

システム分野においては、サプライチェーンマネジメントという言葉が世間に定着したことが如実に表しているように、個別システムの最適化から全体システムの最適化へと変革しつつある。シミュレーションと最適化双方において、大規模問題に対する各種の手法が次々と提案され、鉄鋼業へ適用する動きも活発である。これを先取りする形で「鉄鋼生産・運用・物流計画問題のモデリングと最適化研究会」が1998年から2001年度に実施され、各種のスケジューリング技法が提案された。また鉄鋼業の特徴として、熟練オペレータが持つ操業ノウハウを取り入れた形の最適化が要求されることから、そのノウハウをシステム化するための研究を目的とした「鉄鋼業における業務革新・創成のためのナレッジマネジメント研究会」が2004年度から開始されている。

6.2 計測技術の進展

計測技術は、物理的対象から数値あるいはシンボルで記述される情報を取り出す手段を提供する。計測装置は、対象との接点をなすセンサ・アクチュエータ、信号処理手段としての電子回路や計算機、上位システムとのインターフェースとしての通信手段から構成される。この10年は、これらのすべての面で大きな変化があった。半導体微細加工による安価で高性能なセンサ・アクチュエータ、低価格化と高性能化が著しいPCやDSP、潤沢なネットワーク環境、標準バスや無線インターフェース等である。計測技術の研究開発は、ニーズの変化にも大きく影響される。すなわち、プロセス制御の計測から欠陥検出と高品質化のための計測への流れである。以下では、まず計測技術のこの10年の展開を三つの対象に分けて概説する。次にこれまでの著者の経験をふまえて、今後の計測技術の方向性全般に関していくつかの観点から指摘を行う。

6.2.1 鉄鋼計測技術のこれまでの10年

詳細は鉄と鋼の計測特集号 (Vol.90, No.11) に詳しくまとめたので、そちらをご参照願いたい。ここでは、主要なポイントのみを簡単に紹介する。

(1) 基本状態変量の計測関係

プロセス制御においては、温度、圧力、体積（流量）が基本の状態変量とされる。鉄鋼プロセスでは液体と固体を扱うため、温度、位置・レベル・変位・速度、力・圧力が基本的な測定量となる。温度計測は伝統的に鉄鋼計測が高いレベルを保ってきた分野である。この10年にも、放射率の補正や測定法、多波長放射温度計、消耗型の光ファイバ放射温度計、音波CTによる炉内温度分布計測、高炉鉄皮温度分布計測等

へのOTDR（光時間領域反射計測）の活用など、多くの先進的な研究がなされた。位置・レベル・速度計測関連では、画像計測の活用が試みられ、多くの進展が見られた。溶接位置の検出、圧延ロールの位置検出、溶融亜鉛メッキにおける鋼材の位置検出等である。渦電流検出方式の報告もある。新たな測定対象としては、荷重系出力の信号処理による連続熱間圧延における継ぎ目の検出、スラグ下の溶銑表面のレベル計測が注目される。特に後者については、プロセスの最上流における重要な品質決定要因となることから研究が進められた。マイクロ波、渦電流の利用、M系列信号処理の活用などが主要な成果として報告されている。

この他、コークス炉の炉幅計測なども悪環境への積極的取り組みとして注目され、無線技術や画像処理技術の活用に新鮮さがある。高品質化と高効率化も大きなテーマとなった。厚板の輪郭測定、クロップの無駄の低減、形鋼の断面形状計測、鋼材の反りや蛇行や偏芯の計測。鋼管の残肉厚の超音波計測等、多くの報告がなされた。2層材料の厚さなど困難な測定対象に対して、電磁超音波の共鳴スペクトルの利用や同期加算による高SN化手法の適用など、今後の展開に期待がもたれる。

(2) 表面・内部欠陥計測関係

この10年は、鉄鋼計測の対象が大きく重心移動した10年と見ることもできる。制御用の状態変量の計測から、品質向上と品質保証のための欠陥計測への変化である。光、超音波、電磁気、あるいはそれらの組み合わせのほとんどすべてが取り組まれた。光学的手法に関しては、この10年の前半は広く普及を始めたレーザ表面瑕疵検査装置の活用と改良が主たる課題であった。ニューラルネット等の瑕の判定アルゴリズム、2次元CCDによる瑕疵検出速度の向上、水切りや油分除去などの周辺設備の改良などの研究開発が数多く報告された。後半では、表面欠陥や性状計測への偏光の活用が主要な成果であろう。偏光により表面の無害な油分と瑕との弁別が可能になった。このほか、光切断法による画像計測も活用が広がった。また、レーザ式合金化度測定、黒皮の剥離の検出、オンライン色調計測、光沢度・白色度の測定、レーザ励起蛍光法の活用による油分の測定などについても、研究と実用化が進展した。超音波探傷に関しては、高SN化に向けた探触子自体の改良、多チャンネル開口合成型の斜角超音波探触子、PVDF利用による探触子の柔軟化など、基本的なレベルからの研究開発が進められていることから、鉄鋼計測における超音波計測の重要性が認識される。

