



鉄の歴史

タイルコート著「A History of Metallurgy」における鉄の歴史2

History of Iron in “A History of Metallurgy” Described by Dr.Tylecote 2

沖森麻佑巳

Mayumi Okimori

(株) 日鐵テクノリサーチ
常務取締役 かずさ事業所長



民族大移動期と中世の製鉄技術 (AD500～1500年)

1.1 鉄塊製造炉

4世紀～6世紀にかけて、東方からのフン族の進出が引き金になったゲルマン民族のローマ帝国内への侵入、さらに11世紀のノルマン族のイングランドへの侵入などの民族大移動期の人々は、初期鉄器時代からローマ鉄器時代の段階にあったといわれている。それでも鉄塊製造炉で造られる鉄塊の大きさは、アイルランドでの5.2kg程度からローマ鉄器時代には最大8kgに到達し、徐々に増加し1350年のイギリスでは水車を活用しない時でも14kgに達していた。ローマ時代の各地で使用されていた背の高いほっそりとしたサクソン・ジュート系の煙突型炉は、北海を越えて東部イギリスに伝わり、当地ではその後消滅したが、中央ヨーロッパで生き延び、最終的にはシチリアの背の高い鉄塊製造炉 (Stück-ofen) や高炉として実を結んだ。

水車はAD13世紀にハンガリーで鉄塊製造炉用の轆に最初に使われたといわれており、初めての記録がイギリスでは1408年にイタリアでは1440年頃に残っている。水車による踏み車によって轆から空気を吹き込むことによって製造される鉄塊は、最大100kgに到達していた。青銅時代からの製造塊の推移を表すと図1のようにになっていることがわかる。

1.2 高炉

1.2.1 中国における高炉

高炉は、ヨーロッパで独自の起源を持っているといわれているが、ヨーロッパより以前に中国で使用されていたと推定されている。中国では鉄産業の記録は11世紀まで十分ではなく銅が5世紀にインドから輸入されたという記録があるが、これは木炭が欠乏したためといわれている。石炭を使用した銅よりも木炭を利用した方が優れていたからである。

11世紀の初頭に北宋の鉱山を利用して、毎年125,000トンの鉄が製造された。これは1700年のヨーロッパ全体における毎年の生産量150,000～180,000トンに匹敵した。当時は36工場もの多くの溶解場があり、工場の一つの炉は年産15トンの能力があり、100人の作業者が年間500トンを製造した。鉄1トンには鉱石2.5トンと燃料3トンを必要とした。この速度では木炭に不足が生じ、1078年には石炭が最も確実に使用できる燃料となった。鑄鉄と銅を製造する坩堝法では、12kgの鉱石、同量の無煙炭粉末とフラックスが装入された。背の高い炉内に坩堝64個が1.2トンの無煙炭に囲まれており、鑄塊は4.8～6.6kgで精錬して鉄や銅に転換された。日本のたたら法は、中国を源流としながらも独自の方法であり、一つの炉で鑄鉄、銅、鍛鉄などすべてを製造することが可能であった。鑄鉄が出湯された後に炉は壊されて、炉内の銅と鍛鉄が混合した鉄塊が引き出され、約4トンの金属が製造された。

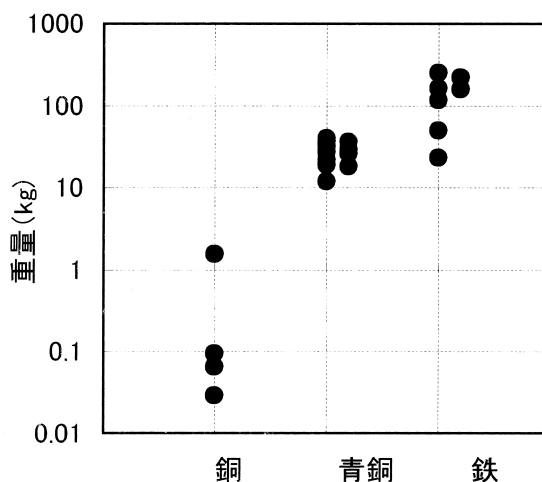


図1 製造塊の重量変化

1.2.2 ヨーロッパにおける高炉

高炉の技術は、中国からモンゴルを経由してボルガ河を通してスウェーデンに到達し、ヨーロッパではスウェーデンが最初に鉄鉱石の熔融に高炉を使用した証拠が、ラピタン、ピナリタンの遺跡に残っている。時期的には ^{14}C 測定から1150～1350年頃と推定されている。十分な記録が残っているのはイタリアのフェリエリの高炉で、溶けた銑鉄を水槽や水樋に出湯させ球状の銑鉄を製造し、それを鉄塊とあわせて鍛造によって銃などを製造した。

