

たたら製鐵の炎を復活させる ～刀匠の技に挑む～

高知県立宿毛工業高等学校 機械科講師 山本 賢司

1. はじめに

3000年以上の昔から人類に利用され、現代においても金属材料の中心的存在である鉄（鋼）は、製鐵所の高炉を中心とした大規模な設備で、膨大な量が低コストで生産されている。

高炉による製鐵法が導入される明治期以前に日本で広く行われていた鉄生産の技法として、「たたら製鐵」がある。

平成11年より本校・機械科で「たたら製鐵」の研究が始まり、手作りの炉で燃料の松炭を燃やし、砂鉄などの鉍石を投入して、たたら鐵を作り出すことに成功した。出来上がった鐵の一部を使って作品製作を行ったが、ひび割れなどがあり不十分な出来映えであった。

たたら鐵で作られる製品の最高峰として、日本刀（刀劍）がある。日本刀は、「折れず・曲がらず・良く切れる」という特徴と、その地肌の模様（刃紋）の美しさで世界に知られている。

このような美術工芸品としての刀劍製作を行うための材料はたたら鐵でなくてはならず、刀を製作できる技量を持つ者は刀匠のみであると言われ、製作技法は「秘伝」とされて一般には知られていない。この刀劍の製作技法を解明し、刀と同等の作品製作を目標に研究を行った。

活動に際しては、たたら製鐵とその鐵を加工する古式鍛造の研究を行い、一般への普及活動を行っている「工房くろがね」（四万十市西土佐口屋内）より助言・協力を受けた。

2. 高炉製鐵法とたたら製鐵法

鉄鉍石や砂鉄などは、鉄（Fe）と酸素（O）が化合した酸化鐵の状態で産出される。この酸素との結びつきを解く還元反応をさせることが製鐵の原理となる。高炉製鐵法では巨大な高炉でコークスを燃料とし、2000℃ほどの超高温で鉄鉍石を還元・浸炭反応させ、溶解した銑鉄を生成している。超高温で反応させるため、鉍石やコークスなどに含まれるリンやイオウなどの不純物が溶けた鉄と結合し、後の精鍊過程でも完全に取り除くことが出来ない。

それに対し、たたら製鐵では小規模な炉で松炭などの木炭を燃料とし、低温で還元・浸炭反応をさせるため、不純物がきわめて少ない清浄な鐵を生成することが出来る。しかし、炉の規模が小さいが故に高炉のような大量生産を行うことは出来ない。

また、高炉で生成された銑鉄は液状で炉から排出され、転炉などで不純物の低減と炭素量の調整を行い、圧延を経て材料（鋼材）として使用できる状態になる。一方、たたら炉で生成されるたたら鐵の場合、卸金（おろしがね）という精鍊や、圧延に相当する鍛鍊（たんれん）などを経て材料として使用できる状態になる。

たたら製鐵といえば、鳥根県奥出雲町で財団法人日本美術刀劍保存協会が行っている「日刀保たたら」が有名であるが、これは江戸期から行われた「大たたら」と呼ばれる製鐵法であり、



たたら炉での製鐵

これは学校レベルではとても行うことは出来ず、本校では江戸期以前の小規模な製鐵法である「小たたら」に取り組んだ。

3. たたら製鐵炉とその操業

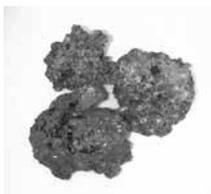
古来のたたら炉は、赤土などで築かれた高さ1.3mほどの筒形で、下部に羽口と呼ばれる送風口があり、鞆などの送風装置から風を送り込んで中の炭を燃焼させ、鉄鉱石や砂鉄を上部から投入して鉄に還元していた。本校製作のたたら炉は金属製の二重構造になった円筒形で、内壁に赤土を詰める形式である。この構造だと予熱された空気が炉内へ入るため、安定した操業が可能となり、炉を解体した後も赤土を詰めるとすぐに次の操業準備ができる。

4. 卸金

(1) 卸金とは

たたら製鐵で炉内に生成された鐵は、鉞（ケラ）と呼ばれる。鉞は製鐵の時に生じる不純物であるノロや燃えかすの炭などが混在したガサガサの状態で炭素量も一定ではない。卸金ではこの鉞をまとめて、炭素量を調整する。

鋼はこの炭素量の違い（0.0218~2.14%）で、柔軟な軟鋼から硬い硬鋼までその性質が大きく



たたら製鐵の鉞

異なる。

(2) 卸金炉とその作業

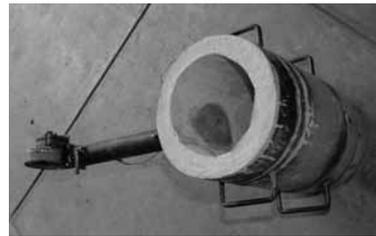
卸金炉の形状は、下の写真のような円筒形で風が入る羽口が横にある構造となっている。

この中で松炭などの燃料を燃やし、粒状にした鉞を入れる。この炉では、羽口前で炭が最も良く燃焼して「火袋」と呼ばれる空間が出来る。この火袋へ向けて炭と粒鉞が下がってきて、半熔融状態になり、固まりとなる。

