教育実践

日本刀製作プロセスから学ぶ製鉄と加工について

名古屋市立工業高等学校　機械科　青木　祐弥

１．背景

研究実施地である愛知県には高炉を有する一貫製鉄会社や，大手自動車メーカーがあり，鉄鋼の精製から加工して製品化するまでの流れが独自に行える環境にあることが特徴的である。この点から着想を受け，素材を精製し，製品化する一連の流れを工業高校における学習として体感しながら学ぶことは価値があると判断し，研究を実施することとした。

２．調査

本研究を実施するにあたって，愛知県工業高等学校工業教育研究会機械部会所属校の学科主任を対象として，鍛造実習の実施状況についてのアンケート調査を実施した。アンケート結果によれば，現在鍛造を実習として行っている学校は少なく，全体の２割以下のようである。しかしながら，鍛造実習に価値を感じるか，という問いに対して５段階で質問した際には，上位２段階の回答の合計が68％と高い数字を示していることが分かった。また，現在実施をしていない学校の理由として最も多いものは，「実施可能な施設がない」という内容であった。その他としては，「指導できる教員がいなくなった」，「学科改編に伴ってやめた」，「時代のニーズにあっていないと感じる」等の理由があった。一部否定的な意見もあったものの，概ね実施したくてもできないというような内容の回答が多く，県内の産業構造からも鍛造実習を生徒に対して提供する価値は未だ高いと判断した。

３．製鉄の実施方法

本研究は，日本刀の製作プロセスから製鉄と加工技術についての学びを得る場を提供することが目的となる。よって，課題研究班８名を対象として製作プロセスを追いながら各要素について学び，学生とともに，上部工程から順次実施をした。

⑴　関見学

たたら製鉄に関する技術とたたら操業後に採取できるであろう鋼を加工するための技術やそれらに付随する歴史を学ぶために，夏季休業を利用して課題研究班のメンバーと岐阜県関市にある関鍛冶伝承館を見学させていただいた。

図１　関鍛冶伝承館見学

その際には貴重なお時間を頂き，日本刀がどのような手順で作成されていくのかを職員の方にご説明頂き，鍛錬場の中まで入れていただいて懇切丁寧なご説明を頂いた。生徒だけでなく，私自身大変勉強になり貴重な一日となった。特に鍛錬場の中で見学させていただいた鍛造炉の構造は非常に勉強になり，本校で実施をする際のよい見本となった。

⑵　原料と炉

たたら製鉄を実施するにおいては，まず原料である砂鉄を入手することが困難となる。筆者の調査によると，愛知県内では砂鉄が取れる場所は少なく，知多半島・渥美半島においていくらか採取可能であ

るとのことだが，実際に知多半島の海岸で，筆者単独でネオジム磁石等を用いて採取を試みたところ，採取量はほぼ皆無であった。渥美半島では状況が違う可能性があるが，研究実施時はコロナ禍における行動制限の中で，生徒と共に渥美半島まで回収調査を行うリスクを勘案して断念し，近隣県内の販売業者から 20kg の砂鉄を購入した。

続いて大きな問題となるのは，たたら製鉄を実施する際の炉の建造である。本来であれば土や粘土を組み合わせた大掛かりな炉が必要となるが，使用後の破壊が前提になっている。たたら製鉄の愛好家や一部の博物館などの小型炉をみても，一度使用するとほぼ完全に破壊することで製作物を取り出すタイプであった。本研究では工業高校における再現性を求めているのでより簡略的な炉が必要であり，同時にある程度の再利用性が求められている。

そこで，関連する先行研究を調査すると，北海道教育大学の境智洋氏の研究があった。境氏の「教材用小型たたら製鉄炉の研究開発及びその成果を活用した製鉄実習がもつ教科教育との連携効果の検証」では，教材用の小型たたら炉を詳細な図面で記している。本校におけるたたら製鉄炉も境氏のたたら炉を参考に製作を行う事とした。

４．本校におけるたたら炉操業

本校でのたたら炉の操業に際しては，火災と紛らわしい煙又は火炎を発するおそれのある行為届を，名古屋市消防署消防課へ提出した上で実施をした。

たたら製鉄を実施した際のおおよその材料としては砂鉄 10kg，松炭，石灰などであった。当初は松炭等の使用量も計算して操業を行っていたのだが，後述するトラブルにより，正確な値を測定することはできなかった。

