



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	消失模型鑄造をテーマとした学生実験プログラム
Author(s)	大参, 達也; 松浦, 清隆; 大笹, 憲一
Citation	鑄造工学, 76(8), 705-709 https://doi.org/10.11279/jfes.76.705
Issue Date	2004-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74710
Type	journal article
File Information	Chuzo.76.705.pdf



技術報告 特集「消失模型鑄造法」

消失模型鑄造をテーマとした学生実験プログラム

大参達也* 松浦清隆* 大笹憲一*

Technical Paper

J. JFS, Vol. 76, No. 8 (2004) pp. 705~709

Special Issue on Evaporative Pattern Casting Process

Laboratory-Work Program of Evaporative Pattern Casting
for Undergraduate Students

Tatsuya Ohmi*, Kiyotaka Matsuura* and Kenichi Ohsasa*

キーワード: 大学教育, 学生実験, ものづくり教育, 消失模型鑄造, アルミニウム合金

1. はじめに

日本の大学の多くの工学系学科では、「学生実験」と総称する実験科目を専門科目のカリキュラムの重要な構成要素として位置付けている。著者らが学部教育に携わっている北海道大学工学部材料工学科では、基礎的な実験操作を学ぶ「材料工学実験Ⅰ」と、より応用的なテーマを扱う「材料工学実験Ⅱ」とをそれぞれ3年次の前期及び後期の必修科目として実施している。これらの学生実験の目的は、学生が材料工学に関する実験技術を体験するなかで、講義で習った知識に具体的なイメージを与えると同時に、現象を把握するための観察力と考察力を身につけること、さらには、自然科学の基本法則を理解し、工学的に利用するための基礎訓練を受けることである。学部・学科によって重視するポイントは様々であるにしても、基本的な目的は他所でも同様であろう。

一方、近年では、若者の「理工系離れ」¹⁾あるいは「ものづくり離れ」の危機的な実態が認識されるとともに、その原因の一つとして、小・中学校及び高校における理科実験の軽視、あるいはものづくり体験の機会の減少等が指摘されている。このような教育環境を考慮するなら、大学の理工系学部に所属する現在の学生に対しても、ものづくりに対する興味を深めるような「印象に残る」教育プログラムが必要になってきていると考えられる。

最近、著者らは、3年後期の学生実験のテーマの1つとして、Al-Si合金の消失模型鑄造実験を提案・実施した。本テーマの選定にあたって著者らが着目したのは以下の3点である。

- (1) 鑄造は、古代に発祥し、現在も技術革新が行われている材料加工の基盤技術である。
- (2) 鑄物の製作では、製品のデザインから完成まで、「ものづくり」の楽しみを直接的に体験することができる。

- (3) 金属の凝固過程の熱解析、凝固組織の金属組織学的調査、及び材料試験を併せて行うことによって、「相変態論」、「材料組織学」あるいは「金属加工学」といった他の専門科目の内容と連携させることができる。

これらの点に加え、さらに時間的及び設備的制約を考慮した上で、消失模型鑄造法を選択した。本鑄造法では、湯口部を備えた発泡スチロール模型を乾燥砂に埋設するだけで鑄型が完成する。さらに、温度測定用の熱電対の設置も容易であるため、比較的短時間で鑄造作業に取りかかることができる。また、使用する金属としてAl-Si系合金を選んだのは、鑄造用合金として一般的である上、状態図が単純で組織の構成を理解しやすいためである。

また、学生たちのものづくり経験の現状と本実験に対する感想とを把握する目的で、実験日程終了後に参加学生を対象とするアンケート調査を行った。本稿では、これらの結果についても報告する。

