

オリビンサンドを用いた「たたら用レンガ」の開発

- 安価なたたら製鉄炉の開発とその普及 -

境 智洋

浦河町幌満産のかんらん岩を粉碎した粉末（オリビンサンド）を水ガラス（珪酸ナトリウム）で固化し、レンガを作る。このレンガを、たたら製鉄用の炉の材料として利用することを検討した。その結果、レンガ同士のすき間を出来る限り少なくし、炉内の温度を保つ工夫をすることによりたたら製鉄炉に利用することができることがわかった。

[キーワード] ものづくり たたら製鉄 総合的な学習の時間 オリビンサンド レンガ炉

はじめに

「たたら製鉄」とは、火を入れた炉にふいご（送風機）によって空気を送り、3昼夜、砂鉄と木炭を交互に炉に入れ続けることによって鋼をつくる製鉄法である。近年、「たたら製鉄」を一般の人や子どもたちに体験させる試みが、炉の構造や作業の過程を小規模にすることによって、全国で行われるようになった。

筆者は、小型のレンガ式たたら製鉄炉（図1）による鉄づくりを検証し、2005年にマニュアル化に至った。このマニュアルによって、砂鉄から鉄をつくる体験を、学校や社会教育、教員研修等で実施できるようになった^{1,2)}。レンガ式たたら製鉄炉は以下の点ですぐれている。

- (1) 炉の作成作業はレンガを組むだけであり、児童生徒でも作ることができる。
- (2) 設計図を公開することにより、レンガがあればどこでも誰でもできる。
- (3) 本来のたたら製鉄と同様鉄の取り出しは、炉を解体して行う。解体を通して、炉の中から鉄が出てくる感動を味わうことができる。

しかし、以下の点が課題であった。

- (1) 耐火断熱レンガの部分が高温になるた

めレンガの一部が溶けて、再利用ができない。

- (2) 耐火断熱レンガの単価が高く、学校での実践には、費用面で難しい。



図1 レンガ炉



図2 ペル缶炉

本論は、筆者が開発した小型のたたら製鉄に用いる耐火断熱レンガをオリビンサンドを用いたレンガ（以下、オリビンレンガ）に置き換えることによって、安価でできる炉の開発についての報告を行うものである。

オリビンサンドは、従来、鋳物砂（鋳物を作る際に用いる鋳型用の砂）として用いられている。室蘭工業大学材料物性工学科材料製造プロセス学研究室開発のペル缶炉（図2）³⁾では、オリビンサンドを水ガラスで固化したものをペル缶の内壁に貼り付けたたたら製鉄炉の開発に

成功している。筆者は、この成果を参考にし、オリピンサンドをレンガとして利用し、レンガ炉に応用することを考えた。耐火断熱レンガによって作られていたレンガ炉の炉底から4段目までをオリピンレンガに置き換えることにより費用を約4分の1まで圧縮することができる。また、マニュアルを再度検証し、「鉄づくり」を学校教育、社会教育に広めていくことを目的として研究を行った。

1 鉄づくりマニュアルの検証

2005年以降、マニュアルの検証のためレンガ炉による鉄づくり実践を行った(表1)。歩留(砂鉄(g)から得た鉄(g)の収量の割合)の平均が0.16であり、高い割合で鉄ができており、マニュアルどおりに実施することによって、鉄が確実にできることがわかる。また、筆者以外の方がマニュアルを参考に鉄づくりを行った例が3例あり(表2)うち2例は収量が不明であるが、確実に鉄ができたことが報告されている。

表1 2年間のたたら製鉄実施状況

実施年月日	実施した場所	対象	炉数	砂鉄 (kg)	けち (kg)	砂鉄 /鉄
2006年6月	北海道立理科教育センター	教員研修 (道内教員24名)	1基	8.6	1.3	0.15
2006年8月	常呂昆虫の家 (常呂町・社会教育)	小学3年生 ~ 中学1年生	1基	11.4	1.3	0.11
2006年10月	愛別町立愛別小学校	小学3・4年生 (総合) 46名	2基	10.6	1.2	0.11
2007年6月	北海道立理科教育センター	教員研修 (道内教員24名)	1基	10.4	2.2	0.21
2007年8月	常呂昆虫の家 (常呂町・社会教育)	小学3年生 ~ 中学1年生	2基	14.0	3.5	0.25
2007年11月	白糠町立茶路中学校	中学3年生10名	1基	14.0	2.6	0.19
2007年11月	釧路市立武佐小学校	小学6年生38名	2基	9.0	1.2	0.13
2007年11月	釧路市遊学館 (釧路市・社会教育)	小・中学生	1基	8.0	1.0	0.13
2007年12月	美瑛町立美瑛小学校	小学6年生40名	1基	12.0	1.7	0.14
						0.16

