

特別講演

□渡辺義介賞受賞記念

鐵とともに —高炉を支える原料技術— 北村卓夫

Takuo Kitamura

A Life with Ironmaking

—Raw Materials Technology of Importance for Blast Furnace Operation—

1 はじめに

このたび栄えある渡辺義介賞をいただき、誠に身に余る光栄と存じ、厚くお礼を申し上げます。これもひとえに関係各位のご指導ご支援の賜物と、深く感謝申し上げます。

顧みますと、製鉄所におきまして工場の操業、建設と管理に30年、本社での技術協力と研究開発に10年と、様々な仕事を通じて多くを体験させて頂きました。それらは数多くの皆様に支えられての成果でありました。旧い仕事は時間が経っているものでありますし、最近の仕事は皆さんと共に努力して結果を出してきたものでありますゆえに、特定の具体的なことをこの場でご紹介することに躊躇致しますが、この機会をお借りして、現在の鉄鋼の技術者の皆様に、私の経験からの思いと、高炉操業を支える原料技術について、お話ししたいと思います。

2 物造りの本質について

振り返りましてこの40数年間、日本の鉄鋼生産は1千万トンから1億トンへ、そして数多くの高度な製品創りへと、量と質の両面で目覚ましい進歩を遂げてまいりました。

入社当時と較べて、何が変わり何が変わっていないか、と考えて見ますと、変わっていないことは、当然のことながら、物造りの本質にあるといえます。『自然の法則は、自然の中にしかない』と先人が申されておりました。

2.1 自然の法則は自然の中で

物造りの原点とは現場を視ることです。物造りとは自然の摂理を科学的に応用したものです。現場を視ることによって状況が判り、おかしい事に気付き、疑問が湧いてきます。生産の流れの中で自分なりのポイントを定め、現場を視ることから始めねばなりません。技術を本務とされる

皆さんは、これを十分に承知されている筈なのですが、システムに囲まれ、業務の情報量も増え、多忙なこともあって疎かになります。その時は些細なボディブローであっても、個々人も会社もこれを永い間受け続けていると、何年か経って振り返った時には取り返しのつかないことになってしまいます。

例えば修理の日は、現場を観察するにはまたとない機会です。会議などによって現場に行けないことはもったいないことだと思います。

システムの時代になり、理屈が判らなくても物を造ることが出来る時代になりました。しかし理屈が判って物を造れば、それは飛躍と進歩に繋がります。バーチャルなシステムや無人の装置が出来ても、現場は残ります。システムを介して物を造る日常にあって、時には現場との直接的な対話が必要だと思います。

2.2 システムの良さと怖さ—見えないシステム、見ない人

一方、目覚ましい変化を遂げたのは、プロセスを制御するシステムだといえます。当時は、これ程までに進歩・普及するなどは予想も出来ませんでした。

今日の日本の鉄鋼生産と技術が世界最高のレベルにある所以は、技術をモデル化・体系化し、制御システムの駆使によって現実化し、安定した高品質・高生産・高能率・省エネルギーを達成したことにあります。しかしながらこのシステムが高度に発展した時、技術者はシステムを利用することだけに流され、しかも現場や現象を見なくても物が出来ることから、物造りの本質に触れる機会から離れることになる危険性が生じることを忘れてはなりません。

システムが構築された時の目的や技術レベルや環境、背景などの前提条件は時代とともに変化します。この変化に応じてもっと良い、もっと新しいものに変更すべきものがあります。構築当時の前提条件が判らないと、システムは

ブラックボックスに包まれてしまいます。現状のままシステムを使っているだけでも実害は些少で、その改善の必要性は見過されがちです。更にそのメンテナンスの改善は、責任の所在が不明確で、地味で専門家を含めた人手が必要とされ、時間や経費もかかり、疎かになってしまいます。メンテナンスし易いシステムを作ることが肝要です。しかし現場や現象を視て素朴な疑問を抱き、基本に照らして頭を整理することで、システムの前提条件の中の矛盾に気が付くことが出来ます。

