



UDC 621.774.3 : 62-53 : 53.08

継目無鋼管圧延工程における計測と制御

田 口 芳 男*・船 生 豊*

Automatic Measurement and Controls on Rolling Processes of Seamless Pipes

Yoshio TAGUCHI and Yutaka FUNYU

1. 緒 言

我が国の継目無鋼管工場においても、過去 10 年ほどの間に自動計測機器の開発と導入が進み、操業の自動化と品質の向上に寄与している。熱間圧延鋼材のうちにあつては鋼板類がホットストリップミルに代表されるごとく、自動計測にもとづくミルの自動化が早くから進められ、今日極めて一般的なものとなつている。これに比し、条・形鋼、鋼管などのいわゆる溝形ロール圧延品種においては計測の自動化が遅れがちであつたが、これにはつぎの理由があげられるであろう。①スケールメリットが小さく動機付けが弱かつた、②断面形状が複雑多様なため寸法の自動測定がむずかしかつた、③不連続なミル配置など既設レイアウトが障害となつた、など。

しかし、近年省力・省エネルギーなどコスト低減効果が増大したことと、比較的安価で高性能な自動計測機器が開発されたことにより、新設の継目無鋼管設備はもとより既設ミルにも広く導入されるようになった。電気制御技術の進歩と相まつて、計測データをプロセスコンピュータにより演算処理する高度な圧延制御技術が開発されてきているが、この面でも自動計測技術は重要な役割を負っている。さらに今日では、圧延制御プロセスコンピュータを生産管理用大型コンピュータと結合させた総合的なシステム構成が普及している。本報では継目無鋼管製造法のうちもつとも一般的なマンドレルミル方式とプラグミル方式について、そこに導入されている自動計測機器に関する現況とミル制御への応用について触れてみた。

2. 継目無鋼管の圧延工程

継目無鋼管の製造法はロール穿孔法とプレス穿孔法に大別され、ロール穿孔法は従来から傾斜ロール式穿孔機(ピアサ)を用いたマンネスマン穿孔法が一般的であり、

我が国で9工場がこの方式を採用している。昭和 52 年に稼動した新日本製鉄八幡のプレスロール穿孔プラグミル圧延方式の1工場を加え 10 工場(表 1)が操業中であり、さらに3工場が1、2年後完成を目標に現在建設中である。ロール穿孔ののちに続く圧延工程では、マンドレルミル、プラグミル、アッセルミルの3つのタイプの圧延方式が採用されているが、工場の数が多いマンドレルミル方式とプラグミル方式の製管主工程を表 2 にしめす。

3. 自動計測装置

マンドレルミル、プラグミルの上記 9 工場における自動計測装置の設置状況を表 3 にまとめた。加熱から冷却床までの工程で、被圧延材の特性を直接測定する計測装置を対象としたものである。この表から、伸ばし長さ制御のための諸装置、すなわち管材秤量機と各ミル出側の長さ計が多く、さらに外径調整のための 2 ロールサイザ後の外径計および温度計などが多く設置されていることがわかる。

表 1 我が国のマンネスマン製管工場¹⁾

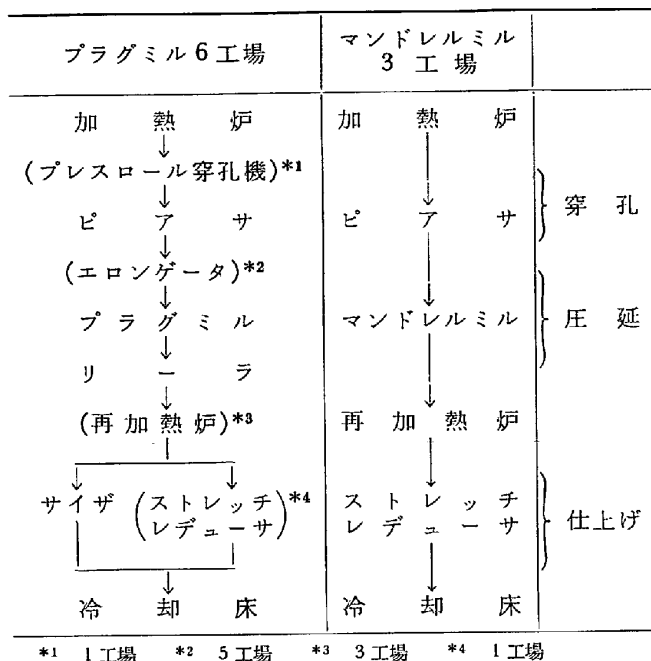
製管法	工 場	製品外径 (mm)
マンドレルミル	日本鋼管 京 浜	26.7~141.3
	住友金属 海 南	26.7~146.0
	川崎製鉄 川 知	26.7~168.3
アッセルミル	山陽特殊 本 社	48.4~171.0
プ ラ グ ミ ル	新日本製鉄 東 京	33.2~168.3
	住友金属 住 友	139.8~244.5
	日本鋼管 京 浜	152.4~406.4
	新日本製鉄 新 八	165.2~406.4*
	川崎製鉄 川 知	177.8~426.0
住友金属 住 友	216.3~457.2	

