
計測・制御研究 10 年の歩み

Recent Activities in Research of Measurement and Control

虎尾 彰(Akira Torao) 浅野 一哉(Kazuya Asano) 高田 一(Hajime Takada)

要旨：

高品質で均質な製品を能率良く安定的に製造するために、計測・制御技術の果たす役割は近年、一層重要になりつつある。この要求を満たすために光や超音波を応用した計測技術や装置の開発、現代制御理論を利用した制御システムなどが開発されて実プロセスへ適用されてきた。本報告では、この 10 年における研究活動の事例について主として以下の具体例を紹介する。(1) 光応用計測：冷間圧延鋼板表面粗さ計測、ステンレス鋼板光沢度・白色度計測、冷間圧延鋼板塗油量計測、(2) 超音波応用計測：電磁鋼板結晶方位計測、内部介在物検出、(3) 寸法・位置計測：圧延ロールプロフィール計測、エンドレス圧延接合部トラッキングセンサ、(4) 制御理論応用：CC モールドレベル制御、熱間圧延仕上ミル張力・ルーパー制御、(5) ニューラルネットワーク応用：スラブ・厚鋼板文字認識、ステンレス鋼板光沢等級判別。

Synopsis：

On-line measurement and process control have recently become increasingly important to keep stable and effective production of high quality and homogeneous products. To satisfy these strong needs, optical or ultrasonic measuring instruments and control systems using advanced control theories have been developed and applied to actual steel production processes. In this paper, research activities performed at the Mechanical Processing, Instrumentation and Control Laboratory in the last ten years are described. Representative examples shown here are as follows: (1) Optical measurement: (a) Surface roughness measurement for cold rolled steel strips, (b) Glossiness and whiteness measurement for cold rolled stainless steel strips, (c) Oil film thickness measurement for cold rolled steel strips by using a laser fluorescence method, (2) Ultrasonic measurement: (a) Nondestructive orientation measurement for secondary recrystallized grains in the grain-oriented electrical steel by ultrasonic interferometry, (b) Immersion testing method for the detection of nonmetallic inclusions, (3) Dimension/position measurement: (a) Work roll profile meter for the rolling mills, (b) Detecting system of joints in endless hot rolled strips, (4) Control technology: (a) Molten steel level control for continuous casting, (b) Decentralized tension-looper control for hot strip mills, (5) Neural network: (a) Character recognition for identification codes on

slabs and plates, (b) Evaluation method for surface glossiness of stainless steel strips.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Recent Activities in Research of Measurement and Control

虎尾 彰
Akira Torao技術研究所 加工・制
御研究部門 主任研究
員(課長)・工博浅野 一哉
Kazuya Asano技術研究所 加工・制
御研究部門 主任研究
員(課長)高田 一
Hajime Takada技術研究所 加工・制
御研究部門 主任研究
員(課長)

要旨

高品質で均質な製品を能率良く安定的に製造するために、計測・制御技術の果たす役割は近年、一層重要になりつつある。この要求を満たすために光や超音波を応用した計測技術や装置の開発、現代制御理論を利用した制御システムなどが開発されて実プロセスへ適用されてきた。本報告では、この 10 年における研究活動の事例について主として以下の具体例を紹介する。(1) 光応用計測：冷間圧延鋼板表面粗さ計測、ステンレス鋼板光沢度・白色度計測、冷間圧延鋼板塗油量計測、(2) 超音波応用計測：電磁鋼板結晶方位計測、内部欠陥物検出、(3) 寸法・位置計測：圧延ロールプロファイル計測、エンドレス圧延接合部トラッキングセンサ、(4) 制御理論応用：CC モールドレベル制御、熱間圧延仕ミル張力・ループ制御、(5) ニューラルネットワーク応用：スラブ・厚鋼板文字認識、ステンレス鋼板光沢等級判別。

Synopsis:

On-line measurement and process control have recently become increasingly important to keep stable and effective production of high quality and homogeneous products. To satisfy these strong needs, optical or ultrasonic measuring instruments and control systems using advanced control theories have been developed and applied to actual steel production processes. In this paper, research activities performed at the Mechanical Processing, Instrumentation and Control Laboratory in the last ten years are described. Representative examples shown here are as follows: (1) Optical measurement: (a) Surface roughness measurement for cold rolled steel strips, (b) Glossiness and whiteness measurement for cold rolled stainless steel strips, (c) Oil film thickness measurement for cold rolled steel strips by using a laser fluorescence method, (2) Ultrasonic measurement: (a) Nondestructive orientation measurement for secondary recrystallized grains in the grain-oriented electrical steel by ultrasonic interferometry, (b) Immersion testing method for the detection of nonmetallic inclusions, (3) Dimension/position measurement: (a) Work roll profile meter for the rolling mills, (b) Detecting system of joints in endless hot rolled strips, (4) Control technology: (a) Molten steel level control for continuous casting, (b) Decentralized tension-looper control for hot strip mills, (5) Neural network: (a) Character recognition for identification codes on slabs and plates, (b) Evaluation method for surface glossiness of stainless steel strips.

1 緒 言

高品質で均質な製品を能率良く安定的に製造するために、計測・制御技術の果たす役割は近年、一層高まりつつある。このことは、種々の製品の肉材質や外面特性、寸法精度などの品質に対するユーザ側の要求がより厳しくなるのに加えて、メーカー側において自動計測とプロセス制御による製造ラインの高速化、品質向上を期待しているからである。また、大型設備における自動化安定操業のためにも実用的な計測・制御技術の開発が望まれている。

加工・制御研究部門では以上のような背景、要求に対処するために主として光および超音波を利用した品質計測装置の開発、現代制

御理論に基づくプロセス制御システムの開発に注力して実用化を進めてきた。本論文では具体的な事例を引用してこの 10 年間における研究開発の流れを概括する。

2 開発環境の概要と技術的潮流

薄鋼板を中心とする高付加価値製品の生産比率増大、熱間圧延、連続焼鈍、ステンレス鋼製造ラインなどの大型設備の新設の流れに呼応して、製品の肉材質、表面品質をオンラインで連続測定するニーズや設備の安定稼働、品質向上のためのプロセス制御システムの性能高度化のニーズが高まり、新たな計測・制御技術および装置開発がこの 10 年間に多く実施されてきた。一方ではレーザ機器、画像素子や超音波送受信素子などの高性能化かつ安価化、信号や画像処理用計算機の高速度、小型化などハードウェアの格段の進歩にも

*平成10年10月29日原稿受付

Item		Year										
		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Technological trend in the field of measurement and control ¹⁾		Application of ultrasonic array probe Application of neural network Application of robust control High frequency ultrasonic phased array Application of CCD-based surface inspection Application of time-frequency domain analysis Fast digital signal processing of ultrasound Application of LD-YAG laser to a measuring apparatus (* means trends continue on and after shown period)										
		Chiba 3 CAL Mizushima electrical steel production line Chiba 4CAL Mizushima 3BF (relined) Chiba cold rolled stainless production line Mizushima 2CAL Chiba No. 2 CGL Mizushima No. 2 EGL Chiba 4CC Mizushima 4CC Chiba 3HOT Chiba steel making shop Chiba No. 1 pickling line Endless hot rolling (3HOT) Chiba 6BF (relined)										
Examples of developed technologies	Measurement	Still vision system for a rotating laser textured dull roll Fingerprint detector using laser fluorescence On-line roll profile meter for rolling mill 4CAL surface roughness meter Ultrasound C-scan system Glossiness and whiteness meter for stainless steel Orientation measuring system for grain-oriented electrical steel Evaluation apparatus of surface properties for stainless steel Non-metallic inclusion detection technique using ultrasonic probe array Automatic surface inspection using linear array camera 3CAL on-line oil film thickness meter Portable oil film thickness meter Joint point detector for endless rolling										
	Control	Chiba 1CC mold level control Chiba 3CC mold level control Chiba 4CC mold level control Chiba 3HOT gauge, width tension and temperature control Mizushima 4CC mold level control										
	N/N application	Character recognition system for slab identification codes Surface grade evaluation system for stainless steel sheets Character recognition system for plate identification codes										

Fig. 1 Technological trend in the field of measurement and control, and developed results

