

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2009/123296 A1

(43) 国際公開日

2009 年 10 月 8 日(08.10.2009)

PCT

- (51) 国際特許分類:
G01N 27/83 (2006.01) G01N 21/892 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/056914
- (22) 国際出願日: 2009 年 3 月 27 日(27.03.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-089364 2008 年 3 月 31 日(31.03.2008) JP
特願 2009-061501 2009 年 3 月 13 日(13.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): JFE
スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区幸町二丁目
2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 腰原敬弘
(KOSHIHARA, Takahiro) [JP/JP]; 〒2100855 神奈川
県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 J F E 技研

株式会社内 Kanagawa (JP). 加藤宏晴(KATO, Hiroharu) [JP/JP]; 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 J F E 技研株式会社内 Kanagawa (JP). 長棟章生(NAGAMUNE, Akio) [JP/JP]; 〒2100855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 J F E 技研株式会社内 Kanagawa (JP).

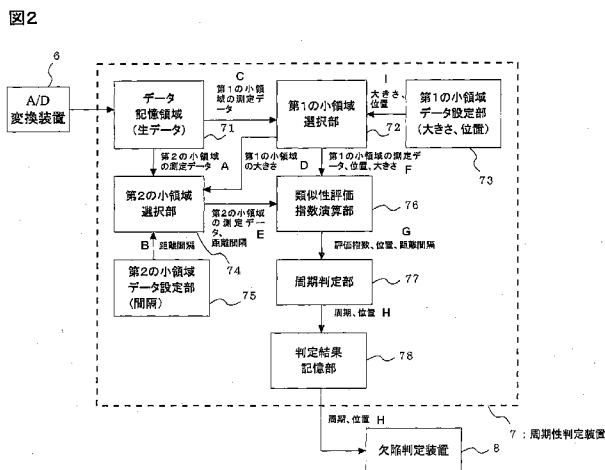
(74) 代理人: 落合憲一郎(OCHIAI, Kenichiro); 〒1030027 東京都中央区日本橋二丁目 1 番 10 号柳屋ビル 7 階 JFE テクノリサーチ株式会社 特許出願部内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,

[続葉有]

(54) Title: PERIODIC DEFECT DETECTING DEVICE AND METHOD FOR THE SAME

(54) 発明の名称: 周期性欠陥検出装置及びその方法



- 6 A/D CONVERTER
71 DATA STORAGE AREA (RAW DATA)
A MEASUREMENT DATA OF SECOND SMALL AREA
74 SECOND SMALL AREA SELECTING SECTION
B DISTANCE INTERVAL
75 SECOND SMALL AREA DATA SETTING SECTION (INTERVAL)
C MEASUREMENT DATA OF FIRST SMALL AREA
D SIZE OF FIRST SMALL AREA
E MEASUREMENT DATA AND DISTANCE INTERVAL OF SECOND SMALL AREA
72 FIRST SMALL AREA SELECTING SECTION
F MEASUREMENT DATA, POSITION, AND SIZE OF FIRST SMALL AREA
76 SIMILARITY EVALUATION INDEX CALCULATING SECTION
G EVALUATION INDEX, POSITION, DISTANCE INTERVAL
77 PERIOD DETERMINATION SECTION
H PERIOD, POSITION
78 RESULT-OF-DETERMINATION STORAGE SECTION
8 DEFECT DETERMINATION DEVICE
I SIZE, POSITION
73 FIRST SMALL AREA DATA SETTING SECTION (SIZE, POSITION)
7 PERIODICITY DETERMINATION DEVICE

(57) Abstract: A periodic defect detecting device comprises a sensor (4), small area selecting means (72, 74), an evaluation index calculating means (76), set value varying means (73, 75), and a period determination means (77). The small area selecting means (76) determines positions of small areas, the area lengths of which are smaller than that of an area, so that distance intervals between adjacent small areas are all equal, in the direction of arrangement of periodic defects, and selects signals corresponding to the positions of the plurality of small areas from the sensor output. The evaluation index calculating means (76) calculates the evaluation index of the mutual similarity of the signal patterns between the plurality of signals selected by the small area selecting means. The set value varying means (73, 75) vary the positions and distance intervals of the small areas to repeat the operation processing of the small area selecting means and the evaluation index calculating means. The period determination means (77) determines the distance intervals as periods when the evaluation index is higher than a preset value. A periodic defect detecting method comprises a signal input step, a small area selecting step, an evaluation index calculating step, a set value varying step, and a period determination step.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2009/123296 A1



TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,

GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

周期性欠陥検出装置は、センサ 4 と、領域長さが領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号をセンサ出力から選択する小領域選択手段 (72、74) と、小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出手段 76 と、小領域の位置と距離間隔を変更して、小領域選択手段と評価指数算出手段の演算処理を繰り返す設定値変更手段 (73、75) と、評価指数が予め設定された値より高い場合に、距離間隔を周期と判定する周期判定手段 77 とを備える。周期性欠陥検出方法は、信号入力ステップと、小領域選択ステップと、評価指数算出ステップと、設定値変更ステップと、周期判定ステップと、を有する。

明細書

周期性欠陥検出装置及びその方法

技術分野

本発明は、金属、プラスチックその他材料からなる帯状体や柱状体の周期的に発生する周期性欠陥を検出する周期性欠陥検出装置及びその方法に関する。

背景技術

帯状体や柱状体の製造ラインにおいては、製品を搬送するためにロールが用いられることがある。製造工程に何らかのトラブルが発生すると、このロールを起因として鋼板に欠陥が生じることがある。この欠陥の検出方法について、特に薄鋼板の製造プロセスにおける例を説明する。

薄鋼板の製造プロセスにおいては、製造ライン内に設置されているロールに付着した異物、あるいはその異物がロールに噛み込んだことによってロール自体に生じた凹凸が鋼板に転写されて生じたローキと呼ばれる周期性欠陥が発生する場合がある。これらの周期性欠陥はロールに生じた凹凸が鋼板に転写されて生じ、一旦発生するとロールを交換したり、プロセスを改善したりするまで連続的に発生するため、早期に発見し対策を講じることは歩留向上の点からも極めて重要である。

従来、この周期性欠陥の検出方法として、周期性欠陥の周期性に着目した検出方法が数多く提案されている。

特許文献1に記載の技術は、周期性を利用した方法の一つである。この方法では、まず被検体を欠陥検知用センサで計測し、そのセンサ出力信号を予想される周期（上記特許文献1では、鉄鋼ラインの最終圧延ロールの1回転に相当する長さ）で同期加算を行い、周期を持つ欠陥信号を周期を持たない他のノイズ成分から強調して扱う手法である。しかし、この方法は予め周期が予想される場合にしか用いる事が出来ない。たとえば鉄鋼の製造ラインにおいては、欠陥発生原因のロールが磨耗して径が変わることがある。

径が変わると当然欠陥の発生周期が変わるため、上記の方法は適用が困難である。

これまで、この欠陥の発生周期が変わる問題に対処するためにいくつかの方法が提案されている。

第1の方法としては、被検体を欠陥検知用センサで計測し、そのセンサ出力信号に閾値処理を行い複数の疵候補を抽出し、複数の疵候補の間隔を比較し、これが一致する場合に、一致した間隔を周期として周期性欠陥が発生していると判定するものである。しかし、この方法を実際に適用しようとする以下の問題点がある。

実際の製造ラインでは、たとえば圧延ロールでは圧下率が変わるなど、ロールと鋼板の接触の程度は必ずしも一様ではない。ロールと鋼板の接触の弱い場合では欠陥のレベルも小さく、そのため欠陥信号も弱くなり未検出となることがある。また、周期性を持たない突発性の欠陥や、本来無害の鋼板の表面粗さ、(磁気式の検出装置の場合は)磁気特性などの軽微のムラからの信号が検出され、これらが周期性欠陥に混在して発生する事がある。そのため、欠陥候補の間隔を単純に比較して周期性を判定する方法では、欠陥候補の未検出あるいは突発性の欠陥や過検出等のノイズにより疵候補の間隔が一致せず、周期性欠陥及びその周期性を正確に検出することができないという問題点がある。

欠陥の発生周期が変わる問題に対処するための第2の方法としては、自己相関を利用した検出方法が知られている(例えば、特許文献2参照)。

自己相関の演算結果によって得られるピーク間の距離が周期信号成分の周期を表すことから、処理すべき信号系列に含まれる周期信号成分の周期が未知であっても、ノイズに埋もれた信号系列から周期信号成分のみを選択的に抽出できる。しかし、この自己相関を利用した検出方法においても、被検体からのセンサ出力信号にノイズ成分が多く含まれている場合には、周期性欠陥の判定精度が低下するという問題点があった。また、この過検出を抑制すべく検出感度を下げると今度は軽欠陥からの軽微な信号が検出できないという問題点があった。

また、欠陥の発生周期が変わる問題に対処するための第3の方法として、例えば特許文献3に記載の検出方法がある。

この検出方法は、移動する帯状体等の表面を連続的に撮像し、撮像画像からテンプレート画像Tを切り出し、長手方向の長さがターゲットとするロール周長より長いターゲット画像Gとの間で画像の類似性を比較し、周期性を検出する。この方法では、欠陥周期を正確に得るため、欠陥部のみならず健全部の地模様部分の相関も計算する。そのため、ロール1周分以上の範囲で画像の類似性を比較している。この方法では、テンプレート画像とターゲット画像の類似性を評価する段階で、相互の画像の相対的位置を少しずつずらして類似性を評価するため、前記のロールの径が磨耗によって少し変わるといような場合には対応可能である。しかし、この方式では健全部の地模様を周期情報を得るために利用しているため、地模様が形成されるロール、すなわち検査前の最後の圧延ロール以外には適用できないという問題点がある。

実際の鋼板の製造ラインでは、検査前の最終の圧延ロールだけでなくそれより前に発生したロール性欠陥も検出する必要がある。具体的には、冷間圧延では最終圧延ロールの1段ないしは2段前の圧延ロールの欠陥、CALラインでは最終の調質圧延ロールより前のアニール炉内のロールの欠陥や、冷間圧延時に発生したロール性欠陥なども検出しなければならない。そのため、異なった径を持つ複数のロールで発生する欠陥を検知する必要があるが、特許文献3の検出方法はこれに対応できないという問題点がある。

特許文献1：特開平6－324005号公報

特許文献2：特開昭58－156842号公報

特許文献3：特開2006－105791号公報

発明の開示

本発明の目的は、欠陥の発生周期が変わっても用いることができ、また、最終圧延ロールだけでなく異なる径の複数のロールで発生する周期性欠陥、特に欠陥が軽微な場合でも高精度で判定することができる帯状体等の周期性欠陥検出装置及びその方法を提供することである。

