

金属加工実験・実習指導書

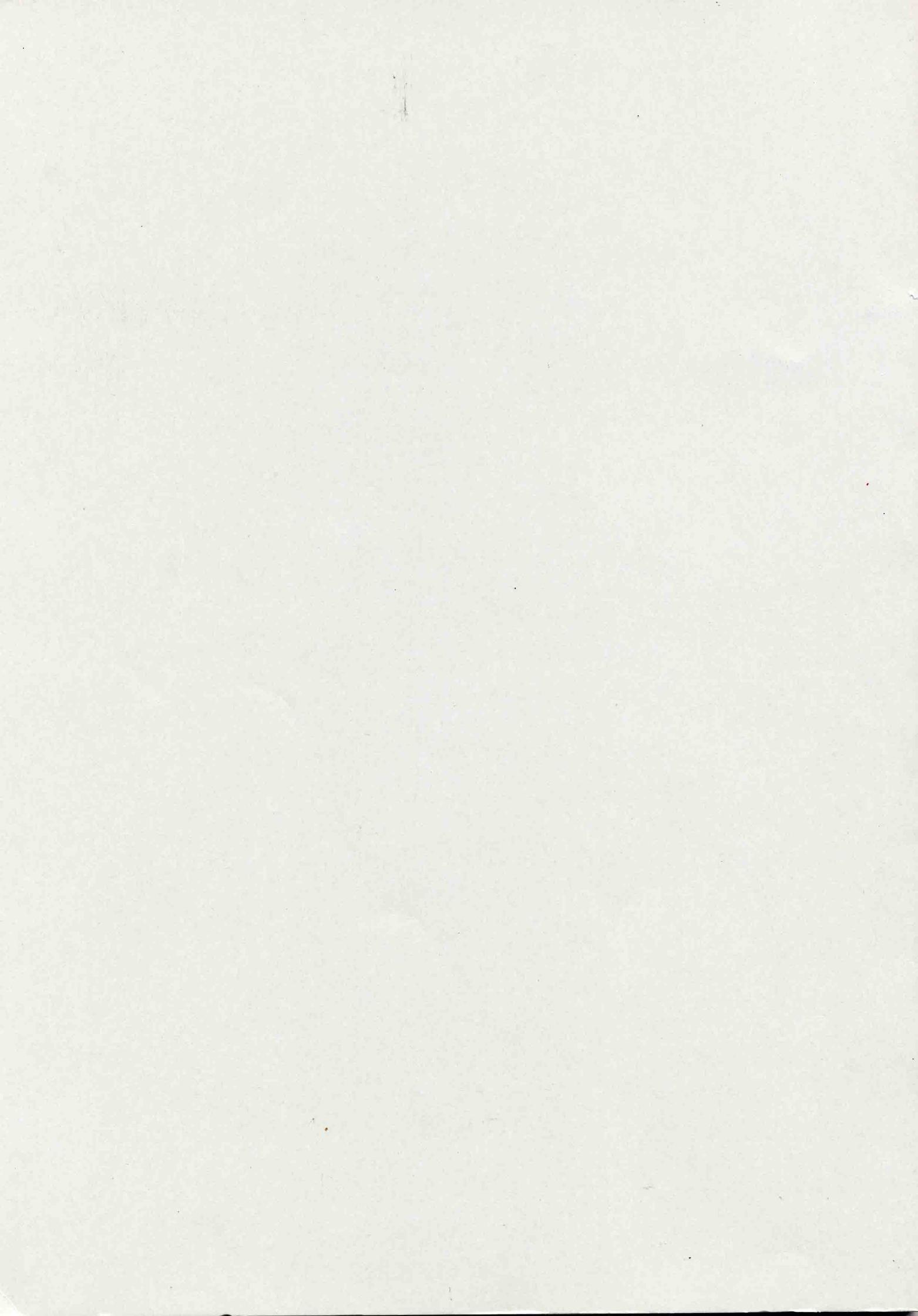
日本産業技術教育学会
金属加工分科会

金属加工実験・実習指導書

金属加工実験・実習指導書

日本産業技術教育学会
金属加工分科字会

日本産業技術教育学会
金属加工分科字会



序 文

ゆとりある学校教育という趣旨で全教科の授業時間が削減され、それに対応した新教育課程が急ピッチで検討されている。

一方、最近の生徒や若者が科学技術ばなれをおこしていることに、技術立国である我が国にとって大きな不安材料であることがしばしば指摘されている。

その方策として、工業界や技術科関係者から、ものづくりの重要性がうたえられ、関係の教育審議会等でもある程度の理解がされつつある。一般的には、ものづくりは工業的な製作に限定されないが、技術教育の立場からみると、ものづくりには、設計・加工法・材料・エネルギーの利用・制御など、幅広い内容が含まれており、巧緻性育成などの教育上の意義も大きいので、広い意味で技術教育の総合学習ともいえる。その中で、金属加工は基礎となる内容を含んでおり、この学習が不十分であれば、その他の領域での成果にも影響が生じる。

しかしながら、金属加工学習が中学校技術・家庭の授業で主体になることは多くない。それは、技術・家庭科の学習時間数に対して履修を要する従来からの領域が多いことも一つの原因になっている。また、大学において金属加工技術が十分習得されていないことや、中学生に適した加工題材が少ないことなども大きな要因になっている。

前者については、学生は中学校や高等学校において金属加工の体験がほとんどないうえに、大学においても十分な知識や技術を習得できる機会が少ないこと、大学で履修した技術が中学校の実状に必ずしも適合していないこと、技術的初心者に適した教材が少ないことなどが要因になっていると考えられる。特に、多様な生徒に対応するためには、工具・機械・材料を使いこなすことができる幅広い知識や技能が必要であるが、実験・実習は時間がかかり、大学で十分に履修させることは困難な場合が多い。

短時間で教育効果をあげるには、できるだけ有効的にそして能率的に実験・実習をさせることが必要であるが、その内容は教官個々の経験で取り上げられており、教育内容や方法について、他大学と交流されることも少ないという現状にある。

そこで、教員養成大学・学部の技術科金属加工の実験・実習で実施されている題材をとりまとめ、この問題を少しでも解決することを目的に本指導書が計画された。

ただし、原稿を募集した際、他大学で取り上げられているような題材や、基礎的なものは省略し、特徴のあるもののみを提供された執筆者も多い。したがって、本書が各大学のすべての実験・実習題材を紹介したことにはならないが、これらが参考にされ、また、現行の実施内容が再検討されることによって、金属加工教育の一層の普及をまねき、ひいてはそれが技術教育の発展につながることを期待して、本指導書は編集されたものである。

平成10年4月

日本産業技術教育学会・金属加工分科会

「金属加工実験・実習指導書」編集委員代表

間田 泰弘（広島大学）

目次

序 文

I. 材料学的性質(材料試験を含む)

1	X線回折実験による格子定数の決定	那須 稔雄(山形大学).....	1
2	金属の縦弾性係数(ヤング率)の測定	那須 稔雄(山形大学).....	4
3	火花試験による鋼の組成分析	那須 稔雄(山形大学).....	7
4	炭素鋼の熱処理と顕微鏡組織	安丸 尚樹(福井工業 高等専門学校).....	9
5	金属の線膨張率の測定	那須 稔雄(山形大学).....	13
6	鉄線の格子変態時の長さの変化の観察	平瀬 志朗(群馬大学).....	15
7	板金材料の構造と強度	畑 俊明(静岡大学).....	19
8	金属材料の引張試験および硬さ試験	山名 忠(岐阜大学).....	23
9	鋼の熱処理と引張り強度特性	沢本 章(山口大学).....	27
10	衝撃試験	牧野 亮哉(福井大学).....	31
11	ひずみ焼鈍法による 粗大結晶粒の作製と観察	古川 稔(福岡教育大学).....	35
12	アルミニウム合金の時効硬化	古川 稔(福岡教育大学).....	39

II. 塑性加工

13	深絞り	奥野 亮輔(北海道教育大学 岩見沢校).....	43
14	パイプ材の曲げ加工	奥野 亮輔(北海道教育大学 岩見沢校).....	47
15	日本刀型小刀の製作	畑 俊明(静岡大学)..... 中村 勇(静岡大学)	51

III. 切削・研削加工

16	ねじ切り	平瀬 志朗(群馬大学).....	55
17	切りくず生成機構の観察	牧野 亮哉(福井大学).....	63
18	旋盤作業	牧野 亮哉(福井大学).....	66
19	ボール盤作業	牧野 亮哉(福井大学).....	74
20	金工用刃物の整備	間田 泰弘(広島大学)..... 田島 俊造(広島大学)	82
21	鉄鋼材料の切削実験	沢本 章(山口大学).....	88

IV. 鑄 造

22	アルミニウム合金の鑄造	那須 稔雄(山形大学).....	91
23	低融点合金の製造とその利用	平瀬 志朗(群馬大学).....	94
24	鑄造による銅鏡の製作	畑 俊明(静岡大学)	
		中村 勇 (静岡大学).....	98

V. 接 合

25	リベット接合(リベット締め)	間田 泰弘(広島大学).....	103
26	ろう付け	間田 泰弘(広島大学)	
		上田 邦夫(広島大学).....	105
27	鋼の溶接と曲げ強度特性	沢本 章 (山口大学).....	111

VI. その他

28	ビー玉スターリングエンジンの製作	松尾 政弘(埼玉大学).....	113
29	簡易硬さ測定器の設計と製作	八高 隆雄(横浜国立大学).....	115
30	空き缶を利用した教材の設計と製作	八高 隆雄(横浜国立大学).....	118

編 集 後 記

I. 材 料 学 的 性 質
(材料試験を含む)

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

本テーマの目的はX線回折装置（図1）を用いて回折実験を行い，得られたBragg反射に対応する角度とX線の波長から，計算によって金属結晶の格子定数を求めることである。

金属中の原子は，整然と規則正しく並んでおり，結晶を構成している。図2にこの結晶にX線が入射して回折（反射）する様子を示した。原子はこの図に垂直で d の間隔をもつ一組の平行な面A, B, C…の上に配列されている。強い回折のおこる入射（反射）角 θ を回折角という。この図で入射X線1および2は原子KおよびLによって散乱される。ここでX線1 K 1' と2 L 2' の経路差は

$$\begin{aligned} ML + LN &= d \sin \theta + d \sin \theta \\ &= 2 d \sin \theta \cdots \cdots (1) \end{aligned}$$

となる。この経路差が波長の整数倍に等しければ，散乱線1' と2' は位相が一致して強め合う。つまり，

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \cdots \cdots (2)$$

この関係は Braggの法則として知られている。もし，回折がおこるならば，(2)式は満足させられなくてはならない本質的条件である。ここで， n は反射の次数と呼ばれ，隣接面原子による散乱線との経路差中の波の数に等しく，1以上の整数である。

したがって，測定に用いたX線の波長(λ)が既知であれば，強い反射のおこる回折角(θ)を正確に求めることによって原子面間距離 d を(2)式によって求めることができる。

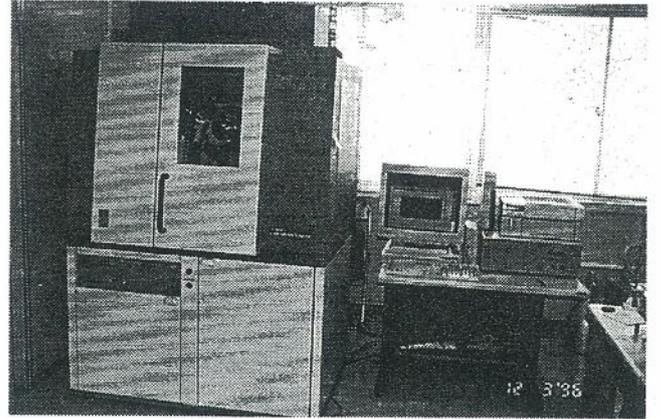


図1 X線回折装置

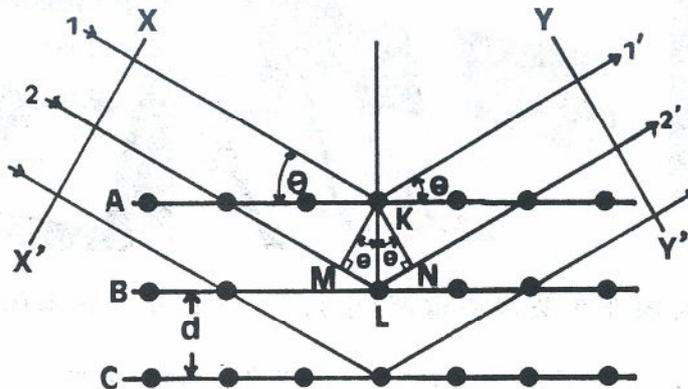


図2 結晶によるX線の回折

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

X線回折装置，ガラス製試料ホルダー，
試料：1) Cu粉末，2) Ni粉末，3) Fe粉末

3. 所要時間（講義：90 min., 実験・実習：90 min.）

4. 実験の方法

4.1 試料の準備

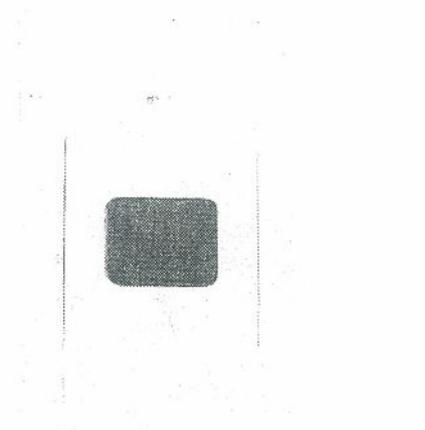
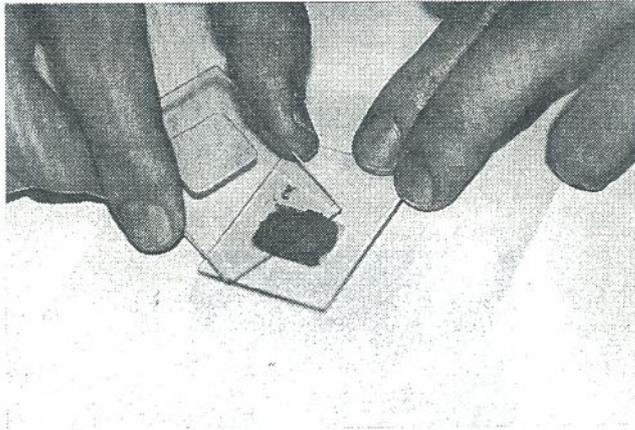


図3 試料を試料ホルダーに装填している様子(左), 装填が完了したもの(右)

試料としては、鉄、ニッケル、銅の粉末を用いる。図3に示すように、ガラス製の試料ホルダーの凹部に試料を装填する。装填した試料表面が、ガラス面と一致するように平滑なガラス面を押し付ける。

4.2 装置の立ち上げ・測定

- (1) 冷却水のノブをフルに開けて、冷却水を流す(図4左参照)。
- (2) X線発生装置の電源(AC200V, AC100V)をONにする(図4中参照)。
- (3) 制御用のコンピュータを立ち上げる。
 - ①コンピュータ本体の電源をONにする(図4右参照)。

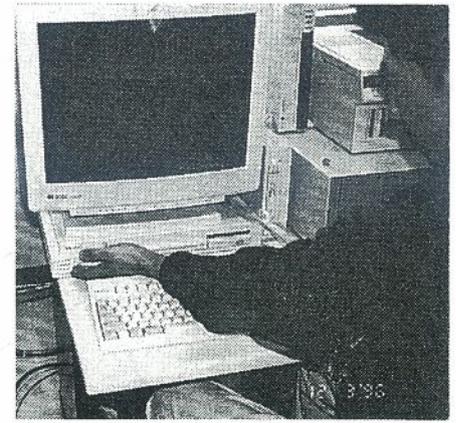
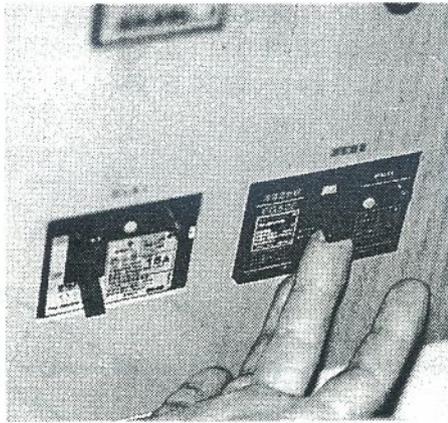


図4 冷却水(左), X線発生装置の電源(中), コンピュータ本体の電源(右)

- ②周辺装置(ディスプレイ、プリンタ、コミュニケーションサーバ)のスイッチをONにする。
- ③コンピュータのシステムチェックが終了すると、ログイン画面が表示される。
login:の後に、半角でrintと入力し、リターンキーを押す。
passwordは何も入力せずに、リターンキーを押す。
- ④メインメニューが表示され、その中から“XG操作”をクリックする。
- ⑤XG操作画面で“Power ON”をクリックする。
- ⑥XG操作画面で管電圧を40kV, 管電流を30mAに設定する。
- ⑦メインメニュー画面に戻し, “右測定”を選択しクリックする。
- ⑧測定条件(開始角度20°, 終了角度90°, ステップ角0.001°, スキャンスピード2°/min)を設定する(通常は設定済みであるので触れなくともよい)。
- ⑨サンプル名(例: Cu), コメント(例: 測定者名), ファイル名(例: Cu-powder)を入力する。
- ⑩図5に示すようにX線防護扉の安全ボタンを押し, 発信音(ピーという音)がな

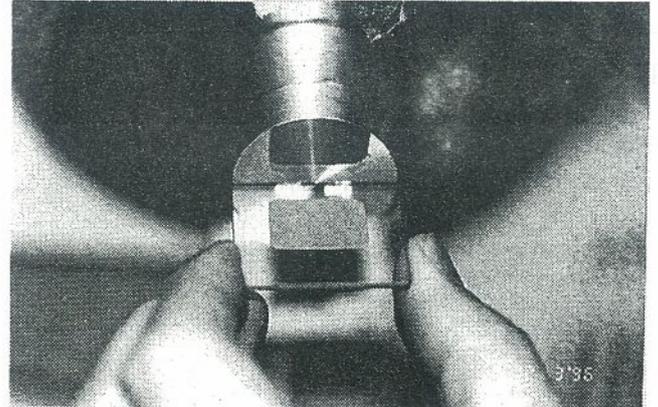
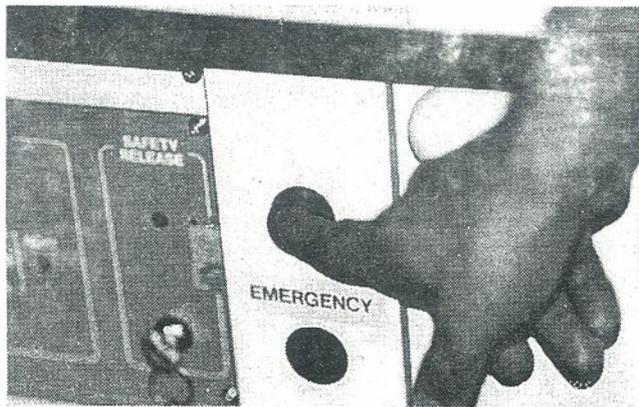


図5 X線防護扉の安全ボタン(左), 試料の装着(右)

っているのを確かめたうえで、扉を開いて試料をセットし、扉を閉める。

- ⑪画面左下隅の“測定”をクリックして、測定を開始する。
- ⑫約35分で測定が終了し、結果が自動的にプリントされて出てくる。
- ⑬他の試料で測定を繰り返す場合には、試料を準備して、⑨以下の操作を繰り返す。

4.3 装置の停止

- ①XG操作画面で管電圧と管電流を最低まで下げ、“Power On”（現状で点灯中）をクリックし、電源を切る。
- ②login:の後に、半角でshutdownと入力する。
- ③X線発生装置の電源（AC200V, AC100V）をOFFにする。
- ④冷却水を止める。

5. 結果（考察）のまとめ方

前項の⑫で得られた結果から、各ピークの回折角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots$ を読み取り、(2)式を用いて各回折ピークに対応する原子面の面間距離 $d_1, d_2, d_3 \dots$ を求める。ただし、式中で $n = 1$ とする。また、本実験で用いたX線の管球はCuであり、X線の波長 $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ である。測定で得られた原子面間距離 $d_1, d_2, d_3 \dots$ とASTM(American Society for Testing Materials)カード*を対比して、その面指数(hkl)を求める。

* 物質のX線回折パターンはその物質特有のものである。もし、非常に多くの既知の物質の回折パターンを手元に蒐集しておけば、未知の物質の回折パターンに遭遇した場合、それと正確に一致する既知の物質の回折パターンを見つけ出すことによって同定することができる。このX線回折パターンの蒐集はHanawaltと彼の共同研究者によって始められ、後にASTM(American Society for Testing Materials)によって引き継がれた。ASTMは、既知の物質の回折パターンの基本的データをカード形式で公表している。

6. 参考事項（実験のポイント、注意事項など）

最終的に得られる面間距離の精度は、回折角 θ の読み取り精度に依存しているので、できる限り正確に読み取るようにする。

[参考文献]

B. D. カリティ(幸田成康校閲, 松村源太郎訳): X線回折要論, アグネ(1984)*

(執筆者名) 那須稔雄

1. 本テーマ(題材)の目的と概要

各種の構造物を設計する上で、材料に加わる外力とそれによって生じる変形の間を把握することは重要である。外力と変形の間を表現する物理量として、縦弾性係数(ヤング率: Young's modulus)、剛性率、体積弾性率、ポアソン比などがある。そのうちで、もっとも頻度多く用いられるのは、縦弾性係数(ヤング率)である。各種金属のヤング率をEwingの装置を用いて、撓み法により測定することが、本実験の目的である。

長さ l 、矩形断面の試料を両端の支点 N_1 、 N_2 で支え、その中央に Mg の力を加えると試料の最大の撓みは、試料の中央に生じる(図1参照)。その撓み量 δ は、(1)式で与えられる。

$$\delta = Mg l^3 / 4 a^3 b E \dots \dots \dots (1)$$

ここで a は試料の厚さ、 b は幅、 E はその試料の縦弾性率(ヤング率)である。故に、試料の中央部に生じる撓み量 δ を測定すれば、次式(2)によって弾性率(ヤング率)が求められる。

$$E = Mg l^3 / 4 a^3 b \delta \dots \dots \dots (2)$$

微少な撓み量 δ を光挺子(optical lever)を用いて精密に測定し、(2)式にしたがってヤング率を求める。

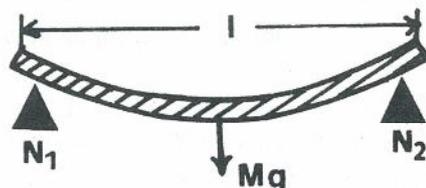


図1 荷重による試料の撓み

2. 本実験で使用する装置

Ewingの装置(図2左)、尺度望遠鏡(図2中央)、光挺子(図2右)、巻尺、ノギス

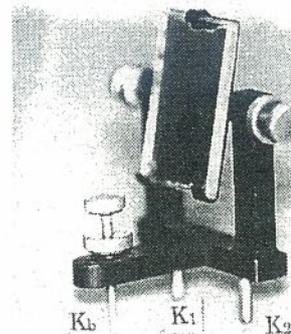
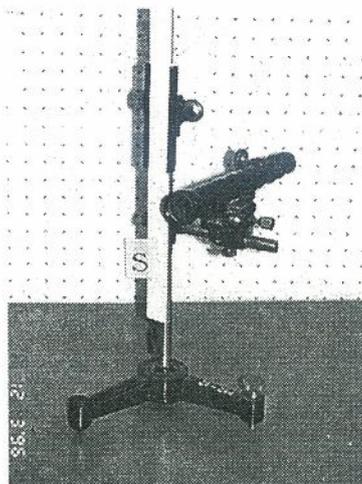
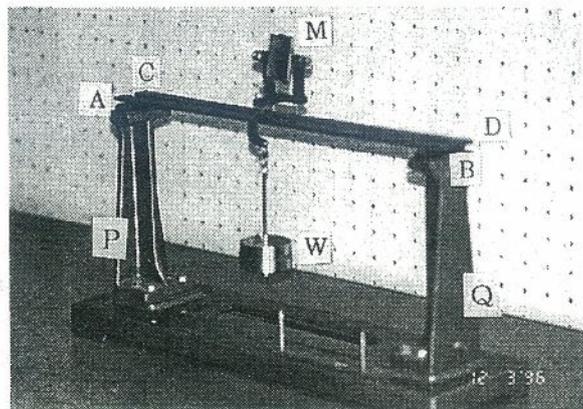


図2 Ewingの装置(左)、尺度望遠鏡(中央)、光挺子(右)

3. 所要時間(講義: 30 min., 実験・実習: 60 min.)

4. 実験の方法

4.1 Ewingの装置について

Ewingの装置は図2に示すようなもので、支持台 PQ 上にナイフ・エッジ状の支点 N_1 、 N_2 があり、この上に試料 AB と補助棒 CD を平行におく。試料 AB (支点 N_1 、 N_2)の中心に重り W をのせる。三脚鏡(光挺子) M の前脚は試料 AB の中心にのせ、二本の後脚は補助棒 CD の上ののせる。 M の鏡面は鉛直より少し上向きにしておく。

W の重さを増加していけば、試料 AB が撓んで M の前脚は下がり、鏡面の角度が変化する。その際の撓み量を尺度望遠鏡で拡大して測定する(図3参照)。 AB の中心撓み量 δ によるスケールの読みの移動を $a - b = \Delta y$ 、鏡からスケールまでの距離を x 、三

脚鏡の前脚 k_1 と後脚 k_2 間の垂直距離を z とすれば、

$$\delta = z \Delta y / 2x \dots\dots\dots (3)$$

で表されるので、重さ W の変化によるスケール S 上の移動を尺度望遠鏡の視野の中で十字線に合わせて読み取る。

尺度望遠鏡は、Ewingの装置から約2m離しておき、望遠鏡の高さと鏡の高さがほぼ同じになるように調節する。望遠鏡の接眼レンズをのぞいて十字線がはっきりと見えるように接眼レンズのノブを調節する。その後で、望遠鏡をのぞいて鏡が見えるように方向や角度を調整し、鏡に映ったスケールの像に焦点を合わせる。

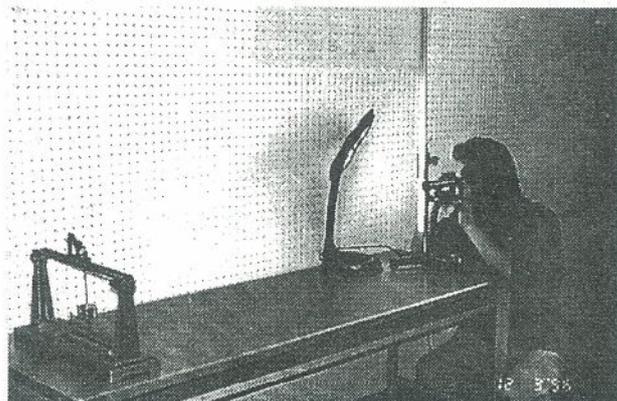
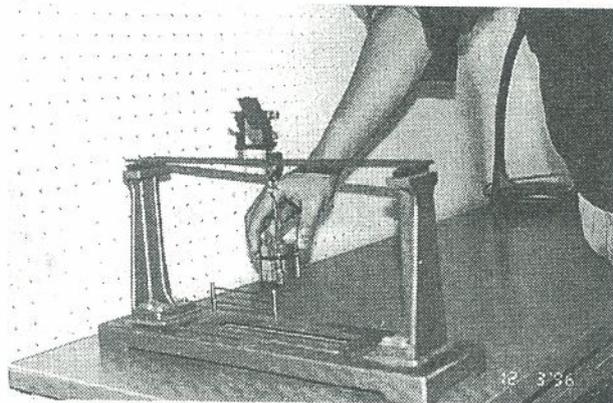


図3 Ewingの装置を用いてヤング率を測定している様子

4.2 測定

あらかじめ、補助的に重りを2個かけておき、この時のスケールの読みを荷重0に対する読み y_0 とし、重りを順次増やしてその際のスケールの読みを y_1, y_2, \dots, y_5 をメモする。

その後、今度は逆に重りを1個ずつはずして、スケールの読みを y_5', y_4', \dots, y_1' をメモする。

この測定がすんだら、鏡とスケールとの距離 x を巻尺で測定し、Ewingの装置の支点間距離 $N_1N_2=l$ と、三脚鏡の脚の垂直距離 z をものさしで測定する。また、試料 AB の厚さ a 、幅 b をノギスで測定する。

5. 結果 (考察) のまとめ方

データの整理および解析 (銅のヤング率の測定例)

荷重 g	増重		減重		平均 600gに対する移動 Δy		
0	y_0	136.2	y_0'	136.0	y_0	136.1	
200	y_1	117.7	y_1'	116.8	y_1	117.3	
400	y_2	99.0	y_2'	97.6	y_2	98.3	
600	y_3	80.9	y_3'	78.4	y_3	79.6	$y_0 - y_3 = 56.5 \text{ mm}$
800	y_4	62.2	y_4'	59.5	y_4	60.9	$y_1 - y_4 = 56.4 \text{ mm}$
1000	y_5	42.1	y_5'	41.8	y_5	42.0	$y_2 - y_5 = 56.3 \text{ mm}$

尺度と鏡の距離 $x : 144.5 \text{ cm}$
 試料の厚さ $a : 0.410$
 試料の幅 $b : 1.585$
 両刃間の距離 $l : 40.15$
 鏡の支点の垂直距離 $z : 3.53$

平均 $\Delta y = 56.4 \text{ mm}$

荷重600gに対する中点の撓み量 δ を求める

$$\delta = z \Delta y / 2x = 3.53 \times 5.64 / 2 \times 144.5 = 0.06889 \text{ cm}$$

銅のヤング率 E を求める

$$E = Mg l^3 / 4a^3 b \delta = 600 \times 980 \times 40.15^3 / 4 \times 0.410^3 \times 1.585 \times 0.06889 = 12.63 \times 10^{11}$$

銅のヤング率の値： $E = 12.6 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$

6. 参考事項（実験のポイント，注意事項など）

- (1) スケールを読みやすくするために，蛍光灯スタンドの光をスケールにあてるとよい。
- (2) 測定中に振動があると，スケールの値が安定せず，読みにくいので，できるだけ振動を与えないようにする。
- (3) データ整理を行い，ヤング率を求めるのに a と l は3乗で効くので，精密に測定する必要がある。

[参考文献]

S. チモシェンコ(鶴戸口英善・国尾 武 訳)：材料力学，東京図書(1978)

(執筆者名) 那 須 稔 雄

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

鉄鋼材料をグラインダーで研削すると、摩擦熱によって合金成分が燃焼して火花が生じる（図1¹⁾参照）。その火花の形状・色などの特徴は、合金成分特有のものである。したがって、組成のわかっている標準試料との対比によって、未知の鋼材の組成を推定することが可能である。

本実験の目的は、火花試験（JIS-G0566に準拠）によって3個の未知試料の組成を推定することである。



図1 火花の形および名称

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

グラインダー、火花試験用標準試料、未知試料、防塵用眼鏡、マスク

3. 所要授業時間（講義：30 min., 実験・実習：105 min.）

4. 実験の方法

4.1 グラインダーの点検

グラインダーのスイッチを入れて安定的に回転することを確認する。実験室内が明るすぎると、発生した火花を観察しにくいので薄暗くする。また、実験室内に空気の動き（風など）があると、火花の発生に影響があるので配慮する。試験片を押し付ける力の大小によって火花の発生ぐあい異なるので、標準試料を1本選択して火花試験を行い、標準火花スケッチ図（図2¹⁾参照）と比較して適切な押し付け力を把握する（図3参照）。

4.2 標準試料の火花の観察

標準試料から任意に6種類を選択して、回転するグラインダーに押し付けて発生する火花をスケッチし、その特徴（流線：色・明るさ・長さ・太さ・数、破裂：色・形・大きさ・数）を表に書込む。

4.3 未知試料と標準試料の火花の比較

未知試料をグラインダーに押し付けて火花を発生させ、標準試料から発生する火花との対比から、組成を推定する。

5. 結果（考察）のまとめ方

代表的な組成の鋼材の火花を観察、スケッチを行い、その特徴を把握する。未知試料の組成の推定は、火花の特徴が類似しているものを見つけ、徐々に的を絞っていくことによって可能となる。

6. 参考事項（実験のポイント、注意事項など）

研削時にしっかりと試料を把握しておき、安全に心がける。

[参考・引用文献]

1) J I Sハンドブック・鉄鋼：鋼の火花試験方法(JIS-G0566), 日本規格協会(1991)

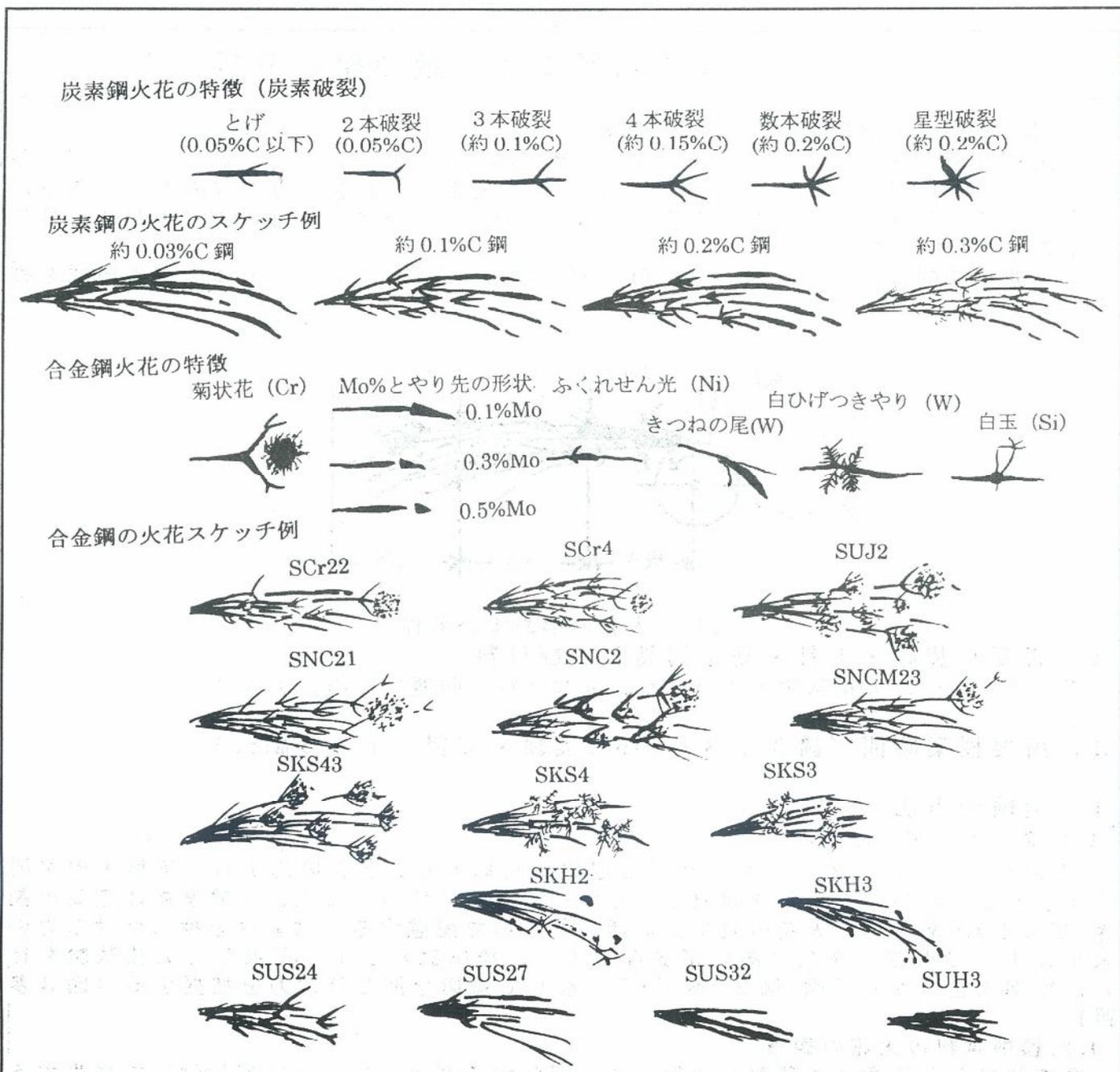


図2 各種鋼材の標準火花スケッチ図

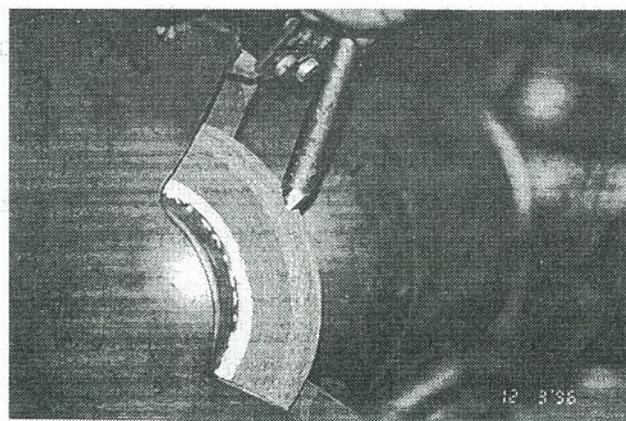
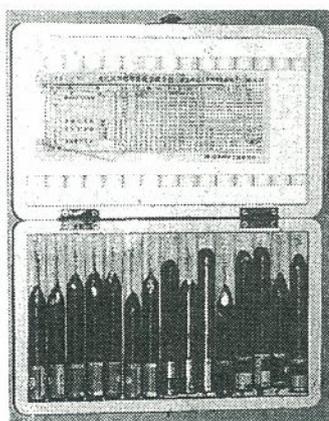


図3 火花試験用標準試験片(左)の試験の実際(右)

(執筆者名) 那須 稔 雄

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

炭素鋼（亜共析鋼，過共析鋼）に焼入れ・焼もどしの熱処理を行い，熱処理の基礎を体験する。標準組織と熱処理後の組織を金属顕微鏡で観察し，金属顕微鏡の使用法，試料の作り方，組織の見方を習得する。亜共析鋼の標準組織を用いて，パーライトの面積割合から炭素含有量や機械的性質を求め，組織の定量解析の基礎を学ぶ。熱処理前後の試料の硬さを測定し，組織と硬さの関係を考察する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

金属顕微鏡（写真撮影装置付），ポラロイドフィルム，切断機，ガラス板，エメリー紙，研磨機，ダイヤモンドドリキッド，腐食液（硝酸，エチルアルコール），ドライヤー，スライド板，油粘土，試料平圧器（ハンドプレス），電気炉，金切りばさみ，焼入れ用油浴・水浴，硬度計，炭素鋼丸棒（機械構造用炭素鋼S45C，炭素工具鋼SK2）

3. 所要授業時間（講義：30 min.，実験・実習：330 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 試料切断

機械構造用炭素鋼S45C(0.45%C)および炭素工具鋼SK2(1.1%C)の丸棒(φ15)を，切断機により長さ10mm程度に4個ずつ切断する。切断による加工ひずみ，あるいは摩擦熱による試料表面の変質を避けるため，十分に冷却しながら切断する。

4.2 熱処理（焼入れ・焼もどし）

鉄鋼は他の金属に比べて性質変化の範囲が広く，熱処理によって優れた機械的性質を得ることができる。鋼の熱処理のポイントは，図1のように，鋼を均一なオーステナイト γ 状態に加熱して炭素などの合金元素を固溶させた後，各種の速さで冷却することである。(a) 焼なましは，炉冷すなわち試料を加熱炉中に置いたまま徐冷する処理のことで，加熱温度は目的により低い温度の場合もある。 γ 化温度からの炉冷を完全焼なましと呼び，軟化が主目的で，単に焼なましという時は完全焼なましをさしている。(b) 焼ならしは，試料を加熱炉から取り出して大気中で冷却する処理のことで，粗大化した結晶粒径を微細化して標準的な組織にし，機械的性質を改善することを目的としている。焼入れは(c)冷水(水冷)または(d)焼入油(油冷)中で急冷し，マルテンサイト変態により試料を硬化させることを目的としている。なお，冷却速度は油の方が小さく，20℃の水の冷却速度の約1/5である。焼入れた鋼は非常に硬くて脆いので，そのままでは使用できず， A_1 点(723℃)以下の適当な温度に再加熱し，靱性を与える操作が必要である。この操作を(e)焼もどしといい，焼もどし温度が150~200℃の低温焼もどしと550~650℃の高温焼もどしに大別される。低温焼もどしは，硬さを低下させずに残留応力を軽減させ，強度や靱性を向上させ，寸法の経年変化を防止することを目的としており，工具，刃物，軸受，ゲージなどの硬さと耐摩耗性を重視する高炭素鋼に主に利用される。一方，高温焼もどしは，歯車，軸類などの機械構造部品(主に中炭素鋼)に優れた強靱性を，高層建築，

橋梁，石油貯槽などの大型溶接構造用鋼材（低炭素鋼）に高い強度と優れた低温靱性を与えることを目的としている。焼入れ高温焼もどしのことを調質ともいい，単に焼入れ焼もど

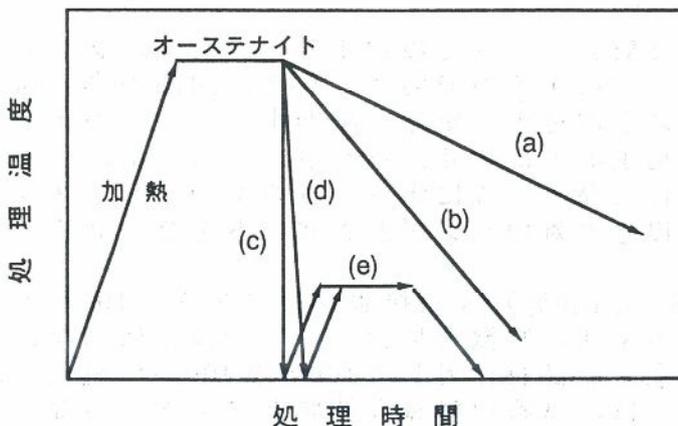


図1 鉄鋼材料の熱処理概念図

- (a) 焼なまし（炉冷）
- (b) 焼ならし（空冷）
- (c) 水焼入れ（水冷）
- (d) 油焼入れ（油冷）
- (e) 焼もどし（再加熱）

しといえ、この焼入れ高温焼もどしをさす。ここでは亜共析鋼のS45Cと過共析鋼のSK2を用いて、熱処理の基本として焼入れおよび焼もどしを実際に体験してみる。すなわち、S45Cを3個850℃で15分電気炉内に保持後水冷、SK2を3個1000℃で15分保持後油冷の焼入れを行う。焼入れ後の試料に対し、低温(200℃)と高温(650℃)で30分保持後空冷の焼もどしを行う。以上の熱処理により、(A)未処理、(B)焼入れ、(C)低温焼もどし、(D)高温焼もどしの4個ずつの試料を作製する。

4.3 粗研磨(エメリー紙研磨)および仕上げ研磨(バフ研磨)

検鏡面を平らに研磨するため、5mm厚のガラス板上にエメリー紙を載せ、試料を軽く押しつけて前後に動かして研磨する。研磨紙は以下のように粗いものから順次に研磨していき、毎回前のエメリー紙でできたみがき傷と直角方向に試料を動かし、前の傷が新しい方向の傷で消されるまで研磨する。

(粗) 2 → 1 G → 1 M → 1 F → O → 2/0 → 4/0 → 6/0 (細)

粗研磨の終わった試料は水洗してバフ研磨機で仕上げ研磨を行う。研磨布をはった回転円盤上に試料の研磨面を押しつけ、研磨液としてダイヤモンドリキッド(平均粒径3μm)を時々撒布する。エメリー紙の研磨傷が完全に消えるまで行い、肉眼観察で完全な鏡面に仕上げる。鏡面仕上げ後は水洗し、アルコールに浸してからドライヤーの熱風で乾燥させる。

4.4 硬さ試験

金属材料の性質の中で、硬さは引張強さとともに最も重要な項目であり、他の機械的性質と密接な関係がある。ここではバフ研磨後の試料表面を、押し込み硬さ試験法の一つであるビッカース硬度計で硬さを測定する。ビッカース硬さHvとは、対面角 $\alpha = 136^\circ$ のダイヤモンド四角錐圧子を用い、試験面にピラミッド形のくぼみをつけた時の荷重を、永久くぼみ(圧痕)の対角線の長さから求めた表面積で除した商をいい、次式で算出する。ただし、Hvの数値には単位を付けない。

$$Hv = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

(Hv : ビッカース硬さ (kgf/mm²) , P : 荷重 (kgf)
 d : くぼみの対角線長さ (mm) , α : 対面角 (136°))

荷重は試料面に垂直に加え、金属組織による影響、対角線長さの測定誤差および表面層の影響を少なくするため、次の検鏡に支障がない程度に大きい方がよい。くぼみの測定は、両対角線の測定値を平均して求める。

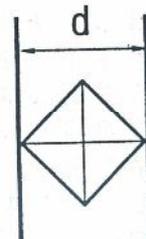


図2 圧痕の模式図

4.5 腐食(エッチング)

鏡面仕上げした試料は、非金属介在物などの外は検鏡しても何も見られない。表面を適当な酸などの腐食液に浸すと、結晶粒界、相境界、相の種類、結晶方向などによって腐食の度合いが異なるため、組織に対応した弱い凹凸が形成される。腐食液は金属の種類により異なるが、炭素鋼では通常ナイトール液(数%の硝酸アルコール溶液)を用いて数秒の腐食時間で行う。良い腐食は、肉眼観察で研磨面が薄いくもりガラスのようにくもった状況になる。腐食が適度に進んだら、腐食面に触られないようにして、直ちに流水中で水洗する。その後、アルコールに浸してから熱風で乾燥させる。

4.6 検鏡

金属顕微鏡は試料に垂直に光を当て、反射光によって観察する。試料を腐食して凹凸を作れば、試料面の平滑な部分はよく反射するので明るく見え、凹凸の多い粗面は乱反射するので暗く見えてコントラストが付き、組織を識別することができる。試料はスライド板上に付着させた油粘土の上に乗せ、ハンドプレスで上から静かに押し、検鏡面がスライド板面と平行になるようにする。試料を固定したスライド板を顕微鏡のステージに載せ、5倍程度の対物レンズからピントを合わせる。顕微鏡の倍率は、次式で示される。

倍率 = (対物レンズ倍率 : 5, 10, 20, 40, 100等) × (接眼レンズ倍率 : 10)

顕微鏡の観察倍率は、低い倍率で組織の全体の特徴を把握し、その後に微細な組織観察のために倍率を上げる。今回は、全ての試料に対して100倍と400倍で観察し、写真撮影も同倍率で行う。なお、可能ならば、試料の微細な球状セメンタイトなど

は、高倍率の1000倍で写真撮影をした方がよい。

5. 結果（考察）のまとめ方

5.1 顕微鏡組織の定性的説明……組織写真例参照

標準状態の試料は、図3の鉄-炭素系状態図に対応しており、組織中のフェライト α -Fe、パーライトP、セメンタイト θ -Fe₃Cなどについて、形態、存在状態、割合、色などを観察し、組織写真またはスケッチを用いて組織の説明をする。

熱処理後の試料は、焼入れ時のマルテンサイトMの形態や残留オーステナイト γ_R の割合、次に低温焼もどし時のマルテンサイトの分解していく状況および高温焼もどし時のセメンタイトの球状化の状況などを観察し、同様に組織写真の説明を行う。

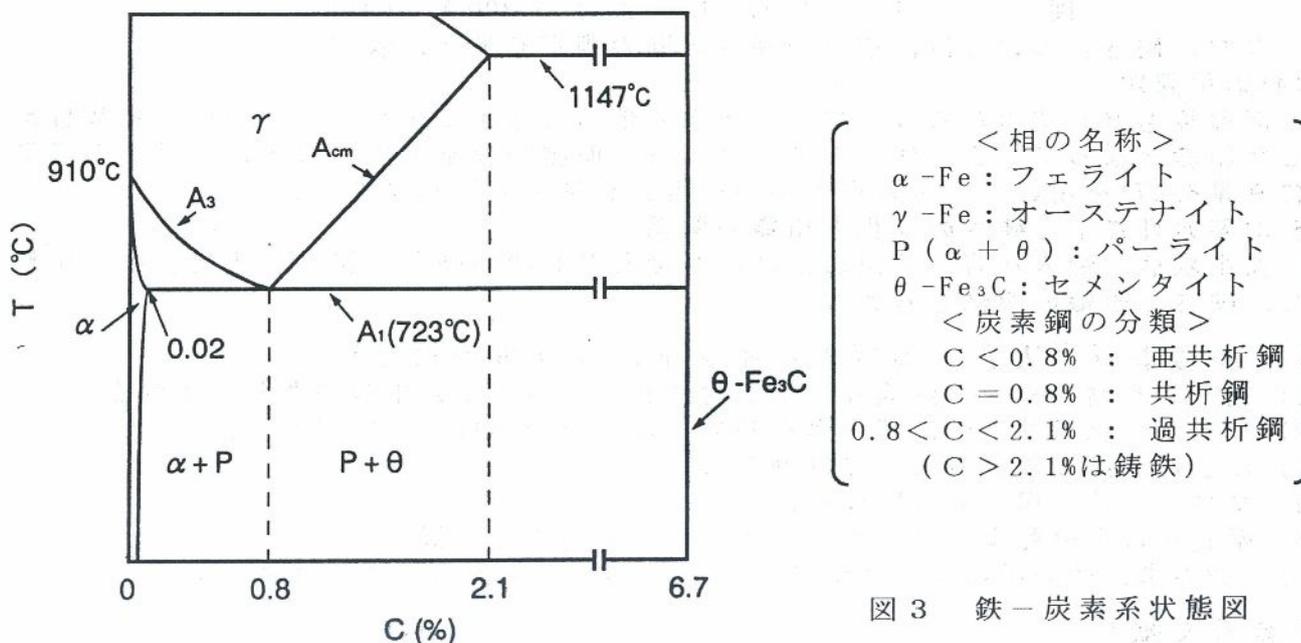


図3 鉄-炭素系状態図

5.1 顕微鏡組織の定量解析

(1) 亜共析鋼中のパーライトの面積割合の測定

標準状態の亜共析鋼S45Cの組織は、フェライト α とパーライトPの2相混合組織である。組織写真におけるPの面積割合 A_P の測定法としては、以下のようにいくつかの方法がある。

(a) 点算法……組織写真内に図4のようなグリッドの格子点を描く。Pの粒子のところにある格子点の数を X_P 、格子点の総数を X_T とすると、Pの面積割合は次式で近似される。

$$A_P = X_P / X_T$$

(b) 線分法……図4の横の水平線のように、組織写真内に5本以上のテストライン(水平線)を描く。ここでテストラインがPを横切った部分の長さの和を L_P 、テストラインの全長を L_T とすると、Pの面積割合は次式で近似される。

$$A_P = L_P / L_T$$

(c) 面積分析法……組織写真内のPの面積を面積計などの種々の方法で求める。近年、パーソナルコンピュータを用いた画像処理システムが開発されてきているが、画像処理を用いれば面積測定を高精度で簡便に行うことができる。

(2) 亜共析鋼の炭素含有量の導出

亜共析鋼は、 α とPの混合組織である。 α の炭素固溶量は非常に少なく(常温で

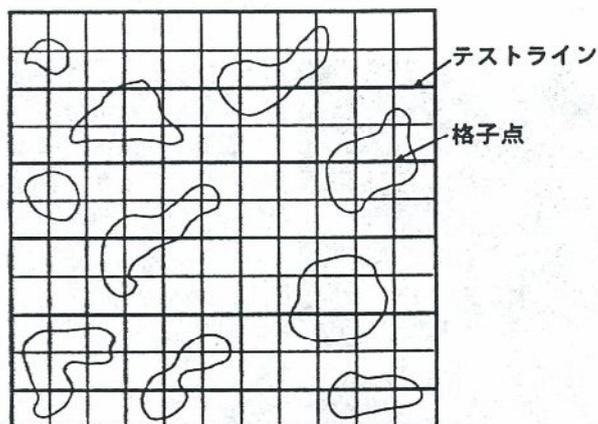


図4 点算法と線分法の説明図

約0.008%)，Pは共析点の0.8%の炭素を固溶している。したがって， α の炭素含有量を無視して，組織写真におけるPの面積割合を A_P とすると，亜共析鋼の平均炭素含有量は次式で求められる。

$$C\% = 0.8 \times A_P$$

求めた炭素含有量を，S45Cの炭素含有量約0.45%と比較する。

(3) 亜共析鋼の機械的性質の推定

α (純鉄) の引張強さを300MPa，伸びを40%，硬さをHv100とし，P (共析鋼) のそれらを各々900MPa，15%，Hv200とすると，亜共析鋼のこれらの機械的性質は，Pの面積割合 A_P から両材料を複合化したものとして次式で概算できる。

$$\text{引張強さ } \sigma_B = 300 \times (1 - A_P) + 900 A_P \text{ (MPa)}$$

$$\text{伸び } \delta = 40 \times (1 - A_P) + 15 A_P \text{ (\%)}$$

$$\text{硬さ } H = 100 \times (1 - A_P) + 200 A_P \text{ (Hv)}$$

なお，硬さについては，前述の硬さ試験の測定結果と比較する。

(4) 応用課題

高温焼もどし時の組織は，フェライト基地内に球状セメンタイトの粒が多数析出した組織となっている。球状セメンタイトの面積割合を求め，セメンタイトの炭素含有量6.67%を用いて，試料内の平均炭素含有量を導出しなさい。

5.3 熱処理による硬さの変化と組織の関係

標準状態，焼入れ時，低温および高温焼もどし時の硬さと組織の変化過程を比較し，硬さと組織の関係を考察する。

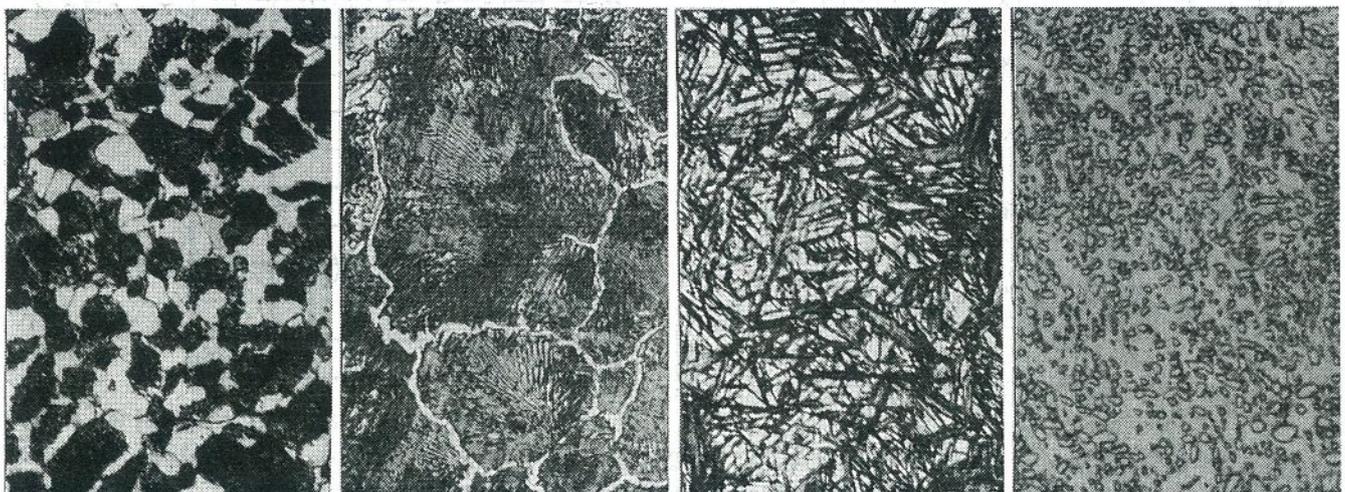
6. 参考事項 (実験・実習のポイント，注意事項など)

- (1) 電気炉や腐食液など危険な作業が含まれているので，十分注意して実験を行う。
- (2) エメリー紙研磨では，深い傷を初めの段階で十分取り除いておく。
- (3) 仕上げ研磨後の試料表面には触らない。
- (4) 腐食は，薄い腐食液で時間をかけて行うようにする。
- (5) 腐食後は十分乾燥させ，できるだけ早い時間で写真撮影を行う。
- (6) SK2の購入時の組織が球状セメンタイトの場合は，900℃の完全焼なましを行う。

[参考文献]

- 1) 日本金属学会編：講座・現代の金属学実験技術集(第7巻)材料検査法，日本金属学会 (1978)
- 2) 宮川大海，吉葉正行：よくわかる材料学，森北出版 (1993)

----- 組織写真例 (①～③；400倍，④；1000倍) -----



① S45C ($\alpha + P$)

② SK2 ($P + \theta$)

③ SK2 ($M + \gamma_R$)

④ SK2 ($\alpha + \text{球状 } \theta$)

(執筆署名) 安丸尚樹

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

金属の熱膨張を応用した器具にバイメタルスイッチなどがある。金属を利用するうえで、温度変化に伴う変形挙動を理解しておくことは重要である。本実験の目的は、蒸気発生器と組み合わせた簡便な線膨張率測定装置を用いて、金属材料の線膨張率を測定することである。

室温を基準にして試料の長さを計測する。その後、蒸気発生器からの蒸気を試料に当てて、試料の温度を上昇させる。その温度上昇に伴う微小な膨張量を球指で測定し金属の線膨張率 α を求める。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料など

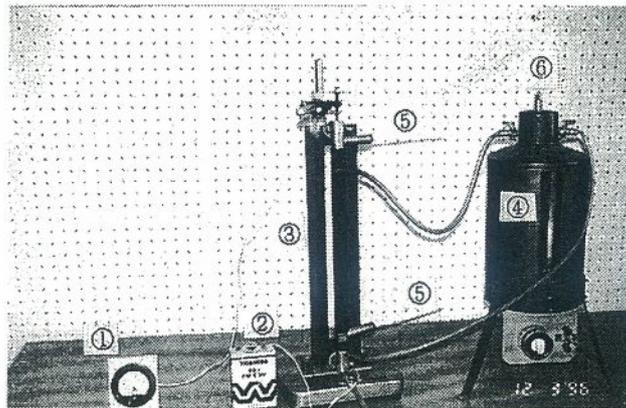
線膨張率測定装置、蒸気発生器、スケール、乾電池、電流計、ビニールコード、ロート、ビーカー、バケツ

試料：1)鉄、2)銅、3)アルミニウム、4)真鍮

3. 所用授業時間（講義：15 min., 実験・実習：120 min.）

4. 実験の方法

①電流計と電池を図1に示すように配線する。



- ①電流計
- ②乾電池
- ③線膨張率測定装置
- ④蒸気発生器
- ⑤温度計
- ⑥安全弁

図1 線膨張率測定装置と蒸気発生器

②線膨張率測定装置と蒸気発生器を、図1に示すようにゴム（シリコンゴム製）管でつなぐ。

③蒸気発生器のコック（測定装置に蒸気を送る側）を閉じる。

④蒸気発生器の電熱器のスイッチを“1”と表示された位置にまわして、電流を通ずる。

⑤試料の長さ L_0 (mm)を計測し、気温 T_L ($^{\circ}\text{C}$)を測定装置に取り付けた温度計で読む。その後、試料を測定装置の蒸気を通ずる管の中に立てる。このとき、試料の端が平らな方を上にし、管の上部を支えているリングについているネジをゆるめ、試料が上方に自由に膨張できるようにする。

⑥球指の中央のらせんの先端を試料上面に触れさせて、尺度を刻んだ柱、および円盤の目盛り M_L (mm)を読む(図2参照)。このとき、らせんの先が試料に触れたかどうかを確認するために、球指、試料および電流計を乾電池に直列につなぐ(図1参照)。そのためのターミナルは球指と蒸気を通ずる管の下部についている。終わったならば球指のらせんを上げて、試料との間を適当に開けておく。これは、加熱による試料の膨張を予想して、ゆとりをもたせるためである。

⑦蒸気発生器のコック(測定装置側)を開けて蒸気を試料に当て、試料の温度が上がるのを待つ。上下の温度計の示度が安定したならば、⑤と同様にして球指のらせん

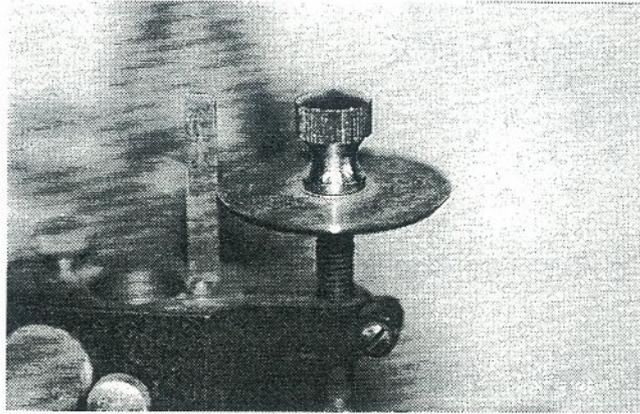


図2 目盛りを刻んだ柱(1目盛り:1mm)と円盤(1目盛り:0.01mm)

