

粉末冶金法によるものづくり体験講座の実施

谷口 幸典, 奥村 光喜*, 中西 敏文**, 尾崎 充紀, 市瀬 辰己, 山野 晃太郎***

Powder Metallurgy implemented to the Hands-on Education for Introducing Metalworking Technology to Young Students

Yukinori TANIGUCHI, Kouki OKUMURA*, Toshifumi NAKANISHI**
Mitsunori OZAKI, Tatsumi ICHISE and Koutaro YAMANO***

In this paper, we propose applying *Powder Metallurgy* (PM) as a theme of workshop practice which aims to give young students interest in manufacturing technology or material science. Three technical procedures, (1) Simplified metal powder forming method, (2) Using silicone for a means of self making mold, (3) Special sintering method that uses ordinary microwave oven, have been suggested in order to conduct the workshop practice in the common classroom without any special devices. We have held several workshops for young students at our school and junior high school. In the workshop, the copper powder with ager binder was casted into a silicone mold, and was successfully formed to desired shape without compaction pressure. Sintering was demonstrated in the classroom and it seemed that every student had enjoyed looking how the PM parts are produced. The results of questionnaire show that the all student had enjoyed and almost all students have got interest in metalworking technology after proposed workshop. It is concluded that proposed procedures are very effective as a means to introduce the knowledge of manufacturing technology to young students or kids.

1. 緒 言

我が国における中学校学習指導要領解説では、平成 14 年より技術科教育課程における「金属加工」が「技術とものづくり」という広範な項目に含まれる形に変更された。それでも平成 23 年までの指導要領においては、例えば「炭素鋼，黄銅，アルミニウム合金などの特徴やその使用方法を知らせるとともに，製作品に適した金属が選択できるようにする」など，材料および金属加工の教育に関して専門的な記述や指示が残されていた。しかしながらそのような記述も平成 24 年度の新たな改訂においては削除され，「材料の特徴と利用方法を知ること」，「材料に適した加工法を知り，工具や機器を安全に使用できること」などのように具体性のない解説に変更されたことが指摘されている⁽¹⁾。学習指導要領から「金属加工」が削除された時期に中学校へ入学した人材が大学を卒業して社会人となる今日において，このような技術教

育に関する指導方法の簡略化が図られているという事実は，もちろん意図的にもたらされているのではない。しかし我が国の高度経済成長を支えてきた金属加工技術の今後を支える人材をいかに育てるかを考えると，憂慮すべき事態であると言える。

一方で，ある中学校の生徒に対するアンケート調査においては，ものづくりに関係する教科を好む中学校生徒は少なくなく，実に 60%以上の生徒が技術や理科を好きであると回答し，「もっと作業や実験をしたい」という声があること，さらには，「将来ものづくりに関わる仕事をしたい」と考える生徒の割合は 18%であることが示されている⁽¹⁾。このような生徒のニーズに対して，金属加工に関するものづくり体験の機会を与えることは非常に有効であろう。しかし，今現在の学習指導要領において専門的な知識を交えた具体的な指導の指針は示されていないために，ものづくり体験の実施については教育現場の教職員の創意工夫に一任されることになる。別の中学校

*元機械工学科学生，現（独）国立印刷局

**元機械工学科学生，現（株）伊藤金属製作所

***機械工学科学生

の調査²⁾においては、夏季休業中に何らかのものづくり体験に参加させた生徒の割合は約 46%でほぼ半数に達しているが、その内訳で最も多いのは「料理」であり、実に体験教育の 30%を占める。「金属加工や木工に関するもの」は 7%と報告されているが、それは近隣の国立大学との連携で達成されたものであるという。このように、中等教育に課せられている、あるいは求められている「ものづくり教育」の解釈の多様性・広範性もさることながら、近年の現場教員の多忙さを考えても、学習指導要領の範疇でもものづくり教育を立案・手配・実施することがいかに困難であるかが伺える。

以上のように、小中学生を対象とした「ものづくり体験講座」を実施することは今後ますます重要であり、また、金属加工に関する体験講座の必要性も高まっていると考えられるが、そのような講座を立案・実施するには以下に挙げる項目を配慮しなくてはならないであろう。

(1) 設備と経験

金属加工にはしかるべき設備と工具が必要であり、指導する側にはそれを適切に扱うことのできる経験が問われる。

(2) 安全性

小中学生でも安全に作業ができる内容であることが必須条件である。

(3) 効果

ものづくり体験教育の有効性は、体験時の受講生の五感への働きかけはもちろん、受講生自らが作業した結果を製品として家に持ち帰ることができるなど、体験結果を持ち帰ることができるような内容が効果的である。