支えられて、より高性能な機能を実現できる周辺環境が一層整いつつある。さらに、制御理論やニューラルネットワーク、複合化・融合化計測をはじめとするセンサーフュージョン技術などの基礎技術を実システムに適用しようとする機運も高まるとともに、制御ロジックの設計、解析のためのシミュレーションソフトも充実して制御システム実用化のための強力なツールとして活用されてきた。以上述べたように、ハードウェアとソフトウェアの両面におけるシーズ技術の急速な進歩により後押しされる形で計測・制御の新技术開発が進められてきたのがこの 10 年間の顕著な特徴であると言える。また、オンライン測定時には以下に示すような条件下での測定が要求される。

- (1) 高温で水蒸気やオイルミストなどが飛散する悪環境下での測定
- (2) 組成や製造条件の違いにより生じる製品特性変動が計測対象量のバックグラウンドノイズとなる条件下での測定
- (3) 鋼板が高速走行している短時間内での高精度な測定

したがって、これらの要求を満たし、良好な測定性能を実現するためには、一種の知能化技術を適用することも近年の傾向である²⁾。

一方、制御技術開発においては高度な制御理論の実プロセスへの適用を指向することが一つの大きな潮流でもある。

以上に述べたこの 10 年間に見られた大きな流れの中から具体的に生み出されてきた計測・制御技術の実用化例を選択して、それらの概略を示す。Fig. 1 には 10 年間の技術の流れ、主な新規稼働設備の状況と技術開発の状況をまとめて示す。

3 開発技術の例

3.1 計測技術

加工・制御研究部門においては特に鋼板表面の品質・性状と内材質(含む疵検出)の計測手法と装置開発に注力してきた。前者は光を利用する方法が中心であり、後者は主として超音波を利用する場合が多い。その他の事例として超音波や信号処理技術を用いた寸

法・位置計測の実施例がある。以下にそれらの具体例を示す。

3.1.1 光応用表面性状計測技術

光の基本特性は多様であり、測定対象鋼板に応じて種々の性質が利用可能である³⁾。表面品質や性状を測定する場合には光の反射・吸収、回折、散乱、偏光、蛍光、放射などの量を特定の光学条件において測定し、その測定量の演算結果と他の破壊試験や分析により得られる真の値との関係を用いて測定対象量を間接的に推定する方法がとられる場合が多い。実際の測定ではオンラインでの測定を念頭にしているために、鋼板固有の背景ノイズ(反射率変動など)や設置環境からのノイズ(鋼板のばたつき、温度変動、水蒸気やオイルミストなどの飛散)に影響を受けにくいロバスト性が要求される。このため、複数の測定条件、たとえば、受光角度や測定波長などを变化させた測定を同時に行うことで得られる情報量を増やし、それらの結果を統合、融合処理することで測定範囲の拡大、測定感度や精度を向上させる試みがなされている。これらの手法を表面性状計測に適用した具体例を Table 1 に示す。

はじめに、冷間圧延鋼板の粗さ測定装置の例について説明する。調質圧延時に圧延ロールにより転写されて付与される鋼板の表面粗さは鋼板の使用用途、ユーザに応じて適切に管理される必要がある。しかし、圧延速度や圧下力などの操業条件変化、ロール表面の摩耗などにより表面粗さは 1 コイル内での変動に加えて、たとえば、1 ロール当たりの圧延距離にして数百 km のスパンで経時変化する。そのために、オンラインで連続的に測定して鋼板全長にわたる粗さを管理する目的から本測定装置を開発した。基本原理としては鋼板からの光の正反射光強度と表面テクスチャとがある一様の関係となる光学条件下において反射光強度値から鋼板の平均粗さ Ra (μm) を推定するものである。具体的には波長 $0.78 \mu m$ の半導体レーザと波長 $3.39 \mu m$ の He-Ne レーザとを使用し、粗さ測定範囲に応じてレーザを使い分けることにより、単一波長を用いる場合よりも測定範囲の拡大、測定精度の向上を実現している。受光素子としては鋼板走行時の板の傾斜やハスライン変動による誤差低減のために 32 素子のアレイを使用している。本装置は連続焼鈍ラインに設置されており、オンライン測定では触針式粗さ計による測定値と比較して、