⑴　炉の建造

図２のように境氏の研究を参考にしながら，最下層にコンクリートブロックを敷いた上にレンガ積みを行った。使用したレンガは JIS 規格品の耐火レンガを最も高温になるであろう最下層に，安価に入手可能な規格外のレンガを炉の上部に使用した。また，レンガを積んだ際の隙間については陶芸用粘土を使用して隙間を埋めた。

図２　たたら製鉄炉外観

⑵　操業開始

炉が完成したところで，炉の底面に種火を投入して，たたら炉の上部いっぱいになるまで松炭を投入した。この際，自然に流入する空気量だけでは，炉底部の種火から上部まで火が回らず，ブロワによる強制送風を実施した。このブロワは後述の本校機械科倉庫の中で破損していたものを修理して使用した。

炎が湧き出して松炭がおよそ 10㎝程度下がったところで砂鉄 200g，石灰 20g を混合したものを炉内に振りまく。その後すぐに松炭 300g を投入して，松炭が燃焼して 10㎝程下がったところで繰り返し材料を投入していく。この作業をおよそ 50 回繰り返した。

⑶　操業時のトラブル

操業を開始して順調に全行程の半分程度を終えたところで，急激に火力が減少した。当初は作業者全体が混乱し，原因の特定ができなかったが，製鉄の進行によって炉底部にノロ（鉄滓）が溜まり，送風口を塞いでしまったことが原因であることがわかった。本来であれば，ノロ出し口から定期的に溜まってしまっているノロを取り出さねばならないのだが，操業時にはノロ出し口からは何も出てこなかったため行えていなかったのが原因と思われる。

送風口を塞いでしまっているノロは非常に大きく

成長した上に，すでに固体化しており取り除くことは困難であった。そこで，送風口を放棄し，急遽ノロ出し口を拡張して送風管を差し込むことで送風が再開できた。しかしながらこの間送風ができていなかったことから炉内温度は急速に低下してしまっていることが予測され，追加の燃料を投入したものの，出来上がった鉧に対してかなりの悪影響を与えてしまったと予測される。

⑷ 操業の完了

トラブルはあったものの，予定材料をすべて炉内に投入して予定時間を大幅に超えて操業は完了した。終了時には炉を上部から順次解体していき炉底部から塊を取り出すことに成功した。レンガのリサイクル率はおよそ８割程度であり，炉底部の高温になっていたと思われる部分は生成物と融着してしまい，引き剥がす際にレンガが破損してしまった。

⑸ 鉧の分析

鉧の断面は図３のようになっており，金属光沢が窺えることから目視で見る限りは鉄が取れていると予測された。

金属片の分析を大同大学の萩野先生に依頼し，おおよその組成と断面の顕微鏡写真を図４のように得ることができた。

組成から見るとSiやTiなどの不純物は一定量含まれているが，内部のFe量が86.6％とかなり多く含まれていることがわかる。また，顕微鏡写真からは，過共析鋼と思われる金属組織が確認され，本校のたたら炉から生成された鉧は十分に反応が進んだ成果物と思われる。

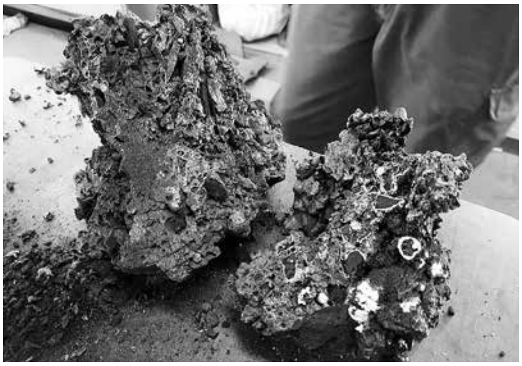


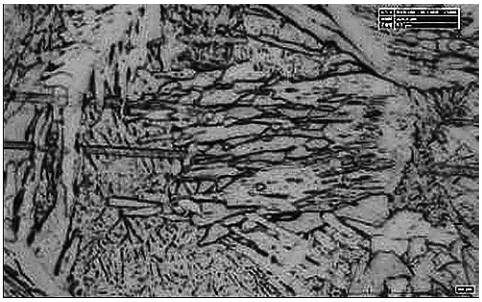
図３　鉧の断面

５．鍛造

事前の調査でも明らかになっているように，鍛造の実習を行う際最も大きな課題になるのが設備の有無である。本校でも，実習棟建て替えの際鍛造に関わる設備や道具の大半が失われてしまっている。

