

“鉄鋼製錬”とは

大阪大学工学部 冶金・金属材料工学科

森田 善一郎

I. はじめに

このたび「生産と技術」誌の本号において、鉄鋼製錬の分野での最近の技術ならびに研究などに関する解説や紹介が特集されることになりました。ところで鉄鋼製錬といえは溶鉱炉で鉄をつくることだろうという程度の発想をされる方はあっても、一步進んで、近年多様化してきた工学と技術の中での位置づけやその学術的意義、重要性といった鉄鋼製錬の本質や実体を正しく理解しておられる方は実際にはきわめて少いように思われます。最近、基礎工学部の学生に冶金学について講義する機会を持ちましたが、聴講していた学生のほとんどは鉄鋼製錬に対して大昔の“錬金術”あるいは“村の鍛冶屋”程度の認識しかもっていなかったようで、この事実は上述の事柄を明確に物語っているものといえましょう。そこで今回の鉄鋼製錬特集における一連の解説紹介記事をより一層ご理解いただくための一助となるとともに、できるだけ多くの方々に鉄鋼製錬についても関心を持っていただくためのPRをかね、本特集号の冒頭で、鉄鋼製錬に関する入門的事項を簡単に述べさせていただきますことにしました。

II. わが国の鉄鋼生産の現状

人類が金属を発見し、それを日常生活に用いるようになってから随分長い歳月をえています。近年になって金属以外にも種々の新しい材料が開発され、用途も開けてきましたが、その生産量、利用度の上ではまだまだ金属のそれには及んでいないのが実情です。なかでも鉄は資源的にみても地殻を構成する金属元素のうちでアルミニウムについて第2位を占め、その広大な用途と製造技術の進歩と相まって生産量は他金属にくらべて圧倒的に多く、現在のところ鉄に代わりうるようなすぐれた材料を他に見出すこ

とはできません。今日、各種工業や農業において使用されている機械器具、土木建設機械、さらに電車、自動車、船舶などの交通機関はほとんど鉄でできており、またわれわれの日常生活においても鉄はあらゆるところに使われており、人類の文化は鉄鋼の使用増加、生産増加とともに発展してきたといっても過言ではなく、その意味で現在もなお“鉄と鋼”の時代であるといえることができるでしょう。

さて図1は1880～1969年間における世界主要各国の粗鋼生産量の推移を比較したものです。*鉄鋼の需要が世界的に年々増大しているこ

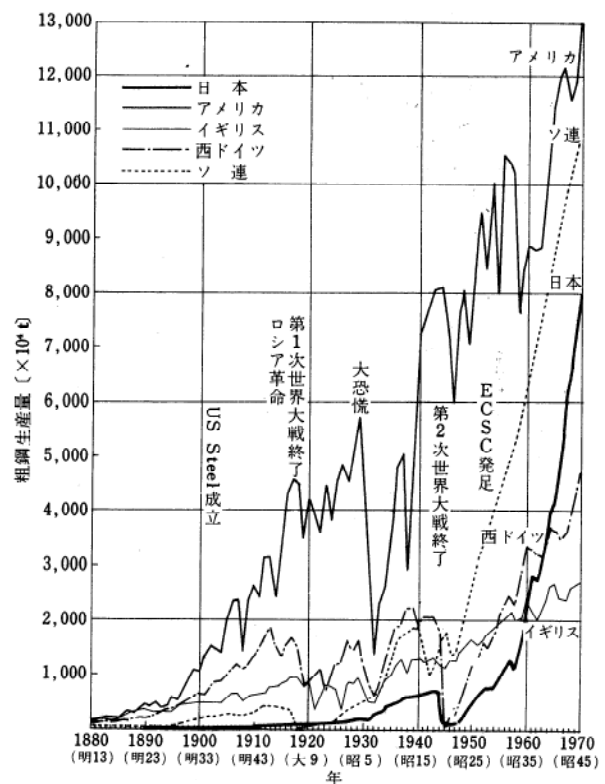


図1. 主要国の粗鋼生産推移(1880～1969)*

* 日本鉄鋼協会編「鉄鋼製造法、第1分冊、製鉄鉄鋼」(1972)P.4(丸善)より引用

生産と技術

とを示しています。ことにわが国の第二次大戦後の生産量の増大は他の先進諸国に比して著しく、1973年度（昭和48年4月～昭和49年3月）には、粗鋼年間生産量は遂に1億2000万トンを超え、アメリカの1億3600万トン、ソ連の1億3000万トンとほぼ肩をならべるまでになり、文字どおりの鉄鋼王国になりました。この戦後の鉄鋼生産の急速な進展は日本の鉄鋼製造技術全般にわたる進歩によるものであり、これが戦後のわが国の経済復興ならびに成長に大きな役割を演じてきたことは今さら申すまでもありません。

