

.....
論 文
.....

UDC 621.771.237.08 : 531.71 : 620.179.141

磁気マーク法と現場計測への応用*

高藤 英生**・石田 次雄**・草鹿履一郎***

Magnetic Mark Method and Its Application to Measurement in Industry

Hideo TAKAFUJI, Tsugio ISHIDA, and Riichiro KUSAKA

Synopsis:

This paper describes a unique non-contacting technique for putting and detecting a magnetic mark on a traveling strip or wire and its application to measuring systems of speed, length and so on.

The speed of a running strip or wire can be measured according to the relation $V=L/T$, in which V is the speed of the mark on the material, L is the distance between the marker and the detector arranged along the direction of travel and T is the time interval between the marking and the detection.

Both the marking and detection are done electro-magnetically as explained in detail in this paper.

This technique is applicable to the speed meter, reduction ratio meter, and slip meter, and further to the precise measurement of whole length of strip or wire.

Some equipments have been installed and are being used in works, of Nippon Steel Co..

(Received Sept. 29, 1972)

1. 結 言

圧延プロセスにおいて、オンラインで製品の速度、長さなどを正確に測定することは、基本的かつ重要な技術である。

リコイルラインにおける張力制御のためのコイルの速度測定、調圧ラインにおける材質制御のための圧下率測定、製品コイルラインにおける商取引のためのコイルの長さ測定、メッキラインにおけるスリップ疵防止のためのロール・コイル間スリップの測定などはすべて速度あるいは長さ測定の必要な代表的な例である。

現在一般にコイルラインの速度・長さの測定には、コイルに接触して回転するデフレクターロールやメジャリングロールを利用しているが、ロールの摩耗、スリップなどに起因する誤差があり、種々改良が加えられているけれども、必ずしも現場要求をすべて満してはいない。

このため、鋼板表面の反射光を利用した相関法¹⁾やレーザ反射光のドップラー効果を利用する方法²⁾³⁾など各種原理の非接触速度計が研究開発されているが、まだ完全には実用化されていないようである。

鋼板に磁気マークを録磁してこれを測定に用いる着磁法のアイデアは以前からあり、最初イギリスにおいて、

圧延ロール入側出側のストリップに同相の交流を加えて磁気縞をつけ、磁気縞の位相差から圧下率を求める方法が試みられたが、実用化には至らなかつたようである⁴⁾。

実用化が報告されている例では、本研究と相前後してアメリカでコイル剪断断さ計に応用されたものがあるが、長さ測定そのものはメジャリングロールで行ない、その校正に着磁法を用いるという方式で、着磁法としては補助的な使い方である⁵⁾。

本研究は、原理的にはやはり着磁法を用いているが、とくに現場ラインでの実用性を考慮して、磁気マークの着磁、検出および信号処理に独特の方法を用いているため、測定の安定性、実用性、精度がきわめて向上している。

研究室の基礎実験と併行して、数多くの現場ラインで速度計、圧下率計、長さ計、スリップ計などの測定システムとしての検討を行ない、現場実用的な技術を確立した。

* 昭和47年10月本会講演大会にて発表

昭和47年9月29日受付

** 新日本製鉄(株)基礎研究所

*** 新日本製鉄(株)基礎研究所 理博

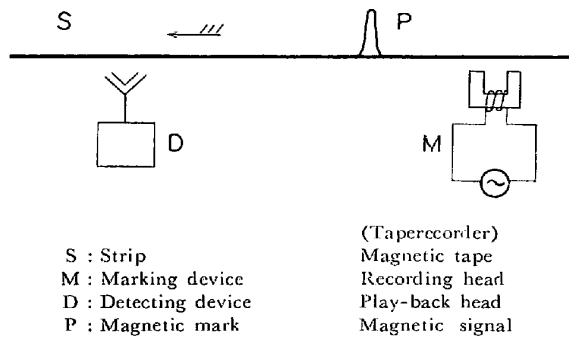


Fig. 1. Principle of magnetic mark method.

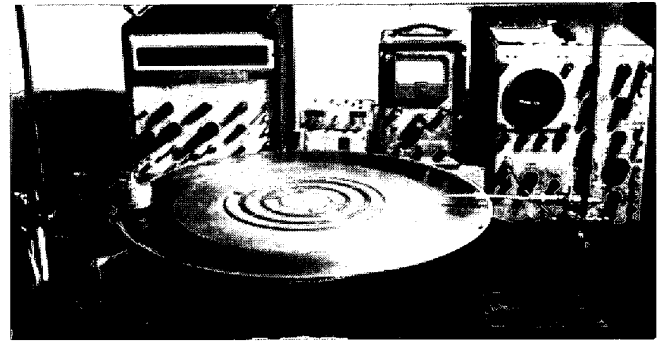


Photo. 1. Experimental apparatus.

現在いくつかの生産ラインで本装置が稼動を開始している。

2. 原 理

原理的にはライン走行中のストリップを磁気テープにみたてた、テープレコーダー技術の鉄鋼圧延プロセスへの応用である。

Fig. 1に示すように、走行中のストリップSに、着磁装置Mを用いて局部的に磁気マークPをつけ、これを検出装置Dで検出することによって、ストリップの速度や長さを完全非接触で測定する。

3. 実 験

3.1 基礎実験

3.1.1 実験内容

基礎実験では、次の4点について検討を行なった。

- Ex. 1 着磁特性：鋼板に局部的な磁気マークをつけることができるか？
- Ex. 2 着磁方法：鋼板に走行中も磁気マークをつけることができるか？
- Ex. 3 検出方法：その磁気マークを走行中に検出することができるか？
- Ex. 4 信号処理：検出信号を測定に用いるにはどんな信号処理が必要か？

3.1.2 実験装置

実験室で直線運動を実現するのはむずかしいので

Photo. 1に示すような回転モデルを用いた。

- a) モデル：レコードプレーヤーのターンテーブルに鋼板(600φ)を載せて回転。
- b) 着磁装置：電磁石および電流制御回路
- c) 検出装置：コイル、ガウスメーター
ホール素子、マグネセンサー
- d) 信号処理：手製電子回路

3.1.3 実験結果

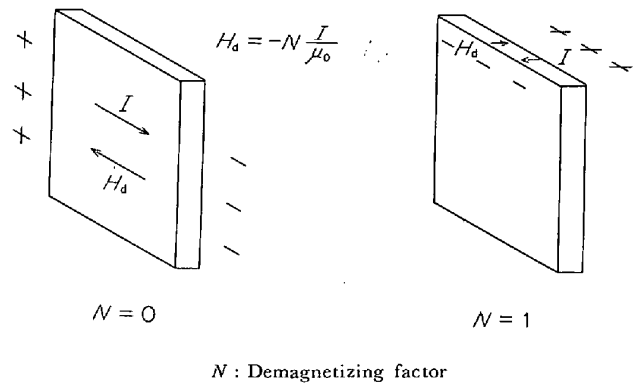


Fig. 2. Effect of demagnetizing field.

Ex. 1: 着磁特性

鋼板の着磁特性を調べるため、各種形状のマグネットを用いて試料に直流磁場をかけ、試料内部に生じた残留磁化 I_r が、試料表面空間に形成する残留磁界 H_r の分布をガウスメーターで測定した。

① 着磁の方向 (Fig. 2)

大きな磁気マークをつけるには、磁場の強さもさることながら、着磁の方向が重要で、板面に平行に行なうのが得策である。これは反磁場の影響によるものと考えられる。

② マグネットの形 (Fig. 3)

マグネットの形と残留磁気の形は密接に関係するが、検出方法、実用性ともからんで、Fig. 3(a)を採用した。したがって以下のデータはすべて、Fig. 3(a)の H_z を示している。

③ 圧延材の着磁性 (Fig. 4)

着磁性は、材料によつて異なるが、Fig. 4にごく普通の冷延薄板 SP1 の結果を示す。これによつて、普通鋼薄板は飽和状態で 10 Gauss 程度の磁気マークをつけることが可能であることがわかる。ちなみに地磁気は 0.5G 程度である。

④ 磁気マークのひろがり (Fig. 5)

強く着磁しようとするれば、着磁マークはどうしてもあるひろがりをもつてつくので、後述するように、測定精

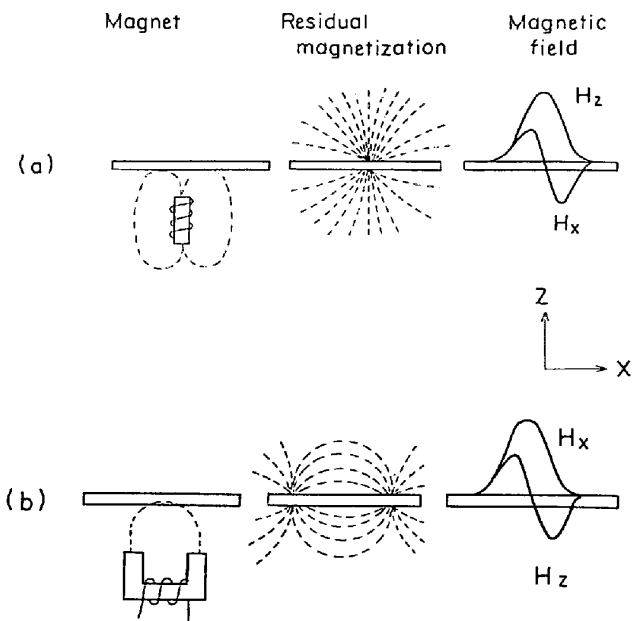


Fig. 3. Effect of type of magnet on the patterns of magnetic field induced on sheets.