設備に関しては常設の大型鍛造炉を新設することは現実的ではないため，関鍛冶伝承館を見学した際の炉の形状を参考に，レンガ造りの分解組立が可能なものを生徒と組み上げた。道具類は学内の倉庫に実習棟建て替え以前のブロワ等が破損した状態で放置されていたため，修理をし使用可能とした。

このような形で，小規模ながら再び本校で鍛造を



%	Si	Al	Ti	Fe
内部	6.18	2.8	3.42	86.6
外側	11.85	4.45	4.28	77.9

図４　鉧の組成　断面の顕微鏡写真　左 ×400，右 ×1400

行うことができる設備が整った。ここで，日本刀製作のプロセスに戻り，次の工程について検討を行った。次は，たたら製鉄で回収することができた玉鋼を，水へし・小割・積沸かしという鍛造を行うために成形する工程に入る。しかし，結論から言うと本実験は失敗に終わった。製作した鍛造炉を使用して玉鋼を赤熱するまで熱したが，沸き花が出るまでは加熱できず，小さな塊になっている玉鋼を鍛接することができず，塊を大きくすることはできぬままタイムリミットが来てしまったためである。失敗後の検討会では温度が上がりきらなかったのは内部と外部との温度差によるものではないかという意見が出た。日本刀の製作プロセスの主役ともいえる鍛造にかかる技術は非常に複雑なものであり，現代においても刀匠の方々が古くからの技術を伝え，守っている。この技術の深さを垣間見る出来事であった。

図５　積沸かし

６．まとめ

既に述べたように，本研究は日本刀の製作プロセスの全てを実行することができなかった。この点については，今後実施方法等を精査していく必要があるが，刀匠の方々を中心として受け継がれてきた技術の奥深さを生徒に体感する機会を作れたと考えている。また，本研究の最大の目的である素材を精製し，製品化する一連の流れを学校教育の中で実践するという目的については，かなり達成できたのではないだろうかとも考えている。

課題研究が終了した後に班員を対象に実施したアンケートでは，全員が製鉄に関する知識が深まったと回答している。本校では，機械工作の授業内で高炉を使用した製鉄方法について学ぶため，高炉とたたらで製鉄方法は異なるものの，原材料から鉄が作られるという，教科書の中で文章として書かれている出来事が，自分の目の前で進行していくという経験を経て活きた知識を得たと考えられる。また，鍛造に関する知識も深まったと回答しており，現在の知識量と課題研究実施前の時点での知識量を比較したとき，10段階での自己評価で班員全体の平均値が８ポイント上昇していることが確認できた。本校では製鉄と同様に機械工作で鍛造についての知識を学ぶため，経験を経て得た知識というものが，いかに大きなものとなるかを再確認することができた。

自由記述では，以下のような記述が見られた。「今回は失敗したけど，諦めたくないです。卒業した後，数年経った後にでも，休みが出来たら誰かを誘って課題研究の続きをやりたいです。」，「０から作ることの難しさ，知識も材料も方法も自分達で考えてやっていくことがどれだけ難しいかを学べた。」，「現存する日本刀が多くの匠の努力により出来ていること，古代の技術を再現する時のワクワク感を学べました。」等のポジティブな回答が見られ，鍛造に関する興味関心を十分に持たせることができたと考えている。また，本筋からは離れた話にはなるが，本研究を経て新聞，テレビ等の各種メディアにも取り上げていただいた。

工業高校を取り巻く環境は厳しい状況であり，魅力的な活動を積極的にPRすることができたことも本研究の副産物であると考えている。

工業教育資料　通巻第410号
（10月号）
2023年10月５日　印　刷
2023年10月15日　発　行
印刷所　恵友印刷株式会社
©　編修発行　実教出版株式会社
代表者　小田良次
〒102 - 8377　東京都千代田区五番町５番地
電話　03－3238－7777
https://www.jikkyo.co.jp/