

アルミニウム空き缶の溶解・鋳造による ものづくり教育の推進★

宮川 昇^{*}、秋本 泰宏^{**}、宇都 俊久^{***}、中村 成良^{****}、宮崎 擴道^{*****}、
林川 基治^{*****}、澤本 章^{*****}、森岡 弘^{*****}、岡村 吉永^{*****}

Promotion of Making Education by Exercise of Melting
and Casting of Vacant Used Aluminium Cans

MIYAKAWA Noboru, AKIMOTO Yasuhiro, UTO Toshihisa, NAKAMURA Nariyoshi
MIYAZAKI Hiromichi, HAYASHIKAWA Motoharu, SAWAMOTO Akira
MORIOKA Hiroshi and OKAMURA Yoshihisa

(Received June 18, 2003)

キーワード：ものづくり、技術科教育、アルミニウム、空き缶、リサイクル、鋳造、鋳物、
金属加工

1. はじめに

近年、青少年の「ものづくり」への関心の程度が低くなり、日本の伝統工芸技術の後継者が不足していることが報道されている¹⁾。そのため、ものづくりに係わる団体、学会等がものづくりイベントを開催するとともに、伝統工芸技術の重要性を青少年に普及する活動を行っている²⁾⁻⁴⁾。文部科学省においても、中学校の技術教育の指導骨子に、「情報とコンピュータ、ものづくり」を基本方針に掲げており、ものづくり教育の推進を図っている。

これを受けて、中学校技術教育では、ものづくりを教材とした授業実践が活発に行なわれている。その一つに、「アルミニウム空き缶を溶解・鋳造し、作品をつくるものづくり教育」の授業実践がある。アルミニウムの溶解熱源として、灯油バーナー⁵⁾、レンガを組みコークスを用いた溶解炉、豆炭と七輪を用いる方法が報告されている。しかし、この授業実践については、まだ実施上の問題が残っている。

これらの実践内容が、溶解・鋳造を含んでいるので、授業中に、溶解途中に溶解炉や七輪の温度を下げないように工夫する温度管理技術と鋳込みにおける細心の注意力が要求される。また、短時間の鋳込み作業の良否で、鋳造作品の出来上がり状態が決まってしまう。したがって、細かな注意が必要であるが、指導教諭1名で、生徒数が20人以上の通常の中

★ 日本産業技術教育学会中国支部第32回大会 (2003年5月31日)、(鳥取大学教育地域科学部)にて発表

※ 山口市平川中学校

※※ 山口大学教育学部附属光中学校

※※※ 山口大学教育学部 (学生)

※※※※ 山口大学大学院教育学研究科 (院生)

※※※※※ 山口大学教育学部

学校の授業では、指導教諭からの諸注意が生徒に伝わりにくい。生徒に高い達成感をもたせるには、鑄造技術的にも成功率の高い本実践方法の工夫が望まれる。現行では、とくに、①授業時間内で作業が終了しにくい、②(砂+水)とで砂型を作っているのに、時間が経つと、水分が蒸発して乾燥し、砂型が崩れてくる、③温度が十分に上がらず、アルミニウム空き缶がよく溶けない、④鑄造物(作品)表面に鑄造巣の欠陥が出来る、などの問題が生じる、ことなどが報告されている。そこで、アルミニウム空き缶の溶解・鑄造の授業実践を成功率が高く、かつ効率的に行なうために、砂型製作法、溶解方法を検討した。また、授業後にアンケートを配布して、本実践への生徒の意識調査を行なった。

2. 方 法

本授業実践は、平成15年2月～3月の期間に、山口市平川中学校及び山口大学教育学部附属光中学校において、2年生の技術の「選択」の授業で実施した。授業には、平川中学校では20名の生徒が集まり、附属光中学校では、30名の生徒(内訳、男子生徒:25名、女子生徒:5名)が参加した。過去の授業実施上での問題点を解決するために、以下の①～④の試みを行なった。

①砂型を長持ちさせるために、(鑄鉄用砂+10%水ガラス+炭酸ガス)からなる砂型をつくり丈夫な砂型とする。(砂に水ガラスを混入して十分に混ぜた後、砂型を成形し、数日間、自然放置させ、大気中の炭酸ガスを吸収させて砂型を固める。水ガラスは炭酸ガスを吸収して固まる性質があるので、炭酸ガスを吸収し砂型が固まる。)②砂型を長持ちさせるために、(青銅用砂+ベントナイト(風化した火山灰)+とうもろこし粉末(デキストリン)+デンプン系粘結剤+水)の混合物を用いて丈夫な砂型を作る。(なお、砂:ベントナイト:とうもろこし粉末:デンプン系粘結剤:水の配合比率(重量比率)は、100:6:1.1:1.1:2.6である。)なお、従来から使っている(青銅用砂+水)の砂型も使用した。以上のように、砂型については、計3通りの場合について検討した。

③溶解用鉄鍋を小型とし、温度を上がり易くする、④風除けフード(縦450mm×横(全横長さ)900mmの大きさ、横長さ300mm、600mmの位置で曲げ加工し、コの字の形フード)を設置して、風による七輪と溶解用鉄鍋の温度の低下を防ぎ、加熱中のアルミニウムの温度を下げないようにする。

授業中の状況の写真撮影を行うとともに、生徒にアンケート用紙を配布して、生徒の意識調査も行った。なお、鑄造方案は、「(株)かめや」で指摘された方法⁶⁾を大枠採用したが、鉄鍋の改良、砂型の改良、鋼製の鑄枠の採用、風除けフードの設置、等の方法を新たに、改善法として検討した。

3. 結 果

3. 1 作業の流れ

図1に、アルミニウム空き缶による鑄物の製作を行う場合のフローチャートを示す。①鑄物のデザインの構想、②現型(げんかた)のデザイン的设计、③現型づくり、④砂型(鑄型)づくり、⑤溶解、⑥鑄造、⑦仕上げ、の各工程の順番で作業が進められる。1コマ90分の授業で、約6コマで、一通り、授業全体が完了する授業設計である。

3. 2 現型の製作と鑄型の製作

図2(a)に、附属光中学校の技術演習室で、教諭が、生徒にアルミニウムを溶かす「七輪」について説明している授業中の様子を示す。また、鑄物、鑄造とは何かについて、資料を配布して説明を行なっている。生徒は熱心に説明を聞いている。

図2(b)に、鋼製の鑄枠と鑄枠内に置いた現型を示す。厚さ1mm×長さ430mm×幅40mm、長さ200mm、400mmの位置でコの字型に折り曲げる。これを1対用意して、組み合わせ、その周囲を、太目の直径φ2mmの針金でくくってある。

キーホルダーの現型は、切り出した平板の木材に、平板状の発泡スチロールをカッターで切って貼り付けたもの⁶⁾及び紙粘土を用いて作製したものを使用した。図2(c)は、砂型を製作中の生徒の様子を示している。図2(d)は、砂型の中に溶湯が通る湯道を掘り作っている様子を示した。

次に、現型と湯道を紙粘土で作る場合を図3に示した。

図3(a)は、紙粘土を用いて作ったキーホルダー現型(矢印A)と湯道(B)を示した。約15mm×約7mm×約20mmの大きさに成形した湯道を必要な数だけつくり、現型とともに砂型に埋めておくと、後に砂型に湯道を作る(竹へらで掘る)手間が大きく省かれるので好都合である。図3(b)は、鑄枠の中に現型と湯道を置いた状況を示す。