の先端を試料上面に触れさせ、電流計が振れるのを確認したうえで目盛り M_H (mm)を読み、同時に上下の温度計で試料の温度 T_H ($^{\circ}\text{C}$)を読む。

- ⑧測定が終了してから、安全弁(蒸気発生装置のいちばん上の部分にある)を外し、蒸気を送る方のコックを開け、ゴム管にロートをはめ、印をつけた水位まで水を補充する。

5. 結果のまとめ方

線膨張率の計算

線膨張率(α)を温度変化(ΔT)、試料の長さ(L_0)、長さの変化(ΔL)から次式を用いて計算によって求める。

$$\alpha = \Delta L / L_0 \cdot \Delta T$$

ここで、 $\Delta T = T_H - T_L$

$$\Delta L = M_H - M_L$$

である。

6. 参考事項(実験・実習のポイント、注意事項など)

測定上の留意点

- 1)単純な装置を使った実験だが、注意深く行えば良い精度のデータが得られるので、手順を正確に行うように注意する。
- 2)尺度を刻んだ柱の1目盛が1mmに対応し、円盤の周囲には100目盛りが刻んである。この円盤が1周すると、円盤の上面は1mm上下する。したがって、円盤の周囲に刻まれた1目盛りは0.01mmに対応している(図2参照)。

(執筆者名) 那須 稔雄

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

鋼の焼入れの基本原理である格子変態を，鉄線への通電加熱および冷却の際に長さが急激に変化する現象として観察することを目的とする。

原理として，鉄が格子変態をする際の体積および長さの変化を計算する。結晶構造モデルなどの利用も考慮して，格子変態の前後で原子間距離（原子の大きさ）が変化しない場合について計算し，ついで実際の鉄の格子変態時の体積および長さの変化量を示す。

観察としては，装置の調整，実験および観察であるが，ここでは装置製作の概要と実験の要点，留意事項などについても述べる。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

観察装置の製作に必要な設備・工具など：金切り弓のこ盤（手のこでも可），旋盤，ボール盤，けがき用具

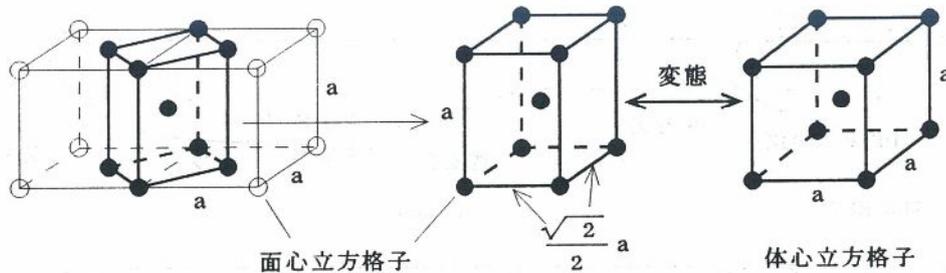
観察装置の製作，実験，観察に用いる材料：装置の製作と調整の項以下で示したが，一定の機能を満たせばかなり自由に選んでよい。

3. 所要授業時間（講義：30 min.，実験・実習：60 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 原理

鋼の焼入れの基本原理は，鉄が固体状態で温度により結晶構造が変化する，すなわち格子変態（同素変態）することである。熔融状態の鉄を冷却すると，1538℃で凝固し δ 鉄（体心立方格子）となり，温度が1410℃まで下がると δ 鉄から γ 鉄（面心立方格子）に，さらに911℃まで下がると γ 鉄から α 鉄（体心立方格子）へ変態する。また逆に，常温から温度を上昇させると，上記と反対の変化をたどり格子変態する。この格子変態は，それぞれの温度で安定な結合様式，すなわち電子の分布が異なるために起こる。変態による結晶構造の変化の様子を下図に模式的に示す。



鉄の格子変態における結晶構造の変化

鋼の焼入れでは γ 鉄から α 鉄へ変態がおこる。図では面心立方格子より，各辺の長さが $(\sqrt{2} a / 2) \times (\sqrt{2} a / 2) \times a$ の体心正方格子の部分抜き出し，それが一辺の長さ a の体心立方格子へ変化したとして，変態前後の原子の対応をつけている。

γ 鉄から α 鉄への格子変態に伴う体積の変化は，両結晶格子ともそれに含まれる原子の数がどちらも4個となるように，面心立方格子の1単位格子と体心立方格子の2単位格子を比較して，

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V_\gamma} &= \frac{2V_\alpha - V_\gamma}{V_\gamma} \\ &= \frac{2 \times \left(\frac{2\sqrt{3}}{3} d\right)^3 - (\sqrt{2} d)^3}{(\sqrt{2} d)^3} \\ &= 0.088\% \end{aligned}$$

長さの変化は、 $(1 + \frac{\Delta L}{L_\gamma})^3 = 1 + \frac{\Delta V}{V_\gamma}$ より、

$$\frac{\Delta L}{L_\gamma} = \sqrt[3]{1 + 0.089} - 1$$

$$= 0.029$$

ただし、 d = 原子間距離 (= 原子の直径 : 変態の前後で変化しないと仮定)

$$V_\alpha = \alpha \text{鉄の単位格子の体積} (= a^3 : a = \frac{2\sqrt{3}}{3} d)$$

$$V_\gamma = \gamma \text{鉄の単位格子の体積} (= a^3 : a = \sqrt{2} d)$$

なお、面心立方格子と体心立方格子の格子定数はどちらも a で表すが、上に示したように両者は異なる値を示している。

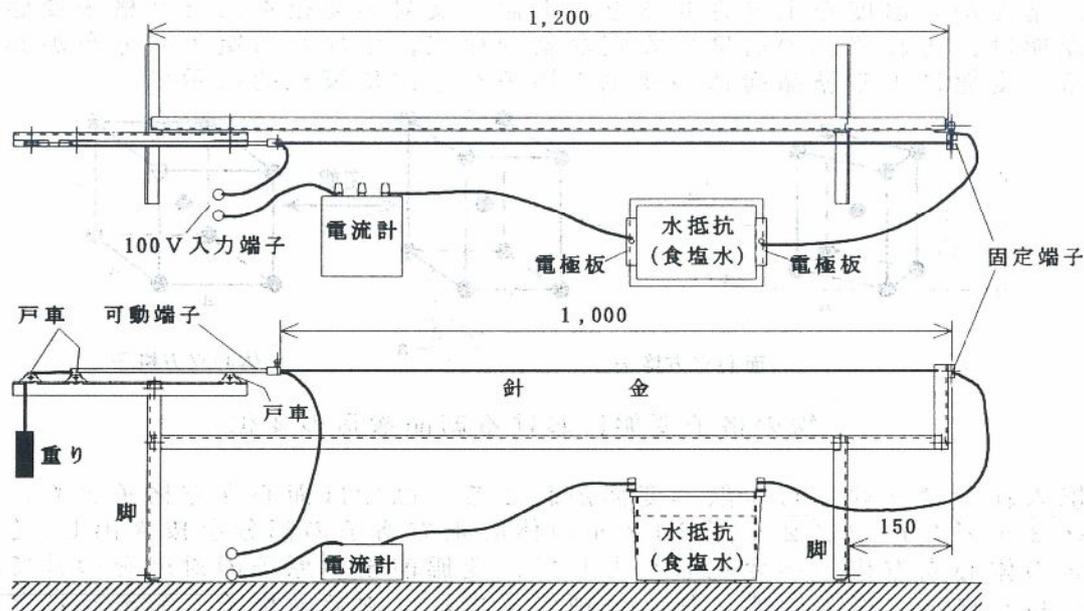
すなわち、 γ 鉄から α 鉄への変態では、変態の前後で原子間距離(原子の直径)が変化しないと仮定すると、体積変化が約 8.9%の膨張で、長さの変化では約 2.9%伸びることになる。この変化は不連続的に急激におこる。

実際の鉄では、変態により γ 鉄(面心立方格子)の原子半径が 1.292 Å から α 鉄(体心立方格子)の原子半径 1.258 Å へと変化することが知られている²⁾。そうすると、実際の格子変態では、体積変化は約 0.82%の膨張、長さの変化では約 0.27%の伸びがおこることになる。

また逆に、加熱による α 鉄から γ 鉄への変態では、原子の大きさが変化しないと仮定したときは、体積変化で約 8.1%の収縮、長さの変化では約 2.8%縮むことになる。また、実際の鉄では約 0.81%の収縮で、長さとしては0.28%縮むことになる。

4.2 装置の製作と調整

下図に鉄線の格子変態時の長さの変化を観察する装置の概略を示す。



装置概略図

機能を満たせば材料、構造などは比較的自由に選べるが、ここでは製作した装置について説明する。フレーム(骨組み)は25×25×2.5の等辺山形鋼を用いた。

固定端子は、角12mmで長さを30mmに切り出したアクリル樹脂ブロックに穴をあけ、M5長さ40mmの小ねじを差し込んで六角ナットで止めたもので、その外側のねじにはさらに導線を巻き付け、六角ナットで止めておく。アクリル樹脂ブロックは、フレーム部と導線を絶縁できる位置に穴をあけ、フレーム部にねじ止めする。実験のときは一番外側に針金を蝶ナットで止める。ナットで止めるとき平座金を用いる。

可動端子は、 $\phi 8$ の黄銅丸棒に穴をあけ、針金と導線を一緒にねじ止めした端子をつくり、水平移動を助けるために $\phi 6$ で長さ300mmのステンレス鋼丸棒（水平棒を、黄銅の端子にねじ込んで取り付けている。水平棒を戸車（車がプラスチック製）2個で支え、水平棒の端子と反対側に糸を結び、張力をかけるためにもう一つの戸車を滑車として使用し、糸を通してから糸の先端に重りをつける。太さ0.70mmで長さ約1000mmの亜鉛めっき鉄線を用いる場合には、重りは50~75gが適当で、それより重いと電源を切って冷却し収縮したときに永久変形が残る。可動端子部の丸棒を支える戸車が金属製の場合には、端子と水平棒の間にプラスチックの棒をはさんでフレーム部と絶縁する。

可動端子が移動する付近の適当なところに、物差しを針金と平行になるように台に金具を介して取り付け、端子部か丸棒部の適当な部分に細く短い線材を指示針として取り付ける。指示針の先端部をとがらせて物差しの目盛りの上にくるように調整すれば、針金の急激な伸び縮みがよりはっきりと観察できる。

通電に際して直接100Vの電圧をかけると、針金だけでは抵抗が小さすぎるので、濃度約1%の食塩水を水抵抗として用いる。水抵抗の容器として中型のプラスチック製小動物飼育用容器が適している。電極板の材質は、ステンレス鋼でもアルミニウムでも使用できる。水抵抗の容器の大きさ、食塩水の量、電極の材質、電極間の距離、電極板の水につかる面積などは予備実験を行って求める。電流計は、予備実験による最初の条件設定には必要であるが、以後ははずしてもよい。概略の条件としては、太さが0.70mmで長さ約1000mmの亜鉛めっき鉄線を用いる場合には、電源をつないだ瞬間に15~16Aくらいまで振れ、針金が加熱されて電気抵抗が増したときに11A程度流れるように条件を決める。

水抵抗の電極板の一方に回路と絶縁できるつまみを取り付け、その電極を水面より出した状態で電源を入れ、つまみをつかんで電極板をゆっくり出し入れして通電速度を調節すると、上に述べた条件設定はほとんど不要になり、また変態時の伸縮の様子は加熱時、冷却時ともはっきりと観察できる。

4.3 通電と観察

太さ0.70mmの針金を長さ1030mm程度に切り取り、固定端子と可動端子の間が約1000mmになるように、はじめに固定端子のねじに巻き付け、蝶ナットで締め付ける。次に可動端子部の針金の端と導線の先端を一緒に黄銅の端子の穴に入れ、ねじで締め付けて止める。針金は大きく曲がったりねじれていない部分を用いる。

1回目の通電は、表面に被覆してある亜鉛(Zn)を燃焼させて除き、同時に針金のひずみを取ってまっすぐにするために行う。

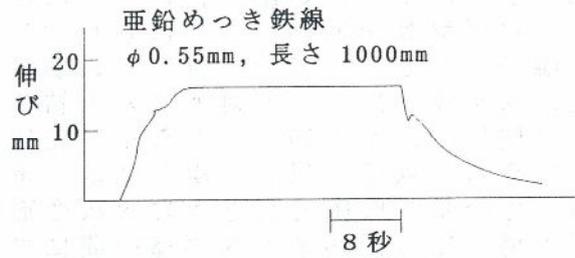
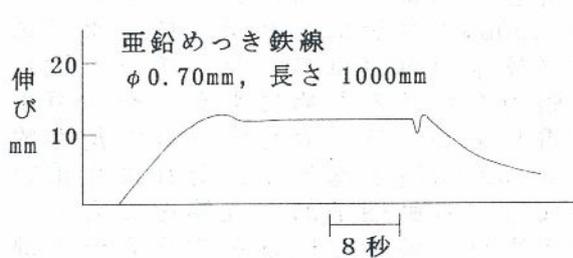
2回目以降から針金の伸びの変化を観察する。100Vの電源に接続して通電すると針金がジュール熱により加熱されて、連続的に伸びながらしだいに赤熱してくる。直接100Vの電源に接続して通電した場合は、加熱速度が速いために変態点での急激な収縮はほとんど観察できない。上に述べた条件に設定してあれば、電流値が一定の値に落ちついて伸びも止まる。電源のスイッチを切ると針金は冷却しながら連続的に収縮するが、途中で急激な伸びが観察され、その後連続的に収縮して元の長さに戻る。

針金の長さが1000mmの場合、2mmよりは大きい急激な伸び縮みの変化が生じている様子が見られる。1本の針金で6~7回通電して観察でき、焼き切れて終了となるが、その際にも特に危険はない。保管時に急激に曲がったり、ねじれていたりした針金ではその箇所での発熱が著しく、変化もほとんど観察できないで2~3回で焼き切れてしまう。針金を装置にセットする際にねじらないように注意する。

この装置は肉眼観察専用であるが、伸びの変化の様子を自動記録できる装置¹⁾を用いて得た結果を以下に示す。この場合は100Vに直接接続して通電した結果である。

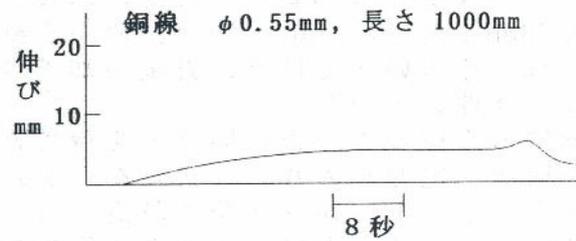
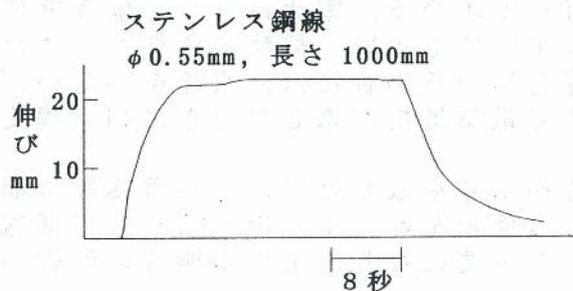
加熱速度が速いために、加熱時の急激な収縮は観察されない。太さが0.55mmの亜鉛めっき鉄線では、針金の全体の伸びがやや大きくなっており、伸び縮みの様子が異なるのは冷却速度の違いと思われる。

なお、固体状態で格子変態をおこさない金属や合金についても実験し、鉄の場合と比較してみるのが望ましい。下にステンレス鋼線および銅線の例を示す。ステンレス鋼線で太さ0.55mmの場合には、鉄線よりも全体の伸びがやや大きく、当然である



格子変態時の鉄線の急激な伸び縮み

が格子変態による急激な伸び縮みは生じない。太さが0.55mmの黄銅線，銅線でも実験できるが，水抵抗の電極板の一方をゆっくり入れて通電し，針金が赤くなってきたら適当なところで持ち上げて電源を切るようにする。アルミニウム線では，赤くなったときは融点を超えることになるので，電源を切るタイミングがさらに難しい。銅線，アルミニウム線で太さが0.7mmになると，通電の途中でブレーカーが働いて切れてしまう場合がある（20A以上流れる）。



格子変態を起こさない金属線の加熱冷却による伸び縮み

装置としては可動端子を水平移動させる以外に，針金を垂直に吊るす形式および両端を固定して通電する形式も可能である。

吊るす形式では，針金が垂直に垂れるように，可動端子とそこへつなぐ導線，重りに配慮しなければならないが，可動端子部の水平移動を支える部分が不要になるので装置としては簡単になる。熱膨張による伸び縮みと，格子変態に伴う急激な伸び縮みは観察できるが，針金が焼き切れて落ちるときに体に接触しそうになり危険を感じる。

針金の両端を固定する形式では，装置製作は非常に簡単になる。しかし，針金の伸び縮みでは，熱膨張に伴い下向きにカーブして伸び，格子変態に伴って急激な伸び縮みがおこるときに，カーブした部分が上下に振動する。格子変態をおこさない金属や合金では，通電するとカーブして，電気を切ると静かに元に戻る。鉄と格子変態をおこさない金属を比較して伸び縮みを観察させれば，原理を理解させられると思うが説得力に乏しいと考える。

5. 結果（考察）のまとめ方

実験および資料の調査より，鋼の焼入れの原理についてまとめる。

6. 参考事項（実験・実習のポイント，注意事項など）

通電して針金が伸び始めるとき針金がたわまないように，戸車の動きがなめらかなるように調整する。加熱，冷却の速さをなるべく遅くなるように操作する。

【参考文献】

- 1) 平瀬志朗：金属加工教材の作製，日本産業技術教育学会誌，17号(1975)
- 2) VAN VLACK：ELEMENTS OF MATERIALS SCIENCE(邦訳：材料科学要論，アグネ，1966)
(執筆者名) 平瀬志朗

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

中学校で使用されている技術・家庭科の教科書の「金属加工」領域には、板金加工を用いた教材の例が示され、その設計に関する記述がなされている。その章には、「構造の研究をしよう」の項目があり、板金構造の補強効果の記述がなされている¹⁾。

その一例を、右図に示す。この教科書中の説明として、「同じ寸法の板材の形を工夫して、丈夫さの違いを比較してみよう」となっている。

しかしながら、この図中(a)～(e)の強度を比較する方法が明確にされていない。

本テーマでは、板金に種々の折り曲げ加工を行って、丈夫な構造にすることを考えさせる。特に、図1(c)に示されている板材の両端を、折り曲げて、門型の断面の試験片を製作し、この折り曲げ代の高さを大きくすることにより、板材の曲げ強度が、著しく増加する。これを、「高さの効果」と位置づけ、この理論的な根拠を明確にするとともに、図1(c)の曲がり代が大きくなると、なぜ「丈夫さ」が増加するかを、中学生にも理解できるような形で説明する。

そこで、まず最初に、この板金の折り曲げ強度を材料力学の計算によって求め、次に実験によって検証する。これによって、感覚的な強度の概念を理論的なものとし、製品の設計思想の確立を図るとともに、構造設計の概念を理解させることを目的としている。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

2.1 強度計算として

関数電卓、材料力学の教科書、定規、BASIC言語のプログラム指導書、BASIC言語のプログラムを処理する能力のあるパーソナルコンピューター

2.2 構造強度実験として

0.3mm程度の薄板金、切断機、正確な折り曲げ機、ノギス、マイクロメーター、鋼尺、試験片支持台、ダイヤルゲージ、質量1kgから10kgまで、100gずつ変化させることのできる重り、荷重装置

3. 所要授業時間（講義：150min.，実験・実習：300min.）

材料と方法

- ①厚さ0.1～0.3mmの同じ大きさの板材から、図のような形の試験片をつくる（はがきなどの紙でもよい）。
- ②適当なおもりをくふうし、試験片のたわみから、じょうぶさを比較する。

考察

- ①(a)を2枚重ねたものと(b)では、どちらがじょうぶか。
- ②(c)がじょうぶな構造である理由を(c)から説明してみよう。

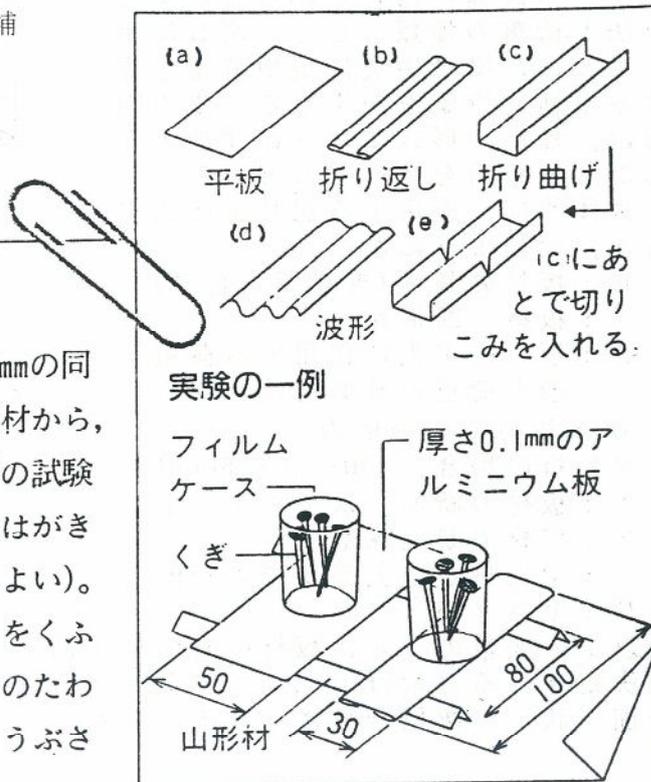


図1 丈夫さの工夫

4. 実験 実習) の方法

4.1 強度計算

薄い板金 (トタン板) を折り曲げて、種々の断面形状に加工した場合、著しくその破壊強度が増加する。しかし、その計算方法が確立されておらず、単に感覚的に強い弱い論じられてきた。そこで、本計算では種々の断面形状の破壊強度の計算方法を示す。本計算に用いられる梁の支持方法と荷重の種類として、図2に示すように、梁の中央に集中荷重を受ける単純支持梁を想定する。梁の断面は、種々の形式に折り曲げ加工された形の断面を持つものとする。

具体的に、使用する記号を記述すると、次のようになる。

L : 板材の長さ (支点間の長さ)

A : 板材の断面積

P : 板材の中央に作用する荷重
最大荷重が破壊荷重となる。

σ : 板材の引張応力

トタン板の場合、 $400 < \sigma < 500 \text{MPa}$

I : 板材の断面二次モーメント

Z : 板材の断面係数

e : 中立軸から表面までの距離

E : ヤング率

以上の変数のうち、板材の断面形状によって決定される変数は I, Z, e であり、これは断面形状から数値計算により決定される。

(1) $\sigma = M/Z$ を求める

図3のように梁を曲げた場合、梁のA'B'面の縦繊維は伸び、C'D'面の縦繊維は縮むので、断面内には伸縮しない縦繊維 m'n' がある。この伸縮しない面 m'n' を中立面といい、中立面と横断面との交線を中立軸という。中立軸の曲率半径を ρ とし、中立軸から y だけ離れたところのひずみを ε とすれば、垂直応力 σ は次式となる²⁾。

$$\sigma = E \varepsilon = E \frac{y}{\rho} \quad (1)$$

また、この応力は、作用するモーメント M を用いると次式となる。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E I} \quad (2) \quad \text{但し,} \quad I = \int_A y^2 dA \quad (3)$$

したがって、式②を式①に代入し、梁の上面 ($y = -e_2$)、下面 ($y = e_1$) の応力を求めると、最終的に次式となり、これより破壊荷重が求められる。

$$\sigma_1 = \frac{M}{Z_1}, \quad \sigma_2 = -\frac{M}{Z_2} \quad (4) \quad \text{ここで,} \quad Z_1 = \frac{I}{e_1}, \quad Z_2 = \frac{I}{e_2} \quad (5)$$

(2) $M = PL/4$ を求める

図2の長さ L の単純支持梁の中央に集中荷重 P を受ける際のモーメントは、次式となる。

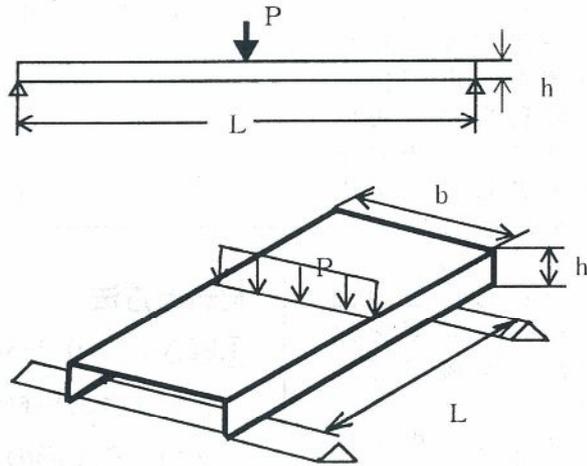


図2 支持方法と荷重条件

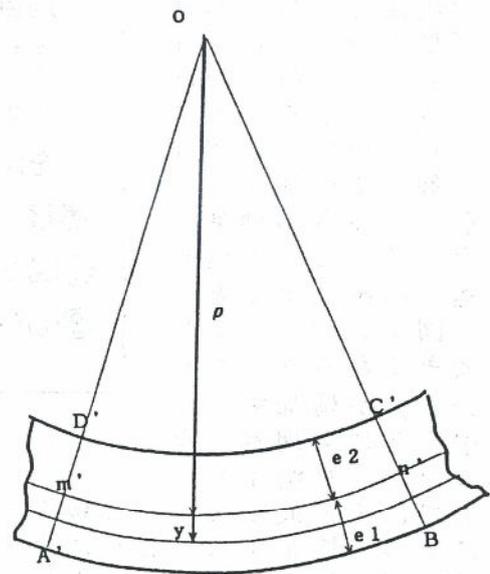


図3 梁の曲げ変形

$$M = \frac{P X}{2} \quad \text{⑥} \quad \text{ただし、} X \text{ は支持端からの距離を表す。}$$

したがって、最大モーメントは $X = L / 2$ の位置で生じ、その値は次式となる。

$$M_{\max} = \frac{P L}{4} \quad \text{⑦}$$

したがって、両端を支持された板材の中央に荷重をかけた、図1の「実験の一例」では、荷重をかけた位置で破壊がおきることがわかる。

(3) 断面二次モーメント I の決定

本テーマでは、板材の両端を縁折りした図1(c)の鉢置き台を設計する際の設計計算を想定して学習させる。そこで、図4のような薄板金で製作した門型試験片を対象にする。もちろん、任意断面形状でも同様な方法が成り立つ。

任意の直交軸 X, Y から図心までの距離を $\underline{X}, \underline{Y}$ とすれば、図心の位置を求める公式は次式となる。

$$\underline{X} = \frac{\int_A X dA}{A}, \quad \underline{Y} = \frac{\int_A Y dA}{A} \quad \text{⑧}$$

中立軸は、門型構造の図心を通るので、図4(a)のように門型断面に座標を取ると、門型の図心 (G_x, G_y) は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} G_x &= \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + x_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \\ G_y &= \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2 + y_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \end{aligned} \right\} \quad \text{⑨}$$

図心の y 座標を通る線が中立軸となる。この中立軸から、門型板材の上表面、あるいは下表面までの距離 e が求まり、これより断面二次モーメント I 、断面係数 Z が決定される。したがって、断面二次モーメントは次式より求められる。

$$I_1 = I_3 = \int_{-e_1}^{e_2} t y^2 dy = \frac{t}{3} (e_2^3 + e_1^3) \quad \text{⑩}$$

$$I_2 = \int_{e_3}^{e_2} (b - 2t) y^2 dy = \frac{(b - 2t)}{3} (e_2^3 - e_3^3) \quad \text{⑪}$$

したがって、断面二次モーメント I と、一番大きな e の値を用いた断面係数が求まる。

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad Z = \frac{I}{e_1} \quad \text{⑫}$$

最終的に、式④、⑦、⑫より破壊荷重は次式で求められる。

$$P = \frac{4 Z \sigma}{L} = \frac{4 \sigma I}{e_3 L} \quad \text{⑬}$$

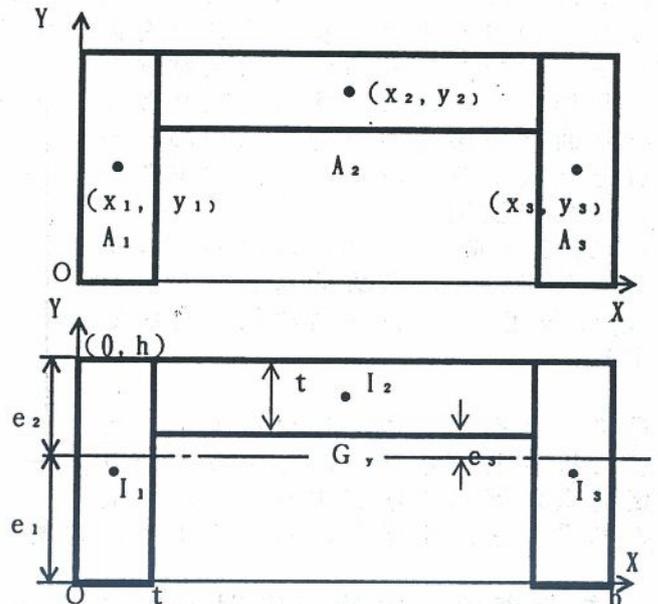


図4 門型板材の断面

4.2 実験の方法

図5のようにスパンが 300mm の単純支持状態を作る。そして、その中央部に荷重をかけていき、ダイヤルゲージの動きを参考にして、破壊荷重を調べる。荷重をかけると試験片がたわみ、その様子がダイヤルゲージを通してみることが出来る。ある程度の荷重がかかると、試験片はたわみ、ある値を指してゲージが止まる。止まったらさ

らに荷重を加え、たわみ量を大きくしていく。それを何回か繰り返すと、試験片は荷重に耐えきれずに折れ曲がる。そのときの値を破壊荷重とする。

5. 結果（考察）のまとめ方

具体的な数値を入れて、本実験の手法をまとめると、以下のようなになる。

- (1) $L = 300\text{mm}$, $t = 0.3\text{mm}$, $b = 70\text{mm}$, $h = 6 \sim 9\text{mm}$ の寸法値で、門型に縁折りされた板金(トタン板)で、その引張強度を400~500MPaとして破壊荷重を求める。この値は、表1に示す。
- (2) 次に、BASIC言語を用いて、プログラムを作成し、(1)の結果と一致することを確認する。
- (3) トタン板を折り曲げ、門型試験片を製作する。次に、簡易実験装置で折り曲げ破壊実験を行い、(1)の計算値と比較する。表1には、本実験を行った実験例を示す。
- (4) (2)で作成したBASIC言語のプログラムを用いて、破壊荷重 P を5~10 kgfに設定して、折り曲げ代 h を決定する。

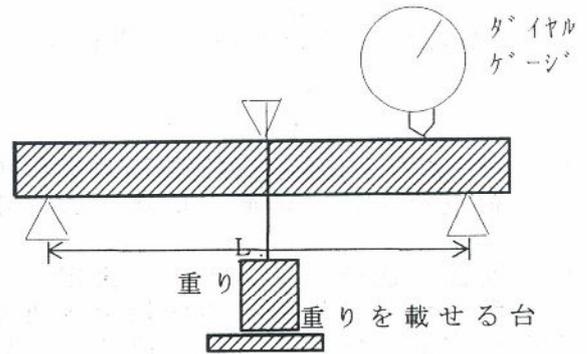


図5 実験装置

表1 計算結果と実験結果の対比の例

h(mm)	計算結果(kgf)	実験結果(kgf)
6	$3.5 < P < 4.4$	3.9
7	$4.8 < P < 6.0$	5.3
8	$6.3 < P < 7.8$	7.0
9	$7.9 < P < 9.9$	8.9

最後の考察として、板材を加工して門型に折り曲げると、高さが高くなり、破壊荷重が著しく増加する。この「高さの効果」を、中学生にわかるように説明する教材を考案する。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

板金の破壊荷重は折り曲げ代の高さが大きく影響し、1mmの違いで大きく値が変わってしまう。また、板金のたわみ量は、定規を用いて測定することは不可能である。しかし、ダイヤルゲージを用いて測定すると、そのたわみ量を正確に測定することができる。注意事項として、板金に荷重をかけるときは、ダイヤルゲージの針が完全に止まってからかけることが重要である。

[参考・引用文献]

- 1) 鈴木寿雄監修：技術・家庭（下），開隆堂（1993）
- 2) 柳沢，野田ほか：基礎材料力学，日新出版，65（1981）
- 3) 畑：応力・金属加工実験書，静岡大学テキスト（1996）

（執筆者名） 畑 俊 明

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

炭素鋼，アルミニウム合金，銅合金などの実用金属材料に対して，JIS に基づく引張試験および硬さ試験を行い，それらの機械的性質に関する知見を得るとともに，材料選定能力の向上を図る。それと同時に，試験片などの製作を行うことにより，精密切削加工の技術を身に付ける。ここでは，炭素鋼，アルミニウム合金および銅合金から1種類ずつの材料を与え，それらの中実丸棒から旋盤を使用してJIS に基づく引張試験片を製作する。製作した試験片の引張試験を行うとともに同一材料の硬さを測定し，引張強さ，伸び，硬さなどの試験結果を検討して，3種類の材料の材質を推定する。

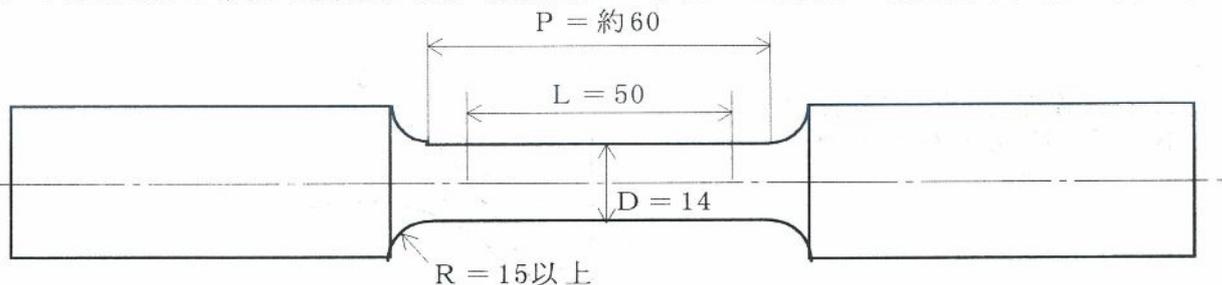
2. 必要な装置・工具・測定機器および材料

秤量100kN 以上の引張試験機または万能材料試験機，ブリネル硬さ計およびロックウェル硬さ計，読取顕微鏡，ノギス，ハイトゲージ，旋盤，ベルト研磨機，各種粒度の研磨ベルトおよび研磨布紙，金属材料（一般構造用圧延鋼材，機械構造用炭素鋼鋼材，銅合金，アルミニウム合金などの丸棒）

3. 引張試験方法

(1) 試験片の製作

炭素鋼，銅合金およびアルミニウム合金の丸棒を，旋盤を用いてJIS に規定される4号試験片の形状および寸法に仕上げる（図1参照）。肩部の切削は総形バイトを用いて行うが，平行部は仕上げ削り後研磨布で研磨し，表面に傷などが残らないよう注意する。製作した試験片の平行部に標点をつけ，標点間はさらに10等分して，5mm間隔の目盛をつける。引張試験を行う前に，試験片平行部の原断面積および標点間距離を測定する。原断面積は標点間の両端部および中央部の3カ所の断面積の平均値とする。標点距離は，読取顕微鏡を用いて1/100mmの精度で測定する。標点間につけた5mm間隔の目盛間も同様に測定する。



（P：平行部の長さ，L：標点距離，D：平行部の直径，R：肩部の半径）

図1 4号試験片

(2) 試験

引張試験機または万能材料試験機（秤量100kN）を用いて，JISに基づいて引張試験を行う。試験機のつかみ装置に試験片を取り付け，クロスヘッドをゆっくり上昇させ，試験片の軸方向に引張荷重を加える。試験中試験片には軸方向の荷重だけが加わるようにする。また，荷重を加える速度は均一であることが望ましく，その指定は応力増加率，ひずみ増加率，経過時間のいずれかの方法による。試験中，試験片に加わる荷重と伸び量の変化を測定するとともに，荷重－伸び線図を描く。特に，降伏点荷重，最大荷重，破断荷重は正確に測定する。試験終了後，試験片の破断面を突き合わせ，標点距離および標点間につけた目盛間を読取顕微鏡で測定し，さらにくびれ部分の直径を測定する。

(3) 数値の求め方

① 上降伏点，下降伏点，耐力，引張強さを次式によって求める。

上降伏点： σ_{su} (N/mm²) = F_{su} / A_0 ，下降伏点： σ_{sl} (N/mm²) = F_{sl} / A_0

耐力： $\sigma_{0.2}$ (N/mm²) = $F_{0.2} / A_0$ ，引張強さ： σ_B (N/mm²) = F_{MAX} / A_0

上降伏点および下降伏点は、試験片が降伏し始めた後の、荷重指針が一時停止するかまたは逆行する直前の最大荷重 $F_{su}(N)$ 、または、指針が一時停止または逆行した後一時停止する荷重 $F_{sl}(N)$ から求める。耐力は、荷重-伸び線図の0.2%の永久伸びに相当する伸び軸上の点から線図の直線部分に平行線を引き、これが線図と交わる点の荷重 $F_{0.2}(N)$ から、また引張強さは最大引張荷重 $F_{MAX}(N)$ から求める。 A_0 は試験片平行部の原断面積 (mm^2) である。

上降伏点、下降伏点、耐力および引張強さを算出するための荷重は、その大きさの0.5%まで測定する。また、降伏点、耐力および引張強さの数値は、JISによって整数に丸める。

②破断伸びは、 $\delta(\%) = (L - L_0) \times 100 / L_0$ によって算出する。

ここに、 L は試験片の両破断片の中心線が一直線上にあるように注意して破断面を突き合わせて測定した標点間の長さ(mm)、 L_0 は標点距離(mm)である。破断伸びの数値は、整数に丸める。ただし、試験片の破断位置が標点間の中心から標点距離の1/4を越え、標点以内で破断した場合には、標点間の中央で切断した場合の破断伸びの推定値を求める。

破断伸び推定値($\%$) = $(O_1A + 2AB - L_0) \times 100 / L_0$

ここに、 A は試験後、破断面を突き合わせて短い方の破断片上の標点(O_1)の破断位置に対する対称点に最も近い目盛、 B は長い方の破断片上の標点(O_2)と A との間の等分数を n とし、 n が偶数のときは A から O_2 の方向に $n/2$ 番目の目盛、 n が奇数のときは $(n-1)/2$ 番目の目盛と $(n+1)/2$ 番目の目盛の中心である。

③破断面を突き合わせて測定した各区間の長さから、各区間毎の伸びを算出する。

④絞りは、 $\phi(\%) = (A_0 - A) \times 100 / A_0$ によって算出する。

ここに、 A は試験片の破断面を突き合わせて測定した最小断面積 (mm^2)、 A_0 は原断面積 (mm^2) である。

⑤3種類の材料について、公称応力-ひずみ線図から図2に示す作図により、真応力-ひずみ線図を求める。また、 $\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon) = \ln(A_0/A)$ の関係を用いて真ひずみを求め、 $\sigma_t = K \epsilon_t$ の関係を両対数グラフにとって、加工硬化指数(ひずみ硬化指数) n 値を求める。

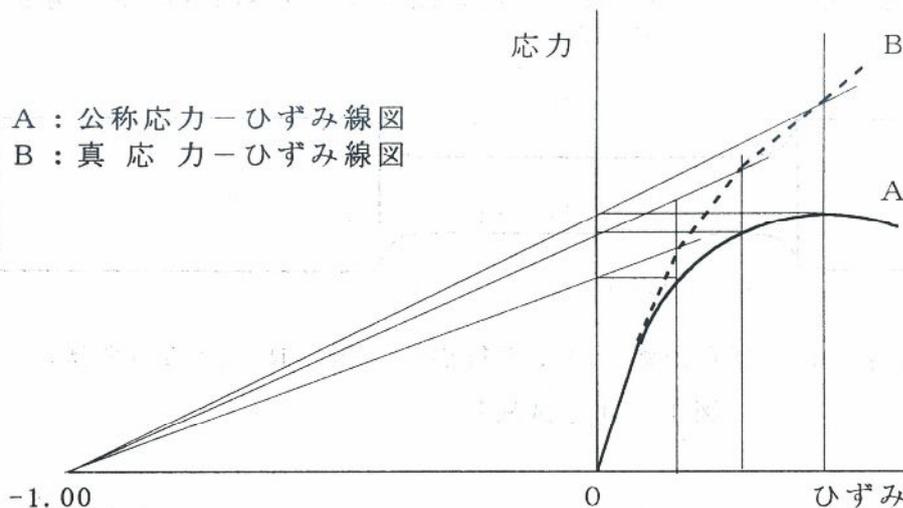


図2 作図による真応力-ひずみ線図の求め方

4. 硬さ試験方法

(1) 試料の製作

硬さ測定用試料は、引張試験片を製作した材料(炭素鋼、銅合金およびアルミニウム合金丸棒)から製作する。メタルソーで丸棒を約20mmの長さに切断し、旋盤で切削した端面を試験面とする。ロックウェル硬さを測定するためには、試験面を1 μ mまでのくぼみ深さが測定できる程度に仕上げる。そのため試験面は、ベルト研磨機および研磨紙による研磨を行う。#100の研磨ベルトで試験面を研磨した後、#240から#600までの研磨紙で仕上げ研磨を行う。

(2) ブリネル硬さ試験

①ブリネル硬さ

ブリネル硬さは、鋼球または超硬合金球の圧子を用い、試験面に球分のくぼみをつけたときの試験荷重とくぼみの表面積とから、次式によって算出した値である。

$$HB = F / S = 2 F / \{ \pi D (D - \sqrt{ D^2 - d^2 }) \}$$

ここに、F：試験荷重(N)，S：くぼみの表面積(mm²)，D：圧子の直径(mm)，d：くぼみの直径(mm)である。なお、鋼球圧子を用いて求めたブリネル硬さにはS，超硬合金球圧子を用いて求めたブリネル硬さにはWを付ける。また、硬さ数値には単位を付けない。

②試料

硬さ測定用試料の厚さは、一般にくぼみの深さhの8倍以上とする。くぼみの深さh mmは、 $h = (D - \sqrt{ D^2 - d^2 }) / 2 = F / \pi d \times HBS$ (またはHBW)で求められる。試験面の広さは、くぼみの中心間の距離は原則として4d以上、またくぼみの中心から試料の縁までの距離は原則として2.5d以上とする。試験面の仕上がりは、くぼみの直径の1%まで測定できる程度に滑らかで、その面にはスケール、異物、油膜などが残らないようにする。試験面の仕上げは、硬さの変化ができるだけ小さい方法で行なう。

③試験

試験機の圧子は、荷重を加えた方向とこれに直角な方向との直径の差が0.01mmを超えた場合には使用しない。特に硬い材料の試験に用いた後は、圧子の変形に注意する。HB320を超える硬さの試料には、できるだけ超硬合金球圧子を用いる。鋼球圧子はHB450を超える試料に、超硬合金球はHB650を超える試料には使用しない。圧子の直径と試験荷重は、表1の組合せから選ぶが、くぼみの直径が0.20~0.60Dの範囲となる組合せが適当である。

試料は、試験面が圧子取付軸に垂直になるように置き、荷重の負荷中に移動しないように支持する。試験荷重は、圧子に試験面を接触させた後に、衝撃や振動を伴うことのないようにして、2~8sで規定の荷重に達するように加える。規定の試験荷重を保つ時間は、特に指定のない限り10~15sとする。試験は一般に10~35℃の室内で行い、必要があれば試験温度を記録する。試験荷重を除去した後、くぼみの直径を互いに直角な2方向について測定し、読取顕微鏡で0.01mmまで読み取る。硬さ値は、くぼみの2方向の直径の測定値の平均値を用いて算出し、その数値が50を超える場合には整数に、また50以下の場合には小数点以下第1位に丸める。ブリネル硬さは、試験条件に応じて表1に示す硬さ記号を用いて、硬さ記号、硬さ値の順に表示する。

表1 圧子の直径と試験荷重の組合せ

圧子 D mm	試験荷重 F kN(kgf)	硬さ記号	参考(適用材料)
10	29.42 (3000)	HBS(HBW)(10/3000)	鋼, 鋳鉄 (>140)
5	7.355 (750)	HBS(HBW)(5/750)	銅・銅合金 (>200)
10	14.71 (1500)	HBS(HBW)(10/1500)	
10	9.807(1000)	HBS(HBW)(10/1000)	鋳鉄(<140), 銅・銅合金(35-200), 軽金属・合金
10	4.903(500)	HBS(HBW)(10/500)	銅・銅合金 (<35), 軽金属・合金

(3) ロックウェル硬さ試験

①ロックウェル硬さ

ダイヤモンド圧子または鋼球圧子を用いて、最初基準荷重を加えた後試験荷重を加え、再び基準荷重に戻したときの、圧子の侵入深さの差hから表2の硬さ(HR)の定義式によって求めた値で、基準荷重が98.07Nのときがロックウェル硬さである。ロックウェル硬さ試験における圧子の種類、試験荷重および硬さの定義式の組み合わせをスケールといい、表2のように記号を付ける。

②試料

試料の試験面とその裏面は平面で、互いに平行に仕上げる。試験面と裏面は滑らかで、清浄でなければならない。試料の厚さは圧子の侵入深さの差hの10倍以上とする。硬さを測定するくぼみの中心間の距離は、4d以上(dはくぼみの直径)、くぼみの中心から試料の縁までの距離は2.5d以上とする。

③ 試 験

試料は試験面が圧子取付軸に垂直になるように置く。基準荷重を負荷するための圧子軸の押し上げ位置は、その位置の範囲が指定されている試験機ではその指定に従い、指定されていない試験機では、基準位置（通常硬さ指示装置の指針が真上の位置）に対して硬さの単位で±5とする。試験荷重の負荷速度および荷重保持時間は、硬さ基準片(JISB7730)の硬さ試験をしたとき、硬さ値が総合誤差の許容値以内(JISB7726)で、基準硬さ値に一致するような組合せとする。負荷速度を調整する場合は、硬さがおよそHRC60の試料のC硬さ試験を行ったとき、試験荷重負荷時の圧子の押し込み所要時間を2～3sにするか、試料がない状態で980.7N(100kgf)の試験荷重の負荷操作を行ったとき、負荷動作時間を4～5sにする。荷重保持時間は硬さにより異なるが、試験荷重の負荷速度を調整したときは、一般に2～6sとなる。負荷操作中は、圧子に衝撃や振動が加わらないようにし、荷重は円滑に増減させる。試験は10～35℃の温度範囲で行い、必要があれば試験温度を記録する。

硬さ値は、試験荷重を除荷して再び基準荷重とし、硬さ指示装置の指示を硬さの単位で0.2以下まで読み取る。硬さ値は特に指定のない限り、整数に丸める。ただし、A、CおよびNスケールの硬さ値は、硬さ値50以上の場合には、小数第1位を2捨3入によって0.5単位に丸める。

表2 硬さのスケールとその内容（抜粋）

スケール	圧 子	試験荷重(N)	硬さの定義式	適用硬さ(参考)
A	先端の曲率半径0.2mm のダイヤモンド円錐	588.4(60)	HR=100-(h/2)	40～95
C		1471.0(150)		0～70
F	直径1.5875mmの鋼球 または超硬合金球	588.4(60)	HR=130-(h/2)	0～100
B		980.7(100)		
G		1471.0(150)		

注) 試験荷重の()内の数値はkgf、定義式のhの単位はμmである。

5. 結果のまとめ方と考察

(1) 引張試験結果

試験片の製作方法、引張試験方法および3種類の材料の引張強さ、降伏点または耐力、破断伸び（推定伸び）、区間伸びの分布、絞りの値を整理する。さらに、試験時に得られた荷重－伸び線図（公称応力－ひずみ線図）を基にして、作図により真応力－ひずみ線図および真応力－真ひずみ線図（両対数グラフ）を描き、加工硬化指数（ひずみ硬化指数）を求める。

(2) 硬さ試験結果

硬さ試験用試料の製作方法および硬さ試験方法をまとめ、測定結果を基にして、各材料のブリネル硬さおよびロックウェル硬さを求める。また、硬さ換算表により、求めた硬さ値を比較検討する。

(3) 考 察

- ① 試験結果を基にして、3種類の材料の機械的性質の特徴を考察し、材質を推定する。
- ② 炭素鋼（軟鋼）の降伏点において、材料内部がどのような状態にあるか考察する。
- ③ 加工硬化指数n値の大きさは、材質とどのような関係にあるか考察する。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

- ・ 所要授業時間（講義：90min.，実験・実習：450～540min.）
- ・ 実験・実習中の作業安全に留意する。

[参考文献]

- 1) 日本工業規格：JISZ2201（金属材料引張試験片），JISZ2241（金属材料引張試験方法）JISZ2243（ブリネル硬さ試験方法），JISZ2245（ロックウェル硬さ試験方法）など
- 2) 日本材料学会編：機械材料学，日本材料学会(1994)
- 3) 須藤 一：材料試験法，内田老鶴圃(1983)
- 4) 矢島・市川・古沢：若い技術者のための機械・金属材料，丸善(1990)

（執筆者名） 山 名 忠

1. 本題材の目的と概要

(目的) 鋼の硬さ、引張り強さ、伸び、絞りおよび熱処理の影響を理解するとともに、これらの性質が鋼の種類により変化することを実験を通して確かめ、知見を深めることを目的とする。

(概要) 鋼の性質に及ぼす熱処理の影響は極めて大きい。本題材では、工業分野および日常生活に使用されている機械構造用炭素鋼、炭素工具鋼、合金工具鋼を供試材とした。これら鋼材を熱処理用試験片に加工後、 $780\sim 950^{\circ}\text{C}\times 1$ 時間加熱した後、焼入れする。焼入れ後、 $100\sim 700^{\circ}\text{C}\times 1$ 時間焼もどしして硬さを測定する。硬さ測定結果より次のことがわかる。1) 焼もどし温度の増加とともに、硬さは低下する傾向にあるが、炭素量の少ない鋼ほど、焼もどし硬さが低い。2) モリブデン (Mo) を含む合金工具鋼は 500°C 付近で二次硬化する。

機械構造用炭素鋼 (炭素量0.1%, 0.5%) を圧延状態のまま、焼なまし、焼入れおよび焼もどしの熱処理を施した後、引張り試験を行い、引張り強さ、伸び、絞りおよび鋼の炭素量、熱処理後の組織の影響を確認する。

鋼の代表的な組織を確認するために、鋼を焼なまし、焼入れおよび焼もどしの熱処理を行った後で、研磨し、腐食した後、光学顕微鏡で写真撮影し、フェライト、パーライト、マルテンサイトなどの代表的な鋼の組織について学習する。

2. 必要な装置、工具、測定器具および材料

(装置) 電気炉、旋盤、水冷式金属切断機、万能引張り試験機、平面研削盤

(工具) けがき針、トースカン、ハイトゲージ

(測定器具) ノギス、マイクロメーター

(材料) 20mmの機械構造用炭素鋼 (JIS規格, S10C, S35C, S50C), 炭素工具鋼 (SK5), 合金工具鋼 (SKD11, SKD12), クロムモリブデン鋼 (SCM440), エメリー紙 (目の粗さ100番~3000番), けがき用速乾塗料

3. 所要授業時間 (講義: 60 min., 実験・実習: 900 min.)