システムによって莫大な効果が得られましたが、それを過信するという弊害を技術者にもたらすことに繋がるという危険性があります。物造りのシステムは主役のように振る舞いますが、物造りの技術者にとっては現場が主役です。時には物造りの原点に還ってシステムを利用したいものです。システムに囲まれた中で技術を伝承するにはどうすれば良いのか、皆さんと考えていく必要があります。

3 現場からのメッセージ

私は入社して室蘭のコークス部門に配属されて以降、高炉操業に果たす原料技術の役割りがいかに大きいか、を感じてまいりました。敗戦後の原料入手難で高炉操業がいかに難渋したか、その後の原料の安定供給と原料技術の進展がいかに高炉操業を支えてきたか、を考えてみれば明らかです。入社した当時は、戦後の再建から朝鮮戦争を経て工場の生産も活発で軌道に乗ったところでしたが、コークス炉には炉蓋の周りを粘土で目塗りするという旧型の作業も残っているという時でありました。

現場は、日本で始めてコーライトを開発した工場でもあり、その新進の気風を受け継ぎ、手持ちの設備を工夫して改造したり、新しい工場実験が次々に行われるなど、積極的な活動がなされておりました。1950年代半ばから強粘結炭の節約を目的とした石炭の事前処理技術が注目され、原料炭組成成分の粘結性や事前処理とコークス強度の関係の研究などがフランス、ドイツ、そして我が国で始まり、多くの研究が発表されました。室蘭でも、石炭への油添加による密度評価試験や、石炭組織成分に注目してアメリカ炭をノボローターミルという微粉碎機に熱風を吹き込みながらコークス製造実窯試験を行うという試みが行われました。これらから、強粘結炭の微粉碎と弱粘結炭の粗破碎によって、強粘結炭を節約しても粘結成分の分散と装入密度の上昇によってコークス強度を維持できることが判り、石炭処理技術の方向が明確になりました。北海道炭をベース炭として、どのような石炭をどのような形で配合すれば強度が出るのか、などの試験も行われました。これらの成果

が後年の東海製鐵での、炭種別選択破碎設備の実現に繋がりました。

工夫してやる気があればどんどん結果が出るのが現場です。現場が発信しているメッセージは一杯あることを学びました。

3.1 高炉とともに歩むコークス技術

1960年代始めに東海製鐵の建設が始まり、上司と二人で石炭処理とコークス炉の建設企画を担当しました。原料から成品までの流れがL字型にレイアウトされ、輻輳した物流が避けられ、効率と生産性を狙った理念が明確な近代的な製鉄所でありました。その自由闊達な雰囲気の中で、議論が進められました。

高炉の内容積は最終的には当時最大規模の2021立方メートルに定まり、これに対応した大型コークス炉の建設を主題として掲げました。コークスに関する当時の権威の方々のご意見を伺うべく、全国を廻りました。その結果は半分強の方は慎重論、半分弱の方が賛成論、でした。慎重論の由来は、燃焼温度管理や炉蓋管理の難しさ、過大な労働負荷の懸念から、時期尚早ということでありました。また日本での装入炭の揮発分は約30%であり、大型炉を採用しているドイツでは約25%で、揮発分が多くなる程炉蓋管理が難しくなる訳ですから、この差が心配でもありました。

しかし当時の室蘭では大型化の方向にあり、社内は総じて積極論にありました。今後石炭の品質も安定化するであろうし、端燃焼室の燃焼改善で炉蓋管理も向上するであろうし、労働慣行も理解されると考えました。その結果、燃焼管理が容易なDKH式大型炉の採用が決まりました。炉出し作業も、従来には無い135本/日・1チームとし、当時最大の高炉にコークス1炉団1チームが対応するという態勢が可能となりました。

臨海製鉄所の建設が進み、高炉の大型化に応じて、図1に示しますように生産性の高い大型コークス炉の建設が急激に拡がりました¹⁾。我が国では60年代半ばからの10年間に大型炉の建設が集中しておりますが、欧州4ヶ国では大型炉だけでなく、従来炉のリプレースがなされていることが注目されます。

