

転炉技術の展開と今後の展望

展望

島 孝 次*

Advance and Prospect of Technologies on Converter

Takatsugu SHIMA

1. 緒 言

上吹き酸素転炉法 (LD 転炉) の技術導入は戦後の日本の鉄鋼生産を革新する上での重要な柱の一つであった。この技術は製鋼の生産性の向上とともに鋼材の品質向上にも大きく作用した。

1957 年の初稼動から 1979 年にいたる約 20 年間の日本における研究および技術進歩については、日本鉄鋼協会特別報告書 No. 33 「我が国における酸素製鋼法の歴史」¹⁾ に詳しく述べられている。

1980 年以降も転炉法に関連して種々の研究、技術開発が進んだが、その主なものは、次のとおりである。

- ①酸素底吹き法を經由して上底複合吹錬法へ展開
- ②溶銑予備処理法との組合せによる高純度鋼、高纯净度鋼溶製、およびマンガン鉱石直接使用などによるコストダウン技術の進展
- ③品質向上およびコストダウンの視点から真空処理技術を中心とした二次精錬の普及
- ④計測・制御手段の進歩による、成分、温度的中率向上から自動吹錬への展開
- ⑤炉寿命延長、耐火物原単位の低下
- ⑥溶融還元やスクラップ溶解などへの機能拡大

本特集号においては、これらについての最近の技術進歩がまとめられている。さきにあげた「我が国における酸素製鋼法の歴史」と合わせて、転炉製鋼技術の発展をまとめた形で把握できる貴重な資料になると思われる。

本稿では転炉法関連の技術進歩の流れを概観し、今後の技術進歩の方向を展望してみたい。

2. 発表件数の推移からみた研究・技術開発活動

LD 転炉技術導入から今日までの約 30 年間の、転炉に関連する研究、技術開発の活動のウェイトを反映するものとして、日本鉄鋼協会の講演大会および製鋼部会で

の発表件数の推移を調査した。

ここで、「転炉に関連する発表」としてカウントしたのは、転炉の設備、操業、計測・制御に関するものほかに、転炉スラグ、転炉用耐火物関係、溶銑予備処理 (ただし、脱硫だけを目的とするものは除いた)、およびスクラップ溶解、溶融還元 (転炉を用いたものに限定した) である。

図 1 に示した調査結果は次のように読み取ることができる。

①講演大会発表における発表は 1961 年頃から増え 1966 年に最初のピークを示す。製鋼部会発表では 1967 年に鋭いピークを示す。これらは各社の LD 転炉工場の建設の進展と対応している。

②そのピークの後、1974~75 年まで発表件数は減少

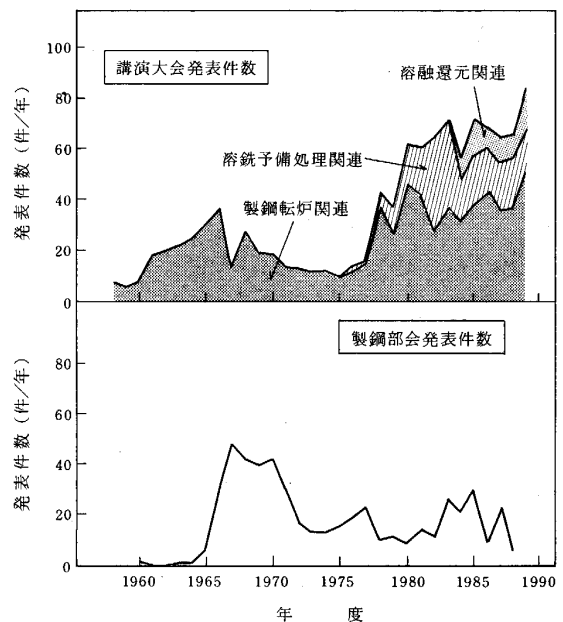


図 1 日本鉄鋼協会講演大会および製鋼部会における転炉関連発表件数の推移

平成 2 年 4 月 23 日受付 (Received Apr. 23, 1990) (依頼展望)

* 本会共同研究会製鋼部会長 新日本製鉄(株)取締役, 製鋼技術部長 (Steelmaking Technical Div., Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku, Tokyo 100-71)

Key words : steelmaking ; converter ; combined blowing ; treatment of hot metal ; smelting reduction.

