JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	技術の進歩過程の分類と成功する類型を生む要因 —製鋼プロセスでのケース検討—
Author(s)	本多，清之
Citation	
Issue Date	2006-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/235
Rights	
Description	Supervisor:亀岡 秋男，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修　士　論　文

技術の進歩過程の分類と成功する類型を生む要因
―製鋼プロセスでのケース検討―

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

本多　清之

2006 年 9 月

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

修　士　論　文

技術の進歩過程の分類と成功する類型を生む要因
―製鋼プロセスでのケース検討―

指導教官　亀岡　秋男　教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

450622　本多　清之

審査委員：亀岡　秋男　教授（主査）
近藤　修司　教授
梅本　勝博　教授
遠山　亮子　助教授

2006 年 8 月

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

目　次

第１章　はじめに…… 1
１．１　研究の背景と目的……1
１．２　リサーチクエスチョン……3
１．３　研究戦略……3

第２章　先行研究調査……4
２．１　装置産業の設備投資に関する先行研究……4
２．２　技術の不確実性に関する先行研究……5
２．３　技術進化のドライビングフォースに関する先行研究……6
２．４　先行研究調査のまとめ ……7

第３章　分析対象に関する予備的説明……8
３．１　モノカルチャー巨大装置産業の特徴……8
３．１．１　歴史的背景……8
３．１．２　鉄鋼業の現在・・・技術開発の現場からの評価……9
３．１．３　モノカルチャー巨大装置産業の意思決定……１１
３．２　一貫製鉄プロセスについての予備的説明……１１
３．２．１　製銑工程……１１
３．２．２　製鋼工程……１１
３．３　実機確認必須技術について……１４
３．４　転炉について……１６
３．５　ポーターの５つの競争要因について……１８
３．６　技術発展の舞台としての鉄鋼プロセス……２０

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第４章　ケーススタディ……２２
４．１　上底吹き転炉羽口……２３
４．１．１　転炉の炉内反応……２３
４．１．２　時代のキーワード……２４
４．１．３　転炉底吹き羽口の概念……２６
４．１．４　わが国における転炉への純酸素底吹き技術の導入……２７
４．１．５　底吹きノズルのバリエーション……２８
４．１．６　上底吹き転炉のバリエーション……２９
４．１．７　上底吹き転炉技術の発展経緯……３２
４．１．８　生物界とのアナロジー……３３
４．１．９　なぜ底吹き羽口で適応放散が起きたか……３７
４．１．１０　淘汰ないしドミナント・デザイン化が起きなかった理由……４１
４．１．１１　マネジメントレベルと視座の差……４４
４．１．１２　導入に当たってのその他の時代的背景と、社外の状況……４５
４．２　転炉スラグカット技術……４７
４．２．１　スラグカットの原理……４７
４．２．２　スラグカット設備例……５０
４．２．３　スラグカット技術の実機化状況……５１
４．２．４　スラグカット技術の特徴（補足）……５５
４．２．５　スラグカット技術の進化過程……５７
４．２．６　スラグカット技術の特徴まとめ……５８
４．２．７　スラグカット技術の進化形態……５９
４．２．８　ドミナント・デザイン論との差……６０

第５章　技術進化モデルの提示……６２
５．１　生物進化のアナロジーで見た技術の進化……６２
５．２　技術進化形態の支配要因……６５
５．３　技術進歩過程の分類……６７

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第６章　結論……７０
６．１　本研究によって得られた新たな知見……７０
６．２　理論的含意……７１
６．３　実務的含意……７１
６．４　今後の課題……７２

謝辞……７２
参考文献……７３
発表論文……７６

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

図　目　次

図３－１　一貫製鉄プロセス概要……１２
図３－２　一貫製鉄プロセスの概念……１３
図３－３　実機確認必須技術の概念……１５
図３－４　転炉……１６
図４－１－１　転炉炉内反応模式図……２３
図４－１－２　転炉底吹き羽口の概念図……２６
図４－１－３　上底吹転炉導入状況……２８
図４－１－４　底吹ノズルのバリエーション……２９
図４－１－５　上底吹き転炉のバリエーション例……３０
図４－１－６　上底吹き転炉の発展経緯……３２
図４－１－７　生物界における適応放散と収斂進化……３５
図４－１－８　マダガスカル島におけるテンレック類の適応放散……３６
図４－２－１　スラグと溶鋼の分離……４７
図４－２－２　スラグボール……４８
図４－２－３　スラグダーツ……４８
図４－２－４　スライディングノズル……４９
図４－２－５　ＰＳＳ（Pneumatic Slag Stopper）……４９
図４－２－６　ＰＳＳ設備……５０
図４－２－７　スラグダーツ設備……５０
図４－２－８　スラグダーツ設備実機写真……５０
図４－２－９　ダーツ実機イメージ……５０
図４－２－１０　スラグカット技術の進化過程の模式図……５８
図５－１　生物進化とのアナロジーで見たときの技術進化における適応放散…６４
図５－２　技術進歩過程の分類（技術進化の本多モデル）……６８
図５－３　バオバブの木……６８

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表　目　次

表３－１　ポーターの５つの競争要因－大規模高炉一貫鉄鋼業のケースー……１８
表４－１－１　上底吹転炉製鋼法のバリエーション……３０
表４－１－２　２００１年段階での上底吹き転炉……３１
表４－１－３　適応放散が起きる条件―生物界と底吹き羽口のアナロジー……３７
表４－１－４　インタビュー結果まとめ……４４
表４－１－５　導入当時の状況等ＯＢへのインタビューまとめ……４５
表４－２－１　わが国におけるスラグカット技術年表……５２
表４－２－２　スラグカット技術導入例……５２
表４－２－３　導入担当スタッフインタビューまとめ……５４
表４－２－４　導入時の３交代オペレーション責任者へのインタビューまとめ５４
表４－２－５　スラグカット技術の適用される環境……５５
表４－２－６　スラグ生成状況におけるローカリティ……５６
表４－２－７　適応放散が起きる条件……５９
表４－２－８　スラグカット技術における乗り換えコスト評価……６０
表５－１　進化の支配要因……６５
表５－２　技術の乗換コスト比較……６６

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

Classification of processes where technology progress and the primary factor which bears the succeeding type -Case study in steelmaking process-

Kiyoyuki Honda

School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology
September 2006

Keywords: steelmaking, Basic Oxygen Furnace, technological evolution, adaptive radiation, natural selection, combined blowing, slag outflow prevention technology, decision making

The equipments of the steel industry are constructed under the technical uncertainty because of its very large size. However the knowledge which is obtained on a laboratory scale is used.

On the one hand, among the former research regarding the decision making of enterprise, those which refer the uncertainty of technology itself as the risk which accompanies plant investment are little.

Even in the technical evolution of steel production process, the fact that it is the development which it should call "adaptive radiation" and "convergence" were discovered, adding the ordinary “natural selection” similar to biological evolution.

Two examples have been picked up as the case study.

One has been Basic Oxygen Furnace slag outflow prevention technology (evolution example of natural selection type). And the second has been the combined blowing Basic Oxygen Furnace (evolution example of adaptive radiation type)

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

The result of the investigation regarding the evolution of two technologies which are observed with the Japanese steelmaking process, it was proved as follows;

The types of those technological evolutions were characterized in two dimensions plane. First axe was presence of ecological niche and physical isolation of niche of each one, and second was, "The Great Dying (simultaneity of development commencement)". Choosing each in vertical axe and the horizontal axe, pattern of technical evolution was able to be modeled.

And the answer to the question “What is the primary factor which makes the type that leads the development to successful goal?” is able to be explained by this model. The solution is to force the project to be located in the 1st quadrant of the model, in other words, it is important to let the matter be adaptive radiation type.

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　１　章
は じ め に

１．１　研究の背景と目的

鉄鋼業の設備は、その巨大さ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え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。こうした成功と失敗を分ける要因の研究の過程で、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変化以外に「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、まず生物進化のアナロジーで技術の進歩過程の分類を試みた。その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、「成功」する類型を生む要因について検討する。

最後に既存技術の発展予測に使うことを前提としたモデルを提案することを目的とする。

既存文献から、鉄鋼業以外の会社にとって実は設備投資のリスクというのは、投資のための資金調達であったり、設備は立ち上がったものの市場が予想通りでなかったりという種類を指すということがわかった。企画した設備が目論見通りの機能を発揮することは当たり前すぎてリスクとして捕らえられていない。

しかし鉄鋼業、なかんずく日本の高炉メーカーにとっては、資金調達のリスクは殆ど無視でき、また短期的にはよほどのことがない限り市場予測が狂うというリスクは考えられない。

鉄鋼業にとっての設備投資リスクは、上述のような部分にあるのではない。実機で確認できないまま、いわば研究開発の最終段階の確認を済ますことが原理的に殆ど不可能なまま、巨額の設備投資を続けなければならないこと、即ちある意味で設備投資そのものにリスクが内在する。特に上工程と呼ばれる、製銑、製鋼工程でそのリスクが顕著である。

それでも、例えば溶鉱炉の実物大モデルは実現不可である一方、十年から十五年ごとに迎える溶鉱炉の改修に合わせて新しい技術をビルトインしていかないと他社にコストで決

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

定的に遅れをとる。銑鉄トン当たり製造コストの５％から１０％のコストダウンをみすみす見送り、古い技術であと十五年戦うのは経営的には到底耐えられない。
そこで、最終確認はできていない段階で、しかしそれなりの検討を経た新技術を、思い切って採用せざるを得なくなる。

こうした開発と投資の関係の中で、たくさんのケースを振り返ってみると、非常にリスキーな技術が首尾よく立ち上がったケースがある一方、逆に絶対に上手くいくだろうと誰もが信じた設備が結局失敗に終わり、十億単位の金が消えていくという例もあった。

これが疑問の原点である。皮肉なことに、なまじさしたる問題もなく立ち上がってしまった設備より、そうした失敗設備は、いや、失敗設備のほうが、技術者を育てる効率としてははるかに優っており、失敗プロジェクトのリーダーは通常は人事的に恵まれないことになるが、少しきつめの比喩で言えば、リーダーの屍のなかから、丸々と太ってかつ進化した後輩が巣立つ、という構図だった

残念ながら十年の不況は日本鉄鋼業から「失敗」を許す体力を、即ち、新しいもの（プロセス）を生み出す体力を奪いとった。「失敗の確率はどの会社でも低いほうが良いに決まっている（梅本教授）」ことも事実だが、１９８０年代は、そうした失敗を一種の「向こう傷」として許容する雰囲気さえあった。

今回ケーススタディに取り上げた二つのプロセス技術は、いずれも百花繚乱という形容が最適なほど、各社でいろいろな技術を比較的短期間に開発・実機化した。しかし二つの技術は非常に対照的な結果を生むことになった。片方は各社の製鉄所ごとにベストと思われる使われ方をし、当初と余り変わらない形でバラエティを保ったまま生き残ったのに対し、もう一方は８０年代にあれほどたくさんの方法が開発されたのに、どれ一つとして現存しない。残念ながら欧州で開発された２種類の技術が世界制覇した。

こうした結果をもたらした原因を探り、今後の「成功確率」向上に寄与したいと考える。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

１．２　リサーチクエスチョン

本研究の大きな目的である「技術開発の成功確率向上」に照らして、技術進歩の過程によってまず技術を分類し、その中から成功するタイプに特徴的な要因を発見していくこととする。そこでメジャーリサーチクエスチョン（ＭＲＱ）を、

MRQ：進歩過程によって技術を類型化したとき、成功する類型を生む要因は何か？

とする。

次にMRQを段階に分けてサブシディアリーリサーチクエスチョン（ＳＲＱ）を

SRQｓ：

①　技術進化を生物進化のアナロジーで解釈すると、どのような分類ができるか？

②　技術進化の過程を分ける要因は何か？

③　実機を使うような、リスクの高い開発の場合、マネジメントレベルによって視座にどのような差があるか？

と設定する。

１．３　研究戦略

村上陽一郎(1986) が「歴史的分析の一つのポイントは、技術の変化を生む要素について仮説を立てること（後略)」と述べているのに従って、先に推定した「生物進化と技術進化のアナロジー」を軸に仮説を立てていくことにする。

次に、高根正昭（1979）の言う「比較例証法（①変数を確定し、　②因果関係を明らかにし、　③複数の事例を比較する)」の考え方を参考に、成功例と失敗例を並べて「変数」を抽出することとする。

そこで、次の２例を取り上げ、ケーススタディを実施する。

①　転炉スラグ流出防止技術（自然淘汰型の進化例）

②　上底吹転炉（適応放散型の進化例）

データは次の方法で収集する。

①　鉄鋼協会、鉄鋼連盟の公開・非公開資料を中心とするドキュメントアナリシス

②　Ａ製鉄会社のＯＢおよび現役へのインタビュー

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　２　章
先行研究調査

装置産業では、設備投資はそのまま技術の進歩を体現するが、その意思決定の際にどのような配慮が行われ、それらが投資の成功／失敗、すなわち技術としての成功／失敗にどのように直結するかについて、まずは装置産業の設備投資に関する先行研究を調査した。

続いて、特に鉄鋼業のようなサイズの大きな設備を使用する産業が、往々にして技術的不確実性を抱えたまま実機化せざるを得ないことに鑑み、技術の不確実性に関する研究を調査した。

最後に、技術の変化発展の類型から既存技術の将来を見通す目的から、技術進化のドライビングフォースに関する先行研究を調査した。

２．１　装置産業の設備投資に関する先行研究

これは非常に多くの文献があり、企画段階から最終監査段階まで、それぞれのフェーズごとにさまざまな研究が行われている。

たとえば

・中村保（2003）では、「従来の研究では、（中略）企業の計画視野と設備の耐用年数の関係が不確実性下の投資に与える影響についてはまったく関心が払われてこなかった。」とあり、技術の不確実性を耐用年数との関係で論じているが、技術そのものの不確実性を克服する手段については言及されていない。

・久保田政純／戦略的設備投資研究会編（1995）では、「研究会参加メンバーの当初の問題意識（中略）最終的に次のテーマに討論が要約されることとなった。」としたうえで、

① 設備投資の適正な意思決定システムの構築（過剰投資、過小投資のチェック）
② 設備投資の採算計算の手法の確立
③ キャッシュ・フローと会計的利益の調整
④ 研究開発投資評価の方法
⑤ 情報化投資評価の方法
⑥ 投資のレビュー

上記①～⑥までを整理しているが、実機の危うさへの言及はない。更に同文献では、「設備投資を企画構想して実行に移すまでのプロセス」として、以下を整理しているが

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

やはり技術そのものに内包される不確実性については想定外である。

（段階）	（担当）
《構想から計画申請まで》	
・企画・構想	工場の技術部等
・スペック決定	生産技術部門の各専門部署
（途中略）	
《事後チェック》	
・レビュー	各取りまとめ部署

・そのほか、「新しく採用する技術は別会社等ですでに成功している、またはア・プリオリに成功が保証されている」ところから議論を始める例として、
－Angerman,M ら（2005）
－Ankli ら（1996 ）
－Cyert.R.M.ら(1963)
－石田勇矢ら（2004）
－Morris W．T.（1969)
－March.J.G ら(1976、1979)
－鈴木和志(1983)
－Simon,H,A(1989)
－Young　S.（1971)
－柳原一夫(1987)
－柳沼　寿(1996)
などがある。

２．２　技術の不確実性に関する先行研究

この分野も非常に多くの先行研究があるが、その不確実性については、多くの場合マネジメントの立場からの克服方法が議論されている（例えば Anderson ら（2005)、Doll W.J ら（2005)、Deppe, L ら（２００２）、Gardner, D.T.ら(1999)、Herstatt,C ら（2005））にとどまり、リスクを詰め切れずに投資に踏み切るようなケースについての言及はない。

Rosenberg,(1994)はより具体的に、「新技術の利用に関して巨大な事前の不確実性が存在することになるが、民間企業は市場メカニズムに依存することができ、そして、これを通して、多様な広がりをもつ代替的経路の探索が促進される」と指摘し、不確実性が存在

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

するため、多様化した研究上のポートフォリオを意図的にマネージすることが有意義であると主張しているが、そこから生じる無駄と一人勝ち状態に対する処方箋として、オプション分担方式しか挙げておらず、政府系研究機関ならば許されるかもしれないが、民間企業への適用はそのままでは不可能である。

しかし、不確実性の克服手段として、何らかの形で多様性を持ち込むことが有効であることは読み取れる。

多様性の発生する起源まで議論を遡上させると、「進化論的アプローチは、発生の論理（発生論）と、存続の論理（機能論）を同一視せず、むしろこの二つを分けて説明しようとするところに一つの特徴がある。発生論は、そのシステム（構造）が形成された経緯を説明する。機能論は、システム（構造）が事後的にもたらす結果合理性（機能）を説明する。例えば、生物であればランダムな変異（発生論）と自然淘汰（機能論）（中略）発生論と機能論は、ある時点で安定的に観察されたシステム（構造）を説明する二つの相互補完的なロジックである（中略）」という指摘が藤本隆宏 (2000)によって行われている。

個々の技術の進歩発展を「進化」として相似的に扱う場合、前段の「ランダムな変異」を「適応放散」と捕らえ直すことで、技術の分化と淘汰をより即物的に議論できる可能性がある。本論文でも一部でこのアプローチを採用することにする。ただし後段の自然淘汰を機能論で捕らえるという論理は、そのままでは具体的技術には適用しかねるので、本論文では採用せず、代わりに淘汰圧が具体的に働く場を想定することで、発生と淘汰の一連のつながりを議論できる構造の構築を試みた。

２．３　技術進化のドライビングフォースに関する先行研究

この分野では、直接・間接に生物学における進化論とのアナロジーで技術を論じた一連の研究があり、たとえば江頭進(2002)は「 われわれが過去の経験からくみ上げうるのは、生き残ったものの長所ではなく、生き残れなかった原因（後略）」と述べているほか、井庭崇 (2004)は確率計算をモデル化して抽象的な進化のドライビングフォースについての議論を行っている。

また、児玉文雄 (1998)は、「（経路依存性の縛りにはまって）最適性に欠ける軌道上にいる技術をアンロックするためには、技術的アプローチにおける「多様性」と、組織構成における「重複」が必要です。」として、ある技術分野に意図的に多様性を持ち込むことで、技術進化を促進することができることを示唆している。

やや異なる切り口で、尾近裕幸 (2000)は「市場秩序は、人々が制度あるいはルールに従

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

う行動をとることによって自生的に生み出される。しかし、同時に人々は、その市場秩序の安定性･予測可能性を前提に、局所的な試行錯誤と調整を絶えず行う。この局所的な試行錯誤と調整の相対的･累積的過程の結果として、市場秩序は（誰一人として予測できない）進化を遂げていく。つまり、市場経済は「制度の束」、あるいは「重なり合う制度の体系」なのであり、その中で局所的な変化と適応が常に行われるような自生的秩序である。」として、市場経済そのものの持つ生物的側面を要約し、市場を舞台とする製品の技術進化の背景を指摘している。

Utterback(1994)は実例を挙げて製品の技術進化をパターナイズし、「ドミナント・デザイン」への収斂を説明しており、製造技術でも「イネーブリング技術」という形でドミナント・デザイン同様の事象が起きることを論じている。

しかし何らかの「市場」ないし直接的競争にさらされない工程技術の場合、多くのケースについて Utterback の理論が成立するかどうかについては検証が必要である。

２．４　先行研究調査のまとめ

以上から、先行研究の状況をまとめると

① 設備投資に関して、技術そのものの不確実性について言及した研究は少ない。
② 技術の不確実性を前提とした時、リスクを詰め切れずに投資に踏み切るようなケースについての言及はない。
③ 不確実性の克服手段として、何らかの形で多様性を持ち込むことが有効であることは既知である。
④ 進化論的アプローチは珍しくないが、あるシステム（構造）が形成された経緯を説明する発生論として、生物進化の「適応放散」と結びつけた例はない。
⑤ 技術進化のドライビングフォースに関しては多くの研究があるが、直接市場からの選択・淘汰圧を受ける「製品」に関する考究が主で、直接的競争にさらされない工程技術での研究は少ない。

以上となる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　３　章
分析対象についての予備的説明

３．１　モノカルチャー巨大装置産業の特徴

３．１．１　歴史的背景

戦後驚異の復興を遂げ、短期間で先進国の仲間入りを果たした国は、爾来数十年を経てもなお、古いタイプの産業が今もって国家を支える基幹産業であると言われる。（谷口誠2004）しかしそれは鉄鋼業に限って言えば皮相な見方で、現時点でそのように見えるのは、先立つ競争相手であったアメリカ、イギリス、フランスで革新的な技術が産まれなかったこと、及び産まれた技術を丹念に育てる土壌が無かったことが原因であり、格別ドイツと日本の成長速度及び今日の競争力とは無関係と思われる。

