

中学校技術・家庭科（技術分野）における金属加工教材の開発と授業実践による評価

三上慶一郎¹⁾・桐島 俊²⁾・飯塚 保³⁾・板倉嘉哉⁴⁾*

¹⁾千葉大学大学院教育学研究科・院生

²⁾千葉大学教育学部附属中学校技術科教諭

³⁾機械振興協会技術研究所産学官連携センター（東久留米）技術支援課

⁴⁾千葉大学・教育学部

Development and Evaluation of Metal Processing Teaching Materials for Technology Education in Junior High School

MIKAMI Keiichiro¹⁾, KIRISHIMA Shun²⁾, IIZUKA Tamotsu³⁾ and ITAKURA Yoshiya⁴⁾*

¹⁾Chiba University Graduate School of Education, Master's Program,

²⁾Chiba University, Junior High School Attached to the Faculty of Education,

³⁾Japan Society for the Promotion of Machine industry

⁴⁾Faculty of Education, Chiba University, Japan

本研究では、学習指導要領の記述の変遷と教科書の内容比較から、現在において金属加工の理論を教える機会が著しく不足していることを指摘した。これに対し、先行研究では理論について詳細に記述された論文においては、教材として加工全般を理解させる論文では各理論の詳細を伝えられるような教材の開発には至っていない。また、授業実践を通して金属加工の理論を理解させる論文では、原子の挙動まで扱いつつも、その挙動を再現できる教材の不足を述べていた。そのため、ミクロな視点を含めた金属加工を学習できるような教材が必要であると考え、金属結晶の挙動を理解できる教材の開発と、金属切断の理論を学習できる授業の立案を行った。その結果、泡モデルを用いることで金属結晶の挙動を動的に再現することに成功した。また、これを応用し切削加工を再現する装置を開発することで、刃先における連続した剪断である切削を動的に再現することに成功した。これを用いて授業実践を行った結果、生徒は理論をふまえた金属加工と切削について理解し、知識と技能を両輪とする技術科の本質について学習させることが達成できた。

Based on a comparison of the changes in the descriptions in the Courses of Study and the contents of textbooks, this study pointed out that there is a significant lack of opportunities to teach metalworking theory at present. In contrast, in previous studies, papers that described the theory in detail did not lead to the development of teaching materials, while papers that provided an understanding of machining in general as teaching materials did not lead to the development of teaching materials that conveyed the details of each theory. In addition, the paper on understanding metalworking theory through classroom practice dealt with the behaviour of atoms, but stated that there was a lack of teaching materials that could reproduce this behaviour. Therefore, we considered it necessary to develop teaching materials that would enable students to learn about metalworking, including from a microscopic viewpoint, and we developed teaching materials that would enable students to understand the behaviour of metal crystals and to plan lessons that would enable them to learn about the theory of metal cutting. As a result, we succeeded in dynamically reproducing the behaviour of metal crystals by using a bubble model. In addition, by developing a device to reproduce cutting processes, we succeeded in dynamically reproducing continuous shearing at the edge of a blade. As a result of the classroom practice using this model, students were able to understand metalworking and cutting based on theory, and the essence of technology studies, which is based on both knowledge and skills, was successfully learnt.

キーワード：泡モデル (Soap Bubble Model), 再現 (Reproduction), 金属結晶 (Metal Crystal), 教材 (Teaching Material)

1. はじめに

1.1 技術科の授業時数の変遷

昭和33年に技術科が開設されて以降、中学校学習指導

*連絡先著者：板倉嘉哉 y_ita@faculty.chiba-u.jp

要領^{(1)~(7)}(以下指導要領)に定められている技術科の授業時数は、図1.1に示すように昭和33年の合計315時間から平成29年の合計87.5時間と、改訂のたび減り続けているのが現状である。俗に言う「主要5教科」である、国語・数学・理科・社会・外国語は平成10年まで減少傾向にあったものの、ゆとり教育を脱した平成20年以降は増加しつつある。これに対し、昭和33年当時は「主要5教科」に匹敵する時数であった技術科は平成20年以降も減少した時数のまま変化はなく、昭和33年当時は倍近い差をあけて上回っていた音楽や美術といった教科に対しても、現在では時数が逆転されている。平成元年以降は男女共に技術科と家庭科を両方学ぼう変更されたことも、授業時数の減少を後押ししている。

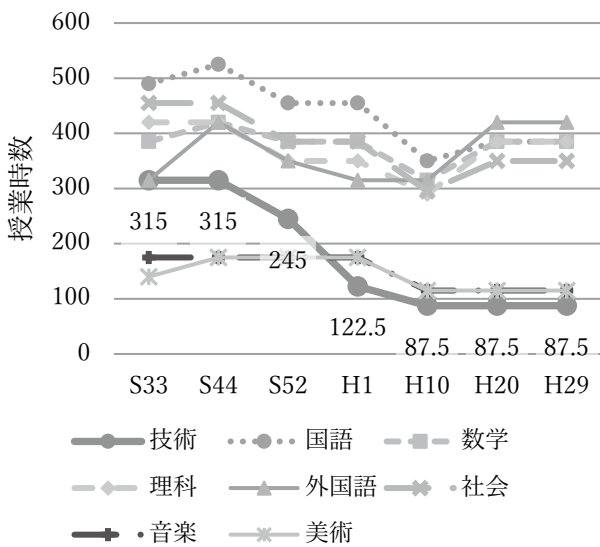


図1.1 各教科の授業時数変遷 (1単位50分)

また、年度ごとに指導要領内にて特に金属加工に関連する項目の割合が、どのように変化しているかを調査した。図1.2はその調査結果である。指導要領での項目のうち、金属加工に関する内容が木材加工と合わせて記述されている場合は、その値を2で割ったもの、木材加工・プラスチック加工と合わせて記述されている場合は3で割ったものを採用した。

