

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 γ 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 SiO₂ 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 FeCl₂ を用いて塩化させることが可能で, Cl₂ で塩化する場合には, 余分に生じる FeCl₂ を H₂ 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, Cl₂ 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 Fe₂O₃ を 700°C で 66% CO-34% SO₂ で処理すると, Fe のみが硫化して FeS_{1.13} となる. これを 350~600°C で N₂-Cl₂ で処理すると FeCl₂ + Fe₂Cl₆ 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-SO₂ ガス組成依存性,

反応容器をふくめてのプロセスイメージ、トータルシステムの構想等に関する討論がなされた。

(討 12) 製精錬プロセス発展のための新しい計測技術のニーズ

(東北大学 井口泰孝)

日本鉄鋼協会のセンサ技術小委員会(昭和63年4月終了)および日本学術振興会19委員会の製鋼センサ小委員会(平成元年春終了予定)の活動内容を紹介した。製精錬プロセスにおけるニーズとして、高炉、転炉、二次精錬、連続鑄造の各工程ごとにセンサ-目標-ニーズの対応表を整理して示した。製鋼プロセスにおける化学センサとして酸素センサ、成分センサ、ガスセンサの三つについての共同研究の結果を要約した。また、新しい計測技術が新プロセスを生み出す原動力になりうることを強調した。

この発表に対し、製鋼のニーズと具体的シーズの対応、成分センサの今後の方向、高炉内の固液の空間分布測定法等に関するコメントおよび討論がなされた。

(討 13) 製錬プロセスにおける超音波応用センサー

(東北大学選鉱製錬研究所 石垣政裕ほか)

超音波パルス法で分散相の状態を非接触で検出することを試みた。窒素ガス-ポリスチレン粒-水の垂直向流槽で実験し、気泡の大きさに相当する波長で減衰が大きく、気泡径検出に使えること、気泡と固体で減衰に加減性があること、固体が入ると気泡のホールドアップが増大するなど流れの形態の検出に利用できることがわかった。

この発表に対し、溶鋼中の介在物、スラグ中の未滓化石灰、高炉内の固液の空間分布等の検出の可能性、実用化時の問題点などに関する討論がなされた。

(討 14) 次世代の製精錬プロセスと物性

(大阪大学 森田善一郎ほか)

物性物理学に立脚した製精錬プロセスの高度化・精密化を論じた。物理変化の利用では蒸発現象の利用を取り上げ、純金属の沸点推定式を提示した。また、反応機構の解明では、濡れと反応、スラグ構造、表面状態などの重要性を示した。研究に不可欠の物性値測定では、EECでの粘度標準化と振動片粘度計での比較試験への参画、オンラインセンサーの重要性について述べた。

この発表に対し、沸点推定式の合金系への適用の可能性、固相率のセンサーの可能性などが討論された。

(討 15) 新製精錬プロセスへの界面現象利用の可能性

(九州工業大学 向井楠宏)

製精錬プロセスが成り立っている単位反応、単位プロセスの新たな開発・改良の可能性を界面現象利用の観点から論じた。ろ過では炭材でのスラグ泡立ち制御、炭材層でのメタル滴ろ過など溶融還元プロセスへの利用、分散では気泡によるメタル中N、O、Sの鋼浴表面への移行、付着では気泡による介在物の上部系外への除去、界面攪乱ではスラグ-メタル両相間の界面活性成分の化学

ポテンシャル差の制御による反応速度の向上等を提案した。

この発表に対し、炭材がスラグ泡立ちを抑えるメカニズムなどが討論された。

(討 16) 硫化物としてのトランプエレメントの除去

(九州大学 森 克己)

酸化精錬で除去できないCu、Snの除去について、硫化物として分離する方法をFe-Cメルトで検討した。Cuは Na_2S (Na_2O)フラックスで分離が進行した。 $\gamma_{\text{FeS}}/\gamma_{\text{Cu}_2\text{S}}$ が大きいためである。Snは SnS として蒸発することで減少した。いずれもメルトのSを高くする必要がある。

この発表に対し、スクラップの電気炉溶解ではわざわざSやCを高くしない方法が望ましいとのコメント、脱Snに対する真空処理の効果などの討論がなされた。

(討 17) 製鋼プロセスと分散工学

(名古屋大学 佐野正道)

精錬反応速度増大のために接触界面積を増加させる手段である一相の他相への分散を論じた。気-液系ではRHでの溶鋼表面・スプラッシュの脱ガスへの寄与、粒滴脱ガス法での脱ガスとガス吸収の併発、溶融還元でのスラグフォーミング制御、液-液系ではスラグ-メタル反応でのエマルジョン化、半回分式あるいは向流式接触操作による反応効率向上、液-(気)固系では溶鋼の粉体吹込み精錬での半回分式操作の有効性を論じた。

この発表に対し、多段向流槽型反応器の効果、分散相の分離技術の重要性などのコメントがなされた。

(討 18) 連続精錬プロセスに関する考察

(東北大学選鉱製錬研究所 伊藤公久ほか)

石炭を直接使用する鉄浴式溶融還元法では、メタル中Sが0.3%と高くなることが予想される。これを効率よく脱硫する方法について考察した。バッチ型、併流型、向流型、垂直向流型の反応効率を比較し、垂直向流型でフラックスが数分の1に減らせること、流速とフラックス粒径の制御が重要であることを示した。

この発表に対し、垂直向流型での逆混合の程度、連続プロセスでの制御の重要性などの討論がなされた。

(討 19) 材料電磁プロセス

(名古屋大学 浅井滋生)