表2 筆者以外のたたら製鉄実施状況

実施年月日	実施した場所	対象	炉数	砂鉄 (kg)	けち (kg)	砂鉄 /鉄
2006年7月	岡山県西栗倉村立西栗倉小学校	小学6年生 (総合)	2基	6.2	1.2	0.19
2006年8月	阿寒町阿寒湖畔(自然体験プログラム)	大きな鉄が生成した。				
2007年8月	音更町下音更(児童館による体験学習)	鉄が生成した。				

実践した方の意見や、2005年のマニュアル化後の検討により、文章を精査し、以下の点をマニュアルに加え、訂正版を完成させた(資料5)。

- (1) 「炉の作製」の手順の説明を加え、炭の層を作することを示した。
- (2) 「実験準備」の送風量を訂正し、弱い送風、強い送風などの曖昧な言葉をより具体的な総風量で示した。
- (3) 「実験・操業」の鋼鉄棒の突くタイミングを訂正し、木炭2~3回毎に、炉の四隅を突くようにした。

1 オリピンサンドレンガの作製

(1) 型枠の作製

レンガを作製するために用いる型枠は、常呂町の忠津鉄工所に作製を依頼した。金属部分はアルミ、土台はベニヤ合板を利用した。

設計図及び型枠は資料1「型枠設計図」に掲載した。

(2) オリピンレンガ(口型)の作製

型枠を用いて、オリピンレンガを制作する方法について紹介する。

準備

オリピンサンド(7号)、水ガラス(珪酸ナトリウム)、型枠一式、ゴム手袋、バット(60cm×80cm程度)、角材の棒(4cm×4cm×50cm程度)

オリピンサンドは、1袋(40kg:1200円)東邦オリピン工業株式会社、水ガラスは、1缶(27kg:3500円)愛知珪曹工業株式会社から購入できる。

方法

大きめのバットの中に、オリピンサンド20kgを入れ、中心にくぼみをつける。くぼみに、水ガラス1kgを入れる(図3)

素早くオリピンサンドと水ガラスを混ぜ合わせ、よく練る(図4)。

練った砂は、手で握って軽く固まる程度とする。水ガラスが多いと固化しにくくなる。

型にオリピンサンドと水ガラスを混合した

ものを入れていく（図5）。

枠の中にすき間ができないように、角材の棒などで突き固める（図6）。



図3 砂の混合



図4 よく練る

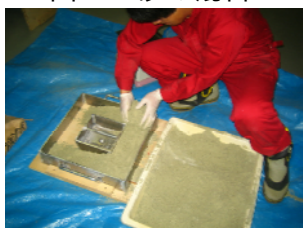


図5 砂の挿入



図6 突き固め

型枠を軽く叩き、オリビンサンドと型枠の間にわずかなすき間をつくる（図7）。

型枠を外す。砂が崩れた場合は、すぐに砂を盛り補修する。

そのまま2～3日放置し、空気中の二酸化炭素により水ガラスを固化させる。または、二酸化炭素を吹きかけ固化させる。



図7 型を外す

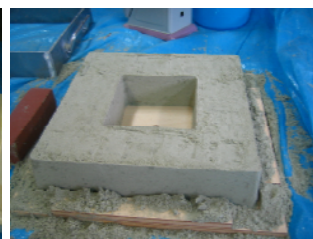


図8 オリビンレンガ

方法 ～ の手順で、炉底、1段目、2段目、3段目、4段目を製作する。2段目～4段目はノ口出し口、送風管口（羽口）を作製するため、一部加工する。加工方法は、資料2「レンガ作成要領」に掲載した。