そしてこれらを小中学校の教育環境や保有設備で達成することは非常に困難である。例えば、可搬性のある卓上工作機械を用いた切削加工体験を実施する場合、加工内容の決定とその指導には十二分の配慮が要求される。塑性加工を題材とする場合も同様であり、例えば可搬可能な卓上プレス機と簡単な金型を用意し、鍛造加工の体験を行わせるとしても、金型は非常に高価であるし、卓上プレスの加圧容量を考えても加工可能な素材は変形抵抗が低いものに限られる。また、木工や陶芸などの加工体験においては一人一人の受講生が自分自身で定めた製品形状を作成することでより一層の興味を喚起するような内容とできるが、金属加工でそれを実現するためには、作製する製品形状にある程度の選択性を持たせるために多くの工作機械や金型が必要となる。この場合、実施費用や運搬の面で問題となるし、実現できたとしても、特に安全面においてしっかりと教育された複数の指導者や実験補助者が必要となってくる。現場の教職員が通常業

務の空き時間を利用してそのような体験講座を実施するには予算面でも準備作業面でも現実的ではない。したがって金属加工に関する体験教育テーマとしては、簡単な板金加工や手仕上げ加工を選定せざるを得ないのが実状であろう。

そこで筆者らはこれまでに、粉末冶金法についてそのプロセスを特殊な設備や工具を必要とすることなく簡略的に実演することについて検討し、それを小中学生向けの体験教育のテーマとして運用することを提案している³⁾。粉末冶金法は、各種金属粉末を原料としてそれを加圧成形・焼結することで金属製品を得る手法であり、各種焼結合金の作成や、複雑形状部品の効率的な生産を行うための手段として利用されている生産加工技術である。最終製品を得るためには焼結という熱処理を実施する必要はあるものの、素材が粉末という半流動体であることから、これを体験教育のテーマとして実施できれば、受講者が思い思いの形状を造形するという点において、通常の金属バルク材の加工よりも容易に金属製品の造形作業を行うことができるという利点がある。

このような背景より筆者らは、教室や理科室などの環境において粉末冶金法を簡便に体験～実演する手法として、「寒天」を結合剤とした金属粉末スラリーを型に流し込んで成形する手法、ならびに、それによって得られた金属粉末成形体を通常の電子レンジで焼結するという、「簡易粉末成形・焼結法」を提案してきた。本報では、本手法を奈良高専機械工学科における小中学生を対象とした公開講座として運用した結果とその教育効果について報告する。

2. 実験方法および実験条件

2.1 寒天をバインダとした簡易粉末成形法

作製する金属素材となる金属粉末として、その焼結の簡便さや入手性から純銅粉末（電解銅粉、平均粒子径約 $30\mu\text{m}$ ）を選定して用いた。また、金属粉末を熔融することなく焼結によって合金が作製されることを実演するために、添加混合粉末としてニッケル粉末を使用し、白銅（Cu-25%Ni）を作製するものとした。本手法では、寒天水と原料粉末を質量比 33:67 で混練してスラリーを作製した。寒天は細胞培地用の粉末状のものをを用い、マントルヒーターとスライダックを用いて 80°C 付近に加熱保持した水に完全に溶解させた。寒天水の濃度は約 2wt.% で一定とした。その後、温度を 85°C 前後で保持しながら寒天水と原料粉末を混練した。図 1 に混練および成形工程の写真を示す。図 1(b) に示すように、寒天水との混練によって原料粉末はスラリー状となる。そのため

