

鑄造教材としての青銅合金作りと簡単な材料試験

Preparation of Bronze Alloy as Teaching Materials of Casting and Simplified Material Test

荒木 一郎*・宇佐美宏明**

Ichiro ARAKI and Hiroaki USAMI

Abstract

Smelting bronze alloy by portable charcoal stove was performed in elective subject (industrial arts) at lower secondary school. Mechanical strength of pure metals (tin and copper) and alloy (bronze) were compared in a simple way. Many students realized alloy is stronger than any elemental pure metal. Supplemental testing tool was developed to easily feel actually.

Key words: bronze, portable charcoal stove, mechanical strength, testing tool, elective subject

1. はじめに

近年教育現場では、純金属や合金材料を用いた鑄物作りが取り入れられるようになった。金属素材としては低融点合金やアルミニウム、青銅などを利用し、生徒は身近にある金属を溶解するおもしろさや造形の楽しさを実感できるようになった。

さて、今までの報告によれば鑄物作りを取り入れる学習では、アルミニウムを用いた授業では環境教育⁽¹⁾と、青銅を用いた授業では歴史教育⁽²⁾と結びつけた教材として多く実践されてきた。しかし、鑄物作りにおいて扱った金属・合金材料の特性にまで踏み込んだ教材例はあまりみられないようである。一方、生徒の実態としては身近にある金属の種類は知っているものの、その特徴についてはほとんど知らない。そこで、実際の金属・合金を溶解し、加工を体験することは、「金属加工」領域の知識・理解度・知的好奇心を高めるのに効果的と考える。そこで本研究では、授業の中で青銅を溶解して試験片を作製

し、生徒自身が簡単な材料試験を行うことを通じて、金属・合金の強度、曲げ特性や色合いなどが組成によって異なることを体験し、理解できるようにした。青銅を合金作りの対象としたのは、①木炭コンロで溶解できる、②組成によって性質が大きく変化する、③古代から利用されている金属材料である、④古代の金属加工技術を理解できる、などのためである。

また、青銅 (Cu-Sn 合金) の融点はその組成にもよるがおよそ750~1050℃であり、アルミニウム (融点660℃) の溶解などと比べて大きな熱エネルギーを必要とする。今まで中学校で実践された青銅の溶解方法は、木炭コンロの上にレンガの囲いを置き溶解した例⁽³⁾が報告されているが、木炭コンロのみを使用した青銅の溶解の例はない。そこで、木炭コンロを用いた青銅の溶解方法についてまず検討することにした。

2. 木炭コンロによる溶解について

木炭コンロは様々な種類・大きさのものがあるが、本研究では、つばの直径250mmの木炭コンロを使用した。木炭を木炭コンロに入れられるだけ投入し (550g)、送風機 (ドライヤー) を使っているつばを加熱した。本研究で使用した木炭コンロ、つばは蓄

2005年11月30日受理

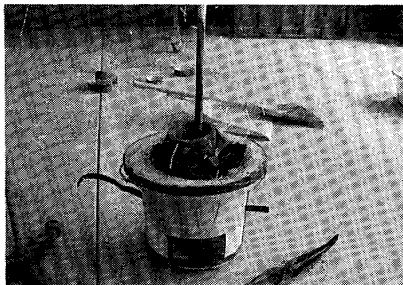
*新潟大学教育人間科学部

**新潟大学教育人間科学部学生

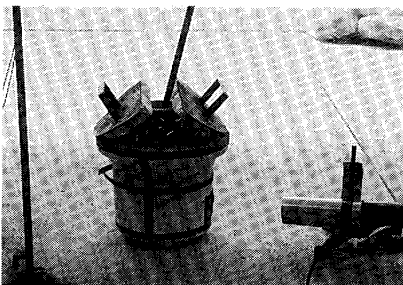
熱の影響を排除するためにいずれの加熱試験においても常温の状態から始めた。るつぼは2.4号（容積360ml）を使用した。この時、るつぼの中は空にしておき、保護管付きの熱電対のみを入れ、るつぼ内の温度測定をした。ふたがある場合とない場合の加熱の様子を図1に示す。ふたはステンレス板とアルミナファイバーを重ねたものとし、加熱効率を高めることを目的に使用した。

また、図2にはふたを使用しない場合、使用した場合の加熱速度を調べた結果を示す。ふたを使用しない場合は着火から53分後に1184℃に到達し、その後は木炭が燃え尽きるため温度が低下する。これに対し、ふたを使用した場合は、14分で1185℃に達し、その後低下した。

