

学生主導によるモノづくり教育とその後の効果

関 一郎* 堀江 崇文** 福田 雅史*** 友末 誠夫****

Manufacturing Education by Students Themselves, and Its Effect after That

SEKI Ichiro, HORIE Takafumi, FUKUDA Masashi and TOMOSUE Shigeo

A classical iron-making process, named Tatata-method, performed with some 2nd year students at ground of Tsuyama-college in March 2020. In this experiment, the classical iron-making process performed by some different grade students themselves, expecting an educational effect. In this report, effects of the manufacturing education for making consciousness construction between students are reported.

Key Words: Practical Education, Material and Metallurgical Science, Tatara

1. 背景

本校・津山高専の所在する中国地方は古代製鉄の盛んな地域であり、そこから派生した金属加工業を生業にする企業も数多く存在しているため、地域の人々の金属への関心も他の地域よりも高いことが窺われる。その様な中で企業の技術相談のために集まったメンバーである関、堀江、福田、友末が“つやまたたら”の会”を立ち上げ、中国地方の技術の復権を願い津山市内で古代製鉄法として知られるたたら製鉄を実施し地域の活性化に繋がりたいとの話が持ち上がり、2020年3月には第一回を津山高専の校庭で実施した。この時には“実践型専門教育としての鉄づくりの試行”と称してたたら製鉄を簡易的に模した永田式たたら製鉄法¹⁾を招いた講師の先生の指導の下で試行的に行った²⁾ところ、参加した学生からは非常に好評であった。

2. 実施目的

それまでに本校で学生と共に実施したたたら製鉄が参加学生および見学者等から好評であったことを受け、昨年度(2020.12)は教育教材のひとつとして教育効果の向上を期待し、実施目的をたたら製鉄による鉄づくりをゴールにするのではなく、学生同

士が協力し合って鉄づくりという目的を遂行することでその後の学生間の関係を円滑にし、金属材料系の実験実習および座学の授業を始め、その他の授業における学習面においても学生同士が協力し合って各々の目的を遂行できる様な関係構築ができる環境構築の一助となることを目指した。ここまでの学生の興味の変化およびその後の教育的効果への影響をまとめたので報告する。

3. 実施方法と成果

3. 1 準備

校庭でのたたら製鉄の実施にあたり、火気使用許可を本校総務課と地域消防署に届出を行った。また、実施に際して本校の参加学生および公開講座とする場合には参加者を募る必要があるが、昨年度は感染症の拡大が注視される時期と重なったため、余り大々的な募集を行って参加者が増えることを懸念し、初年度に参加してくれた当時の機械システム系3年生(現4年生)を介して参加者を募るとともに機械システム系2年生(現3年生)の材料学の受講学生に対して参加者を募るのみに留めた。また、本事業が学生主導で進めることに意義があると考えたため、参加者の募集は限定的ではあったものの参加者を募るためのポスターを学生に作成してもらうこととした。挿絵等は学生の判断に任せることとしたが、今回は学生がインターネットで探した本を図書館に購入を問い合わせたり、気に入った挿絵を本の著者³⁾に直接問い合わせたりして著作権の確認を行うなど、通常の学校生活では学ぶことのできない部分を自主的に学ぶこととなり、担当した学生自身は大変であったと言っていたものの結果的には

原稿受付 令和3年9月17日

*総合理工学科 機械システム系

**津山高専イノベーションセンター・コーディネーター(現・日本原子力研究開発機構)

***つやま産業支援センター・コーディネーター

****津山高専ブラザ・会長、協和機械株式会社・会長

学生に非常に有意義な経験をしてもらうことができたと感じている。また、昨年度の試みと大きく異なる点が当初予定していた講師の先生が都合により参加できなくなってしまったことであったが学生にその旨を伝え実施の意思を確認したところ、初年度の実績があるから自分たちでもできるとの心強い回答が得られたため、また、講師の先生からも経験になるから初年度の実施記録を基に実施するようにと促されて実施したため、当初の計画よりも学生主導の色彩の強いものとなった。

3. 2 たたら製鉄実験の実施

永田式たたら製鉄の実施に際しては、消耗品として耐火レンガ (SK32、耐火温度は 1350℃)、木炭 (市販品)、砂鉄 (今回は地の利のある神奈川県海砂鉄を利用することとし、事前に藤沢土木事業事務所・許認可指導課に問合せ問題なしとの回答を得ている。また、採取・分離にあたっては逗子開成中高校・岩井教諭および電気部のみなさまにご協力頂いた)、他にコンクリートブロックや羽口として利用する鉄管、ブロー、スコップやバール等¹⁾が必要である。実験当日のタイムスケジュールは冬至の近い時期であることを考慮し、明るい内に作業が終わることを見越して炉づくり(9:00~)、予熱(10:00~)、砂鉄と木炭の投入(12:30~)、降温開始(15:00~)、ケラ(銑鉄)の取出し(16:30~)とした。