大型炉の建設と並行して展開されたコークス技術として、コークス品質の向上、省エネルギー技術、そして設備技術が挙げられます。石炭の事前処理技術として選択破碎、成型炭装入、乾燥石炭装入、石炭調湿法などが次々と実用化され、密度上昇・急速加熱によるコークス強度の改善、使用炭種の拡大によるコスト低減などの大きな成果に繋がりました。環境対策やCDQなどの省エネルギー設備の採用充実も進みました。その後に燃焼自動制御や熱間炉体補修、

高炉とともに歩むコークス技術

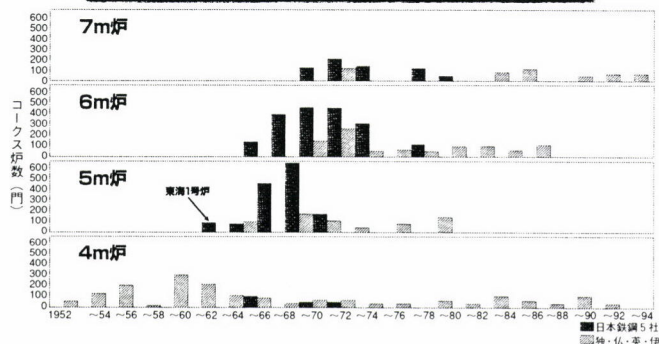


図1 コークス炉高さ別設置門数と建設時期の日欧比較¹⁾
(日本鉄鋼5社と欧州4ヶ国との比較、1996年末時点での稼動炉)

無人化操業へと展開し、更に新しい発想での極限技術として、国家プロジェクトであるSCOPE21の開発へと引き継がれております。

後年従事しましたプレカーボン法は、230度の高温での石炭予熱プロセスであり、生産性向上、コークス強度の向上、省エネルギー、一般炭の使用拡大を狙ったものでありました。当時のコークス操業としては初めて高度な制御システムを導入し、爆発防止、高温での石炭のハンドリング、タールへの石炭汚染など、多くの課題がありましたが、対策を施して順調な稼動を実現することができました。

始めは難しいと思われる課題に対しても、努力と工夫によって大抵の事が克服できるのが、日本の技術であると思います。大きな目標に挑戦することが大切だと思います。どの分野でも5年経って振り返った時、技術の進歩に驚かれた経験を持たれた方が多いと思います。

コークス品質についても、従来の冷間での壊裂強度という指標ではなく、高炉内の挙動に基づいた熱間強度CSRという日本独自の指数で管理することになりました。図2に示しますように、CSRが高くなると高炉操業の変動が低減し、燃料比も下がることとなります²⁾。現在では海外でも使われている指標です。高炉の解体調査によってコークスの反応性状が明らかになったこと、輸入炭種類が増えた結果、同じ壊裂強度でも高炉内挙動が異なるという、疑問と現場のメッセージがこの指標を産むヒントになりました。

先に示した図1から明らかなように、現在のコークス炉の大半は25年以上を経過しております故に、この寿命問題も大きな課題です。SCOPE21の推進と並行して、現有炉の長寿命化にも取り組まねばなりません。装入炭の低湿分化や配合管理によって膨張による炉壁への負荷を低減し、必要に応じて熱間補修を施し、炉蓋のメンテナンスによるガスシールの維持などによって寿命の延長を図らねばなり

コークス品質と高炉操業

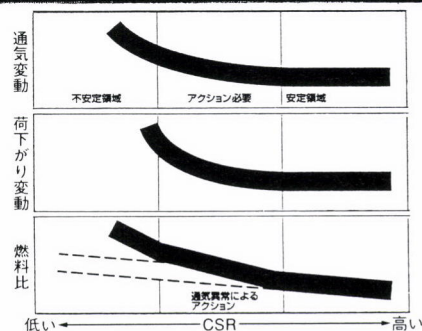


図2 コークス熱間強度と高炉操業の関係の模式図²⁾
(CSR：反応後のコークス強度)