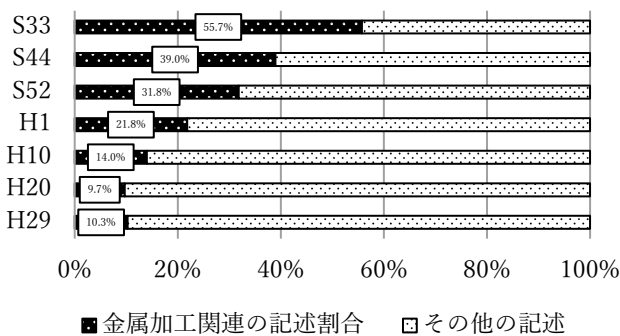


図1.2 指導要領における金属加工の記述割合の変遷

図1.2より、年度の変遷に従って金属加工関連の記述が大きく減少していることがわかる。特に、昭和33年時点では半分以上が金属加工に関連する内容であったのに

対し、平成29年では10%程度である。また、図1.3は教科書における金属切削理論の記述内容の変遷である。1.3-Aの通り昭和33年当時は切削におけるバイトの逃げ角など理論を含め記述されていたものが、1.3-Bの令和3年では旋盤について参考程度に記述されるのみで、理論については全く触れられていない。従って、授業時数の大幅な減少と、学習内容の増加に伴う金属加工に関する学習機会減少により、近年において金属加工理論について学ぶ機会は非常に少ないと言わざるを得ない。

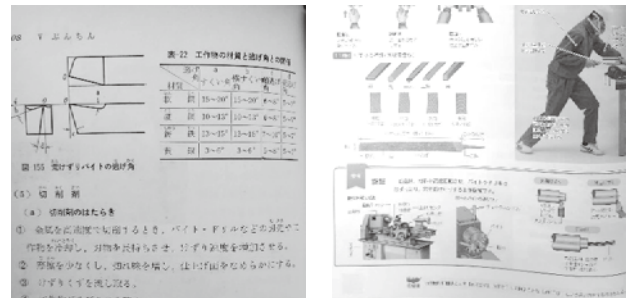


図1.3-A 昭和33年⁽⁸⁾ 図1.3-B 令和3年⁽⁹⁾

図1.3 各年の切削に関する記述

1.2 先行研究

前節で述べた通り、現在の技術科では加工理論を教える機会が少なく、これを効率的に、わかりやすく理解できる授業が望まれる。そこで、教材という手法を用いて金属加工について教える研究を、日本産業技術教育学会誌と技術教育研究にて調査を行った。

まず、日本産業技術教育学会誌における物理現象としての切断・切削についての論文について述べる。福島大学教育学部の佐藤は、「金属切削における切削条件と切くず形態について (1972)⁽¹⁰⁾」にて、金属を切削する際に発生する多様な切屑の形態から適切な切削速度の算出を行った。また埼玉大学教育学部の松尾らは、「金属切削を模擬したくさび破壊の研究(1)―くさび形状および試料形状の影響について― (1983)⁽¹¹⁾」においては、切削を一種のくさびによる破壊現象であるにとらえ、その際にかかる力や破壊方向、亀裂領域とすべり領域の比較をモデルとして視認しやすい形にした。これらは論文内で切断に関する教材の必要性が示唆されているが、教材化までは至っていない。次に教材として切断を扱った論文では、島根大学総合理工学部の大谷が「加工技術の学習を構成する切断加工の教育内容のモデル (2005)⁽¹²⁾」では、学習過程における加工に関する内容やその構想の仕方の教材を論じているが、切断あるいは切削についての理論の教材化には至っていない。

次に、技術教育研究での調査結果である。東京工業大学工学部附属工業高等学校の長谷川は、「中学校技術科の金属加工学習を堅持しよう (1988)⁽¹³⁾」において、工業高校での実践を通して、主に鉄鋼材料を扱いながら、「(1)加工法の原理や法則の理解のため、材料の本質的な性質を可能な限り理解させる。」「(2)材料の性質に関わる加工法を理解させるため、融解・凝固、展性・延性などの塑性、切削・切断・研削による成形、熱・光・電気などの物理的な処理や、化学的な結合・分離などの処理、

以上4種の加工法を学ぶ。」「(3)以上の加工法に使われる基本的な工具や機械や装置の原理や法則を理解させる。」といった内容を体系的に学習させている。また長谷川は、「金属組織写真やスライドフィルムなどで金属が多数の結晶粒の集合体であることを理解させる。」「変形させた後、表面を顕微鏡で観察すると得られる。結晶粒の表面にそれぞれ方向がちがうすべり帯とよばれるすじを見ることが出来る。」など、金属結晶の学習方法について述べている。ただし、それと同時に「外からの力によって試料が変形するが、それは結晶粒が変形することに基づいており、さらに結晶粒内部の結晶構造にも変化があったことを想像させる。中学生に対しては、このあたりの見通しをつけられればよいと思う。」とあり、原子の挙動は想像するしかないとして述べてもいる。

岩手県盛岡市立下橋中学校の菊池は、「金属加工の授業「まげて（つぶして）形をつくる方法」—塑性加工法—（1972）⁽¹⁴⁾」において、中学校における金属加工法の学習のため、金属材料の性質を原理的に理解させ、加工法の技術的な法則を本質に迫りながら発展的に学習させることを目的として授業実践を行っている。授業の分析では「塑性変形と内部組織の変化とのかかわりを探りだす授業の場面では、先にもふれたように、せん断のことで、組織（原子、結晶、結晶粒）のずれを、原子の移動と原子の結合力とのかかわりで明確にとらえさせておけば、生徒の発言がもっと豊富に行われたと思う。」と記述があった。

以上先行研究の調査から、

- ・金属の原理を扱った教材の必要性は示唆されているが実用化に至っていない
- ・加工に関する教材では理論の教材化に至っていない
- ・金属原子の挙動を扱うことで生徒の加工に対する理解を深められるが原子の動きそのものはスライドでの説明か生徒の想像で補うしかない
- ・金属原子を扱う授業実践は雑誌「技術教育研究」では1988年以降30年以上報告がない

ということが判明した。従って、金属加工における原子の挙動をわかりやすく理解できる教材が望まれつつも、近年ではそのような教材が存在しないのが現状である。

1.3 研究目的

以上の内容より、近年では技術科の授業時数は他教科と比較しても極端に減少しており、個々の内容を教える機会が著しく不足している。また技術科における骨子の一つである金属加工に着目した場合、金属の切断方法については現在でも扱っているが、原子の挙動を含めた理論に関しては殆ど触れられていないのが現状である。これに対し先行研究では、金属加工における原子の様子をわかりやすく学べる教材が望まれつつも実用化できていないことが判明した。この現状に対し、技術科におけるミクロな視点を含めた加工理論、そして技術科そのものについて学ぶ機会を増加させるため、本研究目的を次のように設定した。