図3(c)は、現型と湯道が組み込まれた鑄枠の中に砂を詰め、図3(d)は砂をつき固めている様子を示した。なお、本稿の最後の資料に、紙粘土を用いて、現型と湯道を作る場合の作業工程を、模式的に示した。

3. 3 溶解・鑄造作業

図4は、本実践で検討した種々の大きさの溶解用の鉄鍋を示した。矢印Cは、鉄鍋で大きさが直径φ230mm×深さ60mm×厚さ1.2mmであるが、七輪の火力に対して鍋が大きすぎ、また、鍋が大きいただけ放熱量も大きいので、アルミニウムが溶け出すには、時間がかかりすぎ、溶解が迅速に行なえなかった。矢印Dは、本実践で使用した鉄鍋である。大きさが直径約φ150mm×深さ55mm×厚さ3mmの鑄鉄製の鍋であり、厚さがあり耐久性に優れるので、繰り返し使用可能である。

矢印E(取っ手付)と矢印F(取っ手無し)は小型のステンレス製の鉄鍋である。矢印Eの鍋及び矢印Fの鍋は、それぞれ、直径φ150mm×深さ40mm×厚さ0.5mm、直径φ100mm×深さ50mm×厚さ0.5mmである。これらの鍋は温度は上がりやすいが、数回使用すると、鍋に穴があいた。最終的に、矢印Dの鉄鍋が本実践の溶解には最も適切であった。溶解に先立って、まず、豆炭を「火起こし専用の容器鍋」に入れ、ガスコンロで豆炭に着火させた。その後、豆炭を七輪に入れ、七輪の送風口から、ドライヤーの冷風を溶解が終了するまで送風した。図5(a)、(b)は、豆炭を熱源として七輪で溶解している様子を示す。図5(a)、(b)中に示すようにアルミニウム空き缶は表面の塗料をはがさずに、開けた口を上にして鉄鍋にそのまま入れる。

なお、空き缶をつぶし、圧縮させた状態で、鉄鍋に入れると、空き缶の温度上昇が遅くなり、溶けるのに時間がかかる。

空き缶の温度が上がりだし、まず、表面の塗料が焦げて、煙が発生する。また、必ず、開け口がある側を上にするべきである。空き缶内に水分が残っているアルミ空き缶を開け口を下へ向けて、鉄鍋に挿入すれば、高温のため水分が急激に水蒸気となり、これにより溶けたアルミニウムが飛ばされて飛散する可能性がある。安全のためには、必ず、アルミ

缶の口の開いた側を上に向ける必要がある。図5(b)は図5(a)から約30秒、時間が経過し、アルミニウム缶がさらに溶けていく状況を示した。図5(a)に示すように、七輪の上には、鉄製で環状の「上置き」(矢印G)⁶⁾が設置されており、この「上置き」が必ず必要であり、これは、七輪の上部の水平方向からの熱を逃がさず、温度の低下を防ぐ働きがある。また、上置きがあれば、七輪の内容積が増した効果が得られ、豆炭を七輪に多く挿入できる。この上置きが無いと、温度が上がりにくく、アルミニウム缶が溶け難い。なお、七輪は、市販の七輪を使用するが、やや大きい七輪、すなわち、高さ約240mm×最上部の外形φ270mm×最下側の外径φ200mmの大き目の七輪が、普通サイズの七輪、高さ約220mm×最上側の外形φ260mm×最下側の外形φ195mmの七輪よりも、豆炭を多く入れ込むことができ、溶解能力が優れている。

七輪には、豆炭を上から下まで、できるだけ多く入れている。上置きの内側にも、豆炭を挿入している。

なお、熱源として、市販のガスコンロを用いて、小型で溶解しやすい図4の矢印D、Eの鉄鍋でアルミニウム空き缶の溶解を試みた。しかし、火力が不足しており、アルミニウム空き缶が溶解するまでには至らなかった。

図6(a)、(b)には、附属光中学校での授業風景を示す。生徒が鉄製の火箸を使って、温度の上がった鉄鍋に、アルミニウム缶を入れ溶解している状況を示した。図6(c)には、生徒が鉄鍋の中の溶けたアルミニウムを砂型に流し込んでいる(铸造)様子を示した。铸造作業では、溶けたアルミニウム溶湯を、遅滞無く、静かに砂型に流し込む必要がある。アルミニウムの融点は、660°Cであり、七輪の中の溶湯の温度は、約800°Cまで温度が上がっている。

しかし、铸造のため、鉄鍋の端をプライヤー工具でしっかりつかみ、七輪からはずすと、温度が急激に低下していく。温度が融点より高く、溶湯の流動性があるうちに、砂型に流し込む必要がある。

図7の矢印Nは、溶解を効率良く行わせるために、七輪を囲むように置いた、トタン板製の風除けフードである。約450mm×900mm×0.3mmのトタン板を長手方向の300mm、600mmの位置で、コの字型に曲げてある。

温度の低い冬の日や、冷たい風が吹く日の授業などは、豆炭が発熱した熱量を七輪の周りに備蓄し、また、風を防ぐことができるので、溶解中の温度低下を押さえることができ、溶解を行なうのに効果的であった。

図8(a)は、铸造後、铸型から取り出したアルミニウム铸物、「ネームプレート」である。矢印Kは、上蓋のレンガに付着している铸物である。矢印Lは、铸物を取り出した跡の砂型である。図8(b)は、押湯と铸物を示し、2種類の铸物、ネームプレートができている。図9(a)、(b)、(c)は、キーホルダー铸物を砂型から取り出した状態である。4つの湯道(矢印B)の先に4つのキーホルダー铸物(矢印A)がついている。図9(b)、(c)は、押湯(矢印M)と4種類のキーホルダー铸物(矢印A)を示した。

3. 4 仕上げ加工

図10(a)は砂型から、取り出した押湯つきキーホルダー铸物を示した。図10(b)は、万力押湯を固定した後、弓のこを用いてキーホルダーを切り出す作業を行っている様子を示した。図10(c)は、ヤスリでキーホルダー表面を仕上げ加工している様子を示す。図10(d)は、完成したキーホルダーを示した。図11は、完成したキーホルダーとネームプレートを示し

た。

3. 5 生徒の意識調査

本授業への生徒の関心の程度や生徒の意識状態を知ることは、授業を実施する上で、極めて重要と考えられる。そこで、アンケート用紙を準備して、授業後に生徒へのアンケート調査を行った。得られた結果を以下に示す。

図12は、「今までに金属の溶解は見たことがありますか？」の問いには、ある：13.3%、ない：86.7%であり、ない生徒が約87%と多い。

図13は「授業に関心がありますか？」についての問いには、ある：100%、ない：0%であり、全員関心があると回答している。図14の「授業に積極的に取り組むことができたか？」については、できた：92.8%と高く、できない：7.2%と低い。したがって、ほとんどの生徒は授業に自発的によく取り組んでいたといえる。図15には、製作工程の難易度を示したものである。各製作工程の中で、割合%の値が高いほど、生徒にとって難しかったことを示している。デザイン、現型づくり、砂型づくり、鋳込み、仕上げ、の工程では、「現型づくり」、「砂型づくり」「仕上げ」、が生徒にとって、やや手がかかり、難しかったものと思われる。図16には、「現型のデザインについて、納得できるものができたか？」について質問したものである。できた：71.4%、できない：28.6%である。

