

1. 緒言

—21世紀へ向けて、鉄鋼技術の目指すべき方向

1. はじめに

現在わが国鉄鋼業は未曾有の困難の中にある。このような苦境は過去においてもたびたび経験したが、我々はその都度新たな技術を開発し、実用化することによってそれを切り抜けてきた。ところが現在我々が直面している企業環境の変化は、いくつかの点で過去とは異なっている。まずこの特徴を見てみたい。

1.1 我々を取り巻く環境の変化

特徴の第一は対外貿易収支に端を発した円の独歩高である。この結果わが国製造業の国際競争力は一気に低下してしまった。これをどのようにして回復するのが最大の課題である。

第二は1992年に開催された環境と開発に関する国連会議以降高まりを見せている環境問題である。局所的な公害問題と異なり、国境のない地球規模での環境問題は、物の誕生から利用再生までを一つのサイクルとして捉え、エコロジカルに調和のとれた生産・利用・回収系を作り出すことによって解決しなければならない。鉄鋼業の環境負荷は大きい。鉄は再生利用に適したエコマテリアルである。この長所を活かし、環境負荷の低減、再生利用率の向上を狙った製造技術、製品技術の開発が重要な課題となる。

第三は突然に起こった変化ではなく、徐々に進行したものであるが、個人の欲望の多種多様化である。人が等しく物を求めた時代、人は画一的な製品に満足感を得た。豊かさが満足されると人は何か新しい物を求める。この欲望に対して革新的な物を提供し得なかったために、差別化商品が出現した。その結果生産品種の数は多くなり、生産単位は小さくなり、そして大量生産方式の有利さが失われてきた。一方、価値観の多様化は労働に対する価値観の変化にも見られる。例えば労働時間短縮、高熱重筋労働、深夜労働といった問題である。これに拍車をかけるのが労働力人口の減少と高齢化の問題である。

このような企業環境の変化に対応するためには、新しい技術の枠組みを再構築する必要がある。それを考察する前に、これまでに我々が蓄積した技術を振り返ってみよう。

1.2 経済の変動と技術の蓄積

一橋大学の伊丹はわが国の経済の変動を1955年から1973年を第一の波、1973年から1991年までを第二の波、1991年からを第三の波として分類している。まず第一の波は資源の壁によって崩壊した。そして第二の波は外なる壁(国際化)と内なる壁(組織・制度)によって崩壊した。このそれぞれの波動期に蓄積したものを巧みに活用した者が、次

の波動においても発展してきたと説明している¹⁾。

鉄鋼業が第一の波動の時期に残したものは近代的大型生産設備と自主技術であろう。この遺産によって低成長に移行した鉄鋼産業の再生を果たし、多種多様化した需要構造に対応することができた。またこの間著しい発展を遂げたエレクトロニクス技術を取り込んで、鉄鋼産業のインテリジェント化に成功し、1979年の第二次石油ショック、1985年の円高ショックも克服した。

それでは第二の波動の期間に我々が蓄積した遺産は何であったか。それをどのように利用すれば現在の苦境を乗り切り、さらなる発展に結び付けられるのかについて考えたい。

2. 第二波動期の技術の特徴

製造業とは原材料を市場の欲求する物に変換する行為を営むものである。この変換には人・設備・資本、そしてこれらを相互に結びつける技術が必要となる。

技術は企業を取り巻く環境条件によって変化する。高度成長期には、資本・労働を基軸として大量・高速生産技術など、高生産性を達成する技術を産み出した。資源制約が問題となった時期には、原料・エネルギーを基軸として資源節約型の技術を数多く開発し、単位製品当たりのエネルギー使用原単位、あるいは鋼材歩留まりを高めた。鋼材需要業界とは常に密接な協力関係を保持して、需要業界が時代時代に応じて必要とする材料を開発することにより、わが国製造業の国際競争力の強化に大きく寄与した。この技術がどのように獲得されたかを考察したい。