しかしながらこの反面、最近の公害・環境問題に加えてエネルギー、資源問題など鉄鋼界をとりまく環境も大きく変化しつつあり、原料資源をほとんど海外からの輸入に依存して成長を続けてきたわが国製鉄工業は、今一つの大きな曲り角にきているものと考えられます。すなわち今後の鉄鋼生産は従来のような量的に大きな成長はあまり望めず、質的な向上に比重が移っていくことが予想され、これを機にわが国の鉄鋼製造技術のより一層の時流に則した発展が望まれる次第です。

III. 鉄鋼製錬と冶金学

一般に鉱石を原料として粗金属をとり出し、さらに不純物を取り除いて実用金属に精製する工程を私どもは“製錬”と呼んでいます。したがって鉄鋼製錬とは、一口でいうならば鉄鉱石を原料として銑鉄をつくり、さらに不純物を除去して鋼にする工程をさすこととなります。当然のことながら、われわれが日常使用している鉄鋼製品は、すべて必ずこの“製錬”という一つの工程を経て製造されたものであり、このことから鉄鋼製錬の重要性をご理解いただけるものと思います。

ところでこの鉄鋼製錬に関する学問を“鉄冶金学”といいます。鉄冶金学は、本来、鉄鋼の製錬、加工、ならびに材料にわたる広い意味での鉄鋼製造に関する学問でありましたが、近年、冶金学ないしは金属工学の学問体系の細分化が行われるようになった結果、現在ではむしろ狭い意味での鉄鋼製錬に関する学問であるとみられています。

さて近年の目ざましい自然科学の進歩とともに

に、工学の分野でも電子工学、情報工学、システム工学などの新しい分野がひらけ脚光をあびているようです。これに反して、従来金属の製造ならびに材料に関する技術あるいは学問を表わすために慣習的に用いられてきた“冶金”ないしは“冶金学”という言葉は年々ポピュラーではなくなり、最近ではそれに代って金属工学という言葉が好んで用いられるようになりました。このことは従来の冶金学が決して不要になってきたことを意味するものではなく、冶金学という言葉そのものの中に、昔の錬金術を思わせるような古風な響と金属の製造を強調する泥くささがあり、一方金属工学の方が言葉のニュアンスとして泥くささが少く、やゝスマートに聞こえるといったことによるものでしょう。冶金学の“冶”の字は現在の当用漢字になく、しばしば“冶金学”という誤字を重要な文書などの上でも目にします。他の近代的なひびきのする学問分野に比して、地味で何となく泥くさく感じるこの冶金学は、最近のかつこよさを求める若い人々にはあまりにも魅力なくうつるのでしょうか大学における専攻希望者も年々減少しつつあるようで、これは単に日本の大学のみではなく、世界的に共通した現象でもあるようです。わが国の金属とくに鉄鋼産業のはたす役割を考えると、このような事態を私自身非常に残念に思っています。最近、東大、北大でも冶金学科、冶金工学科の名称がそれぞれ金属工学科に改称され、学科の名称に“冶金”という字がみられるのは、わが国ではわずかに秋田、京都、大阪、愛媛、九州の5大学のみとなりました。一方諸外国の大学においても、伝統的に継承されてきた“Department of Metallurgy”という名称が最近“Department of Metallurgy and Materials Science”へ変りつつあるようで、このような現実を考えますと、先に述べました“冶金学”なる言葉の退化も一つの自然のなりゆきと考えるべきかもしれません。このような背景のもとでは、鉄鋼製錬に関する学問として長年親しまれてきた“鉄冶金学”なる名称も適切ではなく、むしろ“鉄鋼製錬工学”あるいは“鉄鋼製錬学”といった方が現代の感覚にマッチし、より適切であるように思われます。