これらの結果から、ふたを使用しない場合、熱の逃げが大きいので、るつぼが空の状態でも銅の融点（1080℃）に達するのに約50分かかるとわかった。このことから中学校の授業時間（50分）内で地金を溶解することは不可能と思われる。また、ふたを使用した時のるつぼ内温度は、ふたを使用しない場合に比べて加熱速度が極めて早くなること示された。しかし、上記の結果はるつぼを空にした状態



(a) ふたなしの場合



(b) ふたありの場合

図1 木炭コンロでの加熱試験

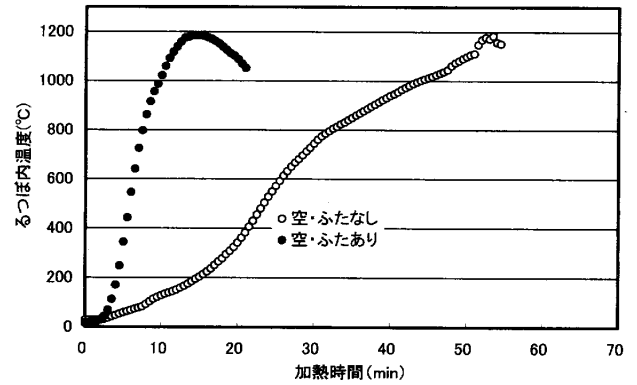


図2 加熱速度に及ぼすふたの効果

の結果である。金属地金が挿入された場合はそれを加熱し、溶解するのに余分なエネルギーが必要となる。つまり、実際に地金を入れた状態でどこまで加熱可能であるかを調べるのが重要である。

そこで木炭コンロに上述したふたを使用し、るつぼ内に100gの銅を入れ溶解を試みた。その結果を図3に示した。これによると、着火してから25分経過時点で、るつぼ内温度が1080℃に到達し、銅の溶解が始まったことがわかる。固体と液体の共存中は相律により温度変化はないため、その後は1080℃付近で一定となる。さらに全ての銅が溶け終わると再び温度上昇が見られ、この試験の場合では32分後に僅かであるが、この現象が起きている。つまり着火から32分間で100gの銅を溶解することができた。また、この時の木炭の残量はわずかであり、銅であれば100gを溶解することが限界であることもわかった。

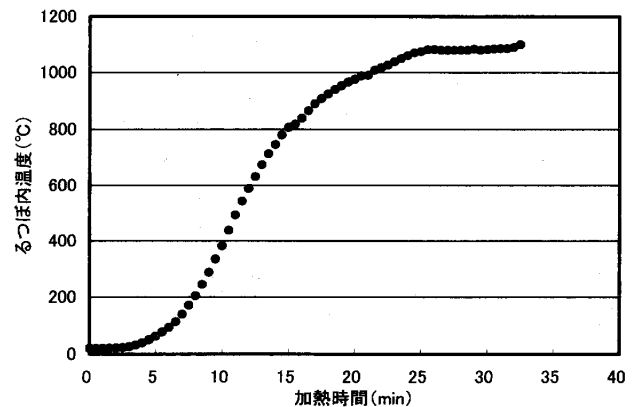


図3 ふたを使用した場合の銅100gの加熱曲線

ところで、銅100gを体積に換算すればわずかに11cm³しかなく、中学校での教材化を考えた時には100gよりも多量に溶解ができることが望ましい。そのためには燃料である木炭量を増やすことが考えられる。しかし、木炭が燃焼する度に新しい木炭を継ぎ足す方法は熱エネルギーのロスが大きく、結果的に時間がかかる。そこで、木炭の継ぎ足しをせず、始めから多量の木炭を木炭コンロに入れることを考えた。具体的には木炭コンロの上部に拡張部分となるアダプター(図4)を製作した。アダプターはステンレスの外筒の内側に耐火モルタルを貼ったものである(外径φ26, 内径φ13, 高さ11mm)。これを使用することで一度に1300gの木炭を木炭コンロに入れることができる。実際にこのアダプターを使用し800gの銅の溶解を試みた。図5にはその時の溶解の様子を示した。図6にはこの時の加熱時間とろつぼ内温度の関係を示す。これによると、着火から20分程度でろつぼ内温度が1080℃に到達し、溶解が始まっていることがわかる。また、この後5分間はろつぼ内温度は1080℃でほぼ一定となり停滞するが、着火から25分後には温度が再び上昇し始める。すなわち、この時、銅800gが完全に溶解したことがわかる。この結果から、木炭コンロにふたとアダプターを用いることで800gまでの銅や青銅を溶解するこ

