

Recent Applications of Optical Measurement Techniques to Steel Industry Processes



虎尾 彰
Akira Torao

技術研究本部 計測・物
性研究センター 主任
研究員(掛長)



柳本 隆之
Takayuki Yanaginimoto

技術研究本部 計測・物
性研究センター



内田 洋之
Hiroyuki Uchida

技術研究本部 計測・物
性研究センター



市川 文彦
Fumihiko Ichikawa

技術研究本部 計測・物
性研究センター 主任
研究員(課長)



片岡 健二
Kenji Kataoka

技術研究本部 計測・物
性研究センター長(部
長)

1 緒 言

鉄鋼業では、高品質で均質な製品を安定して製造する必要性が高いので、各プロセスでの製品品質や寸法量のオンライン測定技術や、高速、連続プロセスでの安定操業確保のために必要となるプロセス状態量の観測技術および設備診断技術などの開発が積極的に行われている。一方では、レーザー技術、検出素子や画像処理などの電子化技術が近年充実してきており、これらを用いた光応用計測手法や機器の鉄鋼プロセスへの適用例が増加しつつある。

本論文では光応用計測技術の特徴と、当社技術研究本部で研究開発された技術の鉄鋼プロセスへの最近の応用事例を中心に、現状と今後の方向について概要を報告する。

要旨

高品質で均質な鉄鋼製品の安定製造のために品質、寸法量やプロセス状態量などのオンライン測定技術開発の必要性が近年高まりつつある。この要求を満たすため、光を応用した計測技術開発が積極的に行われているが、これは最近のハードウェア技術の充実傾向を反映したもので、光計測の非接触、高速性などの利点が有効に活用されている。

例えば、三角測量法を用いた耐火物レンガ残厚計や表面の反射特性、画像情報などを利用した冷延鋼板やレーザーダマ加工を施したロールの表面性状測定装置などの開発例がある。いずれも耐環境性、高速性、高精度化などを考慮している点の特徴である。本報告では、これら事例の詳細と今後の動向について記述した。

Synopsis:

On-line measurement of quality and dimensions of products and the condition of processes has recently become very important to keep stable production of high quality and homogeneous products. This tendency is also applicable to the steel industry. To satisfy these strong needs, optical measurement technologies and instruments have been developed because of their advantages such as non-contact, high-response and high-sensitive measurements. Recent advances of hard-ware technologies have also contributed to development of new instruments.

Recent examples are dimensional measurement using optical cross sectional method and surface property measurement of steel sheets or rolls for which surface reflective characteristics and image information are utilized. In order to develop these kinds of instruments, durability against adverse environment, countermeasures to realize high response, resolution and precision measurement are taken into consideration.

In this paper, the actual state of optical measurement technologies and also future trends are described.

2 光応用計測技術の特徴

2.1 基礎技術

光学と計測とのかかわり合いが、長い歴史を有しかつ非常に密接であることは、20世紀前半までの物理光学の進歩の歴史を概括すれば明らかである¹⁾。20世紀後半に入りレーザー光の出現以後は、とくに工学の一分野としての光利用の傾向が強くなるが、光計測の観点から利用される原理原則は従来から大きな変化はなく、後述するハードウェア技術の急速な進歩から、実用に供される機会が増えてきているのが実状であると言える。しかし、光計測に応用され得る

* 平成元年3月9日原稿受付

光の基本的な性質は多様であり、今後とも実験室的な使用にとどまらず広く生産現場での実用化へ移行する応用例も増加することが期待される。すなわち、非接触、高感度、高速度計測への要請に対して、光応用計測技術は十分に応え得る要素を備えているからである。以下に、基本的な原理、性質と鉄鋼業での代表的な応用例について示す^{2,3)}。

干渉： 鋼板表面凹凸形状の三次元計測

反射・吸収： 鋼板表面の薄膜厚さ、粗さ、光沢の測定

回折・散乱： 冷延鋼板表面疵検査、微粉粒径分布計測

偏光： ムッキ鋼板上酸化膜・塗油膜などの膜厚、屈折率測定

直線性： 光切断法、モアレ法などによる寸法・形状測定

分光： 色差測定、ガス濃度・燃焼温度の測定

2.2 ハードウェア技術⁴⁾

光応用計測の機能面からの特徴として、(1) 高感度、(2) 高分解能、(3) 空間並列性、(4) 非接触、(5) 非破壊、無反作用性などがあげられる。したがって、鉄鋼プロセスにおいて高精度測定を行う場合には非常に有効な手段となり得る。実用化の手段としては2.1に述べた基本原理を利用し、Table 1に示す機器などを用いてハードウェアを構成することになる。これらの機器は、計測機器、通信機器、計算機利用技術などの実用化とともに進展してき