4. 実験の方法

4.1 熱処理実験

(試料の準備)

(1) $\phi 20$ の機械構造用炭素鋼、炭素工具鋼、合金工具鋼、クロムモリブデン鋼を図1に示すように $\phi 20\times t 7$ の円形の大きさに水冷式金属切断機を用いて切断する。このような半円形試験片を試料1種類につき12個準備する。

(2) 水冷式平面研削盤を用いて、試験片の上面と下面が平行となるように研削加工する。さらに、これらを図1に示すように中心にそって二分分割し、半円形の試験片とする。

(3) 試料の片面に、試料の組成と熱処理条件を区別するためのマーカー (刻印) を打つ。例えば、表1のような刻印を数字で打つ。

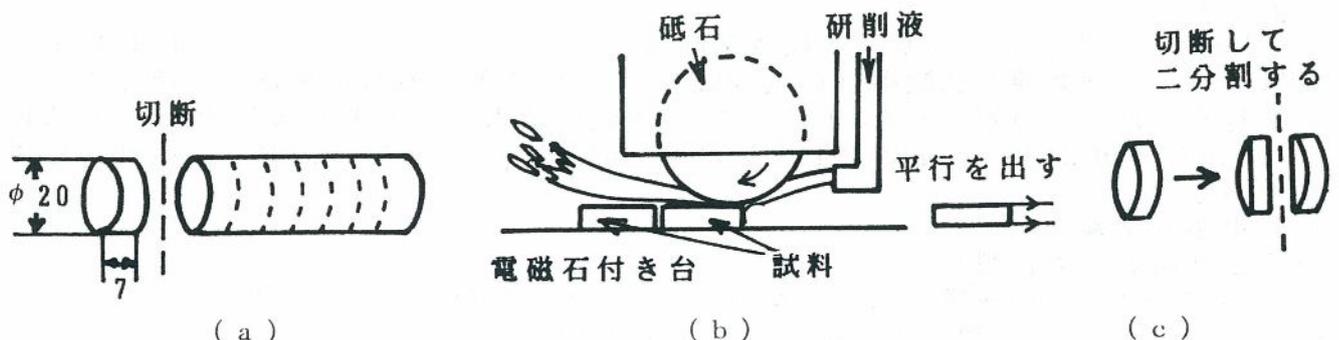


図1 熱処理-硬さ測定試料の加工方法

表1 試料の組成および熱処理条件と刻印の数字

	圧延の まま	焼入れの まま	100℃ 焼もどし	200℃ 〃	300℃ 〃	400℃ 〃	450℃ 〃	500℃ 〃	550℃ 〃
S10C	100	101	102	103	104	105	106	107	108
S35C	200	201	202	203	204	205	206	207	208
S50C	300	301	302	303	304	305	306	307	308
SK5	400	401	402	403	404	405	406	407	408
SCM440	500	501	502	503	504	505	506	507	508
SKD11	600	601	602	603	604	605	606	607	608
SKD12	700	701	702	703	704	705	706	707	708
	600℃ 焼もどし	650℃ 〃	700℃ 〃						
S10C	109	110	111	(950℃×1hr水冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
S35C	209	210	211	(890℃×1hr水冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
S50C	309	310	311	(850℃×1hr水冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
SK5	409	410	411	(780℃×1hr水冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
SCM440	509	510	511	(850℃×1hr油冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
SKD11	609	610	611	(1025℃×1hr空冷後, 各温度で1hr焼もどす)					
SKD12	709	710	711	(950℃×1hr空冷後, 各温度で1hr焼もどす)					

(4) (熱処理-焼入れ) 電気炉の温度を上げ, 1種類につき11個の試験片を電気炉に入れ所定時間加熱後, 焼入れする。加熱および焼入れの条件は以下の通りである。水冷の場合は水中に氷を入れ, 水温が5℃以下となるようにする。なお, 空冷で十分に焼きが入る鋼は空冷する。

- ①機械構造用炭素鋼 (S10C) : 950℃×1hr水冷
- ② 〃 〃 (S35C) : 890℃×1hr水冷
- ③ 〃 〃 (S50C) : 850℃×1hr水冷
- ④炭素工具鋼 (SK5) : 780℃×1hr水冷
- ⑤クロムモリブデン鋼 (SCM440) : 850℃×1hr水冷
- ⑥合金工具鋼 (SKD11) : 1025℃×1hr空冷
- ⑦ 〃 〃 (SKD12) : 950℃×1hr空冷

(5) (熱処理-焼もどし) 焼入れた試料を, 以下の焼もどし条件で焼もどし, 空冷する。なお, 焼入れのままの試料も準備する。

焼もどし条件: 焼入れのまま, 100℃×1hr, 200℃×1hr, 300℃×1hr, 400℃×1hr, 450℃×1hr, 500℃×1hr, 550℃×1hr, 600℃×1hr, 650℃×1hr, 700℃×1hr

(6) (焼もどし後の研磨) 焼入れ焼もどし終了後, エメリー紙の200番, 300番, 400番, 600番, 800番, 1000番, 2000番, 3000番まで, 順に目の粗い方から目の細かい方へと研磨する。

(7) (硬さの測定) ロックウェル硬さ試験機(ロックウェルCスケール, H_{RC})または, ビッカース硬さ試験機(荷重20kgf)を用いて硬さの測定を行う。硬さの測定を行うのは, 1種類につき, 圧延のままの試料, 焼入れのままの試料, 焼もどし試料(100℃, 200℃, 300℃, 400℃, 450℃, 500℃, 550℃, 600℃, 650℃, 700℃)の計12種類である。

4.2 引張り試験

(引張り試験片の作製)

- ①φ20×220の機械構造用炭素鋼のS10Cを4本とS50Cを1本切り出す。
- ②(試験片の熱処理) 次のような熱処理を試験片に施す。

S10C: ・圧延のまま

- S10C : ・ 焼なまし : 900℃ × 2hr 加熱後 , 炉冷
 // : ・ 焼入れ後 , 300℃ 焼もどし : 950℃ × 1hr 水冷 , 300℃ × 1.5hr 空冷
 // : ・ 焼入れ後 , 500℃ 焼もどし : 950℃ × 1hr 水冷 , 500℃ × 1.5hr 空冷
 S50C : ・ 圧延のまま

③ (試験片の加工) 図 2 に示すような引張り試験片の形状に旋盤を用いて加工する。

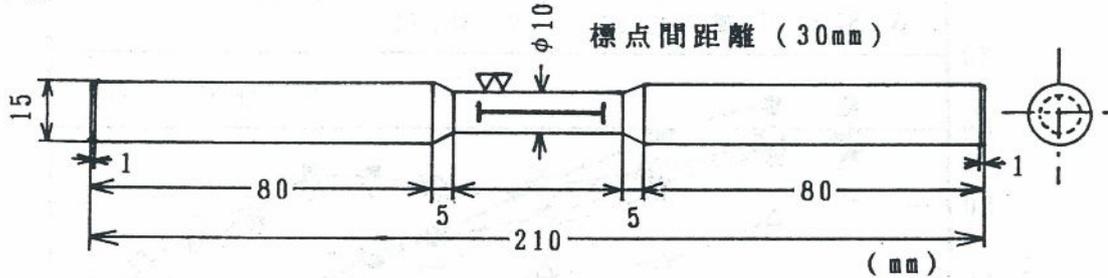


図 2 引張り試験片の形状

- ④ (試験片に標点間距離をけがく) 試験片の中央部付近の 3 箇所について、マイクロメーターで直径を測る。試験片の中央部に速乾性の青色塗料をスプレー吹き付けする。乾いた後、試験片の長手方向に平行な線 1 本とこの平行線に垂直な標点間距離 30mm を示すけがき線 2 本とをトースカンまたはハイトゲージを用いてけがく (図 2 参照)。
- ⑤ (引張り試験) 万能引張り試験機にて引張り試験し、荷重-伸び曲線を測定するとともに引張強さを求める。また、破断した試験片と図 3 および次式から伸び、絞りを測定する。

- ・ $\sigma_B = P_f / A$, (σ_B : 引張り強さ (kgf/mm²), P_f : 最大破壊荷重 (kgf), A : 試験片の平行部の試験開始前の断面積 (mm²))
- ・ $\delta = [(l - l_0) / l_0] \times 100$, (δ : 伸び (%), l : 破断した一对の試験片の標点間部分の長さ (距離) の和 = $(l_1 + l_2)$, l_1 と l_2 はそれぞれ破断した一对の試験片のそれぞれの標点から破断点までの長さ (mm), l_0 : 試験開始前の標点間距離 = 30mm)
- ・ $\phi = [(F_0 - F) / F_0] \times 100$, (ϕ : 絞り (%), $F_0 (= \pi \times d_0^2 / 4)$: 試験開始前の平行部の断面積 (mm²), d_0 : 試験開始前の平行部の直径 (mm), $F (= \pi \times d^2 / 4)$: 破断後の平行部の断面積, $d = (d_1 + d_2) / 2$: 破断後の平行部の平均直径, d_1 および d_2 : 破断した一对の試験片のそれぞれの破断面の直径)

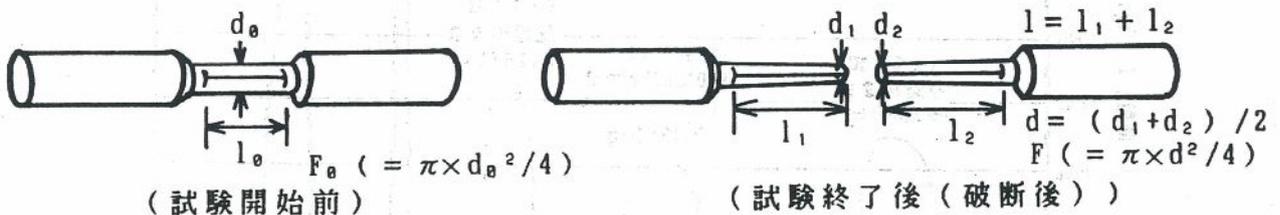


図 3 試験開始前および試験終了後 (破断後) の試験片の形状

5. 結果のまとめ方

5.1 (熱処理) 焼もどし硬さ-焼もどし温度曲線の作成

熱処理試料の硬さ曲線の例を図 4 に示す。焼もどし温度が上昇すれば、焼もどし硬さも低下する。合金工具鋼のようにモリブデン (Mo) を含む鋼は二次硬化する性質があり、500℃ 近傍で硬さが大きくなることに注目する。

5.2 (引張り試験) 図 5 に示すような引張り荷重-伸び曲線を作成する。熱処理によって引張り荷重-伸び曲線が異なり、熱処理が鋼の機械的性質に大きく影響していることに注目する。また、S10C の圧延のままの試料、焼なまし試料では、荷重-伸び曲

線に降伏点が現れているが、S10Cの焼入れ焼もどし試料およびS50Cの圧延のままの試料では降伏点が見られない。すなわち、降伏点が見られるのは低炭素鋼で、圧延のままおよび焼なましの場合のような鋼の硬さが低い場合であることを確認する。

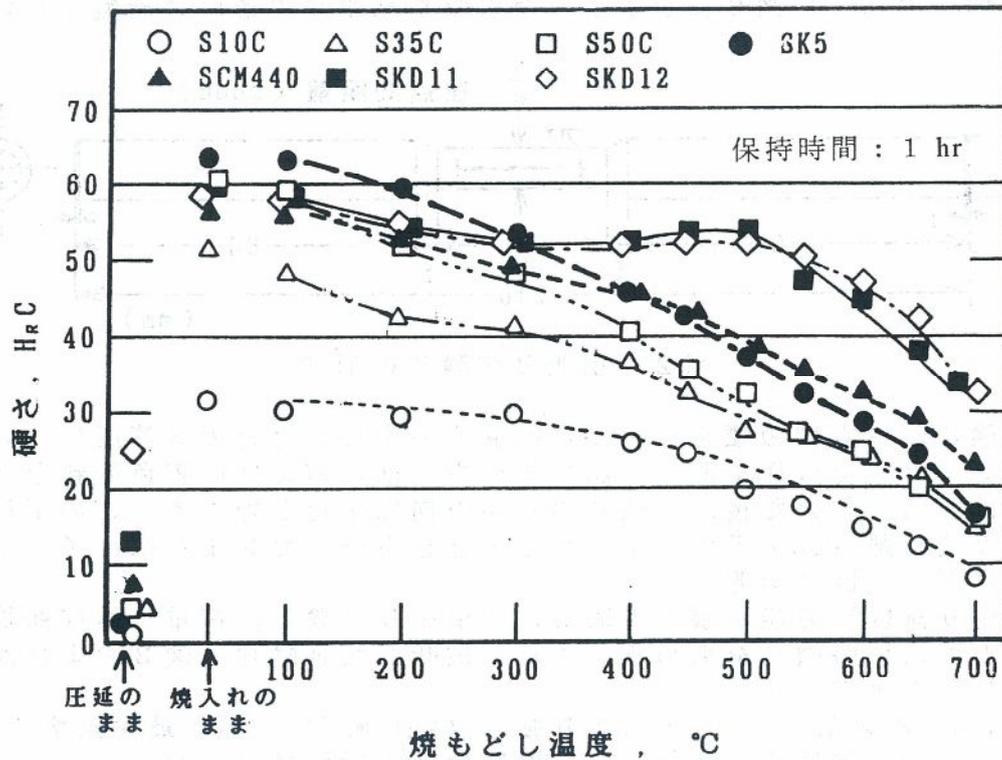


図4 熱処理試料の硬さ曲線

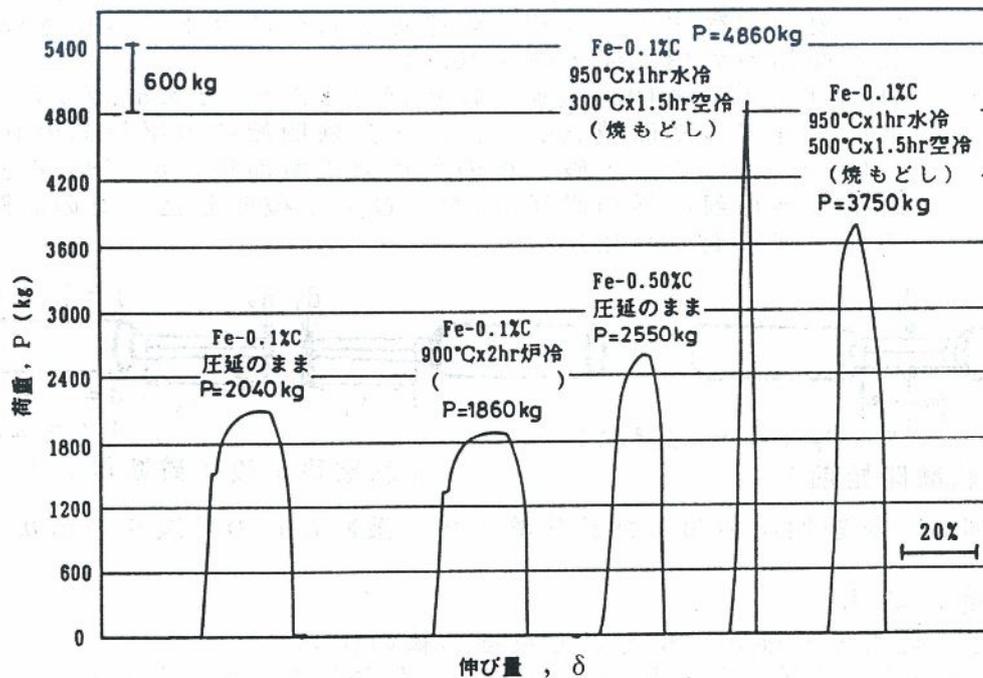


図5 引張り試験から得られた荷重-伸び曲線

6. 参考事項

熱処理試験片の数が多いので、熱処理前に必ず刻印を打ち、区別できるようにしておく。試験片の焼入れ時には、水には氷を入れておき、水温は5℃以下にする。焼入れは迅速に行う。
(執筆者名) 澤本章

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

材料は急激な力（衝撃的荷重）を受けた場合には、静的な力を受けた場合とは一般に異なる性質を示す。材料の粘り強さは、引張試験だけでは正確に求めることはできない。材料の粘り強さ、あるいは脆（もろ）さは、動的な力（衝撃力）を受けたときに、どれくらいのエネルギーを吸収するかという性質を示す。材料の粘り強さを求めるために行うのが衝撃試験であり、その評価は衝撃強さ（Impact Strength）の値で表わす。

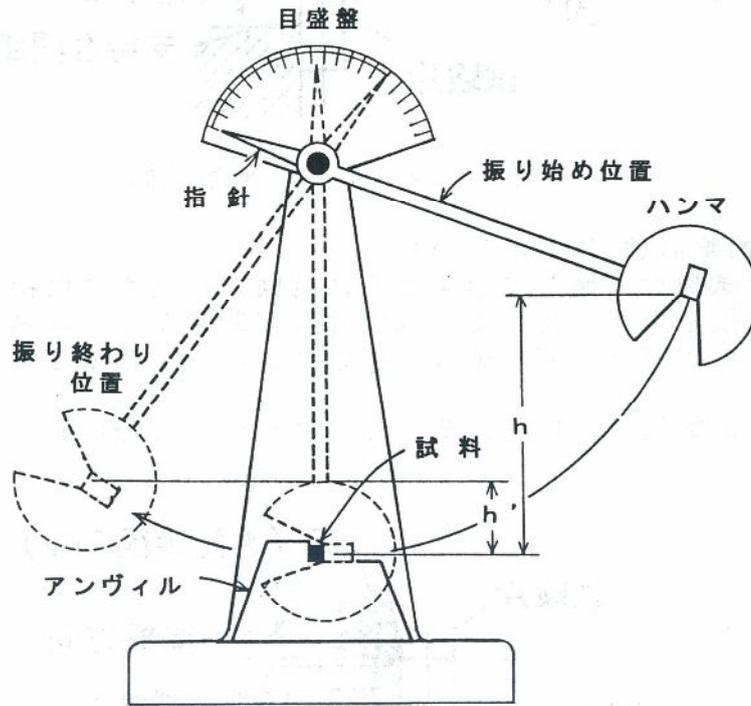


図1 衝撃試験の概念図

試験片には切欠きをつけてあり、一定の重量のハンマ振子を一定の高さから自由落下させて試験片に打ち当てる（図1）。振子は試験片を破壊して、なおその惰性によって一定の高さまで持ち上がる。ハンマ振子の質量がわかっておれば、その最初の高さ（ h ）と最後の高さ（ h' ）の差（ポテンシャルエネルギーの差）から試験片の破壊に要したエネルギーが計算できる。

一般に材料は、伸びやすいものが欠けやすいものよりも、衝撃的破壊に際して大きなエネルギーを要する。したがって、衝撃試験は温度が下がるとおこるところの延性状態から脆性状態への転移の温度を求めるためにも使用される。転移温度（Transition Temperature）は、試験片の切欠きの形状にも依存する。

衝撃試験法には、シャルピー衝撃試験（Charpy Test）とアイゾット衝撃試験（Izod Test）とがあり、衝撃値の表わし方が異なる。

1.1 シャルピー衝撃試験（Charpy Test）

シャルピー試験は、図2に示すように、中央部に切欠きのある所定寸法の試験片を水平に置き、切欠きの背面からハンマ振子を打ち当てて切断し、切断に要したエネルギーを求める。この場合の衝撃強さ、すなわちシャルピー衝撃値はこのエネルギー値を試験片の切欠き部（切断部）の断面積で除した値で表わす。一方、シャルピー衝撃値は、衝撃による切断に必要なとなった応力値で表わしている。試験機の容量は、 $30\text{kgf}\cdot\text{m}$ のものが多く用いられている。

シャルピー衝撃値

$$= \text{切断に要したエネルギー (kgf}\cdot\text{m)} / \text{切欠き部分の断面積 (cm}^2\text{)}$$

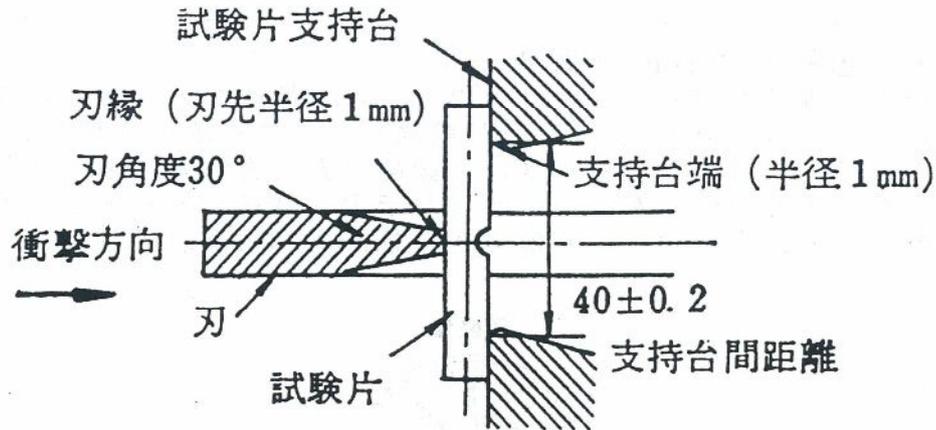


図2 シャルピー衝撃試験

1.2 アイゾット衝撃試験 (Izod Test)

アイゾット衝撃試験は、図3に示すように試験片を垂直に保持してはさみ、切欠きのある方からハンマ振子を打ち当てて、試験片の切断に要したエネルギー値そのもので表す。したがって、アイゾット衝撃値は、衝撃による切断に要した仕事量を示している。

$$\text{アイゾット衝撃値} = \text{切断に要したエネルギー (kgf}\cdot\text{m)}$$

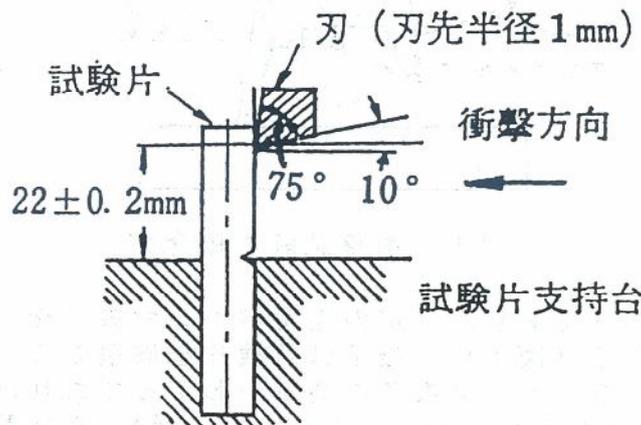


図3 アイゾット衝撃試験

図4は数種の合金について、ある試験温度域で衝撃試験を行った結果を示す。ニッケル材は明瞭な転移温度を示さないが、0.01%炭素鋼は明瞭な転移温度を示す。同じ炭素鋼でも、炭素含有量が多くなると、衝撃エネルギー値が小さくなり、脆性が強くなる。また、転移温度も明瞭でなくなることが理解される。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

衝撃試験機、ゲージ、ノギス、マイクロメータ、衝撃試験片

3. 所要授業時間 (講義: 60 min., 実験・実習: 60 min.)

4. 実験 (実習) の方法

学生実験では一般にシャルピー衝撃試験が多く使用されているので、シャルピー衝撃試験による方法を記す。

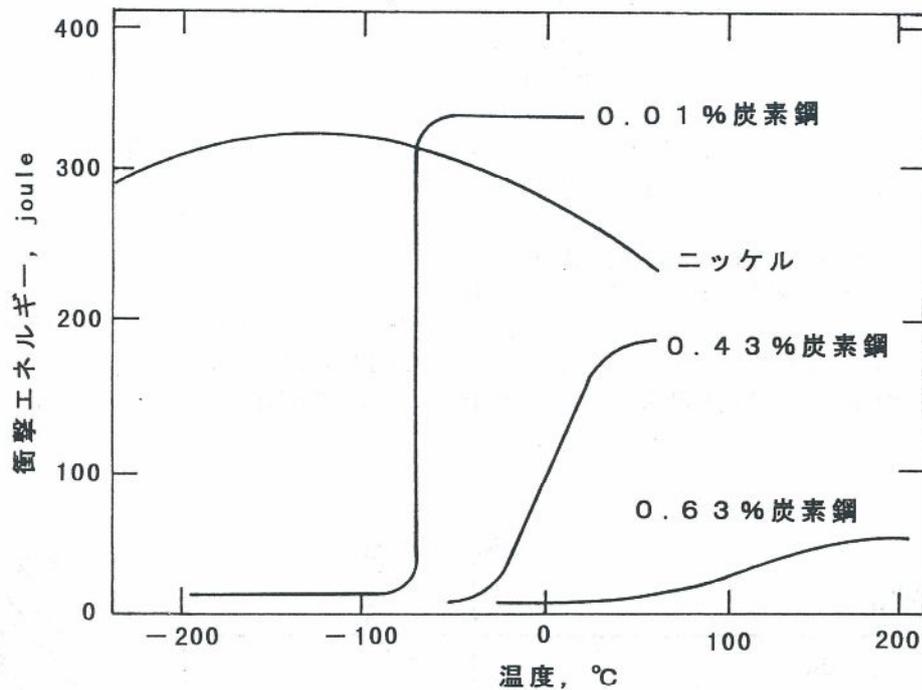


図4 各種材料の衝撃試験結果

4.1 試験の準備

- (1) 試験片の各寸法を測定しておく。
- (2) ハンマ位置ゲージを用いて、衝撃刃が試験片支持台の中央に正しく位置しているかを確認する。
- (3) ハンマを垂下させたとき、固定針および置き針がともに目盛り板の0点を指示するかどうかを検査する。
- (4) 次の項目を記録しておく。
 - (a) ハンマの重量(kgf)
 - (b) ハンマの回転軸中心から重心までの距離(m)
 - (c) ハンマの持上げ角(度)
 - (d) 秤量(試験機の容量: kgf·m)

4.2 試験方法

- (1) ハンマに持上げ装置を近づけてハンマを確実につかませて、所定の持上げ角まで徐々に上昇させる。
- (2) 置き針を固定針の尾端側に移動させる。
- (3) 試験片位置ゲージを用いて、切欠部が支持台の中央にくるように試験片を設置する。
- (4) 持上げ装置のレバーを叩いてフックをはずし、ハンマを自由落下させる。
- (5) ハンマは、試験片を切断したのちも振上り、置き針は、ハンマの振上り角位置に残る。
- (6) ハンマの動きをブレーキによって徐々に制止させる。
- (7) 置き針の置かれた振上り角度を読みとる。

5. 結果(考察)のまとめ方

- (1) 次式を使って、試験片の切断に要したエネルギーを求める。

$$\begin{aligned}
 E &= W \cdot h - W \cdot h' \\
 &= W \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)
 \end{aligned}$$

ただし、

E : 切断に要したエネルギー (kgf·m)

W : ハンマの重量 (kgf)

L : ハンマの回転軸中心から重心までの距離 (m)

α : ハンマの持ち上げ角度 (度)

β : 試験片切断後のハンマの振上り角度 (度)

この値は、試験機に付属されている「エネルギー表」により、振上り角度から直接に求めることもできる。

(2) 次式でシャルピー衝撃値を計算する。

$$\text{シャルピー衝撃値} = E / A \text{ (kgf}\cdot\text{m/cm}^2\text{)}$$

ただし、A : 試験片の切欠部の原断面積 (cm²)

なお、この計算値は1位まで求めて、それ以下は四捨五入する。

(3) 切断面を観察し、脆性破壊 (引張破壊) と延性破壊 (すべり破壊) の状況をスケッチする。

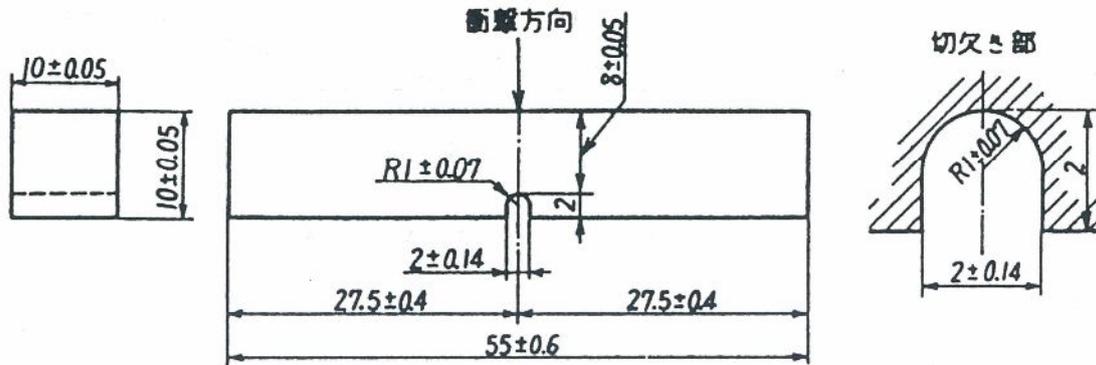


図5 3号試験片

6. 参考事項 (実験・実習のポイント、注意事項など)

- ・ハンマの振動中に持ち上げ装置を掛けないこと。破損する恐れがある。
- ・ハンマの制動は徐々に行うこと。
- ・試験片の形状加工状態は試験結果に大きな影響を及ぼすので、試験片工作ゲージを用いて検査すること。
- ・シャルピー衝撃試験機についてはJIS B 7722に、試験方法についてはJIS Z 2242に、試験片形状・寸法についてはJIS Z 2202に規定されている。
- ・試験片は通常、3号試験片が用いられる (図5)。
- ・試験片の切断に要したエネルギーを求めることに関連して、位置 (ポテンシャル) エネルギーと運動エネルギー、動力 (仕事率) と仕事量、動力のSI単位 (ワット) と実用単位 (馬力) の関係についても触れるとよい。

[参考文献]

- 1) (株) 東京衡機製造所 : シャルピー衝撃試験機取扱説明書
- 2) 機械実験研究会編 : 新編機械実験テキスト1, オーム社 (1976)
- 3) ジョン・ウルフ編, 永宮健夫監訳 : 材料科学入門Ⅲ 機械的性質, 岩波書店 (1967)
- 4) 山田良之助 : 改稿材料試験, 内田老鶴圃新社 (1972)

(執筆者名) 牧野亮哉

1. 実験の目的と概要

金属材料は、固体状態では微視的には原子の規則的配列からなる結晶であり、結晶粒界により分割された結晶粒の集合体である。金属材料の強化法の一つに結晶粒微細化による方法がある。この方法によれば、他の強化法（固溶強化、加工硬化、マルテンサイト変態による強化、析出強化）によるものと違って、強度の上昇と共に延性の増大も得られる。一方、高純度金属に適度の予ひずみを与え、その後、その金属の融点直下で長時間焼鈍することにより、粗大結晶粒が得られる。この方法はひずみ焼鈍法と呼ばれ、単結晶作製法の一つとして利用されている。その結晶粒サイズは焼鈍前の予ひずみの程度および焼鈍の温度と時間によって変化する。本実験では、比較的融点の低いアルミニウムを用い、ひずみ焼鈍法によって粗大結晶粒を作製し、結晶粒と結晶粒界を視覚的に認識する。また、結晶粒度が予ひずみの程度とその後の焼鈍温度や時間に依存することを学習する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

必要な装置：圧延機，板金切断機，電気抵抗炉，引張試験機，電解研磨装置，万能投影機または金属顕微鏡

材 料：99.999%高純度アルミニウム

3. 所要授業時間（講義：135 min. × 1回，実験：135 min. × 5回）

4. 実験の方法

市販の高純度アルミニウム(99.999%)インゴットを室温において圧延し、厚さ1mm程度の板にする。この板から板金切断機を用いて90mm×15mmの短冊状試料を切り出す。150℃で3時間ひずみ取り焼鈍を行い、材料内のひずみを取り除く。室温で約5%程度引張ひずみを与え、その後引張ひずみを与えた際のかみ部分を板金切断機により切り落として、400℃で3時間結晶粒粗大化焼鈍を行い、板面内の結晶粒サイズが直径5～30mm程度の粗大結晶粒を作製する。その後、電解研磨で表面の酸化膜を取り除き鏡面にした後、タッカー液（塩酸：45%，硝酸：15%，弗酸：15%，蒸留水：25%）により表面を腐食し、結晶粒および結晶粒界を鮮明化させる。この実験方法のフローチャートを図1に示す。

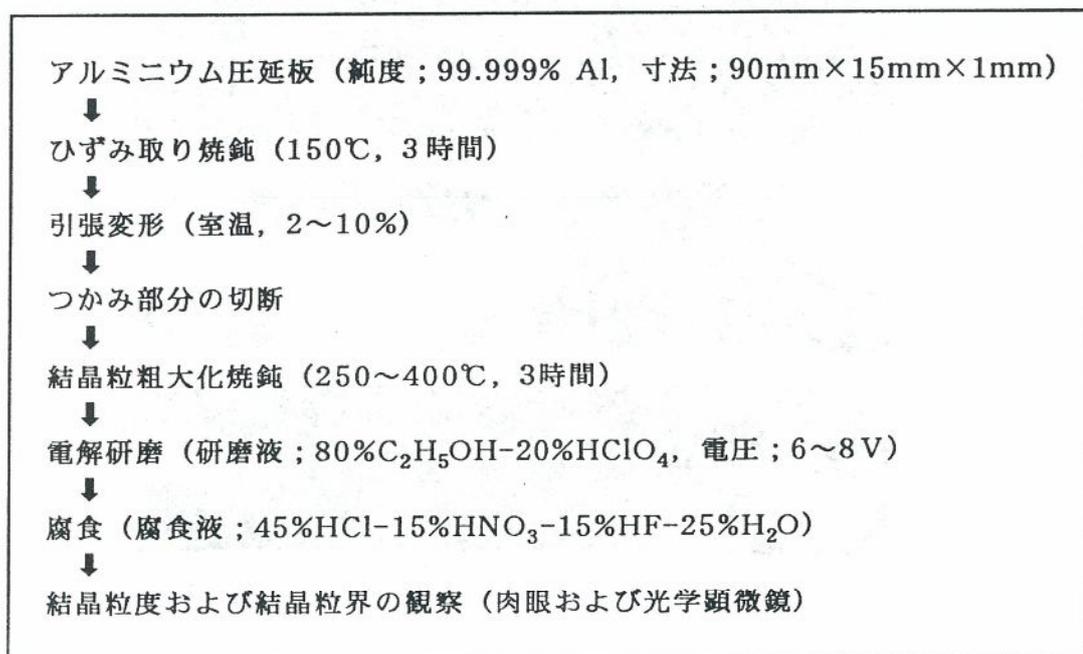


図1 実験方法のフローチャート

標準的には、上記の方法で粗大結晶粒を作製するが、予ひずみを2~10%の間で変化させ、またその後の焼鈍温度も250~400℃の間で変化させることにより、結晶粒サイズの予ひずみ依存性および焼鈍温度依存性が明らかとなる。これらのひずみ取り焼鈍、予ひずみ、結晶粒粗大化焼鈍の実験条件の例を表1に示す。

表1 ひずみ取り焼鈍、予ひずみ、結晶粒粗大化焼鈍の実験条件

試料記号	ひずみ取り焼鈍	引張ひずみ	結晶粒粗大化焼鈍			
			250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr
A	150℃, 3hr	2%	250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr
B	150℃, 3hr	4%	250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr
C	150℃, 3hr	6%	250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr
D	150℃, 3hr	8%	250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr
E	150℃, 3hr	10%	250℃, 3hr	+300℃, 3hr	+350℃, 3hr	+400℃, 3hr

5. 結果とそのまとめ方

結晶粒粗大化焼鈍後の結晶粒のサイズを測定すると共に、試料内における結晶粒サイズ分布の不均一性を調べる。また、結晶粒界の滑らかさ、粒界の交わる角度などを注意深く観察する。

予ひずみを4%与え、同一試料を用いて250℃(3時間)→300℃(3時間)→400℃(3時間)と加算して結晶粒粗大化焼鈍した際の結晶粒の成長の様子を図2に示す。250℃, 3時間焼鈍後(同図-a)は、直径0.5mm程度の小さな結晶粒である。また、試料の両サイド(写真では上端と下端)に数個の5mm程度に成長した結晶粒も見られる。300℃, 3時間焼鈍後(同図-b)は、各結晶粒のサイズはばらつきが大きいものの直径5~20mm程度の粗大結晶粒に成長している。その後400℃で3時間焼鈍(同図-c)しても、そのサイズは(同図-b)の状態からそれほど変化していないことがわかる。

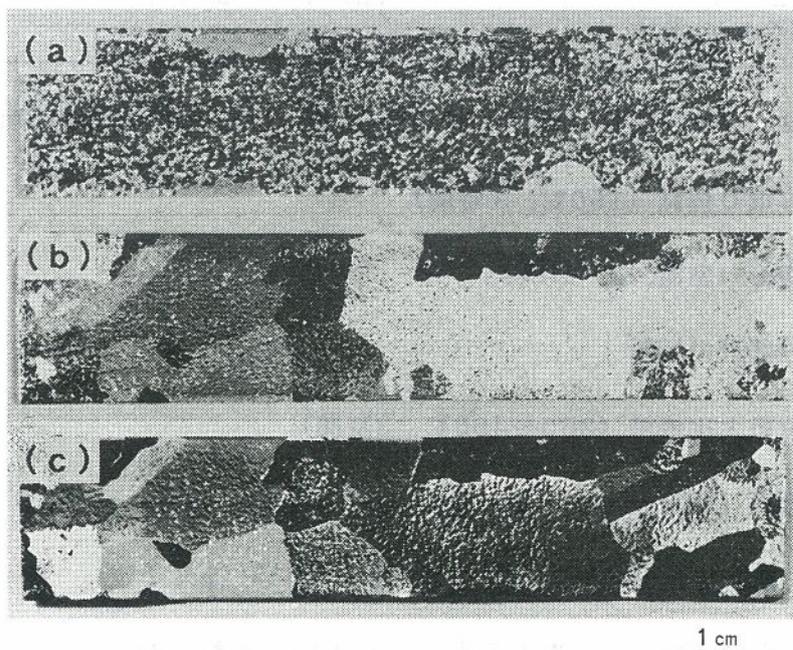


図2 4%ひずみを与えた後、同一試料で(a)250℃で3時間、(b)300℃で3時間、(c)400℃で3時間の焼鈍を加算して行った場合の結晶粒組織

予ひずみが各々2%と8%で、その後同じ300℃で3時間焼鈍した際の結晶粒の様子を図3に示す。予ひずみが2%の場合、結晶粒サイズは直径1mm未満のものと直径が5mm程度のものの領域に分かれている。一方、予ひずみが8%の場合は、きわめて大きなサイズをもつ結晶粒が現れ、そのサイズは長さで40mmにも及んでいる。

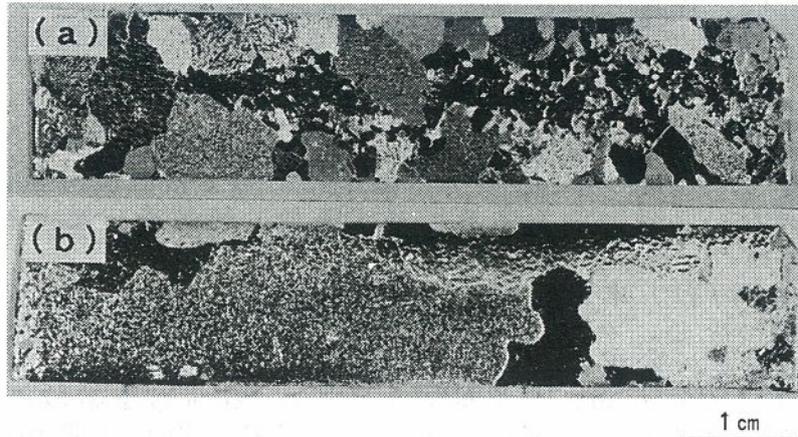


図3 ひずみをそれぞれ(a)2%，(b)8%与え、同じ300℃で3時間結晶粒粗大化焼鈍を行った場合の結晶粒組織

結晶粒粗大化焼鈍温度の関数として結晶粒サイズをプロットする。また、予ひずみの関数として結晶粒サイズをプロットする。

図4に、結晶粒サイズの結晶粒粗大化焼鈍温度による変化を予ひずみの違いによりプロットした結果を示す。結晶粒サイズは結晶粒の平均面積で表してある。すべての試料において、焼鈍温度が上昇するにつれて、結晶粒は成長していることがわかる。しかし、予ひずみ量が小さい場合、結晶粒が成長し始める焼鈍温度は高くなる傾向を示している。また、予ひずみ量が大きくなるほど、400℃焼鈍後の結晶粒サイズは大きくなる傾向があるが、2～10%の予ひずみの範囲では、8%予ひずみの試料においてもっとも大きく結晶粒が成長している。

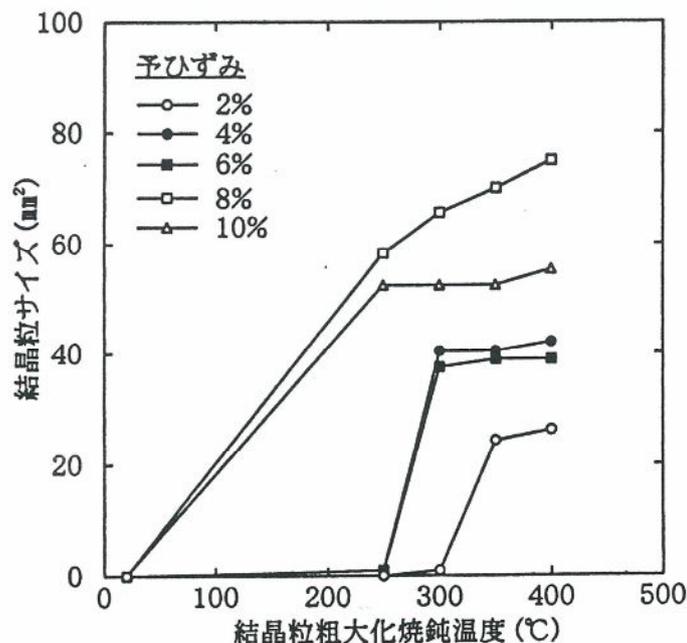


図4 結晶粒粗大化焼鈍を各温度で3時間ずつ加算して行った場合の結晶粒サイズの焼鈍温度による変化。予ひずみは2～10%の間で変化させており、サイズは結晶粒の平均面積で表している

6. 実験後のレポートの課題

- ・ 結晶粒界の構造について述べよ。
- ・ 結晶粒界が直線的なものとそうでないものが観察されるが、このような結果が生じる原因について述べよ。
- ・ 同一試料で連続的に焼鈍を加算したときに消失する結晶粒と粗大化する結晶粒が観察されるが、それらのお互いの関係はどのようなものであるかについて述べよ。

7. 参考事項 (実験のポイントと注意事項)

- ・ ひずみ取り焼鈍は、材料内のひずみを取り除くのが目的であり、この焼鈍において結晶粒が成長してしまうと、その後の操作によって結晶粒が粗大化しないので、温度を上げすぎないように注意する。ひずみ取り焼鈍後の結晶粒の大きさは0.1 mm程度以下がよい。
- ・ 引張による予ひずみは、本実験に用いる試料サイズの場合、つかみ部分を試料の上下から10mmずつとし、クロスヘッドスピードを1 mm/分とすると、2分30秒で5%のひずみを与えられる。
- ・ 電解研磨条件は、5℃の80%エチルアルコール-20%過塩素酸液を用い、試料を陽極とし、陰極にステンレス鋼板を用いて、最初の約20秒間20Vの電圧をかけ、表面の酸化膜を剥離させた後、電圧を6~8Vに保ち、2~3分程度電流を流すと、表面が鏡面となる。電解研磨後はメチルアルコールにより表面を洗浄し、ドライヤーで乾燥させる。
- ・ 表面の腐食は、室温において試料をタッカー液中に数分保持し、肉眼で粒界が鮮明に現れるようにする。
- ・ 純アルミニウムの単結晶はきわめて軟らかく、容易に変形してしまうので、取り扱いには十分注意する。

[参考文献]

- 1) 日本金属学会 編：金属物性基礎講座第17巻・結晶成長，丸善(1975)
- 2) 中村輝太郎，中田一郎 編：実験物理学講座13，共立出版(1981)

(執筆者名) 古川 稔

1. 実験の目的と概要

純アルミニウムは軽量であるが強度が低い。そこで、実用アルミニウム合金の多くは銅、マグネシウムとシリコン、あるいはマグネシウムと亜鉛などの添加元素を単独あるいは複数添加し、時効による析出硬化を利用して強度を上げて使用している。このような時効硬化型アルミニウム合金は軽量の割に強度が高く、比強度（強度/比重）で比べると鉄鋼材料などより高強度であるために、航空機材料や鉄道車両・車体などの材料として広く使用されている。アルミニウムは低融点であり、添加元素をアルミニウム母合金に添加すれば、実験室でも比較的容易に合金を作製できる。本実験では、実際に純金属や母合金を溶解し鑄込み、アルミニウム合金を作製し、圧延後熱処理を行い、硬度試験および圧縮試験を行って、時効硬化現象を理解する。Al-Li合金は最近開発された軽量高強度の航空機材料の主成分であり、Al-Cu合金は現在使用されている航空機材料の主成分である。また、7050アルミニウム合金はアルミニウム合金中最大の強度をもつ高力アルミニウム合金である。ここでは、溶解、鑄造、圧延による合金の作製法についても記述するが、市販のアルミニウム合金を購入し、熱処理の段階から実験を行い、時効硬化現象のみを学習することも可能である。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

必要な装置：溶解炉，アルミナるつぼ，アルゴンガス，鋼製鑄型，圧延機，電気抵抗炉，金属切断機，試料研磨機，硬度試験機（マイクロビッカース，ロックウェルまたはブリネル硬度試験機），万能引張圧縮試験機

材料：高純度アルミニウム(99.99%)，高純度リチウム(99.98%)，Al-Cu母合金(50% Cu)，7050アルミニウム合金冷間圧延材 (Al-5.7~6.7% Zn-1.9~2.6% Mg-2.0~2.6% Cu-0.08~0.15% Zr)

3. 所要授業時間（講義：135 min. × 1回，実験：135 min. × 7回）

4. 実験の方法

4.1 合金の溶解

本実験では、重量%でAl-3%Li二元合金およびAl-4%Cu二元合金を作製する。99.99%アルミニウム，99.98%リチウムおよびAl-Cu母合金を用いて、縦型溶解炉中でアルゴンガスを吹き付けながら材料を溶解する。この際、純アルミニウムおよびAl-Cu母合金は炉の温度が上昇する前に炉中のるつぼに挿入してもよいが、リチウムは燃焼しやすいので、純アルミニウムが溶解した後アルゴンガスを強めに吹き付けながらアルミ箔に包んで一気に溶湯中に押し込んで攪拌する。攪拌には石英管を用いる。平均的に約1割のリチウムが燃焼して消失するので、目標とする含有リチウム量より約1割多めに添加する。溶湯温度が約750~800℃に達したら鑄型に鑄込む。鑄込みの際は鑄型に水分がついていないことを十分に確認する。こうして、厚さ20mm，幅50mm，長さ170mm，重量450gfの板状鑄物を作製する。

4.2 鑄物の圧延

板状鑄物から、熱間圧延および冷間圧延によって圧延板を作製する。熱間圧延の目的は、鑄物中に残ったボイドを潰すことと鑄造組織を消失させ、組織を均質化することである。熱間圧延温度は350℃程度が適当であり、約12mmまで板厚を薄くし、仕上げ圧延として室温で冷間圧延を行う。

4.3 試料の成形

圧延後の板から、硬度試験用の試験片としては10mm×10mm×10mm，圧縮試験片としては3mm×3mm×4.7mmのブロックを、砥石式精密切断機によって一つの合金当たり各々13個ずつ切り出す。硬度試験片においては測定面と底面の平行がでていることが重要であり、圧縮試験片においては相対する面が平行で、なおかつ隣り合う面が直角

であることが必要である。

4.4 試料の熱処理

切り出した試験片をアルゴンガス気流中でAl-Li合金およびAl-Cu合金の場合は550℃で3時間、7050合金の場合は450℃で3時間溶体化処理し、氷水中に焼き入れる。溶体化処理後は室温保持中に時効が進行するのを防ぐために、試験片は冷蔵庫の中で保存する。その後、Al-Li合金は200℃、Al-Cu合金は150℃、7050アルミニウム合金は130℃で時効処理を行い、時効処理後はやはり氷水中に冷却する。時効時間は0.1, 0.2, 0.45, 1, 2, 4.5, 10, 20, 45, 100, 200, 450時間とするのが適当である。

4.5 硬度試験

硬度を測定する面を試料研磨機によって、エメリー紙#200, #600を使って順に研磨し、最後にバフ研磨により仕上げる。マイクロビッカース硬度試験条件は、50gf・15秒とし、試験片表面の任意の箇所です10点測定し、その平均値を測定値とする。ロックウェル硬度はBスケールで測定し、ブリネル硬度は500kgfの荷重で行う。

4.6 圧縮試験

熱処理後の3mm×3mm×4.7mmの圧縮試験片を圧縮試験機を用いて試験する。試験条件はフルスケール10,000N、クロスヘッド降下速度0.1mm/分、チャート送り速度10mm/分が適当である。

5. 結果とそのまとめ方

測定したビッカース硬度値と降伏応力を時効時間に対してプロットする。アルミニウム合金では明確な降伏応力が現れないので、図1に示すように0.2%の塑性ひずみを生じる点の応力（弾性変形領域の直線に対して平行にひずみ0.2%の点から直線を引き、荷重-変位曲線と交わる点の荷重を試験片の断面積で割った値）を0.2%耐力としてとる。4.7mmの試験片の場合、0.2%のひずみは試験片上では0.0094mmの変位に相当し、チャート紙上では0.94mmとなる。

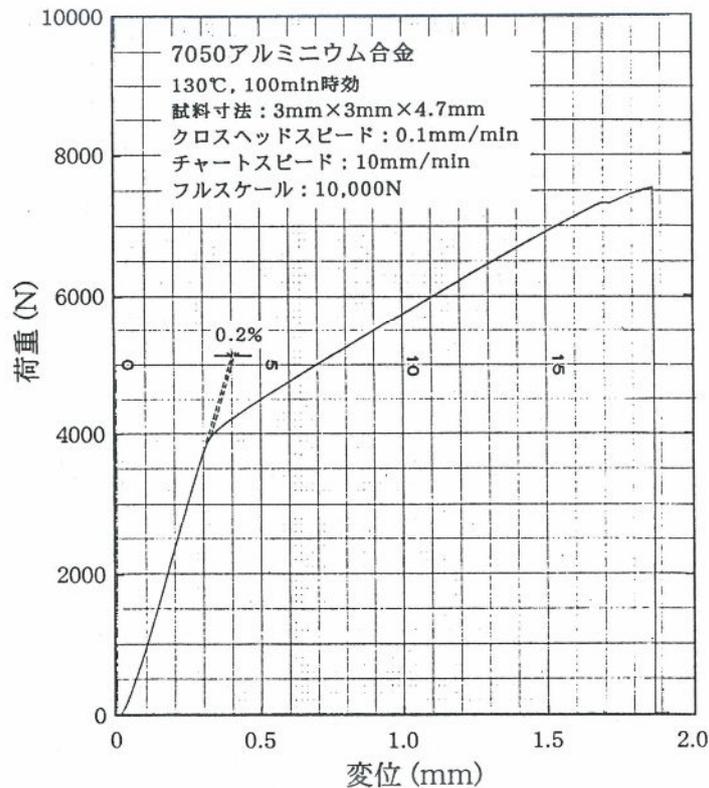


図1 荷重-変位曲線から0.2%耐力を求める方法

図2, 3および4には, 時効硬化曲線の例として, それぞれ 200°Cで時効した Al-3%Li合金, 150°Cで時効した Al-4%Cu合金, 130°Cで時効した 7050アルミニウム合金の結果を示す。ビッカース硬度(Hv)の単位は kg/mm^2 であるが, 一般には無単位で表されるので, ここでも単位は表示していない。これらの図より, 本実験に用いた合金は時効時間の経過と共に硬度および 0.2%耐力が上昇し, 最高硬度および最高強度に達した後に過時効軟化していることがわかる。

Al-Li合金においては, δ' - Al_3Li 相の析出により, また Al-Cu合金では GPゾーンおよび θ' 相の析出により, 7050合金の場合は MgZn_2 相の析出により時効硬化する。最大強度に達した後は, 析出粒子の粗大化とマトリックスと不整合な安定析出物の出現により強度が低下する。

ビッカース硬度(Hv)と 0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)の間には, 一般に $\text{Hv} \approx 3\sigma_{0.2}$ の関係があると報告されているが, これについて確認する。ビッカース硬度(Hv)の単位は kg/mm^2 であり, 0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)の単

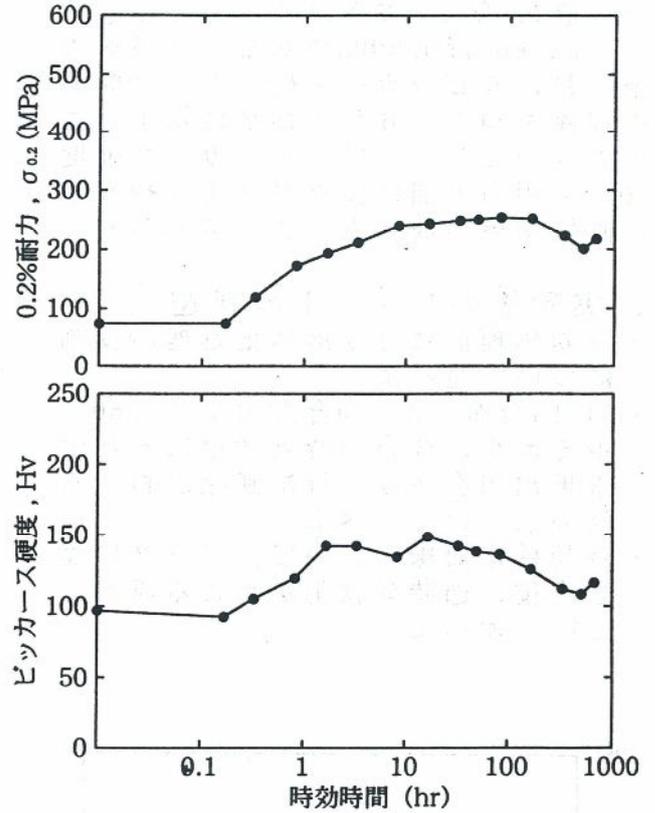


図2 Al-3%Li合金の200°C時効における時効硬化曲線

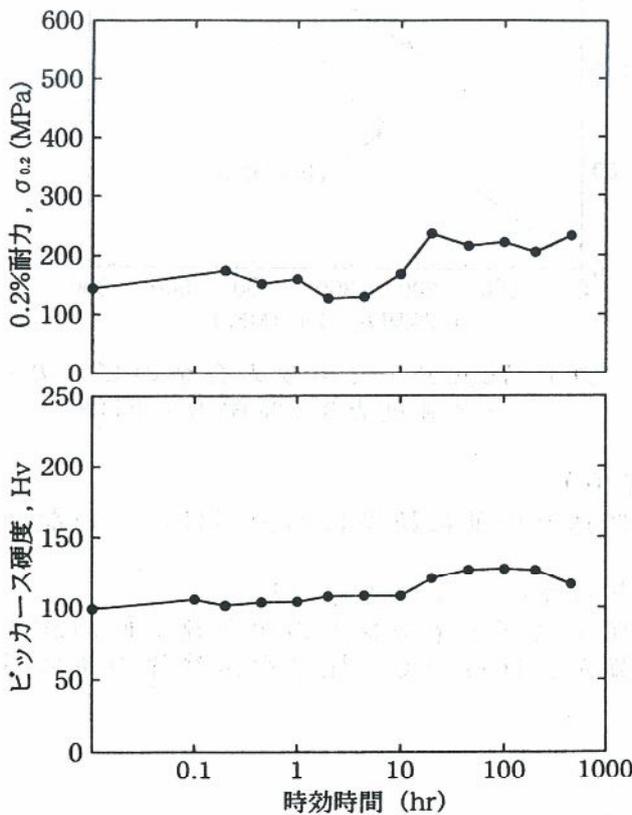


図3 Al-4%Cu合金の150°C時効における時効硬化曲線

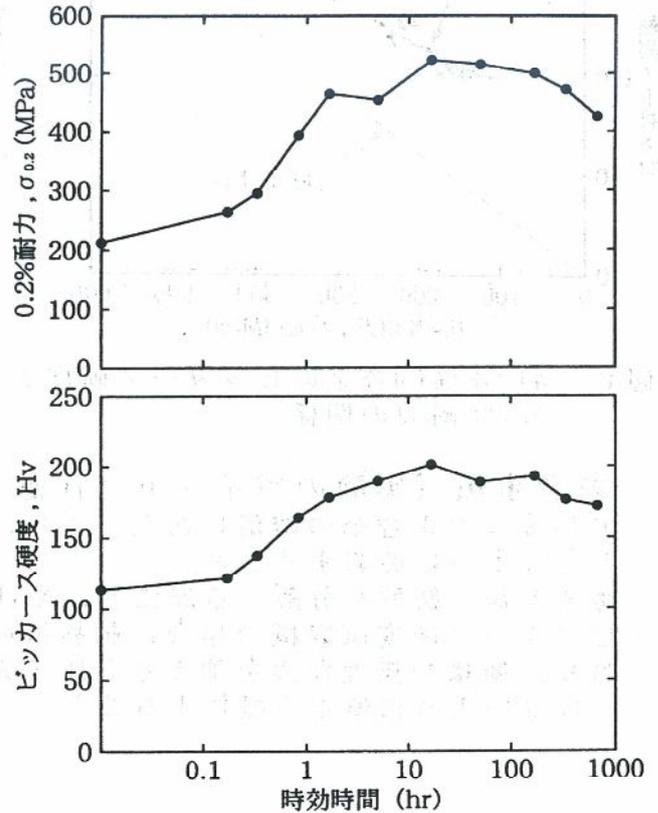


図4 7050アルミニウム合金の130°C時効における時効硬化曲線

位は一般に MPaで表されることに注意する。1 kg/mm²は9.8MPaである。3種類の合金におけるビッカース硬度と0.2%耐力の関係を図5, 6および7に示す。これらの合金においては、ビッカース硬度と0.2%耐力の間に傾きが3よりやや小さい直線関係が成り立つことがわかる。

6. 実験後のレポートの課題

- ・時効処理前に行う溶体化処理の役割について述べよ。
- ・Al-Li合金, Al-Cu合金および7050アルミニウム合金の時効硬化に寄与する析出相を挙げ、析出硬化がおこる原因について述べよ。
- ・時効硬化曲線において、ピークに達した後、過時効軟化がおこる原因について述べよ。

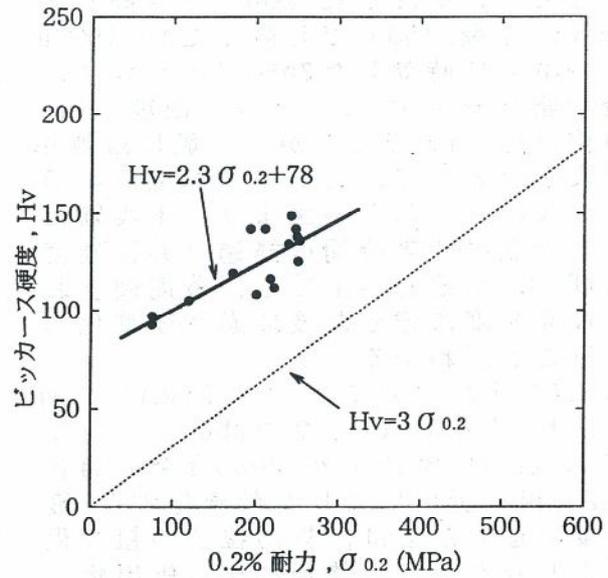


図5 Al-3%Li合金のビッカース硬度と0.2%耐力の関係

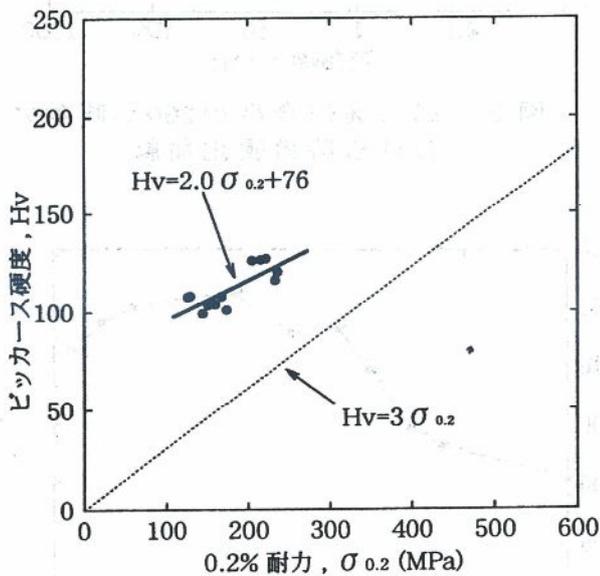


図6 Al-4%Cu合金のビッカース硬度と0.2%耐力の関係

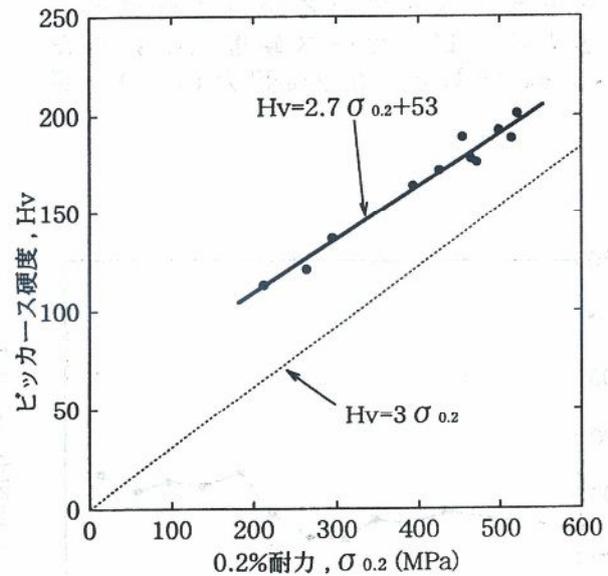


図7 7050アルミニウム合金のビッカース硬度と0.2%耐力の関係

7. 参考事項 (実験のポイントと注意事項)

- ・アルミニウム合金の溶解にあたっては、鋳込みの前に鋳型に水分が付いていないことを十分に確認すること。
- ・鋳込み後、鋳型を分解する際にも、やけどしないように注意する。
- ・ビッカース硬度試験機の場合、試験機の圧子にダイヤモンドの四角錐が使われており、衝撃や無理な力を加えると圧子先端が欠けるので、圧子を試験片の角にぶつけないように慎重に操作すること。

(執筆者名) 古川 稔

II. 塑性加工

工 呖 封 壁 . II

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

現在の日本では、木材・金属・プラスチック・ゴム・陶器類など多種多様の素材から作られた製品に囲まれている。しかし、これらの製品のすべては、資源および環境の観点から見直されている。木造家屋でいうと、木材の使用量を増して強度を大きくするのではなく、量は少ないが丈夫な金属を使用することにより、安価で高強度の家が建築されている。

これと同じことが、金属の製品にも当てはまる。かつては、金属で鍋やストープといった精度を要しないものは鋳造で、プーリ・歯車・シャフトなどの精密部品は切削や研削加工で製作されていた。しかし、これらの加工法は、大きな欠点を持っている。ダイカストを含めての鋳造品は、高速大量生産に不向きだったり、強度をとるために肉厚を大きくしたり、湯口などの不要部分の切り落としなどの後処理が生ずる。また、切削や研削加工は、鋳造や鍛造材から不要部分を大量に廃棄しなければならないため、非常な時間と材料の無駄が生じる。

もちろん、これらの加工法で行うのがベストの場合もあるが、深絞りを含めたプレス加工で間に合えば材料や時間を含めたコスト面でこちらの方が非常に有利である。今までの塑性加工では、素材金属の均一性や精密金型の製作および潤滑剤に難点があったので、カメラやビデオデッキなどのフレームを製作することが難しかった。現在ではこれらの研究が進み、われわれの最も身近にあるビールやコーラの缶のほとんどが底部と長い筒部に継ぎ目のない深絞り缶で占められるようになった。この加工法を深絞り加工（Deep Drawing）という。

深絞り実験の目的は、金属が大きな塑性変形能を有していること、および簡単に扱っているビール缶などはハイテクの固まりであることの認識と経験を持つことにある。大学での実験は、深く絞る金型や装置などが無いので、市販のアルミ・銅・黄銅板を30ミリ程度まで絞り、材料やしわ押さえ力の相違で、しわの発生や底抜け・変形場所による変形能の観察測定をする。

2. 必要な装置・工具・測定器

および材料

2.1 深絞り機およびしわ押さえ力測定具

深絞り機は、図1のようにポンチ・ダイス・しわ押さえの3部品からなっている。

しわ押さえ力は3箇所ある平バネの撓みで同時に測定するため、3本の鋼尺と鋼尺立てが必要である。

注) これは25年前に自作した装置なので、現在市販されているものとは多少違うかも知れない。

2.2 万能試験機

ポンチを押すために、最大荷重5トン以上の荷重および下降距離のわかる万能試験機が必要である。

2.3 けがきコンパス・けがき針・鋼尺・金切り鋏・やすり・スパナ

金属板(Blank)に、同心円および直径を描くためのけがきコンパス・けがき針・鋼尺および金属板を切断し、仕上げる金切り鋏・やすりなどが必要である。また、しわ押さえ力を決めるボルトを回すため、スパナ類も必要である。

2.4 鋼尺（3本以上）

絞り終えたものの変形量を計測するのに必要である。

2.5 材料

① 140×140（面積）×0.6（厚さ）のアルミ（2枚、生の材料と焼き鈍し材料）・銅

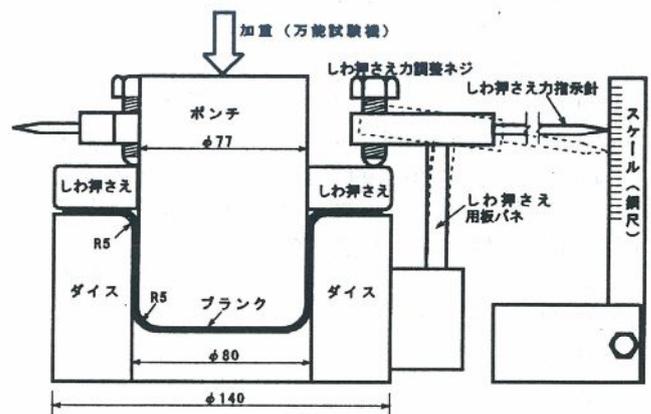


図 1

- (1枚)・黄銅板(1枚), 計4枚必要である(1グループ4人)。
 ②潤滑剤(グリース, Blank と接する面全部に塗る)

3. 所要授業時間(講義: 30 min., 実験・実習: 90 min.)

