

## 鉄鋼プラント分野におけるAI

## Application of AI Technologies to Iron and Steel Making

小西正躬\*

Masami Konishi

## 1. 緒言

鉄鋼業はエネルギーおよび資源を大量に消費する製造業である。したがって、早くから省エネルギーや省資源のための技術開発に取り組んでいる。とくに、オイルショック以降は、設備改造やエネルギー回収に一層の努力をはらってきた。

たとえば、高炉は巨大な反応炉であり、熱の消費源と同時に発生源であるが、燃料重油量を減らすために微粉炭の吹き込みなど資源を効率的に利用する方法を取ると共に、副生ガスの再利用や炉頂発電を行なうことによって省エネルギーに努めている。また、プロセス改造の例としては造塊工程の省略がある。従来は転炉からの溶鋼を一旦型に入れて適当な大きさに冷やし固めてから再加熱して分塊圧延スラブを作っていた。しかしこの方法では図-1に示すように熱エネルギーの損失が大きい。そこで、この工程を省略し、連続的にスラブを作る連続鑄造が多く用いられるようになり、

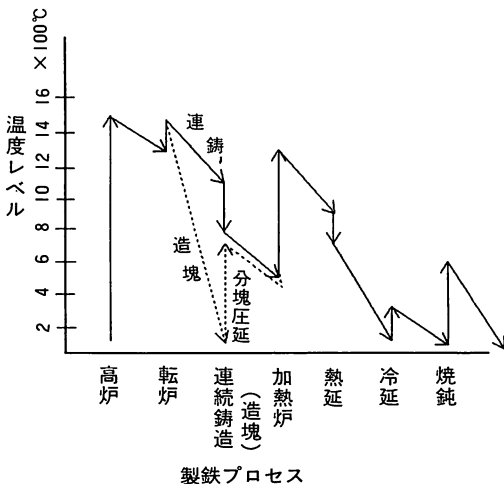


図-1 製鉄所内の温度推移

大幅な省エネルギーが達成されて来た。

このような、従来から行なわれて来た設備改造やプロセスの変更に加えて、近年では、ソフトウェア面での強化によりエネルギー、資源の有効利用を図ろうとしている。すなわち、操業や物流制御の合理化努力である。鉄鋼プラントでは省人化が進められているとは言え、操業、スケジュール、メンテナンスなどほとんどの作業で熟練者の存在が不可欠であり、きわめてノウハウ集約的である。そこで、システムソフトの開発においてもノウハウの反映しやすさ、プログラムのメンテナンス性の高さなどの理由からエキスパートシステムに代表されるAI技術の導入が進められている。

本稿においては、第2節において鉄鋼プラント分野におけるAI技術の応用として、鉄鋼各社の開発したエキスパートシステムを紹介する。第3節ではエキスパートシステム開発のためのAIツールについて述べ、第4節では当社におけるエキスパートシステムの開発例として、高炉炉熱異常予測エキスパートシステムについて紹介する。最後に鉄鋼プラント分野で今後開発が望まれるシステムと課題について概観する。

## 2. 鉄鋼業におけるエキスパートシステム開発動向

現在各社が力を入れて開発しているのは、高炉を対象にした、高炉操業支援、炉況診断のためのエキスパートシステムである<sup>1)・2)・3)・4)・5)</sup>。

高炉が対象となった理由は、前節で述べたようにエネルギーの入出が非常に大きいということのほかに、

- 1) 製鉄プロセスで最重要の設備である。
- 2) 高炉内部の状態について理論的な解析が難しい、したがって、
- 3) 操業はオペレータのノウハウに依存している、という点があげられる。高炉は1基毎に特性が異なり、他の高炉での経験が全て生かせるとは限らない特徴も持つが、高炉の設備寿命が10~15年と長く、知識構築に長時間をかけても将来的には採算が合うという利点

\* ㈱神戸製鋼所電子技術センター・システム制御研究室長  
〒673-02 神戸市西区高塚台1丁目5-5

がある。したがって、ニーズ、導入効果ともに大きく、鉄鋼プラントの中では最も期待をかけているエキスパートシステム適用対象の一つであるといえよう。

高炉以降の工程では、高炉で獲得した熱エネルギーをなるべく失わずに運搬し、処理に活用してゆかねばならない。このプロセス、設備間の搬送スケジュールは従来、シミュレーションやOR手法などを取り入れて行なって来た。しかし、スケジュールはヒューリスティックルールを多く含み、かつ、操業状態によって適用ルールがしばしば変更されるため、プログラムが複雑になったり、アルゴリズムの固定も困難であった。

