

技術報告

UDC 531.71 : 681.3 : 669.14-122

圧延材料長さのオンライン計測について*

藤井 靖治**・大西 英明***・堀内 好浩**

On-line Measurement of the Length of Rolled Materials

Seiji FUJII, Eimei ONISHI, and Yoshihiro HORIUCHI

Synopsis:

Recently the importance of the length measurement of rolled materials has been increasing. Automatic length measuring equipments are expected to contribute not only to the improvement of operational facilities but also to the optimization of the cutting of materials and the saving of labor.

About the measuring equipments of the length of rolled materials, many reports have been issued in these several years, but few of them are operating well.

This report describes two kinds of automatic length measuring equipments that have been installed in the wide flange beam mill, Fukuyama Works, Nippon Kokan K.K. One of them is installed at the delivery of the finishing mill, and the other at the delivery of the roller straightener. The accuracies of the equipments are within ± 200 mm and ± 20 mm, respectively.

(Received July 3, 1972)

1. ま え が き

圧延製品の長さの計測の必要性は、操業面へのフィードバックのほか、歩留の向上、切断の最適化などの生産管理の面でも従来より強調されていたが、最近では省力化の面で効果をあげており、その重要さがますます深く認識されている。

一般的に、製品寸法はオフラインの検査工程で出荷前に人手によつて行なわれるが、こうした検査工数が非常に多く、生産工数に比して同程度あるいはそれ以上という例も少なくない状況である。またオフライン検査の場合、移送、反転、搬出などの材料のハンドリングを伴い、同時に人手による検査を行なうため材料に接近するので危険な作業になつている面が多い。したがつてその自動化、省力化の必要は高く、効果も大きいものと期待されている。これが形状、表面欠陥、材質欠陥と共に、寸法のオンライン計測が要望されるゆえんである。

本稿では対象を圧延製品の長さの計測に限定し、その方法の概要と当所の実施例と問題点について述べる。

2. 長さ計測の方法

圧延材料の長さ測定については従来より多くの方法が提案されており、実施例も多い。それぞれの方式について概略を説明する。

2.1 メジャリングロールを用いる方法

測長のために特別にメジャリングロール (Measuring Roll) と称するロールを設け、これを走行する材料に押しつけて材料速度と等しい速度が回転させ、この回転数から長さを求めるものである。メジャリングロールの回転数を取り出すにはアナログ式またはデジタル式いずれも可能であるが、通常パルス発生器 (Pulse Generator, 以下 PG と略す) で行なわれることが多い。

この方法は簡単であるため広く行なわれており、たとえばホットストリップミルのクロップシャーにおけるクロップ長の計測と制御、種々のラインにおけるコイルハンドリングの際のコイル巻戻し長の計測などに用いられている。また製品長の測定に用いる例も多い^{1)~3)}。

この方法は簡単であるが欠点も多く、

- (1) 材料とメジャリングロール間にスリップがあると誤差が出る。
- (2) 材料の頭部では、それまで停止していたメジャリングロールが材料速度に同期するまでの部分に誤差が出る。
- (3) メジャリングロールの摩耗が誤差となる。
- (4) 接触式であるため材料に表面きずを発生させる恐れがある。

* 昭和 47 年 7 月 3 日受付
 ** 日本鋼管(株)福山製鉄所
 *** 日本鋼管(株)技術部

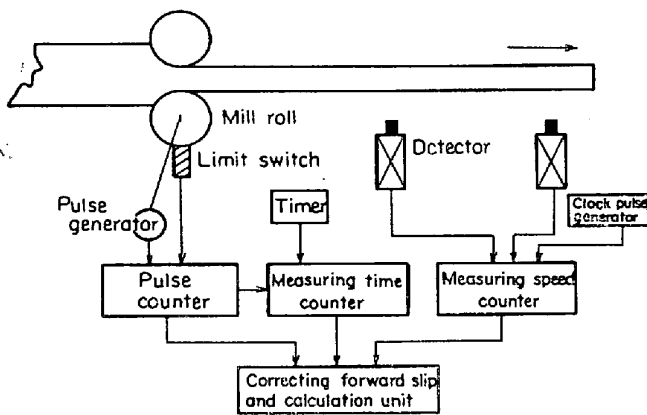


Fig. 1. Schematic diagram of the length measurement by using mill roll rotation⁷⁾.