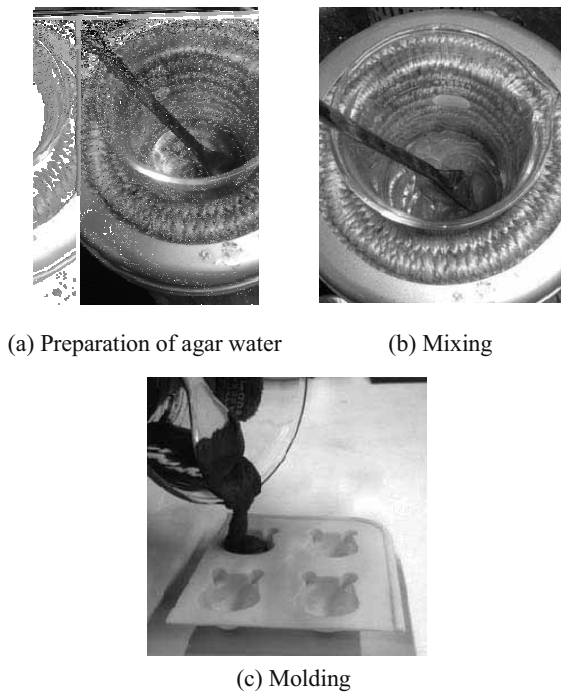


図1 寒天-金属粉末スラリーの作製とその成形の様子

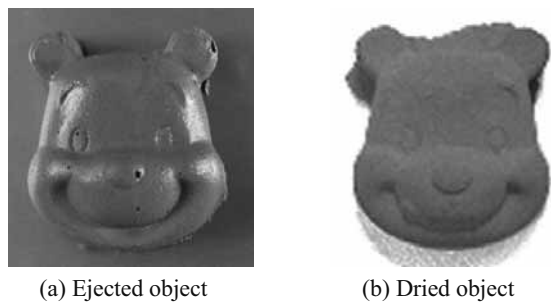


図2 寒天成形体の外観写真

図1(c)のように、市販の料理用シリコン型など、任意の成型型に直接スラリーを流し込んで無加圧でモールドイングすることが可能となる。モールドイング後、冷却により寒天成分がゲル化して成形体となり、型からの抜き出しが可能となる。図2は本手法で成形された成形直後の成形体と、それを乾燥させた後の成形体の写真である。型の形状を十分に再現できていることがわかる。

2.2 受講生自らの手作業による成型型の作製手法

体験講座においては、受講者それぞれの任意形状の製品を自分の手で造形し、それをおみやげとして持ち帰ることができるのが、より一層の興味を喚起するのに有効であると思われる。そこで本研究では、先の簡易粉末成形法に使用する粉末成型型を受講者自身が短時間で簡便に作成できる手法として、受講生が作りたい形状の小物部品を持参し、それをシリコン材に押しつけて形状

を転写することによって成型型を作成する手法を提案して体験講座に運用した。受講生に作りたい製品の原型をあらかじめ選定・持参してもらい、それを型取りした成型型に先の簡易粉末成形法を適用することで、受講者がそれぞれ作りたい形状を造形できるようにすることをねらいとした。型取材の特性としては、①安全に作業が行えること、②型取りが短時間で終了できること、が求められる。これらを満たすものとして速乾性のシリコン材（アグサジャパン株式会社）を選定して使用した。図3に、提案する成型型の作製手順を写真として示す。図3(a)はそれぞれシリコン材のA剤、およびB剤であり、これらを練り合わせると、約1分で硬化が始まり、10分程度で硬化が完了する。練り合わせたものに型取りの原型をすみやかに押し付けた状態が図3(b)である。硬化後に原型を取り出して、転写形状の厚みの半分までを残す形で余分な部分をカッターナイフやサンドペーパーで削り落とすことで型が完成する。このようにして、受講生が持ち込んだ原型形状の半面をレリーフ状にコピーした金属レプリカを作製するものとした。