3 たたら炉の作製

オリビンレンガ（口型）を用いたたたら製鉄炉を制作する方法について紹介する。基本的にレンガ炉のマニュアルと同様である。

準備

製作したオリビンレンガ（口型：炉底～4段目）、耐火レンガ（5段目～9段目）、陶芸用粘土、鋼板（45cm四方、厚さ8～10mm程度）、木炭（1kg程度）、送風管（内径40mm程度の水道管を用いる）、コンクリートブロック（高さ15cm程度）、赤レンガ

方法

資料3（レンガ積み要領）に従って炉を組み立てる。レンガのすき間は、焼き物用粘土を水で溶いて泥状になったものを使う。

4段目を積み上げ、送風管を取り付ける前に、木炭を300g程度入れて着火する。送風機により風を送り、木炭全体に火を行き渡らせる。その後、残り300gを入れてさらに木炭全体を燃焼させる（図9）。



図9 炭の層を炉の中につくる

方法 の後、鉄棒で突き、炭を粉碎する。

送風管を取り付ける。すき間は焼き物用粘土で埋める。その後、レンガ積み要領（資料3）に従って組み立てる。

4 オリビンレンガ炉による鉄づくり

2007年9月に北海道立理科教育センターにおいて作製したオリビンレンガ（口型）を組み上げてつくったオリビンレンガ炉による鉄づくりを行った。

(1) 炉づくり

11時45分より「3 たたら炉の製作」に従って炉を製作した（図10）。レンガの積み上げは約1時間であった。

(2) 実験・操業

13時に火を入れ、木炭を炉の中に充填していき、14時20分より砂鉄の挿入を行った。その後の手順は、資料5の鉄づくりマニュアルに従い

実施した。

砂鉄挿入量4200 g で、約 1 時間30分の実験的な操作を行った。



図10 炉の全景（上部に温度計を設置）

(3) 炉の解体

14時41分に最後の砂鉄を挿入し、その後15時から炉の解体を行った。水冷後、鉄の塊350 g と、いくつか散在した鉄50 g が生成した。実験時間が短く大きな鉄の生成には至らなかったが歩留は9.5%であった。



図11 炉の解体

1 段ごとに製作したオリビンレンガによる炉によって、鉄を生成させることができることがわかった。しかし、この実験からは、レンガ炉よりも若干収量が低いことがわかる。

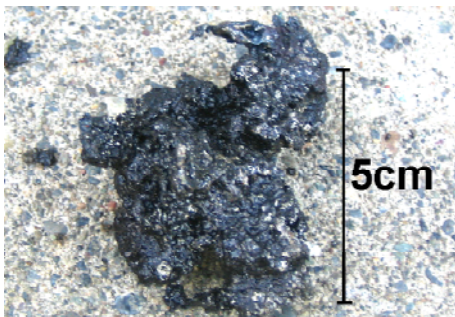


図12 できあがった鉄

おわりに

従来のレンガ炉は炉の基礎部分（コンクリートブロック、赤レンガ）に、耐火断熱レンガ、耐火レンガを組み上げており、費用は炉 1 基あたり約 2 万円であった。2 回目からは、耐火断熱レンガのみを購入するだけで鉄づくりができるが、耐火断熱レンガの単価が550円程度と高く、1 万円程度が必要である。この部分をオリビンレンガにすることによって、水ガラスとオリビンサンド合わせて2500円程度まで削減することができた。