また、羽口より下の部分は炭の燃焼で発生した一酸化炭素で満たされており、この部分で鐵への浸炭が行われると考えられる。したがって、あらかじめ燃焼しにくい粉炭を炉に詰めて羽口より下の炉底深さを変化させることで、鐵への浸炭や脱炭の度合いを調整することができる。

5. 鍛鍊

卸金した鐵を鍛鍊することで、しっかりとま



卸金炉



粒状にされた鉞

松炭



卸金作業

とまった材料の状態になる。

鍛錬には「折り返し鍛錬」と「積み沸かし鍛錬」とがあり、折り返し鍛錬は加熱した鉄をハンマー等でたたいて伸ばし、折り返して鍛接し、伸ばしてまた折り返し鍛接を行うことの繰り返しである。このとき鉄は鍛接で一体化するが、完全には混ざらずに組織が層状になる。これを10~12回繰り返すと、1000~4000層あまりの積層状組織となる。折り返し鍛錬の回数や技法によって、「鍛え肌」と呼ばれる板目や梨地のような模様が生まれる。



鍛造炉で加熱



大ハンマーで鍛接



鍛造機で水打ち



土置き



焼き入れ

6. 火造り・熱処理

十分に鍛錬を行った材料を製品の形状へ鍛造していく「火造り」を行い、ヤスリやグラインダーなどを使用して形状を整える。

熱処理の前に「土置き」を行う。土置きとは、粘土と灰や炭粉などを混ぜ合わせた「焼き刃土」を刃の上へ盛ることで、焼き入れの際に刃先側は急冷されて硬く焼きが入るように薄く盛り、峰側には厚く盛って焼きが入らないようにして粘り強さを確保する。また、土の厚い所と薄い所の境目には「刃紋」が生じる。さらに、焼き入れを行うことで卸金・鍛錬で材料の中に生じた「鍛え肌」の状態がよりはっきりと現れる。

7. 仕上げ

熱処理が終わったら研ぎを行う。目の粗い砥石から次第に目の細かい砥石で研いでいき、仕上げには「内曇り」と呼ばれる砥石のかけらで磨きあげる。



完成した「剣鉈」



竹炭たたら製鐵による作品



実習廃材

リサイクル鉄のペーパーナイフ

8. 竹炭でたたら製鐵

たたら製鐵に使用される燃料は松炭が最適とされてきたが、近年は松材が減少しており、「松が無くなったら、たたらの火も消える」と思われていた。そこで、松炭以外でたたら製鐵が出来ないのかと思い、竹炭に目をつけた。竹は建材や生活用品の材料として利用されていたが、近年は利用されることが少なくなったことで全国的に繁殖が進み、山を荒らす要因となっているので、これを伐採し竹炭にして防湿・脱臭材などに利用する研究を行っていた。

この竹炭をたたら製鐵の燃料として使用してみようと、約200kgの竹炭を準備して取り組んで、製鐵・卸金を行った。

ただし、今回の製作では鍛鍊を進めると鐵の炭素量が少なくなってしまったので、松炭でのたたら鐵を刃金とし、竹炭たたら鐵を地金とする「三枚合わせ」の後に火造りを行った。

完成した作品は日本刀に劣らない複雑な刃紋が浮き出ており、美術的価値の高い作品を作り出すことが出来た。

9. 現代鐵への応用

(現代鐵を竹炭でリサイクル)

近年この様な技法を用いて、たたら鐵を利用しているのは刀匠がほとんどであるが、昔の鋼材は全てがたたら鐵であったので、一般の鍛冶職人の間でも卸金や鍛鍊が行われていたようである。昔は鐵が貴重品だったので、道具はすり

減るまで使い続け、使用不能になると鍛鍊して練り固め、新たな素材として利用されてきた。

現在、学校の授業や企業活動などで生じる「廃材」は金属回収業者を経て、製鐵関連業によってリサイクルされている。これを学校独自で行うことは出来ないのかと「実習廃材」を卸金・鍛鍊することに取り組み、燃料には自前で製造した竹炭を利用した。

生徒が卸金・鍛鍊し、火造り・熱処理・研磨を行って完成した作品は、炭素量が異なる材料を練り合わせたため、板目模様の「鍛え肌」が浮き上がっている。

10. おわりに (今後の取組)

たたら製鐵や古式鍛造技術は、鐵と地球環境の未来について大きな可能性を秘めている。

現代の高炉製鐵は、大量の鐵を低コストで生産することが可能であるが、化石燃料を超高温で燃焼させるので、多量の熱と二酸化炭素を放出し、地球温暖化の要因の一つとなると考えられる。それに対し、たたら製鐵は比較的低い温度で操業を行い、燃料も炭という「バイオマス燃料」なので、この技法を発展させて化石燃料に頼らない製鐵の量産技術を確立すれば地球温暖化への影響を抑えることが期待できる。

このように、古来の製鐵・鍛造技法は、ただ単に懐古的な技としてではなく、「技術の温故知新」として未来に繋がる可能性を秘めていると信じて、今後も研究を続けていきたい。