Table 1 Component devices for optical measurement system

Item	Device
Light source	W lamp
	Laser (He-Ne, Ar, semiconductor etc.)
	LED
	Xe-flash lamp
Light guide	Optical fiber
	Image guide
Detector	Photo diode
	Photo diode array
	ITV camera
	Photo multitube
	CCD camera
	Shutter camera
	Position sensitive detector
Interface	Optical GP-IB
	Optical field bus
Optics	Line scanner
	Polygon mirror
	Modulator
	Integrating sphere
	SELFOG lens
Processing	Image memory
	Micro-computer
	Display
	Video hard copy
Supporting technique	High accuracy positioning
	Auto focusing
	Image processing
	Pattern recognition

たものであるが、個々の特徴を有効に活用することによって、光計測の手段として、より効果や機能を増すことができる。この中で、レーザー光源については、安価で長寿命化が図られ、かつ取扱いも容易になってきていること、画像メモリやマイクロプロセッサの普及により、画像処理機能を有する機器の構成が容易になってきていることなどが近年の特徴であり、小型で信頼性の高いシステムの実現に寄与している。

3 鉄鋼プロセスでの測定対象

3.1 計測の目的

鉄鋼プロセスでの測定対象としては、大別して、製造プロセスと製品に分けられる。このうち、前者については、近年の高速化、連続化、自動化指向を背景に、安定操業、プロセス制御、設備診断などを目的に計測が行われる。また、新プロセスの開発に対応したプロセスの解明のための計測もこの分野に含まれる。一方、後者の製品に関しては複合化、高付加価値化、高級化の傾向に呼応して、品質保証や歩留まり向上、さらには作業負担低減のための寸法量や表面特性の測定、疵などの外観を対象とした検査が行われている。プロセスを対象とした場合でもそのプロセスでの製品または半製品の品質に直接かわるので、いずれの場合についても、安定して良品の製品生産に寄与することと、操業状態の迅速な把握と有効な情報をフィードバックすることが計測の目的であると言える。

3.2 鉄鋼プロセスの特徴と対応技術

鉄鋼プロセスへ計測機器を導入、設置し、実用化してゆく際には、各工程特有の障害や問題点が生じるが、それらのうち一般的な項目を以下に示す。

(1) 悪環境下での計測

鉄鋼プロセス特有の問題として常に対策を必要とする。具体的には、高温環境下（最大数千百度）でダスト、ヒューム、蒸気、水、油、酸などが対象物表面や周囲に飛散していることが多く、しかも振動や衝撃を伴う場合がある。したがって、高温度の放射やスケールなどに起因するバックグラウンドノイズも大きい。

(2) 高度な測定性能の要求

対象物が高速移動（最大二千数百 m/s）している場合が多く、測定範囲も m オーダーの大きな量から μm オーダーの微量まで含まれるにもかかわらず、高分解能で高精度（0.1~1% 以内）かつ高速応答性を有する測定が必要である。

(3) 形の多様性

対象物は板、管、線棒、形鋼、粉体など多様な形状を有し、さらに、ガスや液体も計測対象となる。これらに対して2次元、3次元の計測を行う要求があり、例えば、細いビームで板の全面を走査するなど高分解能化を図る場合には高速性が犠牲になるという問題が生じることになる。

(4) 対象物内での変動

パッチ処理される対象物（スラブ、板、コイルなど）の異常部の測定とともに先尾端の非定常部の測定が品質管理上重要である。その際には、定常部測定時の測定条件と異なり、ノイズ成分が大きくなるという問題が発生する。

以上の問題点の対策として、次に示す方法や工夫が施され、測定対象ごとに開発、実用化が行われる。

(1) 空気や不活性ガスにて強制冷却やページを行い、素材やシー

ルド材の選定に配慮した小型で堅牢な構造とする。点検、保守、部品交換等を容易とするなどメンテナンス性を十分に考慮する。

- (2) 対象物の変化に応じて補正ロジックを組み込む。また、自動校正機構やロジックの内蔵、上位工程からの情報を活用するためのリンク機構やネットワーク化の促進、自己監視・診断機能の内在化を図るなどの対策が実施されている。
- (3) 高性能化のために高分解能検出素子、高速演算素子や処理ボード、計算機を組み込む。アナログ処理とデジタル処理の利点を有効に活用して、総合的な高機能化を図ることにより対処する。

