

第1章 製鋼の歴史

1. 世界

(1) 木炭製鉄から石炭製鉄へ

鉄が人類に知られたのは紀元前2500年ごろである。鉄の製造は銅や青銅の製造とあい前後して世界の各地で行なわれていたといわれている。しかし、古代の製造法はすべて**固体鉄（海綿鉄）**^{※1-1}ないしは**半溶鉄（ルッペ）**の製造であり、この状態が13～14世紀ごろまでの長い期間にわたって継続された。今日のように、鋼を完全に溶けた状態で精錬し、多量に、しかも安い価格で良質の鋼が得られるようになったのはそれほど昔のことではない。

鉄の製造は14世紀ごろからヨーロッパにおいて、木炭を用いる高炉によって開始された。しかし、鉄は溶融状態で得られても、当時はまだ可鍛性の

鉄を得るには半溶融状態で製造せざるをえなかった。当然可鍛鉄についても溶融状態で製造する要求が時を迫って高まってきた。この要求は次に述べる転炉法と平炉法という二大製鋼法の発明によって実現された。

(2) 転炉法

1856年ヘンリー・ベッセマー（1813～1898）によって転炉法が発明された。これは溶鉄に空気を吹き込むだけで溶鉄を溶鋼

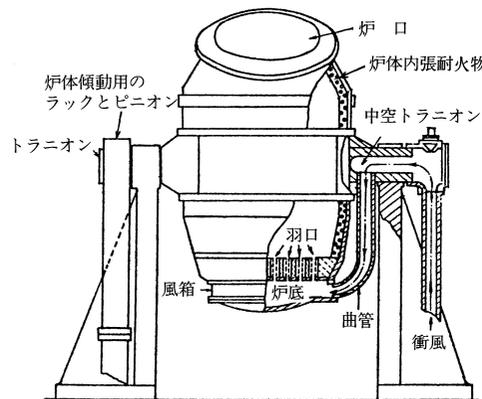
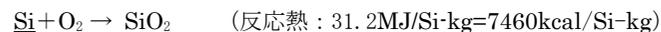


図1-1 ベッセマー転炉概念図
(鉄鋼製造法：丸善)

に変えるという方法である。彼は溶鉄をルツボ状の炉に入れ、炉底より空気を吹き込んで脱炭、脱珪素を行ない、発熱を利用して溶鋼状態の鋼を得ることに成功した。

この製鋼法における主な発熱源はシリコン (Si)^{※1-2}で、



の反応によって莫大な熱量を発生し温度を上昇させることができる。この方法は炉の**内張耐火物**およびスラグが**酸性**^{※1-3}であったため、鋼の有害元素であるリン (P)、硫黄 (S) が除去できなかった。そのため鉄成分に厳しい制約を設けねばならず、良質鉄鉱石の枯渇と鋼の品質に対する要求が厳しくなるにつれて次第に衰え、トーマス法や平炉法によってとって代られることになった。しかしながら、このベッセマー法（空気底吹酸性転炉法）によって始めて溶融状態の鋼が多量に得られるようになったこと、また後に続くトーマス法、さらにはLD転炉法（酸素上吹転炉法）が発明されるに至る基礎をなしたことから、このベッセマーの功績は高く評価されている。

このベッセマー法当時、転炉法によるP（りん）の除去は製鉄界における切実な要求であった。この問題は1879年イギリス人シドニー・ギルクリスト・トーマスが従弟パーシー・カーライル・ギルクリストの協力を得て解決した。トーマスは**ドロマイト**^{※1-5}を高温焼成してクリンカーを作り、これをタールで練ってレンガに焼き固めて**塩基性耐火物**^{※1-6}を製造し、これで転炉を内張りした。この炉に高りん鉄を装入して空気を吹き込み、同時に石灰を添加して塩基性スラグによって精錬する、いわゆるトーマス法（空気底吹塩基性転炉法）を発明した。この方法は約2%程度のPを含む鉄を用いて吹錬し、



(反応熱 : 35.1MJ/P·kg=8400kcal/P·kg)

の反応による発熱が昇温の主体となり、かつ酸化されたりんは石灰と結合することによって安定となり、スラグ中に留まり脱りんされる。たまたまヨーロッパには**ミネット鉱石**^{※1-7}という高りん鉄の原料となる鉄鉱石が無尽蔵にあったため、ドイツ、スウェーデンその他でトーマス法が大きく発展した。

トーマス法で生成するスラグはりん酸を10%近く含んでいることから、肥料に用いられた（トーマスりん肥）。

このような特徴をもっていたので、トーマス法は100年近く使われていたが、空気を底吹きする限り、溶鋼の窒素含有量 (N) が高いという問題があった。窒素含有量が多いと鋼材が脆くなるのでトーマス法は材質要求があまりきびしくない鋼材の製造に用いられた。転炉鋼の窒素含有量を下げた材質を向上したいという努力は長くおこなわれ、それは酸素転炉法の開発につながるようになった。