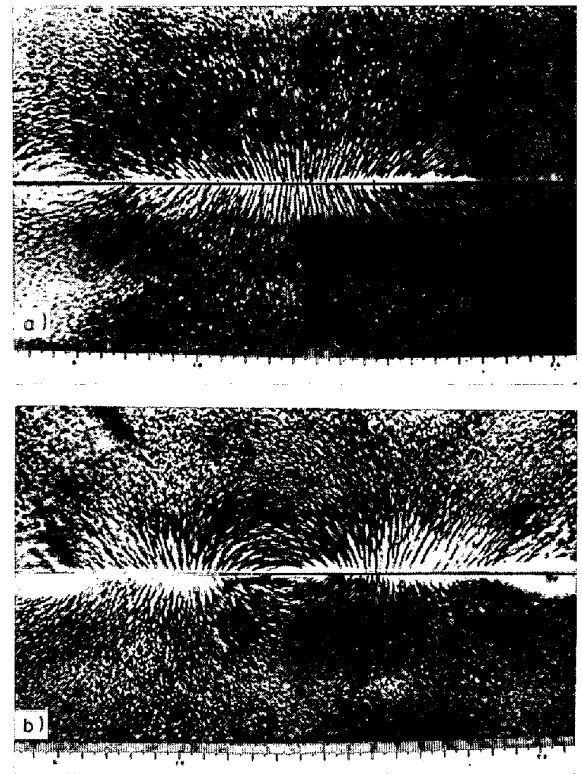


Photo. 2. Patterns of magnetic field on sheets.

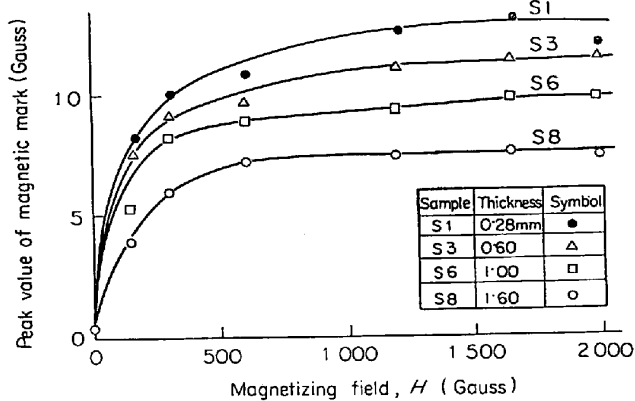


Fig. 4. Magnetization characteristics of rolled sheet (SP1, $h=0$ mm).

度を得るには、何らかの信号処理が必要になる。

⑤ 試料面からの距離と残留磁場の強さ (Fig. 6)

試料表面から離れると、磁場の強さは急速に弱くなる。これは後にオンラインでの磁気マークの検出に重要な影響をもつてくる。

⑥ Mechanical Hardness と Magnetic Hardness (Fig. 7)

よく知られているように、普通鋼では、機械的な硬度と磁気特性には密接な関係があり、一般に硬度の大きいものほど磁化が残りやすい。Fig. 7 に示すように、同一材料のものでは、板厚の薄い板ほど着磁性がよくなっているが、これは薄いものほど大きな加工を受けて硬度が高くなっているためと考えられる。しかし材質が異なれば着磁性も大きく変わるから、着磁性と板厚の関係は一

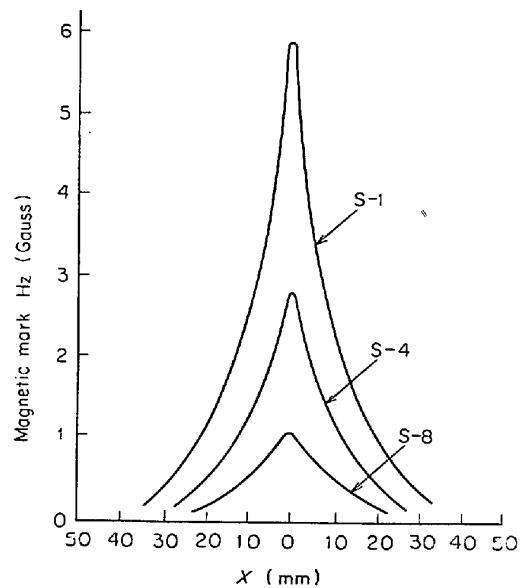


Fig. 5. Distributions of the strength of magnetic mark, H_z , on the surface for various samples S-1, S-4, S-8. ($H=2260$ Gauss, $h=0$ mm)

概にはいえない。また焼鈍によつて着磁性が減少しているが、これは調圧ラインのように、焼鈍したコイルに用いるとき、大きな問題になる。

⑦ 機械的な振動による磁気マークの消失

試料に機械的な振動、衝撃を加えると、逆磁歪効果によつて、磁気マークが減衰、消失する。振動、張力変動

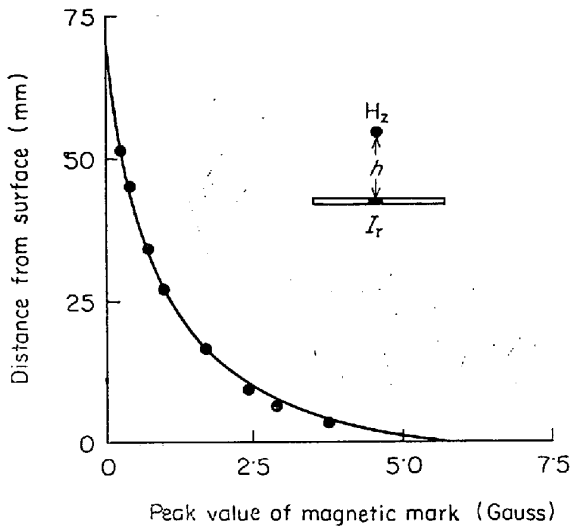


Fig. 6. Relationship between peak values of 'Magnetic Mark' and the distance from the sheet surface.

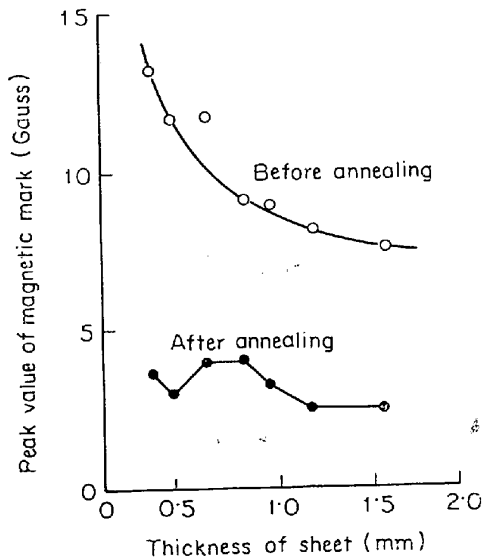


Fig. 7. Relationship between magnetic hardness and mechanical hardness. Annealed : 1 000°C, 80 min, in Ar atmosphere, Sheet : SP1.

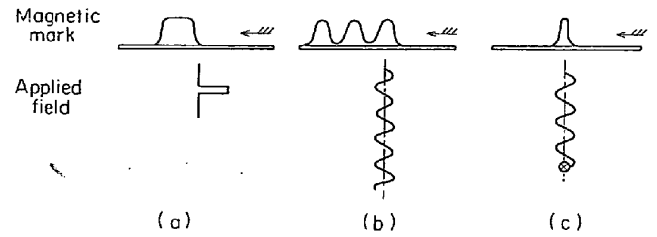
のある現場ラインでの計測には、重大な障害となつてくる。

Ex. 2 : 着磁方法

つぎに高速で走行している鋼板に磁気マークを印加する方法を検討するため、Photo. 1 のモデルを用いて実験を行なつた。

① 交流遮断着磁法の開発

走行中の物体への磁気マークの印加法には、通常パルス着磁法、交流着磁法が用いられるが、本目的には次のような欠点がある。



(a) Marking by application of a pulse field.
(b) Marking by continuous application of a. c. field.
(c) Marking by abrupt cut off of a. c. field.

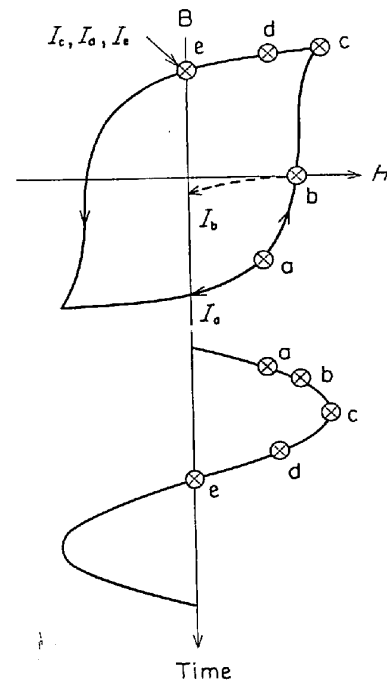
Fig. 8. Magnetic marking methods.

(a) パルス着磁法 (Fig. 8 (a))

パルス状の磁界を印加して、局部的な磁気マークをつける方法であるが、物体が走行している分だけマークが拡がる ($V=10\text{m/s}$, $\Delta T=10\text{ms}$ として $\Delta L=V \cdot \Delta T=100\text{mm}$)。またマグネットコイルのリアクタンスのためあまり幅の狭いパルス電流を入れることは簡単でないなどの欠点がある。

(b) 交流着磁法 (Fig. 8 (b))

交流磁界で磁気縞をつける方法で、文献3)はこの方法を用いているが、走行速度に対して周波数が高すぎると交流消磁が起こるし、低くすると磁気縞の幅が拡が



⊗ : Cut off position of a. c. field
I : Residual magnetization

Fig. 9. Schematic illustration for the intensity and direction of residual magnetization depending on the cut off phase of a. c. magnetizing field.

