

討14

圧延における計測と制御の動向

東芝 重電技術研究所

安部 可治

1. まえつき

圧延における計測と制御の動向について、圧延機の電気設備を製作している電気メーカーの立場から以下に述べる。

圧延における計測と制御では、計測と制御の対象である圧延機およびドライブシステムが最近著しい進歩をとげているので、簡単に述べたい。次に計測の動向について述べる。制御の動向については、制御ハードウェアの動向ならびに圧延プロセス制御の動向について述べる。

圧延アラント自身の動向、被圧延材の動向は圧延における計測と制御に密接に関連しているが、この節は都合上省略する。尚、以下では板圧延中心に述べる。

2. 圧延機とドライブシステムの動向

圧延における計測と制御の発達は、対象である圧延機とドライブシステムの発達と密接に関連しているので、まず圧延機とドライブシステムの動向について簡単に述べる。

板圧延機では、異径、異速圧延機として巻付PV圧延機、IPV圧延機、FFCミル、NMRミル、Taylor Mill、マルチロールギャップミルが出現している。またロールバンディングミル、ロールシフトミル、ロールクラウン変更ミル、クラスタミル、ロール水平バンディングミル、ロールクロスミルなどの発達がある。従来の2段圧延機、4段圧延機の発達と共に6段圧延機が実用化され、圧延の進歩に象徴したのが特徴である。またこの他に多段圧延機の進歩もある。

ロール形状についても、VCロール、段付BUR、スリーブ付ロール、CTCロール、ファンファの形状を種々変えたものなどがあり、高圧下率圧延に於いて小径ロールの採用がなされている。

これらの圧延機の進歩により圧延の計測と制御は方法、手段の多様性がますます増加している。

つぎに圧延機のドライブシステムでは、従来、定速度圧延では交流電動機を使い、可変速度圧延では直流電動機を使用して圧延が行なわれてきた。近年、電動機の進歩、マイクロエレクトロニクスの進歩、速度検出器の進歩、制御理論の進歩等により交流電動機を可変速駆動に使用する傾向がある。交流電動機の可変速駆動は直流電動機駆動に比べて、速度制御精度、速度制御応答がより一層改善されてきている。したがって圧延の計測と制御においては、たとえばスタンド間張力制御や自動板厚制御の一層の高精度化、高応答化が可能になってくる。

3. 圧延における計測の進歩

圧延における計測は、戦後から今日まで目ざましい進歩がある。特に最近ではマイクロコンピュータを使用したものが多いため、以下計測の進歩について述べる。

3.1 圧延荷重

圧延荷重の測定は、ひずみゲージ式、磁歪式、静電容量式などの荷重計が開発され、充分な精度で測定が出来るようになった。

3.2 圧延トルクの測定

圧延トルクの測定は、ロール駆動軸には、ひずみゲージによる方法、ロール駆動電動機のトルクより圧延トルクを測定する方法、その他の方法などがある。圧延中に圧延トルク、加減速トルクなどを高

精度で測定することは尚一層の発展が求められる。

3.3 板クラウン、平坦度の測定

板クラウンは板巾方向にX線厚み計を移動して板厚を測定し、板巾中央の固定X線厚み計とα信号をマイクロコンピュータで処理することにより測定ができるようになり、充分な実用化が許された。また、板の平坦度計も開発が進み、磁気吸引式、分割ロール方式（AIR BEARING, D-セル, 圧電素子）、弾性振動式、棒状光源式、水柱抵抗式、レーザー方式などが実用化された。

その他、張力、板巾、材料温度、ロールギャップ、クローブ形状計、などが開発、改良が許されている。また、圧延機のキズ、欠陥、圧延機の枚数などの測定にも努力が払われており、今後の進展が期待される。

板圧延以外でも、パイプの外径計測、肉厚計測、また棒鋼、線材の欠陥計測などにおいて、光や超音波などを利用した測定器が開発され実用化されている。

4. 圧延における制御装置の動向

圧延における制御では、その制御方法、制御理論は制御装置（プロセス計算機、データ伝送システム、プログラマブルコントローラ）の発達と共に高速化、高度化が許れるようになった。

プロセス計算機が圧延に使用されたのは昭和30年代後半である。この発達は本体と周辺装置において著しいものがあり、たとえば主記憶容量もミニコンピュータの64語～128語からスーパーミニコンピュータの4～8Mバイトへと拡大し、更に大容量化する傾向にある。演算速度もミニコンピュータの0.1～0.5 MIPS からスーパーミニコンピュータの1～5 MIPS へと進展し更に高速化の傾向にある。オペレーティングシステムも割込駆動型のリアルタイムOSの他に、対話型プログラミングを中心とした汎用のOSの採用が進んでいる。またソフトウェアの開発・保守に際して、ソフトウェアエンジニアリング手法による一貫支援システムが開発されている。

