



11月28日29日 愛媛大学東アジア古代鉄文化センターで開催されたシンポジウム「たたら製鉄の歴史と技術」を聴講した。日本に「鉄」が伝来して製鉄が始まる5世紀後半～6世紀前半まで、実に800年を超える期間を要し、日本で始まった製鉄法は類型のない日本独自の砂鉄を使った箱形炉の製鉄技術「たたら製鉄」。

「たたら製鉄は日本古来の製鉄技術」と言われながら、その中身はまだ神秘的なベールに包まれている部分も多く、また「たたら製鉄」の認識も必ずしもひとつではない。

アジアの西端 約3000年前トルコ半島に興ったヒッタイトが発展させた製鉄技術がアジア大陸を横断して 東アジア 中国・朝鮮半島を経て日本へ伝播し、日本では「たたら製鉄」として花開いた製鉄技術

今回「たたら製鉄の歴史と技術」と題して 下記4つの視点からレビューがあり たたら製鉄の具体的な中身について論議された。

東アジアの製鉄技術史からの視点	〔愛媛大学 東アジア古代鉄研究センター長 村上教授〕
たたら製鉄技術の独自展開の視点	〔古代吉備文化センター 上梶 武 氏〕
具体的なたたら製鉄操業の視点	〔「日刀保たたら」村下 木原 明 氏〕
たたら製鉄炉の冶金的反応の視点	〔東京工大 名誉教授 永田 和宏氏〕

### シンポジウム資料「たたら製鉄の歴史と技術」より 聴講 概要

1. 「アジア製鉄史とたたら製鉄技術成立史」 愛媛大学東アジア古代鉄文化研究センター長 村上恭通氏  
東アジアの中国・朝鮮半島そして日本での製鉄法の歴史的な比較による日本独自の製鉄技術といわれるたたら製鉄の位置づけ
  - ◆ 約5mの高さを持つ巨大な中国古代の製鉄炉・約2mの高さの朝鮮半島3世紀の製鉄炉 そして たたら製鉄初期の6世紀頃の高さ約1mの製鉄炉 炉の高さや外径は異なるが 内径は余り差がないこと知り、ビックリ。原料の差 反応帯での高温保持と壁侵食のためと聞く。また 大きさ・形状・挿入位置に現れた送風管の役割にも微妙な差。それらが たたら製鉄を独自の展開をもたらしていったと。
2. 「たたら吹き製鉄の成立過程」 岡山県古代吉備文化センター上梶武氏  
8世紀から中世 たたら製鉄の展開とともにたたら製鉄の根幹をなす原料・「箱形製鉄炉」の構造・関連施設の整備と「山内」の構成とたたら製鉄の中身が発展変化を遂げた。  
特に 製鉄原料としての砂鉄の使用 防湿を目的とした箱形炉の下部に設けられた巨大な地下構造など、世界に類のない日本独自の技術が展開され、「高殿をちゆうしんとした山内」として完成されてゆく。
  - ◆ 中世 中国山地で箱形炉の下部構造が大きく発展し、世界に類のない大きな下部構造を有する安定量産炉ができあがる。あまり強く認識していなかったのですが、緻密な下部構造の存在は日本のたたら製鉄炉独自性の大きな一つと認識しました。
3. 「たたら製鉄と古代・中世の製鉄復元」 「日刀保たたら」村下 木原 明 氏  
今までの数多くの製鉄炉復元・操業で 炉内の仕掛けの差によって 炉内反応。反応生成物の相違を数多く経験。今治高橋佐夜ノ谷Ⅱ遺跡の古代製鉄炉の復元操業 新見市での中世の大型炉の復元操業で現代に伝わるたたら製鉄に通じる技術を追体験している。たたら製鉄では 実際の築炉・操業の中に「知恵」として蓄積された技術が多く、その理解のためには製鉄炉の復元し、その復元炉での実験操業が欠くことが出来ない。

そんな還元操業実験の経験や検討結果から たたら製鉄の製鉄技術を考察。

- ◆ 技術的には色々あるのですが、実際の操炉では出来るだけ温度上昇に気を使う操炉をし、安定した鉄滓がほとぼり出てくると操業がうまくいっていることを確信できると。

