

# 銚起銅器を利用した金属加工に関する教材開発

## Development of teaching materials on metalworking using tsuiki copperware

中田隼矢<sup>1</sup>, 深田航平<sup>2</sup>

NAKATA Toshiya<sup>1</sup>, Fukada Kohei<sup>2</sup>

[キーワード] 金属加工, 銚起銅器, 技術科, 伝統的ものづくり  
[所属] <sup>1</sup>岐阜大学教育学部技術教育講座, <sup>2</sup>岐阜大学教育学部技術教育講座・卒業生

[要 旨] 本研究では, 設備面の制約などから中学校の技術科の授業において実施しにくい金属加工について, 伝統工芸の一つである銚起銅器の製法を取り入れた教材を検討した。その結果, 比較的簡素な道具で加工することができ, 製作工程の中には主要な金属加工の要素が含まれることから, 金属加工を広く学ぶことができる題材であることが確認できた。また, 学習指導要領であげられている日本の伝統的ものづくりに関する学びや, 教科横断的な要素も含む教材となり得ることがわかった。

### 1. 背景

現在の中学校学習指導要領（技術編）<sup>1</sup>における中学校技術・家庭科技術分野（以下, 技術科）の「材料と加工の技術」においては, 木材, 金属, プラスチック等の材料の性質やその加工方法を学ぶことがあげられている。金属は人類が古くから扱ってきた材料の一つであり, 硬質でありながら展延性などの加工性にも優れることから, 現在のものづくりにおいても欠かすことができない材料の一つである。一方で, 金属は硬質であるがゆえに加工に大きな力を要し, 加工に必要な工具や工作機械は他の材料のそれと比べて大がかりなものが必要となることが多い。このような設備面の制約も一因となり, 技術科の授業において金属加工を実施するケースは少ない<sup>2</sup>。

一方で, 学習指導要領では, “我が国の伝統的なものづくり”に関する学びの重要性も示されている。金属は人類が古くから扱ってきた材料の代表だが, その優れた強度や加工性を活かした実用材としての用途だけではなく, 金属光沢や劣化しにくい特性などから装飾用途などにも重用されてきた。さらに, 両者の要素を兼ね備えた工芸品の材料としても長年利用されている。伝統技法によって製作された金属工芸品の一つに銚起銅器がある<sup>3</sup>。銚起銅器は新潟県燕市において古くから製作されている工芸品であり, 県及び国の無形文化財に指定されている。この加工方法は, 木型や当て金にあてた薄い銅板を銚で叩くことによって塑性変形をおこし, タンブラーや皿, 薬缶などを製作する鍛金加工の一つである。熟練した職人ならば, 接合を用いず, 一枚の板から薬缶などの立体的な形状のものを製作できる。加工方法に特殊な工具や機械を必要としないため, 中学校の教育現場でも比較的実施しやすい金属加工だと考えられる。この製作工程には, けがき, 切断, 削り（ばり取り）, 塑性加工, 焼鈍し, 磨きなどの主要な金属加工が含まれる。さらに, 現在の学習指導要領<sup>1</sup>では他教科との連携を図ることもあげられており, 工芸品である銚起銅器は美術との関わりも深い。そこで本研究では, 技術科の授業の中で銚起銅器を製作するために必要となる工具や工程を整理するとともに, 大学生への実践を通じて, 作業性や安全面の課題などを検討した。

### 2. 木型の製作

鍛金で用いる種々の木型は市販されているが, 本研究では木材の端材を彫刻刀で削り自作した。型を自作することで, 型の形状やサイズを自由に調整することができる。木型製作に用いた主要な道具は, 木材の端材, さしがね, クランプ, のこぎり, 保護メガネ, 紙やすり, コンパス, ガスコンロ, 鍋, バケツ, るつぼばさみ, 彫刻刀, 滑り止めシートなどとなる。本研究で製作する銅器は円盤形の皿とし, 木型には皿と同程度のサイズのくぼみを形成させた。銚起加工は, 型にあてた金属板を銚で叩くことによって徐々に成型する。金型を用いたプレス加工などとは異なり, 製作物の形状と木型の形状を完全に一致させる必要はない。さらに, 一度に変形できる範囲は銚で叩いた範囲とその近傍となるため, 型に半月形状のくぼみがあれば十分に加工できる。彫刻刀を用いて木材を削る時間を短縮するため, 使用する木材を半日程度水に漬け, その