発明者らは、まず従来の相関演算の問題点を検討した。図18は、通常の周期性欠陥の測定信号に対して相関演算を、模式的に示した例である。参照信号と入力信号の信号

波形が完全に一致または類似性が高いときには、相関係数の値が大きくなることを利用して、相関値が大きい箇所の間隔から、周期性欠陥の周期を求める。しかし、周期性欠陥の検出に適用する場合には、参照信号を入力信号（つまり、欠陥検出の場合はセンサの測定信号）から切り出して作成するため、図19のように、入力信号の S/N が低い場合は相関演算の S/N も向上しない。

これに対して、発明者らは、周期性欠陥は、一度発生すると複数個の欠陥が繰り返して（例えば、5回以上）発生するという特徴に着目して、 S/N を向上させる本発明に想到した。相関演算は1周期分のデータで、周期を算出できるという利点はあるものの、複数周期分のデータを利用した演算ではない。これに対し、本発明では複数周期分のデータを活用して、 S/N 向上を実現した。

さらに、本発明者らは、更なる S/N 向上のためには、相関演算を行うデータ領域（データ数）には好ましい範囲がある知見も得た。つまり、相関演算を行うデータ領域としては、その中で欠陥信号のデータ数の占める割合が高い方が好ましいことがわかった。

本発明は、上記のような知見に基づいてなされたものであり、次のような構成からなる。

本発明に係る周期性欠陥検出装置は、

被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価する信号を得るセンサと、

領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択手段と、

該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出手段と、

前記小領域の位置と前記距離間隔を変更して、前記小領域選択手段と前記評価指数算出手段の演算処理を繰り返す設定値変更手段と、

前記評価指数が予め設定された値より高い場合に、前記距離間隔を周期と判定する

周期判定手段と、

を備えたものである。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記小領域選択手段は、以下であるのが好ましい。

前記領域より短い長さの小領域の位置を1つ決定し、それを第1の小領域とし、前記センサ出力から、前記第1の小領域の位置に対応した信号を選択する第1の小領域選択手段と、

前記第1の小領域の位置を基準として、周期性欠陥の並び方向において、距離間隔をすべて等しく離して、複数の第2の小領域を配置するようにし、前記センサ出力から、前記複数の第2の小領域の位置に対応した信号を選択する第2の小領域選択手段とを備え、

前記設定値変更手段は、前記第1の小領域の位置と前記距離間隔を変更して、前記小領域選択手段と前記評価指数算出手段の演算処理を繰り返す。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記センサは、磁性金属部材からなる被検体を励磁し、漏洩磁束信号を得る磁気センサであるのが好ましい。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記小領域の長さを想定される最大の欠陥と同程度の長さとするのが好ましい。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記評価指数算出手段は、前記小領域の各々にて類似性を評価する値を算出し、それら値を組み合わせる前記評価指数を求めるのが好ましい。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記評価指数算出手段は、前記小領域の各々にて類似性を評価する値を算出し、それら値を加算して前記評価指数とするのが好ましい。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置において、前記小領域の各々にて類似性を評価する値は、前記小領域間の相関値であるのが好ましい。

また、本発明に係る周期性欠陥検出装置は、

被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する２次元領域の性状を評価する信号を得るセンサと、

前記センサの出力に基づいて周期性欠陥の欠陥候補を求める周期性判定手段と、

前記欠陥候補と前記センサ出力とに基づいて少なくとも欠陥の有無を判定する欠陥判定手段とを備え、

前記周期性判定手段は、

前記２次元領域内において前記２次元領域より小さい第１の２次元小領域を選択し、この第１の２次元小領域から周期性欠陥の並び方向に所定の距離ずつ離れた複数の第２の２次元小領域を第１の２次元小領域と同じ大きさで選択し、前記２次元小領域にそれぞれ対応するセンサ出力の信号パターン相互の類似性の評価指数を計算して類似性を評価し、類似性が高いと評価した場合には前記距離を周期とし、各２次元小領域に欠陥候補が存在すると判定する処理を、前記距離を変えながら繰り返す第１の演算処理と、

前記距離が周期性欠陥が発生し得る周期の範囲を満たすまで上記の第１の演算処理を繰り返したら、前記第１の２次元小領域の位置を元の２次元領域内で変更して前記第１の２次元小領域が元の２次元領域内の所定の範囲を満たすまで前記第１の演算処理を繰り返す第２の演算処理とを行う。

また、本発明に係る周期性欠陥検出方法は、

(a) 被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価するセンサ出力を得る信号入力ステップと、

(b) その領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択ステップと、

(c) 該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出ステップと、

(d) 前記小領域の位置及び距離間隔を変更して(b)及び(c)を繰り返す設定値変

更ステップと、

(e) (c) で求めた評価指数が予め設定された値より高い場合には前記距離間隔を周期と判定する周期判定ステップと、
を有する。

また、本発明に係る周期性欠陥検出方法において、前記小領域選択ステップは、以下であるのが好ましい。

前記小領域選択ステップは、前記領域より短い長さの小領域の位置を1つ決定して、それを第1の小領域とし、該第1の小領域の位置を基準として、周期性欠陥の並び方向において、距離間隔をすべて等しく離して、複数の第2の小領域を配置するようにし、前記センサ出力から前記第1の小領域の位置及び前記複数の第2の小領域の位置に対応した信号を選択し、前記設定値変更ステップは、前記第1の小領域の位置及び距離間隔を変更して(b)及び(c)を繰り返す。

また、本発明に係る周期性欠陥検出方法は、

被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する2次元領域の性状を評価するセンサ出力を得る第1のステップと、

前記2次元領域内において前記2次元領域より小さい第1の2次元小領域を選択し、この第1の2次元小領域から周期性欠陥の並び方向に所定の距離ずつ離れた複数の第2の2次元小領域を第1の2次元小領域と同じ大きさで選択し、前記2次元小領域にそれぞれ対応するセンサ出力の信号パターン相互の類似性の評価指数を計算して類似性を評価し、類似性が高いと評価した場合には前記距離を周期とし、各2次元小領域に欠陥候補が存在すると判定する処理を、前記距離を変えながら繰り返す第2のステップと、

前記距離が周期性欠陥が発生し得る周期の範囲を満たすまで上記の第2のステップを繰り返したら、前記第1の2次元小領域の位置を元の2次元領域内で変更して前記第1の2次元小領域が元の2次元領域内の所定の範囲を満たすまで前記第2のステップを繰り返す第3のステップと、

前記欠陥候補と前記センサ出力とに基づいて少なくとも欠陥の有無を判定する第4

のステップと

を有する。

発明の効果

本発明によれば、被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価する信号を得るセンサと、領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択手段と、該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出手段と、前記小領域の位置と前記距離間隔を変更して、前記小領域選択手段と前記評価指数算出手段の演算処理を繰り返す設定値変更手段と、前記評価指数が予め設定された値より高い場合に、前記距離間隔を周期と判定する周期判定手段とを備えており、このため、欠陥の発生周期が変動しても欠陥を容易に検出することができ、且つ、様々な径のロールで発生する軽微な周期性欠陥からの軽微な信号であっても高精度に検出できる。

また、本発明によれば、(a) 被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価するセンサ出力を得る信号入力ステップと、(b) その領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択ステップと、(c) 該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出ステップと、(d) 前記小領域の位置及び距離間隔を変更して(b)及び(c)を繰り返す設定値変更ステップと、(e) (c)で求めた評価指数が予め設定された値より高い場合には前記距離間隔を周期と判定する周期判定ステップと、を有しており、このため、欠陥の発生周期が変動しても欠陥を容易に検出することができ、且つ、様々な径のロールで発生する軽微な周期性欠陥からの軽微な信号であっても高精度に検出できる。

図面の簡単な説明

図 1 は、実施形態 1 に係る周期性欠陥検出装置の構成図である。

図 2 は、実施形態 1 の周期性判定装置の機能ブロックの一例を示した図である。

図 3 は、実施形態 1 の周期性判定装置及び欠陥判定装置の処理過程を示したフローチャートである。

図 4 A と図 4 B は、周期性判定装置による演算処理の説明図である。

図 5 は、実施形態 2 の周期性判定装置及び欠陥判定装置の処理過程を示したフローチャートである。

図 6 A ～図 6 C は、データサンプリングのピッチと欠陥検出との関係を示した説明図である。

図 7 は、実施形態 3 に係る周期性欠陥検出装置の構成図である。

図 8 は、幅方向磁化の模式図である。

図 9 は、鋼板製造ラインで発生したロール性微小凹凸欠陥の探傷例である。

図 10 は、図 9 の漏洩磁束信号を自己相関を行った結果を示す図である。

図 11 は、実施形態 1 の信号処理により求められた類似性評価指数 R の例（その 1）である。

図 12 は、実施形態 1 の信号処理により求められた類似性評価指数 R の例（その 2）である。

図 13 は、実施形態 1 の信号処理により求められた類似性評価指数 R の例（その 3）である。

図 14 は、実施形態 1 の信号処理により求められた類似性評価指数 R の例（その 4）である。

図 15 A と図 15 B は、連続焼鈍ラインで発生した欠陥の大きさの分布の調査結果を示した図である。

図 16 A と図 16 B は、図 15 のデータについて領域の窓長及び窓幅を変えて求めた類似性評価指数 R の S/N の例を示した図である。

図 17 は、実施形態 1 の測定信号の例を示した図である。

図18は、従来の周期性欠陥の検出方法を示した説明図である。

図19は、従来の周期性欠陥の検出方法を示した説明図である。

図20A～図20Cは、本発明の周期性欠陥の検出方法の原理を示した説明図である。

符号の説明

1 鋼板、2 欠陥、3 磁化器、4 磁気センサ、5 信号前処理装置、6 A/D変換装置、7 周期性判定装置、8 欠陥判定装置、71 データ記憶領域、72 第1の小領域選択部、73 第1の小領域データ設定部、74 第2の小領域選択部、75 第2の小領域データ設定部、76 類似性評価指数演算部、77 周期判定部、78 判定結果記憶部。

発明を実施するための形態

図20を用いて、本発明の周期性欠陥の検出原理を説明する。

図20では、理解を容易にするために1次元のデータ列で説明するが、後述するように2次元のデータ列であっても適用可能である。まず、図20Aのように、欠陥を含むような第1の小領域1を取り、この第1の小領域と同じ大きさの第2の小領域2、3、4、5（ここでは、4つであるが、特に第2の小領域の個数は限定されない）を欠陥周期 p_0 と同じ間隔（小領域の大きさと隣合う小領域が離れている距離間隔とを加算した距離間隔を指す）でデータ列上に取った場合を考える。そして、第1の小領域1と第2の小領域2、3、4、5のそれぞれとで積和演算を行うと、得られる4つの相関値はそれぞれで大きな値が得られるが、さらにこれら4つを加算した値を類似性評価指数Rとして算出する。

このように、図20Aのように第1の小領域に欠陥位置が含まれ、かつ間隔 d が欠陥周期 p_0 と丁度一致したときには、全ての相関値が大きくなるので、それに関する類似性評価指数Rは確実に大きな値となる。一方、第1の小領域に欠陥が含まれない、あるいは、間隔 d が欠陥周期 p_0 と一致しない場合には、相関値のどれかがたまたま大きな値であっても、全てが大きな値となることはないので、類似性評価指数Rは大きくならない。本発明は、上記の考え方に基づいてなされたものであり、例えば、図20Cのように、間隔 d を $d' (= d + \Delta d)$ のように少しずつ変えて、設定した間隔 d の各々について類似性評価指数Rを求める。間隔 d が所定の範囲（例えば、想定される欠陥周期の最大長まで）を網羅したら、次に第1の小領域の位置 q を変えて、上述と同様に間隔 d を変えて類似性評価指数Rの計算を繰り返して、類似性評価指数Rが予め設定した値より大きくなる場合や最大値となる場合の間隔 d から周期性欠陥の周期を求める。

以上が本発明の原理であるが、以下の実施形態にて詳細を説明する。

実施形態1.