銑鉄と玉鋼を吹き分けるのに温度制御が重要で操炉でも 温度制御が重要で どんな 操炉制御しているのかそれが たたら製鉄の神秘性の基本とと思っていましたが、ほかの先生方の講演で教えてもらった話からも理論的にはその通りなのですが、その制御は操炉に 100%依存しているのではなく築炉・送風管などしかけがむしろ重要と聞き、また、その具体的な中身を聞くことが出来てなるほどと。

ひとつ たたら製鉄の神秘性をはがすことが出来ました。

#### 4. たたら製鉄による冶金学的解析

たたら製鉄炉では木炭燃焼で出来た高温ガスをエネルギーとして、微粉鉄鉱石・砂鉄が飛散しないソフトブローでかつ高温領域を形成する技術である。

砂鉄が還元される環境としては送風と通気性が安定に確保されつつ、炉高さがほぼ 1m 必要である。

〔挿入された砂鉄が高温ガスとの反応帯を通過して、約 30 分ほどで炉底へと落ちてゆく〕

反応が砂鉄でなく塊状になれば 反応速度・通気性ほか反応環境が変わるので、炉高も変動するが、砂鉄では この高さで反応が進行できる。還元反応が安定に起こるためには 1350°C の確保が必要で温度が高温側に振ると還元された鉄中への炭素濃度が急激に高くなり、銑鉄となる。

また、スラグは還元反応で出来た鋼・銑鉄を覆って再酸化防止するために必要な低融点スラグ作成に  $TiO_2$  は必要となる。

〔 $TiO_2$  はスラグ粘性を上げて通気性の妨げになるが、炉底での熔融スラグ形成には必要〕

- ◆ 1350°C を中心とした反応帯の温度には築炉 特に送風管の形状・位置・方向と送付量などが大きく影響し、V 字型炉底 そして 炉壁の侵食・炉床が重要なポイントとなる。

V 字底の壁が侵食を受けると送風管距離が長くなり、温度が低下 最初底に形成されたズクから玉鋼へと生成物に変化する。 また 銑鉄形成を主とする操業では V 字の底を侵食しないように送風管の方向を変えるという。

たたら炉での木炭燃焼ガスの酸素分圧は 10 の<sup>-11</sup>~14 乗の比較的酸素濃度の高い環境での還元反応で、この環境下では鉄は還元されるが、 $SiO_2$  など不純物は還元されず、鉄中には入らず、高純度の玉鋼が形成されると聞きました。

たたら製鉄炉では銑鉄とケラ〔鋼〕が吹き分けられるのか・・・なぜ 固相反応で形成された鉄塊の中心部に炭素量の少ない玉鋼が形成されるのか???? 不思議でしたが、たたら炉での反応を判りやすく説明してもらって ほぼわかりました。

また、操業で「銑鉄」と「玉鋼」を吹き分けるとしていましたが、操業ばかりでなく、炉の仕掛けが異なること また このたたらへの反応には炉床の材料によっても微妙に変化するなど知らなかったことが理解できました。

一番の驚きは反応論を当てはめれば その通りなのでしょうが、中国・朝鮮半島・日本で高さが大きく異なる製鉄炉で炉内径がほぼ同じであることをまったく知りませんでした。

「中国・朝鮮半島の製鉄炉がどこから 持ち込まれた可能性はないか??」とかすかに思っていました、海外にこの砂鉄・微粉鉄鉱石原料の製鉄が見つからない限りその可能性は遠いと思いはじめています。

「たたら製鉄は日本独自の製鉄技術」だとすると伝来から製鉄開始まで 900 年の長い年月がずっしり重い。

本当に箱形炉の前 たたら製鉄の技術原型はないのだろうか・・・

精錬鍛冶炉が製鉄炉に進化して行ったプロセスには 以前より惹かれているのですが・・・・・・・・

今まで 断片的に もやもやしていた「たたら製鉄」技術。今回 それぞれ明確な視点からのレビューを聞くことが出来、自分の頭の仲間クリヤーになったような気がしています。