Table 1 Techniques to achieve efficient measurements of surface properties

Classification	Techniques	Measured items	Ref.
Expansion of measuring range	Selection of optimal wavelength, incident and refractive angle	Roughness	3)
	Expansion of spectral range	Color difference Cleanliness	
Integration of plural information	Combined use of common optics	Glossiness Whiteness	5)
Fusion of plural conditions	Optimization of detecting conditions according to defect features	Defect	6)
Processing	Extraction of defect features by image processing	Defect type Classification Texture Pattern	
	Sensory inspection, substitution of visual examination	Defect grade Classification Examination marks	
Improvement of measuring accuracy by compensation	Compensation of the change in refractive index of substrate	Oxide thin film thickness Oil film thickness	8)
	Compensation by simultaneous measurement of emissivity	Temperature	

Ra が $0.2 \sim 1.2 \mu\text{m}$ の広い範囲にて約 $\pm 10\%$ 以下の誤差内で一致する測定精度を得た。本装置は圧延ロール管理や粗さ制御への活用が可能である^{3,4)}。

また、反射測定の別の応用としてステンレス鋼板の光沢度・白色度測定装置が開発されている⁵⁾。水銀ランプの基線の一つの波長を照射し、その反射光の正反射強度と拡散反射光強度を同時に受光してそれぞれの値から光沢度と白色度を測定するものである。この場合にも反射の空間的広がり測定するためと鋼板の傾斜、パスライン変動に起因する誤差低減のためにアレイ素子を使用している。さらに Ar レーザの反射光強度も同時受光することでより微細な表面凹凸情報も検出し、合わせて3つの情報から3.3項に述べる手法により目視判定に近い等級判別を実現している。

この他、表面の凹凸に関係する情報を測定する例としては、鋼板の鮮映性を高めたレーザダゲル鋼板製造用ダゲル加工ロールの表面微細パターンを静止画像計測するための装置⁶⁾、防眩性を持たせるために表面に凹凸を付与した建材用ダゲルステンレス鋼板の表面反射特性を計測するための装置も開発されている⁷⁾。これらの例は用途が多様化したために鋼板表面に新たに付与された機能を管理する特殊目的のための計測技術であるが、測定原理的には拡張性を有しており、他のプロセスや製品への応用も可能である。

次に、蛍光測定を応用した鋼板表面の塗油量測定装置の例を示す。調質圧延後に塗布される防錆油の量を適切に管理するために塗油量を鋼板全長にわたり連続的に測定する必要がある。そこで、防錆油が特定波長の励起光を照射した際に蛍光を発する特性を利用した装置を開発した。励起光源としては Ar レーザまたは LD-YAG レーザを使用し、油からの蛍光を分光素子などを用いて最適な波長のみ取り出して受光する。要求される塗油量測定範囲においては、受光

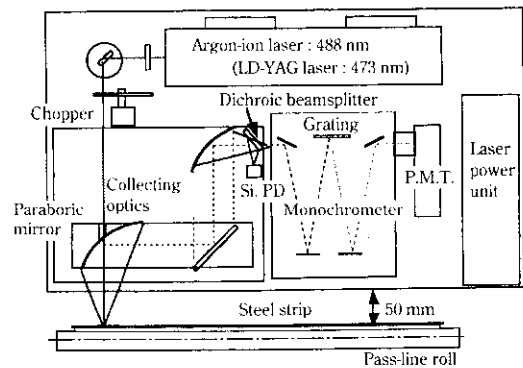


Fig. 2 Schematic diagram of the detecting head of the oil film thickness meter

蛍光強度が塗油量に比例する関係を利用するものである。ただし、下地鋼板の表面粗さや反射率などが変化すると励起光の反射状態が変化して検出される蛍光強度に影響を及ぼし、塗油量測定誤差となるために、励起光の反射光強度を常時測定して補正する機能を付加している。Fig. 2 に測定装置検出ヘッド部の構成を示す⁸⁾。本装置は連続焼鈍ラインに設置されて塗油量管理の高度化に寄与している⁹⁾。さらに、同様の測定原理を用い、励起光源として紫外波長を発する N₂ レーザを使用した、小型で短時間（1点、数秒）測定が可能な卓上型オフライン測定用塗油量計も開発されている¹⁰⁾。以上、光応用表面性状計測の具体例を示したが、今後も表面に対する要求は厳しくなる傾向があり、さらなる開発が期待される。