2.1 生産技術の確立

近代製鉄が充足して以来、わが国は多くの技術を海外から導入したが、導入技術が直ちに定着し、効力を発揮したのではない。導入当時の技術はノウハウに属するものが多く、迅速な技術の定着を阻害した。つまり論理化されていない技術の伝承は極めて困難なのである。導入技術が定着するまでには先人のなみなみならぬ努力があった。1955年以降わが国の経済が本格的な成長期に入り、設備が大型化・高速化し、生産品種が著しく拡大した。この結果過去の経験にのみ立脚した技術では対応がむずかしくなり、企業内における研究開発体制が急速に拡充され、生産に直結する技術、すなわち生産技術が急速に進歩した。

生産技術とはTable 1.1のように、生産の現場において必要とされる多くの要素から構成されている。技術者は企業内教育および操業経験を通してこれら各要素を身につける。需

¹⁾ 伊丹敬之:「新しい産業ダイナミズム」, 季刊アスティオン, (1993, 夏), No. 29, p. 88.

Table 1.1. Structure of manufacturing technology.

Marketing	<ul style="list-style-type: none"> • Quality improvement • Market assessment • Market creation • Customer service
Process design	<ul style="list-style-type: none"> • Selection of facilities • Process layout • Selection of process route
Production program	<ul style="list-style-type: none"> • Operational practice • Reproducible product design • Improvement of production capacity
Maintenance program	
Training and education	
Cost management	<ul style="list-style-type: none"> • Cost assessment • Cost improvement
Total quality control	<ul style="list-style-type: none"> • Product liability • Quality assurance
Socio-technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Environment • Natural resources • Labour relations and safety

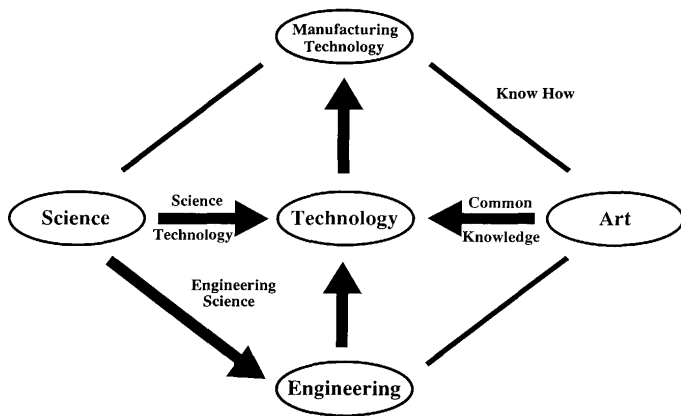


Fig. 1.1. Relationship among science, engineering, technology and art.

要が供給を上回り、しかも生産設備が単純で生産速度も遅く、また製造品種も少なくかつ高級ではなかった時代には、技術者はこれほど多くの技術要素を身につける必要はなかった。しかし高度成長期では多種多様な品種を大量に生産するために、現場の作業員一人一人が保有している、物の上手い作り方をできるだけ一般化し、伝承しうる技術に置き換える必要が生じた。これは当初単に作業を標準化する程度にすぎなかったが、コンピュータ制御を導入する過程で、作業員一人一人に固有の暗黙の知を普遍的な知に変換する技術は大きく進歩し、人工知能・計算科学などの基盤を形成した。

それでもなお不可解な現象は残る。この解明に基礎的な分野にまで踏み込み科学的な研究が積み重ねられ、自主技術の

形成に大きく貢献した。

大学でもこの期間工学の専門分化が急速に進み、基礎工学へのシフトが生じた。工学体系が複雑に専門分化すると、これを生産に役立つ形に組み替える必要が生ずる。そこで企業では物作りに必要な科学・工学・経験と勘などを技術として融合し、さらに生産の現場に必要な各種の要素と組み合わせで生産技術を構築した。この関係を Fig. 1.1 に示す。

