

○本多清之, 亀岡秋男 (北陸先端科学技術大学院大)

## 1. はじめに

生物進化のカテゴリーには、自然淘汰のほかに「適応放散」や「収斂進化」というタイプが存在する。

鉄鋼業の設備はその巨大さと高温環境から、実験室規模での知見をベースとはするものの、最終的には技術的不確実性を抱えたまま実機化せざるを得ないケースが多く、中にはスケールアップファクターの読み違いや装置の信頼性への過信から、投資として失敗に終わるものすらある。

一方、従来の企業の意思決定に関する研究では、設備投資に関する「リスク」の捉え方として、技術そのものの不確実性に言及したものは少ない。(例えば【1~5]) 筆者らは、こうした成功と失敗を分ける要因の研究に取り組んできたが、その過程で、鉄鋼製造プロセスの技術進化にも、生物進化と同様自然淘汰的变化以外に「適応放散」や「収斂進化」と呼ぶべき発展があることを発見した。

そこで、当該技術の発展経緯と性格から、技術の特徴を明らかにした上で、技術進化のタイプが分かれる理由を考察するとともに、既存技術の発展予測に使うことを前提としたモデル構築を試みる。

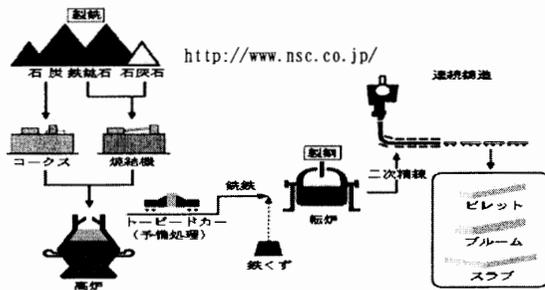


図1 一貫製鉄所の製造フロー

## 2. 製鋼精錬プロセスにおける戦後2大技術革新

## 2-1. 鉄鋼製造プロセスアウトライン

## ● 製鉄工程

鉄の主原料は、鉄鉱石、石炭、石灰石の三種類で、焼

結工程(輸入した鉄鉱石のうち大多数を占める粉状の鉄鉱石を焼き固めるプロセス)、コークス工程(炉の中で石炭を蒸し焼きにしてコークスを製造)で事前処理し、「高炉」と呼ばれるシャフト炉の中で、上部から焼結鉱とコークスを交互に装入し、下部から約1,200℃の熱風を吹き込みながら、焼結鉱とコークスを反応させて「銑鉄」を取り出す。炉内温度は2,000℃以上という高温状態になり、化学反応が促進され焼結鉱から鉄が還元・分離される。

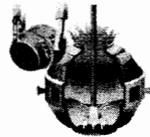


図2 転炉模式図

<http://www.nsc.co.jp/>

## ● 製鋼工程

銑鉄には、まだリンやイオウなどの不純物や高炉内で取り込んだ炭素分が残留しており、これらを除去するとともに、製品の規格に合わせて化学成分の調整を行う工程を製鋼工程と呼ぶ。

まず「転炉」と呼ばれるとっくり型の反応容器(耐火レンガで内張り)の中に、高炉から運ばれた銑鉄と鉄スクラップを装入し、そこに高圧の酸素を吹き込むことで、不要な炭素分などを酸化反応させて取り除く。さらにこの後、「二次精錬」と呼ばれる工程で最終的な成分の調整を行う。

続いて最終製品の形状・重量などに応じて、鋼を特定の大きさに固める工程を「連続精造」と呼び、約1,600℃で熔融状態にある鋼を鋳型に連続的に流し込んで外側から徐々に水冷し、凝固した鋼をロールで引き抜いて必要な大きさに切断する。

## 2-2. 転炉への純酸素底吹き技術の導入

わが国への転炉技術の導入についてはLynnの労作【6】や導入直後の10年間の論文集【7】に戦後日本鉄鋼業復活の歩みに重ねあわせた技術開発の歴史が語

られているが、日本鉄鋼協会自身の手による導入経緯のまとめ【8】では、74年以降は転炉技術の「安定期」と捉えられている。

一方同じ74年の西山記念技術講座では、酸素を全量炉底から吹き込む「OBM (Oxygen Bottom blowing Method)」という技術が紹介され、利点と欠点を挙げた上で、当時稼動したばかりの「U. S. Steelの操業成績如何が、OBM法の今後の発展を左右するものと注目されている。」【9】と指摘している。

