

## 粉末冶金法による刀型オブジェの製作

小竹 宙樹\*, 尾崎 充紀, 島田 大嗣, 井上 智弘, 福田 龍一,  
谷本 奈月, 須田 敦, 谷口 幸典

### Production of KATANA Objects Using Powder Metallurgy Technique

Hiroki KOTAKE, Mitsunori OZAKI, Hirotsugu SHIMADA, Tomohiro INOUE, Ryuichi FUKUDA  
Natsuki TANIMOTO, Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI

本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe (Mechanical + Cafe の造語, メカフェ) を活動母体として, 文化祭 (奈良高専高専祭 2018) での学科展示を目指した刀型オブジェの製作を試みた. 刀の素材である鋼について, 本来は高炭素のものを順次鍛造しながら精錬していくところを, 低予算かつ安全な作業を行うことを目指し, 筆者の一人が専門とする粉末冶金法の技術を活用した. 鉄粉末とグラファイト粉末 (カーボンブラック) の混合粉を圧縮成形して焼結した焼結体の自由鍛造を行った結果, 200kN 以下の成形荷重で作成した焼結体は自由鍛造中の引張応力に起因した割れが生じた. 400kN で成形したものは割れが生じなかったことから, 焼結体の相対密度がある程度高い場合において自由鍛造による打ち延ばしが行えるようになり, 粉末冶金法により刀に似せた形状を造形できることがわかった.

#### 1. はじめに～刀型オブジェの製作の背景～

学生が自主的に創作活動を行う課外活動は, 単に創作物の出来栄や成果として承認要求を満たすことだけでなく, 計画を立案し, それに従って目標を達成するプロセスを通じて, 自己の学ぶ姿勢を見直す機会でもある. 本校が主催している学生チャレンジプロジェクトの採択基準が, 「学生の自主性, 創造性が発揮できているかどうか」および「実施内容の計画性と実現性はどうか」であることから, 実践力や課題解決力を高めることに関する正課外の取り組みが推奨され, 自律した取り組みが期待されていることがわかる. 機械工学科では, 学科の運營業務として教員に広報担当を分掌しており, それを筆者らは, 高専の教育内容に興味を有する小中学生とその保護者, さらに本校近隣の住民をステークホルダーとみなして, 体験入学や入試説明会などの行事を, 教育手法やその成果を各種展示物や補助学生との交流を通じて説明する, いわば教育機関としてのアカウントビリティを果たす役割として捉えたうえで, 取り組み内容を企画立案, 遂行・支援, および補助学生の役をそれぞれ務めてきた. 本稿はそれら取り組みのひとつとして, 平成 30 年度に課外活動として刀型オブジェの製作に取り組んだ結果を報告する.

本取り組みは筆者らの一人の在校学生により提案され

たもので, 正課の授業にて, 刀の粘り強さと硬さの両立がその製法によって実現していることを学んだことを契機に立案された. すなわち, 我が国において古来より日本刀の製法が伝承され, それが手作業の鍛法でしか成しえない特色を有し, それが冶金学的にも妥当な材料創製プロセスとして認識されていることに感銘を受け, その疑似体験を試みたものである. 例えば, 日本刀には名工や刀工集団を輩出した 5 つの主生産地の鍛法として大和伝, 山城伝, 備前伝, 美濃伝, および相州伝があり, それら伝承は江戸時代以降に五箇伝と称されるようになって, 姿, 地鉄, 刃文などにそれぞれ独自性がある. 特に大和伝<sup>1)~5)</sup>は, 平安時代前期以降の大和地方 (奈良) に発生した名工や刀工集団による鍛法で以下の特色を有する.

- (1) 姿: 輪反りが雄大, 鎧筋が高く張っている, 鎧幅が広い
- (2) 地鉄: 柾目肌を交える, 地沸が厚く付いている, 地肌は白く輝いている
- (3) 刃文: 直刃が基調, 刃境に金線・筋流し・段状の湯走りがかかる, 焼刃の処々が二重
- (4) その他: ほつれ, 打ちのけ, 喰違刃など, 多彩な変化が見られる
- (5) 帽子: 金線・砂流しを伴う, 掃掛けて浅く反るまたは焼詰  
鍛法によるこれら特色は冶金学的に結晶粒微細化プロ

\* 機械工学科第 4 学年

セスにより生じたものと思われ、それに感銘を受けた筆者らの一人が、手作業による鍛造体験を通じて自己の知的欲求を満たすとともに専門知識の習得に取り組む姿勢を省察することを希望し、それを機械工学科広報教員が主導する正課外活動組織 MeCafe (Mechanical + Cafe の造語, メカフェ) が承認したことで、簡単な製作活動を行うに至った。なお、本取り組みは先に述べた学生チャレンジプロジェクトに申請されたが落選となった。したがって製作予算には、MeCafe を組織している教員の教育研究経費を充てることとし、なるべく低予算で、既存の教育資源のみで簡便に実施可能な手段で遂行するものとした。