例えば製鋼技術分野での戦後の二大革新である純酸素上吹き転炉法とその重大な改良技術である純酸素底吹き（直接吹込み）併用技術、そして連続鋳造技術は、いずれもそれ自身の革新性もさることながら、操業における細心の注意と、現場三交代オペレーターの高度な技能が要求される技術であったため、他の先進国では技術の浸透と一般化が遅れ、結果としてコスト競争力と品質競争力に圧倒的な差を生み出してしまったことをみれば、ある技術を育て、使いこなす風土がいかに大切かがわかる。（一方でそうしたある意味でデリケートな技術を、誰もが使いこなせるようなレベルにまで簡易化する開発も進められ、その成果が後発の韓国や中国にそっくり技術移転されているだけでなく、アメリカやヨーロッパ各国にまで逆輸出されており、世界のどこでも同じような品質の自動車が製造できる基盤になっている）

もちろん、技術だけでは鉄鋼製品のようなコモデティの競争力は決まらない。人件費に象徴される国家の発展段階による差や、為替の人為的操作によるマジック、および「環境」という本来有価な資源に対して支払われる対価の大小が、鉄鋼製品の８割を占める市況品の競争力を支配していることは事実であり、技術の面で世界の頂点に立った日本鉄鋼業は国内の不況だけでなく、海外でもバブル崩壊後しばらくは苦戦を強いられた。と言っても９０年代後半から２１世紀初頭にかけては、逆に日本は世界一鉄鋼価格が安い市場になってしまい、中国などからの輸入が殆ど壊滅してはいたが。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

更にこの期間で特筆すべきは、残念なことであるが鉄鋼業に革新的プロセス技術が産まれなかったことである。ただ、皮肉でなく、とうとう世界一に上り詰めてしまった日本鉄鋼業が、それまで得意としてきた「追いつけ追い越せ」メソッドを使えなくなってまごまごしていた時期ともいえる。まごまごしていたでは語弊があれば、後続ランナーを足踏みして（昼寝して）待っていたウサギ状態とでも言うべきかも知れない。

いずれにしろ最近の十年余りが鉄鋼業に与えた影響は甚大であり、いろいろな意味でどん底状態で二十一世紀を迎えることになった。

３．１．２　鉄鋼業の現在・・・技術開発の現場からの評価

上記のような歴史的背景を踏まえて、２００６年現在で鉄鋼業の置かれた立場を「技術開発」という側面からスケッチすると、以下のような断面図が描かれるであろう。

① 「テクノストック」が底をついているか、または非常に枯渇しつつあること。

→ １０年間にわたり、企業が生き延びるためとはいえ、開発投資を限定（製品開発はしてきたが）投入せざるを得なかったため、いわゆるテクノストックは陳腐化によって見る影も無く摩滅している。この間比較的大きな国家プロジェクト(直接還元など）も試みられたが、必ずしも芳しい結果は得られていない。また、既述の通り、この間にはプロセス技術としては革新的なものは産まれていない。

② 新製品を上市するにしてもコストダウンをするにしても、何らかの（しかもたいていの場合巨額な）設備投資を必要とすること。毎年売上高の１０％以上を新規投資に回しているが、これは実に発行株式額面の半分以上に相当する。

→ 一つの製鉄所当たりの取り扱い量が年間１０００万トン近いのであるから、一部の製品の改良をするにしても､オーダー的にはすぐに１００万トンのレベルになる。それを造る機械群も同様巨大であるため、投資に見合う確実なリターンが必須とされる。

③ しかしその設備投資に「失敗」の余裕がないこと＝一発必中の開発が必要なこと。

→ 例えば新鋼種開発はラボから始まるが、最後は実機を使っての工場実験で量産可否の確認が行われる。筆者が駆け出しのプロセス技術者であったころは、印鑑一つ（正確には上司である開発担当マネジャーとラインマネジャー・・・複数の場合もある・・・の印鑑）で工場実験をいとも簡単に行うことができた。失敗すると当時の郊外の家一軒分が吹き飛ぶ損失になるので当然それなりに厳しいチェックもあったが、(「三折」という言葉こそ無かったが）失敗は授業料、みんなで

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

その分を稼いで（コストダウンして）スタッフに育ってもらおう、あとで１０００倍にして返してもらおう、という風土があった。

同様に入社３年目程度で２億円未満の設備投資の企画・設計製作・立ち上げを任されるようになるのだが、工場のそこここには先輩が残した「残骸」が転がっており、あの廃墟は何某が造った失敗作で、〇億パーにしたが、それで何某は実力をつけて今はＭＩＴに留学、といった話が現場の三交代のオペレーターから一種の自慢話として語られる世界でもあった。

現在ではそうしたいい意味での余裕（本当は人材に対する投資であり、真のテクノストックとは､こうして育つ人材そのものを言うのではないかと考えている）がないのが実情である。

④ ただ、ごく最近になってようやくキャッシュが回り始め、各社一斉に研究開発投資に向かう機運であること。

→ 一昨年から始まった資材インフレが原因と言われている｡企業内の声としては、これまでの艱難辛苦が報われるときが来た、と解釈したいが、理由はともあれ昨年以降確実に開発投資にもキャッシュが回り始めた。

⑤ 世に言う「研究開発ドライブ型」企業だけでなく、これら重厚長大産業も、企業体のどこかにそうした部分を抱えており、潜在的開発能力は決して低くないこと。

→ 現在の若手の課長クラスはみな幸福な開発環境を経験してきているので、辛うじて遺産が繋がったのではないかとも期待している。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

３．１．３　モノカルチャー巨大装置産業の意思決定

前節までで述べたような特徴は、他のモノカルチャー巨大装置産業でもそれほど的外れではないのではなかろうか。それら産業を一言で表現すれば、「意思決定に必ずしもスピードを要しない代わりに、失敗と成功には天と地の差がある」産業、といえるのではないか。

３．２　一貫製鉄プロセスについての予備的説明

以下、世間的に常識となっているような製品（商品）に関する技術が対象でないため、一貫製鉄所における鉄鋼製造プロセスについて若干の予備的説明を加える。

３．２．１　製銑工程

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て製造する。高炉に粉状の鉄鉱石をそのまま入れると目づまりを起こし、炉内の下から上の還元ガスの流れを阻害するので、石灰石を混ぜ一定の大きさに焼き固める必要がある)、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。コークスは高炉内で①鉄鉱石を炭素で還元して鉄分を取り出すこと、②高炉の中で還元ガスや溶けた鉄の通路を確保すること、③鉄鉱石や石灰石を溶かす熱源、となる）で事前処理し、「高炉」と呼ばれる設備の中で、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。

３．２．２　製鋼工程

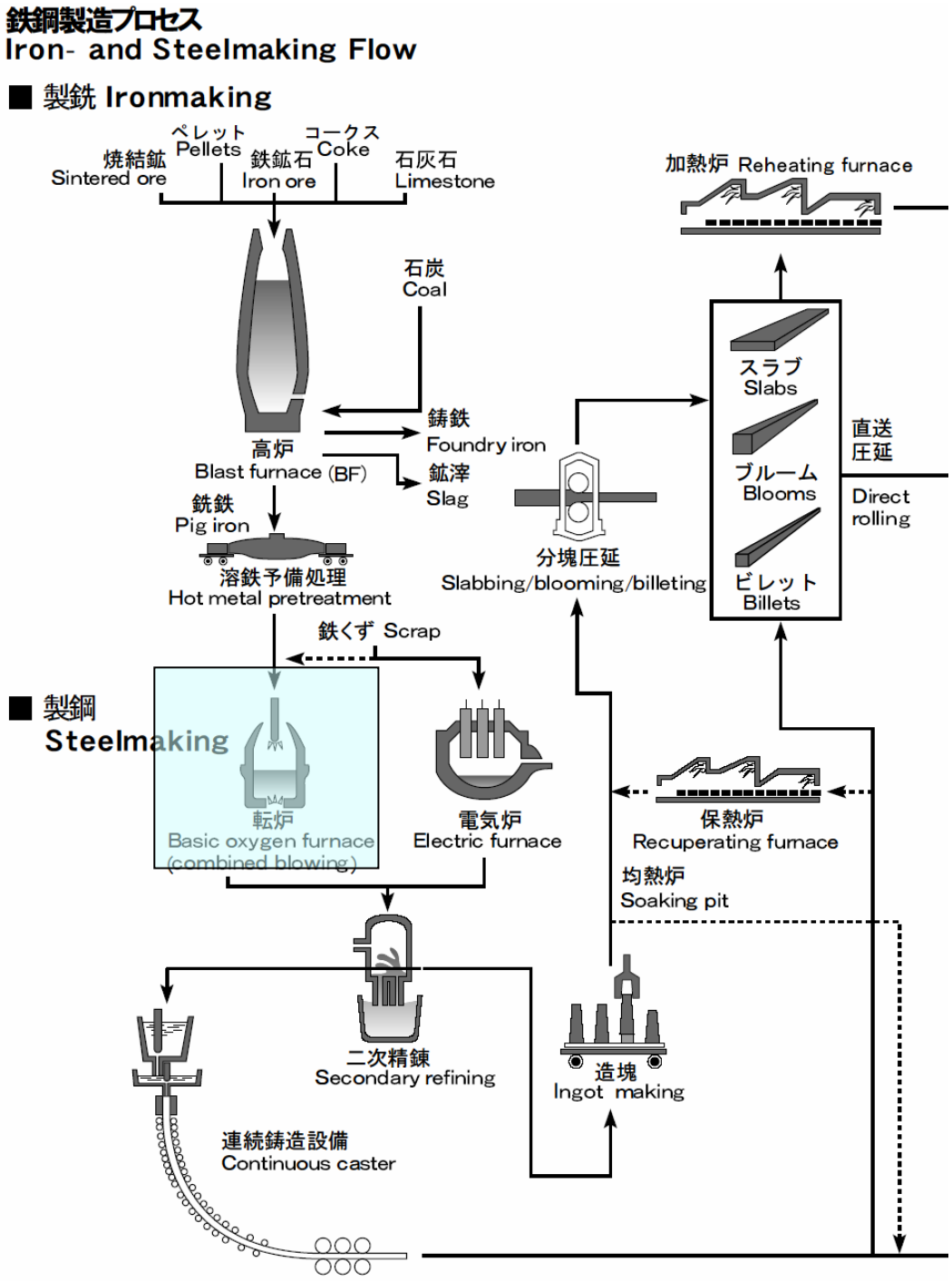
銑鉄には、まだリンやイオウなどの不純物や高炉内で取り込んだ炭素分が残留しており、これらを除去するとともに、製品の規格に合わせて化学成分の調整を行う工程を製鋼工程と呼ぶ。

まず「転炉」と呼ばれる反応容器の中に、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。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

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「連続鋳造」と呼び、約 1,600℃で溶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。



日本鉄鋼協会 HP

図３－１　一貫製鉄プロセス概要

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

図３－１でハッチを掛けた部分で生起した技術革新について、第５章のケーススタディで取り上げ、技術の進歩過程の分類と成功する類型を生む要因について考察を進める。

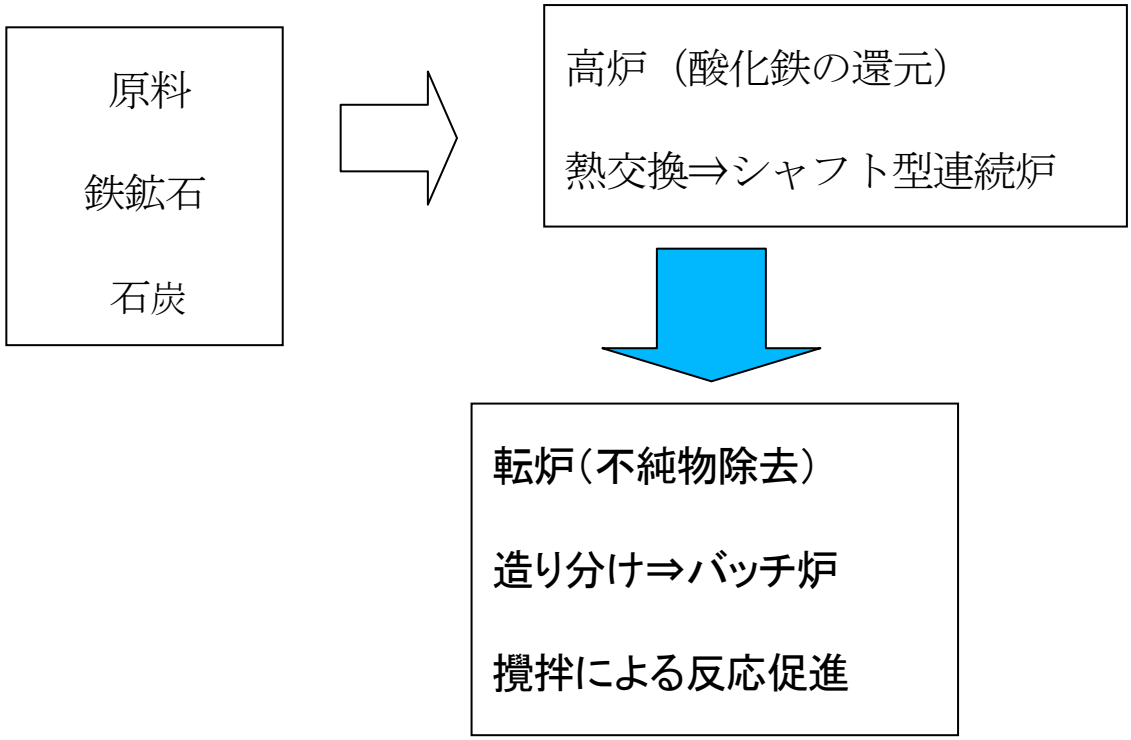


図３－２　一貫製鉄プロセスの概念

一貫製鉄プロセスを反応の特色で描くと図３－２のようになる。高炉で還元反応を効率的に進めるためには、鉄鉱石と石炭（コークス）を極力高温にする必要があり、そのためまず熱交換性能が要求される。ここでは主として固体―気体および液体―気体間の還元反応が起こる。

次の転炉では、最終的に目的の製品の成分や品質に造り込む必要から、基本的にバッチ精錬となる。ここでは不純物除去のため、主として液体―気体および液体―液体間の酸化反応が起こる。不純物濃度が、炭素を除いて０．１％程度なので、反応速度は化学平衡と反応界面積の両方が律速となる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

３．３　実機確認必須技術について

実機確認必須技術とは、図３－３に示すように、ビーカーテストから実機までの「サイズの距離」が遠く、小型実験炉と実機で例えば適用できるレイノルズ数が大きく異なるため、仮に実機大のモデルを作るとしても、熱的条件を合わせることができず、その場合は反応そのものをシミュレートできない。熱的条件を合わせるため、小型にすると、反応はシミュレートできても熱流束が再現できないなど、結局機実機大ホットモデルでの最終確認ができないものを指す。

最近では計算機シミュレーション技術によって、流体中に固体を載せた「混相流」が扱える、「Fluent」のようなモデルも市販されているが、まだ対流項を計算できないなど、完全にシミュレーションで再現するまでにはしばらく時間を要すると思われる。

また、こうした技術では、同じく図３－３の右側に示すように、人的側面からもビーカーテストから実機までの距離が遠い。実機は普通３交代職場によって運営されており、そのスキルのばらつきは、ビーカーテストの比ではなく、その意味でも実機操業によってしか確認できないことが多い。

ただし、その代わり、実機になると観察・改善のスピードも増し、発案した技術者の思いもつかないような性能を発揮したり、考えても見なかったような使われ方をしたりすることもある。３交代のオペレーターによる技術そのものへの、それも日々の介入により、技術が変化していくとともに、逆に技術に合わせて操業パターンや周辺技術が変化することもある。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

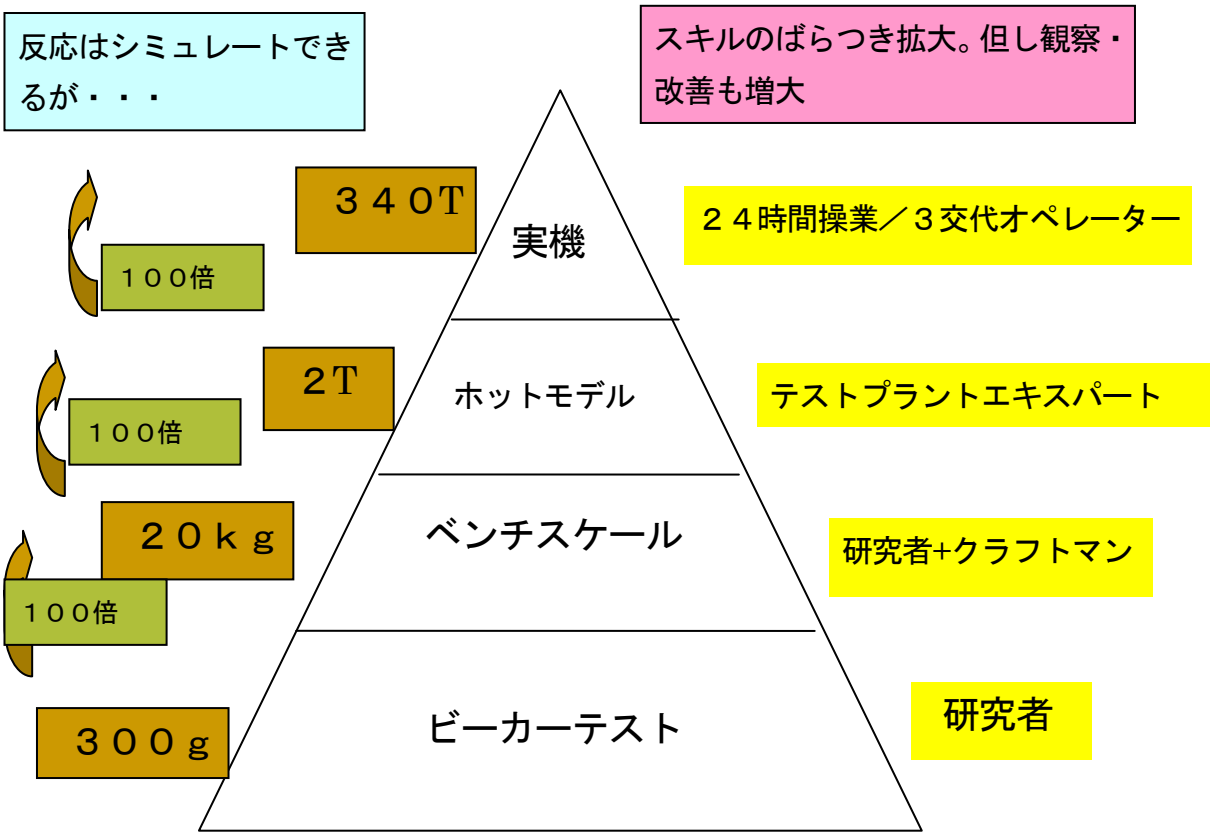


図３－３　実機確認必須技術の概念

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

３．４　転炉について

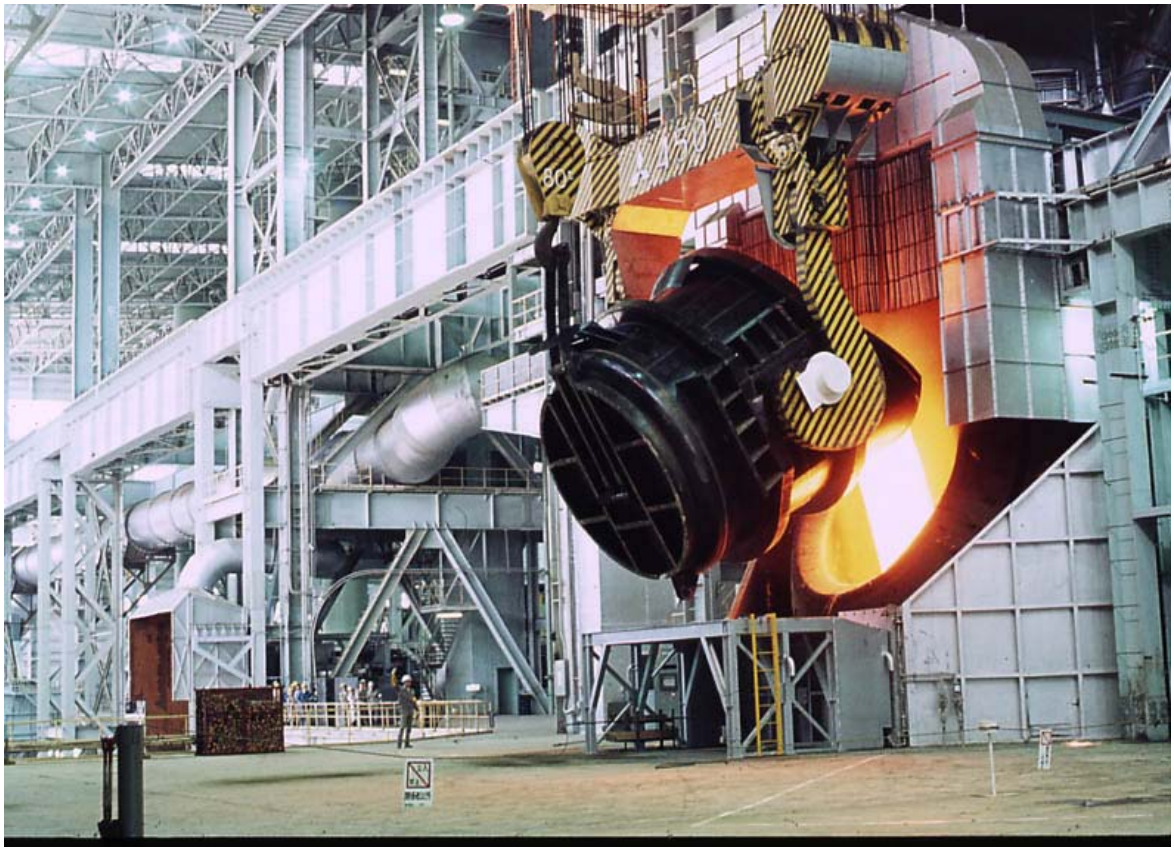


図３－４　転炉

図３－４はＡ社Ａ製鉄所の３４０トン転炉である。高さ約１５ｍ、最大直径６ｍほどの徳利型をした鉄の容器を耐火煉瓦で内張りし、高炉から運ばれてきた銑鉄（溶銑）を図のように注ぎ入れる。その後、炉を垂直に立ててランスと呼ばれる水冷パイプで上から酸素を吹き付ける精錬（吹錬）が始まる。

