

環境調和型製鉄法へのアプローチ ～奥出雲の『企業たたら』の歴史に学ぶ 鉄鋼業の環境対応技術の方向～

北村 寿宏

日本学術振興会研究員

片山 裕之

島根大学総合理工学部材料プロセス工学科

高橋 一郎

絲原記念館 運営委員

Approach to the Environment Conscious Iron and Steel Making Process

T. KITAMURA, H. KATAYAMA and I. TAKAHASHI

(Received September 19, 1997)

Abstract

Iron and steel making by the traditional Tatara process in Oku-Izumo in Shimane prefecture from 18th centry to the beninning of this century was characteristic in complex management with agriculture and stock-breeding. It should be worthy of note that an ecological system was established which is aimed at present.

By gaining the hint from the history of Tatara in Oku-Izumo ,as the new direction of development of technolgy related to the iron and steelmaking, was proposed the research which aims at, not only solving the problems inherent to iron and steelmaking, but also solving the enviromental problems in other industries in iron and steelmaking process.

An example of the research from the above stand point of view, the use of wasted wood in steel-making process was shown.

1. はじめに

日本学術振興会未来開拓技術開発プロジェクト『環境調和型製鉄プロセスの開発』（代表 東京大学 佐野信雄名誉教授）の中で、島根大学担当分の研究の方向を定めるために行った検討結果を報告する。

『鉄鋼業に起因する問題を解決して環境調和型にする』という従来型のアプローチから一歩進めて、『鉄鋼業が有する技術および設備のポテンシャルを、今日の社会が直面している環境の問題を解決に生かす』という視点が提案の主旨である。これは、奥出雲の『企業たたら』

ら』が複眼的経営によって、結果的に『エコロジ－的経営』を実現したという（今日の視点での）『先進性』を持っていたという事実ヒントを得たところが大きい。

2. 日本の鉄鋼技術史のマクロ的把握

1960年から1970年代の始めまでの10数年間は、鉄鋼業はその生産量の拡大によって高度成長を支える役割を完璧に果たした（図1）。次いで1970年代からには80年代中盤にかけては、一方では溶鋼の高純度化（例えば図2、図3¹⁾）に見られるように鉄鋼製品の品質向上、他方では省エネルギー（図4）、環境対策（例えば図5、図6）など生産技術の質を高めて、

