

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2014

課題番号：22320158

研究課題名(和文)失われゆくたたら製鉄技術・銑押し法の復元的研究

研究課題名(英文)Reconstructive research on the Japanese traditional pig-iron production

研究代表者

村上 恭通(Murakami, Yasuyuki)

愛媛大学・東アジア古代鉄文化研究センター・教授

研究者番号：40239504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：当該研究の最終年度に当たり、これまでの復元実験の成果を検討し、木原明(国選定保存技術保持者<玉鋼製造>)との意見交換を実施した。その検討成果を受け、2014年10月、岡山県新見市備中国たたら伝承会実験場において製鉄炉(愛媛大学20号炉)を復元し、銑鉄生産を目的とした操業実験を行った。製鉄生産炉の要が、送風孔の角度・高さ、炉床の堅さであることを反映した最終の実験では、当初の目的である銑鉄を炉外に連続して生産することができた。送風孔の高さをさらに調節すればさらに生産効率があることが判明した。しかし製鉄遺跡の情報から復元した炉で銑押し技術を復元するという当初の目的は達成できた。

研究成果の概要(英文)：After consideration of the result of the former experiments and exchanging views with Akira Kihara (Japanese traditional technique holder<Tamahagane steel production>), final experimental production of the pig-iron production was carried out in October, 2014. Ancient furnace (Ehime University Furnace No.20) was built and pig-iron production was succeeded. The first purpose of reconstruction of pig-iron using iron sand could be achieved.

研究分野：考古学

キーワード：たたら製鉄 銑押し法古代製鉄技術 古代製鉄技術 箱形炉 半地下式豎型炉 実験考古学

1. 研究開始当初の背景

2003年度、科学研究費の交付を受け、『日本列島における初期製鉄・鍛冶技術に関する実証的研究』(2003～2005年度科学研究費補助金 基盤研究(B) 課題番号 15320109)に着手した。この研究では古墳時代の製鉄遺跡出土資料の観察段階から国選定保存技術保持者(玉鋼製造)の木原明村下に参画いただき、経験に裏打ちされた指導を受けながら、鉄滓や炉壁の肉眼による鑑識力を高め、効率よく資料を抽出して金属学的分析に供する方法を得た。そして研究協力者とともに古墳時代後期の製鉄炉を復元し、炉を設計し、2004年に愛媛大学において4基の製鉄炉を復原して、木原村下の指導のもと製鉄実験を実施し、炉内の構造、砂鉄の種類・投入法を変えることによって鋳も、銑も作りわけることがわかった。

ところが考古資料に拠れば、製鉄炉は古墳時代に比較して大型化することが判明しており、また銑鉄が確実に生産されていた炉も明らかになってきた。ただし、炉の大型化は操業のコントロールがより複雑になることが予想された。技術者である木原氏にも指導を受けながらその後も年に1度、製鉄復元実験を重ねてきたが、伝統技術の技術書に記された内容を反映させる程度では、銑鉄生産はできないという認識にいたっていた。

2. 研究の目的

わが国の伝統的製鉄技術であるたたら製鉄技術は俄国『わが国古来の砂鉄製錬法』(1933年)にも記録されているように鋳(けら)押し法と銑(ずく)押し法とがある。鋳押し法は存命であったたたら製鉄技術者、故阿部由蔵氏を中心として、昭和に復活した。阿部氏は国選定保存技術者(玉鋼製造)の第1号として認定され、その技術・知識・精神はたたら技術統括者である村下の木原明氏、渡部勝彦氏により継承されている。またたたら養成員も木原村下らのもとに修行を重ねており、鋳押し法についてはその技術伝統が今後も受け継がれていくことが保証されている。

これに対し銑押し法は依氏の著作を除くと詳細に記録されることもなく、まただれにも継承されることもないまま、現在にいたり、具体的な技術が忘却されつつあると言っても過言ではない。