を続ける。これは、LD 転炉技術で生産が順調に行われるとともに、次の技術開発の方向が明確ではなく模索の時期といえよう。

③製鋼部会発表件数では 1977 年に小さなピークが認められる。これは、当時、問題になった省エネルギー、省資源や環境問題に対応するための作業改善や転炉スラグ関連の発表が増えたからである。

④講演大会では、1978 年以降、全体として発表件数は増加傾向が続いている。これは、溶銑予備処理、ついで複合吹錬（それらは 1980~82 年にピークを示す）、さらに 1985 年以降は溶融還元に関するものが加わったことによる。

⑤製鋼部会の方は、1982~85 年頃にピークがみられる。これは、講演大会の 1980~82 年のピークに対応し内容的には溶銑予備処理と複合吹錬の実用化が中心である。

以上のようにこの 30 年間の転炉に関連する研究・技術開発の活動には、LD 転炉の導入に関連する第 1 のピーク（1966~67 年）と、溶銑予備処理、複合吹錬を中心とする第 2 のピーク（1980~85 年）が明瞭に認められる。さらに講演大会の発表件数については 1985 年以降も高いレベルが維持されている。

このように、転炉に関連する研究・技術開発は現在も活発な状態にあるが内容的な多元化が見られる。

3. 転炉製鋼法の技術変化

転炉の本来機能である溶銑精錬技術については、鋼材の高級化（高純度、高 cleanliness 化）と高品質材の大量処理技術と大幅コストダウンの要求に応えるために、「精錬機能の分化」という方向が取られてきた（図 2）。

すなわち、「溶銑予備処理-転炉吹錬-取鍋精錬」という方式である。溶銑予備処理（ここでは脱りん）の比率が 70% 以上の製鉄所が増えている（図 3）。また、取鍋精錬については、鋼種に応じて各種の処理を行うことが