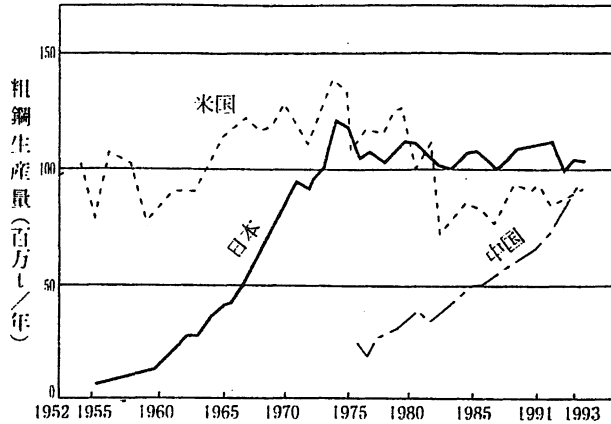


図1 各国の粗鋼生産量の推移

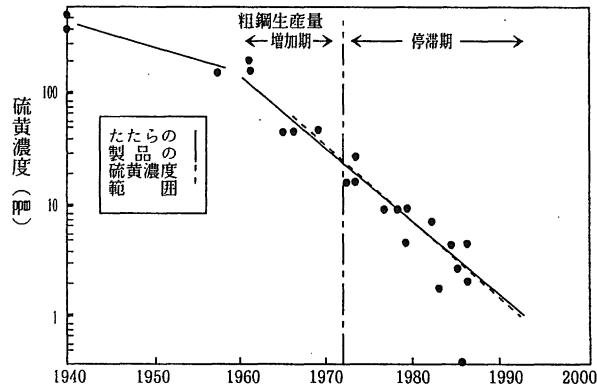


図2 硫黄の精錬限界の時代推移（雀部）

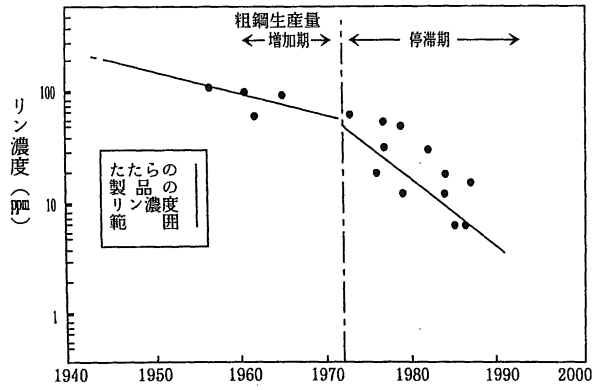


図3 リンの精錬限界の時代推移 (雀部)

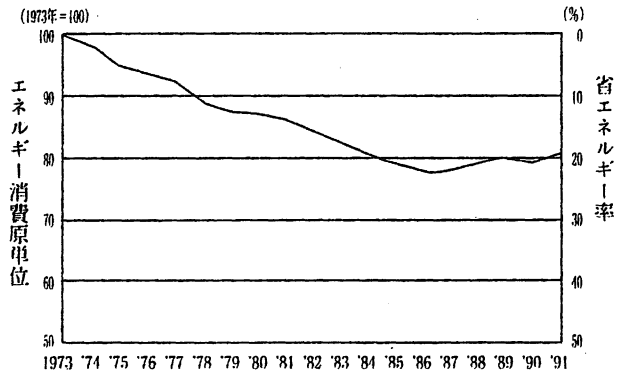


図4 製鉄用エネルギー原単位の変化

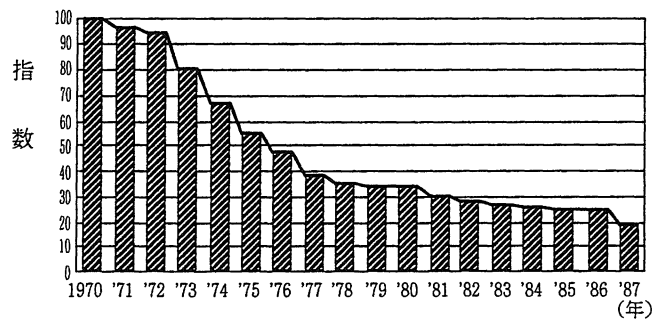


図5 硫黄酸化物排出量の変化

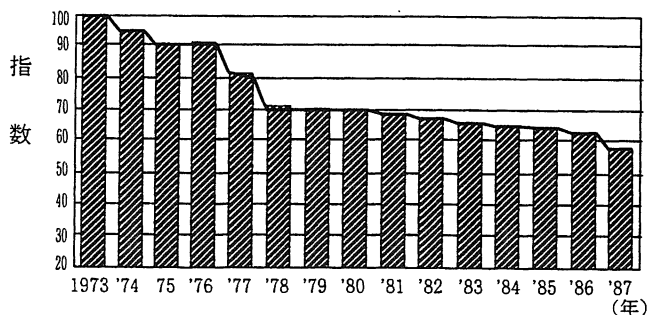


図6 窒素酸化物排出量の変化 (1973年 : 100)

日本は自他共に許す世界第1の鉄鋼技術国になった²⁾。

この2つの時期に比べると、社会全体として『大量生産-大量消費-大量廃棄』が反省期に入って以後(1980年代終わりから現在まで)の技術開発の方向とその成果はそれほど華々しくない。これは、『同時代史は見えにくい』という一般論だけでは説明できないものがある。

現代鉄鋼技術は、明治中期の官営製鉄所設立時に導入された『洋式製鉄法』の技術思想の上に、豊富な人材の努力の積み重ねによって成長してきた。その過程で、もともと『洋式製鉄法』に内在していたシーズは、その後の各時期のニーズに対応するための研究開発の中で、かなりの部分、すでに研究し尽くされてきたと考えられる。したがって、今後、鉄鋼技術が、先の2時期に匹敵するような華々しさを持つためには、『洋式製鉄法』の流れの中にない新たなニーズ、あるいは新たな技術思想、または、その2つを同時に強く意識して研究開発を行う必要があるように思われる。