限界に近い高性能を実現するために、信号処理技術に期待がもたれている。バースト波や同期加算の活用による高SN化、スペクトル分割処理、チャープ波パルス圧縮法、上下面

と対象反射波のコヒーレント検出による内部介在物探傷法等の報告があった。電磁気探傷関係では、磁気光学探傷装置、MEMS技術を用いる励磁コイル一体型半導体磁気センサ等に新しい試みが見られた。前者は、新しい撮像デバイスの出現により、現在の「内部欠陥検出の高精度化」研究会のテーマに取り上げられている。画像処理と組み合わせた磁粉探傷の自動化も行われた。また、磁化器の形状の最適化、E型コアを用いた差動型漏洩磁束探傷等の開発も高精度化に向けた展開であろう。

(3) オンライン材質計測関係

従来のプロセス制御の課題は、実験室における条件出しの結果を生産ラインで忠実に再現し維持することであった。しかし、これでは予期しない原材料の変化や欠陥の発生に対処し得ないことは明らかである。材質に関するオンラインの計測技術としては、珪素鋼板の珪素含有率の計測が注目される。4点法による抵抗計測、渦流センサを用いるオンライン非接触珪素濃度計などの開発と実用化が報告された。また、レーザ超音波を用いる結晶粒径計測、超音波減衰率の周波数依存性や磁気測定による内部構造の評価、超音波伝搬速度測定による珪素鋼板の結晶粒径評価、板波の伝搬速度による結晶粒径計測などの研究開発も報告され、今後の鉄鋼計測技術の発展の方向を予感させる。

6.2.2 研究会活動

鉄鋼協会の学会部門の研究会活動として二つのテーマが取り上げられた。「鋼板表面の光学的モデリング」研究会、1年間のプレ研究会活動を経て現在も活動が続けられている「内部欠陥検出の高精度化」研究会である。これらは、鉄鋼各社の主要な研究者、大学の関連分野の研究者合わせて10数名ほどで構成され、企業側のニーズと大学側のシーズのすり合わせに始まり、実際のサンプルへの適用結果を中心に、2ヶ月に一度ほどの集中した成果発表と議論を行う。双方に大きな努力を要求する活動ではあるが、大変に有効に機能してきたように思われ、是非今後とも続けられることを願っている。具体的活動成果に関しては、報告書等をご参照願いたい。

6.2.3 鉄鋼計測のこれからの課題

これからの鉄鋼計測技術は、おのずとより大きなフィードバックループを有するシステムに研究課題が移ってゆくであろう。これまでの10年の研究課題の変化の中にも、これを読みとることができる。設備の保守や延命のための計測技術、光学的表面欠陥検査や表面性状計測、三次元の寸法計測や形状計測、超音波探傷や電磁気探傷による内部介在物の検出、多元的把握を容易にするプロセス監視など、技術開発のター

ゲットが鉄鋼プロセス全体の高度化に広がってきている。

(1) 品質安定化から品質高度化へ

操業条件の安定化によって品質を安定化させる。不良率の低下や操業効率の向上でコストダウンが図られる。これは大量生産時代の基本的な戦略であり、大きな成功をおさめた。しかし、これからは品質の安定化と品質の高度化は必ずしも一致しない。顧客の性能要求に応え顧客の信頼を獲得すること、新たな機能を生みだし新たな顧客を獲得することが品質の高度化でなくてはならない。

(2) マクロ計測からミクロ計測へ

要求指標に關して的確な代用指標を発見し、それを目標値としたコンパクトで効果的な制御系を組み上げる、これが計測技術者の技術センスの大きな部分を占めていた。代用指標の多くはブラックボックス的なマクロパラメータであった。しかし計測の本来の目的は知識獲得にある。より深くより正しい知識にもとづいて的確に判断し行動する、この意義を軽んじてはならない。科学的な知識獲得の基本は分析にある。発展した計測手段をよりミクロなパラメータの取得に振り向け、現象の本質に立脚した対処法により、確実な品質と信頼性をもった製品を目指すべきである。

(3) 点計測から多元的計測へ

高度な機能は単一のパラメータでは計れない。品質の中には感性が関係するものも多い。内部組成のように現象自体が複雑で単一の物理量では表現されないものも多々ある。これに対して、光、超音波、電磁気のように計測手段は一般に感度と性能が得られる範囲が限定される。これら測定の限界を補うのは物理的数理的なモデルや過去の経験や知識である。潤沢に利用できるようになった情報処理手段がこれらの活用を促進する。知能化計測、ロバスト計測、逆問題、センサフュージョン等々への志向性である。

(4) 情報化とネットワークセンシング

これまでの品質管理は、製造ラインの中あるいは工場の中だけであった。ネットワークセンサの発展により、これからは製品の使用中にも品質を管理し劣化の検出を行うことが可能になってくる。これらの情報は使用者にも製造者にもフィードバックされ活用される。また再資源化の際に、継続的に把握した使用データを用いて信頼度の高いリユースやリサイクルを行うことが可能になる。ネットワークセンサは計測手段をユビキタスに広げ、それらから得られる情報をユビキタスに知識ベース化し活用可能とする。「神経をもった鉄」「頭脳をもった鉄」は夢物語ではない。