図1は炉の製作の様子である。資料¹⁾や過去の経験を考慮した設計図(図2)は事前に用意していたものの、初年度の実績のある学生が率先して作業にあたりながら携わる学生に指示を出し、作業を手早く進めてくれた。炉内に空気を吹込むための羽口やそれを固定するためのモルタルなどは初年度の実験から適切なものを事前に準備しておき、炉の上にコンクリートブロックを積み上げて炉を組み上げた。炉内で火をおこし、木炭を積み上げながらしばらく炉の余熱を行った後、順次、木炭と砂鉄を投入



図1 たたら炉の製作の様子

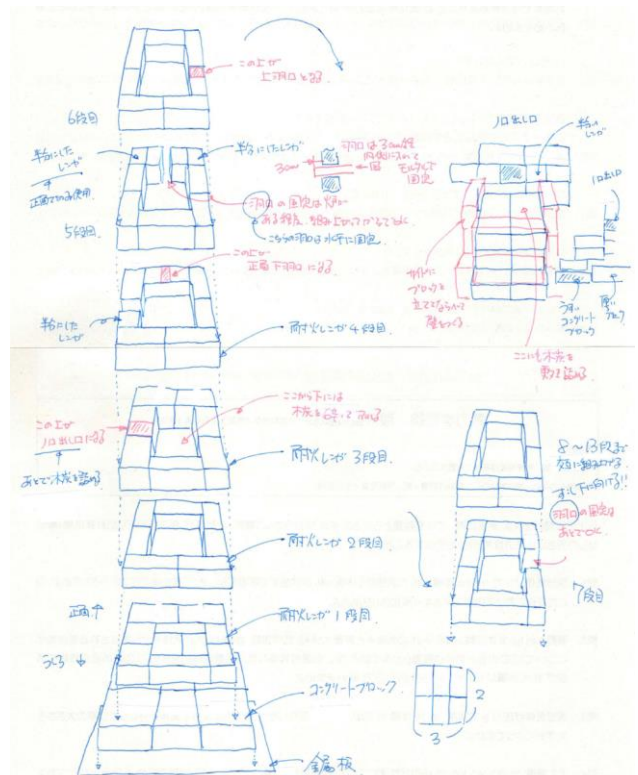


図2 たたら炉の設計図

した。全ての木炭と砂鉄を投入し終えた後、徐々に火力を弱めて最後に炉を壊して還元した鉄を取り出す予定であり、その様子をこの日に同時進行していたジュニアドクター育成塾の塾生に見学させる計画であったものの、実際には作業が長引いてしまい、最後の様子まで塾生に見せることができなかった(図3)。しかしながら、今回の試みにより本校学生が主導して屋内では難しい規模の実験に携わっていたことは塾生にも感動として少しは伝えることができたのではないかと考えている。肝心の成果であるが、今回は砂鉄から還元された鉄の粒子が分散して炉内でスラグや木炭を巻き込んだ大きな塊となってしまう、目的であった大きな鉄の塊(ケラ)だけを取り出すことができなかった。その後、今回



図3 塾生の見学の様子



図4 ケラ出しの様子

の結果について講師の先生（東京工業大学名誉教授・永田和宏先生）に相談したところ、炉の余熱方法に問題があり、炉の温度が十分に上昇しなかったためにスラグ（ノロ）を生成させることができず、ケラを十分に成長させることができなかつたのではないかと講評を頂いている。また、今回のたたら製鉄でケラを作ることに目的であった学生同士の交流についてであるが実験開始直後はお互いに遠慮し合っていた当時の学生達（5M-1人、3M-11人、2M-2人、3Sと2Sから各1人の計16名の他に飛入りの学生が数名）が実験後には図5のような良い雰囲気でお互いの労を讃えており、実験を主催した私自身にとっても嬉しい瞬間であった。また、この実験に対する学生の定量的な意見を集約するために任意のアンケート（回答率11/16人）を実施しているがその回答として①ものづくり、特に化学プロセスや金属材料に興味を持ってましたか？については特に興味を持てたとの意見が77%、②授業中（材料学や化学など）でも素材（鉄などの金属やその他材料）の製造法は学びましたが今回の実験で興味や知識が深まったと感じますか？については非常に深まったが64%、③検討会（実験結果について各自・