2. 実験プログラム

本テーマ(Al-Si合金の消失模型鑄造実験)では、一度に約20名の学生を対象とし、総計15時間の実験を5日間に分けて実施した。実験スケジュールを表1に示す。

表1 実験スケジュール

1日目	(1) 実験の概要の説明 (2) 発泡スチロール模型の製作 (3) 鑄造 (4) 試料切断 (鑄物作品、硬さ試験・組織観察用試料)
2日目～ 4日目	(1) 硬さ試験・組織観察用試料のエメリー研磨 (2) ビッカース硬さ試験 (3) マクロ組織観察 (4) ミクロ組織の観察と解析 (共晶領域の面積率測定)
5日目	(1) 冷却曲線の解析 (2) 作品の写真撮影 (3) データの集約 (組織解析、硬さ試験、冷却曲線解析の結果) (4) レポート執筆に関する諸注意

平成16年3月1日 原稿受理

* 北海道大学大学院工学研究科

Division of Materials Science and Engineering, Graduate School of Engineering,
Hokkaido University

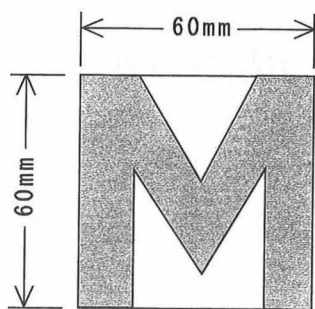


図1 デザイン例

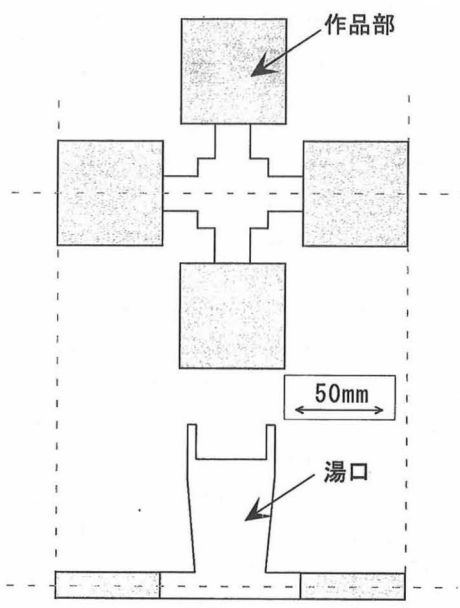


図2 発泡スチロール模型(断面図)

第1日目は、概要説明、消失模型鑄造、及び試料切断までを行った。製作する鑄物作品としては、ペーパーウェートを想定し、実験前にデザインを決めておくように予め指示した。デザインは各自の自由とした。ただし、発泡スチロール模型は60mm×60mm×15mmの直方体から切り出すものとし、さらに、作製される鑄物の質量が100g以下となるようなデザインにすることを指示した。図1は参考例として示したデザイン図である。

溶湯の組成は、Al, Al-3 mass%Si, Al-6 mass%Si, Al-9 mass%Si, Al-12 mass%Siの5種類であり、4人1組で1種類の組成を担当した。各溶湯の質量は1kgとし、鑄造温度を1033Kに設定した。

鑄造実験の手順は以下の通りである。

- (1) 発泡スチロール模型の製作。所定寸法の発泡スチロールから、カッタナイフ等を用いて模型を切り出す。使用した発泡スチロールは、市販の梱包用板材である。
- (2) 各グループごとに予め用意された発泡スチロール製の湯口部に各自の模型を接続する(図2参照)。接続には両面テープを使用する。
- (3) 湯口部の底部近傍にK熱電対を挿入する。