図1は、実施形態1に係る周期性欠陥検出装置の構成図である。図1において、1は鋼板（鋼板の下に配置した機器がわかりやすいように透視図で示してある）、2は周期

性欠陥、3は磁化器、4は磁気センサ、5は増幅器及びフィルタ回路を内蔵した信号前処理装置、6はA/D変換装置、7は周期性欠陥検出器、8は欠陥判定装置である。

鋼板1には、この例では周期性欠陥2として圧延ロールに起因したロール性表面欠陥が圧延方向（図1では進行方向）複数個、存在しているものとする。磁化器3と磁気センサ4の組が鋼板1を挟んで対向して鋼板1の幅方向（周期性欠陥の並び方向に直交する方向）に沿って複数配置されている。磁化器3には図示しない磁化電源からの直流電流が供給されて磁化されており、磁化器3により両磁極間に発生された磁束は鋼板1を通る。ここで、磁化器3は鋼板1の幅方向に磁束が流れるように設置されている。またここでは、磁化器と磁気センサの組は鋼板1を挟んで対抗して設置しているが、同じ側に設置してもかまわない。周期性欠陥2が鋼板1に存在するとそれにより磁束が妨げられ、その変化を磁気センサ4により検出することができる。周期性欠陥2が鋼板1に存在するとそれにより磁束が妨げられ、その変化を磁気センサ4により検出することができる。

図1の例では、図で示す進行方向が周期性欠陥の並び方向に対応しているので、鋼板1が圧延ライン等で搬送されるのに合わせて、周期性欠陥2が磁気センサ4の位置に到達することになり、その度に上記のように信号が変化することになる。よって、鋼板の進行方向の移動量（すなわち、鋼板1の位置）に合わせて、磁気センサ4の測定信号を時系列的なデータとして収集すれば、周期性欠陥2の並び方向の測定データ（性状を評価するための信号）を得ることができる。

ここで、周期性欠陥2の予想される欠陥周期の最大値（圧延ロールが複数ある場合には最大ロール周長を基準とする）より長い距離分（鋼板の移動距離）の測定データを得る必要があり、複数周期分、例えば、3乃至5周期分程度を得るように設定するのがよい。ただし、これに限定されず、後述するように、周期数を多くしてデータが収集して演算を行うことにより、よりS/Nが向上していくので、上限は測定対象の信号S/Nの程度にあわせて適宜決定すればよい。

幅方向全体を同時に測定できるセンサであれば、鋼板長手方向の全長にわたって測定できるので、複数周期以上となるので問題はないが、周期性欠陥検査の場合には、一般的にコスト的な観点で、幅方向の一部のみを測定するセンサにして、センサをトラバー

スさせて測定する場合もある。その場合には、同じ幅位置で上記設定した周期分（最大周期の複数長さ以上で、例えば3～5周期分程度）を測定したのち、幅位置を移動するようにすればよい。

こうして得られた磁気センサ4の出力信号は信号前処理装置5に内蔵されている増幅器で信号増幅が行われ、そして、信号前処理装置5に内蔵されているフィルタ回路でノイズが除かれ、A/D変換装置6に送られる。

A/D変換装置6では、このアナログ信号を鋼板1の上で等距離ピッチとなるようにサンプリングしてデジタル化を行う。たとえば鋼板1にロータリエンコーダを接するなどサンプリングパルスを得ることができる。A/D変換装置6でデジタル化されたデータは、周期性判定装置7へ送られる。ここでは、以下の図2に示される周期性判定を行う。なお、ここでのサンプリングピッチとは、磁気センサ4の信号をデジタルデータに変換し、データ用メモリに記憶するときの空間分解能であり、検出対象となる欠陥の最小長さを検出可能とする値（例えば、最小長さの1/2程度以下）に設定すればよい。

図2は、周期性判定装置7の機能ブロック図の一例を示した説明図である。

周期性判定装置7は、A/D変換された測定データ（ここでは、磁気センサ4が幅方向に複数配置されているので2次元のデータ列となる）をそのままの生データを記憶しておくデータ記憶領域71と、第1の小領域のデータを選択するための第1の小領域選択部72と、第1の小領域のデータを選択するに際し小領域の大きさと位置を設定する第1の小領域データ設定部73と、第2の小領域のデータを選択するための第2の小領域選択部74と、第2の小領域のデータを選択するに際し第2の小領域の大きさと距離間隔を設定する第2の小領域データ設定部75と、第1の小領域選択部と第2の小領域選択部から選択されたデータを入力して類似性評価指数を算出する類似性評価指数演算部76と、類似性評価指数から周期性があるか否かの判定をする周期判定部77と、判定された結果を記憶し、結果を欠陥判定部に出力する判定結果記憶部78とを有する。

第1の小領域データ設定部73では第1の小領域の位置を順次変更して、第1の小領域選択部に設定し、第2の小領域データ設定部75では第2の小領域の距離間隔を順次変更して、第2の小領域選択部74に第2の小領域の位置を設定して、類似性評価指数

の演算を繰り返し実行する。小領域の大きさは繰り返し演算する間は一定とし、第1の小領域データ選択部73で設定されている小領域の大きさの値は、第2の小領域選択部74に対して出力されて、同じ値に設定される。周期判定部77では、算出された評価指数が類似性の高い値と評価された場合には、そのときの距離間隔から周期を、位置から周期性欠陥候補の存在する領域を決定する。

図3は、周期性判定装置7及び欠陥判定装置8の処理過程を示したフローチャートであり、図4はその演算処理の説明図である。

(S1) 第1の小領域選択部72は、図4Aに示されるように、測定した範囲のうち、幅方向にh、圧延方向にl（エル）の大きさの領域1（基準領域）を選択する。なお、後述のステップS2以降で用いるdの初期値として、dを最小ロール周長（欠陥周期の最小値）の値に設定しておくのがよい。

(S2) 第2の小領域選択部74は、図4Aに示されるように、領域1からみて幅方向は同じ位置で、圧延方向に距離d離れた位置に領域1と同じ大きさで領域2を選択する。同様に、領域1から2d離れた位置に領域3、3d離れた位置に領域4、4d離れた位置に領域5を選択する。

なお、領域1は上記の第1の小領域に相当し、領域2～領域5は上記の第2の小領域に相当する。

(S3) 類似性評価指数演算部76は、領域1と領域2の対応する箇所で、次の(式1)の計算を行い、領域1と領域2の相関値 R_{12} を計算する。ここで、 $x(i, j)$ はデジタル化されたセンサ出力の測定した全範囲内での幅方向i番目、圧延方向j番目の点の値とする。

$$R_{12} = \sum_i \sum_j x(i, j) * x(i, j + d) \quad \dots (式1)$$

同様に、次の(式2)の計算を行い、領域2と領域3、領域3と領域4、領域4と領域5の対応する箇所で相関値 R_{23} 、 R_{34} 、 R_{45} を求める。

$$\left. \begin{aligned}
 R_{23} &= \sum_i \sum_j x(i, j+d) * x(i, j+2d) \\
 R_{34} &= \sum_i \sum_j x(i, j+2d) * x(i, j+3d) \\
 R_{45} &= \sum_i \sum_j x(i, j+4d) * x(i, j+5d)
 \end{aligned} \right\} \dots \text{(式 2)}$$

(S 4) 類似性評価指数演算部 7 6 は、次の (式 3) の計算を行い、相関値 R_{12} 、 R_{23} 、 R_{34} 、 R_{45} を加算して類似性の評価指数 R を求める。ここで、複数の領域の相関値を加算する領域ごとのバラツキや偏りなどの影響を排除しようとするものであり、周期性欠陥を検出する特有の処理である。

$$R = R_{12} + R_{23} + R_{34} + R_{45} \dots \text{(式 3)}$$

(S 5) 周期性判定部 7 7 は、類似性の評価指数 R が予め設定された閾値以上の場合には周期性欠陥候補があると判定する。

(S 6) 次に、図 4 B に示されるように、相関値を計算する領域間の基準となる距離 d を $d + \Delta$ に変更して ($d + \Delta = d$) 上記の S 2 ～ S 5 の処理を繰り返す。ここで、 Δ は予め決めた領域の圧延方向の大きさ 1 (エル) よりも小さい定数とする。抜けなく評価するためには、 $\Delta < 1$ (エル) / 2 が望ましい。 d の変更の範囲は、周期性欠陥が発生し得る周期の範囲 (図 3 の S 6 の所定の範囲) とする。鋼板 1 のラインではローキが発生しうるライン内にあるロールの周長を網羅することが望ましい。なお、 d の変更は、各ロールについて想定される周長の前後範囲 (例えば、数 10 mm 程度の範囲) を行えばよいので、ライン内の各ロールの周長が大きく異なっており、周期性欠陥が発生しないとされる範囲がある場合には、その範囲に d の値を設定しなくてもよい。

(S 7) 類似性評価の基準となる領域 1 の位置 q を圧延方向に Δq ずらして上記の S 1 ～ S 6 の処理を繰り返す。この時の 1 回のずらし量 Δq としては、抜けなく評価するためには領域の圧延方向の大きさ 1 (エル) の 1 / 2 よりも小さい値が望ましい。ずらし量 Δq の下限は、デジタル化されたセンサ出力の測定した圧延方向サンプリング間隔で

あるが、演算時間がかかるので、適宜決定すればよい。そして、領域1の位置 q が欠陥周期最大値（最大ロール周長の値）になるまで（図3のS7の所定の範囲を網羅するまで）繰り返すことによって抜けなく評価することができる。なお、前述のステップS1にて、 d の初期値は最小ロール周長に設定するとしたが、 q の値が最小ロール周長より大きくなった場合には、S1での d の初期値を、 q の値に設定してもよい。つまり、常に、位置 q の値を0（ゼロ）から欠陥周期最大値（最大ロール周長の値）まで行くと、 q が d を超える範囲では計算が重複するので、 q が d を越える条件は計算をしないようにすれば、効率的な計算が可能となり、好ましい。

（S8）類似性評価の基準となる領域1の位置を幅方向にずらして上記のS1からS7の処理を繰り返す。この時のずらし量としては、抜けなく評価するために領域の幅方向の大きさ h の $1/2$ よりも小さい値が望ましい。