後熱湯で5分程度煮ることで柔らかくした。

以上の条件にて、岐阜大学教育学部技術教育講座の1年生及び4年生の合計8人に実践をした。学生の中には、一度の工程でより多くの木材を削ろうとし、彫刻刀を木材に深く差し込み繊維を上手く切断できていない者もいた。また、削る際に木材を上手く固定できず、削りにくかったとの感想があった。これを解決するため、彫刻刀で木材を削る際は刃を浅く喰いませることを指導するとともに、木材の下に滑り止めシートを敷く、あるいは木材をクランプで固定することで作業性を改善することができた。さらに、彫刻刀で木材を削る際は、木材の繊維に沿ったならい目方向に削ることで少ない力で削れ、仕上がり面も良好になることを伝えることで、短時間で形状の整った木型を製作することができた。端材を彫刻刀で削っている様子と完成した木型を図1に示す。

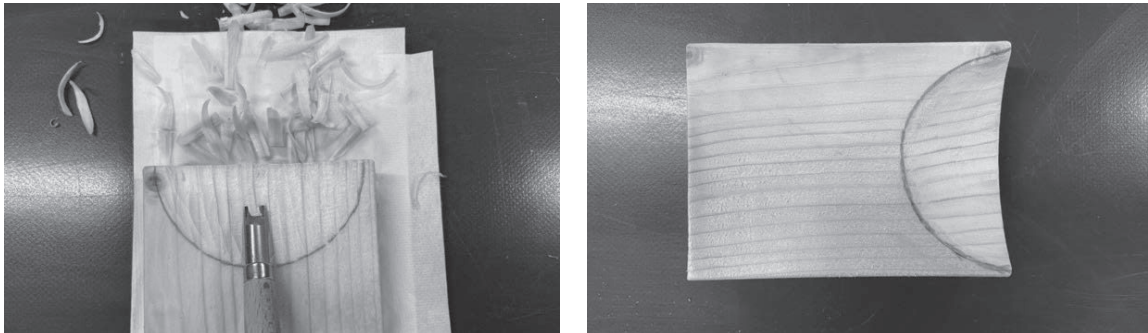


図1 彫刻刀を用いた木型製作の様子と完成した木型

### 3. 鋸起銅器の製作

鋸起による金属器の製作工程では、金属板の切断とばり取りを行い、それを打ち起こしによって徐々に変形させることで目的の形状に仕上げる。この塑性変形過程で金属板は加工硬化を起こすため、焼鈍しが必要となり、焼鈍しによって銅板表面に酸化が生じた場合は研磨による除去が必要となる。また、本研究では金属板の表面に簡単な彫金を施している。これらの要素を加味した加工手順の詳細と留意点を以下に記す。加工に用いた主要な道具はセンタポンチ、木槌、鋼尺、コンパス、金切ばさみ、保護メガネ、鉄工やすり、金槌、ガスコンロ、バケツ、坩堝ばさみ、クランプ、スポンジ、サンポール、ゴム手袋、マスク、紙やすりなどとなっている。素材には、厚さ0.5mmの純銅板を用いた。

#### 3.1. 銅板の切り出し

小皿を製作するため、厚さ0.5mmの純銅板を円盤形状に切り出した。切断は予め銅板表面にけがき線を引き、これに沿って金切ばさみで切断した。切断後にばりを鉄工やすりで除去した。純銅板は比較的軟質な金属であるが、板厚が増すにつれ切断及びこの後の打ち起こし加工に大きな力を必要とする。そのため、中学生の体力を考慮すると、銅板の板厚は0.5mm前後が適当だと思われる。さらに薄くすることで加工が容易となるが、変形に伴う加工硬化の影響を感じ取ることが難しくなる可能性がある。なお、金属板の角やばりは鋭利であるため、軍手の縫い目はすり抜ける。手の保護のためには、縫い目が細かいアラミド（ケブラー）繊維製の手袋などを着用することが望ましい。

#### 3.2. 彫金

銅板表面に彫金を施す場合は、銅板の成形前に実施する。本研究では、彫金したい絵柄を紙にスケッチし、その紙を銅板にマスキングテープなどで貼り付け、そのスケッチに沿ってポンチを打ち込むことで簡易的な彫金を施した。