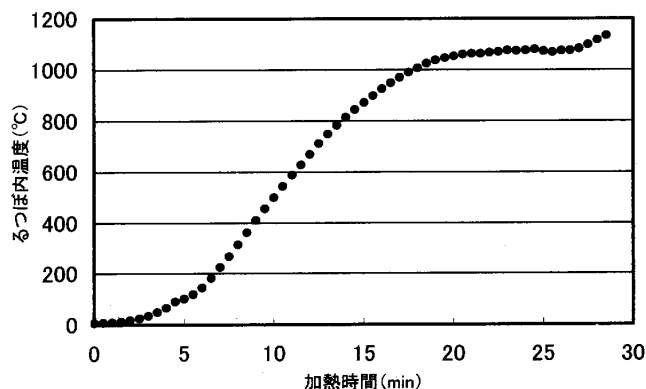


図6 アダプター・ふたを併用した場合の銅800gの加熱曲線

とが可能であり、また、中学校の授業時間(50分間)内でも溶解できることがわかった。

3. 試験片の調整

硬さ・曲げ強度試験をするための試験片を作製した。これはあらかじめ教師側で用意しておくことを想定している。試験片は石こう鑄型によって、銅、錫、青銅(Cu-8%合金)の3種類を作製した。形状はすべて25×10×4(mm)とした。

まず油粘土によって原型作りをし、50×10×4(mm)の直方体を5本平行に並べたものに、湯道、湯口を付ける。そして粘土で型枠を作り(図7)、石こうを流し込む。密閉鑄型にするため、これに対応するふた部分も同様に石こうによって作製した。これら2つの鑄型は強制乾燥などの際に、ひび割れないように針金によって補強を施した。次に上型、下型を合わせた鑄型を針金で縛り隙間のできないように固定し、石こう鑄型は完成する(図7)。そして、この鑄型を300℃で乾燥させ、溶解した銅、錫、青銅をそれぞれの石こう鑄型に鑄込み、石こう鑄型から試験片を取り出す(図8)。取り出した試験片は金鋸によって湯道、湯口の部分を切断する。最後に50×10×4(mm)の試験片を金鋸で半分に切断し25×10×4(mm)の試験片(10本)を作製した。また、鑄込んだままの試験片は表面が酸化し、黒くなっているため、ワイヤーブラシによって表面を磨き試験片を完成した(図8)。

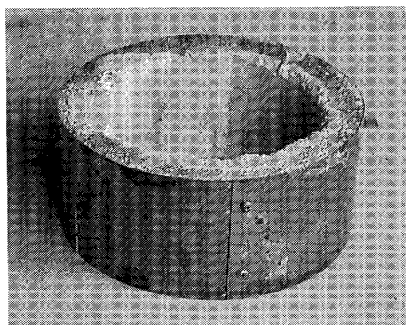


図4 アダプター

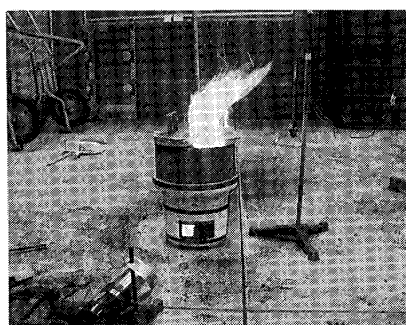
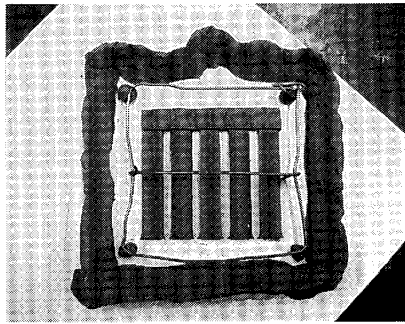
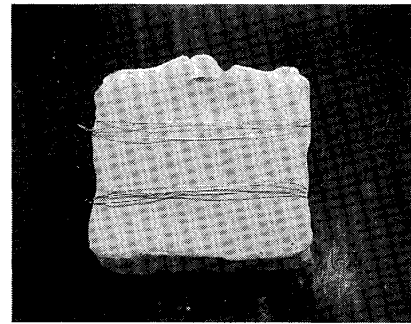