* プレスロール穿孔法

昭和 56 年 6 月 30 日受付 (Received June 30, 1981) (依頼解説)

* 川崎製鉄(株)知多製造所 (Chita Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Handa 475)

表 2 圧 延 工 程



*1 1工場 *2 5工場 *3 3工場 *4 1工場

表 3 マンドレルミル、プラグミル工場の自動計測装置²⁾³⁾

設備名	対象基数	自動計測装置設置数				
		秤量機	外径計	長さ計	温度計	厚さ計
管材加熱炉	9	6			—	
ピアサ	9				—	
エロンゲータ	5		1	1	—	
プラグミル	6			5	—	
リーラ	6×2		1		—	
サイザ	6		5	5	6	
冷却床	9				—	US 2
マンドレルミル	3			3	—	
ストレッチ	4			3	入側 2 出側 2	
切断機	9			1	—	
矯正機	9				—	
計		6	7	18	—	2

伸ばし長さ計の導入は昭和 42 年に検査工程でタッチロールと光電管を組み合わせた方式が最初であつたが、45 年から 50 年にかけて各社が光学式とともに集中的に圧延ラインに導入している。自動外径測定機を継目無管

の圧延ラインに最初に設置したのは住友金属であり、48 年和歌山製鉄所のプラグミル工場にサイザ後のパイプ外径測定用として稼動した。なお、粗圧延工程のピアサ、エロンゲータの寸法測定は依然として作業者による目視読み取りが多いが、最新のミルを中心に自動化の傾向にある。リーラについても外径と長さの自動計測がそれぞれ 1 工場に最近実施されるなど、ミル制御の自動化と共に計測化の方向にある。

4. 寸法精度管理と計測

継目無鋼管の圧延作業における品質上の大きな関心事は製品内外面のきずと寸法精度の 2 点であり、古くからこれらの問題について無数の改善努力がなされてきた。それらの調査研究の成果として今日では発生要因の解明が進み、品質改善と歩留り向上に結実している。このうち寸法精度の向上に関し、自動計測技術の進歩が果たした役割は大きく、したがって今日計測化の目的の大きな部分が寸法精度の管理体制の強化であるといえる。

4.1 伸ばし長さ制御

最近のサイザとストレッチレデューサにおいては、製品の長さ肉厚を最終的に仕上げるミルであるということから、熱間長さ計をミル出側に設置し伸ばし長さ管理をおこなう場合が一般的である。上流工程のミルにおいては、それぞれのミル自体での管平均肉厚を知ることを目的として必要に応じて長さ計を設置する。すなわち得られた伸ばし長さから間接的に管平均肉厚に換算し肉厚圧下制御に反映させている。制御の方法は、先行材の測定結果から次材のための設定調整をおこなう学習制御が中心であるが、さらに管長手方向の肉厚分布を均一化し寸法精度を高めるため管 1 本圧延中にも圧下調整をおこなう AGC 方式が一部のミルに見られるようになった(図 1)¹⁴⁾。圧延中のプラグの熱膨張による肉厚変化を補償するためプラグミルのロールギャップをステップ制御する方式(図 2)¹⁵⁾もその 1 例である。

現在圧延ラインに使用されている自動長さ計は接触式と非接触式に分けられる。図 3⁶⁾は接触式、図 4⁷⁾図 5⁸⁾は非接触式の例である。イメージセンサーを使用した図