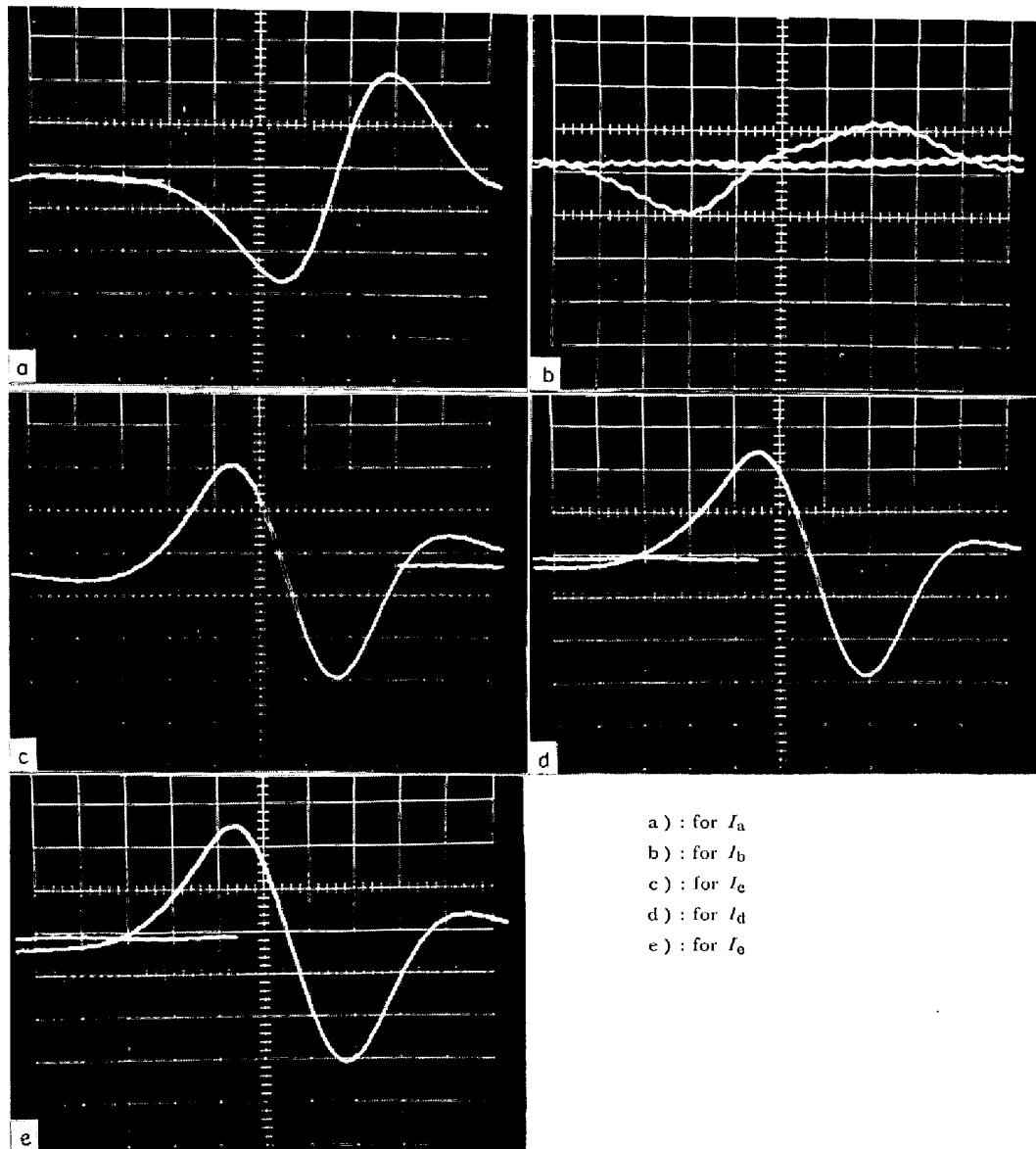


Photo. 3. Magnetic mark for various magnetization conditions, $I_a \sim I_e$, shown in Fig. 9 (detected by difference method).

て、測定精度が悪くなるという欠点をもっている。

上に述べたような点を考慮して、本研究では Fig. 8 (c)に示すように比較的高周波の交流磁界を印加しておき、これをある瞬間、適当な位相で遮断することによって、走行中の磁性体に幅の狭いマークをつける方法を開発した。

② 交流遮断着磁法の本メカニズム

走行中の磁性体に交流磁場をかけると、磁界影響範囲内を通過中の磁性体内自発磁化は、Fig. 9に示すように磁化特性曲線に添って回転をうける。この回転磁場内を通過し去る磁性体は、交流周波数が十分大きければ、交流消磁の原理によつて消磁をうけるが、ある瞬間、回転

磁場を遮断すると、磁界影響範囲内の自発磁化は、その瞬間の磁気履歴に対応する状態で凍結され、遮断時、磁界影響範囲内にあつた部分に、遮断位相に対応した局所的な残留磁気マークがつく。この際、着磁マグネットの磁界影響範囲は、磁性体が走行しているといないに関係なく一定であるから、磁気マークが走行中ひろがるということは原理的になくなり、幅の狭いマーキングが可能になる。

このメカニズムを実験的に確認したのが Photo. 3 で Fig. 9 の a ~ e で示す各位相で交流磁界を遮断したとき回転円板についた磁気マークを、差分式検出装置（後述）で検出した結果である。

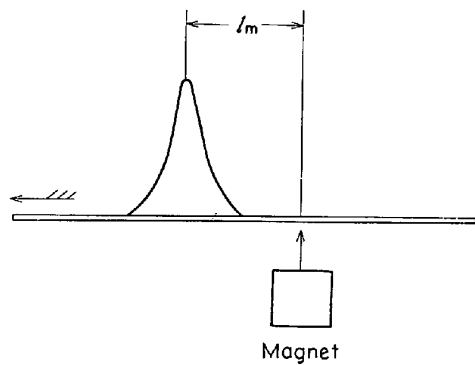
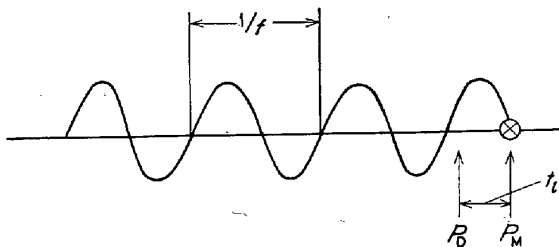


Fig. 10. Leading shift of magnetic mark due to magnetic hysteresis.



P_D : Marking instruction pulse
 P_M : Marking execution pulse
 t_l : Magnetic marking lag time

Fig. 11. Magnetic mark lag due to a time lag between marking instruction and marking execution.

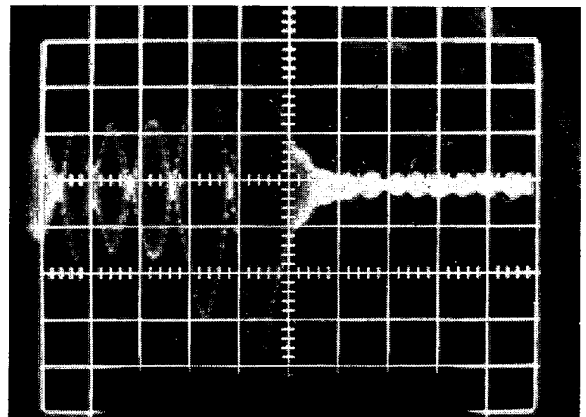
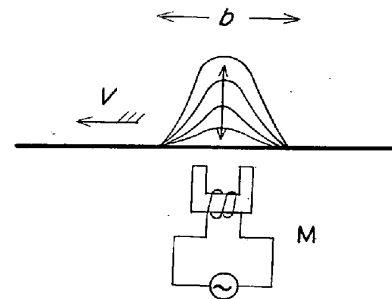


Photo. 4. Magnetic stripes.



V : Speed of strip
 b : Width of magnetizing field
 β : Safety factor ≥ 1
 f_c : Critical magnetizing field frequency

Fig. 12. Magnetic stripes produced by magnetizing field with lower frequency than critical value.

③ 交流遮断着磁法の問題点

(a) 着磁進み

Fig. 10 のように棒磁石で着磁するとして、磁性体が停止していれば、磁気マークはマグネットの真下に対称につくはずであるが、走行中は事情が変わってくる。

磁性体の各点に着目すると、自発磁化は、交流磁場の空間分布、時間的変化、走行速度などから定まる、磁化特性曲線上の複雑な軌跡を辿るが、ヒステレシスのため磁気マークの分布は走行進行方向に流れる。これを着磁進み t_m , l_m と名づけると、次のようになる。

着磁進み時間 : $t_m = \alpha \cdot 1/4f$

着磁進み距離 : $l_m = \alpha \cdot V/4f$

ただし f : 交流着磁周波数

V : 走行速度

α : 形状係数 ≤ 1

α は実験的に求める必要がある。

(b) 着磁遅れ

交流遮断位相は磁気マークが大きく、かつ遮断時の過渡現象が小さいという点を考えると、零位相が最も望ましい。したがって着磁指令 P_D は全くランダムに出されるとすると、実際の着磁瞬間 P_M との間に t_l の時間遅

れが生ずる。

着磁遅れ時間 : $t_l = 0 \sim 1/f$

着磁遅れ距離 : $l_l = 0 \sim V/f$

(c) 磁気縞

交流遮断着磁法は、常時は交流によつて消磁をかけておき、必要なときに遮断によつて磁気マークをつけるのであるが、走行速度 V に対して交流周波数 f が小さすぎると消磁が完全に行なわれず Photo. 4 に示すような磁気縞が発生する。消磁が行なわれるには、Fig. 12 に示すように磁性体が磁場影響範囲 b を通過する間に、最低 1 回以上は B-H ループをまわる必要があるから、着磁周波数は、臨界着磁周波数 f_c 以上でなければならない。