図17は、「現型は自分なりに納得のいくものができたか？」の問いに、できた：64.3%、できない：35.7%である。したがって、現型については、デザイン、出来あがり、の様子は約64~71%の生徒が納得している。

前述の「2. 方法」の項で述べたように、砂型には、(鉄用砂+10%水ガラス+炭酸ガス)と(青銅用の砂+水)及び(青銅用砂+ベントナイト+とうもろこし粉末+デンプン系粘結剤+水)の3通りを用いた。これらの使いやすさを比較した結果を、主に図18に示す。「作業しやすいのはどちらの砂？」については、(水ガラス入りの砂)：46.2%、(青銅用の砂)：53.6%であり、ほぼ、半々である。

やや、(青銅用の砂)が良いのは、(水ガラス入りの砂)が成形性がよく、日保ちも優れるが、水ガラスが手に付着しやすいので、(水ガラス入りの砂)は、生徒がやや好まなかったものと思われる。図19は、本授業の中で、代表的な作業について、生徒が再度、行いたいかどうかを調べた結果を示す。①(砂型から現型を引き抜く作業)、②(アルミニウムの空き缶の溶解)、③(アルミニウムの鋳込み)のいずれも、71~93%の割合で、やりたいと、希望する生徒がいることがわかる。

図20は、(もう一度、アルミニウム空き缶の溶解・鋳造を行いたいと思うか?)についての回答であるが、全員100%、行いたいと思う、との回答が得られ、生徒にとって、有効な教材であることが伺われる。図21(左側)は、生徒からみた授業評価であり、満足度を100%満点として、89%の評価がついている。図21(右側)は完成した作品の生徒による評価であり、満足度を100%満点として、73%の評価がついている。

4. 結 言

「アルミニウム空き缶の溶解・鋳造によるものづくり教育」が、技術教育の授業で最近実施されている。この実践上の問題点を改善する方法について検討した。

得られた結果を要約すると以下の通りである。

1) (砂+水ガラス+炭酸ガス)砂型を用いると、砂型は丈夫となり、1ヶ月以上時間が経つ

- ても砂型は崩壊せず強度を有し、鑄造に適している。
- 2) (砂+ベントナイト+とうもろこし粉末+デンブン系粘結剤+水) 砂型は、2週間までは、砂型強度を有し、鑄造に適している。
 - 3) 1) 及び2) の砂型は、日持ちがよく、耐久性がある。 授業時間の関係で、砂型製作直後、すぐに鑄造が行いにくい学校現場では、有効な砂型と考えられる。
 - 4) 溶解用鍋は、小型の鉄製の厚手の鍋（直径φ150mm×深さ55mm×厚さ3mm）を用いたが、これより直径の大きな鉄鍋に比べて、温度が上がりやすい。豆炭を熱源とし、七輪で溶解する本授業実践では、溶解鍋として適切である。
 - 5) 冬の日及び風が強い日には、風除けフードは、鉄鍋の温度低下を防ぎ、溶解を効率良く行うのに適切である。
 - 6) 生徒へのアンケート調査の結果、本実践は、その内容に生徒の関心が極めて高く、ものづくり実践教育教材として有効であることが確認される。生徒は元気づき、目を輝かせている。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、砂型の製作方法について、(株)あずまや、大友弘一氏より詳細なご教示をいただきました。水ガラスについては(株)洞海化学（北九州市若松区）及び(株)トクソー（周南市）より提供の快諾を受けました。

また、本研究は、平成14年度山口大学教育学部研究支援経費の補助を得て推進されたことを附記します。

関係の方々のご好意に、厚く謝意を表する次第であります。

文 献

- 1) NHK第1放送ラジオニュース：「日本の伝統工芸技術の後継者を増やすために、木材加工技術のセミナー開催（経済産業省）」、2003年5月
- 2) ものづくりイベント情報（日本商工会議所）（2002）
- 3) ものづくりイベント（日本鉄鋼協会）（2002）
- 4) 第3回技術教育創造の世界「エネルギー変換工夫作品コンテスト」（日本産業技術教育学会）（2003）
- 5) 山本利一、牧野亮哉：「灯油バーナーるつぼ炉の製作とアルミニウム鑄造の授業実践」、日本産業技術教育学会誌（1998）、第40巻、2号、87-93.
- 6) (株)かめや編：「リサイクルアルミ鑄物の製作」

●アルミニウム空き缶による鋳物の製作

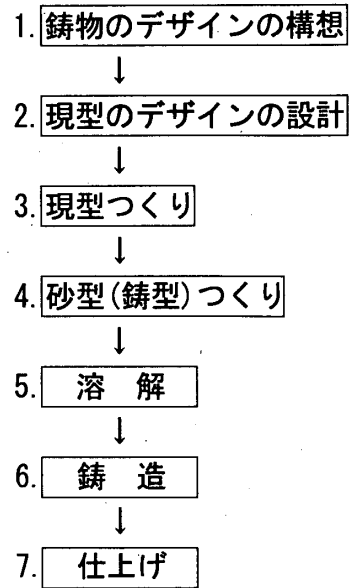


図1 アルミニウム空き缶を用いた鋳物の製作の流れ図(フローチャート)

