

鉄鋼精錬プロセスの歴史的発展を熱力学的に類比しながら将来を展望すると

松 永 久*

Future of Iron and Steel Refining Process on the Analogy of Thermodynamics

Hisashi MATSUNAGA

1. はじめに

皆さん、お晩でございます。本日は、久しぶりの北海道での学会に際し、伝統あるこの研究問題懇談会で岩瀬先生のお薦めにより製鋼技術の発展について日頃考えていることをお話する機会を与えていただきありがとうございます。

鉄の歴史はいろいろな説はあるにせよ四、五千年前に直接製鋼法が始まり、三、四千年後15世紀ドイツはジーゲルランドで高炉が発明されたあと、製鉄技術の主流は間接製鉄法へ移行して参りました。その中で製鋼法は1856年のベッセマー法の発明以来溶鋼法がベースとなって製鋼技術が発展してきました。近年わが国においては1950年代から1960年代のLD転炉、真空処理技術の導入、1970年代の底吹き転炉の台頭、1970年代終わりから1980年代前半での高度溶銑予備処理法の普及、さらにはスクラップ予熱・炭材吹込みなどによる電気炉技術の拡大、転炉による100%スクラップ溶解技術、1980年代後半の国家プロジェクトによる溶融還元法の開発着手、FMS・CIM化の提案等、原料・エネルギーの多様化、製品のファインスティール化を背景に鉄鋼精錬技術は大きな進化をして今日に至っています。

もともと製造技術の発展の方向というのは、製鋼技術に限らずどんな技術分野でもその必然の方向へ向かって進化しているように思われます。その必然の発展方向と言いますのは大きく言って三つあると思うのですが、具体的には「品質的により良い」ものを、コスト的に「より安く」、そして納期的あるいは生産性という点から「より早く」製造できるプロセスの方向です。

一方熱力学はある意味においては気体分子運動論から

始まったとも言えまして、一個一個の気体分子のミクロのことはわかりかねる-仕方がないからマクロのことを考えていこうということで、だんだん経験的に構築されてギブスの貢献によって20世紀初頭に確立した学問で、「こういう体系であれば矛盾は生じない」というマクロの学問だと思います。そこで先に述べました製鉄技術システムの進化を、もちろん学問的にはいい加減ですが、熱力学第2法則を拡張することによって説明できるのではないかということをお話ししてみたいと思います。

鉄鋼精錬技術のこれまでの歴史的発展、今後の動向を熱力学の大法則を拡張すれば矛盾なく説明できるという意味は、基本的には熱力学第2法則すなわちエントロピー増大の法則で矛盾なくマクロスコピックに解釈できるということです。

2. 熱力学第2法則と精錬技術変遷へのアナロジー

通常熱力学第2法則をエントロピー増大の法則というのは、自然現象の変化は手をこまねいていると、どんどん混沌たる状態に進んでいって最後は熱死の状態に至るといわれているからだと思います。けれども、学問的には必ずしも厳密ではありませんが、非常に拡張した考え方で言えば、感覚的に何も全部混沌なる状態、混沌たる宇宙が一番エントロピーの高い状態ではない。何らかのエネルギーを消費することによって、システムを構成する部分系のエントロピーを下げる如果能够できれば、その部分系を含む系全体のエントロピーというのはむしろ増大する方向に行く訳です。

技術の発展にしましても、製鉄技術なら製鉄技術とい

平成2年3月31日受付 (Received Mar. 31, 1990) (依頼展望) 平成元年9月28日第22回研究問題懇談会における講演原稿に一部加筆。

* 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所(現:中央研究本部) 工博(Muroran Works, Nippon Steel Corp., Now Central R & D Bureau, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku, Tokyo 100)

Key words: iron and steel refining process; thermodynamics; secondary refining; clean steel; scrap melting; smelting reduction; fine steel.

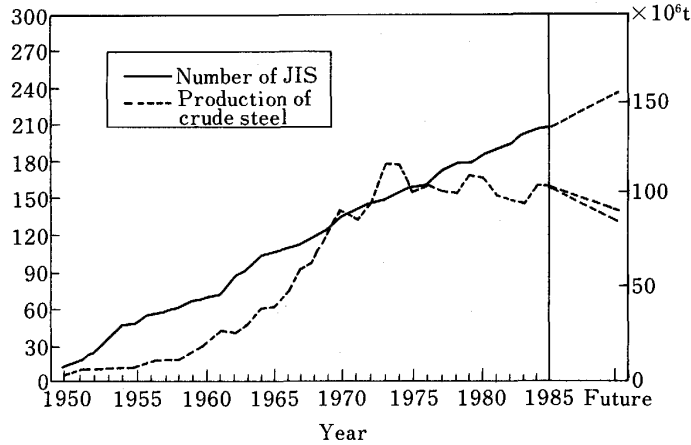


Fig. 1. Changes of production of crude steel and number of JIS¹⁾.

うシステム全系のエントロピーが増大する方向にどんどん技術は進展しつつある。すなわち、いずれにしましても、何らかのエネルギーを消費することによって部分のエントロピーが下がり、それが全体のエントロピーを増大する方向に進化していくと考えるわけです。

鉄鋼精錬技術の場合で具体的に考えてみますと、鉄鋼技術なら鉄鋼技術の進展を図るためにあるエネルギー、鉄鋼技術者なり研究者の叡智というエネルギーを消費することによって、鉄鋼技術を構成している部分系のエントロピーが小さくなるような状態を作りだし、それが全体のエントロピーを増大させる方向に鉄鋼技術は発展してきたと考える訳です。

3. 製品・製造プロセスの多様化と単機能化

鉄鋼技術というシステムを構成している部分系のエントロピーが小さくなるような状態というのは二つの言葉で表されると思います。一つは多様化ということであり、もう一つは単機能化ということです。その多様化の裏はらにそれぞれの部分系のもが単機能化していくということで系全体が多様化する方向を支えていくと考えられると思います。

例えば、原料・製品でありますとかプロセスとかは鉄鋼の生産量がプラトーに達した現在でも多様化する方向に進んでおります。ただ自然の状態では部分系が単機能化できませんので、何らかのエネルギーを消費して部分のエントロピーを下げる状態で全体が多様化していきます。それらの裏腹としての単機能化、すなわち製品にしましてもプロセスにしてもすべて大昔から比べると単機能化の方向へ進んでいて、この多様化、単機能化という観点からいろいろな例が見受けられると思います。