3. たたら製鉄の歴史を見直す視点

日本の鉄は、戦国時代の終わりには日本の各地で全体量としては1000 t/年前後製造されていた。それが、江戸時代の中盤には生産地が出雲を中心とする山陰地方に集中し、量は1桁増えて1万台になった。最初の統計である明治14年の数字によると、日本の製鉄量のうち島根県が約50%、鳥取県が約20%を占めている。この時期には、明治政府の政策による釜石や官営八幡製鉄所の生産が加わっているので、江戸時代は70%近くが山陰地方、とくに奥出雲において、たたら法で製造されていたと推定される。

このたたら法は大正12年に廃業するが、その技術、経営の考え方は、現在の日立金属㈱につながる特殊鋼生産以外には、現代製鉄法に全くと言っていいほど継承されなかった。それは、当時、『時代に合わない』と判断されたためであろうが、今日、鉄鋼業が量と質で飽和状態に達し、新たな展開のためには上記のような理由で『新たな技術思想新、あるいは新たなニーズの設定』が求められている中、たたら製鉄の歴史を、これからの製鉄法を考えるためのヒントを得るといふ視点で見直してみたい。

4. 奥出雲の企業たたら歴史に見る先進性

江戸時代以降の奥出雲のたたら製鉄を、高橋は『企業たたら』『自家用たたら』の対立概念と名づけている。『企業たたら』は、松江藩の統制と保護^(注1)のもとでの鉄師（田部家、糸原家、桜井家、杠家など、最初9家）による製鉄体制であり、ほぼ享保11年（1726）に成立し、紆余曲折をへながら、実質的には大正12年の廃業まで続いた³⁾。

鉄師はもともと大水田地主であったが、藩有林を『鉄山』（製鉄用木炭の原料を供給する山）として占有することを許された。したがって、鉄師はそれぞれの居住地を中心とする小領主であった。

近世まで製鉄法は、燃料が木炭で、とくにたたら製鉄では砂鉄（鉄分が数%のものから鉄穴流しなどで鉄分を濃縮）を使ったことから、一般には自然破壊というイメージでとらえられることが多い^(注2)。

しかし、高橋は、奥出雲の『企業たたら』について多くの人に誤解されていることとして次の4点を挙げている⁶⁾。

(1) たたら製鉄は鋼製造を主目的とするものであったか。

3日押し操業では1代の製品の約50%が『けら』、残り50%が『づく』である。『けら』は破碎・選別によって、1/3（全体の中では、約17%）の鋼と、2/3（全体の中では約33%）の『歩けら』に分ける。この『づく』と『歩けら』を合わせたもの（全体の中の83%）が大鍛冶場に送られて、加熱鍛練によって脱炭して割鉄（包丁鉄・錬鉄）になる。出荷にあたっては、割鉄の価格は鋼の約2倍であったから、鉄師の売上の90%近くは割鉄であり、鋼は10%程度に過ぎなかった。すなわち、鉄の製造においても、たたら場と大鍛冶場の複合経営であった。

(2) 大量の木炭を製造するために、山は疲弊したか

1つのたたら場で年間使用する木炭材の山（鉄山と呼ばれる）は100町歩、大鍛冶場用が30町歩であった。たたら場用木材は25～30年たった木を、切り株を残して丁寧に切り、窯場で焼く。やがて切り株から出た芽は25～30年後には大きく伸びて、また木炭用材になる。したがって、鉄師は、少なくとも4000町歩の山を必要としたが、乱伐ではなく育成に力が注がれた^(注3)。なお、たたら製鉄廃業後も木炭製造は、戦後、エネルギー構造が変わるまで継続して行われた。

(3) 砂鉄の採取は農業と対立したか

鉄穴流しは中世末から幼稚な方法が始まり、宝暦年間（1751～64年）ごろ完成に近づき、砂鉄採取量の増加した。流し方は高い崖面を下から次第に崩したので、山全体が一挙に裸になることはなかった。砂鉄を採取した後の土砂が川に入ると下流の洪水の原因になった時期があることは事実であるが、藩の事業として（経費は鉄師が供出）浚渫が行われ^(注4)、土砂は農地を拡大するのに有効に使われた。せまい平地の跡地は畑とし、次第に水田作りを進めて新田開発した。また、下流の沼や河川敷を地上げして、畑から水田に転換させた。鉄山と水田開発は十分に水源涵養、保水力確保に役立った。すなわち、砂鉄採取は当初の農業との対立関係を克服した。