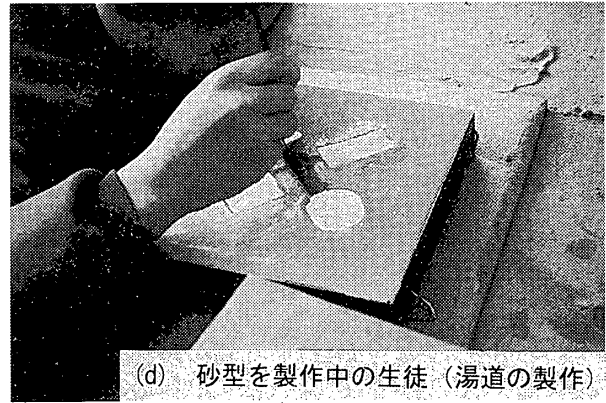
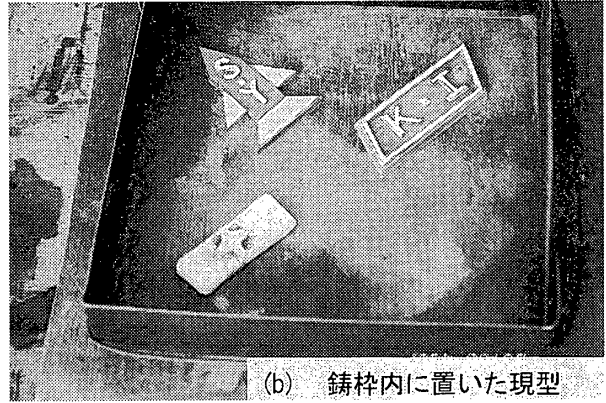
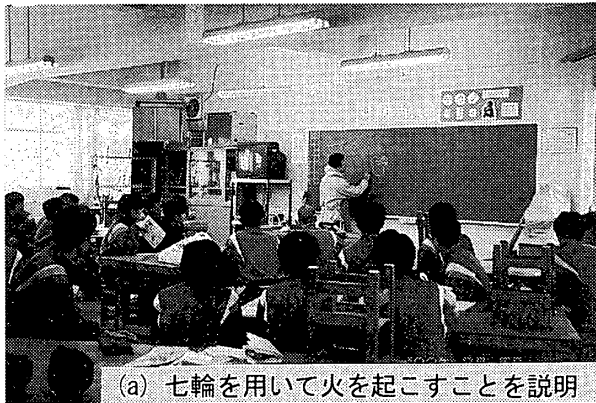
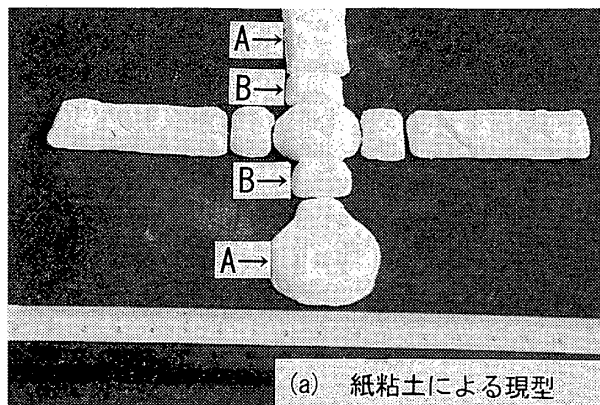
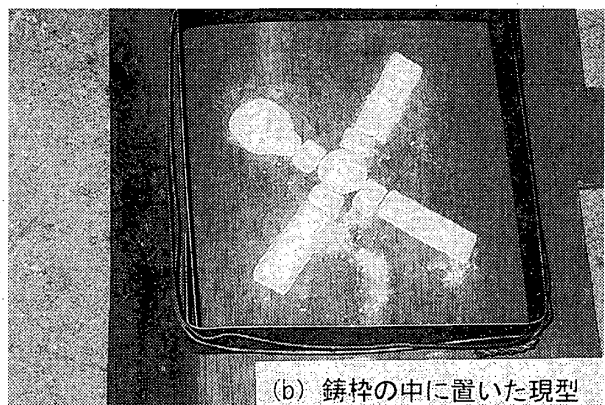


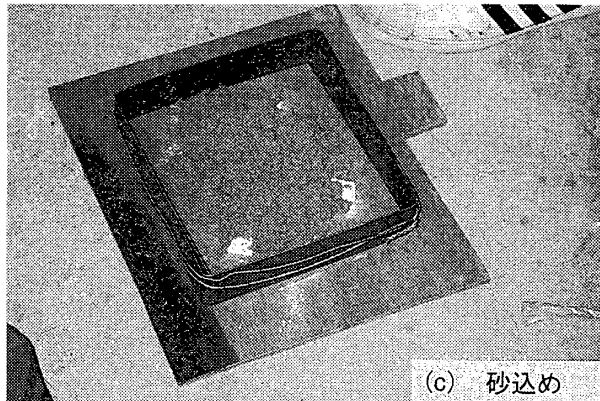
図2 授業の様子



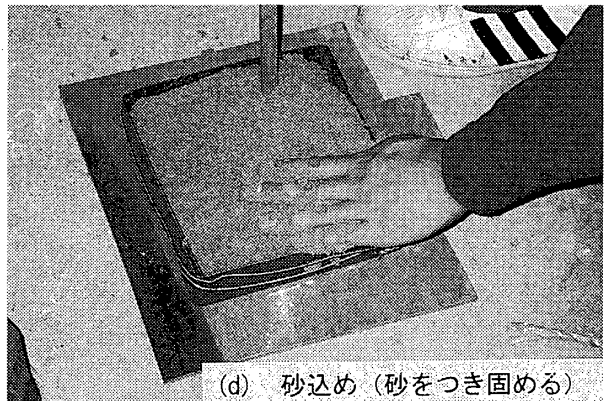
(a) 紙粘土による現型



(b) 鑄枠の中に置いた現型



(c) 砂込め



(d) 砂込め (砂をつき固める)

図3 現型と砂込め (矢印A：キーホルダーの現型、矢印B：湯道)

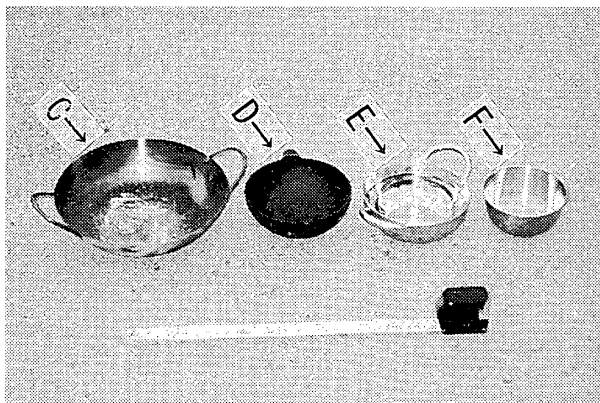
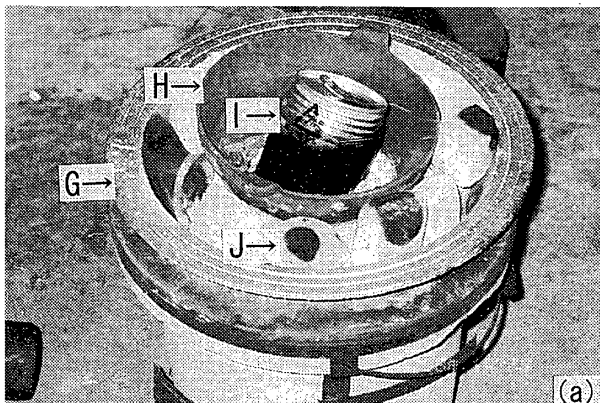
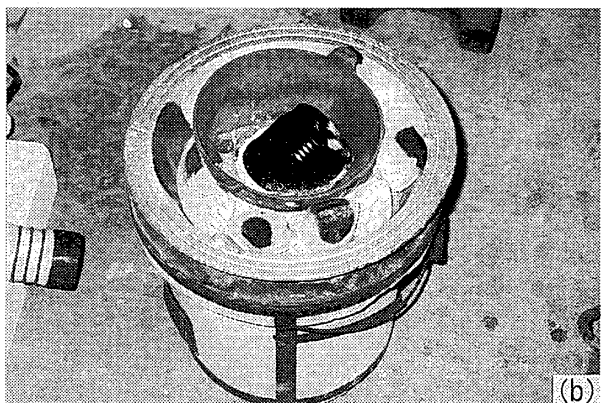


図4 種々の大きさの溶解用鉄鍋 (矢印C、D、E、F)



(a)



(b)

図5 溶解中のアルミニウム空き缶 (矢印G：上置き、矢印H：鉄鍋、矢印I：アルミニウム空き缶、矢印J：豆炭)