図5 アダプター・ふたを使用した銅800gの溶解

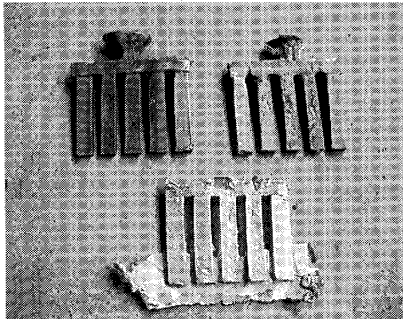


油粘土原型

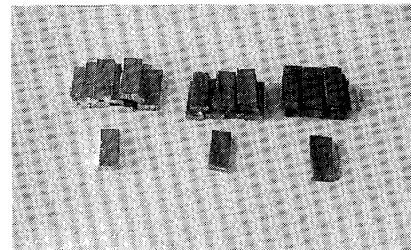


完成した石こう鑄型

図7 試験片作製のための石こう鑄型



鑄型から取り出した試験



完成した試験片

図8 3種類の試験片

4. 硬さ・曲げ強度・光沢試験に関する簡易試験について

機械的性質を知るためには通常は引っ張り試験がなされるが、教育現場には一般には見られないことが多い。そこで、ハンマーなど身近なものを用いて生徒が材料の強さを実感できる試験を行うことにした。また、純金属や合金の強さの違いを生徒各自が比較し体感できるよう試験片は銅、錫、青銅（Cu-Sn8%合金）の3種類を用意した。前述したように試験片（25×10×4mm）はあらかじめ石こう鑄型により作製したものである。

a. 硬さ強度を比較する試験

3種類の試験片にそれぞれハンマーでポンチを打撃することによりくぼみを生じさせる。硬い金属ほどくぼみが小さいことから合金の硬さを実感できる（図9）。工業的な硬さ試験（ブルネル・ピッカース・ロックウェル試験）では静的な荷重をかけ、除荷後にくぼみの大きさから硬さを計算することになっ

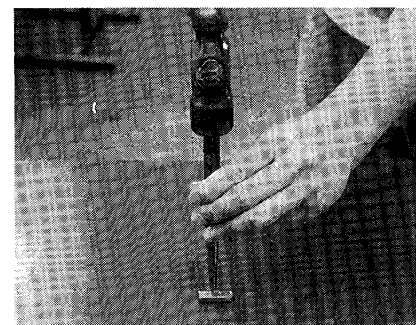


図9 ポンチでくぼみをつける

ている。この試験では、同じくらいの強さでハンマーを使い衝撃的荷重をかけくぼみを作るのであるが、生徒各自が3種類の材料をすべて試験するのでそれらの差はわかりやすいと考えた。

b. 曲げ強度を比較する試験

試験片の3分の1を万力で固定し、残りの3分の2の部分をハンマーでたたく。3種類の試験片を用いて曲げ試験をすることで錫と銅の強度が異なるこ

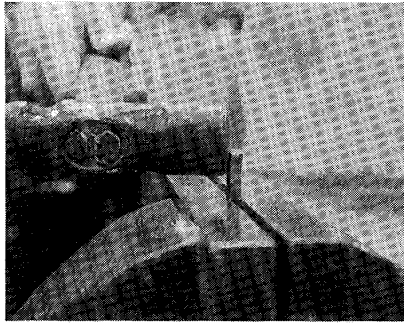


図10 ハンマーで曲げる

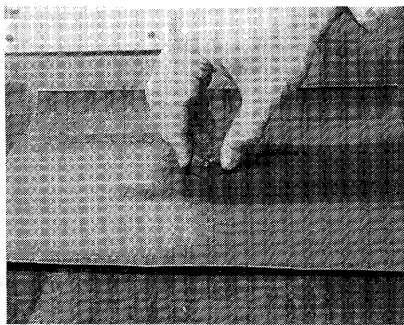


図11 研磨紙で磨く

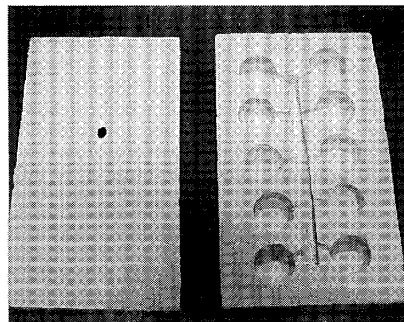


図12 丸型試験片(10個)を作るための石こう鑄型

と、また青銅合金にすることで純金属より強度が高くなることを実感できる(図10)。曲げ試験では材料中の応力が一様でなく、弾性域、塑性域で曲げの変形も含まれる。そこで、曲げモーメントは通常材料定数であるヤング率、耐力、引張強さ、などとの対応関係は一般的には複雑である。しかし、いくつかの仮定をおけば耐力とも対応するので、この曲げ試験での強度比較から、概略ではあるが耐力などの強度を比較できると考える。