次にこの期間の技術の傾向を総括してみよう。

2.2 技術軌道からみた技術の変化

先導的な技術の出現と、その企業化について、神戸大学・弘岡の興味ある研究がある¹⁾。弘岡は、種々の発見を時系列的に整理し、発見が累積した後に企業化が進展してくるのを見いだした。この手法を特許に適用したのが Fig. 1.2 である。過去5年間の公開特許は、製鋼・表面処理の二分野に集中しており、次いで製鉄・熱冷延分野が続く。そして厚板・条鋼・ステンレス・電磁鋼全分野を加えても製鋼分野に及ばない。製鋼分野を過去20年間見てみると、Fig. 1.3 で明らかのように凝固分野での出願が顕著である。ニアネットシェイプ連铸が1980年代から伸び始め、連続铸造を上回る出願件数となっている。しかし1980年代後半から出願が低下傾向となっている。これは技術の準備段階が終了しつつあることを示している。同様に表面処理鋼板の内容を Fig. 1.4 に示す。累積的には溶融亜鉛メッキ系に次いで電気亜鉛メッキ系となっているが、伸び率が大きいのは溶融系であり、電気メッキ系には伸びの鈍化が見られる。

この他の分野でも興味ある傾向が読み取れるが、次に特許よりも先進的な学会からの情報発信を包括的に見てみる。

2.3 学会に見る技術の傾向

学会からの発信は、技術のもつ社会性に着目した立場と科学性に着目した立場とに分けられる。社会性に着目した立場からの発信では、山本らのエコマテリアルと、高木・柳田らのインテリジェントマテリアルを取り上げてみたい。エコマテリアルは材料を環境との関わりから捉えるという考えで、材料を選択する場合 ライフサイクルアセスメント (LCA) の立場から決定すべきであると提言している。LCA による材料選択は、家電産業では既に導入されており、鉄鋼業としても早急に取り組むべき課題である。

インテリジェントマテリアルは、効率性・量産性を追求して複雑になりすぎた技術体系を人に・環境に・自然に優しい体系に組み替えようという考えで、安全性の高い構造材料、生体適合性の良好な材料などを開発しようという発想である。構造材としての鉄鋼材料は、外部からの入力信号(例えば外部応力)を感知し、応答するという機能を持たない。つまり受動部材である。これを外部信号に応答する能動部材、さらに外部信号を感知し、判断し、応答する知的部材に進展させると、鉄鋼材料の用途はより広がる。例えば巨大地震に

¹⁾ 弘岡正明:「技術革新のパラダイムと産業展開」, 化学経済, 1月号(1993), p. 14.

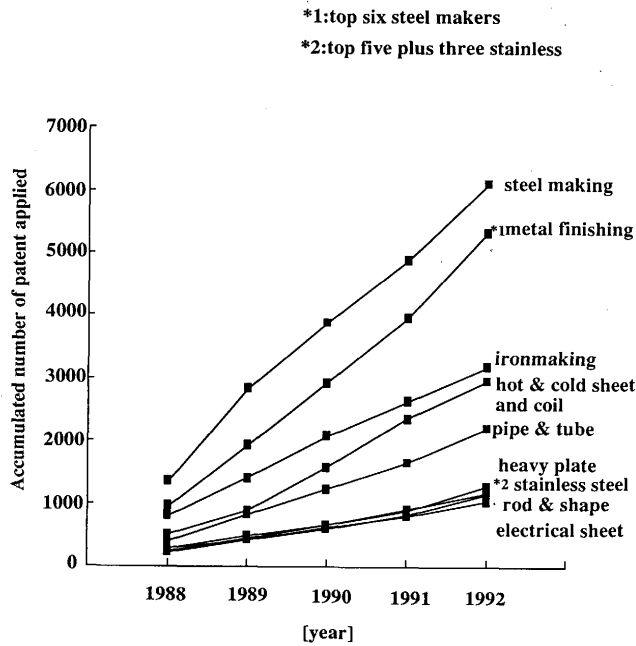


Fig. 1.2. Patent statistics.