図5 実験後の学生の様子

考察を出し合って評価を行い、次の実験条件を模索すること）を実施したら参加したいですか？についても64%であった。さらに④今回のたたらを通じて上級生や下級生の距離感が縮まったと感じますか？については知らなかった先輩達と話す機会が持てた、色々と相談に乗ってもらえたなど、総じて教育教材として効果的および好意的な意見が寄せられた。

3.3 その後の教育的効果

本年度(2021.4)から材料学を担当する機械システム系2年生を受け持つ担任を引受けることになったが、それと時期を同じくして本論題であるたたら製鉄実験に主体的に参加してくれた学生が研究室を頻繁に訪ねてくれるようになった。併せて担任をする機械システム系2年生の学生には特に材料学など、授業の内容が解らなくなったら必ず学生同士で確認したり、担当教員に相談したりする様にと指示していたこともあり、前年までと比較しても頻繁に学生が私の居室を訪ねてくれるようになった。必然的に居室内で上級生（機械システム系の4年生）と下級生（機械システム系の2年生）が顔を合わせる機会が多くなり、初めの頃は私が下級生に直接授業の解説を行っていたものの、上級生も一度は受けていた授業であることもあり、私が特に上級生に対して下級生に解説する様にと指示した訳ではないが、次第に上級生が下級生に直接授業内容を解説してくれるようになった（図6）。また、前報²⁾では一般に学生が試験対策として内容に興味を持ってぬま、理解せぬまま語句や計算方法を暗記し、その知識は定着することなく試験後には学習した内容を忘れてしまう学生が少なからず存在しているとの懸念があった。しかしながら、授業後2年経って尚も下級生に対して適切な指導が行えているということは、演習的な要素を多く盛込んだ私の講義（材料学）に意欲的に取り組んでくれたことで既に



図6 上級生による下級生指導の様子



図7 学生同士による指導の様子

一定の知識定着があった可能性もあるが、たたら製鉄を介した一連のモノづくり教育に主体的に参加してくれたことによる実体験を通じた段取能力の向上、つまりは理論的思考に基づく情報処理能力の向上による説明能力の向上、更には下級生の疑問に対して手助けができる相互理解意識の現れなど、様々な経験が複合的かつ相乗的に本事業が学生の能力向上の一助となっている可能性がある。更に、この様に上級生から下級生に対して指導する状況が続いてくると次第に下級生同士でも教え合う雰囲気生まれ(図7)、これが私の居室に限らず例えばホームルームに学生同士が集まって教え合っている場面に出会うことが度々あった。この様に学生同士が教え合う雰囲気は私が本学に赴任する前から多くの先生方のご指導により学生に植え付けられたものである可能性も大きいと思うが、学生が積極的に集まって学習できる環境が維持されていることは非常に望ましく、この様な機会創出が異学年混成で実施したモノづくり教育が多少なりとも影響していると思えば喜ばしい。