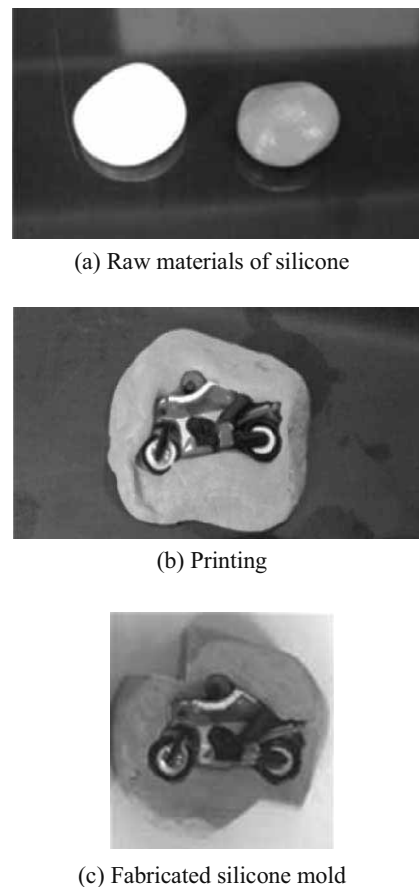


図3 型取り用シリコンによる成型型の作製手順

2.3 電子レンジ焼結の実演

簡易粉末成形法で成形された成形体は、焼結のために十分な乾燥を経て水分を除去しておく必要がある。乾燥および焼結にはそれぞれ数時間の処理が必要となるので、成形を行った当日のうちに製品を完成して受講生に持ち帰ってもらうことはできない。しかし、成形工程の後に焼結という熱処理を施すことで金属製品が完成する様を実演することは、粉末冶金法の面白さを伝えるためには重要である。通常の実験では焼結は熱処理用電気炉を用いて行うが、通常の教室で実演する場合において電気容量の問題もある。そこで、筆者らが提案している電子レンジ焼結法を用いて、成形体が焼結される様子を実演するものとした。この手法は、断熱材を介して二重に配置したアルミ製円筒のつば内に備長炭粉末を充填し、それを加熱炉として用いるものである。電子レンジ庫内の内壁を断熱材で十分に断熱して加熱炉を庫内に置き、通常のように電子レンジを操作してマイクロ波を照射するだけで、つば内の備長炭は激しく発熱される⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この発熱を焼結のための高温熱源として利用するというものである。備長炭粉末の粒子径を 1~5mm 程度、使用量を 5~10g の範囲とし、電子レンジの出力を 700W とした場合、10 分程度のマイクロ波照射時間によって、銅粉末成形体の焼結温度に適する 900℃程度まで急速加熱できることを確かめている。またその後出力を約半分程度の 350W としてマイクロ波の照射を続ければ、900℃前後の温度で炉内温度の保持が可能であることを見出している。焼結は、乾燥した寒天成形体をつば内の備長炭粉末に埋没させ、マイクロ波を照射することで行う。備長炭粉末は高温で灰化するが、それによって発生する一酸化炭素および二酸化炭素によつてつば内の酸素が減少するため焼結体表面の酸化が大気中の焼結と比べて抑制されるという利点もある。

2.4 公開講座の実施

以上の手法を体験講座のテーマとして運用する場合、二日間の日程とすることが望ましい。すなわち、一日目に説明、シリコン成形型の作製、および、寒天成形体の作製を行い、二日目に焼結の説明と実演、および、窯出し作業と焼結体の仕上げ作業を実施する。二日間の日程での実施ができない場合は、受講生の成形作品は後日焼結を施して送付することになる。

これまでに三回の体験講座を実施した。平成 23 年度は大和郡山市との連携事業として科学クラブに所属する小学生 15 名に対して 3 時間の講座を実施した。平成 24 年度は奈良高専機械工学科公開講座として夏季休業中に二日間の日程を設定し、いずれも 3 時間の講義時間で実

施した。チラシや本校ホームページにて参加を募集した結果、定員 20 名に対して 16 名の参加応募があり、結果 14 名の参加者となった。もうひとつは、近隣中学校に赴いて実施する出前授業である。これは、近隣中学校からの依頼により、中学校 3 年生を対象として、授業時間 50 分間、参加人数 24 名の体験授業を、入れ替え制で二回実施するというものであった。本報では、平成 24 年度に二日間の日程で実施した公開講座の結果について述べる。

3. 公開講座の結果と教育効果について

一日目に金属と他の材質との違いを説明し、粉末冶金法の利点について理解させた後に、型の造形および粉末成形作業を行わせた。受講生が作製したシリコン型の例を図 4 に示す。成形型の仕上げ作業でカッターナイフを用いるので、受講生 2~3 名あたり 1 名の補助学生が作業時の安全確保を行った。

1 名の受講生については型取りの際のシリコンの混練が不十分で硬化が不十分となり、造り直しが必要であったが、全ての受講生が型の造形を完了するのに要した時間は約 40 分と、問題なく作業させることができた。それらをカップに入れ、カップごと原料粉末スラリーを流し込んでモールドイングを行った。受講生の半数が小学生であったこともあり、やけどの危険性を考慮して、モールドイング作業は教員と補助学生が行った。作業の様子を図 5 に示す。モールドイングしたスラリーを十分に