#### 3.3. 鋸起加工

切り出した銅板を木型の凹み部分に当てながら鋤で叩き、外周部を立ち上げる鋤起（打ち起こし）加工を施した。この際、銅板の内側から外側に叩くことで、底部の曲率を制御し易くなる。また、加工に伴って銅板が波打つしわが発生するが、これを縁に寄せるように加工を施すとよい。木型製作時と同じく、型を滑り止めシートやクランプで机に固定することで安定して加工をすることができる。鋤に金属製のものを用いると、その重量や硬さにより、一度の打撃で大きな変形が得られる。しかし、銅板表面に傷が付きやすいこと、さらに重い鋤を振り続けることで体力的な負荷も大きくなる。一方、軽量で硬度があまり高くない木製や樹脂製の鋤を用いれば、一度の打撃で生じる変形量は小さくなるものの、銅板表面に傷が生じにくく、体力的な負荷は小さくなる。加工の様子を図2に示す。

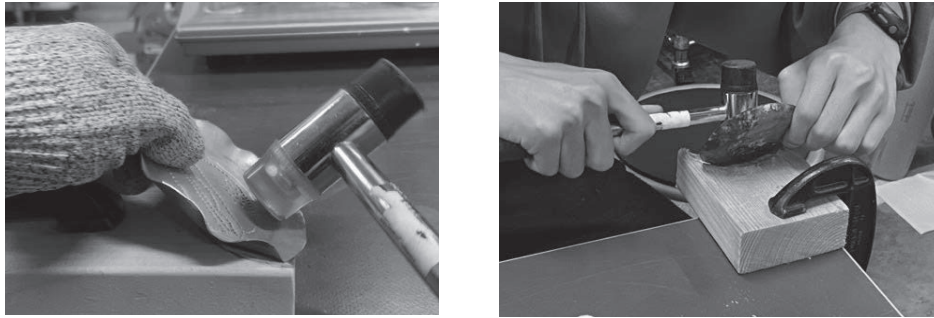


図2 鋤起（打ち起こし）加工の様子

### 3. 4. 加工硬化と焼鈍し

加工に伴い銅板に加工硬化が生じると加工に要する力が増大するだけでなく、展延性が低下し銅板に割れが生じやすくなる。これを解決するためには、焼鈍しが有効となる。金属材料の熱処理の一つである焼鈍しは、硬化の要因となる転位密度を低下させることで軟化とともに加工性を回復させる。適当な加熱条件は材料によって異なり、高温にするほど急速に軟化が進行し、低温では軟化度合いが低いいため長時間の加熱が必要となる。一方で、銅は高温に加熱されると脆化が生じるため、過剰な加熱は控えたほうがよい。焼鈍しは繰り返し行えるため、最初は温度や加熱時間をやや弱めにし、軟化度が低い場合は再度加熱を繰り返すことで、適当な条件を探索することができる。また、加熱した銅板を急冷したとしても、焼鈍しの効果は変わらない。火傷防止のためには、加熱後すぐに水に漬けるなどして十分に冷却することが望ましい。一方で、加熱時には銅板が炎色反応を起こし炎の色が僅かに変わることで、加熱に伴う酸化によって表面が黒ずむことが確認でき、理科と関連する現象を観察することができる。ガスコンロを用いた焼鈍しの様子を図3に示す。

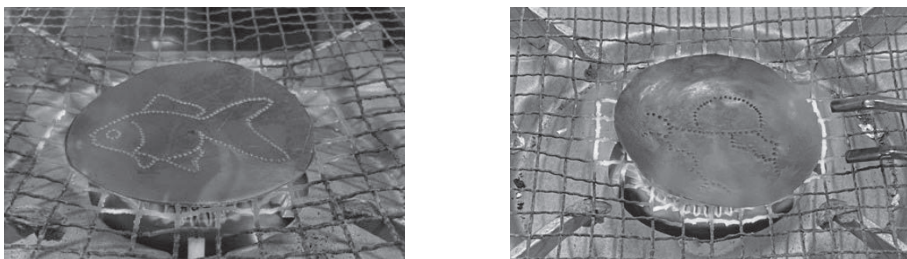


図3 銅板の焼鈍しの様子

### 3. 5. 金属の性質の違いと熱処理の体験

焼鈍しは金属の代表的な熱処理の一つであり、本研究のように手作業で変形できる大きさの金属を用いれば、熱処理前後の硬さの変化を直接体感できる。焼鈍しと同じく効果を体感しやすい熱処理として、鋼に対する焼入れと焼戻しがある。鋼に対して焼入れを施すことで硬化が生じ、鋼中の炭素含有量が多いほど硬化が顕著に生じる。一方で、硬化に伴い脆化が生じるが、これを緩和し靱性を向上させるのが焼戻しとなる。銅の焼鈍しとあわせて鋼の焼入れ・焼戻しを行うことで、熱処理時の加熱温度や冷却速度の僅かな違いや金属の