いったん吹錬を開始すると、内部の反応を直接観察する手段はなく、初期条件から推定した終点の手前（脱炭反応が酸素供給律速から炭素拡散律速に変化する炭素濃度に到達したと思われる時間）で、サブランスと呼ばれるサンプル採取兼温度測定装置によって温度と炭素濃度（凝固点から）を測定し、終点制御を行う。

温度と炭素の両方が目標範囲に収まる「同時的中率」は、通常８０％程度であるが、中には９８％を越すような吹錬オペレーターも存在し、彼らは鉄皮（転炉の外側の鉄部分を呼ぶ）を透かして内部で起きている反応が目に見えるという。こうした３交代要員が技術を育てていく実際の担い手である。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

ここで、精錬関係の大学の研究室や企業のラボで使われる３００ｇタンマン炉（炭酸マグネシウムるつぼ／高周波誘導溶解炉）は一辺約３．４ｃｍの立体に相当する。当然実機との流体力学的・反応容器的相似は不可能である。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

３．５　ポーターの５つの競争要因について

上述のような巨大な「実機確認必須」技術を抱える大規模高炉一貫鉄鋼業を、外部からの競争環境という切り口で、表３－１に整理した。

表３－１　ポーターの５つの競争要因－大規模高炉一貫鉄鋼業のケース－

競争要因	状況	ブロック可否
新規参入の脅威	大規模高炉一貫：既存メーカーの技術的協力なしでは完璧に参入不可。資金的にも土地代抜きで 3000 億程度／250 万トン 小規模高炉：年産 50 万トン規模までは参入可能（例：中国） 電炉：スクラップ等原料事情が許せば資金的障壁のみ。鉄筋製造なら新規立地で 200 億未満／50 万トン（3 年程度で回収可）	小規模参入はブロック手段なし。 規模の経済が働くので、価格競争力での優位が残るが、人為的に為替を操作する国には（市場原理が働かないため）太刀打ちできない。
供給業者の交渉力	主原料：世界的にメーカー集約（有力 3 社）進み、力関係が逆転。 その他：購入規模大のため、交渉力健在。	高炉メーカーの共同購入（20 世紀の慣行）に戻れるか。
代替製品の脅威	マスの「鋼材」に関しては、比強度、重量あたり価格などで代替品はないが、分野で見ると、飲料缶のアルミ・PET、自動車外板のアルミ、耐候性のチタンなど、一部先端機能材料で代替品台頭。	「ファインスチール」技術開発により、機能でも凌駕を計画（実験室的には Fe の特性は抜群→工業製品でも能力発揮できるような開発）
買い手の交渉力	自動車：産業としての重みが増すとともに交渉力増大。但し以前同様「パフォーマンスギャランティー」のため、価格は安定。 電機：個別のため、一概には言えない。 造船重機：大手は伝統的に高い技術力を背景に「スペックギャランティー」で購入。従って価格とスペックが透明。相互の納得で価格決定（例外あり）。 製缶：寡占業界のため、買い手優位。	大手顧客（「ひも付き」と称する）とは友好関係（相互依存）あり、当面共存。スイッチングコストが非常に高く、同一部品での転注がほとんど実質不可のため、受注までが勝負。 建材他「店売り」は、商流が変わらない限り安泰。今

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

	建材：一部ゼネコンを除き小口なので仕切り価格が通用する。リスクは介在する商社・問屋が取る。	後のネット販売などが要注意(過去にはあまり上手くいかなかった)。
産業内の競争	国内：熾烈。激しい食い合い。但し、増産基調の時のビヘイビアに企業差あり、現時点では国内顧客向けはA社優位（B社は国内供給責任よりも、高価格の取れる輸出市場へシフト） 米欧：輸送コスト障壁があり、そもそも鉄は「ドメスティック」のため、直接の競合は余りない。既存テリトリーから遠隔地へ転出した顧客への供給責任は、現地に近いメーカーへの技術供与（緩やかなアライアンス）により果たす。 韓国：技術協力関係により友好的だったが、最近は日本国内に自前のデリバリー拠点を設けるなど、独自路線も垣間見える。 中国：輸出市場を知る一部の大手を別にすると、何が起きるか不明。一般の商道徳が通用しないこともある。	飛びぬけた技術で世界制覇（例えば方向性電磁鋼板、自動車用亜鉛めっきなど）した上で、技術供与によって緩やかに連携することで相互の利益を守っていくビジネスモデルが妥当だが、市場原理が働かない地域の扱いが課題。

結局、中国の今後次第の部分が大きいが、約２億トンといわれる世界の高級鋼の市場を抑えていくためには要求品質の捕捉と製品化は当然として、それらの品質を造り込んでゆくプロセス開発、それに続くコストダウン努力が必須であり、これは従来の競争の文脈となんら変わるところはないと思われる。

つまり、失敗の危険性をはらんだまま、実機による最終確認が必須な技術の開発で競争を支えていくことは変わらないということであり、逆に言えば、こうした技術の成功確率を上げることがますます重要となってくるとも言える。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

３．６　技術発展の舞台としての鉄鋼プロセス

通常、卓越した技術が現れると、例えばソフトウエ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。

また、アバナシーら（1975）は、市場レベルでの顧客と製品技術進化の相互作用に関して「ドミナント・デザイン」という概念を提示した。

製品の技術的進化は、まず製品の技術が流動的な状態から始まり、次第に固定化しつつ、最終的にはドミナント・デザインが確立し、製品そのものの技術進化は収束するとする。それまでは企業は多様な技術の組み合わせを試行する。

そして一旦ドミナント・デザインが確立してしまうと、探索活動は中止され、その製品をいかに安くよい品質で造るかに競争優位の源泉が移行する。当然競争の焦点はラディカル・イノベーションからインクリメンタル・イノベーションへ、プロダクト・イノベーションからプロセス・イノベーションへと移行する。

今回取り上げた「製造プロセス技術」の場合は、製品に直接使われないため、直接的な市場からの淘汰圧による、ドミナント・デザインへの収束は起きないと思われるが、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見できる。

以上述べてきた鉄鋼プロセスを「技術発展の舞台」として特徴付けると、以下の３点にまとめられる。

①「実機検証必須性」

設備サイズが巨大で、特に流体、熱および物質移動のスケールファクターが、ラボサイズでは検証不可能（ラボスケールでは決着がつかない)。

②「高いオペレーションへの依存度」

プロセスの中身が複雑でばらつきが大きく、また計測可能性も少ないため、熟練オペレーターによる操業改善が必須（単に開発技術を装備しても所期の目的通りには動かない)

③「比較的低い淘汰圧と比較的高い慣性」

直接市場競争にさらされる製品技術とは異なり、企業の製造プロセスの中で相応の

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

成果（コスト削減、能率向上など）を出せれば、使い慣れや追加投資の大きさなどの問題から、比較劣位にあるプロセスでも必ずしも淘汰されるとは限らない。

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。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　４　章
ケーススタディ

これまで述べてきたような技術的土台の上に、技術進化の例として典型的な２つの技術を採り上げて、それぞれの歴史的経緯と、たどった変化（進化）およびその道筋となった理由についてケーススタディを行う。

一つ目は、転炉の炉底から撹拌ガスを吹き込む、複合吹錬（上底吹き）技術で、これは１９７０年代後半に現れ、短時間に非常に多くのバリエーションを生み、その殆どがそのままの形で現在も使われ続けている例である。Stone, J, K（1984）、Fujii, T（1985）、Carlsson, G（1986）、伊丹敬之(1997)、野崎努(2000)などによって手際よくまとめられ、 日本鉄鋼協会（編）(2002)には網羅的に世界の状況が掲載されているが、なぜこのように多様な技術があるかについての満足な説明はない。

二つ目は、転炉スラグ流出防止技術で、これは１９５０年代の転炉導入時期からの技術課題である、精錬後のスラグ（鋼滓。銑鉄中の不純物を取り除くために使用する媒溶剤と除去された不純物の酸化物および鉄の酸化物からなる副製品で、鋼の品質に悪影響を及ぼす）を効率よく分離することを目的とするが、多くの技術が発明・実機適用されながら長続きせず、５０年を要してようやく一つの技術が標準となりつつあるという例である。鉄鋼便覧などにも体系的にまとめられたものは現在のところみつからない。

この二つの技術を比較することで、まず技術の進歩過程の分類を試み、次に成功する類型を生む要因について考察を深める。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１　上底吹き転炉羽口

４．１．１　転炉の炉内反応

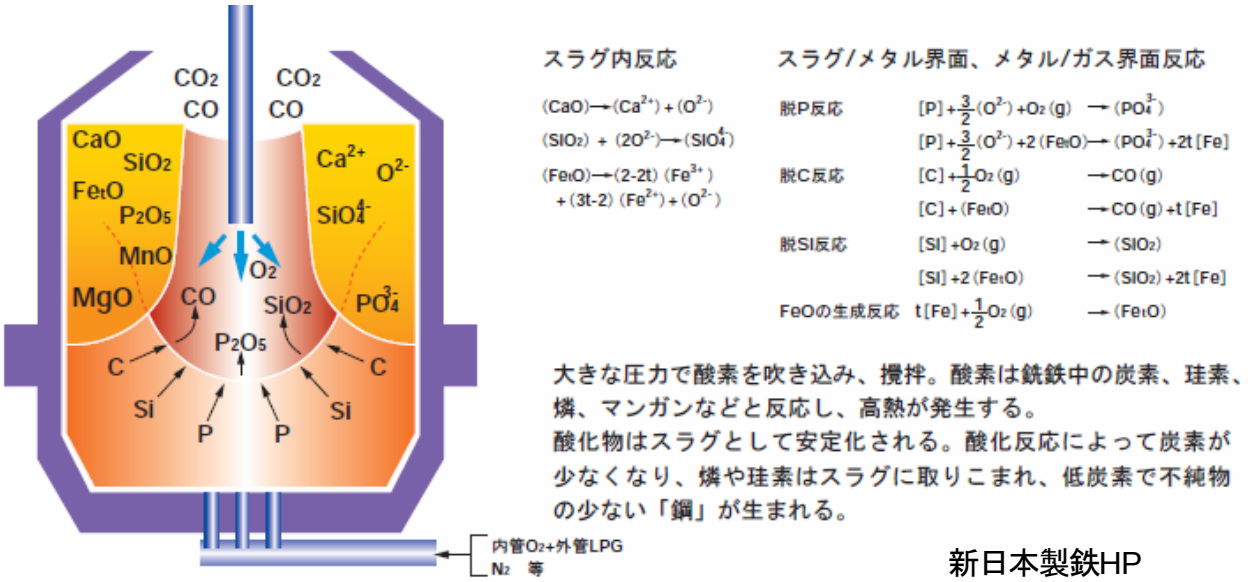


図４－１－１　転炉炉内反応模式図

図４－１－１に転炉の炉内反応のアウトラインを示す。転炉は基本的に酸化反応によって銑鉄中の不純物を酸化除去するプロセスで、その反応はスラグ／溶鉄間の液―液反応で起こるとされている。

反応促進のポイントは、従って化学平衡そのものと、反応界面への物質供給速度になる。

図には転炉の底から酸素ガスが吹き込まれる絵が見えるが、この吹き込み口を「羽口（はぐち）」、と言う。

上吹き転炉導入以前の標準的製鋼法である「平炉」は、一回の精錬に半日近くを要したが、転炉では精錬そのものは約２０分で終了する。

制御に失敗すると炉内の溶鉄がほとんど外へ飛び出してしまうほどの反応の激しさから、上吹きのエネルギーと生成する CO ガスだけで十分攪拌されていて、物質供給速度は十分と考えられ、炉内反応は長く「平衡」として扱われていた。（次節で再論）

しかし全量底吹き転炉の出現で状況が一転し、上吹き転炉では炉内は平衡に達していない、従ってもっと物質移動速度を向上させる必要があるという認識が広まった。

「攪拌」が時代のキーワードになった。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．２　時代のキーワード

技術には、流行がある。

流行というといかにも浅薄な響きがするが、ある時期に日本だけでなく世界中のメーカーが同じような開発に一斉に取り組むことがある。消費者に近い方から例を挙げれば、例えばフラットテレビがそうである。また、少し抽象度を上げると、例えば何にでも通信機能を付ける技術・製品もそう分類できる。化学製品なら高軟化点プラスチックの開発競争が該当するだろう。生産技術で言えば、セル生産方式などが（もちろんその前にコンベヤ方式もそうだったのだが）典型である。

これらが共通して持っているのは、何らかの時代背景を持った「キーコンセプト」である。そしてそのコンセプトは、あるブレークスルー技術によって「パラダイムが変わった」ことに触発されて生成する。敏感な技術者は、このパラダイム変換に気づくと同時に走り出す。あっと言う間に「流行」が生ずる。こうした現象を以前から密かに「適応放散」と呼んでいた。

鉄鋼業、なかんずく製鋼プロセスの７０年代後半から８０年代を支配した「時代のキーワード」は、「撹拌」と「粉体メタラジー」であった。

本論文では「撹拌」についてのみ説明する。

ベッセマー転炉に始まる近代製鋼は、やがて平炉全盛を迎え、脱燐のために半日から一昼夜かけて平衡反応を起こさせるのが当然という時代を過ごし、やがて大失敗が大成功を産んだ上吹き転炉へと大進化し、今度は二十分余りで十分な平衡に到達しているに違いないプロセスを手に入れた。なにしろ操業を間違うと炉の中にあるものが全部吹き出してしまうほど強烈な反応が起きているのだから、誰もが平衡反応だと信じていた。時代を支配した、結果的には誤っていたパラダイムである。

当時の日本の製鋼技術者が考えていたことを、「わが国における酸素製鋼法の歴史」（日本鉄鋼協会（編）(1982)）から拾うと、転炉導入以来約 20 年にわたって炉内反応は平衡に近いと考えられてきたことがわかる。

- ①転炉における精錬時間は２０分程度できわめて短い、②それにも拘らず、Ｃ≦０．１％の終点では脱燐平衡に達している、③Ｃ＞０．３％でＰが低下しない
- 吹錬方法によらず、Ｃ＜０．０５％におけるＰの分配比はスラグ組成や温度のみに依存することから、脱燐が平衡に近いことを予想させた。
- ダブルスラグ法の確立には、Ｓｉ吹き後途中排滓以前、すなわち、吹錬開始後６～８分

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

の短時間にいかにして脱燐を促進させるかが重要な鍵であった。

・脱燐の律速段階は溶銑中のＰあるいはスラグ中のＣａＯの反応界面への移動速度にあると推定し（後略）（１９６４年。この時期に移動律速、即ち撹拌、が話題になっているが、転炉の撹拌の弱さには思い至っていない。）

・ＬＤ法の終点では平衡に達していない（後略）（１９６３年。これが初の言及）

・吹錬終点で脱燐反応が平衡に達しているかどうかについては依然として意見が分かれ、吹錬終点の炭素濃度の違いや温度の問題が指摘されたものの、ほぼ平衡に近いというのが大方の見方になったようである。（１９６８年。いまだに意見が分かれている）

・臨界Ｃ濃度はスラグ量の多い場合は０．７～０．９％と高く、ばらつきも大きいが、スラグ量が少ないと０．２５～０．３％にまで低下しており、転炉の場合には、この臨界Ｃ濃度はＯ２供給律速からＣの拡散律速の遷移点というような実験室における結果を単純に適用することはできない（後略）

・鋼浴の撹拌の意義は、上吹転炉に関してはハードブローとソフトブローの如く概念的にもまた実操業的にもかなり明確とされ、定量的にもＬ／Ｌ０などのパラメータを基準とした評価がなされていた。（中略）真空処理技術から発展した撹拌力に関する定量的評価方法（中略）終点制御技術確立の制約となっているＬＤ転炉内鋼浴の不均一性の認識（後略）

・製鋼プロセスにおける撹拌の意義を身を持って認識している製鋼技術者（後略）

・平炉と置換する場合に既存の建屋内に設備が納まるので設備投資額がかなり安くなる。（中略）いまだに多数の大型平炉工場群を持ちながら近い将来、転炉への置換に迫られて　いる米国の製鉄会社には重大な利点となる。（しかしならなかった。）

１９７０年代に入り、上吹き転炉の炉内反応はもしかしたら平衡ではないのかも知れないと考え、かつ平衡促進のためのツールを鉄鋼業以外（酸素プラントのメーカー、カナダのエアーリキッド社）から見つけてきたオーストリア人がいた。故ブロッツマン博士は、これも今は亡きマキシミリアンヒュッテ株式会社の転炉を改造し、純酸素を炉底から吹き込む試験を行い、見事に仮説を証明した。転炉は平衡反応容器ではなかった。

パラダイムが変わった。ブロッツマン博士の羽口（炉底から酸素を吹くためのノズル）は数十回しか保たなかったにも拘わらず、全世界の製鋼技術者が飛びついた。まさに時代のキーワードだったのだ。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．３　転炉底吹き羽口の概念

図４－１－２に示すように、羽口を用いて溶鉄のなかへ直接酸素を吹き込んで撹拌力を付与しようとしても、それだけではすぐに溶けてしまう。そこでカナダのエアーリキッド社の技術者が発明したのが「二重管羽口」で、外管との隙間から冷却ガスで冷やす構造が特徴である。彼らの発明は、この冷却ガスに炭化水素ガスを使い、その温度上昇過程で起こるクラッキングによる吸熱を羽口冷却に利用したことである。

１９６７年にドイツで酸素を全量底から吹き込むタイプが初稼動したが、その後「攪拌」という所期の目的のためには全酸素量の１割か２割吹き込めばよいと言うことがわかり、従来の上吹きに若干の改造を加えるだけで飛躍的な効果が得られた。従って、大部分の上吹きに少量の底吹き併用する「複合吹錬（上底吹き）」タイプが主流となっていった。