などのためあまり高精度は得られない。

2.2 圧延ロールの回転数を用いる方法

メジャリングロールを設ける代わりに、圧延ロールの回転数を取る方法も広く用いられている^{4)~8)}。

この方法で問題となるのは圧延ロールの周速と材料速度が一致しない点である。すなわちロール周速に比して圧延機出側での材料速度が通常大きく、その比を先進率と称するが、材料の圧延機入側および出側での厚みその他により先進率が変化するために誤差が生ずる。この欠点を除くため先進率を自動補正するような機構を考案した例もある⁷⁾。(Fig. 1)

2.3 その他のロールの回転数を用いる方法

スキンプスミルなどで出側のデフレクタロールの回転数を用いても測長が行なえる。この方法の利点はコイルとロールの接触面積が比較的大きいためスリップが小さい点にある⁹⁾。

また特殊な例としてはテーブルローラーの回転数を使用することもできるがメジャリングロールと同等またはそれ以下の精度しか期待できないと思われる。

2.4 光学的方法

2.4.1 多数の材料検出器を設置する方法

この方法は圧延ラインに沿って材料検出器を多数並べ、材料を検出している検出器の数を用いて測長するものである。熱間圧延中の材料の場合は熱塊検出器 (Hot Metal Detector, 以下 HMD と略す) を用い、感光範囲より材料長が求められる。また投光器と受光器がペアになった検出器を用い、材料により遮光されることで検知するなら冷間材についても同じ測長方法を応用することは可能である^{12)~14)}。(Fig. 2)

この方法は、その測定原理より明かなように、検出器側に可動部分 (たとえば FG のような) がないため他の方法に比して誤差の要因が少ない利点がある。その反面

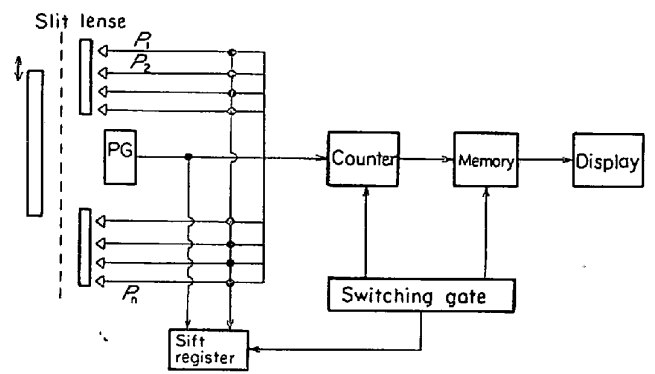


Fig. 2. Schematic diagram of the length measurement by using multi detector¹²⁾.

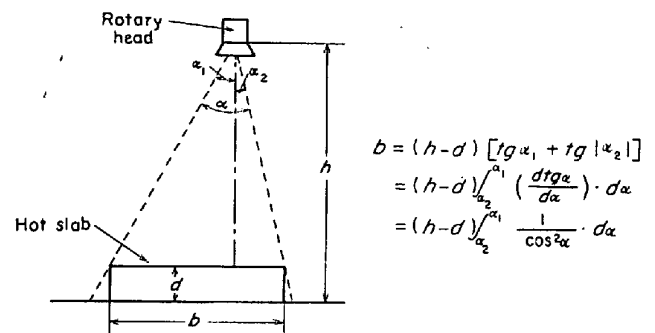


Fig. 3. Schematic diagram of the length and width measurement of hot slab¹⁵⁾.