（S9）以上の周期性評価を行った結果、上記のS5の判定において周期性欠陥候補があると判定された場合には、欠陥候補の圧延方向、幅方向の位置、周期の長さおよびその周辺の領域の信号データを判定結果記憶部78に記憶するとともに欠陥判定装置8に送信する。欠陥候補の圧延方向、幅方向の位置は領域1（或いは領域2、3、4、5）の位置から決定される。

欠陥判定装置8では、欠陥候補の信号強度、幅方向の長さ、圧延方向の長さ、欠陥形状などの数値から欠陥であるかどうかを判定し、欠陥であると判定した場合には周期性判定装置7で得られた周期 d とともにその結果を出力する。欠陥判定装置8では、周期性判定装置7で得られた周期を元に欠陥部の信号を同期加算して S/N を向上させた上で上記の判定を行っても良い。そして、S9の処理が終了したら、ステップS6に戻る。

なお、上記フローチャートは、処理手順の一例であり、その処理手順は適宜変更されてもよい。例えば、間隔 d を変える繰り返し処理が、領域1の位置を変更する繰り返し処理の中にあるが、逆であってもよいし、S5の類似性評価指標 R の評価処理についても、類似性評価指標 R を算出する毎に実行するように説明したが、全ての繰り返し処理が完了した後に、類似性評価指標 R の評価処理を行うようにしてもよい。また、S8のデータ領域1の幅方向位置の変更は、1次元データを対象とする場合には行わなくてよ

い。

欠陥判定装置 8 で欠陥部の信号を同期加算する場合には、欠陥候補位置と周期が事前のステップで明確にわかっているため、この同期加算は領域 1 と同じ（ないしは同じ程度）大きさの範囲を行えば十分であり、最も簡単には欠陥候補を含むと判定された時点での領域 1、2、3、4、5 の欠陥部の信号を加えることで実現できる。同期加算値 $y(i, j)$ を計算する式を式 4 に示す。この $y(i, j)$ の値が規定値を越えた場合に欠陥と判定する。このようにすることで計算方式を簡易なものにすることができ、特に狭い領域間での加算を行うだけであるので、計算量を大幅に節約することが出来る。また、S 5 で周期性欠陥なし、と判定されたデータに基づいて、オンラインでノイズレベル N を決定し、 $y(i, j)$ が、例えば、 $3N$ を超えた場合に欠陥と判定してもよい（つまり、 $S/N > 3$ の場合に欠陥とする）。なお、 N は、所定領域の最大値や平均自乗誤差により決定すればよい。

$$y(i, j) = x(i, j) + x(i, j + d) + x(i, j + 2d) + x(i, j + 3d) + x(i, j + 4d)$$

… (式 4)

また、幅方向に広がりをもった欠陥である場合には、同じ圧延方向位置について幅方向に積算すると、 S/N が向上するのでよい。

以上のように、本実施形態 1 においては、上記のような処理をするようにしたことにより、欠陥の発生周期が変動しても欠陥を容易に検出することができ、且つ、様々な径のロールで発生する軽微な周期性欠陥からの軽微な信号であっても高精度に検出できる。

実施形態 2.

通常、欠陥計では欠陥の無害部との判別精度を高めるため、欠陥信号の分解能を高くすることが一般的である。本発明では、実施形態 1 で説明したように、まず第 1 段階として測定信号に周期性成分が含まれているか否かの判定処理（すなわち、周期性欠陥候

補の検出)を行い、周期性成分が含まれている場合(周期性欠陥候補が検出された場合)には、第2段階として周期や発生位置の情報を利用して欠陥有害度を判定する欠陥信号を強調処理して、欠陥の種類や程度などの判定を行う。

第1段階：周期性欠陥候補検出(周期性成分の有無判定)

周期性評価(相関演算による類似性評価の繰り返し：上述ステップS1～S8)による欠陥候補(ステップS5)の検出

第2段階：欠陥有害度判定

欠陥判定(ステップS9)を行って、欠陥か無害かを判定

このように、2段階で処理を行い、第2段階で最終的な欠陥判定を行うので、第1段階の周期性評価では演算上の分解能を下げて、ラフな評価で(過検が多くなって)もよい。つまり、これによって、演算処理の負荷を低減し、処理速度を高速化することが可能となる。

以下に、その処理方法を説明する。なお、本実施形態2は、実施形態1で説明した図3の処理手順と同じであり、S1の前段に行う処理であるので、実施形態1と重複する部分の説明は省略する。

図5は、本実施形態2に係る周期判定装置7及び欠陥判定装置8の処理過程を示したフローチャートである。

(S11) サンプリングピッチとして検出対象欠陥の最小長さを検出可能とする値として測定し、測定データを入力する。

(S12) 測定データは、図2のデータ記憶領域71に記憶するとともに、欠陥有害度判定のために用意した、一旦、図示しない欠陥有害度判定用データ保存領域(データメモリなど)に、そのまま記憶する。

(S13) 入力したデータ(測定した信号)の圧延方向に対して、LPF(ローパスフィルタ；移動平均でもよい)をかける。これは、このあと周期性演算を行う際に、データを間引くことから、欠陥位置とサンプリング位置とがずれても欠陥を検出できるようにするためである。つまり、測定データそのまま、間引き処理を行うと欠陥信号が残らない可能性があることを考慮して、間引き処理で残されたデータに欠陥信号の情報を

残しておくためである。

(S 1 4) S 1 3で作成したデータを計測したサンプリングピッチの数回に1回(例えば、4回に1回、2~8回に1回でもよい)の割合で信号を間引いた周期性評価用データを作成する。

(S 1 5) S 1 4で作成した周期性評価用データを、図2のデータ記憶領域71に記憶する。

(S 1 6) 以降は、実施形態1と同様にステップS 1~S 8までの処理を行う。なお、(S 1 5)で、周期性評価用データの記憶するために周期性評価用データ保存領域が、データ記憶領域71とは別にあり、それに周期性評価用データを記憶した場合には、この演算はデータ領域71のデータに代えて、周期性評価用データ保存領域に記憶されたデータを用いて行うこととなる。

(S 1 7) 周期性ありとなった場合には、欠陥有害度判定用データ保存領域のデータを用いて実施形態1で説明したS 9の処理を行って欠陥判定を行う。

なお、2次元データの場合には、圧延方向の同じ位置で幅方向に連続して間引くようにすると(幅方向に縞模様状にデータを使用する)、タイミングによっては、図6Aのように欠陥が抜けてしまいやすくなる。このような状態を避けるためには、検出対象とする欠陥の最小欠陥幅を w とすると、測定信号の幅方向における空間分解能を、例えば $w/2$ とすると、少なくとも幅方向2つのデータ位置で欠陥信号が得られる。 $w/4$ とすれば、幅方向4つのデータ位置で欠陥信号が得られる。

このように、幅方向に複数のデータ位置から欠陥信号が得られるようにした上で、例えば図6Bのように、幅方向に圧延方向位置をずらして間引くことにより、欠陥の抜けが抑制される。

また、図6Cのようにずらす量は必ずしもデータ位置1つ分でなくても良い。

実施形態3.

図1の実施形態1の計測では、長手方向に励磁をするようにしたが、図7のように、鉛直方向の磁場を感知するセンサを幅方向に並べ、幅方向に磁化をするようにしてもよ

い。この場合、欠陥により発生する磁束は幅方向に正負の分布を持つことになる（図 8）。周期性を評価する際に、実施形態 1，2 では、2 次元の領域間の類似性を評価しているが、このように幅方向磁化により欠陥信号に特徴的な正負のピークを持たせることで、図 6 (C) のようなデータサンプリングを行ったとしても未検出となる確率が低減でき、周期性評価の精度を上げる事ができる。これにより、上記のように間引いても周期性を評価できるようになった。

さらに、欠陥信号が幅方向に複数の磁気センサに渡って生じることに着目し、2 次元の領域と小領域を選択して、演算を行い、2 次元的な特徴を持つ欠陥信号の 2 次元領域での類似性を評価することで、周期性を評価するうえでより精度良く評価を行うことが可能となる。

実施例

次に、上記の実施形態 1 の周期性欠陥検出装置の適用例について説明する。

図 9 は、鋼板製造ラインで発生したロール性微小凹凸欠陥の探傷例である。図中に矢印で欠陥位置を示すが、欠陥信号はノイズ信号と比較して差が小さくこのままでは自動検出は困難である。この信号に一般的な信号処理を施した例として自己相関演算を行った結果を図 10 に示す。元の信号で、欠陥信号とノイズ信号の差が小さく自己相関演算を行っても欠陥の周期（1670 mm）を検知することはできない。

図 11 及び図 12 は、上記の実施形態 1 の信号処理を施した結果である。

図 11 は、第 1 の小領域の大きさとして幅方向 8 mm、圧延方向 50 mm の領域をとり、この領域 1 組に対して相関値を計算し類似性評価指数としたものである。図 11 では、欠陥の周期である 1670 mm の位置（矢印で示す）が他の周期より類似性評価指数 R の値が大きくなっているため、つまり周期性が強く（他の周期と比較して 1.5 倍程度類似性評価指数 R の値が大きく、周期性が強い）周期性欠陥が存在することが見て取れる。例えば図 11 では、閾値を $R = 1.5$ に設定することで、周期性欠陥を弁別可能である。

図 12 は、領域の大きさは図 6 と同じで、領域の組合せを 4 組取って相関値を計算し

足し合わせて類似性評価指数としたものである。図 1 2 では、他の周期よりさらに類似性評価関数 R の値が大きく周期性が高く（他の周期と比較して 4～5 倍類似評価関数 R が大きく周期性が強い）周期性欠陥が存在していることがはっきりとわかる。例えば図 1 2 では、閾値を $R = 2.5$ に設定することで、周期性欠陥の弁別の精度をより向上させることが可能になっている。このように類似性評価指数を用いて弁別閾値を設定することで、欠陥判定が可能となる。

このように、類似性を評価するために 4 組の領域間で相関値を求めて足し合わせることで欠陥の周期性をよりはっきりと検知可能であるが、2 つの領域間の相関値を類似性の指標としても周期性を得ることは可能である。相関値を求める領域の組の数を増やすほど類似性評価結果、すなわち得られた周期の信頼性が向上するが、その一方で計算量が膨大となる。結果の信頼性と計算量の関係から 3 組から 5 組程度が適当であり、上記の 4 組が最適である。

なお、上記の式 (3) の例では、4 組の領域間での相関値を加算して類似性の評価指数としたが、掛け合わせる、重みをつけて足し合わせるなどの他の手法によってもかまわない。