鉄塊製造炉と高炉の大きな違いは、高炉では炉の底部から溶けた銑鉄を取り出すこと、燃料（木炭）／鉄鉱石の比率を上げて炉内を還元性雰囲気にする、さらに溶融点が 1540°C に対して 1200°C と低目になっていたことであった。（ FeO ）分が低くなるとスラグ溶融点が高めになり、炉内部から流出させることが困難になるが、ある鉄鉱石の自溶性が高いことに気づいて、最終的には石灰を添加することが有効なことを発見したといわれている。流動性の良い石灰質のスラグを得るためには作業温度として少なくとも 1300°C を必要としていた。スウェーデンの高炉では、粘性を低下させる（ MnO ）、（ CaO ）を含むスラグが出現している。ラピタンのスラグは、（ FeO ）＝4％と酸化鉄分は非常に低く、（ SiO_2 ）＝54％、（ CaO ）＝12％、（ MnO ）＝12％、塩基度（ CaO ）／（ SiO_2 ）＝0.2程度であった。

その後、高い炉を活用すると還元性が良好なこと、長時間の作業で燃料が節約できることなどの高炉の生産性に関する知見が得られ、連続作業が必要であることが明らかとなった。こうして、量よりも均一な水供給のために小さな川が求められ池も掘られた。高炉の作業は、開始されると水や木や鉄鉱石の供給が不可能になるまで継続した。その結果、大量生産が可能になり、銑鉄が銃や剣をはじめとする武器生産などに本格的に活用されることとなった。しかし、砲弾には鍛造鉄が大量に使用されていたという事実は、銑鉄の大量生産が15世紀まで困難であったことを示している。

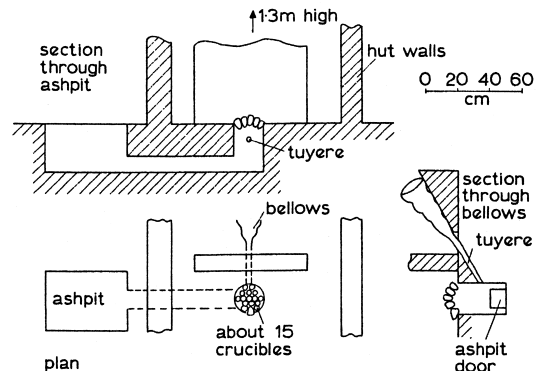
1.3 剣と軍用鉄器の製造

7世紀のアラブ支配が始まって、オリエントやインドから運ばれた鋼が、中近東の都市ダマスカスからヨーロッパに入ってきた。この鋼は炭素を約1.6％有しており後にウーツ鋼と呼ばれた。ウーツ鋼は二つの方式から製造された銑塊を基に造られた。最初の方法は、坩堝内に鍛造鉄と木を入れて加熱し、溶解した鋼を製造する方式で、出来上がった銑塊は炭素が約1.6％で、組織はセメントライトとパーライトであった。第二の方法は、図2のように、焼酎殻を添加した花崗岩の風化した粘土で作った坩堝の中に、鍛造鉄だけを入れ、木炭製造炉の中に坩堝15個を置き、鞴から空気を吹き込み、

坩堝鉄を製造した。坩堝は 1300°C まで加熱されており、場所によっては 1470°C まで到達していた。出来上がった鉄塊には炭素10％程度含む坩堝から浸炭しており、外側は0.8％炭素を含み、中央はフェライトであった。ウーツ鋼の模様は、鉄塊の炭素の分布だけではなく、0.27％の燐やその他の成分の偏析も関係して、最終的に制御された炭素分布から出現した。多くの研究から、模様接合法とダマスカス法は原理的に同じものであるとみなされている。