そしてそのわずか3年後の77年には、川崎製鉄(現JFE)千葉製鉄所に新設された第三製鋼工場で、日本初の全量底吹き転炉(Q-BOPと呼ばれた)が、導入技術として稼動した。

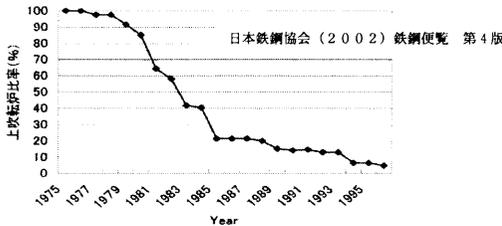


図3 上底吹転炉導入状況

この成功は、日本国内では詳細な冶金学的発表【10】も寄与して大発展を遂げる。欧州(遅れて北米)でも同様の経過をたどるが、この経緯は、British Columbia大学のBrimacombe教授によって、「工業の進歩は連続的なものではない。革新的な技術が発明されると、工業は大きくジャンプして進歩する。製鋼分野では、ベッセマー転炉、上吹き転炉および底吹き二重管羽口などが革新的技術であった。興味深いのは、ベッセマー、上吹き転炉の先駆者Durrer、そしてSavardとLeeらがいずれも鉄鋼業に従事していなかったことである」と、発明者であるSavardとLeeを記念したシンポジウムで述べられている。【11】

問題は、これほどの賞賛を浴びる革新技術でありながら、実際に各社がこぞって実用化した底吹き羽口は各社各様で、(図4)直接技術導入をした会社以外はSavardとLeeの二重管羽口を採用せず、更に20年以上を経ても少数の卓越技術に収束しなかったことである。

この技術の多様性は、生物の世界における「適応放散」とそれに続く「収斂進化」(厳密に言うと相互作用と交流があるので、異質同形性(Isomorphism)即ち

二つの性質の異なる複雑な構造体の形が似ていること、と呼んだほうが正確かも知れない)に酷似しているように見える。

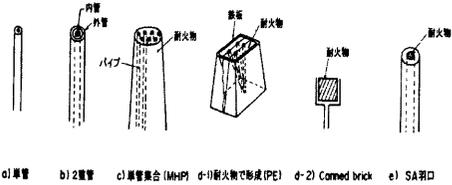


図4 羽口のバリエーション

日本鉄鋼協会(編)(2002)鉄鋼便覧 第4版

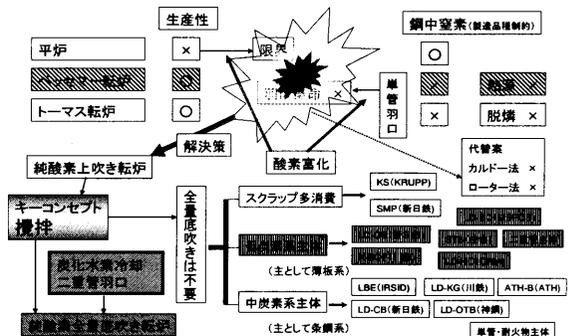


図5 羽口の「適応放散」と「収斂進化」

図5には適応放散の状況以外に、底吹き導入前史も記載した。上吹き転炉の普及過程に先立って、当時の平炉、空気を底吹きするタイプの「元祖転炉」(酸性レンガを内張りするベッセマー炉、塩基性レンガのトーマス炉)両陣営とも生産性と製造品種制約(品質問題)で手詰まりの状態であったところに、純酸素上吹き転炉が出現し、一挙に旧法を駆逐していった。

【8】【12】

しかし、以後も経営層・技術者・現場作業者のいずれにも旧法の操業経験が残存しており、「攪拌」といういわば『時代のキーワード』の到来と同時に、眠っていた遺伝子が発現したかのようでもある。【13】

### 3. 技術発展の舞台としての鉄鋼プロセス

#### 3-1. 一般論としての技術進歩

通常、卓越した技術が現れると、例えばソフトウェア業界ではその技術を持った人が元の会社をスピンアウトし、新たに立てたベンチャー企業で少しずつ違う技術を開発・実用化するが、やがて市場がそれらを「淘汰」し、結局少数の優れた技術が生き残ってデファ

クト・スタンダードになるというルートを経る。

製造プロセス技術の場合、製品に直接使われないため、市場から淘汰圧は受けないと思われるが、それでもコストや操業性の面で明らかな差が生じれば、経済合理性から淘汰圧を受けることは容易に予測できる。

