

展 望

日本鉄鋼技術の現状と将来*

長 嶋 晋 一**

Shin-ichi NAGASHIMA

1. ま え が き

第2次大戦直後の1946年、日本の粗鋼生産は56万tであった。この量を戦前の粗鋼生産が最大であった1943年の765万tと較べるとわずか7.3%にすぎず、わが国の鉄鋼業が戦争によって潰滅的な打撃を受けたことがわかる。しかし、その後急速な発展を遂げて、1961年にはイギリスの粗鋼生産量を上まわり、1965年には西ドイツを抜き、1973年にはアメリカ、ソ連に次いで粗鋼年産1億tの壁をこえて1億2000万tの快記録を樹立し、世界第3位の製鉄国となった。(図1参照)

さらに世界貿易の中でも、わが国の鉄鋼輸出は年々増大して図2に示すように1974年には世界の輸出のシェアの26%を占めるに至り、ECに次ぐ鋼材輸出国として世界経済の中で大きな役割を果たしている。

しかし、躍進をつづけてきた鉄鋼の生産も1974年をピークとして、その後は減産基調に一変した。1973年秋のいわゆるオイルショックを境に資源、エネルギー事情をはじめとする国際環境が急激に変換し、かつての高度経済成長の時代から低成長経済時代に移行して、世界景気の大幅な後退がはじまったためである。

それにしても、日本鉄鋼業の戦後30年間の奇蹟ともいえる目覚ましい発展は何によつて達成されたものかをここで考えてみたい。この点に関しては国内、国外のいろいろな機関でさまざまな立場から分析され、検討されているが、要するに日本鉄鋼業が国内の鉄鋼需要を増加させるタイミングと経済環境に恵まれたこと、そしてその環境に積極的に対応したことである。さらに具体的に述べると

- (1) 重化学工業に重点をおいた政府の高度経済成長政策が有効であった。
- (2) その政策に対応して内外の鉄鋼市場が拡充された。
- (3) 最新鋭設備を中心とした設備投資が活発に行われた。

- (4) 生産技術が向上し飛躍的に進歩した。
 - (5) 良質の原燃料を世界中から安価に入手できた。
 - (6) 教育程度の高い豊富な労働力に恵まれた。
- などがその主なものである。

このように鉄鋼需要が急増する経済環境に恵まれ、その気運に乗じて積極的な設備投資が相つぎ、生産量も大幅に増大したが、量のみではなくこの生産をささえてきた鉄鋼製造技術の発展も目覚ましいものがあつた。本稿ではその鉄鋼技術の足どりをふり返つてみたい。

2. 鉄鋼技術の発展

戦後に革新的発展を遂げた日本鉄鋼技術の特徴を要約すれば高炉の大型化、純酸素上吹転炉(LD転炉)の採用、連続鑄造装置の採用、圧延作業の自動化、連続化、高速化、熱処理(厚板の焼入れ、薄板の連続焼なまし)の連続化、全生産工程を通じてのコンピュータ・コントロールシステムの採用など一連のシステムの確立であるといえる。

この一貫システムの中心である大型高炉-LD転炉の組合せが定着した背景には当時の我が国の原料事情があり、結果的にはそれが幸した。つまり戦前と異なりアメリカの鉄くずやインド銃のような安価な鉄源を長期的に安定して確保できる見通しがたたないのに、平炉製鋼法のメリットがなくなり高炉を中心として安価な鉄を自らの手で望むだけ生産するシステムを採用せざるを得なかつた。その製鉄原料も国内資源が乏しいため、それらの入手は広く海外諸国に依存し、より安くより高品位の物をと心がけて買いつけた原料を大型専用船によつて運搬してコストの低減をはかる輸送体系が確立された。大型船の寄港ができ高効率岸壁設備を持つ臨海製鉄所の建設もこの方針に沿つて進められたものであつた。

輸送費の削減ばかりでなく、より安価な低品位鉄鉱石を利用する原料の事前処理技術や、高価な原料炭の使用量を節減するためのコークス比低減法など一連の高炉関連技術の研究開発は当初からの重要な課題であつた。