図13 レンガ型によるオリビンレンガ炉

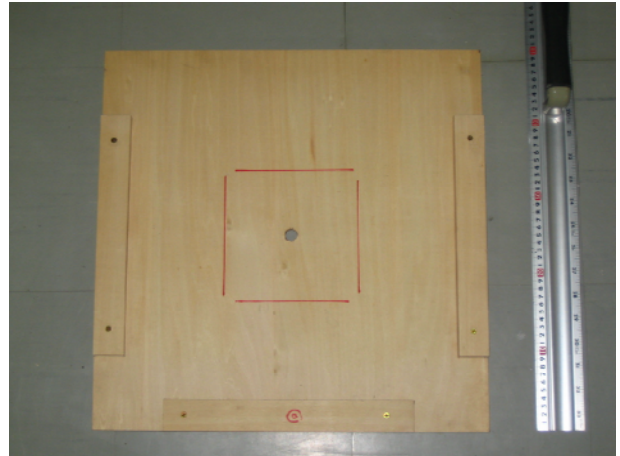
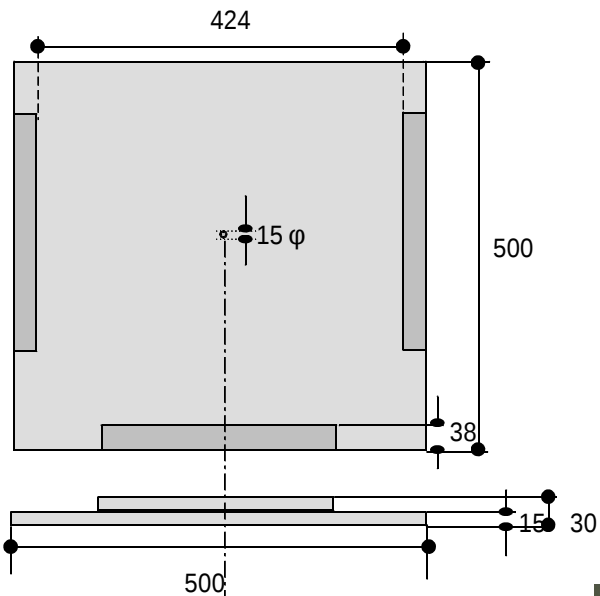
オリビンレンガを 1 段ごとに一体化させたタイプ（口型）では、多くの鉄が生成した。そこで、オリビンレンガを従来のレンガ型にする方法でも検討したところ、レンガ型では炉内の温度が十分に上がらず、鉄の生成には至らなかった。レンガ同士のすき間が多いことも原因の 1 つであるが、オリビンレンガを 1 つ 1 つのレンガにすることによって、炉全体の断熱性に課題が生まれたと考える。

本論では、1 段ごとに一体化させたタイプ（口型）にすることで鉄の生成ができることを証明したが、レンガ炉の歩留（17%以上）には及ばない。今後、断熱性を高める工夫をすることにより、より確実な鉄づくり炉を目指したい。今後も検証を続け、より安価に作製できる普及型の炉を作り上げたい。

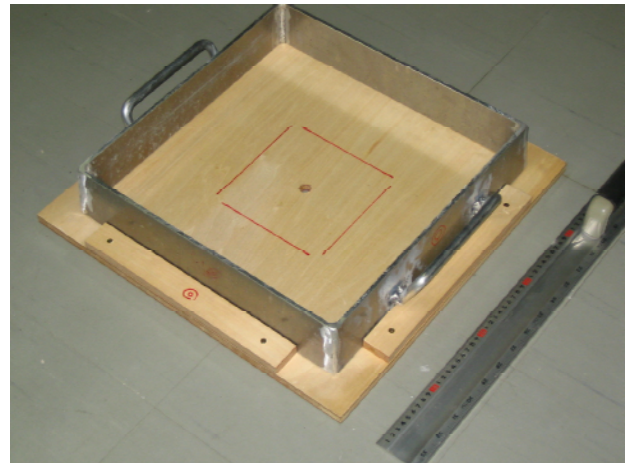
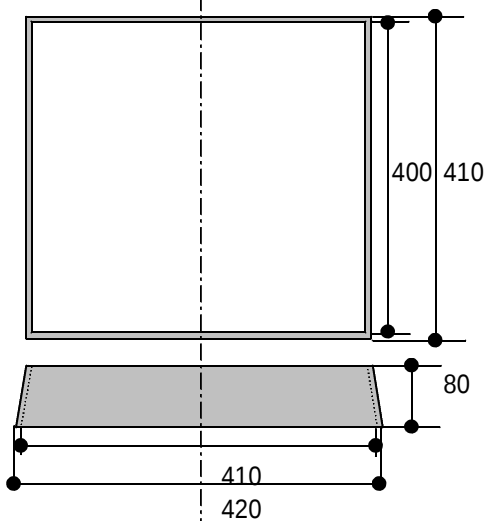
なお、当研究は、平成19年度笹川科学研究助成を受けて実施した。