このように、鉄鋼プロセス用光応用計測機器開発については、測定原理の確立とともに、実用化に際して派生する障害を取り除くことが重要なポイントとなる。

4 最近の開発事例

Table 2 に当研究センターで開発された光学測定技術の主要例を示す³⁾⁻¹¹⁾。これらのうちから4例について以下に詳細を述べる。

Table 2 Examples of optical measurement systems

Measurement	Example	Reference
Dimension	1. Laser type burden profile meter at blast furnace	5)
	2. Brick wall profile meter for torpedo cars	
	3. Off-center sensor for hot strip mill	
	4. Gap sensor for the laser welder	6)
	5. Widthmeter for cold steel strips	7)
	6. Seam locating system for ERW pipe	8)
Surface property	1. Surface roughness meter for cold steel strips	9)
	2. Glossiness meter for stainless steel strips	
	3. Oxide thin film thickness meter for tin free steel	10)
	4. Telescopic color measurement system for steel strips	11)
	5. Surface micro pattern measurement system for laser-textured dull roll	

4.1 寸法・形状測定技術

4.1.1 混鉄車耐火物プロフィール測定装置¹²⁾

混鉄車内での溶鉄予備処理比率の増大に伴い、耐火物の損耗速度を予測し、安定操業を行うために、れんが残厚の正確な把握が重要になってきている。このためには、内壁全面の耐火物残厚を迅速に自動測定可能なプロフィール計が必須であり、レーザー距離計を用いた測定装置を開発して当社水島製鉄所に設置した。

レーザー距離計は、測定対象上に照射したレーザー光の反射スポット位置が測定対象までの距離変化に応じて変化する量を一次元イメージセンサで受光検出するものである。これを混鉄車内に挿入し、レーザー光の照射位置、方向を3次元的に走査して基準位置に対する全域の距離を測定し、壁面プロフィールを算出する。

装置の概略を Fig. 1 に示す。システムは門型架台、位置調整機構部、センサヘッド部、機側操作盤、演算制御部から構成される。

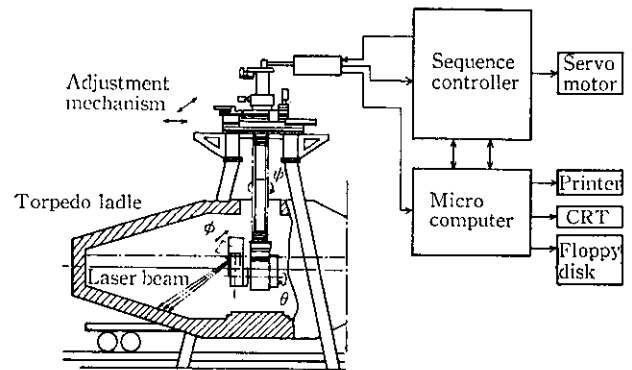


Fig. 1 Construction of the brick wall profile meter

Table 3 Specifications of the sensor head

Light source	He-Ne laser
Wavelength (μm)	0.633
Power (mW)	5
Detecting device	MOS-type linear array image sensor 2 048 bit
Measuring area (mm)	1 400~4 500
Sampling cycle (msec)	30
Sensor size (mm)	400×320×800

位置調整機構部は、センサヘッド部の位置決めをするためのもので、3台のモータにより前後、左右、高さの調整を行う。センサヘッド部は、回転機構部を有し、 (θ, ϕ, ϕ) の3方向に回転して混鉄車内のほぼ全域を測定可能としている。Table 3 には本測定装置の仕様を示した。

本装置は、3.2 に述べた問題点に対する対策が開発のポイントであり、具体的には以下に示すとおりである。

- (1) 混鉄車内の温度は測定時に約 300°C と高温になるため、挿入する電子機器の冷却対策が必要である。そのためにスポットクーラーを用いて強制冷却を行い、センサボックス内を 50°C 以下に保つ構造としている。
- (2) れんが残厚量の経時変化をとらえるため、一定期間後に同一混鉄車を測定し、その期間内での変化を精度よく把握する必要がある。混鉄車の門型架台間での停止精度、傾動精度等の位置再現性が悪いので、繰返し測定精度の向上を図る目的で、混鉄車の横面および上面にマークを各2個取り付け、それらを架台に設置した位置測定治具で測定してセンサヘッド部位置補正を行う機構を組み込んでいる。
- (3) 距離計を3次元的に駆動する際の位置、回転制御を高精度に行い、広い測定範囲に対する位置再現性の向上と測定分解能の微小化を図っている。
- (4) 測定対象面が広く、測定所要時間を短縮するため、走査速度、測定周期、演算時間の高速化を可能としている。