- ・ミクロな視点を含めた金属の切断を学習できる授業計画の立案

- ・ミクロな金属結晶の挙動を理解できる教材の開発
- ・授業実践を通じた授業の評価
- ・授業実践を通じた教材の評価

作品の製作ではなく、さらに基礎の部分である金属の切断とはどのような現象であるのかをまず学ぶことで、今後の金属加工における思考力、そして金属加工に限らず技術科全体に対する新たな視点を養うことをもう一つの目的とした。また金属加工の理論の内容としては、原子の挙動を含め扱うものとした。この際、先行研究にて望まれていた「原子の挙動をわかりやすく理解できる教材」の開発を行い、今後理論を教える技術科教員に対し新たな指標を提示する。そしてこれらの内容が有効であるか、授業実践を通して実際に生徒に触れさせたいという評価を行った。以上4点を達成することで、金属加工の本質の学習、そして知識と技能を両輪とした真の技術科の理解を促せると考えた。

2. 研究方法

2.1 授業構想

教材を開発・評価するにあたって、実際に授業を行うことが必須となる。また、何を教える教材とするかを詳細に設定するにも、授業の構想を練ることが必要になる。よって、まず以下のような条件を満たす授業を設定した。また、加工に対してはマクロな面とミクロな面双方から学習することを重視した。

- ・金属加工に焦点を当て特に切削加工を主体とした授業を行う
- ・切削加工を学ぶ前提として金属の切断についての学習を行う
- ・切削の理論については原子の挙動を含めたものを扱う
- ・原子の挙動をわかりやすく目視できる実験が可能

これらの条件を満たすことで、生徒は原子の挙動を含めた金属加工について深い学習ができるようになると考えた。また、本授業において、次の内容も同時に学べると考え、達成すべき目標として定めた。

- ・現象を再現する実験の重要性について理解する
- ・知識と技能を伴う技術科の本質について理解する

以上全ての条件を満たすよう、表2.1に示す授業を計画した。

授業を通し、「『切断』がどのような現象であるのかを理解する」「刃先で起こる動的な現象と、切削加工の理論について理解する」「『現象を理解するための適切な実験』の重要性について理解する」「技術科とは、単にものを作るだけの教科ではなく、自然科学と工学という理論を踏まえたうえで成り立つものであると理解する」の4点を生徒に達成させることを目標とする。これらを達成することで、生徒はミクロな視点を踏まえた、理想的な金属加工についての学びと、実験によって目視することで自身の理解が深まること、そして技能だけでなく知識を

表2.1 指導案の概要

題材	学習活動・内容	指導のねらい
1 時間目 切断とは何か	<ul style="list-style-type: none"> ・切断とはどのような行為であるのか説明する ・各加工方法がどのような行為により工作物を分断するのか把握する 	<ul style="list-style-type: none"> ・普段用いる切断という言葉が、工学的にはどのような現象であるのか、今後の授業のための共通認識として把握させる ・材料を実際に切断することで、体験として物体を二つに分ける感覚を持つ ・自身で体験した内容を分類することで、知識の定着を図る ・分類を基に定義を教え、今後行う切削についての学習への興味を深める
2 時間目 金属の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・木質材料と金属材料を比較し、違いを考える ・金属の特徴として展性・延性と弾性変形・塑性変形について学ぶことを示す ・展性教材を用いた観察を行う ・延性教材を用いた観察を行う ・弾性変形・塑性変形教材を用いた観察を行う ・金属は強固な結晶であるとともに、変形させる方法が存在することを示し、人為的な変形を起こすことが加工であることを伝える 	<ul style="list-style-type: none"> ・木材は繊維の束できているのに対し、金属は原子が整列した結晶であることを知る ・実際に木材と金属をたたくことで、金属の展性を感じてもらう ・上記同様に、延性を感じてもらう ・弾性変形と塑性変形の違いを、身近なもので実感してもらう ・金属結晶としておこる挙動を制御下におき、望む形に変形させることが加工であることを認識させることで、次時の切削への理解の架け橋とする
3 時間目 切削とは何か	<ul style="list-style-type: none"> ・剪断の定義を教える ・剪断を行う際の金属結晶の挙動を示し、転位とすべりの解説を行う ・剪断加工再現教材を用いた観察を行う ・旋盤を用いた切削を見せ、これも連続して剪断されていることを示す 	<ul style="list-style-type: none"> ・金属結晶はずれることができ、かつ固体を維持できることを示す ・上記のような挙動が、目では見えないが手の中で行われていることを強調する ・「刃がすれ違う＝剪断」というマクロな視点の認識だけでなく、ミクロで見ると原子同士がずれていき切断されることが剪断であると意識させる
4 時間目 泡モデルによるミクロな切削の可視化	<ul style="list-style-type: none"> ・切削は連続した剪断であることを確認する ・泡モデルが金属結晶と同様の挙動を示すことを伝え、金属結晶再現教材を用いた観察を行う ・泡の挙動が理解の助けになるということを伝え、実験の大切さを説く 	<ul style="list-style-type: none"> ・泡と金属結晶は異なる物体であるが同様の挙動をし、目視で観察できることを伝える ・泡モデルを用いた実験によって目で見えない原子の挙動を理解しやすくなることを示す ・目で見て体験することで自身のイメージと知識の定着を図る
5 時間目 技術科とはどのような教科なのか	<ul style="list-style-type: none"> ・切削加工再現教材を用いた観察を行う ・今まで学んだことを振り返る ・自然科学・工学・技術科・ものづくりとは何か ・今まで学んだことが、4つの言葉に当てはまることを示し、実際に技術科として成り立たせるには理論が必須であることを伝える 	<ul style="list-style-type: none"> ・泡による動的な切削の再現を観察し、理解の深化を目指す ・生徒が一連の授業で体験したことが、そのまま自然科学→工学→技術の流れであることを実感してもらう

併せ持つことこそ技術科のあるべき姿であることを学習できると考えた。

2.2 教材開発

ミクロな金属原子の挙動を再現するため、図2.1に示す、金属結晶再現教材を開発した。装置はサイフォンの原理を用いて送風が行われ、石鹼溶液の張られた泡観察台内にノズルを設置することで金属結晶を再現する泡を生成することができる。