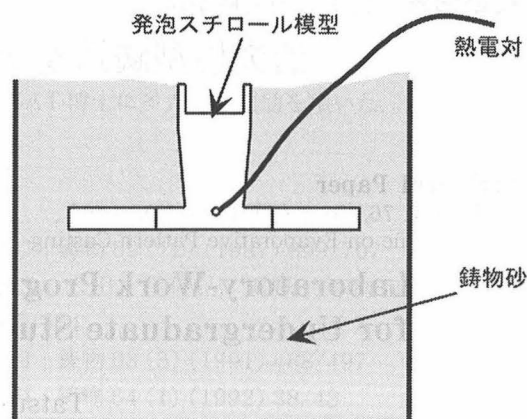


図3 鑄型の構成

- (4) 湯口部に接続した模型を鑄物砂に埋設する(図3参照)。使用した鑄物砂は乾燥けい砂7号である。模型の埋設が完了した後、熱電対を温度計測装置に接続する。
- (5) 鑄造(注湯作業は指導者が担当した)。熱電対の出力により試料温度の変化をモニターし、773Kまで冷却した時点で鑄物試料を取り出す。
- (6) 金のこを用いて各自の作品部分を湯口部から切り離す。また、湯口部の幹と作品とをつなぐ直方体部分(20mm×20mm×15mm)を切り離し、硬さ試験及び組織観察に供する。以下、本試料を試験片と称する。

第2日目から4日目までは、耐水研磨紙による試験片の粗研磨(1200番まで)から、ビッカース硬さ試験、マクロ組織観察、及びミクロ組織の観察と解析(共晶領域の面積率の測定)までの作業を行った。マクロ組織の顕出にはヒューム・ロザリー液(13 mass%塩化第二銅水溶液)を使用した。また、ミクロ組織観察では、試料をバフ研磨した後、光学顕微鏡により観察した。ミクロ組織解析では、光学顕微鏡写真に半透明方眼紙を重ねて初晶-共晶境界をトレースし、点算法により共晶領域の面積率を求めた。なお、面積率測定は画像解析ソフトを使用して行うこともできるが、本実験では、画像解析の原理を直接体験できる点算法をあえて採用した。

第5日目は、冷却曲線の解析、作品の写真撮影、データの集約と発表、及びレポート執筆に関する諸注意を行った。冷却曲線の解析では、Alの融点とAl-Si共晶温度との間の温度範囲に注目し、冷却曲線に温度停滞が見られる場合は、停滞開始温度と停滞時間を調査するよう指示した。また、レポートで考察すべき事項として、以下の課題を提示した。

- (1) 冷却曲線の温度停滞を平衡状態図と関連付けて説明する。
- (2) 温度停滞時間と合金組成との関係について考察する。
- (3) マクロ組織とミクロ組織を説明する。
- (4) 実験で得られた共晶割合(面積率)と状態図のレバールールから求められる共晶割合とを比較する。簡単なた

