

## 技術資料

### 将来の製鉄法について\*

雀 部 高 雄\*\*

#### On the Future of Ironmaking.

Takao SASABE

#### 1. 製鉄技術発展の背景としての 近代科学・技術の動き

資本主義国における主要構造用材料消費の傾向を表1に示しました。これによれば、1937年には鉄鋼が93.6%を占め、圧倒的に第1位になっています。軽金属は0.5%、プラスチックは0.2%を占めています。約25年後の1962年には、鉄鋼が90.1%を占め、軽金属が2.5%、プラスチックが3.5%を占めています。現在においても構造用材料のなかで鉄鋼が圧倒的な地位を占め、鉄鋼材料は産業の主食であります。1965年の世界の粗高生産高は約4億5000万tと見積られています。そのうちアメリカが約26%、ソ連約20%、日本約9.0%、西ドイツ約8.2%、イギリス約6.0%、フランス約4.3%、イタリア約2.7%、中国約2.6%、ポーランド約2.0%を占めています。まさに現代は鉄鋼の時代です。

現在の世界の生産技術は史上にその例をみないめざましい速度ですすんでいます。この現代技術の発展の特徴をとらえて3E革命あるいは4S革命りなどもよばれ

ています。3E革命というのは、exotic materials, electronics, energy converter の3Eです。エキゾチック・マテリアルというのは、とくに目あたらしい超新材料で、プラスチックのテフロン、各種半導体、鉄でいえば引張り強さ1300 kg/mm<sup>2</sup>以上のWhiskerなどがその例です。エレクトロニクスは現代の花形で、最近ではレーザー(laser)などが各方面の注目をあつめています。エナジー・コンバータとしては、原子力発電や直接発電が注目されています。4S革命というのは、small size, saving of weight, speed-up, self-regulation の4Sです。小型化、軽量化、高速化、自動制御化という面から現代技術の動きをとらえています。

現代の技術はあらゆる面ですすんでいます。わたくしは、オートメーションを他の技術の発展から区別してとくに重要なものとみる立場をとっています。それというのは、オートメーションは全産業的な技術体系を根本的に変革・飛躍させようとしているからです。この点のはかつての産業革命をふり返つてみるとよくわかります。

18世紀中葉からの産業革命では道具が機械にかわり、機械生産の発展がやがて機械製作法の発達を要求し、機械による機械の生産へ移行し、近代的な機械が急激に増大し、全産業の技術的基礎が変革し、機械設備による資本主義的な大工場が多数あらわれ、この変革によつて初めて資本主義社会が確立されました。

現在は機械とともに化学工業における反応塔などのように装置による生産が急速に発展し、機械も装置もますますオートメーション化されようとしています。オートメーションの動きは、個々の機械および装置のオートメーションから、1生産行程全体のオートメーションへ、全工場全体のオートメーションへ、さらに企業全体のオートメーションにまですすもうとしています。かつての産業革命の際には近代的な機械の登場によつて全産業の技術的基礎が変革し、人類は重筋肉労働

表1 主要資本主義国における構造用材料消費の変化  
(高橋昇：日本の金属産業から)  
(アメリカ、西ドイツ、イギリス、フランス、日本、カナダの6カ国の合計)

	1937	1948	1950	1957	1958	1962
消費実績 (単位 1000 t)						
鉄 鋼	94,344	108,136	125,194	170,818	141,162	148,672
非 鉄 金 属	6,231	7,161	8,932	11,154	10,312	10,748
重 非 鉄 金 属	5,132	5,194	6,457	6,930	6,538	6,890
軽 非 鉄 金 属	518	1,165	1,452	2,720	2,771	3,691
プラスチック	174	638	1,060	3,385	3,632	5,813
重量(容量)比率%						
鉄 鋼	93.6 (91.4)	93.3 (89.4)	92.6 (87.7)	92.1 (82.5)	91.0 (79.2)	90.1
非 鉄 金 属	6.2 (7.4)	6.2 (7.4)	6.6 (7.8)	6.0 (7.6)	6.7 (8.5)	6.4
重 非 鉄 金 属	5.1 (5.1)	4.5 (2.8)	4.8 (4.0)	3.7 (3.0)	4.2 (3.3)	3.8
軽 非 鉄 金 属	0.5 (1.7)	1.0 (3.9)	1.7 (3.0)	1.5 (3.9)	1.8 (4.6)	2.5
プラスチック	0.2 (1.2)	0.5 (2.2)	0.8 (4.5)	1.8 (9.9)	2.3 (12.3)	3.5

\* 日本鉄鋼協会第3回技術講座にて講演 昭和41年7月13日受付  
\*\* 東京大学生産技術研究所 工博

から解放される可能性が与えられました。現在は、オートメーションの普及により、全産業の技術的基礎が変革し、反復くりかえし行なわれるわずらわしい日常作業から人類が解放される可能性が与えられようとしています。現実には、特にアメリカおよびソ連のオートメーション化の動きが活発です。

たとえばソ連の経済発展7カ年計画(1959~1965)では、あらゆる産業分野への広範囲な自動制御の採用に際し、この7カ年計画の特徴として、個々の作業および機械のオートメーションから、工場および企業のオートメーションへの移行を規定しています。世界的にも1959年ころから製鉄所全体をオートメーション化しようとする動きが活発になりはじめています。

製鉄所へ運び込まれる鉄鉱石が、高炉、製鋼炉、鋼材圧延機などを通して各種の鋼材製品になり製鉄所から搬出されるまでの全行程を、電子計算機をそなえた1カ所のコンピューター・コントロール・センターでオートメーション化しようとする考えがすすみ、世界の鉄鋼業ではその一部が実施される方向にすすんでいます。

1957年からの7カ年計画で、ソ連では、製鉄所全体の完全オートメーション化の準備を完了するように計画がきまり、そこで、全生産工程をオートメーション化する際の最大のネックが製鋼工場の造塊作業であることをつきとめました。鋼の連続鑄造法は、完全オートメーション化の対象としても早急に発達することになり、普通鋼の量産設備として開発されています。

オートメーションがすすみ全産業の技術的基礎が変革すると、何が起こるでしょう。直接的に大きな影響をうけるのは労働者です。将来の労働者すなわちオートメーションの場合の労働者は管理者としての側面をもつていなければなりません。この種の新しい労働者が仕事を満足に遂行するには、労働者は次の点を身につけなければいけません。すなわち、生産に必要な技術上の知識、生産過程における材料の特性、全生産工程の中で自分が担当している部分の機械または装置の構造と作業原理、その正しい保守、全行程のレイアウト、それぞれの機械や装置の各部分の相互関係、オートメーション作業を保証する計測器ならびに制御器の知識、起こりうる欠陥や失敗の可能性についての知識、それを除去する方法、安全管理などに関する知識を身につけなければなりません。労働者は制御計測器の指示をよみとり、その意味を理解し、生産工程がどのように進行しているかをただちに判断できなければなりません。機械や装置をコントロールするために、科学的な原理、製造法の各種の技術問題、計器の構造と作動原理、機械と装置の制御に精通し、事故の原因を判断できなければなりません。結局、労働者はオートメーション設備を駆使するためにどうしても広範囲の技術知識が必要であり、この知識がなくては必要な新しい熟練度を身につけることができません。筋肉労働が後退し、頭脳労働が増大し、従来の労働者に対する要求とはまったく別のものが要求されます。従来の新しい労働者は、従来の熟練工としての職務から解放され、生産に対するオルガナイザー・管理者としての一般的な機能が要求されています<sup>2)</sup>。労働者の仕事はいつそう創造活動的になり、エンジニアの仕事に近いものになります。

す。ソ連では将来の全産業のオートメーション化の計画に対応して、上記の点を実現するために国民全体の教育を改め、すでに1958年より教育の大改革が行なわれています<sup>2)</sup>。

アメリカはソ連との教育競争におくれをとらないために、科学技術教育の根本的な大改革を行ない人的能力の開発につとめています。西ヨーロッパ諸国もオートメーションの進行にともない、末端作業にいたるまで大きな変化を生ずるようになり、これに対応できる新しい人的能力の開発のために教育の近代化をすすめようとしています。