3.1.2 超音波応用計測技術

超音波は物体内部を伝播可能であるため、内部材質の測定、非金属介在物などの内部欠陥検出に用いられている。超音波計測では、音響インピーダンスの違いによる超音波の反射または伝播の乱れ、伝播速度、減衰、散乱などを測定対象に応じて測定する。超音波計測法には水浸法と呼ばれる、被検材を水に浸漬して超音波測定を行う方法がある。この方法では、被検材への超音波の入射強度を一定に維持することが容易なことから、水浸法を用いた超音波計測法を中心に開発を進めてきた。この具体例を以下に述べる。

まず、方向性電磁鋼板の結晶方位を測定する装置について説明する¹¹⁾。方向性電磁鋼板は主に変圧器のコア材に使用され、2次再結晶粒の結晶方位は GOSS 方位に揃えられている。方向性電磁鋼板の磁気特性は、2次再結晶粒の GOSS 方位からのずれによって劣化するため、品質保証のうえで、2次再結晶粒の方位をオンライン計測する必要がある。この装置は、2次再結晶粒が単結晶に近く、結晶の方位によって超音波の伝播速度が異なることを利用し、結晶方位の測定を行う。対象の鋼板が板厚 0.2 mm と薄いため、伝播時間測定にはならず、鋼板内での超音波の多重反射波の干渉を利用する方法を考案した。測定装置の構成を Fig. 3 に示す。送信超音波を正弦波が $20 \sim 40$ サイクル連なったバースト波とし、鋼板内の多重反射波の振幅を観測する。この多重反射波の振幅は超音波伝播速度の相違による波長の違いによって、GOSS 方位を向いた結晶粒と GOSS 方位からずれた結晶粒との間で異なるため、これを利用して方位の計測が可能である。この測定装置は、電磁鋼板工場に設置され、方向性電磁鋼板の品質保証に役立てられている。また、上記原理を利用し、実験室でサンプル板の2次再結晶粒の成長を観測する装置も開発されている¹²⁾。

次に、鋼板の中の非金属介在物などの内部欠陥の検出装置の例を示す。従来、鋼板の内部欠陥の検出には、板波探傷、C スキャン超

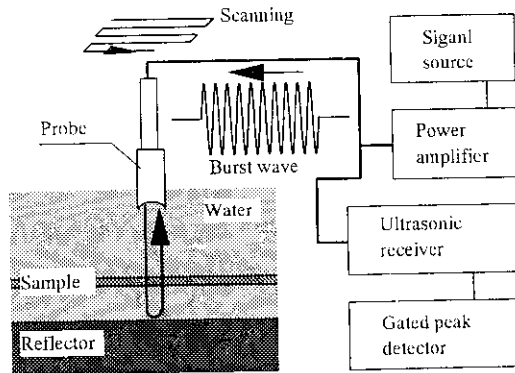


Fig. 3 Block diagram of the measurement system

音波探傷¹³⁾などの方法が用いられてきたが、前者は欠陥検出能が低いという欠点、後者は超音波プローブを2次元走査するため、検査時間がかかるという欠点を有していた。これらの欠点を克服するために、振動子アレイを用い、電子走査を組み合わせ、 $\phi 50\mu\text{m}$ 以上の介在物欠陥を短い検査時間で検出可能な装置を開発した¹⁴⁾。この装置の特徴はアレイ型送信プローブとアレイ型受信プローブを銅板を挟んで対向させ、内部欠陥および銅板の表面または裏面で各1回反射した欠陥反射波をアレイ型受信プローブによってとらえる点にあり、従来の反射法と透過法を組み合わせた構成としている。この装置は、現在は、サンプル板のオフライン探傷装置として用いられているが、オンライン探傷適用への高い可能性を有している。

3.1.3 その他の計測技術

寸法、位置計測の例として以下の2つの開発事例を示す。

ワークロールプロフィールをオンライン測定するセンサの開発を熱間圧延および冷間圧延ミルで行った。熱、振動、冷却水などのある悪環境下で $10\mu\text{m}$ という要求測定精度を確保するため、リアルタイム温度補償可能な水柱式超音波距離計、およびワイヤ基準によるセンサ架台の熱変形補正方式を開発し、その効果を実証した¹⁵⁾。