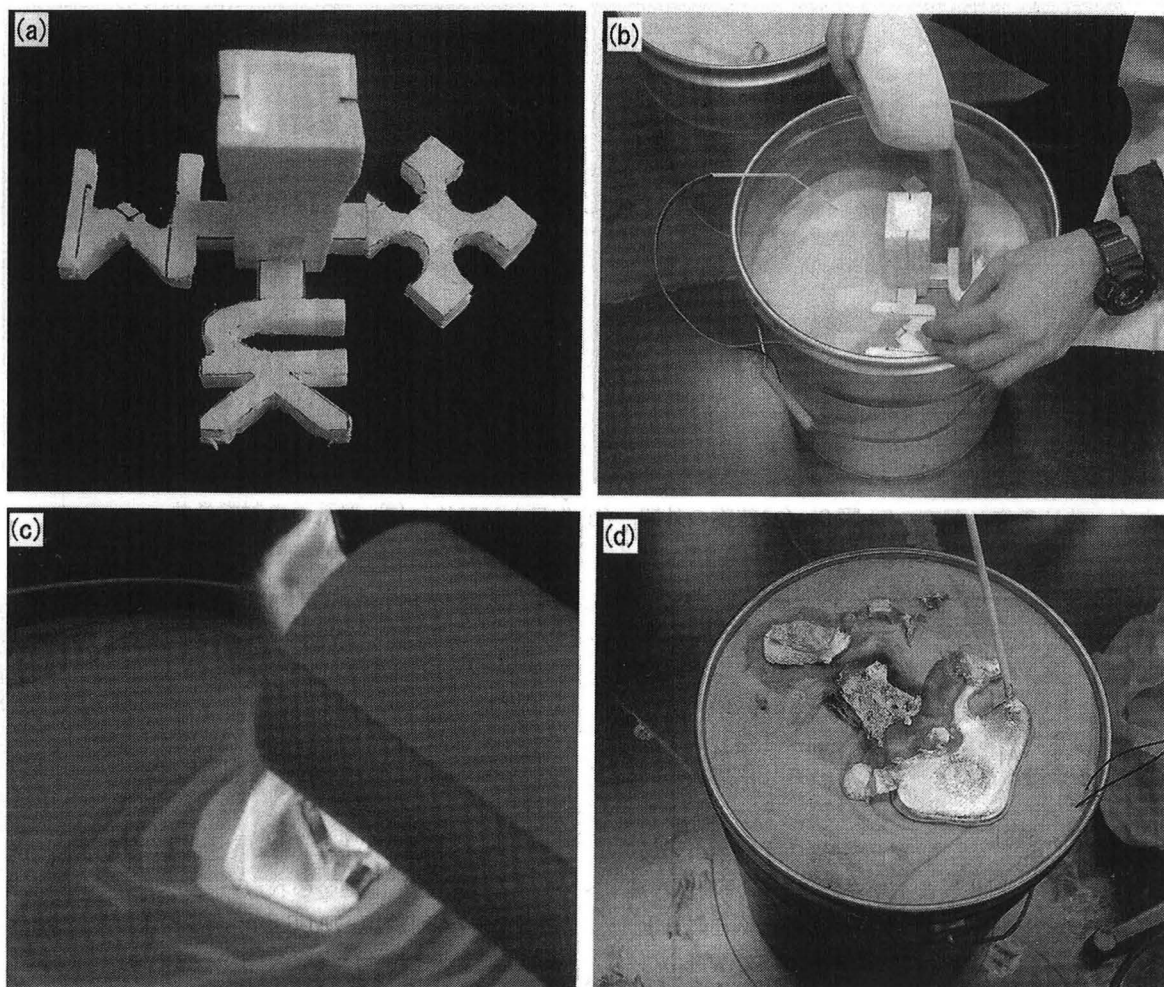


図4 実験風景：(a)模型，(b)鑄物砂への模型の埋設，(c)注湯の瞬間，(d)凝固過程の直接観察

めに、面積率は体積率と等しく、また、Al 固溶体の密度と Si 相の密度はほぼ等しいと仮定して考察する。

(5) ビッカース硬さと合金組成との関係について考察する。

3. 実施結果

3.1 鑄造作業

図4～6に第1日目の学生実験の様子を示す。

図4の(a)は完成した発泡スチロール模型の外観，(b)は鑄物砂への埋設作業，また，(c)は注湯の瞬間に湯口から炎が上がっている様子を示している。予備実験の結果から、模型を埋設するには十分な振動を加えること、また、注湯時には湯の供給がとぎれないように流し込むことが重要であることが分かっている。図4(d)は砂の上にあふれた溶湯の凝固過程をアルミナ管で触れながら観察している様子を示している。このように、本実験では余剰の溶湯を利用して凝固過程の直接観察を行った。