技術の発達とともに科学も、驚異的な発展をとげつつあります。ふりかえつて、科学発展の大きな流れをみますと、科学が急速な進歩を開始したのは19世紀初頭のころでした。19世紀は、しばしば蒸気と電気の時代ともよばれます。これに対し、20世紀の特徴は、科学的な知識が量的にふえただけでなく、科学の性格が質的に変化したことが注目されます。19世紀の科学者は、物質の外面的の現象を研究し、自然の諸現象間の形式的な関係を確立することに急でした。身近なところでいえば熱力学といった学問の発達です。20世紀の科学者は、内面的特性や現象に内在する真因を発見するにいたつています。外面的の現象がなぜ起こるのか、その起こるべくして起こっている本質的な真因をとらえています。この20世紀の科学が技術と密接に結びつきながら現代の技術が急速に発達しはじめています。

国際原子力機関(CERN)のV. F. WEISSKOPFは、「なぜ純粋科学を研究するか」という論文<sup>3)</sup>のなかで興味深いことを述べています。「工業国の発展を調べてみると誰でも次のことに気がつきます。19世紀の前半にはイギリスが大工業国となり、同時にイギリスは基礎研究においてMAXWELL, YOUNG, FARADAYなどの偉大な名前を残しました。ついで19世紀の後半から20世紀の初頭にかけて、ドイツが指導的な役割を演じました。そこにきら星のようにドイツの物理学者の名がならびます。HELMHOLTZ, NERNST, ROENTGEN, PLANCK, EINSTEIN, SOMMERFELD, HEISENBERGらがそれです。20世紀も後半にすすんでアメリカが工業国の先頭に立つたとき、基礎科学もまたアメリカで一斉に開花しました。FERMI, OPPENHEIMER, LAWRENCE, RABI, McMILLAN, ALVAREZ, SCHWINGER, FEYNMANらはその一部にすぎません。ここに一つの明りような相関関係が見つかります。工業の成長あるところには基礎科学があり、基礎科学のあるところに工業の発展があるということです。」外国技術の導入に依存して外国の工業を追いかけている段階では、基礎科学と無縁でもそれほど大きな問題はありません。しかし自主的に技術を発展させる工業国では、おのずから基礎科学に大きな力をそいでいる点を見逃がしてはなりません。そのような文化の流れ、土壌の中で本格的な工業が育つのです。

さて、すでに述べたように産業に基本的に重大な変革が生ずるのは、かつての産業革命の場合のように、全産業における技術的基礎が変革される場合です。現代の産業においては、きわめて広範囲に無数のオートメーションが採用されはじめ、その量的な増大により、全産業の

技術的基礎が根本的に変わろうとしはじめています。このために世界では、新しい人的能力の問題が起り、科学者および技術者の教育のみならず、新しい型のエンジニア的労働者の教育が要請されています。この新しい動きは、資本主義国、社会主義国という社会体制の相違を越えて、工業諸外国における共通の傾向になつていきます。

以上においては、将来の製鉄法を見通すための背景としての現代の科学・技術の動きの一端を展望しました。とくに労働力についての展望を試みました。

これから述べる将来の製鉄法の見通しは、製鉄法の見通しをたてること自体を目的として行なつたものではありません。鉄鋼に関する基礎的研究のテーマを求めめるためにテーマ研究の一環として行なつたものです。各企業が行なっているキメの細かい見通しとは異なり、かなり大まかな見通しであることを前もつておことわりしておきます。しかも世界の科学および技術が、めざましい速度ですすんでいる現在、将来の鉄鋼技術の見通しを正確に予言することはほとんど不可能です。しかし現在の動きからみて、将来のあるべき姿をある程度の確率をもつて予測することは許されましよう。

## 2. 原料およびエネルギーの面からみた

### 将来の製鉄法

#### 2.1 原料関係

国連欧州経済委員会の報告<sup>1)</sup>は、次の点を指摘しています。製鉄所、炭鉱、化学工業におけるコークス炉およびガス工業のコークス炉が、多くの国のガス工業のガス供給源になつていましたが、コークス炉はその作業だけでは次第に赤字になつていきます。その原因は、石油化学工業の発展による石炭副産物化成品価格のいちじるしい低落であります。製鉄業ではコークス炉自体の経済は赤字でも企業全体としては利益をあげうるから、この分野ではコークス炉の増設がみられようと報じています。結局石油化学工業の発展以前にくらべて、コークス価格が割高になつてしまいました。この世界的なコークス高価格の傾向が、世界的に高炉におけるコークス消費量の減少に圧力をかけ、鉄鉱石の事前処理および高品位輸入鉱を増加させる傾向を強めました。さらに、近代的な大型高炉の増設には巨額の投資を必要とするから、高炉の生産性を著しく高めて、増設を避ける努力が強く要請されています。この点からも高品位鉱が望まれています。世界の鉄鉱業は、高炉の生産性を向上し、コークス比の低下を可能にする輸入富鉄石にますます多くを依存し、ヨーロッパとくにフランスおよびドイツでは閉鎖する国内鉄鉱山も出はじめています。

1955年～57年頃の世界の鉄鋼業は、原料政策として原料不足をいかに解決するかという点に一つの力点がおかれていました。ところが近年の世界鉄鉱石市場における情勢は根本的に変化しました。世界の粗鋼生産高が1954年から1960年までに54%増加したのに対し、鉄鉱石の供給力は66%も増加しました。結局このころから急速に供給が需要をのりこえるように、不足から過剰へと逆転しました。埋蔵量の多い富鉄鉱資源がぞくぞくと発見されています。

高品位原料を供給するペレタイジング法は急速に発展

しました。アメリカではペレタイジング法の成功で、スベリオル湖地方のタコナイトが高炉用高品位原料の資源として役立ち、約300年の供給が可能であると推定されています。アメリカのメサビ地区の直接船積鉄石の品位は鉄分平均51.5%ですが、ペレットの平均鉄分は65%です。ベスレーム社の開発した新鉱山の精鉄分は約70%であり、純酸化鉄に近い成分です。アメリカでは過去10年間にペレタイジング・プラントに10億ドル以上が投資されました。昨年末の全世界のペレタイジング年間能力5600万tのうち、アメリカとカナダの年間能力は4,700万tで、ほかに1,700万tが建設中です。1970年までに7,500万t以上に増大することが見込まれています。アメリカ以外で最も重要な最近の新開発は西オーストラリアの鉄鉱山です。ここでは過去10年間に150億トンの鉄石埋蔵量が発見されました。多量のペレットを海外に販売する努力をつづけています。

アメリカの本年の報告<sup>2)</sup>によれば、予備還元ペレットに関心が集まっています。コークス比を低下させ、出鉄量を増すことができる予備還元ペレットは、現在より軽構造の簡易高炉を用いて非常に高能率で、鉄を生産できる可能性があります。還元度が高い予備還元ペレットは高炉を経由することなく直接に製鋼炉へ装入する可能性のあることも報じています。アメリカのいくつかの会社で共同研究開発した95%予備還元ペレットのプロセスが、すでに工業化の段階に近づきつつあることを報告しています。この簡易高炉が原料面からみた将来の製鉄法の一つの例であります。

また本年のイギリスのFinancial Timesの特集“The World of Steel”によれば、現在実施されている研究結果にもとづき、山元で予備還元したペレットを輸入する可能性があり、そうなれば鉄鉱石の輸送費、高炉のコークス費および鉄生産費をいつそう低下させることができることを報じています。

焼結鉄は、粉鉄と少量のコークスおよび石灰石を入れた混合物を焼きかためてつくります。ペレットをつくる場合には焼結鉄の原料よりはるかに細かいセメント粉のような微粉鉄石が原料になります。微粉鉄石を原料にするから、その際に選鉱で鉄分品位を十分に高めうる利点があります。ペレットが経済的に有利に使用されているのは、ペレット技術の発展に負うものです。タコナイトのようにきわめて低品位で硬い鉄石をセメント粉のように粉砕して、それを磁力選鉱して平均鉄分65%の精鉄にするまでの技術が完成し、微粉高品位精鉄が安く入手できる現状です。微粉鉄石は、研究室の実験によればきわめて短時間で還元します。それなのになぜ、この微粉富鉄石を直接還元せずに、わざわざ焼成してペレットにして高炉へ装入するのでしょうか。その大きな理由は二つあります。一つの理由は、高炉は古い製鉄法ですがそれはいつも新しいものになつてゆきつつあるということです。第2次大戦後、世界の主要製鉄国は近代科学技術の粋をあつめて直接製鉄法の研究開発を試みましたが、いずれの国においても特殊条件下のわずかの例を除いて、ほとんどすべての直接製鉄法は現代の高炉製鉄技術に立ちうちできずにその影をひそめました。現代の高炉技術は、その生産性および経済性をいちじるしく高め

