

科学技術政策研究所
調査研究資料
調査資料—22

共同体験に基づく知識創造の循環プロセス

— 高炉操業エキスパート・システムの開発事例をめぐって —

1992年9月

科学技術庁 科学技術政策研究所

第1研究グループ

野中郁次郎

永田晃也

Circulating of Knowledge Creation on Common Experiences
; A Case of Expert System for Blast Furnace Operation

September 1992

Ikujiro Nonaka, Akiya Nagata

1st Theory-Oriented Research Group

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)

Science and Technology Agency

目 次

1. はじめに	1
2. エキスパート・システム導入の背景	4
(1) 高炉法プロセスの技術的特質	4
(2) プロセス・コンピュータの導入状況	5
3. 高炉操業エキスパート・システムの開発事例	7
(1) ALISの開発過程	7
(2) 知識獲得の成功要因	8
(3) ALISの設計思想	9
(4) ALIS以後の課題	11
4. 共体験と知識創造	12
参考文献	15

1. はじめに

イノベーションの本質を「知識創造」(Knowledge creation)の過程としてとらえる視点は、科学技術活動のダイナミズムに対する普遍性の高い分析枠組みを提示してきた。

野中(1990)の知識創造理論で明らかにされたように、知識には言語化が困難で主観的な「暗黙知」(工匠の熟練や個人の世界観など)と、言語化が可能で客観的な「形式知」(科学公式や製品仕様など)とがあり、両者の循環的な相互作用によって知識の創造・拡張が行われる。暗黙知と形式知の相互作用には様々なパターンが考えられるが、まず特定の認識主体について、この相互作用を二つの方向に分ければ、暗黙知から形式知への変換過程を「分節化」(externalization)、形式知から暗黙知への変換過程を「内面化」(internalization)と表現することができる。つぎに、認識主体間の関係に着目すると、主体間で形式知同士を結び付けて新たな知識を創造する「連結化」(combination)のパターンと、主体間で長期的に暗黙知を共有し、変換していく「共同化」(socialization)のパターンを抽出することができる。知識創造とは、このような暗黙知と形式知の相互作用を規定する変換パターンの全てを含み、特定の主体が生み出す知識を主体間の知識へと発展・昇華させていくプロセスに他ならない(図1参照)。

このような観点からみると、日本企業における組織的知識創造の独自性も明らかになる。これまで日本企業の国際的な競争優位を築いてきた要因として、設計・製造・営業の各部門からサプライヤーまで一体となった製品開発、QCサークルなどの小集団活動、顧客密着型の営業活動などが指摘されてきた。これらは、いずれも現場に蓄積された経験としての暗黙知を共有し、形式知に変換するプロセスを加速化した要因とみることができる。例えば小集団活動は、作業者が蓄積した経験知を集団での対話を通じて共有し、言語化し、不断の効率化と改善に役立てるものであった。米国企業は科学的管理法に傾斜して仕事を分業化し、作業者の思考と実践のプロセスを分離することで経験の共有を困難にしたが、日本企業は逆に対話を通じた経験の共有によって、生産のオペレーションで知をつくり出すことを可能にした。すなわち、欧米企業の知識創造の方法論が「言語を究める」ことにあったのに対して、日本企業のそれは「経験を究める」ことに依拠している。日本企業は、個々人に体化された暗黙知を形式知へと変換していく中で、持続可能な競争優位を築いてきたと考えられる。

図1. 知の変換過程の類型

		移 転 先	
		暗 黙 知	形 式 知
移 転 元	暗 黙 知	共同化 (Socialization)	分節化 (Externalization)
	形 式 知	内面化 (Internalization)	連結化 (Combination)

ところで、暗黙知の形式知への変換による知識創造のパターンは、人工知能(Artificial Intelligence) 研究への知識工学的アプローチの産物であるエキスパート・システムの開発過程にも集約的に現れる。1965年にスタンフォード大学のFeigenbaumを中心とするグループが、分子のスペクトル分析結果から分子構造式を決定するシステムの開発に着手したことに端を発するエキスパート・システムは、今日では故障診断、工程管理をはじめとする様々な業務に適用されている。エキスパート・システムとは、専門家の持っている知識に基づいて知識ベースと推論機構をプログラム化し、コンピュータに専門的な推論・判断を実行させるものである。その構築技術は、知識獲得、知識表現、知識利用の三つが基本とされている。特にプログラムの開発・設計に際しては、いかにして専門家の知識に含まれるアナログ的な部分(暗黙知)を獲得し、知識ベースという形式的でデジタルな知識体系に表現していくかが要となる。