図5は凝固後の鑄物試料を鑄物砂の中から取り出している様子である。また、図6(a)は取り出されたばかりの鑄物の外観を、(b)は湯口部から切り離された作品と試験

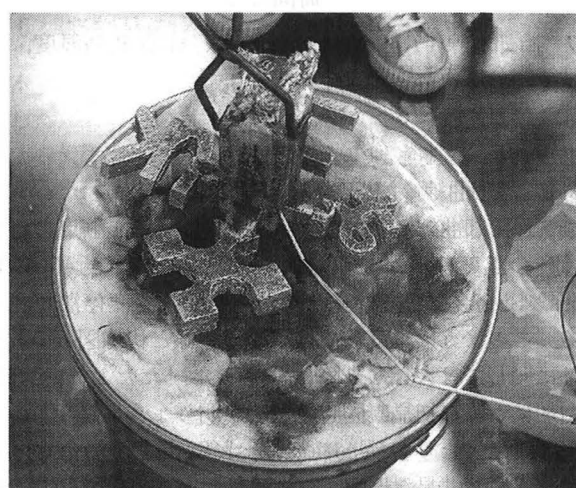


図5 鑄物砂の中から鑄物を取り出す

片の外観をそれぞれ示している。図4(a)と図6(a)との比較から明らかなように、鑄物は模型の形状をかなり精確に再現している。なお、本実験では時間の都合で塗型を使用しなかったが、ペーパーウェートの製作には十分な転写精度

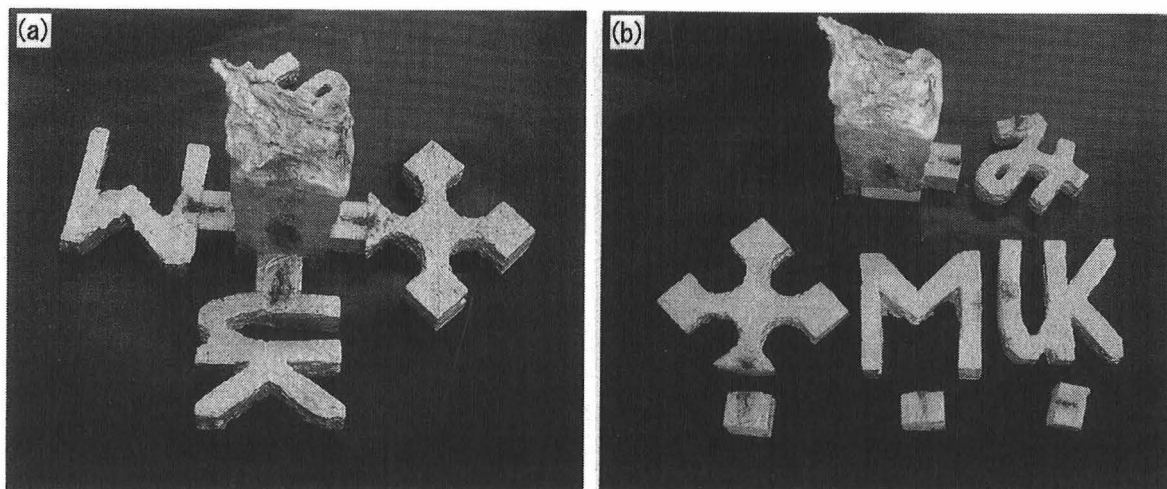
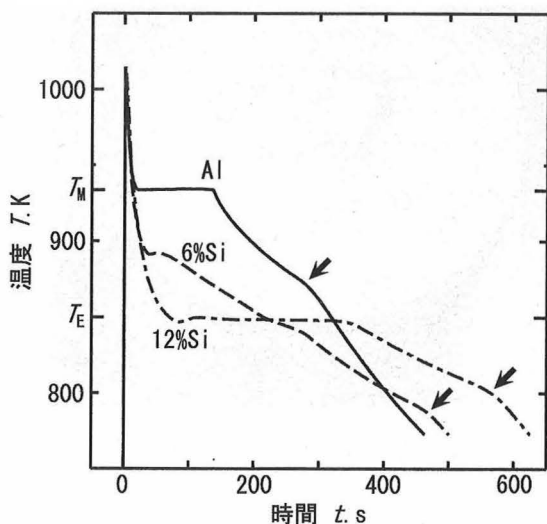


図6 (a)鋳物の外観, (b)作品と試験片の切り離し

図7 冷却曲線 (T_M : Alの融点, T_E : Al-Si共晶温度, 矢印は鋳物全体の凝固完了を示す)