溶液は金属結晶の挙動を再現できる1mm程度の泡が生成できることを前提とし、中学校での教材化をふまえ、120分間泡を維持可能な配合を調査した。その結果、洗

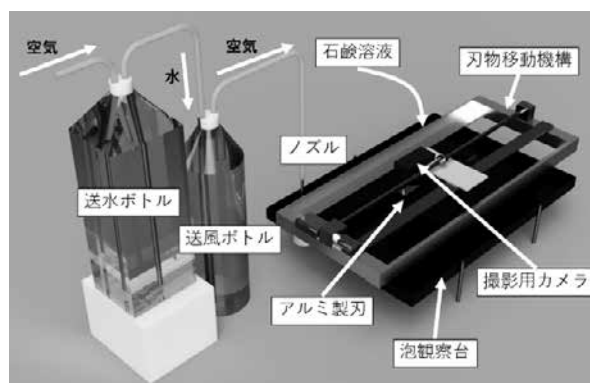


図2.1 実験装置全体図

剤原液を20%，水40%，グリセリン40%で混合したもの、ノズル口径は0.05mm程度が望ましいことが判明した。これらの条件下にて生成した泡を用い、金属結晶と転位を再現した様子が図2.2である。図より、一様な泡が結晶のように整列する様子がわかる。さらに、実際の転位のように結晶内のずれが再現されることを確認した。これに力を与えると、図2.3のように転位が直線状に移動するすべりも観察できた。よって、泡モデル実験装置を再現することに成功したと言えるだろう。以上の実験は十分に視覚的であり、教材として有効であることが確認できた。なお、ここでは装置の概要と最終的に決定した条件のみ述べ、詳細な装置の説明と泡の生成条件の決定過程は参考文献(15)を参照していただきたい。

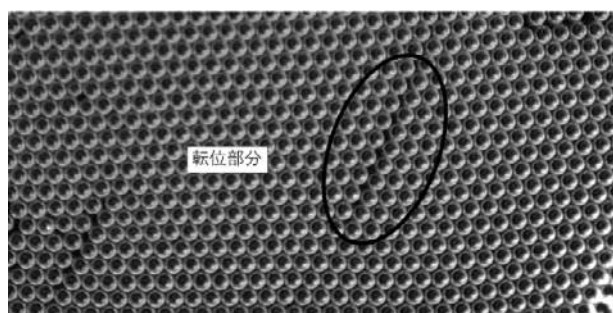


図2.2 転位部分

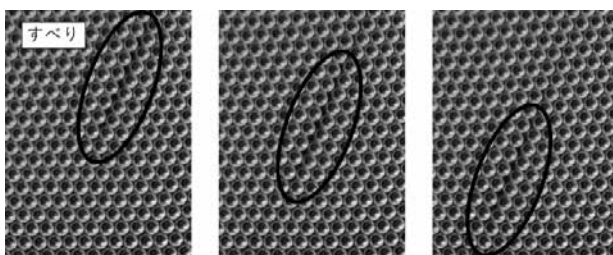


図2.3 すべりの再現

また、泡生成装置を用いて、「切削における、刃先による連続した剪断」が再現可能な切削加工教材として、図2.4に示すバイト移動機構と撮影装置を開発した。

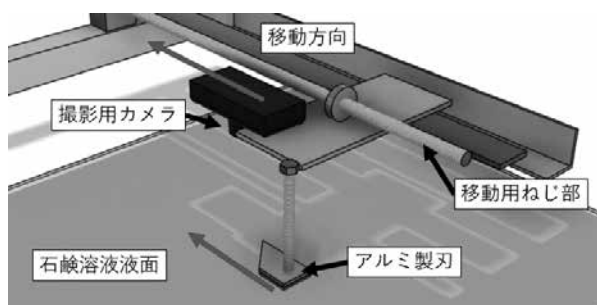


図2.4 切削加工再現教材

スライドレール（orgry社：MGN7C 200mm）に固定された観察台と、ギアモータ（uxcell社：A17022300ux-0055jp）で回転するねじ部を接続することで定速かつ安定した移動を可能にした。また、再現した切削を可視化するにあたって、撮影用のカメラ（バッファロー社：

BSWHD06MBK）を設置した。撮影用カメラは刃が移動する際相対的位置が変化しないよう固定されているため、刃先での切削を常に同じ位置で観察可能である。

図2.5はこの教材を用いて再現した切削の様子である。整列した結晶を再現した泡を、バイトが切削するモデルとなっていることがわかる。

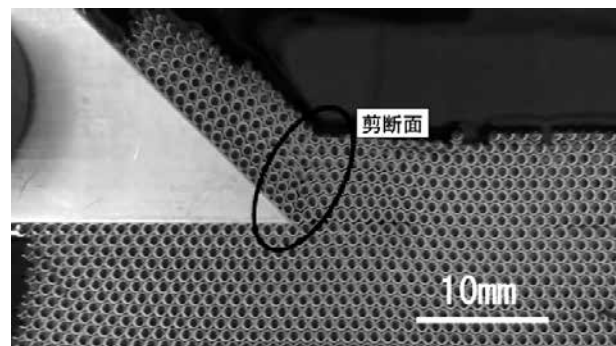


図2.5 切削の再現

また、剪断面における連続した剪断の様子が図2.6である。図内の着色された泡に注目すると、①～④にかけて泡列の配置が変化していることがわかる。また、配置の変化する際刃先部分から右上方向にかけて段階的なずれ、つまりすべりが生じていることがわかる。よって、切削を動的に再現する装置が完成したと言える。

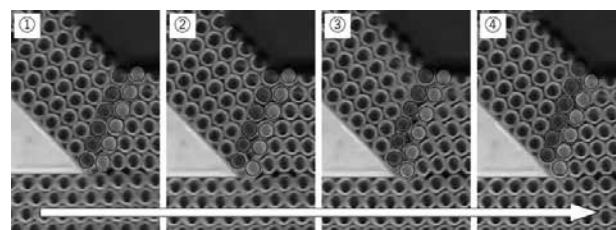


図2.6 連続した剪断の様子

2.3 評価方法

授業実践を通して、授業そのものの評価と教材・教具等の評価を行う必要がある。そのため、生徒に事前・事後アンケートと授業毎のアンケートを取り、生徒からの意見を調査することで評価を行った。事前・事後アンケートは大きく3種に分けられ、「加工等の経験の有無を選択式で問うもの」「加工や理論に対する興味の有無を選択式で問うもの」「用語に対する知識を文章形式で問うもの」となる。得られた結果を分析することで、授業全体を通して加工や理論にどれほど興味を持ったのか、そしてどれだけ知識を得られたのかを知ることができる。また、記述式のアンケートに対してはテキストマイニングによる分析を行い評価した。生徒の記述した内容をそのまま評価した場合、バイアスがかかってしまうため正確な記述の分析が不可能である。それに対し、テキストマイニングを用いることで記述された単語や関連性を統計的に分析し、バイアスのかかっていない正しいデータとして傾向を調査することが可能になる。