次に鉄鋼製錬の冶金学的ならびに技術的内容

を述べる前に、若干その歴史的背景にふれておきましょう。

IV. 鉄鋼製錬の歴史的概観

製鉄技術の発祥は歴史的にはきわめて古く、有史以前にさかのぼります。考古学者によれば、石器時代について青銅時代、鉄器時代というのが通説となっているようですが、製鉄史家や冶金学者の中には、青銅と平行してあるいは青銅時代以前に、すでに鉄がつくられていたのではないかという説もあります。どちらの説が正しいか断定はできませんが、いずれにしても紀元前 2000～3000年頃には鉄が人類によって使用されていたことは事実のようです。この時代の製鉄技術というのは、鉄鉱石を火床で製錬して粘餅あるいは半熔融の状態で錬鉄あるいは錬鋼をつくるというきわめて原始的なものでありましたが、その後近世に至るまで特筆すべきような技術的進歩はなく、実際にその技術が近代化し急速な発展を遂げたのは 18 世紀になってからであります。すなわち 18 世紀初頭、正確には 1709 年イギリスの Abraham Darby 父子が、Coalbrookdale の製鉄所で、木炭のかわりにコークスを使って溶鉱炉を操業することに始めて成功し、銑鉄の大量生産技術の先鞭をつけました。当時銑鉄は主として鑄物用に使われていましたが、1740 年 Benjamin Huntsman がコークスを燃料とするるつぼ溶解法を発明し、はじめて熔融状の鋼が小規模ながら製造されるようになりました。このるつぼ製鋼の行われた Sheffield の郊外にある Abbydale Works は現在も当時の姿そのままに保存されており、筆者も滞英中にそこを訪れたことがあります。その後 1784 年に Henry Cort が石炭を使って銑鉄を錬鉄に精錬する技術、いわゆるバッドル法 (Puddling Process) を開発し、さらに 18 世紀末にいたって James Watt によって蒸気機関が発明され、それまで動力源として用いられてきた水力が蒸気機関にとってかわり、19 世紀に入ってから鉄道の発達と相まって製鉄工業はイギリスを中心に急激に発達しました。ところで当時の可鍛鉄あるいは鋼の製造は、前述のるつぼ製鋼法かバッドル法によってなされていましたが、これらの方法は鋼の大量生産

には適しておらず、そのため大量生産が可能な鋼の熔融製錬技術の確立が要望されていました。このような情勢のもとで、1856 年英人 Henry Bessemer が転炉を用いて鋼を大量に生産する方法を発明しました。これは空気吹込みだけで大量の溶銑を溶鋼に変える技術の確立であり、その原理ならびに技術は、現在に至るまで普遍的、発展的に引きつがれてきています。この転炉製鋼法の発明からしばらくして、1866 年英人 C.W. Siemens 兄弟およびフランス人 Pierre Martin が反射炉を使って鋼を製造するいわゆる平炉製鋼法を発明し、実用に成功しました。当時は丁度産業革命期にあたり、この転炉ならびに平炉製鋼法によって鉄鋼の生産量は飛躍的に増大しました。その後英人 Gilchrist Thomas によって塩基性製鋼法が創始され、転炉および平炉での脱磷・脱硫操業が可能となり、また今世紀初頭にフランス人 Heroult らによって電気エネルギーを利用して鋼をつくる電気炉製鋼法が開発され、主として特殊鋼溶製などの分野に独自の地位を占めるにいたしました。このようにして近代製鉄法の基礎が確立され、それをもとにして鉄鋼製造技術は急速な発展を遂げ、今日に至ったのであります。ことに第 2 次大戦後の製錬技術の進歩はまことに目ざましく、数々の新しい技術が開発され、鉄鋼製錬の全分野にきわめて大きな変化を来しつつあり、今や第二の製鉄技術革命期に入ったといつて過言ではないでしょう。

以上鉄鋼製錬技術を歴史的に振り返って見たわけですが、次にその本質ともいべき点を冶金学的立場から簡単に述べることにします。

V. 鉄鋼製錬の冶金学的解釈

ならびに製錬技術の現状

鉄は天然には金属鉄として存在することはきわめてまれで、普通には非金属との化合物として存在し、これらの中で主として酸化物がいろいろな夾雑物と混合し、いわゆる鉄鉱石として産出されます。この鉄鉱石を原料として、製錬という工程を経て鉄や鋼がつけられるわけです。

さて鉄鋼製錬は製鉄と製鋼の二つの工程に大別することができます。

生産と技術

製鉄とは鉄鉱石を還元していわゆる銑鉄をつくる工程をさし、製鉄法としては、コークス、木炭を熱源および還元剤として使用する溶鉱炉によるものと、電熱を熱源として粉コークスを還元剤として使用する電気炉によるものなどがありますが、現在では主としてコークスを還元剤として用いる溶鉱炉製鉄が世界的に広く実施されています。