* 昭和54年3月14日受付

** 本会前編集委員長、横浜国立大学工学部教授

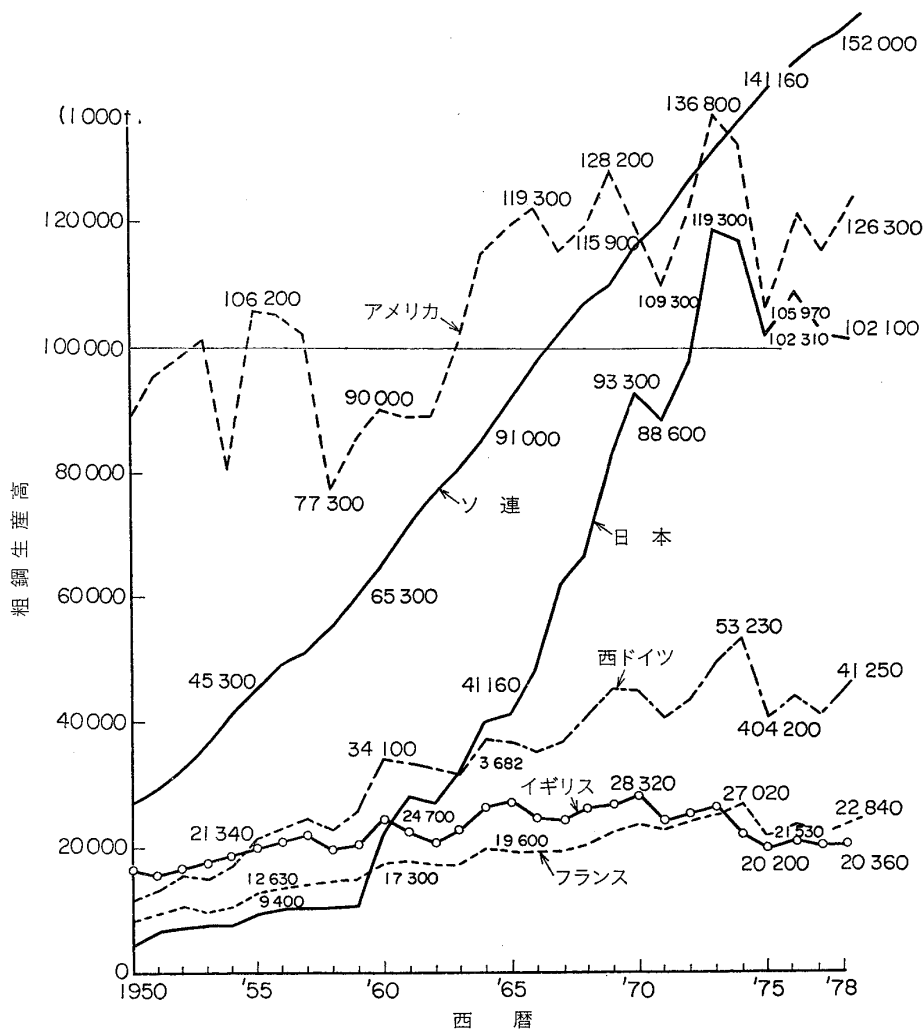


図1 主要国の粗鋼生産高の推移 出所：鉄連「鉄鋼統計要覧」

一方その頃ヨーロッパにおける製鉄業発祥の地であるオーストリアではLD転炉が工業化されようとしていた。この純酸素を吹き込む転炉製鋼法は生産効率が高い上に、平炉製鋼法と異なつてくず鉄をほとんど必要としないので、安価な銑鉄を量産しようとする大型高炉の経済性との相性がよく、この両者の組合せが確立したのである。

生産設備を大型化するほど生産コストが低減するのが設備産業の原則であるから、高炉ならびにそれにつづく製鋼、圧延設備の大型化と高能率化が意欲的に進められ、製鉄所自体の規模もしだいに大型化してきた。製鉄所単位での年間粗鋼生産能力の最大のもののは1952年には八幡製鉄(株)八幡製鉄所が136万t、1967年には同所が1000万t、そして1975年には日本鋼管(株)福山製鉄所が1600万tとなり、スケール・メリットを追つて製鉄所ならびに個々の設備の大型化が急ピッチに進められたことがわかる。

このような鉄鋼生産の急速な増加は設備の増強とならんでそれらの設備を使いこなす鉄鋼技術者の作業改善と

技術開発の努力に負うところが大きいことはもちろんである。それとともに、鉄鋼技術に関連する科学、工学の基礎理論および応用研究の進展、ならびに周辺技術——たとえば産業機械製造技術、耐火物(材料開発および使用技術)、酸素製造技術、真空技術などの貢献も見逃してはならないが、本稿では一応話を鉄鋼技術に限つて論を進めることにする。

(1) 製銑技術

製銑技術の上述のように安価な銑鉄を大量に生産するという要請から、原料炭対策、鉄鉱石の事前処理および高炉の大型化とその操業技術向上に重点がおかれた。それらの中から主な項目をとりあげてみると、

- (a) 原料炭対策 (米国产低揮発分原料炭節減対策)
 - ① 各種石炭の適正配合
 - ② 原料炭の予備処理
 - ③ 成型炭配合コークスの製造
 - ④ 石炭の予備乾燥および予熱炭の装束
 - ⑤ 成型コークスの製造
 - ⑥ 石炭およびコークスの品質評価技術

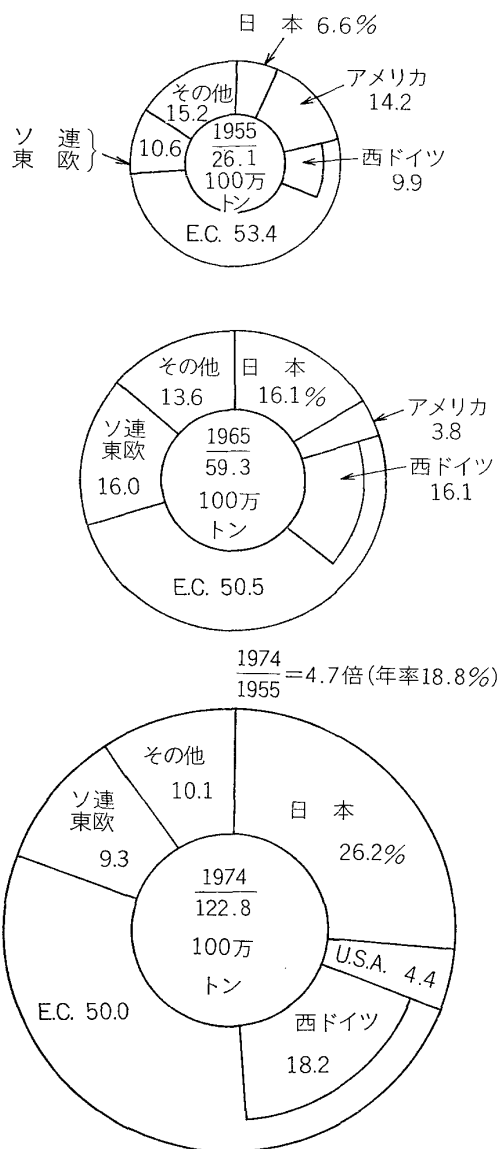


図 2 世界の鉄鋼輸出シェア
出所：国連ヨーロッパ経済委員会 (ECE)
注：EC 及びソ連東欧域内取引を含む

(b) 鉄鉱石の予備処理

① 鉄鉱石の整粒：破碎とふるい分けにより 8~25 mm にそろえる。

- ② ブレンドによる鉱石の均質処理
- ③ 粉鉱を利用した自溶性焼結鉱の製造と使用
- ④ ペレットの輸入：品質の評価と使用技術

(c) 高炉操作技術

- ① 複合送風の強化：送風の酸素富化，高温調湿送風，燃料吹込みなど
- ② 高圧および超高圧操業：アメリカおよびソ連からの導入により 1.0~1.5kg/cm² から 2.5~3.0kg/cm² を採用。
- ③ 装入物分布の改善：ムーバブルアーマの採用
- ④ 事前処理配合比の増加