また、千葉製鉄所第3熱間圧延工場に新規導入された接合工程において仕上げ圧延後の接合位置を測定してトラッキングの高精度化を図るためのセンサを開発した。方式としては仕上げ圧延機に既設の圧延荷重計の出力波形を線形位相フィルタ処理することで接合部が圧延機内を通過する際の微小な荷重変動を検出して通過タイミングを測定するものである。実際の接合圧延時でも見逃すことなく検出しておりシャークカットタイミングの適正化に有効である¹⁶⁾。

3.2 制御技術

1960年代以降、オブザーバ、最適制御をはじめとする現代制御理論、 H_∞ 制御に代表されるロバスト制御など、さまざまな制御理論が提唱されてきた。これらは、鉄鋼プロセス制御にも数多く適用され、効果を挙げているものもある。反面、構造の複雑さから現場の制御系では十分使いこなせず、その潜在的な性能が引き出せていない場合もある。

加工・制御研究部門では、現場の制御系に適した制御方法の開発に重点を置き、いくつかの実機適用を行っている。

現場に適した制御系が満たすべき要件として、以下が考えられる。

- (1) 既設制御系から連続的に移行できる。
- (2) 制御構造が簡単であり、物理的な解釈がしやすい。
- (3) コントローラがモジュール化されており、段階的に立ち上げることができる。

これらを念頭に置いて開発した制御系の例を以下に述べる。

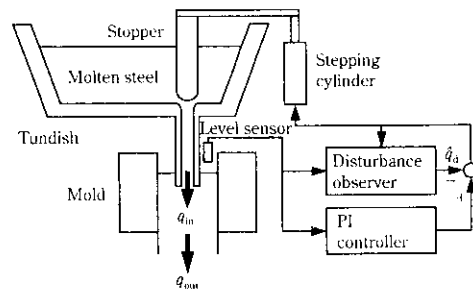


Fig. 4 Schematic diagram of the developed molten steel level control system for continuous casting

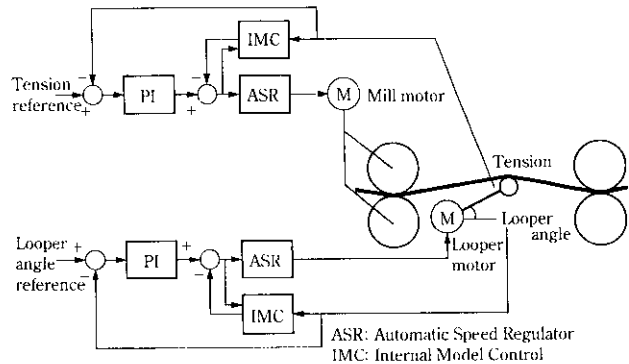


Fig. 5 Schematic diagram of the developed decentralized tension-looper controller

連続 casting におけるモールド内の湯面レベル制御は、制御対象のゲインやむだ時間が変化する上に、非定常バルジングや浸漬ノズル内の付着物の剥離などの大きな外乱が加わるため、安定な制御が難しく、従来からさまざまな制御方法が試みられてきた。しかしながら、ノズル内の付着物の剥離による突発的な外乱に対する有効な制御方法は見出されておらず、その解決が強く求められていた。

開発した方法¹⁷⁾は、このような突発的な外乱によってモールドに流入あるいは流出する溶鋼流量をオブザーバで推定し、それを打ち消すような操作をスライディング・ノズルなどの流量調整アクチュエータに加えることにより、外乱の影響が湯面変動として顕在化する前に対処可能としたものである。制御系の概要を Fig. 4 に示す。外乱オブザーバは、プラントの逆モデルと、低域通過フィルタから構成されており、その出力 $\hat{q}_d$ は外乱によりモールドに流入する流量 q_m と流出する流量 q_{out} の和 q_0 の推定値である。これを PI 制御器の出力に加算することによって、外乱による流量変動 q_d を相殺することができ、外乱抑制効果を非常に高めることができる。