内容詳細は愛媛大学 東アジア古代鉄センターシンポジウム「たたら製鉄の歴史と技術」資料 2009. 11. 28・29 を参考にされたい。



愛媛大学  
東アジア古代鉄文化研究センター  
第1回 鉄文化シンポジウム  
たたら製鉄の歴史と技術

### 東アジア製鉄史と たたら製鉄技術成立史

愛媛大学  
東アジア古代鉄文化研究センター  
村上恭通

#### 日本列島の製鉄、たたら製鉄の起源

- 鉄の使用、鉄器の生産、鉄の生産
- そのモデルは朝鮮半島、中国にある。
- しかしながら、大體のスタンダードな技術が直接、伝わったのか？
- とくに「たたら製鉄」の箱形炉は東アジアにおいてきわめて特異な製鉄炉
- なぜこのような製鉄炉が誕生し、鉄生産を可能とするようになったのか？
- 日本列島における製鉄炉の衰退と生成鉄の種類

#### 東アジアの製鉄炉の誕生と展開

中国：西周代末期に塊煉鉄が出現。製鉄の開始

ユーラシア西方から到来した塊煉鉄生産技術

+

殷代以来の中国独自の銅製煉鉄技術

= 円筒形自立炉、炉壁厚と炉内径がほぼ同じ (ex. 湖北省銅鞮山遺跡)

↓

炉壁の厚い、後方一本送風の円筒形自立炉の成立 (伊高約1m)

#### 中国：量産指向に伴う高炉化

- 春秋時代末期～戦国時代前期  
塊煉鉄生産に加え、鉄鍍生産を開始。
- 炉材は粘土。炉高増加に限界。
- ↓
- 戦国時代後期  
大量鉄鍍生産が可能。
- 炉材として煉瓦(耐火)の使用
- ↓
- 「高炉化」指向を促進

#### 製鉄炉高比較

日本(6世紀)・朝鮮半島(4世紀)・中国(1~2世紀)

#### 厚い炉壁と狭い炉内

炉外部径 約2.5m  
炉内部径 約0.5m  
炉壁付近の厚さ 約1m

#### 朝鮮半島への 鉄・鉄器生産技術の伝播

- 青銅器に伴う燕国系統(燕そのものの鉄器ではない)の鉄器の存在から戦国後期には製鉄技術が朝鮮半島北西部から流入した可能性大。
- 3~4世紀の製鉄炉址からみる限り、円筒形自立炉...ただし炉材は粘土、煉瓦使用は欠落。木芯の工夫
- 大口径送風管1本による送風
- 鉄鍍生産+鉄鍍生産...中国的生产法の継承

#### 朝鮮半島製鉄炉の炉内反応

#### たたら製鉄炉の起源：古墳時代の製鉄炉

- 6世紀後半に中国山地に出現する製鉄炉
- 外見上は円筒形自立炉とほぼ同じ
- しかし高さは全くおよばない。

#### 炉高のみでなく、装置が異なる。

- 炉壁に穿孔し、炉内に風を送る。
- 中国・韓国は炉内に送風管挿入。
- 炉壁の穿孔(木呂穴)は両側に複数。
- 中国・韓国は炉後方より1本。
- 送風口は先端が細く風を絞って風圧を高める。
- 中国・韓国は大口径で先端も径が大きい。

日本の製鉄炉は強制的に強風を送る。中国・韓国は風を絞る必要がない。

#### 7世紀後半における製鉄炉の長大化

長大化の歴史的背景

7世紀後半の歴史的事象を背景とした鉄の量産化の必要性

- 一ただし、大體からの技術供与は望めない状況。

しかし、

- 生成する鉄の種類に応じたコントロールが困難になったのではないかと？
- 小規模製鉄炉の段階には必要とされなかった製鉄技術以外のさまざまな技術が必要とされるようになったのではないかと？
- 一例えば炉内の攪拌など

#### たたら製鉄炉=箱形炉の起源

- 東アジアにおける高炉化から造られた製鉄炉
- 直接的な技術移転が大體からなかったことの影響
- 古墳時代後期の炉壁もろ溶冶炉などの影響
- ただし、程度に小規模な製鉄炉であったがために鉄鍍生産のみならず鉄鍍生産も可能
- 結果的に、高度な直接製鋼が可能となった。

村上恭通東アジア古代鉄研究センター一長 講演スライド 2009. 11. 30.