わが国の戦後の溶鉱炉製鉄技術は、溶鉱炉の大型化、原料処理技術の進歩、操業の迅速化、高能率化などにより驚異的な進歩を遂げました。私が学生であった昭和 27～28 年頃は、当時の八幡製鉄所の洞岡と富士製鉄広畑製鉄所にそれぞれ 2 基ずつあった銑鉄日産約 1000 トンの溶鉱炉が当時最大のものでありましたが、その後 20 年ほどの間に溶鉱炉は急速に大型化し、遂に一昨年（1972 年）日本鋼管福山製鉄所において日本最初の銑鉄日産 1 万トン、内容積 4000 m³ 級の溶鉱炉が出現し、その後 1 年ほどの間にほぼ同規模のものがさらに 5 基誕生し、現在世界中の内容積 4000 m³ 以上の大型溶鉱炉 8 基のうち 6 基をわが国が占めるにいたりました。なかでも昨秋（1973 年 11 月）日本鋼管福山製鉄所に誕生した第 5 号高炉は内容積 4616 m³、銑鉄の日産量も 1 万トン以上で、現在のところ世界最大のものであります。一方、原料の予備処理技術ならびに高温送風、酸素富化、送風調湿などの一連の送風処理技術および高圧操業技術の進歩により、銑鉄の生産性は著しく増大しました。このようにわが国の製鉄技術は、溶鉱炉の大きさで世界一になったのみでなく、操業技術の面でも諸外国より一步すぐれており、これが今日のわが国の鉄鋼産業の隆盛に大きく貢献したといつてよいと思います。

さて溶鉱炉の中で鉄鉱石（焼結鉱、ペレットなどを含む）、石灰石、コークスなどの装入原料は、炉の下部にある羽口から吹込まれた熱風とともに高温で化学反応をうけ、鉱石は還元されて熔融状の銑鉄になるとともに夾雑物は熔融スラグ（鉱滓）となり除去されます。したがって製鉄は化学的にみて還元工程であり、この鉱石の還元の過程で、還元剤である炭素をはじめ珪素、マンガン、燐、硫黄などの不純物元素が銑鉄中に付随して入ってきます。銑鉄はこのよ

うにして不純物とくに炭素を 4～5% 含有しており、そのため鉄本来の靱性、可鍛性が失われ、铸造は容易ですが脆く、ふつう铸件とする以外にはこのまゝでは用いることはできません。そこで、普通これをさらに精製して不純物を酸化除去し、圧延加工または鍛造のできるいわゆる鋼とするわけであり、この鋼をつくる工程を製鋼と呼び、この工程において銑鉄中に含まれる不純物元素の多くは酸化除去されてスラグ（鋼滓）中に入るか気相中に逃げます。したがって銑鉄が化学的に還元工程であるのに対し、製鋼は酸化工程であるといえます。この工程により製造された鋼は、ふつう炭素をはじめ不純物元素を規格化された範囲内でおお若干含んでおり、その含有量は鋼の用途によって異なり、またその結果、鋼の物理的、機械的性質も異なり、これはさらに、加工、熱処理などの工程を経て種々の用途に供されます。

さて製鋼法は、この解説の製錬の歴史のところですでに述べましたように、19 世紀の転炉、平炉の発明とともに急速に進歩し、現在では転炉法、平炉法、電気炉法によって大量の鋼が生産されています。なかでも 1952 年 オーストリーの Linz および Donawitz の両工場が開発された純酸素上吹転炉製鋼法（LD 法）は、従来の製鋼法ではみられなかったすぐれた技術的特長を有するためにその後急速に普及し、さらに改良が加えられて今や普遍的製鋼法として世界的に広く実用されるようになりました。初期には小型であった転炉の容量も漸次大型化し、最近では 300 トン以上の大型のものが現われ、また吹精時に酸素とともに石灰粉を吹き込み低燐、低硫黄の鋼をうる LD-AC 法も世界各国で実施されています。またこれとは別に 1952 年ドイツで開発されたローター（Rotor）法、スウェーデンの Kalling 教授の指導のもとに開発され、1956 年から Domnarfvet 製鉄所で操業されるようになったカルド（Kaldo）法などもそれぞれすぐれた特長を有し、新しい製鋼法として注目されています。