検出器の最小間隔で測定の精度あるいは分解能が規定されるので、高精度を得ようとすると検出器の個数を増加する必要があり高価になる。検出器の個数を減らすために、材料の中間に相当する部分の検出器を省略する方法、正尺と副尺の組合せによる方法など提案されている。

2.4.2 光学的に走査する方法

おもに熱間材を対象とするが、検出器に HMD を用い材料を走査し、材料の端部の位置を求めこれから長さを求めるものである^{15)~18)}。実際には検出器を動かすかわりに回転多面鏡により走査している。すでに実用化されているホットストリップ用のコイル幅計の原理と全く同じものである。Fig. 3 に測定原理を示した。

この方法は精度は高いが、据付上の制約のため高々 10m 以下の測長に限られるほか、材料厚みおよび位置により補正する必要があり、応用例もスラブと厚板のみである。

また 2.4.1, 2.4.2 の方法と 2.1, 2.2 の方法をミックスした方法も用いられている。

2.4.3 テレビを用いる方法

熱間圧延された厚板について、テレビで撮影しビデオ信号のレベルが材料の存在により高くなることを利用したものであり、水平走査方式と走査線計数方式の 2 種が

提唱されている。撮像管の偏向歪みのため誤差が出るが、これを自動補正するようにして0.1%程度の精度を得ているといわれる¹⁹⁾。

設置上の制約もあり、また材料厚みや位置による補正が必要であるなどの難点はあるが、今後形状測定などにも発展する可能性を持つていると思われる。

2.5 レーザーその他を用いる方法

最近の技術の進歩に伴い、比較的簡単にレーザー光が入手できるようになり計測の分野にも応用されるようになってきている。検出器として使われる以外に、レーザードプラ効果を用いた材料速度の計測、光源としての使用など種々のアイデアが出ているが製品としてはまだ実用化されていない。またマイクロ波の応用も盛んになり、ドプラ効果を用いる法、共振を利用する方法などが提案されている²⁰⁾。

以下当所での測定の実施例のうち、形鋼の測長についてその概要と、実施するに際しての検討した点について述べる。

3. 形鋼の熱間圧延ラインにおける測長

H形鋼、山形鋼、シートパイル、軌条などの形鋼製品の場合、熱間での測長は歩留向上のためにはとくに重要なことである。すなわち、形鋼では同一断面でも長さが種々異なるものの受注が混在しているため、異なる注文長をうまく組合せて一本の材料より鋸断して取ることが歩留向上にとつての目標となる。そのため材料の鋸断前の圧延長を正確に測長することが必要となる。

3.1 機器の構成と測定方法

Fig. 4に測長装置の系統図を示した。この装置は仕上ミル出側に設置されているが、仕上ミルにはPGがついていてロールが回転するとパルスが発生する。また2進14ビットの容量の2個のカウンターA、Bを持ち、材料の先端が仕上ミルに噛みこまれるとこれをロードセルとそれに接続されたロードリレーで検出し、ロードリレーONで一方のカウンターが計数を始める。仕上ミル

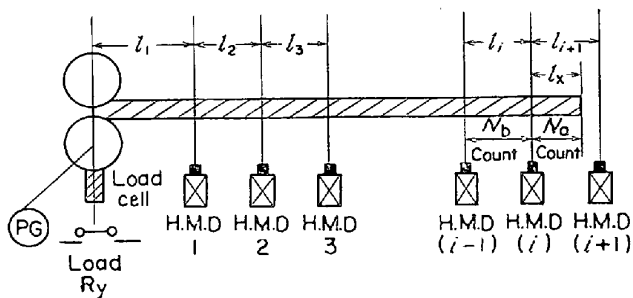


Fig. 4. Schematic diagram of the length measurement of the wide flange beam.