#### たたら製鉄の操作技術

砂鉄と木炭の投入

砂鉄

600°C

1300°C

1450°C

1.2m

実物炉内断面写真

#### 佐夜ノ谷遺跡発掘流出滓・炉壁の成分比較

遺跡名	名称	測定年代	Ti	Fe	S	SiO2	Al2O3	CaO	K2O	P	使用時期	Ti/Fe, Ti/Al
高橋前(高橋)	高橋前	1000	40	49	5	20	5	4	4	0.15		
日刀塚	日刀塚	6C-7C	29	43	7	18	6	2	27	0.1		
大塚遺跡	高橋前	6C-7C	24	38	8	21	6	3	19		1000	56, 7
高橋大2号炉	高橋前	古代木製	15	21	4	21	5	3	26		1000	48, 22
高橋大3号炉	高橋前	古代木製	24	29	1	18	6	5	23		1000	52, 8
高橋大4号炉	高橋前	古代木製	41	51	1	21	9	3	9.3		1000	61, 7
新編博物館	高橋前(古)	古代木製	41	51	1	21	9	3	9.3		1000	61, 7
かなた	高橋前(古)	中世末	44	53	7	24	7	3	7		1000	60, 6
高橋前(高橋)	高橋前	中世末	41	48	3	20	7	3	9.2		1000	60, 6
日刀塚(高橋)	高橋前	古墳時代	40	50	3	20	7	3	21	0.1	1000	61, 7
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	31	42	5	18	8	1	7		1000	59, 8
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	4	0.7	5	85	17	0.7	0.03	0.02		
かなた	高橋前	古墳時代	59	77	1.7							
日刀塚(高橋)	高橋前	古墳時代	2	0.1	3	30	15	0.8				
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	5	0.5	19	8.3						
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	51	71	0.5	8	2	0.5	1.5	0.04		
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	58	78	0.4	8	2	0.4	4			

たたら製鉄の操作技術 木原明村下講演スライドより

≪ A型の地域性

遺跡名	名称	測定年代	Ti	Fe	S	SiO2	Al2O3	CaO	K2O	P	使用時期	Ti/Fe, Ti/Al
高橋前(高橋)	高橋前	1000	40	49	5	20	5	4	4	0.15		
日刀塚	日刀塚	6C-7C	29	43	7	18	6	2	27	0.1		
大塚遺跡	高橋前	6C-7C	24	38	8	21	6	3	19		1000	56, 7
高橋大2号炉	高橋前	古代木製	15	21	4	21	5	3	26		1000	48, 22
高橋大3号炉	高橋前	古代木製	24	29	1	18	6	5	23		1000	52, 8
高橋大4号炉	高橋前	古代木製	41	51	1	21	9	3	9.3		1000	61, 7
新編博物館	高橋前(古)	古代木製	41	51	1	21	9	3	9.3		1000	61, 7
かなた	高橋前(古)	中世末	44	53	7	24	7	3	7		1000	60, 6
高橋前(高橋)	高橋前	中世末	41	48	3	20	7	3	9.2		1000	60, 6
日刀塚(高橋)	高橋前	古墳時代	40	50	3	20	7	3	21	0.1	1000	61, 7
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	31	42	5	18	8	1	7		1000	59, 8
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	4	0.7	5	85	17	0.7	0.03	0.02		
かなた	高橋前	古墳時代	59	77	1.7							
日刀塚(高橋)	高橋前	古墳時代	2	0.1	3	30	15	0.8				
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	5	0.5	19	8.3						
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	51	71	0.5	8	2	0.5	1.5	0.04		
高橋前(高橋)	高橋前	古墳時代	58	78	0.4	8	2	0.4	4			

上村武氏 講演スライドより

#### たたら製鉄と現代製鉄法の違い

- エネルギーは木炭(コークス)の燃焼による高温ガス
- 還元性の確保が重要
- 高炉は塊状原料を用いて鉄鍍を製造する。
- たたら製鉄は砂鉄(粉砕石)を用いて鉄と塊鋼を製造する。

永田和宏教授 講演スライドより