一方、最近では鋼の品質の向上にも力が注がれ、非金属介在物の少い清浄鋼の製造を目的として溶鋼の真空脱ガス法、エレクトロスラグ再溶解法（ESR 法）、プラズマアーク溶解法、電

子ビーム溶解法などの新しい技術が実用化されるようになり、連続鑄造技術の普及と相まって鉄鋼製錬技術は急速にかつ発展的に変遷しつつあります。またさらに未来の製鉄法として、直接製鉄法や原子力エネルギーを用いる原子力製鉄法についても種々研究開発がなされつつあります。以上、最近の鉄鋼製錬技術の概要を簡単に述べましたが、これらの詳細については本解説に続く一連の解説の中でも紹介されると思いますので、ここではこの程度にとどめておくことにします。

さて昨年の石油危機を機に、省資源、省エネルギーの気運が高まってきました。とくに製鉄資源のほとんどを海外に依存し、かつ大量のエネルギーを消費するわが国の製鉄産業は、この意味で一つの大きな技術的転換期に入ったといえます。また内的にも環境問題など解決せねばならない問題が山積しており、これらの諸困難を克服するための新しい技術の開発が望まれます。鉄鋼製錬もこのような背景のもとでますますその重要性を深め、省資源、省エネルギー、省力といった立場から新技術を産み出すことが今後の重要な課題となるでしょう。

VI. 鉄鋼製錬研究の現状

鉄鋼産業の今日的隆盛をもたらせた製造技術の進歩が、わが国をはじめ世界各国の研究者によって着実に築きあげられてきた多くの研究成果に負うところがきわめて大きいことは今さら申すまでもありません。鉄鋼製錬に関しても、これまで、基礎ならびに応用研究が大学をはじめ諸研究機関や企業において行われ、多くの輝かしい成果があげられてきました。なかでも大学を中心として行われてきた基礎研究の分野では、従来製錬反応の解明に重点がおかれ、主として化学平衡論(熱力学)的ならびに速度論(動力学)の立場からなされていましたが、最近では反応プロセス、操作を考慮した反応工学的研究や熔融鉄およびスラグ、耐火物など鉄鋼製錬に関与する物質の物性や構造に関する研究、さらに金属の凝固に関する研究なども行われるようになり、それぞれ新技術の開発につながるような大きな成果をあげつつあります。わが国

の産業界に課せられた厳しい環境のもとでの鉄鋼産業の将来を指向して、鉄鋼製錬の基礎研究の内容も、今後ますます多様化していくものと思われます。そして、それらの成果をふまえ、未解決の技術的諸問題を解明するとともに、先にも述べました現在転換期にある製錬技術をさらに将来発展的方向において改革していくための努力が切望される次第です。

VII. おわりに

以上、鉄鋼製錬の今日的意義、その技術の歴史ならびに現状など鉄鋼製錬に関する入門的事項を簡単にご紹介しました。紙面の関係で十分意をつくせず、内容もずい分はしよった表皮的なものとなってしまいましたが、本文につづいて述べられる最近の鉄鋼製錬技術ならびに研究に関する一連の解説をご理解いただくために何らかの参考になり、また若干なりとも鉄鋼製錬に関心をお持ちいただく結果となれば、筆者の喜びこれに過ぐるものではありません。

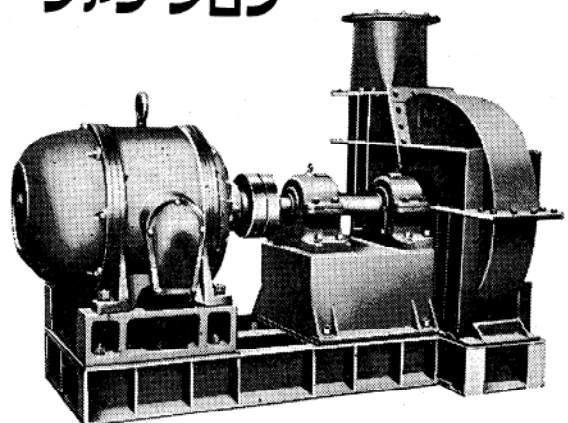
DAIWA

大和の

ファン・ブロー

送風機設計製作

- ・ターボファン
- ・ターボブロー
- ・プレートファン
- ・シロッコファン
- ・リミットファン
- ・軸流ファン
- ・プロペラファン



関西送風機 第2グループ

有限
会社

大和送風機製作所



大阪市港区弁天2丁目4番6号
電話 大阪 (572) 3951代表