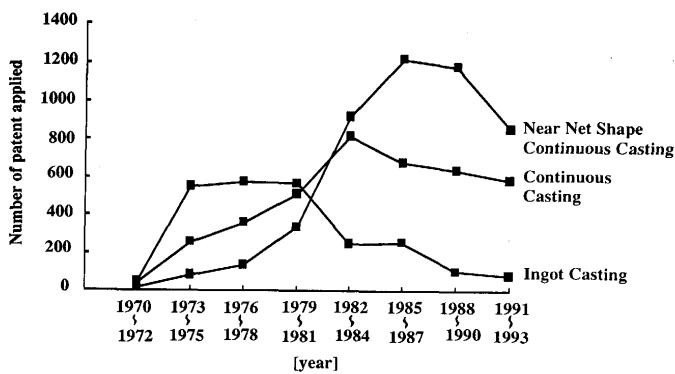


Fig. 1.3. Patent statistics (casting).

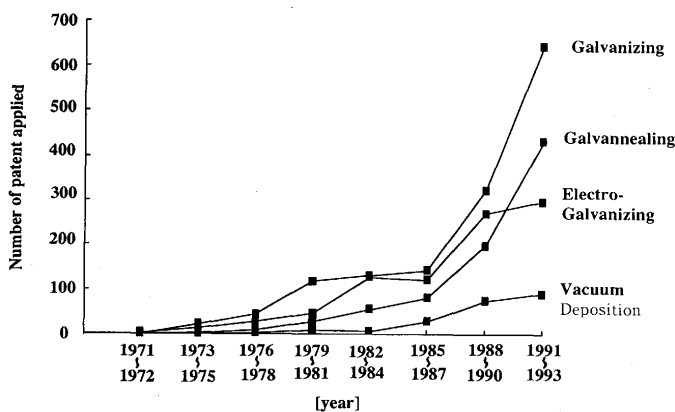


Fig. 1.4. Patent statistics (metal finishing).

対処する免振構造部材が既に実用化されつつあるが、このような機能部材の開発は重要な課題である。

次に科学の立場からの発信では、オキサイドメタラジー、計算科学、メゾスコピックな材料等がある。オキサイドメタラジーは普遍性の高い技術であり、すでに利用の段階に入っている。今後、製鋼と圧延を統合した材料設計、プロセス設

計など、多くの発展が期待される。

計算科学は高速コンピュータの普及により、物性分野とプロセス分野でいずれも急速に進歩した。物性分野では材料設計・計算状態図・物性値予測など、プロセス分野では、各種のプロセスシミュレーション・現象解析・計算による実験など、広く適用されている。

メゾスコピックな領域では、材料の特性がミクロスコピックな領域と異なる挙動を示す。このメゾスコピックな材料は現在、産・官・学の共同研究対象として取り上げられており、今後注目すべき分野といえよう。

2.4 知能システムの構築

この分野での進歩は著しい。当初は帳票作業の合理化からスタートしたコンピュータの利用は、その後生産設備の直接制御へ拡大され、さらに設備診断、物流制御などへと波及した。パソコンはオフィス業務の革新をもたらした。これらが相互に結合して、生産・販売・流通、さらには組織を含め巨大なシステムを構成している。この間ソフトウェアの進展は著しく、特に人口知能の進歩はプロセス制御に大きな貢献をもたらした。

過去10年間に蓄積した技術は、それ以前と比較して明らかに広く深い。そしてその中には、次の時代の予兆と考えられるものも多い。しかしながら一方では、今後の環境変化を考える時、今までの延長線上に将来を考えて良いのかという疑問が残る。次にこの点について考察したい。

3. 新しい技術のパラダイムを求めて

冒頭に述べたように、わが国では科学・工学・経験と勘を融合した生産に直結する生産技術を構築し、国際競争力のある鉄鋼業を作りあげてきた。しかしながら社会環境の変化によって、このような生産中心の技術にのみ依存するのではなく、社会や人を考慮した社会技術と共存しうるような、新しい技術を創造することが必要となっている。過去、技術は見えるもの、測れるものを対象として取りあげ、見えないもの、測れないものを捨棄してきた。つまり技術は本来人や社会に有用なものを産み出すことを目的としながら、現実には数字として共役可能な最大公約数として有用なものに目的を絞ったことになる。しかし今後は、測りにくいもの見えにくいものを対象とする社会技術を考えないかぎり、企業経営は困難を増すことになりかねない。ここに技術者の重要な責務が存在する。次にこの課題について考えてみる。