4. 実験(実習)の方法

4.1 実験の準備

- ①素材(Blank)へのけがき
 図2のように, ブランクにけがきコンパス・けがき針・鋼尺を使用して, けがき線を記入する。
 ②Blankの切り出し
 金切り鋏・やすりを使用して, ブランクをφ140に切り出す。

- ③潤滑剤の塗布
 ブランク・ダイス・ポンチ・しわ押さえの表面に, グリースをまんべんなく塗る。

4.2 装置の設定

- ①Blankのセット
 ブランクを深絞り機にセットして, 図1のようにしわ押さえ力指示針とスケールを合わせる(3箇所)。

- ②初期荷重の設定
 ブランクのフランジ(Flange)に当たる部分は, 深絞り加工をすることによってしわが発生する。このしわの発生を防ぐために, ポンチでBlankを押す前にしわ押さえ板に荷重を加えておく必要がある。これを, 初期しわ押さえ荷重という。
 初期荷重の大きさは, 材質・Blankの厚さによって異なるが, 外径φ140・厚1mmのアルミ板の場合は, 600~1,200kgfである。この装置では, しわ押さえ力指示針1mmの変位が50kgfになっているので, 1箇所につき4~8mm変位するように, しわ押さえ調整ねじをスパナで回転させる必要がある。

- ③万能試験機への設定
 ブランクの入った深絞り機を万能試験機にセットして, ポンチ力を記録させるための記録紙をセットする。

4.3 実験

- ①学生の配置
 4人で1グループとし, 1人は万能試験機の操作およびポンチの降下距離の伝達をし, 他の3人はしわ押さえ力指示針の変位を記録する(4人の作業はローテーション)。

- ②実験
 万能試験機の針が動き出した点をポンチの始点とする。ポンチの最大下降距離は, 36mmとして3mm間隔でしわ押さえ力指示針の変位を記録させる(表1)。

- ③容器の取り外し
 ポンチが予定距離だけ下がったら機械を止めて, 深絞り機全体を実験台に移動させ

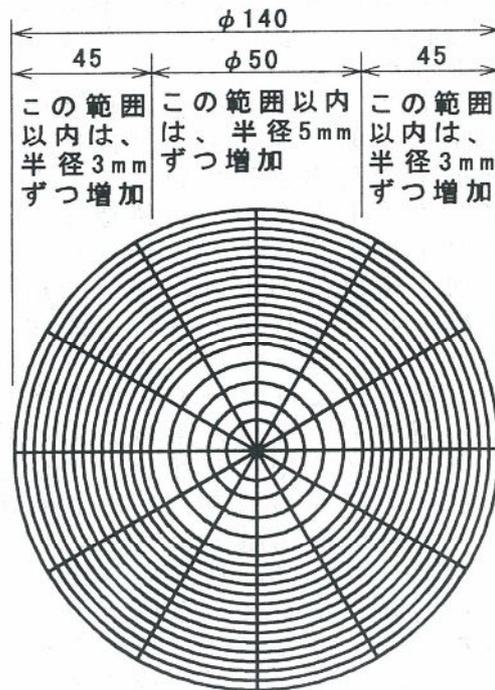


図2

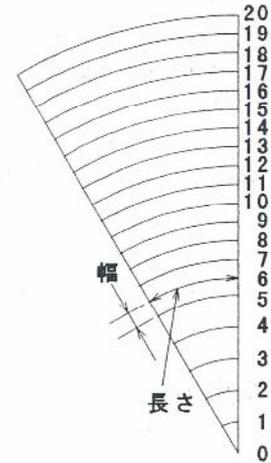
表1

ポンチの 下降距離	アルミA			アルミR			鋼			黄銅		
	針の番号 1	針の番号 2	針の番号 3									
0mm												
3mm												
6mm												
9mm												
12mm												
15mm												
18mm												
21mm												
24mm												
27mm												
30mm												
33mm												
36mm												

て丁寧に出来上がった容器をダイスから引き離す。余分なグリースをウェスで拭き取り、けがき線が見えるようにする。

5. 結果（考察）のまとめ方

容器の底割れがないことと、フランジに大きなしわのないことを確認した後、次の作業をする。また、けがき線の同心円の番号と加工前の長さや幅は、図3のようにする。



5.1 容器上のけがき線の測定

ブランクが容器に変形する前と後との伸縮を、けがいた1扇形（12扇形あるので、測定しやすい1扇形を選ぶ）について鋼尺などを使用して計測する。ただし、容器の円筒個所は、直径から弧を計算で出してもかまわない。

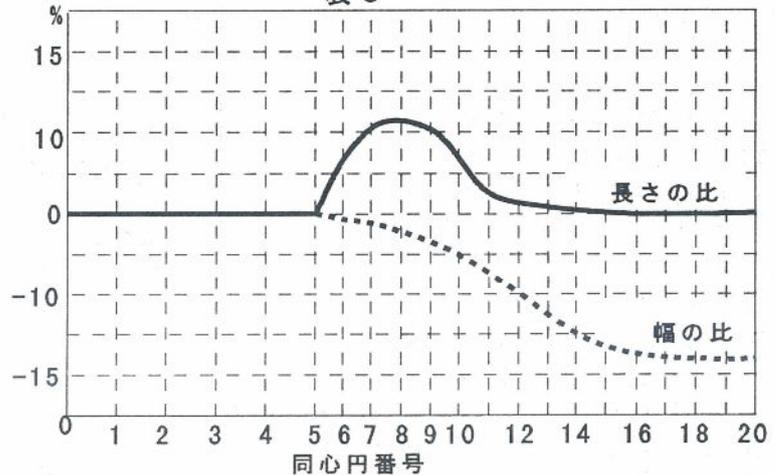
それらの測定値から計算した数値を、表2のようにまとめ、表3のように図表とする。

図3

表2

番号 同心円	長さ比 $\frac{\text{加工後の長さ}}{\text{加工前の長さ}}$	幅の比 $\frac{\text{加工後の幅}}{\text{加工前の幅}}$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

表3



5.2 変形後の図形の描画

変形後の図形は、同心円の幅の開きと、円弧の縮小を加味して描くこと。

5.3 荷重表

ポンチ力は、万能試験機の記録紙から割り出す。また、しわ押さえ力は、3箇所のをとり、50倍した数値を全体のしわ押さえ力とする。それらを、表4のように表す。

5.4 材料力学の応用(時間のある人)

図5のように、しわ押さえ力は板バネの変形量で表示される。板バネ以外の場所に変形しないと考えると、片持ち梁の計算式からしわ押さえ力による変形量が計算できる。

板バネの断面形状と長さを測定して、弾性率Eを鋼の数値を使用して計算してみなさい。ただし、針の長

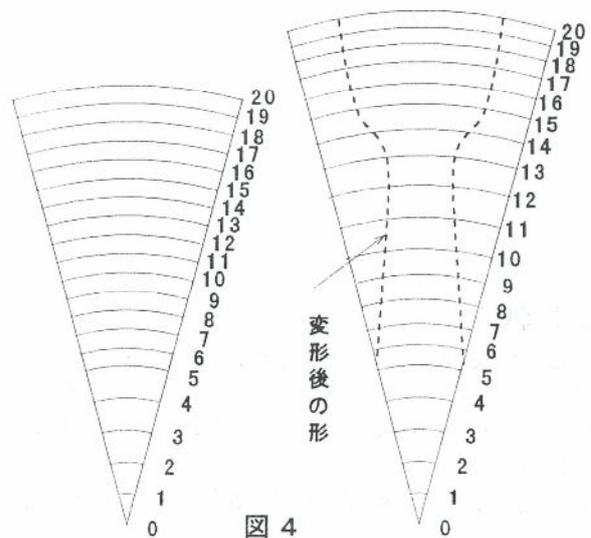


図4

さと調整ねじの位置も考慮すること（1mm=50kgfとは違う）。

5.5 提出物および提出日

(1) 提出物

- a) 表 2, 表 3, 表 4
- b) 図 4, 図 5 の問題はできた人のみ

(2) 提出日

次の実験日までに、提出のこと。

6. 参考事項

1) フランジ部の形

丸いブランクが、容器に加工後、フランジの部分が図 6 のように正方形に近くなる場合がある。これはブランクがロール圧延されていて、幅と長さの方向で強度が違うことから起きる現象である。ブランクを焼き鈍しすると、このような現象は起きない（材料力学を参照）。

2) 容器の底抜け

しわ押さえ力とポンチの下降量を大きくすると、容器の底の亀裂が生じる場合がある。

3) しわの発生

フランジのしわは、しわ押さえ力の小さな場合やポンチがブランクの中心に当たっていない場合に生ずる。また、しわの発生箇所も違ってくる。

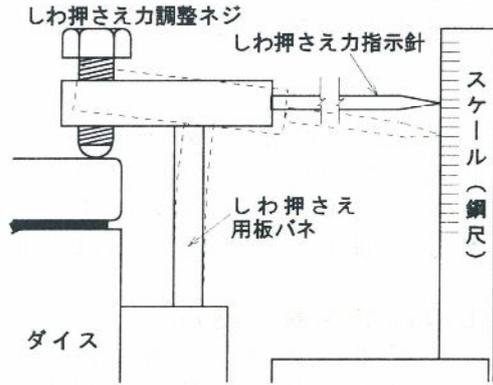


図 5

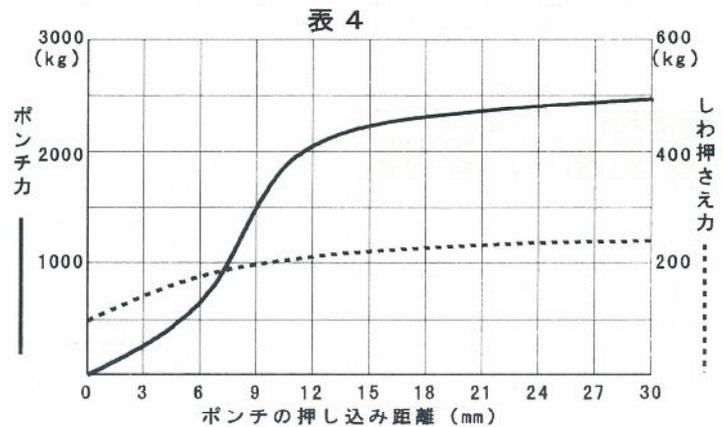


表 4

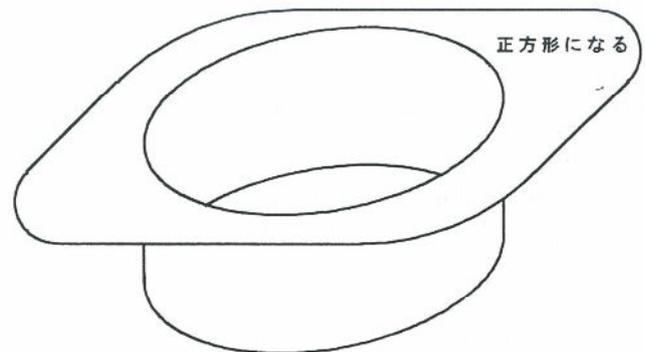


図 6

[参考文献]

- 1) 東京都立大学工学部機械工学教室(代表;下坂 実): 機械実験一般, 産業図書, p. 30~32
- 2) 福井伸二・前田禎三・伊藤勝彦・大川陽康: 塑性加工とプレス作業, オーム社, p. 99~103
- 3) 精密工学会編: 精密工作便覧, コロナ社, p. 996~1004

(執筆者名) 奥野亮輔

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

現在の日本では、金属・プラスチック・ゴムなど多種多様のパイプ素材から作られた製品に囲まれている。学校の椅子や机の脚、家庭のワゴンや手すりなどにも使用されている。金属パイプを素材とする目的は、大別すると6点に要約される。

- ① 断面が空洞なので、運搬が容易である（体積当たりの重量）。
- ② 断面が空洞なので、曲げ・切断などの加工が容易である（加工性）。
- ③ 断面が空洞なので、重量当たりの曲げ強度が大きい（強度）。
- ④ 断面が空洞なので、ケーブルなどの被覆材になる（防護性）。
- ⑤ 断面が空洞なので、気体や液体などの輸送導管になる（輸送性）。
- ⑥ 多種多様な断面のパイプがあるので、装飾品の一部となる（装飾性）。

生徒たちが椅子や机として日常使用しているにも関わらず、パイプの有用性および加工法や加工原理に関する知識は皆無に近い。パイプの有用性を省資源の観点から教えることも重要だが、中学生にとってパイプが折れないで曲がる原理を知ることは興味をそそる問題と思われる。少なくとも、金工領域の学習時間内で、パイプの有用性および加工法や加工原理に関する話をすべきと考える。

これがあまり学習されていないのは、中学校段階でパイプを曲げる機械およびそれを使用して製作する題材が少ないので取り上げても意味がないと考えていることが原因ではなかろうか。

この実験では、次の4点に絞っている。

実習前説明として

(1) 丸パイプが折れる原理と折れないで曲がる原理

断面積が等しい丸パイプより平板の方が曲げエネルギーが最小であることを説明する。この理由により、パイプが潰れて平板になり、その箇所から折れる。平板になるのを妨ぎ、パイプの形状を保つように側面から力を加えているのがローラ溝の役割の説明。パイプの中に砂を詰めたり、高密度スプリングを挿入して曲げることも、この原理によることの説明。角パイプは、この原理に当てはまらないので、芯金などを使用していることの説明。

(2) パイプベンダーの構造と使用方法

パイプを無駄にしないための長さの見積もりと、パイプベンダーに付いているバイスおよびローラ溝の機能についての説明。

(3) 実験の方法とまとめ方の説明

(4) パイプを使用した題材製作

加工したパイプを板材・棒材・パイプに接合する方法と題材の説明。

2. 必要な装置・工具・測定器および材料

2.1 パイプベンダー

パイプベンダーは、図1のような自作機（市販品でも可能）を使用する。使用に当たっては、固定台を万力で締め付ける。パイプの断面変形を大きくするため、ローラの直径は、30と40mmを使用する。

2.2 けがき針・鋼尺・金切り鋸・万力・やすり・金工旋盤

パイプは円形状なので、その上にけがくため金工旋盤を使用する。刃物台には、けがき針をセットしてチャックを手で回転させる。旋盤についている縦送りゲージを使用することにより、パイプ表面に正確にけがき線（円周上および長手方向）を記入できる。

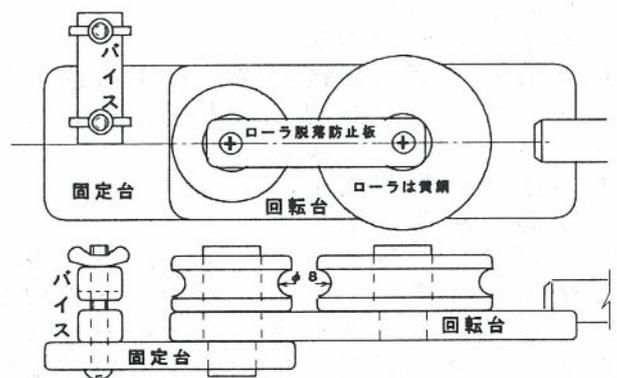


図1

2.3 材料

1 グループにつき，外径 8，内径 6，長さ 150mm の黄銅パイプ 2 本を用意させる。

2.4 測定具

加工パイプ断面を撮影するための写真機付き工具顕微鏡，変形長さを測定するため鋼尺やノギス。

3. 所要授業時間（講義：60 min.，実験・実習：90 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 実験の準備

(1) パイプの切断

金切り鋸を使用して，φ8パイプを 150mm に切断する。

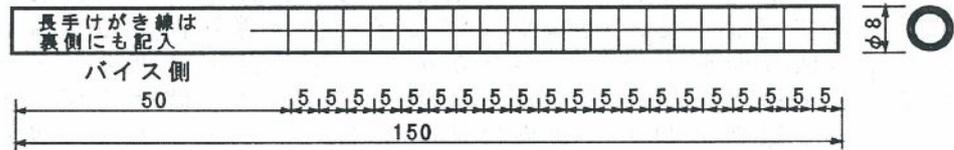


図 2

(2) パイプへのけがき

図 2 のように，金工旋盤を使用してパイプに 5 mm 間隔でけがき線を記入する。

4.2 装置の設定

パイプベンダーを万力に止めて，パイプをパイプベンダーのバイスにセットする。このとき，長手けがき線が U 字の外側と内側にくるようにバイスに挟む。

4.3 実験

2 人で 1 グループとし，それぞれに固定ローラ φ40，φ30 を使用させて，図 3 のように U 字形に曲げる。

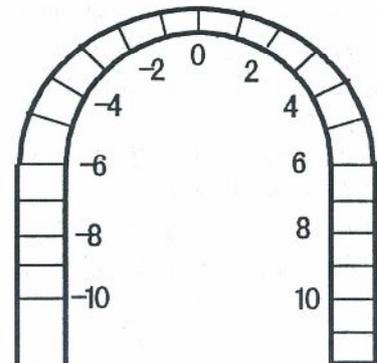


図 3

5. 結果（考察）のまとめ方

パイプが折れていないことを確認した後，次の作業をする。また，パイプ上のけがき線の番号は，U 字の底辺とおぼしきけがき線を図 3 のように 0 線とする。前の曲がっている方を負とし，後から曲がる方を正として番号を振る。

5.1 変形パイプ上のけがき線の測定

(1) パイプの外形測定

パイプが U 字に変形する前と後との伸縮を，けがき線番号順に最大最小外径をノギスで測定し，表 1 のようにまとめる（最小値／最大値，%）

(2) パイプの伸びの測定

U 字形パイプの外径内径の長手方向の長さをノギスなどで計測し，表 1 に記載した後，表 2 のように図表とする。

5.2 パイプの断面測定

(1) 断面の顕微鏡写真

U 字パイプの最大最小断面の比が一番大きな個所（0 番）を直角に金切り鋸で切断して，顕微鏡で写真を撮る。比較のため，変形していない断面とスケールも撮影しておく。

(2) 断面積の測定

顕微鏡写真から両者の断面積を計測し，

表 1

けがき線番号	U 字の断面			U 字の伸縮		
	最大径	最小径	比 %	外側長	内側長	比 %
-9						
-8						
-7						
-6						
-5						
-4						
-3						
-2						
-1						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

その比を算出する。

5.3 提出物および提出日

① 提出物

表 1, 顕微鏡写真

② 提出日

次の実験日までに, 提出のこと。

6. 参考事項

6.1 パイプの変形について

パイプ変形後の最大径がほとんど変化しないのは, 横広がりローラの溝によって阻害されているためである。溝が正確に 8 mm ならば, 横広がりが無い。

6.2 パイプベンダーのバイスの役割

図 1 のような装置でパイプを曲げる場合, パイプにかなりの引っ張り力が働く。よって, パイプをバイスにしっかり締め付けておかなければ, パイプはローラから飛び出して折れる。

6.3 パイプの変形量を計算式で算出する方法

この変形量を計算で算出するには, 塑性力学などの高度で難解な学問をしなければならぬので, われわれの学習範囲から逸脱する。

[参考文献]

・金属加工題材集：日本産業技術教育学会・金属加工分科会, p. 118~119

参考題材 —パイプを使用した題材例—

(1) パイプの接合法

① パイプ同士 (外径 8 mm, 内径 6 mm の場合)

M6 ナットの対角線の長さは, 約 6 mm 強である。これはパイプの内側にハンマで軽く叩くとナットがはまり込む大きさである。1 個のナット

では強度不足ならば, 2~3 個にすることも可能。ただし, 2 個以上の場合は, 挿入に当たってビスでナット同士を連結しておく必要がある (図 4)。

パイプ同士の接合は, 両者の先端にナットを挿入しておき, ストレートのビスで連結する (図 5)。

② パイプと板材の接合

パイプと金属板材を接合させるには, 上記のナット埋め込み法他に市販の PC プラグ

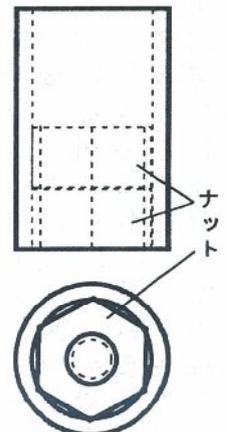
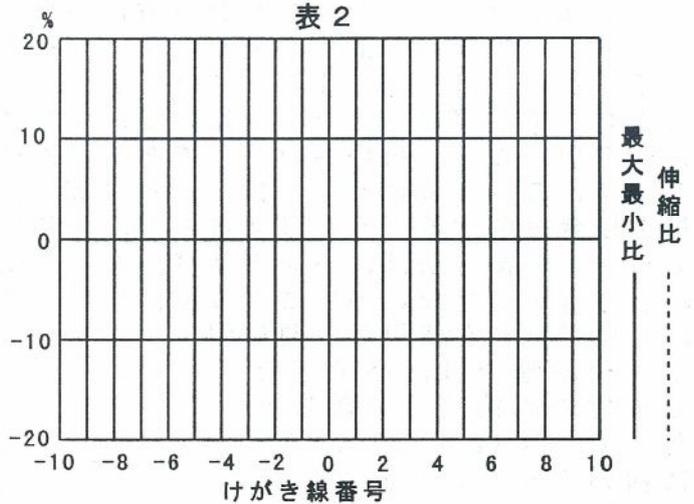


図 4

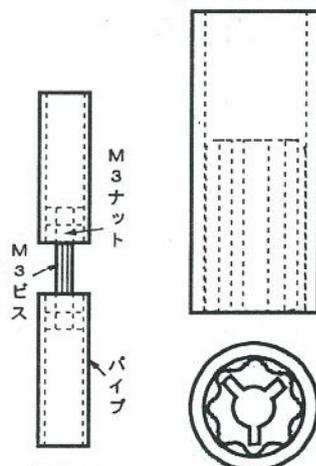


図 5

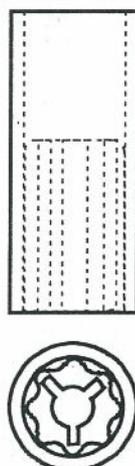


図 6



図 7

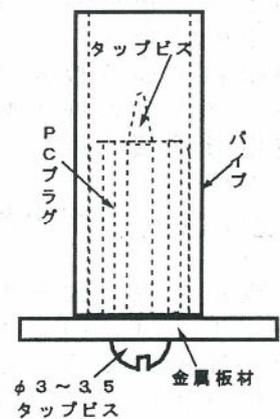


図 8

(図7)を図6のようにパイプに埋め込み、タップビスでパイプ内でプラグを膨張させて、金属板とパイプを結合させる方法がある。

PCプラグの使用目的は、元来コンクリート壁に鏡などを吊すための埋め込み部品である。かつては、鉛で作られていたものが、プラスチックに変わったのである。

このPCプラグは鉛プラグに比べて、プラスチックのため価格が安い(鉛の半値以下、約7円)ことと扱い易いことである。内径4, 5, 6, 8mmのものが市販されている。4, 5, 6mmについては、タップビスが3×16の1種類で間に合う。木ねじで木材を接合分解するように扱えるので、生徒や学生に違和感がない。

もう一つの接合法は、ハンドリベッターを使用する方法であるが、一旦接合するとこれを分解ができないのでこの方法は推奨できない。

(2) PCプラグを使用した題材例

中学校段階では、パイプ断面と板材の直接接合が難しかったため、図12のようなパイプに横の穴をあけてビスで板材と結合させていた。

しかし、パイプの内径にプラグやナットを挿入する方法が利用できるようになったので、図9, 10のようにパイプを直接板材に接合できる題材を開発できるようになった。

これらの利点は、タップビスを弛めることにより、パイプ部分を外したり付け替えたりできることである。

また、筆立てに使用するパイプの底は、図11のように厚さ5mm程度のゴムをパイプ形状(長方形でも可能)に切り取り、ゴムの中心をビスとナットで締め付けることにより平面方向に膨張させ堅牢な底板(水も漏らない)とする。

(3) 岩見沢校での実際

事前指導

- ①パイプベンダーの使用法
- ②パイプと板材およびパイプ同士の結合法
- ③象眼および薄板表面の模様の付け方
- ④パイプのゴム底の製法
- ⑤使用機械類の取扱い方

製作条件

- ①6mm, 8mmの銅や黄銅パイプの使用を義務付ける。
- ②基板に薄板(図9のようなもの)を使用するもの1点(この場合、表面にブラシ模様を最低1箇所付けること)と、図10や12のように基板(台座)に厚板を使用したものを1点提出させている。(この場合は最低1箇所に象眼を施す)後は、学生の自由にさせている(2品提出)。

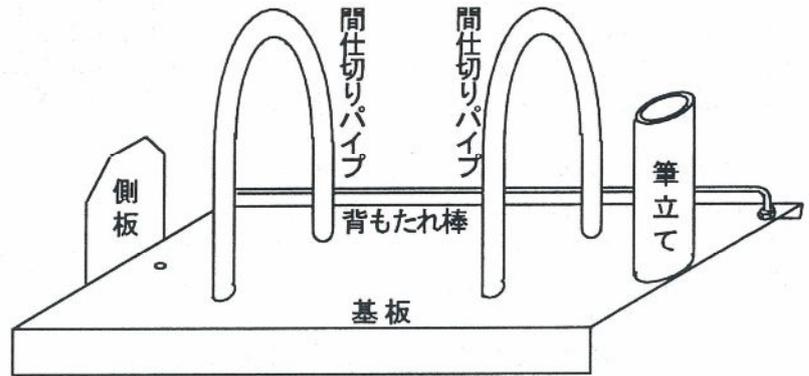


図9

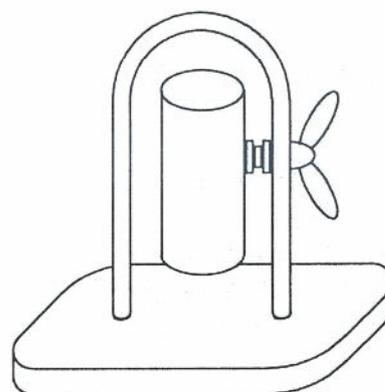


図10

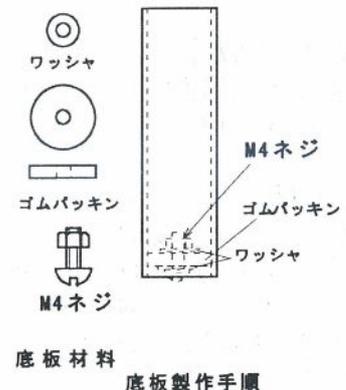


図11

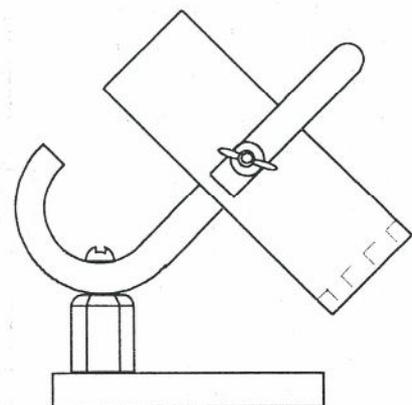


図12

(執筆者名) 奥野亮輔

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

鍛造は、「金属加工」の重要な工作法である。ちなみに、家庭で日常使われているいろいろな道具は、先人達の経験とその中で育まれた人間知恵の所産であるものが多い。特に鋼を用いた道具には、鍛造とそれに伴う種々の熱処理が用いられている。例えば、鍛造で作られる日本刀は、世界的に有名な鍛造品である。この日本刀は、付刃・焼刃という合理的、かつ実際的な技術を駆使して製作されたものであることはよく知られた事実である。

そこで、この日本刀を「金属加工」の授業で取り上げようと試みたが、銃刀剣法の適用を受け、不可能であることが判明した。そこで、日本刀と同じ様な鍛造方法で、小刀として、中学校の技術・家庭科「金属加工」領域で、付焼刃実習と切れ味（折れず・曲がらず・よく切れる）の学習を中心にした製作を試みた。したがって、この製作実習をする学生は、教師としての側面と金属加工を学習する生徒としての側面が要求される。

この教材の最も優れていることは、鋼の熱処理を正確に体験できることである。鋼は熱によって、溶解したり、高温塑性を示したり、焼き入れ・焼き戻し・焼き鈍しなどにより変質する。この教材は、鋼の学習を通して、金属の本質を理解する良い教材となるであろう。さらに、「鋼」が過去の間人生活にどのように貢献し、その生活をどのように変貌させてきたかということ、実際に刃物をつくる体験を通して実感させることができれば、これ以上の「金属加工」領域の題材はないと思われる。

この鍛造での小刀の製作実習の価値や意義は、次のように要約することができる。

- (1) 2種の鋼を高温加熱して、鉄原子の運動を活発化させ、槌打ちすることによって、鍛接が可能になる。また、冷却速度を変化させることによって、鋼の性質を変えることができる。これらの事柄を正確に学習させることにより、鋼の高温物性、熱処理などの理解が十分になされ、金属材料を科学的に捉えることができるようになる。
- (2) 付刃・焼刃という刃物の構造を学習させることにより¹⁾、刃物の持つすばらしさを教えることができる。
- (3) 火力が強いコークス炉を使用することにより、鉄が簡単に溶けてしまうことを体験させ、鍛接・鍛錬が短時間にできることを学ばせる。また、規律を守れば、大きな火力でも安全であるという認識を与えることができる。
- (4) 板金加工で視覚的に塑性加工の原理を教えることは困難であるが、鍛接・鍛錬では容易に塑性加工の原理を視覚的に学習させることができる。
- (5) 学生自身の手で鋼を加工し、付刃・焼刃による小刀を製作することは、ものをつくることの本質に迫れるので、工夫し創造する能力を大きく高めることができる。
- (6) 鍛接・鍛錬を行うことによって、日本古来の技術である日本刀、鉞、鋤などの製作過程を学習することができる。
- (7) 鉄の学習から日本の歴史をふりかえると、日本史の学習を新しい視点で捉えることができる。

この「日本刀型小刀」の製作実習では、鍛接・鍛錬とも、実習する前では学生達がとても独力で製作できると思わない。しかし、一度やり遂げると予想もしない体験ができたと喜ぶ学生が多く、この「鋼」の不思議に遭遇し、感動する者が多い。

以上のことから、「日本刀型小刀」の製作題材は、鍛接・鍛錬の学習を安全に行えば、道具に対する理解と愛着が湧く、優れた題材である。

2. 必要な装置・工具・測定器具

コークス炉，コークス，鍛造用具一式，ベルトサンダー，荒砥石，中砥石，仕上げ砥石，金剛砂，金盤，ブリネル硬さ試験機，ルーペ，
□16mm×500mm（軟・硬鋼）＝各1本，等辺山形鋼20mm×20mm×500mm＝2本，
高速カッター，両頭グラインダー

3. 所要授業時間（講義：360min.，実験・実習：840min.）

4. 実験・（実習）の方法

4.1 従来の鍛造での問題点

- ① 多人数が一度に安全に行える設備がない。
- ② 鍛接は高度の技術が必要である。
- ③ 材料を加熱するとき、コークスの火色と材料が同色になるので、材料を取り出すとき、時間を要する。
- ④ 鍛接の際、材料が小さい場合、材料を炉から取り出すと、冷却速度が大きいので、すぐに鍛接可能な温度1200度以下になってしまう。
- ⑤ 鍛接の際、溶剤を使用すると、大音響と共に溶解した溶剤が破裂して、周りに飛散し火傷の原因になる。
- ⑥ 鍛錬する際、鍛造用はしで高温の材料をつかみ、槌の打撃に耐えて、これを金床に密着固定するには非常に大きな握力が必要となり、女子はもちろん、男子学生にも困難である。

上記の問題点をすべて解決し、学生自身が鍛接・鍛錬学習を自分たち自身の力で行える方法を考案した。

4.2 解決法

(1) 問題点①について

図1のようなコークス炉を製作する。この炉の特徴は自由に移動が可能とするためにキャスターを付ける。また、送風機を止めると同時に火が消えないように、七輪と同様の原理を用い、風を送らなくてもコークスは消えないように風溜まりを設ける。

炉の内部は耐火レンガを組み、自由に深さ（高さ）の調整ができるように工夫する。この大きさは、6人が一度に作業するには最適であると思われる。

(2) 問題点③、④について

従来、鍛造材料としての軟鋼・硬鋼の大きさは必要最小限の大きさが最適とされていたが、小さい材料は熱してしまうとコークスの火色と材料の色とが同色となり、材料を探す時、吹き上げてくる炉の熱風を顔にまともに受けるので危険である。そこで、この問題点を取り除くために、鍛造材料（500mm）を、アングル（500mm）にボルトとナットで固定する方法をとった。このアングルは鍛造用はしの代用となる。この方法により、問題点③のみならず、問題点④～⑥まで一挙に解決できる。

4.3 鍛接工程

この工程は、図3のように、3人1組で鍛接作業を行う。この際、材料を取り出す前に軟鋼を持つ者、硬鋼を持つ者、槌を振る者を決める。また、金床の位置などを確認させることによって、作業を効率よく安全に行うことができる。

鍛接の長さは約50mmとし、図4のように硬鋼を下に、軟鋼を上にして重ねて、金床に密着固定させる。

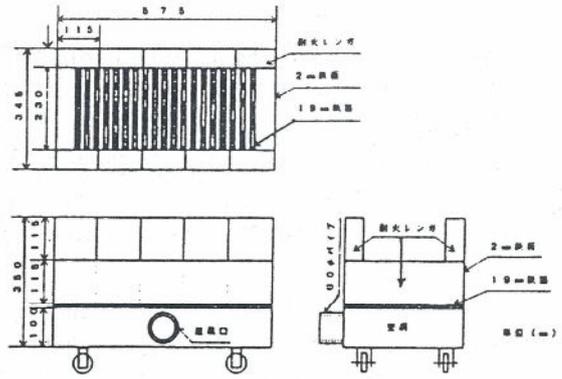


図1 試作したコークス炉

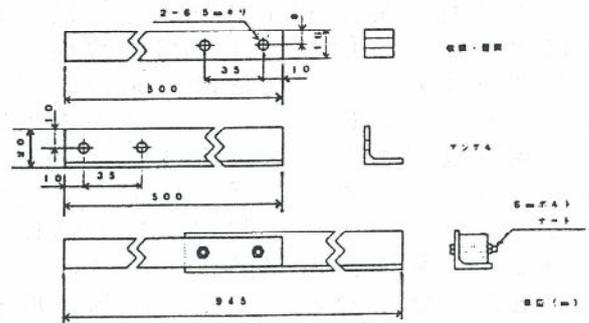


図2 鍛造材料とアングルの組立図

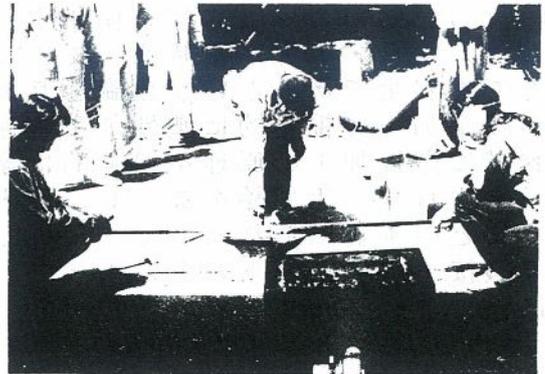


図3 女子学生の鍛接作業風景

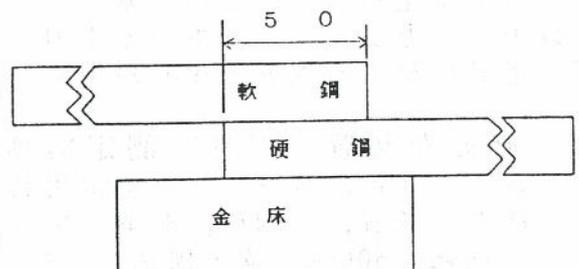


図4 材料の重ねしろ

次に、槌で鍛接するための加圧であるが、槌を振る際、力任せに槌を叩いて反対側が反発して剥がれることを防ぐために、材料を押しつけるように槌打ちし、槌の力を無駄なく材料に伝えるようにする。鍛接終了後は、図5のように、高速カッターで硬鋼を切断する。

図6はこの作業で得られた鍛接層の顕微鏡写真を示す。拡散現象により境界がはっきりしないほど、十分に鍛接されていることがわかる。

4.4 鍛錬工程

この工程は1人または2人で行い、所定の形状に成形する。鍛造可能温度と終了温度の色を確認させながら作業を行う。鍛造可能温度より高い温度にすると、組織が粗大になり強度が低下するし、低い温度で鍛錬すると、材料破壊の原因となる²⁾。

図7は、鍛造は女子学生が1人で行っている様子で、アングルが鍛造用はしの代わりとなり、軽く支えて簡単に鍛錬を行っている。

4.5 成形加工

小刀の先端の刃先角を作る。これは、鍛造後熱せられた鋼の柔らかさを利用して、硬鋼を下にして、金床の角を使って槌で打撃を与え、刃先角に合わせて材料を切断する。さらに、正確に刃先を作るために両頭グラインダーで研削して仕上げる。

4.6 熱処理（焼き入れ、焼き戻し）工程

この鍛造工程の中で、焼き入れ工程は最も重要である。小刀として最も重要な折れず・曲がらず・よく切れるという3つの性質を与えるためである。この焼き入れは難しい作業であり、もし焼き割れ、反りなどの欠点が起これば不良品となる。

焼き入れ用の冷却水は、小刀が浸るように細長い水槽を用意し、冷却水は人の手の温もり（15～25℃）の温度とする。焼き入れ温度の確認は、温度計は使わず、日陰で材料の色で判断する。材料の色は、淡黄色（約800℃）の温度が最適である。冷却するときには、一気に水の中に小刀を突っ込む。刃先の部分が軟鋼の部分より速く冷却されるので、硬度が高くなる。

図8は、焼き入れと同時に焼き戻しを一度の工程で行う方法を図示したものである。この手順は以下のようである³⁾。

- ① 刃先の部分を780～800℃に加熱する。
- ② 水または油の中に刃先部Aだけを入れる。このときBの部分の色を見て、その色が暗赤色になったら、一度引き上げる。
- ③ 刃先の方の色が、根元の方の潜熱により加熱されてだんだんに変わり、黄褐色になった時もう一度水中（または油中）に入れて冷却する。
- ④ やすりで削るか、ポンチなどで刃先の部分にポンチマークを打ち、焼入れぐあいを見る。

4.7 仕上げ工程

ベルトサンダーで刃をつける箇所刃幅を板厚の2～2.5倍にして、直線に加工する。次に、軟鋼



図5 鍛接後に切断した材料

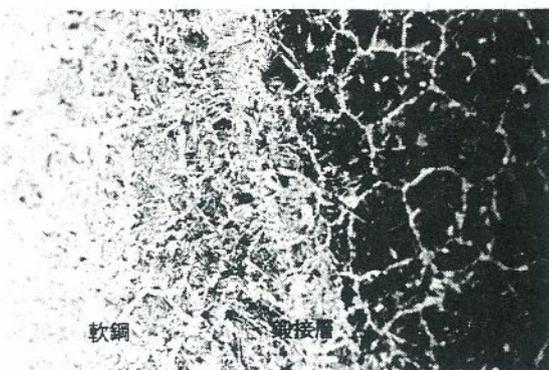


図6 鍛接層の顕微鏡写真



図7 女子学生の鍛錬作業風景

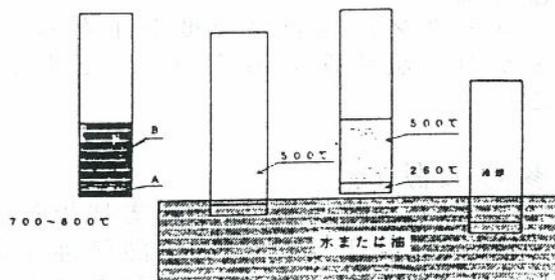


図8 焼き入れ・焼き戻し操作

を裏押しをして、グラインダーで裏すきをする。裏すきは刃物を研ぐときに、刃先を効率よく研磨するために行う。最後に、刃先を研いで仕上げる。さらに、木材加工で鞘、柄を製作することも、ケースを作ることも、融合学習として意義がある。図9は完成品である。以上が日本刀型小刀の製作工程である。

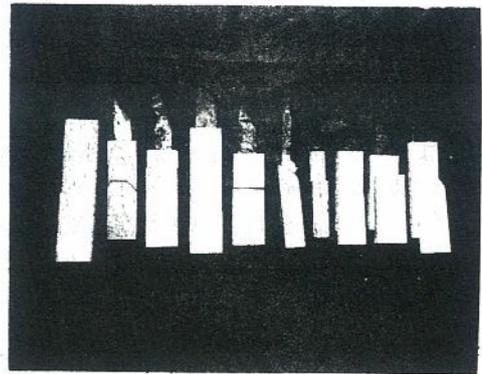


図9 完成品

5. 結果（考察）のまとめ方

鍛造は、「金属加工」領域で特に重要な工作法である。本実習「日本刀型小刀の製作」を通して、金属加工の専門的内容の学習と金属加工実習の大切さを実感させることをまとめとしたい。そこで、製作した小刀に関して、以下のことをまとめさせる。

- ① 軟鋼と硬鋼がしっかり鍛接されているかをルーペによって確認する。
- ② 刃先がしっかり研げているか。特に、裏押しが鏡面になっているかを確認させる。
- ③ 軟鋼と硬鋼の組織の違いを、ナイター液（エチルまたはメチルアルコール97cc、硝酸3cc）に浸して、ルーペで観察する。
- ④ 軟鋼と硬鋼の硬さにどのくらいの違いがあるかを、ブリネル、ビッカース硬さ試験機で測定する。
- ⑤ 切れ味について、消しゴムに刃を当てて、その切り痕形状を見る。あるいは、木材を削り、その削り痕を見る。
- ⑥ 最後に、中学校の技術・家庭科「金属加工」領域での、「日本刀型小刀」を製作題材とする指導案をまとめさせる。さらに、この授業を、単に技術・家庭科のみに止まらず、社会科の歴史学習との総合学習とする考察も付け加えることが望ましい。

6. 参考事項（実験・実習のポイント・注意事項など）

ポイント

- (1) 多人数で一度に作業ができる。
- (2) 鍛造材料にアングルを付けることにより、安定した作業ができる。
- (3) 鍛接では、溶剤（フラックス）を用いず、3人1組となって、軟鋼と硬鋼にアングルを付けたものを加熱し、重ねて槌打ちする。
- (4) 安全対策として、アクリル樹脂製防災面を製作し、着用させるほか、ゴーグル・帽子・皮手袋・木綿の衣類・タオルなどの着用を義務付ける（図9）。
- (5) 女子も含めた中学生が、教師の助けを借りずに、自分自身の手で鍛接・鍛錬作業で「日本刀型小刀」の製作実習ができる。
- (6) 金属と木材の融合教材である。
- (7) 槌の力を鍛造材料に無駄なく伝えること。

注意事項

・コークス、材料は温度が下がってくると赤色から黒色に変化する。このときでもかなりの高温状態であるから、必要がない限り近づかないこと。また、直接に触らないこと。

[参考文献]

- 1) 畑，中村，三枝：日本産業技術教育学会誌，36巻4号，pp.319-325(1994)
- 2) 黒滝：よくわかる鍛造・熱処理作業法，理工学社(1965)
- 3) 中村，畑：金属加工実習テキスト，静大テキスト(1996)

(執筆者名) 畑 俊明・中村 勇

Ⅲ. 切 削 · 研 削 加 工

工 賦 階 級 · 階 級 · 五

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

ねじ切り技術の習得を目的として、旋盤によるねじ切り、手作業による普通のねじ切りおよび旋盤の構造と機械的な精度を利用した手作業のねじ切りの3種のねじ切り法について実習し、基本的な作業法、留意事項などについて理解する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

旋盤によるねじ切り：旋盤，ねじ切りバイト，ノギス，センターゲージ

手作業によるねじ切り：ねじ切りタップ，タップハンドル，ねじ切りダイス，ダイスハンドル，万力

旋盤を利用した手作業のねじ切り：旋盤，レースセンター，ねじ切りタップ，タップハンドル，ねじ切りダイス，ダイスハンドル

3. 所要授業時間（講義：90 min.，実験・実習：135 min.）

ねじ切りだけを分離するのではなく、旋盤によるねじ切りについては、金属加工学の講義で理論を取り上げ、作業実践を含めて指導するとよい。手作業による普通のねじ切りおよび旋盤の構造と機械的な精度を利用した手作業のねじ切りについては、金属加工実習の課題作品製作の工程の一部に組み入れて指導するとよい。したがって、上記の時間は人数により、また、取り上げ方により変動する。

4. 実験（実習）の方法

4.1 旋盤によるねじ切り

旋盤によるねじ切りは、工作物の回転と刃物の送りを連動させて行う。これには刃物の送りを、親ねじのピッチから製作するねじのピッチへ変換するように、歯車の掛け換えおよびレバーの切り換えを行ってセットする。親ねじを回転させ、往復台のエプロンに組み込まれているハーフナットを親ねじにかみ合わせれば、刃物が親ねじの回転に連動して送られてねじが切れる。以下に、旋盤作業によるおねじを切る方法を説明する。

(1) 旋盤の整備

機種により細部は異なるが、基本の構造および機能は同じである。各注油箇所に機械油を給油する。主軸台およびエプロンへは、それぞれの油面計を見て不足してきたら給油する。数年に一度行えばよい。送りギヤボックスおよび送り軸軸受へは、数週間に一度給油する。その他の部分へは、一日に一度、使用する前に油差しで給油する。

手動ポンプレバーを引っ張っては押し戻すという操作を数回繰り返す。ハンドルを回して縦送り台、横送り台および工具台を動かし、なめらかに動かない場合には、ベッド上面など動きの悪いしゅう動箇所に機械油を注入し、ハンドルを回してその部分の上を前後または左右に数回動かして、可動部分の全域でなめらかに動くように整備する。心押し台およびチャックもなめらかに動くように整備する。

(2) 工作物の準備加工

ねじ切り以外の加工については、刃物などの準備ができているものとする。工作物の寸法および形状によって異なるが、各部を独立して順序に関係なく仕上げて良い場合もあり、また、順番を決めて削らないと不都合を生じる場合もある。

ねじを切る部分を円筒に削って所定の直径に仕上げ、先端部を面取りする。ねじ部の直径は、所定の寸法より0.1mm程度まで小さくてもよいが、わずかでも大きいのはよくない。この場合は、ねじ山先端部をわずかでも平らになるように仕上げるのが困難になる（JISねじ、メートルねじの基準山形の項を参照のこと）。工作物が長い場合は、一端を心押し台に取付けたレースセンターで支える。

ねじ部の終端部分に、ねじの溝の深さより少し深い溝を突切りバイトで切り込んで

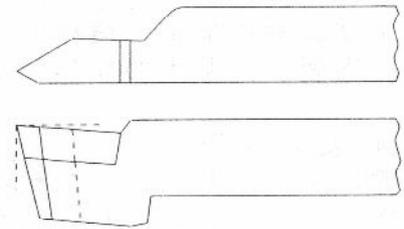
つける。ねじ切り終了時のバイトの引っ込め方をその都度、一様にして、不完全ねじ部もきれいに削れる技術力があればよいが、そうでない場合は不完全ねじ部をなくすように溝を削っておき、溝部でバイトを抜くようにした方がよい。

(3) ねじ切りバイトの研削および取付け

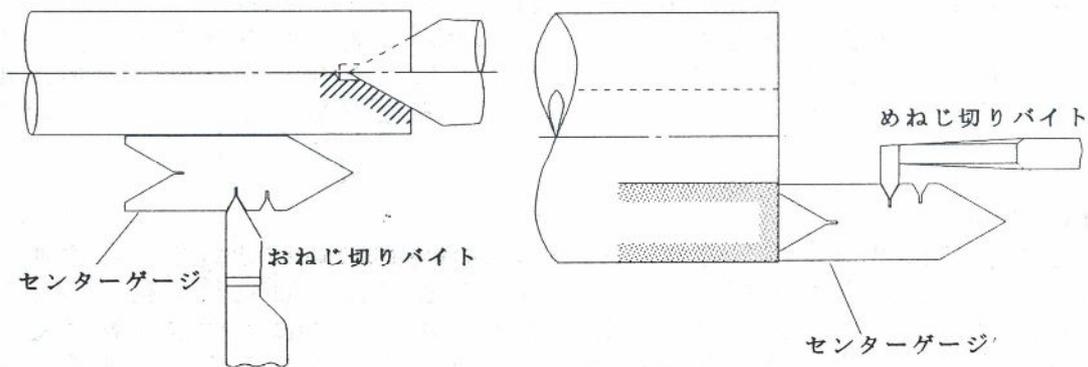
おねじ切りバイトを右図に示す。ねじ山の形が三角形のメートルねじおよびユニファイねじの場合は60°のセンターゲージを、ウィットねじでは55°のセンターゲージを利用して、バイトの刃先角を正しく、また、作業内容に適した角度にすくい面および逃げ面を研削する。ねじ山の形がその他のねじでは、その目的に応じたバイトの先端の形状に研削する。

油砥石ですくい面および逃げ面を研ぐ。ピッチの大きなねじでは、ねじ山の大きさも大きいのですくい面は研削しないが、ピッチが小さい場合にはすくい角を少し大きくするようすくい面を少し研ぐとよい。すくい面を削ると(すくい角が正で0°でない場合)、バイトが工作物と接触する各部分ですくい角が異なるのできれいに切削できず、また、バイトの先端角を正しく研ぐことが実際にはむずかしい。ねじのピッチが大きいと、ねじれの傾斜角も大きくなり、特に困難になる。このようなときは、荒削り用と仕上げ削り用の2本のバイトを用意したり、最後にねじ切りダイスでさらって仕上げを行ったりする。

バイトの先端の高さが工作物の中心にくるように調節し、また、刃先の中心線がねじを切る円筒面に正しく直角になるように、センターゲージを用いてバイトを刃物台に取り付ける。なお、センターゲージの下に白い紙を置くとバイトとゲージ間のすきまが見やすく作業しやすい。めねじ切りの場合も含めて、その様子を下図に示す。



おねじ切りバイト



バイトの取付け

(4) ねじ切り送り装置のセット

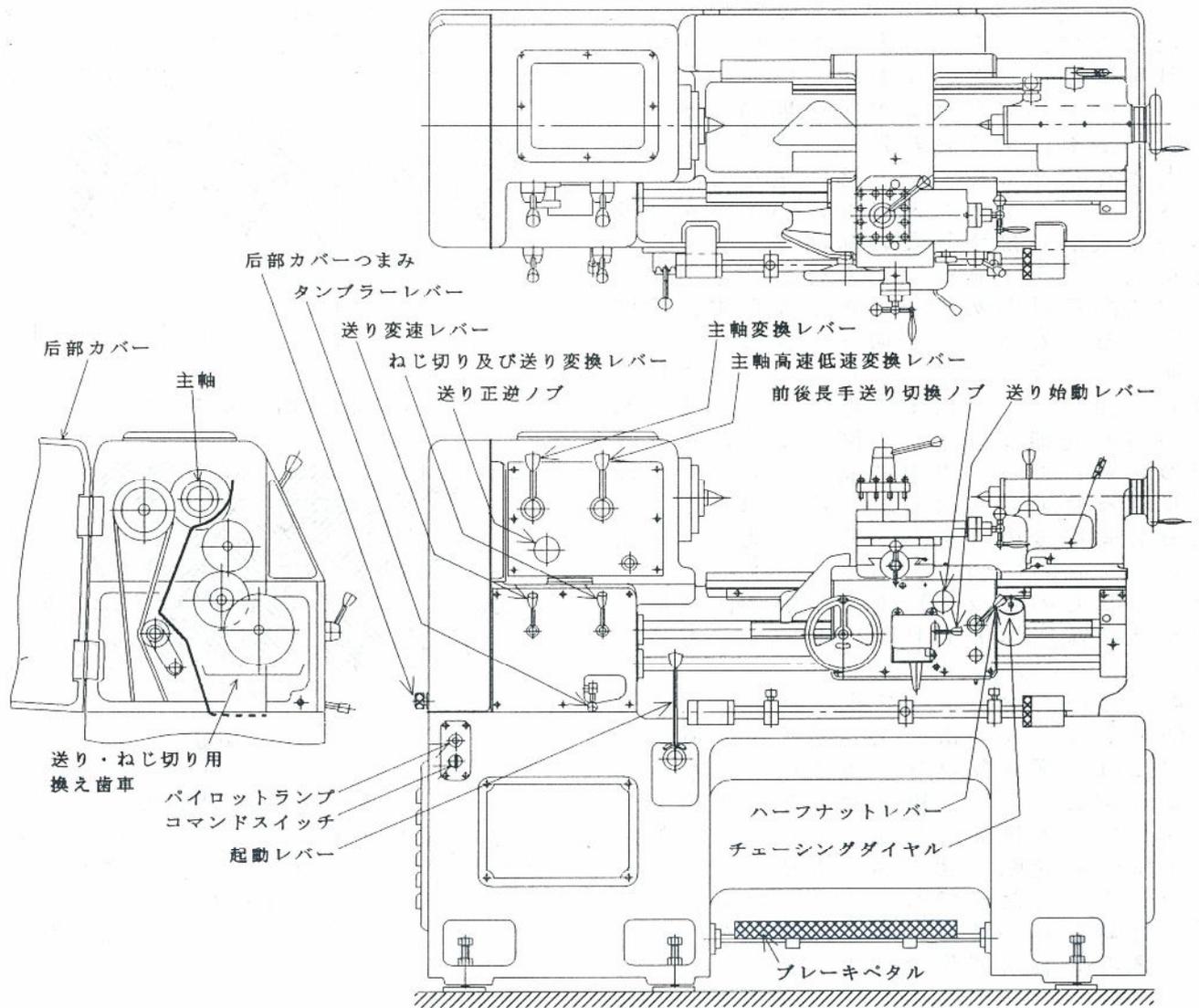
ここでは次図に示す(株)瀧澤鐵工所製のTSL550-D型の旋盤をもとに説明する。

取扱説明書の指示にしたがい、換え歯車を交換するほか、各種ノブ、レバーなどを指定の位置にセットする。

以下の作業には手順の前後関係は特にないが、だいたい次の順序で操作する。ねじ切り条件表示のプレートより、歯車の組み合わせを求め、后部カバーをあけて換え歯車を交換する。送り正逆切換ノブを、工具の送りを行う向きを確認して傾ける。送り変換レバー、タンブラーレバーを所定の位置にセットする。ねじ切りおよび送り切換レバーをねじ切り側に傾ける。縦送り、ねじ切り送り、横送り切換ノブ(前後長手送り切換ノブ)をねじ切りの位置にセットする。縦送り、ねじ切り送りおよび横送りのノブは、3段切換で安全のため互いにインターロックされており、同時に2通りの送りに歯車がかみ合わないようになっている。

(5) ねじ切り作業

ねじ切りの最適切削速度になるように主軸回転数をセットする。



旋盤の構造 (株式会社 瀧澤鐵工所 TSL550-D)

高速度鋼バイトによるねじ切りの場合の切削速度(単位: m/min)は、工作物の材質が軟鋼で8~15, 硬鋼で4~8, 鋳鉄で4~15, ステンレス鋼で2~4, 黄銅(軟質)で10~30, 黄銅(硬質)で6~15である。

切削速度は、バイトの切刃先端における工作物の円周速度であるから、切削速度を V (m/min.), 工作物の直径を d (mm)とすれば、主軸の回転数 n (rpm)は、

$$n = \frac{1000V}{\pi d} \quad (\text{rpm})$$

となる。

バイトの先端をねじ切り部の円筒に近づけ、軽く接したところで横送りハンドルの目盛りを回して0に合わせ、ねじで止めてセットする。

バイトをねじ切り開始位置まで動かす。

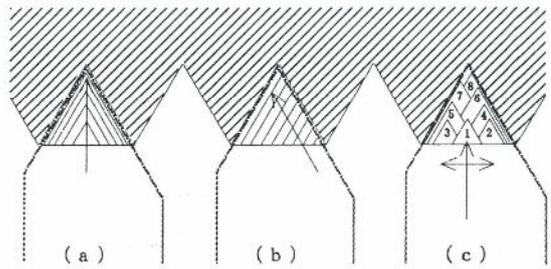
主軸を回転させる。

目盛りを見ながら横送りハンドルを回して、適当な量だけ切り込みを入れる。

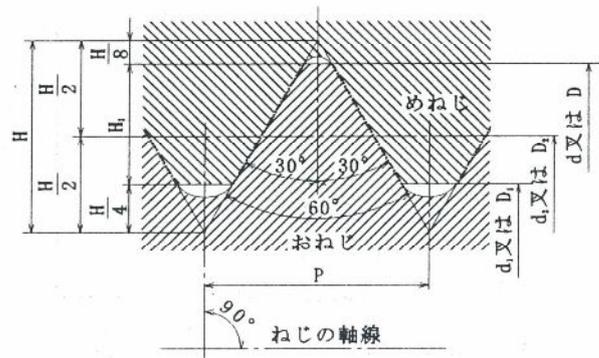
チューシングダイヤル(ねじ追いダイヤル: 主軸の回転と送りを連動させる仕組み)を見て、ねじのピッチによって決められた記号が基準の位置にきたとき、ハーフナットレバー(ねじ切り送り始動レバー)を軽く持ち上げて、ハーフナットを親ねじにかみ合わせる。主軸の回転と連動してバイトが送られてねじが切られる。

一度に切り込むと切削量が大きすぎるので、数回に分けて切り込む。その方法には

右下図のように3通りある。(a)は軸に直角に切り込む場合で、簡単なので、鋼以外の比較的削り易い材料には多く用いられる。切り込むにしたがって切り屑の幅が大きくなるので、切り込み量をしだいに小さくする。(b)はバイトの切り込みと左へずらす量を調節したり、工具台を60°に傾け、工具台送りハンドルを回して切り込む方法で、削り易いが作業に多少手間がかかる。この方法も、切り込むに従って切り屑の幅が大きくなるので、切り込み量をしだいに小さくする。(c)は最終的にバイトを切り込む領域からはずれない範囲で、切り込みと左右にずらす動作を組み合わせる方法で、1回に削る量があまり大きくなり、手間はかかるが安全にねじ切りできる。



バイトの切り込み方



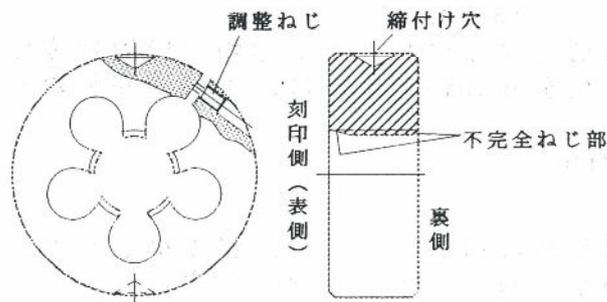
メートル並目ねじ

切り込む深さはねじのピッチから簡単に求められる。JISによるとメートル並目ねじの山の先端部は、右の図のように正三角形のとがったときの山の高さHの1/8だけ削り取った形状になっている。ねじの谷の部分も同程度の寸法とすると、切り込む深さは $(6/8)H$ となり、 $H = (\sqrt{3}/2)P$ (P:ねじのピッチ)であるから、結局、切り込む深さは $0.65P$ 程度ということになる。

切り込みをセットして削り始め、1回目を削り終えてから次に削り始める位置まで戻すには、横送りハンドルを回してバイトを少し戻してから、縦送りハンドルを回して削り始めの位置まで戻す方法と、削り終えたときのそのままの状態、主軸の回転をすばやく逆転させて戻す方法とがある。削り終えたところで回転を止めるためにスイッチを切った後でも、慣性のために主軸が回転しバイトが少し送られるので、削り始めと終わりの部分にある程度のスペースがある場合には、主軸の回転を逆転させて戻す後者の方法で作業してもよい。

4.2 手作業によるねじ切り

手作業によりねじを切るには、おねじにはダイスを用いる。



ねじ切り割りダイス

上図に示した割ダイスは、調整ねじでダイスの径をわずかだが調節できるようになっている。調整ねじを強くねじ込むと、先端部分が割り込んだ相手の面を押し、ねじの径はわずかに大きくなる。調整ねじをゆるめると、ダイスをダイスハンドルに入れてダイスハンドルの締付けねじを締めたときに、割ったすきまの間隔が少し縮まりねじの径がやや小さくなる。しかし、調整ねじを大きくゆるめて、ダイス締付けねじを

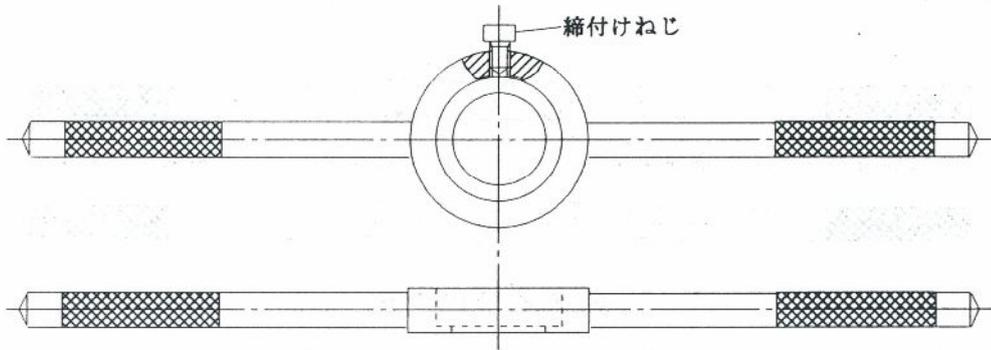
強く締め付けると、ダイスが割れることがある。

おねじでは、端面を平らに削ってから、切りたいねじの外径寸法まで棒材を削る。旋盤によるねじ切りの場合と同様、太さの寸法精度は寸法通り丁度かそれより0.1mm程度小さめの範囲に入るように削る。大きいとむしれるような感じでねじが切れてよくない。切り始めの部分は大きく面取りしておく。

ねじを切る部分を上に出して、棒材を万力に万力の口金に垂直になるように立てて締め付ける。それまでの作業工程の具合により異なるが、一般には、万力にはさむ部分に傷が付かないように、ウエス（ぼろきれ）などを巻き付けてから締め付ける。

ダイス食いつき部には勾配があり、刻印のある側（表側）で2～2.5山、刻印のない側（裏側）で1～1.5山が不完全ねじ部になっている。このため、ねじの切り始めはダイスの表側から行う。ダイスの裏側から切り進めると、ピッチが大きいねじではねじ山の高さすなわち切り屑の断面積も大きくなり、切り屑がむしり取られるように出てきて仕上がりが悪く、また、切削抵抗も大きくなる。ピッチの小さいねじではあまり違いがない。

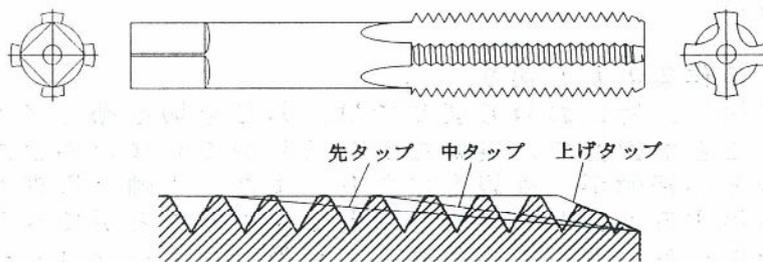
ダイスをダイスハンドルに、裏側を奥に、ダイスの締め付け穴がダイスハンドルの締め付けねじの位置にくるように入れ、ねじを締めてダイスを固定する。