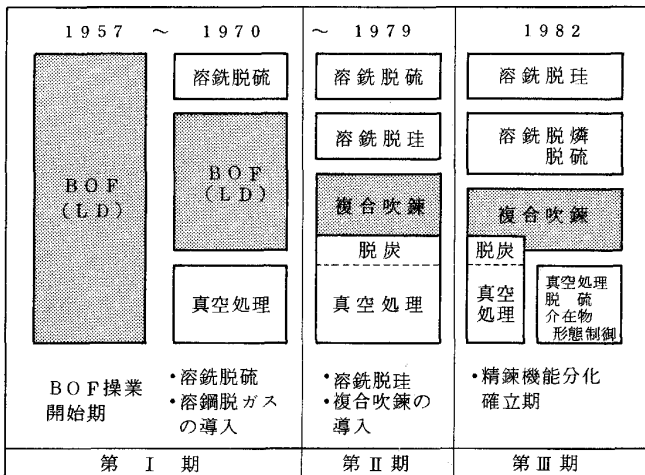


図 2 精錬機能分化の進展

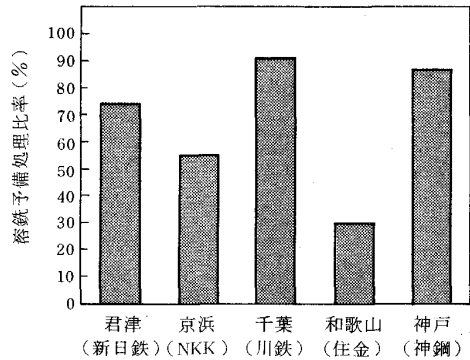


図 3 最近の溶銑予備処理比率の例

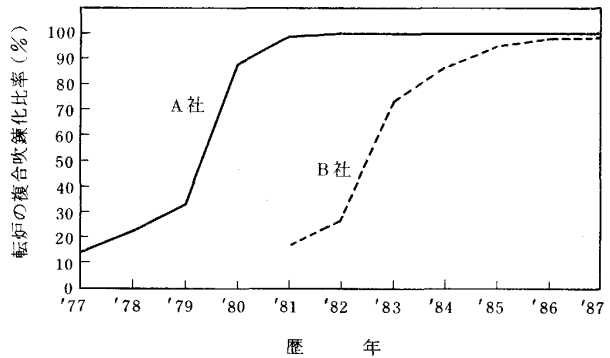


図 4 転炉吹錬の上底吹き化の推移

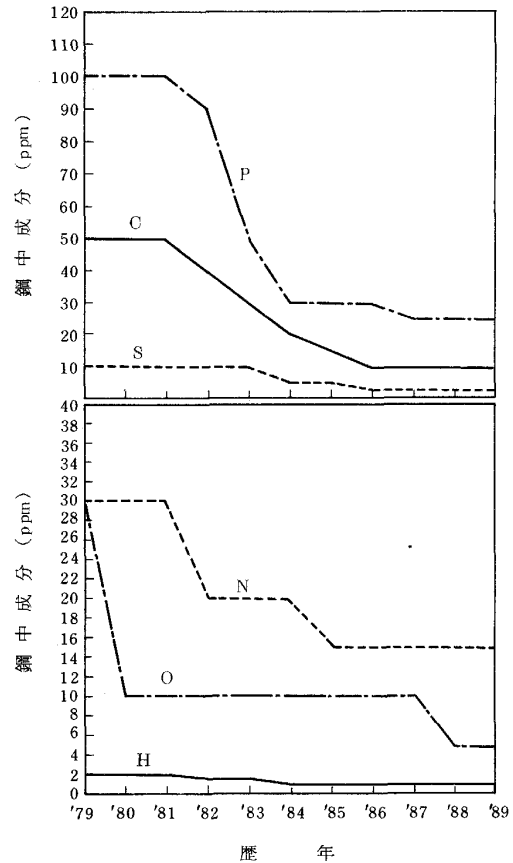


図 5 溶鋼高純度化実績の推移

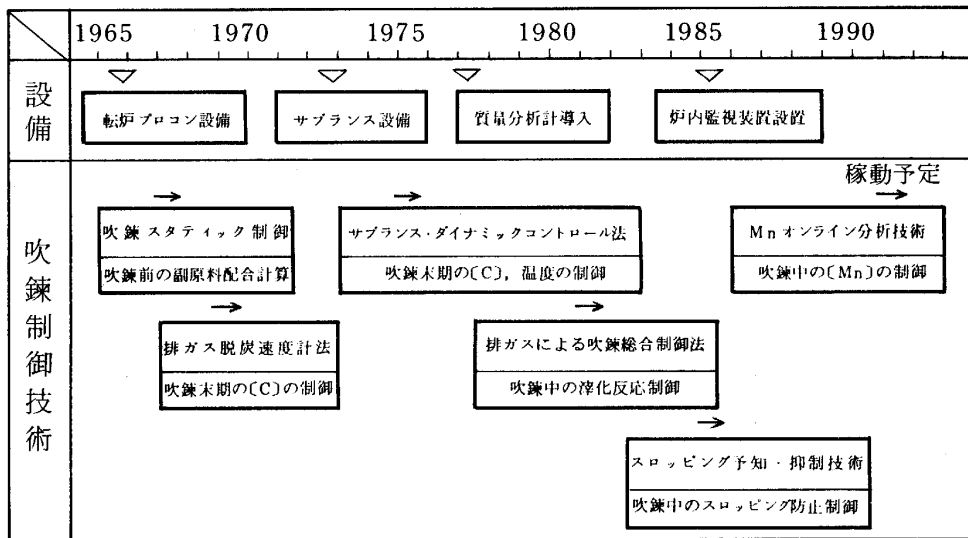


図 6 吹錬制御技術の進展

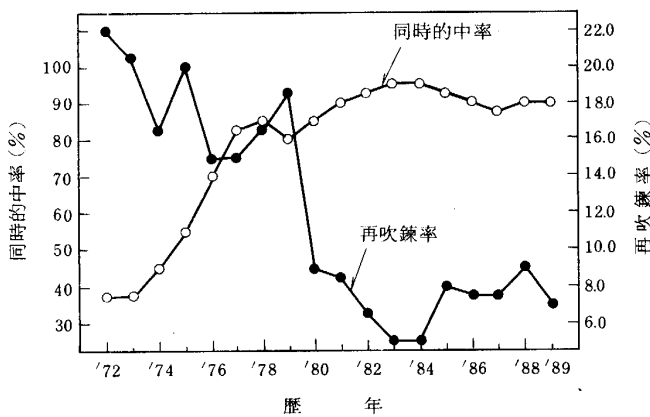


図 7 吹錬吹止め同時 (成分, 温度) 的中率の推移 (新日鉄 堺)

普通になっている。

吹錬方式については、1979 年以降、急激に上底複合吹錬化が進んだ (図 4)。

この二つの大きな技術変化を背景に、転炉の技術指標は次のように変化してきた。

①溶鋼の高純度化

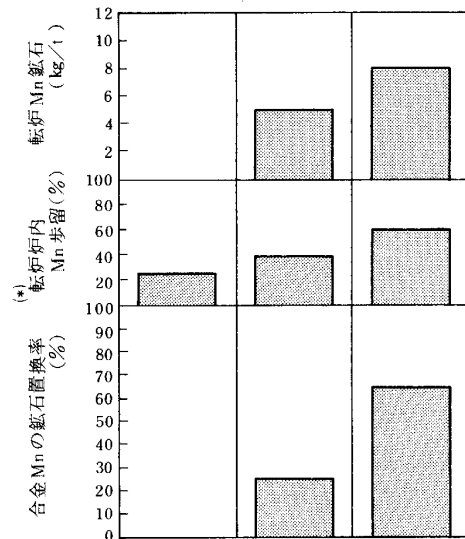