さらにいつその発展が期待されています。ですから、このすばらしい高炉を利用することが一番のぞましかつたのです。他の一つの理由は、新しい直接製鉄法を開発するには、鉄鉱石還元に関する基礎理論が不十分なことです。高炉では鉄鉱石を 10 数時間かけて還元しています。最近の高生産性の高炉でも数時間をかけて還元しています。このような場合には、鉄鉱石の還元速度が高炉の生産性の律速段階ではないから、鉄鉱石の還元速度論や還元機構のむずかしい研究をすすめても、あまり貢献するところは少ないのです。従つて永年にわたつてあまり必要性のない面倒な研究は発展しませんでした。ところが、微粉鉄鉱石をガス還元する場合には、高炉の場合とは全く異なり、鉄鉱石の還元機構を明確にとらえ速度論的な立場から解明しなければなりません。この方面の研究はまだ緒についたばかりです。どうしても実験的に取扱い易いところから手をつけている関係で、工業化に最も大切と思われるキーポイントの研究にまでは、まだ十分に手が届いていません。やがてこれらの理論も解明されようとしています。そのときに初めて、その理論に従つて最も合理的、経済的に還元をすすめるための装置を考えることができるようになります。現在までの直接製鉄法は、理論が不完全であるから、主としていろいろ「やつてみる」な方法でパイロット・プラントまでゆきましたが、上述のように世界的にみて成功にいたることができませんでした。

現在はすでに微粉富鉄鉱石を安く入手する技術が確立されているのですから、あとは鉄鉱石還元の基礎的研究の成果が得られると直接還元法にとつて好都合です。

さて、アメリカの鉄鋼大メーカーは将来の製鉄法の発展に対する見通しをどのようにみているのでしょうか。20 世紀末までの発展として次の見通しを報告<sup>6)</sup>しています。

リパブリック・スチール社の研究および企画担当の副社長 P. ROBERTSON によれば、製鉄技術はすばらしい発展をとげ、直接還元法で製造する鉄粉の使用が実現されるでしょう。このような新技術が発展し、従来の製鉄方式は完全に補助的なものになりましょう。特に注目されるのは高度のオートメーション化の進展であり、一産業内の不連続的な製造法は、連続式製鉄法に変わるでしょう。鉄鋼生産の大部分が著しく改善された電気および酸素炉で生産されるにいたるであろうと見通しています。

ベスレーム・スチール社の研究担当取締役 Dr. D. J. BLICKWEDE によれば、20 世紀末には連続式の一段階の操業により、きわめて厳密な成分の還元鉄および鋼がつくられ、還元剤としての石炭などのほかに、エネルギーは原子力によつて供給されよう。鋼の強度は極度に強まり理論的な限界値に近づき、これが商業的に入手できるようになり、事実上すべての鋼の表面は耐食性をもつようになるであろうとみえています。

以上は、アメリカの鉄鋼大メーカーの20世紀末までの長期的見通しですが、これによれば製鉄法は直接製鉄法に移行するものとみえています。その移行の時期は、いろいろの条件によつて左右されます。たとえば H-iron は初めの目標は還元鉄を t 当り 40 ドルで生産する計画でした。結果的には所期の目的を達し 40 ドルで生産できるようになりましたが、計画初期と現在では条件が変化

したために H-iron は打ち切られてしまいました。最近では再び条件が変わりつつあります。既述のように微粉富鉄鉱石を安価に入手できます。またガス発生および還元装置などの発展もあります。Illinois Institute of Technology の Corplan 報告によれば、新しい H-iron 方式の実験結果として製品トン当り推定コストが 25 ドルであり、これにくらべて高炉の製鉄コストは 32~42 ドルです。このような新しい設備の建設費は通常の高炉の場合より約 20% 有利になることを報じています。原料条件の変化や直接製鉄法の技術上の問題および鉄鉱石還元の基礎理論の解明の問題などに関する条件の変化によつて直接還元法の胎動の時期は大きく左右されます。

## 2.2 エネルギー関係

現在のわが国の原子力発電は、重油火力発電にくらべて、まだ経済性の面から割高のようです。しかし世界的にみて原子力発電のコストは急速に安くなりつつあるようにみうけられます。鉄鋼業は将来の原子力発電について、特に注目の要があります。この点は、近い将来に驚異的に安い原子力発電の可能なことを示された川崎正之博士の講演「将来の原子力発電について」を参照していただきます。

ここでは簡単に高炉と電気製鉄炉のエネルギー経済のバリエーション計算にふれてみましょう。高炉で使用するコークス価格の変動と電気製鉄炉で消費する電力価格の変動を考え、両者がいかなる価格のときに高炉鉄の生産費と電気炉鉄の生産費が同じになるかという点についてバリエーション計算を考えてみましょう。

R. DURRER<sup>7)</sup> および F. LÜTH<sup>8)</sup> の著者によれば、高炉と電気製鉄炉とのエネルギー経済のバリエーション計算が示されています。ヨーロッパの経験によれば、R. DURRER は (1 kg のコークス価格) = 5 × (1 kWh の電力価格) ..... (1)

F. LÜTH は、

$$(i \text{ kg のコークス価格, ペニヒ}) = 3 \cdot 6$$

$$\times (1 \text{ kWh の電力価格, ペニヒ}) - 3 \cdot 2 \text{ ペニヒ}$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

のときに高炉鉄と電気炉鉄の経済的均衡が得られるとされています。設例として、計算上便利な値としてコークス 1 t が 1 万円であると仮定すれば、これに見合う電力価格は、DURRER の式では 1 kWh が 2 円、LÜTH の式では約 3 円 65 銭になります。電気代がこれより安くなれば電気鉄の生産費の方が高炉より安くなるということです。ただし、DURRER の計算の前提条件は、高炉のコークス比が 0.748 であり、電気製鉄炉のコークス比は 0.40、所要電力は 2400 kWh/t です。もし最近の原単位として高炉のコークス比を 0.500 とし、電気製鉄炉のコークス比を 0.330、所要電力 2100 kWh/t とすれば、DURRER の前提条件にくらべ、高炉コークス比は 33% 減少しています。これに対して電気製鉄炉のコークス比は 17% 減少、所要電力は 13% の減少にすぎません。したがって上記の DURRER のバリエーション計算より、さらに電力価格が安くならなければ経済的均衡がえられません。LÜTH の前提条件は、高炉コークス比が 1.000 であり、電気鉄のコークス比が 0.400、所要電力 2500 kWh/t です。もし上記の最近の原単位の値をとれば、LÜTH の前提条件

にくらべて、高炉コークス比は50%の大巾減少であり、これに対し電気製鉄炉のコークス比は17%減少、所要電力は16%減少にすぎません。上記の最近の原単位にもとづいて、ごくおおよその見当を概算すれば、1tのコークスを1万円と仮定して、均衡電力価格の概略値はDURRERの場合は約1円75銭/kWhであり、LÜTHの場合は約2円44銭/kWhになります。両者のひらきは大きいのですが、この算出はごく大ざっぱな概算見通しであります。正確に計算するためには、各企業における予想原価見積りの原単位および原価に基づいてキメ細かく算出しなければなりません。

以上のパリティ計算で注意する必要があるのは、高炉技術は経験が歴史的に長く、また量的に経験豊富で十分に発展していますが、電気製鉄技術は高炉にくらべると経験がきわめて少なく、それだけ将来への大きな発展の可能性が有ることです。電気製鉄技術が急速に大きく発展すれば、上記のパリティ計算の電力価格はさらに高くても良いこととなります。

電力が1~2円/kWh程度に安くなれば、電気鉄以外の製鉄法も考えられるようになります。たとえば還元度が90%以上の予備還元ペレットをつくり、これを電気製鋼炉で、直接に製鋼することも考えられます。この際にも、比較的簡単な計算で、(高炉・LD炉)法と(予備還元ペレット・電気製鋼炉)法とのパリティ計算を行なうことができるでしょう。

### 3. 高炉製鉄法の発展の動き

すべての技術は、過去から現在へ、発展しつづけています。技術発展の歴史をみますと、産業の要求に沿わなくなつた技術工程は次第に除去されて、生産技術が完成されています。製鉄法の発展の歴史をみると、現在の製鉄法がどのような位置にあり、将来どのような方向にすすむ可能性が大きいかを見定めるのに役立ちます。このような観点から、製鉄法の歴史的な流れを簡単に展望しその線にそつて現代の高炉製鉄法の将来の動きをみることにしよう。