図6 授業中の様子

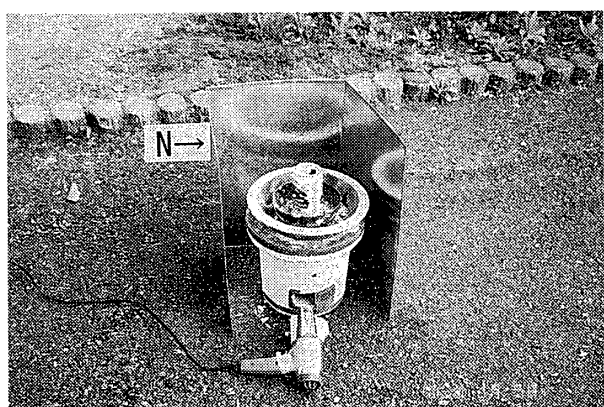


図7 風除けフードを用いた溶解方法（矢印N：風除けフード）

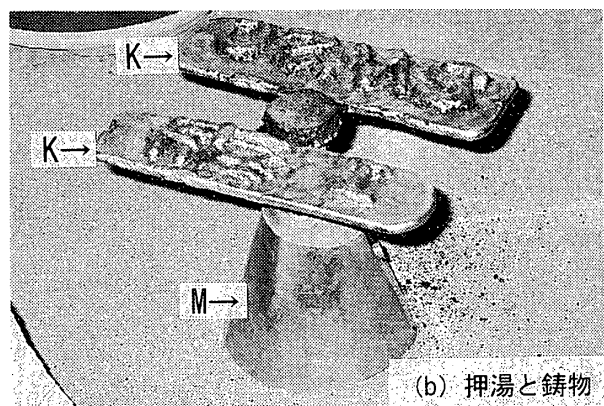
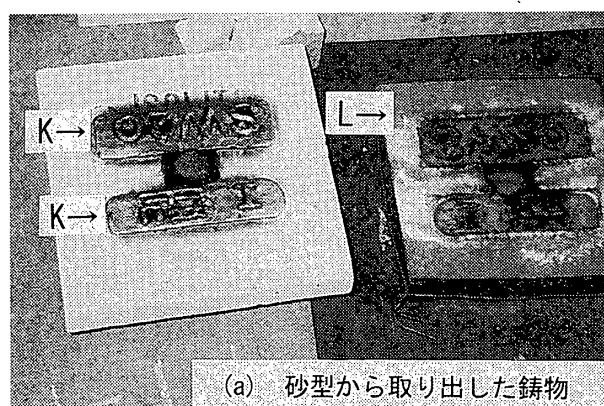


図8 ネームプレートの製作（矢印K：ネームプレート鋳物、矢印L：鋳物を取った砂型、矢印M：押湯部分）

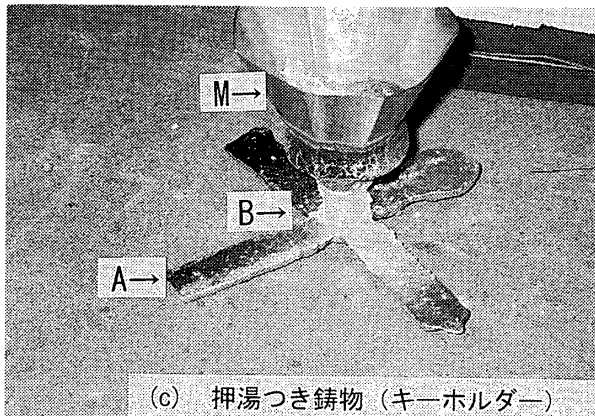
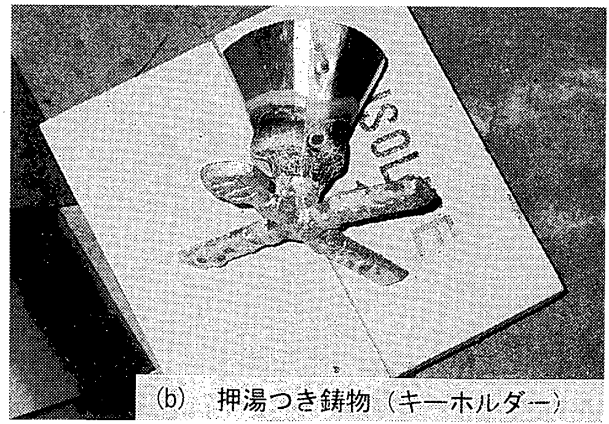
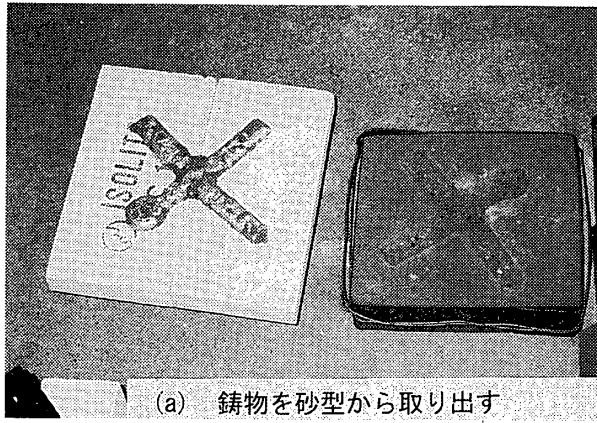


図9 キーホルダーの製作 (矢印A：キーホルダー鋳物、矢印B、湯道、矢印M：湯道部分)

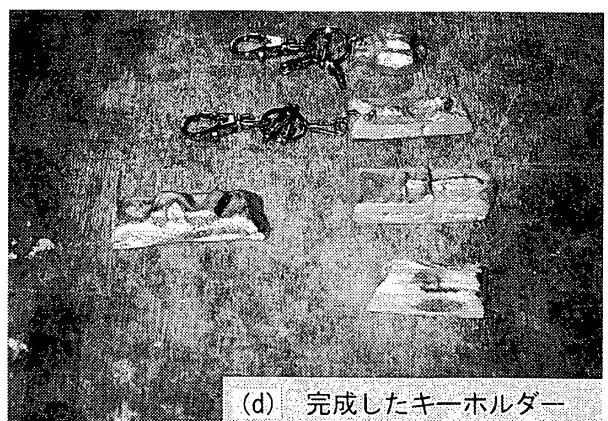
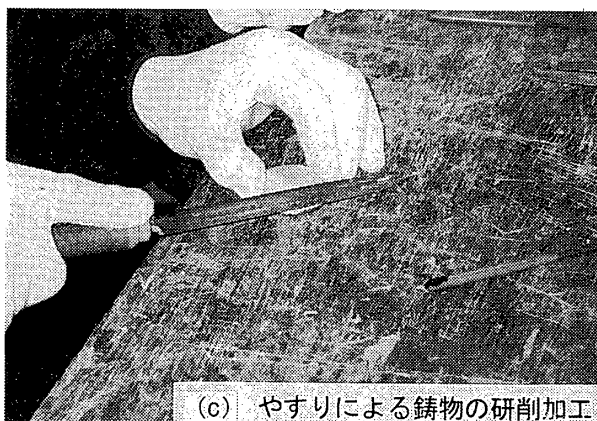
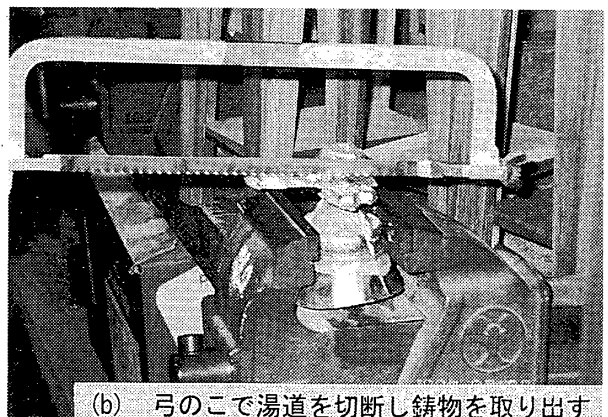
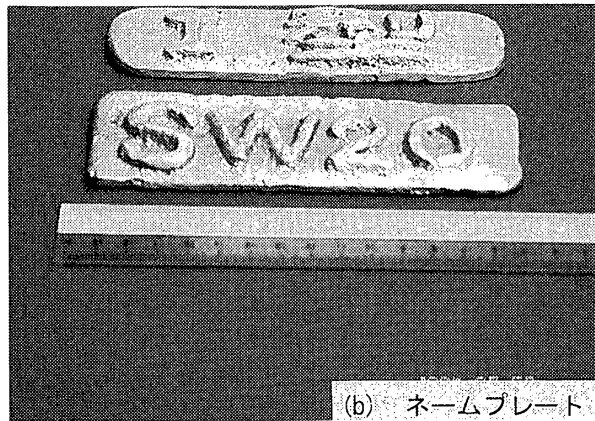