表1 近世における各地の製鉄法の比較（環境対応という観点から）

英 国 ⁴⁾	東北地方 ⁵⁾	出雲地方 ³⁾
<ul style="list-style-type: none"> 木炭を利用する製鉄の量の増加。 木材資源枯渇→石炭・コークス使用により酸性雨のために森林破壊。 	<ul style="list-style-type: none"> 藩直営。 川の浚渫、炭焼きなどへの農民の徴発。一揆の原因になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 藩から公認された鉄師による経営。 木炭用の木の計画的な伐採 (30年サイクル) 砂鉄採取に起因する土砂と、馬の厩肥利用による農地拡大など、農・鉱・畜産の総合経営。

(4) 多量の原料の輸送は人力で行われたか

たたら原料である砂鉄と木炭は、あちこちから人の背で運ばれてきた。ことに木炭は量に比べて軽く、嵩張るから、木炭を運ぶ回数は砂鉄のそれの数倍にのぼる。そこで『粉鉄4里に炭3里』という言葉が生まれた。そして、25~30年生の雑木のある山にたたら場を移動せざるを得なかった（3年から10年に1回）。松江藩の馬制が整い始めると、重点が奥出雲とくに仁多郡に置かれた。飼育に適した地であることと、水田地主、すなわち鉄師が牧畜振興と輸送力確保に熱心であったためである。馬の頭数の増加は膨大な2つの原料の集荷を容易にしたので、天明年間（1781-88）から鉄師はたたら場を経営本位の適地を選んで固定することになった（永代たたら）^(注5)。また、馬の厩肥は土地の肥沃化に有効に用いられた⁶⁾。

これを、同時代の英国⁴⁾や東北⁵⁾と比較すると、表1に示すように、奥出雲の企業たたらは、結果的には『エコロジ的な経営』が行われたという姿が見えてくる。このようになった理由としては、松江藩の政策によって可能になった安定経営を背景に、鉄師による、農・鉱・畜を一体とした長期的視点に立った複合経営が行われたことが挙げられる。このような経営と形態は出雲以外の地ではほとんど類例が認められないものである^(注6)。

産業の後進性を表すのに『産業革命の洗礼を受けていない』という表現が使われることがある。しかし、現在、産業革命の延長上の『大量生産-大量消費-大量廃棄』が資源・エネルギーの枯渇と、ごみ、環境などの諸問題に突き当たり、新しい方向が模索されている中、奥出雲の『企業たたら』において、かなりの程度実現されていた農・鉱・畜一体の共生的体制は、もっとポジティブな目で見直されるべきである。

5. 鉄鋼業の中、外の環境問題の現状と、その対応の方向

鉄鋼業の新たな展開のための必要事項としてさきに掲げた『新たな技術思想、あるいは新たなニーズの設定』について検討してみる。

産業において技術の課題は、製造量、製品品質について要求されていることをほとんど満足してしまうと、次には、いかに原単位を小さく、安く製造するかが続く。これらについては、鉄鋼業では十分な研究が行われてきた。最近になって、製造工程および廃棄に伴う環境

負荷をいかに小さくするかということが重要な課題になってきた。

日本の鉄鋼業は、自工程の発生物のうち、廃ガスの SOx, NOx の問題は極限に近いところまで解決した。また、スラグの利用の問題も、転炉スラグの利用の拡大を課題として残すだけになっている。そして、当面の重要課題は CO₂ 削減、ダスト、そしてスクラップを用いる電炉の廃ガス中ダイオキシン問題に移ってきている。このうち CO₂ は、石炭をエネルギー減とする限りはエネルギー効率の問題になり、生産現場で日々努力されていることである。したがって、今後、研究として新たな切り込みが必要なのは、ダスト（とくにその中の重金属の問題）と、ダイオキシン対策ということになる。いづれも、対応策はいくつかあるが、要求がきびしくなるほどコストアップになるという点が問題があり、本命となる方法は、まだ決められていない状態と思われる。