## 2. 製作手法

刀型オブジェは、本物の刀の作り方とは異なり、粉末冶金法<sup>7)</sup>により作製した焼結体を素材としてその自由鍛造を行うことで製作した。粉末冶金法は金属粉末を所望の合金組成となるよう種々混合し、それを加圧成形した圧粉体を焼結することで合金を得る手法で、焼結炭素鋼に代表される種々の焼結合金がある。今回、鉄粉に対し、炭素質としてグラファイト粉末(カーボンブラック)を配合したものを素材とした。それを乳鉢で十分に混合したうえで、40 mm × 20 mm の矩形キャビティを有する金型を用い、万能試

験機で厚さ 5 mm 程度の板状に圧粉した。この圧粉体に電気炉を用いて焼結を施し、鍛造素材として高純度な地金を得て、この地金を、長さ 100 mm、幅 10 mm 程度となるように、金床とハンマを用いた手作業による自由鍛造で打ち延ばすことで、刀形状を造形することとした。

鉄粉末は平均粒子径が約 100  $\mu\text{m}$  のアトマイズ鉄粉を用い、これにカーボンブラックを 0.8mass% 配合したものを供試粉末とした。混合は乳鉢を用い、300g 程度を 10 分間程度、手作業で攪拌するように行った。なお、粉末を成形する際、成形金型壁面との摩擦で焼付きなど成形不良を防止するために、粉末粒子間の潤滑剤としてステアリン酸亜鉛 (StZn) 粉末を 1.0mass% 添加して混合粉末を作製した。

成形荷重は 100, 200, および 400kN と変化させて成形体を作製し、それを電気炉にて 1150°C まで昇温することで焼結体を得た。図 1 に使用した金型(成形パンチとダイ)の写真を、図 2 にその金型で粉末を成形した際の成形荷重と成形体の相対密度 (%) の関係を示す。図 2 からわかるように、成形荷重が増加するにつれて密度は増加するがその傾向は急激に減少し、400kN (約 500MPa) の高い荷重を与えた場合に相対密度 90% に達するが、それ以上の密度増加にはかなりの荷重増分が必要となることがわかる。成形体の焼結の温度-時間サイクルを図 3 に示す。すなわち、



(a) 成形パンチ



(b) ダイ

図 1 成形に使用した金型の外観写真

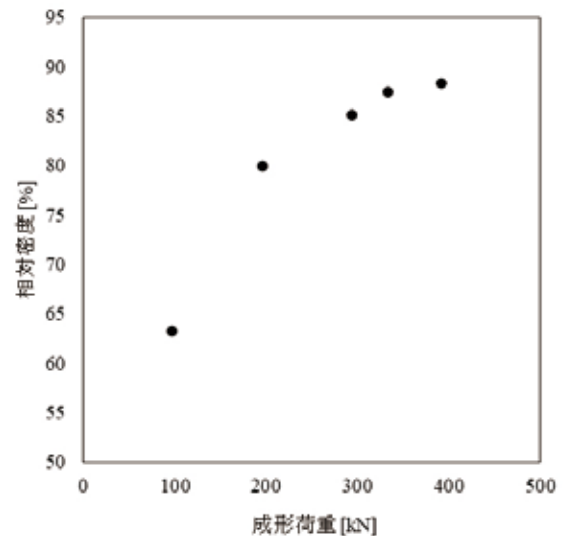


図 2 粉末の圧粉成形荷重と相対密度の関係

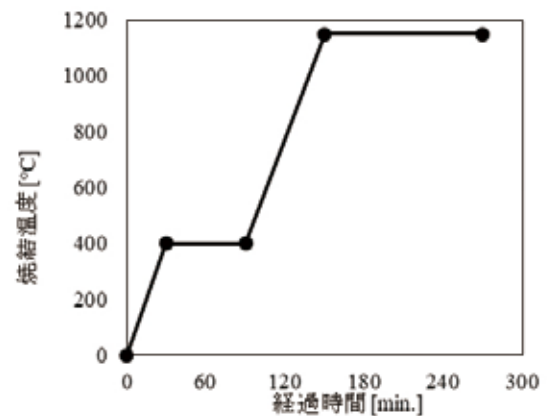


図 3 焼結の温度-時間サイクル

- (1) 30分で常温から400℃まで温度上昇
- (2) 1時間400℃を保持 (StZn粉末の昇華)
- (3) 1時間で400℃から1150℃まで温度上昇
- (4) 2時間1150℃を保持 (焼結)

のサイクルで焼結を行った。

上記手続きで作製した焼結体の例とその鍛造の様子を図4に示す。コークス炉で赤熱色を呈するまで加熱し、写真に示すように金床とハンマで手作業で自由鍛造することで打ち延ばしを行った。素材の大きさが小さく冷却されやすいため、約1分間の鍛造作業で焼結体は赤熱色を失う。したがって加熱～鍛造を20回ほど繰り返して少しずつ打ち延ばしていくものとした。



(a) 作製した焼結体 (成形荷重 400 kN)



(b) 自由鍛造の様子 (赤熱しているのが焼結体)