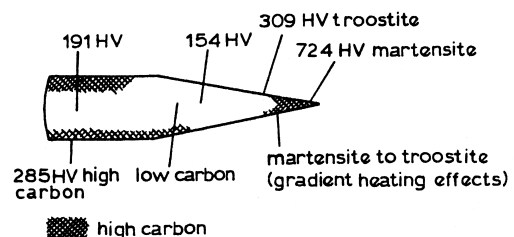
日本では10世紀後半に模様鍛接法とは少し違った方法が開発された。炭素含有量の違った数個の薄片を鍛接し複合した刀身を造り、低炭素鋼の芯部は外側の高炭素鋼に覆われていた。最初に刀身全体は粘土に包まれて 800°C まで加熱され、その後、端部の刃部分の粘土包みを迅速に取り去って焼入れが実行され、粘土に包まれた部分の冷却速度は遅くなっていた。その結果、図3のように端部の刃は硬度が十分に最高になり、芯部は硬度が低いものの必要な靱性を持つことができた。

多くの軍用鉄器も製造された。11世紀のノルマン時代に、ヘルメットは、鋌で打ちつけられた鼻当て以外は一体物として鉄の薄板から製造され、斧は積み重ねられた鉄片から製造されていた。鎌は14世紀から鋼で製造された。14～15



52 A crucible furnace from Southern India for the making of wootz (Buchanan⁴⁶)

図2 ウーツ鋼を製造する坩堝炉



51 Section through a Japanese sword of the 17th century (after O'Neill⁴³)

図3 17世紀の日本刀の断面

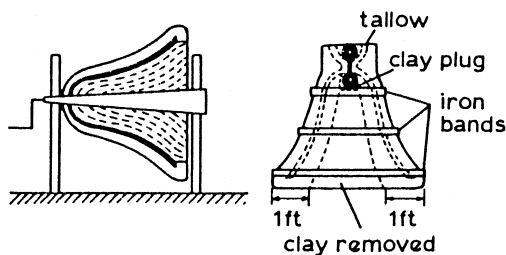
世紀の鎧は、当初は鉄によって繋がれた輪で造られていたが、その後、板製となって鍛造鉄や銅で製造された。

1.4 様々な冶金技術の向上

冶金現象に関する知見も得られていた。砒素が高い（1%以上）非常に薄い層を含んだスカンジナビアの剣やバイキングの斧が発見されているが、これは鉄を加熱するとスケールの下に砒素が集積してきて硬度が増加することに気が付き、鍛冶師が鉄や銅を鍛接しながら砒素を多く含む層を混ぜ合わせたためである。さらに鍛造鉄は多くの場合10%以上のスラグを含有していたが、銅は鍛造鉄に対して介在物が極めて少なく清浄度が高いという知見が得られていた。これは、鍛造鉄に浸炭して銅を得る際には、ファイヤライト・スラグが還元されて介在物の大きさが減少するためと考えられていた。

鉄の表面に錫メッキする技術は中世に発明され、1428年にニュールンベルグの商人がオランダへ28トンの錫メッキ銅板を供給した。錫メッキは以下の順序で実施された。まず発酵した粳穀の浴の中に三日間かそれ以上漬けておき、洗浄した後に脂肪の中に置き、次に温かい錫浴の中で予備メッキを施し、その後、ちょうど溶融温度以上の浴中に薄板を入れ厚いメッキ層を得ることができた。最後にメッキ板を粳穀と小麦粉の混合物の中で洗浄した。

後に鉄製造に応用される青銅製造技術の進歩は著しく、特に鑄造と精錬分野で大きな特徴が見られた。鑄造技術については大型化が進み、教会の鐘の製造が最も大きな製造物であった。図4のように鑄型は、鐘の内部表面を形作る芯部と、鐘と芯を覆いこむ外側部から構成されていた。鑄型の粘土材料はピートや草、肥やし等の繊維分を含み、芯型は傾斜のついた檜の木の上に盛り上げられ、鐘型が獣脂で成型され、獣脂は大きな外側部で覆われた。近代のロスト・ワックス法である。粘土内の水分を除去するために、芯を構成する粘土の一部が取り除かれ、その後乾燥された。乾燥中に獣脂は溶けて、出来上がった空洞部に溶解した青銅などの金属が鑄込ま



59 Processes of bell moulding based upon Theophilus and others

図4 釣鐘製造用の鑄型

れて大きな鐘が製造された。水分が存在すると凝固したあとに内部や表面に気泡が出現することを知っていたのである。

2 中世後の製鉄技術 (AD1500～1700年)