ダイスハンドル

工作物のねじを切る部分と、ダイスの切れ刃の部分に切削油をつける。ダイスの表側を下に向けてねじを切る棒材の先端に置き、軽く押しつけながら時計方向に回してねじを切る。同じ方向にだけ回していると、ダイスの切れ刃全部が品物に食い込んで抵抗が大きくなるので、ダイスハンドルを時計方向に1/2回転させたら、反時計方向に1/4回転だけ戻す、という感じでねじを切り進める。刷毛などで、切削油をダイスの裏側からときどきたらし込む。ダイスの表面とねじ切りする棒材の軸が垂直になっていることをときどき確認しながら、左右のハンドルに均等な力をかけて回す。完全ねじ部まで切り込めば、前に切ったねじ部が案内になり、回転させるだけで自動的に食い込んでねじが切れる、いわゆる自己送り(self-feeding)で切削が行われる。

必要な部分までねじを切ったら、ハンドルを反時計方向に回してダイスを戻す。切ったねじの先の部分は不完全ねじ部が大きいので、ダイスの裏側を下にして、切ったばかりのおねじにねじ込み、奥の不完全ねじ部をさらって仕上げる。ハンドルを反時計方向に回してダイスを戻す。

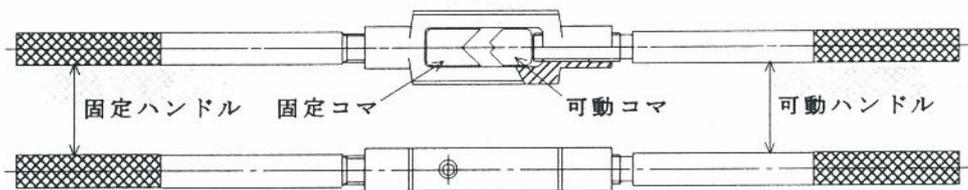


ねじ切りタップ

めねじを切る場合はタップを用いる。手回しタップは一般に3本で1組になっている。上図に示したのを等径タップといい、完全ねじ部の先に食いつき部があり、不完全なねじが約9山の先タップ（荒タップ）、約5山の中タップおよび1.5山の上げタップがセットになっている。他に増径タップがあり、熱処理された鋼のような強靱な材料にねじ切りする場合や、高精度のめねじ加工が必要な場合などに用いられる。タップのねじ山の外径が、一番・二番・仕上げタップと次第に増大する。切削量を3本のタップが適当に分担するので、ねじの精度が高められ、また、ねじ面がきれいに仕上げられる。

一般には適当な径の下穴をあけ、ねじ切りする。下穴が小さいと完全な形状のねじが切れるが、切削抵抗は大きくなり、タップを折りやすくなる。小さすぎると、不完全なねじ部も下穴に入らなくなり、ねじは切れない。下穴が大きいとねじは切りやすいが引っかけり部の少ないねじになる。詳細については、JISハンドブックなどのねじの基準寸法を参照する。

下穴をあけた工作物を、穴を上に向け、穴が万力口金の縁と直角になるようにはさんで締め付ける。それまでの作業工程の具合により異なるが、一般には、万力にはさむ部分に傷が付かないように、ウエス（ぼろきれ）などを巻き付けてから締め付ける。



タップハンドル

タップハンドルに、タップの柄の角の部分をはめ込んで締め付ける。タップを挟む部分をコマと呼び、一方は固定されているが、もう一方はタップハンドルをねじると動くようになっている。

下穴とタップの両方に刷毛などで切削油をぬり、タップ先端の食いつき部を下穴の口に入れる。工作物の上面とタップの軸が垂直になるように注意しながら、タップハンドルの両端に均等な力をかけ、軽く押しつけながら時計方向に回してねじを切る。めねじでは、一般には下穴が正しくあけてあれば、おねじの場合ほどには注意しなくても、比較的正しくねじ切りできる。かける力が偏っていると、ゆるいねじになったり、アルミニウムなどの柔らかい材料では、斜めに切り込んでしまい、途中から切り進めなくなってしまう場合がある。同じ方向にだけ回していると、タップの切れ刃全部が品物に食い込んで抵抗が大きくなるので、タップハンドルを時計方向に1/2回転させたら、反時計方向に1/4回転だけ戻す、という感じでねじを切り進める。刷毛などで切削油をタップの溝からときどきたらし込む。

8mm以上のねじでは、柄部の径が先端部の径よりもわずかに小さいので、貫通穴ならば先タップだけで、タップを突き抜けさせればねじが切れる。6mm以下のねじおよび貫通しない穴の場合は、最初に先タップでねじを切り、タップを抜いてから次に中タップ、最後に上げタップの順に仕上げる。一般には中タップを省略して2本のタップで済ます場合が多い。

4.3 旋盤を利用した手作業のねじ切り

手作業によるねじ切り、特におねじ切りでは、ねじを切る軸とダイスの面を直角に保ちながら切り込むことが困難で、良好なねじ切りができない場合がある。このようになると、旋盤の主軸と心押軸が一直線上にあり、また、主軸と心押台の端面が直角になっていることを利用すると、かなり良好なねじを切ることができる。この場合、旋盤のメインスイッチを切り、さらに主軸高低速切換えレバーをニュートラルにしておく。

縦送りハンドルを回して、往復台を主軸側にいっぱい移動させる。さらに、心押

し台を往復台に触れるまで近づけて固定する。

ねじ切りダイスをダイスハンドルに、上述の普通の手作業によるねじ切りの場合とは逆向きに、刻印のある表側を奥に入れて止めねじを締める。ねじ切りダイスの刻印のある側を工作物の端面にあて、ハンドルを回して心押し軸を出して、心押し軸の端面とダイスの刻印のない側を、ダイスが落ちない程度に軽く密着させる。ダイスの外径が小さく、心押し軸の穴の径がそれより大きいと、そのままではダイスを心押し軸の端面に密着させられないので、適当なリングを利用し、あるいは製作して間にはさむ。

ダイスハンドルの棒の部分回転しないように、刃物台の上の縁の部分にわずかに引っかける。このときハンドルがバイト締め付けねじに引っかからないように注意する。その他、以後の作業のじゃまにならないように刃物台の位置を調整する。

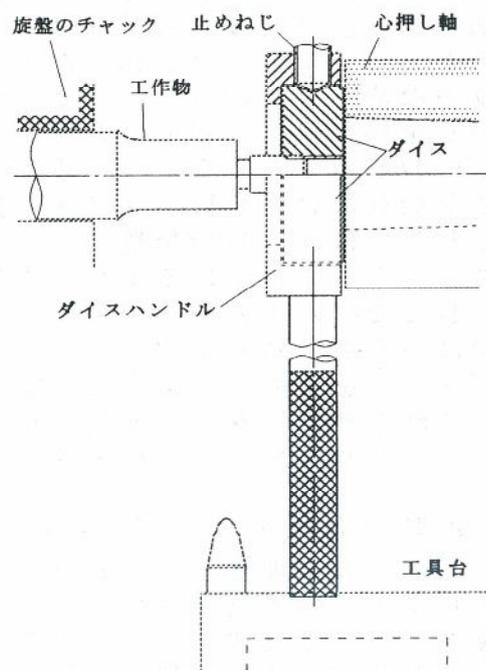
工作物およびダイスに、刷毛等で切削油を塗り付ける。切削油は、以下の作業中もときどき塗り付ける。

心押し軸送りハンドルを右手で軽く握り、ダイスを工作物に軽く押しつけながら、左手に持ったチャックハンドルで、旋盤のチャックを回す。ダイスが工作物に食い込み始めるとダイスと心押し軸にすきまができてゆるむので、心押し軸でたえずダイスを軽く押し続けるようにしてねじを切る。ある程度切り込めば、前に切ったねじ部が案内になり、回転させるだけで自動的に食い込んでねじ切りされるので、工作物をチャックからはずして万力にくわえて作業してもよい。

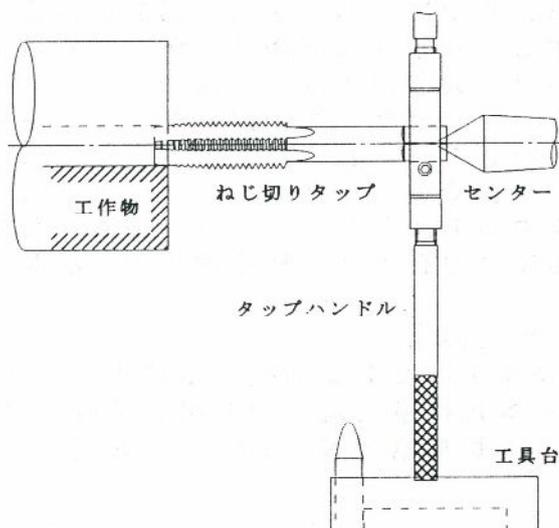
「4.2 手作業によるねじ切り」の項でも述べたように、めねじでは、一般には下穴が正しくあけてあれば、おねじの場合ほどは注意しなくても比較的正しくねじ切りできる。しかし、アルミニウムおよびその合金のような柔らかい材料では、力を入れすぎると斜めに切り込んでしまう場合がある。そのような場合には、旋盤で他の部分の加工を行い、下穴をあけたままの状態でもねじ切りを行う方が、能率の良いことも多く、全般的に加工精度の向上が期待できる。特に、穴径が小さくてめねじ用のバイトが非常に細くなる場合などにも有効である。さらにピッチの大きなねじでは、手回しの場合よりも、はるかに小さな労力で作業できる。

タップでめねじを切る場合は、6mm以下の小さなねじでは、タップをドリルチャックにくわえ、心押し台送りハンドルを回してタップをねじ切りしようとする下穴にはめ込み、ハンドルをつかんでタップを軽く押しつけながら、工作物をつかんだ旋盤のチャックを回してねじを切り進める。

8mm以上のねじの場合は、タップの柄の端面にあけてある円錐形の穴を利用する。タップハンドルにタップの柄の四角部分をはめ込んで締め付ける。心押し台にセンターを取り付け、下穴にタップの食いつき部を入れ、タップの柄の円錐形の



ダイスによるねじ切り



タップによるねじ切り

穴にレースセンターの先端を入れる位置に、心押台を移動させ固定する。タップハンドルの棒の部分回転しないように、刃物台の上の縁の部分にわずかに引っかける。そのときハンドルがバイト締付けねじにふれないように注意する。心押軸送りハンドルを右手で軽く握り、タップの先端を工作物のねじ下穴に軽くはめ込んで押しつけながら、左手に持ったチャックハンドルで旋盤のチャックを回す。タップが工作物に食い込み始めるとタップとセンタにすきまができてゆるむので、心押し軸でたえずタップを軽く押し続けるようにしてねじを切る。ある程度切り込めば、前に切ったねじ部が案内になり、回転させるだけで自動的に食い込んでねじ切りされるので、工作物をチャックからはずして万力にくわえて作業してもよい。

なお、この「旋盤を利用した手作業のねじ切り」により、丁寧に作業しても良好なねじ切りが出来ない場合、以下の順に検討して正しいねじ切りを行うようにする。切削油の供給は十分であるとして話を進める。

おねじではまず、ねじを切る棒材の部分の直径が、正しく仕上げられていることが大切である。「呼び」寸法通りか、わずかに小さい値に仕上げるようにする。大きすぎると、ピッチの大きいねじの場合と同様に、むしろ削れて、ねじ面の仕上がりがなめらかにならない。ピッチの大きいねじでは、割ダイスで説明したように調整ねじを操作して、初めにわずかに径の大きいねじを切り、再度調整ねじを操作して正しいねじを切るように、2段階で行うようにする。このように作業しても、良好なねじが切れない場合は、ダイスの損傷を疑い、新しいダイスと交換する。ピッチの大きなねじでは、4.1の「旋盤によるねじ切り」の項で概略のねじ切りを行い、最後にダイスでさらって仕上げるようにすると良い。

めねじでは、下穴の径が小さいと、おねじの場合と同様に、むしろ削れる傾向はあるが、ねじ下穴表にしたがってあげればあまり問題は起こらない。最初から上げタップを用いても多少この傾向は考えられるので、先タップから用いるようにする。これ以外ではタップの損傷を疑って丁寧に観察し、損傷があれば交換する。ピッチの大きなねじでは、増径タップを用いるようにする。

5. 結果（考察）のまとめ方

ねじ切りの原理として、旋盤によるねじ切りでは、親ねじのピッチから加工するねじのピッチへの掛換歯車の計算について、基本的な計算方法を調べ、ねじ切り実践した条件について具体的に計算する。

ねじの歴史、種類・規格、用途などについても調べる。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

おねじでは、ねじを切る部分を円筒形に削って所定の直径に仕上げ、先端部を面取りする。ねじ部の直径は、所定の寸法より0.1mm程度までなら小さくてもよいが、わずかでも大きいのはよくない。ダイスの表面とねじ切りする棒材の軸が垂直になっていることをときどき確認しながら、左右のハンドルに均等な力をかけて回す。

めねじでは、JISハンドブック〔ねじ〕のめねじの内径を参考に、ねじ下穴表を作成しておくか、工具カタログなどにあるねじ下穴表をコピーして手元に用意しておく。工作物の上面とタップの軸が垂直になるように注意しながら、タップハンドルの両端に均等な力をかけ、軽く押しつけながら時計方向に回してねじを切る。

[参考文献]

- 1) 技能士の友編集部編著：技能ブックス5・ねじ切りのメイジン、大河出版(1981)
- 2) 日本規格協会編：JIS用語辞典・機械編(第2版)(1987)
- 3) 日本規格協会編：JISハンドブック・ねじ(1988)

(執筆者名) 平瀬志朗

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

金属の二次元切削における切りくずの生成（被削材の変形）状況を，簡易顕微鏡を用いて観察し，切削のメカニズムについて考察する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

横フライス盤，簡易顕微鏡，バイス，照明ランプ，工具（例；ハイス完成バイト）
被削材（例；四一六黄銅），工具研削盤

3. 所要授業時間（講義：60 min.，
実験・実習：60 min.）

4. 実験（実習）の方法

(1) 図1に示すように，横フライス盤を改造し（アーバ，フライス刃，カラーを取り外す），オーバーアーム部①にバイト②を保持するための工具ホルダー部③を取り付け，テーブル上に取り付けたバイス④に被削材⑤をはさみ，テーブルの横送りを切削速度とする二次元切削をする。

二次元切削は図2に示すように，工具刃先が切削方向に直角であり，切込み量は切刃にそって一様である。また，切込み量に対して切削幅が十分に大きい場合は，切刃に直角な被削母材内の各断面の変形状態はほぼ一様となる。したがって，切削による変形状態は二次元的であり，このような切削型式は二次元切削と呼ばれている。

(2) 工具ホルダー部には図3に示すような簡易顕微鏡⑥（通常の金属顕微鏡の接眼レンズと対物レンズを金属製円筒に取り付けたもの，接眼レンズ倍率6・対物レンズ倍率10が適当である）を取り付け，照明ランプ⑦で刃先先端部（切削部）を斜め上方から照らして，種々の切削条件のもとでの切りくず生成状況を肉眼で観察し，切削のメカニズムについて考察する。

(3) 切削後に切りくずを採取し，上記の切削部の観察結果とも併せ，切削条件と切りくず形態の関係をとらえる。

なお，切りくず生成状況は図4に示すように，ビデオカメラに上記の簡易顕微鏡を取り付けて撮影し，ビデオ録画することも可能である。

5. 結果（考察）のまとめ方

切りくず形態に関しては，従来，(1)流れ形，(2)せん断形，(3)亀裂形，(4)むしり形に分類されているが，亀裂形とむしり形とは判別が非常に困難である。また，切削条件によっては，構成刃先が発生する場合も多く観察されるので，切りくず形態は，(1)流れ形，(2)せん断形，(3)構成刃先を伴う形，に分類した方が一般に分かりやすい。

本実験により，切削条件と切りくず形態の関係について把握して，どのような条件のときにどのような切

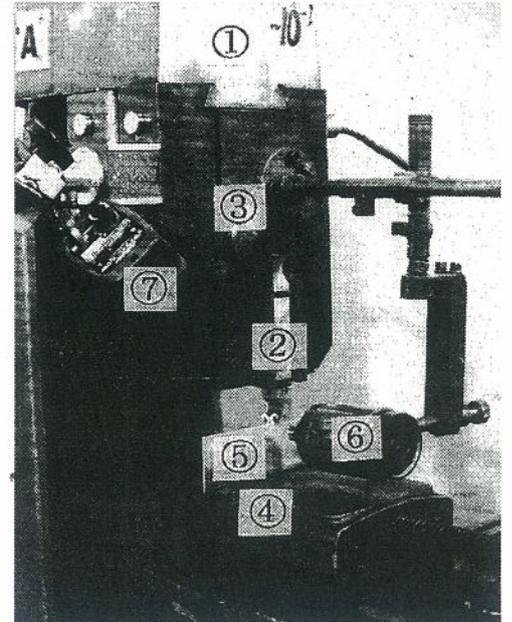


図1 切りくず生成観察装置

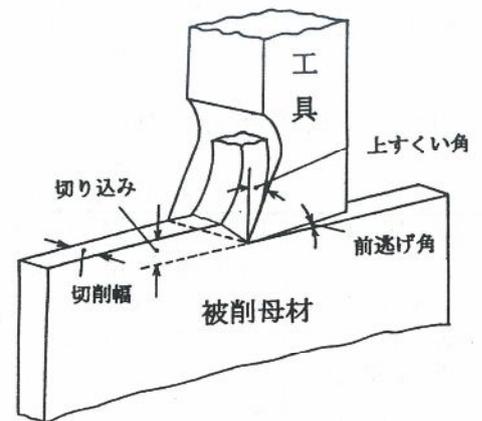


図2 二次元切削

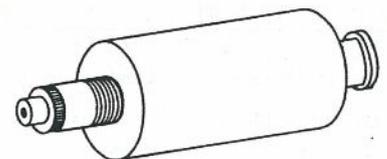


図3 簡易顕微鏡

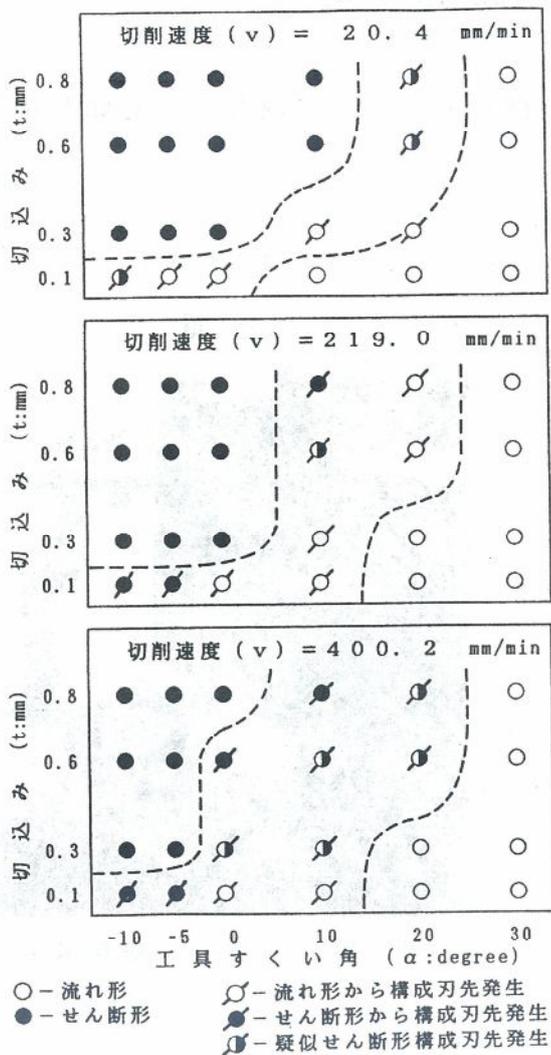


図5 切削条件と切りくず形態

表1 切削条件

被削材	四一六黄銅 (JIS BsP-1/4H)
工具	高速度鋼第4種 (JIS SKH-4)
切り込み	0.1, 0.3, 0.6, 0.8 (mm)
切削幅	3.0 (mm)
切削速度	20.4, 219.0, 400.2 (mm/min.)
切削剤	乾燥
工具形状	(A°, 0°, 5°, 0°, 0°, 0°, 0mm)* A = 10, 5, 0, 10, 20, 30

*註：工具形状欄の数字は、(上すくい角，横すくい角，逃げ角，横逃げ角，前切刃角，横切刃角，ノーズ半径)を示す。本冊子，18「旋盤作業」の項を参照のこと。

す関係位置にある。なお、これらの切削面性状写真を図9(a),(b),(c)に示す。流れ形切りくずが発生する場合は比較的滑らかな性状を示しているが、せん断形切りくずの場合の切削面性状は明らかに断続を繰り返した波状の切削面性状を示している。また、構成刃先を発生した場合は、流れ形の場合よりも滑らかでなく、発生した構成刃先によって擦られた切削面性状を示している。

二次元切削において、被削母材が削られて切りくずになる変形機構は、図10に示すようなせん断面切削模型で説明される。被削母材から切りくずへと変形する際には、その変形はある広がりをもつ領域内で行われるが、この模型はそれを理想化して一つの平面

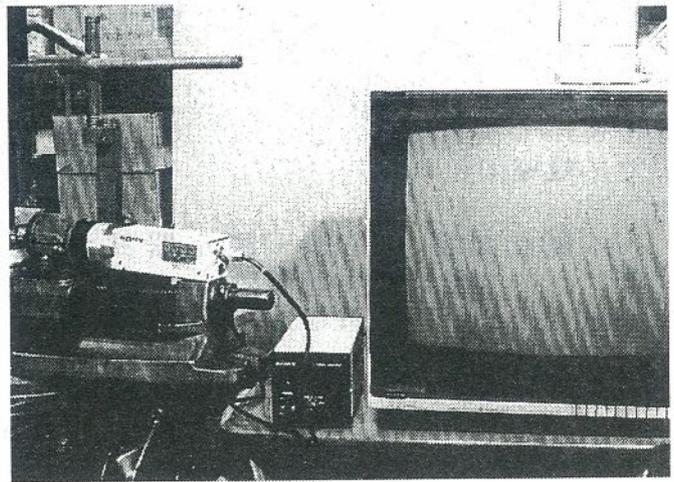


図4 切りくず生成のビデオ記録装置

りくず形態となるかを把握する。また、刃先端部分から切りくず自由面にかけてのせん断領域に生じているすべり変形について観察し、切りくず生成のメカニズムについて考察し、流れ形切りくず・せん断形切りくず・構成刃先の発生を伴う切りくず形の生成メカニズムの違いについて把握する。図5は、表1に示す条件下において、四一六黄銅を低速二次元切削した場合の切削条件と切りくず形態の結果を示す。構成刃先を発生する場合は、流れ形切りくずから発生する場合、せん断形切りくずから発生する場合、さらに流れ形切りくずとせん断形切りくずの中間的形態から発生する場合がある。この場合は、図6に示すように、切りくず幅の両端部にはせん断が生じているが、それが切りくず幅切りくずが分断さ全体にはいならず、完全にれず、全

体としては連続していて、外見上は流れ形となっている場合が多く観察された。これを通常のせん断形とは区別した方がよいと考えられるので、これを疑似せん断形と呼ぶことにした。

図7(a),(b),(c)は、観察された流れ形切りくず、せん断形切りくず、構成刃先を伴う切りくずの写真を示す。この場合の切りくず、被削材、工具は、図8に示

と考えているので、必ずしも実際の変形と合致しないこともあるが、切りくず変形の基本的メカニズムが説明できる。実際に観察される変形の状態を、このせん断面模型と対応づけて考察させるとよい。

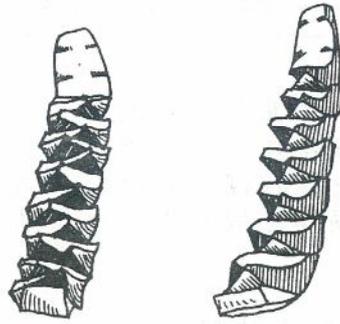
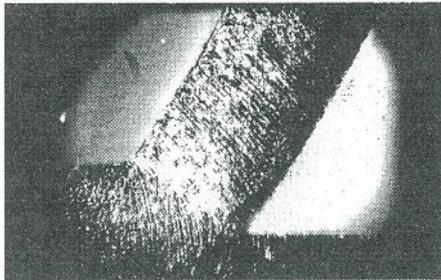


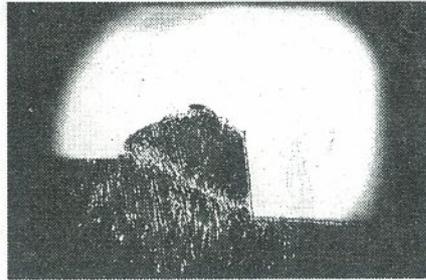
図6 疑似せん断形切りくず



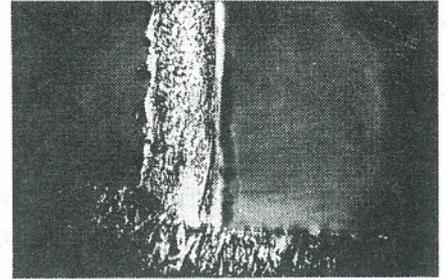
図8 被削母材・切りくず・工具の位置関係



(a) 流れ形

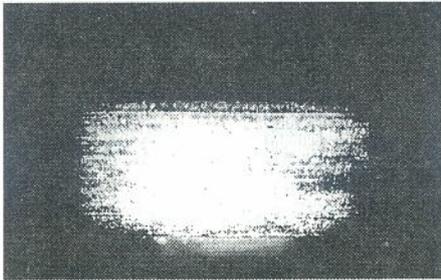


(b) せん断形

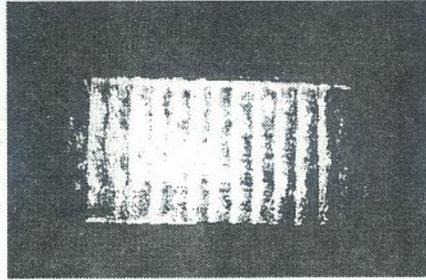


(c) 構成刃先を伴う形

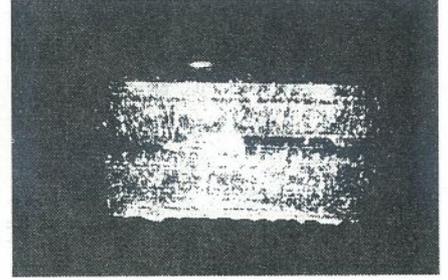
図7 切りくず写真



(a) 流れ形



(b) せん断形



(c) 構成刃先を伴う形

図9 切削面性状写真

6. 参考事項 (実験・実習のポイント, 注意事項など)

工具研削盤は、完成バイトを種々の形状(すくい角や逃げ角など)に研削するのに使用する。

[参考文献]

- 1) 精密工学会編：改訂精密工作便覧，コロナ社（1964）。
- 2) 機械技術研究会編：初学者のための機械工作法，理工学社（1981）。
- 3) 鈴木信也：初学者のための工作機械と工具，理工学社（1975）。
- 4) 白井英治：切削・研削加工学 上，共立出版（1971）。
- 5) 菊地庄作，柳沢重夫：切削の理論と実際，共立出版（1978）。

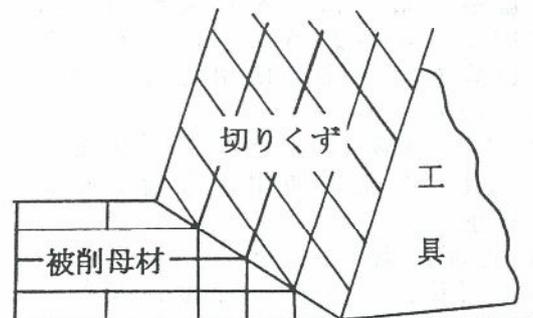


図10 せん断面切削模型

(執筆者名) 牧野亮哉

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

旋盤は工作機械の中で最も代表的なものであり、旋削によって加工する。工作物の回転は一般に高速のもとで使用するため危険を伴う。したがって、安全性の面から工作物の取り付けや操作方法には十分に注意しなければならない。本テーマでは、普通旋盤を中心として、その機能・構造や基本的な操作を取り入れた作品（一輪挿し）の製作方法について記す。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

旋盤、旋盤用各種バイト、ドリル、センタ穴ドリル、旋盤用付属品、ノギス、トースカン、片パス、ヤスリ、モンキースパナ、ハンマ、物差し、光明丹、青ニスなど

材料：アルミニウム（その他のものでもよいが、軟質材の方が作業しやすい）

3. 所要授業時間（講義：120 min., 実験・実習：270 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 旋盤の機能

旋盤でできる加工の種類（機能）は、図1に示すように、外丸削り・端面削り（側面削り）・突切り（みぞ切り）・テーパ削り・穴あけ（きりもみ）・中ぐり・ねじ切り（おねじ切り、めねじ切り）・正面削り・曲面削り・総形削り・ローレット切りなどである。

4.2 旋盤の種類

(1) 普通旋盤：最も一般的な旋盤で、ベッド・主軸台・往復台・刃物台・心押台・親ねじ・送り軸などから構成されている（図2）。主軸速度も、低速（ねじ切り）から高速（軽合金切削）まで広範囲に変速できる。

(2) 卓上旋盤：作業台上に据え付けて使用する小型の普通旋盤。主として小物部品の加工を行う。

(3) ならい旋盤：型板（テンプレート）にならって刃物台が自動的に切込みおよび送り運動を行い、型板と相似の輪郭の工作物を削り出す旋盤。最近では、NC旋盤（後述）が広く使用されるようになり、ならい旋盤はあまり使用されないようになった。

(4) 工具旋盤：主として刃物または工具の加工に使用する精度の高い旋盤。

(5) 正面旋盤：主として正面削り加工（後述）を行う旋盤。大きな面板をもち、刃物台が主軸に直角方向に広範囲に動けるので、大きな部品の正面削りを行える。

(6) 立旋盤：旋盤主軸台を下にして、主軸を垂直に立てた形式にした旋盤。工作物は水平面内で回転するテーブル上に取り付けられ、

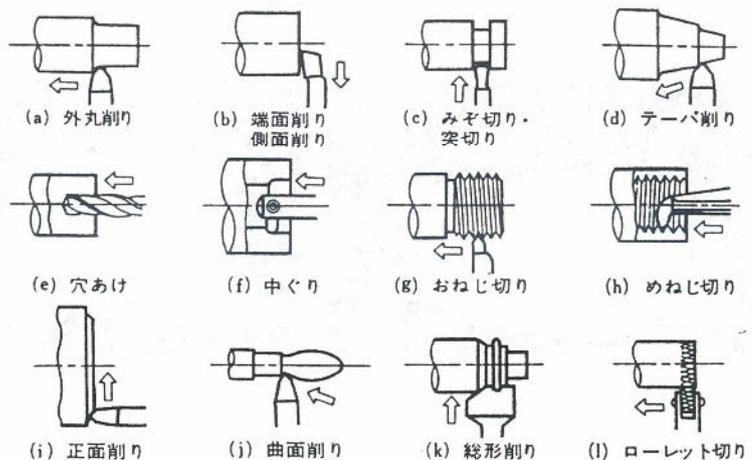


図1 旋盤でできる加工の種類

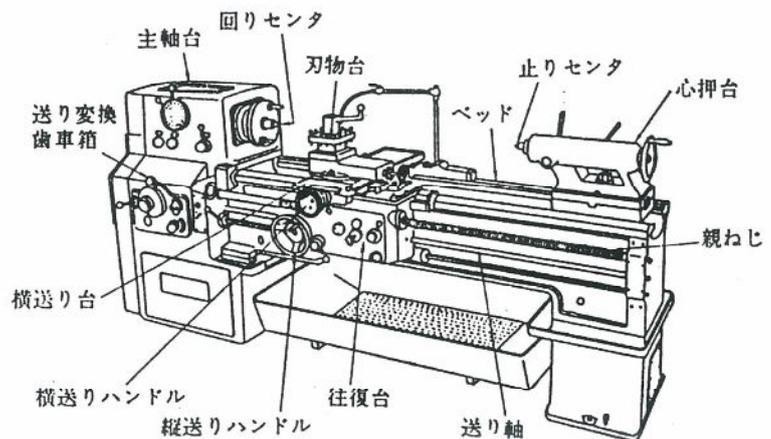


図2 普通旋盤の構造

刃物台はコラム上を送り運動する。

(7) NC旋盤：NC (Numerical Control; 数値制御) 化された旋盤。プログラムによって工具が制御されて動かされる。

その他に、多刃旋盤・タレット旋盤・車輪旋盤・車軸旋盤・クランク旋盤・クランクピン旋盤・カム軸旋盤・ねじ切り旋盤・親ねじ旋盤・ロール旋盤などがある。

4.3 旋盤の構造

主な構造部分を以下に記す。

- (1) 主軸：工作物に切削のための回転を与える軸で、文字通り旋盤の最も主要な軸。
- (2) 主軸台：主軸、主軸駆動装置、速度変換装置などを備えた部分をいう。主軸端に工作物を保持するチャック・回し板などを取り付けられるように、図3に示すようなものがある。

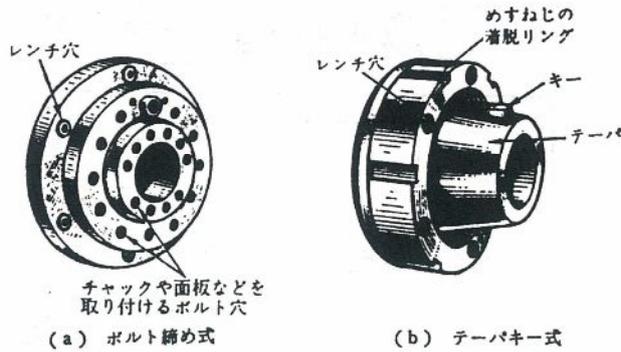


図3 主軸端

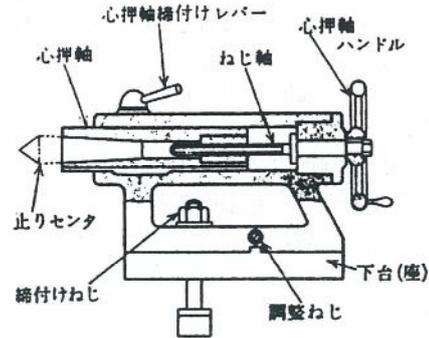


図4 心押台

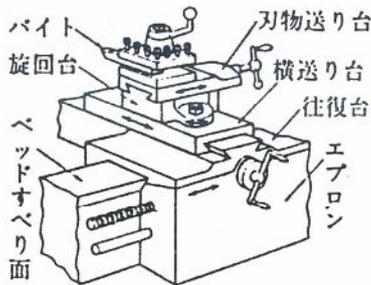


図5 往復台

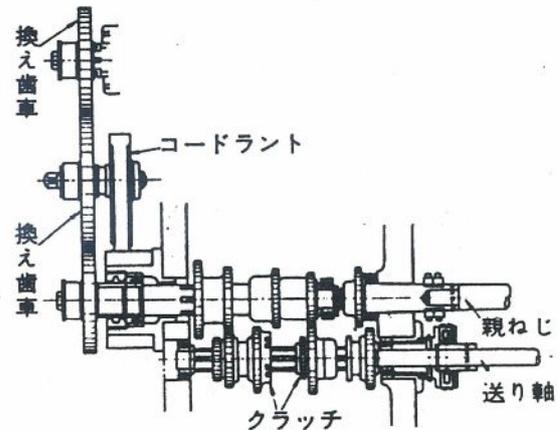


図6 送り機構

- (3) 心押台：ベッド上で主軸台と対向する側にあつて、センタ作業の際に工作物の一端をセンタで支える台 (図4)。
- (4) 往復台：ベッド上を往復動ができ、バイトの縦および横送り運動を行う部分をいう。エプロン(サドル前部に取り付けられている部分で、縦・横送り切替え装置や半割りナット掛け外し装置などを備えている)・サドル(ベッド上のすべり面にまたがって縦方向に移動する台で、横送り台のすべり面を構成している)・横送り台(サドル上を横方向に移動する台)・旋回台(横送り台上にあつて、バイトを旋回できる)・刃物送り台などから構成されている (図5)。
- (5) 親ねじ：ねじ切りのときにバイトの自動送りのために用いられるねじ軸。高精度の角ねじまたは台形ねじで作られている。
- (6) 送り軸：ねじ切り以外の切削作業において、バイトに送り運動を伝える軸。
- (7) 送り機構：主軸台からの回転運動を受けて、一般には速度変換を行い、送り軸または親ねじにその回転を伝えて、往復台(バイト)に送り運動を与える (図6)。
- (8) ベッド：旋盤本体を構成する台で、その上面は往復台・心押し台に対するすべり面を構成している。

4.4 旋盤の大きさの表示方法

旋盤の大きさの表示は、図7に示すようにベッド上の振り（最大直径； d_1 ）・往復台上の振り（ d_2 ）・両センタ間の最大距離（ l_1 ）・ベッドの長さ（ l_2 ）などで表す。

4.5 旋盤の付属品

- (1) チャック：主軸端に取り付けて、工作物をつかむもの。つめを動かす仕組みにより、単動チャック（四つめチャック；各つめがそれぞれ独立に動く）と連動チャック（三つめチャック；各つめが連動して一緒に入入りする）がある（図8）。その他に、電磁式チャックもある。
- (2) コレット：主軸穴の端に取り付けて、丸棒形の工作物をつかむもの（図9）。
- (3) 面板：主軸端に取り付けて、センタやチャックでは固定できない複雑な形状の工作物を取り付ける場合に使用する（図10）。
- (4) 回し金：センタ作業のときに、工作物に取り付けて、主軸の回転を工作物に伝えるもの（図11）。
- (5) 回し板：主軸端に取付けて、回し金に回転を伝えるために使われるもの（図12）。
- (6) センタ：工作物の回転中心を支えるもの（図13）。その他に、固定振れ止め、移動振れ止めなどがある。

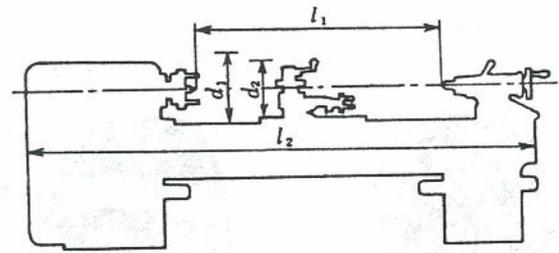


図7 旋盤の大きさの表示方法

4.6 バイト

- (1) バイトの種類：構造からは図14に示すように、むくバイト（刃部とシャンク部が同一材質でできているもの）・付刃バイト（シャンクにバイトのチップをろう付けしたもの）・クランプバイト（ホルダにバイトのチップを機械的にクランプ止めしたもので、スローアウェイ；Throw-awayバイトともいう）・差し込みバイト（ホルダに小形のバイトを差し込んで、取り付けたもの）がある。付刃バイトについては、JISに図15(a)（高速度鋼バイト）および図15(b)（超硬バイト）のように規定されている。材質からは、炭素工具鋼・合金工具鋼・高速度鋼・超硬合金・サーメット・セラミックなどがある。
- (2) 刃形の表示方法：シャンク基準による表示法と切刃基準による表

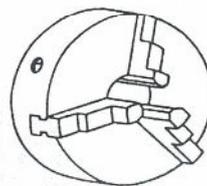
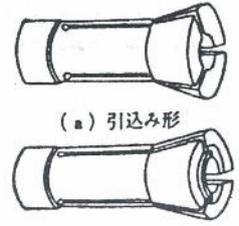
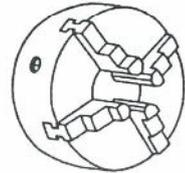


図8 チャック



(a) 引込み形

(b) 固定形

図9 コレット

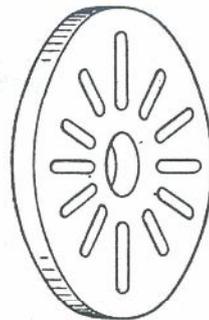


図10 面板

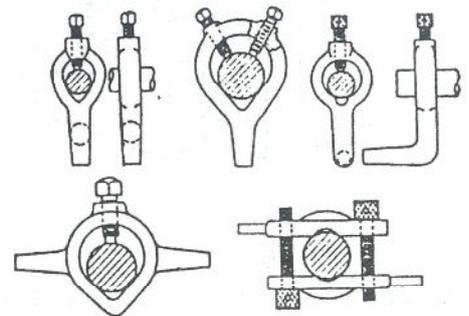


図11 回し金

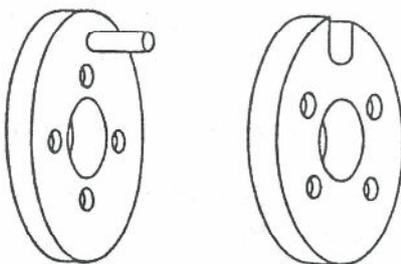


図12 回し板

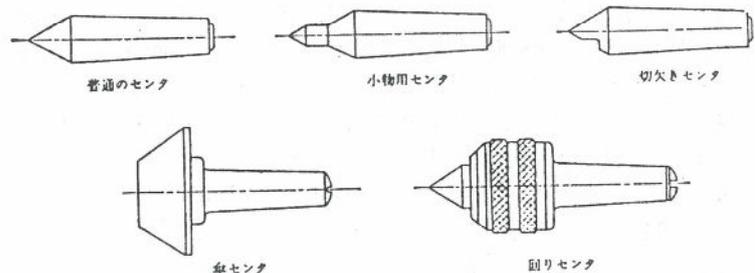


図13 センタ

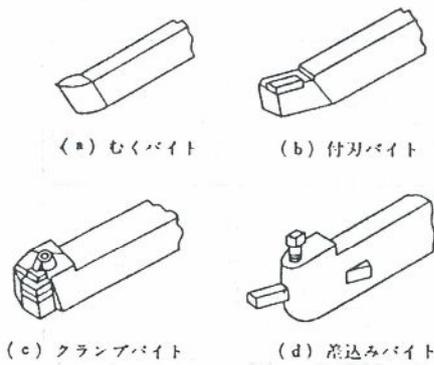
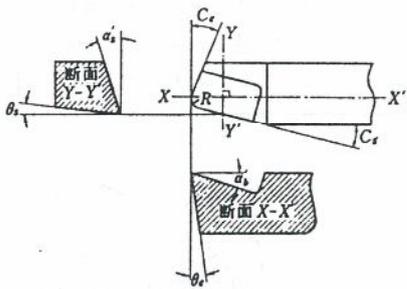
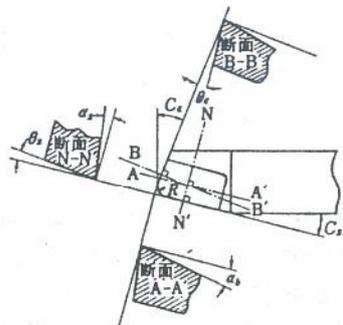


図14 バイトの種類



上すくい角 ——— a'_s , a_s , θ_r , θ_s , C_r , C_s , R
 横すくい角 ———
 前逃げ角 ———
 横逃げ角 ———
 前切刃角 ———
 横切刃角 ———
 ノーズ半径 ———

(a) シャンク基準



平行上すくい角 ——— a_s , a'_s , θ_r , θ_s , C_r , C_s , R
 垂直横すくい角 ———
 前逃げ角 ———
 横逃げ角 ———
 前切刃角 ———
 横切刃角 ———
 ノーズ半径 ———

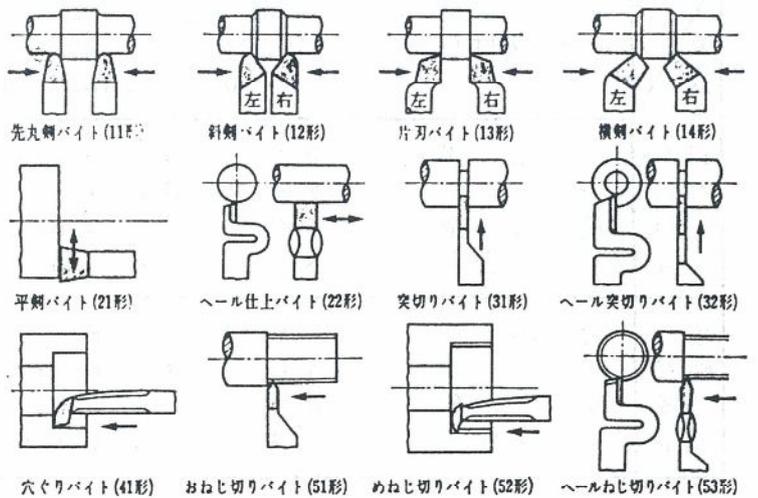
(b) 切刃基準

図16 刃形の表示方法

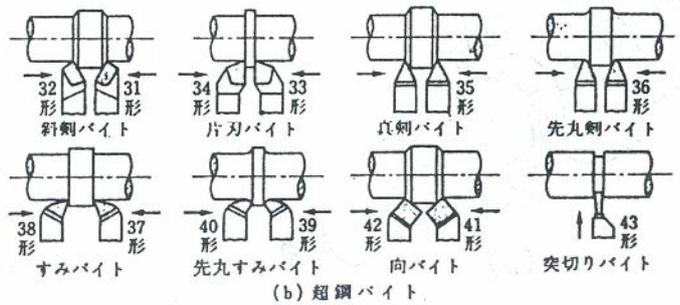
工作物両端のセンタ穴にセンタを挿入して加工するので、センタ穴とセンタとは摩擦だけで接触しているのですべりを生じて主軸の回転力を工作物に伝えることは不可能である。そのために、このセンタ作業では、回し金と回し板を用いて、主軸の回転を工作物に伝えるようにしている。

チャック作業：比較的短い工作物の場合は、図17(b)に示すようにチャックに工作物をつかませて行う。

その他の方法：センタ作業やチャック作業では加工しにくい工作物は、図17(c)に示すように面板に補助取り付け具などで取り付けて作業することが行われる。



(a) 高速鋼バイト ()内はJIS B 4152のバイト番号を示す。



(b) 超鋼バイト

図15 高速鋼バイトと超硬バイトの種類 (JIS規格)

示法とがある。いずれも図16に示す7つの要素で表示する。

4.7 切削条件

切削の条件は、何を切削するのか(工作物の種類)・どのバイトを使うのか(バイトの種類)・荒切削か仕上げ切削かなどによって、切削速度を決めることになる。次表は、旋削における切削条件の目安値である。

4.8 旋盤の操作

(1) 旋盤作業の方法

旋盤作業は工作物の取り付け方からセンタ作業、チャック作業および取り付け作業(チャックセンタ作業)に大別される。

センタ作業：センタ作業は、図17(a)に示すように工作物の両端をセンタで支えて旋削する。工作物が比較的長いものの場合に行う方法である。

表 切削条件

高速度 鋼 S バ K イ H ト 4	工作物材料	荒削り (切込み：1～3mm 送り：0.2～0.4mm/rev)	仕上削り (切込み：1.0mm以下 送り：0.05～0.2mm/rev)
		炭素鋼	30～43 m/min
バ K	铸铁	20～33 m/min	30～45 m/min
イ H	銅合金	70～90 m/min	90～120 m/min
ト 4	アルミニウム合金	80～120 m/min	120～160 m/min
超硬 バ イ ト	炭素鋼	80～160 m/min	100～220 m/min
	铸铁	40～80 m/min	50～100 m/min
	銅合金	250～300 m/min	300～400 m/min
	アルミニウム合金	200～400 m/min	300～600 m/min

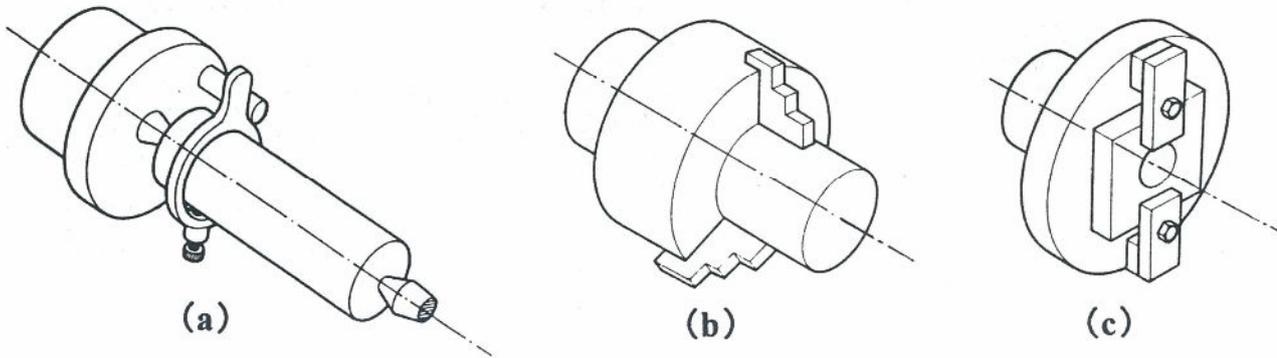


図17 旋盤の作業形態

また、長い工作物の場合、図18に示すように左端はチャックでつかんで、右端はセンタで支えて行うこともある（取り付け作業またはチャックセンタ作業とも呼ばれる）。

(2) 加工手順と操作方法

本テーマ実習では、図19に示す作品（一輪挿し）をアルミニウム材で製作することを課題として、その作業手順と内容を以下に記述する。本テーマ実習には、旋盤加工の基礎となる心立て・外丸削り・端面削り・段削り・テーパ削り・曲面削り・突切り（みぞ削り）・おねじ切り・穴あけなどの作業を含んでいる。また、作業形態としては、基

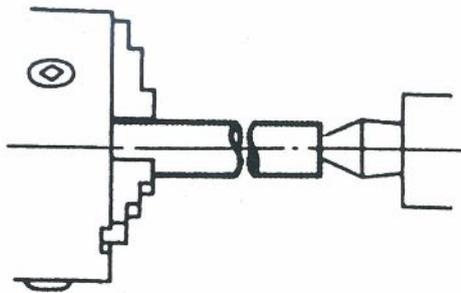


図18 取り付け作業
(チャックセンタ作業)

本的にチャックセンタ作業として行うが、一部にチャック作業も含む。以下、作業手順にしたがって記述していく。

- ① 端面削り：まず、チャック作業で、工作物右端の端面削りを行う。片刃バイトを用いる。以下に用いるすべてのバイトに共通することとして、図20に示すようにバイトを工具台に取り付ける際、バイト刃先点を心押し台のセンタ線またはセンタ先端に正しく合わせることが必要である。高さの調節はシヤंक下に敷板を入れて行う。刃先点の高さを調べるには、あらかじめセンタ線高さにセットしたトースカンを用いると便利である。端面削りの仕方は図21に示すように、かぎ形に片刃バイトを送ることを繰り返す。図22は端面削りの状況を示す。
- ② 心立て：端面削りが終わったら、その面の中心にセンタ穴を加工する（心立て）。センタ穴は、チャックセンタ作業の際にセンタで支えるための穴である。心立ては心立て作業専用の心立て盤があれば、それを利用するのが最良である。心立て盤がない場合は、ボール盤あるいは旋盤でも心立てができる。本テーマ実習では旋盤で行うこと

にする。テーパシャンクドリルチャックを取り付け、そのチャックにセンタ穴ドリルを取り付ける。そのテーパシャンク部分を心押し台端部のテーパ穴に挿入する。心押し台全体を工作物に近づけてベッドに固定し、心押し軸締め付けレバーをゆるめてハンドルを回し、心押し軸を前進させ、センタ穴ドリルで工作物端面にセンタ穴をあける（図23）。

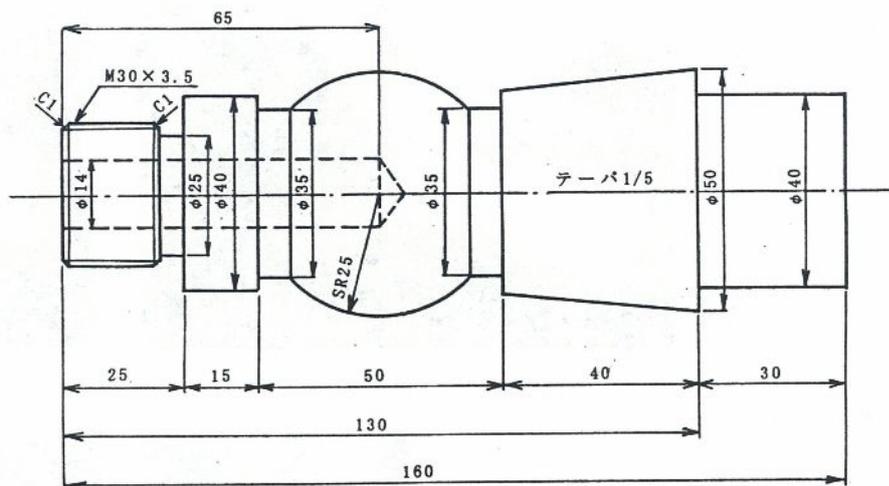


図19 製作品の設計図

③ 外丸削り：工作物の左部分をチャックでくわえ、右部分はセンタで支える（チャックセンタ作業）先丸剣バイトで加工物を $\phi 50$ に削る。適当な切り込みを与えて、工作物右端から自動縦送りを利用して行う。当然のことながら、チャックの極近傍部分は削れないので残しておく（図24）。

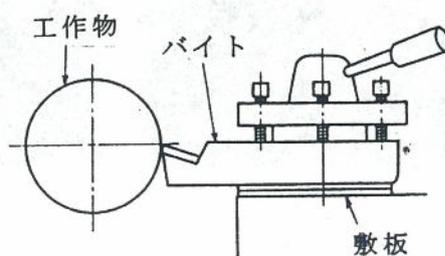


図20 バイトの高さ設定

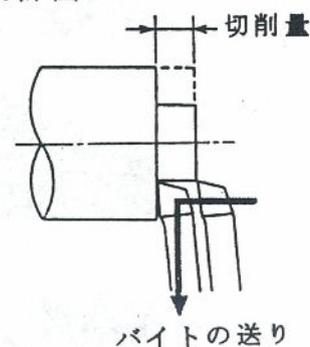


図21 端面削り

④ 段削り：次に、右端から30mmの部分（青ニスなどを塗り、片パスを用いて、切削終端位置をけがいておく）を $\phi 40$ に削る。片刃バイトを用いる。この部分は加工物の左右を入れ替えたときのチャックのつかみ部分であり、最終的に作品が完成したときには取り除かれる部分である（図25）。図25では加工物右端をセンタで支えていないが、支えた方が安定した作業ができる。

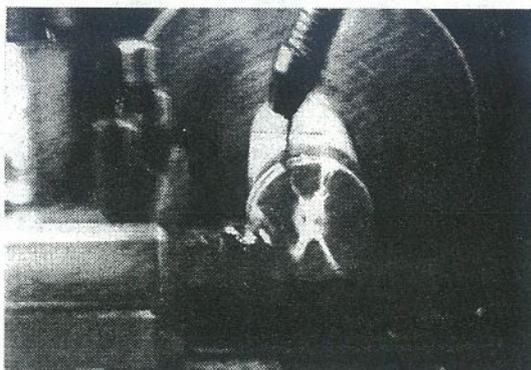


図22 端面削り状況

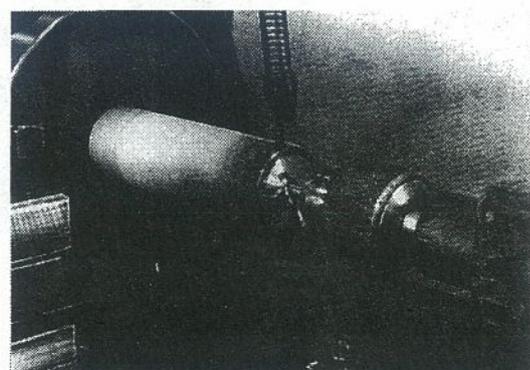


図23 心立て状況

- ⑤ 突切り：テーパ部となる境界部を、 $\phi 35$ にあらかじめ突切り（みぞ削り）しておく。この場合は、突切りバイトを用いる（図26）。
- ⑥ テーパ削り：長さ40mmの部分を1/5のテーパに削る。この場合は複式刃物台の旋回台の固定ナットをゆるめて、主軸中心線に対してテーパ角度の1/2（ $=5.5^\circ$ ）だけ傾けて行う。送りは刃物送り台を利用して、手送りで送る（図27）。工具は先丸剣バイトを用いる。仕上げ削りはヘール仕上げバイトを用いるとよい。テーパ削りとしては、両センタ位置をずらせて行う方法もある。【ここで、工作物の左右を入れ替える】
- ⑦ 端面削り：④で段削りした部分をチャックに取り付けて（チャック作業）、右端の端面削りを行う。
- ⑧ 心立て：②と同様に、端面削りした面にセンタ穴をあける。

⑨ 突切り：チャックセンター作業として、右端をセンタで支え、曲面削りをする部分の境界部分を⑤と同様に、あらかじめφ35に突切り（みぞ削り）をしておく（図28）。

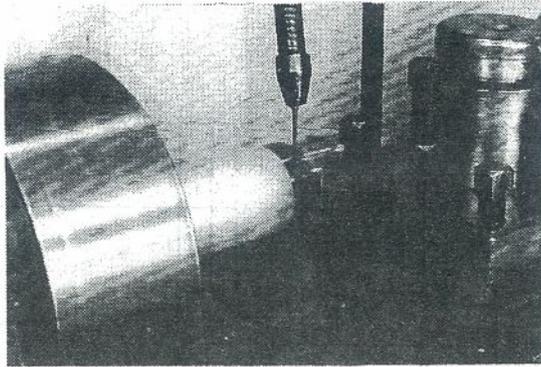


図24 外丸削り状況

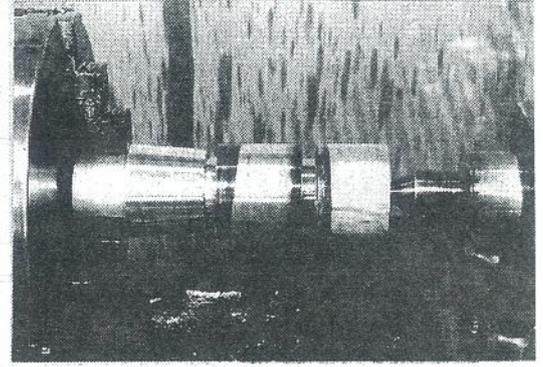


図28 突切り終了時

⑩ 外丸削り：右端部から、⑨で突切りしたところまでをφ40に外丸削りする（図29）。先丸剣バイトを用いる。

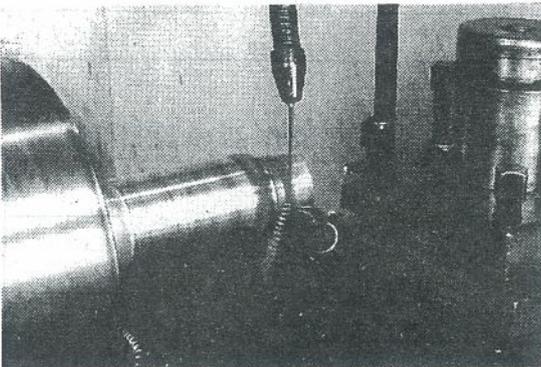


図25 段削り状況

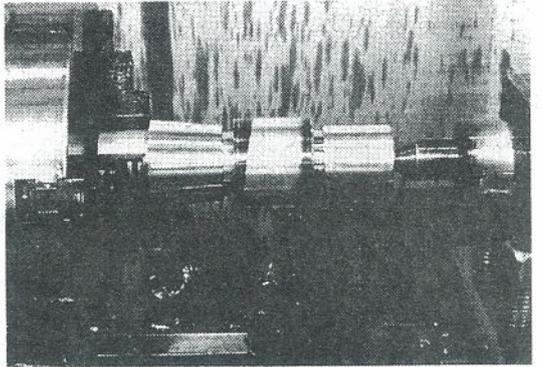


図29 右部の外丸削り終了時

⑪ 突切り：ねじ切り部と円筒部との境界となる部分をφ25に突切り（みぞ削り）する。

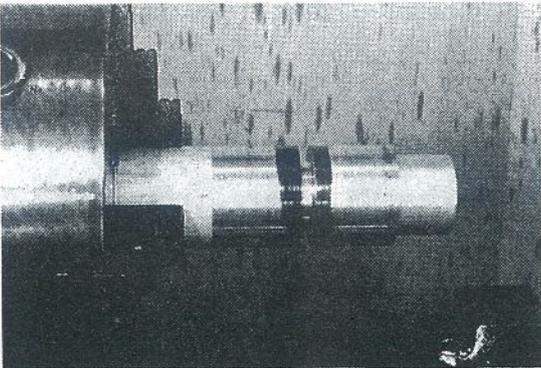


図26 突切り終了時

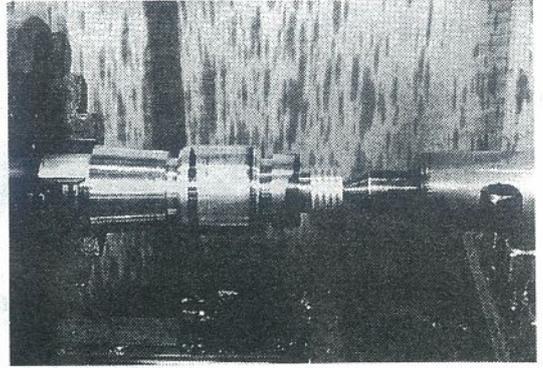


図30 おねじ切り終了時

⑫ 外丸削り：右端面から、⑪で突切りしたところまでをφ30に外丸削りする。

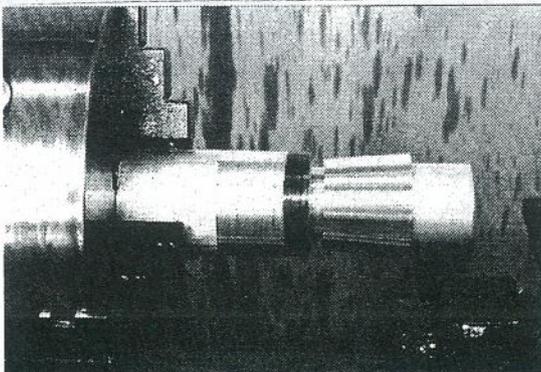


図27 テーパー削り終了時

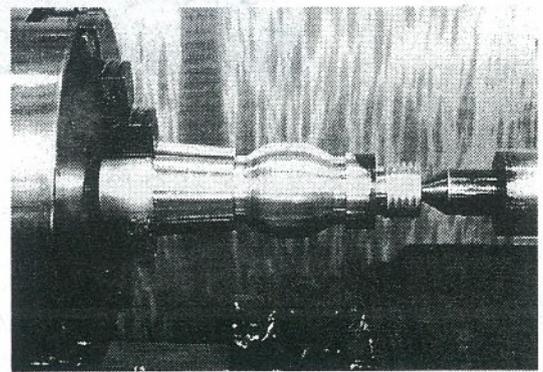


図31 曲面削り終了時

⑬ ねじ切り：⑫で外丸削りした部分をM30×3.5のおねじ切りを行う（図30）。

ねじ切りについては本冊子の第16項に「ねじ切り」の解説があるので、ここでのねじ切り操作の詳述は割愛する。

⑭ 曲面削り：φ50のままになっている中心部分を曲面（球面）状に削る（図31）。作業は刃物送り台ハンドルと横送り（前後送り）台ハンドルを用いて、球面になるように左右の手の送りを調節して行う。両手をうまく操作しなければならないので、旋盤操