そこで本稿では、日本企業によるエキスパート・システムの開発事例を取り上げ、知識獲得及び知識表現に向けて、どのようなアプローチが採られたかを分析する。我々の取り上げた事例は、大手鉄鋼メーカーにおける高炉操業エキスパート・システムの開発である。周知のように戦後、我が国の鉄鋼業は積極的な技術導入と自主技術開発によって、目覚ましい生産高の上昇と品質の向上を達成した。1969年には鉄鋼輸出高が世界第一位となり、1980年には粗鋼生産高が市場経済圏で第一位を記録した。このような日本鉄鋼業の急成長を説明する技術的な要因としては、LD転炉法や連続鑄造法の確立、普及が重視されてきた。一方、人類の文明史とともに古い鉄の生産技術には、豊饒な暗黙知(手法的技能)の領域が形成されており、それによって今日の先端技術が支えられている側面も看過できない。特に、鉄鋼生産の最上流工程である製鉄工程に含まれる高炉操業は、かなりの部分を経験豊かなベテラン工員の技能・熟練に頼ってきたのである。従って、高炉操業エキスパート・システムの開発には、日本企業における知識創造の一つの典型的なパターンが示されることになる。

我々は続く第2節で、まずエキスパート・システムが適用されるに至った高炉操業の技術的特質と、プロセス・コンピュータの導入状況などの背景を概観し、第3節では新日本製鉄 君津製鉄所における開発事例を検討する。最後に第4節で、本事例によって示された知識創造の普遍的な側面について議論しよう。

2. エキスパート・システム導入の背景

一般に、ある業務にエキスパート・システムの開発、導入が図られる背景には、熟練技能工等のエキスパートが量的に不足する一方で、当該業務の質的向上ないし均質化を要請する技術的特質が存在する。また導入に際しての環境的な条件としては、当該業種にコンピュータの高度利用が定着していることが必須である。

本節では、まず高炉法プロセスの技術的特質を検討し、ついで我が国鉄鋼業におけるプロセス・コンピュータの導入状況を概観しておく。

(1) 高炉法プロセスの技術的特質

鉄鋼生産の最上流工程である製鉄(Ironmaking)工程では、酸素と結合して固い結晶体を成している鉄鉱石(iron ore)から鉄を取り出すため、鉱石を溶かして酸素を除去する作業が行われる。この還元作業を効率的に行う方法が、高炉(Blast furnace)法である。

現在行われている製鉄工程では、まず鉄鉱石、石灰石(Limestone)及び粉コークス(Coke breeze)が焼結機(Sintering machine)で焼き固められ、主原料である焼結鉱(Sinter)が製造される。他方、コークス炉(Coke oven)では、燃料となるコークスが石炭から製造される。主原料及び燃料は、高炉の上部から交互に投入され、炉の下部に設けられた“羽口”(Tuyeres)と呼ばれる孔に熱風炉(Hot stove)から約 1,200℃の熱風が吹き込まれる。コークスは熱風によって燃焼して約 2,200℃に達し、一酸化炭素と窒素を含む高温ガスとなり炉の上部に向かう。その過程で鉄鉱石の還元が始まり、溶鉄(Hot metal)が得られるのである。

高炉法プロセスは 100年も前から始められているが、今日でも何故このようなプロセスで溶鉄が得られるのかは科学的に解明されていない。高炉が時として不調に陥ることがあるが、その理由も工学的には明らかにされていない。また、作業中の炉内がどうなっているのかは見えない。羽口には“メガネ”と呼ばれる小さな観察窓があるが、見えるのは炎だけで、炉内の状況は全く把握できない。このため、安定的な高炉作業は、経験とそこから生まれる“カン”に大きく依存してきた。経験豊富なベテラン工員は、蒸気、溶鉄の色、肌を感じる熱気などから温度を類推し、観察窓を覗いて炎の色や回り具合で燃焼状況を推定し、その判断によって熱風やコークスの量を指示するのである。かつて、このようなベテラン工員は“宿老(しゅくろう)”と呼ばれていた。