3.1 今後の研究開発の位置づけ

懐妊期間の長い研究開発の使命は、外に向かって変動の激しい企業環境、関連する科学・技術の動向を見定め、内に向かってそれを短期的な企業経営計画に結びつけ実行することになる。

この関係を図示したものが Fig. 1.5 である。特にここで留意したいのは、企業戦略と研究開発の間の知識変換過程である。技術の話は分かりにくい。研究開発は、もっと分かりや

すい情報発信をするべきではないのか。逆に研究開発側にとっても非技術的な情報は理解しにくい。相互に理解しあえる情報発信がなされなければならない。もう一つの留意点は、経営計画と研究開発の関係である。技術とは本質的に論理性を有すると同時に、その成否はやってみないと分からないという不確実性をも併せ持っている。できてしまえば論理的に当然のことでも、できるまでは試行錯誤を繰り返す。その結果達成時期の約束を躊躇し、経営計画に研究開発の成果を折り込みにくくする。研究費の回収は成果と開発期間によって決まる。特に期間短縮は経営にとって重要な意味を持つ。研究開発側は大胆に期間と成果を約束すべきであり、また経営も技術のもつ二面性に寛容さを示すべきであろう。

変動の激しい時代において長期的な経営を見通すのはむずかしい。一方研究は長期を予見して研究計画を立てなければならない。それゆえに長期的な意味で企業戦略をリードするのは技術であり、研究開発であるとの意識を強く持つことが望まれる。

3.2 科学と技術、大学と企業の関係

科学とは自然の現象を理解することを目的とし、技術とは人・社会に役立つものを産み出すことを目的とするといわれる。生産の現場には不可解な現象が数多く存在しており、その解明には相当に基礎的な研究を必要とする。このように、特定の目的をもって現象の解明を進めるのもまた科学といえる。

近年このような基盤的な技術が多く蓄積されたが、反省すべき課題もある。科学的な解明とはいいながら、その解明が特定の目的に密着しているため、同じ科学的な原理で生じて

いる他の現象の解明に必ずしも適用できない。つまり科学のもつ普遍性の領域にまで達していない。この結果同じ析出現象、あるいは拡散現象でありながら、対象とする品種が異なれば異なる課題を設定し、類似の研究をするという無駄が生ずる。また例えば構造物の強度、材料の変形、鋳片の割れ、いずれの現象も応力を中心とした基本方程式の段階では共通である。ところがこれらを取り扱う計算科学では、それぞれが個別に議論されている。これでは単にケーススタディーに過ぎず、普遍的に現象を記述する段階に至っていない。

同様なことは、コンピュータソフトウェアの分野でも指摘できる。ソフトウェアクライシスという言葉が示すように、コンピュータの能力が増大するに伴ってソフトウェア開発の生産性は低下しており、ソフトウェアを作り出すソフトウェアの開発が急がれる。

今日ジェネリックテクノロジーと言う考え方が提唱されているが、この言葉が示唆するように、多くの課題を解決するような普遍性のある技術を構築するのが重要なこととなる。

企業における研究が基盤的な分野に広がったのと同様に、大学における研究も基礎工学・理論工学へと分化した。いろいろな工学のメルトポットともいえる鉄鋼分野は、企業であろうと大学であろうと専門分野はどんどん分化していく宿命をもっている。しかし現実の生産の場においては多くの専門を統合化して物をつくる行為に結びつけなければならない。現在この統合化する論理が最も求められており、この論理なしに大学と企業の接点を求めるのはたいへんむずかしくなっている。この接点を大学と企業が一体となって求めていく努力が、鉄鋼協会とその会員に課せられた使命であろう。

