

随 想

鉄鋼技術史と将来の展望

館 充*

History and Future of Iron-and Steelmaking Technology

Mitsuru TATE

1. はじめに

歴史といえはすぐに「いつ、どこで、誰が」を思いだす。もちろん「何を」(または「何が」)を前提にしてのことである。歴史がまず事実、すなわち史実を重んじることを示す言葉である。しかしもろもろの史実を年代順に記録したもの、つまり年表を歴史と考える人はいないであろう。年表を土台として、諸史実に「なぜ」あるいは(および)「いかに」と問いかけ—必要なら見のがされてきた史実をも発掘して—、個々の史実の背後事情、史実と史実との関連をあきらかにすること、そして歴史の真実をとらえることによつてはじめて、科学としての歴史が成立する。またこうしたアプローチを現代にまで及ぼすことが、将来の展望にも通じるのだらうと思う。

本稿の目的は鉄鋼技術史そのものを述べることにあるのではないが、私が技術史の「真実」をどうとらえているかを紹介するという意味で、製・精錬の技術と理論の歴史の若干の側面について述べてみたい。

2. 近代溶鋼法の歴史

(1) 製鋼技術

ベセマーが酸性底吹転炉法という画期的な大発明を公表したのは1856年である。その5年前(1851)にアメリカでケリー(W. KELLEY)が類似の方法の試みを行っており、またF. シーメンスが蓄熱法を発明(1856)し、1864年にはシーメンス・マルチン法(酸性平炉法)が出現する。いずれもめざすところは鑄鋼—現代的には溶鋼—の大量安価な生産であつた。とするとこれらには共通の背景があつたとみるのが自然である。それは何か。

産業革命の嵐のような進展は、その発祥地であるイギリスを中心とする西欧諸国に鉄の大消費の時代を到来させた。とりわけG. スチーブンスンが蒸気機関車を発明(1830)して、鉄道が急速に発展したため、鉄の需要は激増した。ところが当時鉄の量産法の主流であつたパドル法には、半溶鉄の人力による攪拌が生産性の向上をきびしく制約するという矛盾が顕在化していた。これに加え

てパドル鉄、すなわち錬鉄のレールは軟かく、鋼レールに比べてその寿命が非常に短いという事実が知られた。錬鉄から鋼へという材料の転換が時代の要請となりつつあつた。パドル炉で鋼をつくる方法もあるにはあつたが、それに適する原料銑は限られ、しかも操業は難しかつた。クルップによるるつぽ鑄鋼法の大規模な実施とその製品の展示は、大量鑄鋼が時代の要請であることをデモンストレートするものではあつたが、製品は余りにも高価であつた。

したがつて大量溶鋼法の出現は二つの意味で時代の要請にこたえるものであつたのである。ベセマーは空気が精錬効果をもつという、それ自体としては既知の事実を鋭く着目し、空気を精錬剤とすることによつて、燃料を消費することなしに溶銑を溶鋼に変えうることを実験的に把握し、試行錯誤を重ね、スエーデンのゲランソンなどの協力をえて、これを工業化することに成功した。むろん、発達したイギリス工業の所産である強力な送風機や水圧機なしに工業的成功はありえなかつた。一方シーメンスとマルチンは蓄熱法によつて燃料ガスと燃焼用空気を予熱することによつて、鋼を溶融状態に保ちうる高温を発生させる道を選んだ。その成功の要因は高温に耐える酸性耐火物の選択使用にあつたとされているが、これにさきだつてガス発生炉が開発されていなかつたら、そもそも平炉が存在しえなかつたことはあきらかである。いずれにも共通する特徴は、半溶鉄製造法としてのパドル法の矛盾を、溶鋼法という形でのりこえたということである。

こうして成立した溶鋼法、とくに溶銑を主原料とするベセマー法は、その製品であるベセマー鋼がレール材として圧倒的な地位を占めたことによつて、とくに原料条件の有利なアメリカで急速に発展したが、これには脱酸・造塊という新しい課題のほか、脱磷ができないという重大な弱点があり、スピーゲルアイゼンによる脱酸とも関連して低炭素鋼をつくりにくいという事情もあつて、パドル錬鉄—パドル法を完全に駆逐できなかつた。錬鉄成分の制約をのりこえることが製鋼技術における新