臨界着磁周波数 $f_c = \beta \cdot V/b$

ただし β : 安全係数 ≥ 1

$f < f_c$ で磁気縞発生

以上述べた点はいずれも測定の際、誤差の要因となる問題であるが、これに注意して対策を施せば交流遮断着磁法は実用的に利点を有する方法となる。

④ 交流遮断着磁法の特徴

- (a) 走行速度に関係なく、幅の狭いマーキングが可能
- (b) マーク部以外の磁気雑音が自動的に消磁される
- (c) 遮断位相により、マークの振幅、位相の制御可能
- (d) 遮断位相を零に選べば、過渡現象なしに最大のマーキングが可能

⑤ 交流遮断着磁装置の製作

最初は 50 Hz の商用電源を用いた装置を用いていたが、実験が進行して上述の諸点が明らかになるにおよんで、周波数可変 ($f=0.01\sim 1$ KHz) の着磁装置を製作した。

Ex. 3 : 検出方法

続いて、鋼板につけた磁気マークを、走行中に非接触で検出する方法について検討を行なった。

① 検出方式の検討

移動磁気マークの検出方法として

(a) 磁束変化検出方式——コイル

(b) 磁束密度検出方式——ホール素子

の二方式について実験を行なった。通常この種の磁気マーク検出には前者が用いられるが磁気雑音に対して敏感で誤動作の原因となりやすいこと、微分特性を有するため、走行速度依存性があるなどの理由から後者の磁束密度検出方式のものを採用することにした。

② 検出素子の検討

磁気マーク検出素子として要求される条件には、検出

感度、温度特性、応答性があるが、後述するように信号処理に差分方式をとっていることと関連して、温度特性が最も問題になる。

この点ホール素子は半導体であるため特性が悪く、ホール特有の不均衡出力のためドリフトが大きいのでこれに代わる素子の検討を行なった結果、原理上温度ドリフトの小さいと考えられるマグネセンサーを採用した。

③ マグネセンサー

メーカー：ソニーマグネスケール

規 格：MSH-5 000, MSD-5 000

磁束感度：1V/l Maxwell

応 答 性：4 KHz

Ex. 4 : 信号処理

磁気マークは Fig. 5 に示すように、かなりの幅をもつて広がってつくので、このまま測定に用いたのでは、精度が得られない。そこでこの磁気マークの検出信号を波形処理して、測定に用いる精度の高いゲートパルスを得る方法について検討を行なった。

① 信号処理方式の検討

通常この目的のような場合には、Fig. 14(a)のように原信号を微分して、山の頂点にあたるパルスを取り出す方法を用いる。しかし現場ラインでは、停止から最高速度までラインスピードが変化するため、低速では微分信号のゲインが減少し、高速では位相が遅れる。いわゆる微分特性のため、安定な信号処理が行なえない。そこでこの点を解決するため、微分に代わって差分方式を採

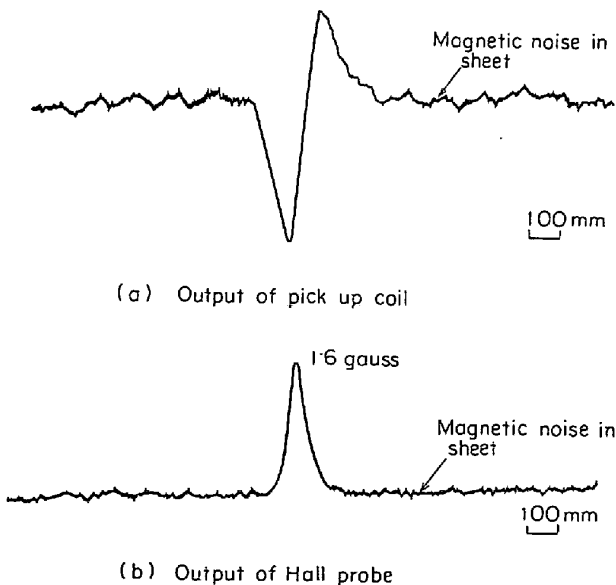


Fig. 13. Detection of magnetic mark on a turning sheet by Hall probe and pick up coil.

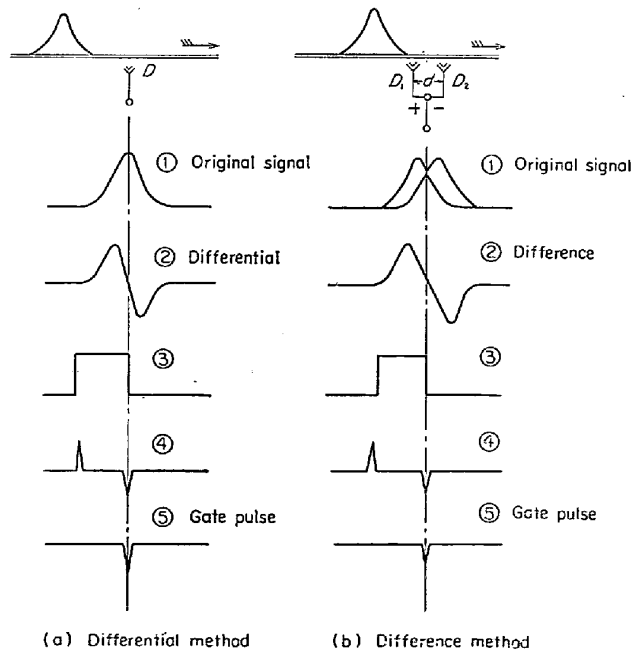


Fig. 14. Possible generation processes of a gate pulse.

用した。

② 差分式信号処理方式

差分は Fig. 14(b) に示すように、微分に類似のもので、原信号とそれの遅延信号の差をとるもので、微分のような周波数依存性がない。

本研究ではこれを行なうのに、ライン進行方向に同特性を有する2個の検出素子 D_1 , D_2 を、一定間隔 d だけ隔てて並置し、両者の検出信号の差分をとるという方法を用いた。検出素子間隔 d には、原信号の分布によつてきまる最適間隔がある。

③ 差分方式の問題点

差分方式は2個の信号の交点を用いる方式であるから素子の温度特性のバラツキや、鋼板の振動による両者の出力レベルのアンバランスによつて誤差を生ずる。したがつて実用の際は、検出素子の特性を揃えること、振動に対する配慮が必要になる。

④ 差分方式の特徴

上述の点に注意すればこの方法によつて、実用的な磁気マーク検出方式が可能となる。

(a) 入力信号周波数(ライン走行速度)に関係せず安定した検出が行なえる。

(b) 鋼板内磁気雑音に強い。

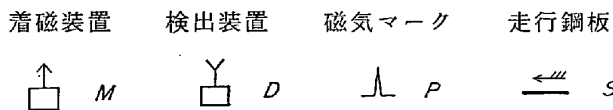
⑤ 信号処理回路の製作

以上の点を考慮して、磁気マークの検出処理回路を製作した。Photo. 5 にこの回路による信号波形を示す。

3.2 応用実験

実験室での偵察的な基礎実験に続いて、各種現場ラインで実用化のための実験を行ない、以下に述べるいくつかの応用技術の可能性を確かめながら、現場での実用性を検討した。

<記号>



A. 速度測定

圧延プロセスでの速度測定は、基本的な計測技術のひとつであり、圧下率計、長さ計などへの応用もひろい。

ここでは、現場実験に先立つて行なつた回転円板モデルでの結果を簡単に述べる。

(1) 方式

Fig. 15 に示すように着磁装置 M を用いて、走行中の鋼板 S に磁気マーク P を録磁し、これを検出装置 D で検出し、マークが距離 L を移動する時間 T を測定して、速

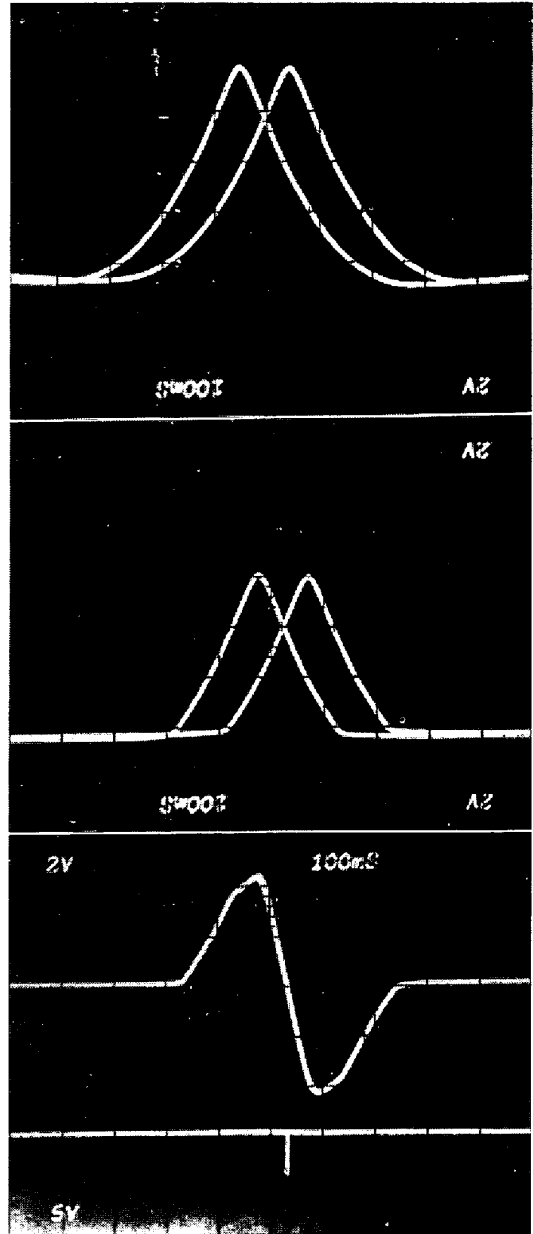


Photo. 5. Gate pulse generation by difference method.