但し、一方で第一号機が稼動した後も、７５～８０年にかけて西欧では上吹き転炉の新設と底吹き転炉の新設が並行したことは特記しておく。

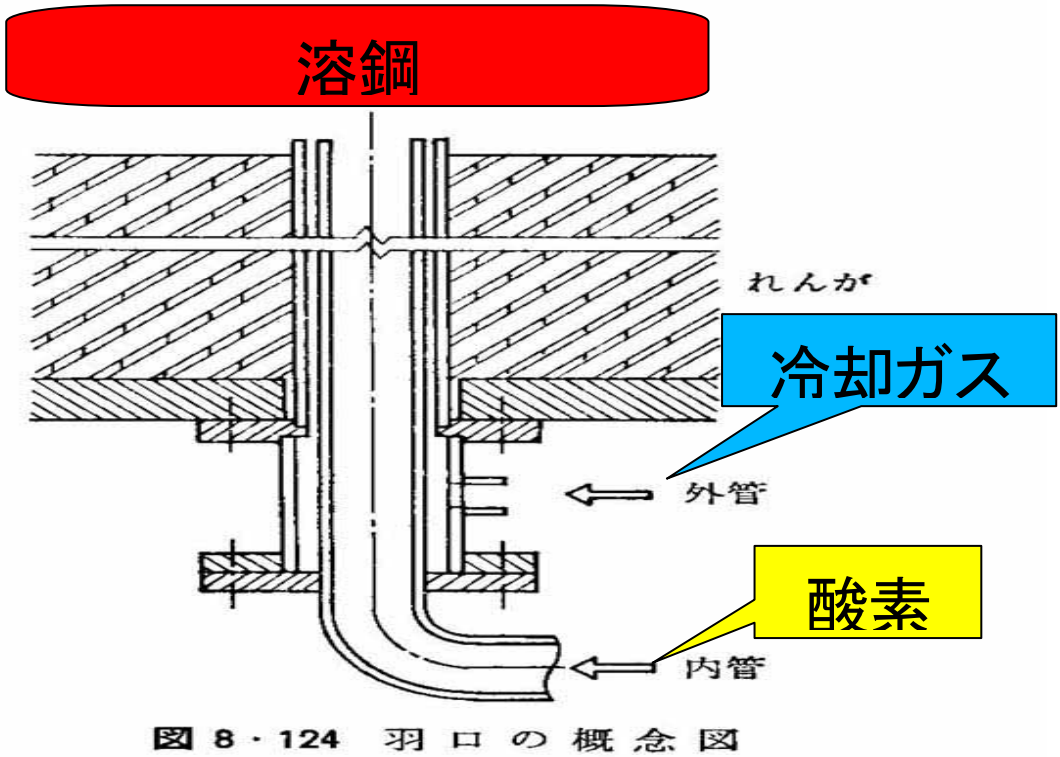


図 8・124　羽 口 の 概 念 図

鉄鋼便覧第4版

図４－１－２　転炉底吹き羽口の概念図

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．４　わが国における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 の労作や、導入直後の 10 年間の日本 BOT 論文集に、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では、１９７４年以降を転炉技術の安定期と捉えている。

一方同じ７４年の西山記念技術講座では、前節で述べたドイツで初適用された全量底吹き転炉「ＯＢＭ（Oxygen Bottom blowing Method）」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。」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に、日本初の全量底吹き転炉（Ｑ－ＢＯＰと呼称された）が、導入技術として稼動した。

千葉製鉄所の成功は、日本国内では詳細な冶金学的発表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 Colombia 大学の Brimacombe 教授(1992)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、上吹き転炉および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。

図４－１－３に日本における上底吹き転炉の普及状況を示す。約１０年で８割以上が変わってしまうという猛烈なスピードで導入が起きたことが見て取れる。

ここで興味深いのは、これほどの賞賛を浴びる革新技術でありながら、実際に各社が競って実用化した底吹き羽口は各社各様、いわゆる NIH 状態で、直接技術導入をした川崎製鉄以外は 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。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

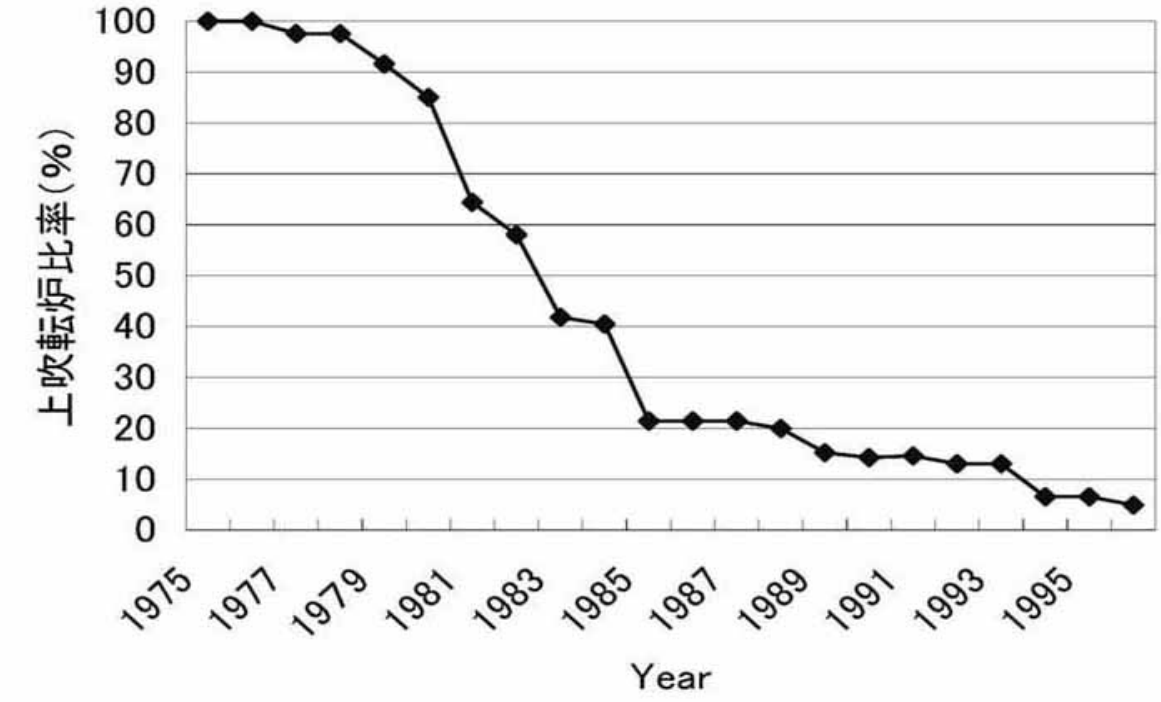


図 42-8·28　上吹き転炉の切り替え状況

日本鉄鋼協会（２００２）鉄鋼便覧　第４版

図４－１－３　上底吹転炉導入状況

４．１．５　底吹きノズルのバリエーション

図４－１－４に、導入されたり、独自開発された羽口の代表例を示す。
これだけの種類がほぼ一斉に実際の生産工程に適用された。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

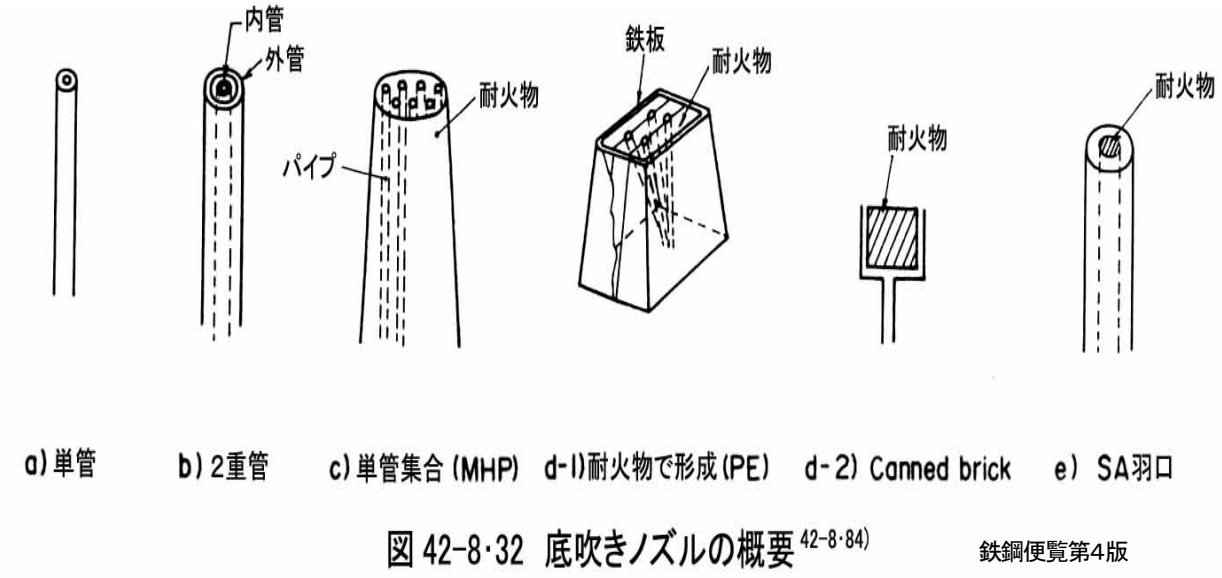


図 42-8·32 底吹きノズルの概要[42-8·84)] 鉄鋼便覧第4版

図４－１－４　底吹ノズルのバリエーション

４．１．６　上底吹き転炉のバリエーション

図４－１－４の羽口を、各社の主力製造品種や上工程・下工程条件と組み合わせ、各社（各製鉄所）各様の「プロセス」が派生していった。その状況を表４－１－１および図４－１－５に示す。

多くの技術分野で、こうした黎明期に多種類の技術が競合して並存することまではありうるが、興味深いのは、表４－１－２に示すように、２００１年段階で、これらのプロセスのほとんどが生き残っている、ということである。しかも、既述のようにこの中で元発明のままの二重管羽口を採用したのは、最初に導入した１社のみで、ほかの会社はすべて独自開発、NIH であった。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表４－１－１　上底吹転炉製鋼法のバリエーション

表 42-8·5 上底吹転炉製鋼法の分類[42-8·73)]

鉄鋼便覧第4版

底吹き方法	複合吹錬プロセス		底吹きガス			特徴
	名称	開発者	主ガス	冷却ガス	全ガス量(Nm³/min·t)	
通気性れんが	LBE	IRSID と ARBED	N_2, Ar	—	0.07~0.15	Permeable element, 炉内二次燃焼
	LD-BC	CRM	〃	—		ポーラスれんが
	UBDT	KRUPP	〃	—		
単管羽口	LD-AB	新日本製鉄	N_2, Ar	—	0.02~0.30	
	LD-KG	川崎製鉄	〃	—	0.01~0.10	
	LD-OTB	神戸製鋼	〃	—	0.04~0.50	SA 羽口, 大幅流量範囲制御
	LD-CB	日本鋼管	〃	—	0.01~0.10	Multi-hole 羽口, CO_2 吹きテスト有り
	LD-SS	MEFFOS	〃	—		
	ATH-B	ATH	〃	—		
二重管羽口	STB	住友金属	CO_2+O_2	CO_2	0.03~0.15	K ガスからの CO_2 製造プラント併設
	BAP	BSC	空気$+N_2$	N_2	0.30~0.80	
	LD-OB	新日本製鉄	O_2	LPG	0.15~0.80	
	LD-HC	CRM	O_2	C_mH_n	〃	
	LD-BD	MEFFOS	O_2	C_3H_8	0.20~0.5	
	K-BOP	川崎製鉄	O_2+CaO 粉	C_3H_8	1.0 ~1.5	Q-BOP なみの CaO 粉の底吹き

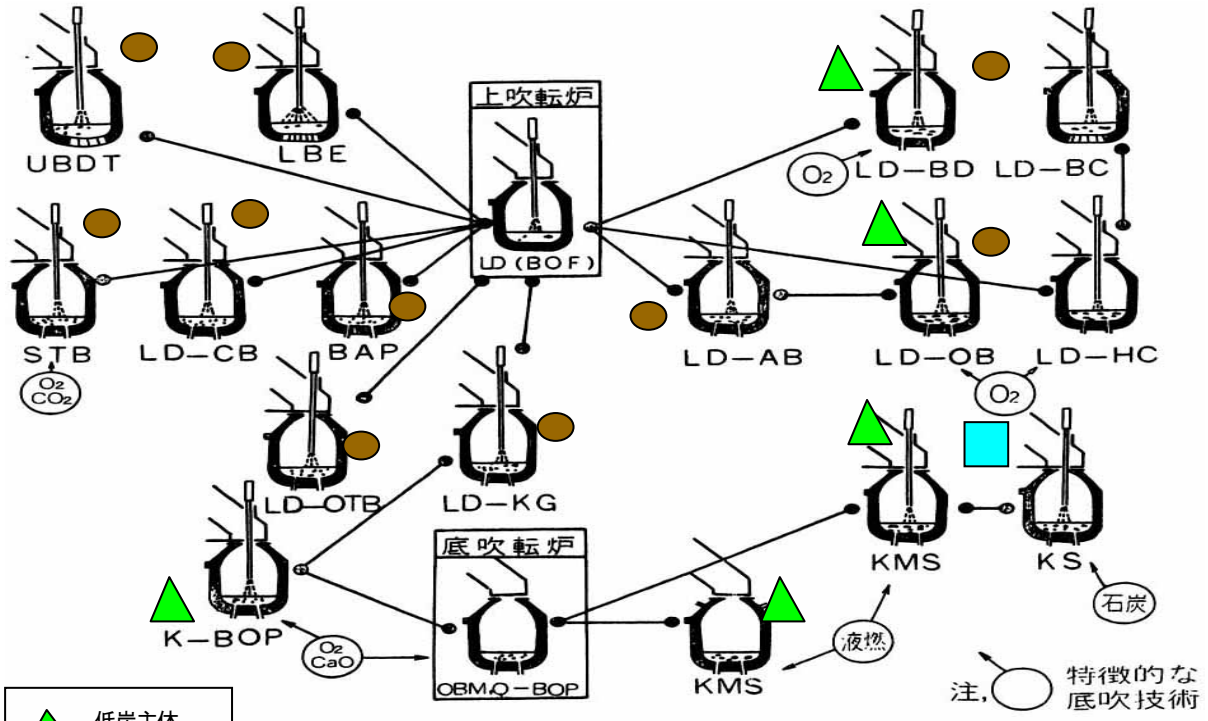


図 42-8·30　各種上底吹転炉法の位置付け[42-8·73)]

鉄鋼便覧第4版

図４－１－５　上底吹き転炉のバリエーション例

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表４－１－２　２００１年段階での上底吹き転炉

表 42-8･6 国内各社における上底吹転炉法の普通鋼脱炭吹錬への適用状況（2001 年 4 月現在）

名称	会社	工場	T/ch×基数	底吹きガス(設備能力)		
				主ガス	冷却ガス	全ガス流量 (Nm3/min.･t)
LD-KGC	川崎製鉄	水島　1製鋼	180t×3	CO,N_2,Ar		0.005～0.2
NK-CB	NKK	京浜	250t×2	N_2,Ar	—	0.01　～0.15
		福山　2製鋼	250t×2	N_2,Ar	—	0.01　～0.17
		3製鋼	300t×2	N_2,Ar	—	0.01　～0.12
LD-OTB	神戸製鋼所	加古川	240t×3	CO,N_2,Ar	—	0.01　～0.10
		神戸	90t×2	CO,N_2,Ar	—	0.03　～0.10
LD-CB	新日本製鐵	室蘭　1製鋼	270t×2	CO_2,N_2,Ar	—	0.01　～0.12
		君津　1製鋼	220t×3	CO_2,N_2,Ar	—	0.01　～0.13
		広畑　2製鋼	100t×1	CO_2,N_2	—	0.03　～0.15
			120t×1	CO_2,N_2	—	0.03　～0.15
	中山製鋼所	船町	115t×2	CO_2,N_2	—	0.06　～0.15
STB	住友金属	鹿島　1製鋼	250t×3	O_2,CO_2,N_2	CO_2	0.03　～0.15
		2製鋼	250t×2	O_2,CO_2,N_2	CO_2	0.03　～0.15
		和歌山	210t×2	CO_2,N_2	—	0.03　～0.15
LD-OB	新日本製鐵	君津　2製鋼	300t×2	O_2,CO_2,N_2	LPG	0.13　～0.30
		名古屋	270t×2	O_2,CO_2,N_2	LPG	0.06　～0.30
		八幡　N製鋼	150t×2	O_2,CO_2,N_2	LPG	0.06　～0.30
		八幡　T製鋼	350t×2	O_2,CO_2,N_2	LPG	0.06　～0.30
		大分	340t×3	O_2,CO_2,N_2	LPG	0.06　～0.30
	日新製鋼	呉　2製鋼	185t×1	O_2,CO_2,N_2,Ar	LPG	0.04　～0.08
		1製鋼	90t×2	O_2,CO_2,N_2,Ar	LPG	0.09　～0.10
K-BOP	川崎製鉄	水島　2製鋼	250t×3	O_2,N_2,Ar	C_3H_8	0.3　～0.5

鉄鋼便覧第4版

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．７　上底吹き転炉技術の発展経緯

上底吹きの発展経緯を歴史的文脈の中に展開して図４－１－６に示す。

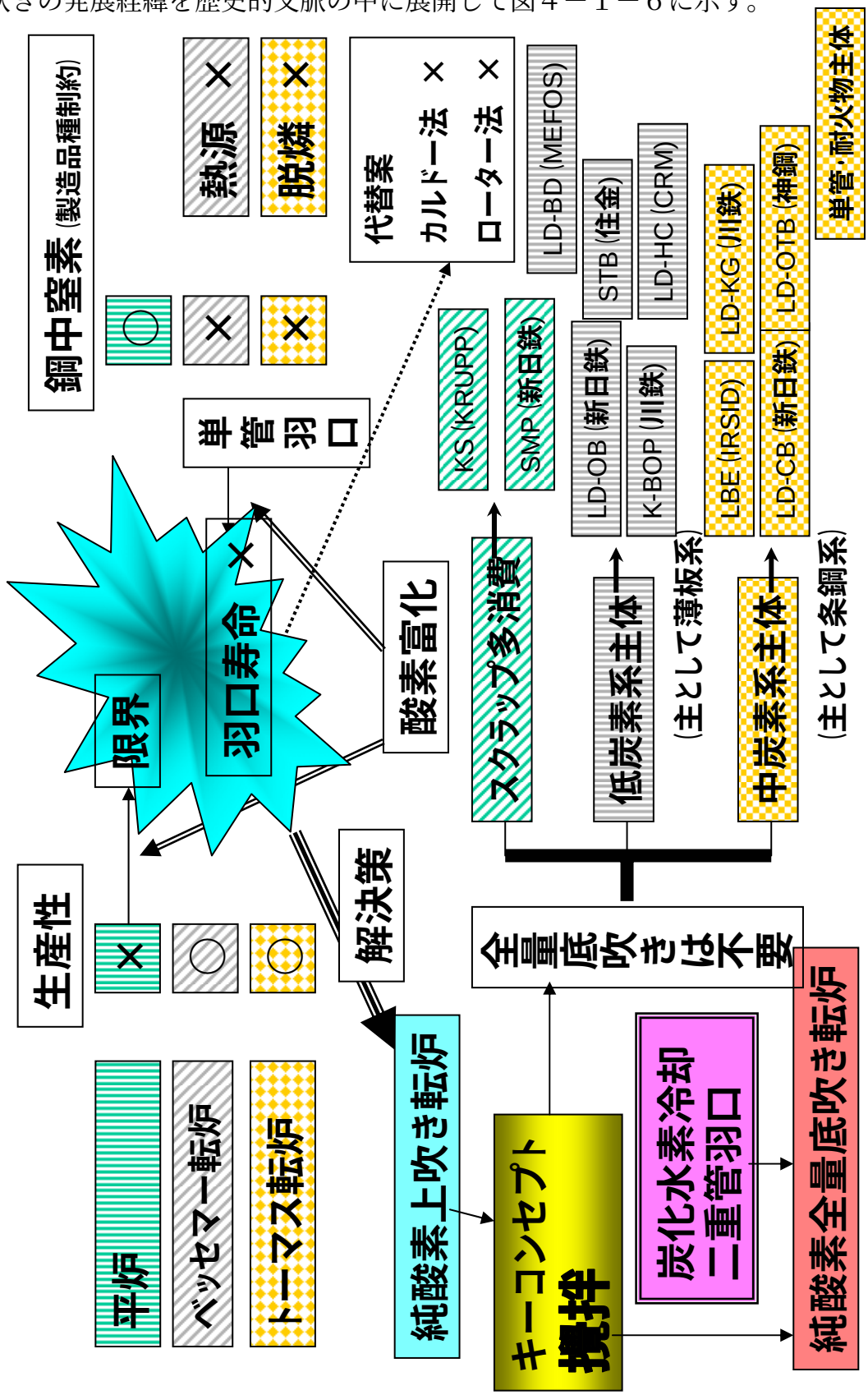


図４－１－６　**上底吹き転炉技術の発展経緯**

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

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経緯がある。（この時期を Lynn(1982)は、「ＢＯＦは世界の鉄鋼産業が共に抱えていた諸問題を解決する新しい解であった（後略）」と表現している。それを「時代のキーワード」と表現してみたい）

それが、二重管羽口の発明と、「攪拌」という時代のキーワードを得て、一気に世界中の鉄鋼メーカーでそれぞれの風土とニーズにあった形でバリアントを増やしていったことがわかる。

この状況は、平炉・元祖転炉が上吹き転炉に駆逐された以後も、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『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。

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」ないしは「異質同形性（Isomorphism）」に酷似しているように見える。

４．１．８　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、化石の研究から、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。(宮田隆(1998))

また、ライアル・ワトソン(2000)は、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、実際に出来す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、としたうえで、「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、

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

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。

図４－１－７に生物進化における典型的な適応放散の例を示す。

アフリカ大陸とそれ以外の大陸で、アリを捕食する、虫を食べる、などの生物学的なニッチに対応して適応放散が起こり、更に、元来は別の起源を持つ生物から似たような生物に収斂進化していったとされている。