そこで、ルールとスケジューリングアルゴリズムが分離、独立して扱えるエキスパートシステムが新しいプログラミング手法として注目されている。開発例としては新日鉄の「スラブ物流制御エキスパートシステム」<sup>6)</sup>、川鉄の「厚板出荷沿岸作業計画（バースプラン）システム」<sup>7)</sup>のほか種々のレベルでの生産計画に適用された例がある。計画型エキスパートシステムの導入効果としては、立案時間の短縮、ベテラン不在時の計画案の保証などが挙げられる。とくに、立案時間の短縮は経済効果が大きく、従来の人間の能力を時間の点で上回っている点が評価出来る。

省エネルギーに関連するエキスパートシステムとしては川鉄の加熱炉燃焼制御システムがある。鋼種により加熱温度が異なるため操業時の微調整を行なうと共に、圧延途中の突発事故時には操業条件を変更したうえで加熱制御を行なうものである。

### 3. エキスパートシステムの開発上の課題

エキスパートシステムを開発するに当たっては、システム仕様を決定すると共に、知識・ルールの抽出整理を行なう必要がある。また、抽出された知識をシステム化するためのAIツールが必要である。以下では、当社での実施状況を例に、開発の進め方や問題点について説明する。

#### 3.1 エキスパートシステムの開発

通常、エキスパートシステムの開発に際しては、ノレッジエンジニア (KE) が知識提供者とシステムの開発者の仲介をするわけであるが、実際には種々の困難に遭遇する。

まず、ノレッジエンジニア側の問題としては、対象プロセスを理解するのに非常に時間がかかることと、長期間に亘って知識ベースのメンテナンスを担当出来ぬことである。もちろん、エキスパートシステム構築

ツールは知識の追加、修正が容易となるよう便利な機能を種々備えてはいるが、知識が増加して来ると、再度システム全体の見直しや機能追加も必要となって来る。現時点で有効な知識獲得ツールがない限り、やはり、知識のメンテナンスがシステムの寿命を決めると言っても過言ではない。

一方、知識提供者側の問題としては、ノウハウを言葉で表現することに馴れておらず、知識ベースに搭載される知識が一般のオペレータが気づくレベルに留まり、ベテランのレベルには到達しないことである。これは一般にエキスパートシステムの構築時に取り上げられる問題点である。製鉄関連の設備は耐久年数が長く、ノウハウの蓄積も多く知識抽出については有利なはずであるが、知識の抽出とレベル向上はやはり重要な課題である。

当社ではエキスパートシステム構築のスピードアップのため、各分野のスタッフに対するAI教育により、AI入口を増加させる一方、研究部門では各対象にマッチした手法開発を行っている。(図-2) これにより、適用分野の拡大をはかると共に、図の三角形の面積(適用効果に対応)の増大を図っている。

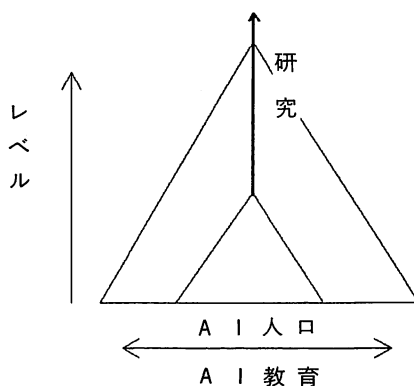


図-2 AI普及の活動

#### 3.2 AIツールの開発

筆者らは従来からプロセス制御を手がけて来た経緯から、従来の数字モデルに基づく理論的アプローチでは扱えなかった非定常性、大規模性、事変性、曖昧性などの限界部分を補間する技術をAI技術ととらえている。(図-3) このため、対象によっては、AI技術の具体化方法も異なる必要がある。独自のAIツールを開発して従来システムとの融合をはかる所以である。