図10 鋳物と鋳物の加工



(a) キーホルダー



(b) ネームプレート

図11 完成したキーホルダーとネームプレート

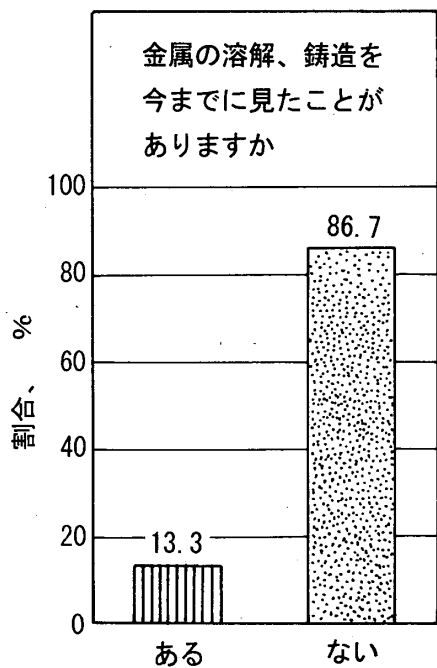


図12 アンケート

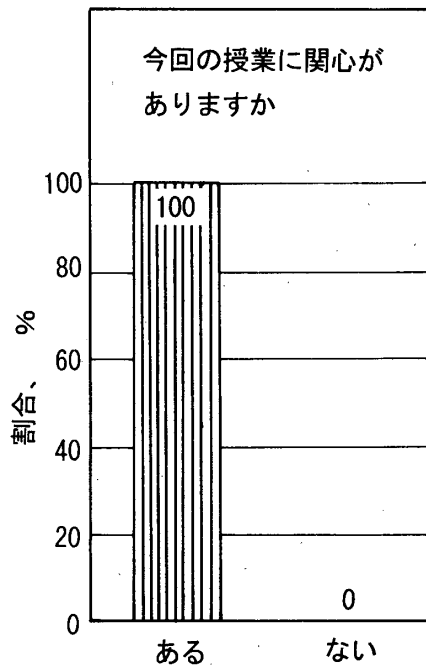


図13 アンケート

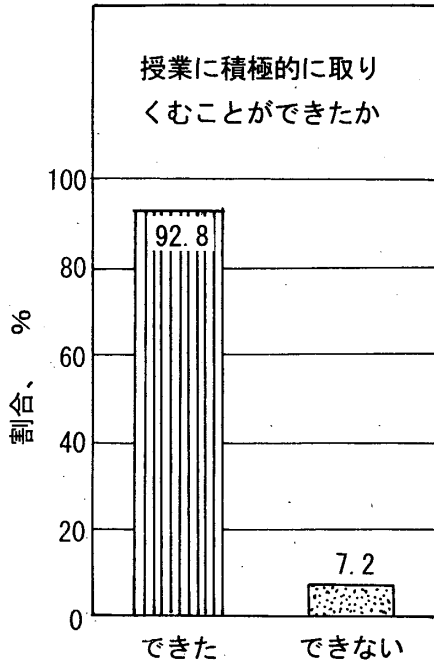


図14 アンケート

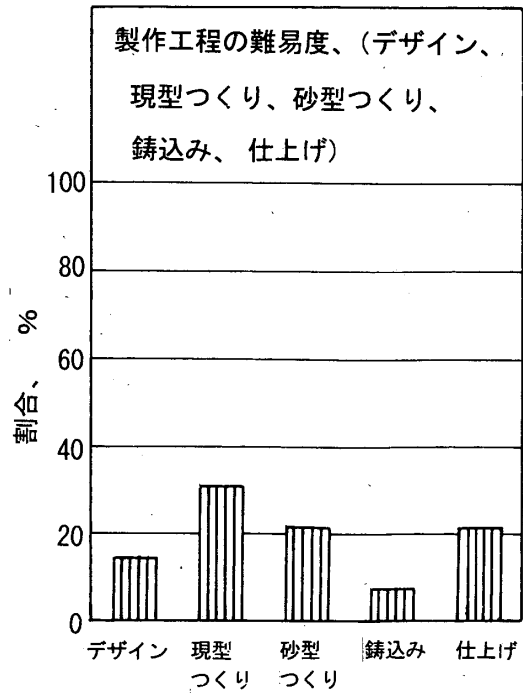


図15 アンケート

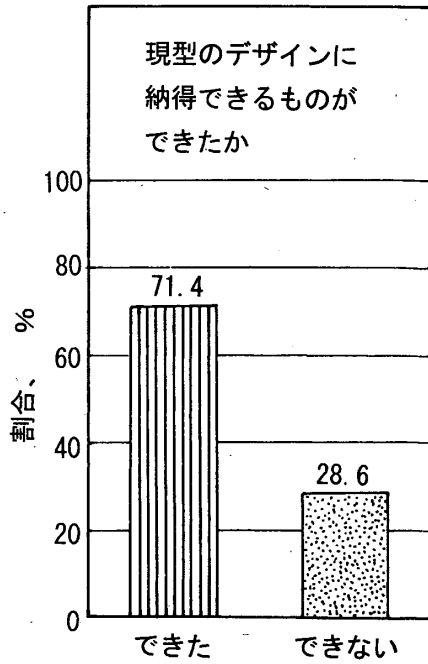


図16 アンケート

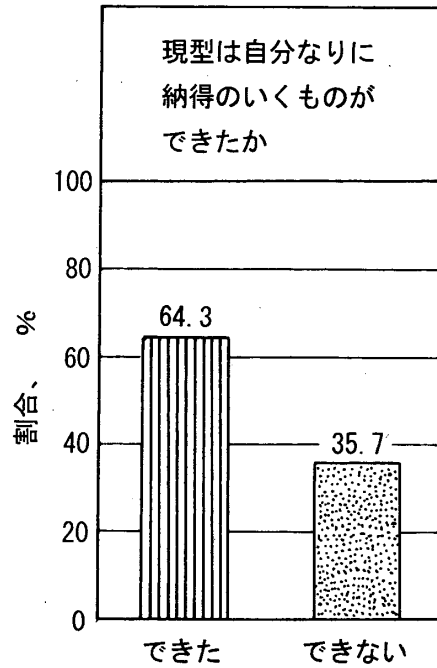


図17 アンケート