* 東京大学生産技術研究所 工博

しい課題となり、それがトーマスによる塩基性転炉法の発明 (1879)、ついで塩基性平炉法の出現に導びいたのである。

塩基性溶鋼法の確立とともにパドル法は姿を消すが、トーマス法にも、原料銑成分の制約があり、これを有利に採用しうる地域がヨーロッパの一部に限られるという弱点があつた。塩基性平炉法は原料面での柔軟性と製出鋼の良質性によつて、やがて全世界的に支配的なプロセスの地位を獲得するが、これにも銑鉄の高配合が難しいという弱点が内包されていた。そしてこのことが前世紀 80 年代末からの転炉—平炉合併法、傾注式平炉法、バートランド・チール法、タルボット式平炉法など、平炉法のさまざまな変種の展開をもたらした原動力だつたのである。またこの問題の解決が、今世紀大量酸素という強力な手段が現われて、はじめて可能となつたことは周知の事実であるが、その純酸素転炉法が、屑鉄を主原料とすることなしに平炉鋼なみの良質鋼の製造をめざさねばならなかつたオーストリーの条件のもとで、主として、トーマス法の経験豊かなドイツの研究者・技術者の協力をえて、生れたという事情を見逃すことができない。

(2) 精錬理論の一側面

ベセマーの発明はそれ自体科学的探求の所産という性格をもつものであつたが、ベセマーは冶金学者でも冶金技術者でもなかつた。冶金家達は発明者としての榮譽をになうことができなかったが、ベセマー法の発展に寄与した。たとえばツンナー (P. TUNNER) やシンツ (C. SCHINZ) などの学者はこの方法の評価が確定していなかつた時期に、いち早くその革命的意義をとらえただけでなく、無燃料で溶銑を溶鋼に変えうる理由が Si と Fe の酸化熱にあることを示し、C の燃焼熱の役割を正しく評価した。これはベセマーが実験的に把握した銑鉄成分の必要条件を理論的に裏づけたものであつたが、プロセスを反応と熱との関連のもとにとらえるこのアプローチは、その後多数の技術者による反応経過の調査結果とあいまつて、ベセマー法のイギリス方式、スウェーデン方式、アメリカ方式などへの多様化を可能としたのであつた。

トーマスの場合は、十分な化学の素養をもつていたという点で、ベセマーとは事情が違つているが、そのトーマスでさえ、P がベセマー法における Si と同じ役割を演じることに気づいていなかつた。トーマス法では脱燐ができるだけでなく、P の一定量が必要であることを含めて、この方法の成立条件の本質的な把握は、前世紀 80 年代以降冶金家達によつて行なわれた研究の成果にまたねばならなかつたのである。

今世紀の初め酸素の工業的製造の可能性がみえ始めて間もなく、これによつて空気精錬法の限界をのりこえるという展望がうちだされたのも、こうした研究の積み上げがあつたのであることはあきらかである。冶金

家のこうしたアプローチが前世紀における化学、分析化学、熱化学の発展を前提としたものであり、またこのアプローチがこれら基礎科学に刺激を与えたことはあらためていうまでもないことであろう。

3. 近代製鉄技術の歴史

3.1 製鉄技術

1828 年、ネイルソン (J. B. NEILSON) によつて、製鉄技術における一大変革である送風加熱 (熱風) が発明された。わずか 150°C 程度の熱風でコークス比の 30% もの低下が認められ、その適用は急速に普及した。その少し前 (1825) にテイラー (P. TAYLOR) のとつた炭化水素吹込の特許が全く顧みられなかつたことは対照的であり、2.5t/t を下らないコークスを消費していた当時の高炉にとっては、まずエネルギーとしてのコークスの節約が最大の課題であつたことを物語っている。

続いて 1832 年ファーベル・ドウ・ファウル (Faber du Faur) によつて炉頂ガスによる送風の加熱が行なわれた。始めは顕熱だけが利用されていたが、やがて潜熱も利用されるようになる。するとそれまで開放されていた炉頂を密閉するようになり (1840)、1851 年にはペルーカップ式のパリー (Parry) の炉頂装置が出現する。熱風の適用による炉内温度の上昇は水冷羽口の普及と炉下部の水冷 (1842) をもたらす。