診断、メンテナンスは直接生産には関係せず、その

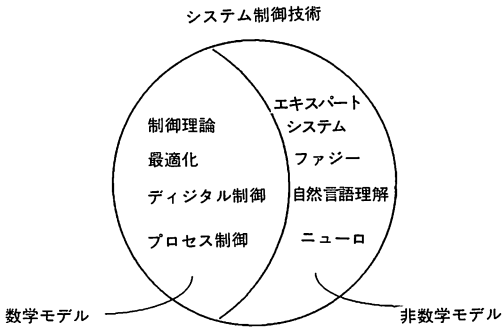


図-3 AIの位置付け

AI化は設計、制御、計画などのエキスパートシステムに比べると導入効果が少ないと思われるが、しかし、制御動作は（診断）+（アクション設計）と考えることが出来るので、診断は制御の前提条件である。

また、設計問題でも材質設計問題など選択型に類するものは診断型AIツールで十分対応可能である。この意味からエキスパートシステム開発の手始めとして診断型AIツールを開発することは十分意義あることである。

エキスパートシステムの実現形態は、プロコンまたはプロコンとリンクしたオンラインリアルタイムを想定している。このため、各種の市販AIツールは規模の大きさ、特殊機能の付加の困難さなどから利用が難しく、対象プロセスに合わせたカスタマイズを行なうために独自ツールの開発を一貫して進めている。

ここでは、社内で開発したAIツールの1つである「IDMON」を紹介する<sup>8)</sup>。「IDMON」はパソコン上で作動するツールであり、表1のような特徴を持つ。推論は前向き、または後向きを用いるシンプルなツールであるが機器への組込を想定し、コンパクトなツールとしているほか、A/Dボード追加により外部デー

表1 IDMONの仕様

知識表現	IF (プラント状態) AND (観測事象) THEN (プラント状態)
推論方法	前向き推論, 後向き推論
ルール数	最大1000程度 / ユニット
開発環境	MS-DOS
対象	診断型問題
開発言語	C言語

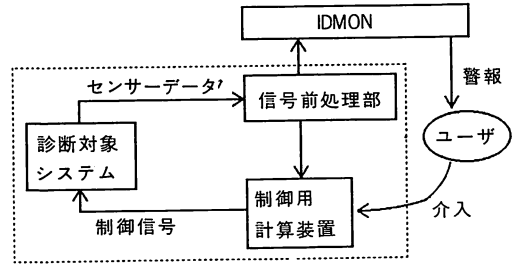


図-4 IDMONの診断適用図

タを推論に用いることが出来る。(図-4) 次節では、本ツールを利用した高炉の炉熱異常予測エキスパートシステムを紹介する。

#### 4. 高炉炉熱異常予測エキスパートシステム

高炉溶銑の品質向上のためには溶銑温度（炉熱）の安定化が不可欠である。当社では神戸製鉄所第3高炉において、溶銑温度の異常低下、上昇を予測するエキスパートシステムを開発した<sup>9)10)</sup>。(図-5)

溶銑温度の低下要因はシャフト部におけるソルロス吸熱反応の活性化、炉壁附着物落下や炉内ガスの周辺流化などが原因と考えられる。(図-6) ソルロス反応の活性化は炉頂ガス成分などから算出されるソルロスカーボン量の変化や炉頂ガス中のN<sub>2</sub>成分の変化で評価出来る。また、後者は内壁温度の急激な変化で推定可能である。内壁温度の計測のため当社で開発済みの多対構造温度センサ（FMセンサー-T）を高炉周方向4点、高さ方向7レベルの合計28所に設置している。(図-7)

オペレータの経験からソルロスカーボン量の上昇やFMセンサー-Tの急激な変化の後、数時間経て溶銑温度の低下が起るとされている。これを確認するため、実炉データの統計解析を行ったところ、これらの情報