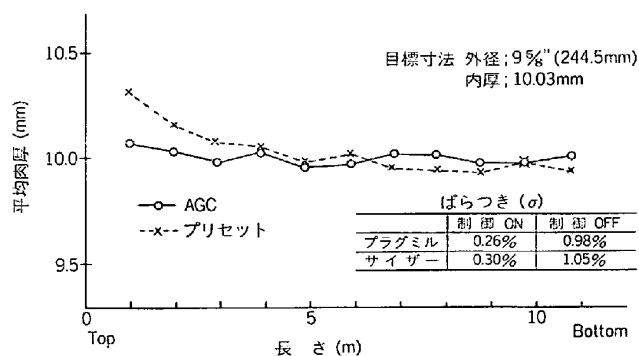


図 1 プラグミル圧下プリセット・AGC の比較

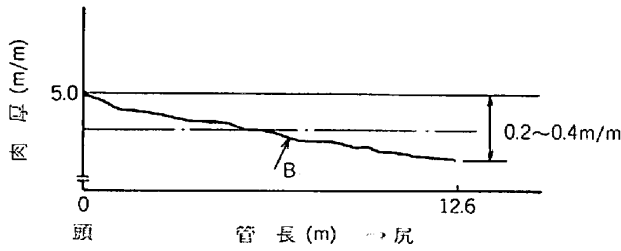
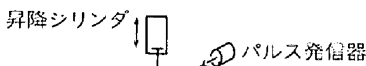
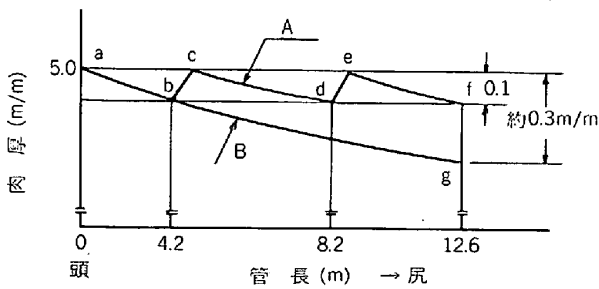


図 2 プラグミルにおける肉厚制御

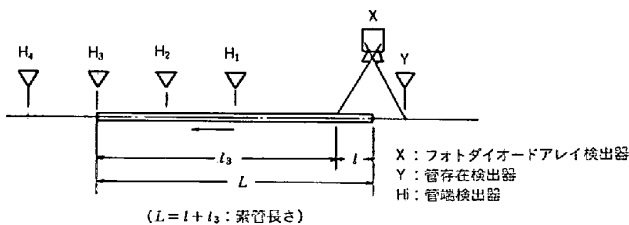


$$\text{管長さ } L = L_0 + \frac{n_1}{n_2} \cdot l$$

$n_1 = H_4$ ON (先端到達) から H_2 OFF (後端通過) までのパルス計測数 $n_2 = H_1$ OFF から H_2 OFF までのパルス計測数 H_i = 材料検出器 (H_3 はロール昇降用)

図 3 熱間長さ計 (1)

マンドレルミル出側素管長さ計



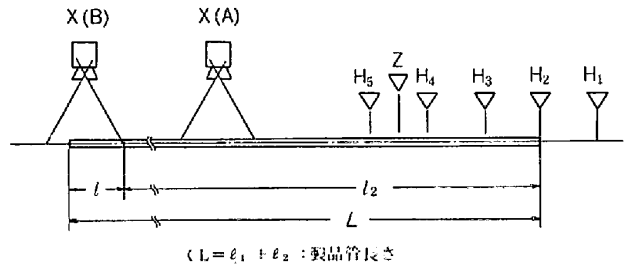
$$(L = l + l_3 : \text{素管長さ})$$

Y は長手方向傾度ムラによる管後端到達誤検出を防止するために設置

図 4 熱間長さ計 (2)

3, 図 4 のほかに, 非接触式にはドップラー原理による長さ計と空間フィルター原理による長さ計が存在するが, 対象工場では前者は設置例がなく, 空間フィルター方式が新日鉄八幡に 3 台設置されている⁹⁾. いずれの場合も接触式にくらべ, 保守と精度維持に優れた非接触式

ストレッチレデューサー出側製品長さ計



$$(L = l_1 + l_2 : \text{製品管長さ})$$

$$(L = l_1 + l_2 : \text{製品管長さ})$$

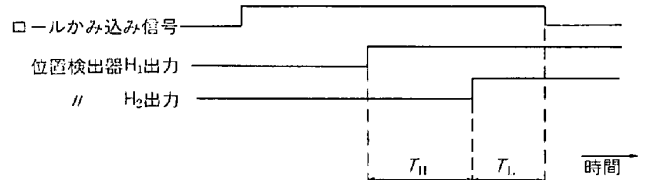
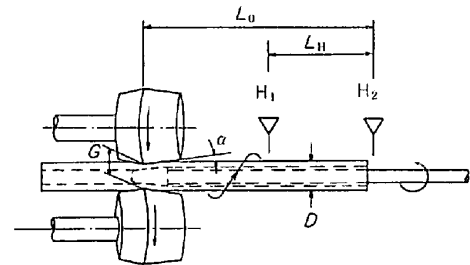
X (A), X (B) : フォトダイオードアレイ検出器

Z : 光量検出器

H_i : 管端検出器

フォトダイオードアレイ検出器の長さ l の計測範囲はいずれの場合も 4500 mm

図 5 熱間長さ計 (3)



$$L = T_L \cdot \frac{L_{II}}{T_{II}} + L_0 - \frac{D-G}{2 \tan \alpha}$$

図 6 熱間長さ計 (4)

が主流を占めている. なお, 特徴的な非接触式長さ測定方法に図 6 の方法があるが, これはピアサやエロンゲータなど圧延後管が長手方向に搬送されない設備配置の場合有効であり, 川鉄知多で実用化している¹⁰⁾.