例えば、製品の場合で考えてみますと、Fig. 1 に示す粗鋼生産量というのご承知のように昭和 48 年のオイルショックでピークになりまして、粗鋼量で 1 億 2 千万 t くらいまで達した後、途中 54 年の第 2 次オイルショックの近傍でちょっと量が増えてますが、あとは減ったり増えたりということで、直近で 1 億 t 前後ということ

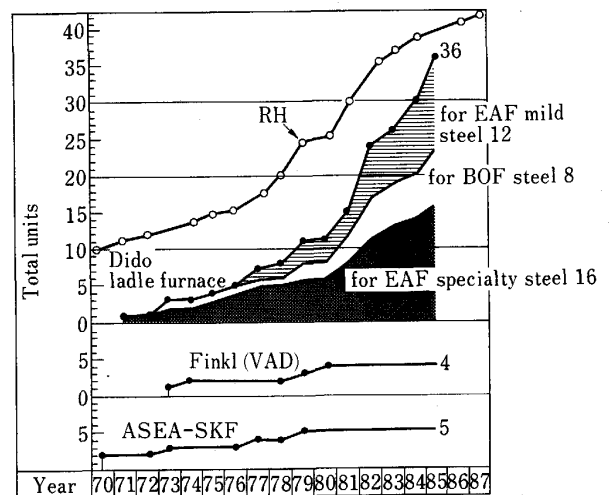


Fig. 2. Number of various secondary refining processes in Japan²⁾ (Modified by author).

で飽和状態になっています。一方 JIS の規格数は、ずっとリニアに増え続けています。

そこで過去に遡っていきまして江戸時代というのは何種類の鋼があったのかというふうに考えてみますと、厳密に調べた訳ではないですけども、いわゆるズクと呼ばれる銑鉄、玉鋼と呼ばれるカーボン 1% 程度の日本刃などを作る玉鋼ですね、それからそれを更に固体状態で脱炭した包丁鉄、中世のヨーロッパで言えば鍛鉄とか錬鉄とか言われるものがある訳です。ですから、それらが何種類かに分化していたにしても多分江戸時代というのは規格数で数種類 (10 のゼロ乗オーダー)、それが今や JIS だけカウントしても 10 の 3 乗に近い、出鋼規格数にすると 4 乗は楽に超えると思います。こういうふうに製品そのものも、非常に多様化していることはこの事実からも言えると思います。

こういう製品の多様化に伴いまして、製造プロセスも非常に多様化しておりまして、例えば 2 次精錬の導入も多様化の一種と言えると思いますが、その設備数が非常に増えてきているということがいえます。例として RH

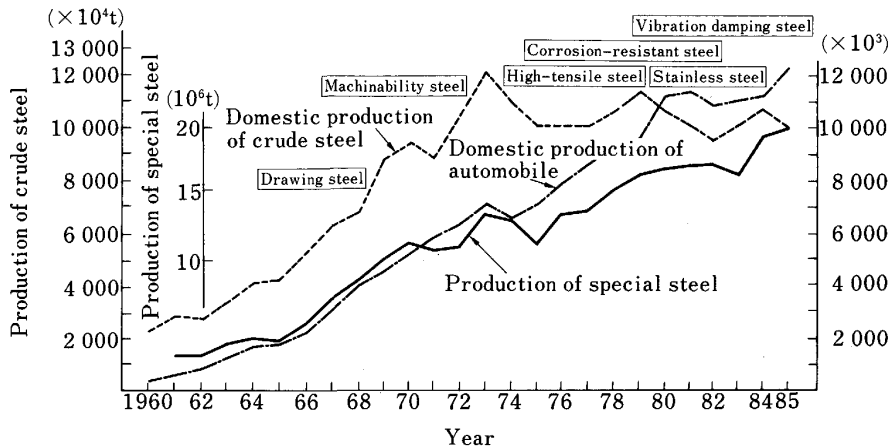


Fig. 3. Production of special steel and automobile³⁾ (Modified by author).

の設置基数あるいは LF の設置基数を追って見ますと (Fig. 2), いわゆる成長ロジスティック曲線のような時間で微分したものがそのものに依存するというような形の微分方程式で表されるような、伸びになってきているということからも製品の多様化に伴って 2 次精錬等の製鋼プロセスの多様化が進行しているといえると思います。

それから Fig. 3 も良く知られているグラフですが、日本の鉄鋼生産は昭和 48 年のオイルショックがピークで、それ以降はどちらかと言いますと 1 億 t 前後のフラットな状態を続けている訳ですが、今の定義による特殊鋼の生産量を見る限りは、まだプラトーに達していないということが言えます。この辺も非常に製品の多様化現象の現れであると考えております。この場合、特殊鋼の生産量と非常に大きい時系列相関が出るのは、日本の自動車生産台数でありまして、ここにありますように自動車生産台数と比例して全体の粗鋼生産量はプラトーに達しているにも関わらず、特殊鋼生産量はほぼニアに増え続けています。こういうふうには、製品そのものも非常に多様化している、それから製造プロセスも多様化している訳です。

3.1 直接製鋼法から間接製鋼法へ

プロセスの多様化の中で、歴史的に見て多様化、単機能化という中で最もエポックメイキングだったできごとは直接製鋼法から間接製鋼法への移り変わりであり、製鉄システムのエントロピーの上がる最もインパクトの大きい事件であったと考えています。

冒頭に申し上げましたように鉄の歴史が始まって高炉が発明されるまで、三、四千年は直接製鉄の時代であった訳です。すなわち、鉄鉱石を還元して直接鋼を作る。銑鉄という状態を経ずに、鉄鉱石を還元してダイレクトに鋼を造るというプロセスで鋼の生産が行われていました。それが 15 世紀に先ほど申し上げました高炉が発明されて、割り切った言い方をすれば還元プロセスと酸化プロセスに機能分化を始めたのがこの 15 世紀で、それ