- ⑤ 稼働率の向上：羽口破損対策
- ⑥ 計測および計算機制御の推進

(d) 製鉄理論および基礎研究

- ① 通気性に関する理論的，実験的研究
- ② 炉内反応に関する実験的研究と数式モデルによる研究

などがある。これらの多彩な技術の導入，作業改善，研究開発の成果は図 3 に示すように出鉄比の増加，燃料比およびコークス比の低減に明らかに示されている。

なお特に注目したいのは実高炉の解体調査が行われたことである。永い間ブラックボックスとして推測の域を出なかつた高炉内部を知るためには，解体調査が最善とわかつていても，巨額の試験費用と長期間の試験ならびに結果の解析，整理に要する研究者の延べ人員などの制約から実施は困難であつた。その高炉技術者の夢が実現したのである。1968 年に新日鉄の東田 5 高炉 (646m³)，1970 年に広畑 1 高炉 (1407m³) などが相次いでその対象とされ，操業状態で急冷凍結して解体調査が行われた。この結果判明した事項は下記のようなものである。

- ① 装入物の降下運動特性
- ② 装入物，特に鉱石の粉化
- ③ 装入物中のアルカリ分の循環
- ④ 軟化，融着，熔融層の通気抵抗
- ⑤ 熔融帯と炉芯
- ⑥ 温度分布と熱保存帯
- ⑦ 高炉内での還元過程
- ⑧ 銑鉄の生成過程
- ⑨ スラッグの生成過程

以上のように高炉内の立体的構造，および炉内における反応過程に関する多くの情報が得られた収穫は大きい。

(2) 製鋼技術

上に述べたようにわが国の粗鋼生産は 1973 年には年産 1 億 t の大台をこえるにいたつた。その原動力になつたのは，LD 転炉，真空脱ガス法，連続鑄造法をはじめとする最新の技術を次々に積極的に導入し，それぞれに操業上の工夫と改善を加えて育て上げた技術水準の高さ

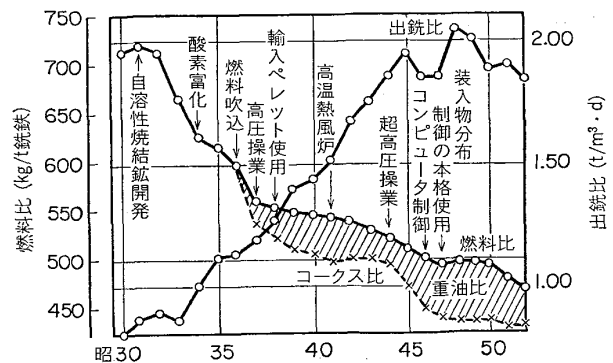


図 3 わが国の高炉操業成績の推移

と技術陣の意欲であつた。以下に主要な項目を挙げてみる。

(a) 純酸素上吹転炉 (LD 転炉) 法

① 操業技術：1 チャージ当りの吹錬時間と製鋼時間は次第に短縮され、平均で吹錬に 12 分間、製鋼所要時間は 28 分という成績である。溶銑の配合量も 80% から上限は 90% をこえての操業も可能になつた。操業の安定化を目的として出発したコンピュータコントロールは、当初送酸量を制御するスタティックモデルから出発したが、最近では排ガス量とその組成から脱炭についての情報を得たり、サブランスによつて吹錬途中の鋼浴温度、炭素含有量を求めて終点制御を行うダイナミックモデル方式に発展した。

② 炉体関係技術：吹錬に関する化学工学的、冶金学的的研究と実験的研究によつて、適正吹錬パターン、多孔ランスの形状、最適炉体プロフィールなどがきめられた。

炉容積については 1957 年 50 t が最大であつたが、その後 1968 年 220 t、1971 年 300 t と大型化した。炉のライニングの寿命も当初 400 回以上が望ましいとされていたが、1963 年には 800 回、1971 年頃からは 1500~3000 回が平均で、工場によつては 5000~10000 回をこえる記録を達成しているところもある。

③ 適用鋼種の高級化：これまで電気炉製鋼に頼っていた特殊鋼あるいは高級鋼を LD 転炉によつて溶製しようという試みが進められている。すでに高炭素鋼や低合金鋼、ステンレス鋼の溶製には成功して、さらに溶銑脱硫や真空脱ガス法などとの組合せによつて、極低炭素鋼、極低硫黄鋼、高潔淨鋼、低水素鋼などの生産もできるようになつた。

(b) 電気炉法

エルー式電気炉は操業に柔軟性があり設備費も比較的安価であるため、最近では特殊鋼ばかりではなく普通鋼の製造にも使われるようになり、国内における粗鋼生産量のほぼ 18% を占めている。新しい技術としては

- ① UHP (ultra high power) 操業技術の開発
- ② 炉容の大型化
- ③ 助燃バーナーの活用
- ④ 還元期の短縮技術

など生産性向上のための対策が中心になつている。

(c) 特殊溶解法

近年鋼材の特性に対する要求がますますきびしくなり、信頼性の高い材料が望まれている。これに対応するための溶製法あるいは二次精錬法がいろいろと検討され、今後の高級鋼製造の新しい方式の開発が重要なテーマになつている。主なものを挙げると、