資料1 オリビンレンガ(口型)の型枠設計図及び型枠

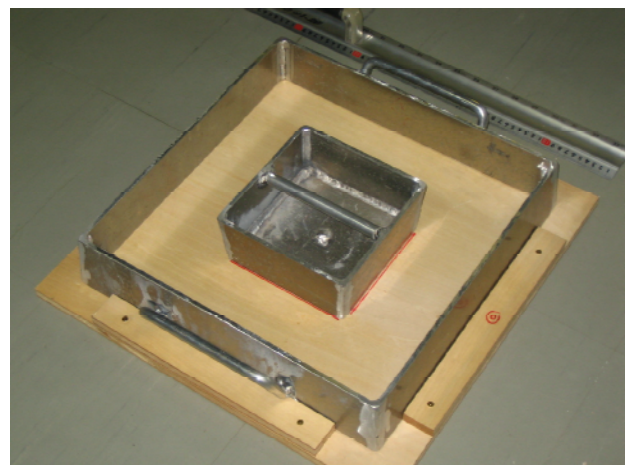
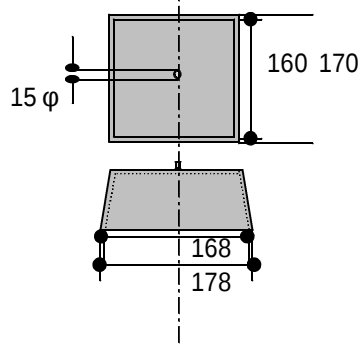
1 底の板



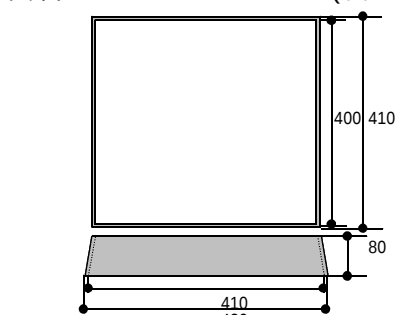
2 外側



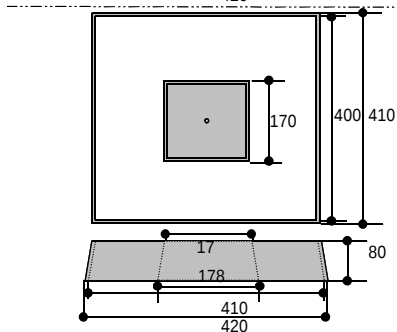
3 内側と1, 2の組み方



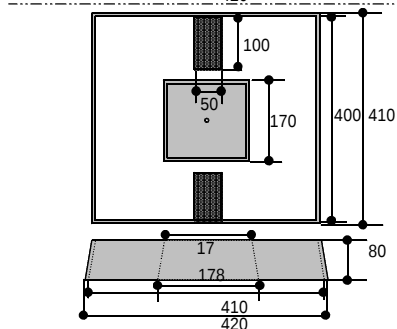
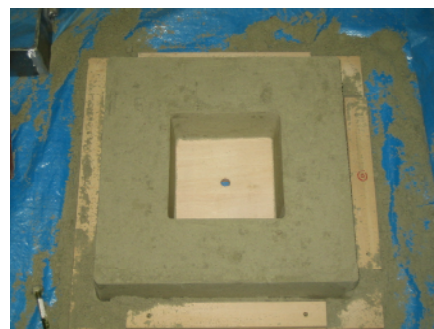
資料2 オリビンレンガ(口型)の型枠とレンガづくり要領



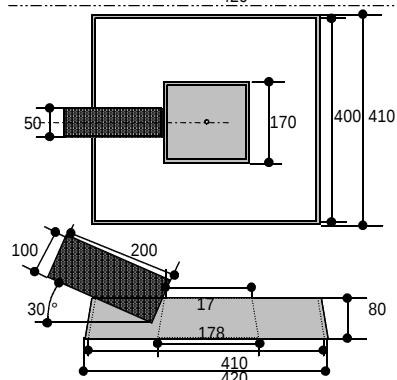
炉底
外枠のみを基盤の板にはめ込む
中にオリビンサンドを充填する。
外枠をはずす。