本制御方法は、外乱を可視化し、それを打ち消すような操作を加えるという直感的に理解しやすい構造を持っており、現場への適用がしやすく、複数の連続 casting 機で実用化されている。

熱間圧延仕上げミル張力・ルーバ制御においても、同様の構造を用いている。同制御系は、圧延ロール速度とルーバ角速度によって、張力とルーバ角度を制御する2入力2出力系である。従来は、張力系とルーバ系の間の干渉が問題とされ、非干渉制御や最適制御などの多変数制御系が適用されてきた。しかし、構造化特異値を用いた干渉指数で評価した結果によれば、上記の干渉は十分小さく、張力系とルーバ系の制御系を独立させた分散制御の適用が可能である¹⁸⁾。開発した制御系¹⁹⁾は、Fig. 5 に示すように、PI 制御系を基本とし、外乱オブザーバと類似の構造を持つ IMC (Internal Model Control) を付加することにより外乱抑制能力を高めている。さらに、

ルーバ系のインピーダンス制御により、ルーバを協調させる機能も付加できる¹⁹⁾。

本制御系は、張力系とルーバ系にまたがる制御要素を廃し、各制御系を独立したモジュールとして構成しているために調整がしやすく、千葉製鉄所第3熱間圧延工場で実用化されている。

制御理論は、さまざまな制御系設計手法をもたらしたが、その調整方法や、設計の前提となる制御系の構造の選択に関してはあまり関心が払われてこなかった。ここで述べた制御系は、実用性を重視した制御系として、調整のしやすい構造をとることによって制御系の持つ能力を最大限に引き出すことを可能としたものであり、上記に対する一つの解答と位置付けられる。

3.3 ニューラルネットワーク技術

入力と出力の間の関係をサンプルデータから推定する手段としてニューラルネットワーク (NN) があり、パターンの認識やクラスタリングなどに有効である。最もよく使われているのが、階層型 NN を誤差逆伝搬法によって学習させるもので、加工・制御研究部門でも連続鋳造スラブや厚鋼板に印字された文字の読み取りに適用した^{19, 20)}。この NN では、入出力関係は各層のユニット間の結合係数で表現され、学習の進行によってそれらが変化するが、それを解析したり制御したりするのは難しい。そのため、学習終了を判別しにくく、不適切な入出力関係が形成されることがある。ステンレス鋼板の光沢度判別装置²⁰⁾では、LVQ (learning vector quantization) と

いう NN を用いている。LVQ は、代表的な入出力データ (プロトタイプ) の集合によって入出力関係を表すものであり、上記のような問題が生じない。鋼板表面からの Ar レーザ、水銀ランプの反射強度を入力とし、目視等級を出力として、サンプル板のデータによって学習させ、近似的な入出力関係を得る²⁰⁾。これによって、オペレータとほぼ同等の判別精度が得られており、オンライン測定装置として品質保証に寄与している。

4 結 言

この10年を振り返り、加工・制御研究部門において実施されてきた計測・制御技術の研究、開発状況を概括してきた。厳しい品質要求を満たしつつ高速、連続化していく製造プロセスにおいて高効率に製品を安定製造するためには今後とも計測・制御の果たす役割は大きいと言える。21世紀に向けて労働人口の減少にともない設備の自動化、検査工程の高度、効率化の要求は高まることが予想される。また、環境に配慮するとともに設備そのものの長寿命化も必要とされる。そのためのプロセス状態監視センサ、設備診断技術の開発、各プロセス間の横断的な制御システムの構築などが望まれている。さらに、鉄鋼需要における量から質への要求はさらに強まり、付加価値の高い新製品に対する材質計測の必要性も高まることが予想される。こうしたニーズに対応するべく新たな計測・制御技術の開発、実用化に取り組んでいきたい。

