

## 第 117 回講演大会討論会報告

### I. 高炉操業への AI (人工知能) の導入

座長 (株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所  
稲葉 晉 一

高炉は多くの制御因子が複雑に交絡し合って操業されており、種々の計測端が設置され膨大な量の情報が収集されているにもかかわらず、なお、しばしば経験に照らした状況判断がなされている。

一方、途上国の技術的急迫に対処すべく、付加価値の高い技術でより低コストの鉄を製造することが求められている。

このような背景のものに、エキスパートシステムを活用した高炉操業技術が開発されつつあり、今回製鉄分解として初めて高炉への AI (人工知能) の導入の考え方、問題点および今後の課題を討論した。

東北大学選鉱製錬研究所の八木順一郎教授の Keynote lecture にはじまり、各社の高炉への AI の導入の考え方、活用状況につづき、富士通(株)岸田明氏から制御分野における AI ツールの動向が報告、討論された。各社の発表内容は「材料とプロセス」に掲載されているので省略するが、主な主張と討論の概要は以下のとおりである。

#### (討 1) 人工知能の高炉操業への適用-Keynote lecture (東北大学選鉱製錬研究所 八木順一郎)

まず炉内状況の総括的理解、新しい操業条件の可否およびプロセス制御の最適化をねらいとして数学的モデルが展開されてきた経緯を総括した。その上で数式モデルを活用するためには複雑な炉内現象を解明し、数式モデルに組み込むことが急務であると指摘した。

次に数式モデルを補完する意味で経験的ルールをベースとしたエキスパートシステム (ES) が極めて有効であることを示した。しかし ES の主な問題点は炉冷や炉体形状の異なる高炉への適応性が劣ること、未知の操業条件への対応ができないこと、操業者によって異なったアクションが取られている現状では知識獲得の際に矛盾のない真の知識を判定する技術が不十分であることを示した。

これらを総合し、数式モデルと ES を支えるのは検出端情報であり、今後検出端の開発と精度の向上が重要であることを指摘した。この検出端情報をベースに数式モデルで経験を論理的に整理し、矛盾を合理的に定量化できれば高炉操業の自動化、無人運転も可能となると将来を方向づけた。

#### (討 2) Advanced Go-Stop System の開発と水島第 4

#### 高炉への適用

(川崎製鉄(株)水島製鉄所 佐藤政明ほか)

数式モデルとデータ解析をベースとする従来の Go-Stop System に操業者の経験を組み込んだ高炉操業管理システム (Advanced Go-Stop System) を開発した。このシステムは数 100 個のプロセスデータから 200 個の推論用情報を抽出して、600 個の知識型ルールを組み込んだコンピューターで処理し、炉況診断と操業アクションを提示するものである。

この発表に対して制御指標の選定方法、指標選定に際しての遅れ時間の考慮の仕方および前進アクションと後退アクションにおけるアクション量の違いについて討論された。また、減産期と増産期におけるアクション量の違いの有無についても質疑応答が行われた。

#### (討 3) 神戸 3 高炉における炉熱予測エキスパートシステムの適用

((株)神戸製鋼所電子技術センター 永井信幸ほか)

神戸 3 高炉では炉壁に設置した多対温度センサー (FM センサー) 情報が炉熱変化に先行して変動することを見出し、この情報を統計解析して炉熱予測 ES のルールを作成した。このシステムではファジー推論によりアクション必要度を計算するとともに炉熱状況判定のための各種閾値を自己学習により修正し、ルールをリアルタイムで評価・推論処理して炉熱の低下と上昇を予測することを特徴としている。

この発表に対してアクション必要度と実際のアクション量との関係のほか、FM センサーを通常の熱電対温度計に比した時の有効性と具体的な使用方法について討論された。

#### (討 4) AI (人工知能) 的技法を応用した高炉操業管理システムの発展

(住友金属工業(株)システムエンジニアリング本部  
大塚宏一ほか)