3. 結果および考察

3.1 教材の評価

金属結晶の特徴のうち原子の移動が伴うものとして、生徒は「転位」「すべり」「弾性変形」「塑性変形」を学習した。これらについて、泡モデルを用いた金属結晶再現教材での学習以前と以後を比較する。

まず、事前アンケートにおいて金属結晶の挙動に関わる質問を行った。図3.1は「切断・剪断・転位・すべりという言葉を知っていますか?」という質問に対する回答、図3.2は「切断・剪断・転位・すべりという言葉の意味を知っていますか?」という質問に対する回答である。

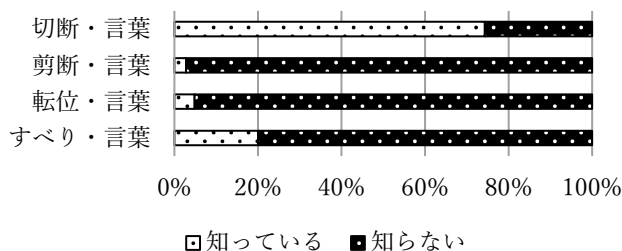


図3.1 事前：各単語に対する認知度 (n=147)

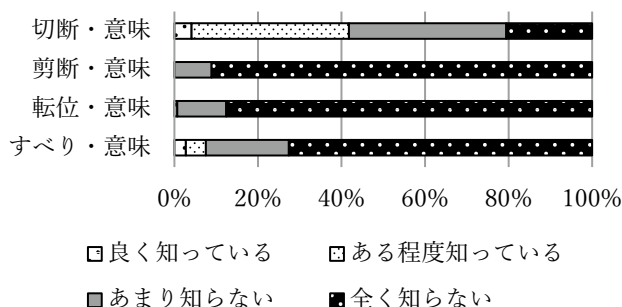


図3.2 事前：各単語の意味の認知度 (n=147)

図3.1, 3.2より、切断という語に関しては知っていると答える生徒が多く、それ以外の言葉については知らないと答えた生徒が多い。また切断の意味を知っているかという質問に対しては、「あまり知らない・全く知らない」と答えた生徒が60%程度いることから、生徒の過半数は金属加工における切断の意味を理解していないと考えられる。また、すべりという言葉に対し「知っている」と答えた生徒が図3.1より20%程度居るが、該当生徒の大半は転位の意味を知らないと回答している。すべりという現象は転位あつての理解であるため、転位を知らずにすべりのみを知っている状況は考えにくい。よって一般的な「すべる」の意味と勘違いしていると考えられる。

これに対し、事後において「切断・剪断・転位・すべりという言葉の意味を自分なりに理解できたと感じますか?」という質問に対する回答が図3.3である。

図3.2の回答と比較し、大幅に生徒自身の感じている理解度が向上していることがわかる。これらの変化に有意差があるかを、t検定を用いて検定したところ、切断は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 2.03E-26】、剪断は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 7.16E-113】、転位は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 1.23E-86】、すべりは【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 4.92E-61】でいずれも有意に差があつた。

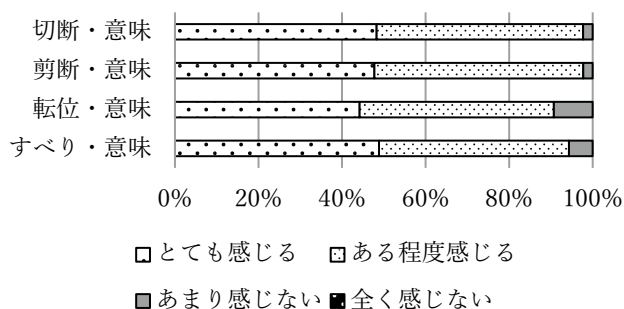


図3.3 事後：単語の意味の認知度 (n=88)

図3.4は、転位・すべりの学習において、スライド資料のみでの学習と金属結晶再現教材を用いた学習に対する生徒の評価である。

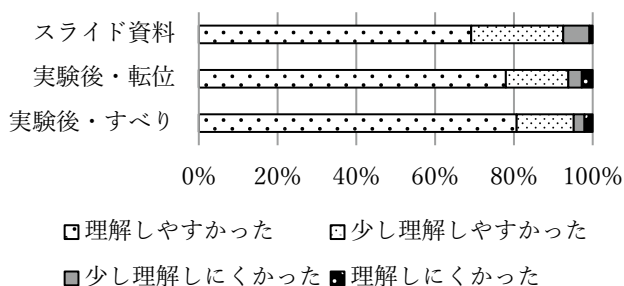


図3.4 転位・すべりに関する理解度の差 (n=121)

スライド資料と実験後を比較すると、全体における「理解しやすかった」「少し理解しやすかった」を合計した割合は95%程度とあまり変わらないが、「理解しやすかった」と回答する生徒の人数が70%程度から80%程度まで増加した。これをt検定にかけたところ、転位に関する比較は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 0.32】、すべりに関する比較は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 0.10】でいずれも有意に差があつた。

また、図3.5は弾性変形と塑性変形について、スライドを用いて学習した後の理解度に関する質問に対する回答、図3.6は「座学で学んだ弾性変形・塑性変形を泡モデルで確認出来たか」という質問に対する回答である。

図3.5より、生徒の90%程度は弾性変形・塑性変形について理解できたと感じている。これは、スライドでの紹介よりも前に実際のバネを引き伸ばし、弾性変形と塑性変形を体感する実験を行ったことが理由であると考えられる。また、図3.6の泡モデル実験後においても図3.5と同様に90%程度が弾性変形・塑性変形を確認できたと答えた。これらの結果をt検定にかけたところ、弾性変形は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 0.94】、塑性変形は【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t) : 0.007】でいずれも有意に差があつた。