4.2 外径の制御

自動外径計はサイザ出側に設置され, 管全長にわたり熱間における仕上がり外径を測定する. 光学式外径計の場合, 測定精度は 0.1~0.2 mm と良好で, 寸法管理上とくに問題はない. 2 ロール式サイザにおいてロール圧下量を自動制御する制御システムを構成する場合は, 外径の自動計測が不可欠である. ここでも長さ制御と同様に, 学習制御とピース内 AGC が考案されている¹¹⁾.

外径計の測定精度に比し, 管外径の熱収縮代は数十倍と大きいゆえ, 温度計による管温度と外径測定値を組み合わせ, 冷却後の製品外径を予測することが通常行われる. 管の材質に応じ変態体積変化を求めた熱収縮代と温

度の関係を適正に把握することが重要である。2ロール式の場合奇数番スタンドと偶数番スタンドのそれぞれの上下ロール溝底に相当する外径を測定するため、2台の外径計を90°交差して配置する。3ロール式サイザやストレッチレデューサの場合、管外径は専用旋盤を用いて同時切削されたロール孔形によつて仕上げられるため、外径はロール摩耗量を管理することによつて精度を保持し、通常外径計を有していない。外径4½インチ(114.3mm)以上のケーシングは管両端にネジ切り加工を施すため、API規格以上に厳しく寸法管理を行うことが多い。圧延材1本がケーシング1本分となるプラグミル工場では、管両端の外径精度がとくに重要である。両端のクロップを短縮するためには、この部分の形状改善が必要であるが、管端至近の外径測定の可否も問題となる。ピアサ、エロンゲータ、リーラなどの傾斜ロール圧延機の出側に外径計を設置し、ミルの自動設定に活用するケースが現れた¹²⁾。これは次工程ミルにおける寸法精度と作業性の向上に有効である。例えば、マンドレルミルやプラグミルにおいては素管のわずかな外径差が噛み出し量を左右し、きずや偏肉の原因になったり、極端な場合は噛み込み不良やマンドレルバーの抜き取り不良の

原因となる。素管の外周径が1.8%異なると図7のごとく圧延状態が大きく異なる。傾斜ロール圧延機に外径計を設置する場合はミルの配置と共に、表4に示したごとく、ミル特有の圧延形態に応じて設置場所と台数を決める必要があろう。