- ① エレクトロスラグ再溶解法 (ESR 法)
- ② 真空誘導炉溶解法 (VIM)
- ③ 真空アーク再溶解法 (VAR)
- ④ 電子ビーム溶解法 (EB)

⑤ プラズマ・アーク溶解法 (PAM)

(d) 二次精錬法、炉外精錬法

① 溶銑の脱硫：鋼中の硫黄分の除去は原料処理、製銑、製鋼のどの段階でもできるが、溶銑での脱硫が最も有利であり、多くの方法が試みられている。

(i) 揺動取鍋法、(ii) スターラー法、(iii) インジェクション法、(iv) 気体吹込み攪拌法、(v) マグネシウム脱硫法、(vi) 気泡ポンプ式環流攪拌法

② 真空鑄造法：(i) 真空鑄造法 (狭義)、(ii) 取鍋流滴脱ガス法、(iii) 出鋼脱ガス法がある。

③ 真空吸上げ脱ガス法 (DH 法)

④ 真空循環脱ガス法 (RH 法)

⑤ 取鍋攪拌脱ガス法：(i) ガス攪拌法、(ii) 電磁誘導攪拌法

⑥ アーク加熱取鍋精錬法：(i) ASEA-SKF 法、

(ii) VAD 法

⑦ 真空脱炭法：(i) VOD 法、(ii) RH-OB 法

⑧ アルゴン酸素脱炭法 (AOD 法)

これらの方法は上記特殊溶解法とともに今後の高級鋼の製造に重要なプロセスである。

(e) 造塊技術

介在物の浮上分離と鋼塊の大型化が重点的に検討された。

① ポーラス・プラグ技術

② 押湯技術：(i) 発熱性スリーブ、断熱スリーブなど押湯スリーブの研究、(ii) 押湯保温剤、(iii) 酸化防止湯面被覆剤

③ 鋼塊の大型化：薄板用鋼塊はリムド鋼塊の 17~18 t から、キャップド鋼塊の 40 t まで、棒鋼用はキルド鋼塊の 5 t から 10 t 級が可能になつた。

④ 注入の自動化：(i) オートポア、(ii) クレーンスケール、(iii) スライディングノズルなどが採用された。

(f) 連続鑄造法

わが国に連続鑄造技術が導入され稼働をはじめたのは 1955 年のことである。それから 1965 年まで 10 年間の連鑄設備の設置に対する関心は極めて低く 1965 年には国内にわずか 8 基にすぎなかつた。1968 年には 20 基、'70 年に 40 基と増えはじめ、'73 年には 90 基をこえるにいたつた。粗鋼生産量に対する連鑄生産量も 1968 年に 4%、'71 年に 12%、'73 年に 20%、'77 年には 35% にも達した。

当初連鑄が伸び悩んだのは、設備費と操業メリットの対比、稼働率、品質などの確認が行われた時期に対応する。やがて棒材用のブルーム、ビレット用設備はもちろんのこと、厚板材や薄板材を対象とした大断面スラブ用連鑄機の検討もすすめられ、連鑄材の品質の向上、連鑄適用鋼種の拡大、生産性の向上など技術の進展にしたがつて生産も増加してきたのである。主な改良点は

- ① 生産性の向上：主に鑄造速度の増大……冷却法の

強化、と稼働率の向上……安定操業条件の確立に重点がおかれた。

② 対象鋼種の拡大：普通鋼からはじめて、ステンレス鋼、電磁用珪素鋼、低合金鋼などのキルド鋼、リムド鋼はまだ製造できないがこれに代るリバンド鋼の製造が実用化されている。

③ 品質の向上：表面疵、非金属介在物、内部偏析などの改善が行われている。表面疵に対しては連鋳パウダーの改良、非金属介在物についてはアルゴンバブリング、アルゴンシール、中心偏析については電磁攪拌技術が有効である。

(g) その他の技術

① 連続製鋼法：世界各国で検討されているが、わが国でも科学技術庁金属材料技術研究所において NRIM 式多段連続製鋼法の開発研究が行われた。

② 純酸素底吹転炉法：1965 年カナダで新しい底吹転炉法が発表されて以来、各国で実用化試験が進められているが、わが国でも川崎製鉄(株)千葉製鉄所がアメリカの Q-BOP 法を導入した。

(3) 圧延技術

わが国では戦前にもヨーロッパ諸国に先んじてストリップミルをアメリカから導入した経験をもっているが、戦後も最新鋭ミルを導入して量質両面における向上を計った。また圧延理論に関する共同研究を進めて自動化および計算機制御への道を開いた。主要な技術を拾ってみると、

(a) 圧延理論

- ① 板圧延に関する変形抵抗の研究と理論式の決定
- ② タンデム圧延の総合特性の解析
- ③ 孔型圧延に関する三次元変形理論の検討

(b) 厚板圧延

- ① コントロール・ローリング：熱間圧延のパス・スケジュールをコントロールして鋼材の細粒化による強度および靱性を向上する方式の確立
- ② 連続焼入れ：浸漬焼入れ、プレスクエンチに始まり、最後にローラークエンチ技術を導入して焼入れの冷却パターンを自由にコントロールできるようにした。
- ③ 連鋳スラブ圧延法の確立：圧延材の品質を損なわずにどこまで鍛錬比を下げられるかの検討。

(c) 薄板圧延

- ① 熱間圧延：(i) タンデムミルの採用と圧延速度の上昇。(ii) ロールベンディング装置による形状コントロール、(iii) AGC (automatic gauge control) による板厚制御 (iv) ラミナーフロー冷却による巻取温度の制御など、
- ② 冷間圧延：(i) タンデムミルの採用と圧延の高速化 (ii) 計算機制御による形状・板厚の制御、(iii) 圧延油の研究と開発、(iv) 酸洗法の検討と塩酸酸洗法の確立、(v) 表面処理鋼板の二回冷延法の確立など、
- ③ 焼なまし技術：(i) タイトコイル焼なましにおけ