(3) 平炉法

ベッセマーの発明とほぼ時を同じくしてドイツ系イギリス人フリードリヒ・シーメンスが反射炉に蓄熱室^{※1-8}を設けて高温を得る方法を発明した。すなわち、石炭を用いて発生炉ガスを作り、これと燃焼空気の両者を蓄熱室を通して予熱し、溶解室で燃焼させてそれまでの石炭焚の反射炉ではどうしても得られなかった高温を得ることに成功したのである。この炉はその初期にはガラスを溶かすために用いられたが、まもなく、1864年に至ってフランス系ドイツ人ピエール・マルチン（1824～1915）がスクラップと銑鉄を装入して良質鋼を製造することに成功し、ここに平炉製鋼法がその輝かしいスタートを切ったのである。（図1-2）

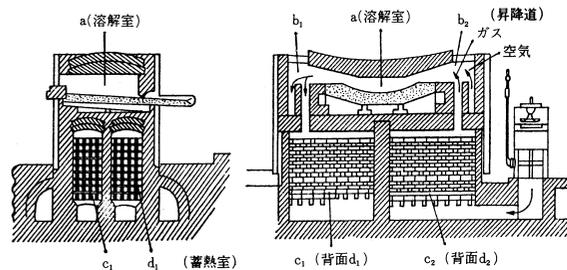


図1-2 最初の平炉溶鋼の製造に成功したピエール・マルチンの平炉（1864年）

マルチンの作った平炉は、酸性耐火物で内張りされたもので、したがって、スラグも酸性であったためにベッセマー法と同じくP、S等の有害元素を除くことが困難であったが、まもなくトーマスによる塩基性耐火物の発明により、塩基性ライニングを持ち塩基性スラグによって精錬する塩基性平炉でこの問題を解決した。

しかし、塩基性平炉法で製造した鋼は、酸素と水素の含有量が高いことから、当時は高級鋼は原料を厳選した上で酸性平炉法で製造されていた。

この平炉法は、含りん鉄鉱石の産出国（ドイツ、フランス、ベルギー、ルクセンブルグ、スウェーデン）以外の多くの国で転炉法を完全に圧倒した。また、平炉は文明国に蓄積された大量のスクラップを利用できる点と合せて、第2次大戦後、純酸素上吹転炉（LD転炉）に替えられるまで、高カロリー

の重油吹込み及び酸素吹込み技術等の発展によってイギリス、アメリカ、日本、ソ連等では100年近く平炉上位の時代が続いた。

(4) 電気炉法

電気エネルギーがかなり廉価に、しかも多量に得られるようになって、製鋼の分野にも導入された。1899年フランス人エルー（1863～1914）がアーク炉による製鋼に成功した。この方法は、従来の製鋼法と違って、還元性^{※1-9}のスラグを作ることができるため、高級鋼の分野で直ちに、それまでのルツボ炉^{※1-10}あるいは酸性平炉に取って代り、特殊鋼製造炉の主要炉となった。

さらに、第2次大戦後、電気炉法は普通鋼の製造法としても着実に伸びている。高炉－転炉の組み合わせからなる一貫製鉄所に比べて少しの設備投資で、小回りのきく溶鋼製造ができることが特徴で、ミニミルには欠かせない製鋼炉になっている。米国では60%弱が電気炉法で製造されている。

(5) 酸素製鋼法

転炉で空気を吹き込むかわりに純酸素ガスを用いるというアイデアは古くからあった。それができれば、『窒素含有量が高いので良質鋼は製造できない』という空気底吹き転炉法の欠点を解決できるからである。

そのためには、

- (i) 純酸素が大量に製造できるようになること
- (ii) 転炉への純酸素の吹き込み方法が開発されること

が必要で、実用化されるまで約100年待たなければならなかった。

20世紀になって純酸素が工業的に作られるようになり、とくに第2次大戦後、安価に大量生産できるようになった。

純酸素の吹き込み方法については、熔融金属中に吹き込む方法がいろいろ試験されたが、羽口の損耗が激しかった。空気の場合には底吹きしても問題がなかったが、純酸素では窒素による冷却作用がないため、温度が高くなり過ぎるからである。1938年になって、熔融金属の上から純酸素を強く吹き付けるというアイデアが出され、それが発展して、1949年にオーストリアで純酸素上吹き転炉法（LD転炉）が開発された。

