと
3. 人間工学専門家・実践者間の情報交換を促進し、人間工学ニーズ創出に貢献すること
4. 事例を登録いただく企業にとっては、企業広報の一環として利用できること

4

事例 1 洗濯洗剤容器 ライオンNANOX

5

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=66&listpage=3



6

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

受賞作品の概要

洗剤を超濃縮化(2倍濃縮)
 →従来の洗剤と同じ使用回数分で1/2の容量に!
 買い物が楽(運搬)、
 使用時は軽く扱いやすい、 ……使い手にとっての魅力を上
 収納時も省スペース 上げた製品

↓

ただ単にコンパクト容器を採用??

持ちやすさ・扱いやすさを人間工学の視点により
 ボトルデザインを検討

7

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

消費者からの声

ノズル脇から液だれ
 詰め替えにくい
 軽量しにくい

計量キャップが固い・
 開けにくい
 ノズル月キャップのノズルの向き
 がずれている

→

開発目標

ノズル脇からの液だれ防止
 詰め替えやすさの向上
 メモリの見やすさの向上

↓

人間工学設計
 キャップデザイン
 ノズルデザイン

8

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

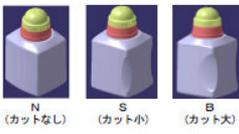
ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

人間工学上のポイント!

1) ボトルデザイン ……持ちやすさ と 注ぎやすさ

輸送効率を考慮し、84×78mmを基本
 女性の手では持ちにくい大きさ ……稜線をアーチ上にカット



<詳細検討>

- ・オイルで手を付けて主観評価
 (持ちやすさ・注ぎやすさ)
- ・筋電図による測定
- ・実験参加者17名
- ・手の大きさ: 中サイズ・小サイズ

図1 試作した3種類のサンプル

手の大きさによらず、カット小ボトルで評価が高い

9

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

人間工学上のポイント!

1) ノズルデザイン ……液だれしにくさ

従来ノズル



新ノズル



残液がノズル外側に流れ込む

桶状にすることでノズル外側に
流れ込むのを防ぐ

10

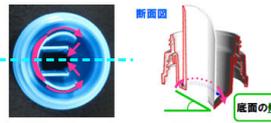
平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

人間工学上のポイント!

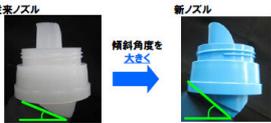
1) ノズルデザイン ……液だれしにくさ



断面図

底面の傾斜角度が影響

傾斜角度を大きく
 細い溝をノズルに追加



傾斜角度を大きく

液をボトル内に
扁平く回転

11

平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 優秀賞

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

人間工学上のポイント!

2) ノズルデザイン ……詰め替えやすさ



大径の縦状ノズルと、環状ガイド壁が
 ハウズ法出口を支える役割を果たす

従来ノズル



新ノズル



ガイド壁が
 詰め替えハウズの
 抽出口を支える役割

12

ライオン・トップ NANOX

出典: http://www.ergonomics.jp/official/wp-content/uploads/gddb/66-evaluation_result2.pdf

人間工学上のポイント!

3) キャップデザイン …読みやすい目盛り

	傳統レリーフ方式	ホップスタンプ方式 (従来の印字方式)	2色成形方式	レーザー印字方式
スケッチ				
視認性	△	○	○	○~◎
コスト	◎	△	×	○
耐久性 耐摩擦		耐久性・耐摩擦に 劣る		耐久性・耐摩擦に 優れる
総合 評価	△	△	×	○

レーザー印字方式
で、耐久性・磨耗性
に優れる

長期間使用しても
メモリが消えない!

設計→検証→改良設計を繰り返し、2年半の年月をかけて制作!

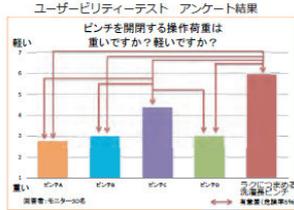
事例 2 洗濯バサミ EXII
洗濯長ピンチシリーズ

EXII ラクにつまめる洗濯長ピンチシリーズ 東和産業株式会社

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=69

1) 人間工学上のポイント …少しの力で扱える

てこの原理で、ツマミ部を通常のピンチよりも2cm 長く設定



EXII ラクにつまめる洗濯長ピンチシリーズ 東和産業株式会社

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=69

2) 人間工学上のポイント …色覚に障害がある方への配慮

健康者 全色盲 第一色覚 第二色覚 第三色覚



事例 3 東芝
マシンルームレス
エレベータ

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

ED-123 東芝マシンルームレスエレベーター SPACEL-EX



障害者・高齢者など多様な利用者の評価と検証を行う

人間工学グッドプラクティス

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

1) 人間工学上のポイント・・・視覚障害者にも分かりやすい操作盤表示

・矢印や階数、方向等のボタンが凸表示
 ・ボタン自体を周囲より1段高くし、ボタンの存在を強調

触知性の向上

凸文字・凸図記号サンプル

加えて、ボタンと点字との位置関係検討
 点字表示の床面からの高さ検討

19

人間工学グッドプラクティス

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

1) 人間工学上のポイント・・・方向通則に従った階数表示と α

千鳥配列は触知上わかりやすい
 千鳥配列のボタン間のガイドの有効性を検討
 ボタン自体を周囲より一段高く設置
 ボタン全体を凸化

ガイド

20

人間工学グッドプラクティス

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

2) 人間工学上のポイント・・・ドア周りの安全性を向上

事故事例調査により、事故原因を解明

図4. お知らせドアセンサーがご乗入口上階から戻りながら帰って来外観を照して、危険エリアにいる利用者を検出する。
 Locations of detectable sensors

図5. エレベーター利用者の事故事例 - ドア周りの事故が約70%も占めている。
 Pie chart of elevator accidents

ドアセンサーの採用
 危険エリアに入ると、お知らせドアセンサーが作動・・・ブザーとアナウンスで注意喚起
 → 子供の手の引き込まれを想定し、床から60cmから、かご上部まで赤外線監視
 ドアサインの採用・・・開閉中は扉上部のLEDが点灯。
 チャイム音も鳴らして視覚障害者にも注意喚起を。

21

人間工学グッドプラクティス

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

3) 人間工学上のポイント・・・聴覚障害者・視覚障害者への設計配慮

不便さ調査

- ・満員ブザーが聞こえない
- ・かごの奥にいると、満員時に人をかき分けて降りなければならない

1	まんいん	不満切
2	満員	満切
3		満切

検証実験

図7. 最終の満員表示画面 - 多くの人が理解しやすい漢字に漢字を併記した表示を採用した。
 Final version of "Elevator full" signal

ピクトと漢字を組み合わせたボタンの採用

22

人間工学グッドプラクティス

東芝 マシンルームレスエレベータ

出典 http://www.ergonomics.jp/gpdb/gpdb-list.html?gddb_id=59&listpage=4

3) 人間工学上のポイント・・・聴覚障害者・視覚障害者への設計配慮

1	降車	不満切
2	おります	不満切
3	降ります	満切

「降りますボタン」の検証

図10. 降車お知らせボタン - 聴覚障害者にも利用しやすいボタンデザインが完成した。
 Final version of "This is my floor" button

・「降りますボタン」を押すと、戸閉時には 再度扉が開く機能を採用

23