本装置は混鉄車内部全域のプロフィール測定が可能であり、測定範囲の任意指定もできる。測定データは1台ごとにフロッピーディスクに記憶され、新炉からの履歴データが保存されて残厚量、損耗量の推移が容易に把握できる。長手方向には22断面分測定され測定時間は全域で約30分である。校正板によるオフライン測定では±3mmの精度を確認しており、同一対象の測定では±5mmの

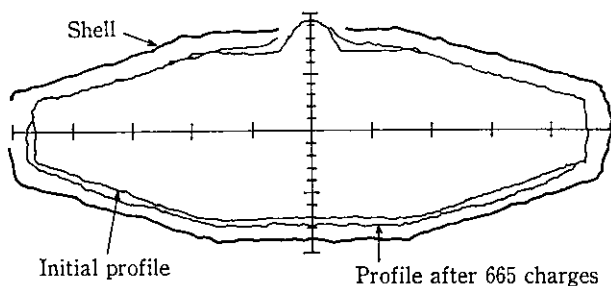


Fig. 2 An example of measured brick wall profile after 665 charges

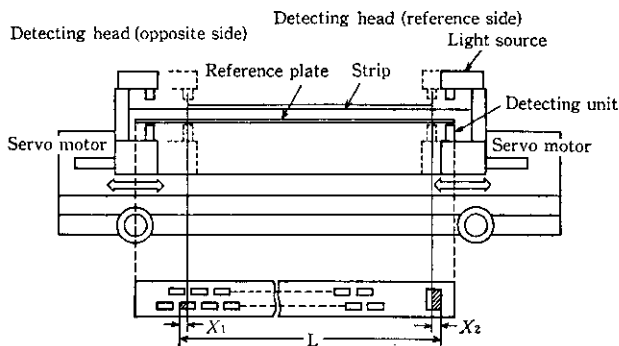


Fig. 3 Configuration of the widthmeter

再現性を得ている。Fig. 2 に鉄皮面、新炉、665 チャージ後の測定結果を示す。目標の性能が得られ、現在継続使用されており、今後は、さらに最適な材料が材質の決定、コスト削減等の一層有効利用を図る予定である。また、レーザー距離計を用いる形状測定は、炉内形状や鋼材寸法測定にも有効な技術であり、多方面への応用が可能である。

4.1.2 冷延鋼板高精度板幅計¹³⁾

冷延鋼板全長の板幅管理レベルの向上、作業員の負担低減を目的として、板幅を高精度で連続測定したいとの要求が強いが、現状の板幅計の測定精度は ± 0.5 mm が限界で、板幅管理・保証の観点から問題となっている。これはパスライン変動に伴う誤差要因が大きいこと、基準となる絶対長との校正ができていないため装置熱膨張などに起因する誤差を低減できないことなどがおもな原因である。これらの問題点を解決したより高精度な測定性能を有する板幅計を開発し、千葉製鉄所の調質・精整ラインに設置した。

Fig. 3 に本装置の概要を示す。鋼板上方にハロゲンランプ光源を、下方に 5000 素子から成る CCD ラインセンサを対向配置し、エッジ部で光の遮られる位置を検出することにより板幅を測定するものである。また、鋼板と受光部にロール軸と平行に同一矩形状の角穴を千鳥状に設けたアンバー合金製の「基準校正板」を設置している点が特徴である。

高精度化への対策としては、

- (1) パスライン変動、外乱光の影響を低減するための平行光受光方式の採用
- (2) 長さ既知の基準校正板との差を検出する偏差測定方式の導入
- (3) 測定時と常温への低下時の製品温度差を考慮した温度補正機能の付加

などがあげられる。このうち基準板校正は次のようになされる。まず、基準側検出ヘッド部が、板幅指令に応じて、サーボモータ駆動により鋼板エッジ部に自動設定される。校正板には基準側に 1 個、