る焼なまし時間短縮を含めた最適焼なましサイクルの検討、(ii) オープンコイル焼なましにおける操業技術の確立、(iii) 薄板の連続焼なまし技術の確立と適用鋼種の拡大など

(d) 形鋼圧延

① ユニバーサル圧延法：1960 年代にヨーロッパよりおかれて導入された。(i) H 形鋼の圧延が主であつたが板圧延理論の三次元変形への拡張、(ii) タンデム圧延における張力制御、(iii) 形鋼圧延の連続化、(iv) H 形鋼の他、軌条、鋼矢板、山形鋼などへの適用、(v) 圧延の計算機制御、と進展した。

② 冷却・矯正法の改善

(e) 棒鋼線材の圧延

- ① 品質改善：(i) 熱間圧延のオンライン疵検査技術の開発、(ii) デスケリング法の開発、(iii) 高速圧延
- ② ステルモアミルの設置と作業改善。

(f) 鋼管製造

- ① 継目無鋼管の製造技術：(i) マンネスマン方式の導入と技術改善、
 - ② 押出しによる鋼管製造：(i) ユジーン・セジュール方式の導入と改善、(ii) 異形断面鋼管の製造
 - ③ 冷間成形法の確立
 - ④ 溶接鋼管技術の導入と開発、(i) 電縫管製造法、(ii) 溶接技術の向上、(iii) 非破壊検査技術の進歩
 - ⑤ 大径管製造技術の向上
- など多岐にわたっている。

(4) 鉄鋼材料

鉄鋼材料の発展も著しいものがあるが、その背景にあつたものは材料の特性および使用性能に対する利用者側からのきびしい、しかも多様な要求であつた。それらに

- ① 高強度化と強靱化：調質および非調質高張力鋼、ラインパイプ用非調質高張力鋼、高降伏点鋼、超強力鋼、低温用鋼など。
 - ② 高温用鋼：フェライト系耐熱鋼、オーステナイト・ステンレス系耐熱鋼、耐熱超合金、自動車排気ガス処理用材料、原子炉熱交換器用材料など、
 - ③ 耐食鋼、ステンレス鋼：耐候性鋼、耐海水鋼、フェライト系ステンレス鋼、オーステナイト系ステンレス鋼、析出硬化型ステンレス鋼、2 相ステンレス鋼など
 - ④ 快削鋼：鉛系、硫黄系以外にカルシウム快削鋼、チタン快削鋼、快削ステンレス鋼がある。
 - ⑤ 成形性のすぐれた鋼板：深絞用遅時効および非時効鋼板、チタン添加超深絞り用鋼板など
 - ⑥ 溶接性のすぐれた鋼板：溶接高張力鋼板、大入熱溶接用鋼板など
 - ⑦ その他、電磁用珪素鋼板、各種表面処理鋼板など
- 列挙すればきりのないほど多種類の材料がそれぞれの特

3. 鉄鋼技術の発展を支えたもの

以上に述べた戦後のわが国における鉄鋼技術を見わたして先ず感じることは、製造プロセスおよび製品の広い分野の各部門にわたって、最新最良の技術が採用されてそれぞれにベストコンディションで操業され、最高の品質の製品が生産されているということである。

つまり、世界各国で開発された新しい技術の芽は洩れなくわが国の鉄鋼業界のどこかに導入され、きびしく評価され、特徴を伸ばし、有効な新技術として育てられてきたものが多い。ちょうどウィーンの都には音楽を育てる豊かな土壌があつて、世界の音楽家とその卵、音楽を愛好する人々が集まり、きびしい評価と温かい支持の中で良い音楽と有能な新人が育つてゆくように、我が国の鉄鋼業界にも近代鉄鋼技術を育てる立派な土壌がいつの間にか醸成されていたと理解してよいのではあるまいか²⁾

この土壌を醸成してきたものについて、これまで論じられてきたものとは別の角度から考えてみよう。

(1) 外来文化に対する日本人の反応

技術に対する日本人の一般的反応を見ると、①無視、②好奇、③拒否、④同化というパターンをとるといふ³⁾ 蒸気機関車 (SL) に牽かれた“汽車”が新橋-横浜間を走りはじめから、古い城下町に異国の乗物が入ることを拒否して線路を遠く郊外に迂回させた時代、有力な政治家がその故郷に特急停車駅を作った時代を経て、今消えゆく SL を惜しむ時代にいるが、SL がいつの間にか日本人の生活の中に図化していたことに気がつき、上の説がなるほどと理解できる。

技術だけではなく、外来文化もまたこのような心理的曲折を経て日本文化の中に定着してきたに違いない。たとえば仏教は歴史によると 553 年欽明天皇の御代に伝来して天皇家および蘇我氏がこれに帰依し、神道を信奉する物部氏との間の政争にまで発展しているが、これを庶民の側から見ると無関心の時代から、寺院の布施や施療を通じて好奇、関心を持つた時代、東大寺や国分寺造営のための重税や労役に対する反発、拒否の時代、その後の行基ら民間伝導僧の布教を通じて民衆の中に浸透し同化するという上述のパターンを経て日本的仏教ができ上っている。

これにくらべると、漢文および漢字に対する日本民族の対応は上のパターンとはやや異なつていて、きびしい拒否反応はなかつたようである。漢文は公用文として使われたが、そのうち構文はそのままであつても、漢字の意味を汲んで日本語の訓をつけ、日本語として読み下すという独得のスタイルを作り上げた。その一方では漢字の意味を捨てて単なる表音文字と見なし、これによつて日本語を表記する方式も確立した。この万葉仮名は草書にくずした草仮名、さらに簡略化した平がなへと発展し

た。ここで興味深いことは、文字の導入に際して表意と表音という文字に関する二つの機能を知り、その優劣をあげつらうことはせず二つの方式を平行して採用し、自由自在に使いこなした上で、双方の長所を活かした“漢字かな混り文”をつくりあげた姿勢である。