マンドレルバーを拘束しないマンドレルミルにおいては、素管の噛み込み途中と後端の抜け途中でバーが加速

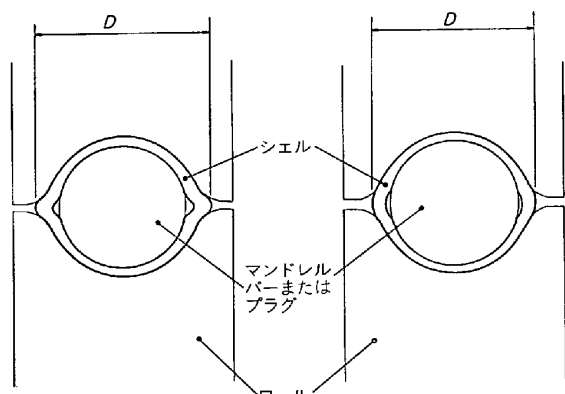


図7 カリバーロール圧延におけるシェル形状

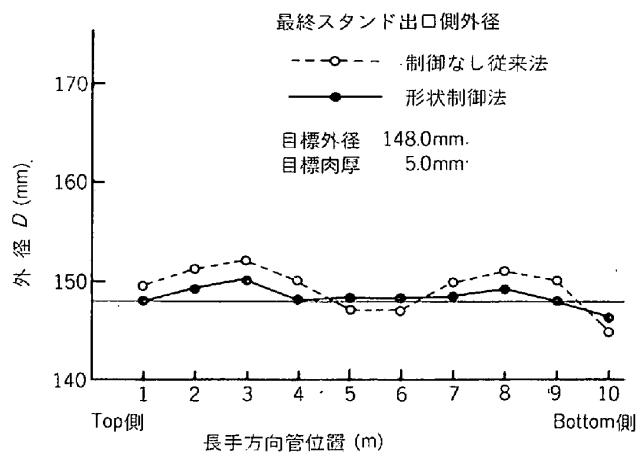
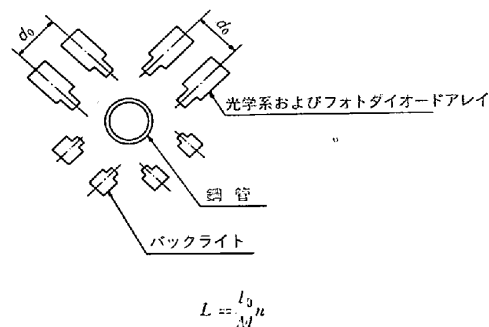
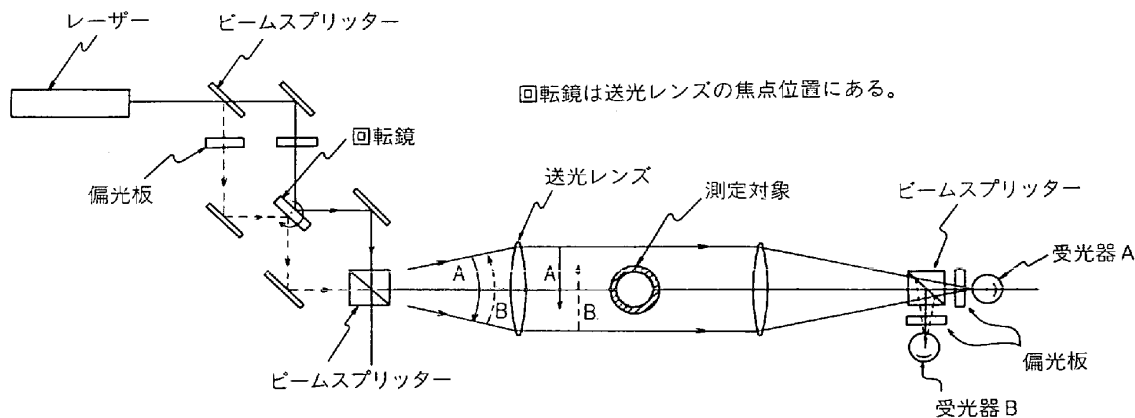


図8 マンドレルミルのシェル形状制御



$L = \frac{l_0}{n} M$
 L : 被測定物の寸法 l_0 : フォトダイオード間隔 $1/M$: レンズ倍率 n : 光の当たったフォトダイオードの数

図9 パイプ外径計(2)



ダブルビーム走査方式

上縁および下縁を通過する時間を検出し、長さ(径)信号に変える。

図10 パイプ外径計(1)

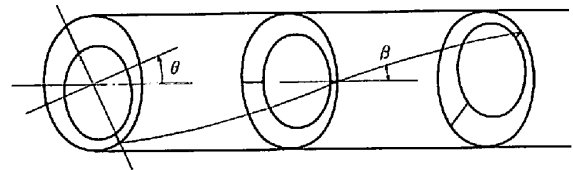
表 4 圧延形態によるミル分類

形 態		傾斜ロール 芯金あり	2 段ロール 芯金あり	絞 り ロール 芯 金 な し
		ミル 分 類	ピアサ マンドレルミ ル法	ピアサ マンドレルミ ル
	プラグミル法	ピアサ エロンゲータ リーラ	2 ロール式 サイザ	
材 料 の 動 き		回 転 スパイラル前 進	直 進	直 進
圧 延 後 の 形 状		真円に近い	ロールのフラン ジ側にかみ出 しなどがある。	真 円