出側テーブルには圧延方向に沿つて適当な距離をおいて9個のHMDが設置されている。材料が先端がHMDを通過するごとにカウンターが切りかわり、ロードリレーがOFFになるまで、すなわち材料が仕上ミルを抜けるまでこれをくり返す。いまロードリレーがOFFのとき、たとえばAカウンターが計数中であつてN_aを計数し、Bカウンターの方はN_bを計数していたとする。(Fig. 4)このときの材料長Lは次式で与えられる。

$$L = \frac{N_a}{N_b} l_1 + (l_1 + l_2 + \dots + l_i) \dots \dots \dots (1)$$

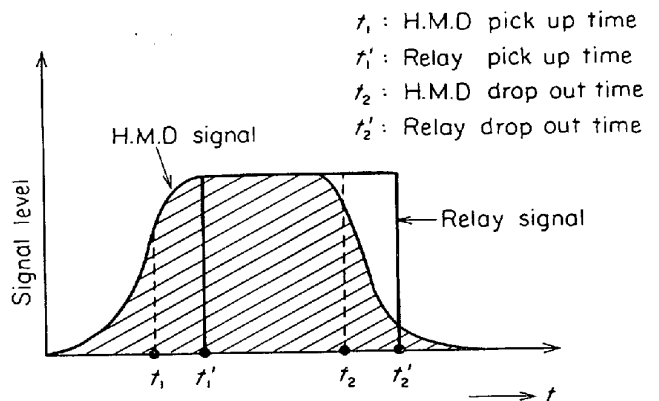
l₁, l₂, ……は既知の量であるので、実際に測定するのは(1)の式の右辺の第1項すなわちFig. 4のl_xの部分のみである。この方法では基準点を複数個有し、HMDを材料先端が通過するごとに基準点を新しく取つていくので、誤差はl_xの部分に対してのみ発生する。しかも(1)式よりわかるように前ゾーンの長さを基準にして補正するのでスリップ、ロール径の変化なども自動的に補正される。したがつて原理的に誤差となるのは、ロードリレーおよびHMDの時間おくれと、カウンターにおける±1パルスのいわゆる量子化誤差のみであるが、詳細は次項で述べる。また誤差の大きさが測定値にかかわらずほぼ一定である特長を有している。なお(1)式の演算はプロセスコンピューターによつて行なつている。

3.2 誤差の検討

長さ計システムの設計に当たり、各部において発生する誤差の検討を行なつたが、その結果は次のとおりである。

3.2.1 HMDの動作特性による誤差

HMD-ON信号の立上り時間およびリレーの応答時間は、共に真値に対して遅れ時間となる(Fig. 5参照)。この遅れが各HMDについて等しければ、問題は最後にONするHMDについてのみ残り、この遅れは測定さ



Optical error of H.M.D ± 4 mm
Timing error of H.M.D 10 ms

Fig. 5. Characteristic of hot metal detector.

れる形鋼の長さに対し負の誤差の（長さを実際より短くみる）要因となる。HMD としては高速形で細ビームを用いるとして、メーカーの試験値によると

- (1) HMD の光量誤差 $\pm 4 \text{ mm}$
- (2) HMD+リレーの動作時間誤差 $10\text{ms} \pm 3\text{ms}$

このうち絶対的な遅れはプログラムで考慮するとしてばらつき分 $\pm 3\text{ms}$ を問題にする。ラインの最高速度は 10m/sec であるから $\pm 30 \text{ mm}$ の誤差となる。したがって HMD の動作特性による誤差は $\pm 34 \text{ mm}$ となる。

3.2.2 材料形状、温度の影響による誤差

クランプ形状および温度により HMD-ON の時間にはばらつきが出る。形鋼寸法が大きいほど、また温度が高いほど HMD の応答は早くなるが、この部分の誤差は一般には算定不能であるので、これを $\pm \alpha \text{ mm}$ とする。

3.2.3 PG の量子化誤差

光電式パルス発生器はその機構上、 ± 1 カウントの誤差が見こまれる。ロール径により若干の違いはあるが、 600pulse/rev の PG を用いると 1 パルスは $6 \sim 8 \text{ mm}$ に相当する。ゆえにこの部分の誤差として $\pm 8 \text{ mm}$ を見こむ。