3.3 フレキシブルな生産体系

大型設備による生産体系は均一な品質の製品を安いコストで生産することに貢献をしたが、一方では柔軟な生産体系を失った。慶応大学の葉師寺は、日本工学アカデミーが主催した第3回国際シンポジウム「技術移転と技術拡散」において興味ある報告をしている。その講演内容を要約して Fig. 1.6

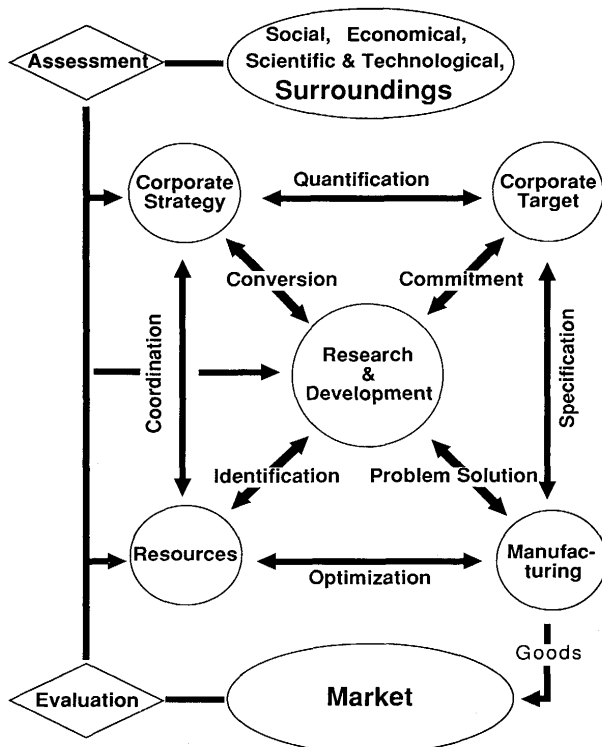


Fig. 1.5. Role of research and development.

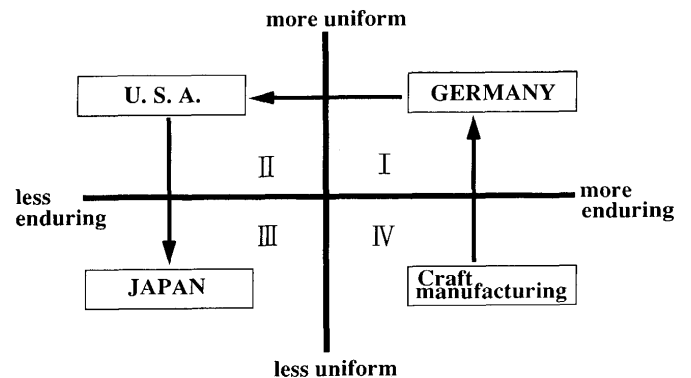


Fig. 1.6. Difference of a tecno-style approach. (From presentation of Prof. Yakushiji at The Third EAJ International Symposium on Technology Transfer and Technology Diffusion)

Table 1.2. New directions of technology.

• Production system capable of meeting the multifarious requirements of man and society
• Design of a commodity process balanced with the environment and resources from the manufacture to re-use of products
• Production workshop where every worker works under human-friendly working conditions
• Production system with less theoretical process contradictions

に示す。生産はまず手工業（第Ⅳ象限）から出発するという。第Ⅰ象限にあるのがドイツ型、第Ⅱ象限にあるのがアメリカ型、そして第Ⅲ象限にあるのが日本型という。この説明はいつまでも長持ちするが値段が高く統一的なドイツ製品、大量生産・大量消費のアメリカ、差別化商品で短いライフサイクルの日本。あるいは少数のメーカーの独自の発明とそれによる特許障壁で寡占型マーケットを形成するアメリカ、多数のメーカーが差別化商品で熾烈な市場競争を繰り広げる日本、といったように直感的によく理解できる。当然第Ⅲ象限の日本では過当競争であり、過剰多機能な製品を作らざるを得ない。