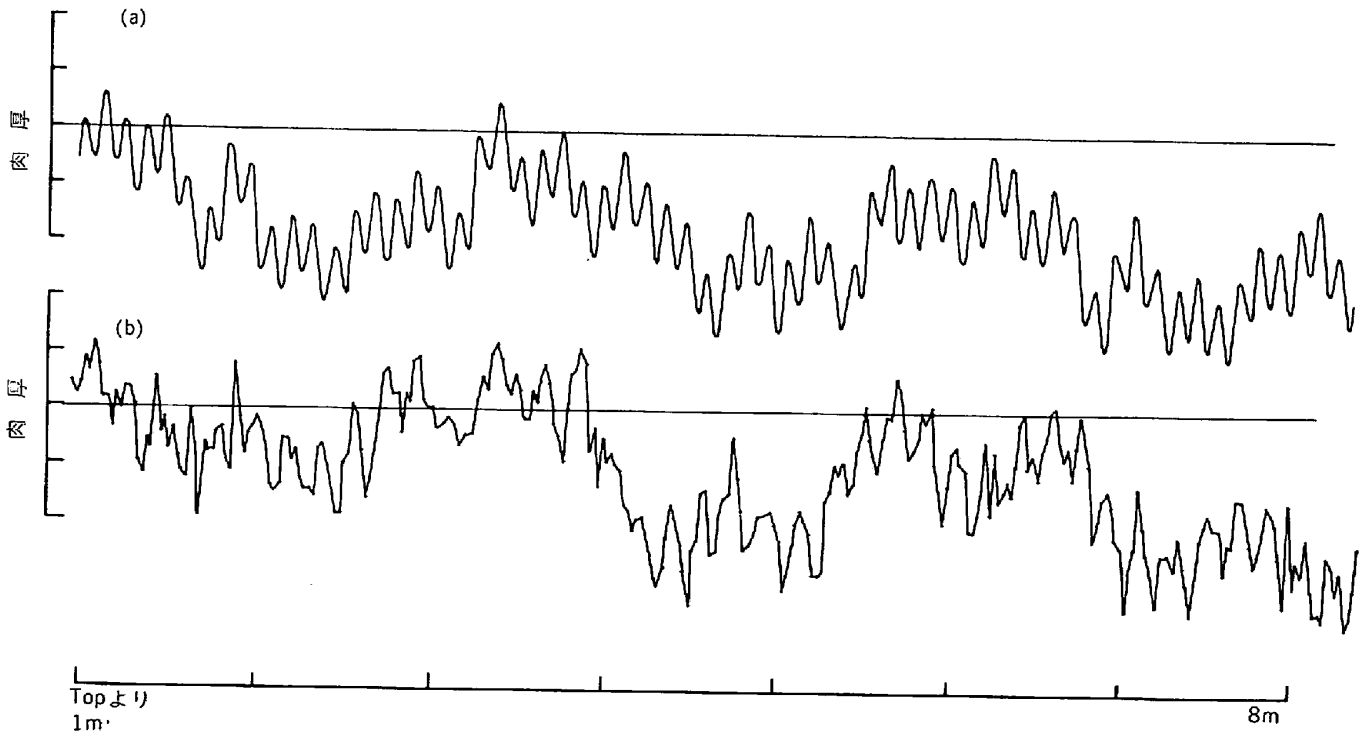
されるため先後端近傍に外径膨れ（バルジング）が発生しやすい。最近この外径変動を連続的に定量測定し、ミルのロール速度制御に連動させる方法が考案された（図8）¹³⁾が、このバルジ測定機も外径計の範ちゆうに加えることができる。

圧延ラインにおける自動外径測定機はもつぱら光学的方法によつている。これは高温高速な被測定物に対し、十分な応答性とレンジアビリティを有している。イメージセンサーであるフォトダイオードアレイを用いる方式と、Si、PbS などの受光素子を用いる方式がある。光源は通常被測定物であるパイプが発する赤外線であるが、温度が低い場合は別にレーザーなどのバックライトを用

いることがある（図9）¹⁴⁾。受光素子を用いる方式では、スリット付き回転ドラムや回転鏡（図10）¹⁵⁾によつて光を走査させパイプ上縁および下縁を受光素子にて検出し、この間の時間を測定して外径値が得られる仕組みとなつている。



θ = 円周方向の角度 β = シェル長手方向のねじれ角度
図 11 L 方向にねじれのある偏肉



(a) 偏肉諸因子による合成波形 (b) 実測値
図 12 プラグミル圧延後のシェル肉厚の管長手方向の変動

4.3 熱間における管肉厚の測定

管の圧延過程で偏肉が発生する要因はいくつかあり、その要因固有の偏肉周期が製品にスパイラルピッチとして残る。一つの要因による偏肉スパイラルを図 11 に模式的に示す。ピレット加熱時の偏熱によるもの、ピアサ他のプラグ偏芯、プラグミルの対称偏肉をある比率で合成すれば図 12 のごとく実測肉厚分布に類似した波形を得ることができる¹⁶⁾。すなわち、圧延中または圧延直後に管の肉厚波を実測することができれば偏肉発生要因のそれぞれの大きさがわかり、偏肉改善に役立つことがわかる。