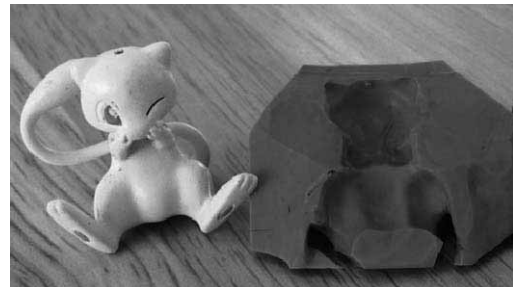


図 4 受講生が持ち込んだ原型と造形した成形型の例



図 5 モールドイング作業の様子

固めるためには冷蔵庫で 10 分ほど冷却する必要があるが、その時間は休憩時間に充てた。ここまでの作業時間は約 100 分間であった。

冷却された成形体の型からの抜き出しは受講生自身で作業させた。この作業が最も難しく、原型形状が複雑であり、型の抜き勾配などが十分でない場合は成形体の抜き出し時に割れが発生してしまう。それでも、型の修正を施して再度モーディング作業することで、全ての受講生に対して時間内に成形体を作製させることができた。モーディング作業は 30 分程度で完了し、したがって、簡易粉末成形法による金属粉末成形体の作製作業は、小学生を対象とした場合でも二時間程度で完了させることができた。受講生が作製した寒天成形体の写真を図 6 に示す。

公開講座二日目は、まず金属合金に関して簡単な説明を行った後、焼結のメカニズムについて紹介し、電子レンジ焼結の実演を行った。なお、受講生が作製した成形体は前日のうちに実験用電気炉によって焼結を済ませており、実演に用いた成形体は別に用意しておいた。実演の際は放射温度計を用いて加熱炉内の温度を受講生に測定させることで焼結温度の確認を行った。図 7 に電子レンジ焼結の実演の様子を示す。

実演後、実験用電気炉にて焼結された焼結体の窯出しを行い、30 分間程度、ワイヤブラシやサンドペーパーによる研磨作業を行わせて、製品を完成した。14 名すべての小中学生に対して安全に金属製品を作製させることに成功した。図 8 に受講生の作製した金属製品の写真の一例を示す。

受講後に行ったアンケート結果について表 1 に示す。なお、結果は平成 23 年度の大和郡山市科学教室の受講生 15 名の回答も含め、29 名の回答をまとめたものである。まず、受講前の受講生のものづくりに対する興味については、公開講座が募集形式であることから実に 24 名もの受講生が既に興味を有していた。公開講座が楽しかったかどうかについては全員が楽しかったと回答した。その理由を自由記述欄で聞いた結果を以下に列挙すると、

- 金属を作れたから
- 焼結の方法など、知っていなかったことがわかったし、前から興味があった高専を見に行くことができたから
- 今までこんな体験はしたことがなかったので、初めてで面白かった
- 私でもできるような簡単な作り方だったから
- 金属で物をつくるのは、生まれて初めてでした。でもその方法はとても簡単で、驚きました。高専への興味が膨らんでよかったです。もっと知りたい！



図 6 受講生が作製した寒天成形体の例



図 7 電子レンジ焼結法の実演の様子

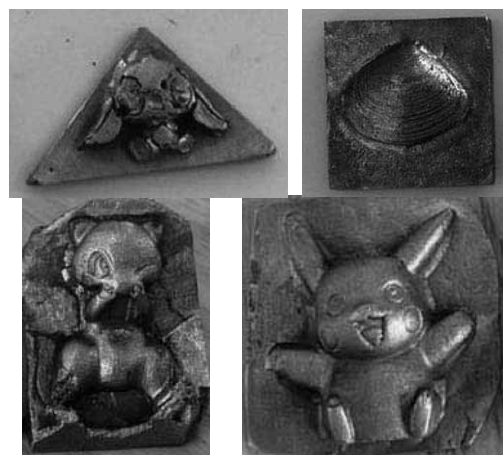


図 8 受講生が作製した焼結金属製品の例

- 金属がカッターで切れるとか、850℃で焼くとか、色々学べた
- いろいろな初めてな事をできてうれしかったし、優しく教えてくれたのでよかったし、楽しかった
- 作るのが簡単でしかも楽しかったので自分でも楽にできた
- 普段、家や学校でできないことをできた
- 簡単できれいな金属アクセサリが作れたから
- 作るのが楽しかった
- ドラえもんの形がうまくできたから