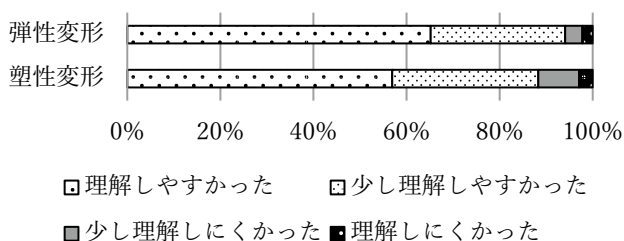


図3.5 泡モデル前：弾性変形・塑性変形 (n=138)

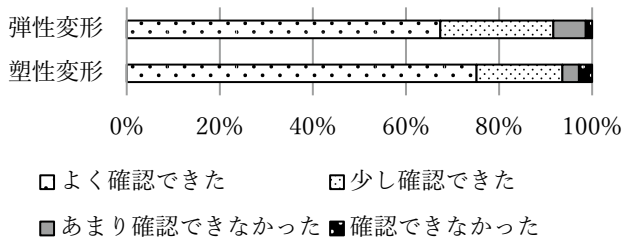


図3.6 泡モデル後：弾性変形・塑性変形 (n=146)

あった。従って、スライドによる説明だけでなく泡モデルを用いた説明を行うことで、生徒は弾性変形・塑性変形に対する理解度が深まると言える。また事前と事後の差において、塑性変形のほうが大きな差があるが、これは泡モデル実験においては転位やすべりが実際に動くのを目の当たりにできることによる印象の違いから来るのではないかと考えられる。さらに、実験後に生徒は「原子と似た形、似た動きが目に見えることで、動きがとてわかり易かった。」「スライドで見るよりわかりやすく、確認しやすかった。」など、目視することによる理解について記述していた。以上の結果より、泡モデルを用いた金属結晶再現教材は生徒の原子の挙動の理解を深めるのに有効であると考えられる。

次に、泡モデルを用いた切削加工再現教材の評価について述べる。まず、事前アンケートにて単語の認知度に対する調査を行った。図3.7は事前における切削という単語の意味をどれだけ知っているかという問いに対する回答である。

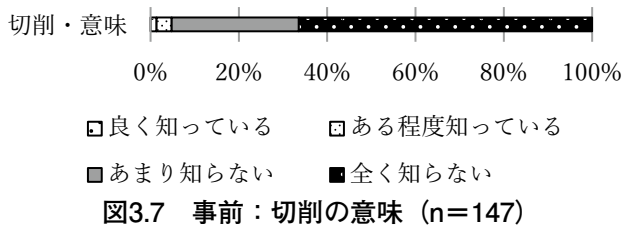


図3.7 事前：切削の意味 (n=147)

図3.7より、生徒の約95%は切削についての知識がないとわかる。これに対し、図3.8はスライドを用いた切削の仕組みについての理解度、図3.9は泡モデル後の切削の仕組みについての理解度である。

図3.8より、90%程度が理解しやすかったと答え、かつ65%程度がよく理解しやすかったと回答していることがわかる。これに対し、図3.9では95%程度が理解しやすかったと答え、かつ挙動をよく確認できたと回答した生徒は80%以上となった。これらをt検定にかけたところ、【t境界値:1.97>P(T≤t):0.004】と有意に差があっ

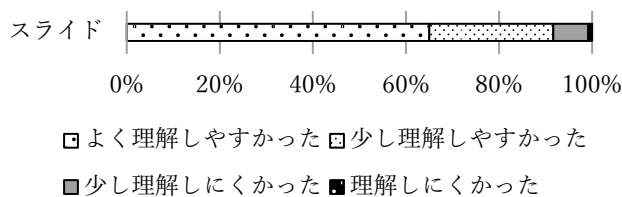


図3.8 切削の学習スライドに対する生徒の評価結果 (n=93)

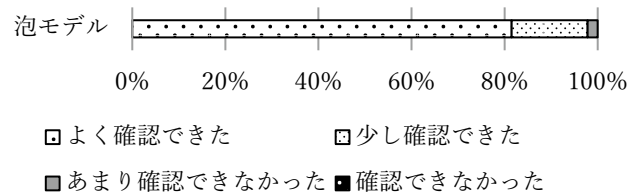


図3.9 切削加工再現教材に対する生徒の評価結果 (n=93)

た。従って、泡モデルを用いた実験はスライドのみを用いた説明よりも、生徒に理解を促す効果があると考えられる。また、図3.10は「質問A：泡モデルを通して切削における剪断面を確認できたか」「質問B：泡モデルを通して切削が連続した剪断であることを確認できたか」「質問C：金属加工における『切削』について、自分なりに理解できたと感じるか」という質問に対する回答をまとめたものである。

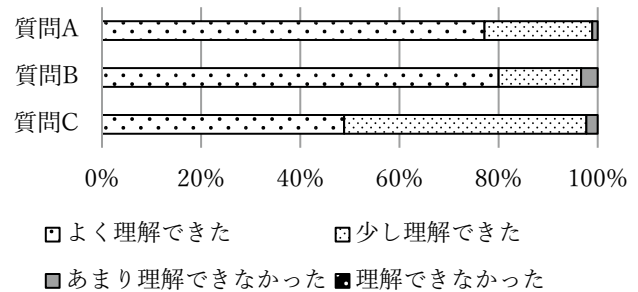


図3.10 各質問に対する回答 (n=93)

図3.10の質問A・Bより、切削における重要な要素である、「切削における剪断面」「連続した剪断である切削」を95%以上が理解できたと感じたことがわかる。また、質問Cでは95%程度が自分なりに切削を理解できたと感じ、50%近くが「よく理解できた」と感じたことがわかる。また、図3.7より殆どの生徒が知らなかった切削に対し、事後アンケートにて切削がどのような現象か記述式的回答を行わせ、テキストマイニングを用いて共起ネットワーク方式で表示した結果が図3.11である。

図3.11より、最も大きな集団①から、「原子に関連した切削」に関する記述、集団②から「金属加工における

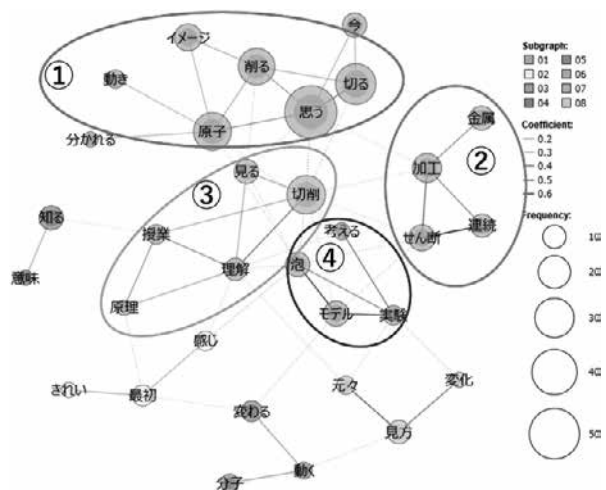


図3.11 事後：切削に対する記述 (n=88)