データ伝送システムの最近の発達は著しく、同軸ケーブルから光ファイバケーブルへの進展は、特にノイズの多い圧延プラントで益々採用される。伝送はデータベースの情報量が多い伝送、特に高速性を必要とする圧延制御信号、計測信号のいわゆるセンサーベースの伝送などに特徴を有したものが出現しており、伝送速度も1MB/SEC、32MB/SEC、100MB/SECなど用途に応じて使用できるようになった。伝送速度は更に高速化すると思われる。

プログラマブルコントローラは、従来アナログであった圧延機制御をマイクロコンピュータの進歩によりデジタルに変更した。特に高速応答の制御に適している。

最近の圧延プラントでは、プロセス計算機、データ伝送システム、プログラマブルコントローラが有機的に結合され、分散制御が行なわれている。

右図に、最近のホットストリップミルのシステム構成の一例を示す。

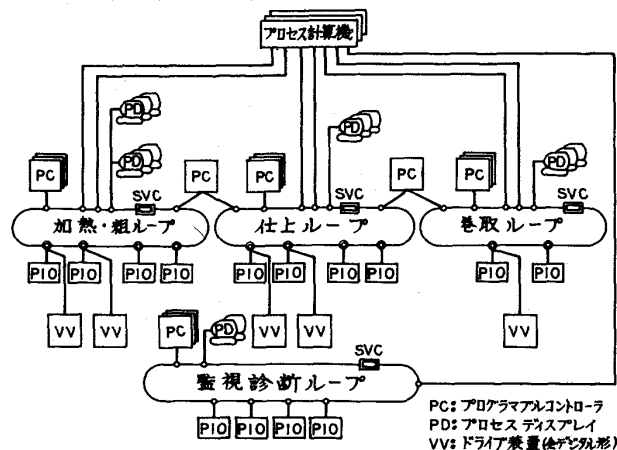


図1 新日本製鐵のホットストリップミルのシステム構成

5. 圧延における制御の動向

圧延における制御の基本である圧延理論は、鉄鋼協会が圧延理論部会等と戦後活発に議論し、ますます発展している。以下では圧延に対する制御理論の動向について述べる。

制御理論は、古典制御理論から現代制御理論へと発展してきた。圧延の制御ではケースバイケースにより古典制御理論と現代制御理論とが使われ分けされているが、最近ではエレクトロニクスと進歩により現代制御理論を積極的に採用する傾向にある。

また、別の見方をすれば、従来のPID制御は基本的に圧延の制御に使われているが、これらのPIDゲインを圧延機や被圧延材の変化に応じて変更するものが古くより行われており、最近ではオートチューニング、セルフチューニングと呼ばれている。この技術を更に発展させたものとして、本格的な適応制御があるが、今後ますます進展すると思われる。

また、従来の「入力」出力系を主として取扱ってきたPID制御は、多入力多出力系へ発展し、相互干渉のある系を取扱う非干渉制御が圧延の制御で効果をあげている。この点も更に発展したものと多変数制御系があり、最近では圧延の制御に適用される傾向にある。

これとは別に人工知能の研究が古くからMIT他が研究機関で行われており、この分野で得られる知能工学は圧延の制御にも応用出来ると思われるので今後の発展が期待される。

圧延機の解析、シミュレーションでは従来の、任意の定常状態から別の定常状態への微小変化を解析する影響係数を求める研究が行われてきた。この場合には、加減速時や大きな変化のある場合には適用できないという欠点があったが、最近では大型計算機の進歩によりダイナミックシミュレーションの研究が進み、圧延機、被圧延材、駆動装置、圧延の制御を含めた加減速時や大きな変化のある場合にも、総合的に動特性が解析できるようになり圧延の制御に大きく寄与した。したがって、たとえばホットストリップミルやクニテムコールドミルの総合動特性が解析できるようになった。

以下では、圧延制御の動向についてホットストリップミルとクニテムコールドミルを例にとり、述べる。

5.1 ホットストリップミル

ホットストリップミルは昭和30年代から大形、高速ミルが建設された。マイルシヨック以降は特に(1)省エネルギー化(2)高品質化(3)技術の作り込みなどの面で進歩が著しい。

連続圧延や連続鋳造とホットストリップミルの連結化が実現しており、また加熱炉へのホットフィヤージも実現された。加熱炉の制御では、プロセス計算機、制御モデル等の進歩により、予熱帯、加熱帯、均熱帯の燃焼制御がきめ細かく実施できるようになり、省エネルギー化に貢献した。