2.1 高炉

2.1.1 中国の高炉

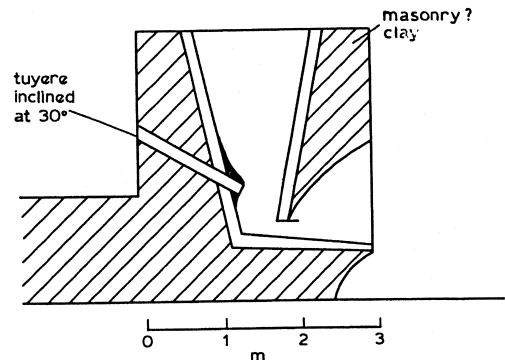
中国では、明朝時代（1368～1644年）には冶金に関するすべての開発が停滞したと言われている。一方、高炉の形状に関しては1334年に画家の描いた図では、高さが1.8～2.4 mで最大径が高さの3/4から7/8の炉が描かれており、幅が広くずんぐりしており、これは後期青銅時代の青銅溶解炉と非常によく似ていたと考えられている。図5のように中世の特徴を残していた雲南の高炉（1879年頃）は高さが3.3～3.7 mで、出湯孔の反対側から羽口で空気が吹き込まれていた。粉状の磁鉄鉱石を上部から投下する際に吹き飛ばされないように、ガスの流速を遅くするために、炉の上端の径が大きく上広になっていた。木炭とともに鉄鉱石が製錬されて（燃料／鉱石＝1.5：1）、鉄は2～3時間おきに出湯されて鑄型に鑄造され、月2～3トンを生産した。この裏庭に置くような小型の炉は、第2次世界大戦後の中華人民共和国において1950年代の困難な時期に、鉄鋼生産に活用された。

2.1.2 ヨーロッパの高炉

(1) 1500～1600年

西ヨーロッパにおいて1345年頃に建設が開始された高炉は、16世紀にはほとんどの西ヨーロッパに広がっていた。中世後における高炉技術発展の特徴は、朝顔部や湯溜まりなどの新しい形状の導入、径や高さの拡大による炉容増大、水力の初めての導入などであった。

炉の形状については以下のような様々な変遷が見られた。炉は、図6、7のように自立した炉胴体である煙突部と分離

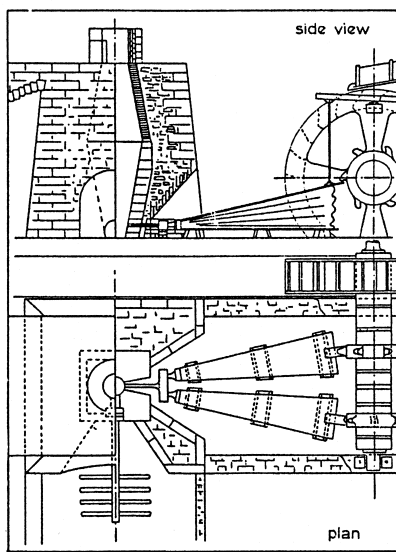


68 Yunnanese blast furnace of 1879 (after Needham³⁰)

図5 中国の高炉

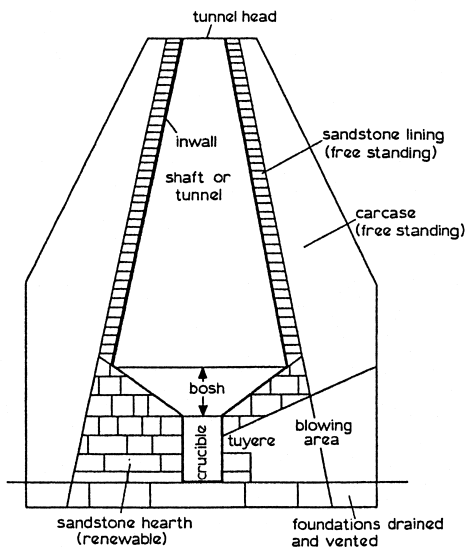
した湯溜まりのある炉床部、炉床部と煙突部を連結させる逆角錐もしくは逆円錐型の朝顔部から構成されていた。