図4 作製した焼結体とその自由鍛造の外観写真

### 3. 製作結果

自由鍛造した焼結体の写真を図5に示す。100kNの成形



(a) 成形荷重 100 kN



(b) 成形荷重 400 kN

図5 自由鍛造した焼結体の外観写真

荷重で作製した焼結体は数回の鍛造で割れを生じ、打ち延ばすことができなかった。これは焼結体の相対密度が低すぎ、ハンマの打撃で生じた引張応力に耐え切れずに表面に亀裂が生じて、温度の急激な低下が生じた際の打撃で割れに至ったものと考えられる。一方、400kNの成形荷重で作製した焼結体の場合は打ち延ばしが可能であり、図のように刀型に湾曲させることに成功した。このように、焼結体の相対密度がある程度高い場合において自由鍛造による打ち延ばしが行えるようになり、粉末冶金法により刀に似せた形状を造形できることがわかった。しかし、日本刀製法である折り返し鍛錬を試みたところ、図6に示すように、折り返すことは可能であったが、返し面を圧着させる作業を行うに十分な体積がなく、また、ホウ砂や藁灰、粘土等を要することによる作業場の汚染を含めた環境・安全面から、今回はその作業を断念した。



図6 折り返しの試行結果

打ち延ばしに成功した試料に水焼入れを施し、グラインダーおよび研磨紙で仕上げた製品を図7に示す。何度も加熱・鍛造を施したことで表面の凹凸の度合いが大きくなり、これを完全に研磨すると薄くなりすぎて刃物としての性質が付与されることを避けるため、若干の凹凸が残ったままを製品とした。研磨した部分は高炭素鋼としての白色を呈していたことから、鍛造により生成された地鉄として組織が生成されたものと思われる反面、折り返し鍛錬を行っていないために、日本刀の質感とは程遠いものである。しかしながら、本製品を図8のようにケースに収め、ポスターおよび鍛造過程の動画説明を添えて文化祭 (奈良高専高専祭 2018) および学校説明会での学科展示に供したところ、特に年配の方々から「面白いことをやっている」や、「粉末から作ったのが高専らしいね」など、多くの肯



図7 研磨を施した製品写真



図8 製品の展示の様子

定的意見をいただくことができた。加えて、(公社) 日本設計工学会関西支部研究発表会にて口頭発表を行い、参加者の興味とともに、さらなる取り組みへの期待をいただくことができた。

#### 4. おわりに

今回、粉末冶金法を用いて刀型オブジェの製作に取り組んだ。粉末冶金法は様々な粉末を混ぜ合わせるだけで合金の作製が可能で、十分に高い成形荷重で密度を高めた焼結体は自由鍛造による打ち延ばし成形が可能であり、その焼入れもできることを知ることができた。折り返し鍛錬はできなかったものの、高純度で、炭素量を調整した地金を手作業の鍛造により脱炭して精錬していくというプロセスを疑似体験するという観点では、目的を達成することができた。例えば、実際に鍛造を行ってみた結果として、手作業で思い通りに伸ばすことは冷却の速さも相まって非常に難しく、ゆがみの修正のためだけに数回の加熱～打撃を繰り返す必要があった。それ以上の回数を叩かないと長手方向に打ち延ばすことができず、手作業による鍛造の難しさを身をもって体感することとなり、机上のみで学んでいる事柄がどれほどの労力(エネルギー)を費やすことで実現しているかを理解できた・理解させることができたと感じている。

本取り組みを継続発展するためには、十分な体積の焼結体を作製して折り返し鍛造を試みることや、刀型オブジェとして実際の刀と同様の細長比に近づけるなどの技術面で、また、課外活動として行うに必要な工具や素材を用意するという点で環境整備・予算確保が必要であるものの、

鍛錬による組織変化の観察など冶金学の観点でのさらなる課題設定が可能であり、正課外での能動的な学びを効果的に喚起する内容であると言える。このように、学生が自律してものづくりにチャレンジするプロジェクト活動としての発展性があり、また、正課内外で主体的に取り組んでいる学生の努力や苦勞、さらには学生らしい失敗の経験談が、手作業による作品という点においてわかりやすく伝わるといふ観点で、ステークホルダーの理解も得やすい活動内容であると言える。今回得た知見をさらに発展する製作作業が企画実施されることを期待して本報告の結びとする。

#### 参考文献

- 1) 歴史群像編集部：図解 日本刀事典—刀・拵から刀工・名刀まで刀剣用語徹底網羅!! (2006), 学研マーケティング。
- 2) 河内國平, 真鍋昌生: 刀匠が教える日本刀の魅力 (2015), 里文出版。
- 3) 服部夏生, 仲森智博: 日本刀—神が宿る武器 (2015), 日経 BP。
- 4) 全日本刀匠会: 写真で覚える日本刀の基礎知識 (2009), テレビせとうちクリエイト。
- 5) 全日本刀匠会: 写真で覚える日本刀の基礎知識 22010), 全日本刀匠会事業部。
- 6) 修心流居合術兵法 修心館: 大和伝, available from <<http://isao-machii.org/tag/大和伝/>>, (2018-11-08 閲覧)。
- 7) 粉体粉末冶金協会: 粉体粉末冶金便覧 (2010), 内田老鶴圃。