ません。現有炉の建設の時期に、日本の煉瓦の品質が格段に向上していることを考え合わせ時、コークス炉に注目して充分な管理をすれば、寿命の延長が期待されます。

3.2 高炉を支える焼結技術

高炉の内容積は1964年に2000立方メートルに達し、その後の10年間で5000立方メートルまで大型化されました。ご存知のように容積の拡大は炉床径を拡げることで対応し、高さは炉容によらずあまり差はありません。これは高炉内の還元反応と通気性から最適な高さを選択しているためです。君津製鉄所の初代第3高炉は4063立方メートルで、同程度の容量の高炉に比して約2メートル高くしております。これは反応性を高め、燃料比を下げ、生産性を高めるという大胆な試みでした。その理念から、使用原料として焼結とペレットの配合を他高炉よりも高い値に設定しました。折からの石油危機による電力や重油の制限から、焼結の高配合が困難なこともありましたが、高炉操業に及ぼす原料の役割りは大きく、同高炉の設計理念を完遂するという全社的な合意が得られ、安定した操業によって成果を得ることが出来ました。つまり、設備がいかなる理念で作られたか、ということを引き継いで、その中で、現状からどうするか、を考えることも重要です。

図3には焼結鉱比率(SR)と高炉操業の関係を示します。これ以外にも焼結鉱品質や高炉操業条件などの要因も関係しますが、焼結鉱配合が増加すると操業が安定化することが理解いただけだと思います。

1970年代の室蘭では最新鋭の焼結設備が稼動し、操業と品質改善に取り組みました。特に鉱石・粉コークス・副原料などに対して粒子レベルに注目したミクロな視点での取り組み、例えば造粒・結合・融解・強度・反応性・通気性などの解明に注力しました。設備の工夫として塊破碎設備

焼結鉱品質と高炉操業の改善～室蘭製鉄所での事例

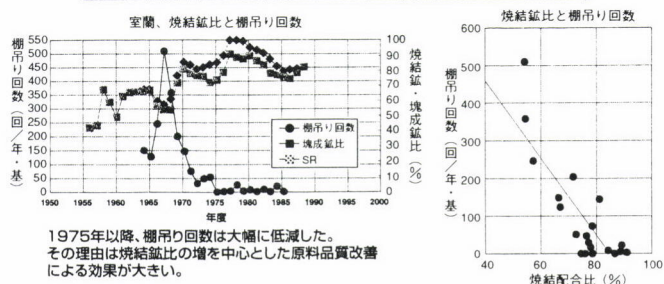


図3 焼結鉱比と棚吊り回数の関係を示す事例
(SR：焼結鉱比、新日本製鉄(株)室蘭製鉄所資料)

を設け、低品質の塊鉱石を破碎して粉とすることで最適な焼結鉱を造る態勢が整いました。

鉱石の事前処理技術によって焼結鉱の粒度・強度・還元粉化率・アルミナシリカ成分などの品質向上に繋がります。原料処理の自由度を持つことが、高炉操業に役立つことを実感しました。

特に最近の微粉炭多量吹き込み操業では、高炉内条件が厳しくなるものでありますために、高品質・低スラグ焼結鉱が高品質コークスとともに大きな成果に結び付きます。図4は昨秋の高炉操業データから、微粉炭吹き込み量・スラグ比・焼結鉱還元率(RI)の関係を整理してみたものです。多量の微粉炭吹き込みは高品質原料に支えられていることが判りいただけると思います。

また安価原料としての劣質原料(褐鉄鉱系鉱石)の使用を拡大するための技術も大きな課題といえます。劣質原料の使用量の増加の実態を図5に表しました³⁾。これらをどのように焼結処理して良い焼結鉱を得るか、については既に大きな成果が挙がっていますが、高炉操業からの制約を尊重しながら、更に劣質な原料を多く使用して原価を下げ、資源事情を緩和するという大きな目標に向かって今後も取り組まねばなりません。