ここで1973年から1991年の間の製造コストの要素別比率を有価証券報告書から求めてみると、材料費比率は約10%低下しており、歩留の向上、円高の効果を読み取ることができる。外注作業費を含む労務費比率は約5~6%上昇し、原価償却費比率は生産量の低下にも関わらずほとんど変化していない。これは高機能製品製造のために、生産および投資が下流工程に向けられ、コストの低減あるいは生産性の向上に結びつかなかったことを意味する。ここに反省すべきポイントがある。葉師寺の指摘するように産業の形態には各国それぞれの伝統と歴史がある。しかしながら需要の伸びが停滞した時代に適応した、生産性・資本回転率を高める生産体系を開発すべきであったし、また安易に差別化製品を開発するのではなく、鉄鋼利用産業が真に必要としている特性を持った材料を考えるべきであった。

大量に作るのには確かにコストを下げるのに有効である。この利点を活かしつつ、変化のある製品を作り分ける柔軟な生産体系の開発が最も急がれる。炉外精錬、ニアネットシェイブ連铸などはその例であるが、まだまだ不十分である。製造期間の短縮、生産計画の柔軟な変更、製品が各工程を障害なく流れることなどを阻害している要因は何であろうか。そこには疵の発生、定期修繕のサイクル、ロールの寿命、耐火材料の損耗など古くから存在しながら未だに解決されていない問題があまりにも多く存在していることに気が付く。これらは誰でも知っているながら解決がむずかしいために残ってきたもので、このような地味でありながら基本的な問題にもっと着目すべきではないのか。

3.4 知的な生産性の向上

多くの鉄鋼業は、組織の簡素化、ホワイトカラーの削減など、企業の再生計画を相次いで発表した。今かりに製造業として絶対に内部留保しなければならない技術を考えてみると、それは究極的には生産工程設計・製品設計・操業仕様の

設計・研究開発のように製造の根幹に関わる、いわば一貫的・総合的な部分と、特殊な検査・設備診断整備計画のような主作業の支援的な部分とになる。いずれも優れて知的な部分である。この内部留保しなければならない技術と外部依存しうる技術が分離されていないところに、ホワイトカラーの生産性の向上が阻まれている理由がある。この分離が進めば、もっと大胆に業務のアウトソーシングが実行可能となってくる。事実多くの家電業界はこの分離を巧みに図って海外進出を果たしたと見ることができる。この知的な生産性を向上するためには、度々指摘した普遍性のある技術の蓄積、古くから存在し未だに解決されていない問題の解決、ジェネリックテクノロジーの指向等々が不可欠であろう。

4. まとめ

我々がこの10年間に蓄積したものを振り返り、今後取り組まなければならない課題を展望してみた。その基本的な方向を以下に要約してみたい。すなわち、企業を取り巻く環境の変化から見れば物中心の思考から人中心の思考への切替えであり、また技術的には現象対応型技術から現象出発原理回帰型技術への切替えである。従来我々は原理的に多少矛盾があっても、経済性という判断基準の下に技術の選択をした。その結果、原理にも忠実であり、また経済性をも満足しうるような技術の開発を怠った。また多種多様な現象に対処するため、普遍性の少ない技術を数多く開発した。この結果、一見技術のストックは増加したように見えるが、実は開発された技術が、固有の問題を解決するフローとして役立っても、多面的に利用可能なストックとして有効でなく、デッドストックとなっているのではないのか。今まではいつか役に立つものとして技術のストックを評価してきたし、それは事実であった。しかしながら研究・開発の効率を考えると、普遍的に役立つ技術のストックこそ評価すべきである。いうまでもないが、現場現象の観察は技術の原点であり、これは如何に時代が変わろうと変わらない。しかし現象にのみ目を奪われると真実を見失う。そこに現象から出発し、原理に回帰するという意味が存在している。

以上の考えをまとめて Table 1.2 に示す。これらの課題は単に鉄鋼業、あるいは日本にのみ発生しているのではなく、全産業および世界共通の課題であり、そのため経済性・社会適合性などを含めた全体との整合性をとりつつ解決する必要がある。我々に課せられた使命は、技術の潜伏期間の長さを考え、短期の現象に目を奪われず、技術の流れをこのような方向に向けて努力をすることにある。