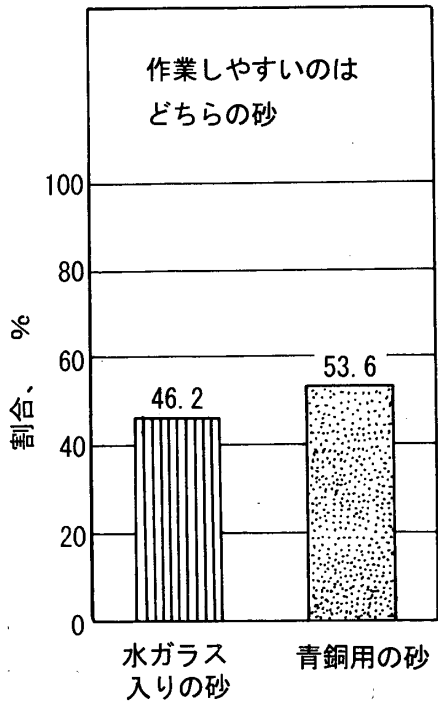


図18 アンケート

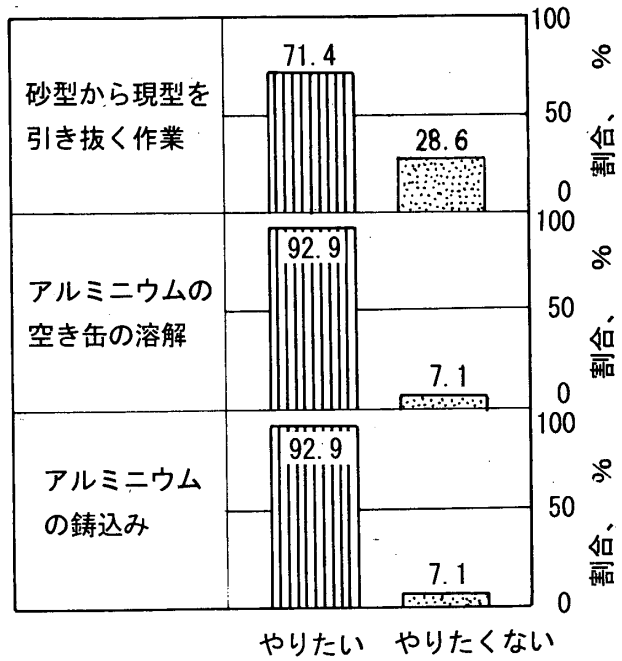


図19 アンケート

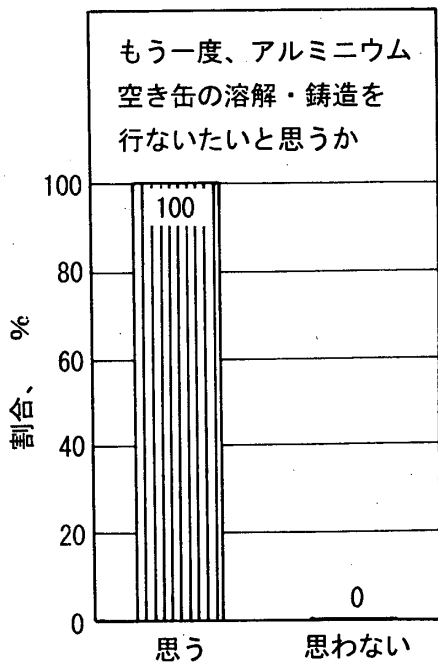


図20 アンケート

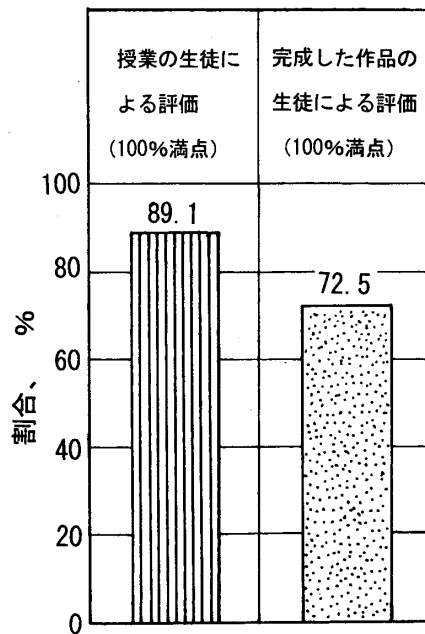


図21 アンケート

資料

・紙粘土を現型の材料とした場合の現型の作製について

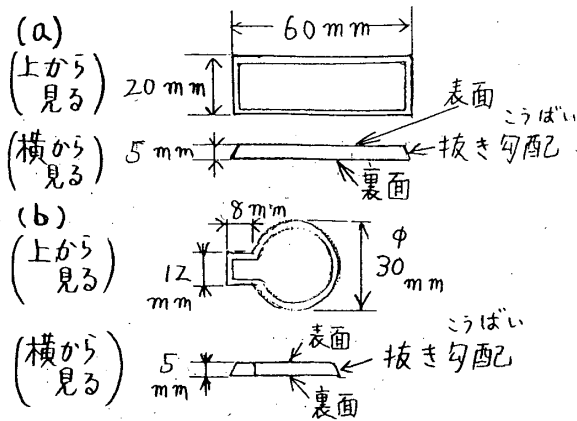


図1 キーホルダーの大きさ寸法の例と抜き勾配

- (c) 長方形のキーホルダー
- (d) 円形のキーホルダー

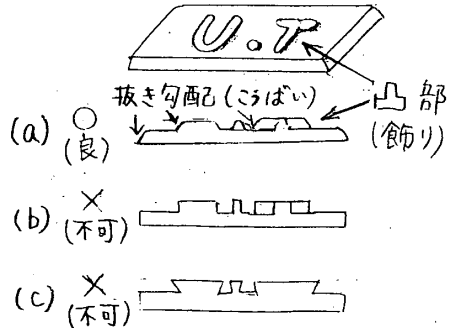


図2 キーホルダーの凸部(飾り)
(抜き勾配をつけること)