3.3 世界をリードする高炉技術

高炉操業技術の改善や安定操業の努力、そして原料品質の向上や原価低減を目指した取り組みが、新立地の電気炉との競争強化を背景とし、従来にも増して注目されています。

高炉の競争力の基本は安定操業にあります。このためには原料条件と操業条件の適正化が鍵となります。

今日では高炉反応の科学的な解明や体系化が随分進んでおりますが、1960年代後半の時期、東海製鉄で管理業務に

原料品質と高炉微粉炭吹き込み

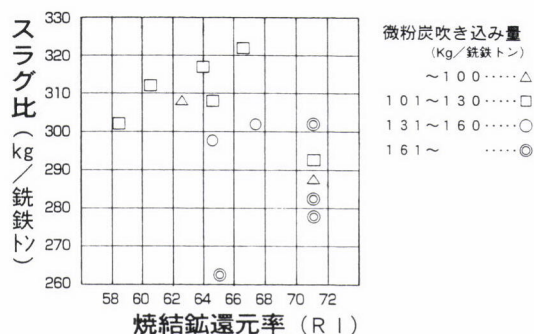


図4 微粉炭吹き込み量と原料品質の関係
(1997年11月時点での日本の製鉄各社の高炉操業実績から作成)

原料の劣質化 安価原料の使用拡大

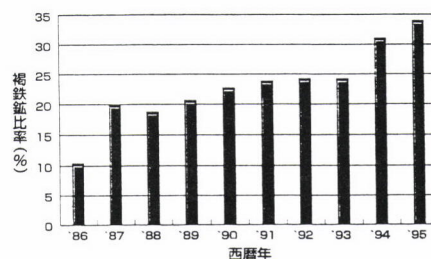


図5 日本での焼結用輸入粉鉱石に占める褐鉄鉱比率の推移³⁾
(褐鉄鉱：ピソライト鉱石およびマランバ鉱石)

ありました時、「高炉を反応容器として化学工学的に解明せよ」という幹部からの指示を受けました。例えば吹き抜け現象を化学工学的に解析するとか、制御工学的にセンサーを駆使することによって前兆を捉えて防止する、などの命題を掲げ、高炉部門・熱技術部門・計測制御部門などが会して熱心な議論を行いましたことは、高炉操業解析の手掛かりとして貴重でした。漫然と「高炉は高炉」として受け止めていた私にとって、新しい科学技術の視点に立って何故何故という疑問を持ち、何とかならないかという執念が改善開発に繋がることを強く印象付けられたのであります。

高炉は燃焼通気反応であります故に、原料品質とともに操業条件として装入物分布が大きな要因となります。室蘭には日本初のベルレス高炉とムーバブルアーマーを装備したベル高炉という二つの装入方式の高炉があり、ガス流制御のための最適な装入物分布の解明に挑戦しました。

旋回シュート形状・摩擦係数・磨耗・ホッパー形状・チャージ量・旋回シーケンスなど、分布試験を併行しながら解明努力を続けた結果、予想外に細かな因子が分布に影響

響するという知見を得て、高炉操業に応じた装入分布制御技術を確立致しました。この成果は、設備としては新第2高炉での垂直ダブルホッパーベルス式に継承され、操業としては周辺流／中心流の制御と中小塊原料の有効利用として生きています。

高炉は、生産量レベル・原料品質・微粉炭吹き込み等の前提に合わせて、送風条件や装入分布を工夫して操業しますが、コスト削減が最大の目標です。このために微粉炭吹き込み操業が注目され、現在ではほとんどの高炉で高レベルの吹き込みが実施されています。この時、即ち微粉炭吹き込みで低コストを指向した操業には、装入分布と共に原料品質に十分な配慮がなされねばなりません。多量の微粉炭吹き込みは炉芯・炉底・羽口前が汚染され易く、通気性が阻害され、熱的に不安定な操業になります。高品質原料はコスト面では矛盾するものですが、必要条件であります。