3.2.4 ロードリレー

ロードセル OFF 信号の立下り時間およびリレー応答時間は共に真値に対しての遅れ時間となる。この遅れは正の（長さを実際より長くみる）誤差要因となる。したがって 3.2.1 項の HMD の ON 信号の遅れによる誤差を打消す方向に作用する。

- (1) ロードセル出力リレー OFF $15\text{ms} \pm 4\text{ms}$
- (2) その後の電気品リレー OFF $5\text{ms} \pm 2\text{ms}$

合計 $20\text{ms} \pm 6\text{ms}$ の誤差を考えるが、絶対的な遅れはプログラムで考慮するとして、ばらつきは最高速度において $\pm 60 \text{ mm}$ の誤差となる。

3.2.5 ロール速度

3.2.1 項および 3.2.4 項の誤差について、絶対的な遅れはプログラムで考慮すると述べたが、実際には長さに換算して補正するので、ロール速度の変動が誤差要因となる。実作業ではロール速度一定の圧延を行なうのが常であるが、この誤差を高々 $\pm 20\%$ と見こむこととし、最定速度 10m/sec でロール速度変動誤差は $\pm 60 \text{ mm}$ となる。

3.2.6 ロールと材料の相対速度

- (1) ロールと材料間にスリップがあると、パルス数は減少し、負の誤差となる。
- (2) ロール摩耗によるロール径の変化はパルス数を増加させ、正の誤差となる。
- (3) 中立角は圧延条件（材料厚み、仕上厚み、ロー

ル径など）で異なるが、仕上ミルの場合は $2 \sim 3^\circ$ である。いま何らかの理由で中立角が 0.5° 変化したと仮定すると、ロール周速に対する材料速度は約 1.5% 変化する。

これら (1), (2), (3) の条件はいずれも誤差要因となるが、これがロードリレー OFF になる HMD 間と、一つ前の HMD 間では平均的に一定であると見なして無理がない。したがって (1) 式に示したようにパルス数の比 N_a/N_b を取ることにより補正できる。

以上、測長装置を設計するに当たって、精度に影響をおよぼす各種誤差要因に関する変動幅について論じてきた。

各種要因をまとめると

HMD の動作特性誤差	$\pm 34 \text{ mm}$
材料形状、温度による誤差	$\pm \alpha \text{ mm}$
PG の量子化誤差	$\pm 8 \text{ mm}$
ロードリレー誤差	$\pm 60 \text{ mm}$
ロール速度変動誤差	$\pm 60 \text{ mm}$

が誤差要因となり計 $\pm 162 + \alpha \text{ mm}$ の誤差が想定される。ここで α を約 50 mm と仮定すれば $\pm 212 \text{ mm}$ 以内に収まることが想定される。

3.3 設置時の配慮した点

前項の検討結果に基き、実際の機器の設計を行なつたが、設置上とくに配慮した点を述べる。

3.3.1 HMD

HMD は細ビーム用のものを用いたがさらに視野を制限するため、テーブル側面のエプロンガイドに幅 40 mm のスリットを設け、横側からにらむ構造とした。またガイドの温度が上昇すると動作が不安定になるので、スリットの周囲には耐熱ボードを張り、対向するジャケットには水冷ガイドを設けた (Photo. 1, 2 参照)。

3.3.2 温度補正

この長さ計は直接には熱間長を測定するものであるが、鋸断においては冷間長が希望値になることが必要であり、そのため温度を仕上ミル後面で測定し、補正を行なっている。熱間材料の測温自体に技術的な問題が多く



Photo. 1. Hot metal detector for measuring length.



Photo. 2. Detector and guide cooler.