転炉吹止め時点の溶鋼不純物レベル (とくに P, S, N) は大幅に低下し、後続の取鍋精錬との組合せで図 5 に示すように、溶鋼の高純度、高 cleanliness 化の進展に大きく寄与することとなった。

②成分, 温度的中率

底吹き攪拌による溶融物の均一化効果に加えて、図 6 に示すような各種のセンサーの進歩および制御モデルの開発によって、成分, 温度の同時的中率の向上, 再吹錬率の低下が進んだ (図 7)。

③マンガング石の直接使用 (図 8)

従来、マンガング源としてフェロマンガングが用いられて



	1957 ~ 1970	1971 ~ 1979	1982
溶 銑 処 理	脱硫のみ	脱 硫 脱 珪	脱 珪 脱 硫
転 炉 吹 錬	上 吹	複合吹錬	複合吹錬

(*) 転炉内 Mn 歩留は総合 Mn 歩留を示す

図 8 マンガング石使用によるフェロマンガング置換の推移 (新日鉄 大分)

きたが、溶銑予備処理と転炉底吹き攪拌技術を背景として、転炉でマンガング石を直接還元することが経済的な方法となった。現在では転炉におけるマンガング源の約 50% はマンガング石であり、今後も増加するであろう。

④耐火物原単位の低減 (図 9)