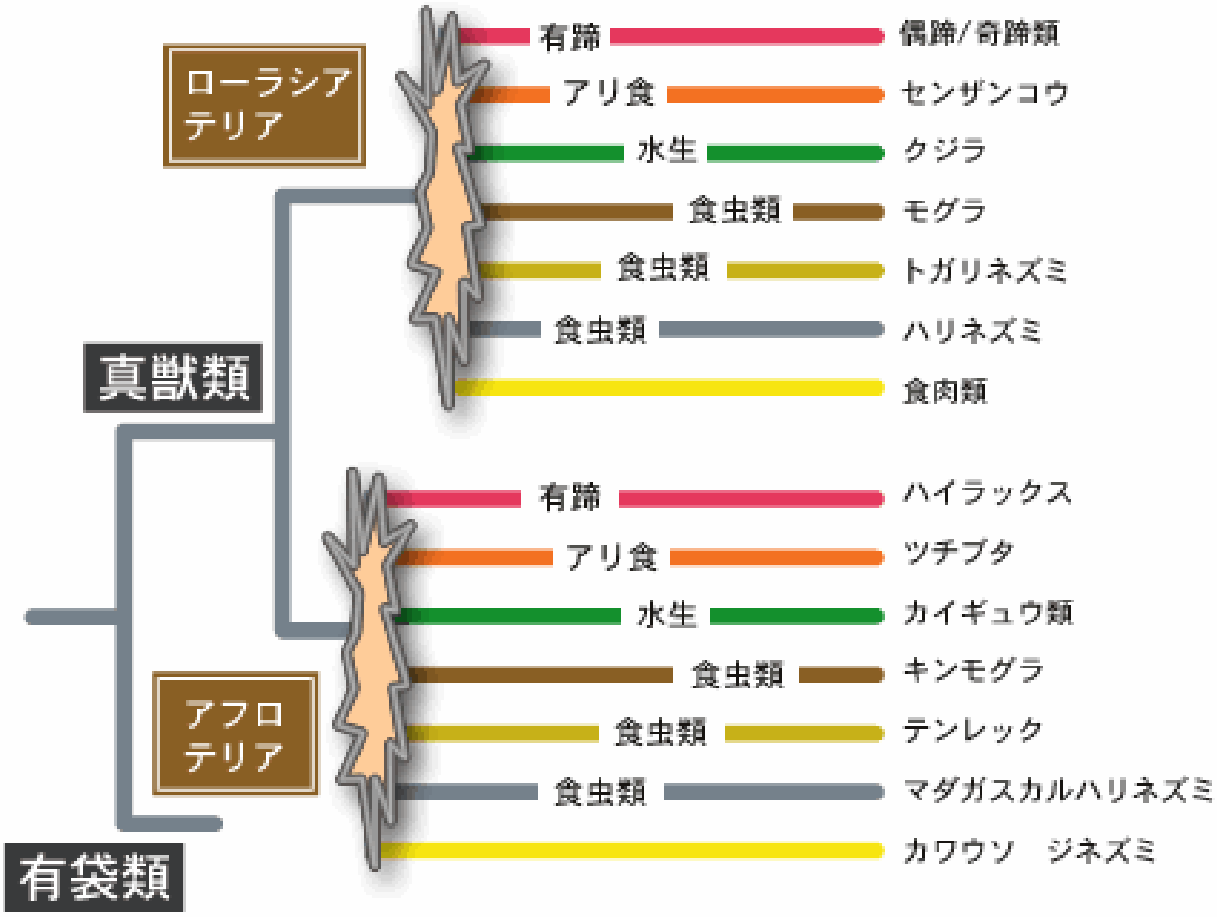
すなわち「適応放散(Adaptive Radiation)」とは、起源を同一にする生物群が、種々の異なる環境に最も適した生理的または形態的な分化を起こして、多くの系統に分かれることをいい、現在の地球上に多様な種が見られるのは、長い間の適応放散の結果である。

生活場所では地上、地下、樹上、空中、水中などに、食性では肉食性、虫食性、植食性などに、時間的には昼行性、夜行性への放散がある。

例えば、オーストラリア大陸では有袋類が種々の異なる環境へと放散し、現在約 140 種が生息している。コアラ（樹上性、植食性、夜行性）、タスマニアデビル（地上性、肉食性、夜行性）、フクロアリクイ（地上性、虫食性、昼行性）などがその一例である。
（http://www.brh.co.jp/experience/communication/shinka/index2005.html）

次に、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を収斂進化(Convergence)と呼ぶ。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。
大陸ごとに真獣類の適応放散が起こり、大陸間で多くの収斂進化が起きたことになる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda



宮田隆:生命誌研究館HP

図４－１－７　生物界における適応放散と収斂進化

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

別の例として、マダガスカルにおけるテンレック類の適応放散状況を図４－１－８に示す。

マダガスカルではまったく欠如するか、あるいはきわめて種類の少ない科（図の右側）を埋め合わせるように、テンレック科がそれらの生活空間を占めたり、形態を似せている。すなわち新たに生じた（この場合は島）生態学的ニッチに対し、既存の種が既存の遺伝子を用いて、最も適した生理的または形態的な分化を起こして、多くの系統に分かれ、それぞれのニッチを埋めていく現象が起きている。

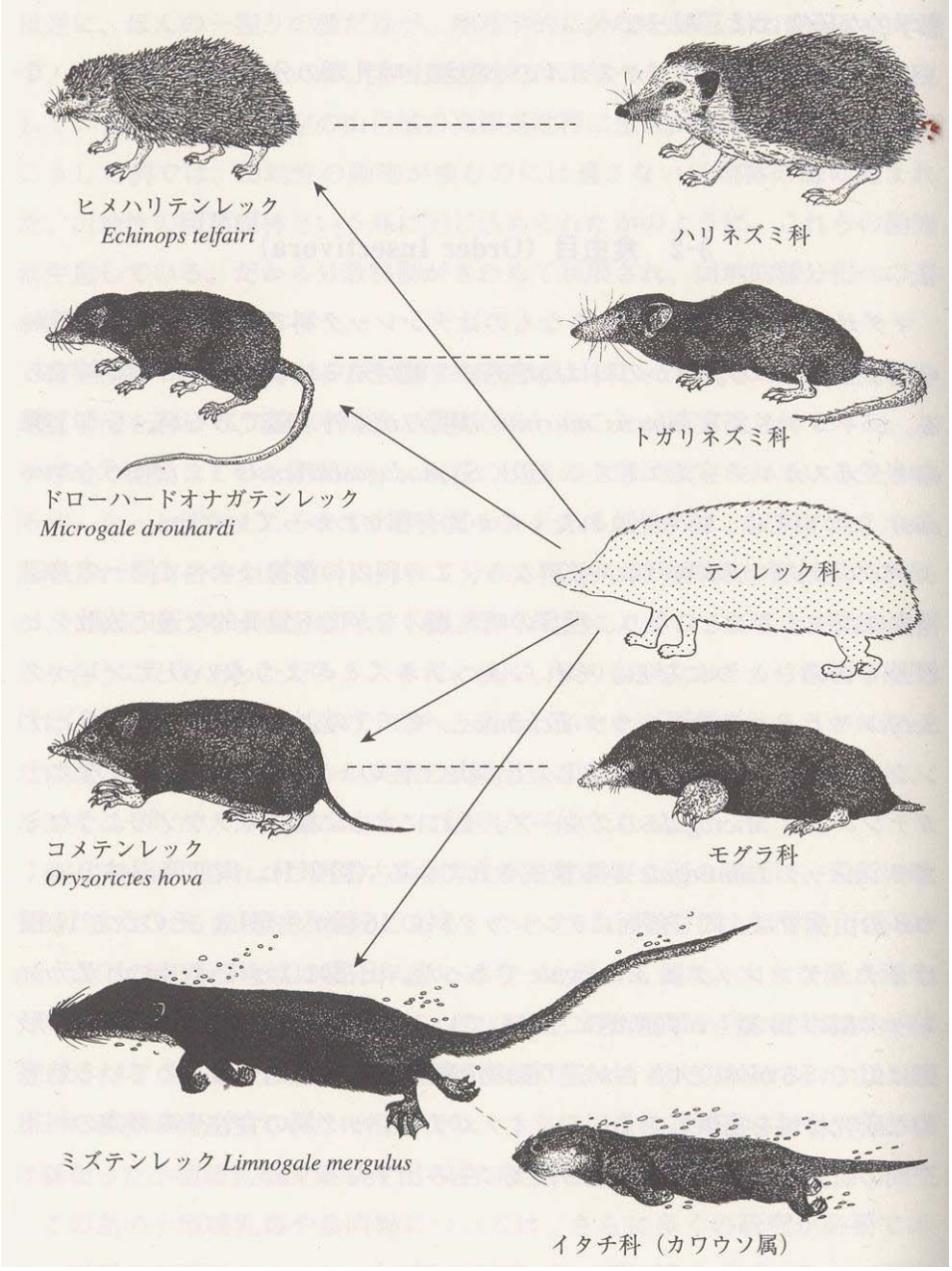


図４－１－８　マダガスカル島におけるテンレック類の適応放散

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．９　なぜ底吹き羽口で適応放散が起きたか

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。生物界で適応放散が起きる条件をまとめると、

①大絶滅などによって生態学的ニッチが生成・存在すること
②環境との相互作用があること
③淘汰圧が比較的低いこと
④物理的隔離状況があること
等が挙げられる。

これらを底吹き羽口技術と比較すると、表５－１－３のようになり、適応放散が起きるためのいずれの条件も満たしていることがわかる。

表４－１－３　適応放散が起きる条件―生物界と底吹き羽口のアナロジー

生物界	底吹き羽口技術
大絶滅	「発見」の高速浸透……時代のキーワード「撹拌」の同時認識
生態学的ニッチ	製造品種、上工程・下工程差等の製造所別特性差
環境との相互作用	高いオペレーションへの依存度
低い淘汰圧	直接的市場競争原理からの隔離、投資回収により目標達成可 それぞれの「満足レベル」に到達。「別の技術」を探す負荷大 ⇒積極的に淘汰を受け入れる傾向なし 乗り換えコスト大（数十億円単位）
物理的隔離	相互交流頻度少（上吹き転炉導入時との比較で） 溶損速度や冶金効果などの「結果情報」は迅速に伝達 ⇒手の内が見えない中で、成果での競争

ここで見落としてはならない大切な点は、「大絶滅」に続く開発の同時スタートといっても、そもそも独自技術の開発に着手してよいという組織決定がないと、なにものも始まらないという部分である。

伊丹敬之(1997)は、日本における上吹き転炉導入の経緯について「現場実験を巨大な規模で実行したのは、ほとんど日本だけだった。」と述べているが、底吹き羽口については、

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

欧洲と日本の多くの製鋼工場で同時多発的に開発が始まったことから、上吹き転炉導入後20年を経て、伊丹の観察はいささかの修正が必要になっていたと思われる。

次に、底吹き羽口が直接的市場競争原理から隔離されており、独自に投資を回収できれば当面の目標達成が可能だったこと、すなわちそれぞれの「満足レベル」に到達し得たことが、その後の淘汰圧を高めずに済んだ状況については、森岡真史 (2000)によって、「定型の内容については、合理性の基準は一定の範囲での任意性と両立可能であり、したがって同一の目的に対して合理性において対等な定型が多数存在しうる。」と抽象化されていることと同様である。また、四方哲也（1997）の表現では「生物は競争相手と相互作用しながら自身の性質を変化させるので、最適なものだけが勝ち残るのではなく、競争しながらも共存し、その過程で多様化と複雑化が起こる。」とあり、この状況を説明できている。また、「遺伝子レベルではまったく同じようにみえる大腸菌でも、相互作用があると内部状態が微妙に変化して、遺伝子が異なっているかのような性質のちがいを示すようになる。これこそ分化とよぶべき現象である。大腸菌のような単純な生物でも相互作用があれば分化するという事実が示された。相互作用さえあればいやでも分化してしまうと表現するほうが実態に近いかもしれない。」（四方哲也 ibid.）という事実は、技術の進化過程に働くメカニズムが、生物界のそれと非常によく似た側面を持つことを示唆していると考えられる。

最後に、技術と技術思想の面から、適応放散が起きた原因を考察する。

既述の通り、二重管底吹き羽口を発明したのはカナダ／エアーリキッド社の Savard と Lee で、彼らは構想から数えると１０年の歳月を費やしている。もともと転炉の発祥は空気を単管で底から吹き込むベッセマー転炉であるから、組み合わせに関する発想の余地はあったと思われる。

しかし、それにしても１０年間の執念と、その間続いたであろう失敗を許容した風土に注目すると、「間違う可能性のあるところからしか、新しい知識が発生することはない」と言えるかも知れない。

特徴的なのは、最初の発明が鉄鋼業とは本来は縁のない、酸素ガス会社で起きたことである。よく言われるように、ここでも「異分野の知恵の融合」が起きている。（実際は、酸素は高炉―転炉法には必須であり、周辺技術として製鉄所構内にオンサイトプラントがあるのが普通である。しかし製造技術の範囲での技術的交流は皆無に等しいため、縁なしとした）

では、なぜ異分野の知恵が流入すると新しい知識が生まれるのか。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

異分野の人はそもそも主流の考えとは違うことを言い出す、ないし主流とは違うバックグラウンドに基づく考え方をするのは当然である。すると、議論に参加する人は自然と異分野からの発言に対し寛容になる。即ち、進化論の言葉で言えば、「淘汰圧が下がる」ことになり、多くのアイデアが早い段階でつぶされることなく、それなりに真剣な検討の俎上に乗ってくることになる。

本来は主流の人たちだけの議論でも、たとえばブレーンストーミングのように淘汰圧を下げて新しい芽生えを期待するべきであるが、それをより容易にするのが、異分野からの議論への参入、ではなかろうか。

従って、異分野の知恵の融合、とは、とりもなおさず、「アイデアに対する淘汰圧の低下」あるいは、「アイデアの生成反応に対する触媒効果」といえるであろう。

ここで最も特筆すべきは、底吹き羽口を世界中の製鋼技術者がどうとらえたかである。

恐らく「羽口そのもの」の技術、「あるいは羽口を冷却するための技術」の新しさに注目した製鋼屋は誰一人としていなかったのではないか。彼らはみな、羽口を「道具」として見ず、「攪拌」という文脈で見たはずである。少なくとも後述するＡ社ＯＢのお二人はそうであった。

実際底吹き羽口を有する転炉が増加していく過程で、同じ羽口は殆どの場合採用されていない。その意味では非常に強力なパテントであったともいえるのだが、逆に多数の「別解」を許してしまったともいえるわけで、無力なパテントだったとも評価できる。

即ち、技術の本質はSavardとLee、そしてBrotzmannが書いた羽口冷却のパテントにはなく、転炉という「完全混合」と思い込まれていた反応容器に「攪拌」という新しいパラダイムを持ち込んだところにあると考えられる。当時の製鋼技術者は、羽口を「新しい、独自の文脈」で読み解いたのであった。

Snow（1984）は「世界のあらゆる国ぐにの、いろいろな知識人の社会で、ほとんど同時に興奮が伝わるというのは、この反応を引き起こした思想が決してオリジナルなものではありえないということである。オリジナルな思想というものは、そんな迅さで伝わるものではないのだ。」と述べている。

逆に村上陽一郎(1986)は、「技術の世界の興味深い現象の一つは「同時多発」があり得ることである。（中略）ある地域圏でしかるべき技術上の課題が達成された、というニュースが伝わると、それだけで他の地域圏でも、（中略）同じ課題が易々と達成される（中略）このとき伝播しているのは、単に「成功」のニュースだけで、そのノウハウは一切秘匿され

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

ているにもかかわらず、なのである。(中略) こうした現象を共鳴と名付けることは可能だろうが、しかし、それは名付けただけで、説明したことにはならない。」と述べている。底吹き羽口の世界伝播の過程からは、この両者の言説は村上の方に軍配が上がると考えられる。

村上の最後の留保部分については、新しい技術を「新しい、独自の文脈」で読み解くことこそ、技術の具体的内容に関する情報が不足している中でも十分に「共鳴」が起こる原因である、と付け加えることができるのではないか。

加えて、適応放散する大きな土壌は、「豊かなこと」そして「ニッチが十分あること」である。いわゆる「時の利」とはこうした条件を指しているのではなかろうか。(ウルリッヒ(1998)は、「淘汰圧力が欠如している場合、つまり、豊かな状態においては、遺伝的適合性に貢献する行動はもはや淘汰されることはありません。このとき、行動上の変異が増加し、いかなる適応的価値も担わない変種を含むことになるでしょう。」と述べているが、「豊かさ」と「淘汰圧力」は、本来一致しないと考える。恐らく「働くこと」ないし「工夫すること」に対する価値観の違いが見解の差を生んでいると思われる)

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．１０　淘汰ないしドミナント・デザイン化が起きなかった理由

次に、底吹き羽口技術の進化で淘汰ないしドミナント・デザイン化が起きなかった原因について考察する。

日本の大手高炉メーカー６社（現在は合併により５社）で、１９７０年代後半から８０年代前半には存在したが、２００２年には現存しない底吹き羽口が２種類だけあり、両方ともＡ社の技術である。

一つは、フランスから技術導入したLBE（Lance　Bubbling　Equilibrium）法で、羽口には耐火煉瓦にスペーサーをはさんだ構造（Permeable　Element　図４－１－４のｄ１）をしていて、ガスはアルゴンまたは窒素を用いる、いわゆる不活性ガス吹き込み用である。

これは、CB（小径多本数集合）ノズルの自社開発に成功したのち、世界で優秀な成績を上げていると論文発表されている候補の中から選んで、比較試験をするために導入されたものである。同じ不活性ガス吹き込みでもあり、制御系や配管にほとんど変更が不要であったため、いわゆる「乗り換えコスト」が低く、知的財産使用料も比較的安かったことから選ばれたが、結果的に炉体保護用のスラグコーティングによってガス通路がふさがれ、行き場を失ったガスが転炉の口の部分から吹き出すという現象が頻発したため、炉寿命と両立しないことが判明し、導入後約１年で断念された。

もう一つは、スクラップ配合率を上げるために炉内に石炭系の燃料を供給することを意図した３重管（最内管から窒素ガスをキャリアとして石炭粉、次のスリット部から酸素、最外側のスリットからLPG）である。(経緯略)

このほかには、日本では淘汰された羽口はない。

この原因の第一は、それぞれの羽口がそれぞれの置かれた条件（製鉄所の製造品種や上工程・下工程の条件）のなかで、それなりの「合格点レベル」に、比較的早期に到達できたからと考えられる。１９８０年代では、転炉そのものの炉寿命が１５００回から２０００回程度で、途中の定期修理時間（約２０時間）で１回羽口を交換することを覚悟すれば、一回の吹錬あたり１ミリメートルの損耗でも、１メートルの損耗しろを見て炉体レンガを設計すれば十分という計算になった。

実際Ａ社のＡ製鉄所の場合、一回の吹錬あたり１ミリメートルという壁を突破したのは、実機稼動後２年程度であり、更に幸運なことに、この時期のわが国の鉄鋼業は不況で、更

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

なる稼働率向上を求められる状況ではなかったため、他社も含め、１ミリメートルというターゲットを越せばそれ以上のメリットが経営から重要課題として与えられなかった。

高橋伸夫（1997）は、「満足基準（中略）満足できるぎりぎりの代替案をはっきりさせる諸水準の集合が存在していて、ある代替案がこれらすべての諸水準に合致するか、もしくはそれを超えているならば、それを選択する（後略）」と述べており、底吹き羽口の場合も満足基準に合致したところで個々に選択の固定化が起きたと考えられる。

従って、各事業所がそれぞれの努力でこのハードルをクリヤしたあとは、地道な技術の向上・ブラッシュアップは続いた（現在では炉寿命７０００回以上に対し、羽口交換は行わないのが普通で、損耗速度でいえば一回あたり０．１ミリメートル以下と推定される・・・既に技術的統計データとしての意義を失っており、データがない。羽口は１炉代通して使えて当たり前の時代になっている）が、敢えて他の技術の導入を試みる必要がなかったと思われる。

今回の調査範囲で唯一技術導入が起きた LBE の場合は、ハード・ソフトともにほとんど入れ替えの障害がなかったことが導入を決めた理由であり、もし大幅な改造が必要であれば、改造費用（と労力）に見合うだけのメリットが必要であったであろうが、溶損速度１ミリメートル／回のハードルを越えた後では、そのようなメリットは残っていなかったと思われる。

現場３交代交オペレーター、現場の技術者（学卒のキャリア）から見ても、使い慣れや、再度の開発努力は大きな心理的障壁であったと思われる。実際の開発担当者へのインタビューでも、「もう一回やれといわれたら辞表。そもそも、まったくうまくいかない、先が見えない日々の連続で、いつ首（担当換え）になるか、首にしてもらえるか、と考えていて、やっとうまくいったのに、それをもう一度振り出しに戻ってやるなんて考えられない」という意見が大勢だった。