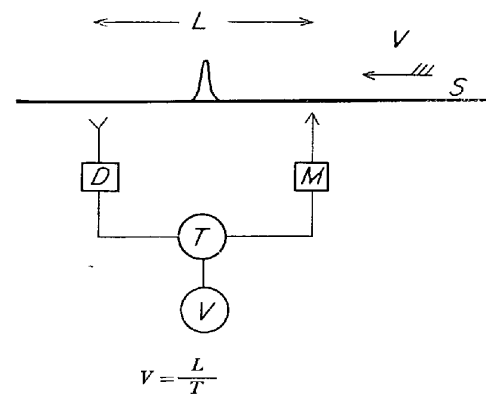


Fig. 15. Method for speed measurement.

度 V を求める。

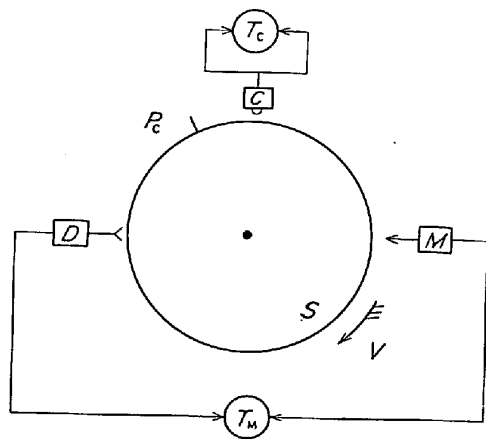


Fig. 16. Process model using a turn-table.

(2) 実験

(対象) 回転円板プロセスモデル Photo. 1

(装置) Fig. 16

- S : 回転円板 円周 1.8m
- M : 電磁石および着磁装置 (f = 50Hz)
- D : ホール素子を用いた差分式検出装置
- P_c : 光学マーク (1φの針金を円板に貼付)
- C : ランプ・フォトトランジスタを組合せた投受光器

P_c の通過を高精度で検知

T : ユニヴァーサルカウンター

(方法) 円板を一定速度で回転させておき T_M, T_C を繰返し測定した。

T_M : 着磁から検出までの時間

T_C : 光学マークが一周する時間

(3) 結果

① 測定精度例

精度 A は, 光学的測定に対する繰返し相対精度を示す。

$$A = \frac{|T_M/T_C - T_M/T_C|}{T_M/T_C} \times 100 (\%)$$

V	A
20km/hr	0.022%
30	0.013%

② 結論

本実験での測定性能は, 次の通りである。

測定精度 : ±0.03% (L = 1m, V = 0~30km/hr)

B. 圧下率測定

調質圧延において, 圧下率を正確に把握することは, 操業上, 品質管理上, 重要な課題である。

ロール入側, 出側の板厚および速度をそれぞれ h₁, h₂, V₁, V₂ とすれば, 圧下率 R は次式のように表わせるが厚み測定に適当な方法がないため, 現用の圧下率計は速度の情報を用いている。

$$R = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{V_2 - V_1}{V_2}$$

上式からわかるように, 圧下率計として用いる場合には速度差を必要とするので, 速度そのものの測定にはきわめて高い精度が要求される。

現状は, 入出側のデフレクターロールの回転を利用しており, デジタル技術の進歩により, 電気回路的な問題はなくなっているが, ロールの摩耗, ロール鋼板間のスリップ, ロールとの接触部における鋼板の曲げ弾性変形に起因する。鋼板の直線速度とロール周速度の差による誤差などのため, 完全に信頼できる状態ではない。

(1) 方式

Fig. 17 に示すようにロール入出側で着磁, 検出を行ない, 速度 V₁, V₂ の測定から, 圧下率 R を求める。

(2) 実験

(経過) 基本となる速度測定の方法は, すでにモデル実験で確立していたが, 現場実験では, 調圧前の焼鈍の影響, ラインの振動および張力の影響, 測定装置の現場スタンドへの取付方法, 圧下率計としての精度などの点の確認を目的とした。

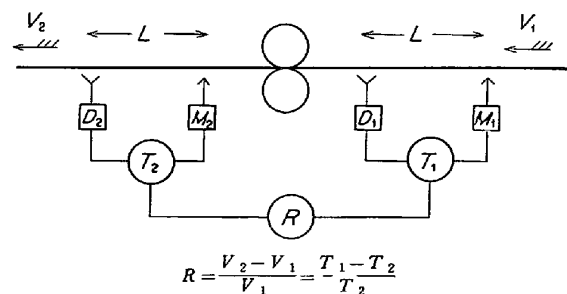
実験は 4 回にわたって行なつたが, ここでは, 第 4 回目の結果について述べる。

ライン	スピード
第 1 回 : コンビネーションミル	200~600m/min
第 2 回 : スリッターライン	20~200
第 3 回 : スキンパスライン	30~600
第 4 回 : 2CR ミル	90~1200

(対象) 2CR ミル

(装置) Fig. 18

- 着磁装置 : マグネット Photo. 6 M
- 着磁装置 A
- 検出装置 : 検出素子 Photo. 7 D
- 2 個のマグネセンサをアクリルカセットに納めている。
- 信号処理 : 信号処理回路 W
- 計数装置 : ユニバーサルカウンター



$$R = \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

Fig. 17. Method for reduction ratio measurement.

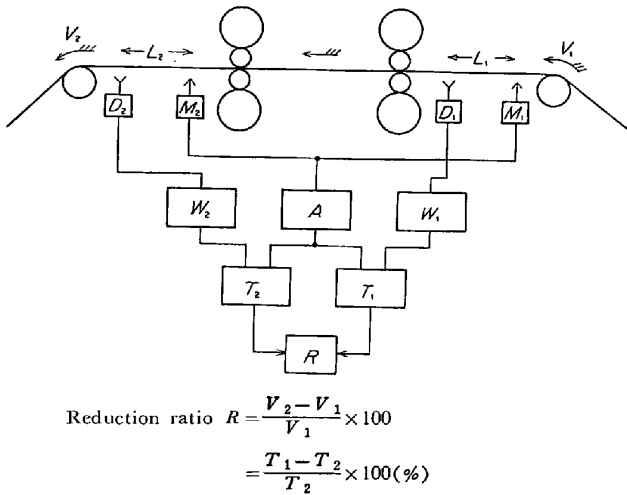


Fig. 18. Schematic diagram for a reduction ratio measuring system.

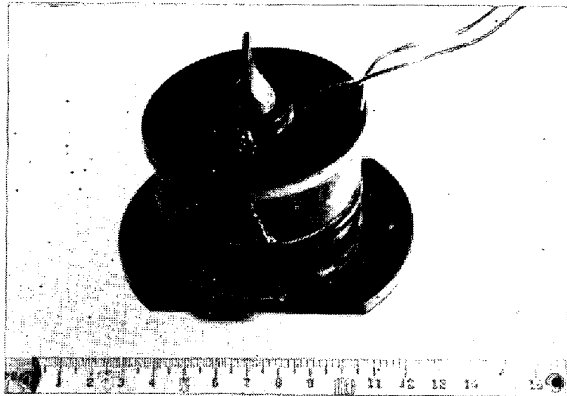


Photo. 6. Marking head.

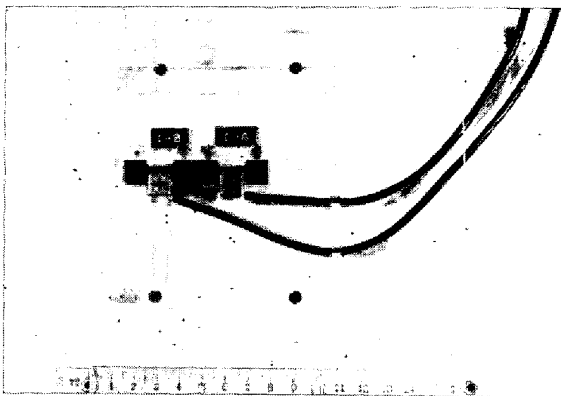


Photo. 7. Detecting head.

現場取付：マグネットと検出素子を一對にしてケースに組込み、入出側の通板テーブルに埋め込んだ。(Photo. 8)

(条件)

ラインスピード	90~1 200m/min
コイル板厚	0.23~0.33 mm
測定間隔	$L=0.4m$



Photo. 8. Set up of a marking and a detecting head in a mill stand (outlet)

着磁周波数 $f=215 \text{ Hz}$

(3) 結果

① 零圧下率でのテスト圧延 (Fig. 19(a))

キャリブレーションのため、圧下0での通板を行ない、圧下率測定値のバラツキを調べた。

② プロパー圧延での測定例 (Fig. 19(b))

加減速時、現場のデフレクターロール方式圧下率計の指示は急変するが、着磁式ではとくにそういうことはない。

③ 速度測定 (Fig. 20)

圧下率演算を行なう前の入側出側の速度測定結果例を示す。測定精度は $\pm 0.1\%$ 程度である。

④ 測定精度の検討

以上の結果から、本実験での圧下率測定精度を推定すると、次のようになる。

(a) 零圧下試験圧延の結果 (Fig. 19) から推定すると、圧下率値にして $\pm 0.2\%$ である。

(b) 速度測定精度 ($\pm 0.1\%$) から推定すると

$$R = (V_2 - V_1) / V_2$$

$$\therefore \Delta R = \left| \frac{\Delta V_1}{V_1} \right| + \left| \frac{\Delta V_2}{V_2} \right| = 2 \left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \pm 0.2\%$$

測定精度は、圧下率にして $\pm 0.2\%$ ($L=0.4m$)