作では一番難しい作業の一つでもある。ハンドルのつかみ方は、手の平でそっと包むような要領で握り、大きく動かさないようにする。あらかじめ球面用の型板を作っておき、それに合わせながら作業するとよい。最終仕上げはヤスリで行うとよい。

- ⑮ 穴あけ：工作物右端部にφ14の穴あけを行う。右端のセンタによる支えは解除して、チャック作業として行う。心押し台の心押し軸に入っていたセンタを抜き、代わりにドリル(テーパシャンクドリル)をそれに適したスリーブまたはソケットを介して心押し軸のテーパ穴に入れる。穴の深さは心押し軸の出た部分の長さから読むことができる。図32に穴あけ状況を示す。

【ここで再度、工作物の左右を入れ替える】

- ⑯ 突切り(切断)：左右を入れ替えて、円筒部をチャックに取り付けて、右端をセンタで支える(図33)。そして、右端部(φ40×30)を切断して取り除くために、テーパ部との境界を突切りして切断する。
- ⑰ 端面仕上げ削り：右端面を片刃バイトで仕上げ削りする(図34)。

これで作品はできあがったが、各エッジ部は面取りをしておかないと危険であるので、片刃バイトで面取りをする。図35に完成した作品を示す。

5. 結果(考察)のまとめ方

細部について記述しきれなかったことも多いが、本作品製作には旋盤加工の基本である、心立て・外丸削り・端面削り・段削り・テーパ削り・曲面削り・突切り(みぞ削り)・ねじ切り・穴あけなどの各作業を含んでいるので、本作品を製作することにより旋盤の基本的な操作法について学習することができる。

6. 参考事項(参考事項など)

各学生の製作品がある程度異なったものになるように、円筒部にはローレット切りを行ってもよいし、各部の寸法も異なるように製作させたりして、少しでも学生の創意工夫が入るように配慮することが望ましい。また、安全上の配慮から、操作はすべて一人で行わせることが大切である。

[参考文献]

- 1) 竹中規雄・伊藤 鎮・本田巨範：新編工作機械，養賢堂(1966)
- 2) 機械実習研究会：新編機械実習テキスト2，オーム社(1976)
- 3) 山崎好知・為谷誠八・浜本達保：新基準による機械工作(Ⅱ)，日刊工業新聞社(1974)
- 4) 臼井太一郎・栄留信起：金属加工，コロナ社(1964)
- 5) 岡野修一・他3名：機械実習1，実教出版(三訂版)
- 6) 技能士の友編集部：技能ブックス(3)/旋盤のテクニシャン，大河出版(1971)
- 7) 労働省職業能力開発局・雇用促進事業団職業訓練部：機械(旋盤)，社団法人雇用問題研究会(1986)
- 8) 池貝鉄工：EC-18形旋盤使用説明書(1963)

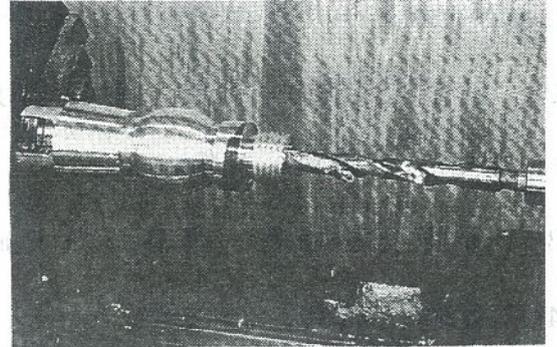


図32 穴あけ状況

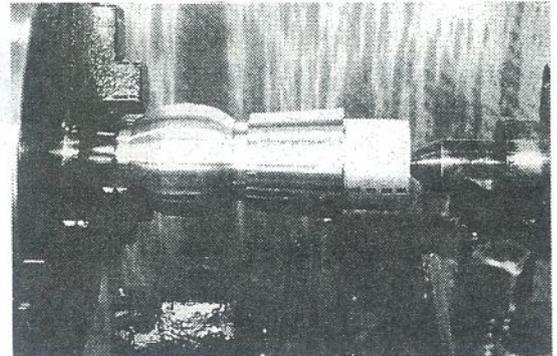


図33 工作物の左右の入れ替え

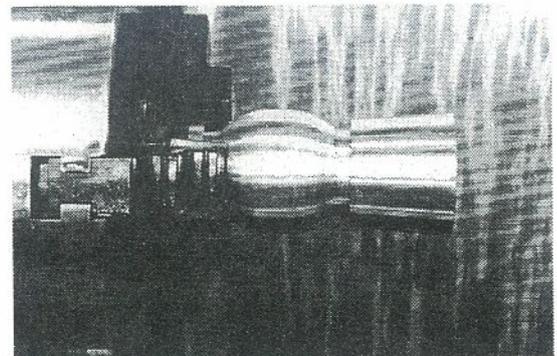


図34 右端部の切断終了時

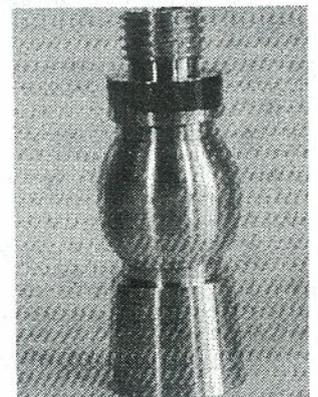


図35 完成した作品
(執筆者名) 牧野亮哉

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

工作機械の中で、ボール盤は基本的なものの一つであり、多用されている。特別な操作技能を必要とせず、使い易いことから、軽く扱われ勝ちであるが、基本的操作を確実に習得することは大切である。本テーマでは、ドリルの基本的事項とボール盤の基本的な操作法について、学習および実習する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

ボール盤、バイス、ドリル、ポンチ、ハンマー、センタードリル、リーマ、エンドミル、被削材（鋼板、黄銅板など）

3. 所要授業時間（講義：90 min.，実験・実習：90 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 ボール盤の機能

ボール盤は、主として穴あけ（きりもみ）に用いられるが、図1に示すように、リーマ通し・ねじ立て・座ぐり・皿もみ・沈み穴ぐりなどの加工も行うことができる。

4.2 ボール盤の種類と構造

(1) 卓上ボール盤：作業台上に据え付けて使用する小型のボール盤。一般に直径が13mm以下のドリルしか使用できない。

(2) 直立ボール盤：卓上ボ

ール盤よりも大きな被削材の加工に使用する。送りは手動と機械送りができるが、テーブルの上下動は手動で行う。

(3) ラジアルボール盤：ベース上に直立したコラム（円柱）を中心にして旋回できるアーム（腕）の上を主軸頭が水平移動できる構造をもつ。したがって、アーム長を半径(radial)とする円形内に加工位置を定めることができ、大型の加工物の穴あけなどに用いられる。

(4) タレットボール盤：直立ボール盤の主軸頭にタレット(tarret; “旋回砲塔”の意味をもち、5～8角形状の工具取り付け台)が取り付けられていて、作業手順を考慮して数個の工具が取り付けられる。工具が交換されても、加工位置精度がよいという特徴をもつ。

(5) 多軸ボール盤：一つの機台に多数個の主軸をもち、その主軸数の穴加工が同時に可能である。

(6) 多頭ボール盤：一つの機台に同性能の直立ボール盤の上部機構部を数個並べて取り付けた構造をもつ。それぞれの主軸の動きは独立している。

4.3 ドリル

(1) 各部要素とその機能

(a) ドリルの種類：シャンク（shank；柄）の形状から、ストレートシャンクドリル（シャンク径が一定のもの）とテーパシャンクドリル（シャンクにモールステーパがついているもの）がある。ストレートシャンクドリルは、径が13mm以下のドリルに限られる。ドリルの全体形状からは、ねじれ溝キリ・油溝キリ・真溝キリ・ガンドリル・平キリ・センター穴ドリル・一文字キリなどがある（図2）。

以下の要素については、図3を参照のこと。

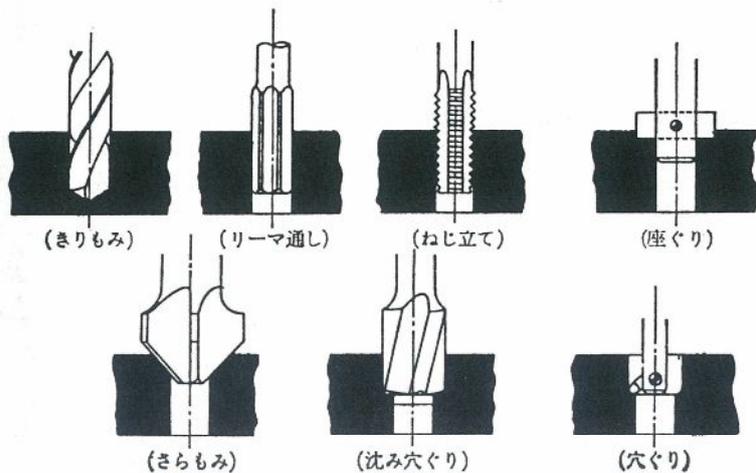
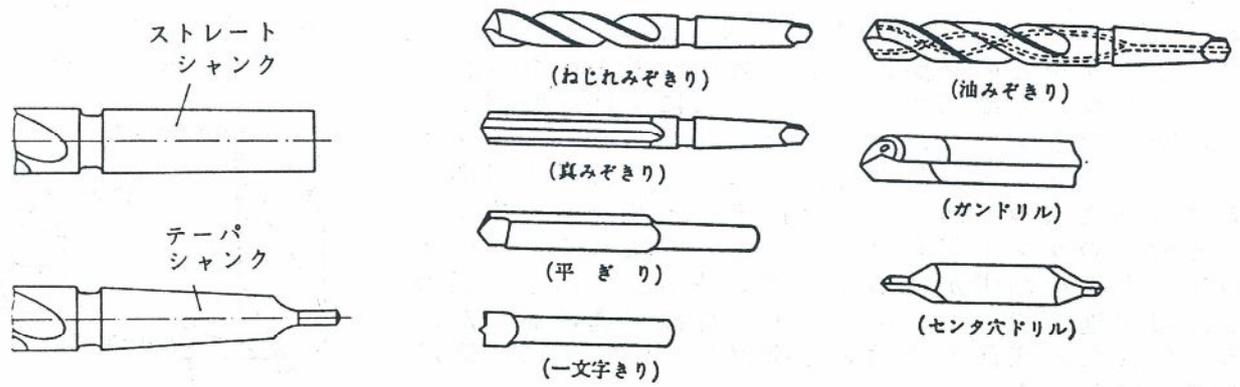


図1 ボール盤の加工機能



(a) シャンク形状から

(b) 全体形状と機能から

図2 ドリルの種類

- (b) 刃先角 (先端角): 左右の切刃のなす角度。標準は 118° であるが、被削材の材質によって変えた方がよい。一般に硬い材質には大きい刃先角にし、軟らかい材質には小さくする。
- (c) ねじれ角: 軸中心線に対する、溝のねじられている角度。一般の鋼材には、 $22\sim 30^\circ$ が標準であるが、硬い材料には小さく ($17\sim 22^\circ$ のものが市販されている)、軟らかい材料には大きいもの ($34\sim 40^\circ$ のものが市販されている) を使用する。
- (d) マージン: “margin” は、縁・端の意味をもつが、ドリルにおいては、ランド部 (溝部がついていない肉部) の二番取りしてない部分を指し、あけられた穴内面とドリルとの当たり部を意味する。ドリルの回転送りのための案内の役目をするが、切削作用はない。
- (e) チゼルエッジ: “chisel” は、木工用工具の“のみ”を意味し、ドリル先端部を構成する左右の円錐が交差して形成する稜線をチゼルエッジという。稜線を構成するからチゼルエッジの名称が相応しいが、チゼルポイントと記されていることもある。この部分は切削作用をせず、ドリルの送り運動に対する支えの役目をする。したがって、送り (押し込み) 運動に対しては抵抗力を示すので、大きいドリルの場合は次に記すシンニングを行い、ドリルの押し込み力を軽減して作業を容易に行えるようにしている。
- (f) ウェブ: “web” は、添え骨とか腹板を意味し、2本のねじれ溝の間にあってドリルの背骨にあたる部分をいう。ウェブの幅を心厚といい、これが大きいほどドリルの剛性が大きく、ねじれ変形しにくくなる。

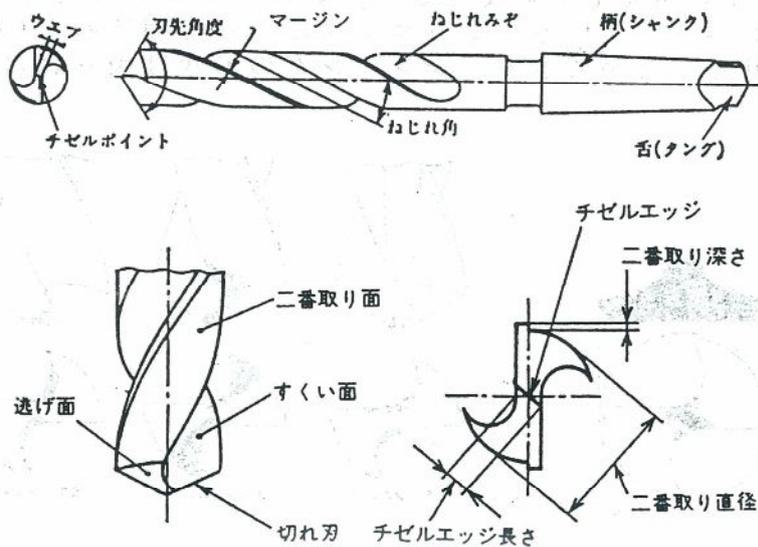


図3 ドリルの各部要素

(2) 構造

(a) 逃げ：ドリルには図4に示すように3つの逃げが付けられていて、あけられた穴内面とドリルとの摩擦抵抗を軽減する工夫がなされている。一つは長手の逃げであり、ドリルの先端部からシャフト部にかけてわずかながら細くなるように、テーパをつけてある。バックテーパともいう。二つ目は周刃の逃げで、刃の周辺部とあけられた穴の内面との摩擦抵抗を軽減するために、切刃近くのランド部をマージンとして残して、その他のランド部をわずかに切り下げて逃がしてある。三つ目は切刃逃げで、ドリルの切刃の背部（逃げ面）が、あけられた穴底部の円錐面と摩擦しないように、逃がす構造にしてある。

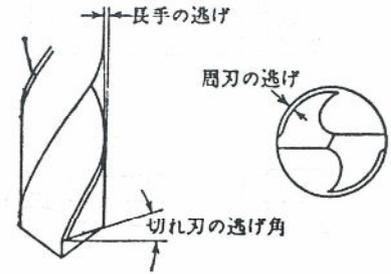


図4 ドリルの逃げ

(b) シンニング：図5に示すように、切刃のA-A断面ではすくい角が大きく、切りくずは流れやすくなって

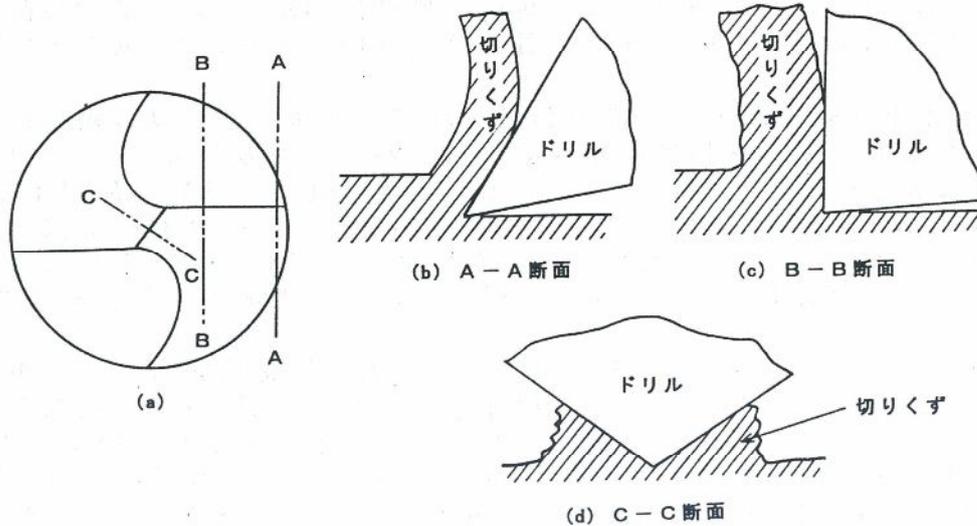
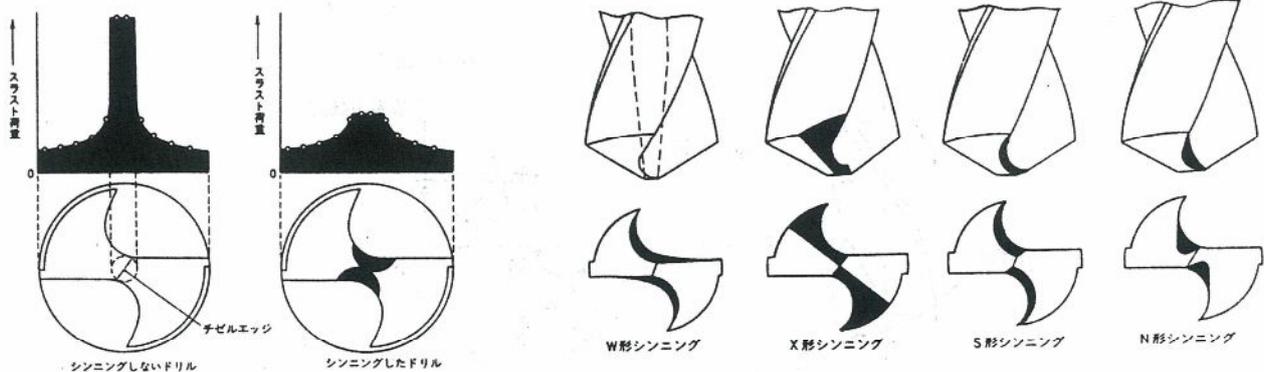


図5 切刃各部の切削状況

いるが、B-B断面のように中心に近くなると、すくい角が小さくなり、切りくずは流れにくくなる。また、C-C断面のようにチゼルエッジ部では切削作用がなくて、くさびによる押込み作用をしている。したがって、チゼルエッジの長さを短くすれば押込み力は小さくなり、ドリルの送りが軽くなるようになる。そこで、図6(a)に示すように、チゼルエッジの長さを短くする(薄くする; thinning)とともに、チゼルエッジ部におけるすくい角をもとのくさび形におけるマイナス状態から0度近くに削り落とすことをシンニングという。シンニングによって押込み力(スラスト荷重)を約30~40%減少させることができる。シンニングの形状は図6(b)に示すように各



(a) シンニングによる効果

(b) 各種のシンニングパターン

図6 シンニング

種のパターンがある。

(c) ニックとチップブレイカ (nick & chip-breaker) : ドリルで生成する切りくずの幅を分断して狭くしたり, 長さを短く分断する工夫としてニックとチップブレイカがある。ニックは切刃の逃げ面, あるいはすくい面(ねじれ溝面)につけた切れ目であり, これによって切りくずが幅方向に分断されて細くなり, 排出されやすくなる。また, チップブレイカは切刃のすくい面(ねじれ溝面)を二段にして, 切りくずを強制的に押し曲げて, 短く分断するようにする (図7 : (a), (b);ニック, (c)~(f);チップブレイカ)。

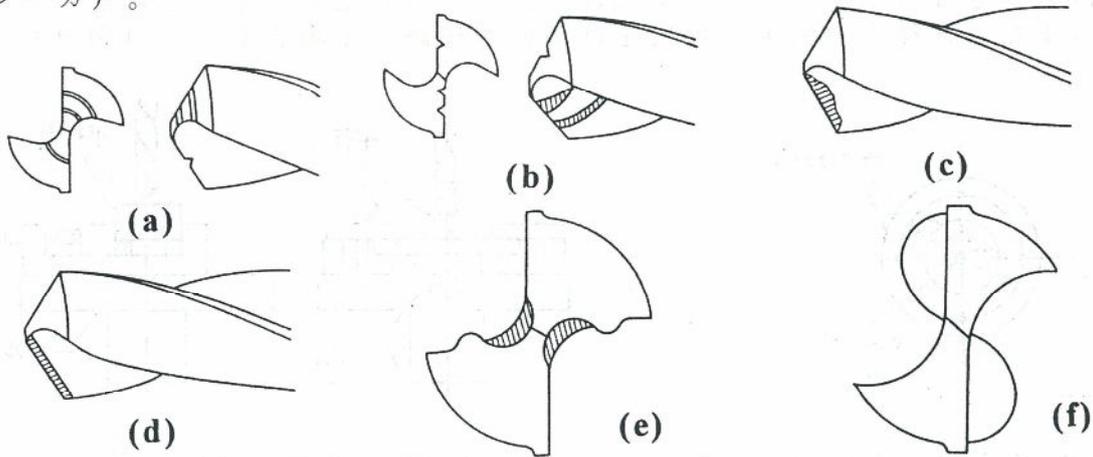


図7 ニックとチップブレイカ

(d) 刃先角と切りくずの流れ : 刃先角 118° が標準とされる主な理由は, 図8 (a)のように 118° にすると切刃の稜線が直線状になり, 削り出された切りくずがねじれ溝の中を並列状に排出されるからである。 118° よりも大きくすると, 図8 (b)のように切刃稜線が切削方向に向って凹状になり, 削られた切りくずがねじれ溝の中を広がりながら排出されるので, 溝壁面との摩擦損失が大きくなる。また, 118° よりも小さくすると, 同図(c)のように凸状切刃となり, 削られた切りくずがねじれ溝の中を中央に向って寄り合うようにして排出されるので, 切りくず内での内部摩擦によるエネルギー損失が生ずる。

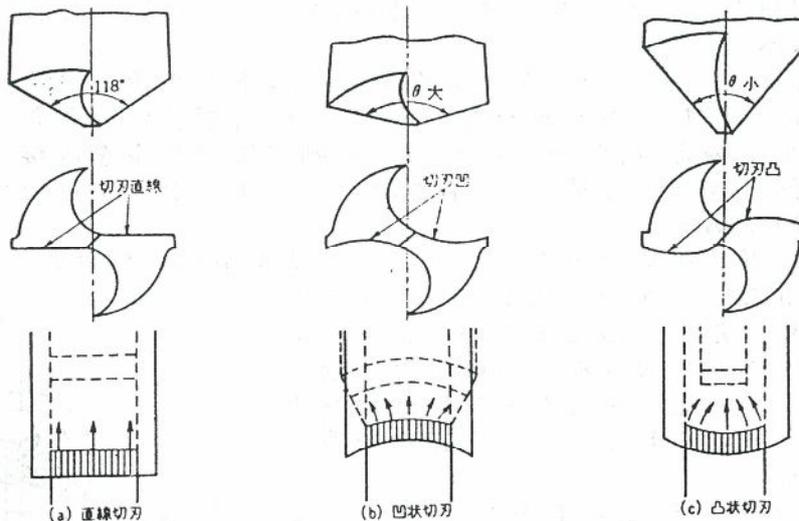


図8 刃先角と切りくずの流れ状態

(3) 再研削

ドリルを長時間使用すると摩耗して切れ味が悪くなり, あけた穴の精度も悪くなる。そのときは研削しなければならないが, 研削の仕方については, 第20項“金工用刃物の整備”で取り上げられているので, その内容を参照のこと。

(4) 材質

高速度鋼（ハイス）と超硬合金がドリルの材料として使われている。また、最近では表面にコーティング（その材種；TiN, TiC, TiAlN, TiCN）をして、耐摩耗性を向上させ、工具寿命を改善したものが使われている。

4.4 ボール盤の操作

(1) 工作物の準備と取り付け

- ① 設計図にしたがって、穴あけ位置を十字にけがきして、その位置を中心にして穴径寸法よりも小さい径と穴径に等しい円をけがく。穴径のけがき円上には、場合によっては目安となるポンチマークをつけて、あけられた穴の偏心を確認するのに利用する。また、穴径よりも大きな円をけがいて確認する場合もある（図9）。

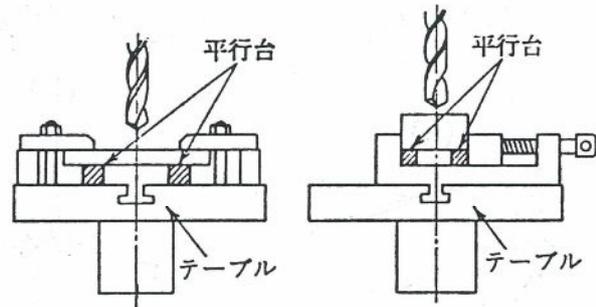
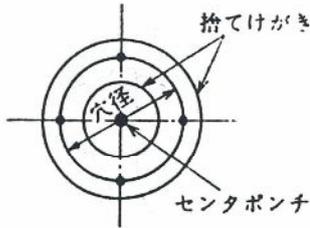


図9 穴あけのためのけがき

図10 工作物の取り付け

- ② 穴中心位置に、正確に垂直にポンチを打つ（センターポンチマーク）。ポンチ穴径、チゼルエッジが入るくらいの大きさがよい。
- ③ 工作物はテーブル上で、切削中に工作物が振り回されないように確実に固定する。固定の仕方は、基本的に機械バイスを使用する場合とテーブル上に締め付け用金具や締め付けボルト・ナットを用いて行う場合がある（図10）。バイスでつかむ場合は、平行台（高さが等しいブロック体）を下にあてて、バイスの底部から工作物を浮かす。締め付けられる工作物の側面は平行に仕上げておき、締め付け力が大きくなるようにすることが大切である。側面を平行に仕上げられない工作物の場合は、丸棒などを利用して、穴あけ中にドリルの回転力によって締め付けがゆるまないように工夫する必要がある。また、円柱状の工作物をバイスで締め付ける場合は、Vブロックなどを利用して、やはりドリルの回転力でずれないようにする必要がある。

(2) 穴あけ作業の基本

- (a) ドリルの取り付け：ストレートシャンクドリルはドリルチャックのつめでシャンク部分全体を確実につかむ。ドリルを空転させてみて、振れていたらつかみ直す。テーパシャンクドリルの場合は、テーパのついた主軸穴にドリルを直接にはめ込む。この場合は、テーパ部をきれいに拭いて、小さな切りくず片などがついていない状態にしておくことが大切である。

安全性の面から、ドリルチャックハンドルでドリルを締め付けたら、すぐにハンドルを抜くようにすること。何かの拍子にスイッチが入って主軸がまわり、差し込んだままのハンドルが振り回されて飛び出すと、大きなけがのもととなる。

- (b) 位置決め：ドリルの先端中心をセンターポンチマーク位置にキチッと合わせるように工作物の取り付け位置を調整する。

- (c) もみつけ：ドリルを回転させ手送りして、ドリル先端部で小さい穴をあける（もみつけ）。もみつけた穴がけがき円と同心円になっている（偏心がない）かを調べる。

- (d) 偏心の修正：もみつけ穴が偏心している場合は、細いみぞ切りたがねあるいはセンターポンチで、ドリル中心をずらしたい方向にみぞをほる（図11）。新たに少しもみつけて、そのもみつけ穴位置を調べて

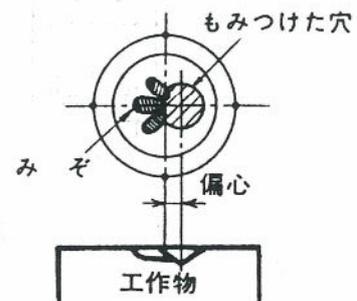


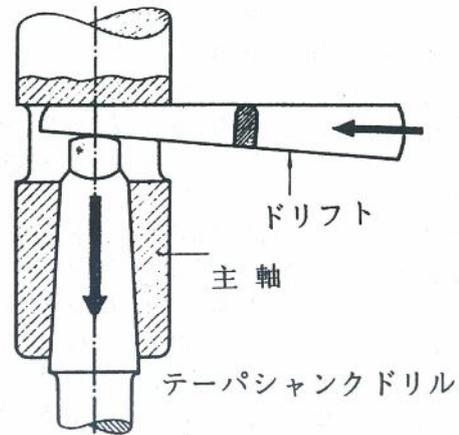
図11 ドリル位置の偏心

偏心の有無を確かめることを繰り返しながら、けがき円ともみつけ穴が同心円になるまで行う。

(e) 穴あけ： けがき円ともみつけ穴が同心円になったら、手送りまたは機械送りで穴あけを行う。穴深さは、ボール盤に付属しているスケールで切り込みはじめ位置をあらかじめ読んでおき、送った深さをそのスケールで読みながら作業すれば、所定の穴深さにできる。

(f) 抜けぎわの処理： 貫通穴の場合は、ドリルの抜けぎわで注意する必要がある。ドリル先端部のチゼルエッジ部は切削作用をしないので、貫通の際に押込み力で突き破る。そのとき、ドリル刃先による切込みが急に大きく働き、大きな切削力が一気にかかり、穴を変形させてゆがませることが多い。したがって、ドリルが貫通する際は、ドリルの肩が工作物の下面から出るまで送りを小さくして削る配慮が必要である。

(g) ドリルの取り外し： ストレートシャンクドリルはチャックハンドルをまわしてきりチャックをゆるめて外す(図12-(a))。テーパシャンクドリルは、図12-(b)のようにドリフト(きり抜き)を主軸の回し溝(窓)に差込み、その頭部をハンマーで軽く叩けばドリフトには勾配がつけられているので、主軸方向に押す力が発生してはずれる。このとき、ドリルを落下させないように、手でつかんでおく必要がある。



(a) チャックハンドルによる場合 (b) ドリフトによる場合 (テーパシャンク)
図12 ドリルの取りはずし

(3) 薄板の穴あけ

薄板に穴をあける場合は、薄板を数枚重ねた状態で、普通のドリルであけることも行われているが、切りくずが板の間に入り込んで、穴の精度が悪くなる恐れがある。穴の精度が要求される場合は、図13に示すようなローソク形ドリルを使い、一枚ずつ穴あけするのがよい。このドリルでは、穴の円周部のみが削りとられるので、あけられた穴の精度が比

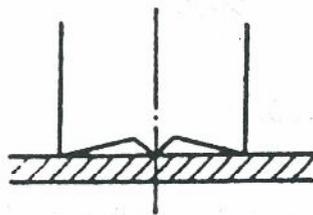


図13 ローソク形ドリル

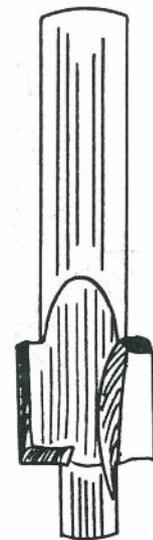


図14 座ぐり用ドリル

較的よくなる。ただし、薄板の取り付けが悪いと板がねじられて、ゆがんだ穴になることが多い。

(4) 座ぐり

ボルトやナットなどを取付けるときに、その当たり面を平らに削るために行うのが座ぐりである。まず、貫通穴を普通のドリルであけておいてから、座ぐり用のドリル（図14）を用いるか、中ぐり棒に小バイトを取付けて行う。しかし、簡便に行う方法として、エンドミルを用いてもよい。

(5) 皿もみ

皿小ねじを取り付けたときに、その上面が工作物と同一面またはやや沈んだ位置になるように穴あけするのが皿もみ作業である。皿小ねじのテーパ部は 90° なので、皿もみ用ドリルもその先端角を 90° に研削して用いる。皿もみする際は、ドリルがビビリやすいので、ビビリが発生したときは回転を落としたり、送りを小さくする配慮が必要である。

(6) 沈み穴あけ

一つの穴に径の異なるもう一つの穴をあける作業が沈み穴ぐりで、座ぐりを深くした場合にあたるので、深座ぐりともいう。したがって、基本的には座ぐり作業と同じである。

(7) 斜面の穴あけ

斜面に穴をあける場合、ドリルがすべるので工夫が必要である。斜面にけがく穴の輪郭は長方形の中におさまる長円となる。長方形のたて・よこの長さは斜面の勾配から計算する。あらかじめあける穴径と同径のエンドミルで水平な面を削り、その中心にポンチを打って、ドリルで穴あけをする。あるいは、あらかじめセンタードリルでもみつけておいてから、ドリルで穴あけをする（図15）。

(8) 大径の穴あけ（穴ぐり）

径の大きい穴をあける場合、ドリルのチゼルエッジ部も大きく、大きな送り力（押込み力）を必要とするので、ボール盤の馬力（パワー）も大きくなければならない。馬力がそれに伴わない場合は、径の小さなドリルから、径の大きなドリルへと順次に穴径を拡大していく方法をとる。その場合、1ステップ前に使用するドリル径は、次ステップで使用するドリルのチゼルエッジ部の長さより大きいものを使用すると、切削作用のないチゼルエッジ部が働かなくなるので、楽に作業ができる（図16）。

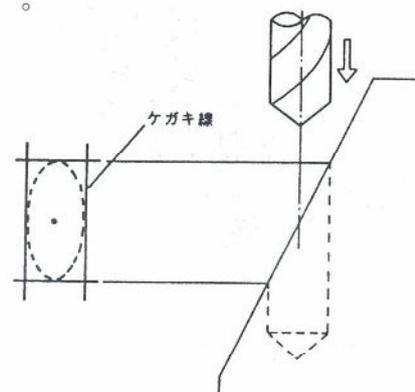


図15(a) 斜面へのけがき

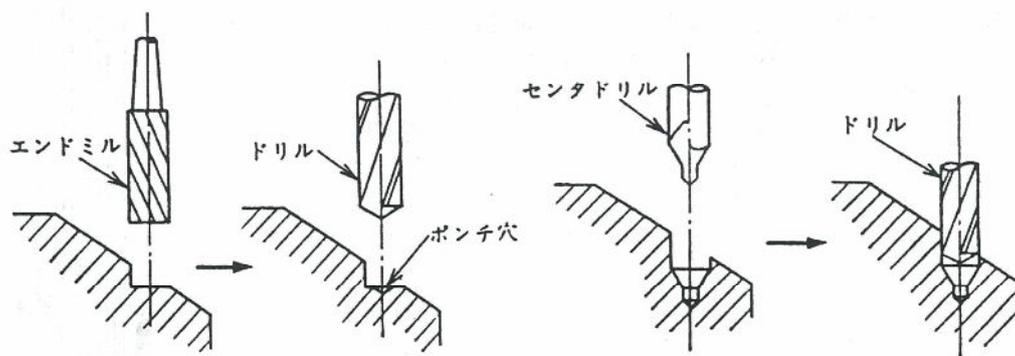


図15(b) 斜面への穴あけ

(9) バリ取り

穴あけの際にできるバリは、通常は平やすりと丸やすりを用いて除去するが、その作業はかなり面倒である。それで、穴径よりも大きめのドリルの先端をあけられた穴に差し込み、手作業で旋回させると、比較的容易にバリを取ることができる。

5. 結果（考察）のまとめ方

ボール盤作業は比較的簡単な作業であるので、穴あけを単純にこなすだけで実習を終えがちである。しかし、ドリルの刃先角がなぜ 118° になっているのかなど、理論的な面をよく理解することが大切である。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

ボール盤に限らず、工作機械を扱う場合は、作業の安全を第一に考えて指導することが大切である。

ボール盤の場合は、

- ① 工作物は必ず、固定した状態で穴あけ作業を行うこと。
- ② チャックハンドルは使用後に直ちに抜いておくこと。
- ③ 使用したドリルは直ちにはずしておくこと。

などが、安全性を考えた作業上の注意事項である。

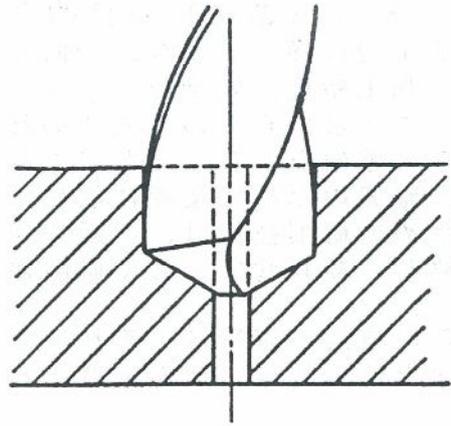


図16 大径の穴あけ

[参考文献]

- 1) 山崎好知・為谷誠八・浜本達保：新基準による機械工作（Ⅱ），日刊工業新聞社（1974）
- 2) 機械実習研究会：新編機械実習テキスト2，オーム社（1976）
- 3) 臼井太一郎・栄留信起：金属加工，コロナ社（1966）
- 4) 技能士の友編集部：技能ボックス(10)／穴あけ中ぐりのポイント，大河出版（1976）
- 5) 徳丸芳男・岡野修一 監修：機械実習2（三訂版），実教出版（1990）
- 6) ツールエンジニア編集部：ツールエンジニア臨時増刊号，Vol.29, No.12，大河出版（1988.10）

（執筆者名） 牧野亮哉

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

金属加工では多くの場合、切断や切削が行われ、そのとき使用する工具の切れ味は作業能率、加工精度、安全作業に大きな影響を及ぼす。

当然のことながらその刃先や切れ刃は使用によって損傷し、切れ味は低下する。

これらの整備をすることができれば、常に切れ味の良い工具を使用することができる。さらに、整備のために業者に依頼する時間や経費も省かれる。

そのための研削技術は、切断や切削に用いる工具の材質、形状および切削や切断の理論を理解し、あわせて工具や研削盤を適切に操作する技能を修得することによって可能となる。

これらの技能の修得は、それほど困難なものではなく、ドリルの研削も慣れれば1～2分で仕上げられる。製作実習などで活用するためには早期の修得が望ましい。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

両頭研削盤（砥石車の粒度60、および30程度）、防塵メガネ、ドレッサー、金切りばさみ、平たがね、片手ハンマ、金床、万力、ドリルのポイントゲージ、または基準を示す柄のついた分度器、見本にするドリルの刃（φ10程度）、研削練習用のドリルの刃（φ6以上）

3. 所要授業時間（講義：270 min.、実験・実習：450 min.）

ただし、両頭研削盤が受講学生数だけ準備されている場合は少ないので、受講生全員が同時には研削できない。説明が済んだ後、他の内容と並行して実習を行えば時間の無駄は省けるが、その場合は、実習前に実習の内容および安全について十分理解しておくことが必要である。

4. 実習（実験）内容の理論と方法

4.1 両頭研削盤

(1) 砥石車の選定

一般にグラインダといわれている両頭研削盤は、刃物や工具など高硬度のものも削ることができる便利な工作機械であるが、砥粒が脱落し、砥石表面の形やバランスがくずれるので、研削面の修正やバランスの調整をしなければならない。

砥石車が損傷して交換する場合には、その材質や粒度などによって性能が大きく異なるので、加工する材料や加工目的に合わせて選定し、正しく取り付けの必要がある。選定にあたって考慮すべきことには、結合材の種類、砥粒の種類、砥粒の大きさ（粒度）、組織（密度）、砥石車の形状、砥石車の寸法などがある。

(2) 結合材の種類

(a) レジノイドボンド（B）……フェノール樹脂のような熱硬化性樹脂が主成分になっており、割れにくいので金属やコンクリートブロックを切断する砥石や、大型の砥石に使用される。また、油、酸、アルカリなどに安定している。

(b) ビトリファイドボンド（V）……長石、耐火粘土などを焼成して砥粒を結合したもの。砥粒の保持力が大きいですが、衝撃には弱い。仕上げ作業に適する。

(c) その他に、シリケートボンド（S）、シェラックボンド（E）、ラバーボンド（R）などがある。

(3) 砥粒の種類

(a) 褐色アルミナ研削材（A）……ボーキサイトからなるアルミナ質の塊を粉碎・整粒したもの。酸化チタニウムを含んでおり、全体的に褐色。重研削や一般鋼材の研削などに適する。

(b) 白色アルミナ研削材（WA）……純度の高いアルミナを電気炉で熔融し、凝固させた塊を粉碎・整粒したもの。全体的に白色。A砥粒より硬さが大であるが、韌性

に乏しい。焼き入れ鋼，特殊鋼などの高硬度鋼材や硬質でもろい材料の研削に適する。

- (c) 炭化けい素 (C) ……けい砂などを原料とした酸化けい素質とコークスを電気炉で反応生成させた塊を粉碎・整粒したもの。全体的に黒色。硬度はA砥粒よりも優れており，非鉄金属材料や非金属材料の研削に適する。
- (d) 緑色炭化けい素質 (GC) ……C砥粒よりもさらに高純度の炭化けい素質の塊を粉碎・整粒したもので，うすい緑色をしている。靱性は劣るが硬度が高いため超硬合金のように硬くてもろい材料の研削に適する。
- (e) その他，CBN（立方晶窒化ほう素）や，ダイヤモンドのように極めて硬度の高い砥粒も使われるが，高価なため使用は特に高硬度材料の研削に限られる。

(4) 砥石車の仕様の表示

砥石車には，その仕様を表すラベルが付いており，材質や寸法などが分かるようになっている。

「例」：1・A 355×50×127 GC 240 I m2

1・A ……数字は砥石の全体形状，アルファベットは研削を受け持つ面の形状
355×50×127 ……外径×厚さ×穴径

GC ……砥粒の種類

240 ……砥粒の大きさをそろえるふるいの目の細かさで表される粒度。数字は1インチあたりのふるいの目の数を表しているため数字の大きい方が砥粒は小さい。

I ……A～Zまでの記号で結合度を示しており，Aに近いものほど軟らかくZに近いものほど硬いことを表している。硬度の高い砥粒は一般に結合力を小さくしてあるので使用方法が悪いと不経済なことになる。例えば，GC砥粒で炭素鋼のように靱性の高い材料を研削すると，砥粒の切れ刃は摩耗していなくても多くの砥粒が被削材にむしりとられるので，砥石車が速く損傷する。

m2 ……組織：砥石の全容積中に占める砥粒の容積の割合。

砥石車を選定する場合，荒研削や接触面積の大きい工作物には粗い組織のものを使い，硬い材料や，接触面積の小さい材料には密な組織のものをを用いる。

(5) 砥石車の研削面の修正

砥石車を使用すると表面の砥粒が脱落して研削を受け持つ面の形状がくずれてくる。これを成形することを「形直し」という。

また，軟質金属やプラスチックを削った場合，目詰まりを起こすことが多い。目詰まりを起こした砥石車から砥粒と共に削り屑を除去することを「目直し」という。

これらの作業に用いる工具をドレッサといい，材質や形状によっていろいろな種類があるが，ハンチントドレッサといわれる修正用工具が手軽に用いられている。これは，平衡車状の歯をつけた厚み1mm程度の円い鋼板をホルダに10枚近く取り付けただけのもので，この鋼板を回転している砥石車の外周に軽く接触させて砥粒を削り落とす。その時，鋼板もともに回転しながら削られ，両者の削り屑が飛散するので目に入らないように特に注意を要する。

(6) 研削盤を使用する前の注意

研削盤のスイッチを入れる前には次の確認をし，適切でないものは整備する。

- (a) 砥石車を木の棒で軽く叩いてみて，澄んだ音がするか確認する。にごった音がしたときは割れかけているので，使用してはならない。そのまま使用すると回転中に割れて飛散するので極めて危険である。
- (b) スイッチを入れる前に軽く手で回して見て，一定のところで止まらないこと，または停止寸前に逆転しないことを確認する。このような状態でない場合は，砥石のバランスがとれていないので調整する。
- (c) 受け台と砥石車との隙間は3mm以下になっていることが必要。これが大きいと，細い，または薄い工作物が研削中にこの隙間に食い込みやすくなり危険である。
- (d) 防塵カバーの取り付けが確実で，透明な面に油や埃が付いていないことを確認す

る。

(7) 使用にあたっての注意

研削盤を使用するときには次のことに注意する。

- (a) 研削面の正面に顔をもってこない。
- (b) 細い工作物，または薄い工作物を研削する場合は，上向きにして削る。下向き，または横にして削ると先端が食い込んで事故の原因になりやすい。
- (c) 保護カバーの角度を適切にし，防塵メガネをかける。
- (d) 砥石車の側面は使用しない。
- (e) 起動した時，回転が上がるまで使用してはいけない。
- (f) 工作物の材質に応じた砥粒の砥石車を用いる。

4.2 金切りばさみの調整

(1) シャー角

金切りばさみによって金属の板材を切断する場合，材料は，二つの刃の押し込み，または，二つの刃によるせん断作用によって板材が切断される。

刃が鋭利なほど，また，材料の硬度が小さいほど押し込みの効果が大きくなる。ただし，硬度の大きい材料を刃先角の小さい金切りばさみで切断すると刃がはやく損傷する。

二つの刃がなす角をシャー角，または，はさみ角といい，この角度を大きくすると，せん断に要する荷重は小さくなるが，二つの刃が閉じようとするとき板金を先端方向に押し出す力が生じて使いにくくなるし，切断後の板材が大きく変形する。

ステンレス鋼板のような硬い材料を切断する場合にシャー角を大きくすると刃が滑って材料を前方に押し出す力が働き，切断しにくくなる。アルミニウム板の場合は滑りにくい，軟質なので軟鋼板用のシャー角で十分である。

したがって，薄い軟鋼板の場合は， 30° 位になる位置で板金を切断すればよいが，時には刃の先端を使用することもあり，シャー角が小さくなることもある。そこで，二つの刃を弧状に研削しておけば，刃を閉じていってもシャー角はある程度大きく保つことができる。ただし，刃先までこの角度を保とうとしてカーブを極端にし過ぎると柄を閉じて刃先がかみ合わなくなる。

金切りばさみの研削には，粒度の粗い砥石車を用い，荒く研削する。仕上げ用砥石などを用いて丁寧に研削すると，刃が滑って切断しにくいことがある。

(2) 刃先角

金属の板材をせん断によって切断する場合，刃先角は 90° でも目的は果たせるが鋭角であるほど切り始めに刃が深く圧入されるので，せん断に要する力が少なくてすむ。また，刃が食い込んでいると刃と刃の隙間（クリアランス）が広がらない。しかし，切れ刃が鋭角になりすぎると機械的強度が劣るので通常は $65\sim 80^\circ$ にする。

刃が摩耗したら材料が接する面を研削する。互いの刃がすれ違う面を研削してはいけない。さびや欠損が生じたためにやむをえずこの面を研削する場合は，かなめを外して全面を均一に研磨する。この場合は中程度の目の細かい平らな砥石を用い，手で研磨する。その時，切れ刃に近い方を多く削ると，刃と刃の隙間が開いたままになり，切断できなくなるので注意する。

(3) かなめの調整

金切りばさみの刃と刃の隙間（かなめのゆるさ）は，かしめの強さによって調整する。昔から使われている柄が棒状の金切りばさみは，構造が簡単で丈夫であるが，かなめがゆるいため切断中に指で刃と刃の隙間ができないように調節しながら使用する技術が必要である。

かなめのかしめの強さは，一方の柄をもったとき，他方が自重で開く程度でなければならぬ。かしめが強すぎる場合は，金床の穴の部分，または万力の口金の間にかなめを置き，片手ハンマで叩くとかなめを押し出す力が働き，ゆるくなる。少しきつい程度の場合は，金切りばさみを空中で持ってかなめの部分を片手ハンマで叩いてゆ

るくすることもできる。

かしめがゆるすぎる場合は、金床にかなめを直接当て、片手ハンマで叩く。その場合、強く叩かず少しずつ調整するように注意する。

洋裁ばさみのように指を伸ばすと柄が開くようになっている金切りばさみは、一般にかなめの調整をねじで行うようになっている。この形式のものは、切断中に指で刃と刃の隙間の調整をする必要がなく、初心者でも容易に使いこなせるが、強度の点で少し劣ることが多い。したがって、軟鋼板であれば厚み0.5mm以下の切断に用いる。

4.3 たがね

(1) たがねの研削

たがねの刃先角は、一般に鋭いほどよく切れる。しかし、工作物が硬い場合には刃先の損傷が激しいので、加工する材料によって次のように変える。

銅, アルミニウム 30° 前後, 黄銅 45° 前後,
軟鋼 50° 前後, 鋳鉄 60° 前後

両頭研削盤（グライнда）で研削する場合、強く砥石に押し付けると研削熱で刃先が軟化するので注意する。また、刃を上にして研削する。

ハンマで叩く柄頭に、かえりができていたら研削盤または鉄工やすりで削り取る。

(2) たがねの熱処理

たがねは、炭素量が0.8~1.0%の炭素鋼を成形後、焼き入れ、焼き戻ししてつくられている。通常の摩耗であれば刃先を研削するだけでよいが、大きく欠けたり、折れたりした場合は鍛造で成形し、熱処理をし直す必要がある。熱処理は温度管理が大事であるが、設備がない場合や急ぐ場合には次のような簡便な方法によることもある。

(a) 焼き入れは、刃先を約800℃（炭素量によって異なるので鉄-炭素の状態図を参考にすることが望ましいが、あずき色になったときがその温度に近い）に加熱する。

(b) 刃先から15mm位を水で急冷する。柄を焼き入れしてはならない。

(c) ジューツという水の沸騰する音がしなくなったら引き上げる。

(d) 柄に残っている余熱で焼き戻しをし（約30秒）、その後、全体を水冷する。

(e) 刃先を研削して仕上げる。

4.4 ドリルの刃

(1) ドリルの先端角

ドリルの先端角は、JISなどの規格によって定められているものではないが、一般に118°といわれており、市販品もそれに近い角度のものが多い。

厳密に118°にこだわる必要はなく、むしろ硬い材料に穴をあける場合には、刃先角140°位にするなど、加工条件によって変えればよい。

(2) 逃げ角

二番角ともいい、切れ刃が切削した面に対するドリルの逃げ面の傾きを表す。ドリルの逃げ面が被削材の穴の底に当たらないように傾いていればよい（10~15°）。逃げ角が0°になると切れ刃が材料に食い込まないのでまったく削れない。しかも、ドリルの逃げ面が穴の底に当たるため、その摩擦熱によってドリルが軟化してしまう。

(3) ドリルの研削

ドリルの研削には専用のドリル研削盤があるが、高価なので多量に研削する必要がある場合には両頭研削盤で行う。

研削にあたって、先端角や逃げ角が適正な角度にならず多少増減しても大きな影響はでないが、次のことに注意を要する。

(a) 必ず逃げ角をつくる。

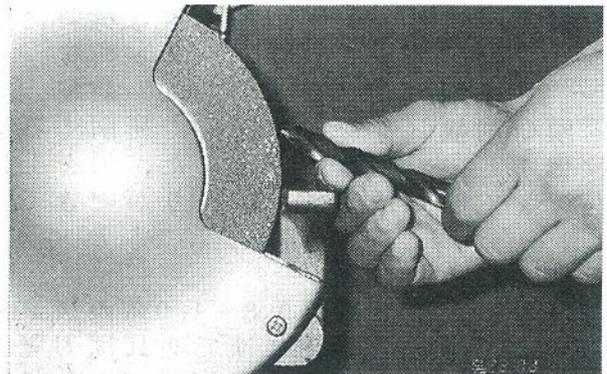
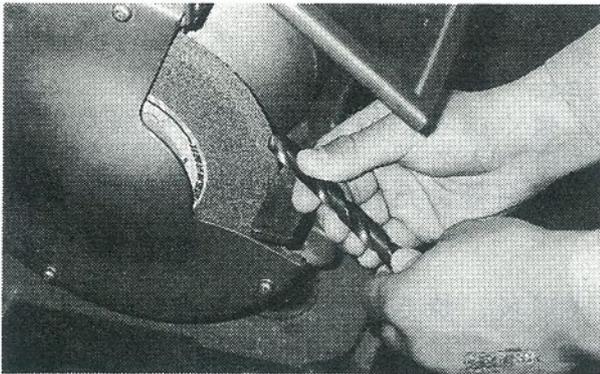
(b) わずかに曲面になった逃げ面をつくる（刃先角が大きくなるので切れ刃が摩耗しにくい）。

(c) 両切れ刃の長さを等しくする。

(d)先端角は軸線に対して対称にする（二つの切れ刃の角度を等しくする）。研削するときは、逃げ面から先に砥石車にあてる。切れ刃からあてると切れ刃を損傷させることがある。小径のドリルの研削は経験をつまないと難しいので、こつを身につけるまでは径の大きい新品のドリルを参考にしながら、φ6以上のもので練習すると早く上達する。

二つの切れ刃は、軸線に対して同じ角度でなければならぬので、慣れるまでは受け台を両頭研削盤に取り付けて、次の順序で研削すると容易である。

①ドリルを下図のように持ち（右利きの場合）、両頭研削盤の受け台に中指を当てる。左手はドリルの中程をつまみ、ドリルは先端角の1/2（標準の場合は59°）になるような角度にする。



②ドリルが折れたものや、先端が大きく変形したものは、まず先端を円錐状にする。荒研削の場合でも、強く押し付けてはならない。時々水につけて冷却しながら研削するとよいが、これは全体の温度を下げるだけで焼き入れをするためではない。研削熱程度では軟化はするが、焼き入れできる温度にはならない。

③ドリルを回しながら切れ刃と逃げ角をつくる。逃げ面を研削する時、反対側の刃に砥石車が当たらないようにする。

④ゲージで先端角を測定する。標準先端角の場合には、下図のようなゲージを用いればチゼルポイントのずれ（二つの切れ刃の長さの違い）まで判定できる。角度を測ることができるゲージであれば任意の角度が測定できるが、チゼルポイントのずれは測定できない。



⑤研削が済んだら、軟鋼材に穴をあけてみる。削り屑が両方の溝から同じような形で連続して出てくればよい。

薄い板材に大径の穴をあける場合、ドリルが振動して真円にならない。この対策としてはリーマを用いるか、不要の材料を重ねて固定し、穴をあけた後、不要の材料をはずす。

穴の形ができるまでチゼルポイントの貫通を遅らせることを目的に、ドリルの先端角を180°近くに研削することによって前述の欠点は防げるが、これも板厚がある程度なければその効果は生じない。

(4) シンニング

チゼルポイント（のみ部、またはチゼルエッジ）は、二つの刃の中心にあり、切削できる形状ではない。したがって、穴の大部分は切れ刃で切削され、中心部は、押しつぶされながらドリルが入っていくので、チゼルポイントの長さが大きくなるとドリルを工作物に押し込むのに要する力が増大する。大径の穴をあける場合に、前もって小径の穴をあけておくと大径のドリルが工作物に入りやすいのは、チゼルポイントの抵抗がなくなったからである。

しかし、完全に押し込み抵抗がなくなるのでドリルが食い込みすぎて危険なことがあるので注意を要する。

そこで、 $\phi 6$ 以上のドリルには、シンニング（チゼルポイントを極めて小さい砥石を取り付けたリユータなどで削り、チゼルポイントにも刃を付けること）を行うことで多くの形状があるが、簡単な形状であれば砥石車の角などでも研削できる。シンニングを行えば切削抵抗（主として押し込み抵抗）を適当に小さくすることができるので大径の穴あけは容易になるが、切れ刃が磨耗するたびにシンニングもやり直す必要がある。

4.5 バイトの研削

バイトの刃先は切削を続けると一般に横逃げ面とすくい面の摩耗が顕著に現れる。これらの摩耗が増大すると仕上げ面は悪くなるし、切れ味の低下によって温度が上昇し、ますます摩耗が増大するので、適当な時期（横逃げ面摩耗が $0.3\sim 0.4\text{mm}$ になったとき）に研削しなければならない。

高速度工具鋼バイトの場合の砥石はA砥石を用い、決して強く押し当てない。砥石に接触させるときは、切れ刃でない部分を先にし、それから角度を調整しながら刃先を最後にする。砥石車から離すときは、鋭利にした刃先が損傷しないように刃先を最初に離す。

両頭研削盤で研削した後、刃先を油砥石で仕上げる。切れ刃に当てる角度を少しでも間違えると、先端が削られて、せっかく全体を研削しても切れ味はよくなるないので注意を要する。

超硬チップをシャンクにろう付してあるバイトの場合は、WAまたはA砥石を使ってろう付けしてある超硬チップの下の炭素鋼の前逃げ面を少し大きい角度で研削する。次に超硬部分をGC砥石で必要な角度に研削する。その後、ダイヤモンド砥石で先端のみを仕上げる。

A砥石で超硬チップは研削できない。また、GC砥石は砥粒が脱落しやすいので、シャンク部などの炭素鋼の研削に用いてはいけない。

5. 結果（考察）のまとめ方

工具、特に刃物を研削する場合、大体の形状のみ整っただけでは十分な性能をもたすことはできない。理論を理解した上で、実習の成果をまとめることが必要である。

まとめにあたっては、調整が必要であった内容、刃先の形状（正確な角度を含む）、使用した研削工具、硬度などを整理し、さらに性能を確認する。

硬度はマイクロビッカース硬度計やショアー硬度計で測定すると確実であるが、形状によっては困難なものもある。炭素工具鋼程度の硬さの場合は鉄工やすりを使って判断する方法もある。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

金工用の刃物は、労力をかけず、しかも短時間で研削することができる。この実習は、切削理論を実践によって理解し、あわせて刃物の切れ味が低下したときは気軽に再研削して、工具を適切に使用する能力の修得を目的にしたものである。

これは、形状を復元するだけでなく、理論的裏付けが必要である。

そこで、これらを理論的に確認する実験がいろいろ考えられる。ただ、それらは実験のための実験ではなく、活用につながるものでなければならない。

（執筆者名） 間田 泰弘、田島 俊造

1. 目的と概要

(目的) 鋼の被削性を改良するためには、切屑を細かく切る役目をする物質を鋼の中に内含させれば被削性が改善される。鉛・硫黄快削鋼および黒鉛系鋳鉄は、この方法で被削性が改良されている。本実験では、通常鋼と鉛・硫黄快削鋼および黒鉛系鋳鉄を切削して、快削鋼と鋳鉄が被削性に優れることを確認することを目的とする。

(概要) 金属製品を製作する場合に、製作費用に占める加工費の割合は約70%と大きい。一方、切削加工は金属の加工法の中でも最も重要な加工法の一つであり、削り易い、すなわち、被削性に優れる材料は加工費用の低減化につながる。被削性に優れた鉛・硫黄快削鋼および黒鉛系鋳鉄は鉛、硫化マンガン(MnS) および黒鉛が切屑を微細化する作用がある。これを切削実験により実際に確かめるとともに、切屑の形状、切削工具の摩耗量、切削表面あらさについて調査し、被削性を改良する方法について理解を深める。

2. 必要な装置、工具、測定器具および材料

- (装置) 旋盤、マイクロメーター付き顕微鏡、一眼レフカメラ、接写用レンズ、接写用ベローズ、金属試料研磨装置、金属光学顕微鏡
- (工具) 旋盤用切削工具(スローアウェイチップ、材質:超硬合金)、シャンク
- (測定器具) 表面あらさ計、ノギス
- (材料) 一般構造用圧延鋼材(SS330): $\phi 40 \sim 100\text{mm} \times 500\text{mm}$
 鉛・硫黄快削鋼(SUM23L): $\phi 40 \sim 100\text{mm} \times 500\text{mm}$
 黒鉛系鋳鉄: $\phi 40 \sim 100\text{mm} \times 500\text{mm}$

3. 所要授業時間(講義: 60 min., 実験・実習: 180 min.)