これは単に精神的・肉体的（開発スタッフは通常２人で２交代を数ヶ月続けるか、もしくは１人で４８時間以上現場に張り付いて試験操業を続ける）に厳しいということではなく、

1. 自社技術に対するプライド
2. 各所操業条件に合わせた微妙なチューニングと設計変更

などがあったためと思われる。

また、それでも仮に導入しようとした場合、プロセスコンピュータや、シーケンサなどの入替え障壁が高かったことも事実である。ただ、これは現在のような IT 時代には少し

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

はハードルが低下しているかもしれない。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．１．１１　マネジメントレベルと視座の差

最後に、底吹き羽口の開発に携わったメンバーへのインタビュー結果を、当時の地位と役割で分類した結果を表４－１－４に示す。

ここで「本社／全社開発リーダー」は、当時１０工場あったＡ社全社の製鋼工場に「底吹き技術の導入と開発」を指示し、基礎的なアイデアと開発資金・設備投資資金の配分を行っていた。製鉄所／ライン長（入社２５年、５０歳前後）は、全社の底吹き技術に関する方向付けの会議に出席し、全社開発リーダーと議論を重ね、自所に最適と思われる羽口技術の開発を決断し、製鉄所の自己責任で生産と開発の両立を図るべく位置づけられた。

これらの意思決定を受けて、ライン部門では実際の担当課長（入社１５年程度）クラスと掛長（同１０年前後）および担当者（同、新入社員から３年目程度まで）が開発に取り組んだ。これ以外に設備部門やプロセス技術部隊（化学工学的技術集団）などの全面的バックアップを受け、当時最も日の当たる開発課題として全社を挙げて実行された。

表４－１－４　インタビュー結果まとめ

	本社 全社開発リーダー	製鉄所 ライン長（部長）	製鉄所 開発担当者
成功の見通し	鉄鋼製造プロセスのメインルートなので、何をしても成功させるべしという強い圧力。 逆に何を要求しても通るので、心配しなかった。	基本が優れているので必ずものにできると思っていた。	明日をも知れず、いつ担当を外されるか、外してもらえるか、とても成功すると思えなかった。
技術の「革新度」	ちょっとした差に過ぎない	単なるモディファイレベル	各々が独自、技術的較差大
NIH、知財の壁	買えばいい	買ってもいいが、その前に現場としてやれるだけのことはやりたかった	絶対ノー。過去の経緯から「買えない」と言われていた。
乗換えの壁	低い	感じない	ハードル高く、実質不可能

このインタビュー結果から、実働部隊と部長以上との間に非常に大きな考え方の溝があったことがわかった。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

成功の見通しについて言えば、部長以上が非常に楽観的であったのに対し、実働担当者レベルでは、先述のとおり、この開発をいつ止めさせてくれるかと思うほど悲観的であった。これは、技術の革新度の認識差に由来するかもしれない。実際にドロまみれになった人たちは異口同音にそれぞれの技術の独自性を言い募ったのに対し、部長以上はいずれも「モディファイレベル、バリアントに過ぎない」と切り捨てている。

また、知的財産や乗換えの壁についても実際に直面しているメンバーのほうが多くのプレッシャーを感じているのがわかるが、これはいざというときの意思決定の権限差と思われる。

４．１．１２　導入に当たってのその他の時代的背景と、社外の状況

A社OBへのインタビューから、当時の背景などについて、技術の進化に関係する部分を表４－１－５にまとめた。

この中で意外だったのは撹拌力についてのお二人の意見で、当時の学会発表文献はほとんどすべて完全混合が前提であり、８０年当時教え込まれたのは平衡論で、教科書は平炉製鋼法であった。

また、転炉導入時の国を挙げての協力体制（通産省の仲介含めて）や、鉄鋼メーカー間の交流も、本技術に関しては殆どなかったという証言が二人から共通して得られたことから、転炉ほど大きな淘汰圧が働かなかったことが裏付けられた。

表４－１－５　導入当時の状況等OBへのインタビューまとめ

当時の立場	本社 全社開発リーダー	製鉄所 ライン長（部長）
撹拌力が足りないことに、Q－BOP以前から気づいていたか	原理原則としてはわかってはいた。 化学工学的センスが製鋼屋に欠けていた。	大型鋼塊屑が溶け残ることで気づいてはいた。 平衡論を適用しないと解けないのだからしかたなかった。
転炉（ＢＯＴ）の時との差	ＢＯＴは途上国だったが故の成功事例。今とは違う。	あのころはまるで社会主義。今では許されない。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

他社交流	ほとんどなし、意識的に話題を避けた。	製鋼部会での見学はあったが、そこまで。
上吹きからの転換	装置工学的に見れば当然の流れだが、羽口がなかった。	上吹き自身が完熟していなかった。製鋼屋はそっちに忙しかった。
「底吹き」に対する評価	すばらしい発想と技術と思う。	製鋼部会（ＢＯＴの後身）でＢ社を見たとき、その静かさに、良いプロセスであることを確信した。
トップマネジメント	Ｂ社に負けているから何とかしろ、だけ	危機感はあった
本社の役割	全社プロジェクトで引っ張った。製鉄所に担当技術を選ばせた。	ほとんどなかった。製鉄所が完成させた。
研究部隊の役割	設備の判断のためのパラメータ探索（すなわち基礎の部分）に寄与。複雑すぎるが、我慢して認めた。	ＲＨフルディップの酸素吹込みから関与。役に立った。
通産省関与	全くなし。民間ベース。	全くない。
「素直なトランスファ」を妨げたものは何か	短期間であるレベルを超えたこと。	自前でできてしまったのだからトランスファ不用。
結果から見て、成功要因	リーダーシップ。 製鉄所のリスクで実機第１号を打たせてしまったこと。競争もあおった。 「上様だまし」	頑張ったよな！

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．２　転炉スラグカット技術

引き続き、転炉スラグ流出防止技術発展のケーススタディを行う。これは１９５０年代の転炉導入時期からの技術課題である、精錬後のスラグ（鋼滓。銑鉄中の不純物を取り除くために使用する媒溶剤と除去された不純物の酸化物および鉄の酸化物からなる副製品で、鋼の品質に悪影響を及ぼす）を効率よく分離することを目的とする技術である。

４．２．１　スラグカットの原理

図４－２－１に精錬を終わって溶鋼が出来上がり、転炉を溶銑装入側と反対の出鋼側に倒した時の模式図を示す。炉内には比重約８の溶鋼と約３のスラグができる。出鋼末期、図のようになると、溶鋼の中にスラグが混じるようになり、品質劣化の原因となる。

そこで、「スラグボール」技術では、図４－２－２のようにちょうど出鋼孔に勘合するように比重が４から５程度に調整した耐火物製のボールを炉内に投入する。

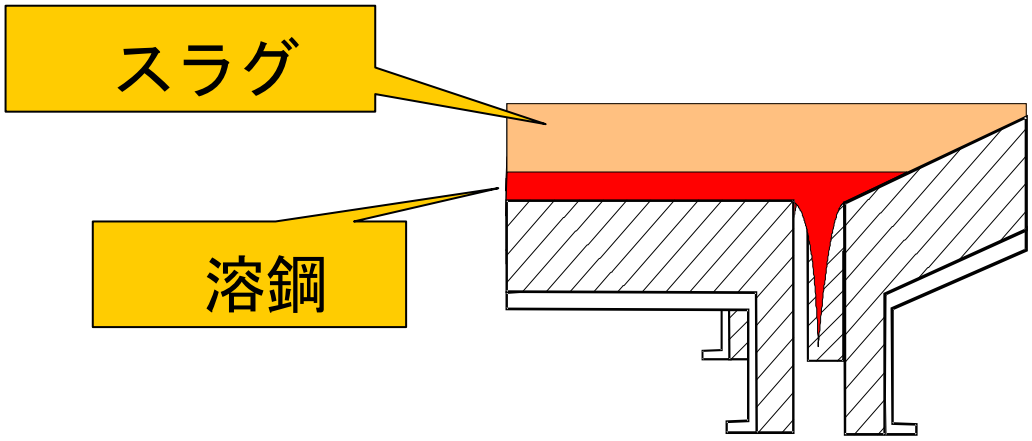


図4－2－1　スラグと溶鋼の分離

また、「スラグダーツ」技術では、やはり図５－２－３のようにちょうど出鋼孔に突き刺さるようにダーツ(矢)を押し込んでスラグと溶鋼を強制的に分離する。

この両者は、炉の内側からスラグと溶鋼を分離しようとするものである。これに対し、次の図４－２－４のスライディングノズルと図４－２－５の PSS（Pneumatic Slag Stopper）は、いずれも炉の外側で、スラグと溶鋼の分かれ目を狙って強制的に流れを止めてしまおうという技術である。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

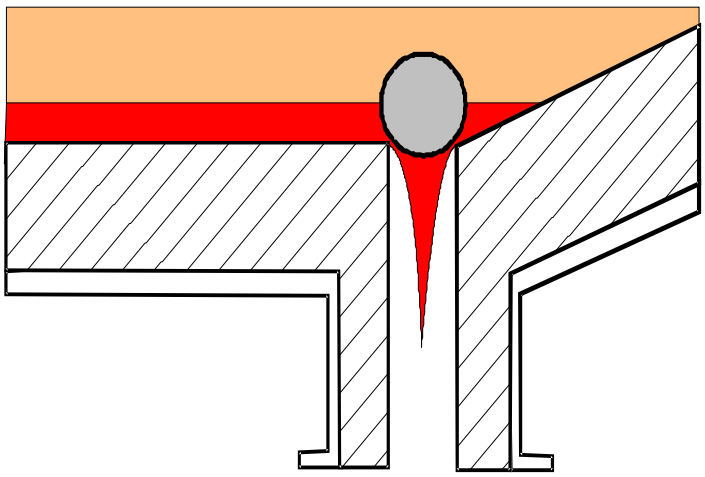


図4－2－2　スラグボール

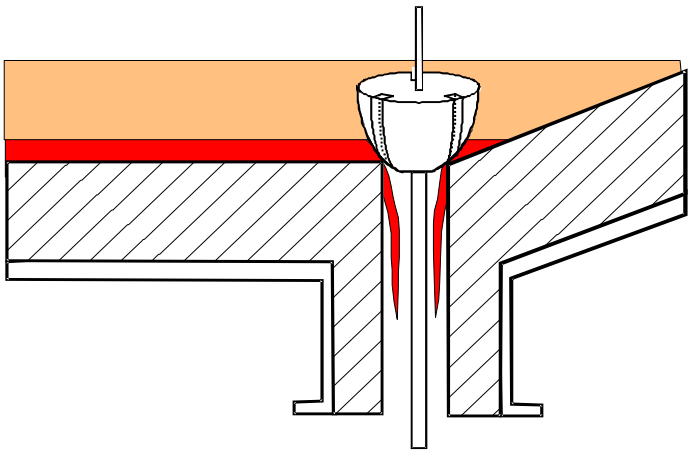


図４－２－３　スラグダーツ

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

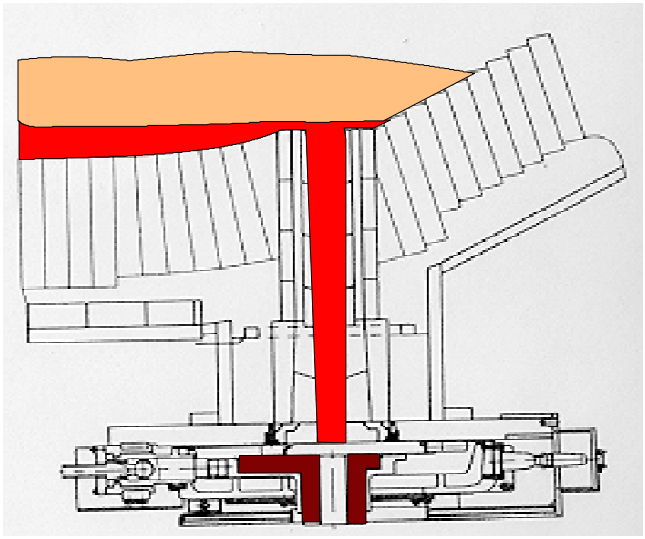


図４－２－４　スライディングノズル

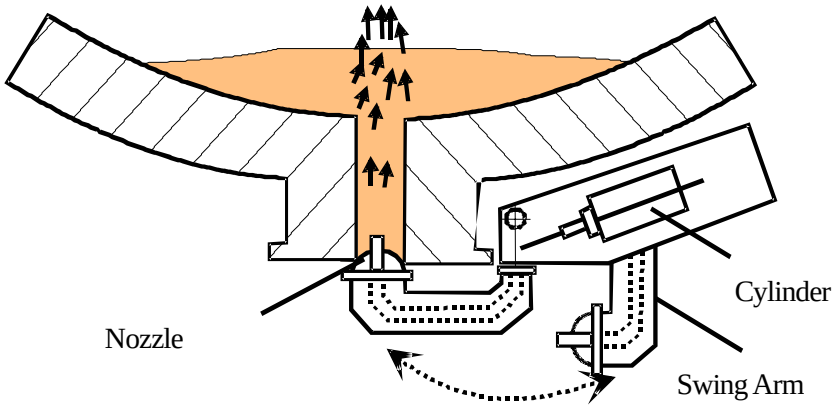


図４－２－５　PSS (Pneumatic Slag Stopper)

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．２．２　スラグカット設備例

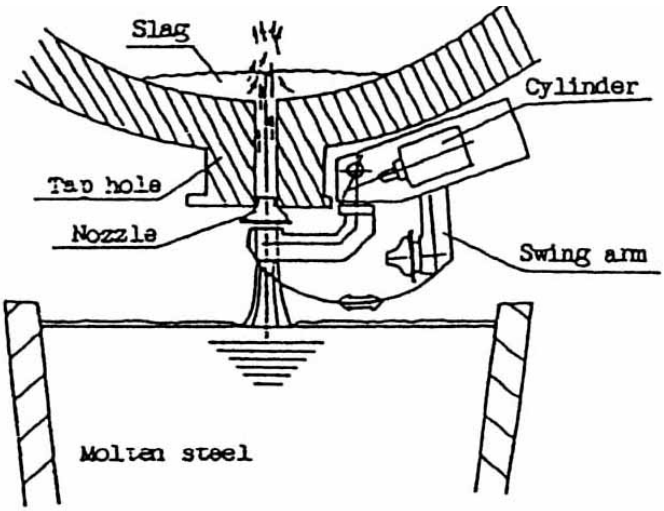


図 42-8･62　PSS 設備の概略

図４－２－６　PSS 設備

いずれも鉄鋼便覧第４版

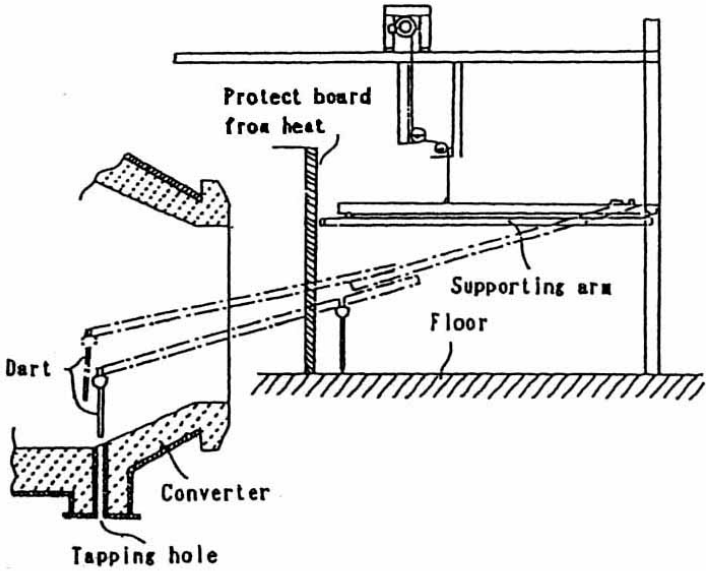


図 42-8･61　スラグダーツ装入設備の概略

図４－２－７　スラグダーツ設備

図４－２－８　スラグダーツ設備実機写真

MONOCON 社 HP

図４－２－９　ダーツ実機イメージ

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

図４－２－６から図４－２－９までに、実機の図面および写真を示す。

PSS のように外側からアプローチしようとすると、溶鋼鍋からの輻射熱や炉体からの熱伝導、出鋼流そのもの、などからの設備的ダメージが大きいことが容易に推定される。

また、ダーツのように炉内にアームを伸ばして入れる場合には、短時間のため熱負荷は十分耐えられるレベルだが、成分外れなどで途中で出鋼を中断したい場合、どうしても遅れが出るのは避けられない。緊急の場合は炉内に機械が入っていてもかまわず炉を起こすことが許されており、当然アームは損傷する（ことを想定して、シャーピン構造になっているが)。

４．２．３　スラグカット技術の実機化状況

表４－２－１に、スラグカット技術を年表形式で整理した。

表からわかるように、日本では実機で成功裏に稼動しているとして学会誌に論文ないし講演要旨として発表された技術だけでも実に１０種類のスラグカット技術が試されている。このうち、最後の PSS とダーツのみがヨーロッパ起源の技術で、そのほかはすべて日本国内で開発されたものである。

これだけ多くの技術が生み出され、実際に実機で使われたことは、スラグ流出の防止が製品品質にとって非常に重要であったことの裏返しでもある。また、高級鋼材ではあるが各社の主力製鉄所で大量生産されている自動車用薄板、それよりはるかに品質要求が厳格で、一部の製鉄所でのみ製造されている飲料缶用薄板などは年を追うごとに合格基準が厳しくなっており、これら厳格化の進展に合わせて、より正確で性能のよいスラグカット技術が必要とされた。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表4－2－1　わが国におけるスラグカット技術年表

	技術	特徴			箇所
1957	転炉導入				八幡
58	出鋼孔				八幡
67	出鋼孔スライディングノズル	炉内側	物理的切断		八幡
77	スラグボール	炉内側	比重差利用栓止め		八幡
	石灰投入	炉内側	スラグの固化・分離		神戸
	カットポット	炉外側	スラグ流出後鍋をどかし強制的に入れない		水島
80	エアジェット	炉外側	吹き飛ばし		君津
81	サイフォン	炉外側	比重差利用排出抑制		水島
83	ストッパー	炉内側	物理的栓止め	再利用型	呉
91	出鋼孔形状	炉内側	流出抵抗差利用分離		福山
92	PSS	炉外側	窒素吹き出し併用物理的栓止め		千葉他
94	ダーツ	炉内側	物理的栓止め	使い捨て	和歌山

鉄と鋼　講演大会予講集　1967～2000　より作成

表４－２－２に、品質厳格材も製造している大型製鉄所におけるスラグカット技術導入の歴史を示す。

特に内側からのカット、外側からのカット、にこだわらず、いささか試行錯誤的に採用しているようにも見える。導入順も、必ずしも開発・公表順ではなく、たとえばエアジェットの後に、以前からあったスラグボールを採用したり、96 年段階ではダーツも選択肢としてあったにも拘らず、それより古い技術である PSS を採用したりしている。

表４－２－２　スラグカット技術導入例

A製鉄所の例

導入年	技術	基数	技術レベル	備考
1978	出鋼孔スライディングノズル	1基	試験レベル	当所開発技術
81	エアジェット	1基	実機化（試験兼用機）	C製鉄所開発
83	エアジェット	2基	全炉設置	
86	スラグボール	3基	全炉同時期設置（導入技術）	Y製鉄所開発
96	PSS	3基	全炉同時期設置（導入技術）	欧州メーカー製
2002	ダーツ	3基	全炉同時期設置（導入技術）	欧州メーカー製

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

これらの経緯については十分なヒアリングができなかったため、個々の採用理由は不明だが、表４－２－３にまとめた、開発・導入担当スタッフへのインタビューから、使用のメリットは常にあり、より流出防止効果が高く、確実で再現性のよいものを常に検討していたことがわかる。

また、非常に難しい技術で、アイデア段階での検証ではついに実機レベルを再現できず、結局実機での最終確認が必須となる典型的な技術であるといえる。

実際、表４－２－４の現場オペレーターへのインタビュー結果からは、音がうるさい、すぐこわれる、あぶなっかしいなどの偽らざる実感と、「なくても操業できる」という正直な批判も聞かれ、高温、重量、粉塵環境など、苛酷な条件で使われる設備の限界も示している。

なお、現在使用されているスラグダーツは、重要管理品種の製造時には使用が必須で、何らかの原因で使用されずに出鋼された場合には向け先変更となる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表４－２－３　導入担当スタッフインタビューまとめ