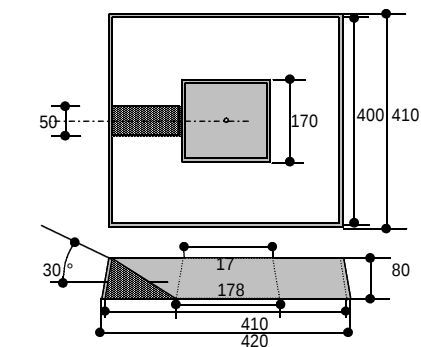
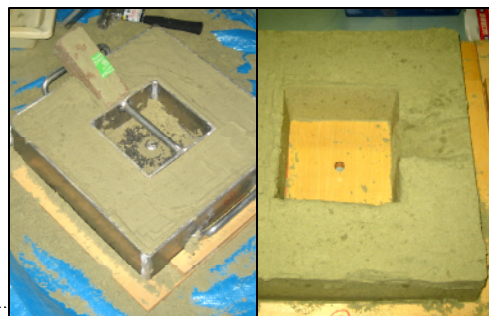
炉腹1段目・5段目
外枠と中枠を基盤の板にはめ込む
中にオリビンサンドを充填する。
外枠と中枠をはずす。



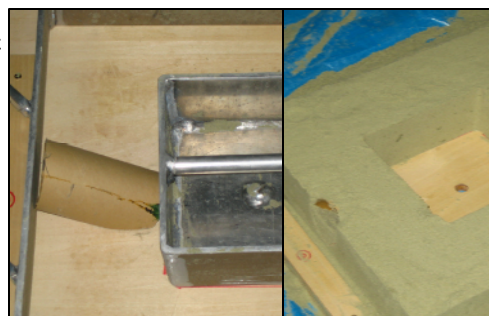
炉腹2段目
外枠と中枠を基盤の板にはめ込む
赤煉瓦を外枠と中枠の間2カ所に挟む
オリビンサンドを充填する。
外枠・中枠・レンガをはずす。



炉腹3段目・
外枠と中枠を基盤の板にはめ込む
赤煉瓦を外枠と中枠にかけて斜めに入れる
オリビンサンドを充填する。
外枠・中枠・レンガをはずす。



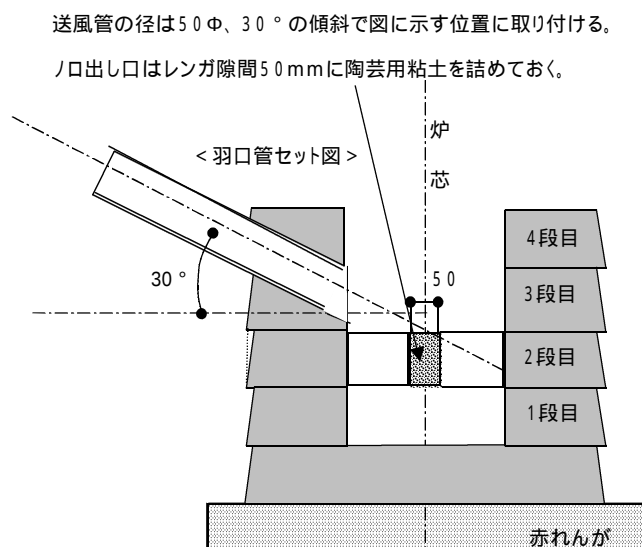
炉腹4段目・
外枠と中枠を基盤の板にはめ込む
円筒の形を図のように整形し、を外枠と
中枠の間に入れる
オリビンサンドを充填する
外枠・中枠・円筒をはずす。



