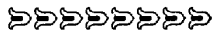


随 想



技術史的に見た鉄鋼生産技術の発展段階とそれへの研究の対応

高 橋 久*

1. はじめに

最近の鉄鋼業においては、他産業と同様に、エネルギー問題は最大関心事のひとつであり、技術的にも多くの努力が払われて省エネルギーの実績を挙げているし、また、これに関する論説や新提案も年を追って増加していき、まさに話題の中心を占めている観がある。

しかし、工業技術史的な観点から鉄鋼業の変遷を省察するとき、社会経済の激動する局面への対応とは別に、技術の発展の歴史的必然性から認識すべき底流の淀みが、秘かに奔流へと変貌しつつある面が存在するように思えるし、これを見逃がすことは、必要な対応に遅れをとることにもなる懸念があるので、ここでは、これについて論じ、いささか私見を述べることにしたい。

2. 鉄鋼業における技術革新の現状について

鉄鋼業が多くの技術革新を経て今日の姿に立ち至ったことは、よく知られた事実である。とくに前世紀中葉にベッセマーによる転炉の発明と、シーメンス・マルチン平炉の出現とによつて、鋼の大量生産が可能となったことが、木炭に代えてコークスを高炉に使用することによつて高炉銑の大量供給が可能となったことと相まって、19世紀後半に鉄鋼製品が大量生産される基礎を作り、鉄鋼工業の飛躍的発展を、そして、鉄の時代を実現させた*

これと同時期に鉄鋼の顕微組織が系統的に研究され始め、金属組織と状態図、ないしは相変化、すなわち変態との関係が明らかになつて来たこと、新しい物理的・化学的研究手段が大幅に導入されて来たことによつて、鋼材の材質研究は近代科学の仲間入りをしたと言えよう。

それにもかかわらず、鉄鋼の生産技術が、中世的錬金術の体質から受け継いだ経験的要素を多分に含んでいることも否定できない難い事実である。

一般的には最近の鉄鋼の技術革新の期間を、1920年代後半以降、1960年代に到る期間と見なし、とくに第2次世界大戦以後の二十数年間を、その最盛期と見ているようである。たしかに、この間には1920年代のホットストリップミルの出現、それに続いてコールドストリップ

ミルの開発があるし、戦争によつて遅延してその開花が戦後になつた酸素上吹き転炉の出現など、生産技術上の進歩は顕著なものがあつた。

また鉄鋼の生産技術の研究には、化学反応論、熱技術、塑性加工学などの科学、工学、技術が応用されて多大の成果を挙げたし、材料研究においても、X線による集合組織の研究、電子顕微鏡による微小組織の可視化、化学分析の進歩、物理的手法の分析への応用、および状態分析法の開発などが、鉄鋼材料の示す諸性質を金属組織と関連付けながら原理的に解明した成果は素晴らしいものがあつた。また、生産消費の伸びもきわめて顕著で、社会経済の発展におよぼす鉄鋼工業の影響はますます拡大し、自動車、家電製品などの耐久消費材の大量生産を通じて大衆生活の向上に果たした役割は特筆すべきものがあり、生活形態をも変化させて、いわゆる生活革命を招来したほどであつた。

しかしながら視点を変えて見ると、「鉄鋼の真の技術革新」は1960年代によろやくその緒についたばかりであり、これから数年、二十年ないしは三十年間にその最盛期を迎えるか、ほぼ完了するような状況にあって、現在では、その incubation period を、よろやく脱しつつある状況にある、といえよう。

しからば、なにをもつて「鉄鋼の真の技術革新」というのであろうか。

平炉製鋼法から上吹き酸素転炉法への転換が、冶金学的な基礎なしに行われたと言えれば暴言であろうし、発明者の経験と、学識に裏付けられた洞察力、酸素の安価大量な製法の確立、その他、多くの科学技術の進歩に支えられて、上吹き酸素転炉製鋼法は開花し、製鋼法の主流となつた、と考えられる。