高炉操業における出鉄比・微粉炭(PC)吹き込み量・燃料比と原料品質の関係を図6に模式的に示します。原料品質が悪い時、出鉄比が上がらず、燃料比も上がる事、また設備には或る程度の余力が必要で出鉄比を抑えて操業すれば劣質原料の使用が可能で、操業のフレキシビリティが高い事、などの大切な指摘を読み取ることが出来ると思います。

多量の微粉炭吹き込みや羽口からの鉱石や還元原料の吹き込みは高炉操業にとって厳しい課題ながら、安定生産・コスト低減という大きな目標を達成するためには挑戦せねばならないものです。その時必要とする原料や操業の諸条件を明らかにして、逆に劣質原料を使用する時の最適操業条件を引き出し、安定操業を達成するための原料技術と操業技術とを確立せねばなりません。例えば微粉炭吹き込みの限界や条件について、必ずしも十分に解明されているとはいえません。技術が整理されると、こういう条件ならこういう操業をするという高炉の主張が判り易く理解され、安定操業によってその存在感を明確に示すことが可能とな

ります。

近年高炉各社が協力し、これまでの知見を基に、大学と連携して、高炉操業を学術的に解析することに成果が挙がっていることは誠に心強いことで、わが国鉄鋼業の競争力維持の大きな力となっております。

4 技術を創り技術を支えるのは人

鉄鋼は成熟した領域といわれております。日々の現場は確かに安定して変化の少ない面もあります。人が育ち、人を育てるのは、素朴な疑問と基本の整理、そして変化です。素朴な疑問を理論と照らし合わせて自分で体系化し、取り組む姿勢で日常の生産の中での変化が見えて来ます。改善を図ったり、視点を変えてみたり、領域を拡げたり、また従来観念をゼロに戻して発想を再構築するのも一つの方法です。プロジェクトに参加したり、技術協力を担当したり、外部との人事交流を図るのもポテンシャルの向上に繋がります。例えば技術協力には、基本や理念を整理・理解していないと教えることは出来ませんし、これまでとは違う世界の体験で視野が拡がり、その達成感は自信へと繋がります。

4.1 技術協力に学ぶ

私自身も幾つかの技術協力を経験しました。上海宝山製鉄所への協力では、途中参加と高炉火入れ前の転出という経歴でお話しする資格はないのですが、多くのことを学ぶことが出来ました。その第一は「中国のため」という哲学です。この基盤があればこそ、建設中断があっても、信頼関係は揺るぎませんでした。第二は段階的に整理された進め方の存在です。即ち、初歩的計画・基本設備計画・購入仕様書・見積もり検討・設計承認・製作・出荷・工事・試運転・操業準備・操業という11段階のステップを、ハードとソフトの概念について、中国側の理解を得ながら、清々と作業を進め、膨大なドキュメントを整備しつつ実行致しました。第三は最新の技術としてモデル工場を定めるという方策です。例えば高炉は君津第3高炉が設定され、体験済みの完備した技術をもって実行しましたゆえに、極めて順調に技術移転が推移しました。

明確な方針による哲学と安定した技術が協力の支えであり、中国にも役立ったと思います。多くの方々に支えられ、苦労をお掛けしたプロジェクトではありましたが、製鉄所が順調に稼動したことが喜ばしく、また報いられたことです。

戦後、買うエンジニアリングから、売るエンジニアリングとして総合力を発揮した一つの事例です。

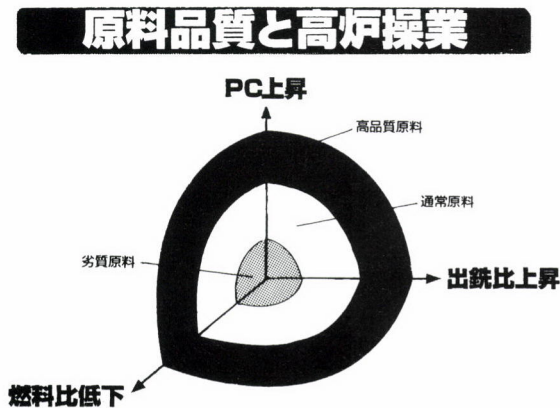


図6 高炉操業に及ぼす原料品質の関係を示す模式図

買う技術から売る技術へ

買う技術 買うエンジニアリング

買い手に主導権
基本技術の確認不足
相手への依存・責任の転嫁
勉強追及のてらい
より良いものへの改善の自信

売る技術 売るエンジニアリング

基本の整理
体系的整理
技術の優位性、差別性の整理
技術の熟成度
権利・瑕疵の確認
ドキュメントの準備
責任の明確化
曖昧さは許されない
インダストリアルセンスの
余地はない