連続した剪断 (= 切削) に関して記述されたことがわかる。また中央付近の集団③では、授業を通して切削の原理を目視し理解したこと、集団④では泡モデル実験を通し思考したことが記述されていることがわかる。また、授業の生徒の感想では、「文章と図で説明されたときは、なるほど、切削とせん断は原理は同じなんだな〜ぐらいにしか思ってなかったが、泡モデル実験を見たあとで、図をもう一度見返してみると、この図のここの、転位を表してたんだ! というように理解が深まった。」といった、実験を通して理解が深まったという記述が多く見られた。

これらの結果より、泡モデルを用いた切削加工再現教材は、生徒の切削に対する理解を深めるのに有効であると考えられる。

3.2 授業の評価

まず、切断に関する内容について述べる。事前アンケートにおける「切断」という言葉の意味を知っているかという質問の回答は、図3.2より40%程度が知っているかと答えているが、よく知っていると答えた生徒は5%程度であった。これに対し、加工体験を通して切断を分類する体験に対する回答と、その内訳として破断・剪断・切削を体験したものに対する回答が図3.12である。

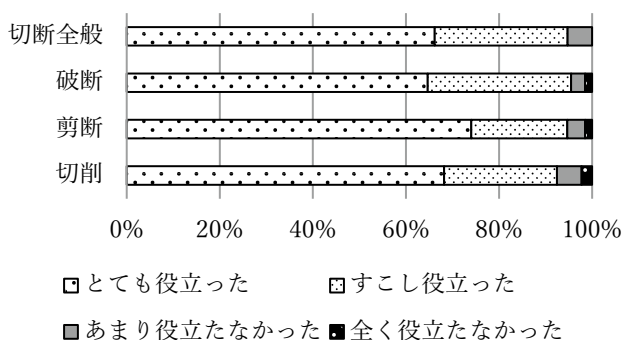


図3.12 各体験に対する回答 (n=134)

図3.12より、いずれも90%以上が「加工体験が理解に役立った」と回答している。また、事後アンケートにおける「金属加工における「切断」を自分なりに理解できたと感じるか」という質問に対する回答が図3.13である。

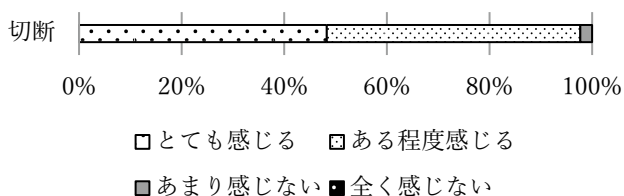


図3.13 事後：切断の理解 (n=131)

図3.13より、95%以上が理解できたと感じ、全く感じないと答える生徒は存在しなかった。事前と事後において、【t境界値: 1.97 > P(T ≤ t): 1.14E-69】で有意に差があり、実際に加工を体験することによる理解と、泡モデルを用いた実験を通じた理解によって段階的に理解の度合いが伸びたものと考えられる。

また、授業を通して知識と技能を両輪とする技術科について学んだが、事後アンケートにて技術科とはどのような教科であるか記述させたものを分析した結果が図3.14である。最も大きい集団①において、「自然科学・工学の知識を活用してものづくりをする」という記述が行われていることがわかる。またこれに関連して、集団②のように「技能を人類に役立てる」という記述もある。また集団③では「理論」「両方」「必要」という記述があり、技術科における理論の必要性を記述した生徒もいることがわかる。集団④では「生活・未来を豊かにする知識を理解・学べる教科」という記述もある。従って、生徒は当初の目的である「自然科学・工学の知識を経た技術科の立ち位置」について理解できたと考えられる。

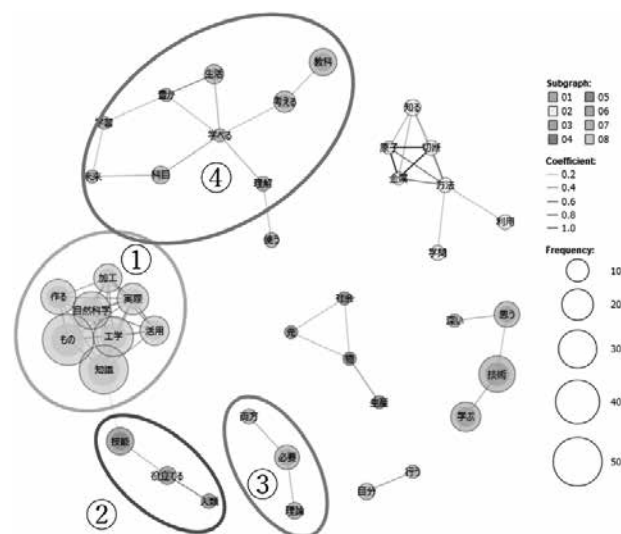


図3.14 事後：技術科 (n=91)

また、生徒個人の変化についても述べる。生徒Aは、事前アンケート「金属加工における『切断』という言葉の意味を知っていますか」等の、言葉の意味に関する問いはほぼ全てに対し、「あまり知らない」「全く知らない」と回答した。また「『切削』に関して、詳しく知りたいと思いますか?」という問いに対し「あまり思わない」と回答した。理由は「金属加工についてよく知らないしあまり興味がないので知りたいという気にならないから」というものであった。また、工具・機械の加工理論に対する興味は全て「あまり興味はない」と回答した。

これに対し、事後アンケートでは「金属加工における『転位』について、自分なりに内容を理解できたと感じますか?」などの問いに対し、「切断」「せん断」「転位」は「ある程度感じる」、「すべり」「切削」は「とても感じる」と回答した。各加工原理の興味の変化については、「少し興味が増えた」と回答し、特に金工はさみについては「大きく興味が増えた」と回答した。泡モデルを用いた実験については「とても大きな効果があった」と回答した。切削という現象の見方に対し、「変化した」と回答し、理由として「ただ薄く切られているだけだと思っていたけれど、よく見ると分子がスライドして切断されていることに気がついた」と記述した。