以降機能分化された形の間接製鋼法が最も進化した形になりまして、この間接製鉄法が鉄鋼精錬の歴史の中でリファインされつつ今日に至っています。

還元プロセスとしての高炉法は、基本的にその後の五百年間プロセスそのものは変わりませんでした。酸化プロセスとしての製鋼法につきましては、その後大きく変化しました。最初は銑鉄を固体状態で酸化反応を行う方法でしたが、その後だんだん進化していきまして、パドル法ができ (高温技術がない状態で溶銑を酸化反応させますと、銑鉄段階では液体であっても、必ず融点が上がってくるので固体状態になる。それを無理矢理作ろうとしたのがパドル法であった訳ですけども)、その後 1956 年のベッセマーの溶鋼法の発明から溶鋼法の時代になる訳です。このようにいろいろプロセスそのものの変化はありましたが、直接製鉄法より間接製鉄法の方がより進化した形として定着していったと考えられます。

私が強調したいことは、技術というものは常に進化していく。生物が進化したように技術も進化していく。けれどもより進化したものがいついかなる場所でもベストである保証はない。あくまでもある進化した (有利な) 環境下であってこそ、より進化したものが最も優れたものであるのです。技術の場合も同じで直接製鉄法よりも間接製鉄法の方がより進化した技術体系なのですが、環境条件が非常に変わった状態、特異な状態でもそのプロセスが最も有効であるとか最も効率がいいとかということは全然議論が別だということです。ある特定の環境条件の中では立派に生き続けていくからこそ、製鉄技術システム全体のエントロピーは上がった状態になっていくのだと解釈できるように思います。

生物の進化論の場合には住み分け、ニッチ (Niche) という言葉がありますけれども、「人間が非常に進化した形で住んでいる環境の中でも人間が住めないような特殊なところには別の生物が住み分けて、それによって生物システムが多様化していく」ということですが、製鉄技術の進化の場合も同様だと思います。

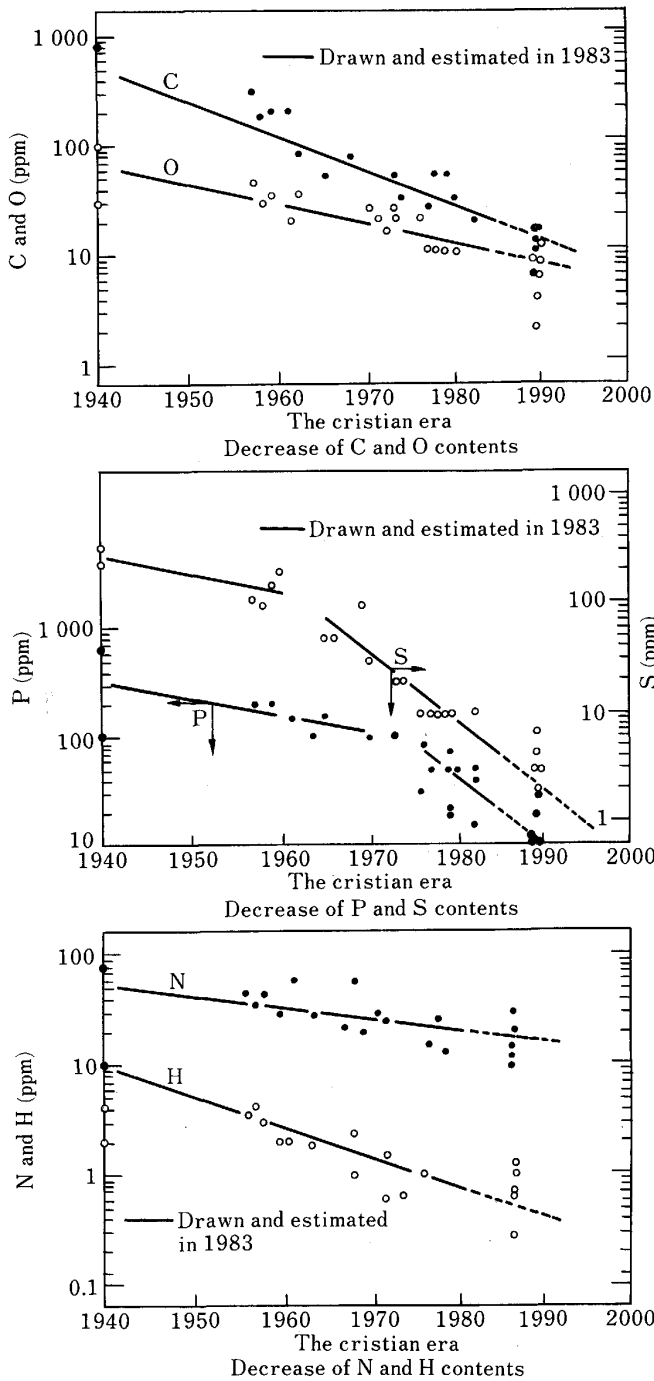


Fig. 4. Decrease of C, S, P, O, N, and H contents in product with times⁴⁾.

3.2 高純化

鉄を含む合金系の中でエントロピーの低い状態は当然純粋な物になってくる訳ですから、純鉄に近いものを作っていこうという努力を人類はずっと続けてきています。

Fig. 4 は有名なグラフなのでご存じの方も多と思いますけれども、例えばサルファなどが一番ポピュラーだと思えますが、回帰線の外挿によりますと 2000 年くらいには 1 ppm 以下になる、それからりんも 10 ppm 以下

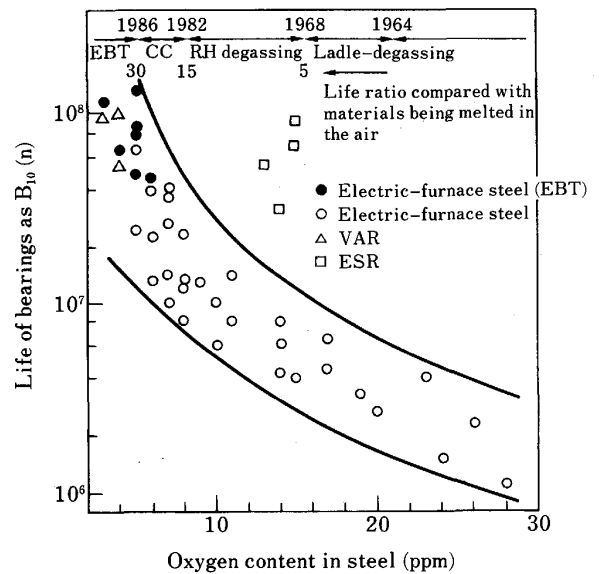


Fig. 5. The relationship between life of bearing and oxygen content⁵⁾.