反基準側に 41 個の角穴が配置され、それぞれの寸法はマイクロコンピュータに記憶されている。したがって、角穴エッジと鋼板エッジとの間隔 X_1 , X_2 を測定し、選定した角穴間距離の値 L から板幅値 W を次式から求めることができる。

$$W = L - (X_1 + X_2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

オフライン性能評価試験およびスキップス圧延におけるオンラインテストの結果、1600 mpm の高速走行時においても測定精度として ± 0.2 mm という性能を満足し、応答速度で 50 msec、パスライン変動の許容値として ± 10 mm を得た。近年、ユーザーからの要求寸法精度が非常に高くなってきているため、板幅管理レベルの向上に寄与できるとともに、他ラインへの有効活用も期待される。

4.2 表面性状測定技術

4.2.1 オンライン鋼板表面粗度計

冷延鋼板の表面性状のうち粗度は、製品の美観のみならず、塗装性、鍍金性や加工・成形性を左右する重要な要因の 1 つであるため、品質管理上オンライン測定による全長連続検査が望まれている。この要求を満たすために、当社ではオンライン粗度測定装置を開発し、冷延工場の精整ラインにて実用化した^{14,15)}、さらに機能を向上させて小型化、高速応答性を特徴とする装置を開発している¹⁶⁾。

本装置は、レーザー光を鋼板の斜め方向から照射し、その正反射光強度値から間接的に表面粗度（中心線平均粗さ R_a ）を求めることを基本原理とするものである。粗面の統計的性質と光反射特性との間の相互関係を数値計算にて求めて、対象とする鋼板粗度測定範囲の条件を満たす入射光波長と入射・受光角度を定めて装置化を実現している。また、設置スペースの制約への対応やメンテナンス性向上、さらには機械的可動部をなくして測定の高速化を図るなどの観点から、測定系の設計がなされている。

具体的には、波長 789 nm の半導体レーザーを入射角 75° で鋼板に照射し、その反射光受光部に 32 素子のフォトダイオードアレイを用いて反射光分布およびピーク強度を同時に検出することの特徴としている。このため、ピーク位置探索のための可動部がなく、高速に分布強度を得ることができるので、板面振動の影響を少なくして応答性の良い測定が可能となっている。Fig. 4 に装置の概要を示す。反射光の 1 スキャンは約 4 msec と高速であり、投受光部の大きさはおよそ 470 mm $\times$ 80 mm $\times$ 70 mm と小型化されているため、設置が容易であるだけでなく板幅方向での走査も可能である。

Fig. 5 は、中心線平均粗さ $R_a = 0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の測定範囲で、触針式粗さ計と本装置によるオフラインでの測定値との比較結果を示す。両者は $\pm 10\%$ 以下の誤差内で良く一致するとの結果を得た。

本装置を調質・精整ラインに設置して行った実験により次の結果が得られた。

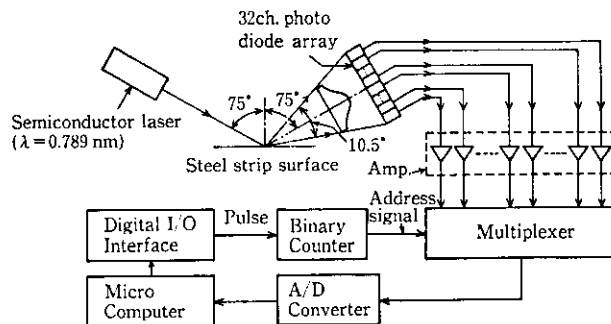


Fig. 4 Blockdiagram of the on-line roughness (R_a) meter

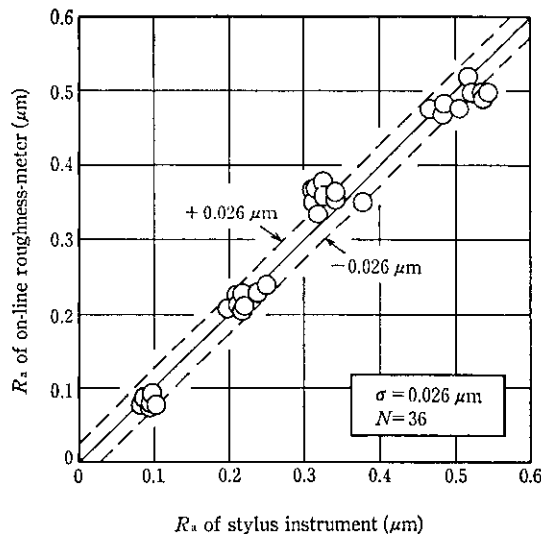


Fig. 5 Relationship between measured surface roughness data (R_a) obtained by the stylus instrument and those by the newly developed equipment