また、上の例では相関値を求める領域は隣り合う 2 組としているが、これは、被検体の走行において幅方向にずれる（ぶれ）影響をなるべく小さくするために重要である。特に、鉄鋼ラインでは、走行時に蛇行と呼ばれる幅方向のぶれがあるためこの計算方式による効果大きい。但し、走行時のぶれが小さい被検体の場合には、必ずしも隣り合う 2 組でなくてもかまわない。例えば、最初の基準位置と、2 領域目、3 領域目、4 領域目……それぞれとの相関を計算することで、シンプルな計算方法とすることが可能である。

また、上記の例では、類似性評価方法として相関値を用いる方式の例を示したが、差分積算処理など他の類似性を評価する方式でもかまわない。

次に、第 1 の小領域の大きさを変えた結果を図 1 3 及び図 1 4 に示す。

図 1 3 は図 1 1 に対して、図 1 4 は図 1 2 に対して、第 1 の小領域を圧延方向 100 mm の大きさとし、それ以外の条件は同じにして計算したものである。この測定データ

では、圧延方向100mmの大きさとしたほうが、類似性評価値が悪くなっており、領域の大きさによって類似性評価値が変化することが読み取れる。この理由は、欠陥サイズに比べて第1の小領域を大きくしすぎると、欠陥信号のデータ数に対してノイズ信号のデータ数が増え、ノイズ信号の影響が大きくなるため、相関値の S/N が悪くなる。

ところで、鉄鋼ラインにおけるロール性欠陥の中でも、鋼板表面の粗さ($R_a = 0.5 \sim 2 \mu m$)の中でなだらかな輪郭(曲率半径 $R \geq 10 mm$)を持つ凹凸量 $5 \mu m$ 以下であるが、面積は $10 mm^2$ 以上の形状を有する欠陥は、微小凹凸欠陥と呼ばれ特に検出の困難な欠陥である。この欠陥は、発明者らが連続焼鈍ラインで発生した欠陥の大きさの分布を調査した結果、図15Aと図15Bに示されるように、幅方向の長さ2mmから8mm程度、圧延方向の長さ3mmから50mm程度が主なものであった。この微小凹凸欠陥を測定対象とする場合には、相関値を計算する領域の大きさは、この欠陥のサイズの最大に相当する大きさに相当する、 $h = 8 mm$ 、 $l = 50 mm$ 程度とすることが適当である。いくつかの大きさを変えたサンプル(最小級サイズの欠陥(長さ3mm×幅3mm)、最大級サイズの欠陥(長さ50mm×幅10mm))に対して相関値を計算する領域(第1の小領域、第2の小領域)の窓枠の幅(h)、長さ(l)を変えて(式3)の類似性の評価指数 R を計算した。代表的な結果を図16Aと図16Bに示す。

図16Aと図16Bの縦軸は欠陥部と健全部での評価指数の値の比(S/N と称)である。

このデータから、小領域は長さ:10mm~100mm、幅:1mm~30mm($S/N \geq 2$)が適用範囲であり、長さ:20mm~80mm、幅:2mm~20mm($S/N \geq 2.5$)が好適範囲であり、長さ:25mm~62mm、幅:7mm~11mm($S/N \geq 3$)がより好適な範囲である。

想定される欠陥の最大の幅、長さに対して領域の窓枠の幅、長さをそれぞれ $1/4$ 以上、2倍以下とすると S/N が2以上となり欠陥の自動検出に対応可能であり、想定される欠陥の最大の幅、長さにあわせて領域の窓枠の幅、長さを概ね同じ程度にすると S/N が3以上となり最適であることがわかる。

また、図17に示すように本実施例の磁気センサでの測定信号は、圧延方向には約1

0 mmほどの広がりを持っているため、図9では欠陥サイズの相対比ほど好適範囲に大きな差が現れていない。また、好適範囲の下限は欠陥最大サイズでよいが、好適範囲の上限はこの測定信号の広がり基準とも考えられるので、好適範囲を別の標記をすれば、欠陥最大サイズの $1/4$ 以上、でかつ、信号の最小広がり 10 倍以下であり、より好ましくは、欠陥最大サイズの $2/5$ 以上、でかつ、信号の最小広がり 8 倍以下であり、さらに好ましくは、欠陥最大サイズの $1/2$ 以上、でかつ、信号の最小広がり 6 倍以下となる。

なお、上記の実施形態では漏洩磁束探傷の例を示したが、被検体の性状を評価する方法であれば必ずしも漏洩磁束探傷でなく他の方法でも良く、通常のカメラを用いた表面欠陥計、赤外光を用いたセンサ、サーモグラフィ、超音波センサ、渦流センサ、などの他の欠陥を検出する手段でもかまわない。

また、上記の特許文献3の技術は、光学式の欠陥検査を行い、得られた信号の健全部のノイズである地模様が最終圧延ロールの周長と同じ周期性を持つ事を利用している。しかし、漏洩磁束探傷では健全部のノイズは、表面の凹凸だけでなく、圧延時の圧下率、温度ムラなどの微妙な条件によって生じる歪の影響を受けるので、漏洩磁束探傷では健全部のノイズは最終の圧延ロールと同じ周期を持つとは限らない。このため、特に漏洩磁束探傷では欠陥部の周辺の領域ごとに類似性を評価することによる効果が大きい。

また、漏洩磁束のセンサとしては、ホール素子、コイル、磁気抵抗素子、SQUID等の磁気センサが使える。また、幅方向にセンサを複数個並べているが、1個ないしは複数個のセンサをトラバースさせる方式でもかまわない。また、全幅を探傷しているが、幅方向の一部の領域を探傷する方式でもかまわない。特に、周期性の連続欠陥であれば、幅方向の一部の領域をある長さ探傷し、幅方向に位置を変えて繰り返し探傷する方式でもかまわない。

ここで、磁化器3は鋼板の幅方向に磁束が流れるように設置されている。また、ここでは、磁化器と磁気センサの組は鋼板1を挟んで対抗して設置しているが、同じ側に設置してもかまわない。

請求の範囲

1. 被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価する信号を得るセンサと、

領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択手段と、

該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出手段と、

前記小領域の位置と前記距離間隔を変更して、前記小領域選択手段と前記評価指数算出手段の演算処理を繰り返す設定値変更手段と、

前記評価指数が予め設定された値より高い場合に、前記距離間隔を周期と判定する周期判定手段と、

を有する周期性欠陥検出装置。

2. 前記小領域選択手段は、

前記領域より短い長さの小領域の位置を1つ決定し、それを第1の小領域とし、前記センサ出力から、前記第1の小領域の位置に対応した信号を選択する第1の小領域選択手段と、

前記第1の小領域の位置を基準として、周期性欠陥の並び方向において、距離間隔をすべて等しく離して、複数の第2の小領域を配置するようにし、前記センサ出力から、前記複数の第2の小領域の位置に対応した信号を選択する第2の小領域選択手段と

を備え、

前記設定値変更手段は、前記第1の小領域の位置と前記距離間隔を変更して、前記小領域選択手段と前記評価指数算出手段の演算処理を繰り返す、

請求項1に記載の周期性欠陥検出装置。

3. 前記センサは、磁性金属部材からなる被検体を励磁し、漏洩磁束信号を得る磁気センサである請求項1に記載の周期性欠陥検出装置。

4. 前記小領域の長さを想定される最大の欠陥と同程度の長さとする請求項1又は2記載の周期性欠陥検出装置。

5. 前記評価指数算出手段は、前記小領域の各々にて類似性を評価する値を算出し、それら値を組み合わせて前記評価指数を求める請求項1～3の何れかに記載の周期性欠陥検出装置。

6. 前記評価指数算出手段は、前記小領域の各々にて類似性を評価する値を算出し、それら値を加算して前記評価指数とする請求項4記載の周期性欠陥検出装置。

7. 前記小領域の各々にて類似性を評価する値は、前記小領域間の相関値である請求項1～5の何れかに記載の周期性欠陥検出装置。

8. (a) 被検体上の予測される欠陥周期より長い長さを有する領域の性状を評価するセンサ出力を得る信号入力ステップと、

(b) その領域長さが前記領域より短い小領域を複数、周期性欠陥の並び方向に、隣り合う距離間隔がすべて等しくなるように離して、位置を決定し、それら複数の小領域の位置に対応した信号を、前記センサ出力から選択する小領域選択ステップと、

(c) 該小領域選択手段で選択した複数の信号間で、信号パターン相互の類似性の評価指数を算出する評価指数算出ステップと、

(d) 前記小領域の位置及び距離間隔を変更して(b)及び(c)を繰り返す設定値変更ステップと、

(e) (c)で求めた評価指数が予め設定された値より高い場合には前記距離間隔を周期と判定する周期判定ステップと、

を有する周期性欠陥検出方法。

9. 前記小領域選択ステップは、前記領域より短い長さの小領域の位置を1つ決定して、それを第1の小領域とし、該第1の小領域の位置を基準として、周期性欠陥の並び方向において、距離間隔をすべて等しく離して、複数の第2の小領域を配置するようにし、前記センサ出力から前記第1の小領域の位置及び前記複数の第2の小領域の位置に対応した信号を選択し、