この方法が発表されるや否や全世界の注目をあびた。とくに日本ではただちにこの方法が採用され、多くの技術改良が加えられ、またたく間に平炉法からLD転炉法へ転換した。

純酸素の使用は、LD転炉だけではなく平炉にもベッセマーライジング^{※1-11}として適用され、また、ローター法^{※1-12}、カルドー転炉法^{※1-13}などの新しい製鋼法が開発された。米国は、ベッセマーライジングによる平炉法の改善にこだわり過ぎたので、酸素転炉化の波に乗り損ねた。カルドー法、ローター炉はヨーロッパで1部実用化されたが、やがて操業成績がLD転炉に敵わないことがわかり、使われなくなった。

このように日本は開発されたばかりのLD転炉法を導入することによって、一躍、製鋼技術で世界のトップに踊り出た。LD転炉法は日本で、

- (i) 上吹きランスノズルの多孔化及び、大型化の基本技術確立
- (ii) 排ガスを燃やさないで回収する技術（OG法）
- (iii) 耐火物寿命延長技術
- (iv) 制御技術

などが開発されて1960年代に製鋼法として完成した。

一方、欧米では上吹き法ではなく底吹き転炉法を改善しようという努力が続けられていた。そして、2重管羽口という新しい技術を取り入れて転炉に酸素ガス底吹きができるようになった。そして1968年～1969年にOBM法、LWS法、Q-BOP法などの酸素底吹き転炉法^{※1-14}が開発、実用化された。

酸素底吹き転炉には長所、欠点があり、LD転炉法にくらべて一概にどちらが有利とも言えない。

しかし、上吹き法の高生産性と底吹き法の低酸素含有の長所を組み合わせるという形で1970年後半から種々の方式の上底吹き転炉（複合吹錬転炉とも呼ばれる）の開発が各所で行われることになった。そして、1980年以降、LD転炉から上底吹き転炉への変換が行われ、今日に至っている。

2. 日 本

前節においては製鋼の歴史をその技術の発明および発展を基に述べた。本節では、日本でその時その時の時代の要請に応じてどのような背景から技術が導入され、それがそしゃくされ発展するに至ったかを概説する。

(1) たたら製鉄法

我国の鉄器文明はまず鉄製品の渡来という形で紀元前3世紀頃から始まった。やがて紀元前1世紀頃になると製鉄技術が芽生え、次第に普及していっ

た。弥生時代の後半、すなわち紀元200～300年頃には西日本から東日本に至る広い地方に石器に代って鉄器が普及したことはほぼまちがいない事実とされている。我国古代の製鉄遺跡および古刀の産地の分布は現代の砂鉄産地とほぼ一致しているところから、我国の製鉄技術は砂鉄精錬法をベースとして成立したといえることができる。

鉄を作るための炉ははじめ火窪と称したもののから、後に野鑪（のだたら）と呼ばれる炉となり、鑪（たたら）^{※1-15}へと発展した。

(2) 洋式高炉の導入とコークス高炉法の確立

我国の製鉄技術は古代から幕末まで一貫して砂鉄精錬の技術、つまりたたら製鉄法と鍛造の技術とが中心となって展開したものである。しかし、1850年前後（弘化、嘉永年間）の頃となると先進諸国からの開国の要請や圧迫を受けて国防の声が高まり、大砲鑄造のために大量の鉄が必要となってきた。また全国的に造船事業勃興の機運も高まり、鉄材への需要はいよいよ大きなものとなった。こうして古来の小規模の砂鉄精錬による製鉄法に代って量産可能な洋式製鉄法の導入が促され、ほぼ同時期に日本の広い地域にわたって近代製鉄技術の芽生えがみられた。我国の高炉による製鉄はヨーロッパより4～5世紀も遅れて出発したが、この高炉製鉄がやがて製鋼作業と結びついて、近代産業の基礎産業としての鉄鋼業の隆盛をもたらすものとなった。

大島高任を中心に釜石で芽生えた近代製鉄技術の種子は、明治維新後諸事業の国家的育成の機運に乗り、官営釜石製鉄所～釜石鉱山山中製鉄所を経て1894年（明治27年）には13,000トン記録し、我国近代製鉄業の基礎が初めて確立されるに至った。

(3) 鉄鋼一貫製鉄所の建設とその後の平電炉工場の建設

1901年（明治34年）官営八幡製鉄所が設立された。釜石での高炉製鉄技術と、陸海軍工廠を中心とする洋式製鋼技術の成果を生かし、またドイツ人による技術指導によって銑鋼一貫作業が確立された。

これに続き、明治末期から大正初期にかけて、高炉部門を持たない民間の製鋼メーカーが相次いで創業した。これらの企業は、第1次大戦後、安価で豊富なインド銑と米国の屑鉄を輸入して、平電炉による屑鉄製鋼法の技術を確立した。

(4) 戦後日本鉄鋼技術の発展