種類によって得られる効果が異なることを体感することができる。なお、鋼の焼入れ温度は銅の焼鈍し温度よりもやや高く、少なくとも $A_1$ 点 ( $727^{\circ}\text{C}$ ) 以上に加熱する必要がある。完全に焼入れを施すためには亜共析鋼ならば (炭素量 $0.77\%$ 以下)  $A_3$ 点以上、炭素含有量がそれ以上である過共析鋼に対しては $A_{cm}$ 点以上に加熱する必要がある。 $A_3$ 及び $A_{cm}$ 点は炭素量に依存するが、例えば高炭素鋼の中でも入手が容易なピアノ線の $A_{cm}$ 点は約 $770^{\circ}\text{C}$ 程度となる。ピアノ線のように断面積の小さいものならば、焼入れ後に手作業で容易に折ることが可能になる。さらに、焼入れを施した鋼を再度 $A_1$ 点以下に加熱することで焼戻しが生じ、硬度はやや低下するが靱性が回復し、折ることは難しくなる。焼戻し時の加熱温度や加熱時間を調整することで、その後の硬度を制御することも可能である。

### 3.6. 酸化層の除去

加工硬化を緩和するために焼鈍しを繰り返すことで、銅板の表面が酸化する。この酸化層は紙やすりで磨くことで除去できるが、酸性溶液による酸洗でも除去できる。酸洗は、熱処理などによって生じた酸化層を酸性溶液で溶かす処理となる。酸洗溶液には塩酸や硫酸等が用いられるが、銅の酸化層は酸性洗剤を用いた簡易的な酸洗で除去できる。本研究では、酸性洗剤 (サンポール) をスポンジに少量染み込ませ、これで小皿を拭くことで酸化層を除去した。安全対策としてゴム手袋、マスク、保護メガネを着用のうえ、屋外で作業を実施した。その後、酸性洗剤除去のため保護具を着用した状態で小皿を十分に水洗いし、さらに食器用洗剤で洗った。図4に酸洗前後の銅器の写真を示す。

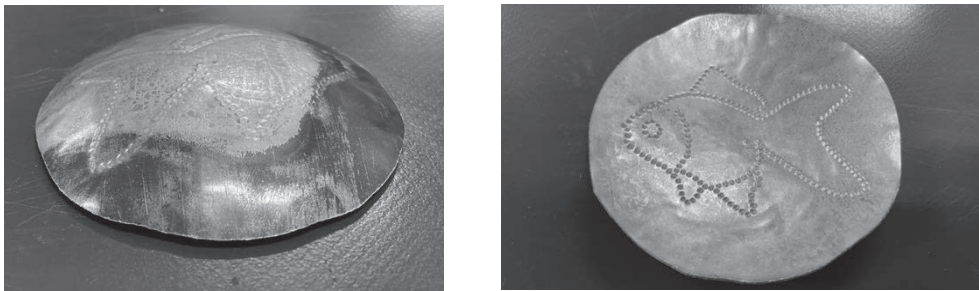


図4 左：焼鈍しによって酸化が生じた銅器、右：酸洗によって酸化層を除去した銅器

## 4. おわりに

本研究では、中学校技術科の授業において設備面の制約などから実施しにくい金属加工について、比較的簡素な工具で実施できる鋳起銅器製作を教材化するため、大学生への実践も交えて検討を行った。その結果、鋳起銅器の製作工程には、けがき、切断、削り (ぼり取り)、塑性加工、焼鈍し、磨きなど主要な金属加工の要素が含まれ、金属加工を広く学べる題材になることがわかった。大学生を対象にした実践についても、木材を煮ることや銅板の焼鈍しで材料を柔らかくすることで、加工に要する力を十分に小さくできていたなど、難易度や作業性の面で適当との感想を得た。また、本研究で取り上げた伝統的ものづくりや他教科と関連した横断的な学びの要素を通じて、技術科が扱う学びの裾野の広さを実感していた。一方で、教育実習などを経験している4年生からは、使用する道具の点数が多く準備の手間を懸念する感想もあった。技術室に未整備の道具であったとしても、既に学校に整備されているもので代替できないかなど、学校で実践するための課題の整理とその解決を引き続き進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編(2017)
- 2) 堀端真彦, 奈良県内中学校における金属加工領域の履修状況と工具・設備の調査研究, 奈良教育大学教育実践研究指導センター研究紀要, 第7巻, pp.47-53(1998)
- 3) 中田隼矢, 山中ももこ, 大橋保隆, 伝統技法によって製作された銅器の金属組織評価, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 第44巻, pp. 105-109(2020)