最上流工程に位置する高炉法プロセスは、製鋼工程以降の下流工程に低コストで高品質の溶銑を安定的に供給することを課題とする重要な部分であるが、同時に上記のような技術的特質を有する微妙な工程である。このため、高炉の最適操業パターンを解明することは長期的な関心事とされてきた。1970年代のはじめに、新日本製鉄では操業中の高炉を冷却し、炉内の反応状況がどのように進行しているのかを調査したことがある。調査の結果、それまで推定されていたように、炉の中心部から外側に向かって形成される“融着帯”の形状が、高炉の操業条件に関係することが確認された。これは、最適操業パターンを解明するための第一歩となった。また今日では、温度分布やガスの組成などを測定するために、高温に耐えられる素材で造られた検出端と呼ばれるセンサーが用いられている。

しかし、センサーによって得られる炉内の情報は限られおり、高炉の操業は依然としてベテラン工員の持つ暗黙知に頼る部分が多いのである。

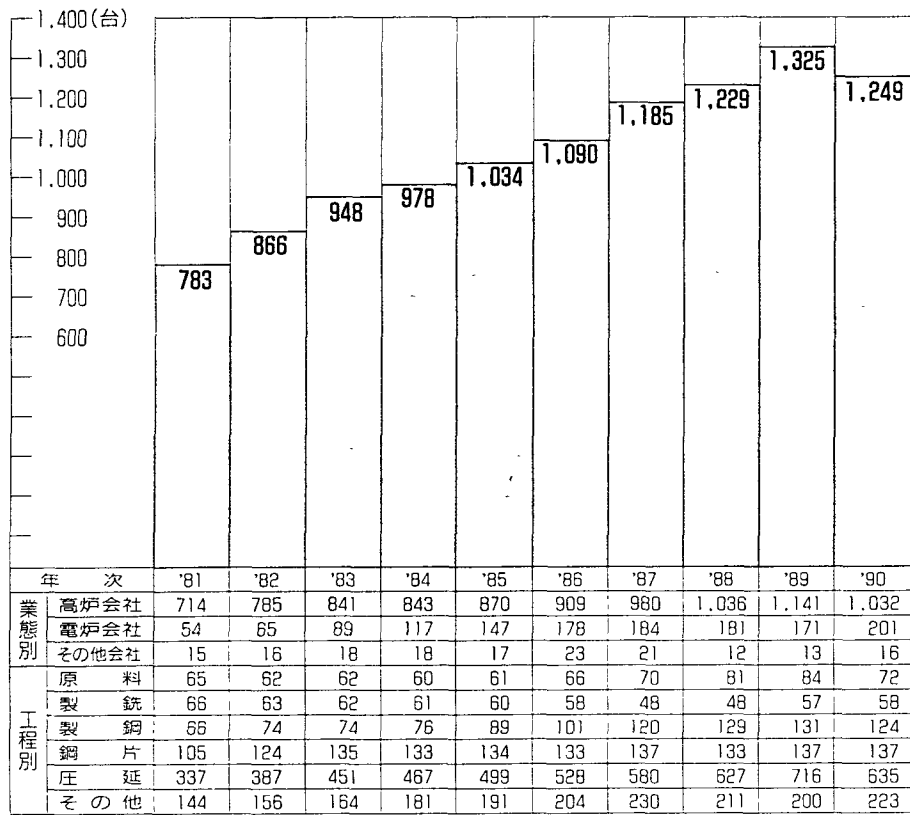
(2) プロセスコンピュータの導入状況

我が国の大手鉄鋼メーカーは、1950年代の後半に汎用コンピュータの導入を開始して以来、業務の積極的なシステム化を図り、60年代の後半からはオンライン・リアルタイム化及びデータベース化の作業に取組み、70年代の前半には中枢的な販売・生産管理業務及び経営管理業務全般のシステム化をほぼ完了した。