しかし、この方法が定着した以後においても、たとえば低炭素普通鋼の吹錬においてさえ、吹き止め時点での鋼浴のC量と温度とを、たとえばC: ±0.01%以内、温度: ±12°C以内におさめる確率、いわゆる同時適中率は50%前後、という信じ難いほど低い状況であつた。

また圧延の分野においても、1960年当時はホットストリップミル、コールドストリップミルの自動板厚制御が初めて実用化された時期であつて、圧延全般の計算機制御の可能性を信じる技術指導者の数は、むしろ微々たるものであつたと言えよう。

* 19世紀に入つて蒸気機関がますます発達して大動力源が普及し、産業革命の成果である近代工業を急速に拡大発展させたこと、世紀の後半には電動機が実用化したことなどが、市場の鉄鋼需要を旺盛にした。

しかるに、製鋼物理化学、反応理論の研究の進歩と、計測手段の進歩に支えられて、きわめて経験的分野であった製鋼吹錬技術は、近代科学、工学ならびに技術によって、理論的裏付けを持つた自動製鋼技術に脱皮して、同時適中率は90%を超えるに到った。

品質管理の用語を借用すれば、製鋼吹錬における同時適中率の工程能力は大幅に向上して、近代技術の仲間入りを果たしたのである。

圧延技術においても、圧延の塑性加工の理論的実験的研究と、タンデム圧延機の制御理論の進歩は、制御機器自体の進歩と相まって、圧延全般の計算機制御を可能として、たとえば、全連続冷間圧延機や、全連続形鋼圧延機を出現させるに到った。

また非鉄金属においては早くから実現を見ていた造塊工程の連続化、いわゆる連続鑄造技術を鉄鋼の生産技術に応用しようとする試みも、当初は限定的成功を果たしながら実践化されたが、鉄鋼の凝固とそれに付随する諸現象の解明、凝固鑄型内における潤滑油やフラックスの果たす役割の解明などと、機械技術、制御技術の進歩によつて十分に成熟し、最近数年来は、むしろ連続鑄造機のほうが優秀な材質の諸特性を示す鋼種も増加して来た。他方、冷延薄鋼板の製造においても、冷間圧延したストリップを連続焼鈍して一挙に製品に仕上げる設備が開発された。

鉄鋼工業におけるこれらの最新の技術革新と、従来のそれとを対比すると、技術革新の必要、いわゆるニーズの存在したことは共通であるが、従来のものが、天才的なひらめきと、暗中模索の長期間の努力によつて達成された場合が多いのに対して、最新の技術革新は、根底に横たわる冶金的、あるいは塑性的現象の理解に基礎を置いて、より合理的なプロセスを追求し、達成している点で、きわだつた対比を示している。

ここが最も注目し得る点であつて、最近の鉄鋼工業においては、より合理的な生産技術体系、あるいは、より合目的な材質の鋼材を得る見とおしの生産技術体系と見なされれば、それが、従来の経験的に積み上げられて来た生産技術体系と全く異なつたものであつても、その実現化に挑戦することが常識となつてきている。

いくつかの例を挙げれば、鋼塊や連続鑄片の無疵化技術を前提としての、鋼塊の熱延直送技術、連鑄鑄片の加熱炉への熱間装入、およびこれをさらに一步前進させた連鑄鑄片の熱延直送技術、あるいは厚板の制御圧延（コントロールローリング）から発展した各種の材質作り込み圧延法、また転炉製鋼法による製造鋼種の範囲を著しく拡大した各種の炉内および炉外精錬技術などであり、また従来はブラックボックスの部分が多かった高炉精錬、焼結、コークスなどの分野においても、それぞれのプロセスの本質解明のために積極的努力が払われつつある。

このようにして、現在は過去何世紀にもわたつて集積され、集大成された鉄鋼の生産技術体系を、合理性の観点から見直し、より合理的な生産技術体系に組み替えを行うという変革期に当たつており、鉄鋼生産技術史上、合理主義と近代科学主義とが、初めて主役を果たし、意識的に生産技術体系変革の努力が払われつつあるという点で、全くの革新期であると言えよう。