図7 売るエンジニアリングの基軸

4.2 常識への挑戦、絶えず疑問を抱くことの大切さ

一般的に図7に示しますように、買うエンジニアリングはこちらに主導権があり、より良いものへ自分で展開できる自由度が残りますが、売るエンジニアリングは全く性質の異なるものです。つまり他との差別性の明確化、保証できる技術として体系的な整備の必要性、責任の明確化が必要です。曖昧さは許されません。私共の周りには、素朴な質問に十分な回答ができないことが多々あり、常識の怖さも感じます。インダストリアルセンスで当たり前と思っていると、整理されておりません。インダストリアルセンスは互いにカバーし合って、仕事の瑕疵や個々人の責任を曖昧にしてしまいます。常識・インダストリアルセンス・過信などが、隠された「技術の怖さ」に繋がっています。絶えず疑問を抱くことが大切です。

4.3 研究開発は人

研究開発を担当した中で、人の重要性に関して思うことを一言だけ申し上げますと、研究は他部門と少し異なって、その独自性・オリジナリティーに期待している訳でありますので、その成果を得るためには、配置・担当の継続性、ローテーション、処遇をいかにすべきかという考慮が大切です。研究では人に投資している、という面があります。研究者が替われば、個人のポテンシャルのみならず、外部との繋がりなども共に移ってしまいます。計画的に後継者を育てることが必要です。またその専門性に対する評価も容易なことではありません。基本的には成果主義でしょうが、中期的な取り組みや基礎的課題の場合には、外部評価

をより尊重すべきだと思います。また全体として、リカバリーショットを打てる態勢にしておくことが、モラルや活力の維持向上にとって重要です。

5 おわりに

高炉操業にとって原料が果たす役割りが大きいことを申し述べてまいりました。高炉技術と原料技術を総合した技術を確認し、与えられた前提条件から、安定操業・最適操業を果たすことが重要で、それに対応できるように設備もフレキシビリティを有して充実する配慮が必要です。

20世紀は、量と質、そしてコストを下げるという目標に向かった極限技術を追求してまいりました。21世紀は「環境」がキーワードです。それには単に環境に対応するというのではなく、環境を取り込んで一体となる、という広い視点からの鐵造りが必要となります。環境に、エネルギーに、資源に、社会との関連を念頭に、更にポジティブに展開する時代を迎えております。

これまでに培ってきた原料や操業の柔軟性は、高炉にとって、技術とコスト競争のための大きなポテンシャルに繋がります。技術者として技術の極限を追求し、今後の課題に自信を持って取り組んでいただきたいと思います。

鐵は材料としては地味な存在ですが、次世紀においても社会資本を築き、人の生活に密着した材料として大きな役割を果たし続けると信じております。

『使われて評価される鐵造り』に全力を挙げなければなりません。また『魅力ある、活力ある産業』、『社会への貢献が認められる産業』にならなければなりません。その最大の要件は、技術を育て、技術を展開する「人」というソフトです。育てて欲しい、と願っております。

最後になりましたが、鉄鋼協会が、産官学の力を合わせて活動する場として、益々に充実発展されることを心から期待しております。

参考文献

- 1) IISI原料委員会資料, Coke and its Alternatives, (1997)
- 2) Yasushi Ishikawa: Proceedings Ironmaking Conference, 42 (1983), 357.
- 3) 稲角忠弘: 鉄と鋼, 82 (1996), 1.

(1998年5月13日受付)