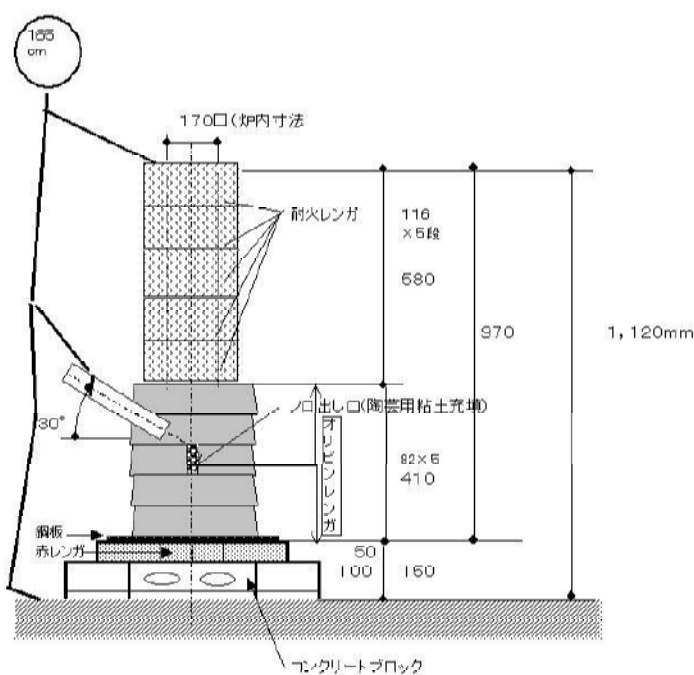
資料3 オリビンレンガ(口型)式たたら製鉄炉のレンガ積みの要領

	土台下段 コンクリートブロック・・・8個 コンクリートブロック(100厚×400長×200幅)を用い600×600とする。 グラウンドは事前に平に整地する(砂やボタを用い)。モルタルは使用しない	
	土台上段 赤れんが・・・15個 土台上段の上に赤れんが(50厚×200長×100幅)を用い600×500とする。モルタルは使用しない。 鋼板(5～10mm厚×450□)を赤レンガの上に敷く	
	炉底れんが 炉底用レンガを鋼板の上に敷く 位置は土台のほぼ中心に設置	
	炉腹れんが(1段目) 炉腹レンガ1段目用レンガをのせる 位置は土台のほぼ中心に設置 モルタルで目地(敷き部、レンガ接触面)2mmを目標に張り合わせる。 モルタルは陶芸用粘土でもよい。	
	炉腹れんが(2段目) 炉腹レンガ2段目用レンガをのせる(2つに分かれる。間を50mmとする) 位置は土台のほぼ中心に設置 モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 モルタルは陶芸用粘土でもよい。	
	炉腹れんが(3段目) 炉腹レンガ3段目用レンガをのせる 位置は土台のほぼ中心に設置 モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 一部欠けている部分に送風管を挿入し、すき間を陶芸用粘土でふさぐ。	
	炉腹れんが(4段目) 炉腹レンガ4段目用レンガをのせる 位置は土台のほぼ中心に設置 モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 一部欠けている部分に送風管を挿入し、すき間を陶芸用粘土でふさぐ。 欠けている部分は3段目の欠けている部分に合わせる。	
	炉腹れんが(5～9段目) 耐火レンガを20個使用する 耐火レンガを内径170mmでくむ。 モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。	

資料4 レンガ式たたら製鉄炉の羽口パイプの差し込み方及び設計図



羽口用パイプの差し込み方



炉の全景

資料5 オリビンレンガを用いた鉄づくりのマニュアル

学校の授業時間内で鉄ができるマニュアルを作成した。マニュアルの内容を以下に示す。

1 送風について

炉頂が600 を維持する風量（市販送風機の出力を5分の1程度 約20Vの出力）とする。

2 炉の管理について

観察窓から見える炎の色を変えない（炉内温度を一定に保つ）。そのために、木炭が常に炉の中に充填されているようにする。

3 砂鉄・木炭等の材質

砂鉄は産地に影響されない（多少の塩分が含まれても鉄ができる）。木炭は、松炭が良い（カラマツ・アカマツ等）。切った際の粉炭は炉に入れない。ノロ出しのために砂鉄質量の10%の貝殻粉を添加する。

4 実験に必要な道具および素材

送風ホース（洗濯機の排水ホース）、送風プロア（送風器）、陶芸用粘土（送風管の固定及び炉の補修用；20kg）、スライダック（単巻可変電圧器）、ドリル（送風管を入れる部分の加工用）、砂鉄(6kg)、炭酸カルシウム又は貝殻粉(600g)、木炭（松炭；20kgを3cmずつ切ったもの）、鋼鉄棒（1m程度；ノロ出しなどに用いる）、スコップ（炭、砂鉄挿入用）、はかり（1kg用；炭、砂鉄測定用）、のこぎり（木炭切断用）、ハンマーとペンチ（炉解体用）、金バシ（鉄をつかむはさみ）、水を入れたペル缶（鉄の冷却用）、熱電対温度計、耐熱手袋、安全眼鏡又は保護面（炎などから目や顔を守るため）

5 鉄づくりの手順

【炉の作製】（前日又は朝7:00～8:00）

設計図に従って4段目までレンガを組む。

4段目のレンガを組んだとき（送風管を挿入する前）に、炭を300g入れて着火する。送風機で空気を木炭にあて、燃焼を促す。全体に火が行き渡ったら、さらに炭を300g足して燃焼させる（図1）。