参 考 文 献

- 1) 虎尾 彰, 柳本隆之, 内田洋之, 守屋 進, 市川文彦, 鑓田征雄: 「産業用センシングシステムにおける知能化技術」, 電気学会電子・情報・システム部門大会, A-2-5(1995), 51
- 2) 虎尾 彰, 柳本隆之, 内田洋之, 市川文彦, 片岡健二: 川崎製鉄技報, **21**(1989) 3, 255
- 3) 内田洋之, 守屋 進, 市川文彦, 三宅秀和, 八角忠明: 「冷延鋼板用オンライン粗さ計の開発」, 第32回計測自動制御学会学術講演会, 104A-5(1993), 167
- 4) 川口吉郎, 武藤振一郎, 芹生浩之, 虎尾 彰, 内田洋之: 材料とプロセス, **9**(1996)5, 1341
- 5) 守屋 進, 館野純一, 虎尾 彰, 市川文彦: 「オンラインステンレス鋼板光沢測定装置の開発」, 第32回計測自動制御学会学術講演会, 104A-4(1993), 165
- 6) 虎尾 彰, 内田洋之, 市川文彦, 和久井庸吉: 「レーザダルト加工ロール表面の微細凹凸パターン計測装置」, 第28回計測自動制御学会学術講演会, JS52-3(1989), 529
- 7) 虎尾 彰, 市川文彦, 栗山則行, 守屋 進: 「ステンレス鋼板表面性状の光学的測定装置の開発」, 第35回計測自動制御学会学術講演会, 112C-1(1996), 359
- 8) 柳本隆之, 虎尾 彰, 鑓田征雄, 伊理正人, 高崎順介, 佐々木洋明, 牧勇之輔: 計測自動制御学会: 「レーザ誘起蛍光法による冷延鋼板用オンライン塗油量計の実用化」, 計測自動制御学会第13回センシングフォーラム, 4-5(1996), 97
- 9) 伊理正人, 高崎順介, 佐々木洋明, 牧勇之輔, 柳本隆之, 虎尾 彰: 材料とプロセス, **9**(1996), 5, 1013
- 10) 虎尾 彰, 川崎洋生, 鑓田征雄, 山下陽俊, 八角忠明, 池田忠彦: 「オフライン測定用卓上型鋼板塗油量計の開発」, 計測自動制御学会第14回センシングフォーラム, 4-3(1997), 113
- 11) 高田 一, 浅野一哉, 市川文彦, 三宅俊英, 川原真博, 山下英明: 材料とプロセス, **10**(1997)2, 290
- 12) 高田 一, 市川文彦, 定広健一: 材料とプロセス, **9**(1996)2, 283
- 13) 高田 一, 市川文彦, 岡本康司, 緒方貴玄: 川崎製鉄技報, **14**(1992)1, 52
- 14) 高田 一, 虎尾 彰, 鑓田征雄, 市川文彦, 白石利明: 「リニアアレイプローブを用いた2探水浸法による鋼板の内部介在物の検出方法の基礎開発」, (社)日本非破壊検査協会平成9年春季大会講演要集(1997), 225
- 15) 奥野 眞, 市川文彦, 石川 孝, 武智敏貞: 「超音波を用いた熱延ワークロールプロフィールのオンライン測定」, 第30回計測自動制御学会学術講演会, JS72-2(1991), 743
- 16) 児玉俊文, 虎尾 彰, 鑓田征雄, 植田 潔, 山崎孝博, 市井康雄: 「線形位相フィルタ処理を用いた連続熱間圧延鋼帯の接合点計測」, 第37回計測自動制御学会学術講演会, 110E-5(1998), 227
- 17) 浅野一哉, 加地孝行, 青木秀夫, 茨本通雄, 森脇三郎: 「外乱オブザーバを用いた連铸モールド内溶鋼レベル制御」, 計測自動制御学会論文集, **30**(1994)7, 836-844
- 18) 浅野一哉, 山本和宏, 市井康雄, 野村信彰: 計測自動制御学会論文集, **35**(1999)1, 113-121
- 19) 浅野一哉, 館野純一, 丸山 智, 新井和夫, 茨本通雄, 柴田 勝: 川崎製鉄技報, **23**(1991)3, 253-260
- 20) 館野純一, 丸山 智, 浅野一哉, 市川文彦, 高橋 暢, 栗本雅充: 「高速画像処理を用いた厚鋼板板番文字認識装置」, 第36回自動制御連合講演会, (1993), 377-378
- 21) 館野純一, 浅野一哉, 守屋 進, 市川文彦, 塩田 隆: 「鋼板の光沢度評価へのニューラルネットワークの適用」, 計測自動制御学会論文集, **33**(1997)8, 759-765