(2) 近代製鉄法導入への反応

わが国に近代製鉄法が導入されたのは、徳川時代の末期に海防用の大砲鑄造の必要が生じたためであつた。1850 年から 1855 年にかけて佐賀、鹿児島、葦山、水戸にそれぞれ反射炉が建設された。これらは当時の蘭書を通じて得た技術的知識をもとに国産の材料のみを使い、日本人の手によつて造られたものであつた⁴⁾。

またわが国最初の洋式高炉は南部藩士大島高任の指導によつて釜石の地に建設され、1857 年 12 月に火入れが行われた。

これらの新技術の導入が、漢字の導入の場合にみられたのと同じように全く拒否反応もなく、積極的に進められたのは上述のような国防という大目標があつたためであるが、その反面当時なお生産をつづけていた“たたら製鉄法”はその生産量が少なく、主要な需要も鍛造品では日本刀、農耕具、大工道具、包丁など、鑄造品は茶道具などの芸術品、なべや釜など家庭用品に止まつていたことが幸いした。つまり民需用の和鉄、和鋼製品は需給がバランスしていたので、新しい軍需用には新しい洋式製鉄法による生産が望まれ、生産、需要の面で競合のおそれがなかつたからである。

また新鉄鋼技術導入に対する拒否反応がなかつた理由の一つに、日本人の潜在意識の中に鉄および鉄製品に対する畏敬の念が存在することが挙げられる。何故ならば“三種の神器”の一つに“天の叢雲の剣”があつたり、大和の古墳からしばしば多数の鉄鋌(てつてい、軟鉄の薄板)が出土したりして、鉄製の剣はもちろんのこと鉄材そのものも古代日本においては金、銀、銅とならんで貴重な財宝の一つとして珍重されていたことが推測されるからである。

さらに日本刀やその刀匠に関しては、技術の伝承や修得にまつわる美談、名刀を神秘化する伝説が多いことも上述のような心理的傾向を示すものであろう。

(3) 徳川封建制と技術⁵⁾

徳川 300 年の治政下で技術に影響を与えたものとして

① 新しい道具を作ることが禁じられていた

② 職業が世襲制であつた

ことがあげられる。

新しい道具を作ることが禁じられていたため、日常使う器具や道具類は室町時代から江戸末期までほとんど変つていながつたということである。したがつて職人は昔ながらの道具を使つてより良い物を作る工夫をした。新規な機能をそなえた物は作れないため、従来の道具をより一層使いやすく、より優雅と機能とデザインを追求す

表 1 会員 100 人当りの講演発表件数

年	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1976	1977	1978
発表件数 (100人につき)	3.36	4.08	4.20	4.03	5.34	7.90	9.01	9.86	10.58

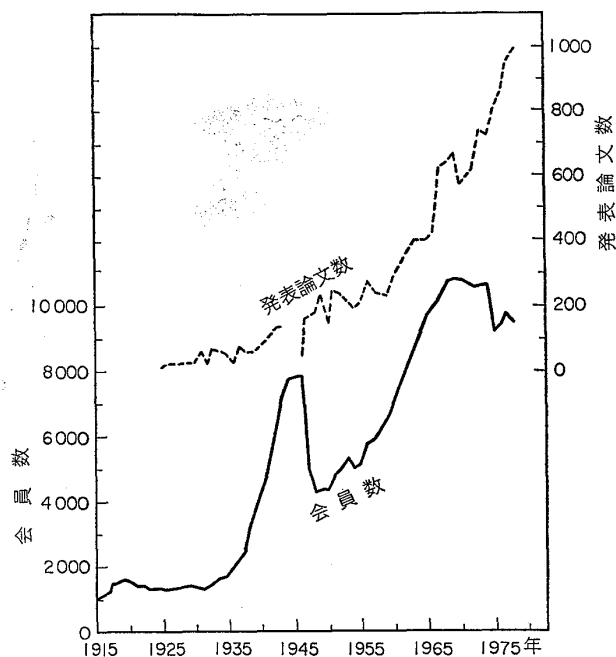


図 4 当協会会員数および講演発表件数の推移

る方向に発展した。道具が悪いという弁解は通用せず、技術を尊重する気風が生じた。職業の世襲制は一層この気風を助長した。名人がかんなで削った板の表面に霧を吹きつけ、二枚を重ね合せると大の男がどのように力んでもはがれなかつた、などという伝説が喜ばれたことは、民衆が洗練された技術を望みこれを高く評価していたことを示すものである。

なお当時寺小屋教育が普及し文盲率が低かつたことも注目されてよい。寺小屋では読み、書き、そろばんを教えた。読む方は論語の素読から入り、儒教の精神が浸透した。現代も塾通いが盛んであるが、電卓で算数の宿題をこなしている今の子供達と、そろばんを仕込まれた当時の子供達と、数学的能力はどちらが上であろうか。

余談はさておいて、明治初年以降わが国に近代技術が導入され、初めて見る新しい設備、機械を与えられその運転を任された人達は武士層ではなかつたが、社会の広い層に人材が育つていて、それらを理解し使いこなす意欲を持ち次々と新しい技術を消化して行つたのであつた。

(4) 戦後の技術導入と学協会の役割

第 2 次大戦後にわが国の鉄鋼業はほとんどゼロの状態から再出発することになつたが、アメリカおよび欧州諸国における技術の水準は予想以上に進んでいた。したが

つて新しい技術は手あたり次第に、周辺技術も含めて貪欲に導入したと表現してもいいすぎではない。各個の企業はそれぞれ独自の技術開発の方針をきめ、似かよつた技術が平行して導入される例も少なくなかつた。