存在するが、これは本稿の目的ではないので省略する。形鋼の場合にはさらにフランジ部とウェブ部の温度差など、固有の問題も多いので補正に当たっては特別な考慮をはらっている。

3.4 使用実績

設置当初下記の問題点が発生した。

3.4.1 ロードリレー OFF 信号の誤動作

形鋼ミル仕上圧延機の最終パスは軽負荷であるため、ロードリレー信号が誤動作した。この誤動作を防止するために HMD とのインターロックを入れた。

3.4.2 カウンター・リセット回路の不良

2個のカウンターのセット・リセット回路にクリティカルなタイミングエラーが発生した。

3.4.3 ガイドクーラーの件については、設置以前に実験したが、クーラーがない場合は HMD の誤動作があり、われわれ予想が正しかった。

Fig. 6 にこの長さ計の精度について示した。チェック方法としては、ホットソー前後のエプロンガイドに長さ目盛を付し、これに基づいて読みとつたクランプ長と、製品については、冷間での実測長を熱間補正した値を真値として長さ計の指示との比較を行なった。

これから明らかなように 3.2 項で考察した誤差とほぼ一致した精度が得られている。

種々の形鋼サイズに対してデータチェックを行ない、設置目的に十分満足した結果が得られたので、圧延ライン稼動 1 カ月後にオンライン使用を開始した。

4. 形鋼精整ラインにおける測長

これは冷間での測長の一例であり、3 で述べたものと同様の方法を形鋼精整ラインに応用したものである。注文生産の形鋼では、製品に寸法(断面寸法×長さ)、その他を印刷したラベルを貼付して出荷することになっているが、このため検査ベッドにおいて製品寸法の最終確認と異長材混入防止のために測長を行なっている。従来は 2 名の作業員が巻尺を用いて測長していたのを自動

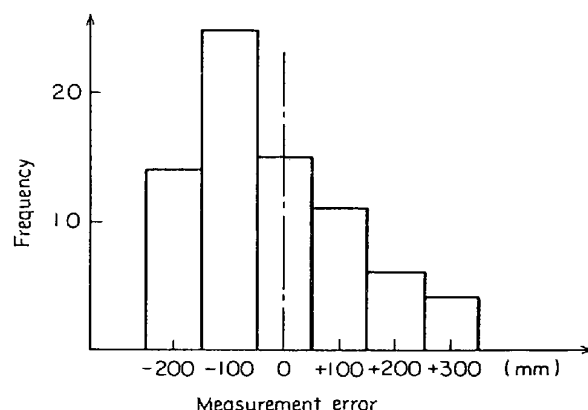


Fig. 6. Distribution of the error.

化し省力化したものである。

4.1 構成と測定原理

Fig. 7, Photo. 3 に系統図を示した。測長装置は形鋼精整ラインの矯正機および出側テーブルに設置した。矯正機 No 3 ロールに PG を取付け、材料検出器はホトセルを用いた投受光器形のものを使用した。測定原理は 3 項のものと同様であるが、計数の終了は矯正機入側に設けた検出器の OFF によつて行なっている。演算は専用のミニコンを用いて行ない、得られた長さを検査ベッド附近に設けた表示器に表示するが、矯正機と検査ベッド

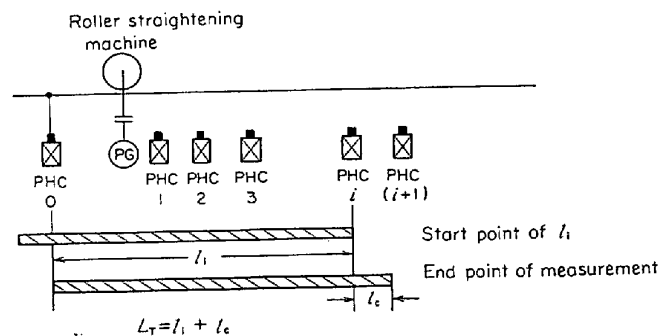


Fig. 7. Schematic diagram of the length measurement by using roller straightening machine revolution.