の技術ができてくるだろうという未来予測です。私はこういうアプローチはマクロスコピックなアプローチとして興味がありまして、紹介している訳です。このような高純化の動きの中で、酸素の動きの代表例として、軸受鋼の場合があるかと思いますが (Fig. 5)、私もこのようになっているとは思わなかったのですが、戦後ずっと鋼中酸素が下がるのに伴って B_{10} 寿命 (100 個のベアリングを動かしている時 10 個が壊れる寿命) ですが、これがずっと桁違いに伸びていったというデータで非常に感銘深かった訳です。私が入社した昭和 35 年当時と比べるとこの講演のありました頃で 1 桁以上寿命が伸びている、酸素についても数分の 1、一桁までいきませんけれども下がっています。

3.3 単機能化と連続化

先ほどお話ししました単機能化、言い換えますと機能分化という形は昭和 50 年代のわが国の精錬技術の高純化対策の手段として鉄鋼各社で実現されています。具体的に申し上げますと高度溶鉄予備処理技術の開発が行われ、脱けい、脱りん、脱硫が予備処理工程で実施され、従来の転炉の機能はほとんど脱炭のみと単機能化が進められて来ています。Fig. 6 は一貫製鉄所における最も分化の進んだ精錬工程の例を示しております。

また電気炉の世界でも単機能化が急速に進行していることはご承知のとおりだと思います。

30 年ほど前は電気炉というのは高級な物、今のベアリングのようなものを作っており、電気炉操業の場合は溶解期があって、それから酸化期があって、還元期をやって出鋼するというプロセスであった訳です。ご承知のようにそれが機能分化されまして、今は溶解期の中の一部はスクラップ予熱をやり、それから電気炉で溶解精錬後、

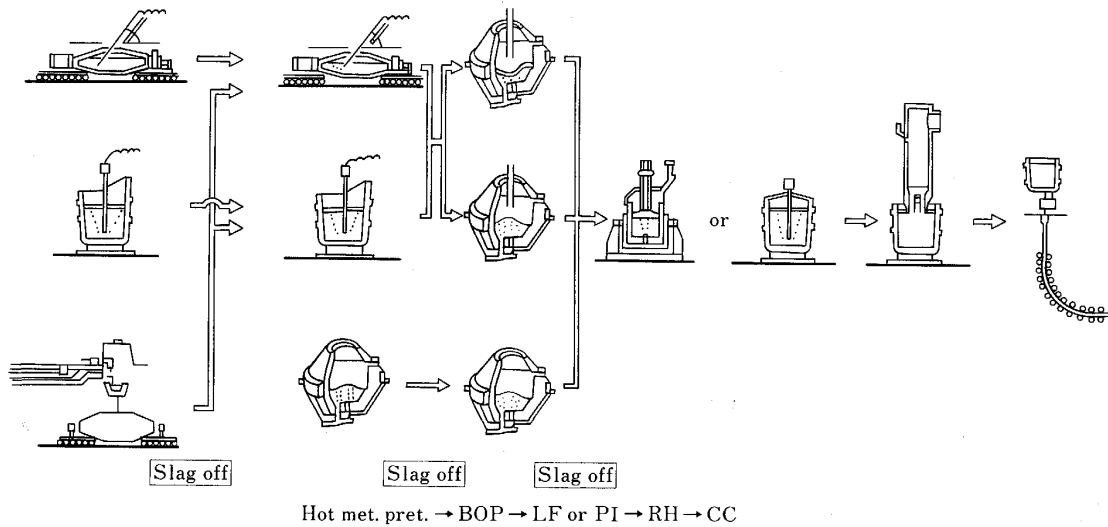


Fig. 6. Typical manufacturing process for super clean steel⁶⁾.

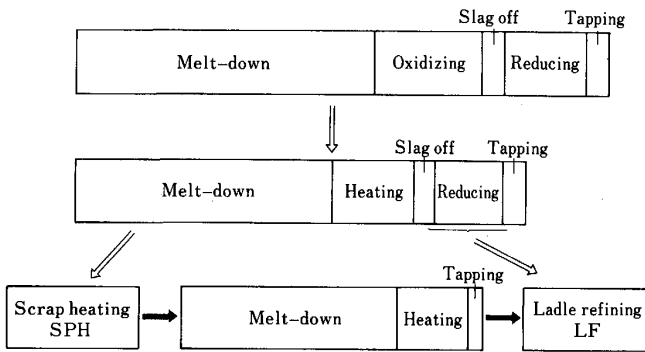


Fig. 7. Functional specialization and continuity of electric arc furnace⁷⁾.

LF で還元期の機能を持たせ、それから RH とか ASEA 等による脱ガスというプロセスも付け加えるというふうに進化してきている訳です (Fig. 7)。

この辺の進化の様子も先ほどの拡張熱力学の第 2 法則によれば、ある意味では必然の方向へ進化しているということが言えるかと思えます。

4. 成熟社会と製造技術の多様化

このように多種多様に技術は進化していく訳ですが、一方で鉄の需要と今後の技術の発展を考えます場合に、スクラップの問題が残ります。Fig. 8 は鉄鉄の例で各国一人当たりの生産量の推移を示しています (鋼の場合の適当なグラフが見つからなかったため、鋼の場合も同じという類推でこのグラフを使っております)。1 人当たりの年間の消費量というものが、だいたい対数で直線、ですからエクスポネンシャルに増えていきまして、時間がたつとそれが飽和して落ちるといったパターンが今までの歴史上言えるかと思えます。イギリスの場合ですと数 kg/人/年のものが、最大値まで到達するまでに約 100

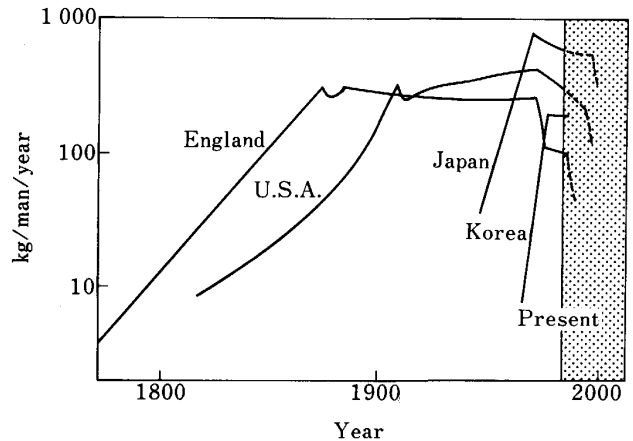


Fig. 8. The changes of per capita productions of pig iron⁸⁾.