Holism（全体論）という考え方が J. C. Smuts によって提唱されている。これは、個々の『要素』の各々を最適化したもののが『全体』の最適にならない、すなわち、全体の最適化は、『要素』が相互補完的に達成されるという考え方である。これまでの西欧の科学技術思想は、『全体』を個々の『要素』に分割して、各々について最適化を追及してゆくという考え方であり、それが行き過ぎた結果として、今日の問題のいくつかが引き起こされたと言える。Holism はそれを乗り越えようとするものである。

これを、鉄鋼技術にあてはめて考えると、鉄鋼製造およびそれに直接関係することの最適化だけではなく、社会全体としてもっといい解が得られるような技術にするという考え方である。さきに述べた奥出雲企業たたらは、その好個の見本である。

今日、社会全体として困っている廃棄物、環境の問題を鉄鋼業と組み合わせて考えて、『新たな技術思想』としては、鉄鋼製造に伴う発生物の処理を越えて、他の産業分野で困っている問題の解決まで視野に入れて考えること、また、『新たに設定されるニーズ』としては、他の産業分野で困っている問題を鉄鋼業の中でうまく解決して、鉄鋼業に起因する問題の中で最終解決まで至っていない課題（ダスト、ダイオキシンなど）を合理的に解決するとともに、社会貢献とビジネスチャンス獲得の両立を図ることが考えられる。

このような考え方は、数年前から『都市型製鉄所』として提唱されてきた。そして最近になって、製鉄所での発電事業や、廃プラスチックの高炉での使用⁷⁾という形でその具体例が見えてきた。国連大学から提唱⁸⁾され、今年から文部省科学研究費重点テーマの1つに取り上げられている『ゼロ・エミッション』の考え方も同じである。ただし、他の分野で困っていることの解決は、単なる思いつきや、鉄鋼の従来技術の応用だけで簡単に実現するものは多くはないと思われる。これを解決し、さらにビジネスチャンスに展開してゆくには、この方向を使命として強く意識し、技術の壁を越えてゆく努力を粘り強く積み重ねてゆくことが必要であろう。

6. 具体的な研究テーマの例

上記のような観点から、未来開拓技術開発プロジェクト『環境調和型製鉄プロセスの開発』の中で島根大学で取り組むことにしたテーマは次の通りである。

- ・製鉄過程を利用した難処理廃棄物の処理と廃ガス中のダイオキシンの効率的な低減方法

【研究のニーズ】

(その1) 廃木材（とくに防腐処理した廃木材）の処理は深刻化する

・家屋などの廃木材は、現在、有効利用されているのは30%程度で、残り約70%は埋め立てや焼却などの形で処理されている。さらに今後、防腐、防虫のためにCCA処理（Cr-Cu-As化合物処理）されたものが廃木材として出てくると、埋め立て、焼却とも困難になる。

(その2) 活性炭相当品は安価であれば、環境対策材（吸着材）としての切り札になりうる。

・燃焼廃ガス中のダイオキシン除去など環境規制値が厳しくなる方向に進んでいるが、それに対応する最も確実な方法の1つは活性炭などによる吸着除去である。ただし、現在、入手できる活性炭は高価すぎる。安価な活性炭相当品が使えるようになると、製鉄炉での処理可能な対象廃棄物の範囲を広げることが可能になる。

【システムとしての着眼点】

集塵機などの環境設備が完備した製鉄所で、廃木材を処理して、吸着性能に優れた木炭を効率的に作り、（その大半を）廃棄物処理にまで対象を広げた製鉄工程の廃ガスの吸着処理に用い、最終的には、その炭を製鉄炉で補助熱源として利用し、灰分は熔融スラグの中に溶かし込んで安定化する（図7）。