4. 実験の方法

- 4.1 (鋼の荒削りと仕上げ削り) 旋盤で被削材の外周を削り、所定の直径とする。荒削り完了後、切削実験できるような仕上げ面とするため、一定の切削速度、送り、切込みで最終仕上げする(例一切削実験直前の仕上げ削り条件: 切削速度10m/min, 切込み0.2mm, 送り0.15mm/rev., 無潤滑)。
- 4.2 (切削実験) 一定の切削条件で切削する(例一切削速度50m/min, 切込み0.5mm, 送り0.15mm/rev., 無潤滑)。被削材を旋盤のチャックに固定して切削していく。切削前に、切削工具(スローアウェイチップ)の刃先を新しいコーナーの刃先に取り替える。切屑が採取できるように、切削時に工作物(鋼材)の下側に大きめの紙を広げておく。
- 4.3 (切削工具の摩耗量の測定) 切削後、図1に示すように工具の摩耗状況を観察するとともに、逃げ面側のフランク摩耗(V_B)を測定する。

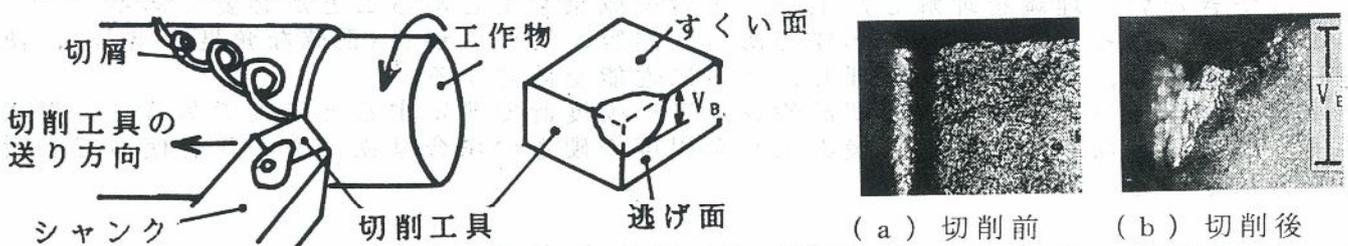


図1 切削工具の損傷

- 4.4 (切屑の観察) 採取した切屑を観察する。必要であれば、一眼レフカメラに接写用レンズおよびベローズを装着して切屑を接写する。
- 4.5 (表面あらさの測定) 表面あらさ計を用いて表面あらさの状況を測定する。
- 4.6 (組織の観察) 鋼(SS330)、快削鋼(SUM23L)をそれぞれ5×10×10mmの大きさに切断して、エメリー紙で3000番まで研磨する。つづいて、アルミナと水の混合液を研磨材として、試料面にキズが無くなるまで、バフ研磨する。金属光学顕微鏡を用い

て試料表面を観察する。

5. 結果のまとめ方

5.1 (切削工具の摩耗) 鋼の種類による切削工具のフランク摩耗量の測定値の結果を図2のようにまとめる。鉛・硫黄快削鋼(SUM23L)と黒鉛系鋳鉄を切削した方が、一般構造用圧延鋼材(SS330)を切削した場合よりも V_B が小さく、切削工具の摩耗が少ないことに注目する。

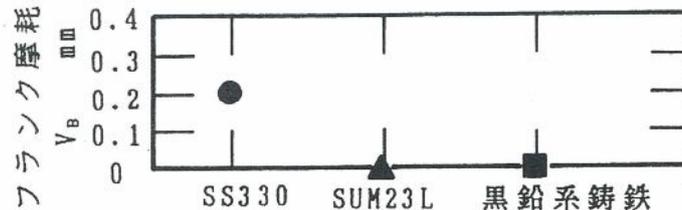


図2 切削工具のフランク摩耗 (V_B) に及ぼす被削材の影響

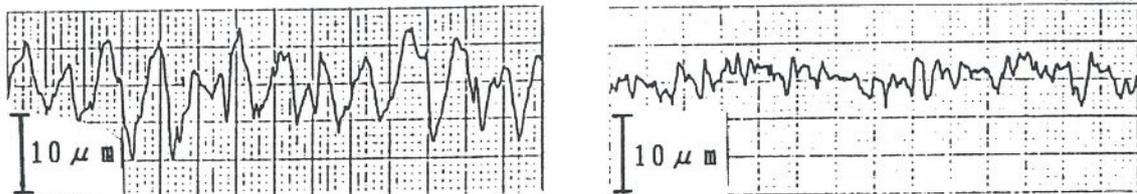
5.2 (切屑の形状の観察) 採取した切屑を肉眼で観察する。または、写真撮影する。図3は、切屑の写真であるが、SS330材に比べて、SUM23L材および黒鉛系鋳鉄は切屑が細かく切断され、短い切屑が多いことが分かる。



一般構造用圧延鋼材 (SS330) 鉛・硫黄快削鋼 (SUM23L) 黒鉛系鋳鉄

図3 切屑の形状

5.3 (切削表面あらしの測定) 切削した試料の表面を表面あらし計を用いて測定する。SS330とSUM23Lの表面あらしを図4に示した。表面のあらしの凹凸はSUM23Lの方が、SS330よりも小さく、滑らかであることが分かる。



一般構造用圧延鋼材 (SS330)

鉛・硫黄快削鋼 (SUM23L)

図4 表面あらしの状態

5.4 (組織の観察) 鉛・硫黄快削鋼(SUM23L)と黒鉛系鋳鉄の組織を顕微鏡で観察した結果を図5に示す。SUM23Lでは、鉛は微細な粒状に分布して観察し難いが、硫黄(S)はマンガン(Mn)と化合してMnSを生成し、このMnSが切削加工時にチップブレイカーの役割を果たすことに注目する。また、黒鉛系鋳鉄も、黒鉛が切屑を微細化する。



鉛・硫黄快削鋼 (SUM23L)

黒鉛系鋳鉄

図5 鉛・硫黄快削鋼中のMnSおよび鋳鉄中の黒鉛

6. 参考事項 SS330とSUM23Lおよび黒鉛系鋳鉄は切屑の形状が全く異なるので、この形状観察と削る感触から、被削性を定性的に評価することもできる。

(執筆者名) 澤本 章

IV. 鑄 造

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

近年、資源・エネルギー・環境問題が重要になってきている。限られた資源を有効利用するためには、使い捨てや浪費を避け、できる限り資源を再利用（リサイクル）することが重要である。本実習では、アルミニウム製の空缶や発泡スチロールの空き箱を収集して、鑄造を行い、鑄造やリサイクルの技術を実践する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料など

ふいご，ハシ（ヤットコ），ルツボ（鉄製天ぷら鍋でも可），弓のこ，グラインダー，カッターナイフ，鉄製お玉，やすり，ワイヤブラシ，サンドペーパー，ハンダゴテ，万力
 素材：アルミニウム缶，木炭，（コークス），発泡スチロールの空き箱，砂，鑄型枠（鉄製の空缶：約300mm×300mm，深さ200～300mm）

3. 所要授業時間（講義：135 min.，実験・実習：135 min.×6回）

4. 実習の方法

4.1 素材の収集

本実習では、資源のリサイクルを念頭におき、鑄造用合金素材としてはジュース，コーラ，ビールなどのアルミニウム缶を使用する。鉄製の缶は容易に溶解できないので、使用しない。缶の内外を水で洗浄・乾燥し，金切りばさみで40～50mm程度の大きさに切断する。模型用材料としては一般に，ひのき，ほう，松，杉，桜，もみ，かつら，などの木材が用いられるが，本実習では魚や肉などを入れる発泡スチロールの空き箱（肉厚：20～30mm程度）を使用する。

一般に鑄造で用いられる鑄物砂は，耐火性の砂と粘結材をブレンドしている。本実習で鑄型を作成するための砂は，専用の鑄物砂ではなく，有機質や粘土分の少ないものを用いる。粒度は，荒くないほうがよく，通常の川砂でよい。

鑄型の枠としては，葉などの空缶（約300mm×300mm×300mm程度の大きさ）を使用する。

4.2 模型（パターン）の作成

発泡スチロールをカッターナイフやサンドペーパーで成形し，模型を作成する（図1右参照）。ニクロム線に10～20Vの電圧をかけて加熱したものをを用いると，発泡スチロールをきれいに切断することができ，便利である（図1左参照）。また，文字などを刻み込む場合には，加熱したハンダゴテを利用する方法もある。

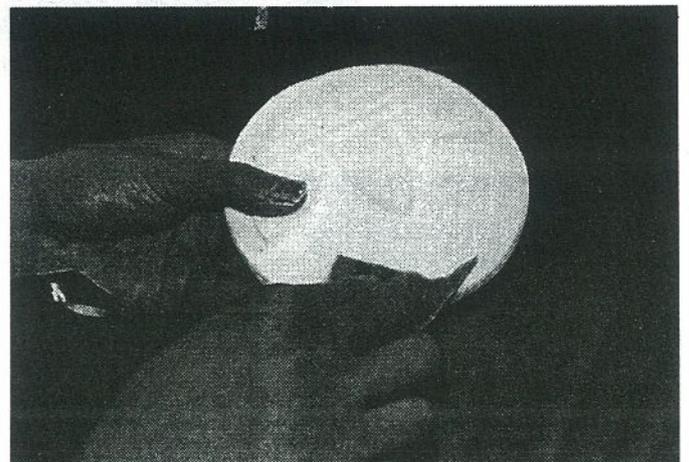
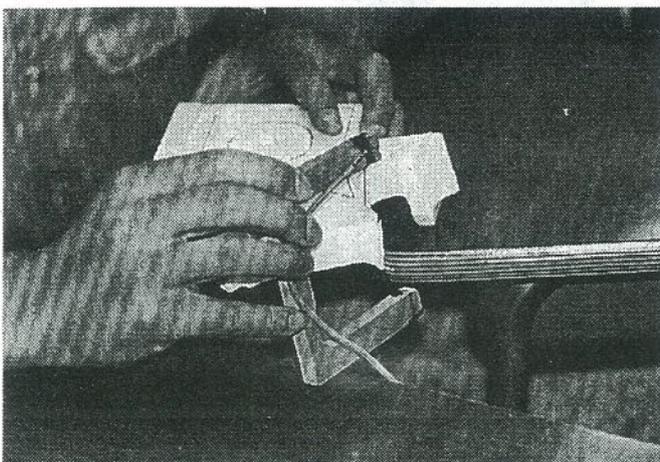


図1 発泡スチロールを用いた模型の作成

模型が完成（図2左参照）したら，模型の中央部に湯道用の型を接着し，さらにその先に湯口用の型を接着剤で固定する（図2右参照）。湯道の取り付け部は，鑄物ができあがってから切り離すことを考慮して選択する。湯道は，溶湯の流れを考慮して模型の中心部の裏側に取り付けるとよい。湯道は模型の大きさにもよるが，直径20～

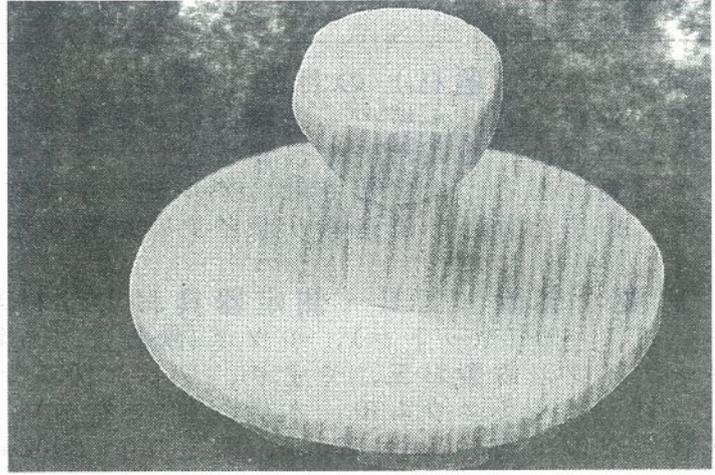
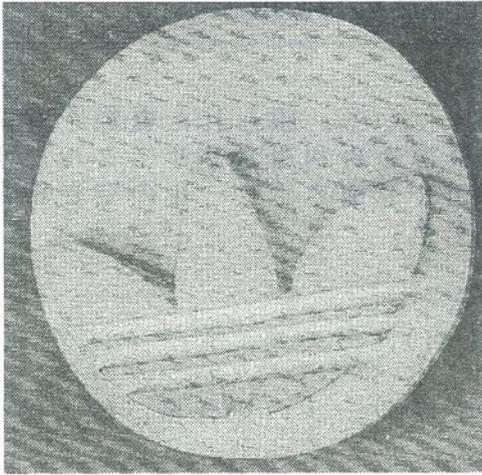


図2 完成した模型（左）と湯口・湯道型を付けて完成した状態（右）

30mmで、長さは30～50mmで短めがよい。湯道や湯口の取り付けには接着剤を用いる。その際に種類によっては、発泡スチロールを溶かすものがあるので注意を要する。

湯道、湯口を接着した模型を鑄型の枠の中に置き、砂に埋める(図3参照)。その際に模型に接する砂は篩で篩った細かい粒度のものを用いると、鑄肌がきれいに仕上がる。砂は湯道を完全に埋め、湯口の上面と砂の面が一致するようにする。

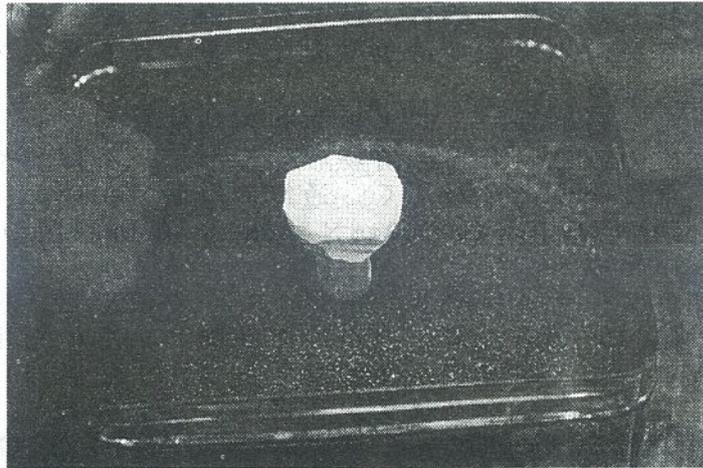


図3 模型を砂に埋める作業

4.3 空缶の溶解

木炭を30mmから50mm程度の大きさに砕き、ふいごを用いて加熱用の火を準備をする。



図4 アルミニウム合金の溶解

合金溶解用のルツボをふいご上に置き、ルツボ中に細かく切断したアルミニウム缶の切れ端を投入する（図4参照）。コークスと木炭を混合して用いてもよい。

4.4 鋳込み・鋳造

アルミニウムが溶解してから表面に浮いている酸化物などをお玉ですくって取り除き、表面を金属光沢のある状態にする。溶湯が良好な流動状態にあることを確認してから、ヤットコでルツボをもって湯口の上から注ぐ（図5参照）。その際に重要なことは、一旦鋳込みを開始したら、ためらうことなく最後まで溶湯の注入を継続することである。

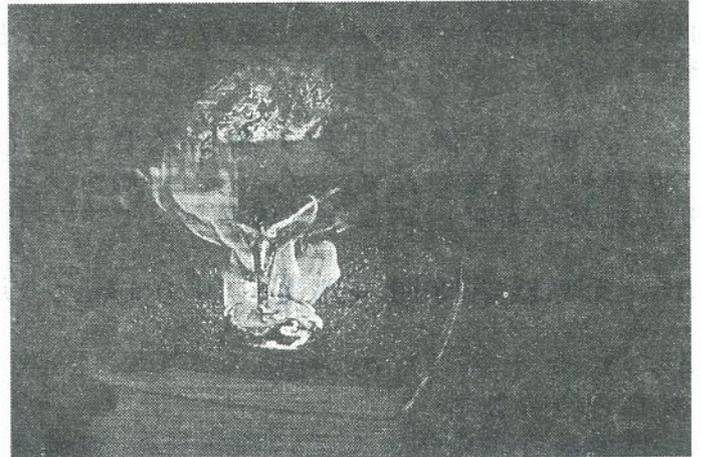
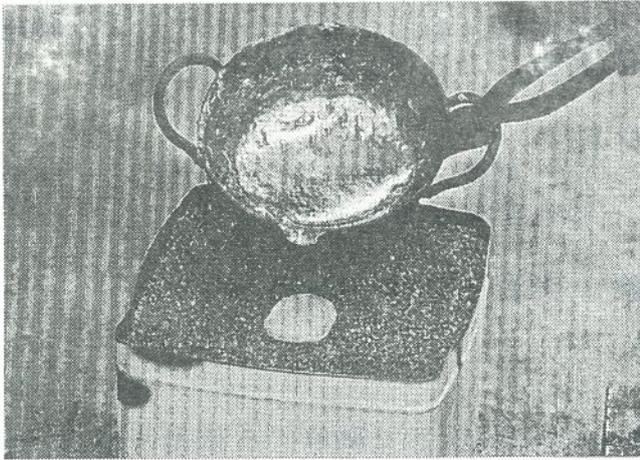


図5 アルミニウム合金の鋳込み作業

4.5 鋳物の取り出し・湯道の切断・清掃・仕上げ

鋳込みが終わってから約20分間、そのまま放置して冷却する。その後、鋳型を壊して出来上がった鋳造体を取り出す。弓のこを使って鋳造体と湯道を切り離す（図6参照）。万力に固定して、湯道を切断する際に鋳造体を傷つけないように布などを利用するとよい。バリなどがあれば、鉄工やすりを使って削って仕上げる。

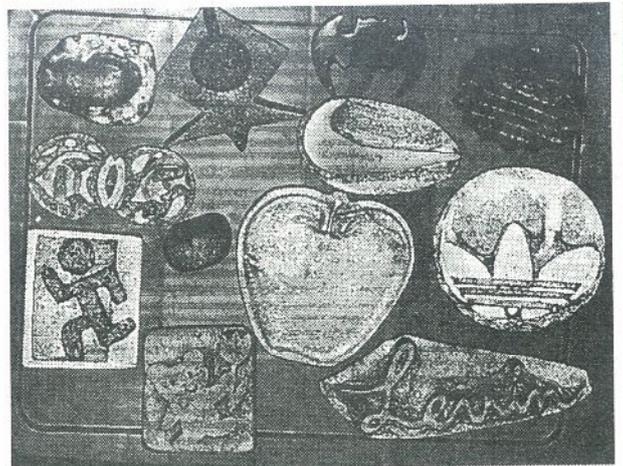


図6 湯道を鋳造体から切り離す作業（左）、完成した鋳造体の例（右）

最後に、ワイヤブラシで表面についている砂や変色部などを除去する。出来上がった鋳造体を図6（右）に示す。

5. 参考事項（実習のポイント、注意事項など）

- (1) 高温の溶湯を扱うので、やけどなどしないように安全に注意を払うことが重要である。
- (2) 鋳造体の仕上げの際に、むやみにやすりなどで磨かないようにする。
- (3) 鋳込む場合、中断せずに一気に完了する。もし、鋳込みの途中で中断すれば、湯道がふさがって鋳造が失敗する。

（執筆者名）那須稔雄

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

金属材料の特徴のうち合金による性質の変化として、強化・硬化、ばね性や不錆性の付与、低膨張性、融点の降下と铸造性の向上、電気抵抗や磁性の変化などがあげられる。このうち融点の降下と铸造性の向上について低融点合金を例に取り上げ、合金の製造、特徴を印象づける演示および铸造による作品製作を行う。

単体金属素材を秤量、融解して低融点合金を製造する。簡単な演示として、融解点が100℃以下の合金を熱湯中で融解させることと、火災時に自動的に散水する消火栓の原理を実演する。また、利用としてピューター合金の铸造による作品製作を行う。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

加熱炉（電気炉，ガスコンロ，木炭コンロなど），黒鉛るつぼ，るつぼはさみ，はかり，純金属素材，石こう（铸型用：セメント，その他類似品でも可）

3. 所要授業時間（講義：90 min.，実験・実習：180 min.）

4. 実験（実習）の方法

4.1 合金の製造

低融点合金の例として、純錫(Sn)の融点である232℃以下で融解する低融点合金の製造を取り上げる。低融点合金は多数あるが¹⁾、例として融点あるいは融解区域の低い方から順に、8種類の低融点合金と素材として用いる5種類の純金属について、化

表1 低融点金属および合金

化学成分 (%)					融解区域 (°C)		備 考
Bi	Pb	Sn	Cd	In	開始点	終了点	
44.70	22.60	8.30	5.30	19.10	46.7	46.7	共晶
53.50	17.00	19.00	—	10.50	60.0	60.0	共晶，アトミカル合金 (Anatomical Alloy)
50.00	26.70	13.30	10.00	—	70.0	70.0	共晶，リポウィッツ合金 (Ripowitz's Alloy)
57.65	15.40	15.40	11.55	—	—	82	
50.0	28.0	22.0	—	—	—	100	ローズ合金 (Rose's Alloy)
55.5	44.5	—	—	—	124	124	共晶 (Bi-Pb)
—	30.6	51.2	18.2	—	143	143	共晶
—	—	—	—	100	157	157	純金属 (In) 19746円/100g
—	38.1	61.9	—	—	183	183	共晶 (Pb-Sn) はんだ
—	—	100	—	—	232	232	純金属 (Sn) 粒状：1761円/100g 塊状：11742円/kg
100	—	—	—	—	271	271	純金属 (Bi) 1761円/100g
—	—	—	100	—	321	321	純金属 (Cd) 1761円/100g
—	100	—	—	—	327	327	純金属 (Pb) 粒状：528円/100g 塊状：6858円/kg

学成分と融点あるいは融解区域を、また、参考のために純金属の購入した時点での単価も表1に示す。素材の金属はすべて純度99.9%以上のインゴット（PbとSn：1kg単位）および粒状品（Bi、Pb、Sn、Cd：各500g入り、In：100g入り）である。

製造する合金は、高価なInを含まない合金を各人が1種類選ぶが、次の演示に利用することを考慮し、リポウイツ合金は必ず製造する。量は各人100gとする。

黒鉛のつぼを用いて電気炉で融解する。炉の温度を約350℃に保持し、それぞれの成分に秤量した素材を全部同時につぼに入れて融解し、全部溶けたところで型に流し込む。これらの合金では、電気こんろでもガスこんろでも容易に融解できる。むしろ、素材金属の酸化を防ぐために強加熱しないように気を付ける²⁾。

4.2 演示

製造したリポウイツ合金を用いて、低融点合金の特徴を印象づける次の演示を行う。鋳型に流し込んで得た塊を容器に入れ、熱湯を注ぐことにより再融解する様子が観察できる。塊の量が多いとすぐには融解しない場合もあり、その際には少し温度の下がったお湯を捨て、再度熱湯を注ぎ込めば再融解する。

また、低融点合金の利用法の演示として、火災発生時の自動消火栓の原理を見せる図1のような装置を利用する。

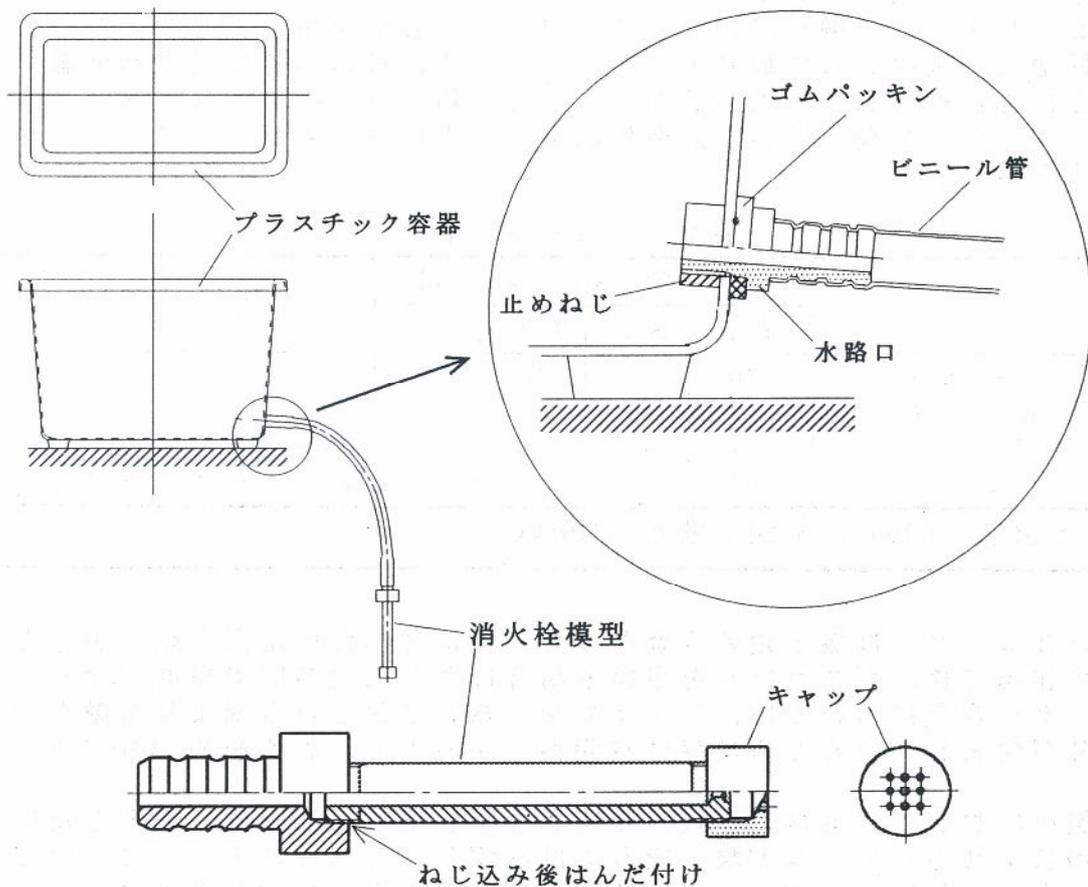


図1 装置概略図

原理は、水の入った容器につながったパイプの先端に、融点が100℃より低い合金を用いて栓をすることである。合金が加熱されて融解すると、水が吹き出して火を消す。融点が100℃以上の金属あるいは合金を用いると、よほど強熱されない限り合金から水への熱伝達で、合金の融解より先に水が沸騰してしまい消火栓の役割を果たさない。装置は、水を入れるプラスチック容器に穴をあけてビニールパイプをつなぎ、さらにその先に消火栓模型の黄銅棒をつないだものである。水が漏れないようにゴムパッキンをはさんで容器に黄銅棒を加工した水路口を取り付け、ビニールパイプをはめ込む。消火栓模型の黄銅棒の先端部のわずかの部分だけ、センタードリルで穴をあけ、それに貫通するように反対側からφ3.5mmの穴を通す。黄銅棒は先端に低融点合

金を融解・凝固させて栓をする作業性を考慮し、水は漏れないように、そしてビニールパイプから容易に着脱できる寸法に加工する。

はんだこてを用いて黄銅棒の先端部を低融点合金で封じ、他端をビニールパイプに差し込む。容器に水を入れてから適当な台にのせ、火をつけたローソクを炎の先端が黄銅棒の先端に届くくらいの位置にかざすと、数十秒で合金が溶けて水が吹き出し、火を消す。

図に示した装置では、消火栓模型部が2つの部品をねじ結合した後はんだ付けして作られており、さらにキャップをかぶせている。消火栓模型部は機能を満たせば形状および寸法にあまりこだわる必要はなく、一本の棒を加工して簡単に製作できる。図の装置では、キャップをかぶせて噴き出す水の範囲を広くしているが、原理の理解にはキャップはなくても差し支えない。キャップがあると溶けた合金がキャップ内に残るので、数回演示する場合には便利である。

実際の消火栓の構造はこれより複雑³⁾であるが、温度が高くなると合金が融解して水が吹き出して火を消すという基本原理は同じである。

4.3 鋳造による作品製作

技術・家庭科の授業での低融点合金の鋳造による作品製作については、すでに1984年に実践記録⁴⁾があり、融点が70℃のリポウイツ合金を用いて実践を行っている。ここでは低融点合金の製造で取り上げた合金以外で、鋳造学習に役立つ低融点合金として、実際に食器や装飾品、工芸品などとして使用されているピューター合金^{5) 6)}の製造と、ピューター合金を用いた鋳造作品を取り上げる。表2に各種ピューター合金の化学組成を示す。

表2 ピューター合金

	化学組成 (%)				備考
	S n	S b	P b	C u	
ローマンピューター ⁵⁾	70		30		標準的な組成 軟らかくて、傷がつきやすい
チューダーピューター ⁵⁾	91	9			
ピューター ⁶⁾	91	7		2	
ピューター ⁶⁾	94	2	4		
純アンチモン：融点 630℃，純銅：融点 1083℃					

ローマンピューターは錫と鉛の合金なので、先に述べた低融点合金の製造と同じ操作で容易に作製でき、ガスコンロを用いる場合はさらに短時間で融解できる。それ以外のピューター合金については、アンチモンあるいは銅という錫よりも融点が高くなるか高い成分が含まれているため融解に時間がかかるので、温度を約400℃まで上げて融解する。

模型の製作において、素材の選択、品物の形状および寸法などに影響を及ぼす基本的な事柄が含まれるので、本実験・実習では必ずしもそれらのすべてについて考慮しなければならないわけではないが、鋳造法の特徴を明らかにするために、以下に一般的な鋳物設計上の要点をあげる。

- 1) 造型（鋳型製作）が容易で、多量生産に向く鋳造方法を選択する。
- 2) 鋳型の分割を少なくし、できるだけ2つ以下にする。
- 3) 原価を下げるため軽量化を考える。
- 4) 地金の材質を、強度や耐食性などの点から選択する。
- 5) 鋳物の収縮を考慮して鋳型製作を行う。
- 6) 鋳造後の機械仕上げを容易にする。
- 7) 肉厚を均一にする。
- 8) 抜け勾配を考慮する。

作品のデザインは立体的な表現の場合には、紙に直接描くことになるが、平面的に表現すればよい場合には、パソコンの図形処理ソフトなどで文字や図形をデザインし

て、プリントアウトする方法も考えられる。

模型製作に使用する材料は、特に限定されているものではなく任意に選んでよいし、形状及び寸法によっては、市販されている品物をそのまま模型として利用することもできる。ここでは実践結果を踏まえて、油粘土とバルサ材の成形、厚紙（工作用紙）を接着して厚く重ねる模型製作を取り上げる。

油粘土ではほとんどあらゆる形状が可能で何回も使用できるが、模型を鋳型から抜く際に鋳型に貼り付く場合があり、これの除去に手間がかかる。バルサ材は小刀などで容易に削ることができ、比較的広い面積の場合に有効で、肉厚が厚い場合も重ねて接着すればよい。表面、特に切り口が粗くなるが、接着剤などを塗りつけてなめらかにできる。幅が狭い作品ではやや成形が困難になる。厚紙の模型では、大きさをわずかに変えた多数の文字や図形をプリントして厚紙に貼り付けた後切り出す。それらを大きさの順に接着し、表面をなめらかに成形して作製する。バルサ材や厚紙の模型では、鋳型の材料が石こうやセメントの場合、離型剤としてワセリン、機械油などを用いる。鋳型の作製には石こうやセメントなど水を加えて攪拌し、型に流し込むだけで硬化する材料が手頃で作業しやすく、また入手しやすい。鋳枠としては、プラスチックトレイの廃材などが利用できる。その他、厚紙を帯状に切り出し、ループにしてテープなどで止め、アルミオイルを平らに敷いた上に置いて、周囲を油粘土で押さえてもよい。模型を鋳枠にセットし、離型剤を薄く塗り付けてから鋳型材料を水で溶いて流し込み固まらせる。模型を取り除いてから不完全な部分を補修したのち、十分に乾燥させ、融解した合金を流し込む。型から作品を抜き出し、補修が可能な部分は修理し、その他必要な加工を行い作品を仕上げる。

鋳型としては、単にくぼみになっているものから、割型（組合わせ型）にして湯口以外は周囲が囲まれているようにもできる。鋳込みのときに他の部品の一部を埋め込むようにしてもよい。

鋳造作品としては、キーホルダーの飾り、ペーパーウエイト（文鎮）、ベルトのバックル（飾り）、ペンスタンドやフォトスタンドの重り部分などが考えられる。

5. 結果（考察）のまとめ方

金属の加工特性のうち鋳造性について調べ、製造実践、鋳造による作品製作と関連づけて考察する。低融点合金の利用法について調べ、演示内容の教材としての可能性を考察する。身近に使用されている鋳物について特性と用途を調べ、さらにそれらに対して鋳物でない競合品があれば、両者の長所、短所を比較検討する。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

合金の製造では、用いる溶解炉により融解の条件が異なるので、あらかじめ予備実験を行い条件を求めておくとよい。

演示のうち消火栓の模型では、黄銅棒の先端を封じるとき、合金が奥まで流れていかないように奥の方から竹串などで塞いでおく。また、封じる部分のよごれをよくぬぐい取り、さらにフラックスを用いないと、低融点合金が黄銅棒に接合しない。

鋳造による作品製作では、薄く幅広い面のない形状を選ぶと失敗が少ない。鋳型の乾燥を十分に行うことも重要である。

[参考文献]

- 1) 日本金属学会編：金属データブック，丸善
- 2) 武田一美：おもしろい化学の実験，東洋館出版社(1992)
- 3) 三島良績編：100万人の金属学・材料編，アグネ(1965)
- 4) 加瀬幸男，助川政之：中学校技術科における鋳造学習導入の試み（I），日本産業技術教育学会誌 26巻，3号(1984)
- 5) 長崎誠三編：材料名総覧（雑誌“金属”臨時増刊号），アグネ(1947)
- 6) 鹿取一男：工芸家のための金属ノート，アグネ技術センター(1987)
- 7) 柳原明彦：新技法シリーズ・石膏技法(第5刷)，美術出版社(1995)

（執筆者名）平瀬志朗

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

鑄造は、古代から現代まで、基本的にその加工原理を変化させることなく伝承されてきた唯一の金属加工技術である。現在、鑄造技術は圧縮機、破砕機、冷凍機などの産業機械用、エンジンプロックやシリンダーヘッドなどをはじめ、自動車用、船舶用、電気機械用などの鑄造品の製作に用いられ、また銅像、梵鐘、花器、置物などの美術品や工芸品などの身近にある製品の製作にも大きな役割を果たしている。それにもかかわらず中学校技術・家庭科「金属加工」領域に取り扱われることは皆無に近い。

鑄造作業は一般的には難しく思われるが、ちょっとした工夫により中学校でも簡単に多人数が、楽しく、短時間に青銅鑄造により銅鏡が製作でき、かつ銅鏡の技術水準も理解でき、銅鏡をよりよく理解することができる。



図1 人物画像鏡

しかし、なぜ、鑄造で銅鏡を製作させるかという理由は、下記による。

小・中・高等学校などの社会科の教科書中で、古代の神殿にはご神体として鏡が飾られていたと記載され、その写真も記載されている。しかし、教科書に示されている写真は鏡面の裏側（鏡背）に描かれている象形文字や動植物の図柄などの意義について述べているのみで、鏡の輝度について記述されているものは皆無である。一方、この時代の鏡に興味を持つ学生にとって、この時代の鏡の輝度を理解することは、象形文字などの意義を学習することと同様に重要なことであると捉えたからである。

この学習の主たる目的は^{1)~3)}、

- (1) 学生が中学校技術科教師および生徒の両方の立場で、中学校技術・家庭科「金属加工」領域の学習で、女子も含めた中学生自身が、原型の製作から鑄込み・研磨まで一貫した工程で銅鏡の製作を行うことを想定する。なお、金属材料は青銅とする。
- (2) 授業時間数は20時間を目標とする。
- (3) 金属材料（溶解性・金属光沢など）の性質を理解させる。
- (4) 合金の性質による銅鏡の反射機能の学習と、歴史教科書に記載されている銅鏡の模様を考え合わせて、鏡としての機能を持った個性を生かした銅鏡を設計する。
- (5) 各自が作った鑄型に湯を流し込む作業を通して、合金の融点、湯の流れ、凝固の様子、色合いなどを観察させる。
- (6) 歴史的観点から、古代の人たちの技術水準の高さを再認識させる。
- (7) 上記について、どのように教授するか、どこに問題点（作業工程、安全など）が存在するかを考えながら、銅鏡の製作実習を行わせる。

このように中学校の授業展開を予測しながら、一貫した銅鏡製作活動を通して、学生が主体的に鑄造を学習する。それと同時に、銅鏡が現代の鏡と同様の光沢を持っていたことを理解することにより、技術教育に裏打ちされた歴史認識が育成されることが期待される。また、金属材料の高温での溶解現象に及ぼす合金の特性、温度変化による流動性の変化、表面研磨による金属光沢の変化なども学習できる。

2. 必要な装置・工具・測定器具（太字は大学で製作したもの）

ボール紙(65mm×65mm×厚さ0.8mm:15枚), **カッターナイフ**, はさみ, 定規, コークス炉, コークス, **電動送風機**, るつぼホルダー, とり舟, 肌砂, 噴霧器, フルイ, 太筆, 突き棒, 木杵, 定盤, 旋盤, 羽布, **ベルトサンダー**, #60, 120, 240, 400, 800, 1000の耐水サンドペーパー, コンパス

3. 所要授業時間（講義：360 min., 実験・実習：840 min.）

4. 実験・（実習）の方法

銅鏡の製作の製作工程

4.1 原型の製作

- ① 大きさ65mm×65mmのボール紙14枚すべてにコンパスで直径60mmの円を描き、はさみで切って円盤をつくる。14枚は土台用、1枚は図柄(文様)用とする。
- ② 10枚の円盤を木工用ボンドで張り合わせ中心に38mmの釘を打ち込む。さらに残り4枚を円盤をその上に乗せ張り合わせ、「重り」を乗せて圧着させる。
- ③ 十分に乾燥したらベルトサンダーなどで釘側が広くなるように傾斜を付けて成形をする。これを、抜け勾配という(土台部の完成)。
- ④ 文様は、銅鏡のように文字・動植物を図案化させ、カッターナイフ、はさみで透かし彫りを行う。このとき文様の型にも抜け勾配を付けるために、カッターナイフを80度ぐらい傾けて切るとよい。
- ⑤ 土台部と文様に②と同様に木工用ボンドを付け圧着させ、釘を10mmぐらいに切断する。
- ⑥ ボール紙が吸湿しないようにクリヤラッカーで塗装し、文様を修正し、再び塗装をし完成する(図2)。

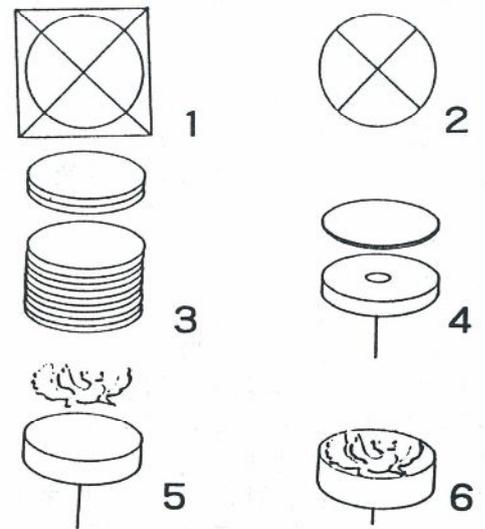


図2 原型のつくり方

4.2 木枠・鑄型づくり

木枠の大きさは、一般に原型から木枠までの距離は最低35mm、深さは50mmあればよい。砂を突き固めて鑄型をつくる時、かなりの力がかかる。したがって、木枠の厚みは12mm程度は必要である(図3)。

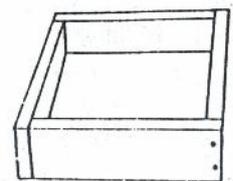


図3 木枠の大きさ

接合には木工用ボンドと木ねじとを併用して、強固にする。

鑄型にはいろいろな種類があるが、ここでは繰り返し使用できる砂型を用いる。

- ① 肌砂に砂重量比で約8~10%の水を、噴霧器を使って全体に加えてよく混ぜた後、フルイでよくふるう。
- ② 定盤の中央に4mmの穴をあけ、原型の釘が入るように原型と木枠を置く。
- ③ フルイで砂をふるいながら、原型を包むようにして原型の上面より10~30mmの厚さにまで砂を入れ原型に押しつける(図4)。
- ④ さらに、フルイを通して砂を補充してから、突き棒で木枠の底の方から突き固める。木枠の近くをよく突き固めれば、中程は軽く突くだけでよい。突き固めが進むと最初に入れた砂が減ってくるので、砂を補充して平にしなが、木枠の高さを越えるまで盛る。
- ④ 盛り上がった砂の上に作業者が乗って踏み固めてから、「かき板」で木枠の上端と同じ面になるように余分な砂をかき落とす。
- ⑤ 木枠を反転させて、太筆に水を含ませ、原型の周りに打ち水をする。
- ⑦ 左人差指で木枠を軽く押さえ、「からかみハンマ」で軽く釘を四方まんべんなく叩いて、砂と原型との間に隙間をつくる(図5)。

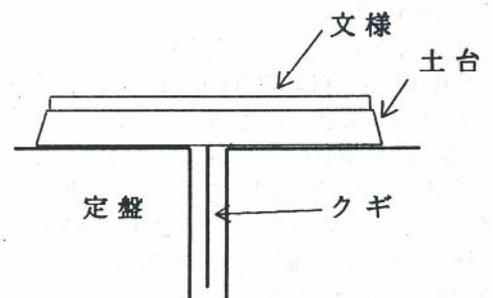


図4 原型の置き方

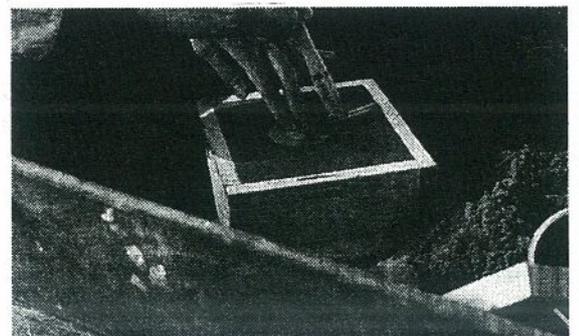


図5 原型と砂の隙間作り

- ⑧隙間ができたなら、釘を持って原型の厚さの2/3までゆっくり慎重に持ち上げ、その後一気に抜く。文様の図柄が大きく崩れたら①からやり直し。少し崩れそうな場合は、太筆を使って水分を与え、ガスバーナーで表面を軽く焼き、水分をとばす。
 注意事項：砂を扱うときは保護眼鏡を使用し、ガスバーナーを取り扱うときは火傷などに注意する。

4.3 鋳込み

鋳造の醍醐味は、2種の金属、銅と錫を溶融し青銅を作り、鋳込むことである。この際製品の出来不出来が、「物をつくる」緊張感であり、おもしろさである。鋳造作業のなかで、特に鋳込み作業は敏捷性が要求される華麗な作業である。しかしながら、高温の「湯」（溶融した金属）を扱う作業であるから、安全には特に注意を払う必要がある。

(1) 鋳型の設置

- ①鋳型は安定した場所で、砂を敷いた上に水準器を使って水平になるように置く。
 ②鋳型からあふれた「湯」が飛び散らないように、鋳型の周りに鋳物砂をまいておく。

(2) 銅、錫の溶解

銅と錫の成分割合は、ブリネル硬さ約275~280、伸び27~28%、引張り強さ約250~300(MPa)になる、25~27%が銅鏡として最適である(図6)。

「湯」の溶解にはコークス炉を用い、黒鉛るつぼ(6号、約6kg)が加熱できるように、外装に鉄板を用い、移動が可能ないようにキャスター付きの炉を製作するとよい。

- ①炉内に新聞紙、木片を入れ着火する。木片に十分に火が回ったら、コークスを投入する。
 ②コークスに火が十分に回ったら、炉の中央に黒鉛るつぼを置き、予熱する。
 ③黒鉛るつぼの底が赤く熱せられたら、1人分の銅(241g)、錫(89g)を投入し、その上に焼き灰を入れ、大気を遮断する。

(3) 鋳込み

- ①銅、錫が完全に溶解し、「湯」になったら、つかみはしで黒鉛るつぼを取り出し、るつぼホルダーに移す。
 ②藁灰を除去した後、「湯」の流動性をよくするために、リン銅を約0.5%入れ、1号黒鉛るつぼに移す。
 ③「湯」が沸騰している状態なので、鎮静したら一気に鋳型に流し込む。1~2秒で終了するように手際よく行う。
 ④鋳込み後、鋳型は高温になっているのでしばらく(20分程度)放置する。
 ⑤温度が下がったら、鋳型を崩して製品を取り出す。まだ余熱があるので直接さわらないようにする。
 ⑥砂の後処理は、砂が温かいときに行う。完全に冷えると砂が固まって団子状になって、崩すのが大変である。

4.4 鏡面研磨・仕上げ

最終段階は鏡面研磨である。この作業は根気のいる緻密な作業であるけれども、この研磨作業の丁寧さが金属光沢の善し悪しを決定する。まず機械による研磨は、酸化銅の除去、凹凸の除去のみ行う。それ以外はすべて手作業で行う。

- ①酸化物や不純物が鏡面となる側に集まっているので、この部分は機械(ベルトサンダーなど)を使って薄く削り落とす。
 ②定盤の上で、#60サンドペーパーによって機械削りの傷を落としながら平面を出す。この平面出し作業を丁寧に、根気よく行うことによって、後の研磨作業がスムーズ

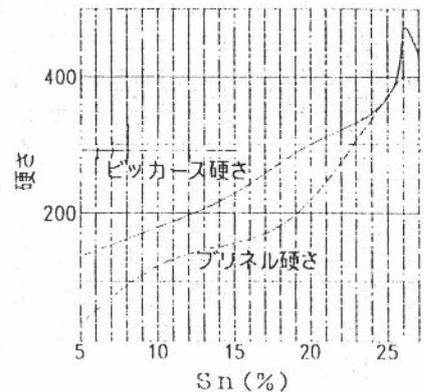


図6 青銅成分と機械的性質との関係

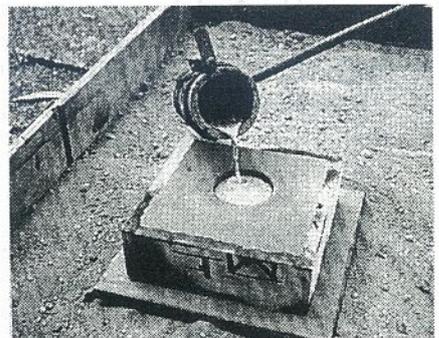


図7 鋳込み作業

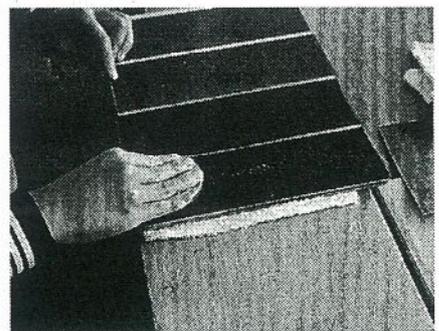


図8 研磨

に進む。

- ③ #60のサンドペーパーによる平面出しができれば、#120サンドペーパーで#60の傷を落とす。このとき研磨の向きをときどき変えるようにする。
- ④ この要領で、#240、#400、#800、#1000と順次、細かいサンドペーパーを使って研磨する(図8)。
- ⑤ #1000サンドペーパーで磨き上げた後、研磨剤(商品名:ピカール)を塗布して乾燥した布で拭き取る(図9)。ピカールを用いずに、青砥を塗りバフを電動ドリルに取り付け、バフ研磨をするとピカール以上の輝きを得ることができるとは、金属は長い間には酸化され「さびる」という性質があるので、バフ研磨後、CDコーデイング剤を塗布することを勧める(ピカールとは、非鉄金属研磨剤の商品名である)。



図9 完成品

4.5 置き台をつくる

銅鏡を保管するために、各自が、飾り置き台、収納箱を製作するとよりよい。各自が、色々とアイデアを出して個性ある収納箱を作るとは、木工の学習にもつながる。この際、寸法は各自、自由とする。

5. 結果(考察)のまとめ方

最終的に、各自が授業計画、指導案を作成し、中学校における「铸造」学習の位置づけを明確にする。さらにできれば、「顔の写る銅鏡」製作授業を社会科との総合学習授業として位置づけられないかを検討することもよい。これにより、学生の歴史認識が変わることが期待される。

6. 参考事項(実験・実習のポイント、注意事項など)

ポイント

- 1)木型原型ではできにくい複雑な文様も、ボール紙によって簡単にできる。
- 2)鑄型を上下型でなく、開放型にすることによって、材料、鑄物砂が少なくてすむ。
- 3)開放型によって、「湯」の流れ、凝固などの金属材料の特性がわかる。
- 4)コークス炉を作製することによって、多人数が一度に鑄込みができる。
- 5)研磨をすることによって、金属材料の特徴(金属光沢)が学習できる。
- 6)古代の人たちの技術水準の高さが認識できる。
- 7)原型の文様がそのまま金属作品としてできあがる喜び。
- 8)器用・不器用の差がなく、銅鏡ができる。

注意事項

- 1)文様づくりにあたって、カッターナイフの刃先は鋭利であるから振り回さない。
- 2)ガスバーナーを使用するとき、火傷をしないように皮手袋をする(鑄型の乾燥)。
- 3)よく乾燥されていない鑄型は、鑄込みを見合わせる。水分が多い鑄型は様々なガスを発生させ、完全な形の銅鏡ができない。
- 4)「湯」は高温になっているため、使用工具はすべて予熱して黒鉛るつぼに入れる。温度差が大きすぎると、材料の変質や爆発する恐れがある。
- 5)コークス、銅鏡は温度が下がってくると赤色から黒色に変化する。このときでもかなりの高温であるから、必要がない限り近づかない。また、直接さわらない。
- 6)鑄込みの時の服装は、ズボンにジーンズ、上はトレーナ、帽子、首にタオル、ゴーグル、皮手袋、運動靴などを着用する。

[参考文献]

- 1)中村、畑：第14回産技東海支部講演論文集，41(1996)
- 2)中村、畑，原川：静岡大学教育学部紀要(教科教育篇)，第28巻(1997)
- 3)中村、畑：金属加工実習テキスト，静岡大学テキスト(1996)

(執筆者名) 畑 俊明・中村 勇

V. 接 合

合 班 . V

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

金属部品の接合には、溶接、ねじ、リベット、接着など、さまざまな方法が採用されており、工業界におけるそれらはほとんど機械化、自動化されている。

しかし、中学校技術・家庭科は、知識や技術をまだ習得していない発達段階の生徒に対して、創造力や設計力などを育成することを一つの大きな目的としている。

そこで、手工具を用いて薄い板材を加工することが行われており、その接合方法の一つにリベット接合（リベット締め）がある。

手加工で行うリベット接合は、特殊な工具を必要とせず、作業も簡単であるために軽視されがちであるが、その技能によって仕上がりや機能も左右する。

そこで、リベット接合の方法を理解し、その技術を修得する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

リベット（アルミニウム、丸、 $\phi 3$ 、長さ4）、片手ハンマ、金床、スナップ、スナップ台、金属板材（ $t 0.3 \sim 0.5$ ）、ボール盤、ドリル刃（ $\phi 3.3 \sim 3.5$ ）、呼び出し

3. 所要授業時間（講義：30 min., 実験・実習：60 min.）

この所要授業時間は、試験片にリベット締めする場合のものである。製作を通して活用する場合には、相当の時間を要する。

4. 実習の方法

4.1 リベットの用途

リベットは、板材などを永久に接合する一つの方法として用いられる。似た方法としてボルトによる接合があるが、これは単価が高くなるという欠点とともに必要に応じてとりはずすことができるという利点がある。

産業用としては、建造物、鉄橋などの構造用リベットとボイラ用リベットに大別され、次のような使用条件により用途が決定される。

- ・主として強度を必要とする場合（鉄骨構造などの建造物など）
- ・気密を必要とする場合（低圧容器など）
- ・強度と気密を必要とする場合（ボイラのような高圧容器、船舶など）
- ・薄板を接合する場合（航空機など）

4.2 リベットの材質と形状

リベット接合の強さは、リベットの径やせん断応力によって変わるし、リベットの中心より板の縁までの距離や板の厚さ、板のせん断応力によって板のせん断力が決定される。これらは計算式によって求められるので、それによって接合する材料やリベットの大きさ、材質を決定し、設計すればよい。

厳密な強度を重視しない手加工で行う場合のリベット接合の長所としては、穴さえあければ簡単であること、はんだで接合しにくい材質でも接合できることなどがあげられるが、小径のリベットに限定される。また、リベットの頭が残るため、平面にならないという短所もある。

リベットの材質としては、塑性変形させて頭をつくる必要があるので展延性のある鉄鋼、銅、黄銅、アルミニウムなどが用いられている。

これらを選択する基準としては、強度を重視する場合は当然引っ張り強さの大きい材質ほどよい。一方、その割合が小さい場合は、加工のしやすさが選択の要因となる。

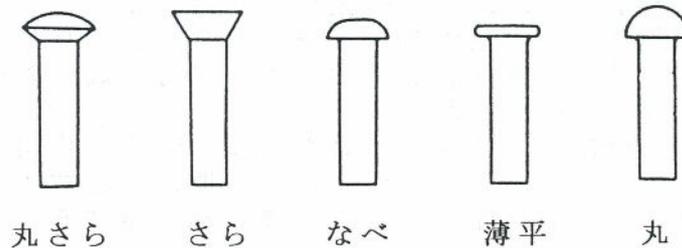
したがって、一般的には接合する板材の硬さと同等か、それより軟質のものを用途に応じて用いる。

また、加工硬化しているリベットをそのまま使用すると整形が困難であったり、割れが生じたりするので、焼き鈍しを行うことがある。

接合する板材より硬度が大きい場合には、打叩によってリベットの軸（足）が変形してもそのまま板材にめり込み、正常な形にならないことがある。ところが、リベットの方が軟質の場合は、穴の側面が支えとなってリベットの軸がそれ以上曲がらない。

ただし、イオン化傾向が大きく異なる金属を接触させると腐食の原因になるので酸化しやすい場所を使用する場合は、両者のイオン化傾向も考慮する必要がある。

形状と寸法はJIS1213, 1214, H4165~7 に定められている。形状の例としては下図のようなものがある。



リベットの呼び方は、例えば、「冷間丸リベット5×18SWRM10」のように、種類、軸の直径×首下の長さ、材質で表される。

4.3 接合方法

手加工によるリベット接合は、次の手順で行う。

- (1) 接合する2枚の板材にリベットの軸の径より少し大きめの穴をあける。リベットの呼び寸法がφ3の場合の穴径はφ3.3~3.5。
- (2) 板材の穴のかえり(バリ)を取り除く。簡単な方法としては、穴より大きい径のドリルの刃を用いて削り取る。
- (3) リベットを2枚の板材に通し、頭を金床に当ててリベットの軸を上向きにする。頭の形状を損傷させたくないときは、頭の大きさに応じたスナッフ台のくぼみに頭を当てる。同一材料を複数のリベットで接合する場合には、穴の位置がずれないようにそれらの穴にもリベットを通しておく。
- (4) 2枚の板材を密着させ、リベットの頭の方に押しつける。呼び出しというパイプ状の工具を用いることもある。
- (5) 片手ハンマの平らな方でリベットの軸を叩き、リベットの軸を太くする。
- (6) 片手ハンマの丸い方で、リベットの軸の周囲を少しずつ叩いて整形していく。その場合、リベットの周囲を傷つけないように注意して叩く。
- (7) 慣れてくるとハンマだけで丸い頭に整形することができるが、さらにきれいな形を望む場合にはスナッフを当てて仕上げる。
- (8) 複数のリベット接合をする場合は、順次に行わず全体的にリベット締めしていく。

4.4 リベットの頭を材料と同一平面にしたい場合

上記の方法でリベット接合をすると板材の両面にリベットの頭ができるが、用途によってはその頭がじゃまになることもある。

その場合は、材料に軸穴をあけた後、平らにしたい面の軸穴をさらもみ(すり鉢状の穴をあけること)し、前図のさらリベットをその穴にはめてリベット締めする。この方法をとる場合は、リベットの頭が埋まり込むための板厚が必要となる。

両面を平らにしたい場合は、ハンマで叩く方の面もさらもみし、叩かれた軸がその穴の中で広がるようにする。その軸の長さはつぶしたとき、丁度いっぱいになる程度の長さにしておく。

この板厚は薄くてもよいが、すり鉢状に穴をあけるためには厚み1mm以上は必要である。薄い材料の場合は、リベットの引っかかり部が少ないので大きい強度を要さない部分の接合に用いる。

5. 参考事項(実験・実習のポイント、注意事項など)

リベット接合は比較的容易な作業といえる。しかし、その正確さと仕上げの程度で製作品の価値に差が生じる。特に、沢山のリベットで止める場合には注意を要する。

なお、箱もののように金床とハンマが使えない形状の場合は、片側のみから作業ができるハンドリベットというものもある。

(執筆者名) 間田 泰弘

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

ほとんどの金属製品は、部品を接合することによって形づくられている。すなわち、金属の加工方法の中で接合は大きな比重を占めており、部品加工の正確さとともに接合の正確さが製品の機能に大きな影響を及ぼし、それらの仕上がりの程度が製品の価値を左右する。

金属部品の接合には、溶接、ねじ、リベット、接着などさまざまな方法が採用されており、工業界におけるそれらはほとんど機械化、自動化されている。

中学校技術・家庭科は、製作をとおして創造力や設計力などの育成を一つの大きな目的としている。しかし、その対象は、知識や技術をまだ習得していない発達段階の生徒であることが前提であり、しかも工業界で用いられているような工作機械はない。

技術・家庭科では、手工具を用いて薄い板材を加工することが行われており、その接合方法の一つに、簡単な器具を用いたろう付けがしばしばとりあげられている。

ろう付けは、硬ろうと軟ろうに分けられるが、いずれも複雑な操作は要さない。そのため軽視されがちであるが、その技能によって仕上がりや強度に極端な差が生じ、ひいては以後の生徒の興味や、意欲に大きな影響を及ぼす。

そこで、ろう付けの方法を理解し、軟ろうと硬ろうの技術と指導力の修得を目的とする。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

・軟ろう

はんだごて、こて台、テーブルタップ、やすり、溶剤（塩化亜鉛液または塩酸）、溶剤を入れる容器、溶剤を付けるための細い竹のくし、亜鉛めっき鋼板、作業をする際に用いる損傷してもよい板

・硬ろう

バーナー、硼砂、硬ろう（銀ろう）、黄銅などの接合される板材または棒材、サンドペーパー、接合部を固定するための針金、接合材料を保持するためのプライヤー

3. 所要授業時間（講義：90 min., 実験・実習：270 min.）

ただし、製作を伴う実習の場合、または多様な状況に対応できる技術を修得するためには、少なくとも15週間を要する。

4. 実習（実験）内容の理論と方法

日本工業規格の解説によれば、ろう付けとは「ろうを用いて母材を溶解させないで接合する方法」となっている。その中で、一般に500℃以下で熔融するものを軟ろうといひ、それ以上のものを硬ろうということが多い。軟ろうの代表的なものにはんだがある。

4.1 軟ろうで接合する金属（母材）

金属には軟ろうで接合しやすいものと困難なものがある。身近な材質で容易なものとしては、銅（銅合金を含む）、亜鉛めっき鋼板（トタン）および錫めっき鋼板（ブリキ）などがあり、困難なものには鉄鋼、アルミニウム、ステンレス鋼などがある。

ただし、前者は熱伝導がよいので、広いものや大きなものは、はんだが熔融する温度まで接合部を加熱する工夫が必要である。

後者は専用の溶剤や軟ろうを用いれば可能となる。また、アルミニウムは、後述するように通常用いるはんだでも十分とは言えないが接合できる。

4.2 軟ろう（はんだ）

はんだは、錫（すず）と鉛の合金である。このはんだを用いて二つの固体金属を接合する方法は、糊で接着するような物理的作用による接合だけではなく、溶解はんだは拡散現象により固体金属内に進入し、固体金属とはんだの間に金属化学的変化が生

じている。

このように固体金属と溶解はんだが合金を形成し、接合するためには、はじめにはんだは液体になり、金属表面上でぬれたようになり、はんだの1成分である錫が母材に拡散することが必要条件と考えられる。すなわち、錫ははんだの接合作用に重要な役割を果たしている。