担当スタッフヒアリング　（当時のA製鉄所の学卒スタッフ：A氏（AJ）、B氏（SB）、C氏（PSS））

技術	コメント
共通	スラグ厚減少を次のアクション（合金削減など）につなげるための測定技術不備
	初期流出は不可避なので、トータルでのスラグ流出量削減に限界ある
	出鋼末期はスラグ・メタルの混合流になるので、判定が難しく、オペレータ負荷高い
	不使用よりは後工程のばらつきが確実に減少。メリットはある
	所間・社間競争の気分が不思議となかった。大体どこもうまくいってないと漏れ聞こえてきたし、学会に発表して数年経つと次の技術が発表になっていたので、どこも苦しんでいることがよくわかった。
	現場に愛される設備ではなかった
	当時もっと大きな技術課題があり、部長以下そっちにかかりきりで、余り面倒見てもらえなかったような気がする
	常に当該技術に不満だった。改良はいろいろしたが、「他の原理でなにかいい技術はないのか」といつも考えていた
エアジェット	寿命500回程度（当時の炉寿命1500回の1／3程度）
	騒音で他の職場からクレーム来るのが辛かった
	耐久性なく、SDごとに修理をお願いしていた（転炉鉄皮温度は400℃）
	出鋼孔側(耐火物・・・損耗する）の形状にも左右されるので、原理的に再現性低い
スラグボール	ボールのランニングコスト高
	ボール形状でたくさん特許出した
	より効果を出す（流出スラグ量を削減）ためには、出鋼完了直前（ボルテックスが見える）までボール投入を待たねばならず、一種の勇気が必要で、オペレータによる差が大き
	緊急復炉時のアーム折損が不可避（設計上シャーピン構造）で覚悟の上だが、実際本当に折れると気分が落ち込んだ
	寿命2000回程度（当時の炉寿命6000回の1／3程度）
PSS	同時につけたスラグ流出検知コイルの断線、検知率の不安定が原理的に不可避だった
	すぐ壊れる。メンテ費用がかさむ上、SD（定期修理）時間では復帰不可なので「壊れるまでの使いきり」というイメージだった。
	AJよりはコンパクトで作動圧も高い分、有利だったが、AJ当時より製造品種が厳格化しており、重要チャージで不作動だと再出鋼になる危険性が高く、一種の賭けのようで、いつもはらはらしていた。

表４－２－４　導入時の３交代オペレーション責任者へのインタビューまとめ

オペレーションヒアリング　（当時のA製鉄所の作業長：A氏（AJ）、B氏（SB）、C氏（PSS、DT）

技術	コメント	注
共通	メリット実感少ない（リン(P)外れ防止程度？）	鍋内流出スラグ影響排除が目的
	メンテ大変	溶鋼近接のため
	再現性ない	技術の特徴参照
	温度降下大	スラグの保温効果減少のため
	スタッフの苦労大変	
	なくても操業できるが、使えと言うので・・・	
AJ、PSS	うるさい	高圧気体噴出音
	すぐこわれる	溶鋼近接のため
SB、DT	あぶなっかしい	投入装置のカンチレバーが炉内に入る
	形状工夫が”JK”のネタになった	”JK”＝QCサークル、「自主管理」

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．２．４　スラグカット技術の特徴（補足）

前節で「難しい技術」と評価した部分を表４－２－５、表４－２－６で補足する。

表４－２－５に、スラグカットを適用する「技術の舞台」を整理した。カットするスラグ自身、土台の炉体側、オペレータースキルやそのほかのオペレーションに関わる環境など、どれを取っても毎回条件が大きく異なってくるため、非常に再現性の悪い領域であることがわかる。前掲の開発スタッフやオペレーション責任者のインタビューの中にも「再現性の悪さ」に触れたものがあったが、恐らくこの技術の決定的な困難性は、この毎回異なる条件を克服でき、かつ高温その他の悪条件に耐えられるメンテナンス性を持ったハードウエアの実現性にあると思われる。

これまで続けられた多くの開発は、この点での競争を繰り返しつつ、改良も加えられてきたと考える。

表４－２－６には、条件変動の中でも最も重要な「スラグ生成状況」におけるローカリティを示す。前章の底吹き羽口とは異なり、公表された資料では、各製鉄所が歴史的にどのようなスラグカット技術を採用してきたかはたどれないが、各所とも時代とともに製造品種や前後工程の設備装備力が変化してきたことは事実であるから、生成するスラグ性状はもとより、その分量ですら同じではないはずである。

従って、各社の製鉄所が数年から１０年を待たずに次の技術を採用していった背景に、このような根本的なスラグ生成状況変化があったと考えても不自然ではないであろう。

表４－２－５　スラグカット技術の適用される環境

毎回異なる条件

スラグ側	スラグ流動性 スラグ・メタル分離状況・懸濁状況 温度　　流動性　　パイプ状つらら形成 スラグ量
炉体側	出鋼孔周辺の炉体損傷状況 湯道 出鋼孔形状 炉回数（全体のプロフィル）
オペレーション	スラグ流出判定スキル 鍋上合金投入量

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表４－２－６　スラグ生成状況におけるローカリティ

ローカルコンディション

製造品種	スラグ性状
	炉体損傷速度
	出鋼時間（合金量差）
炉容積	温度降下
炉形状	スラグ・メタル分離状況
底吹設備	撹拌力差　スラグ性状差
事前・事後	予備処理　スラグレス精錬可否
精錬設備差	２次精錬　吹き止め一定化可能性有無

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．２．５　スラグカット技術の進化過程

表４－２－１を、炉の外側からのカットと内側からのカットに分け、それぞれの時間関係を視覚化したものが図４－２－１０である。図中、太い破線で示したのは、表４－２－２の製鉄所が実際にたどった実機設備の設置状況である。

外側からアプローチした技術（スライディングノズル（SN)、サイホン、エアジェット（AJ））の間では生物進化とのアナロジーの文脈で表現すると、AJ が生き残り、更に作動圧を上げたり耐久性を上げるなどの工夫を施されたものが PSS へと進化したといえる。

また、内側からアプローチした技術（カットポット、投射、スラグボール（SB）の中からは、SB が勝者となったが、その後再現性や正確さを改善することで、スラグダーツ（DT）が子孫として進化したといえる。

内側系と外側系は、それぞれは共通の原理で成り立っており、より確実で、製鉄設備としての耐久性が淘汰の原理であったと考えられる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

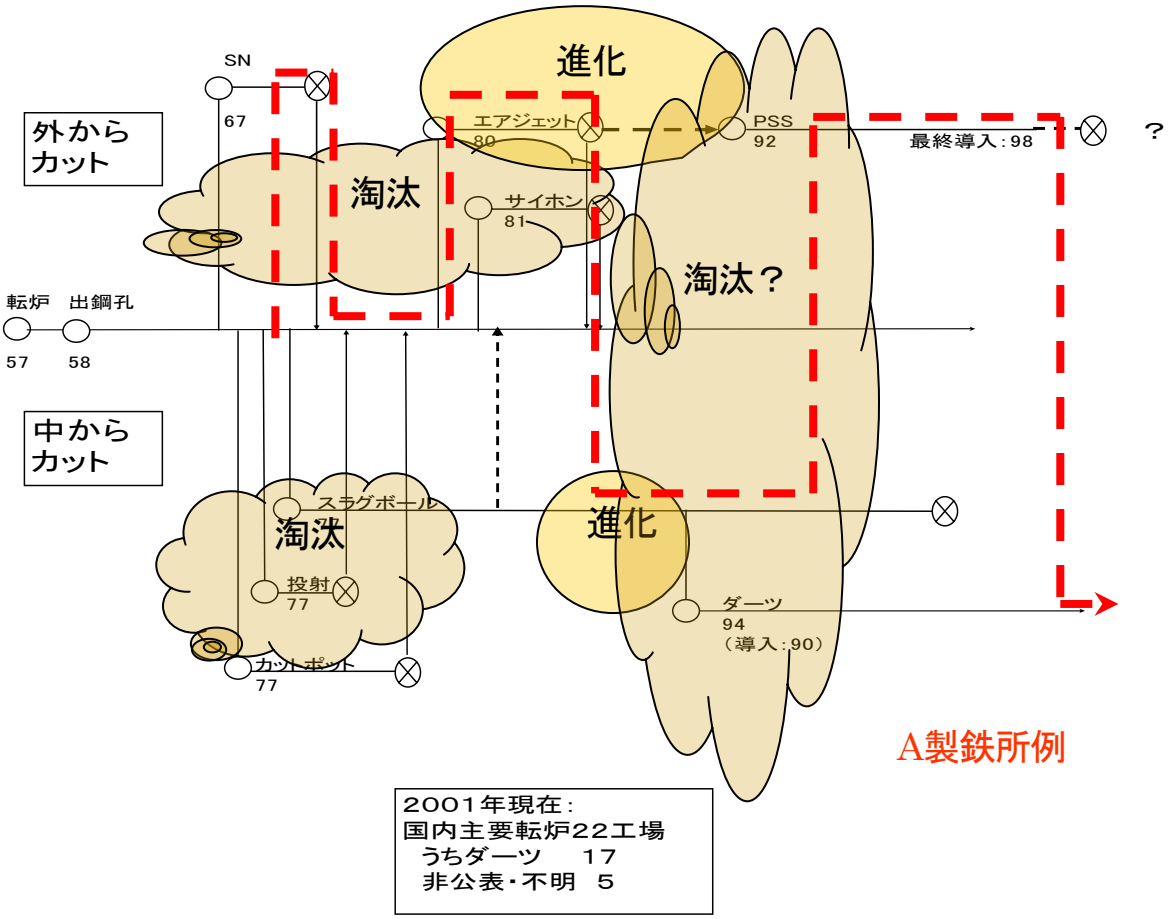


図４－２－１０　スラグカット技術の進化過程の模式図

４．２．６　スラグカット技術の特徴まとめ

以上から、スラグカット技術の特徴を、技術の進歩過程の分類を念頭にまとめると、以下のようになる。

① 大別して「内側」、「外側」からのアプローチがある
② いずれも日本生まれだったが欧州で改良され広まった
③ 時期を区切ると国内複数社が同じ技術を採用
④ 技術の寿命は約５年。次の技術が登場
⑤ 実機での確認を経ながら淘汰が進む
⑥ 他社技術導入（海外含む）事例が多い
⑦ ニーズ側の変化により、技術そのものに対する重要性が変動
（高級鋼化・・・ニーズ増大、少量スラグ精錬化・・・ニーズ減少など）
⑧ 比較的「軽い」技術　　☆安価　　☆故障していても生産は続行可能

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

４．２．７　スラグカット技術の進化形態

結局、スラグカット技術では、「淘汰」が主体の進化が起きたと考えられるが、以下その原因を考察する。

表４－２－７　適応放散が起きる条件

生物界	スラグカット技術
大絶滅	なし　ぱらぱらとアイデアが具現化
生態学的ニッチ	適用部位が「出鋼孔」一つしかない。拡大解釈しても「内と外」の二つしかない 製造所別特性差は「ニッチ」として働かず、むしろ性能発揮を妨げる「ばらつき」として作用
環境との相互作用	高いオペレーションへの依存度。しかし、「現場に好かれた技術」ではなく、技術そのものを決定的に改善する提案は生まれなかった。
低い淘汰圧	直接的市場競争原理からの隔離、投資回収により目標達成可だが「満足レベル」に未到達。「別の技術」を探し続けた⇒積極的に淘汰を受け入れる素地あり 乗り換えコスト小（1 億円単位） ⇒相対的に淘汰圧は高い
物理的隔離	PSS と DT はエンジニアリングメーカーによる「商品」のため、売り込みに伴う技術開示あり。それまでは特許はあるがいわば各製鉄所の手作りで、相互交流頻度は少ない

まず、適応放散が起きなかった原因について、底吹き羽口同様の比較を行った結果を、表４－２－７に示す

底吹きとの差は随所に見られる。

①「大絶滅」相当の各社が一斉に同じキーコンセプトで開発競争に突入する契機はなかった。

②製造所別特性差が「ニッチ」として働かなかった

③オペレーターからの積極的改善提案が少なかった

④「満足レベル」に到達できず、つねに「別の技術」を探し続けることになり、乗り換えに心理的抵抗が少なかった

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

乗り換えコストは、淘汰圧を形成する大きな要因と思われるので、次の表４－２－８にまとめた。

スラグカット技術では、技術的革新度も小さく、知的財産・投資額なども比較的安価であり、心理的な障壁も余り高くなかったことがわかる。いずれも乗り換えコストを小さくし、淘汰圧を下げる要因として働いたと考えられる。

これらが、スラグカット技術が適応放散ではなく淘汰型の進化を遂げた原因と思われる。

表４－２－８　スラグカット技術における乗り換えコスト評価

評価項目	内容
技術的革新度	決定的に重要な「中核技術」ではない（底吹き羽口とは違う）
知的財産	比較的安価
投資額	比較的安価
工事難易度	「外側」技術は転炉周辺工事のみで容易だが、「内側」技術の場合、トラニオン（転炉を傾転させる巨大な軸）の加工が必要なため、大工事になりがち。
心理的障壁	製品品質の高級化で各社苦戦　少しでもいいものがあれば、かつ安いなら、導入の心理的障壁も低い 得られる成果に対して余りにも難しい開発だったため、逆に NIH 精神なかった

４．２．８　ドミナント・デザイン論との差

アバナシー、アッターバックらの「ドミナント・デザイン」論は、消費者が直接評価する市場で販売される「製品」を主として展開された議論であるが、一般消費者による市場のない、いわゆる素材型製品でも、全体としては同じようなプロセス（流動期、移行期、固定期）を踏むが、製造工程の技術革新への移行がより早く起き、ドミナント・デザインの代わりに「イネーブリング技術(enabling)」が確立し、これが製品イノベーションや設計という行為から技術的力点を工程イノベーションへと移行することを促す、としている。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

現時点で日本国内では主要２２転炉製鋼工場のうち１７工場以上がダーツ方式を採用していることから、ダーツが「イネーブリング技術」のようにも見える。

しかし内側からのアプローチは緊急復炉時の破損など安全性に疑問が残り、技術的には必ずしも完成したものとは言えず、更に今後も鉄鋼製品の品質厳格化が継続することに鑑みると、この分野での技術開発が停滞するとも考えにくい。また、発生も散発的で、アバナシーらのいう流動期に相当する期間を持たないことも、「ドミナント・デザイン」論を直ちに受け入れがたいものとしている。

従って、ダーツを「イネーブリング技術」として認定するにはもうしばらくの時間と熟成が必要と考えるほうが、鉄鋼技術の歴史からは妥当である。

とはいうものの、あえて、ダーツが「イネーブリング技術」としての資格ありとして議論を進めると、

①製造技術でも、製品で見られる「ドミナント・デザイン」に相当する「イネーブリング技術」に収束する

②その「イネーブリング技術」が、独立して外販することが可能であれば、製鉄事業者を「消費者」に見立てたとき、エンジニアリング会社の販売する PSS やダーツは一種の「製品」とみなすことができ、その場合、「ドミナント・デザイン」論が（やや拡張は必要だが）成立する。

といえる。

すなわち、製造技術においても、イネーブル技術そのものを製品としてとらえることで、二重の意味でドミナント・デザイン論が成立することになる。

しかしながら底吹き技術の場合は明らかにドミナント・デザイン論は不成立である。逆に、Lynn などによれば、上吹き転炉は、開発では先行していたローター法やカルドー法を押し退けてごく短時間に世界制覇した技術で、江頭進(2002)の表現によれば「強すぎる淘汰圧の中では、多様な知識が生じる余地はない。これは厳しすぎる自然環境の淘汰の中では、生物種が多様化できないことと同じ」と言い得るほど圧倒的な優位性があった。その意味ではまさにイネーブル技術すなわちドミナント・デザインである。その差を含めて、次章で提示する技術進化モデルについて議論する。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　５　章
技術進化モデルの提示

５．１　生物進化のアナロジーで見た技術の進化

図５－１の上半分に生物界における進化の状況を模式的に示す。

生物進化では、旧環境にいた生物が新しい環境に出会うと、まずは既存の遺伝子を最大限稼働させて、当面のニッチめがけて放散していく。その後、時間の経過とともに一部は淘汰されるが、淘汰されずに生き残ったものも、それぞれのニッチと生物が相互作用し、遺伝子も環境も同時に変化する。それを現在の人間が観察すると、あたかもそのニッチにもっとも適した生物が生き残っているように見える。
また、これらが相互に隔絶した領域で起きると、起源の異なる種から出発した生物が、共通したニッチに適応した場合、相似的な形態を持つに至る、収斂進化も起きる。

底吹き羽口の技術進化のケースでも同じようなメカニズムを仮定して説明することができる。

従来の上吹きのみの技術に、「攪拌」という新しいキーワード（＝環境）が与えられると、各社はとりあえずそれぞれ手持ちの技術を使って、その時点での製造品種や生産バランスに応じた底吹き技術を開発する。

やがて、時間の経過とともに淘汰されてしまうものももちろんあるが、「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、後半の収斂進化または個別技術の生き残りに向けて「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。つまり、生物界で言うニッチ（生存環境）そのものも結果的に変化する。
この操業条件（外部環境）と相互作用しながら環境も技術自身も変化させていく経緯をLynn(1982)は「実際の意思決定は、解決策の探索が不完全なので、十分合理的であるとは言えない。探索が完全であろうとしても、それには時間も資源も必要で、限りがあるのが普通である。また、探索する人の経験や専門知識それに先入観が探索に偏りを与えてしまう。さらに、組織の探索手続きが、彼らの動きにバイアスを加えるかもしれない。やむな

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

く、意思決定者は、代替策を「現行の策の近傍」に絞って、比較的手軽に見つけるようになる。そして、それが最低限の基準を満たしていれば、採用される。もし、そうした満足な策が見つからないときは、次に範囲を拡げて探索が行われる、ということになる。」と表現している。

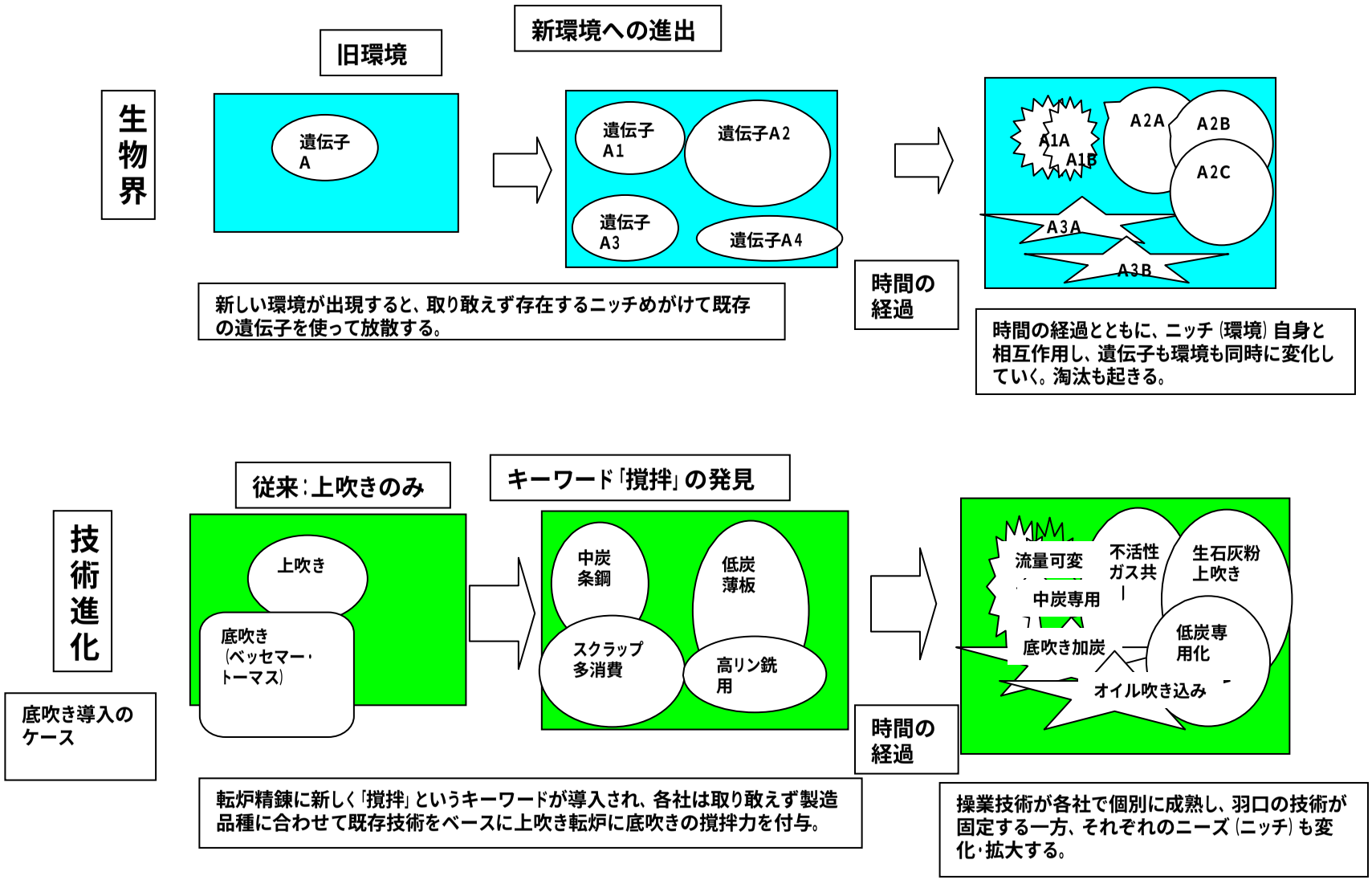
また、中岡哲郎（1971）は「この設計ミスがこの熟練を生んだともいえる。」という非常に皮肉な言い方で、技術と操業の相互作用と共進化の存在を指摘している。