長さ 1% の変化を測定することは厚さ 1% の変化を測定することより容易かつ測定精度が高いゆえ、ロール圧下量を伸ばし長さによつて制御する方法は理にかなつていているといえる。しかし、伸ばし長さ制御では管 1 本の平均肉厚の管理までが限界であり、偏肉管理にはまた別の制御技術が必要である。熱間圧延工程中に管長手方向の肉厚分布を把握することが偏肉改善に有効であることは承知されながら、鋼管の熱間肉厚測定機は実用化されていながつた。放射線を用いて実測する試みが成され、例えば管断面中心部を透過させる方法と、図 13 のごとく管軸と直角方向に走査する方法¹⁷⁾¹⁸⁾が考案されていたが、前者では管直径方向 2ヶ所の肉厚の和となつてしまうこと、後者では放射線の回折現象による精度と走査測定ピッチに難点がある。最近これらの方法とは異なり円周上の複数個所を連続的に測定できるマルチビーム方式が開発された¹⁹⁾。これは図 14 にみられるごとく、複数ビームを管貫通させ、それぞれの減衰量から円周上各部の肉厚を連立方程式の解として求める方法である。管軸を測定装置の中心に保持することが精度上のポイントであるが、直径が比較的大きな場合この影響は十分小さい。

上記では主として計測技術が寸法精度向上に果たす効果について述べたが、寸法精度が製品とどのようなかわりを持つかをまとめれば大略表 5 のごとくなる。歩留り向上と合わせ、精度向上に意義を認識することがで

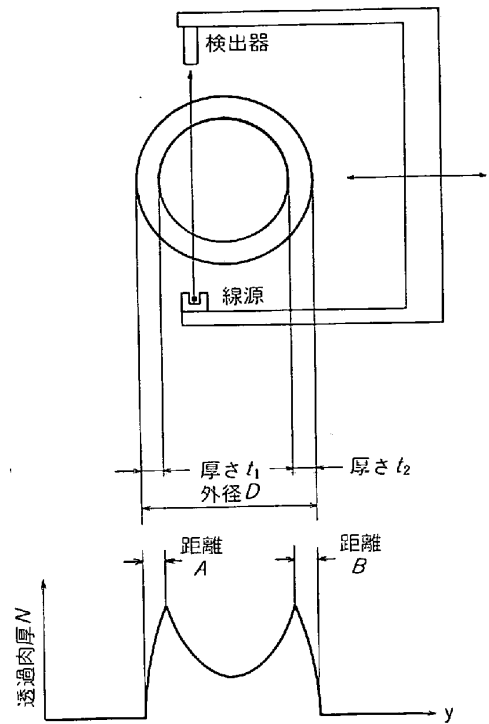


図 13 放射線単ビーム走査による肉厚測定の原理

きる。

5. きずの熱間自動検出

寸法測定と並び別の関心事であるきずの熱間検出は、技術的困難があり現状ではいまだ十分とはいえない。きず発生を要因を図 15 のごとく大きく 3つに分類した場合、設定制御技術によつてカバーできる範囲は小さく、工具や設備の状態に依存する部分が多い。それゆえ、熱間における管内外面のきずの検出と判定、工具損耗状態の検出と判定などの自動化や計測化が、まずは第一段階として待たれる技術である。第二段階は発生要因の除去を自動的におこなう技術であるが、この段階への到達にはかなりの時間を要するであろう。なお、熱間きず検出の方法として、渦流センサーや電磁超音波方式な

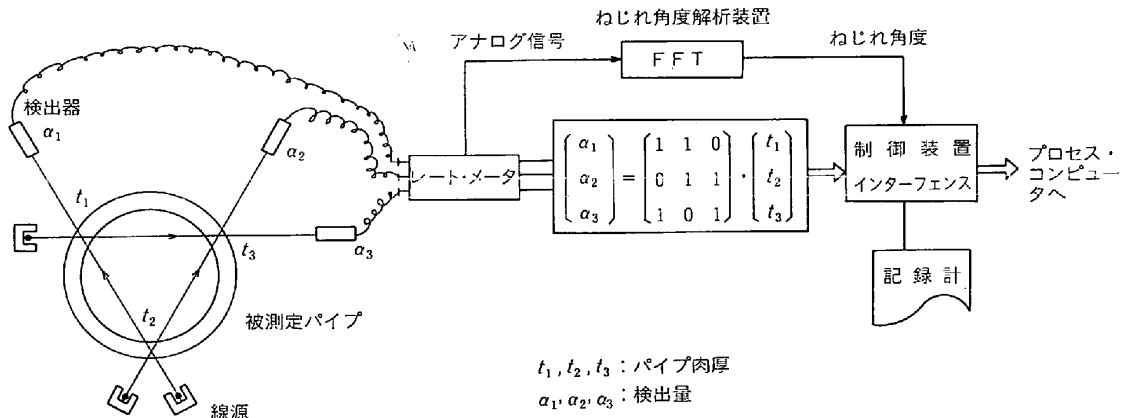
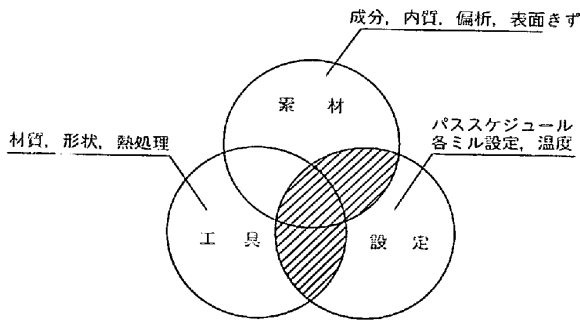