鉄鋼生産技術者、研究者の取り組みの姿勢が、自らを技術革新の担い手（innovator）であるとするように変わつて来ているのである。

3. 鉄鋼生産技術体系の変革が、鉄鋼製品に対する社会の要求に、どのような変化を与えるか

ある工業の生産技術が上記のような変化を起こすと、その工業の生産する製品は、生産技術自体の向上と、生産技術に対する管理技術の適用が容易になることによつて、工程能力が向上し、目標とする製品品質が、より小さいばらつきと、より高い歩留りで生産できるようになる。このことによつて一方では需要家なり市場なりの要求、要望を満たすと同時に、他方では需要家の、より良い品質、もつと違つた性能、に対する要求、すなわち、要求の高度化、多様化の要求を誘起せずにはいない。需要家の要求や要望には際限がないからである。

工業の生産技術がある程度高度化した段階、つまり生産工程の内容が、科学的、工学的に把握できてブラックボックスの部分が多くなつた段階を、その工業がある程度技術的に成熟した段階と呼ぶとすると、成熟した段階に到達したことを認識せず、必要な対応策を用意しない場合には、その工業ないし、その工業に属する企業は市場への追従に遅れをとる可能性の強いことが知られている。

その最も顕著な一例が、ヘンリー・フォード1世とT型フォードの例である。周知のようにT型フォードは、その性能と価格、そしてスタイリングの故に爆発的に売れたのであつた。が、自動車がここまで使える物になつて来た、という大衆の認識は、数年を経ずして、より変化に富んだスタイリング、色彩、そしてよりよい性能を要求することとなり、黒色のT型フォード一本槍のフォード社は、倒産寸前に到るまでに市場を失つたのであつた。鉄鋼は大衆商品でないから、自動車ほどに歴然とした結果は招かないかも知れない。けれども工業の一分野である限り、工業の歴史の流れのなかで繰り返して来つて来た一般的現象を、鉄鋼工業だけが免れると考えるわけには行かないであろう。

「鉄は作れば売れる時代は終わつた。」という言葉がある。この言葉はもう十年近く前に聞かれるようになったが、この言葉の発明者が、鉄鋼生産技術の技術史に見た発展段階を意識して、それが、当時まさに経験主義的

体系から、合理主義的体系へ飛躍しようとする時期にあり、鉄鋼工業が生産技術的に成熟した段階へと踏み出しつつある、との認識のもとに創られたか否かにかかわらず、この言葉は鉄鋼に関係ある者に、ある種のアピールをしたのであつた。

この言葉の意味するところは「何」か。それに答えるには一般人の鉄のイメージはどういうものか、との質問から入るのが理解しやすいようである。

鉄鋼連盟主催の、鉄のある風景といった写真コンクールに出て来るのは、鉄の構造物が多い。一般的に、鉄骨、鉄塔、SLを含めた鉄道、鋏、ナイフなどが鉄のイメージを代表する。

こういつたイメージで代表され、そこから生まれて来る鋼材の価値観を、鉄鋼業界からの働きかけによつて変えて行き、より広範囲の需要を開拓して行くことが社会的に好ましいし、また、そうしてゆくためにも、鉄の持つ性能を、需要家によりよく理解して貰い、時と場合によつては使い方についてもアドバイスする努力が必要だし、そういう時代が来たのだ。というのが、先に挙げた、「鉄は作れば売れる時代は終わった」という言葉の、技術者としての解釈である。あるいは、技術史的に見た解釈と言つてもよいであろう。

鉄は幸運にも、作れば売れて来たが、他の工業材料ではどうであろうか。

鉄鋼の生産技術の多くの分野は冶金技術に依存している。錬金術の後継者の一方を冶金技術とすると、他方は化学技術と言えよう。冶金技術は高温化学を主体とする面もあつて、科学的、工学的な解明が遅れたために、近年に到るまで経験的に発展を続けて来たが、化学の分野では 19 世紀中葉に有機化学が飛躍的に発展して、今日の有機合成化学の全盛時代を迎えた。