前記設定値変更ステップは、前記第1の小領域の位置及び距離間隔を変更して

(b) 及び (c) を繰り返す、

請求項8に記載の周期性欠陥検出方法。

図1

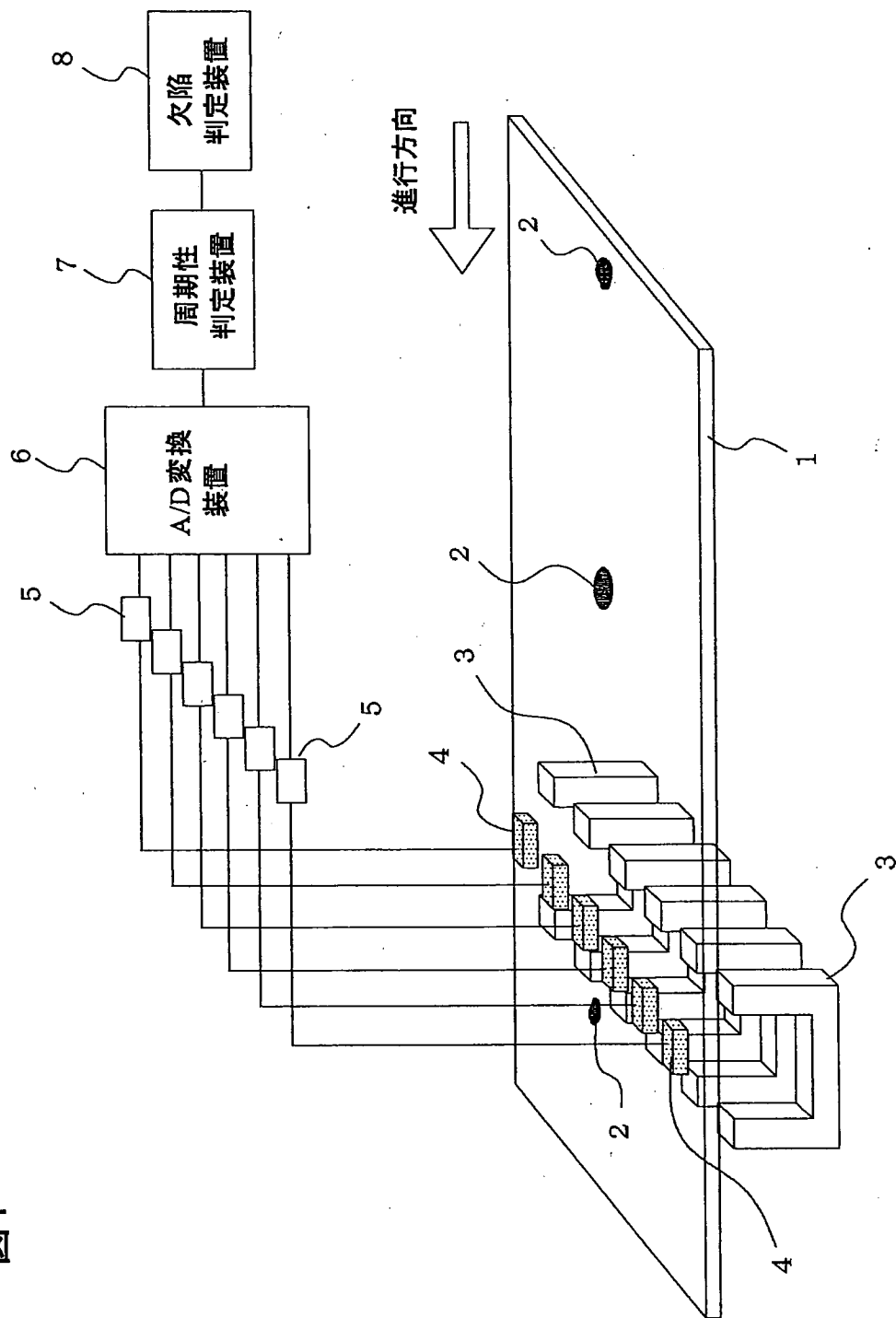
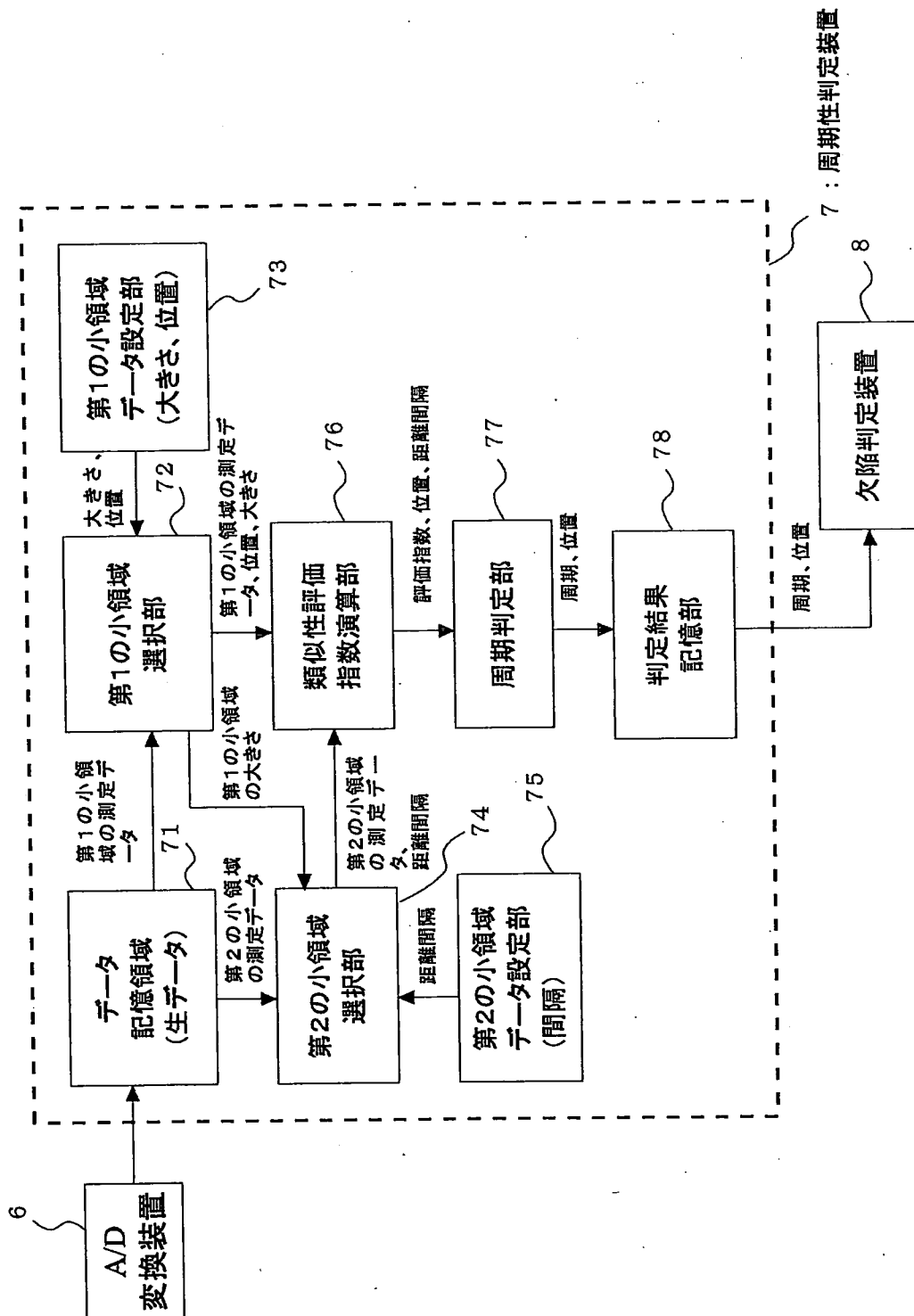