炉自体は石造りで外部や内部は四角形であった。1542年にイギリスのパウニングリッジにあった炉は、外形は5.2 m角、内部が1.2～1.4 m角で、0.3 m以下の四角な湯溜まりがあった。内部が四角い場合は隅に材料が堆積するという問題から、炉床部の方は円錐型になったと考えられている。1605年にコード・イッセルでは角錐台の炉胴体部に円錐台炉床部を一致させるという困難な問題に、築炉技術者が直面したと記録に残されている。逆円錐型の朝顔部は湯溜まり部



65 A blast furnace of the steep-bosh type (after Morton²⁰ with slight modification)

図6 急峻な朝顔角度を持った高炉



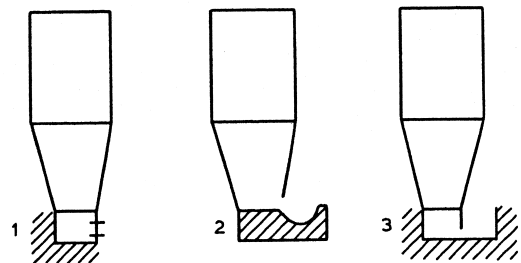
66 A blast furnace of the shallow-bosh type (after Swedenborg¹⁹)

図7 緩やかな朝顔角度を持った高炉

に連結されて、約0.3 m径の湯溜まりには一本の羽口が導入され操作が可能になった。径が5 cm程度の鉄製パイプの羽口は、炉床から約0.3 mの溶湯とスラグの境界位置にあった。小さな角度の浅い朝顔部の導入された時期は、事実の積み上げによっても明確に判断できていない。

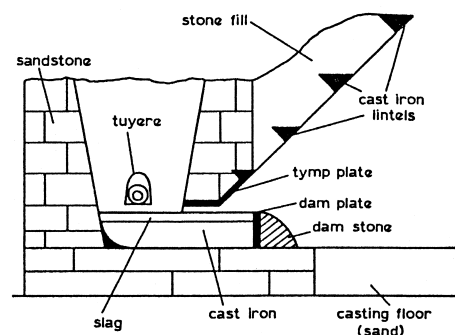
当初の高炉では、炉側面には出湯用と空気吹き込み用の二つの孔が存在した。出湯孔は通常は粘土で覆われており、出湯する際には粘土を取り壊し、湯溜まり部から溶湯を直接外に出していた。しかし、16世紀の中ごろに図8のように、銅の溶解炉で前炉という新しい概念が登場し直ちに高炉にも採用され、図9に示すように、耐火物を保護するための薄板や堰が造られた。これにより溶解した金属とスラグの貯蔵能力が効率よく拡大され、出湯孔を炉内部の羽口先端の最高温な場所から作業が便利な場所まで離すことが可能になった。前方炉の表面はスラグが固まり、出湯は堰の隅にV字を入れて簡単に実行された。

水車が空気を吹き込む鞆の稼動に活用された。水車は共に回転するカムが交互に鞆を押して空気を吹き込んだ。水車は図6のように、上射式で径が3 m、幅0.3 m、回転は毎分6回、1.7～2.5 m³/hrの水量を消費し、1馬力以下であった。高炉は大きな石で造られており、熱的に加熱と冷却が繰り返されることから耐久性がなく、間歇的な操業では熱的に大きな



78 Tapping arrangements in Agricola's blast furnaces (after Krulis²⁸)

図8 アグリコラ高炉の出鉄孔の配置



67 Details of a blast furnace hearth

図9 高炉の炉床

無駄があった。水車の導入にも、連続操業が大きな課題であった。1517年に昼夜を通して約2ヶ月の連続操業を実施したことが記録されていた。これは水量を確保するためには大きな池が必要なることを意味していた。

当時の高炉の原単位として、ロバートブリッジやパウニングブリッジ等における実績がある。鑄鉄の重さは約1000 kgで、燃料と鉱石の比は1:1で、燃料と鑄鉄の比、即ちコークス比は5:1であった。イギリスやベルギーの例では、冷風木炭高炉で製造した代表的な鑄鉄の成分が、C=3.6%, Si=0.5~1.1%, Mn=0.4~1.6%, S=0.03~0.086%, P=0.6%であった。