### 3-2. 鉄鋼プロセスの特徴

上記一般的な技術に比較して鉄鋼プロセスの持つ大きな特徴は、設備のサイズの違いに起因する、「実機検証必須性（ラボスケールでは決着がつかない。ついていけば【淘汰型】になる）」である。但しコスト・操業性などで経済合理性は検証可能であり、開発者の唯我独尊を許す構造ではない。

更に敷衍すると、問題に取り上げている技術領域はプロセスの中身が複雑でばらつきが大きい故にスケールアップファクターが未知で、計測可能性も少ないためオペレーションへの依存度が必然的に高くなり、結局実機での最終検証が必要なプロセス技術、ということになる。

## 4. なぜ底吹き羽口で適応放散と収斂進化が起きたか — 鉄鋼業における新規技術の普及・発展過程 —

### 4-1. 生物界とのアナロジー

生物界における進化の相と同様の展開が技術進化にも見られるとすれば、両者に共通のメカニズムが働いている可能性がある。

生物界では、およそ6億年前にカンブリア爆発と呼ばれる、多様性の突然の出現（現在の主要な動物門が形作られたと言われている）が起きたとされている。しかし、遺伝子の爆発的多様化はカンブリア爆発の直接の引き金ではなく、カンブリア爆発と遺伝子多様化との時間的ずれは、カンブリア爆発の分子機構を考える上で、新しい遺伝子を作るという「ハード」の視点ではなく、すでにある遺伝子をいかに利用してカンブリア爆発を達成したかという「ソフト」の視点が重要であるということを示唆している。【14】

また、ライアル・ワトソン【15】によれば、「生物と環境の両方を巻き込んだダイナミックで流動的な運動が、両者を内的に結びつけていて、その両者のコ

ンビが幅広い選択肢の中から、実際に出来る状況や形態を選択できるようにしているのではないかとし、「生物はたしかに遺伝子の表現の結果として存在し始めるのだが、それは、遺伝子の表現が、そのまわりにあるフィールドと調和をもって展開しえた場合にのみ可能になる」と結論付けている。

### 4-2. 技術進化モデル

以上から、生物界の条件と底吹き羽口の技術進化を比較すると、図6の技術進化モデルが得られる。前半の適応放散の鍵は「同時性」であり、後半の収斂進化の鍵は「環境との相互作用を可能にする諸条件」であると考えられる。

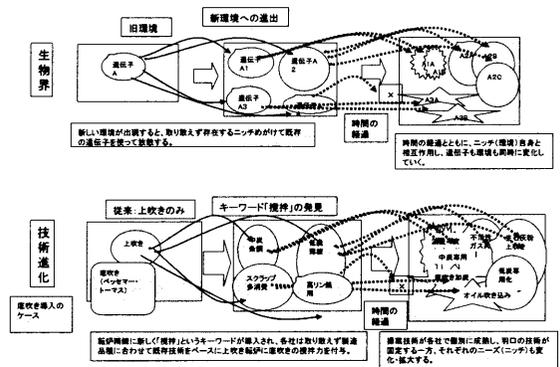


図6 生物進化のアナロジーによる技術進化モデル

### 4-3. 技術進化形態の支配要因

前半の適応放散部分で「とりあえずの新天地進出」として攪拌力の付与を目指した各社の技術は、当面の各社の操業ニーズを満たしながら熟成し、後半の収斂進化に向けて「技術と環境の両方を巻き込んだダイナミックで流動的な運動」段階に進む。ここでは各社の本来持っていた操業ベースを上底吹き転炉を使用しやすいように、逆に条件を変えながら、羽口技術も進歩していく。

それぞれの段階で底吹き技術普及に影響を与えた因子を抽出し、「淘汰」でなく「適応放散/収斂進化」に進んだ原因を推定した結果を表1に示す。

前段階では技術そのものの条件と知的財産など外的条件が影響し、後段では操業条件が寄与する。

この表で一般的に「適応放散」側に当てはまる技術

表1 技術進化形態の支配要因

段階	評価軸		想定される進化形態		備考
	カテゴリー	項目	淘汰	適応放散/収斂進化	
前段	技術自身	革新度	高い	中程度	上吹き転炉と比較して革新度は低い
	外的条件	情報遮断 知的財産	オープン 安価	クローズ 厳格	常識的にはオープンだと淘汰⇒本ケースは例外？ 上吹き転炉での失敗 高く売りたい 他社導入難
後段	操業条件	品種	少数	多数	同一コンセプトでも各事業所によって応用が必要
		溶銑スクラップ事情 補完技術の有無 チューニング	振れ幅小 なし やさしい	大 あり 難しい	同上 補完技術あれば次善策採用可 各事業所のプロセスにカスタマイズされると淘汰不
	人的条件	現場競争心 プライド NIH マネジメントの姿勢 周辺技術での交流	少ない 低い コスト重視	旺盛 高い 威信重視 多い	高いと他社からの導入技術嫌う 同上 補完技術で交流可能