しかし鉄管式熱風炉による限り、熱風温度は 500°C が関の山であつた。高炉の生産性は週 150t 以上にのぼるようになったが、その 1/5~1/8 というパドル炉の生産性とのギャップがあまりに大きく、そのことが高炉の発展を妨げていた。

溶鋼法の出現と発展はこの制約を取り除いただけでなく、その急テンポの発展を促した。高炉はとくにアメリカで急速に大型化し、1890 年代の終わりには Duquesne* の 700t 高炉が出現した。シーメンズの著熱法が送風の加熱にも適用され、カウパー式 (1860) あるいはホイットウエル式 (1867) 熱風炉が出現して、熱風温度を 800°C まで上昇させることが可能となり、コークス比は 800kg/t にまでも低下した。炉内温度の上昇は炉体冷却をより広範かつ十分に行なうことを必要としたが、これとともに前炉を不合理なものとし、結局リュルマン (F. W. LURMANN) による鋳滓羽口の発明 (1867) をよんだ。こうして高炉は上・下部ともに完全に密閉されるようになり、これとともに円形断面で多数羽口を周方向等間隔に配置した現代高炉の原形が完成した。

むろんここまで進歩した高炉に矛盾がなくなつたわけではない。大型化はコークスの強度への要求をますますきびしいものとしたが、この要求をみたすためには強粘結炭が不可欠であることが、最も根本的な矛盾として次第に浮かびあがってきた。このことは高炉によらない製

* U.S. Steel Corp.(米) の Duquesne (デューケン) 工場

鉄法の開発に新しい刺激を与えた一方、強粘結炭への依存性を弱めるためコークス比の一そうの低下を追求させることとなつた。そして実はこの矛盾が送風温度の一そうの上昇、自溶性焼結鉱の使用、複合送風など、今世紀における製鉄技術の進歩の原動力の一つとなつたのである。また大型化と炉頂の密閉は装入物とガス流の断面方向での不均一分布という矛盾を顕在化させることになつたが、そのことが操業の急速化と炉容の一そうの拡大という契機を介して、整粒、高圧操業、不均一分布の最適な調節など、通気、荷下がり制御のための技術の開発へと導びいたのである。

3.2 製鉄理論

19世紀における製鉄理論の発展としては、まず第一に化学分析を武器とし、化学量論とスラグの理論を道しるべとして行なわれた配合法の理論化をあげねばならないが、ここでも熱風の適用と炉頂ガスの利用が与えたインパクトは強烈であつた。

熱風の適用による燃料の節約量が、送風加熱に費される燃料の量に比べて著しく大きいのはなぜか、送風温度の同一上昇の効果が炉によつて異なり、また同じ炉でも条件によつて異なるのはなぜかという問題をめぐつて、まずカルステン (*K. J. B. KARSTEN*) やエベルマン (*J. J. EBELMAN*) が、後にベル (*L. BELL*) シンツ・グルナー (*M. L. GRUNER*) オーケルマン (*R. ÅKERMAN*) などがつぎつぎに見解を発表した。これらは総じて高炉内での熱の利用率についての認識を深めるのに寄与したのであり、その重要な所産が熱収支の理論と最適操業の概念であつた。

一方炉頂ガスの利用を契機として、まずブンゼン (*R. BUNSEN*) やエーベルマン、ついでツンナーやベルなどによつて、ゾンデによつて採取されたガスの分析を主要な手段として、つぎつぎに炉内調査が行なわれた。この結果、測温技術の未熟による欠点はあつたにしても、還元や溶融の推移、羽口でのコークスの燃焼過程などについての知見がえられ、今日の理解と基本的には一致する反応帯区分概念がうちだされた。

こうして高炉の熱レベルを、炉内で生起する個別反応による物質的・熱的变化を総合したものととして、科学的に把握するための土台は19世紀に築かれたといえる。もちろん、最適操業の理念が正され、ライハルトの部分熱収支の理論がうちだされるためには、ガス還元と直接還元 (ソリューション・ロス反応) についての明確な認識が必要であつた。またキターイエフの熱交換の理論やリストの操作線の理論が、熱保存帯や化学保存帯の存在を確認した新しい次元での炉内調査を前提としたものであることはいうまでもない。なお大型密閉高炉の不均一分布は、前世紀末には炉内調査の壁となつていたが、今世紀20年代から30年代にかけて、キンネー (*S. P. KINNEY*) やジョセフ (*T. L. JOSEPH*) らによつて不均一