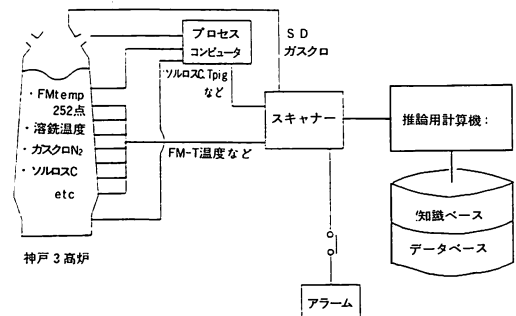


図-5 高炉炉熱予測エキスパートシステム

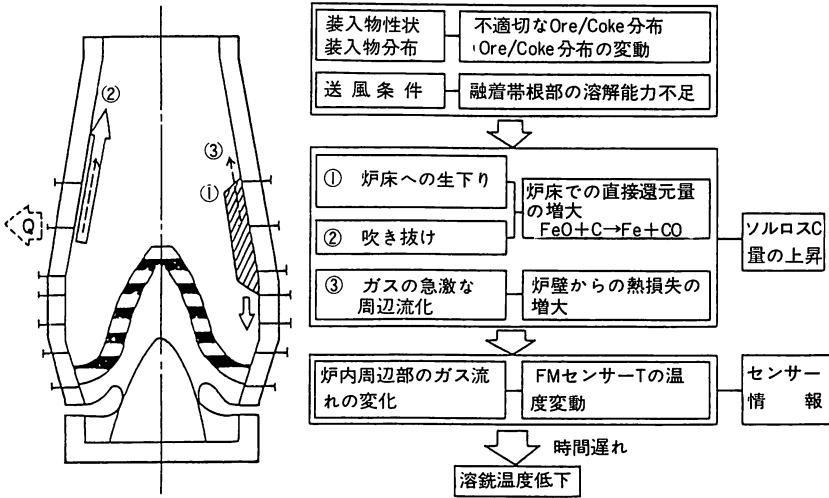


図-6 炉熱低下の要因

が溶銑温度に対し先見性を有することが確められた。(図-8)これらの統計解析および操作者が従来持っていた知識から炉熱予測ルールを抽出しているが(図-9)そのルールはたとえば、

IF (ソルロスカーボン量 > しきい値 AND  
内壁温度変動率 > しきい値),  
THEN (炉熱低下アラームを出力)  
のように構成されている。炉熱異常アラームには4通

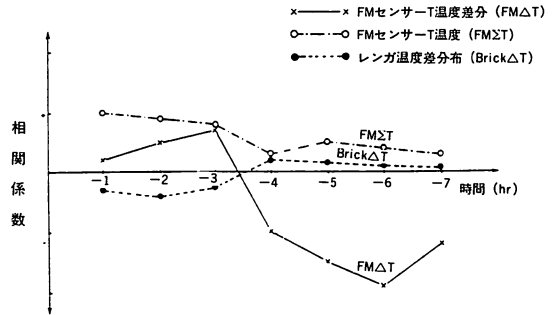


図-8-1 炉壁温度と溶銑温度との相関関数

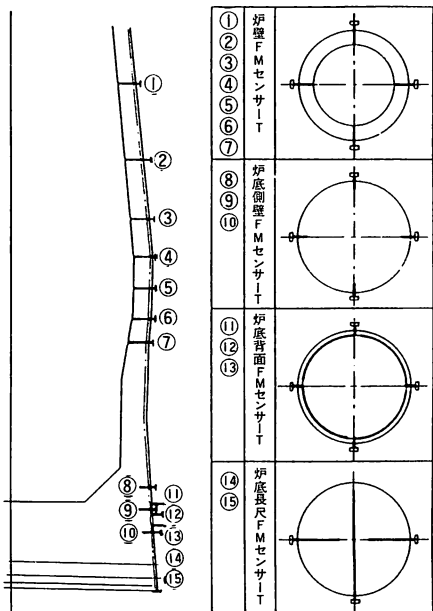


図-7 FMセンサーT設置図

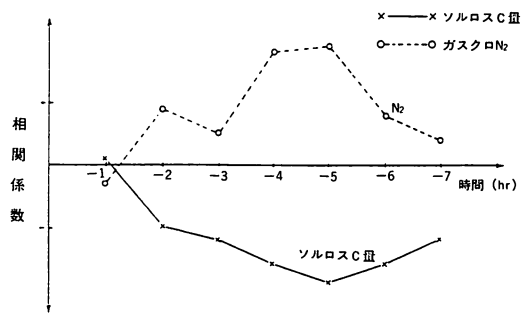


図-8-2 熱レベル指数と溶銑温度との相関関数

りあり、それぞれ炉熱上昇、低下に対する重大アラーム、通常アラームで、表2に示すようにこれらアラームとセンサーデータの指標を対応させルール化して適用している。推論エンジンにはIDMONを使用している。