- キーワード
- 同時性
- 環境との相互作用の可能性

の場合は、競合他社で自社と相同の技術が使われている可能性が大きいと言える。

が少ない場合」日本経営工学会誌 38(1) p p 40-45

【6】Lynn, L.H. (1982) 「イノベーションの本質・鉄鋼技術導入プロセスの日米比較」遠田雄志訳 東洋経済新報社

【7】日本BOTグループ(編) (1969) LD委員会10年記念論文集 日本BOTグループ

【8】日本鉄鋼協会(編) (1982) わが国における酸素製鋼法の歴史 日本鉄鋼協会

【9】第27・28回西山記念技術講座(1974) pp185-188

【10】川名ほか：鉄と鋼, 64 (1978)、S165~169

【11】Proceedings of the Savard/Lee International Symposium on Bath Smelting, Montreal, October 1992, Ed by J. K. Brimacombe et al, TMS, 1992

【12】日本鉄鋼協会編(2002) 鉄鋼便覧 第4版 日本鉄鋼協会

【13】野崎努(2000) 底吹き転炉法 日本鉄鋼協会

【14】宮田隆 <http://www.brh.co.jp/experience/communication/shinka/index2005.html>

【15】Watson, L. (1995) ダーク・ネイチャー 旦敬介訳 筑摩書房(2000)

## 5. 得られた成果と今後の課題

上吹き転炉への底吹き羽口導入の経緯検討から、技術進化には単なる「淘汰」以外に「適応放散/収斂進化」型があることがわかり、それら技術進化のタイプが分かれる原因をモデル化できた。逆に、モデルから既存の技術の進む方向を予測することができる。

今後は評価軸の妥当性(例えばマネジメントの寄与の重さなど不詳)をインタビュー等で補った上で、更に製品(淘汰圧が高いと思われる)に適用できるかどうかを発展的課題としたい。

謝辞 本研究は、北陸先端大の近藤修司教授、井川康夫教授、梅本勝博教授、遠山亮子助教他、JAIST東京MOTコース講師として野中郁次郎氏、西村吉雄氏、原陽一郎氏、平澤冷氏、吉田夏彦氏、スイス連邦工科大学(ETH)のチルキー教授他、及び東京MOTコースの多くの級友など、多くの方々のご指導ご支援の賜物です。ここに記してあらためて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 【1】Morris W. T. (1969) 『設備投資決定システム』菊池和聖 訳 東洋経済新報社
- 【2】中村 保 (2003) 「設備投資行動の理論」東洋経済新報社
- 【3】Cyert, R.M.; March, J.G. (1963) 「企業の行動理論」松田 武彦 井上 恒夫 訳 ダイヤモンド社(1968)
- 【4】久保田政純/戦略的設備投資研究会編(1995) 「戦略的設備投資の実際」- 「意思決定」から「監査」まで- 日本経済新聞社
- 【5】柳原一夫(1987) 「直線的に成長する需要を満たすための最適投資計画に関する研究：設備寿命がきわめて長く、技術革新の影響

## (参考) 生物界における適応放散・収斂進化の事例

「適応放散」：起源を同一にする生物のさまざまな群が、種々の異なった環境に適応するプロセスにあって、食性や生活様式において著しい形態的な分化を示していく現象。生活場所では地上・地下・樹上・空中・水中など、食性では肉食性・虫食性・植食性など、時間的には昼行性・夜行性への放散がある。

「収斂進化」：起源の異なる生物に由来する器官や形態が進化の結果互いに似てくる現象。有名な例は、有袋類と有胎盤類との間に見られる形態的類似性である。また、翼竜、鳥類、コウモリの翼は互いに起源の異なる爬虫類やほ乳類の前肢から独立に進化したもので、収斂進化の例としてしばしば引用される。