(2) 1600~1700年

1600年~1700年における最も大きな特徴は炉容積が拡大したことである。イギリス南東部・サセックス地方のランベルフルストの炉は高さが8.4 mもあり、シャルプレー・プールの炉は基礎が7.2 m角で、高さは9 m、朝顔部の角度は80°で急峻であった。大型化に伴い炉上部の石材使用量を減少させるために傾斜の付いた外部形状となった。

イギリスの植民地であったアメリカの北太平洋岸のサウグスにあった高炉は基礎が8 m角、高さは6.4 mもあり、湯溜まり部は46 cm角、高さは107 cmであった。直径が5.2 mもあった水車で毎分8回転・2馬力で鞴から空気を吹き込み、一日に1トンの出湯が可能で、製造された鑄鉄は長さ71 cm、厚み11 cm、重さ230 kgであった。ヨーロッパ大陸では朝顔部の浅い炉と急な炉の二つのタイプが存在していた。ポヘミア国境のヨハンゲオルゲンシュタットには朝顔部の浅い炉があり、建設も維持も困難で旧式であると評価されていたが、19世紀まで存在していた。こうして木炭を使用した高炉での操業が継続していたが、1710~20年にコークス炉が導入され、一層大きな発展が進むことになった。

17~18世紀の木炭高炉のスラグは、(FeO)=3%、(Fe₂O₃)=0%で酸化鉄は極めて低いが、(SiO₂)=50%、(Al₂O₃)=11%、(CaO)=23%、(MgO)=12%と高く、塩基度(C/S)=0.4程度である。流動性の良いスラグをつくるために石灰石を添加したこともあったが温度が十分に高くなかった。時には適量の鉄を含有させて流動性が良いスラグを得る方が良いと判断されていた。

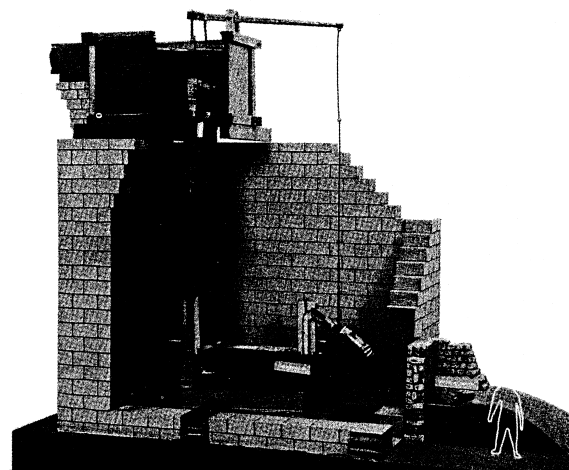
2.2 錬鉄製造炉

ヨーロッパでは、可鍛性の錬鉄が必要とされていたので、高炉が鍛鉄製造炉(スティック炉)を直ちに駆逐することにはならなかった。高炉の技術が錬鉄製造法の改善を促し、前述の煙突炉(前回の図20)からの技術的な流れに連鎖して、新しいスティック炉が開発され、従来の1日当たり90 kgから

15世紀には400 kgへと製造能力が増加した。シチリアにあった内径1.5 m程度の断面がD型をしたスティック炉では、鞴を取り除き炉の前から滑車により錬鉄を取り出した。スティック炉は高炉の進展と共に18世紀中ごろには消滅した。カタロニアやピレネー山脈の北側では、図10のように錬鉄製造のカタラン炉にトロンペを導入し錬鉄を製造した。トロンペでは木製パイプの中を水流が空気を巻き込みながら落下し、底にある風箱で水と空気は分離され、圧力のかかった空気が羽口に導き入れられ、炉内に吹き込まれた。カタラン炉は0.6×0.4×0.52 m³で背丈が低く断面は四角であった。スウェーデンとノルウェーでは、背丈がやや高めめの錬鉄製造炉が19世紀まで使用されており、鉄塊が炉の底部の孔から取り出された。一方背丈の低い錬鉄製造炉もあり、鉄塊とスラグが上部から引き出された。