80年代の後半からは製品の品質化、多品種・小ロット化、ジャスト・イン・タイム納入などの要請に応えるため、システムの再構築が図られた。製鉄所の生産管理システムについては、同期化・連続化操業を達成するために、上流工程から下流工程まで一貫した生産計画システムが構築された。この過程で、プロセス全般に亘るコンピュータの増設と新設により、生産の自動化レベルの向上が図られた。

図2に80年代以降の我が国鉄鋼業におけるプロセス・コンピュータの設置状況を掲げる。これによると、プロセス・コンピュータの設置台数は、1990年1月現在で約1,250台に達した。このようなコンピュータの利用状況は、国際比較の観点からみても極めて高い水準にある。I I S I '90年モントリオール大会の資料によれば、1990年の我が国鉄鋼業における従業員1,000人当りのメガバイト数は1,120であり、米国の170という水準を大きく上回っている〔鉄鋼連盟(1992)〕。

図2. 鉄鋼業のプロセス・コンピュータ設置状況



出所：日本鉄鋼連盟『日本の鉄鋼業』1991年版

3. 高炉操業エキスパート・システムの開発事例

我が国では1980年代の後半以降、様々な分野でエキスパート・システムの開発が活発化した。鉄鋼業においても、エキスパート・システムの適用による高炉操業の自動化、安定化に対する期待が高まり、新日本製鉄、日本鋼管などの大手メーカーが開発に着手した。

ここでは、新日本製鉄 君津製鉄所における“人工知能を用いた高炉操業管理システム” - A L I S (Artificial & Logical Intelligence System) の開発に注目する。

(1) A L I S の開発過程

エキスパート・システムの開発では、まず専門的知識をどのように獲得するかが問題となる。A L I S の開発に際しては、操業の知識を伝授するベテランとして鉄鉄技術室掛長（当時、現・第2高炉掛長）・財部毅氏が選ばれ、電気計測技術室の若手技術者・渡辺敏氏（現・電気計測技術室掛長）が財部氏から知識を聞き出し、これをロジックにしてコンピュータに入力するという手順で進められた。

知識獲得の方法は、詳細な対話を主体とするものであった。この間の経緯は、1987年7月5日付の日本経済新聞が伝えている。

“操業を支える一つ一つの判断は高度なノウハウに裏打ちされている。ところが、ノウハウはベテランが無意識に自覚しているものが多く、それだけ言葉に表現しにくい。「ここでコークスを500kg足す」「なぜ」「熱レベルが下がっているから」「どうしてわかった」「このセンサーをみればわかる」「このセンサーだけみるのか」「いや、もう一つみる」「センサーは二つでいいのか」「いや三つだ」こんなやりとりが延々と続く。財部、渡辺の両氏は、ついに厚さ10cmほどの質問と答えの書類をつくり上げた。”

このようなベテラン工員と知識技術者とのディスカッションを通じて獲得された知識に基づき、高炉の炉内状況判断からコントロールアクションを決定する枠組みが、つぎのように設計された。すなわち、情報としての検出端のデータや目視データなどをもとに中間的判断（中間仮説）を行い、中間仮説に基づいて炉の悪化傾向の種類及び度合を判定し、それに応じたコントロールアクションを決定する、というものである。その際、入力情報から中間仮説に至る判断、及び中間仮説から悪化傾向の予測に至る過程は不確実性を伴うため、H G (Heuristic Grade) と呼ばれる方法が導入されている。これは、前提部に重

み付けを行い、結論部にしきい値をおいて、前提部の重みの和との比較で結論部の成立可否を決めるという方法である。言い換えれば、ベテラン工員の“カン”（暗黙知）が、“しきい値”という記号（形式知）に翻訳・変換されたのである。

この開発段階では、システムに過去の操業データを用いた推論をさせ、その結果と過去の実操業の経過を比較することによって、性能評価が行われている。これより、全データのうちシステムによる推論が実操業よりも優れているもの25%、両者が一致するもの68%、実操業の方が優れているもの7%、という良好な結果が得られている。

ALISの開発では、モデルシステムの開発に約1年を要し、トータルでは2~3年の開発期間となった。君津製鉄所には現在、三本の高炉があるが、このうち二本の高炉には1988年からALISが導入されている。