図2



3/16

図3

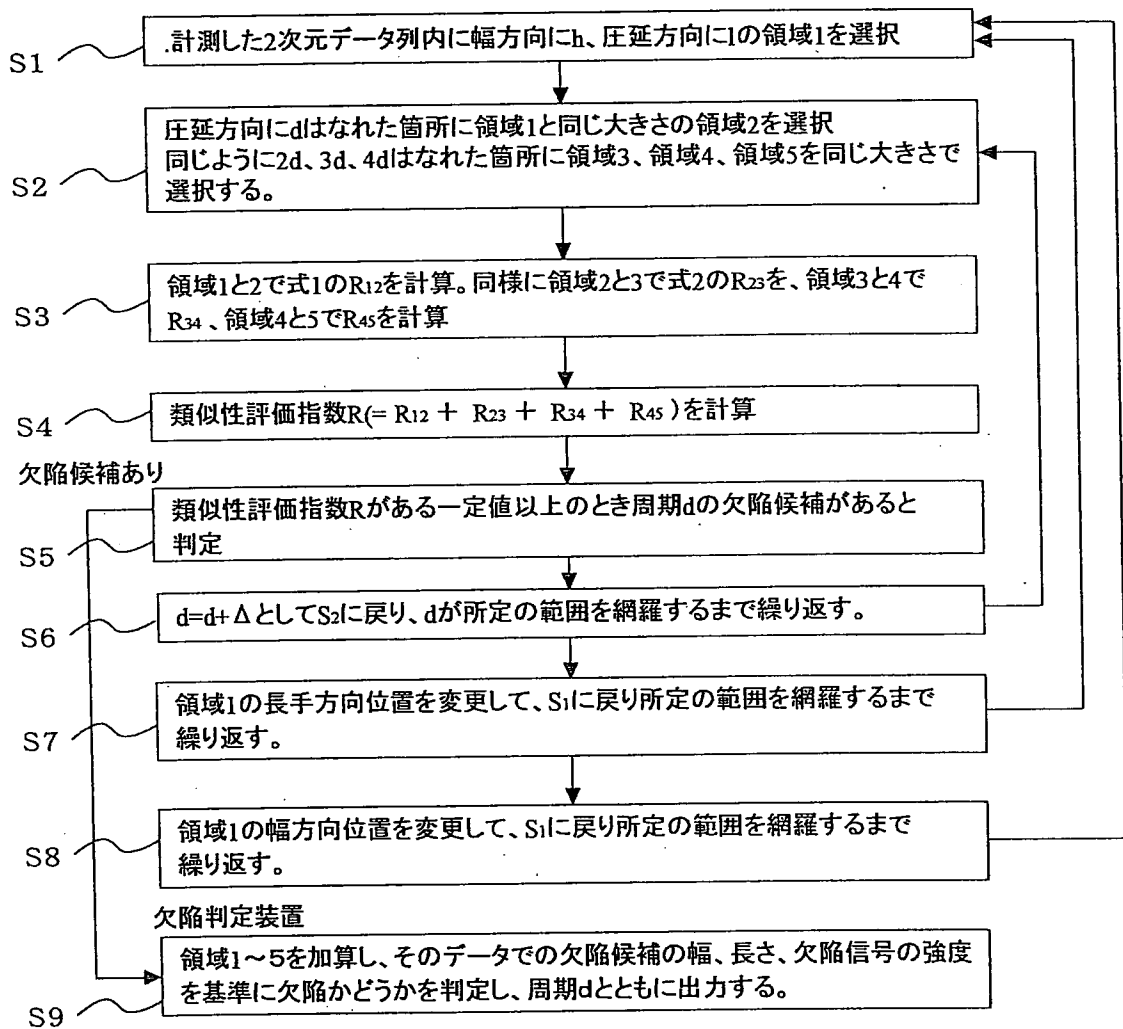


図4A

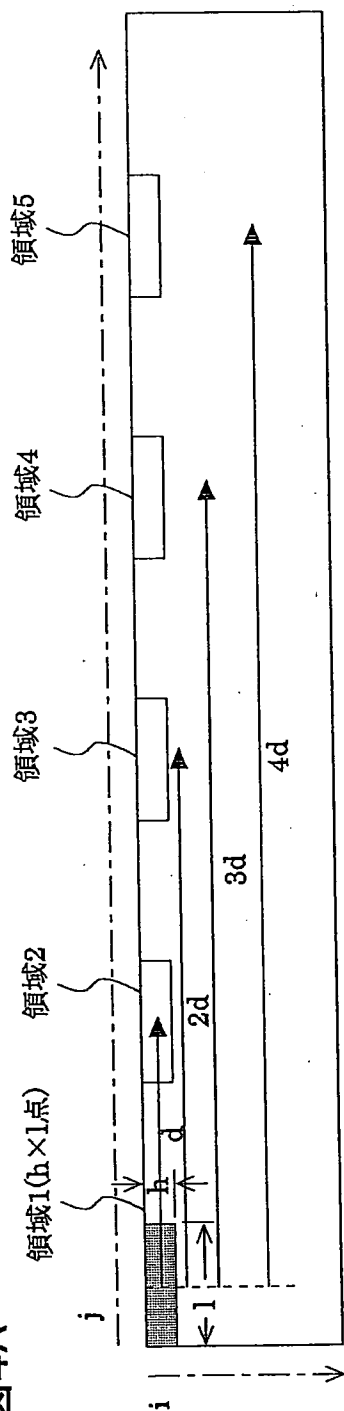
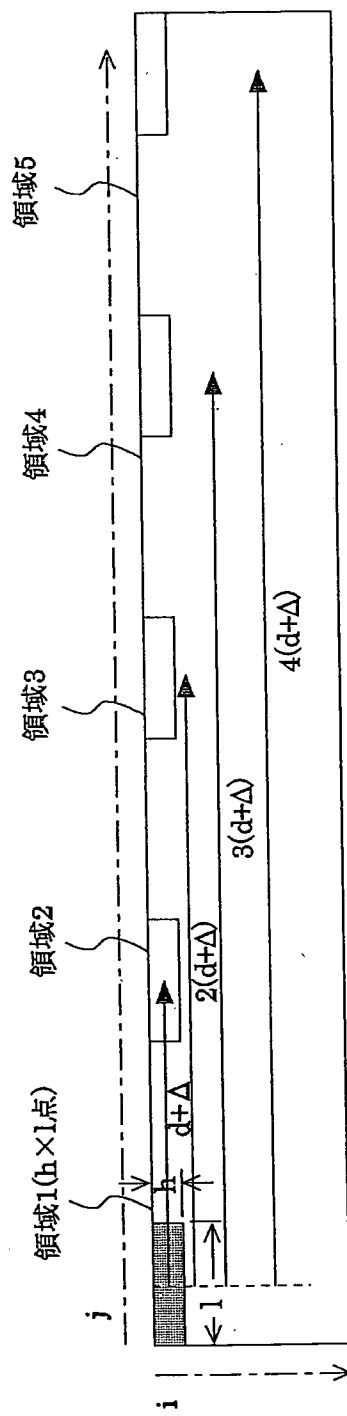


図4B



5/16

図5

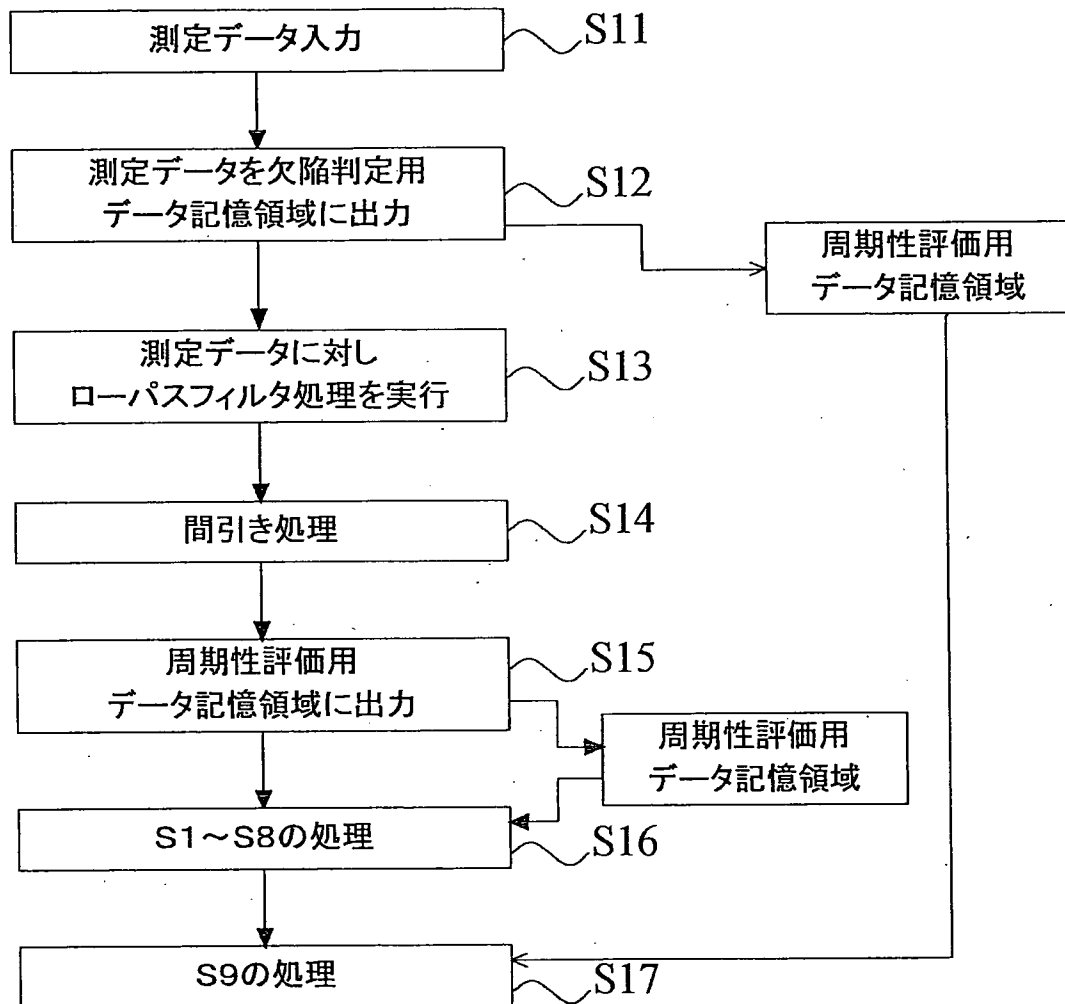


図6A

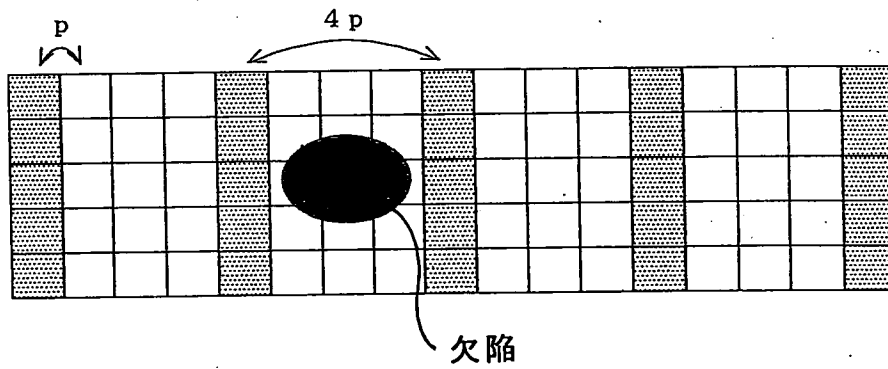


図6B

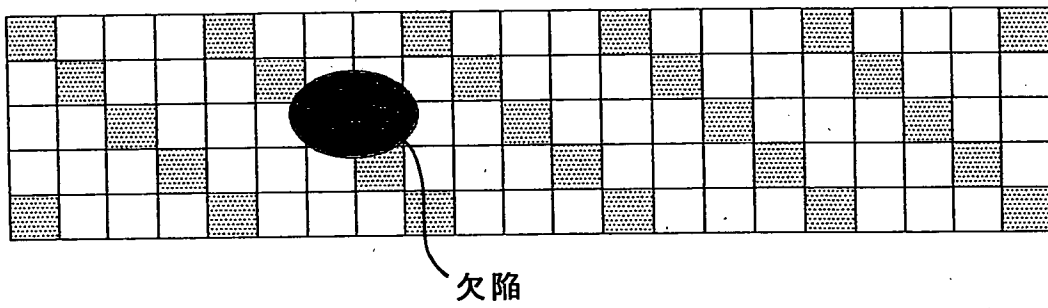


図6C

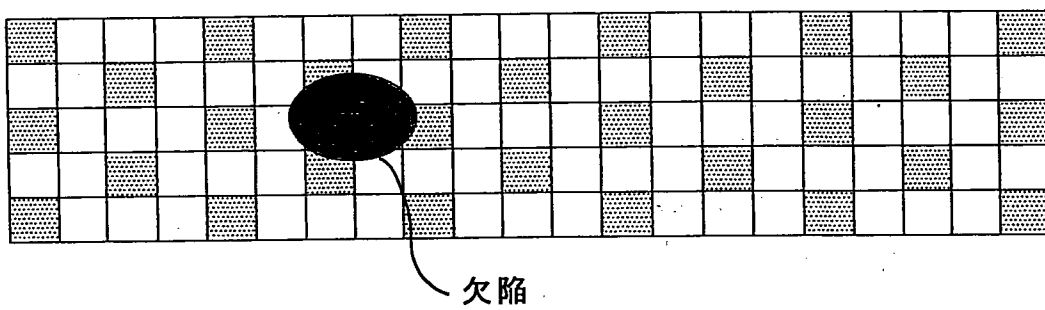
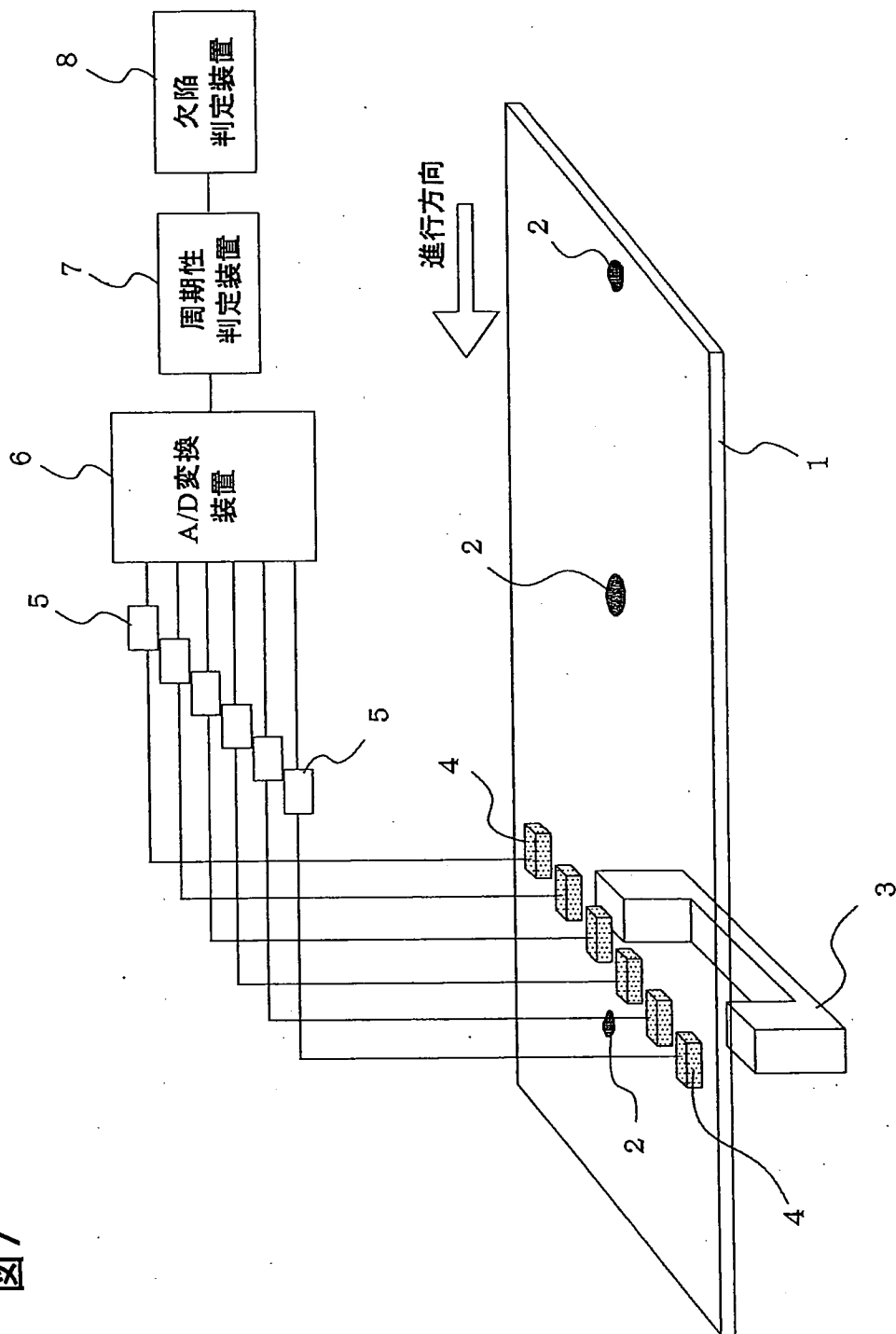
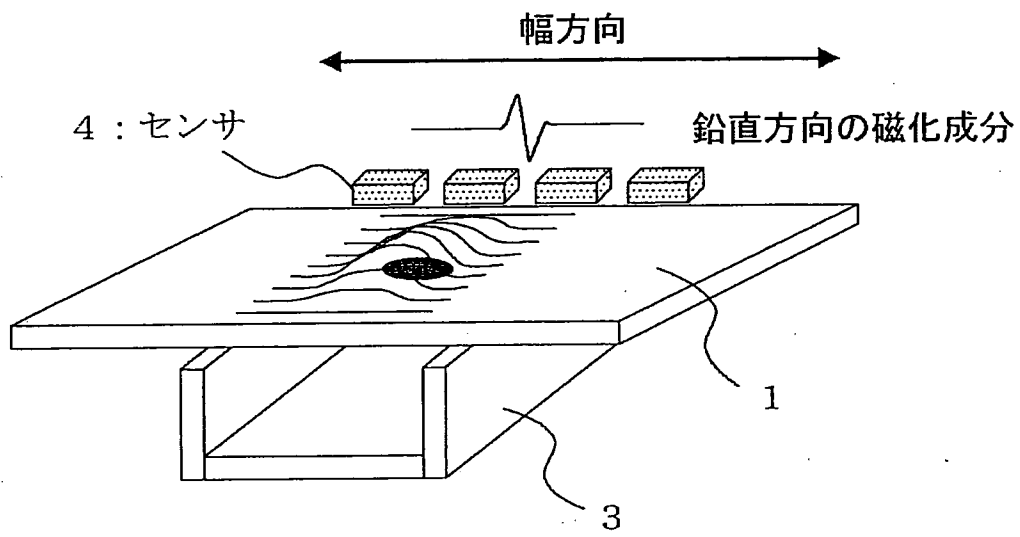