ところで、青銅合金試験片の場合、凝固中に成分金属の元素の偏析があるため、凝固のつまみでは粒界割れがおきやすい。そこで成分を均一にするため、

合金試験片についてはあらかじめ焼きなまし(700℃, 2h)の熱処理を施しておいた。

c. 2種類の青銅サンプルの色調に関する実験

Cu-8%Sn合金, Cu-25%Sn合金の青銅サンプル(以後、丸型試験片)を鑄込み、耐水研磨紙を用いて研磨することで色調の違いを実感する(図11)。研磨紙は#120, #600, #1200の3種類を順に使用し、仕上げとして金属研磨材(ピカール)を用いて鏡面になるまで研磨する。この2種類の組成は古代の銅剣、銅鏡に対応している。丸型試験片の形状は直径24mm, 厚み12mmである。原型には粘土を用いた。図12には一度に10個の丸型試験片を作ることができる石こう鑄型を示す。

5. 中学校選択技術での実践

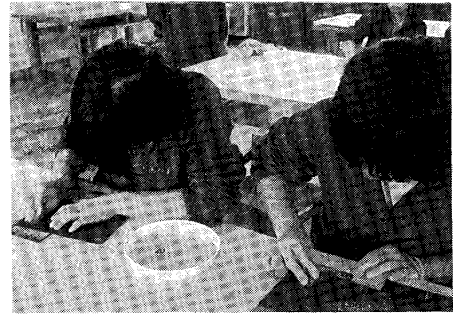
上記した3種類の試験を含む金属を体感する授業を新潟市立赤塚中学校、選択技術の時間で実施した。選択技術を受講する生徒数が10人という少人数だったこともあり、一人一人に金属や合金の違いを体感することをねらいにした。よって、生徒一人ずつに銅、錫、Cu-8%Sn合金の短冊状試験片(25×10×4)および2種類(Cu-8%Sn, Cu-25%Sn合金)の丸型試験片(φ28, 厚さ12mm)を用意し、各試験を体験できるようにした。表1にはその時間表と学習活動について示す。授業中ではいずれの試験も生徒自身が手を使い、ハンマーやポンチを持ち、試験をしたので硬さや曲げ強度などの金属の特徴などが非常に実感できたように見られた。具体的には、「青銅は錫と銅の中間の硬さである」と試験前に予想する生徒がかなり見られたが、試験を行い結果に驚く様子が見られた。また、研磨作業なども非常に熱心に取り組み、丸型試験片が鏡のように輝くと喜ぶ姿も見られ、組成の違いによる光沢の変化がよく実感できたようであった(図13)。