耐火物材質の向上 (マグカーボンなど)、操業技術

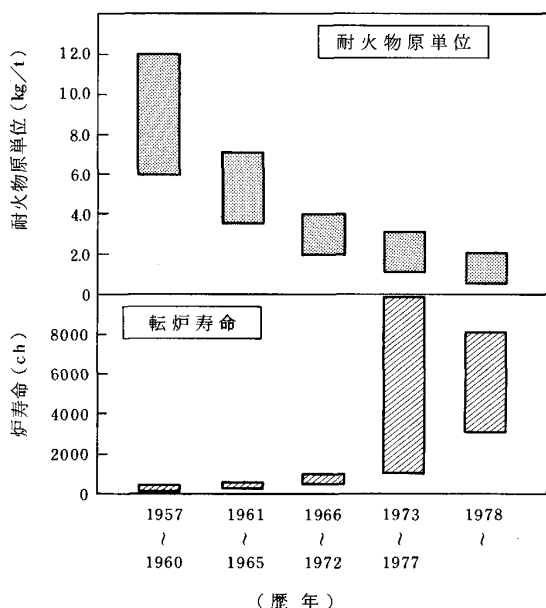


図 9 転炉炉寿命と耐火物原単位の推移

(スラグコーティングなど), 熱間補修技術などの組合せにより耐火物原単位は大幅に低下した。また, 炉寿命の延長は吹錬の安定にも効果がある。

以上のように, 前後工程 (溶銑予備処理, 取鍋精錬) に機能を分化することによって転炉自体の精錬機能は縮小されたといえるが, マンガン鉱石の還元のような新たな機能も取り込むことによって転炉製鋼法は, LD 転炉の操業開始期とは大きく変化している。

4. 技術変化の推進

今日までの転炉技術の進展を可能にしたのは, 次のような技術の思想と手段であると思われる。

①溶鋼の攪拌を適正条件で行うこと

川鉄の Q-BOP の研究²⁾から攪拌効果の重要性が認識され, それに刺激されて, 最適底吹き攪拌条件という観点から上底吹き転炉法が各社で開発されることになった。

技術手段のポイントである底吹き羽口技術については, ガス吹込み量レベル, 安定性および可変幅, 設備費, 操業の簡便さなどを考慮して, 各種の方法が開発された³⁾。

②個々の精錬反応を最も有利な条件で行えるように分割精錬すること

市場の要求により, 高級品質を大量に, しかもコストダウンをはかりながら実現させるプロセスの開発が必要となった。すなわち, 従来, 転炉で行われていた脱珪, 脱りんを予備処理工程に移し, さらに脱珪と脱りんも分離して行うというものである。

これは, 脱りん反応は低温で, かつ Si (および SiO₂) が高くない状態で行った方が有利という冶金原理に基づ

いている。

なお, 溶銑予備処理の研究は, 高純鋼溶製とともに, フラックスを精錬機能が低い状態で使用することによって, 製鋼スラグ生成量を減少することも目標としていた。

この分割精錬を支える技術としては, 大量の粉体をインジェクションする技術, 上底吹き転炉で得た羽口技術, 混銑車用や取鍋用の耐火物技術などがある。

③転炉での熱的余裕度を確保すること

溶銑予備処理によって低下した転炉の熱的余裕度を補い, さらにスクラップの溶解量を増やすために, 転炉での発熱量増加技術が注目されることになった。

その手段としては炉内二次燃焼率増加と炭材添加の二つがある。

前者については, 二次燃焼率を上げることによって耐火物原単位が増加する問題が残されており, 広く実用化されるにはその解決が望まれている。

後者については, 全量スクラップ溶解も可能になっているが, 不純物の点からどのような炭材を選択し, どのように用いるかによって種々の方式が開発されている。

④転炉内で酸化物の還元能を高めること

底吹きガス攪拌によってスラグの過酸化度が小さくなったことにより, スラグ内の有価成分を炭素で還元回収できる可能性が開けた。

それを経済的に行うための手段として, 次の二つの方法がある。

a) スラグ量が少ないことを利用する方法

予備処理溶銑を用いて転炉でマンガン鉱石の還元回収を行うのに用いられている。 (Mn)/[Mn] 分配比を低くできなくてもスラグ量が少なければスラグへのマンガンロスが抑制できることを利用している。

この場合, 分配比自体は低くないのでメタル浴の成分濃度が高くなると, 酸化物ロスの絶対値が増える。ちなみに転炉出鋼時の [Mn] として約 1.5% の値が得られている。

b) スラグ量が多いことを利用する方法

「スラグ量を増やすことによって攪拌状態のメタル浴と酸素ジェットを遮断し, スラグ還元の進行とスラグの酸化物の還元反応の両立を可能にする」という原理がフェロクロム溶融還元研究で見いだされた⁴⁾。なお, 多量スラグ (例えば約 1 t/t-metal) をスロッピングさせないで安定保持することは, 炭材を共存させるという方法で可能になった⁵⁾。

この方法では, 成分分配比を小さくできるので, メタル内成分濃度が高くなっても回収歩留りが低下しないという特徴がある。例えば, フェロクロム溶融還元では (T. Cr)/[Cr]=0.5/55⁴⁾, フェロマンガン溶融還元では (T. Mn)/[Mn]=5/65⁶⁾ の実験値が得られている。