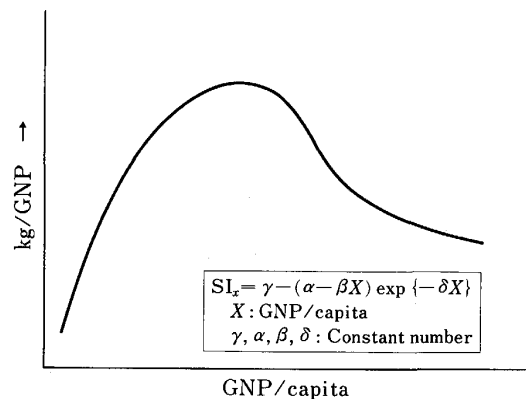


Fig. 9. Steel intensity curve⁹⁾.

年かかっています。アメリカも 10 のゼロ乗 kg から 10 の 2.4 乗とか 2.5 乗 kg まで達するのにおよそ 100 年かかっています。日本の場合比較的短時間でこのピークに達しています。

一方、鋼の消費量は GNP に依存すると言われてますけれども、GNP の 1 人当たりの消費量と 1 人当たりの GNP とで相関をとりますと、通常スチールインテンシティーカーブと言われています (Fig. 9)。これは経験値ですから全く理論的な意味はありませんけれども、国があるいは社会が発展・成熟するにつれて、1 人当たりの消費量は増加します。しかしその後はいったん低下してあるところまで下がってしまうということが通常言われておりまして、日本もそういう成熟社会に入ってきているということが言えるかと思えます。

4.1 スクラップの蓄積と 100% スクラップ溶解法

こういう成熟社会に入ってきますと、スクラップの問題がどうしても大きくクローズアップされてきます。鉄鋼連盟で整理した老廃物の発生推移と将来予測ということちょっと古いデータですが Fig. 10⁹⁾ に示してあります。この鉄鋼連盟の予測というのは生産した粗鋼からできる製品が自動車であれば平均寿命はいくら、それか

ら輸出がいくらでそれは日本という系外に出してしまうというようなことをずっと積み上げて計算しているものです。Fig. 10 に見られるように老廃物は増えていくというのは誰もが想像しているとおりであります。それではその結果として直近どのような状況になっているかを見てみます。Fig. 11 は最近の鉄屑発生量を実績ベースで公表文献からとったものですが、昭和 58 年からとっておりますけれども国内のスクラップ発生量は 2800 万 t くらいから増えまして、昭和 63 年度で 3340 万 t というところまで増えてきています。非常に興味深いのは、図中の輸入屑が徐々に減ってきているという事実です。と同時に、これは私自身認識していなかったのですが、3~5 万 t と量的には非常に少ないのですが、日本自身が昭和 60 年頃からスクラップの輸出国になってきているということです。スクラップが輸出されるような環境に日本の国自身になりつつあることは、それだけ成熟社会に変わってきているということが言えると思えます。

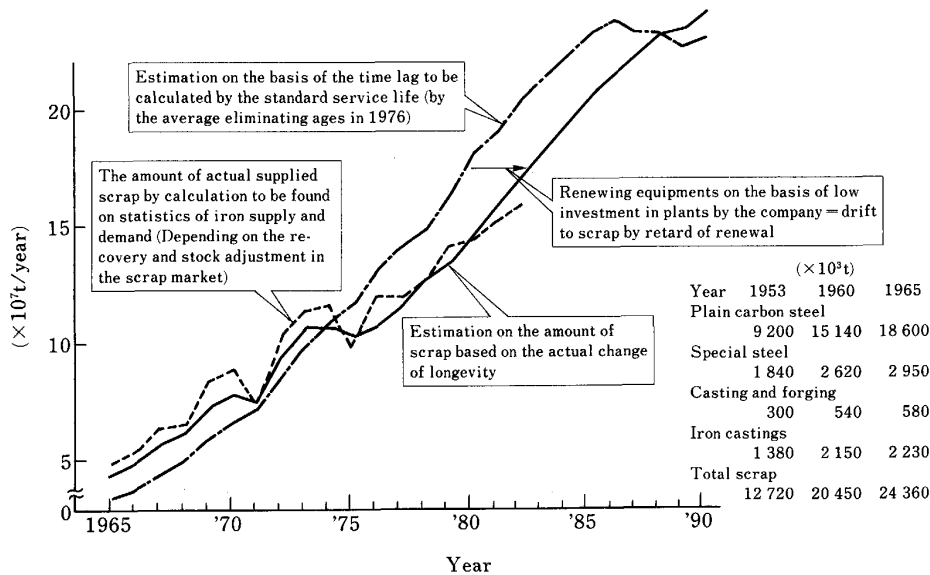


Fig. 10. Change and estimation on the amount of scrap¹⁰⁾.