そこで本研究はわが国のたたら製鉄法の一つである銑押し法について、製鉄遺跡の発掘調査成果を検討し、製鉄技術者の技術者の知識や技術を学び、製鉄技術者とともに製鉄炉を復元し、実験を行うことによって銑押し法を再現し、その技術の特質を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究は 古代製鉄遺跡の事例研究、俄国『わが国古来の砂鉄製錬法』(1933

年)の熟読と討論、製鉄炉の復元と実験、実験成果の検討会、実験生成物の金属学的分析を一サイクルとして、毎年推進してきた。 、 、 を翌年の に反映させることを主眼とした。

(2) 古代の銑押し製鉄炉が粘土床、浅い送風孔角度をもつことが判明しており、その代表的な遺跡である福岡市元岡遺跡の製鉄炉をモデルに炉(愛媛大学14号炉～20号炉)を設計した。またこれらの遺跡では軽質で多孔質(発泡質)の鉄滓が流出していたことが判明した。これらを実験において再現することとした。

(3) 依技術書の記述と遺跡出土遺物の金属学的分析成果に従い、また木原明氏の指導を得て、チタン分の多い砂鉄(浜砂鉄)、少ない砂鉄(真砂鉄)を1対1で配合した。

(4) 最終の愛大20号炉生成物に関する金属分析については、次の諸項目を行った。

肉眼観察

マクロ組織(本来は肉眼またはルーペで観察した組織であるが、今回は顕微鏡埋込み試料の断面全体像を、投影機の5倍で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡検査によるよりも広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。)

顕微鏡組織(鉄滓の鉍物組成や金属部の組織観察、非金属介在物の調査などを目的とする。試料観察面を設定・切り出し後、試験片は樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子の3 μ mと1 μ mで鏡面研磨した。また観察には金属反射顕微鏡を用い、特徴的・代表的な視野を選択して写真撮影を行った。)

ビッカース断面硬度(鉄滓中の鉍物と、金属鉄の組織同定を目的として、ビッカース断面硬度計(Vickers Hardness Tester)を用いて硬さの測定を行った。試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重を除いた商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用した。)

EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)調査(試料面(顕微鏡試料併用)に真空中で電子線を照射し、発生する特性X線を分光後に画像化し定性的な結果を得る。更に標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピュータ処理してデータ解析を行う方法である。反射電子像(COMP)は、調査面の組成の違いを明度で表示するものである。重い元素で構成される個所ほど明るく、軽い元素で構成される個所ほど暗い色調で示される。これを利用して、各相の組成の違いを確認後、定量分析を実施している。また元素の分布状態を把握するため、反射電子像に加え、特性X線像の撮影も適宜行った。)

化学組成分析

(出土鉄滓の性状を調査するため、構成成分の定量分析を実施した。全鉄分(Total Fe)、金属鉄(Metallic Fe)、酸化第一鉄(FeO):容量法。炭素(C)、硫黄(S):燃烧容量法、燃烧赤外吸収法、二酸化硅素(SiO₂)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化カルシウム(CaO)、酸化マグネシウム(MgO)、酸化カリウム(K₂O)、酸化ナトリウム(Na₂O)、酸化マンガン(MnO)、二酸化チタン(TiO₂)、酸化クロム(Cr₂O₃)、五酸化燐(P₂O₅)、バナジウム(V)、銅(Cu)、二酸化ジルコニウム(ZrO₂):ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer)法:誘導結合プラズマ発光分光分析。)

(5)東日本の古代における銑生産炉である半地下式竪型炉による復元実験を行い、西日本で出現した箱形炉との技術比較を行う。

4. 研究成果

(1)復元実験の成果:2013年度の愛媛大学19号炉(愛大19号炉)と2014年度の愛大20号炉の操業で、一定の大きさをもって流出する銑鉄を生産することができた。19号炉は送風孔の高さが7cmと低かったために炉使用の熔損が著しく、鉄塊が深く沈み込むこととなったために、この点を反省し、20号炉では角度はそのまま高さ10cmと設定した。その結果、19号炉に比較して、倍以上の銑鉄が生産できた(写真1)。