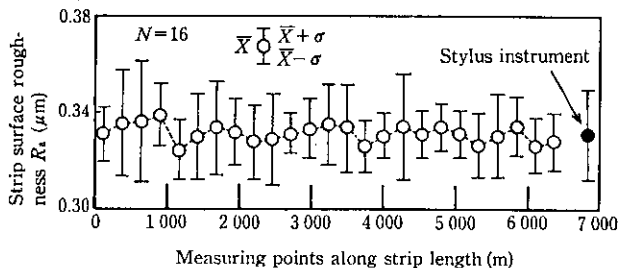


Fig. 6 On-line experimental result with the newly equipment applied to the cold-rolled strip preparation line

- (1) 約 1600 mpm の板速度に対しても滑らかな反射光分布を得ることができるので、高速ラインにおいても安定した測定が可能である。鋼板振動に起因する測定精度の劣化は小さいと言える。
- (2) 測定値 16 個の平均と分散は触針式粗さ計による値とはば一致しており、オンライン測定装置としての機能を十分に満足している。Fig. 6 には連続測定結果の一例を示す。

以上より、本装置は、小型、高速応答性という機能を有しているので、実用性が高く、今後は品質管理体制強化に対応して多方面への適用が期待されている。

4.2.2 レーザードルロール表面パターン計測装置

レーザーダール加工法は、CO₂ レーザービームをチャッパでパルスビームに変換した後、レンズを通して回転ロール表面に集光照射し、瞬間的に形成された溶融層をアシストガスを噴射して押しつけることにより、ロール表面上に多数の凹凸形状マイクロクレタを配列するものである¹⁷⁾。ロール回転数、チャッピング周波数、レーザー出力を制御することにより、クレタの大きさ (D) や間隔 (S_m, S_L) などを任意に設定して配列し、ロール表面粗度を目標に一致させることができる。したがって、その加工ロールにより調質圧延することで、鋼板の表面粗度プロファイルを塗装後の鮮映性に有害な波長成分が発生しないように設計し、制御可能となる。この加工技術を応用した鋼板として、高鮮映性鋼板「レーザーミラー」が実用化されている¹⁸⁾。高鮮映性を得るための要因としては、鋼板の粗さ、うねり、平坦部面積の多少などが大きく影響していること

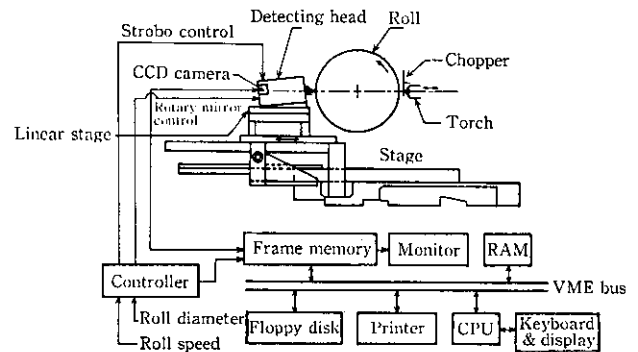


Fig. 7 Schematic block diagram of the measurement system for the surface micro-texture pattern

が明らかにされている¹⁹⁾。したがって、圧延用ロールの加工を目標どおり正確に行う必要がある、そのために加工状況をモニタするための計測装置が開発されている²⁰⁾。

本装置は、加工中の回転ロールの拡大像を静止画像としてとらえ、画像処理によりクレタ径、形状、ピッチ、平坦部の割合やピッチの位相ずれなどを演算出力することの特徴としている。本装置開発のポイントは以下のとおりである。

- (1) 微小部の拡大像の静止画像撮像方法およびその装置
- (2) 測定パラメータを得るための高速画像処理、演算法
- (3) 測定装置の高精度な位置決め装置