底吹き羽口の場合は、厳密に相互隔絶があったとは言えない。インタビューなどから直接の交流はなかったとわかるが、専門誌などを通じて少なくとも他社の羽口のコンセプトは知りえたと考えられることから、「収斂進化」的な部分もあるものの、「異質同型性」が成立していると考えるべきであろう。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

図５－１　生物進化とのアナロジーで見たときの技術進化における適応放散



５．２　技術進化形態の支配要因

前節までに、生物界における進化と技術進化が同様な解釈で説明できることを示した。続いて「淘汰」タイプと「適応放散」タイプに進化過程が分かれる原因を考察する。

表５－１に上吹き転炉導入時の状況も加えた３技術の特徴を、生物界での進化の支配要因と並べて示す。また、生物進化とは異なる視点として乗換えコストに注目した整理を表５－２に示す。

表５－１　進化の支配要因

生物界	上吹き転炉	底吹き羽口	スラグカット
（技術）革新度	大	中	小
大絶滅（同時性）	同時スタート	同時スタート	散発
生態学的ニッチ	ごく少数	操業条件により多数	ごく少数
現場との距離	他に選択肢なかった	愛された技術	愛されない技術
現場競争心	大	大	小
ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ姿勢	社間協力的	威信重視	コスト重視
ﾌﾟﾗｲﾄﾞ、NIH	大	大	小
独占姿勢	なし（日本 BOT）	大	小
知的財産	オープン・相互利用	クローズ	相当対価で譲渡
環境との相互作用	中	大	小
淘汰圧	大（成績差明白）	小	大
物理的隔離	僅少（日本 BOT）	大（BOT のゆり戻し？）	小
進化形態	**ﾄﾞﾐﾅﾝﾄ･ﾃﾞｻﾞｲﾝ的淘汰**	**適応放散**	**淘汰**

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

表５－２　技術の乗換えコスト比較

評価項目	上吹き転炉	底吹き羽口	スラグカット
導入効果	絶大	大	小
知的財産	高価（共同導入で安価化）	中程度	安価
投資額	大（１００億規模）	中（数十億規模）	小（数億規模）
工事難易度	中（新規立地のため）	大（制約大）	小（制約少）
ﾁｭｰﾆﾝｸﾞ	難	難	難
心理的障壁	小（圧倒的優勢技術）	大～中	小
総体的乗換コスト	**大**	**中**	**小**
乗換コストと導入効果	**導入効果〉〉乗換コスト**	**導入効果〉乗換コスト**	**導入効果＞乗換コスト**

このなかで第一に特徴的なのは、生態学的ニッチの有無とそれぞれのニッチの物理的隔離である。これが大きいと、結果として淘汰圧が下がり、アバナシーとアッターバックの言う「流動期」に叢生した多くの技術に淘汰が働かず、そのまま生き残り、適応放散タイプになると考えられる。

また､環境との相互作用が最も大きい場合に適応放散が起きるのは､技術側から見ると、特定の製鉄所で特定の操業条件のなかで得られる最適条件に向かって、初期に採用された羽口技術自身が、開発担当者や現場オペレーターの手によって一種の淘汰を受け、インクリメンタルなイノベーションを起こしていくため、特殊化が進展することが大きな要因と考えられる。

ただ、当時の鉄鋼業界、特に転炉技術に関しては、有名な上吹き転炉導入の歴史のなかで、日本 BOT というボランタリーな組織を中心に、日本全体がひとつになって協力して技術の発展を担ったと言う経緯があり、一方にその余韻を残しつつ、新たな技術で今度は一から競争を始めるというアンビバレントな時期であったため、底吹き羽口の技術に関しては学会誌を中心に盛んに論文発表が競われた時代でもあった。

その結果、お互いの技術の良さを評価しつつ、お互いは独自の技術をブラッシュアップしていくというプラスの相互作用あるいはいい意味での NIH 思考が働いて、それぞれが設定したゴールである羽口寿命や精錬コストなどにそれぞれがたどり着ける、ということが起こった歴史的証拠と見ることもできる。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

特に、底吹き羽口の場合、「独立の情報源の数が多ければ多いほど、組織の中の知覚の差異は、より大になる（中略）外部の一個人もしくは諸個人の一集団が関連情報を独占することが認められているときのほうが、数多くの外部の情報源があるところに比較して、組織の中の知覚上のコンフリクトはより小さくなる（後略）」と March.J.G.ら(1958)が述べているとおり、各社の担当者が個別にいろいろな情報に飛びつき、収集し、評価したことで、いろいろなバリエーションが生まれていったともいえる。

すなわち、いい NIH と悪い NIH があると考えられるのではないか。

更に敷衍すれば、いい意味での NIH 思考と、切磋琢磨も含めた、環境との相互作用が出来るような、広い意味での企業風土や業界風土があったとも考えられる。

また、他社に自社以上の技術があることを発見しても、それはそれとして認めながら、自社はあきらめずに、自分の環境にあわせ、環境の方を変えながら開発を続行していればいずれ報いられる、ということもできる。お互いの名誉や知的財産を尊重しながら、業界としてレベルアップを図っていくためのひとつのビジネスモデルだ、とも評価できるのではないか。

第二には、「大絶滅」の有無である。上吹き転炉や底吹き羽口とスラグカット技術の進化過程の差は、主として開発着手が同時か散発的かによる。

示唆的なのは技術革新度による進化過程の変化である。上吹き転炉のように技術革新度が余りに大きければ逆に選択の余地がなくなり、完全な淘汰タイプとなるが、スラグカットのように技術革新度が小さい場合は必然的に乗換コストが低くなり、淘汰が起きやすくなると言える。

５．３　技術進歩過程の分類

前節で述べたように、ニッチや物理的隔離の有無と開発着手の同時性の有無が、技術進歩過程を特徴付ける二つの大きな因子であることから、図６－２にこの条件を軸として技術進歩過程の分類を試みた。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

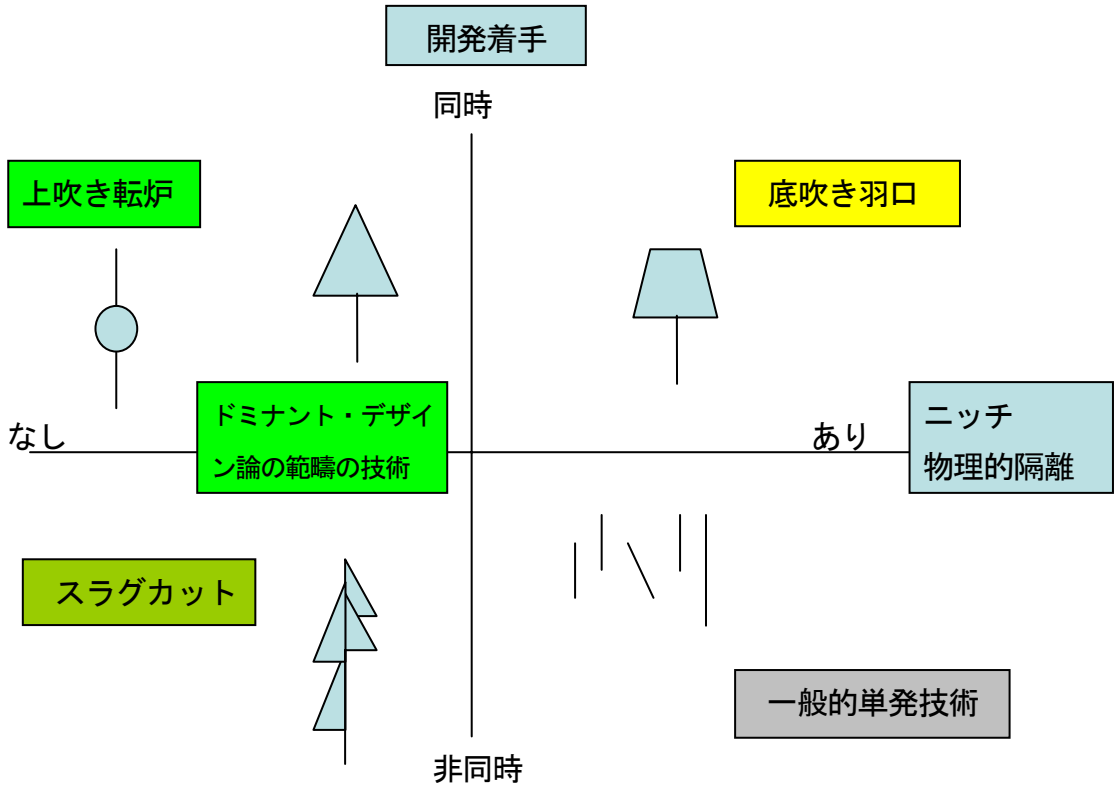


図５－２　技術進歩過程の分類（技術進化の本多モデル）

各象限によって、技術進化の形を分類することができる。この２軸を選ぶことによって、従来のドミナント・デザインで論じられる技術群も第２象限から第３象限に位置づけることができる。

各象限で、縦方向に時間、横方向に技術のバラエティの広がりを取ると、図中に示すように特徴的な形態をとっていることがわかる。中でも第１象限は、図５－３に掲げたバオバブの木の枝ぶりにも似ている。いささかのユーモアを交えて名付ければ、第１象限は「バオバブ」型、第２象限は「もみの木」または「竹（破壊的イノベーションの場合）」、第３象限は「松」型といえる。第４象限は単発であることから、「草」型と名付ける。

モデル全体を「技術進化の本多モデル（樹形モデル）」と命名する。

図５－３　バオバブの木

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

スラグカット技術はそのほとんどが生き残ることができなかったのに対し、底吹き羽口は逆にほとんどが生き残ったという点で、技術の成功・失敗という見方を開発担当者の立場からした時、明らかに底吹き羽口が「成功」技術と言える。それは、適応放散型（バオバブ型）の技術進化形態となったことが大きな原因である。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

第　6　章

結論

６．１　本研究によって得られた新たな知見

日本の転炉製鋼工程で生起した二つの技術の進化に関する考察を行った結果、

① 転炉スラグ流出防止技術の発展経緯から、実機確認必須型技術の進化にも生物進化に良く似た「自然淘汰」が見られる。

② 上吹き転炉への底吹き羽口導入の経緯検討から、技術進化には上記のような単なる自然淘汰以外に「適応放散」型があることがわかった。

以上から、

SRQ1：技術進化を生物進化のアナロジーで解釈すると、どのような分類ができるか？

に対する答えが得られた。

③ それら技術進化のタイプは、第一に生態学的ニッチの有無とそれぞれのニッチの物理的隔離状況と、第二に「大絶滅（開発着手の同時性）」の有無によって特徴付けられ、おのおのを縦軸と横軸に選ぶと、技術進化の模様をモデル化できる。

以上から、

SRQ2：技術進化の過程を分ける要因は何か？

に対する答えが得られた。

④ 本社・製造ライン長クラスまでと最前線の開発担当者レベルでは、技術の「革新度」に対する評価差に基づくと思われる見通し差があり、前者は楽観的、後者は悲観的であった。

⑤ 同様に、NHI 精神は管理レベルが高いほど薄く、より現場に近いほど自前技術へのこだわりが強くなり、それに連れて乗換え・トランスファの壁に対する認識も、より現場に近いほうが切実になる。

以上から、

SRQ3：実機を使うような、リスクの高い開発の場合、マネジメントレベルによって視座にどのような差があるか？

に対する答えが得られた。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

６．２　理論的含意

以上の知見から、理論的含意を抽出すると、以下の２点である。

① 技術進化に生物進化同様のパターン（類型）を発見したこと
- 「自然淘汰」（スラグ流出防止技術）
- 「適応放散」（転炉底吹き羽口）
- 「ドミナント･デザイン的淘汰」（上吹き転炉）

② それらの進化過程の分類ができるモデルを構築したこと
- 技術進化の本多モデル（樹形モデル）

６．３　実務的含意

スラグカット技術はそのほとんどが生き残ることができなかったのに対し、底吹き羽口は逆にほとんどが生き残ったという点で、技術の成功・失敗という見方を開発担当者の立場からした時、明らかに底吹き羽口が「成功」技術と言える。それは、適応放散型（バオバブ型）の技術進化形態となったことが大きな原因である。

現時点までの技術進化過程を精査し、今回提案したモデルにあてはめれば、今後当該技術がたどるであろう進化の道筋（淘汰か、適応放散か）を推定でき、最終的に技術として生き残れる（「成功」する）かどうかについて予測できる。

具体的には、

- **適応放散型の技術進化をしやすいこと**
  技術進化の本多モデル（樹形モデル）の第１象限に位置すること

を目標とすることを提案する。

これは、

MRQ : 進歩過程によって技術を類型化したとき、成功する類型を生む要因は何かに対する答えである。

ビジネスモデルとしては、

- **お互いの名誉や知的財産を尊重しながら、業界としてレベルアップ**

を提案する。

また、新たに開発に取り組む場合でも、今回のモデルを適用することで、それまでの経

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

緯から今後の進化の道筋も予測でき、開発を成功させる道筋をあらかじめ設定することも可能である。

６．４　今後の課題

他の製造技術についてのケース検討により、ベースの淘汰圧のレベルが今回のケースと同等な範囲の技術についてモデルの検証を行い、更に製造技術よりもはるかに淘汰圧が高いと思われる製品技術に適用できるかどうかをひとつの発展的課題としたいと考える。

謝辞

本研究は、主指導教員である亀岡秋男教授ほか北陸先端大の近藤修司教授、井川康夫教授、梅本勝博教授、遠山亮子助教授他、また JAIST 東京八重洲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、チルキー教授（スイス連邦工科大学）他、及び東京八重洲ＭＯＴコースの多くの学友など、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。

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

参考文献

Abernathy,W.J;Utterback,J.M　"A Dynamic Model of Product and Process Innovation" *Omega*,vol3,no.6(1975)

Angerman,M; Harju,M; Poeyhtaeri,S（2005）"Flexible Simulation Tool for Process Industry" *http://cc.oulu.fi~pometwww/sympo03/angerman%20.pdf*

Ankli, R.E.;Sommer,E　（1996）"The Role of Management in the Decline of the American Steel Industry" *Business and Economic History* 21 1(fall) pp217-226

Anderson,N;Jarskog,J　（2005）"Front End of Innovation - A study of how mature companies can improve the initial stages of innovation" *http://www.ida.liu.se/education/xjobb/previous/2002/jarskog_anderson,.pdf*

Brimacombe, J K; Mackey, P J; Kor, G J W; Bickert, C; Ranade, M G Savard/Lee International Symposium on Bath Smelting, Montreal; Quebec; Canada(1992)

Carlsson, G; Burstrom, E　（1986）"Aspects on Tuyere Design" *Scand. J. Metall.* Vol. 15　no. 6　pp. 298-304.

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）

Doll, W.J, Zhang, Q. :　（2005）"Clarifying the Fuzziness in the Concept of Front End Fuzziness:A Dual Theoretical Rationale" *The University of Toledo http://www.wjdoll.utoledo.edu/*

Deppe, L; Kohn,S; Paoletti, F; Levermann, A（2002）"The holistic view of the front end of innovation" Conference on IMTs and New ProductDevelopment Mantova,Italy,17-18 October 2002

Fujii, T　（1985）"Steelmaking--Present Situation and Future of Steelmaking Technologies. Converter Processes " *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.* Vol. 25, no. 7

藤本　隆宏 「実証分析の方法」 進化経済学会・塩沢由典編　方法としての進化(2000)シュプリンガー・フェアラーク東京

Herstatt,C; Verworn,B; Stockstrom,C; Nagahira,A; Takahashi,O　（11 Aug.05）

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

"Fuzzy front end" practices in innovating Japanese companies"
http://www.tu-harburg.de/tim/de/forschung/arbeitspapiere/Working_Paper_25.pdf

石田　勇矢、 日下　泰夫　(2004)「技術導入を考慮した製品開発代替案の評価と選択(<特集>技術経営アプローチと経営情報学)」*経営情報学会誌*　13(3)　ｐｐ9-25
伊丹　敬之　(1997)「日本の鉄鋼業　なぜ、いまも世界一なのか」　NTT 出版
井庭　崇　「複雑系と進化のモデル･フレームワーク」　(2004)　西部忠編「進化経済学のフロンティア」　日本評論社

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」までー　日本経済新聞社
児玉　文雄　(1998)「経路依存性の開錠とオプション分担方式　－日本の巨大技術開発の経験からの教訓」進化経済学会編　「進化経済学とは何か」　有斐閣

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

村上　陽一郎（1986）「技術とは何か」　日本放送出版協会
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
March　J.G ; Orsen　J.P.（1976、1979）「組織におけるあいまいさと決定」遠田　雄志、アリソン・ユング　訳　有斐閣（1986）
森岡　真史　「進化における定常性」　進化経済学会・塩沢由典編　方法としての進化(2000)シュプリンガー・フェアラーク東京
宮田　隆　(1998)「DNA からみた生物の爆発的進化」　岩波書店

中村　保（2003）　「設備投資行動の理論」　東洋経済新報社
日本鉄鋼協会（編）(2002)「鉄鋼便覧　第 4 版」　日本鉄鋼協会
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
日本 BOT グループ（編）　「LD 委員会１０年記念論文集」　日本 BOT グループ
野崎　努（2000）「底吹き転炉法」　日本鉄鋼協会
中岡　哲郎（1971）「工場の哲学ー組織と人間ー」　平凡社

尾近　裕幸(2000)「進化経済学へのハイエクの遺産」　進化経済学会・塩沢由典編　方法としての進化シュプリンガー・フェアラーク東京

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

Rosenberg,N.;(1994) “Uncertainty and Technological Change” paper presented at Growth and Development：The Economics of the 21st Century, Center for Economic Policy Research, Stanford University, June 3-4）

Snow,C.P.;（1984）「二つの文化と科学革命」　松井巻之助　訳　みすず書房

Stone, J, K （1984） “Evolution of L-D Into Combined Blowing” *Steel Times Int.* Vol. 8, no. 1

鈴木　和志（1983）　「設備投資モデルと日米投資行動比較」　*オペレーションズ・リサーチ*　pp30 - 38

サイモン、H,A「経営行動」(1989)ダイヤモンド社　松田武彦、高柳暁、二村敏子　訳 “Administrative Behavior” (1976)

高根正昭　（1979）「創造の方法学」　講談社現代新書

高橋伸夫　（1997）「日本企業の意思決定原理」　東京大学出版会

谷口誠　（2004）　「東アジア共同体」　岩波書店

ウルリッヒ．W(1998)　「経済学とダーウィニズム」　進化経済学会編　「進化経済学とは何か」有斐閣

Utterback. J.M　「イノベーション・ダイナミクス」（1994）　大津正和、小川進　監訳　有斐閣　“Mastering The Dynamics of Innovation”

Watson L；「ダークネイチャー」（2000）且敬介訳　筑摩書房

Young　S.（1971）「意思決定の諸問題」　高橋達男、松田武彦　監修　新家照夫　他訳　好学社

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，技術革新の影響が少ない場合」
日本経営工学会誌　38(1)

柳沼　寿　（1996）“技術と設備投資 : ヴィンテジモデルからのアプローチ”　経営志林 (法政大学経営学会）３２（４）pp191 - 196

山岸　哲　編（1999）「マダガスカルの動物　－その華麗なる適応放散－」　裳華房

四方　哲也　「眠れる遺伝子進化論」（1997）講談社

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda

発表論文

【1】本多　清之，亀岡　秋男　(2005)　「技術進歩における「適応放散」と「収斂進化」の発見―鉄鋼における上底吹転炉技術発展過程の分析」　研究・技術計画学会　第 20 回年次学術大会

【2】Kiyoyuki　Honda, Akio Kameoka(2006) “Discovery of the “Adaptive Radiation and Convergence” in the Technology Evolution Process – Case of Development of Combined Blowing Converter in the Steelmaking Process”　PICMET ’06 Conference July 8-13,2006 Istanbul, Turkey

Copyright © 2006 by Kiyoyuki Honda