5. 今後の展望

溶銑を原料とする転炉製鋼法については、「溶銑予備処理-上底吹き転炉-取鍋精錬」の組合せによる高純度鋼、高 cleanliness 鋼の大量生産方式が確立しているが、次の3点については今後も技術開発を続けてゆく必要がある。

①分割精錬の理想とする機能の追及

精錬機能を分割して、個々の精錬反応を最も有利な条件で行えるようにすれば、反応効率が向上し生成スラグ量も減少するはずである。しかし、現時点では、分割精錬は溶鋼高純度化には効果があるが、反応効率は狙ったレベルに達しているとは言えず、十分に本来機能を発揮しているとは言い難い状態である。

高純度鋼の要求はますますきびしくなっている現状を踏まえ、「精錬効率の極限追及」という観点から分割精錬法のいっそうの機能向上を図る必要がある。

②自動吹錬などによる省力化の極限追及

③上記2項目を実現した上での精錬工程のシンプル化
精錬の機能分化は個々の反応の制御に有利であるが、全体としては極力、工程数が少ない方が望ましい。すでに方向が定まっている高純化と自動化の方向と矛盾することなく、また分割精錬の結果得られた品質を維持しつつ工程をシンプル化する方向を指向することは今後の重要課題になるとと思われる。

一方、鉄源の多様化に対応する方策としては「熱的余裕度確保、還元機能の追及と実用化」を進めてゆく必要がある。

最近、スクラップ発生量増加、溶融還元法研究の進展など、鉄源がこれまでの溶銑中心の状態から徐々にではあるが多様化してゆく傾向が見られる。

スクラップ溶解法、溶融還元法としては種々の方式がある中で、転炉を利用する方式は、複合吹錬転炉での熱的余裕度確保、還元機能増加の技術開発を踏まえて、実用技術として適用対象の拡大が進むと予想される。すなわち、転炉技術が鉄源フレキシブル化技術の中核になってゆくことが期待できる。

6. ま と め

約30年前に技術導入された酸素上吹き転炉法(LD法)は、精錬の機能分化と上底吹き複合吹錬の技術を取り入れて変化し、現在、「溶銑予備処理-転炉複合吹錬-取鍋精錬」の組合せからなる方式が、コストダウンを実現しつつ、高純度・高 cleanliness 鋼を含む溶鋼の製造法として広く実用されはじめている。

今後の研究開発課題としては、

①分割精錬の特色を完全に発揮して、プロセスとしての対応力を増し、諸条件が厳しくなる中で生産性、品質、コスト各面でいっそうの向上をなすこと

②高純化、自動化という方向を満足しつつ、分割された精錬反応を再配列して極力単純化したプロセスに組み立て直すこと
などがあげられる。

一方、上底吹き転炉の機能拡大として開発されてきた熱的余裕度確保、還元機能増加を利用した溶融還元やスクラップ溶解技術は、今後、鉄源フレキシブル化技術として実用が進むことが予想される。

現在、転炉に関連する研究・技術開発の活動は、鉄鋼協会の講演大会や製鋼部会の発表件数に見られるように、高いレベルにある。

すでに方向が見えてきているもの以外にも、転炉に新しい技術手段を導入することによって、転炉技術のいっそうの深まりと広がりや押し進められることを期待したい。

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会特別報告書 No. 33 「我が国における酸素製鋼法の歴史」(日本鉄鋼協会編)(1981)
- 2) 斎藤健志, 中西恭二, 加藤嘉英, 野崎 努, 江見俊彦: 鉄と鋼, **68** (1982), A41
- 3) 半明正之: 第100・101回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1984), p. 201
- 4) 藤田正樹, 片山裕之, 桑原正年, 斎藤 力, 石川英毅, 梶岡博幸: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 680
- 5) 平田 浩, 松尾充高, 片山裕之, 石川英毅, 梶岡博幸: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 173
- 6) 藤田正樹, 片山裕之, 石川英毅, 梶岡博幸: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 801