これらの意識の変化のタイミングとして、3時間目に

における「実際に理論を体験すること」と、4時間目における「泡モデルによる実験を行ったこと」による効果があるのではないかと推測した。まず、事前アンケートにおける、理論への興味に関する質問での平均点が【2.44】点であった。これに対し、2時間目において、授業内で初めて実際の加工と原子の挙動を比較したタイミングでの授業後アンケートの平均点が【3.13】点、事前との有意差は【 t 境界値：2.13> $P(T \leq t)$ ：0.09】であった。また、これに対し4時間目の泡モデルを用いて理論を確認した際の授業後アンケート平均点は【3.86】点、先述の3時間目後のアンケートとの有意差は【 t 境界値：2.16> $P(T \leq t)$ ：0.05】であった。「事前アンケートと理論を体験した際のアンケート」の有意差と、「理論を体験した際のアンケートと泡モデル実験後のアンケート」の有意差を比較すると、後者のほうが大きく差が生まれていることがわかる。ビデオ撮影による態度の変化を観察すると、1時間目に教師が解説をしている最中はあまり興味が無さそうな態度であったが、実験や体験を行った場合積極的に活動するようになったことが判明した。また、泡モデル実験の際に、「回答が必須ではない」と明記したうえで、「改善のため良かった点悪かった点を記述してほしい」という項目をアンケートに設け、回答率55%の状態であったが、そこに「泡一粒一粒〔原子〕が見えやすくてとても良かった」と回答した。必須ではない回答において、学習内容の一つである原子の様子について記述したということからも、一定以上の興味をもったうえで回答したのではないかと考えられる。

4. おわりに

4.1 研究のまとめ

本研究では、学習指導要領の記述の変遷と教科書の内容比較から、現在において金属加工の理論を教える機会が著しく不足していることを指摘した。これに対し、先行研究では理論について詳細に記述された論文においては教材化に至らず、教材として加工全般を理解させる論文では各理論の詳細を伝えられるような教材の開発に至らなかった。また授業実践を通して金属加工の理論を理解させる論文では、原子の挙動まで扱いつつも、その挙動を再現できる教材の不足を述べていた。そのため、ミクロな視点を含めた金属加工を学習できるような教材が必要であると考え、金属切断の理論を学習できる授業の立案と金属結晶の挙動を理解できる教材の開発を行った。さらに、これらの内容を学ぶにあたって知識と技能を両輪とする技術科の在り方を教授できると考え、もう一つの目的として定めた。そして、授業と教材が実際に生徒に対し有効であるか、授業実践を通して評価した。その結果、開発した教材を通し生徒は金属切断の種類や、金属が結晶で構成されることによる特徴である展性・延性・弾性変形・塑性変形などについて体感を伴った学びが達成された。また、金属の剪断や切削に対し、原子の挙動というミクロな視点を含めた理解を促した。特に、泡モデルを用いた金属結晶の挙動や切削の再現では、知識と体験、そして目視による動的な実験により、マクロな加工とミクロな加工を理論という基礎の部分に伴った、体

系的な学習に成功した。これらの授業を通して、製作ではなく理論の学習という内容にもかかわらず、興味の無い生徒が興味を持つようになるなど、金属加工に対する興味、そして技術科における理論への興味を喚起させた。また、一連の授業の構成を工夫することで、教科書やスライドなどによる知識のみの学習よりも、実験を行うことによって、技術科に限らず理解が深まることを学ばせた。さらに、普段の製作が数多の理論に支えられており、理論なしでは技術科の授業は達成されないこと、そして、知識と技能を併せ持つことこそ技術科の本質であることを学ばせることに成功した。

4.2 今後の課題

本研究の授業実践における、切削加工再現装置を用いた学習は、生徒が装置を動かすのではなく、教師が動かしそれを生徒が観察するという形で行った。そのため、生徒が任意に観察したい点を実際の実験で確認することができず、撮影した動画を配布することで対処をおこなった。この理由として、泡を観察台に整列させるのに習熟を要すること、そして切削を再現するには装置を繊細に調整する必要があることが挙げられる。本来実験は生徒自身が行い、体感することで深い学びが達成されるべきである。そのため、今後はより簡易に切削を再現できる実験装置を開発し、生徒自身が主体的に関わるような授業とすべきであると考えられる。

参考文献

- (1) 文部省, “中学校学習指導要領 (昭和33年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s33j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (2) 文部省, “中学校学習指導要領 (昭和44年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s44j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (3) 文部省, “中学校学習指導要領 (昭和52年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s52j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (4) 文部省, “中学校学習指導要領 (平成元年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/h01j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (5) 文部省, “中学校学習指導要領 (平成10年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/h10j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (6) 文部科学省, “中学校学習指導要領 (平成20年告示)”, 国立教育政策研究所 教育研究情報データベース, <https://erid.nier.go.jp/files/COFS/h19j/index.htm>, (参照日: 2023-01-09).
- (7) 文部科学省, 中学校学習指導要領, 東山書房, 2018.
- (8) 木村秀政ほか, 中学校 技術・家庭科男子向き 生活と技術2, 中教出版, 1961.

- (9) 安藤茂樹ほか, 技術・家庭 技術分野, 開隆堂, 2022.
- (10) 佐藤次郎・山口真一, 金属切削における切削条件と切くず形態について, 日本産業技術教育学会誌, 第14巻, 第1号 (1972), pp. 16-19.
- (11) 松尾政弘ほか, 金属切削を模擬したくさび破壊の研究(1)—くさび形状および資料形状の影響について—, 日本産業技術教育学会誌, 第25巻, 第2号 (1983), pp. 65-74.
- (12) 大谷忠, 加工技術の学習を構成する切断加工の教育内容のモデル, 日本産業技術教育学会誌, 第47巻, 第4号 (2005), pp. 323-330.
- (13) 長谷川雅康, 中学校技術科の金属加工学習を堅持しよう, 技術教育研究, 第31号 (1988), pp. 1-10.
- (14) 菊池凡夫, 金属加工の授業「まげて(つぶして)形をつくる方法」—塑性加工法—, 技術教育研究, 創刊号 (1972), pp. 42-55.
- (15) 三上慶一郎・板倉嘉哉, 泡モデル実験装置の再現と泡の生成条件の解明, 千葉大学教育学部 研究紀要, 第70巻 (2022), pp. 353-361.