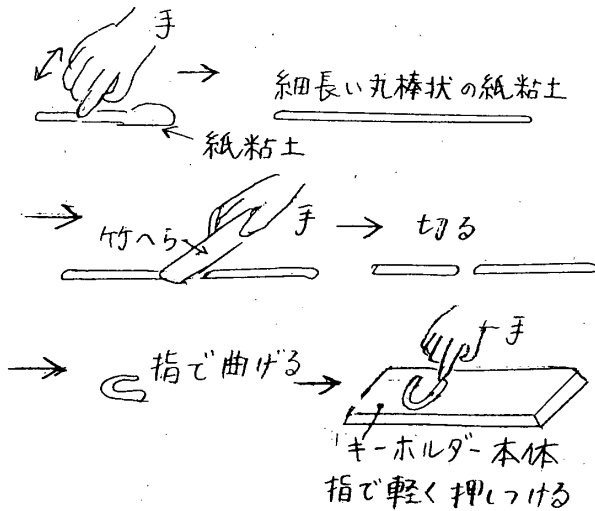


図3 キーホルダー本体に凸(飾り)をつける

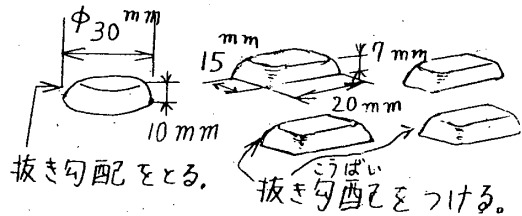
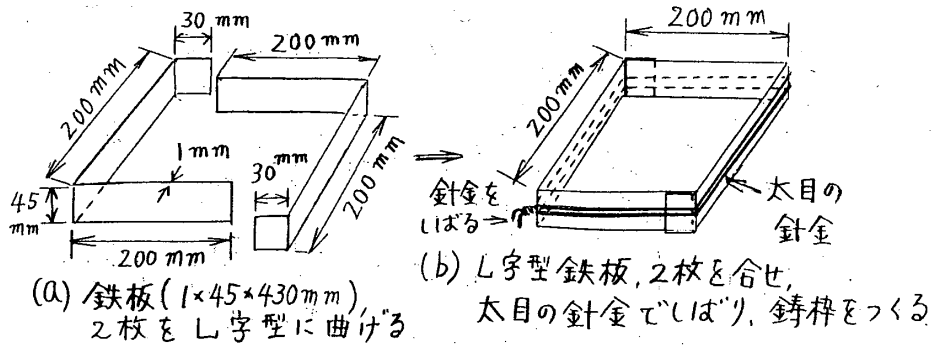


図4 現型(湯口)、現型(湯道)の作製
(a) 現型(湯口)、(b) 現型(湯道)



- (a) 鉄板(1×45×430mm) 2枚をL字型に曲げる
- (b) L字型鉄板, 2枚を合せ, 太目の針金でいばり, 鑄枠をつくる

図5 鉄板による鑄枠の作製

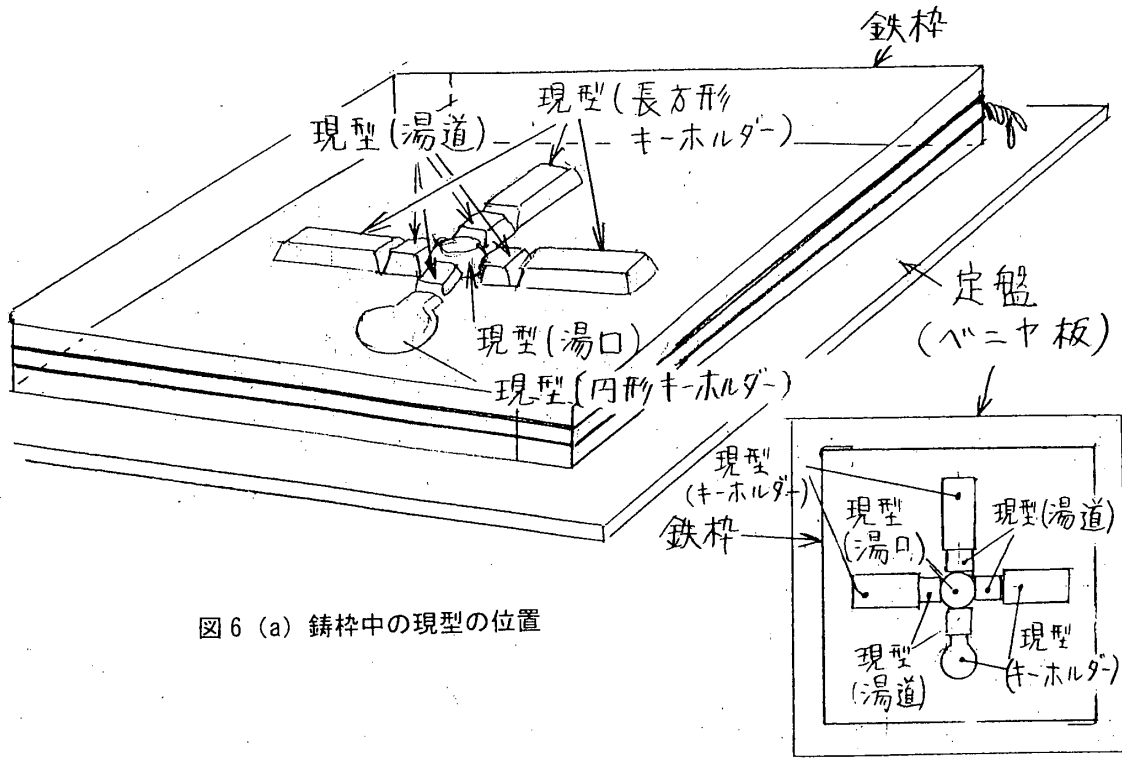


図 6 (a) 鑄枠中の現型の位置

図 6 (b) 鑄枠中の現型の位置
(真上から見た様子)

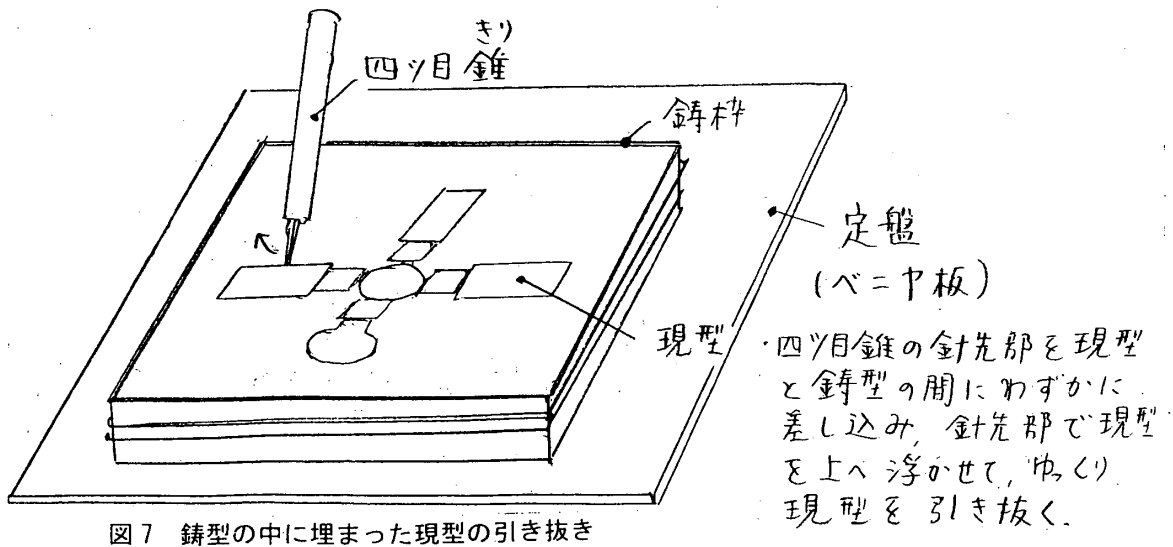


図 7 鑄型の中に埋まった現型の引き抜き