古代の古い製鉄法は、直接製鉄法でした。高さの低い粘土積み大きな炉内へ木炭と鉄鉱石を入れ、簡単な人力フィゴで下から空気を送り込んでいました。炉内に生ずる白熱海綿鉄をとり出し、ハンマーで打つて大部分の滓をとりぞき、海綿状の鉄を緻密な鉄にして鉄製品をつくっていました。炉高が低く熱効率が悪く、炉内を高温にすることができなかつたので能率は悪かつたが、還元された鉄があまり炭素を吸収することなく、炭素分の低い海綿鉄がえられていました。ところが鉄に対する需要の増加が、炉の規模を拡大させ、とくに炉の高さが徐々に高くなつて、ある高さに達すると、人間の筋力によるフィゴでは送風が間に合わなくなり、製鉄炉は水車の力を借りなければならなくなりました。ひとたび水力を利用することになると強力な送風の下に炉の高さをさらに高くすることが可能になり、原料の炉内降下の距離が大きくなり、炉内を上昇してくる高温ガスの熱を原料がいつそうよく吸収できるようになり、能率もそれだ

け高まりました。このような過程を経て図1に示すRenn炉から、図2に示すStückofenへ製鉄法が脱皮しました。Stückofenの製錬工程は、本質的にはRenn炉のそれと同じでありました。Stückofenも鉄の需要増大にうながされ徐々に発達し、炉高が高く大型化し炉内温度が徐々に高まってきました。炉内温度が高まつてある温度に達すると、還元された鉄が急激に多量の炭素を吸収し、溶融状態の銑鉄が生ずるようになりました。初めのころは鍛えることのできない銑鉄は邪魔もの扱いにされていましたが、銑鉄から鑄物製品をつくり、また銑鉄から炭素の低い錬鉄をつくることができるようになると、銑鉄生産用の炉すなわち高炉へ移行してしまいます。このようにしてStückofenが脱皮して高炉になったのです。14世紀には高炉が出現していますが、1炉で1日に1tの銑鉄はとてつくれません。現在の小型試験高炉よりはるかに小規模なものです。古い高炉はすべて木炭高炉でした。高炉の発達にともない炉は漸次大きくなり、木炭の需要が急速に高まり、やがて製鉄所の手のとどくかぎりの森林はハゲ山になり、とくに工業の先進国であつたイギリスでは、激しい木炭の欠乏を生じ、18世紀の初めには工業の基礎をなす鉄の消費量の3分の2を輸入にまたなければならぬ状態になりました。イギリスには豊富に石炭資源があり、高炉は木炭から石炭へ、エネルギー源の変換をつよく要請されることになりました。エネルギー源を木炭から石炭に切替える際には製鉄業はこのエネルギー源の変換を完遂するために、みずから率先してエネルギー源の変革をはかり、新技術を求めて約150年の努力の末にその目的をついに達することができたのです。高炉における木炭からコークスへの変換も、あとから考えるとなんでもないことのようにすが、なかなか大変なできごとでした。高炉はその後、さらに熱風を導入し、また高炉ガスの利用によつて熱経済の改善をはかり、製鉄技術の基礎を強固なものにしました。産業革命を経て、鉄の需要は急速に高まり、高炉はますます大きく高くなりました。さらに約100年前に、鋼を無尽蔵に供給しうる転炉製鋼法と平炉製鋼法が登場し、鋼の需要が本格的に高まるとともに、銑鉄を供給する高炉もいよいよ本格的に巨大化し、生産性を高め、この発

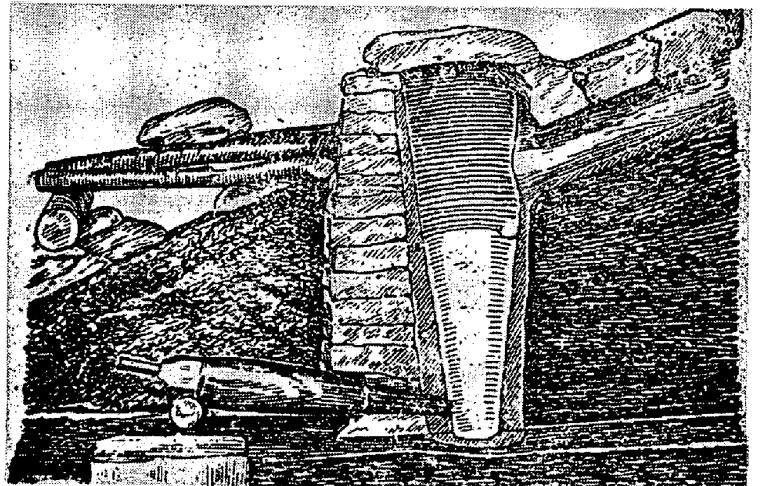


図1 レン炉 (Rennfeuer)<sup>9)</sup>  
(Science Museum, London)



図2 シュティック炉 (Stückofen)<sup>9)</sup>  
(Agricola : De re metallica, 1556 より)

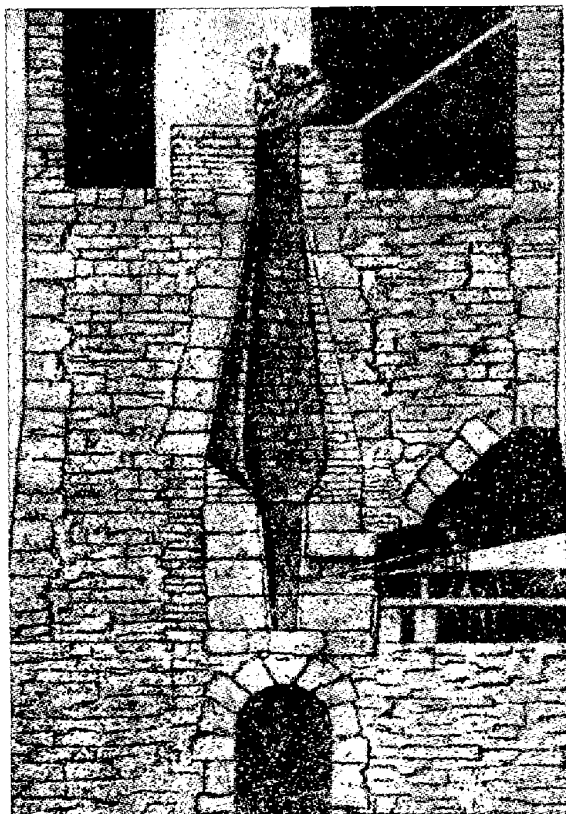


図3 18世紀の高炉 (Blast furnace in the 18th Century)<sup>9)</sup>  
(L. Beck : Geschichte des Eisens)

展をつづけて、ついに現在のマンモス高炉にたちいたつたのであります。

ふりかえってみますと、いろいろの条件が変化して産業の要求にそわなくなつた Renn 炉は、Renn 炉として十分に発達したうえで次第に除去されてゆき、Stückofen に変わつてしまいます。やがて Stückofen も産業の要求に沿わなくなり、Stückofen として十分に発達した段階で次第に除去されてゆき、高炉に変わつてしまいます。産業の要求に沿わなくなつた技術工程は、それ自身としては十分に発達しながら、次第に除去されて製鉄技術は完成されてきました。この際にとくに注目される点は、経済の発展によつておしすすめられた先行の炉の全技術発展の結果としてはじめて次の炉が可能になつたことです。Stückofen の中には Renn 炉の長所がすべて取り込まれています。しかも Renn 炉の欠点は克服しています。高炉の中には Stückofen の長所がすべて取り込まれ、しかも Stückofen の欠点を乗り越えています。

高炉の長所をすべて取り込んで、しかも高炉の欠点を克服する新しい炉をつくりだすことは考えられないものでしょうか。このためにはいくつかのことを考える必要があります。高炉からさらに新しい炉へ移行するために高炉を十分にきわめつくすことが先決問題です。まだまだ高炉はきわめつくされたという段階ではありません。高炉にはまだ大きな発展の余地が多分に残されています。しかし、それと同時に、高炉は将来さらに大きな発展へ向つて躍進をつづけながら、他面ではそのこと自体が同時に新しい炉への移行を可能にする準備を完成しつつあるということです。