【研究のポイント】

(1) 木炭化の低生産性を抜本的に改善する；『山での炭焼き』、『町での炭焼き』を越える『工場での木炭化』によって、生産性を向上し、コストダウンの方向を目指す。

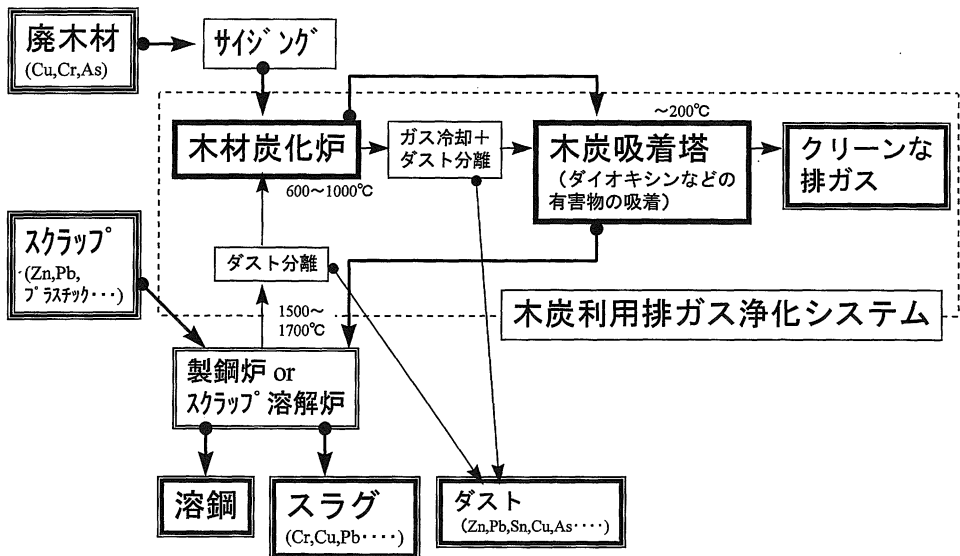


図7 スクラップ溶解と、廃木材処理の組み合わせシステム

(2) 吸着性能の大きな木炭を量産する条件を見いだす；加熱時の温度，時間，雰囲気調整により，処理費のかかる賦活処理工程を省略する可能性を探る。

(3) 炭化時の環境放出物についての対策を立てる；Asなどの重金属について，ダスト処理の工程まで含めて検討し，ダスト処理のオンサイト化と，重金属の完全処理システムを目指す。

【実用化の姿】

廃木材は，木として利用されるものは選別・分離された後，製鉄所に運ばれ，炭化され，炭として十分に利用（吸着材，および熱源）された後，最終的にはガス（CO₂，H₂O），熔融スラグ，重金属含有ダスト（これは後処理が必要）になる。なお，製鉄炉は，廃ガス処理に安価な吸着材を使用できるようになると，製鉄副原料として処理できる廃棄物の範囲を拡大できることが期待される。

7. ま と め

(1) 奥出雲の『企業たたら』は，農・鉱・畜一体の複合経営の中で，長期的な視点から，木炭用材を産出する山の保護・育成，砂鉄採取に伴う鉱害の克服，馬の総合的利用（輸送力，厩肥の活用）など，『（今日言う）共生的，エコロジー的なシステム』を作り上げていたと言える。この点は，『先進的』なものと評価して，今後の鉄鋼業の技術開発の方向を決める参考にすべきである。

(2) 鉄鋼業は，製造量，製品品質，製造技術などについては，技術課題をほぼ達成している。今後，新たな展開をしてゆくためには，奥出雲の『企業たたら』に見られるような複眼的視点を取り入れ，『新たな技術思想』としては，鉄鋼製造に伴う発生物の処理を越えて，他の産業分野で困っている問題（廃棄物・環境の問題など）の解決まで視野に入れて考えること，また，『新たに設定されるニーズ』としては，他の産業分野で困っている問題を鉄鋼業の中でうまく解決し，また，鉄鋼業に起因する問題の中で最終解決まで至っていない課題（ダスト，ダイオキシンなど）を合理的に解決するとともに，社会貢献とビジネスチャンス獲得できるようにすることなどが考えられる。

(3) 上記のような視点から，日本学術振興会の環境調和型製鉄プロセスの開発の中では，『製鉄過程を利用した難処理廃棄物（廃木材）の処理と，それによって製造された活性炭相当品を利用した廃ガス中のダイオキシンの効率的な低減方法（発生ダストの処理方法も含む）』を取り上げて研究してゆきたい。

(4) 奥出雲の『企業たたら』の歴史には上記のほかにも種々学ぶべきことがあると思われる。『産業革命』を経てきていないということは，産業革命に起因する今日の諸問題を解決する上で貴重なヒントを含んでいる可能性がある。