Photo. 3. Length measuring equipment at roller straightener.

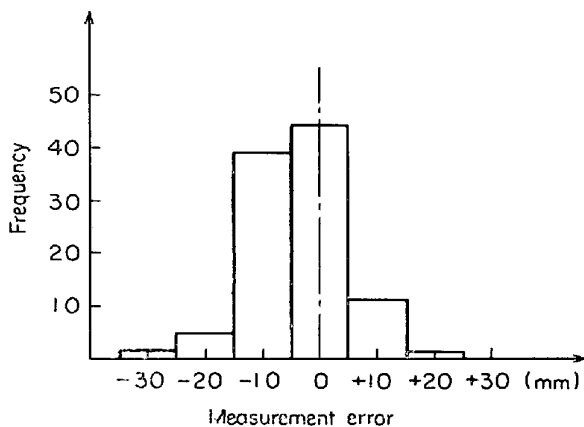


Fig. 8. Distribution of the error.

の間のおくれを考慮して3本分を表示している。

設置に当たつて考慮した点は

(1) 矯正機はロール1本おきに駆動ロールと自由ロールが配列されているが、PGはスリップの小さい自由ロールに設置した。

(2) 検出器には有効径15mmのものを用いた。また材料の変形、おどり、寸法の変化あるいは矯正ロールの位置の変化などに基く視野のはずれを防ぐため、検出器を同一場所で高さの異なる位置に2個設置し、いずれかの検出器を遮光するようにしている。

4.2 精度

この測長装置による測定値と、検査ベッド上での測定値(真値とする)の比較をFig. 8に示した。精度は ± 20 mmが得られている。

5. 結 言

以上、圧延材料の測長についてその方法の展望と、当所での実施例を述べた。オンラインでの測長にはライン固有の問題も多く、設置に際してはとくに十分な検討を行なう必要があり、細心の配慮がないと成功しない点をとくに強調したい。

当所の形鋼ラインでは、熱間で ± 200 mm、冷間で ± 20 mmの精度が得られ、歩留向上、省力化に寄与している。

寸法計測は形状計測、検査などと共にさらに検討、開発を進めていくべき分野であり、すぐれた方法の開発を願つてやまないものである。

文 献

- 1) 神代: 特許公報昭 42-4060
- 2) 住友金属: 第26回計測部会資料, (1963)
- 3) O. STEINBRECHER: Iron Steel, (1970) 4, p. 93
- 4) M. ALLIOT: 鉄鋼オートメーション国際会議(1965)資料, E-102, (1965)
- 5) Davy & United Instrument Ltd: 特許公報昭43-11708
- 6) U. S. Steel: 特許公報昭 39-688
- 7) 北之園, ほか: 特許公報昭 43-32506, 32507
- 8) P. SKILTON, et al.: 鉄鋼オートメーション国際会議(1970)資料, G-1, (1970)
- 9) D. SCHÖNERT: 鉄鋼オートメーション国際会議(1965)資料, G-104, (1965)
- 10) 堤, ほか: 特許公報昭 35-7981
- 11) 森, ほか: 特許公報昭 35-7982
- 12) 藤井, ほか: 特許公報昭 39-19937
- 13) 松原, ほか: 特許公報昭 43-11708
- 14) J. A. DONOGHUE: Steel Times, (1967), Jan., 20, p. 72
- 15) C. MCKENZIE, et al.: Transactions of Society of Instrument Technology, (1966), p. 230
- 16) A. BETTS, et al.: AEI Engineering, (1967), 7, p. 20
- 17) W. DOUGHERY, et al.: Iron Steel Eng., (1967), 8, p. 96
- 18) G. PORLEKOWSKI, et al.: 鉄鋼オートメーション国際会議(1970)資料, E-1, (1970)
- 19) 八幡製鉄: 第44回計測部会資料, (1969)
- 20) たとえばフランス SFIM 社の MADRA 400 など