本発表では従来のモデル型知識とルール型知識をハイブリッド化して制御と異常原因診断を支援するシステムを開発した。このシステムは数式モデル、状態判定ルールおよび経験的操業ルールからなり、定常操業時には数式モデルと状態判定ルールによりばらつき低減操業を行う。一方、異常時には経験的操業ルールと状態判定ルールとにより安定操業を重視したアクションを行うべく指示が出される。この異常診断にファジー推論を組み込んだ ES を活用している。

討論はまず、数式モデルの限界、特に操業条件が変わった場合のフレキシブル性について行われた。さらに異常原因追求のための解析や知識の整理を行う具体的体制や炉況異常に臨んだ時の操業シミュレーターとしての機能のさせ方について意見交換がなされた。

#### (討 5) 君津 3, 4 高炉における知識工学の高炉管理システムへの適用

(新日本製鉄(株)君津製鉄所 織田博史)

炉況変化の初期情報をいくつかの判断項目に分類し、各項目ごとに判定規準を設け、それらを総合して炉内状況を推定するシステムを構築した。この特徴は制御システムをより人間に近づけることを考え、中間仮説にもとづく中間判定を行うこと、各段階での判断の曖昧さをカバーするために Heuristic grade なる重みづけを導入したこと、操業環境の経年変化に対し常にシステムが活用できるように、操業者によるメンテナンス性を重視したことにある。

この討論では Heuristic grade の具体的な決定方法が中心課題となった。その結果、炉内の情報を的確に伝える検出端の選定が最も重要であり、この適否がアクション適用率を高めるためのノウハウであると結論づけられた。また、知識ベースの更新を行うための具体的方策についても論議された。

(討6) 高炉炉熱制御におけるエキスパートシステムの開発と課題

(NKK 福山製鉄所 櫻井雅昭)

学習機能によって常に修正できる確信度を用いるメンバーシップ関数を取り入れた炉熱制御エキスパートシステムを開発した。このシステムを高精度のものにしているのが学習機能で、長期学習と短期学習に分けてシステムの制御精度を定期的に評価し、精度悪化時には要因解析と修正を行わせている。また、この機能が要因解析処理や三次元拡張メンバーシップ関数の作成に要する工程を短縮させ、システムのメンテナンス性を高めている。

この発表に対して、学習機能の具体的な活用方法について質疑応答が行われた。また、自動制御をねらう場合の操作変数、特に、応答の遅い操作変数について討論された。

制御分野における AI ツールの動向

(富士通(株)第2システム統括本部 岸田 明)

AI 技術が発展拡大してきた過程を総括し、初期に優勢であった診断型の ES 開発が最近では計画型が主流になりつつあることを示した。また、今後の方向として日本語を使ったルール表現を用いた担当者自身による知識入力やメンテナンスあるいは高速リアルタイム推論が可能なツールが開発される方向にあることを報告した。

これら討論を聞いた有識者として NKK 鉄鋼技術部山岡洋次郎氏は今後の方向として、装入物分布制御や休風・減風操業等への適用範囲の拡大と知識ベースの量と質の向上のために知能センサーの活用と理論モデルとの結合が重要であるとコメントした。また、住友金属工業(株)鉄鋼技術部倉重一郎氏は低 Si 化、炉体寿命延長あるいは出鉄比の柔軟性等の技術的進歩が著しいにもかかわらず、今日なお高炉はブラックボックスである。設備効率、人的効率を高めることが今後の経営課題であり、このために AI 技術が強力な武器の一つとなる。製鉄技