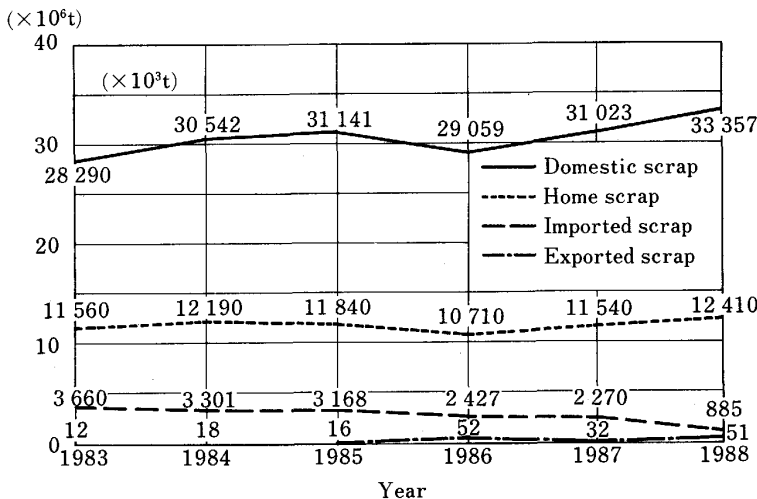
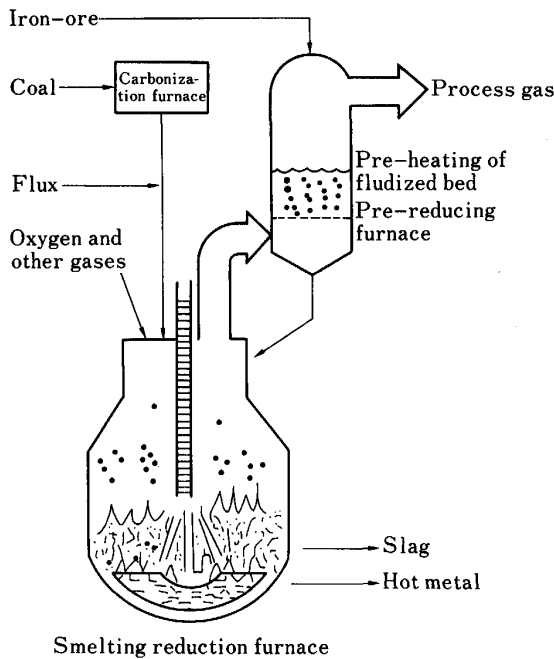


Fig. 11. The amounts of iron scraps in Japan¹¹⁾.

Table 1. Examples of 100% scrap melting method¹²⁾.

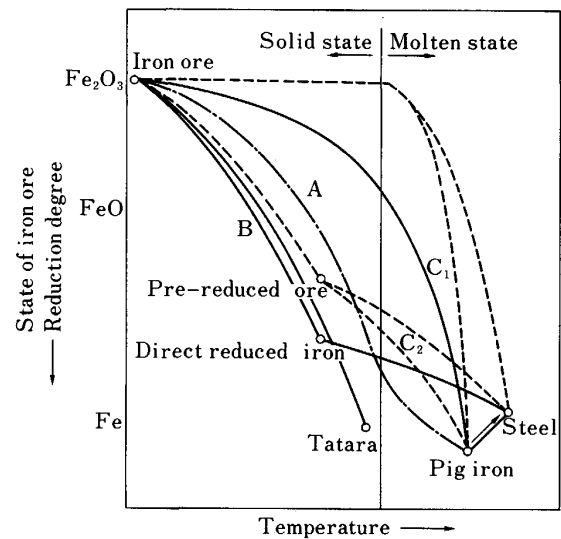
Process	KS	Sumitomo	Kawatetsu	Daido	U. S. S. R
Scale (t)	125	7	5	1	~350
Steelmaking capacity (t/h)		15	7~9	0.41	Operating time 58~63.5 min Pre-heating time 18~22 min
Pre-heating of scrap (°C)	500	—	—		
Oxygen consumption (Nm ³ /t)	280	180~200 (Bottom blowing ratio 5%)	150~200 (Bottom blowing ratio 0.30%)	147	100~105
Coal consumption (kg/t)	247 (Brown coal)	200~250	150~250	116	70 (Anthracite)
Method of coal addition	Bottom injection	Lump coal (Bed coke)	Breeze coal from top (Bed coke) 150 kg		Lump coal from top
Post-combustion ratio				30~50	
Sulfur content in molten steel	0.04	0.2~0.03	<0.03 at C>3%		

Fig. 12. Schematic diagram of DIOS process¹³⁾.

こういったことを受けて、各社ともスクラップに対してはそれぞれ意識を持っていますし、そのためにいろいろなスクラップ溶解プロセスを開発している訳でございます (Table 1).

4.2 溶融還元法

それから日本の溶融還元法の場合は DIOS ということで (Fig. 12), これから NKK さんに建設されるパイロットプラントでいろいろ共同研究していく訳ですが、日本の場合は工程分割型といいますか、溶融還元ではいわば擬似溶銑、鉄カーボン系の酸素ポテンシャルの非常に低い状態まで還元したのから出発してその後製鋼するという考え方をとっております。一方、アメリカで AISI 中心に、ある程度の DOE の補助金をもらって開発をすすめている溶融還元法が、ご承知の方も多いと思いますけれども、これが直接製鋼法指向となっております。



A: Blast furnace
B: Direct reduction furnace + Electric furnace
C₁: Smelting reduction furnace without pre-reduction furnace
C₂: Smelting reduction furnace with pre-reduction furnace

Fig. 13. Relation between reduction state and temperature in various ironmaking processes¹⁴⁾ (Modified by author).

す。ですからこれまでの製鉄技術発展の方向からみてこの開発結果がどうなるかということにつきましては、これからの議論になるのでしょうかけれども、私自身興味をもって注目しております。

Fig. 13 は溶融還元の説明に関するレビューを一部加筆させていただいていますが、ある酸化状態の鉄鉱石から還元していった、鉄の状態とする。そして溶銑というのは鉄よりさらに還元状態が強く、それから酸化して鋼に戻すという工程を示しています。それが今までの江戸時代のたたら法あるいは中世のヨーロッパで言えば 15 世紀までの直接製鉄であればこの状態から還元していった鉄に近いもの、もう少し還元してさらにカーボンの多いものまで造るわけです。それに対しまして現在日本で

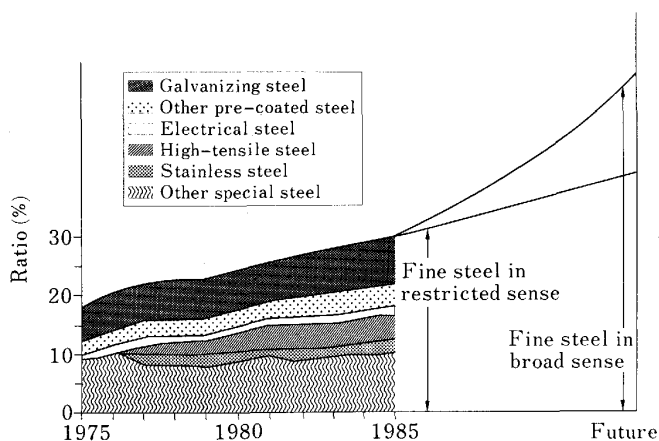


Fig. 14. Progress of fine steel¹⁾.