補注

(1) 松江藩の鉄師に対する政策

慶安元年（1648）；『鉄方御買上仕法』；藩専売制度

貞享4年(1688); 運上金制度に切り替え
 元禄4年(1692); 『御札座御買鉄制』(新たな専売制)
 享保7年(1723); 藩専売制度を廃止
 享保11年(1727); 『鉄方御法式』の制定

- (2) 例えば、スサノオに退治されたヤマタノオロチが製鉄をイメージしたものであるという説がある。しかし、これは江戸時代の企業たたら鉄生産量と、古代神話を結び付けたものに過ぎない。また、大ヒット中の宮崎 駿監督の映画『もののけ姫』は、たたら製鉄を自然と対立する人間の営みの代表として捉え、共生の道のけわしさを描いたものとして今日的な意義を持つ作品と言えが、舞台を出雲と考えると、設定されている戦国時代には映画で描かれているような企業たたらは成立していなかったこと、また、企業たたらが成立した江戸時代以降は、後述のように藩、鉄師、たたら労働者、農民が力を合わせ、映画が問題提起している『共生』を当時としては実現していたことの2点で歴史的事実とは異なっている。

- (3) 司馬遼太郎の『街道を行く』には、次のように書かれている。

——製錬現場で、砂鉄を溶かすには、一山を裸にするほど木炭が要った。木が鉄を生むとっていいほどに、砂鉄製錬は樹木を食い、古代としては大規模な資源破壊をともなった。しかし日本の森林には復元力があつた。(中略) 師匠格の古代朝鮮の場合、気候や地質のせいであらうはいかず、乱伐されてやがて多くが禿山になった。

だからと言って、自然の恵みだけではなく、とくに生産量が増えた江戸時代以降は、経営の知恵、生産技術の知恵および節度があつたことを無視してはならないと思われる。

- (4) 松江藩の河川鉱害への対応

寛永年間(1624~1644) 宍道湖が鉄穴流しの土砂で埋まりかけたので、鉄穴流しが禁止された。

宝暦年間(1751~1744) 洪水被害による農民側からの鉄穴流し反対運動(⇔ 一時鉄穴流し禁止)

翌年、鉄師からの納入金で藩による河川浚渫を条件に解禁

洪水が収まらなかったので、稼働鉄穴数を制限

明和7年(1771) 朝日丹波指揮による斐伊川改修

天保2年(1832) 新川放水路の開削

- (5) 馬の頭数は、仁多、飯石の2郡について次のような記録がある。

	宝暦(1751年)	明治19年
仁多郡	377	2,006
飯石郡	294	706

明治初年に仁多郡では、たたらは7炉，大鍛冶が15，製鉄場関連の人が2300人，関連の召抱え人が3500人（常雇，兼業および副業を含む），馬が1700頭（必要な時に使う抱え馬も含めて）であった。生産された製品は，鋼，銃などを含めて11500駄（駄は馬1頭の積み荷の量で24貫から30貫であるから，約1293t）であった。鉄生産量に対して，重さで約1桁上の原料が必要であるから，上記の馬の全数を用いると，年間の稼働日数は平均74日という数字になる。これらの数字から，牧畜とたたら製鉄が見事に調和した様が見える。

- (6) 例えば，出雲に隣接する伯耆の近藤家の場合は，もっと小資本家的経営者であった。

参 考 文 献

- 1) 雀部 実；日本鉄鋼協会西山記念講座テキスト
- 2) T. Asamura; Proceeding of the 3rd International Con.on Ecomaterials (1997, 9) p. 34 Tsukuba.
- 3) 高橋一郎；『出雲の近世企業たたら歴史——錬鉄が主要製品であった』；ふえらむ 1996年11月号 p. 854, 『奥出雲横田とたたら』(1990)
- 4) ベック，鉄の歴史
- 5) 斎藤 潔；鉄の社会史
- 6) 高橋一郎；奥出雲通信 267 (1997. 6), 268 (1997. 7), 269 (1997. 8)
- 7) Y. Yamada et. al; Proceeding of the 3rd International Conf.on Ecomaterials (1997, 9) p. 294, Tsukuba.
- 8) 角田季美枝；『廃棄物ゼロをめざした技術革新（国連大学ゼロエミッション）』リサイクル文化, 52 (1996) 52