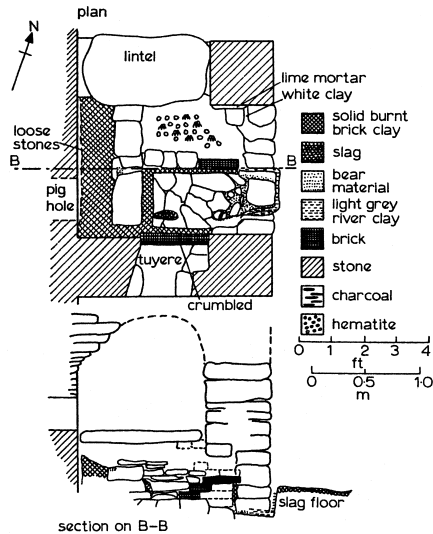
2.3 精錬炉と加熱炉

高炉で製造された鑄鉄の鍛造鉄への変換が、精錬炉と加熱炉の二つの段階によって実現された。最初の精錬炉では、鑄鉄を溶解させて羽口前面で酸化現象を起こさせて、鑄鉄中の炭素(3~4%)と珪素を0.05%以下に減少させた。次の加熱炉では精錬した鉄を鍛造するために加熱が実行された。この二つの炉による鍛造鉄製造はワロン・プロセスとして知られている。図11は精錬炉の詳細で、炉は石で組まれており、反応室は横、幅及び高さは約1.2 m程度であった。外枠の石組には、取り外しができる石で造られた出湯孔、空気吹き込み羽口が耐火物にセットされていた。熱源としては木炭もしくは低硫黄燃料が必要で、空気を吹き込む鞴は水力を活用していた。図12のように炉内では、羽口から吹き込まれた酸素によって羽口前面で木炭が燃焼し最高の温度が得られ、珪素が酸化され、未溶解で部分的に酸化された鉄と一緒に



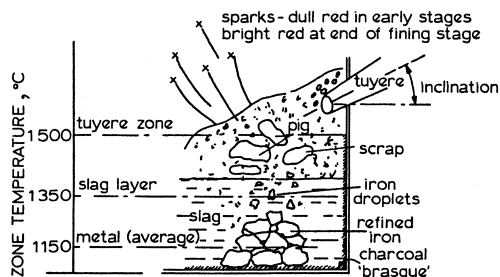
72 Catalan hearth and trompe (Crown Copyright, Science Museum, London)

図10 カタラン炉



74 Details of finery hearth excavated at Stony Hazel, North Lancashire (from Davies-Shiel ⁴²)

図11 精練炉



75 Hearth conditions during the refining stage of the fining of grey cast iron (after Morton ⁴⁴; courtesy of The Metallurgist)

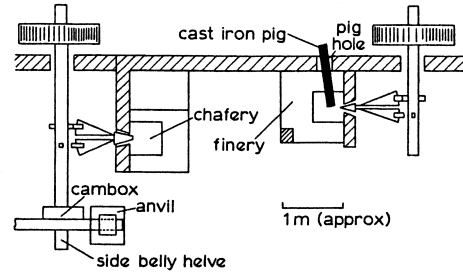
図12 ネズミ鑄鉄の精練反応

ファイヤライト ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) を含んだスラグができ、マンガンを燐がスラグの中に除去され、鉄の中の炭素が減少するに応じて溶解点が増加していき、精練が終わったことが判断された。精練炉のスラグは約60%の酸化鉄を含んでおり、精練における鉄分のロス率は30%に近く、1630年でのサウスビャホルドでは1000kgの棒鉄を得るためには1300kgの鑄造鉄が必要であった。

17世紀まで上記のような精練炉は、図13のように加熱炉と一緒にあり、水力ハンマーを活用して鍛造鉄を製造した。加熱炉は精練炉よりも大きく、炉床の上部に中空で蜂の巣形状をした加熱帯がつくられ、化学反応が生じないので石炭を使用することが可能で、1400～1450℃くらいの温度が得られた。加熱炉のスラグは精練炉のスラグにほぼ似ていたが、石炭を使用した時は硫黄を含んでいた。