連続鋳造とホットストリップミルの連結化で、大圧下板巾圧延機として、サイジングミルが実現しているが、この場合板巾制御技術は張力制御技術の向上と共に効果をあげている。またサイジングミルを使用しないで、ホットストリップミルの粗圧延機で大圧下板巾圧延を行う場合は、板巾制御技術は光学式や巾計などが開発され、巾制御が進展した。

スラブを粗圧延する場合には、従来の粗の2スタンドクニテム圧延ではドルピング制御が行われてきたが、フリーランション制御(無張力圧延、FTC)が開発され、この技術は粗の3スタンドクニテムでも効果をあげている。

ホットストリップミルの粗仕上げの省エネルギー化は、保温カバーによる方法、コイルボックス、Mスタンドなどが開発実用化された。コイルボックスはディレーター・ブルエカバーを一括差取り、巻戻す方法であり、Mスタンドは同じ位置にコイルボックスの代わりにMスタンドを設備する方法である。

Mスタンドと仕上圧延機間にはクランプシヤーがあり、フリーテンション制御が効果をおいている。尚、Mスタンドとコイルボックスの優劣は今後の課題である。いずれの方法も省エネ、品質向上に寄与している。

仕上圧延機では、板厚、板巾、枚数温度、クラウン、平坦度、張力などの計測と制御は、新型圧延機の採用と共に発展した。板厚AGCでは従来の電動圧下から油圧圧下への変更により、ロールギャップ位置制御系の応答を10倍以上あげられるようになった。これにはマイクロコンピュータの登場も寄与している。

板厚を圧延中に変更するいわゆる走間板厚変更制御は、油圧圧下板厚AGCの進歩と最適マスフロー制御の進歩、ループ-非干渉制御技術などの開発により実用化された。

また、高速フリー交換がマイコン等で実施できるようになり、ロール偏芯制御技術も著しく発展した。

仕上圧延機における板巾制御は、仕上圧延機のアクチビドエッジによるものや張力によるものなどがある。これらは一層の発展が期待される。

仕上圧延機の張力制御では、従来のループによる張力制御が行なわれていたが、圧延トルクと圧延荷重とから板張力を求め、主機電動機の速度制御により張力を制御する、いわゆるループ-レス張力制御が開発実用化された。また、ループ-ロールに荷重計と加速度計を設置して板張力を直接測定する技術が開発され、これを用いて板張力とループ-角度の干渉をなくするよう非干渉制御が実用化された。さらに現代制御理論をループ-に適用する研究も行なわれており発展が期待される。

板のクラウン、平坦度の制御の発展も新型圧延機や新ロールの採用と共に著しい。この場合、板プロフィールメータ、板平坦度計を用いたフィードバック制御が行なわれている。操作端としては、ロールパンディング、圧下レベルング、ロールスプレイ、ロールシフトなどの他に、VCRロールのようなロールプロフィールを油圧で変更するもの、CVCロールのように特殊形状ロールをシフトするもの、KWRなどの種々のものがある。

ランアウトテーブルの冷却制御も制御モデルの開発が進み、任意の冷却パターンと冷却速度が得られるような制御方法が開発され、枚数制御に寄与している。

5.2 コールドストリップミル

マイルショック以降の傾向として、タンデムコールドミルと酸洗、また質滑、焼鈍、調圧、精整などの連続化する技術が開発された。また大圧下率圧延や一層の高品質化が計られた。

連続化では、圧延中に鋼種、板厚、板巾を変更するいわゆる走間スケジューリング変更制御技術が、マイコンの進歩、プロセス計測機の進歩、圧延制御技術の進歩、油圧圧下等の進歩により発展した。

板厚AGCでは、油圧圧下を利用したミル剛性可変制御、板速度の測定にもとづくマスフロー-板厚制御、ロール偏芯制御などにより著しく進歩した。

板のクラウン、平坦度制御については、新型圧延機の採用、新型ロールの採用により、また板平坦度計の進歩により著しい進展を示した。

亦、大圧下率圧延はロール小径化等も含め今後ますます発展することが期待される。また従来以上の薄板の圧延も今後の発展が期待される。

(文献) 鉄と鋼、オク片(1985)第3号, Stall u Eisen 104 (1984) Nr. 20, 圧延理論全集30周年記念シンポジウム、圧延技術発展の歴史と最近の進歩, 560, 日本鉄鋼協会、板圧延の理論と実際、単行本、559年、高橋、鉄鋼業におけるL-サーの利用、鉄と鋼オク片、(1985)、第14号、吉谷、システムと制御 Vol 25, NO. 10, 1981, 鉄鋼生産技術と計測制御技術発展、赤崎、鉄鋼、野口、最新の熱間圧延プロセス制御システム、564年電気学会誌他。