有機合成化学の産物の合成樹脂、いわゆるプラスチック、なかでもエンジニアリングプラスチックと呼ばれるものは、プラスチックの製造技術が完成するや否や、場合によつては製造技術の完成以前から、その材料の用途、成型法そして彩色法などの利用加工技術に関する研究が広範囲に行われ、製品の発売と同時に需要家で使うために必要な、利用加工上の技術データが豊富に用意されているのが通例といわれる。

これに類することは、非鉄金属の分野でもかなり行われていて、銅、アルミニウムなどにおける用途開発のための研究は、かなり突込んだものが見られる。

鉄鋼材料においても、その性能の特徴が、鉄鋼本来の属性でない、と一般に認められる材料、鉄は錆びやすいと思われているのに錆びにくい材料であるステンレスチールの場合には、鉄鋼会社における利用加工技術の研究は、一般鋼材より遙かに深く立ち入つて行われている。

この例や、ティンフリースチールが実用に供されるま

で、鉄鋼会社を実施した広範囲な利用加工技術の研究例から見ると、鉄鋼工業としても、その材料が極めて新規性の高いもの場合には、需要開拓上その必要が感じられて、相当に深く立ち入つた利用加工技術の研究が行われて来たし、また、造船工業や自動車工業など、需要家側からの要請があつて必要の感じられた場合にも、鋼材開発の研究と並行して、突込んだ利用加工技術の研究が実施されてきたのである。

鉄鋼生産技術体系の革新的変化が、その製造工程の工程能力を飛躍的に向上させて、従来は工業的に生産不可能であつた新製品を出現させ、製品品種の多様化や、品質の向上と均一性の向上を達成させつつある状況は、前述のようにこの情況が市場に反映される結果として、より一層の品種の多様化、特殊性能、品質の均一化、そしてさらに付け加えて、加工工程でのトラブルフリーのための、たとえば、切削性、塑性加工性、表面処理性、熱処理性あるいは熔接性などに関連した品質保証、そして最終製品が機能を十分に発揮し、寿命を全うするためのたとえば、仕上げ外観、疲労強度、破壊靱性、耐蝕性などに関連した品質保証の要求が、急速に高まることを予想させる。

特に注目を要するのは、需要家の加工工程におけるトラブルフリーのための、鋼材に対する品質保証の要求と、最終製品が使用される場合の製品機能と寿命を満足させるための、品質保証の要求である。

需要家はなにゆえに鋼材を使うのであろうか。それは、需要家が、ある製品を作り、市場に出すうえで、鋼材の持つ機能要素の組み合わせを、コストも含めて有効に利用できる、と判断する結果である。

求められる機能要素は、需要家の現有設備を前提とした加工工程での加工の容易さ、製品仕上がりの良好さ、などに関連する多くのものと、最終製品が使用される場合に、その製品としての機能と寿命とを満足させるために必要な、いくつかのものが含まれよう。

需要家が、ある目的で購入する鋼材に要求している機能要素の組み合わせがどんなものか、それぞれの機能要素に対する要求の程度はどのようなものか、などに関しては、需要家との十分な接触によつても、詳細な点はわからないことが多い。共同研究によつて先方の生産工程の技術的調査解析が行い得れば幸運といわねばならない。と、すれば、鉄鋼工業側で、需要家の製造工程、あるいはその製品の使用状況に立ち入つて、鋼材に要求される機能要素はなにかを知るために最低限必要な研究を行い、そして必要とされる機能要素の組み合わせを満足する鋼材を創り出して行かねば、品質保証要求に十分な対応をとることは困難であろう。* 一例として、最近、石炭液化、ガス化装置として脚光を浴びようとしている圧力