全体に火が行き渡ったら、送風をやめ、鋼鉄棒で突き、炭を細かくし、炉の底全体に広げる。



図1 炉内に炭の層をつくり、断熱を行う。

設計図に従って送風管を設置し、9段目までレンガを組む。

【実験準備】（8:00～10:00）

約300gの木炭を炉に入れて点火する。

市販送風機の出力を4分の1程度（25V）に

絞って送風を開始し、木炭を炉の中に入れていく。

火を入れて約20分程度で木炭を炉の最上端まで挿入する（図2）。

炉の中に常に木炭が充填されているように木炭を加えながら、炉を乾燥させ、炉の内部の温度を上げる。

炉の上部から火炎が立ち昇り、上端の炎が600以上であることを確認する（炎の色がオレンジに見える）。



図2 充填された炉

市販送風機の出力を5分の1程度（約20～22V）の出力にして、炉の中の木炭の降下速度を5分で10cm落ちる程度に調整する。

【実験・操業】（10:00～12:30）

炉の上部から木炭が10cm下がった時点で、砂鉄200g、炭酸カルシウムや貝殻粉20gを木炭上面に振りまいて挿入する。

の後すぐに木炭300gを挿入する。

炉の上部から木炭が10cm下がった時点で、方法，を30回繰り返す。

20分間隔ぐらいに、炉の上部の温度を測定し記録する（炉の上部が600以上を確保する）。

常に木炭が炉の中に充填されているようにするために、木炭2～3回挿入毎に、炉の四隅を鋼鉄棒で突く（図3）。

砂鉄を30回挿入した時点で炉底のノロ出し口を開けて砂鉄中に含まれる不純物（ノロ）



図3 鋼鉄棒で炉の上部の温度を測定し、四隅を突く

を鋼鉄の棒でかき出す（図4）。



図4 ノロ出し

【実験後の後処理】（12:30～13:10）

木炭300gを5回挿入する（砂鉄は挿入しない）。

木炭が炉の半分まで落ちるのを待つ。

【炉の解体】（13:10～13:30）

送風を停止する。同時に送風管を抜き取る。

耐火レンガを耐熱手袋やハンマーを使って上から1つずつ外し、外したレンガをスコップに載せて安全な場所に移動させて解体する。

耐火断熱レンガをハンマー等で壊しながら、炉の内部を開く（図5、6）。



図5 レンガ炉の解体



図6 オリピンレンガ炉の解体

炉の内部の赤熱した塊（鉄）を金バシなどで挟んで取り出し、水の入ったペール缶に入れて冷やす。

冷却後、鉄（ケラ）はノロなどに覆われているため、ハンマーで叩きながら鉄（ケラ）を取り出す。

【片づけ】（13:30～14:30）

碎けていない耐火断熱レンガは、保管し再利用する。

6 作業分担の方法

村下 1つの炉についてすべての指示を与える。砂鉄を5回挿入ごとに班の交代を指示する。

炭班 炭を3cm四方に切り、300gずつ計る。計った炭を村下の指示で炉に挿入する。

砂鉄班 砂鉄を200g、炭酸カルシウム20gを計り混合する。その混合した砂鉄を村下の指示で炉に挿入する（220gずつ）。炭酸カルシウムは、貝殻をくだいてもよい。その際は、砂鉄班が貝殻を砕く作業を行う。

記録班 ノートや模造紙に砂鉄、木炭の挿入時間、炉の様子を記録する。

* 村下は固定、各班は、砂鉄5回挿入ごとにローテーションするとよい。



図7 出来上がった鉄

引用・参考文献

- 1) 境智洋 たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践 pp1-10
平成16年度 ノーステック財団基盤的研究開発育成事業報告 2005
- 2) 境智洋 鉄づくりマニュアルを用いた小規模校による「たたら製鉄」の実践 pp1-12 北海道教育大学へき地教育研究センター研究紀要60号 2005
- 3) 片山 博, 桃野 正, 天野哲也, 宮本剛汎, 大橋行盛 たたら製鉄と日本刀 pp60-61 室蘭工業大学公開講座テキスト 1999

（さかい ちひろ 初等理科研究室長）