写真1 愛大20号炉の出銑の様子

ただし、この20号炉でも、炉床の熔損があ

り、熔損こそが炉内の銑鉄・鉄滓が炉外に流出することを阻害するという大きな原因を掴むことができた(写真2)。



また依技術書で「粟ぼうそう」とよばれている融着帯が、製鉄実験途中で送風を止め、炉内を密閉したために、冷却して固着し、その実態を観察することができた。この粟ぼうそうが直接炉底のスラグ溜まり、銑鉄溜まりに落ちて、熔融し、銑鉄ができることも実際観察できた。

日本古来の伝統的な粘土製の低い箱形製鉄炉を用い、砂鉄を原料、木炭を燃料として、銑鉄を生産するという銑押し法の復元はほぼその目的を達成したといえよう。

(2)金属分析成果:愛大20号炉実験生成物に関して、最終生成物である流れ銑は、不純物の少ない高純度銑であった。炭素(C)と鉄(Fe)の合金といっても過言ではない。炭素(C)は3.4%の実績にあり亜共晶組成の白銑(white pig iron)である。実用銑鉄の炭素量2~4%の範疇に収まる。当銑鉄の化学組成は0.02%Si、0.05%Mn、0.139%P、0.01%S、0.01%Cuなど諸性質に悪影響を及ぼすものはない。ただし、流れ銑の輪切り断面にみられた多孔質と空洞の発生についてはその理由が判然としなかった。

次に製錬中の作業進行に当たって炉熱上昇から生成鉄の銑化が顕著になるのが、含鉄流動滓の中の鉄粒に読み取れた。ねずみ銑や白銑と共に製錬滓の鉱物相がシュードブルーカイトを介しての挙動である。炉底鉄塊がどのような生成物が判らないが、流れ銑生成の時点がの最盛期と考えられよう。

依国一博士によると銑押しは鉤押しに類似して、唯其の相違する重要な点は使用する原料砂鉄の種類を挙げている。つまり赤目砂鉄(高Ti砂鉄)の充当である。今回の実験では金属的な発色を呈する緻密滓の化学組成から5%前後の中チタンの使用を裏付けている。

(3)半地下式竪型炉については福島におい

て愛大 16 号炉を復元し、実験に当たり、その結果、炉高は 2 m と高いものの、炉対を地山に掘り込むことにより、箱形炉とは比較にならない築炉上の省力化が図られたことが理解できた。この 16 号炉の操業では、実験途中で送風管にひびが入ったこと、砂鉄が軽すぎて飛散する比率が高かったことなどから、十分な量の鉄の生成を見なかった。しかし、炉高が高い分、高い炉内温度の維持が容易であることもわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

MURAKAMI Yasuyuki, The Reconstructive Experiment of Prototype of Tatara Furnace and its Preliminary Research, BUMA、査読有、2014、149 - 152

[学会発表](計 4 件)

MURAKAMI Yasuyuki, The Reconstructive Experiment of Prototype of Tatara Furnace and its Preliminary Research, BUMA、2013, Nara (Japan)

村上 恭通, 日本古代の半地下式竪型炉による銑鉄生産、第 3 回日本古代銑鉄生産研究会, 2012 年 9 月 21 日、将平鍛刀場、福島県福島市

村上 恭通, 銑鉄生産用の箱形炉の構造、第 2 回日本古代銑鉄生産研究会, 2011 年 7 月 2 日、新見市文化交流館、岡山県新見市

村上 恭通, 日本古代の銑鉄生産の諸問題、第 1 回日本古代銑鉄生産研究会, 2010 年 10 月 2 日、日立金属安来製作所鳥上木炭銑工場、島根県横田町

[図書](計 1 件)

村上 恭通, 他、愛媛大学東アジア古代鉄文化研究センター、失われゆくたたら製鉄技術 銑押し法の復元的研究、2015、総 66 ページ

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.ccr.ehime-u.ac.jp/aic/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 恭通 (MURAKAMI, Yasuyuki)

愛媛大学・東アジア古代鉄文化研究センター・教授

研究者番号：40239504

(2) 研究分担者

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：