さて、肝心の教育効果の定量的評価についてであ

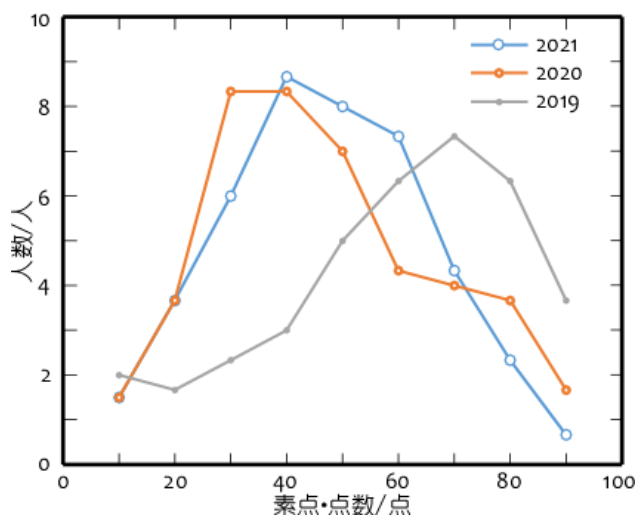


図8 材料学の前期中間成績の推移

るが、図8は私自身が教科担当を務める機械システム系2年生を対象とした材料学の前期中間試験の素点を私が教科担当となった初年度から現在に至るまでを比較したものである。ただ、実際の評価に際しては試験素点と毎週の課題レポート、テスト直しレポートなどを課して総合的に評価を行っているため、テストの素点については評価基準(60点)以下であっても問題ではない。また、2021年の平均値は43点、中央値は45点、2020年の平均値は44点、中央値は36点、2019年は平均値が55点、中央値が61点であった。これによりテスト素点は初年度が一番良好であり、その後の教育成果が下がっている様にも見えるが、テスト問題の作成に際しては上級生から下級生への過去問の頒布があることを考慮し、年を追う毎に説明問題を増やして問題難易度を調整しているため、単純に学生の学習意欲の低下があったと考えることはできない。逆に総合的には中央値が一番下がってしまった2020年度の学生の中には毎週のレポートを丁寧に作成して提出する非常に学習意欲が高い学生がいる一方で2020年度は感染症対応のためにMS-Teamsを用いた遠隔授業対応を強いられたため、これに対応しきれなかった学生が一定数おり、授業を理解できた者とできなかった者の差が大きくなり、そのことが成績を二分してしまっただと考えることができ、これは遠隔授業の弊害であると捉えることもできる。2021年度については前年度より平均値、中央値ともに改善が見られ、僅かな差異ではあるものの学生間の成績の差が小さくなっていることが見て取れる。これは前年度の様には遠隔授業ではなく、通常形式の授業であったため、全ての学生の理解が進み易かったことは容易に想像できるが、それ以外にも学生同士が相互に教え合うことで学力の向上に繋がっていることは確かそうである。一方で初年度の学生達であるが、このクラスは成績の上位の者からそれ以外の者に至るまで一緒に学習する習慣が既にあり、彼らから要求されて補講を実施することが多かったが、そのことが全体的な成績の引き上げに繋がっていると考えると学生同士の繋がりは学習に際して非常に重要であることは容易に想像できる。また、このことに対する定量的な尺度として授業評価アンケートの結果を利用することができるが、本年度の受講学生の学習効果、つまり成績とアンケートによる学生評価との相関についてはアンケート集計の終わる本年度末まで待つ必要であり、このことについては追って検討を行いたいと考えている。

本事業の具体的な教育的成果については未知数なところも多いものの、私の推進してきたたたら製鉄によるモノづくり教育を通じて上級生と下級生が知り合い、実験を通じて関係を深めていった経験

がきっかけとなり、特にここでは材料学を学ぶ機械システム系2年生を居室で初めて出会った学生であるにもかかわらず積極的に指導し、彼らの学習意欲の向上に寄与してくれていたのであれば非常に有難いことであり、協力してくれた学生には感謝している。一方で教員による学生指導だけで学生の学習意欲を引き上げることは容易ではなく、学生の協力があり、学生とともに協調して学生の学習指導にあたることによってバランスの良い教育指導が可能になる可能性があり、教員の務めとしてはそのきっかけとなる学習機会を学生に提供することであるのではないかと考えている。

本年度(2021年)より、令和3年度校長裁量経費・プロジェクト経費を受けて本校・原田寛治教授(代表)が低学年学習支援プロジェクト(Q-room)を立ち上げ、上級生による下級生指導の機会提供を進める様であるが、それによる学生の学習意欲向上および学力向上は大いに期待できる。

4. まとめ

初年度に引き続き、昨年も多くの方々の熱意と配慮に加えて、多くの学生の積極的な参加によりたたら製鉄の公開実験を実施することができた。さらに本事業が学習教材として公開実験に参加した学生のみならず多くの学生指導に派生し、その有効性が示されている様子を窺い知ることができた。

謝 辞

この度のたたら公開実験の実施において計画段階からご助言くださるとともに実施に際しては指導員として学生の安全配慮と指導にご協力くださいました佐藤誠先生(先進科学系教授、現・茨城高専)、守友博紀先生(先進科学系講師)、柴田 政勝氏(津山工業高等専門学校コーディネーター、現・退職)、ジュニアドクター育成塾担当の吉富秀樹先生(特命教授、シニアメンター)、砂鉄の確保にご協力いただきました逗子開成中高校・岩井教諭および電気部のみなさま、実験に主体的に参加してくださいました本校・機械システム系および先進科学系の現4年学生・井口健氏、岡安基樹氏、小野新菜氏、亀山郁弥氏、末田隼一氏、時本悠生氏、野口広氏、松岡優希氏、松田千波氏、松野将大氏、柳本勇人氏、渡部乃愛氏、現3年学生の加藤夏帆氏、高石若葉氏、渡邊雪菜氏と彼らの実験に興味を持ち見学に駆けつけてくださいました教職員と学生、市教育委員会および市民の方々に感謝いたします。また、本事業の実施にあたりは令和2年度校長裁量経費・プロジェクト経費“古代製鉄を通じて学ぶものづくり教育の拡充”により実施いたしましたこと、ここに記して感謝とさせていただきます。

参 考 文 献

- 1) 永田和宏、山崎克己：イチから作る鉄、農文協(2019)。
- 2) 関一郎、堀江崇文、福田雅史、友末誠夫：津山工業高等専門学校紀要、62(2020)49-54。
- 3) 角田徳幸：たたら製鉄の歴史、吉川弘文館(2019)。