共同研究をすすめている DIOS の溶融還元法はこういう状態で溶融状態までもって行って、それで鉄カーボンを擬似溶銑にして鋼に戻す。アメリカの場合は溶かして行ってダイレクトにスチールにするということで、明らかにプロセスが違います。いったん、分化した形での効率を追求するのか、あるいは直接もっていくのかとの差になっております。

日本の DIOS の方が共同研究のスタートは早く、アメリカの溶融還元の研究はその後着手していますが、どのような考察でこういうふうな結論になったかということは非常に興味深いと思います。私はマクロ的には日本の方がより進化した形であると考えますが、先ほど来申してますように、より進化した形がすべての環境で最も優れているということは逆に言えないことも申し述べてきたとおりです。人類がこれだけの活躍ができるというのは最も進化していて、かつ一番都合のいい環境を占領しているからと考える訳です。熱湯の中だとか北極の氷の中だとか非常に圧力の高い海底だとか、そういうところでなくて一番都合のいいところを占領して人間が一番威張っているのですが、少なくとも溶融還元という技術形態の中で比較する限りは私は日本の DIOS の方が進化していると考えています。ですからアメリカの溶融還元法というのはアメリカの風土に合った条件の場合にニッチェを確保できるというふうに予測をしております。

4.3 ファインスチール化と FMS 化, CIM 化

こういう方向で更に考えていきますと、ファインスチールが増えていくというのが通産省の諮問機関での議論の結果だったと聞いておりますが、私自身も正にそのとおりだと思います。ここでいっているファインスチールというのは相当広義のファインスチールですが、Znめっき鋼板、表面処理鋼板、電磁鋼板、高張力鋼板、ステンレス等々に進んでいく、正にそのとおりとなくなっていくんだらうと考えております (Fig. 14)。

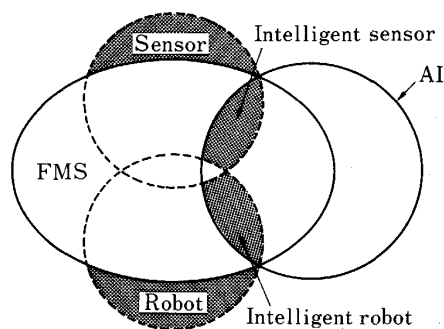


Fig. 15. Schematic concept of elemental technologies such as FMS, AI, Robot, and Sensor¹⁵⁾.

ただ、このように製品は多様化する方向にいく。それに対応するためにプロセスも多様化していく。一方鉄自身の他の機能材料との競争力ということを考えますと、単に自然の流れだけに任せていくと競争力そのものも無くなってまいります。このような現象はエントロピー増大の法則というのは自然の流れであり、自然のなすがままに任せていきますとエントロピーが増大しすぎて熱力学でいう熱死の状態になっていく現象と同様と考える訳です。

このような状態を避けるためにはやはり、製造技術そのものを進化させていかなければならない訳です。そのためには非常にポピュラーなことですけれども、多様化の時代に耐えていくためにはフレキシブルマニファクチュアリングシステム、FMS 化、直近では CIM という上位の概念に移りつつありますが、こういった方向に進まざるを得ない。しかし、いずれにせよ製鋼技術という場合を考えますとやはりこの FMS あるいは CIM 等の動きが遅れていくとエントロピーが不必要に大きくなりすぎて熱死の状態になる可能性があると思います。

そのためには FMS 的なもので不必要にエントロピーが増大しない状態に持つていく必要があるだろうと思います。そこで製造部門としてこれから必掛けなければならないのは、一つは AI の問題でありましょうし、それから従来であれば人間の感に頼ったセンサーの問題もあるし、また言い古されたことですが単純重筋労働的な作業をロボット化していく努力が必要でしょう (Fig. 15)。

5. 製造プロセスの今後の展望

いろいろお話ししてまいりましたけれども、今後の鉄鋼業というものをどういう方向で考えていかなければいけないのかということ、昨年出版されました平成元年版の経済白書との対応で考えてみたいと思います。昨年の経済白書は新聞にもとりあげられていますのでご存じの方も多いと思いますが、日本経済は昭和 60 年のプラザ合意後非常に円高になりまして、その後円高不況を通り抜けて構造的に非常に変わりつつあるということ強く

Table 2. Prospects of iron and steel industry for the future.

Japanese economy in new stage	Steel refining technology in the future
<ul style="list-style-type: none"> · Advancement <ul style="list-style-type: none"> — Diversification — High grade — Vast information · Globalization <ul style="list-style-type: none"> — Increase of imported products — Interaction with world economy · Stock <ul style="list-style-type: none"> — Store of property — Free finance 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Diversification of product</u> <ul style="list-style-type: none"> → Diversification of steelmaking process → High quality and purification → Fine adjustment for chemical composition → Increase of small lot → (Necessity of short delivery time) <u>Overtaking of NIES</u> <ul style="list-style-type: none"> → Increase of labor productivity → Discrimination (Depending on quality and delivery time) <u>Increase of scrap stock and production</u> <ul style="list-style-type: none"> → Variety of scrap melting process → Selecting and processing technologies → Refining technology for removing tramp-elements <u>Increase of demand for new steel</u>

調しております。その経済白書の新段階の日本経済、これだけ円高になって金融大国になりつつあるという中で日本経済を三つのキーワード (Table 2), すなわち、一つは高度化、一つはグローバル化、もう一つはストック化という言葉で新段階の日本経済は変貌しつつあると述べています。