（2）知識獲得の成功要因

ALIS開発に際しての知識獲得が成功した要因は、つぎの3点に要約される。

- ①高炉の操業担当者の中に、きわめて優れたエキスパート（財部氏）がいた。
- ②そのエキスパートは深いヒューリスティックスをもっているだけでなく、プロセス挙動に対する解析的アプローチにもたけていた。
- ③知識をまとめる知識技術者の役割を担当した者（渡辺氏）も高炉操業に精通しており、エキスパートの知識を引き出すに十分な前提条件をもっていた。

つまり、ベテラン工員と知識技術者の双方が複合的なキャリアを持ち、高炉操業に関するラインとスタッフの体験を共有していたという点につきる。

財部氏は、入社当初から9年間に及ぶ炉前作業を経て、高炉の操業を担当するようになり、その後、作業長教育と約1年間のスタッフ部門での勤務を経験した後、操業に戻り、10年を経て現在に至っている。ラインでのキャリアを経て形成された財部氏の熟練は、

「何となく肌で感じるというのか、自分の高炉の調子は大体分かりますよ。私は出社して来る時に、高炉の上から出ている蒸気をみると、今日はどういう状態か判断できますね。それで実際に出てきたデータを見ると間違っていない。」

という程の高度なものであるが、同時に氏はスタッフ部門の勤務経験で、操業日誌にその日の変化を記録するなどの業務を通じ、高炉の解析力を習得する上での重要な経験を得たと言う。また氏は、オーストラリアでの技術指導に従事した経験が有用だったと振り返る。

「オーストラリアには技術指導で2度程行かせて貰いまして、立ち上げに2ヶ月間、ト

ラブルシューターとして20日間残って滞在しました。その時に、彼等（指導を受ける側）は一つの基準をもって非常に『何故か』『何故か』と聞いてくるのですよ。そこで、論理的な喋り方をしないと受け入れられないということに神経を使いました。そういう経験から、（ALISの開発でも）『何故か』と聞いてくることに対して応えられたと思っています。」

一方、渡辺敏氏は高炉の計装関係の技術を担当するとともに、入社後2年目には約1年間、操業部門での勤務を経験している。渡辺氏はこのような経験から、財部氏の言おうとしている点を類推し、理解することができたとしている。

（3）ALISの設計思想

ALISのイメージは図3のように描かれている。操業はオペレータと推論機構との対話によって行われ、推論機構による操業診断の結果は図4のようにオペレータに示される。この図の炉内イメージは、かつて操業中の高炉を冷却することによって発見された“融着帯”の形状をモデルとしている。またALISの推論機構は、オペレータの必要に応じて、詳細な推論内容を説明する機能を付帯している。

ALISによるオペレーションの最大の特徴は、システムのメンテナンス性を非常に重視している点にある。これを渡辺氏は、つぎのように説明する。

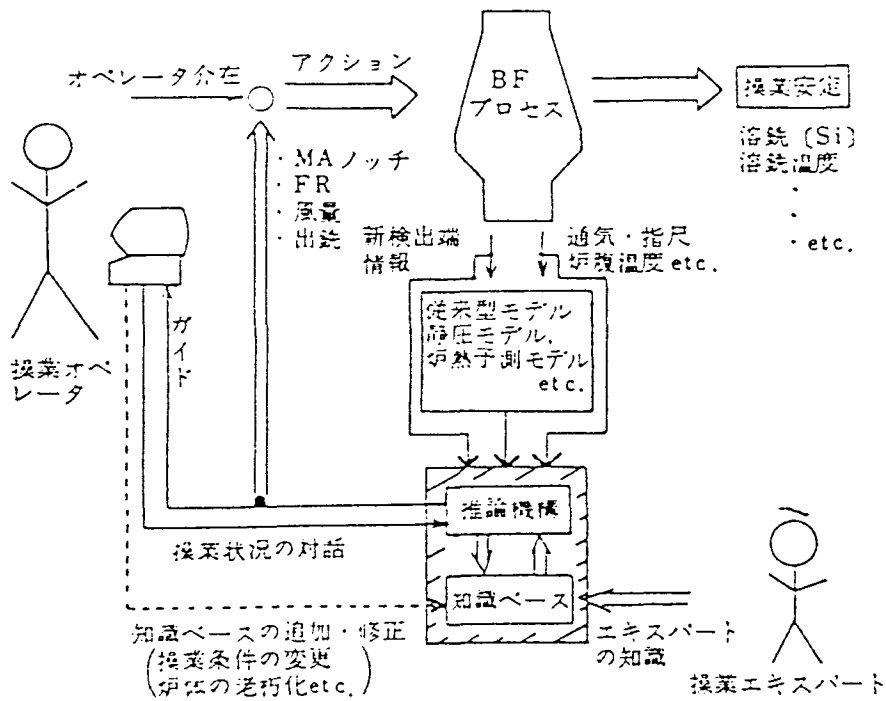
「現時点の知識としてはベストな熟練を適用しても、工員にとってみれば操業条件は年々変わります。ある時点での操業知識を使っても、燃料などの外部的な条件が変わるとそのままでは使えない。そういう業務には、人間を中心におかないといけないのですね。」