** 要求される機能要素に対応して、鋼材側には特性値がある。鋼材の生産管理面では、特性値の組み合わせによつて鋼種が決定される。

容器用鋼材にの例をとって見よう。この鋼材が高温高圧状態で必要とされる強度を持つ必要があるのは当然である。出荷された鋼材は、塑性変形をあたえて所定の形状に加工される。加工中に破損しない必要がある。つぎに内容物が腐蝕性のものであれば内面処理がなされる。第1段階はスケール除去であるが、噛込みスケールの深いものがあれば苦情が出よう。内面処理がうまくできなくても問題となる。溶接についても溶接割れが起こらぬために、その鋼材のC当量を必要限度に押えるのみでなく、予熱、溶接法、SR処理などについても情報を提供するが常識化している。とくに、溶接熱影響部の靱性が重要で、脆性破壊の発生と伝播に関連して各種の評価試験がおこなわれる。容器ができ上がって使用に供される場合にも、溶接部の応力腐蝕はどのように進行するか、容器全体として高温高圧水素による脆化はどのように進むか、使用中の点検頻度、寿命は何年と推定するか、など多くの点について、材料供給者としての基礎的知見の提供を求められるし、限定された条件下における、各項目についての品質保証をも要求されるであろう。

信頼性の高い鋼材とはなにか、それは、その鋼材の品質にばらつきが少なく、使用する立場から見ての機能要素群が、一定以上の水準を保っている鋼材であろう。

需要家の名声を博し、信頼を得るための基礎は、需要家の立場に立つて鋼材に要求される機能要素の組み合わせを探し出し、それを具現化した鋼材を、安定した水準で生産し、供給するところにあるとすることができよう。

4. 情報化社会における鉄鋼製品の価値について

現代は情報化社会であるといわれる。

他方では、現代はサービス時代ともいわれ、物離れの時代ともいわれる。

花より団子という言葉があるが、これは目で見て楽しむ、という精神的価値よりも、食べて味わう、という生理的、物的価値が優先することを意味する。

団子が、いつでも、どこでも、ふんだんに食べられるならば、花より団子にならず、団子より花になるであろう。

ハードが十分にゆきわたると、ハードの相対的価値が低下して、ソフトの相対的価値が上昇する。

鉄鋼の生産技術体系が、近代科学技術の目で見ると、合理的体系へと移行しつつある現在、一応の品質水準の鋼材は、やや誇張すれば、いつ、どこでも手に入るようになってきた。これに伴って、ハードとソフトの相対的価値は、ソフト重視にならざるを得ない。

より多くの、より程度の高い機能要素群の要求と同時に、その鋼材をどのように使えば、使用者側のコストダウンにつながるか、とか、できた製品の性能が良いか、とか、寿命が伸びるか、といった情報のサービスが、より重要となつて来る。

現在すでにこの傾向は数多くの面で現実化している。

前掲した造船や自動車の場合のように、大幅なコストダウン、大幅な性能向上の意図を持つて需要家が協力を依頼して来れば、鋼材の開発とともに、先方の加工工程に立ち入って共同研究することが必要な場合が多い。

大きな土木工事やラインパイプの敷設の場合には、鉄鋼業界や、個々の鉄鋼会社は何年も前から、その工事の性格、環境、完成後の使用条件などの調査に参画し、そこで使われる鋼材に要求されるであろう機能要素群に関連した調査研究を実施し、必要とされる機能要素の組み合わせを決定し、それに応じて鋼材を開発し、製造法や生産技術も用意するし、その鋼材の使いかた、でき上がった後のメンテナンスまで検討して、技術情報を提供する場合も多い。

このような対応が、情報化社会における鉄鋼業としてのあるべき姿を示しており、鉄鋼製品の価値は、機能要素群として鋼材が具備する一群の特性値と、それを現実にかすために必要な情報との両者の組み合わせによつて、はじめて完全なものになるといえよう。

ここでもまた、新しい鉄の時代、成熟した鉄鋼業における、鋼材の加工利用技術の研究、鋼材が加工されそれによつてでき上がった最終製品が、その機能を果たし、寿命を全うするに到るまでの、鋼材に要求されるであろう機能要素群の全体に関する研究が、大きな役割を果たすこととなる。

生産技術革新のためのプロセス研究と並んで、製品技術研究が、今後の鉄鋼技術研究において、ますますその重要性を増すであろうことを指摘しておきたい。