高度化といえますのは多様化であり高級化であり情報化であるという風に経済白書の中では言っております。若年層の好み等についてもますます多様化して自分の物を追求する世の中に成っていますし、自動車なども今はむしろ上等な自動車ほど売れるというような時代になってきています。情報化も非常に進んでちょっとしたことがインパクトになるということが指摘されています。そういった日本経済の新しい段階を受けてやはり今後の鉄鋼精錬技術というものも経済活動の一つですから、こういう状況がどう跳ね返ってくるかということを考えてみますと、製品はますます多様化していきだろろうと思えます。またその結果として、製鋼プロセスの多様化というものも製鉄技術システム全系のエントロピーという見地からも今後ますます進むだろうと考えざるを得ません。多様化と裏腹には単機能化(それを含めた多様化ですけども)という状況が更に進んでいくと思えます。2次精錬プロセスにしてもあるいはそれぞれの製品の用途に応じたプロセスというのが多様化せざるを得ない。それから、当然多様化というのはそれぞれの製品にしても機能分化となりそういうことが行われる訳ですから同時により高品質の成品が要求されるでしょう。高品質の一つの事例としての高純化というものも追求されていくでしょうし、それからますます製品にしても単機能化していく訳ですから、成分の狭幅化というものの要求というものが増えていくことが想像されます。また製品サイズというものはますます小ロット化していくことでしょう。

こういう時代の流れの中であって製鉄技術の発展もあまりにも自然に任せていますと不必要にエントロピーが増大しすぎてにっちもさっちもいなくなるのが想定されます。ですからこのような環境条件に耐えられるよ

うな技術体系をつくる努力が必要と考えるわけです。また一方で地球の環境汚染が非常に問題になっていましてけれども、増大したエントロピーがうまく自然に宇宙に放出される速度以上にエントロピーの増大が起こったという解釈もできる訳です。先ほど申し上げましたように、不必要に製鉄システム系のエントロピーを増大させることなくかつまた要素技術のエントロピーを過度に下げすぎてプロセスの柔軟性、多様性を損なうことがないように製鉄技術を指向して、宇宙へ放出するエントロピーとのバランスを保つことが重要と認識しております。

それから、日本経済新段階になっての2番目の課題はグローバル化です。国際化が進行する中で製品の輸出・入が増加いたします。それらに伴い世界経済との相互関連がますます増えてきており、日本1国だけの利害のみで行動できるような時代ではなくなってきているということは良く言われているとおりであります。これを鉄鋼業界に置き換えれば、当然ニース諸国の追い上げというのは非常に大きくなっております。従って労働生産性の向上をはかるような方向の研究、それからいっそうの差別化、高品質、短納期化をすでに指向している訳でございます。差別化の中で非常に大きなのはやはり短納期ということと需要家の要求に対するきめの細かい対応というようなことが大きい決め手になると思えます。こういうようなことで対抗していくような技術を研究していく必要があるかと思えます。

それから3番目に経済白書がキーワードとして言っていますのがストック化ということです。これは資産の蓄積、金融の自由化ということが言われている訳ですが、資産の蓄積の例で申し上げれば先ほどお話ししましたように、スクラップの日本国土に対する蓄積というのはそうとう急激に進んでいる訳です。これによりましてスクラップの発生量も増えてきているということでスクラップ溶解プロセスの多様化というのも積極的に推進されると予想をしております。それから、各種の処理選別技術も要請度の高い研究課題になりつつあると思えます。ニースはよく認識されているのですが、なかなかいい

シーズが無いということで、「鉄と鋼」等にも極めて少数の報告しか見られませんが、何かブレークスルーがあればトランプエレメントの除去技術も大幅な研究開発が進むと期待をしています。と共にやはり新鋼種と申しますか、より需要家ニーズに合った鋼種での需要拡大を図っていく必要があると考えています。

6. お わ り に

熱力学第2法則、すなわちエントロピー増大の法則を類推・拡張することにより、鉄鋼精錬技術の歴史的発展、今後の展望を矛盾なく説明できるのではないかという見地からいろいろなこととお話ししてまいりました。私として言いたかったことは、製鉄技術の発展というのはあくまで製鉄技術を構成する要素技術、すなわち部分系のエントロピーを何らかのエネルギーを消費することによって低下させ、製鉄技術システムという系全体のエントロピーが高くなる方向に向かうことが必然であるということです。

そこでその系の部分技術のエントロピーを下げるエネルギー源は何かということですが、これは当然のことですが、製鉄技術の改善・開発に携わっている人達の努力、あるいは叡智というエネルギーを消費することによって要素技術のエントロピーというか、部分技術系のエントロピーを下げていくわけです。ですから、努力がなければ自然状態では部分系のエントロピーは上がりませんから、そういう努力によって部分系のエントロピーを下げ、

それがひいては製鉄技術システム全系を進化させていくのだと思います。

いろいろ収束しない話ばかりでしたが、これまでの鉄鋼精錬の発展と今後の方向ということについて私の感じていることを話させていただきました。なお、最後に本日のテーマを整理するにあたって私の職場での同僚吉田正志氏とのディスカッションが非常に有益であったことを付言して私のお話を終わりたいと思います。ご静聴ありがとうございました。

文 献

- 1) 通商産業省: 私信 (1989年3月)
- 2) 齊藤泰郎: 工業加熱, **23** (1986) 1, p. 48
- 3) 鉄鋼界報, 第 1456 号 (1988年9月11日)
- 4) 雀部 実: 私信 (1990年3月)
- 5) 上杉年一: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1889
- 6) 江見俊彦: 第 90・91 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1983), p. 59
- 7) 小倉貞一: 第 114・115 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1986), p. 12
- 8) 馬野周二: 栄枯衰勢の科学 (1986), p. 58 [PHP 研究所]
- 9) 鉄鋼界, **6** (1989), p. 54
- 10) 鉄鋼界, **33** (1983), p. 22
- 11) 日本鉄鋼連盟・鉄鋼統計委員会資料
- 12) 吉松史朗: 第 114・115 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1986), p. 296
- 13) 鉄鋼新聞 (1989年6月15日)
- 14) 浜田尚夫: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1991
- 15) 鉄鋼界報, 第 1477 号 (1989)