4.1 本システムの適用状況

本システムは'88年1月よりオンライン稼動し、常

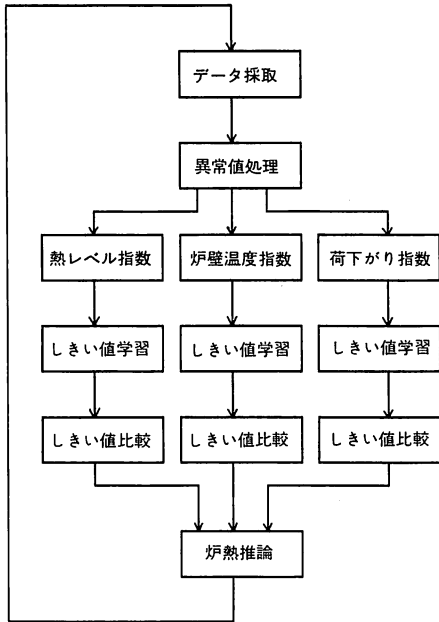


図-9 炉熱推論のルール

表2 炉熱予測ルール

溶銑温度 炉熱点数	炉熱低下				炉熱上昇			
	1	2	3	4	1	2	3	4
T <sub>H</sub> 以上	—	—	軽	重	軽	重	重	重
T <sub>L</sub> ~ T <sub>H</sub>	—	軽	重	重	—	軽	重	重
T <sub>L</sub> 以下	軽	重	重	重	—	—	軽	重

T<sub>H</sub> : 上限管理溶銑温度 軽 : 軽アラーム

T<sub>L</sub> : 下限管理溶銑温度 重 : 重アラーム

時炉熱異常の予測を行なっている。すなわち、1分毎の操業データを用いて、刻々炉熱の予測を行ない、その異常な上昇、下降が見込まれる場合にはアラームを

表3 本システムの予測実績

アラーム 炉熱レベル	低下	なし	上昇	計
低下	9	5	0	14
安定	70	282	59	411
上昇	0	23	61	84
計	79	310	120	509

$$\text{アラーム失敗率} = \frac{5+23}{509} \times 100 = 5.5\%$$

出力する。オペレータはアラームの重大さの程度に応じて必要なアクションを行って炉熱制御を行なう。図-10に炉熱予測とアクション結果を示しているが、アラーム出力を参考に適切なアクションを取ることにより、溶銑温度が安定していることがわかる。

表3には、本予測システムの予測成績の一例を示しているが、炉熱異常の見逃しは5.5%と少なく、良好な予測精度を得ている。

#### 4.2 本システムの特長

以上に述べた高炉炉熱予測システムの特長をまとめると、以下のようである。

- (1) 炉熱変動に対し、先見性のある予測が精度良く行なえる。
- (2) 1分毎という短周期でのオンラインリアルタイムの炉熱予測の推論を行なっている。
- (3) 本システムには、異常データ処理機能、閾値の自己学習機能を有しており、システムの信頼性を高めている
- (4) プロコンとは独立した専用のワークステーション上でシステムを実現しておりコストパフォーマンスにすぐれている。