すなわち高炉の操業条件は経時的に変化するため、オペレータは変化が生じた場合、推論機構の依拠する知識ベースに追加・修正を行うことになっている。このためALISには、オペレータが容易に理解できる日本語処理型言語が採用され、ワープロ処理機能をもつ知識編集端末が装備されている。

推論機構との対話を通じてオペレータには新たな経験知が蓄積され、これがシステムにフィードバックされることによって、知識ベースが一層拡充されていくのである。言い換えればオペレータとシステムとの相互作用によって、暗黙知と形式知との循環を促す仕組みとなっている。

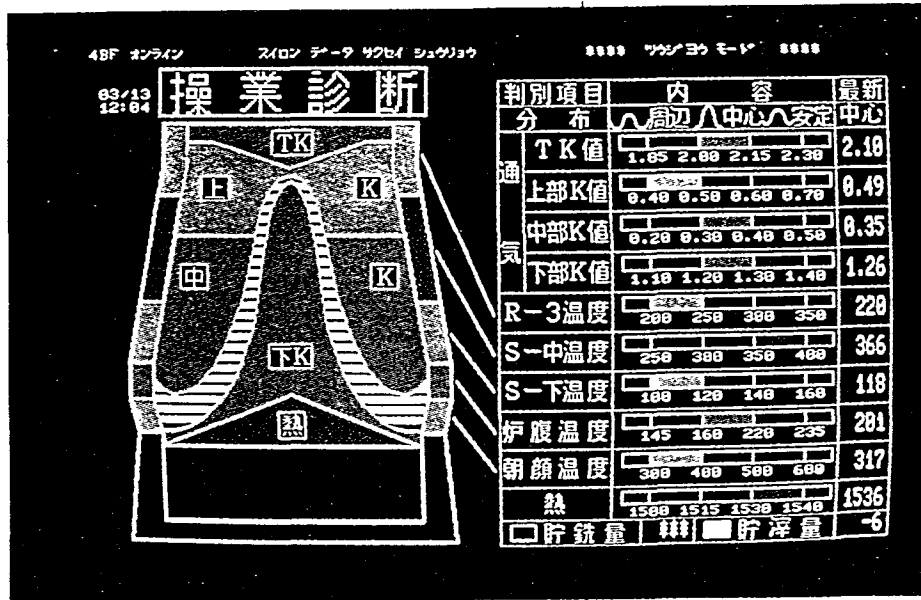
このような発想は、ALISの基本的な設計思想に基づいている。高炉操業への人工知

図3. ALISの操業イメージ



出所：湯井他(1987)

図4. ALISによる操業診断の表示(例)



能の応用は、新日本製鉄と日本鋼管の例に他社が追随し、現在では高炉 5社の足並みが揃っているが、渡辺氏は他の鉄鋼メーカーでの応用例とALISとでは、基本的な発想に違いがあるとしている。ALISは単なる自動システムではなく、“人の技能を向上させるための道具”として発想されているのである。渡辺氏は、このようなコンセプトを作ることに最大の苦労があったと振り返る。