表1 金属を体感する授業

主な学習活動	
1	様々な金属に触れてみる
2	硬さ・曲げ強さ試験をする
3	青銅を鑄込む
4	試験片の研磨①
5	試験片の研磨②



硬さ試験の様子



研磨作業の様子

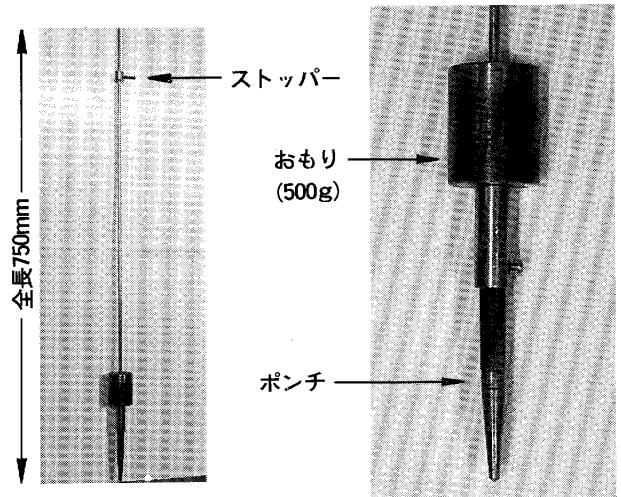
図13 中学校での実践

6. 簡易硬さ試験用教具・簡易曲げ試験用教具

上述したように、中学校で生徒たちはハンマーやポンチを使用することで、金属や合金の硬さなどが実感できた。しかし、硬さ試験中にハンマーを上手く扱えず、ポンチを狙った場所に打てない生徒、ポンチの中心部分を叩けない生徒、曲げ試験の時では試験片を挟んでいる万力などハンマーで叩いてしまう生徒、中には自分の手を叩いてしまう生徒も数人だけ見られた。このような生徒に対してハンマーやポンチをうまく打てるようなテクニックを習得させることは技術科教育のとても大切なことである。しかし、今回は、ハンマーやポンチといった道具の扱いの得意・不得意に関わらず、誰もが簡単に硬さ試験・曲げ試験ができるようにするための補助教具を作製した。

簡易硬さ試験用教具の全体図および先端拡大図を図14に示す。形状は全長が750mm、おもりは500gとし、これは上下に移動可能である。また、ストッパーはネジで取り付け、これも上下移動が可能である。先端のポンチは取り外し可能にしており、ポンチの先端角は60、90、120°の3種類とした。試験方法はまず、試験片を水平の硬い台上に置き、ポンチの先端を垂直に当てる。そしてストッパーに当たるまでおもりを上げ、手を離し、おもりを落下させる。この方法によれば、常に一定のエネルギーで試験片にくぼみを付けることが可能である。実際に、銅、錫、青銅の試験片を用いて硬さ試験を行った。この時、おもりの設定高さは500mmとし、ポンチの先端角は120度のものを使用した。この結果を図15に示す。

これによれば、錫が一番くぼみが大きく、銅、青銅の順に小さくなるのが肉眼でもはっきりと確認



全体図

先端部拡大図

図14 簡易硬さ試験用教具

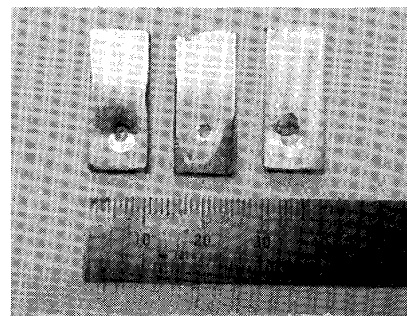


図15 簡易硬さ試験の結果 (左から銅, 青銅, 錫)

できた。

簡易曲げ試験用教具の全体図および取り付け部の拡大図を図16に示す。全長は500mmあり、取り付け部のネジを一本締めることで試験片を固定する。試

試験片は厚さ2.5~5.0mm, 幅16mm, までの形状が試験可能である。スペーサーは試験片と同じ厚さの板を用いることで試験片を平行に挟むことができるようにした。試験方法は図17に示すように、まず試験片を取り付け部にセットし、試験片のもう片方を万力で固定する。この時、万力と試験用教具の距離を一定(6mm)にする。試験用教具のリングのついた部分を手で握り、水平方向に力を加え試験片を曲げる。このように、てこの原理を利用した簡単な教具を用いることで、自分の手で金属の強さを実感することができ、力の弱い生徒などでも簡単に金属を曲げることができる。また、リングの部分にバネばかりなどを取り付ければ、金属の強さを簡単に数値化でき

る。実際にリングの部分にバネばかりを取り付けて、錫、銅、青銅試験片の曲げ強度試験を行った。この時、塑性変形を一定にするために、約15度の位置まで動いた時の引っ張り力を測定した。その結果、引っ張り力は錫が120 gf, 銅が400 gf, 青銅が1200 gfであった。いずれの場合でも、それほど力を必要としないで曲げることができる。また、手ごたえからだけでも、これらの強さの違いは十分に感じることができる。バネばかりを使用すれば数値化も容易に行うことができる。これらの教具はいずれもシンプルな構造であり、自作はそれほど難しくない。教育現場での活用を期待したい。