2.4 浸炭法

中世の鋼製造の浸炭法には二つの方式があった。



76 Reconstruction of a Swedish Walloon forge from Hillestrom's painting of 1793

図13 加熱炉を有するワロン法

最初の方式は、坩堝の中で鑄鉄と鍛鉄を使用する方式である。鑄鉄の塊が、空気を吹き込む傾斜した羽口をもった坩堝炉の中で大理石 (CaCO_3) を構成要素にするスラグをカバーにして溶解される。坩堝中に3～4個で14～18kgの鍛鉄が添加され、4～6時間の間は蓋が置かれて、温度1,150～1,200℃で、鑄鉄から炭素が吸収された。鉄塊は坩堝から取り出されて急冷され壊されて、再度、坩堝に入れられ同じことが実施され、均等な浸炭が実施され、硬度を出すために水中に急冷される。温度は1,150～1,200℃以上になると浸炭した表面が溶解してしまうので低温に保持され、塊は小さいほうが良好であることも理解されていた。イギリスでは剣、ナイフ、鎌などの刃のある道具を製造する場合に、燐や硫黄の含有を下げるためにスウェーデンやロシアの国々から純度の高い木炭鉄を輸入していた。18.8トンの鋼を製造するために27.5トンの鑄鉄が必要で歩留まりが70%であった。

他の方式は、陶器壺型の炉中で木炭と輸入鉄を使用する方式である。炉内には、撒き散らされた木炭と輸入鉄が入った大きな箱があり、炉の底部には火格子があった。箱は良質の粘土からできており、箱の中には1～1.5mの棒鉄が入れている。燃料には石炭が使用され、2～7日間浸炭が実施され、2～5cmの長さの鉄とよばれる小さな塊に切断された。刃のある道具を製造するには、この鋼を鍛鉄と結合して使用していた。1608年の記録では樽一杯の鋼が23ポンドと記録されていた。

浸炭法で製造した鋼は刀剣に使用され、断面の炭素濃度を一定にするために、重ね合わせて何度も加工を受け、積鋼、二重積鋼になった。スペインはトレドの刀剣製造では、内部の鉄芯には2本のスウェーデン鋼が使用され、0.39%炭素、0.45%銅、燐は低めで455HV30の硬度を持っていた。日本刀も同じ原理で製造されていた。イギリスのショットレーブリッジでは刀剣に浸炭する場合と同様にしてヤスリが製造されていた。ヤスリは最初焼き戻しを受け、鑿で歯が刻まれ、ビールの滓の中に漬けられ、浸炭用の塩と牛の蹄や角からできた複合物の層に覆われて、鞆で送風されている炉中でゆっ

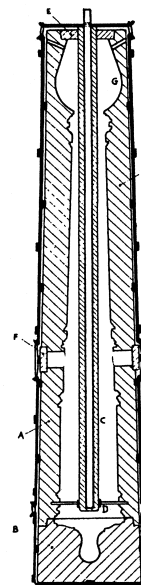
くり加熱され、水中に焼入れされた。

2.5 鉄の鑄造

鉄の鑄造物として、大砲や砲弾、鉄を加工する機械やロール、横柱のビーム、圧延機や切断機のスタンドなどが製造された。大砲は16世紀から鑄鉄を鑄込んで製造された。図14のように大砲製造用の鑄型には、既に確立されている分割鑄型や中子技術の採用に加えて、押し湯技術が導されており、発生したガスの逃し孔が給湯部に取り付けられていた。鑄型は大砲を立てるようにしてピットに埋め込まれていた。中空の大砲を鑄造した場合は、鑄型を構成している粘土の中の水分が、鑄造製品に小さな穴を発生させた。これに対して、大砲を一体物で鑄造して、その後中心部を穿孔することを1700年頃から開始し、欠陥のない大砲が製造されることになった。鑄造した後に中央孔を滑らかに穿孔する技術は、水力で刃先を回転させながら移動式テーブルで大砲を刃先にゆっくり移動させる水平穿孔方式と、刃先が馬の力を活用して回転させられ、大砲が台と滑車により吊り下げられて下方の刃先に降ろされる垂直穿孔方式の二つがあった。

2.6 可鍛鑄鉄

鑄鉄は可鍛性がないと一般的には考えられていたが、1671年にジェームズⅠ世の孫のルーペルト王子は白心可鍛鑄鉄を製造したと言われている。中国では漢の時代に既に実現していたので何ら驚くべきことではないのであるが、



77 Gun moulding (after St. Remy)

図14 大砲製造用の鑄型

1722年にフランス人科学者のレオミュールは可鍛鑄鉄を再発見したことを記述した。彼は、骨灰の中性雰囲気中で加熱して黒心可鍛鑄鉄を作り、酸化鉄スケールの酸化性雰囲気の中で加熱して白心可鍛鑄鉄を製造した。

(2003年12月19日受付)