⑤ 結論

本方式を用いて、実用精度を有する非接触式圧下率計の可能性が確認された。

測定精度：圧下率値 (絶対値) で $\pm 0.1\%$

ただし $L=1m$

C. 長さ測定

圧延製品の長さを測ることは、工程管理や取引上必要であり、この必要性はますます大きくなっている。

線材においても同様の必要性があるが、若干特殊な例として海底ケーブルの敷設や長大吊橋のケーブル架設に伴う測長の問題がある。

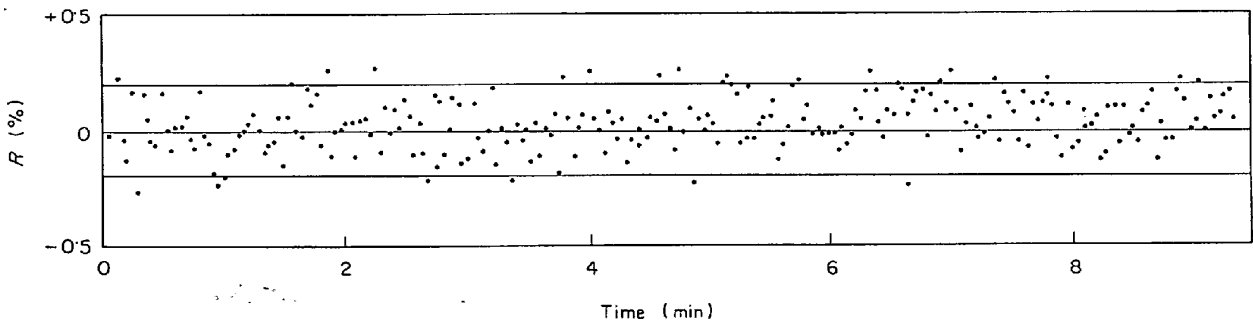


Fig. 19 (a) At zero reduction ratio. (Test coil : $0.242 \times 821 \times L$)

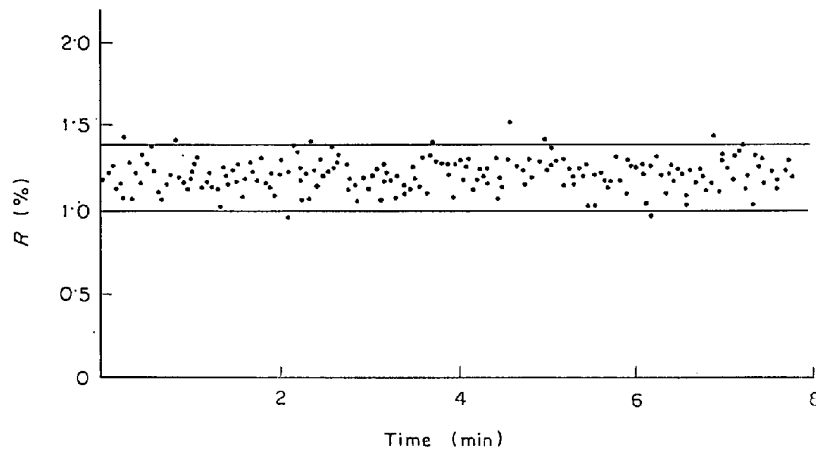


Fig. 19 (b). At a given reduction ratio.

Fig. 19. Examples of experimental results.

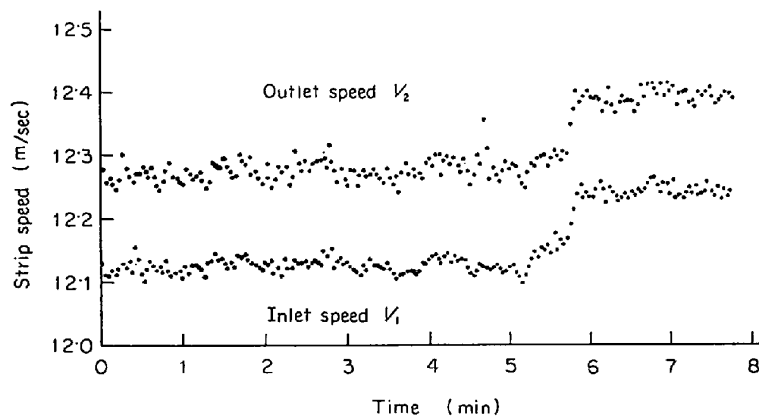


Fig. 20. Typical results of strip speed measurement.

長大橋 (吊橋) では、メインケーブルの架設がひとつの重要問題であり、とくに多数の素線をよらないで平行のまま束ねるパラレルワイヤー方式では、各素線にかかる応力の均一化が必要である。本実験は、直接にはそのような要求に関連して、ケーブル素線の超精密測長を目的に行なわれたものであるが、ここで得られた技術は、圧延最終製品ラインでのコイル長さ計などに応用可能である。

(1) 方式

磁気マーク法を用いた長さ測定方式としては、いろい

ろ考えられるが、本実験では Fig. 21 に示すような尺取方式について検討した。

走行中の鋼線 S に、着磁装置 M で磁気マーク P をつける。磁気マークは鋼線と共に移動し、検出装置 D で検出されるが、この瞬間、尺取装置 H を介して再び磁気マークをつける。これを繰返せば、鋼線上に単位長 L ごとのマークがつけられることになり、この尺取回数 N を数えることによつて全長 L を測定する。

(2) 実験

(鋼線) ピアノ線 SWRS2A 5φ

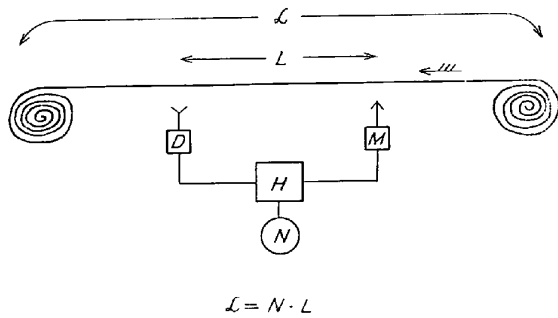


Fig. 21. Method for the total length measurement of wire or coil.

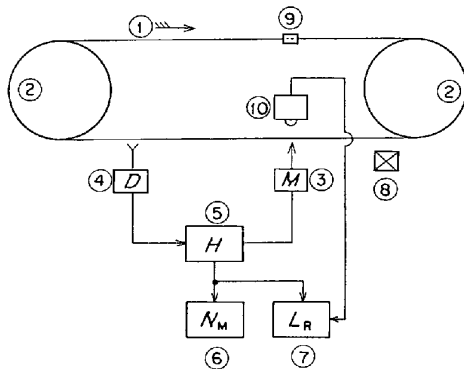


Fig. 22. Experimental setup to check the accuracy of magnetic mark method through an optical method.

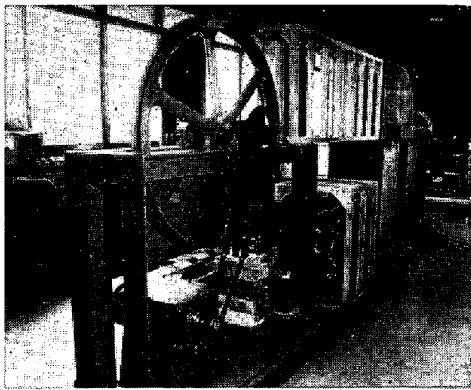


Photo. 9. Experimental apparatus.

測長実験に先だつて、着磁性を調べた結果、カーボンが高いため、着磁性は非常によい。

(対象) Photo. 9 に示すように、素線をエンドレスにつないで回転させる、実験モデルを用いた。

(装置) Fig. 22

- ① 素線：5φ 高張力ピアノ線
- ② 回転ホイール：モーター駆動、素線加張機構付
- ③ 着磁装置：珪素鋼板積層鉄芯入マグネットおよび高周波着磁装置
- ④ 検出装置：差分式マグネセンサーおよび信号処

理回路

- ⑤ 尺取回路：信号処理回路内に内蔵
 - ⑥ カウンター：尺取回数 N_M のカウント
 - ⑦ カウンター：端数長 L_R の計数、実際は時間計測をして速度から L_R を出す。
 - ⑧ 消磁コイル：交流磁界で古いマークを消磁。
 - ⑨ 光学マーク：スコッチライト貼付
 - ⑩ 検出装置：Y E W 光電式回転計
- ⑨⑩の組合せでワイヤーの一周(約8 m)を検知して磁気マーク方式の較正をする。

(方法) ワイヤーを回転させ、光学マーク P_0 が N_0 回転する間の着磁による尺取回数 N_M と端数長 L_R を2台のカウンターを用いて測定することを繰返し、測定精度をチェックした。

(精度) 較正法である光学式(相対精度 $\sim 10^{-5}$)に対する繰返し相対精度は、次式で評価した。

$$A = \frac{L_M - L_O}{L_O} = \frac{N_M \cdot L_M + L_R - N_0 L_O}{N_0 \cdot L_O}$$

なお、絶対測長精度の較正方法は困難で、適当な方法がなく、本実験では真の意味での絶対精度の検討はできなかった。またコイル長さ計の場合などはユーザー側との長さ基準のすり合せなども問題になるであろう。

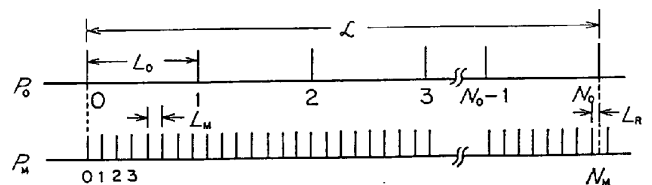
(3) 結果

① 検出素子温度特性と測長誤差

本方式では、検出に差分方式を用いるため、検出素子の温度特性が悪いと、素子間にアンバランスが生じ尺取間隔 L_M が変化して誤差となる。

そこでこの誤差をなくするための対策を講じた。

- 検出素子の検討を行ない、ホール素子にかえて、温度ドリフトの小さいマグネセンサーを採用した。



- (Optical)
- L_O : Total length measured by optical method $= N_0 \cdot L_0$
 - P_0 : Optical mark
 - N_0 : Number of revolution of optical mark
 - L_0 : Round length of wire
- (Magnetic)
- L_M : Total length measured by magnetic method $= N_M \cdot L_M + L_R$
 - P_M : Magnetic mark
 - N_M : Counts of magnetic marking
 - L_M : Magnetic looping distance
 - L_R : Residual length

Fig. 23. Optical calibration of magnetic mark method.