高炉の利点をすべて取り込んだ新しい炉を考えると、それは、高炉の欠点を克服するとともに、よりいつそ現代の産業の要請に沿つたものでなければなりません。高炉のもつ長所と逆に現代の産業の要求に沿わない高炉の短所をつぎに考えてみましょう。

まず高炉のもつ長所をふりかえつてみましょう。高炉は、その規模を大きくしながら、生産能力や熱効率を高め、また、労働生産性を高めて、安価な鉄の供給を一手ににない、数百年にわたり、他の製鉄法の挑戦を完全にしりぞけてきました。直接製鉄法の欠点を克服して成立した高炉製鉄法は、生れながらにして直接製鉄法の難点をのりこえています。溶解して鉄滓を分離するので、富鉄でも貧鉄でも製錬が容易で、滓を含まない優良な鉄鉄を大量につくることができます。

さらに、高炉内の模様を少しさぐつてみますと高炉が多年にわたり、他の製鉄法の挑戦を完全にしりぞけてきたからくりがよくわかります。

高炉の本体は周知のように円筒形のれんが積み重ねた炉体です。高炉を解剖して、それを機能的にしらべてみますと、炉体の上部から下方に向つて、原料乾燥器、熱交換器、直接還元炉、溶解製鉄炉、ガス発生炉、半精錬貯鉄炉などが重なり合つて、これらのものが、この1本の円筒の中に混然一体となつて収まっています。軽いガスは下から上方に抜けていきます。上部に装入した原料は、地球の重力を利用して、上記の7つの機能炉を経て下方の湯溜りに鉄鉄となつてたまりますが、これが1本の高炉内でみごとな天然の連続行程として行なわれていま

す。でき上った鉄鉄は、炭素を十分に含んでいるから溶融温度が低く、比熱も大きく輸送途中でなべ付きなどを生じにくく、取扱いが容易です。しかも製鋼過程で燃料になる成分を十分に含んでいますから、LD法などによつて、この燃料を利用して精錬をすすめることができます。

鉄鉱石から直接に鉄または鋼をつくる直接製鉄法は、直接に鉄または鋼をつくるので合理的であると考えられ魅力的にみられてきました。しかし在来の直接製鉄法は直接製鉄法でできた鉄をもう一度溶解して鋼材をつくっています。それですと、わざわざ溶融点の高い海綿鉄をつくつて、それを溶かすことになります。しかもその際に燃料成分は含まれていません。ですから直接に鉄鉱石から鉄をつくるこの種の直接製鉄法は、高炉法による間接製鉄法より、実質的にははるかに間接的であり、理論的には不合理なものであることを見失つてはなりません。原理的に不合理なやり方で、しかも経済的な生産を行なうことは大変むずかしいことです。何か特別大きな条件の変化があつて、その不合理が克服されなければ問題は解決しません。

さて話を高炉にもどして、すばらしい高炉の中にも、現代の産業の要求にそわない欠点があるので、その点をほり下げてみましょう。

a) 現代の高炉は規模がきわめて大きくなり、高さが高くなつています。炉内を上昇するガスが原料とよく接触しながら、しかも通気性がよくならなければならないから、粉原料は塊状にしてサイジングの上使用しなければなりません。したがつて事前処理を必要とします。また強度の強いコークスでなければ使用できません。このために特別の冶金用強粘炭を必要としています。

b) 現在の石炭から石油へのエネルギー源の変換の問題が、高炉にとつても大きな問題になつています。鉄鉄の生産にはコークスを多量に使用しますから、鉄鉄の生産費のうちでコークス費は、かなり大きな役割を占めています。すでに述べたように、石油化学工業の発展にしたがいコークス副産物化成品の価格のいちぢるしい低落によつてコークス炉工業は赤字産業になりました。世界の製鉄法の本流であるコークス高炉製鉄法が、現在その内部に赤字産業を背負いこむように変わつてきました。

c) 炉頂に装入した鉄鉱石が、炉内を降下する装入物降下時間は、10時間以上要していましたが、最近の能率のよい炉は数時間に短縮されています。それでも実験室では数分間で行なわれる反応が高炉のなかで数時間を必要としています。これは理論的には過大にすぎる時間です。

d) 高炉は大型化しているが、大型化がすすむほど大型化した割合には高炉の能力は向上しなくなりました。それというのは、炉床径が大きくなるほど炉の中心部の非活動部の占める割合が大きくなるからです。大型高炉は炉床面積が大きくなつていますが、それに正比例して能力は大きくなつていません。また、炉の中心部にこの大きな非活動部があるために、高炉はその横断面について不均一な定常操業を行なわなければならない。

e) 生産性を高めるために高炉およびその付属設備は一途に大型化し、高炉1基の設備費が数10億円、さらに

それに付属する焼結設備とコークス炉関係だけでも数10億円の設備資金を必要とします。高炉1基に百数十億円を要します。製鉄設備の規模が大きくなり、能率的で経済性の良い近代的新製鉄所の規模は年間能力500万t級から1,000万t級へ、さらに1,000万t以上に巨大化しつつあります。これが投資の大きなリスクを伴うことになりました。ようするに、現在の高炉は高度の技術発展を示し、さらに将来の大きな発展が期待されています。しかし一面では、産業の要求との折り合いで、いくつかの問題点が指摘されています。

このような現状の中で、たとえば1例として、すでに述べたように、アメリカでは予備還元ペレットを使用する軽構造の簡易高炉の問題が提起されはじめています。もしこれが発展すれば、高炉の長所をすべて取り込んだ新しい炉になる可能性があります。たとえば、1例としてキューボラと高炉との中間的な性格をもつ簡易炉なども考えられましょう。

将来の製鉄法の本格的な開発は、あらゆる分野の科学・技術が総合されてすすみます。したがつて金属部門のみでなく、広く各部門の強力な協同研究にまたなければ有効に成果を収めにくくなつていきます。計画的な協同研究のスクラムの組み方が、その成功を大きく左右することでしょう。

#### 4. 材料需要市場の動きと将来の製鉄法

材料市場の面から将来の製鉄法の動きにふれてみましょう。世界の近代材料史の大きな流れを展望すると、大きな材料革新のメカニズムを理解しやすくなります。かつての産業革命の際に、材料需要市場の要求により高炉は急速に大きくなり、パドル法で錬鉄をつくるようになり本格的の鉄の時代に入りました。さらに約100年前に材料市場の要求が再び大きく変化し、機械の製作のみならず鉄道敷設、船舶の建設、兵器の製造などの側からおしよせる大きな需要が、従来の錬鉄に代つて、強靱な鋼を大量に要求するようになりました。これにこたえて平炉および転炉製鋼法があらわれ、鋼の時代に移行し、鋼が産業の主食になり、現在に至つています。

近年の材料市場の動きはどうでしょうか。近年、各種の材料のなかでプラスチックの伸びがとくにめざましく表1によれば、1962年にはプラスチックが重量比で3.5%を占めています。容量比では約20%を占めます。近き将来の各種材料発展の見通しは、過去の実績といちじるしく異なり、たとえばアメリカにおける材料生産長期予想によれば、1950年から1975年までの25年間に、鉄鋼の増加は1.7倍、アルミニウムの増加は7倍、これにくらべプラスチックの増加は12.3倍という大きな成長が見込まれています。ソ連では1961年から1980年にわたる20カ年計画を発表しましたが、その目標数字によれば、プラスチックおよび合成樹脂の生産は、1970年に530万t、1980年に1800万tから2100万tと驚異的な拡張を報じました。しかも最近にいたり、この目標を2倍以上に引きあげ、1970年に800万tから1000万t、1980年に4000万tから4500万t目を標にしています。1962年の世界のプラスチックの総生産高が約850万tであることから、この目標がいかに

驚くべきものであるかを知ることができましょう。

プラスチックは現在、各種の容器やパイプ類として鋼に代つて広く使用され始めています。プラスチックは複雑な形状の製品が容易にできるし、接着や溶接が楽で、軽くて耐食性がよく、外観が優美で染色が容易であり、必要ならば透明にすることも表面浮出模様をつくることも容易で、容器としては鋼にくらべて欠点より長所が多いです。プラスチック製パイプは、ほとんどあらゆる金属パイプにくらべて幾多の長所をもっています。薬物に対し化学的耐性があり、錆びず、軽く、内面が滑らかで無機塩の堆積がなく寸法が不変で、液体の通過中の抵抗が少なく、軽微な凍結によく耐え、水が凍結しても破裂しません。すでに、多方面の用途に応じ、多種類のプラスチック・パイプが使用されています。