電磁気力はこれまでの装置設計の抱束条件を緩和せしめる可能性を秘めている。プロセス連続化のための溶融金属の非接触輸送、表面性状のすぐれたNear net shapeのための溶融金属を浮揚させながらの凝固、無接触化による清浄化、などへの応用を論じた。また、本技術の発展が、(1)周辺技術の発達で将来どこまで適用域が拡大できるか、(2)新しい機能の発掘がありうるか、にかかっていることを強調した。

この発表に対し、輸送時の可能ヘッド、大量処理時の問題点、電磁力による微細介在物除去のための気泡発生

の可能性などについて討論がなされた。

(討 20) 高エネルギー注入製錬プロセス

(北海道大学 石井邦宜ほか)

21 世紀は宇宙製錬プロセスの幕明けとの視点から次世代技術への芽と考え方を論じた。CO, CO₂ の活性分子による鉄鉱石の還元と炭素のガス化反応の促進、高エネルギー水素による鉄鉱石の低温での還元、波長可変大容量レーザーによる原子への分離または水素プラズマによる溶融メタルの強制蒸発を利用した蒸発製錬などを提案した。

この発表に対し、活性化水素の利用の展望、微小電磁振動による微細気泡の生成などについて討論された。

(討 21) 超音波振動の製錬プロセスへの動力的応用

(豊橋技術科学大学 川上正博ほか)

超音波の特性、従来の製精錬への応用例および新プロセスの可能性について述べた。超音波は重力加速度の例えば 10⁴ 倍という巨大な力を発し、キャビテーション(微細気泡発生)と超音波噴流なる流れを誘起する。応用例としては、凝固組織の微細化、石灰のスラグへの溶解促進、溶鋼の真空脱窒の促進、気泡の微細化、介在物の凝集促進などがあり、適当な印加方法が開発されれば新プロセスとなる可能性が高い。

この発表に対し、超音波による介在物の凝集機構、気泡の合体が起こることはないか、などの討論がなされた。

総合討論では、中西恭二(川崎製鉄)より、大学から出てくるアイデアは特許化してガードすべきこと、またアイデア実現のために大学間の連携も必要とのコメントがなされた。

最後に座長のまとめとして、(1)スクラップの不純分除去、硫黄・塩素利用製精錬、蒸発精錬など文字どおり次世代のものもあるが、大部分はすぐにも参考にできるものである、(2)今回の大学側からのまじめな提案に対して先に企業側からの実りある回答を期待したい、(3) Principle oriented 時代の戦略として学術と技術とロマンとの融合が大切であり、それには新原理・理論の導入、温故知新、制約条件解除への挑戦が基本になる等が述べられた。

長時間にわたる討論会であったが会場は終始盛況で、本テーマへの関心の高さを伺わせた。終わりに講演者ならびに討論会に参加していただいた皆様方に深く感謝いたします。

Ⅲ. 加工プロセスにおける AI (人工知能) 利用の現状

座 長 NKK エレクトロニクス本部

川 畑 成 夫

加工プロセスの制御は生産性の向上・品質歩留りの向

上および労働生産性の向上による競争力の強化のため極めて重要な役割を果たしてきた。

今後システム化の対象が拡大されるに伴って従来システム化が困難であった、いわゆる悪構造問題の解決が急がれており、またシステム規模がますます膨大になるに伴ってソフトウェア生産性・メンテナンス性の必要性も高まり解決の手法として AI の利用が望まれている。

このような観点から、本討論会では最新の AI 利用について公開し、その効果と問題点について討議した。

(討22) モールド湯面レベル制御へのリアルタイムエキスパートシステムの適用

(住友金属工業(株)システムエンジニアリング

事業本部 笹部幸博ほか)

連続鋳造プロセスにおける鋳片品質・鋳片歩留りの向上に大きな影響を与える溶鋼湯面レベル制御には、現代制御理論の適用がなされているが十分な実用化に至っていない。ここでは丸ビレット連鋳湯面レベル制御にエキスパートシステムを適用し、パラメーター調整の最適化・制御不良原因の推定と簡易操業診断機能の有効性が確認された。ビレット連鋳ではスラブ連鋳に比べてモールド断面積が小さく、外乱要因がレベル変動に与えるゲインが大きい。また SN 流量特性変動の取扱いは難しい。このため従来法のみでは十分な制御性を維持することが困難で、今回オペレーターの判断基準を加味し、湯面変動原因の推定とパラメーター調整が可能なエキスパートシステムを構築した。本システムの適用によって各パラメーターが適正に維持され、湯面変動幅 5 mm 以上の鋳片比率が適用前に比べて約 4 割弱と大幅に減少した。

オペレーターの知識を収集し、そのエッセンスを抽出の上知識ベースを作り上げる過程が最も重要であると判断し、キーマンの専従化と知識ベースの実操業での確認、KE の組織的な育成に注力した。知識収集の過程は各社共に経験のあるところであり、期間・要員などについて質疑され聴講者の深い関心が認められた。

(討23) AI を適用した棒鋼加熱炉抽出ピッチ制御システム

(新日本製鉄(株)室蘭製鉄所 佐坂晋二ほか)

棒鋼工場加熱炉抽出から仕分・結束に至るまでの連続物流では、各工程の作業能力を総合的に判断して工程管理を行い、加熱炉抽出ピッチを最適に制御することが重要である。しかしこれには複雑な判断要素に基づく予測が必要で、数理モデル化のみによる自動化が困難で従来はオペレーター判断に頼らざるを得なかった。

今回この目的に知識工学を適用し、物流予測に基づく最大能力での操業を可能とする最適ピッチ自動操業システムを構築した。知識ベースの編集・ソース管理は EWS を用い、編集された知識ベースはコンパイルされた後支援計算機に転送される。推論エンジンはこの支援