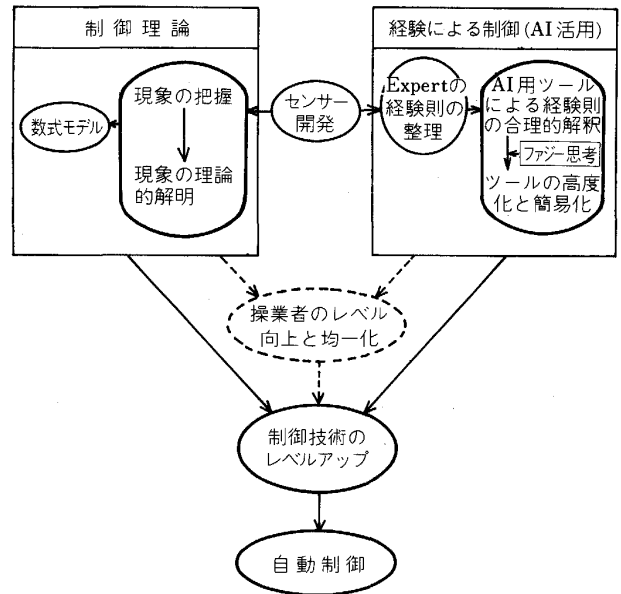


図 1 高炉操業における AI 導入の意義

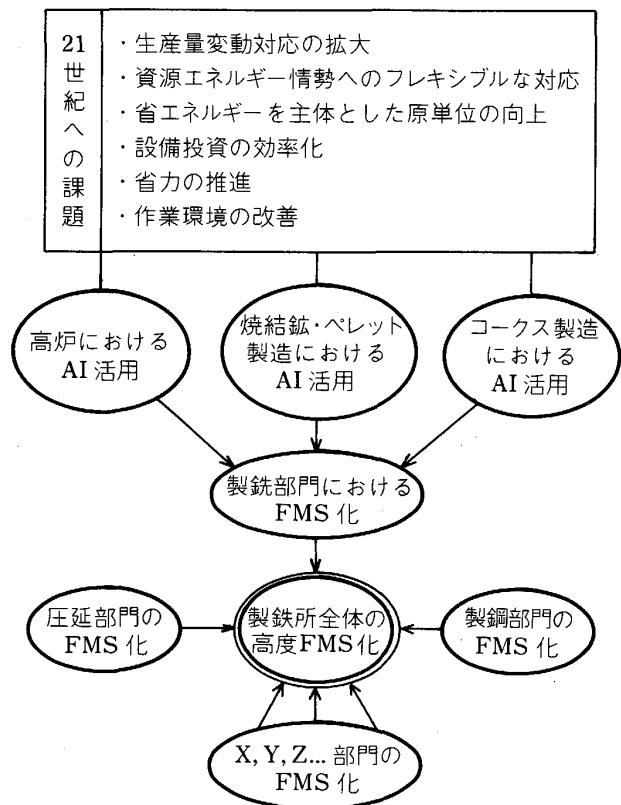


図 2 今後の方向 (FMS 化)

術者がいっそう協力して技術躍進を果たそうではないかとコメントと激励の言葉があった。

最後に座長が討論全体を総括し、高炉へ AI を導入するに至ったニーズと背景、現状の問題点を整理し、今後の展開を次のようにとりまとめた。

- 理論的な操業予測と経験的対処のバランスをとるこ

と  
 ・理論に裏付けられた現象をルール化して整理すること  
 と

- ・自己学習機能の付加→高炉操業管理の自動化
- ・自動運転守備範囲の拡大  
 (ex. 定常から非定常へ  
 高炉のみから熱風炉, TRT 等までも)

さらに図 1 のように AI を位置づけ今後の高炉技術開発の方向を, 複雑な現象の理論的解明をベースにした数式モデルの発展と経験則による制御の結合であると結論づけた. この両者の共通基盤技術としてのセンサーの開発が重要で, その情報を仲介として両者が緊密に補完し合うことによっていっそう高度な制御技術が構築され将来的には自動制御も夢ではなくなると述べた.

さらに図 2 のごとく AI 技術を高炉のみならず原料処理工程やコークス製造プロセスにも活用し, 製鉄工程全体として総合することにより製鉄分野の FMS 化が可能となり, 最終的には製鉄所全体の FMS 化が達成されると方向づけた.

## II. 次世代の製精錬プロセス展望

座長 東北大学選鉱製錬研究所

徳田 昌 則

副座長 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所

池田 隆 果

鉄鋼製精錬技術は今や円熟期にあり, 疾風怒涛の時代は過ぎ去ったように見えるが, ここ 30 年間の日本の製精錬技術の変遷を見ると, Principle oriented の時期と Process oriented の時期が交互に繰り返されており, 現在は Principle oriented の時期のように思われる. このような時期には自由な発想による新しい提案を積極的に引き出し, 百花斉放の状態に至らしめるのが重要と考えられる. そこで, 本討論会では, 新しい提案とシーズとなる基礎研究の両面より, 次世代のプロセス展望を試みた.