- マグネセンサーの検出部を小型恒温槽に入れ、温度制御を行なった。
50±0.5°C (バイメタルによる ON-OFF 制御)
- 回路にコンデンサーを用いて交流結合にし、検出素子のドリフトをカットした。

これによつて Fig. 24 に示すように最終的には温度ドリフトの少ない安定した測定ができるようになった。

② 着磁周波数と着磁遅れ

前述したように、交流遮断着磁法では、着磁指令と実際の着磁動作の間に時間的遅れ (着磁遅れ t_1) が生ずるが、本方式の長さ測定のような尺取方式では、これが誤差となる。

本来、 t_1 の分布は、 $0 \sim 1/f$ の間でランダムに起こるはずであるが、本実験のように、走行速度および尺取間隔が一定であり、さらに交流電源は時間軸上連続したものであるから、 t_1 を実測すると Fig. 25 に示すようにあるところにピークのある分布をもっている。このうち Mode B の方は、着磁指令点がたまたま交流電源の 0 位

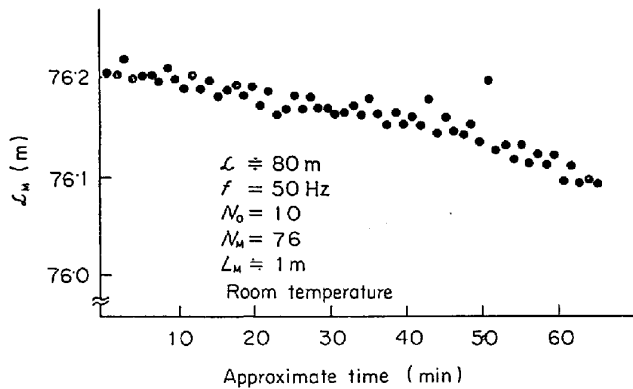


Fig. 24(a). Drift of measuring length by magnetic marking method.

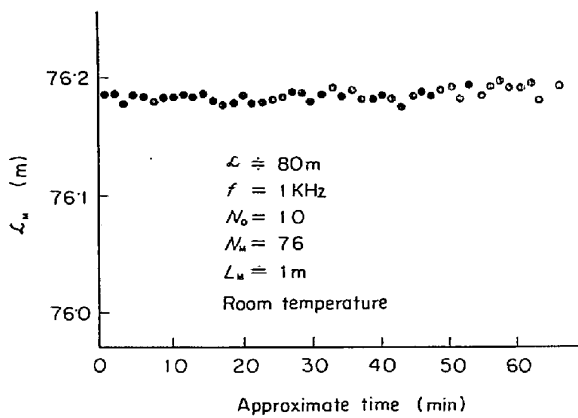


Fig. 24(b). Measurement accuracy improvement by using a magnetizing device with high magnetic frequency and detectors with excellent temperature characteristics.

相付近にあるため、 t_1 に不連続が生じている場合で、このようにふたつのモードの生ずる事情を Fig. 25(b) に示す。

Fig. 26 は、 t_1 の分布が Mode B であるため測長結果が不連続的に変わった例である。

また着磁遅れのように原理的なものでなく、電気回路系で遅れ t_2 があるので、結局 1 回の尺取で電気回路的な誤差は $t_1 + t_2$ となる。したがつて尺取を繰返した場合の相対誤差は、統計学の教えるところにより、次の

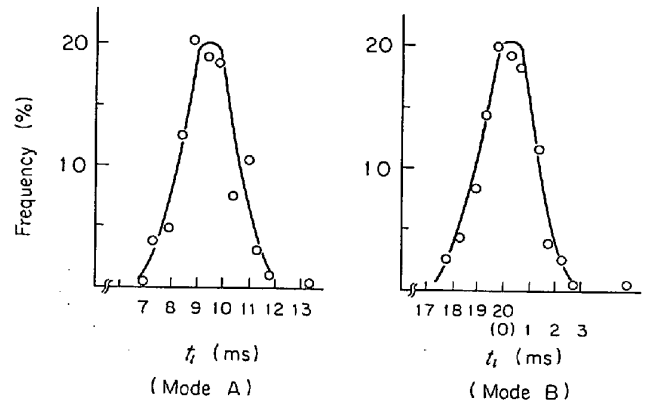


Fig. 25(a) Experiment result of frequency distribution of 'marking time lag', t_1 . ($f = 50\text{Hz}$)

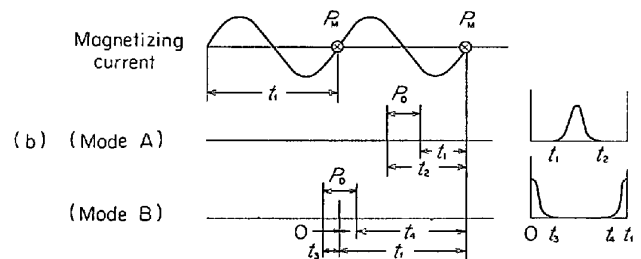


Fig. 25(b). Schematic illustration for two types of marking time lag modes.

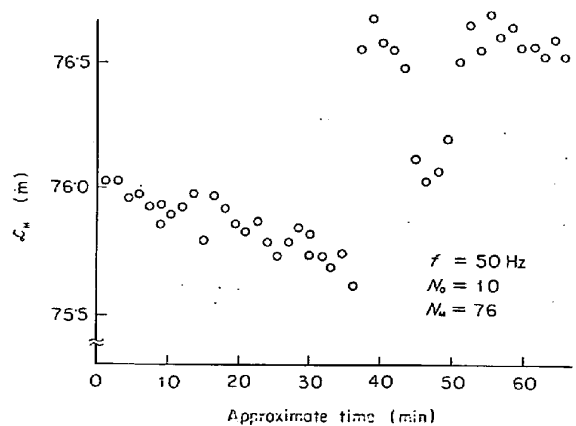


Fig. 26. Discontinuity of length measurements in case of Mode B.

ように表わされる。

$$E_{l+c} = \pm \frac{1}{2\sqrt{N_M}} \cdot \frac{V(t_l+t_c)}{L_M}$$

$$0 \leq t_l \leq 1/f$$

実験の初期の頃は、 $f = 50 \text{ Hz}$ を用いていたが、要求精度が出ないため、 $f = 1 \text{ KHz}$ にあげた。Fig. 27 に着磁周波数 f に対する相対誤差 E の測定結果を示しているが、上式による理論式で大体説明できる。

③ 測定長ささと測長精度

上述のような各種対策を講じてもなお、1回の尺取精度は、 $\pm 0.1\%$ 程度である。しかし、尺取回数を増していくと、誤差が相互にキャンセルして、相対精度はよくなるはずで、これもまた上式の示すところである。

Fig. 28 は尺取を繰返したときの、測定全長と精度の

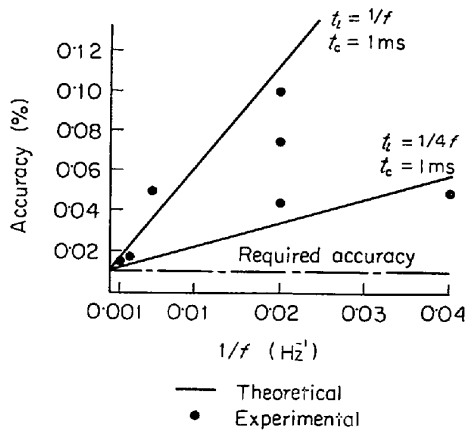


Fig. 27. Relation between measurement accuracy and magnetizing frequency.

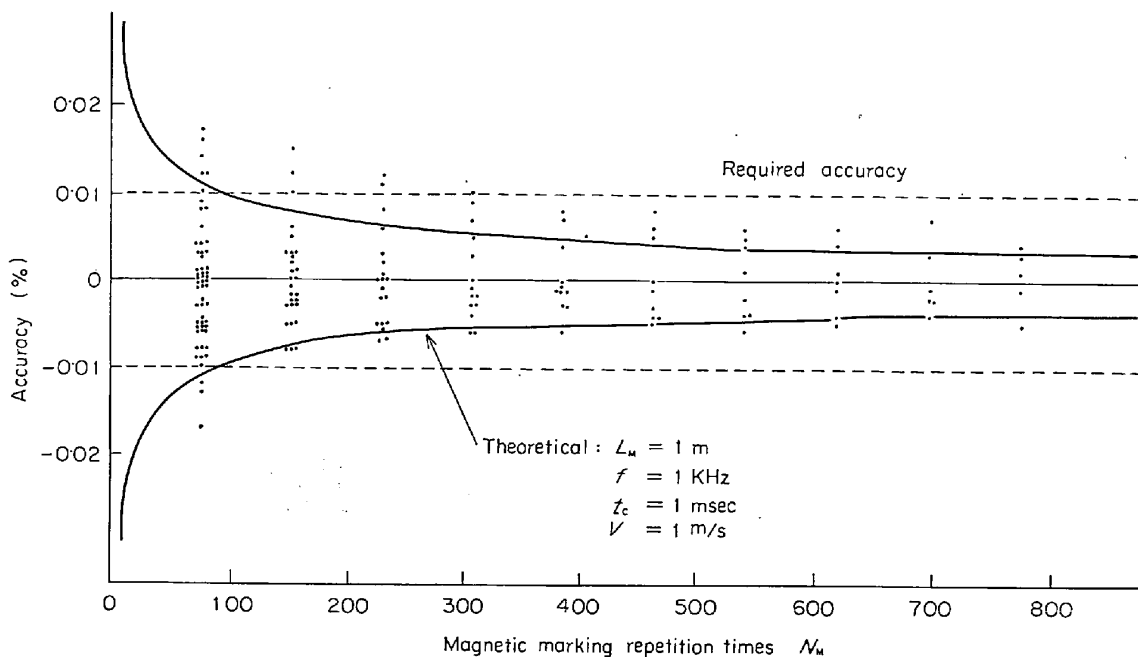


Fig. 28. Relation between measurement accuracy and looping times.