上記項目の各機能を備えた Fig. 7 に示す測定装置を実用化した。ロール表面での接線速度は最大で約 10 m/s と高速であり、約 1 mm 角の領域の拡大静止画像を撮像するために、ロール接線速度に同調させた回転ミラーと閃光時間約 100 μ sec のストロボ光を組み合わせで行う、追い撮影方式を採用している。画像歪を少なくするためにミラーを複数枚使用した長焦点の拡大光学系を構成し、撮像には CCD カメラを用いている。表面凹凸パターンのコントラストを強調するために落射照明とし、ストロボ光をファイバで導光している。画像処理装置としてはメモリとして 8 bit 階調のものを、全体システムとして VME Bus を使用した操作性の高いハード構成としている。また処理方法としては、撮影画面の全体輝度から最適な 2 値化条件を得た後に 2 値化処理を、さらには水平、垂直ライン方向の加算処理による前述のクレタ寸法パラメータの演算を行う。本装置では、鮮明な静止画像を得る必要があるため、加工トーチの動きと同調してロール長手方向、接近・退避方向の駆動、位置決めがなされる。したがって、ロール径の変化に対しては、トーチの位置決めに伴って、検出ヘッド部も所定の位置に移動、設定されるが、微調用の遠隔焦点合わせ機能も備えている。

本装置によるインライン測定の結果、最高ロール周速である約 10 m/s においても鮮明な画像を撮像可能であり、パラメータ演算結果の精度として $\pm 10 \mu$ m 以内、演算所要時間として約 5 sec との結果を得た。これは当初の目標性能を十分に満足するものである。位置決め精度が良好であり、かつ光学系の焦点深度として $\pm 300 \mu$ m であることから、焦点ずれも少なく実用上問題はない。Photo 1 には演算パラメータの説明も含めた静止画像の一例を示す。また、レーザーパワー増減によるクレタ径変化の状況が明確にモニタ可能なので、設備診断的な活用も可能である。

以上のように本装置は、最近の鋼板表面微細形状の品質管理強化の傾向に貢献し得る装置としてだけでなく、例えばパターン認識等の処理ソフトの付加により、広く高速回転体の表面検査機器として

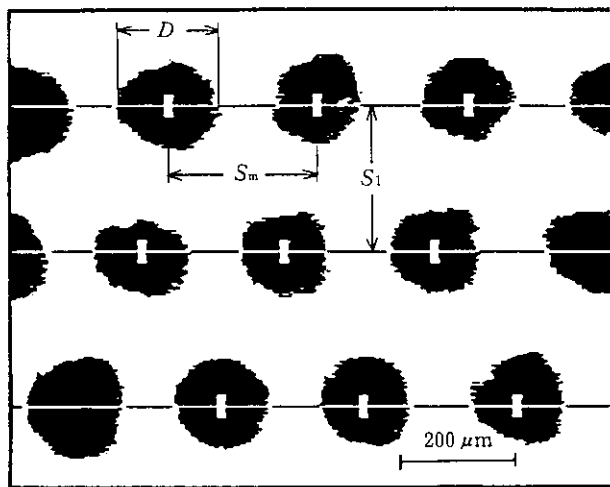


Photo 1 Binarized image of a surface micro pattern of a rotating roll

も応用可能であると言える。

5 今後の方向

近年のハードウェア技術の充実を基礎としたシーズ技術の発展は今後とも急速に進み、光計測への貢献の機会はますます増加するものと思われる。例えば、小型レーザの発振線の広帯域化、受光素子に検出選択性や補正・校正機能をもたせるなどの集積・知能化、光ファイバーの透過特性の広帯域化、画像素子やメモリの高密度化、画像演算、処理装置を含む計算機の小型、高速化など各領域での高性能化が期待されている。一方、鉄鋼プロセスでは自動化、高速化、連続化をもとにした総合的な無人化を指向しており、品質管理強化の傾向と呼応して、さまざまなフィールドで計測ニーズの拡大

が叫ばれている。この要求を満たすために、新たな手法を駆使し、最新のハードウェア技術を活用した計測装置の開発が進むものと思われる。具体的には以下の観点からの技術発展が期待される。

- (1) 時間領域、波長領域を拡大した分光分析的手法を用いた高分解能計測手法が、ガス、液体の分析や鋼材、鋼板などの材質計測に活用される。例えば、レーザ分光技術や FT-IR などの応用が考えられる。
- (2) より高性能の画像処理装置と処理ソフトウェアを活用した空間的広がりを持つ寸法測定技術や、不可視情報の可視画像化技術をもとにした品質計測技術が発展する。例えば、疵検出や各種の画像検出結果に AI 的手法やニューロン応用のパターン認識技術などが有効活用される。さらに、将来的には光コンピュータや光連想メモリなど並列処理を特徴とする光情報処理技術の応用も考えられる²¹⁾。
- (3) 投・受光や伝送系、処理系を一体化した光ファイバー応用計測により、フィールド内の多点情報をもとにした計測システムが構築される。このような光応用多点計測により、あいまい量を定量化処理して結果を出力することが設備診断の分野で活用される。したがって、計測系が設備自体に内在されるなどの一体型システムが増加してゆくものと思われる。