鉄鋼材料は、それでも、その主用途に関するかぎり、現在なお圧倒的な地位を保っています。それというのは従来のほとんどのプラスチックの強度が鋼よりはるかに低く、特に弾性率が低く、実用温度範囲が狭く、持続的な荷重に由来する強度低下がみられるなどの理由で、鉄鋼材料にたちうちできなかつたからです。

ところが、近代科学と密着して発展しつつあるプラスチックの進歩は急速で、生産技術の向上と新しい高分子原料の開発によつて、鋼より強いプラスチックが競合関係に登場するチャンスが到来してきたのです。普通鋼材の引張り強さは  $45 \text{ kg/mm}^2$  程度ですが、グラス・ファイバーで強化したグラス・プラスチックは、引張り強さが  $50 \text{ kg/mm}^2$  にまで強くなつており、これらはさらに  $100 \sim 150 \text{ kg/mm}^2$  まで高まると考えられています。鋼の密度が  $7.8 \text{ g/cm}^3$  であるのに、グラス・プラスチックのそれは  $1.9 \text{ g/cm}^3$  という軽量であり、大量着色も可能であり、長期間大気にさらしても褪色せず、腐食せず、誘電性も誘磁性もなく、数多くの利点をそなえています。建築資料として使用すれば重量建設資材を使用しなくてもすみ、驚くべき短時間に建設を終らせることができます。自動車工業の動きをみると、自動車の重量を引き下げ、自動車の運動性能とその運転の経済性を高めようとしています。ふつう自動車の重量の約半分を占めるボディに、金属材料のかわりにグラス・プラスチックを使用すると、金属材料製の  $\frac{3}{10}$  の重量ですみ、しかも強度は劣らず、腐食されることなく、寿命が大巾にのびます。最近ソ連およびその他の国で、グラス・プラスチック製のボディの自動車が試作されつつあります。

グラス・プラスチックの短所は、老化による強度低下と弾性率の低いことです。最近の研究で、これらの点の改善もすすみつつあります。一般市場にいままだあらわれていない新しいプラスチックの中には、 $300^\circ\text{C}$  に十分もちこたえるものがあり、ブルックリンのポリテクニク研究所は、近い将来に、長期に  $480^\circ\text{C}$  の高温に耐える重合体が開発されることを報じています。目下開発中のプラスチックの研究としては、有機半導体の開発やプラスチック・バッテリーや、電子計算機の記憶装置に使われるプラスチックなどもあります。

新材料の一例としてプラスチック発展の一端を展望しましたが、その他の合成せんい、合成ゴム、新しいガラ

ス、新金属、その他の新材料も広範に注目すべき発展を示しています。

このような科学、技術の進歩による新物質、新材料の出現をとらえて、はたして材料革新の時代と呼べるでしょうか。少なくとも表 1 における現在までの事実によれば、依然として鉄鋼の時代がつづいています。材料革新の動きをもう少し本質的にとらえておく必要があります。このために、現在の材料の変換のメカニズムをさらに追究してみましょう。

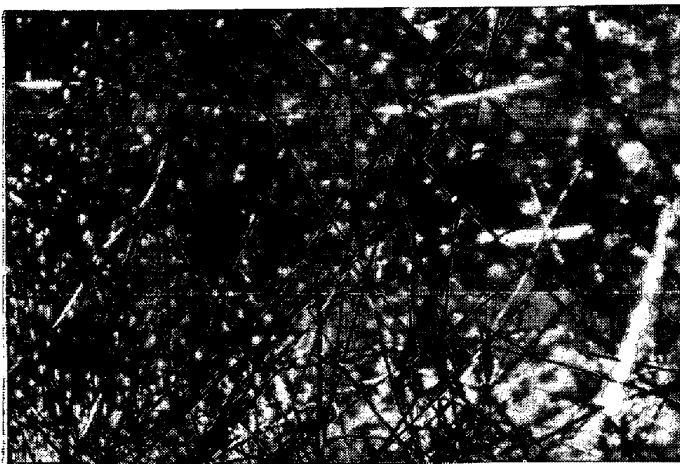
鋼の時代を築いた 19 世紀中葉の材料市場では、機械、鉄道、船舶、兵器などへの要求が強く、鋼材は資本財向けの重量鋼材に力点がおかれていました。このような材料市場の状態がその後ながくつづいていたのでした。ところが現在の材料市場の構造はすっかり変わつています。その特徴は、材料市場のなかで、消費財とくに自動車、冷蔵庫、洗たく機、家庭用品などの耐久消費財を含む消費財向けの材料の占める割合が飛躍的に高まつたことです。消費財向けの材料は軽量材に力点がおかれるのが特徴です。軽量材の出現に刺激され、工業デザインや各種の構造もつねに軽い製品へ向う傾向が強まっています。鉄鋼材料の分野も、この材料市場変化の影響をまともにうけています。産業の主食である鋼材は、近年、世界いずれの国においても、消費財に大量に使用する薄板類の生産割合がいちじるしく大きくなつています。あらゆる全鋼材の生産高の内に占める薄板類の割合は、1963 年にアメリカ  $54.4\%$ 、イギリス  $39.1\%$ 、日本  $37.5\%$ 、フランス  $36.0\%$ 、西ドイツ  $23.0\%$ 、ソ連  $21.0\%$  です。国によつてかなり異なるが、全鋼材中に占める薄板類の割合がおどろくほど増大しているのです。西ドイツとソ連は比較的薄板類の割合が少ないが、西ドイツはプラスチックの生産がアメリカに次いで世界第 2 位であり、ソ連は驚異的なプラスチックの大増産計画をたてています。

現在の材料市場では、材料の製造技術、新材料の加工技術ならびに加工工程、工法などの変革が、流通消費の構造の変化にともなう市場の量的・質的な変化と相互に関連し合つて、全産業的な技術体系を根本的に変革・飛躍させようとしているのです。

このような意味で現代を材料革新の時代とみることができます。世界の産業の主食といわれる鉄鋼は、軽金属プラスチック、セメント、ガラスなどの競合物質との競争に直面しています。以前は、鉄鋼産業内の各企業がたがいに競争しましたが、現在は他の産業部門とはげしい競争をしなければならなくなつたのです。各種材料間のこの大なる競争は、研究開発競争であり、科学競争です。科学の動きが材料革新時代の姿を大きく変えていきます。

さて、19 世紀の産業と科学の発展における両者のむすびつきをみますと、二筋の主要な性格がみられます。一つは蒸気機関の利用とか製鉄といった既存の技術過程にたいする科学的な研究であり、これがエネルギーの保存ないしは輻射の物理といった新しい科学的理論にみちびいています。他の一つの道筋は、特に電気学および化学におけるような諸発見があつて、これが電信機や合成染料のような新しい産業をおこしています<sup>10)</sup>。19 世紀の材





×20

写真1 当研究室でハロゲン化鉄を水素還元し製造した鉄ウィスカー

料産業のなかで、産業と科学のつながり方が、鉄鋼産業と化学産業では上記のように全く異なる道筋をたどったことが注目されます。

鉄鋼業の技術過程を大きく分けると次の3分野にわかれます。(1) 溶鉱炉および製鋼炉によつて鉄鉱石から鋼塊までつくる製錬部門、これは各種の反応装置から多くの化学製品をつくる化学産業に似ています。(2) 鋼塊を各種の圧延機や鍛造機で加工して鋼材を生産する部門。これは機械産業の性格をもっています。(3) 鉄鋼材料の熱処理および物理的ないしは機械的処理との組み合わせ処理による鋼材の材質の改善など、これは現代の金属産業で重要な部門であり主として固体物理に依存する過程です。以上の技術過程は、他の多くの金属産業にも共通するものです。

近年開発がすすんでいる新技術は、いずれの産業部門においても、金属材料に材質上のきびしい要求をつきつけています。多くの新技術は、材料の発展速度によつてその技術の発展速度が大きく制約されています。現代技術は、材料律速の段階にあると云つても過言ではないでしょう。金属材料に対するこの要求をまともに受けている上記の(3)の金属材料部門は、(1)の製錬部門とことなり、科学の面でも活発な発展を示し、冶金学の革新の方向に一步前進しています。