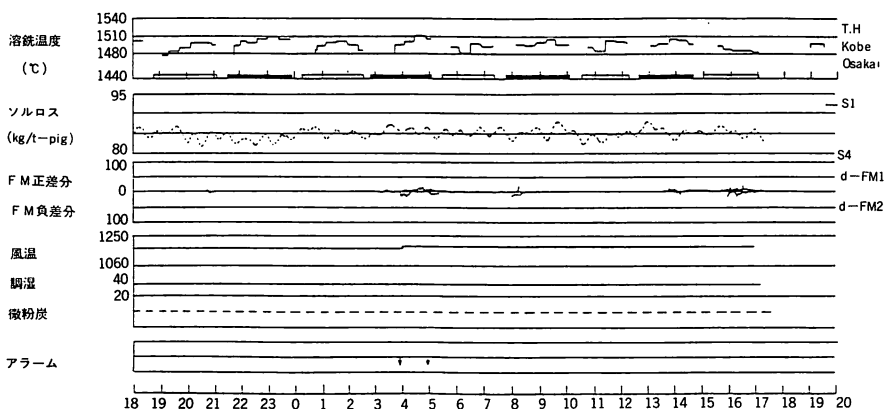


図-10 炉熱予測結果にもとづくアクションデータ

これらの特長を有する本システムは稼動開始以来、常時適用され、炉熱レベルの安定化に寄与している。

## 5. 結言

本稿では、鉄鋼プラント分野におけるエキスパートシステムの適用状況について紹介した。

鉄鋼業は長寿命の大型設備を用いて、大量のエネルギーと資源を消費しつつ製品を生産する産業であり、長年のノウハウの蓄積が財産である。エキスパートシステムはこれら財産を有効な経営の道具に仕立て上げるのに役立つ訳で、前節までで紹介した例に止まらず、今後一層の適用例が出来るものと思われる。本稿でのべたように、市販のAIツールに頼らず独自のAIツールを開発して従来のプロセス制御とも融合した形の適用も広まると思われる。

残された課題としては、知識獲得の方法論の確立と自己学習機能を持つ推論方式の確立である。前者は開発システムの性能向上に不可欠であり、後者は制御問題にエキスパートシステムを展開してゆく際重要な機能である。近い将来、これらの課題の解答が得られ、真のAI(人工知能)に近づくことを期待して止まない。

## 参 考 分 献

- 1) 山口一成ほか6名; 知識工学を用いた高炉操業管理システムの開発, 鉄と鋼, 73巻, 4号(1987), 92
- 2) 桜井雅昭ほか6名; 炉熱制御エキスパートシステムによる溶銑温度の全自動制御, 鉄と鋼, 73巻, 4号(1987), 94
- 3) 桜井雅昭ほか3名; 炉熱制御エキスパートシステムにおける学習機能の開発, CAMP-ISIJ, 1巻(1988), 112
- 4) 秋月英美ほか6名; 水島第4高炉における操業管理システムの開発, 鉄と鋼, 73巻, 4号(1987), 93
- 5) 湯井勝彦ほか7名; 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, 26巻, 8号(1987), 712
- 6) 新留照英ほか5名; スラブ物流制御エキスパートシステムの開発, CAMP-ISIJ, 1巻(1988), 573
- 7) 山川栄樹ほか2名; 鉄鋼業における計画立案業務へのエキスパートシステムの適用, 情報処理学会, 第35回全国大会, (1987), 1551
- 8) 大村佳也ほか3名; パーソナルコンピュータを用いた診断型エキスパートシステムの設計と応用, 第1回インテリジェントFAシンポジウム予稿集, (1987), 55-58
- 9) 松田浩一ほか5名; 高炉炉況予測システム-1, 鉄と鋼, 73巻, 4号(1987), 89
- 10) 松岡浩一ほか5名; 高炉炉熱予測システムの開発-4, 鉄と鋼, 74巻, 1号(1988), 67

### 協賛行事

## 第8回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス 研究発表募集について

期 日: 昭和64年6月21日(水)～22日(木)の2日間

場 所: 明治大学(東京・御茶ノ水)

分 野(予定): シミュレーション言語と技法, システムのモデル化とモデル検証, シミュレーターとハードウェア, リアルタイムシミュレーション, 知識工学とシミュレーション, 計算力学, 画像処理・信号処理, ロボティクス, CAD・CAM・CAI, 物理・化学・電気・通信・機械・金属・原子力・計算機・計測制御・生体・医療・行動・教育・交通運輸・社会・経済・環境等諸分野への応用

発表論文: 300字程度の発表要旨を記入の上, 下記事務局宛郵送していただきます。なお, 発表1件につき発表申込金7,000円が必要となります(但し論文集1冊, 抜刷20部を差し上げます)。

発表申込期限: 昭和64年1月21日(土)必着

原稿執筆期限: 昭和64年4月22日(土)必着

応募・問い合わせ先: 日本シミュレーション学会事務局宛

(〒151) 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-10-11

財団法人日本科学技術連盟 内

電話03-352-2231内線569(担当: 福田, 上窪)