分布そのものの調査が行なわれ、それが装入物の通気性と圧損についての研究、さらにはそれらの制御の技術の重要な契機となつたといふことがある。前世紀末から今日まで行なわれている燃焼帯—レースウェイの研究が、初期の炉内調査でみとめられていた「燃焼がごく小さい領域でおこる」という事実を原点とすることともに、見逃すことができない。

4. まとめと展望

はじめに断つたように、以上に述べたことは、前世紀から今世紀にかけての鉄鋼製・精錬の技術と理論の発展過程を、それぞれの若干の側面について概観したものである。したがつて委曲をつくしたものではないことはいうまでもないが、これから推察されることは、技術が一定のニーズの存在または形成を背景とし、原・燃料、設備、労働などにかかわる矛盾を駆動力として発展してきたが、この矛盾の克服のための課題の解決は、新しい手段の出現や認識の進歩を含めて、それを可能とするさまざまな条件の成熟を必要としたということである。一方理論は基礎科学との相互作用のもとに、技術と比べて相対的にはより自立的に発展してきたが、その基本的性格は経験的に、あるいは実験的に確立した技術の法則性を確認し、より一般的な法則性に高めること、すなわちプロセスの解析を主要な任務とするものであつたと思われる。

技術史あるいは技術史のアプローチが将来の展望に寄与しうるためには、まずそれが科学として確立されねばならず、そのためには概観の域にとどまらないそれ自体の研究が不可欠である。この研究は現在進行中であり、とりわけ鉄鋼技術の現代史は確立にほど遠い。この研究、したがつてまた将来の技術の見通しとそれを指向した研究課題の設定という問題に全面的に取り組む、答を見出すことは一個人の力量をこえる大事業である。それゆえここでは問題の一二の側面について私見を述べるにとどめたい。

日本の鉄鋼業の資源をもたないという不利を有利に変えることを可能にした条件の一つ、すなわち資源をめぐる有利な国際環境が劇的な変化を遂げ、復旧の見通しがないという点に今日の矛盾の一側面がある。この矛盾は省エネルギー・省資源という課題を、要請の域をこえて、規範というに近いものとしている。

不利を有利に転じたもう一つの条件が鉄鋼技術の全体系の発展であつた。この体系のうち資源条件と最も接近した部門としての製鉄技術の寄与は、後続工程としてのLD転炉技術のそれとならんで少なからぬものがあつた。製鉄技術の発展の結果、高炉の燃料比は(現在程度の原料条件のもとでは)限界に近いと思われる水準に低下した。ところが鉄鋼一貫工程のエネルギー消費構成における製鉄部門の比重は非常に大きく、それが省エネルギー

という課題の抜本的解決を本質的に困難なものとしている。高炉の原動力として作用し続けてきた固有の矛盾が、間接製鋼法の技術体系全体の矛盾ともなっている。高炉がその発展の結果として巨大化したことが原・燃料の性状にますますきびしい要求を課し、それが変化しつつある資源条件などとの間に矛盾を生じ、そこから解決を求められている課題が現にある。これとともに長期的に依存しうる化石燃料としての石炭の利用を前提として、還元と熔融とをどのようなプロセスによつて行なうべきかという問題の検討も日程にのぼりつつある。

製・精錬の理論は化学熱力学、反応速度論、移動速度

論、計算機や冷間模型によるシミュレーションなど、方法論的基礎が多彩かつ高度化し、部分的には設計の能力を備えるにいたっているが、プロセスの解析を主任務とするという基本的性格には変りがないように思われる。したがって科学的予知能力によつて技術を先導しうるものへの発展が求められていることはあきらかであるが、同時に解析能力をより十全のものとすることも必要となつている。とくに製錬理論の分野では塊状ないし粒状固体とその集団の力学的挙動の解明に一つの課題があると思われるが、これを含めて理論はさらに一そう広範な学際性と総合性を求められているといえよう。