最近の科学と技術は、史上に例のない速さですすみ、産業材料は新しい科学の発展と結びつき、材料市場の構造的な変化と相まつて材料革新の時代に入っています。産業材料のなかできわめて大きな割合を占めている鉄鋼材料は、その製錬の原理が太古以来の長年にわたる経験主義的な積み重ねによつて発展したもので、大量に使用されている鉄鋼材料の大部分は、本質的には太古の鉄鋼の強さと変らない強度であります。現在知られている鉄の理論的強さはきわめて大きく、研究室では、小さな鉄の結晶であるが引張り強さが  $1300 \text{ kg/mm}^2$  以上の鉄が簡単につくられています。鉄鋼材料は、理論的強度より著しく強度が低い状態で使用されています。現在の鉄鋼材料の生産は、まず鉄鉱石から各種の不純物を多く含んだ粗材がつくられ、この粗材を使用して加工部門と金属材料部門で近代科学技術の粋をあつめて各種の用途に適

する優良鉄鋼材料をつくり出そうとしています。この点からも、材料律速の段階にある産業の要求にこたえうる新しい製鉄体系の出現が要求されます。

鉄鋼材料の問題は、材質上の問題のみではなく、生産費の面でも大きな問題に当面しています。鉄鋼材料の生産費は他の産業材料にくらべ相対的に上昇しつづけています。表2にアメリカにおける材料標準価格の推移の一例をしめしました。これによれば鋼のみが1932年以来価格上昇の一路をたどつています。表には単位重量(ポンド)当りの価格が示されています。

表2の価格を容積当りの価格に換算するために、鋼の密度を1とすればアルミニウムのそれは約3分の1、プラスチックのそれは約6分の1とみて、表2の1930年の鋼の価格を1.73セントとすると、アルミニウムは7.93セント、プラスチックは5.00セントに相当します。1953年の鋼の価格は5.68セント、アルミニウムは8.93セント、プラスチックは5.17セントに相当します。これは単なる換算であり、この表では各材料の価格を正確に比較することはできません。しかし、プラスチックおよびアルミニウムの容積当りの価格が、急に鋼の価格に接近しつつあることを理解することができます。

表2 アメリカにおける材料の標準価格の推移 (Industrial Economics Handbook)

年	鋼 (標準棒鋼) (セント/ポンド)	アルミニウム (平均粗アルミ) (セント/ポンド)	プラスチック (セント/ポンド)
1929	1.92	23.9	—
1930	1.73	23.8	30
1931	1.63	23.3	—
1932	1.58	23.3	—
1933	1.64	23.3	26
1934	1.81	21.6	25
1935	1.80	20.5	21
1936	1.92	20.5	20
1937	2.40	20.1	21
1938	2.35	20.0	22
1939	2.19	20.0	24
1940	2.15	18.7	30
1941	2.15	16.5	34
1942	2.15	15.0	40
1943	2.15	15.0	31
1944	2.15	15.0	30
1945	2.21	15.0	35
1946	2.47	15.0	35
1947	2.72	15.0	38
1948	3.09	15.7	32
1949	3.35	17.0	32
1950	3.47	17.7	32
1951	3.70	19.0	37
1952	3.78	19.4	37
1953	4.05	20.9	37
1954	4.22	21.8	36
1955	4.47	23.7	35
1956	4.81	26.0	33
1957	5.25	27.5	33
1958	5.53	26.9	31
1959	5.68	36.8	32
1960	5.68		31

将来は、材料需要市場の要求にこたえ、科学理論にもとづき鉄鉱石から厳密な成分の鉄をつくり、鉄鋼材料の強度を極度に高め、しかも簡単な合理的な製法で生産費を安くすることが必要です。この材料革新をおすすめていくためには、科学に立脚する新しい生産技術が必要です。そのための基礎研究成果を蓄積することが重要です。この種の新しい将来の製鉄法は、急激に従来の製鉄法にとって代るといえることは考えられません。特殊用途向けの小量生産方式から出発し、ある時期に急速に普及し拡大していくものと考えられます。

## 5. 資本の動きと将来の製鉄法

### 5.1 資本節約的な製鉄技術の発展

技術の発展を注意深くみますと、労働節約的な方向に発展しています。オートメーションなどによる労働生産性の向上にその例をみるすることができます。労働節約的な技術発展であつても、1企業内の動きとしては、特に資本節約的な技術発展とみられるものがあります。たとえば分塊圧延機の代りに連続鑄造法を採用する場合などがその1例です。

資本節約的な将来の製鉄法として、新しい製鉄体系を考えることができます。一つの設例について話をすすめましょう。すでに述べたように現在は、需要産業側からの材質的の要求が強まり、各産業の技術発展は、材料律速ともいべき段階にきています。需要産業が要求する機械部品や鋼材を、鉄鉱石から直接的につくる資本節約的な新しい製鉄体系を考えることができます。現在のペレット工場では、鉄分品位が70%の微粉鉄鉱石が安価に大量につくられます。これはほとんど酸化鉄に近く、還元すれば脈石をほとんど含まない鉄粉ができます。こ

の鉄粉を粉末冶金法で各種の機械部品や鋼材にします。上記の鉄粉はあまり上等ではありませんから、上記の鉄粉を芯に用い、表面だけは上等の鉄粉で被覆してつくります。必要に応じ、表面を耐食性鉄粉で被覆したり、耐摩耗性鉄粉で被覆したりします。機械部品は鉄鉱石から連続的にオートメーションでつくられます。精密な機械部品棒材などをつくるには、仕上げをヘリカル・ローリングすることも考えられます(図4)。この新製鉄体系ですと、高炉の代りに鉄粉還元塔が必要になり、あとは粉末冶金工場だけになります。製鋼工場、分塊工場、仕上げ圧延工場、などが不要になり、機械工作の一部がいらなくなります。同一生産能力に対し、投資資本がはるかに少なければ、これが資本節約的な新しい製鉄法の例になります。将来の鉄鋼業に対しては、資本節約的な技術開発に向かわなければならない強い要請が、ますます強く加わることが予想されます。

ソ連では<sup>11)12)</sup>、科学アカデミー準会員の故オーゾング博士の指導の下に、鉄のWhiskerの工業化研究がすすめられてきました。Whiskerは化学的に純粋で、物理学的に格子欠陥のない小さな単結晶で、ソ連では引張り強さが2000 kg/mm<sup>2</sup>というおどろくべき強い鉄がつくられています。ソ連科学アカデミーの出版物は、次のように述べています。

Whiskerの出現とともに金属の構造を理想のものに近づけて高い強さを得る道がはつきり開かれました。現在の利用の可能性が小さいことも、製造が困難なことも、たいしたことではありません。このような小さな結晶があらわれたことは、この道を実現できることを証明しています。このような構造と性質をもつ金属をひろく用いるのに十分な量だけつくる日はけして遠くありません。

ソ連では、Whiskerをつくる研究のみでなく、できたWhiskerを合理的に利用するために、材料利用上の構造力学的な設計法の研究がすすめられています。この種の研究は、将来の資本節約的な新しい製鉄体系へつながる可能性があります。

### 5.2 総利潤の拡大につながる将来の製鉄法

総利潤を拡大させる技術的な方法としては、同じ製鉄設備の数をふやす方法と、質的に製鉄設備の技術向上をはかる方法と、二つにわけて考えることができます。前者は企業のシェア拡大の問題につながります。鉄鋼業が順調に発展していれば製鉄所を一つもつ会社と、同じ製鉄所を二つもつ会社では、後者の方が遙かに大きな総利潤をあげることができます。総利潤が大きくなると、資本的には、大きな支配力をもちますからシェアの拡大に向ういつそう大きな起動力が生じます。

さらに、質的向上により利潤を拡大させる鉄鋼技術を大きく二つにわけますと、一つはコスト・ダウンに直結する技術開発です。他の一つは新製品などの開発です。ここでいう新製品の開発は、外国で創出した新製品技術を導入して新製品を売り出すことではなく、自主的に新製品を創出するのでなければ利潤という点からは大きな意味はありません。外国技術の導入で新製品を売り出したのでは、外国の会社が利潤を増大するのを援助し