「そもそも人間のためのモノであるということが分かるのに一番苦労したと思いますね。エキスパート・システムという技術はあるのですが、これをどう生かし、どう使っていったら本当に役に立つのだろうかと考え、その方向へ走り出すまでには時間がかかったと思います。表面的にAIを使ったと言っても、最終的にはこれを使っている人間を中心としたサイクルを作っておかないと、システムは死んでしまうのです。」

(4) ALIS 以後の課題

新日鉄の社内では、既にALISの技術は大分と名古屋の高炉に移転され、順調に稼働している。また、人工知能の他の分野での応用例として、同社では昨年 6月から電気設備の診断システムが稼働しており、間もなく焼結のエキスパートシステムも立ち上がる予定である。

ALISの開発・導入により高炉の操業レベルは向上したが、このようなエキスパートシステムは、外的要因が大きく変わる場合や、予知し得ない不連続な事態には対応できないと言う。例えば、高炉が“冷え込む”と呼ばれる非常事態が生じた場合や、冷却装置や炉底に事故が発生した後の立ち上げ操業においては、なおベテラン工員の経験に頼るしかない。また全く新しいシステムを立ち上げる時にも、彼等の知識が必要とされる。

しかし、高炉操業の熟練・技能を継承していく仕組みが確立されている訳ではない。現在、君津製鉄所内でALISが導入されていない第2高炉は、財部氏が掛長を担当しているが、その下に伝統的な操業経験を継承する若年者はいないと言う。また、ラインとスタッフの間で経験を共有する機会も、近年では少なくなってきたと指摘されている。この点は、ALISの開発にみられるような体験の共有に基づく知識創造プロセスを持続させる上で、今後の重大な課題となるであろう。

4. 共体験と知識創造

以上にみた高炉操業エキスパート・システムの開発事例において、我々が注目したい第一の点は、複雑な高炉操業の熟練工から形式知を獲得するために採られた方法が主にベテラン技能者と知識技術者との対話であり、この対話を成立させた両者の間には体験の共有があったということである。ベテラン技能者は、スタッフ部門での勤務や国際技術移転の経験を通じて、自らの知識を論理的に語る素養を身につけており、他方、知識技術者は高炉操業部門での勤務経験によって、ベテラン技能者の語ろうとする要点を把握するだけの素養を持っていた。両者の上に体験の共有がなければ、1年という短期間にモデルシステムを開発することは不可能だったであろう。

このような体験の共有を可能にした広範な職務間でのローテーションないし職務の所掌範囲の広さは、近年、我が国製造業の競争力を支える重要な因子として国際的に注目されている。MIT産業生産性調査委員会の“Made in America” (1989)では、その産業研究編で日米鉄鋼業の比較を踏まえて、つぎのような指摘が行われている。

「日本の技術者やその他の社員は、マーケティング、工場労働、基礎研究、金融、新製品・新製法開発などの部署を配置転換される。管理職になるときは、この経験のおかげで、会社の技術面・生産面の能力について幅広い知識を獲得しているのである。」
「アメリカの鉄鋼メーカーには、トラブルの解決を、生産上の問題と取り組むために置かれている中央のトラブル・シューターの専門機能であるとする傾向がある。これに対し、日本の鉄鋼メーカー（およびアメリカのミニミル）は、生産上の諸問題の解決を、発生の都度、操業要員に頼ることが多い。他方、多くのアメリカ鉄鋼メーカーの研究部門は、1960～70年代に、生産工程と製法の開発への興味を失っていた。というのは、こうした分野は、操業要員の担当分野と考えられていたからである。しかし、1980年代の競争で最も重要であることが分かったのは、まさにこのように無視されてきた分野であった。」

さらに付け加えるならば、日米企業のより本質的な相違は知識創造の方法にあるとみるべきである。米国企業では、暗黙知と形式知の相互作用を組織ではなく個人レベルで行おうとするために、細分化された専門機能を担当する諸部門間での体験の共有とこれに基づく対話が成り立ち難いのである。他方、日本企業では経験知が重視されるために、様々な職務経験を伴うジョブ・ローテーションが頻繁に行われ、体験の共有に基づく部門間、個