その一方、共通の技術的問題に関しては共同研究も行われた。共同研究の場を提供し大きな成果をあげてきたものに、学術振興会の製鋼、製鉄、鋼材特性などに関するいくつかの研究会、学術振興会と金属学会および本協会が共同で運営している鉄鋼基礎共同研究会、本協会の運営する共同研究会などを挙げることができる。これらの研究組織には大学、公立研究所、企業から多数の研究者や技術者が参加して広い分野にわたつて共同研究の実を挙げ情報交換も活発に行われた。

当協会の運営する共同研究会は現在 18 部会、23 分科会を持ち幅広い活動をしているが鉄鋼の生産に関するものとしては製鉄、コークス、製鋼、電気炉、特殊鋼、圧延理論、鋼板、条鋼、鋼管、分析、熱経済、耐火物、計測、品質管理、設備技術などの分野をカバーしている。

なお、ここでわが国の鉄鋼研究活動を推測する一つの指標として、当協会の春秋の講演大会における講演発表件数の推移を見ると図 4 に示すとおりである*。図中の年間発表件数には講演大会および討論会の双方の発表件数の合計を示してある。会員数の推移と対照してみると、発表件数が 1969 年までは会員数の増加にはほぼ比例している。ところが 1968~9 年以降会員数は頭打ちでむしろ漸減する傾向にあるにもかかわらず発表件数の方はうなぎ上りに増加している。表 1 には会員 100 人当りの年間発表件数を示したが、この数年の増加率はおどろくべき数になつている。鉄鋼業をとりまく昨今のきびしい経済環境下で、鉄鋼技術研究にたずさわる第一線の研究者、技術者の姿勢がこれらの数字に現われているものと思われる。

またこれだけ多数の講演が当協会の講演大会において発表されるということは、研究成果の発表、討論および情報交換の場として会員から強い支持をうけていることを示すとともに、当協会の事業活動がわが国の鉄鋼技術水準を育てる土壌としての役を果たしてきたことを裏づけていると考えてよい。

4. 今後の日本鉄鋼技術の方向

鉄鋼業の技術動向の予測についてはいくつかのすぐれ

* 発表件数のグラフが中断しているのは戦争中講演大会が開催されなかつたためである。

た論文^{6)~8)}が発表されており、著者も私見を述べたことがある。ここでは日本鉄鋼技術の将来について前報⁹⁾と重複するが簡単に述べてみる。

まず、我が国の鉄鋼業はすでに述べたようにその原料の大半を海外諸国からの供給によつて成立しているのであるから、鉄鋼関連技術の面でも何等かの形で資源供給国との協力関係を持つことが望ましい。

一方全般的な問題としては次のテーマが挙げられる。

- (1) 鉄鋼製造プロセスの総合的見直し
- (2) 鉄鋼材料を使う立場からの見直し
- (3) 再生不能資源節約のための見直し
- (4) リサイクルの観点からの見直し
- (5) その他

である。これらについて要点を述べてみよう。

(1) 鉄鋼製造プロセスの総合的見直し

鉄鋼原料の品質は今後一層悪化するが、反面鋼材性能に対する要求は一層きびしくはなつても緩和することはない。そうかといつて大幅な値段の改定も望めない。これに対処するためには各製造プロセスをもう一度見直して、前後工程を考慮して全体としてのコスト、品質を検討する以外にない。そのためには

(a) システム全体の経済性

粗鋼生産量が能力の2/3という状況がなお当分継続する現状では一製鉄所内での努力は限界にきているであろう。どの製鉄所を生産の中心におくかという全社的生産計画の検討が必要な時期にきているように思われる。

(b) エネルギー節約

これについても不断の努力がつけられ、もう節約の限界まできているであろう。今後は異種の企業の実体を参考に思い切つたプロセス省略、あるいは新しい低落差エネルギーの利用などを考える必要がある。

(c) プロセスの連続化と直接化

工程の連続化はこれまでも進められてきた。連続化が残されているプロセスとしては連続製鋼と連続鋳造後の直接圧延、および厚板の熱間圧延後の直接焼入れくらいである。

直接化もかなり検討されている。上述の連続鋳造鋼片のオンライン直接圧延から一歩進めた固液共存状態の圧延もいずれは検討の対象にあげられるであろう。

溶鋼からの粉末の製造と粉末冶金による高合金鋼の製造、あるいはこの両プロセスの連続化なども考えられる。

(d) プロセスの機能を生かした冶金学

これには二つのタイプが挙げられる。第1は精錬のユニットプロセスをより効果的に操業する考えで、連続製鋼法につながる方式と、取鋼精錬技術や真空精錬技術のような二次精錬に重点をおく方式が挙げられる。今後大きな発展が期待されるのはこの方向である。

もう一つは鋳造、圧延、熱処理を有機的に組合せて考

え、これらの工程が持つ金属学的意義を解明し材質向上に利用する方式で、すでにラインパイプ用鋼材の強度靱性向上のためのコントロールド・ローリング技術が確立されている。より広い加工熱処理技術の発展が期待される。

(e) テロテクノロジー

設備を有効に使い、設置してから寿命を終えるまでの稼働率、保守整備を含めて総合的に最低コストで操業しようという思想にもとづくものである。

稼働中の設備の健全性や欠陥の有無を判定する設備診断技術や、欠陥の発生した機器の補修時期や寿命を判定する設備寿命予測技術の開発は重要なテーマであり、最も直接的にコスト低減につながる。

この技術をバックアップするものとして摩耗、摩擦、潤滑などを総合的に取り扱うトライボロジーや、疲労、クリープ、遅れ破壊、応力腐食割れなど使用環境での材質の脆化、破壊を取り扱う材料強度学の発展が望まれる。

(2) 鉄鋼材料を使う立場からの見直し

近代技術は大型化、高速化、高能率化の方向に発展してきたが、資源、環境、安全などの面でそれらの負の効果が現われはじめ、技術開発方針の検討や技術の2次波及効果の評価などが行われ、材料に対する要求にも変化が生じている。このような動向に応じて材料の開発の方向を再検討する時期に来ている。その意味で下記の項目が重要である。