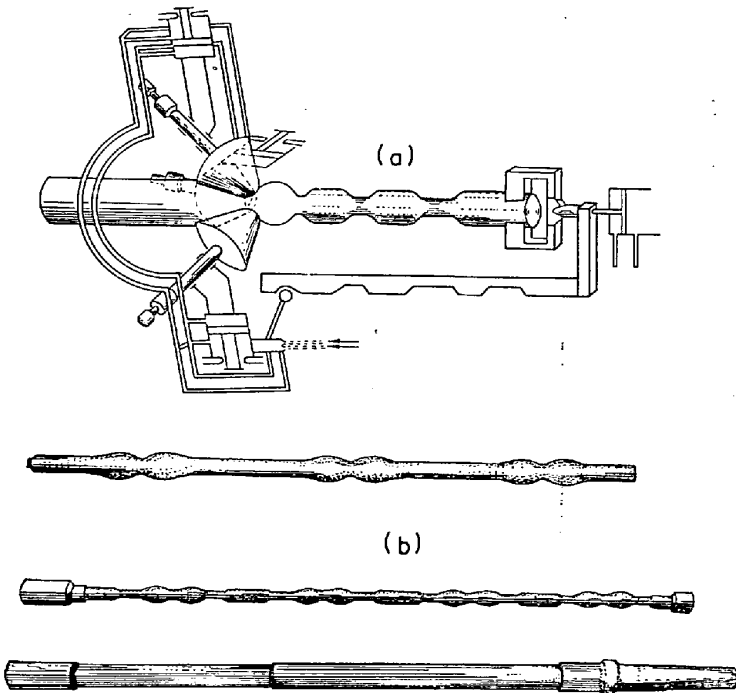


図4 径を異にする長いバーをヘリカル・ローリングするソ連のロール圧延機(a)およびその成品(b)のスケッチ(Helical Rolling Mill of the USSR)

表3 世界粗鋼生産高に占める主要国のシェア (単位 100万 t)

年	世界 生産	アメリカ		ソ連		日本		西独		イギリス	
		生産	シェア (%)	生産	シェア (%)	生産	シェア (%)	生産	シェア (%)	生産	シェア (%)
1952	211	85	40.0	35	16.7	7	3.3	9.0	9.0	17	8.1
1954	225	82	36.3	41	18.2	8	3.5	8.8	8.8	18	7.9
1956	287	108	37.6	49	17.2	11	3.8	9.1	9.1	21	7.4
1958	276	79	28.6	55	20.0	12	4.3	9.4	9.4	20	7.2
1960	342	92	26.9	65	19.0	22	6.4	9.9	9.9	25	7.3
1962	361	91	25.3	76	21.1	28	7.7	8.9	8.9	21	5.8
1964	434	118	26.6	85	19.2	40	9.0	8.3	8.3	27	6.1

ているわけです。本格的な利潤拡大にはつながりません。

シェアの拡大で総利潤を拡大するためには新製鉄所を拡張しなければなりません。コスト・ダウンや新製品の創出で総利潤を拡大するには、研究体制の強化拡大をしなければなりません。前者と後者とは密接にむすびついています。大きなシェアをもつて大きな総利潤を獲得しなければ、複雑な現代技術を有効に発展させるための資金が十分に得られません。

世界における近年の各国のシェアの拡大と自主的技術発展の動きを展望してみましょう。第1節のはじめに1965年の世界各国のシェアを示しました。表3に1964年までの世界の粗鋼生産高に占める各国のシェアを示しました。これによればアメリカ鉄鋼業は現在すでに成熟段階に到達したため、将来のシェアの拡大は望めそうもありません。1964年はアメリカ鉄鋼業の繁栄の年でしたが、それでもシェアは約27%にすぎなくなりました。アメリカとは逆に粗鋼生産高が急上昇しているソ連鉄鋼業は、1980年に粗鋼生産高が2億5000万tに達する計画です。このように粗鋼生産高を急上昇させているソ連においてすら表3のごとく、世界に占めるシェアはこのところ停滞しています。西ドイツ、イギリス、フランスなどの諸国が世界に占めるシェアの将来は停滞的にならざるを得ない状態にあります。日本が世界に占めるシェアは着実に増加し、1952年の約3.3%から1964年には約9.0%へ躍進しています。世界全体としては、やはりアジア諸国、アフリカおよび南米諸国のシェアの拡大が将来性をもっています。

鋼の品種別にみれば、従来比較的高級品種の鋼をつくり新製品を創出している先進国が世界に占めるシェアは将来性が乏しく、新興国におけるシェアの拡大は将来性があります。将来の世界の鉄鋼シェアの中で漸次シェアを拡大しつつある新興国は低賃金国の比較的低級品種の鋼をつくる分野になるでしょう。

新興国の鉄鋼業は、主としてシェアの拡大で総利潤の拡大をはかり、先進国は高級新製品の創出で総利潤の拡大をはかっています。高張力鋼、極薄板、新快削鋼、低温用鋼材、耐候性鋼材、電気鉄板、被覆鋼板、熱処理鋼材、等々のごとく与えられた市場の特定の需要に応ずるために独特の機能と品質とをそなえた新製品が総利潤の拡大に大きな役割を果たしてきました。しかしこのような傾向で総利潤の拡大を追究することはやがて矛盾が深化してきます。それというのはこの種の資金源の新製品

の種類が多くなると、小規模、多品種生産へ移行する傾向が強くなるからです。それは集約化により巨大化した製鉄施設の経済規模との間に大きな矛盾を生じます。

ヨーロッパでは第2次大戦後、1製鉄所で粗鋼生産能力100万t程度の生産規模が経済的に最適とみられていましたが、現在では近代的製鉄所の経済的規模は700万tと考えられています。アメリカでは500万t級の製鉄所の規模はすでに過去のもので、800万t級を経て1000万t級の製鉄所が経済的に有利な目標になっています。ソ連の20カ年計画で考えられている製鉄所の経済的最適規模は年間粗鋼生産能力1200万tないし1300万tの製鉄所です。700万t級以上の製鉄所が経済的に有利なのは、大能力施設をそなえ集約的なマスプロができるからです。この点が小規模、多品種生産を行なう新製品の出現と矛盾を深めることとなります。

資本はあくまで最大限総利潤の獲得をせまります。大きな矛盾があらわれると、大資本の力で、それを乗り越えるように技術の発展がすすめられます。

これは産業革命以来の長い歴史におけるあらゆる技術発展にみられる一つの法則であります。自主的に技術を自由に発展できる国は、新製品を次から次へとつくり出し、資金源を豊かにしつつ他面において矛盾を深めています。ついには、この矛盾を克服する将来の新しい製鉄体系へ移行しなければならなくなります。すでに本論で述べたいいくつかの将来の製鉄法は、この矛盾を解決する製鉄法となりうるものであります。

## 6. む す び

将来の製鉄法を、資本、市場、技術という三つの面からとらえて展望してみました。生産技術が直接的に問題になるのは生産過程においてです。生産過程には、機械・装置、原材料、人間の労働、の三つの要素が含まれます。第1節では人間の労働をオートメーションの立場でとらえました。第2節では原料およびエネルギーの側面から、第3節では製鉄設備としての高炉をとりあげました。第4節で市場、第5節で資本の面からながめました。以上の話では、これらの面がかなりバラバラにとり上げられていますが、バラバラにみたのでは真の姿はとらえにくいのです。将来の製鉄法をもつと正しくとらえようとすれば、これらの五つの面が統一的にとらえられていなければなりません。それぞれの企業においては、もつとキメの細かい、より正確な将来の製鉄法の見通しを立てる必要があります。それにしたがって、それぞれの短

期あるいは長期の研究開発計画が、独創的に早手まわしに立案され、研究活動が活発にすすめられることが望まれます。

#### 文 献

- 1) 鳳泰信：現代の技術，1964年，ダイヤモンド社
- 2) UNESCO: Polytechnical Education in the U. S. S. R., (1963)
- 3) 「科学」35 (1965) 8, 岩波書店
- 4) Economic Commission for Europe, U. N.,: The Trend of European Gas Economy, Geneva, 1956
- 5) Iron and Steel Engineer, Jan. (1966)
- 6) Steel, Sept. 4, (1964)
- 7) R. DURRER: Verhütten von Eisenerz, (1954)
- 8) F. LÜTH: Planung und Bau von Hüttenwerken, (1958)
- 9) ヴェ・ダニレフスキー：近代技術史, (1954), 岩崎書店
- 10) パナール：科学と産業, 1956, 岩波書店
- 11) エム・ハ・ラビノヴィチ：金属の構造と強さ, (1965), 東京図書
- 12) ア・エゴロフ：強さとかたち, (1963), 東京図書