が得られた。

3.2 冷却曲線の解析

図7に冷却曲線の例を示す。純AlではAl融点の近傍で単一の温度停滞が見られ、一方、共晶組成に近いAl-12 mass%Si合金では、共晶温度近傍で長い温度停滞が見られる。このように本実験では、冷却曲線と状態図との関連付けに関しては大きな支障はなかった。ただし、Si濃度の増加につれて初晶凝固時の過冷が明りょうに見られるようになった。とりわけAl-12 mass%Si合金の場合は、初晶凝固温度が共晶温度以下になり、冷却曲線上で初晶凝固と共晶凝固とを判別することが困難であった。このような現象の解釈については適宜説明しておく必要がある。また、図7の各冷却曲線に矢印で示したように、測定位置での凝固終了後に、鋳物全体の凝固完了を示す屈曲点が現れたが、これを測定位置での凝固現象に関連した温度停滞と誤解しないように注意しておく必要がある。

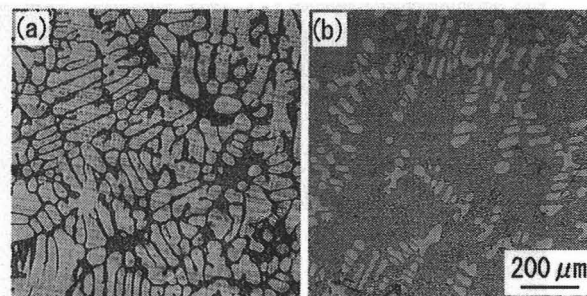


図8 ミクロ組織: (a)Al-6 mass%Si, (b)Al-12 mass%Si

3.3 ミクロ組織の解析

図8にミクロ組織の顕微鏡写真の例を示す。いずれの試料も腐食無しで観察可能であった。なお、本実験では、純Al試料については共晶面積率測定を行わないため、組成による作業量の偏りが生じることになる。しかし、本組成は種々の解析の際には基準となる試料として重要であり、その扱い方については今後検討すべき問題であると考えている。

3.4 ビッカース硬さ試験

図9に、今回の実験で得られた共晶面積率とビッカース硬さとの関係を示す。硬さ測定では、各自5点測定し、最大値・最小値各1点を除外し、中間の3点の硬さを算術平均した。図9では、さらにグループ全員のデータを平均してまとめている。データのばらつきはありつつも、組織と硬さとの定性的な関係を把握することは可能であると考えられる。

4. アンケート調査

実験日程終了後に実施したアンケートでは、金属加工の経験と本実験に対する感想とを調査した。回答者数は37名である。

金属加工の経験に関しては、以下の2点を質問した。

(1) 鑄造作業の様子を見たり体験したことの有無。

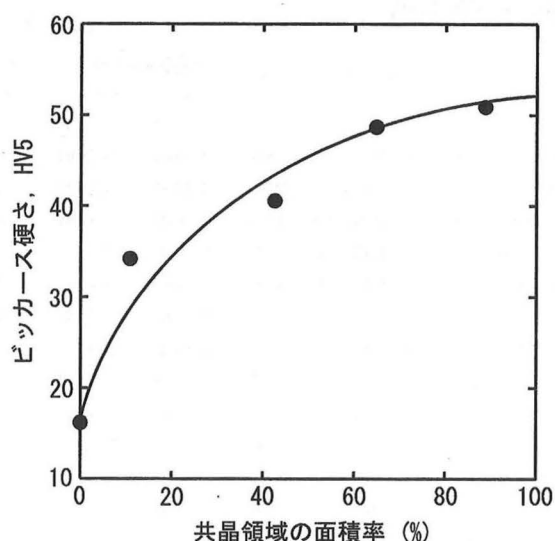


図9 共晶面積率とビッカース硬さとの関係

(2) 鑄造以外の金属加工の経験の有無とその種類(切削・切断, 鍛造, 溶接・ハンダ付け, その他).