人間の対話が促進されたのである。

野中(1992)によって指摘されたように、体験の共有は他者との相互理解の基盤である。人間と人間との本質的な信頼や相互理解は、単なる言葉による形式知の伝達を超えた、より身体的な共通体験と共感から生まれる。個人間で経験が共有されていればこそ、他者への感情移入が可能となり、ちょっとした情報をきっかけに暗黙知レベルでの思いやノウハウが動員され、その言語化・形式化が加速される。日本的経営の本質は単なる情報の共有ではなく、むしろ経験の共有による深い相互理解と熟練の蓄積・伝達を基礎とした組織的な知の創造にある。本稿で取り上げたエキスパート・システムの開発事例は、このような日本的な知識創造のパターンを端的に示すものであった。

我々がALISの事例において注目したい第二の点は、その設計思想が最終的には個人の知識・技能を豊かにすることを目的として、単なる自動システムではなく、人と道具との知の循環システムの構築を目指していることにある。現行の最も優れた技能をエキスパート・システムに移し込んだとしても、高炉の操業条件が恰も生き物のように変化する限り、暗黙知として体化される操業の技能には遂に汲み尽くされるということはない。この潤沢に再生産される暗黙知と形式知との循環プロセスを重視したALISの設計思想は、日本的知識創造のポジティブな側面を活かしたものと評価できよう。日本企業における経験知の重視は、ともすれば過度な短期的効率主義に陥る危うさと裏腹の関係にある。高炉操業エキスパート・システムの開発も、単に操業の自動化、歩留まりの向上による効率化のみを目的とすれば、操業に携わる個人の知を枯渇させるばかりか、結果的にはシステム自体の死をもたらすことになるのである。

以上のようなALISの特質と設計思想が全社的に理解され、新たな知識創造のプロセスに活用されていくためには、短期的効率追及のみに偏らない経営の価値基準が是非とも要請される。我が国の鉄鋼業は、1970年代後半の不況期におけるコスト競争の中で、原単位の低減・歩留まりの向上による生産効率の追及を体質的に強化してきた。コストダウン目標の達成は、主として管理強化、運転の合理化などを中心に行われてきた。その一端は、従業員数の削減を伴う労働生産性の向上となって現れたが、他面では時間の掛かる伝統的技術の涵養を困難にし、熟練技能者の不足に帰結した。しかし、例えば高炉操業の効率化に寄与したALISの開発が短期間に可能になった背景には、他ならぬ伝統的な技術の蓄積と、これも時間を要する諸個人間の共同体験の形成があったのである。言い換えれば、短期的効率追及のみでは、革新を生み出す上での効率は獲得できないのである。

日本企業は単なる目先の効率追及のみではなく、共体験に基づく知識創造の循環プロセスこそ、自らの持続可能な競争優位の源泉として認識することを求められているのである。

付注：本稿で取り上げた開発事例の調査に際しては、開発を担当した新日本製鉄 君津製鉄所の財部掛長、渡辺掛長の他、生産技術部生産技術室の柳沢部長代理、村田掛長、および本社技術本部技術企画室の中村部長代理の協力を得た。記して感謝する次第である。

[参考文献]

1. 野中郁次郎(1990), 『知識創造の経営－日本企業のエピステモロジー』
日本経済新聞社
2. Nonaka. I. (1991), "Knowledge Creating Organization. Harvard Business Review,
Nov. -Dec.
3. 野中郁次郎(1992), 「日本企業の『知』の再構築を」
(日本経済新聞1992年 7月27日付『経済教室』)
4. 日本鉄鋼連盟(1992), 『我が国鉄鋼業の技術力』
5. ICOT-JIPDEC AIセンター(1987), 『A I ビジョン－90年代の技術と需要－』
日本経済新聞社
6. ICOT-JIPDEC AIセンター(1989), 『人工知能の技術と利用－A I 白書－』
日本情報処理開発協会
7. 湯井勝彦他(1987), 「高炉プロセスの操業監視支援における知識システムの適用」
(『計測と制御』Vol. 26, NO. 8.)
8. The Massachusetts Institute of Technology(1989), "MADE IN AMERICA"
The MIT Press (依田直也訳『Made in America』草思社, 1990)
9. 岩井正和(1992), 『鉄に賭ける』ダイヤモンド社
10. 岡本博公(1984), 『現代鉄鋼企業の類型分析』ミネルヴァ書房

