

第6章 計測・制御・システム

6.1 鉄鋼を取り巻く環境

6.1.1 鉄鋼業における計測・制御・システム分野の役割

鉄鋼素材の国内需要は飽和傾向にあるものの、中国に代表されるアジア諸国の飛躍的な需要増加に伴って、量的拡大に対する要請は日増しに強くなってきている。一方、市場経済のグローバル化の進展の中で鉄鋼業界における競争は、国内外での業界再編等の形となって現れ、激化の一途をたどっている。

このような背景の中で、日本鉄鋼業に課せられた大命題は、量的な拡大の要請に応えるべく更なる高生産性の達成を目指すと同時に、国際競争に打ち勝って行くための低製造コスト・高品質・高付加価値な製品を絶えず市場に供給して行くことにある。量的な拡大を実現する方策の中で最も投資が少ない現実的な方法は、既存設備の能力を限界まで引き出し生産性を向上させて行くことにある。低コストでこれを実現して行くためには、一般に製造難度が高くなる新製品に対しても、商用生産開始直後から安定した製造を実現しなくてはならず、そのための自動制御技術の更なる高度化が要求されている。

さらに、熟練工が枯渇しつつある環境下で、オペレータのノウハウをいかにシステムに移植して行くかと言う視点も、生産性を維持・向上して行くための必要条件となっている。また、高品質・高付加価値製品の製造のためには、その品質・特性をオンラインで高速かつ信頼性高く計測するセンシング技術が必須であり、大半の場合において商用のセンサを単純に適用できる限界を超えている。今後さらに低コスト製造と共に付加価値の視点を納期にまで拡大するならば、製鉄所における錯綜した物流に代表される製造工程をいかに最適化するか、と言う視点でも大きなニーズが存在している。また、近年特に高まった環境保全・環境負荷低減に対する要請に応えるために、最適化を図って行く中で評価関数に環境負荷の項目を折り込む必要性も生じつつある。

以上に概説したごとく、足下の生産性向上、品質向上、コスト低減はもとより、環境問題などのさらに広い視点においても、計測・制御・システム分野に対する要請はこれまで以上に高くなっている。今後の日本鉄鋼業を更に発展させるため、当分野が先頭に立って業界をリードすべきであると言っても過言ではないであろう。

6.1.2 業界を取り巻く情勢

以下に、各分野における情勢を概括するが、共通する項目

として直近のコンピュータ能力の飛躍的な向上が挙げられる。周知のごとく、パソコン (PC) のクロック周波数は年々指数関数的に高速化が達成され、既にGHzの壁を突破して久しい。さらに、記憶容量・通信容量ならびにその速度の拡大も相まって、従来から大容量データが存在しかつ高速で製品を生産している鉄鋼業においては、オンライン処理ができないと想定されてきたソフトウェアデータ処理が現実味を帯び、具体的に議論されるようになってきた。その結果、高速画像処理や最新制御理論の適用、大量データの実時間処理などに関する考え方が大きく変貌しつつある。

計測分野においては、品質に関わる計測技術の進歩が著しい。デジタルカメラでの民需の拡大と歩調を合わせた高精度・高信頼性 CCD カメラの出現は、高速で通板する鋼板表面の高分解能画像の取得を可能とした。また、前述のコンピュータ技術の進展と相まって、熟練オペレータによる官能検査に匹敵する画像判断が、人間の目で判断するには不可能な高速域においても可能となってきた。この情勢に先行して、鉄鋼協会では1997年から2000年度にかけて「鋼板表面の光学的特性のモデリング研究会」が実施され、分光特性に関する原理から現象モデリングに至る研究が実行された。さらに、複雑な信号処理を実時間で実行得ることから、内部計測においてもソフトウェア処理に基づく新たな提案が複数なされ、新しいタイプのセンサ開発と共に進展している。このような背景を受け、2003年度から「内部欠陥検出の高精度化研究会」が開始されている。

制御分野を取り巻く情勢としては、まず制御用ネットワークならびにコンピュータの基本ソフト (OS) の汎用化・オープン化が図られ、産業システムにおける各種オープン技術の適用が急速に拡大しつつある点が特筆される。これにより、ユーザによるハードウェアに依存しないソフトの自製化促進が大きな潮流となっている。また、大量データの実時間処理が現実的になってきたことを受け、1999年から2002年度にかけ「大量データをベースにした省力化のための診断・制御の高度化研究会」が実施され、最新のモデリング技術、情報処理技術に関する研究がなされた。さらに、前述のコンピュータ速度の高速化を受け、従来高速応答制御が困難とされてきたモデル予測制御などの最新の制御理論の鉄鋼応用も議論の俎上に上っており、「オンライン最適化技術を核とした次世代鉄鋼プロセス制御研究会」が2005年度に設立されている。

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