(a) 材料の信頼性の向上

機械および構造物の安全性を確保するために、構成部材の信頼性に対する要求はますます強くなるであろう。それに応ずるためには材料の均一性と品質の保証が必要になる。したがつて①材質の全数検査、望ましくは生産工程における材料特性の非破壊的連続測定、②非金属介在物や内外面疵の非破壊的連続測定、③材料欠陥の許容限度の定量的評価方式の確立、④疲労破壊、遅れ破壊、応力腐食割れなど使用環境における強さの評価基準の設定などの研究が重要となる。

(b) 加工性の向上

熟練作業者の不足に対応するために、

① 溶接性のすぐれた鋼材と溶接方式、溶接機器の総合的開発、

② 冷間鍛造材や薄鋼板の成形性向上および成形技術、成形用機器の総合的開発

③ 切削性のすぐれた材料の開発と加工機械自動化の総合的推進、切削工具材料の開発などの研究もゆるがせにできない。

(c) 使用する立場を考えた新しい材料

今後どのようなものが出現するかは予想が困難であるが、可能性を示唆するものとして二三の例をあげてみる。

① マルエージ鋼：焼入れた状態では降伏点が低い

で冷間成形が容易であり、切削加工性や溶接性もすぐれている。完全に加工を行つてから時効処理をすると高強度が得られる。AA 鋼板 (accelerated aging) もこのタイプに属し、成形後塗料を乾燥させる低温度で降伏点が増加する。

② TRIP 鋼：塑性変形により変態が生じその場所が硬化するので変形が局部に集中せず一様に伸びるため大きな変形に耐える。

③ Hadfield 鋼：変形すると変態し著しく硬化する。繰返し衝撃や荷重をうける場所ではますます硬化するから耐摩耗性がすぐれている。

④ 形状記憶合金：変態温度以下で塑性変形を与え、これを変態点以上の温度域におくと変形前の形状に復元する。Ni と Ti の合金 nitinol が知られている。

(3) 再生不能資源節約のための見直し

① 未利用資源の利用：戦後わが国では低品位ニッケルクロム含有のラテライト鉱の利用研究を行つたことがある。当時は採算割れで成功しなかつた。しかしこの種の研究は折にふれて見直しをすることが大切である。

② 高エントロピー・エネルギーの利用：これは国家的事業として検討し推進する必要がある。

③ 防食技術の開発と普及：これについては特に説明の要はないほどよく知られた重要な問題である。

(4) リサイクルの観点からの見直し

リサイクルに関しては大きく全工体系から技術の再編成を行い、不要になつた機械類や寿命のきた構造物を最少の手間で解体し、できるだけ多くの材料を再利用しやすい形状で回収できるような材料の選択と、加工組立てシステムの確立を考える必要がある。

そのシステムができるまで、材料の側からは下記のようなことを実施してはどうであろうか。

① 材料の高純度化と成分の規格化：できるだけ成分をしぼり、熱処理と加工によつて機械的性質を作りわけ方式。すでに食缶用ぶりきはこの方式が採用されはじめている。

② 材料の規格化の強化：これには材料の成分の単一化ならびに素材の形状、寸法の規格化、単純な部品の規格の強化も考えたい。

③ 機械部品はカセット化またはユニット化をすすめて特性の低下に応じて交換する方式である。上述の信頼性の向上にもつながる。

(5) その他

① 環境対策：これについては広範囲に進められてき

たが、なおエコロジを考慮した環境創造にまで発展することが望ましい。

② ライフサイエンスの手法の導入：これについてはまだ遠い未来のことになるであろうが、関心をもつてその進歩を見守ることが望ましい。

たとえば生物が自己の生命維持に必要な物質を体内で合成するとき、余るほどは作らずに必要なとき必要なだけ作る。物質 A が不要のときはそのプロセスの一つか二つ前の物質 B の段階で反応を止める。物質 B は必要に応じて他の必須な物質 C にも転換できる……という、無駄のないシステムになつているという。

それ以外にも生体材料の構造など、材料研究者の立場からも興味ある情報が多く、エネルギー利用システムにいたつては驚くほどの精緻さである。

鉄鋼業に適用できる最も現実的なものとしては、微生物を利用した活性汚泥による排水処理法がある。

あ と が き

本論文は日本工学会創立 100 周年記念論文集の一つとして、日本鉄鋼技術の近年の歩みと将来について展望したものである。この執筆にあつては当協会専務理事田畑新太郎氏はじめ多くの方々の貴重なご意見をうかがい、資料の収集には事務局の御手数を煩わせたことを付記し厚く御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 鉄鋼技術の進歩：鉄と鋼，61 (1975)，5，p. 443
- 2) 田畑新太郎：私信
- 3) 渡辺 茂：あすの技術へのヒント，ブルーブックス，(1976) [講談社]
- 4) 飯田賢一：技術思想の先駆者たち，(1976) [東洋経済新報社]
- 5) 水島三一郎：私信
- 6) たとえば，IISI：プロジェクトン '85 (1972)；産業構造審議会；1970 年代の鉄鋼業およびその施策のあり方 (1973)；ECE：1985 年までの鉄鋼消費，生産，貿易予測と 1990 年の展望 (1975)
- 7) 西山記念技術講座テキスト，第 38 回 (1976)；海野 武：日本の産業構造の将来，三本木貢治：製錬技術の将来像，岡本豊彦：塑性加工の未来像，堀川一男：鉄鋼材料技術の将来像，河野 力：日本鉄鋼業の将来とその課題
- 8) 河野 力：鉄鋼業の将来とその課題：鉄と鋼，63 (1977)，1，p. 154
- 9) 長嶋晋一：これからの鉄鋼研究をどう進めるか：鉄と鋼，64 (1978)，1，p. 165