質問(1)に対する回答は, 「体験したことがある」が1名, 「見たことがある」(体験者を除く)が9名, 「いずれもしたことがない」が27名であった. また, 「見たことがある」の内容は, 専門科目「学外実習」における工場見学(7名)がほとんどを占めていた.

質問(2)に対しては, 鑄造以外の金属加工を経験したことのある者は31名であり, その内訳としては, 切削・切断(10件), 鍛造(5件), 溶接・ハンダ付け(29件), その他(2件)であった. 「溶接・ハンダ付け」の内でも多かったのがハンダ付け(25件)であり, そのほとんどは小・中学校での授業によるものだった.

また, 鑄造も含めて金属加工を経験した記憶の無い者は6名に上った. この結果は, 卒論研究の指導等の現場で著者らが漠然と感じていた危機感を明確に裏付ける結果となっている. また, 上記の結果は, 日常生活の場で金属加工を体験する機会が少なくなっており, それに伴って学校等でのものづくり教育の果たす役割が重要になってきていることを示している.

次に, 本実験に対する感想について検討する. 質問内容は以下の4点である.

- (3) 実験前に, 今回の実験に関連して一番興味のあったこと. また, その興味が満たされたかどうか.
- (4) 今回の実験を経験して一番面白かったこと.
- (5) 今回の実験で一番つまらなかったこと.
- (6) 今回の実験は意義のある経験だったかどうか.

質問(3)に対する回答の内訳は, 作品のデザイン(1名), 鑄造について(23名), 合金の性質(2名), 特に無し(5名), 無回答(6名)であった. 実験に先立って予めデザインを考えておくように通知したため, テキストを読んで予習した

者が多かったように思われる. また, 興味が満たされたかどうか, という問いに対して, この質問に回答した者のほとんどが満たされたと回答した.

質問(4)の回答で, 面白かったこととして最も多かったのが鑄造関連の回答(19名)で, この中には, 注湯の瞬間の様子, 鑄物砂について, 溶湯に触ったこと, などの具体的な回答もあった. 続いて多かったのが模型デザイン・製作(4名)であった. この他, 合金組成と硬さとの関係, 状態図との関連付け, 作品や試験片の研磨, 組織観察, 実験の成果が作品として残せたこと, 様々な作業の体験等, 多様な回答が寄せられた.

一方, 質問(5)の「つまらなかったこと」としては, 研磨(10名), 点算法(10名), 待ち時間(9名), 試料の切断(4名), 硬さ試験(1名)があった.

また, 質問(6)で「今回の実験は意義があった」と回答したのが34名で, その内容としては, 鑄造による製作体験(16件), 鑄造に関する理解(9件), 金属の性質(3件), 作業の辛さを体験(2件), 硬さ試験(2件), 研磨(2件), 組織観察(1件)等であった.

以上, 質問(3)~(6)までの結果を総合すると, 質問(5)に関する「待ち時間」の問題等のように今後さらに改善すべき点も見出されたものの, 当初の予想以上に好評だったと言える.

最後に, 以下の質問を行った.

「課外行事として, 形やサイズ等もっと自由に作品を制作する機会があったら, 参加してみたいですか?」.

この質問に対する回答は, 参加したい(21名), 興味ない(15名), 単位が出るなら参加したい(1名)であった. 著者らは, この結果を受けて次にどのようなアクションを起こすべきか検討しているところである.

5. おわりに

本稿では, 鑄造を取り入れた教育プログラムについて報告した. 著者らの試み以前にも優れたプログラムを実践している大学のグループは少なくないと推測するが, その内容について情報交換を行う機会は, ほとんど無かったように思われる. 各々の経験を共有し教育プログラムに反映させる活動は, 今後ますます重要になってくるものと思われる. 本稿がそれに対してわずかでも貢献できれば幸いである.

謝辞

本プログラムの実施にあたり御助力を賜った北海道大学大学院工学研究科工藤昌行教授, 成田敏夫教授に感謝いたします.

文 献

- 1) 藤田茂夫: 応用物理 65 (1996) 107