図 14 放射線マルチビームによる熱間肉厚測定の原理

表 5 寸法精度と用途上の不具合の関係

鋼管の種類	不 具 合 の 内 容	
	外径・真円度	肉厚・偏肉
ラインパイプ用 ボイラ・熱交換器用	—溶接開先の目 違い	—腐れ代不足
油井用	—外圧圧壊強度 低下 —ネジ切り黒皮 残り	—アプセット加 工不具合 —強度低下 —ドリフト不良
機械構造用	—機械切削加工時の黒皮残り, 切 削代過大	
冷間引き抜き素管用		—冷間引き抜き 後の偏肉



斜線部分は「設定」と「素材」「工具」の複合要因をしめす。

図 15 きずの発生要因

どの適用が研究対象となろう。

6. 結 言

近年エレクトロニクス分野の著しい進歩によつて, コンピュータ制御など圧延設備の制御技術は複雑高度化し, 今後さらにこの傾向は強まるものと予想される。制御のためにはそれに先だつて, 制御対象物の特性を定量測定することが必要であり, 制御技術は計測技術しだいであるとも言える。現場は計測技術者にニーズを出し, 計測技術者はこれに応える体制が必要であらう。

継目無鋼管の圧延ラインでは, 部分的なコンピュータ自動制御からライン全体を包括的に制御する方向に発展していくものと思われる。精整設備関係は, 従来生産管

理に重点が置かれ, 設備の制御水準は相対的に低かつたが, 矯正機や熱処理設備などに最近高度な制御を取り入れた設備が現れてきた。その他精整設備についても, たとえばネジ切り機, アプセット加工機や冷間引き抜き機などにあつても, NC 装置や諸計測装置の導入によつて, 標準化と自動化のための制御水準の向上が必要であらう。

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 32 回鋼管部会 (1979・5) 新日本製鉄(株) (私信)
- 2) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 16 回鋼管部会継目無鋼管分科会 (1975・2) 住友金属工業(株) (私信)
- 3) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 17 回鋼管部会継目無鋼管分科会 (1980・3) (私信)
- 4) 住友金属工業(株)特許出願公告 昭 54-1987-2 「マンネスマンブラグミルの圧延法」
- 5) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 75 回計測部会 (1980) 住友金属工業(株) (私信)
- 6) 日本鉄鋼協会: 第 3 版鉄鋼便覧Ⅲ (2), (1980), p. 1216 [丸善]
- 7), 8) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 63 回計測部会 (1976) 日本鋼管(株) (私信)
- 9) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 75 回計測部会 (1980) 新日本製鉄(株) (私信)
- 10) 川崎製鉄: 特許出願公開 昭 55-64926, 「圧延材の長さ測定装置」
- 11) 日本鋼管: 特許出願公開 昭 53-28549, 「継目無鋼管製造用定径機における外径修正方法および装置」
- 12) 桜田和之, 船生 豊, 増田敏一, 富樫房夫: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, p. 403
- 13) 日本鋼管: 特許出願公開 昭 54-126652 「連続式管圧延機の管形状制御方法」
- 14) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 66 回計測部会 (1977) 日本鋼管(株) (私信)
- 15) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 66 回計測部会 (1977) 住友金属工業(株) (私信)
- 16) 富樫ら: 川崎製鉄資料 (私信)
- 17) 新日本製鉄: 特許出願公開 昭 54-114263, 「放射線による鋼管の肉厚測定方法」
- 18) 川崎製鉄: 特許出願公開 昭 55-127997, 「管状材の寸法測定方法及び装置」
- 19) 川崎製鉄: 特許出願公開 昭 56-46406, 「管状材の管壁厚み測定方法」