今回は大学のみからプレゼンテーションしてもらい, 企業から質疑・コメントするという形式をとった. 討論のテーマは, 高炉から連铸直前までの広範囲の製精錬プロセスにかかわるもの 15 件で, 次のような発表と討論があった.

(討 7) 若手技術者の夢みる鉄鋼製精錬技術展望

(豊橋技術科学大学 川上正博)

過去に 14 回実施された鉄鋼工学セミナーで受講者がグループ討議によって提案した将来技術を紹介した. 近未来技術では, 鉄浴式熔融還元炉と組み合わせた出鉄比 10 の高炉, 電磁保持式・流滴式あるいはターンテーブル式の連続製鋼, 高炉と転炉を一体化した“Q-BF”, 移動転炉, 介在物フィルター“アルミナ・ホイホイ”, 垂

直引抜き—方向凝固連铸などがあるが, 溶銑脱りんなど実現しているものもある. 遠未来技術は奇想天外なものが多い.

(討 8) 高性能高炉の開発

(東北大学選鉱製錬研究所 八木順一郎)

高炉の高熱効率を保ちながら, 生産性と制御性を高めることによって高炉のフレキシビリティを高め, 優位性を維持する方策を論じた. エクセルギー節約のためには粉炭・粉鉱石の羽口吹込みを, 高生産性には酸素高炉, コークス中心装入を推奨した. また元元向流式で制御性の悪い高炉に対し, 論理的だが時間がかかる数学的モデルと, あいまいだが時間がかからない AI の組合せを提案し, 在宅制御高炉を究極の目標とした.

この発表に対し, 高炉の最低必要高さ, 羽口吹込みによる炉内精錬の展望, 酸素高炉でのシャフト部へのガス吹込みの必要性等に関する討論がなされた.

(討 9) 酸硫化鉄浴を用いた鉄鉱石の熔融還元

(東京工業大学 永田和宏ほか)

1200°C の Fe-S-O 融体に鉄鉱石とコークスを吹き込み, 固体鉄を得る方法を検討した. 融体組成を FeO 飽和, FeS 活量 0.4 に制御することによって高純度 (S 0.0235%, C 0.001%) の  $\gamma$  鉄が粒鉄として析出沈降する. 粒鉄のすきまに入っている融体の分離が課題である.

この発表に対し, 鉄鉱石の SiO<sub>2</sub> 質脈石の影響, 反応熱の供給方法, 粒鉄の分離法, 鉄鉱石の予備還元の必要性に関する討論がなされた.

(討 10) 塩素あるいは塩化鉄を用いての溶銑の精錬

(千葉工業大学 雀部 実ほか)

反応生成物がガスになるため高純度化に有利と考えられる塩化による精錬について Si を例に検討した. Fe と競合反応の生じる Si でも FeCl<sub>2</sub> を用いて塩化させることが可能で, Cl<sub>2</sub> で塩化する場合には, 余分に生じる FeCl<sub>2</sub> を H<sub>2</sub> で還元すればよい. 熱力学的検討から, Ti, Zn, Mn も除去できると推測した.

この発表に対し, Cl<sub>2</sub> のマスバランス, 反応容器の構想, トータルシステムの構想, Kellogg の Ellingham diagram の疑問点等に関する討論がなされた.

(討 11) 塩素ガスによる有用金属の選択的精錬の可能性

(東京工業大学 永田和宏)

酸化鉱を炭素と共に塩化すると, すべての成分が塩化物になってしまうが, 目的成分だけをあらかじめ硫化してから塩化することによって分離する方法を検討した. ラテライト中の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を 700°C で 66% CO-34% SO<sub>2</sub> で処理すると, Fe のみが硫化して FeS<sub>1.13</sub> となる. これを 350~600°C で N<sub>2</sub>-Cl<sub>2</sub> で処理すると FeCl<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> が生成し, 99% の高純度鉄が得られた. この方法はニッケル鉱石の製錬などに応用されている.

この発表に対し, 反応の CO-SO<sub>2</sub> ガス組成依存性,