実験結果であるが、測定長さが長くなるに従って、精度は統計の法則に従って向上している。

④ 着磁進みおよび検出遅れ誤差

今回は、ラインスピードがほぼ一定かつ低速での実験であつたので、着磁進み t_m や検出遅れ t_l による誤差は問題にならなかつたが、高速でスピードが変化するラインに用いる場合は、これらを考慮する必要がある。

⑤ 測長結果

結局、尺取方式を用いた測長実験の結果は次のとおりであつた。

測定対象：5φ高張力ピアノ線

測定条件：尺取間隔 $L_M = 1 \text{ m}$

測定速度 $V = 1 \text{ m/sec}$

着磁周波数 $f = 1 \text{ KHz}$

測定精度： $\sim \pm 0.01\%$ ($\pm 10 \text{ cm}/1000 \text{ m}$)

$\sim \pm 0.1\%$ ($\pm 1 \text{ mm}/1 \text{ m}$)

D. スリップ測定

ストリップ工場には多数のロールが用いられており、ロール・ストリップ間のスリップが問題になる。

今まで述べてきた圧下率計や長さ計における計測用ロールのスリップによる指示誤差の問題、ロールスリップによる製品表面疵発生の問題などがあり、これらの解決にはスリップ測定が重要な技術となる。

(1) 方式

基本的には、ロールとスリップの速度を別々に測定して比較すればよいわけであるが、本実験では若干スマートに変形して、Fig. 29 のような方式をとっている。

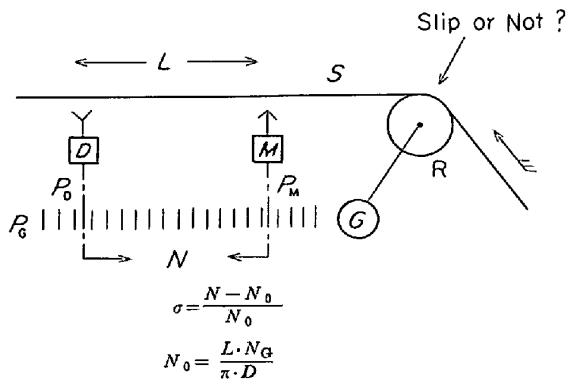


Fig. 29. Method for slip measurements.

すなわち、ロールRの軸に、パルスジェネレータGを取付け、これの出力パルス列 \$P_G\$ を、ストリップSが一定距離 \$L\$ 走行する時間だけゲートカウントする。このときのパルス数を \$N\$ とすると、これはストリップが距離 \$L\$ を走行する間のロール外周の回転距離に相当するから、これからスリップ量 \$\sigma\$ を求めることができる。

ただし、\$N_0\$ はスリップのないときの \$N\$ の値、\$D\$ はロール径、\$N_G\$ はロール1回転あたりパルスジェネレータが発生するパルス数である。

具体的には、着磁装置 \$M\$ でストリップ \$S\$ に磁気マーク \$P\$ をつけ、これを距離 \$L\$ 隔たつた検出装置 \$D\$ で検出し、この際の着磁信号 \$P_M\$、検出信号 \$P_D\$ で、パルス列 \$P_G\$ をゲート・カウントしてスリップ量を測定する。

(2) 実験

(対象) Photo. 10

電気メッキライン オイラーロール

(装置) Fig. 30

着磁装置：前出 シーケンス用検出素子で測

検出装置：前出 定を繰返す。

P. G. : M P-8 小野測器

(条件)

ラインスピード 0~240m/min

測定間隔 \$L=1.5m\$

\$\pi D/N_G\$ 0.5 mm/pulse

\$D=400\phi\$, \$N_G=2500\$ P/R

(3) 結果

① 測定結果例 Fig. 31

② 測定精度

本実験におけるスリップ測定精度は

\$\pm 0.15\%\$ (\$L=1.5m\$)

4. 結 論

(1) 本測定法は、主として薄板、線材などの磁性を



Photo. 10. Slip measurement of oiler roll.

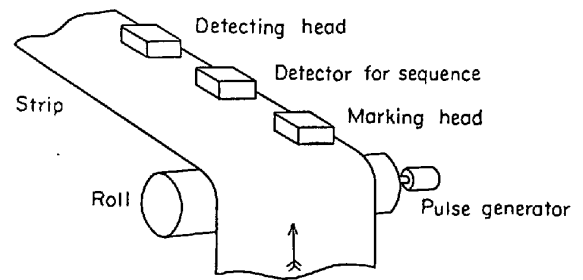


Fig. 30. Schematic diagram for the experimental apparatus.

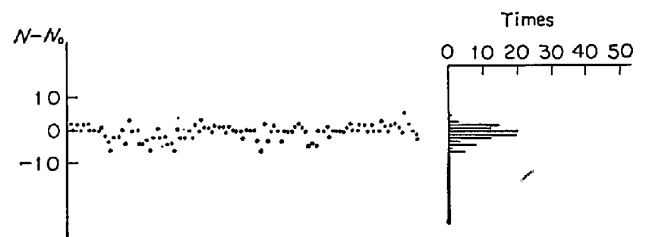


Fig. 31. Examples of slip measurements, (\$L=1.5m\$, \$N_0 \approx 3000\$)

有する圧延製品プロセスでの非接触オンライン計測を目的とする Magnetic Mark Method (磁気マーク法) であり、次の点を特徴とする。

磁気マーク着磁：交流遮断式着磁法

磁気マーク検出：差分式信号検出法

(2) 本測定法の測定精度は、次式で評価できる。

$$E = \frac{1}{2\sqrt{N}} \cdot \frac{V(t_i + t_c)}{L} + \frac{V(t_m + t_d)}{L} + \frac{k_T \Delta T + k_Z \Delta Z}{L}$$

\$E\$: 測定精度

\$L\$: 測定間隔

\$V\$: 走行速度

\$N\$: 測定繰返し回数

\$t_i\$: 着磁遅れ誤差 (\$= 0 \sim 1/f\$)

\$t_m\$: 着磁進み誤差 (\$= \alpha \cdot 1/4f\$)

\$f\$: 着磁周波数

t_d : 検出遅れ誤差

t_c : 電気回路誤差

k_T : 温度係数

ΔT : 温度変化

k_z : 振動係数

ΔZ : ライン振動

(3) 上の各誤差要因についての対策を講じた結果、走行中の鋼板に、次のような磁気マークがつけられる。

走行速度: 0~100 km/hr

磁気マーク: ± 1 mm幅相当のマーク

(4) この技術を用いて、速度計、圧下率計、長さ計、スリップ計などの非接触高精度の測定システムを構成できる。

5. 実 用

実験を通じて得られた技術は、専門電機メーカーに引継がれ、実用装置としての機能が加えられている。以下に現在当社工場で稼動している例を簡単に紹介する。

5.1 無接触形鋼板スリップ計⁷⁾

メッキラインには、多数のロールが使用されているがそこでのロール・スリップ間のスリップは、鋼板表面にスリキズを発生し、製品の商品価値を著しく減少させるため、大きな問題となる。

従来スリップ量を正確に測定することは困難であつたが、磁気マーク法により、高精度非接触測定が可能になつた。

本装置は、電気メッキラインに設置され、ライン内の50個のロールを一括モニターしており、これによつてスリップ多発ロールの早期発見、交換、あるいはロール駆動モータ速度の制御によるスリップ防止が可能になり、表面疵減少による品質、歩留向上が期待される。

ラインスピード	0~600m/min
着磁・検出間距離	1 m
装置・鋼板間距離	15 mm (± 1.5 mm)
鋼板板厚	0.1~3.2 mm
鋼板温度	40°C (Max 60°C)
総合精度	$\pm 0.3\%$

その他

自動起動、誤動作防止機能を有している。

5.2 無接触形鋼板長さ計

鉄鋼プロセスにおいてストリップ長さを計測する方法として、従来パルス発信機方式が用いられているが、鋼板とパルス発信機を取付けたロールとの間のスリップのため、正確な長さが得られない場合がある。スリップ量についてはラインによつてまちまちであるが、タイトでないラインでは、数%におよぶ場合もあるといわれる。

そのため、コイル製品の取引は重量で行なわれてきたが、最近はこの一部長さに変わる傾向にあり、また誤差を見込んで余分に出荷している無駄をなくしたいというようなことから、正確な長さ計が要望されている。

磁気マーク法を用いた無接触形鋼板長さ計は、この要望に応じるもので、当社冷延工場コイルラインに設置され稼動している。

ラインスピード	0~600m/min
着磁・検出間距離	1 m
装置・鋼板間距離	15 mm (± 1.5 mm)
鋼板板厚	0.1~3.2 mm
最大測定長	9999m (1m 単位)
総合精度	$\pm 0.3\% + 1$ m

文 献

- 1) M. H. BUTTERFIELD, G. F. BRYANT, and J. DOWSING: Trans. of the Society of Instrument Technology, June, (1961), p. 111~123
- 2) Y. YEH and H. Z. CUMMIS: Appl. Phys. Lett., 4 (1964), p. 176
- 3) General Precision Inc.: 製品カタログ 'Laser Velocimeter'
- 4) Baldwin Instrument Co., Ltd.: Sheet Metal Industry, (1949), Nov., p. 2348
- 5) R. A. SYLVESTER: ISA Proceedings. 1966. National Conference Instrumentation for the Iron and Steel Industry, vol. 16, p. 3-1
- 6) 高藤, 石田, 村島, 村西, 大藪, 蓬来: 昭和46年度電気関係学会関西支部連合大会, G2-6
- 7) 三菱電機: 製品カタログ「鉄鋼プラント自動化省力化装置」