以上のように、今後の光計測技術は、苛酷な測定条件に対抗し得る有望な手段として、単純な目の機能から五感への広がりを持ちつつ進展してゆくことが期待される。

6 結 言

光計測の背景となる手法やハードウェア技術を概括し、鉄鋼プロセスへの適用を図る際の問題点とその対策、さらに最近の寸法・形状計測、表面性状計測に関する開発事例を中心にして、現状と将来動向について述べた。開発装置を活用した操業改善、品質向上への寄与へ結び付く実用化をめざして今後の有効活用を図りたい。

参 考 文 献

- 1) 吉原邦夫:「物理光学」, (1966), 1, [共立出版]
- 2) 山口一郎: 計測と制御, 26 (1987) 4, 283-289
- 3) 谷田貝豊彦:「応用光学 光計測入門」, (1988), 106, [丸善]
- 4) 小林 彬: 計測と制御, 26 (1987) 4, 290-295
- 5) 浅野有一郎, 近藤幹夫, 柳本隆之, 栗田邦夫, 平橋 明, 友成和弘:「レーザ式高炉装入物プロフィール計の開発」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 2, 99-106
- 6) 上原淳則, 藤原洋一, 山崎順次郎, 浅野一哉:「水島熱延スタンド間蛇行センサの開発」, 鉄と鋼, 74 (1988) 13, S492
- 7) 川崎製鉄(株): 特開昭 63-58104
- 8) Kawasaki Steel Corp.: U. S. Patent 4 734 766
- 9) 虎尾 彰, 浅野有一郎, 栗田邦夫, 塩住基仁, 松本公一:「ステンレス鋼板光沢測定装置の開発」, 第 3 回センシングフォーラム, (1986)
- 10) 川崎製鉄(株): 特許第 1408207 号
- 11) A. Torao, K. Kurita, H. Kitagawa, K. Nakamura, and M. Fujita: "On-line color measurement system for steel sheets", Vol. 665 Optical Techniques for Industrial Inspection, SPIE, Québec (Canada), June (1986)
- 12) 柳本隆之, 虎尾 彰, 市川文彦, 中路 茂, 桑山道弘, 吉田正弘:「混鉄車耐火物プロフィール測定装置の開発」, 鉄と鋼, 74 (1988) 12, S23
- 13) 柳本隆之, 虎尾 彰, 市川文彦, 松原 務, 齊川夏樹, 藤田 実, 佐野岸雄:「冷延鋼板高精度幅計の開発」, 鉄と鋼, 74 (1988) 13, S495
- 14) 浅野有一郎, 塩住基仁, 栗田邦夫, 矢部 直, 守屋 進:「冷延鋼板の光反射特性解析とそのオンライン表面粗度測定への応用」, 鉄と鋼, 70 (1984) 9, 1095-1102
- 15) 八角忠明, 下山雄二, 大西建男, 秋月敏夫, 柳本隆之, 虎尾 彰, 浅野有一郎:「ブライツ材用オンライン粗度計の実用化」, 鉄と鋼, 72 (1986) 12, S1162
- 16) 内田洋之, 虎尾 彰, 市川文彦, 八角忠明:「オンライン表面粗度測定装置の開発」, 鉄と鋼, 75 (1989) 4 掲載予定
- 17) 河合義人, 山田恭裕, 岸田 朗, 柳島章也, 草場 隆, 古川九州男:「レーザを用いたロール加工機の開発」, 鉄と鋼, 73 (1987) 4, S362
- 18) 古川九州男, 角山浩三, 今中 誠, 岸田 朗, 山田恭裕, 恒川裕志:「高鮮映性鋼板レーザミラーの開発」, 川崎製鉄技報, 20 (1988) 3, 203-209
- 19) 虎尾 彰, 内田洋之, 鈴木 平, 古川九州男:「レーザードル鋼板表面微細形状の塗装後鮮映性に及ぼす影響」, 鉄と鋼, 75 (1989) 4 掲載予定
- 20) 虎尾 彰, 内田洋之, 市川文彦, 和久井庸吉:「レーザードル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, 発表予定 (1989)
- 21) 谷田貝豊彦: 応用物理, 57 (1988) 8, 1136-1150