表1 公開講座のアンケート結果

質問	これまでにものづくりに関する技術に興味はありましたか？			
解答	興味があった	特に興味がなかった	考えたこともない	その他
人数	24	5	0	0
質問	本講座は楽しかったですか？			
解答	とても楽しめた	まあまあ楽しんだ	思ったほど楽しめなかった	つまらなかった
人数	24	5	0	0
質問	本講座を受講してみて、金属材料やその他の加工法に関する技術に興味が生まれましたか？			
解答	興味が出てきた	あまり興味は持てなかった	以前よりあまり興味がなく、受講後も興味は生まれなかった	
人数	23	6	0	
質問	粉末冶金法について知りたいと思いましたが？			
解答	もっとよく知りたい	同じような教室があればまた参加したい	特に自分で調べようとは思わない	どちらかという別のことが知りたい
人数	19	6	4	0

というものであった。このことから、受講生にとっては本講座が初めての金属加工体験であり、また、簡単な作業で自分の作りたい形状の金属レプリカを作製することができたことを非常に楽しんだことが見て取れる。

次に、受講後に金属加工に関する興味が生まれたかどうかについての回答は、23名の受講生が「興味が出てきた」と回答し、その割合は79%に達した。しかし粉末冶金法に関する学習意欲については、「もっとよく知りたい」との回答は65%にとどまっており、相対的に低い結果となっている。これは、そもそも金属加工に関する十分な基礎知識を得る機会がなく、今回その理解が不完全なままで粉末冶金法に関する説明を受けたことが影響しているのであろう。それでも21%の受講生が「また参加したい」との回答を選択しており、合わせて86%の受講生が粉末冶金法によるものづくりについて興味を持ったことになる。

最後に、受講生の約半数がアンケートの感想欄に記述したのでその内容を以下に列挙する。

- ◆ 電子レンジで焼いて作った金属(赤いプーさん)はすごかったです。初めて見ました
- ◆ 楽しかった
- ◆ 作り方がとても簡単だった。寒天とレンジで金属が作れることが驚いた
- ◆ 興味をもっとでできたのでまたやりたい
- ◆ また来たいと思います
- ◆ 作品がきれいにできたのでよかったです。楽しかったです。ありがとうございました
- ◆ 説明がわかりやすいのでよくわかりました。作れてよかったです。ありがとうございました
- ◆ 「粉末冶金法」の事をもっとよく知りたいし、次にこのような講座があったら参加したいです。とても楽しかったです。ありがとうございました

- ◆ とりあえず面白かった
- ◆ 自分的にはもっと高いレベルの実験もしてみたかったです。といっても何も分かりませんが、僕はこの高専を目指しているの、とてもためになった有意義な時をすごせてうれしかったです
- ◆ 最初は難しいかなと思っていましたが、キッチンでもできるような方法だったので面白いなと思いました
- ◆ 金属の加工の事以外にも性質などを知ることができとても楽しかったです
- ◆ 思ったよりも実験は簡単だったし、面白かったです。また来年、機会があれば今度は別の講座にもいってみたいです
- ◆ シリコン型とか金属をつくったので楽しかった
以上より、実施した公開講座は金属加工に関する体験教育テーマとして非常に有効であると言える。

5. 結 言

提案した簡易粉末成形-焼結法を公開講座のテーマとして通常の教室内で運用した。その結果、小中学生に安全にかつ簡単に金属製品の造形を行わせることに成功した。アンケート結果は非常に好評であり、受講生全員が公開講座を「楽しかった」と回答したほか、79%の受講生は金属加工に関して興味が出てきたと回答した。したがって、本公開講座は金属加工に関する体験教育テーマとして非常に有用であると言える。

参考文献

- (1) 内海 能亜：教員養成大学と中学校技術科のものづくり教育、塑性と加工, vol.53, No.616(2012), 404-407.
- (2) 鈴木 富樹：渋谷区立松濤中学校のものづくり教育に対する生徒意識調査と新学習指導要領の全面実施、塑性と加工, vol.53, No.616(2012), 400-403.
- (3) 谷口幸典, 御田健太, 市瀬辰己, 尾崎充紀, 児玉謙司：寒天をバインダとした銅粉末の成形と電子レンジを用いた焼結による粉末冶金法の体験教材化の試み, 粉体粉末冶金協会講演概要集 2011-05(2011), 152.
- (4) 藤田繁治：電子レンジを用いて二元合金をつくる実験の教材化, 愛媛県総合科学博物館研究報告, No.8(2003), 1-5.
- (5) 荒木一郎, 渡辺美恵子：市販の電子レンジを利用した金属溶解装置の試作とその応用, 新潟大学教育人間科学部紀要, No.8-2(2005), 101-107.