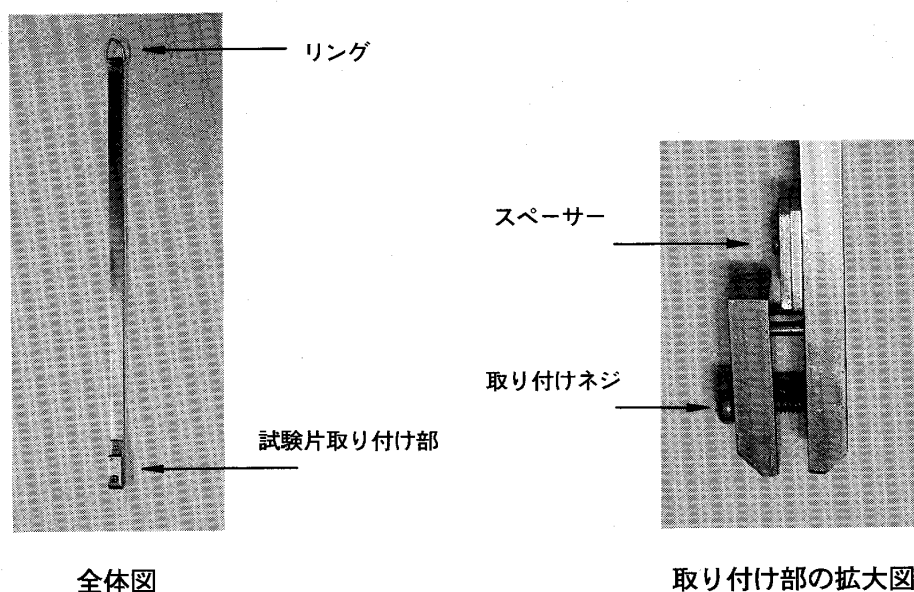


図16 簡易曲げ試験用教具

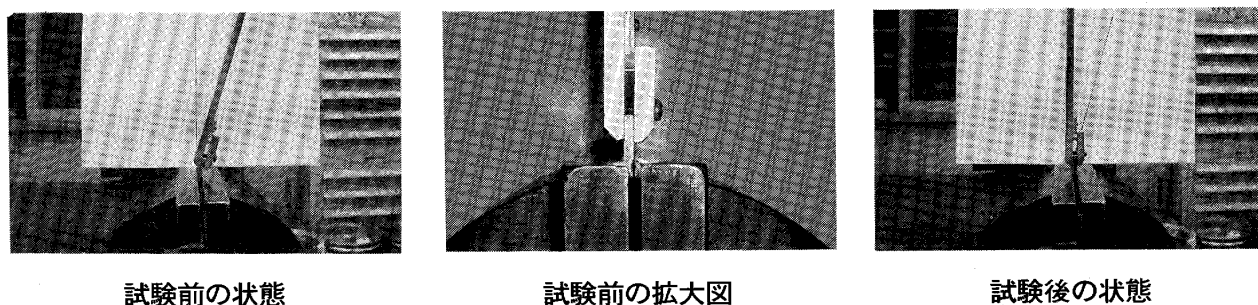


図17 簡易曲げ試験用教具を使用した試験

7. ま と め

本研究ではまず木炭コンロを用いて青銅を溶解するための諸条件を調べた。その結果、木炭コンロのみでもふたを使用することで100gの青銅の溶解が可能であることがわかった。また、100g以上の青銅を溶解する時にはアダプターを使用し、木炭量を増やすことが必要であることがわかった。その場合、800gの銅を木炭1300gを使用して25分で完全に溶解でき、十分に授業時間内に溶解可能であることがわかった。

次に、錫、銅、青銅の試験片を作製し、選択技術の時間の中で純金属と合金の硬さ・曲げ強さ・色合いを生徒一人一人が体験できるようにした。その結果、合金の硬さや曲げ強さが純金属よりも高くなること、組成によって色合いが変化すること、が体感的にわかりやすかったと思われる。また、この時にハンマーやポンチを使う場面で、うまくできない生

徒も見られたので、硬さや曲げ試験用教具を作り、誰でも容易に金属の硬さや曲げ強さを実感できるようにした。

8. 謝 辞

本研究において授業実践を行うにあたり、ご協力いただいた新潟市立赤塚中学校の長先生をはじめ、生徒の皆さんに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 中村, 畑, 宮坂: 静岡大学教育学部研究報告. 教科教育学篇, (2003), p 199~p 208
- (2) 中村, 畑, 宮坂: 静岡大学教育学部研究報告. 教科教育学篇, (1996), p 133~p 140
- (3) 中村, 畑: 日本産業技術教育学会東海支部発表予稿集, (1999), p 61