一方、鉛はほとんどの場合、接合金属と反応しない。また、鉛中毒は、金属中毒の中でも古くから知られている。人体には、蒸気が呼吸器と消化器から進入し、症状としては、頭痛、目まい、顔面蒼白、便秘、腹痛などの他に、歯肉の変色などの害がでると言われている。

しかし、錫と鉛を合金にすると、次のような利点がある。

- ・融点の降下

錫の融点は232℃、鉛の融点は327℃であるが、両者を合わせたはんだは、どちらよりも低い温度で溶け、錫63%の場合は183℃になる。融点が低いと、高温の状態で部品の接合に用いることが可能になるとともに、作業能率の向上につながる。

- ・酸化の防止

- ・ぬれ性の改善

鉛を加えることで表面張力および粘度が低下し、ぬれ性が改善される。

- ・機械的特性の改善

錫と鉛を合金にした場合、各々が単体の場合よりも引っ張り強さやせん断抵抗が大きくなる。

このように錫と合金にすることによって、多くの長所が生じるので、それを活かしながらも害が生じないように、食品に触れるものなどは鉛が5%以下のものを使用するなど、用途に応じて使い分けられている。

○ぬれ性とは

はんだ付けの第1段階は、溶解はんだが固体金属表面に十分広がって馴染むことである。これを「ぬれ性がよい」という。

固体金属の上にはんだをのせて加熱すると、はんだは溶けて広がり、はんだと固体金属の境界における接触角度が90°以上か以下かによってぬれているかいないかが判断される。水滴がワックスを塗った車の上で転がり落ちるのは、ぬれていない状態である。この接触角が小さいほどぬれ性がよいということになる。この接触角は、接合される金属の種類や表面処理の良否および溶融したはんだの温度などによって異なる。

固体金属に、完全に溶着したはんだは、極めて微量であるが内部に拡散する。拡散とは、物質内の原子や分子の自発的な移動のことで、高温であるほど活発になる。金属によってそれは異なるが、拡散しやすい金属間の場合は、固体のまま接合材を用いずに熱と圧力だけで接合できる。

はんだ付けにおける拡散は、はんだの成分、接合母材の種類、温度などによって異なり、表面拡散、粒界拡散、粒内拡散などが考えられる。

4.3 はんだごて

金工用として一般に使用されているはんだごての先は、銅でつくられている。

銅は150℃以上で表面に黒色の酸化膜を生じるという欠点があるが、はんだごてに用いると次のような利点がある。

- ・はんだとのなじみがよい。

こて先は、溶融しているはんだとのぬれ性がよい。ぬれ性が悪いと、こて先にはんだが溶着せず、熱も伝わらない。

- ・熱伝導性がよい

こて先は、接合金属とはんだによって、作業中は急速に熱が奪われなければならないし、発熱体から補わなければならない。

一方、銅は腐食しにくいという長所もあるが、使用されているはんだごての先は、ほとんど黒くなっている。これは、空気中で高温にされたために酸化第二銅(CuO)になり、しかも溶剤が付着して被膜が生じたものである。この膜は、薄いですが、熱の伝導性を悪くするとともに、はんだの溶着を妨げている。こて先に、はんだが付い

ていないと、接合金属との接触面積が極めて小さく、熱伝導性が悪い。したがって、こて先は、はんだでめっきされたように覆われていることが必要である。

4.4 溶剤

(1) 溶剤の働き

接合前の汚れを除去する作業を表面処理ともいうが、はんだ付けの第一段階ともいえるこの作業は、軽視されやすい。金属表面の目に見える錆や汚れは、ワイヤブラシや、研磨紙などで除去する。しかし、油膜を除去したり、加熱時の酸化防止には専用の溶剤が必要である。

溶剤には次のような働きがある。

- ・ 酸化物の除去
- ・ 金属表面の油脂や、ごみなどの洗浄
- ・ 金属表面を覆い、空気との接触を断つ
- ・ 表面の酸化物を取り除き、溶融はんだの表面張力を低下させ、はんだの流れをよくする

(2) 溶剤の種類と選定

実際のはんだ付け作業で、どの様な溶剤を使用するかは接合金属の種類によって異なる。溶剤の選定を誤れば、接合強度が低下したり、作業時間が長くなる。

はんだ用溶剤の種類には次のようなものがある。

- ・ 希塩酸……濃塩酸のままでは、塩化水素が蒸気状になって空気中に出て、咳が出たり、周囲の鉄類を酸化させるので、水で2～5倍に薄めて用いる。亜鉛めっき鋼板のはんだ接合に用いる。
- ・ 塩化亜鉛液……塩化亜鉛 (ZnCl₂) を水で溶かしたものか、塩酸中に亜鉛を入れて飽和状態にしたものを用いる。はんだごての先の汚れを落とすときに用いる外、飽和状態にならない程度の塩化亜鉛液は亜鉛めっき鋼板のはんだ接合に用いる。
- ・ 塩化アンモン……鉄鋼材のはんだ接合に用いられる。これに塩化亜鉛を混合したものは酸化膜の除去作用が大きく、しかも腐食性が少ない。
- ・ 松脂 (まつやに) ……酸化膜の除去作用は弱い、80～100℃で融け、腐食性がなく無害である。鋼、銅合金、錫めっき鋼板のはんだ接合に用いる。
- ・ ペースト……塩化亜鉛、グリセリン、松脂などを混合したもので、電線や電気部品などの接合に用いる。

○ 塩化亜鉛液を用いる場合

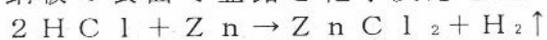
はんだごての先を清浄にするときに使用する塩化亜鉛液は、塩化亜鉛を水で溶かさずか塩酸を水で薄め、その中に亜鉛を入れて飽和状態にしたものを使用する。亜鉛めっき鋼板の切り屑を塩酸中に入れてつくることもできるが、相当の量が要る。その場合、残った鉄板屑は取り出し、水で洗って捨てる。

亜鉛めっき鋼板のはんだ付けの溶剤として用いる場合には、亜鉛を飽和状態にしない方が接合しやすい。ただし、はんだごてをあてたときに発生する塩酸の蒸気を吸い込まないように注意することが必要。

塩酸や希塩酸または不飽和状態の塩化亜鉛液類は、必ず密封できる容器に入れておく。不完全な場合、極めて微量の蒸気が漏れてもスチール戸棚や周囲の鉄類を酸化させてしまう。

○ 亜鉛めっき鋼板 (トタン) をはんだ付けする場合の溶剤の取り扱い

溶剤としては、一般に希塩酸または亜鉛を溶融させた希塩酸を用いる。塩酸は、亜鉛めっき鋼板の表面で亜鉛と化学反応を起こし、塩化亜鉛液になる。



この塩化亜鉛液は、常温で酸化物を除去し、溶融状態において還元性があるが、極めて流動性が高く、腐食性も高いという欠点をもっている。故に、接合部に塗布するときは、できるだけ少量を塗り、接合部以外の腐食を防がなければならない。やむを得ず付着した部分は作業後に、石鹼水および水で洗い、最後に防錆処理をしておく。また、作業中に塩酸が手や、衣服に付かないように十分注意する。

4.5 その他の用具

溶剤の塗布は、小さい穴があいたガラス管か、竹ひごの先端をハンマでつぶしたものを使用すると、必要な部分に適量を塗布することができる。

容器は、磁器、ガラス器、ポリ容器が適当であるが、作業時に用いる容器は安定した形状のものを使用する。

こて台は、金属製でこてとの接触面積が小さいものならどんな形状でもよい。

こて先の酸化膜を削る必要がある場合は、はんだも付着していることが多いので単目やすりを用いる。

接合部からはみ出たはんだを削り取る場合は、単目やすりか、けがき針のへらの部分を用いる。

4.6 接合作業の順序

(1) 塩化亜鉛液でこて先を洗浄する

加熱したこて先を塩化亜鉛液の中に瞬間的に入れると、小手先の酸化物が取り除かれる。そして、すばやく小手先ではんだを溶かすと、はんだはこて先の表面に広がり、空気との接触を断つ

(2) 長時間にわたってこて先を加熱しない

長時間にわたってこて先を加熱する場合には、電源部にスライダックを使用するなど、こて先の酸化が進まないように配慮する。

(3) 母材の表面に付着している錆や、汚れを取り除く。亜鉛めっき鋼板や、錫めっき鋼板（ブリキ）は希塩酸または不飽和の塩化亜鉛液を用いて汚れを取り除く。

(4) はんだごてを適温に加熱する。100～300Wの電気はんだごてを用いて、錫50%—鉛50%の場合、300～400℃位の温度にする。これより温度が低すぎても高すぎてもはんだの付きは悪くなる。

(5) 接合部を完全に密着させてから接合する。接合部が長い場合、ジグなどで接合部の前後を十分に固定してから作業する。順次にプライヤなどではさみながらはんだを付けていく方法では、接合した部分が溶けて離れ、そのまま固まるので密着しない。接合前の部品が正確に加工されていれば、この作業が楽になる。

(6) 大きすぎるはんだ棒を接合部にあてると、急激に熱を奪い作業能率が悪くなる。2～3mmの小片を接合部に順次置いて接合していくと、簡単に作業ができる場合が多い。

(7) こて先を接合部にあて、ゆっくりこて先を移動して接合する。溶融したはんだが接合部に浸入できるように、母材の接合部は十分に加熱されなければならない。

(8) 母材をはんだの溶融点より高い温度にする。はんだは溶けていても、母材の温度が低い場合は、はんだは隙間に浸入しない。

(9) 接合後の美観も損なわれるので、はんだを多量に使用しない。はんだは接合面に付着していれば十分である。

(10) はんだ付けが終わったら、溶剤を除去するため水洗いする。また、不要なはんだは、はんだごてで溶かすか、けがき針のへらの部分で取り除く。目の細かい鉄工やすりで削ってはならない。

(11) 作業後は溶剤を密封できる容器に移し、溶剤が付着した用具は水で洗う。

4.7 アルミニウムのはんだ付け

アルミニウムは、建築、電気、家庭用品などに多く使用されているが、身近な金属にも関わらず、はんだ付けは銅や黄銅のように容易ではない。それは、表面が酸化膜で覆われており、はんだとの親和性に乏しいため、一般には、溶接、ねじ止め、リベット接合が行われている。

アルミニウム専用のはんだも市販されているが、便宜的に通常使用しているはんだを使って接合することもできる。

アルミニウムの酸化膜はサンドペーパーや、刃物で削ると簡単に除けるが、同時にその面の酸化は始まっているのではんだが付かない。そこで、次のような順序ではんだ付けをすると酸化膜を生じさせずに接合できる。

・はんだごての先端部をねじ回しの先のように削る。

- ・はんだ付けするアルミニウム板の油膜や汚れを清浄する。
- ・広い面積では放熱性がよいため、はんだが溶融するだけの温度まで上がりにくいので、別に加熱する工夫をする。
- ・はんだ付けする部分に少し多めのはんだを置く。
- ・はんだごてで、そのはんだを溶かし、同時にアルミニウム板の温度も高くなったら、成形したはんだごての先を使って、溶けたはんだが覆っている部分の酸化膜を削り取ると、その面にはんだが溶着する。
- ・同様の作業をはんだ付けする相手にも行い、両者を重ねて再加熱する。亜鉛めっき鋼板や銅線などのように、はんだ付けができるものをアルミニウムにはんだ付けする場合はこれは省略して直接付ければよい。

4.8 はんだ付けの注意

はんだ接合をする場合には、次のようなことに注意する。

- ・コードは通路のじゃまにならないように配置する。天井から吊るすことが望ましい。
- ・工作台を焦がさないために、作業は不要になった板の上で行う。
- ・はんだごては必ず金属製のこて台の上に置く。
- ・溶剤の容器を、コードやはんだごてでひっくり返さないように、作業者の前方に置く。
- ・接合する母材は、両方の接合面を清浄にする(錆、油、ゴミなどの除去) が必要であるが、めっきされた亜鉛をサンドペーパーなどで削り取ってはならない。

4.9 硬ろう

硬ろうを用いる接合は、次のような場合に行われている。

- ・軟ろうでは接合できない金属
 - ・軟ろうよりも強度が必要な場合
 - ・母材を溶融してはならないものの場合
 - ・軟ろうの融点よりも高い温度で使用したい場合
- これらの使用例としては、
- ・コンクリートドリルの先端の超硬チップと本体の接合
 - ・眼鏡や貴金属の装飾品
 - ・旋盤やフライス盤などの工作機械に用いる工具(刃物)の先端チップ

4.10 硬ろうの種類

硬ろうの例としては次のようなものがある。

- ・銀ろう …… Ag, Cu, Zn, Cdなどの合金。Cu, Ni, Feなどの合金や、銀細工に使用。
- ・黄銅ろう …… Cu, Znの合金。Cu, Niなどの合金や、鉄鋼に使用。
- ・金ろう …… Au, Ni, Ag, Cuの合金。耐食材料、耐酸化材料や真空機器に使用。
- ・洋白ろう …… Zn, Ni, Cuの合金。Cu合金, Ni合金や、鉄鋼に使用。

4.11 硬ろう用のフラックス

硬ろうで接合する場合も、軟ろうと同様、用途に合わせたフラックス(溶剤)が用いられ、次のようなものがある。

- ・ホウ砂 …… 白色の粉末または粒状で、わずかに水にとける。安価で金属酸化物をよく溶かすので広く用いられる。加熱するとあわ立ち、接合し難くなるので、前もって加熱し、それを粉末にして用いることが多い。それには、焼ホウ砂と煮ホウ砂がある。
- ・ホウ酸 …… 白色片状の結晶で温水に溶けやすく、酸化物の除去作用がある。ホウ砂を加えて使用する場合もある。

4.12 加熱用器具

硬ろうは、一般に1000℃近くに加熱しなければ溶融しないので、ガスバーナーが用いられる。

ガスの種類は問わないが、加熱する面積を小さくするため、炎を小さく絞ることができるものが望ましい。

4.13 硬ろうの接合方法

- (1) 接合部が密着できるように形を整え、接合面を清浄にする。
- (2) 硬ろうが粉末の場合は、フラックスと混ぜて接合部におく。細片の場合は、接合部の上におき、その上にフラックス(溶剤)をつける。ろうが多すぎると接合後に削り取る労力が多くなる。
- (3) 接合部を確実に密着しておく。不安定な場合は、針金などで固定する。板状の硬ろうの場合は、ろうが溶けても接合面が密着するように軽く押しつけることができるようにセットする。
- (4) バーナーの炎を絞り、接合部を加熱する。その場合、硬ろうがしみこむように、硬ろうの温度よりも接合面の温度を上げる。
- (5) 冷却後、接合部を研磨する。

4.14 接合力

はんだによる接合部の引っ張り強さは、接合金属(接合される母材)の種類、接合金属の表面処理法、使用フラックスの適性、接合の間隙、作業時の温度、はんだの量、接合部の形状、はんだの組成により差が生じる。

はんだ付けした部分の接合強さを増すために、重ね代を多くすることもあるが、接合母材に対して垂直方向の力が大きくかかる場合は、重ね代を大きくしすぎても一端が剥がれ始めるとその効果はなく、重ね代の大きさと接合強度は比例しない。

また、接合される母材と母材との接合間隙が小さいと、溶融したはんだが浸入しやすいので引っ張り強さは大きくなる。そのためには、接合面を清浄にして、十分密着させることが肝要である。

5. 結果(考察)のまとめ方

接合方法(接合部の形状、接合面積、溶剤の種類、接合される材料など)を変えた試料をつくり、別項に示す引っ張り試験をする。

その結果から、材料に応じた接合方法および適切な接合条件を理解する。

ただし、その場合、単なる比較に終わらず、接合強度の小さかったものの原因を究明し、適切な接合技術を習得することが重要である。

6. 参考事項(実験・実習のポイント、注意事項など)

簡単な接合実習や、各種実験用試料の作製のみの接合体験で、接合技術を十分習得することはできない。

複数の部品からなる金属製品を構想したとおりに作るためには、多種多様な形状の部品を組み立てながら接合できる能力が必要である。また、教員になった場合、生徒の様々な失敗に対応できる技術も習得しておかなければならない。そのためには、箱物などの設計製作をとおした理論と技能の修得が望ましい。

(執筆者名) 間田 泰弘, 上田 邦夫

Ⅵ. その他

第 四 卷

1. 目的と概要

(目的) 鋼の溶接についての基礎知識を学習するとともに、実際に溶接を行い、その方法を習得する。また、溶接方法の良否が溶接物の曲げ強さなどの機械的性質に大きく影響することおよび鋼の溶接組織を実験を行うことによって理解する。

(概要) 溶接は金属を接合させるための重要な金属加工方法の一つである。ここでは、溶接材料として鋼を使用し、鋼材の切り出し、開先の加工および溶接を行うことにより、溶接方法の概要を体得する。また、溶接した鋼材の曲げ試験を行い、曲げ試験方法を学習する。さらに、溶接した鋼の組織観察を行う。

2. 必要な装置、工具、測定器具および材料

(装置) 万能圧縮引張り試験機、溶接機、形削盤、酸素・アセチレンガス溶断装置(溶断用トーチ、ガス用ホース)、酸素ガス、アセチレンガス、両頭研削盤(グラインダー)、弓のこ盤、バフ研磨装置、ドライヤー、光学顕微鏡(写真撮影装置付)

(工具) ワイヤブラシ、鉄工やすり、溶接用めがね、手袋

(測定器具) ノギス、鋼尺

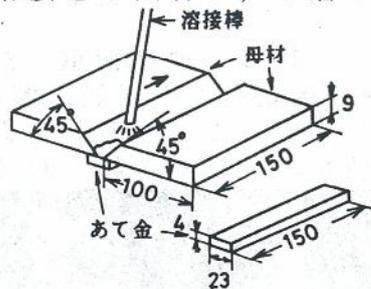
(材料) 一般構造用圧延鋼材(SS330, 厚さ9mm, 4mm), 溶接棒, フィルム, 印画紙

3. 所要授業時間 (講義: 60 min., 実験・実習: 270 min.)

4. 実験の方法

4.1 (鋼材の切り出しと加工) SS330鋼板(厚さ9mm)から $9 \times 150 \times 100$ mmの鋼板2枚を酸素・アセチレンガス溶断装置を用いて溶断する。また、SS330鋼板(厚さ4mm)から、溶接部のあて金用に $4 \times 23 \times 150$ mmの鋼板を切り出す。溶断により切り出した $9 \times 150 \times 100$ mmおよび $4 \times 23 \times 150$ mmの鋼板は、溶断した部分を両頭研削盤(グラインダー)で研削する。また、溶接部の開先を加工するため、2枚の板に形削り盤を使用して、 45° の面取り加工を行い、V字開先を設ける。

4.2 (鋼の溶接) 2枚の鋼板の下に図1(a)のようにあて金を敷き、図1(b)のように溶接を行う。肉盛溶接を3回を行い、3層の溶接層を付与する。



(a) 溶接方法と試料の寸法



(b) 溶接作業

図1 鋼の溶接方法、試料の寸法および溶接作業

4.3 (鋼の曲げ試験) 図2(a)のように、あて金部を上側(溶接した面を下側)にして、万能圧縮試験機に設置して3点曲げ試験を行う。曲げを行った後の試験片の状態を図2(b)に示す(矢印A: 3点曲げ試験機, 矢印B: 溶接した鋼材)。

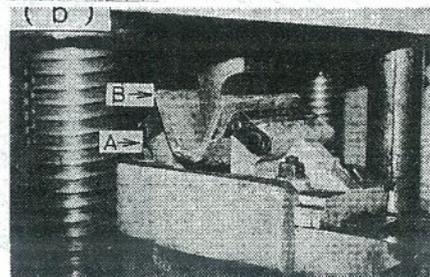
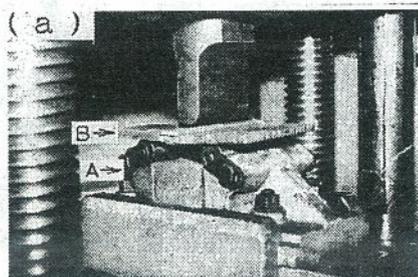
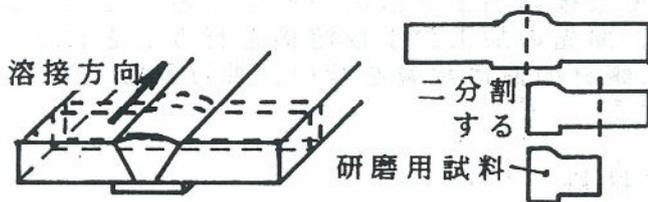


図2 溶接試料の曲げ試験 ((a)曲げ試験前, (b)曲げ試験後)

4.4 (組織観察) 別途に溶接した試料を、図3に示すように溶接方向に直角に弓鋸盤を用いて切り出す。高速切断カッターを使用する場合は、高熱で鋼の組織が変化しないように、鋼を十分に水冷しながら切断する。切り出した試料をエメリー紙の目の粗い(粒度番号100番)ものから細かいもの(3000番)へと、研磨する。バフ仕上げ研磨をして、研磨キズを無くし、鏡面光沢とする。3%硝酸-アルコール溶液で、約3~10秒間(室温で)腐食する。金属光学顕微鏡により組織を観察し、写真撮影する。



・エメリー紙による研磨(粒度100番から3000番まで研磨)を行う。キズがなくなるまでバフ研磨し、研磨面を鏡面状態とする。3%硝酸アルコール溶液にて3~10秒間腐食する。

図3 組織観察試料の準備方法

5. 結果のまとめ方

5.1 (溶接部の検査) 溶接後の試験片を観察して、溶接欠陥の有無を調査する。たとえば、溶接金属の余盛り不良、または余盛り過大、ビードの不整、ブローホール(気泡)、溶け込み不良、割れなどの欠陥が生じていないか検査する。

5.2 (鋼の曲げ試験) 曲げ試験後の試験片の破断面の観察を行う。破断面を撮影して写真を図4に示す。これから溶接部分に沿って大きなき裂が生じていることがわかる。溶接の程度が良好であれば、き裂の発生は遅れる。また、曲げ試験により得られた荷重-たわみ曲線を図5に示す。曲げ試験の進行とともに、曲げ荷重は増加し、き裂が発生しだすと荷重は急に低下している。

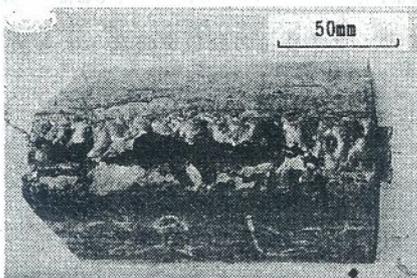


図4 曲げ試験後の破断面

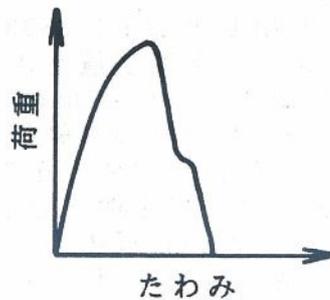


図5 曲げ荷重-たわみ曲線

5.3 (溶接試料の組織) 図6に溶接後の鋼の溶接金属および熱影響部の写真を示した。溶接時の熱に影響され、組織が大きく変化していることを理解する。各組織は①溶接金属、②粗粒部、③混粒部、④細粒部、⑤粒状パーライト部、⑥母材、に分類される。

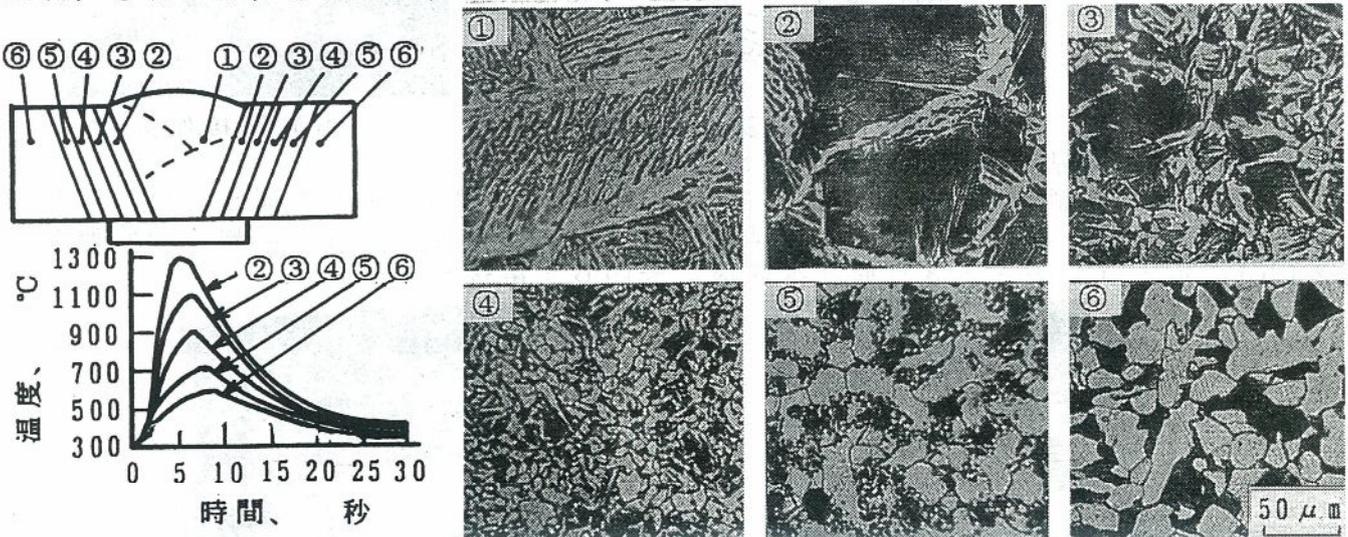


図6 溶接金属および鋼の熱影響部の組織と溶接時の熱履歴

(執筆者名) 澤本章

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

スターリングエンジンの製作実習を通して、金属加工において使われる材料の性質、成形のための工作機械の操作法などを習得することによって、金属加工の楽しさを知る。そのための具体例として、ビー玉スターリングエンジンの製作実習を行う。本製作を通して、この機関は温度差から圧力変化を作り出し、それにもとづいて動く仕組みの機関であることを実証できることを知ることができる。物作りの基本である、“作る、造る、創る”喜びを与える教材として、教育現場だけでなく、教員養成のための統合教材としても有効であると考えられる。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

工作と測定：旋盤、フライス盤、ボール盤、ノギス、のこ盤、スケール

材 料：アルミ板（ $t=10$ ）、注射器（3cc）、ビニールチューブ、ゴム製の栓、
径12のビー玉（5個）、外径18mmの試験管、M3小ネジ

3. 所要授業時間（講義：90min.、実験・実習：1000min.）

4. 実験（実習）の方法

次の事項について考えながら、製作・組立を行う。

- (1) なぜ、スターリングエンジンは動くのか。
- (2) スターリングエンジンを動く機関とするためには、どのような機構を利用すればよいか。
- (3) 製作のための加工手順は、どのようにし、どのような材料を用いるか。
- (4) 設計図通りの加工精度および形状・寸法で、エンジンができているか。
- (5) スターリングエンジンを組み立てるとき、どのような事項がポイントとなるか。
- (6) ビー玉スターリングエンジンを組み立て、加熱（アルコールランプなどで）したとき、どのような条件のときに、それが動いたり、動かなかったりするかを実験してみる。

5. 結果（考察）のまとめ方

次の項目について考察し、まとめる。

- (1) 熱が仕事をする機関として、スターリングエンジンはどのような原理で動くのか。
- (2) 試験管の中に入れるビー玉の数を変えたら、エンジンはどのような動き方をするか。
- (3) 部品の加工手順、精度は、どのような点を注意しなければならないか。
- (4) 温度差から圧力変化を作り出し、それを出力として取り出す方法は他にないか。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

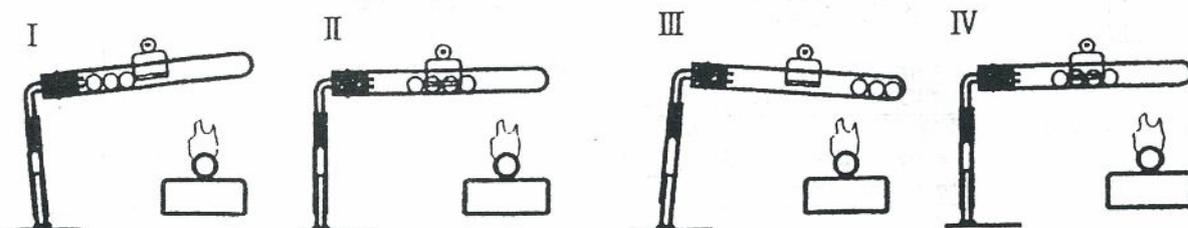


図1 ビー玉スターリングエンジンの動作原理

- (1) 図1のIでは、内部の空気は高温部にあり、定積変化をして高温・高圧となる。
- (2)次に、空気は等温膨張を始めて、体積を増加させる。このため、試験管は先の方が下がり、ビー玉が移動を始め、空気は低温部へ移動を始める(図1のII)。
- (3)すると、空気は低温部に移動するので、定積変化をして低温・低圧となる(図1のIII)。
- (4)低温・低圧となった空気は等温圧縮を始めて、体積を減少させ、今度は試験管の先が上がり始める。この結果、ビー玉が注射器の方へ移動して、空気は高温部へ移動し(図1のIV)、再び最初の状態へと戻る(図1のI)。

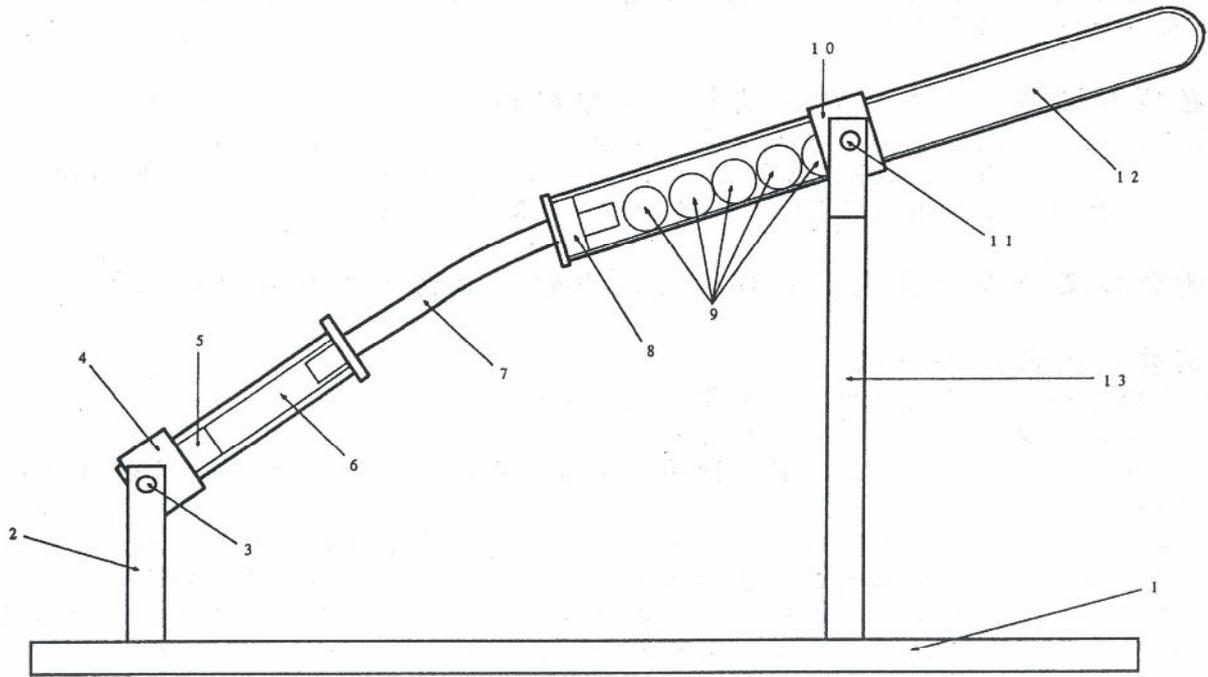


図2 ビー玉スターリングエンジンの組立図

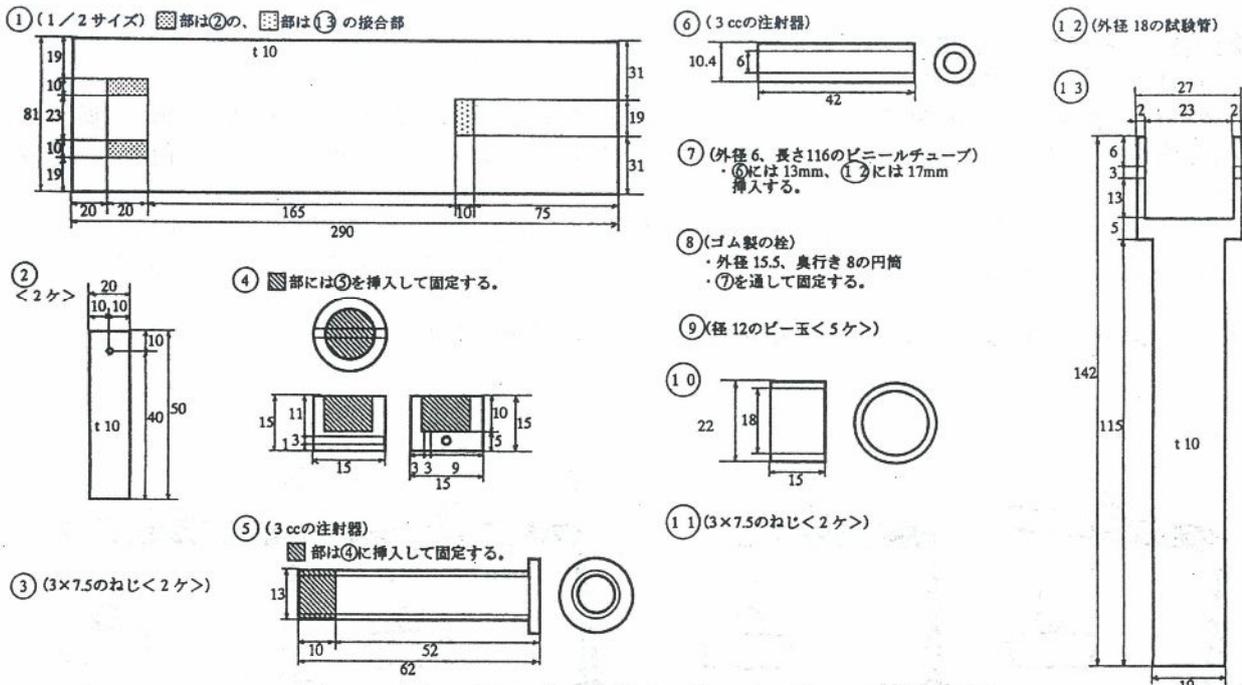


図3 ビー玉スターリングエンジンの部品図

[参考文献]

一色 尚次：スターリングエンジンの開発，工業調査会

(執筆者名) 松尾 政 弘

1. 本テーマの目的と概要

新しい学習指導要領の改訂によって、中学校の技術・家庭科教育の中で材料加工に関する教育のために使われる時間数が減少し、ますます短い授業時間で、それぞれの分野の授業を計画しなければならない。その短い時間の中で、より効率の良い授業を展開する必要に迫られ、それを助ける教材の開発が望まれている。本製作では、材料のもつ硬さの概念とその計量方法を理解するとともに、頭の中のアイデアを実現するための加工方法および加工手順も考慮した設計手法を学習する。さらに、設計図にしたがって加工手順を決定し組み立てる、一連の講義・実習を展開する。

硬さの定義は、「物体への作用力に対する抗力の大きさ」である。また、物理的には、圧子により物体が塑性変形を開始する状態を反映しており、材料の降伏現象と1対1の関係にある。しかし、硬さは、長さや重さのような明確な単位体系が確立されておらず、測定方法によって値や単位の決定が異なるため、一見簡単に見えてなかなか理解しがたい。この硬さを測定する場合、工学的には様々な硬さ試験機が市販されている。これらには、ブリネル、ロックウェル、ビッカース、ショアなどがあり、それぞれの試験機によって硬さの測定方法が異なる。この中で、硬さの概念が比較的中学生にも理解しやすい試験法は、測定対象物に先端に球状のダイヤモンドのついたハンマを落下させ、そのはね返り高さで硬さを測定するショア硬さ、および圧子（鋼球あるいは円錐形ダイヤモンド）による押し込み深さを測定することによって求めるロックウェル硬さである。このロックウェル硬さ試験法は、異種材料間に対してショア硬さ試験法よりも信頼性が高く、硬いものほど押し込み深さが少ないという人間の感覚ともよく合い、硬さの概念が受け入れられやすい。以上の理由から、硬さ測定教材としてロックウェル硬さ試験法による硬さ測定を取り上げ、その簡易硬さ測定器を設計・製作する。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

- (1) けがき：トースカン、けがき針、内パス、青竹
- (2) 測定器具：ノギス（150mm）、マイクロメータ（25mm）、鋼尺（300mm）
- (3) 工作機械：旋盤
- (4) 材料：（本体）アルミニウム合金： $\phi 60 \times 115$
（圧子）炭素鋼 S 4 5 C： $\phi 10 \times 130$
（受け皿）黄銅： $t 2$ およびアクリル： $t 3$ ； 80×80
- (5) ダイヤルゲージ：（測定範囲；10mm）

3. 所要授業時間（講義：30 min., 設計：60 min., 実験・実習：60 min. × 3）

4. 設計および実習の方法

4.1 設計

限られた時間内で、単なる装置の改良を主体とした従来からの設計思想から離れ、全く新しい装置の設計をすることを試みる。その前提として、学生たちに与える予備情報は、図1および表1に示すような測定器の原理図、使用可能な工具類；ジグ・ボ

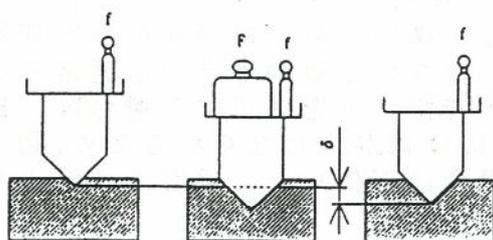


図1 硬さ測定器の原理図

表1 使用可能な工具類の例

- ・アクリル板、アルミ丸棒
- ・黄銅板、ボルト・ナット類
- ・手仕上げ工具類
- ・旋盤、ボール盤

ルト・ナット類である。このように与えられた条件内で、60minの間に組み立て図を完成させ、その製作の可能性を教師がチェックする。さらに、宿題として部品図の完成を課す。この場合に、設計から製作までのプロセスを経験させることによって、設計教材として適するテーマと、製作教材として適するテーマとが必ずしも一致しないことが多い。図2は製作教材として適する一例を挙げたが、各大学で備えている設備、保有する材料・工具、許される時間などによって、製作可能なものは限定されるので、設計段階で教官が製作可能な範囲に入るよう学生を誘導するか、この範囲に入らなかった場合には、設計と製作を切り離すことが必要となる。

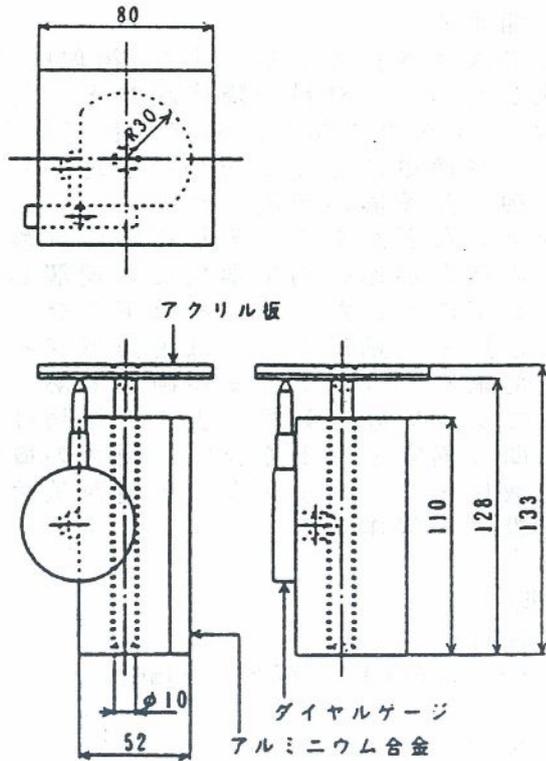


図2 硬さ測定器の組立図の一例

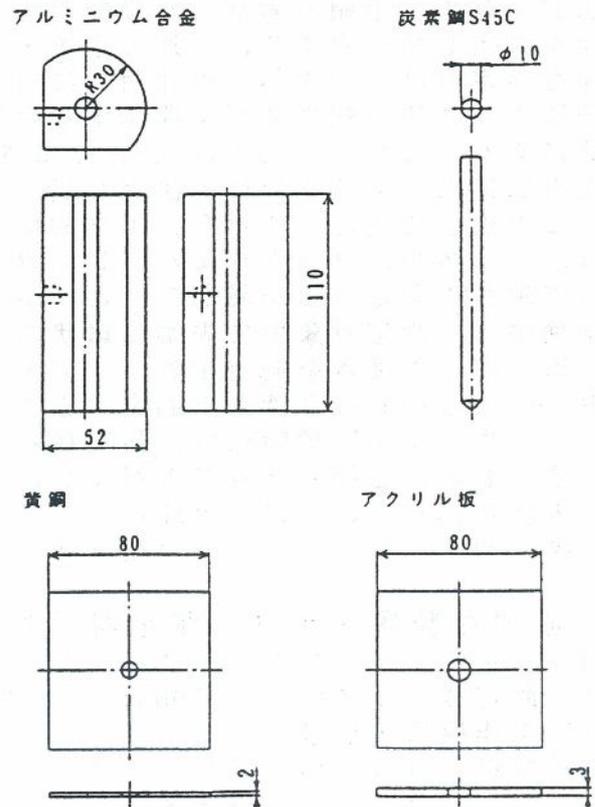


図3 硬さ測定器(図2)の部品図

4.2 実習(製作)

以下では、図2に示す装置を例にとり、その製作工程を示す。

(1) 与えられた組立図および部品図より、製作手順を決める。この時、部品図の基準面を設定し、加工中はそこからの寸法計測を心がけるとともに、設計図上の基準面の持つ意味を理解させる。また、個々の部品の精度と組み立てられた時の総合精度を考慮し、総合精度は保ちながら高精度を要しない部品の精度は手を抜くと言う製作効率の手法も身につけさせる。

(2) 旋削作業

本体端面部の仕上げ加工：両端面から行う。

本体の穴加工：最初は必ずセンタードリルを使用し、次に軸穴加工を行う。この場合、ドリルの長さよりあけたい穴の深さの方が深いため、両端面から穴加工を行う(もちろん深穴用ドリルを使う手もあるが、少ない予算の大学では通常のドリルの方が安いからである)。そこで、短いドリルで深い穴を加工する場合は、旋盤のチャックから被加工物をいったん外すと完全には軸が合わなくなるため、図4に示すように、精度が要求されない方の穴(この場合は下側)を、規定の寸法よりもわずかに大きくする。

圧子の製作と受け皿取り付け部：端面仕上げ、センタードリル加工+タップ下穴加工+旋盤の心押し台のセンターを利用したタップ立て作業。

先端部：刃物移動台を回転させて先端加工。時間に余裕があれば、この後先端部

のみ焼き入れを行う。

(3) 弓鋸による加工作業

受け皿の製作：黄銅およびアクリル板の切断。仕上げは、金工やすり。アクリル板は、黄銅の受け皿の止めねじによる盛り上がり隠すためと強度補強のため、厚い黄銅板を用いれば座ぐりが可能であるが高くつく。

(4) 金工やすりによる作業

本体ダイヤルゲージ止め部の加工：最初は目の粗いやすりとワイヤーブラシによる粗加工。最後に、仕上げ加工。その他、各部品全体のバリ取り、切断後の仕上げ加工。

(5) ボール盤による穴加工

ダイヤルゲージ固定用ねじ穴加工：全体を加工した後、仮組立を行い、最終的なダイヤルゲージ位置を決定し、下穴とタップ立てを行う。

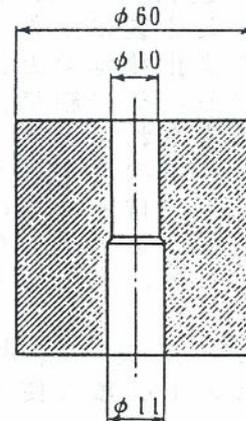


図4 深穴加工の一例

5. 結果（考察）のまとめ方

設計と製作中心のテーマであるので、設計中および実習中に気づいた主なテクニックを取り上げ、小さな加工技術の適用が完成品の総合精度にどのように影響しているかを確認することが大切である。まとめに当たっては、このような点を考慮しつつ、各工程をとおしての自己による評価・判定および反省を加え、設計に対する基本的考え方の変化を確認する。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

実習のポイント：

- ・ねじの頭の盛り上がり部分を製作品上でどのように隠すか。
- ・基準面の設定方法。
- ・タップを垂直に立てるための工夫と番手の問題。
- ・加工手順と作業手順の設定。
- ・センタードリルの使用と通常のドリルの曲がり、およびチゼル部の加工能力。
- ・総合精度の高め方。

[参考文献]

八高・荒川・永田：材料加工分野の教材としての硬さ測定具の開発，日本産業技術教育学会誌，37，1，pp. 65-69(1995)

（執筆者名）八高隆雄

1. 本テーマ（題材）の目的と概要

自動販売機の普及や製缶技術の向上，一回に飲む飲料類を特別な容器なしで味わえる手軽さ，使い捨て文化蔓延などによって，飲料類は缶の状態の販売されるケースがますます多くなっている。その結果，大量の金属不燃ゴミの発生を見，一部はリサイクルとして有効利用が模索されている。

本テーマは，空き缶のリサイクルという環境教育上の問題，および金属円筒物という半完成品の金属加工教材としての利用の二つの面から，技術・家庭科の金属加工の教材として，この半完成品を利用した設計，加工問題を扱う。本テーマでは，空き缶とその他の材料も利用するが，全体としては空き缶の割合が主となるような教材を考える。

2. 必要な装置・工具・測定器具および材料

手仕上げの範囲の工具類の使用を認める。全体に共通するものは，以下のようであった。

- (1) けがき：トースカン，けがき針，内パス，青竹
- (2) 測定器具：ノギス（150mm），鋼尺（300mm）
- (3) 工作機械：ボール盤

3. 所要授業時間（講義：30 min.，設計：30 min.，実験・実習：60 min. × 3）

4. 設計および実習の方法

4.1 設計

空き缶をできるだけ有効に利用した生活用品の設計を試みる。従来から，空き缶を利用した灰皿，ペンキ缶，園芸シャベルなどは提案されているので，できるだけこの範囲から離れ，全く新しいものの設計を促す。設計はポンチ画の段階のアイデアを一人3品を宿題として課し，その中からできるだけ独創的なものを製作させる。ただし，個人差があり，従来の設計段階から脱却できなかった学生に対しては，従来提案されている範囲のものでも製作を許す。

4.2 作品例とその製作過程

以下に，6名の学生が設計した作品例とその製作過程を示す。

○ 作品1 ペン立て

設計：設計図を図1(a)に示す。

組立：組立図を図1(b)に示す。

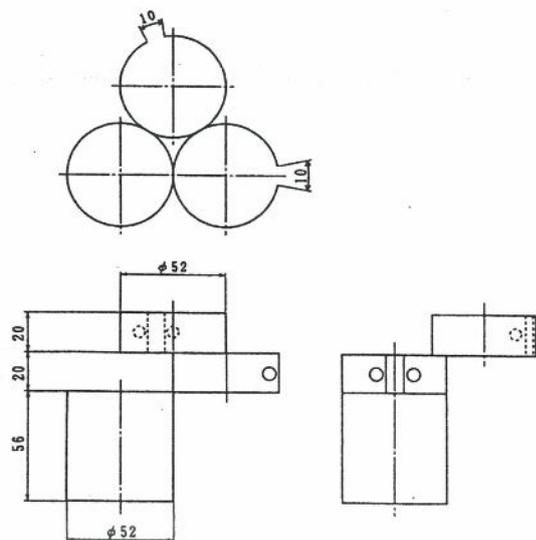


図1(a) ペン立ての設計図

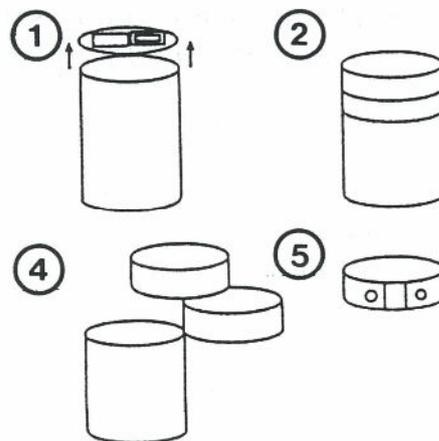


図1(b) ペン立ての組立図

製作：

- (1) 全ての缶の上部を切り取る。
- (2) 小缶のうち1本に、設計図の寸法でけがきをする。
- (3) けがき線に沿って切断する。
- (4) 縦に3分割したうちの中央部を逆側に丸める。
- (5) 上部2段の開口部を鉄板とリベットでつなぐ。
- (6) 缶の上部切断面を折り返し、危険がないようにする。
- (7) 塗装する。
- (8) 塗装が完全に乾いたら、小缶の輪に他の2本を入れる。

使用工具類：金切りばさみ（柳刃，直刃），弓のこ，ボール盤，トースカン，差し金，自在定規，ペンチ，ポンチ

材料：スチール缶（小2本，大1本），リベット，ポンチ

○ 作品2 ペン立て

設計：設計図を図2に示す。

使用工具類：缶切り，トースカン，センターポンチ，ハンマ，卓上ボール盤，万力，弓のこ，小型のこぎり（マイクロソー），ハトメ，ハトメパンチ，やすり

材料：空き缶（190タイプ）

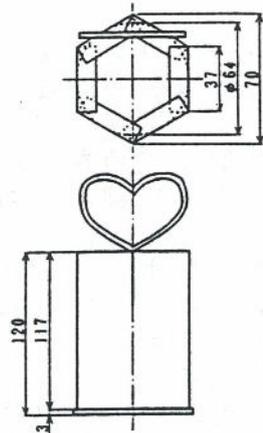


図2 ペン立ての設計図

○ 作品3 植木鉢

設計：加工手順および組立図を図3に示す。

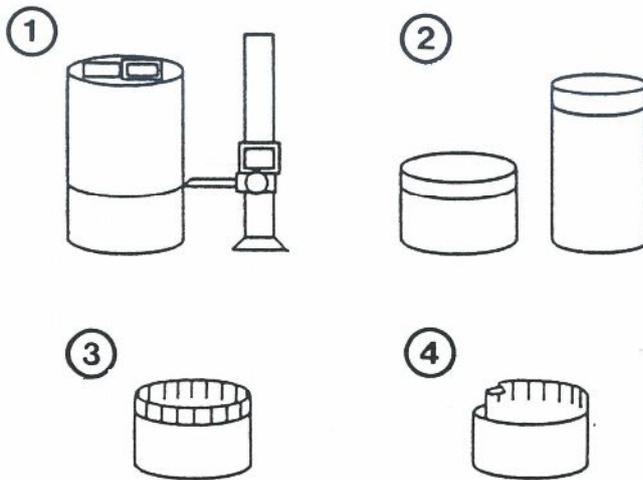


図3(a) 植木鉢の加工手順

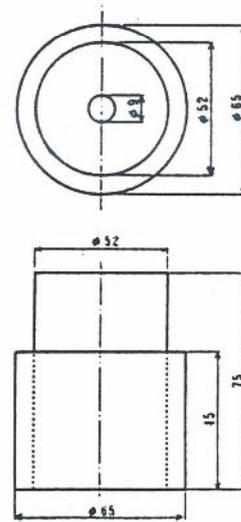


図3(b) 植木鉢の組立図

製作：

- (1) 直径の大きさの異なる2種類の空き缶を用意し、図3(a)①のように折り返しのためのけがきを行う。
- (2) けがいた線の約10mm上を金切りばさみで、図3(a)②のように切り落とす。この時、直径が大きく、高さの低いものが受け皿となり、直径が小さく丈の長いものが鉢となる。
- (3) だいたい5mm幅で、けがき線まで切り込みを入れていく。
- (4) 切り込みを入れた部分を、けがき線を基準にして内側に折り返す。
- (5) 受け皿となる方の缶の底にボール盤で穴をあけ、やすりで穴を大きくする。

(6) スプレー式のペンキで色を塗る。できるだけ薄く色を付け、それを約30分毎に3回繰り返す。

使用工具類：ボール盤、ペンキ（スプレー式）、ラジオペンチ、金切りばさみ、やすり、トースカン

材料：空き缶（スチール缶）

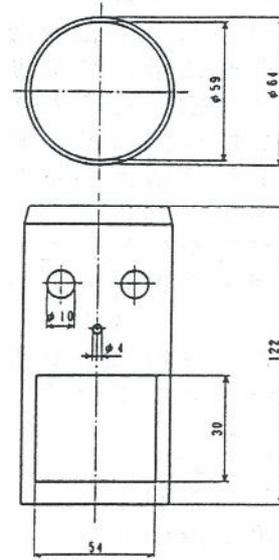


図4 ろうそく立ての設計図

○ 作品4 ろうそく立て

設計：設計図を図4に示す。

製作：

- (1) トースカンを使い缶にけがきをする。
- (2) けがきをした後、弓のこを使い切っていく。不用な部分を金切りばさみで切り取ってゆき、縦方向はそのまま折り横方向は細かく切って折り曲げていく。
- (3) そこにポンチを打ち、ボール盤で穴をあける。また、同様に側面にも行う。側面、底面ともにやすりを使い穴の形を整える。
- (4) 缶切りで天井部分を切り取り、底面の穴にねじや釘を差し込みアラルダイトで接着する。

使用工具類：弓のこ、トースカン、ポンチ、ハンマ、めっき鋼、やすり、金切りばさみ、ペンチ、ボール盤、缶切り

材料：スチール缶、アラルダイト、ねじ、くぎ、スプレー

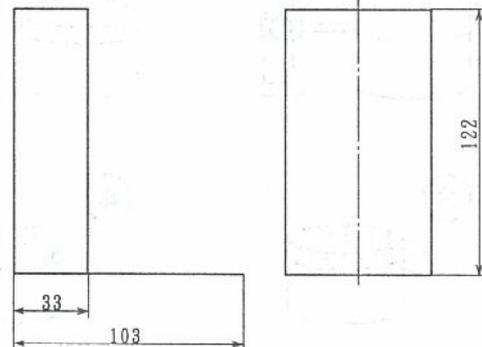
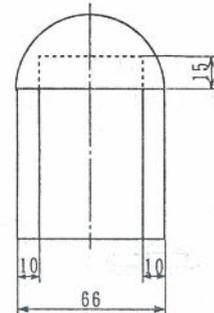


図5 ブックエンドの設計図

○ 作品5 ブックエンド

設計：設計図を図5に示す。

製作：

- (1) 目的にあった作品を考え、その大まかな完成予想図を画く。
- (2) 予想図をもとに方眼紙に正確に製図をする。
- (3) 製図を見て、材料に正しくトースカンを使ってけがきをする。
- (4) 材料に切り返しの部分も考慮に入れながらけがき線に沿って切る。
- (5) 材料を切った後、リベットを使って接合し、スプレーで色を塗る。

使用工具類：金切りばさみ、たがね、やすり、トースカン、ペンチ、弓のこ、ハンマ、ポンチ

材料：空き缶、針金、アラルダイト（接着剤）、リベット、ペンキ（スプレー）

○ 作品6 マグカップ

設計：設計図を図6に示す。

使用工具類：金切りばさみ、糸のこ、やすり、ボール盤、スプレー

材料：スチール缶

○ 作品 7 水さし

設計：設計図を図 7 に示す。

製作：

- (1) 上下のふた部分から数 cm 位のところを切る。
- (2) やすりをかける。
- (3) 万力に鉄板を挟み、その角を利用して折り目をつける。

使用工具類：金切りばさみ，万力，ラジオペンチ，カラスプレー，ハンマ，トースカン，やすり，鉄板

材料：空き缶

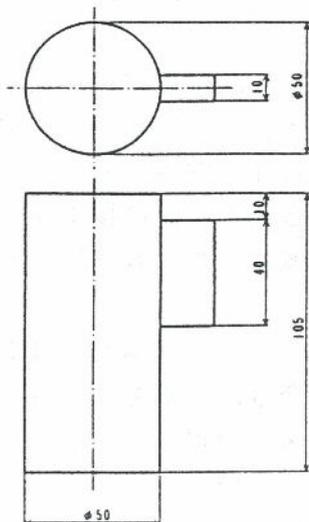


図 6 マグカップの設計図

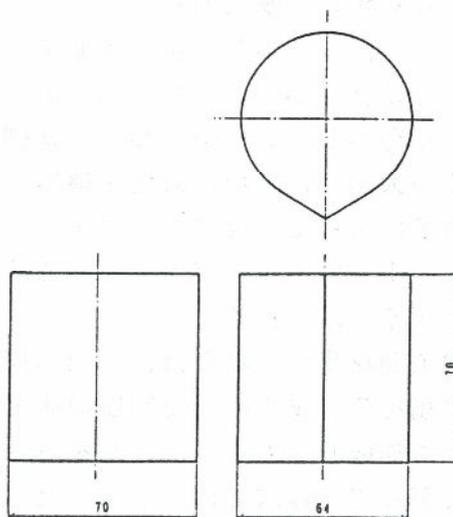


図 7 水さしの設計図

5. 結果（考察）のまとめ方

結果は、設計時のアイデアとそれを設計図にまとめ上げるプロセスを記入させる。また、設計品を加工中に変更した場合には、その理由を記入させる。最終的に設計図と完成品との差から、設計段階における加工情報の大切さを理解させる。

6. 参考事項（実験・実習のポイント、注意事項など）

思いつく多くのアイデアを出し、与えられた条件下でそれに変更を加え、いくつかのアイデアが完成品へと結び付くかがポイント。さらに、一度設計したものは、完成品まで持っていく努力が大切である。

上記テーマについて、平成 8 年度の横浜国立大学教育学部技術科の 2 年生に実践した。上記作品は作品 1 が松本学君，作品 2 が浅川直孝君，作品 3 が金子純一君，作品 4 が菊地宏紀君，作品 5 が小倉修君，作品 6 が景山剛士君，作品 7 が上田剛史君によるものである。

（執筆者名）八 高 隆 雄，（図面作製協力）武 田 弦，伊 藤 尚 功



編 集 後 記

本冊子は、金属加工実験・実習のより一層の活性化を目的として企画したものであり、平成6年4月に発刊した「金属加工題材集」の姉妹編となるものである。したがって、「金属加工題材集」で既に取り上げられた題材の実験・実習テーマは、本冊子には執筆を遠慮してもらった。そのためか、本冊子への提出原稿数は当初に予想していたよりも少なく、カバーし切れなかった実験・実習領域もある。また、それぞれの教官が各大学等で実施している特色のあるテーマも多く、基礎的な内容をすべて包含してはいない。中には必ずしも多くの大学等にはない設備・機器を使用しなければならない内容のものもある。しかし、本冊子によって、全国の大学・工業高等専門学校等の金属加工（機械工作）担当の教官が、どのような実験・実習テーマで取り組んでいるかが概観でき、参考になる内容のものも多くあると思われる。

「金属加工題材集」の場合は、一部の原稿の手直しをしたものの、基本的には提出してもらった原稿をそのままの形で印刷原版とした。本冊子の場合は、原稿をパソコンあるいはワープロで作成してもらい、それを収めたフロッピーディスクで提出してもらった形を取った。したがって、様式等は一応整った形で印刷にまわすことができた。しかし、慣れない者が編集・校正等の作業をしたので、印刷段階までに到るには相当に手間暇がかかることになった。使用されている用語等については、一応、JIS用語に沿うことを原則としたが、必ずしも統一が取れていない。さらに、修正し残している文字等もあると思われるが、読者の方々のご寛恕をいただきたい。

原稿を寄せていただいた先生方に感謝するとともに、本冊子が多くの金属加工（機械工作）担当の先生方に利用され、少しでも現状の実験・実習内容のレベルアップに寄与できるならば、私たち企画・編集に関わった者の望外の喜びである。そのことを期待して、編集後記とします。

尚、本冊子は編集世話人の主として個人的な事情により、原稿を提出してもらってから2年間近くもかかってしまったことをお詫びします。

平成10年4月

日本産業技術教育学会・金属加工分科会
「金属加工実験・実習指導書」編集委員

平瀬 志朗(群馬大学)

牧野 亮哉(福井大学・編集世話人)

間田 泰弘(広島大学・編集代表)

八高 隆雄(横浜国立大学)

山名 忠(岐阜大学)

(アイウエ順)