图7



8/16

図8



9/16

図9

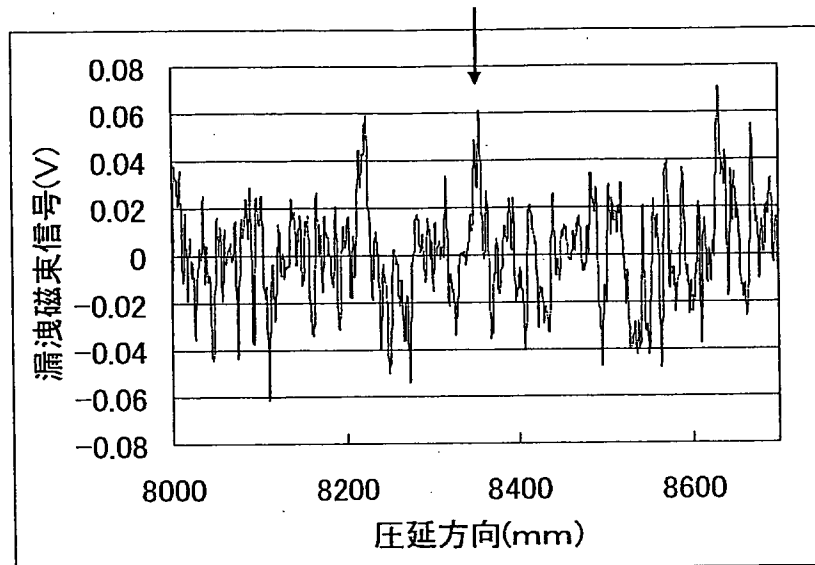
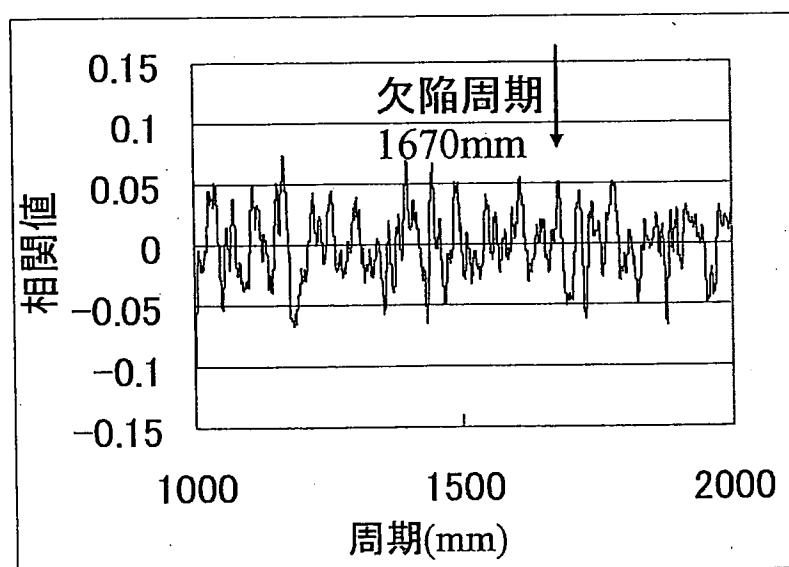
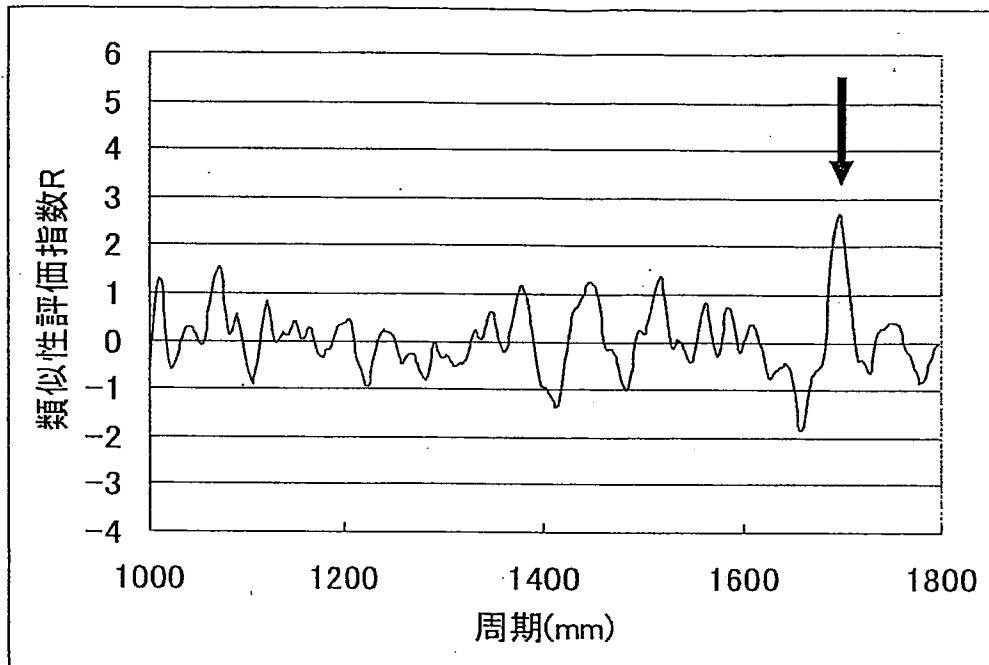


図10



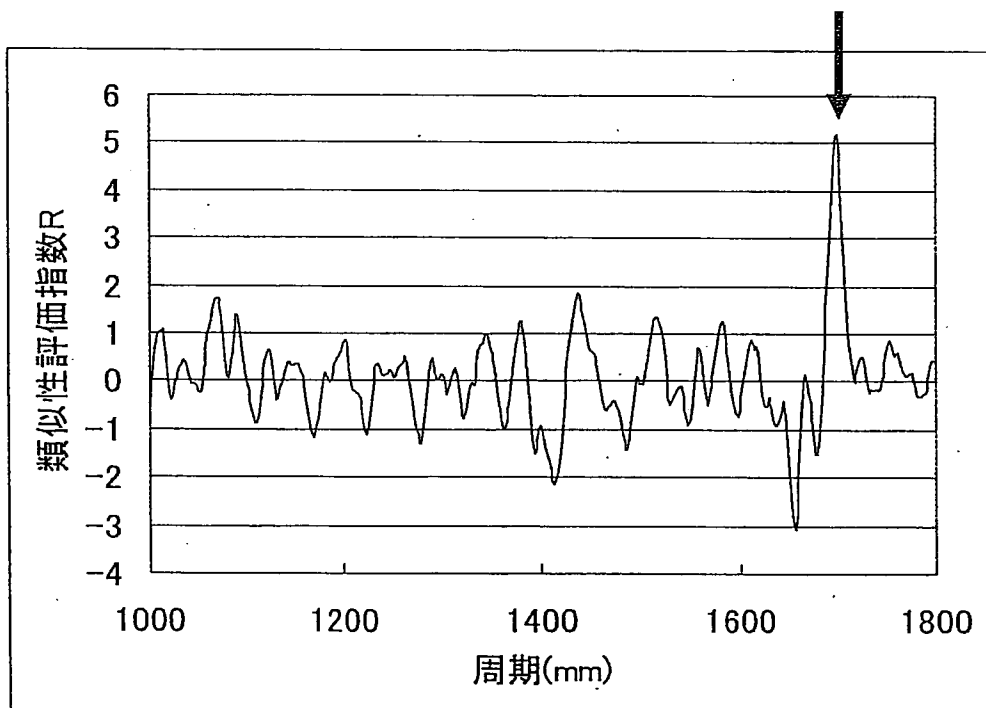
10/16

図11



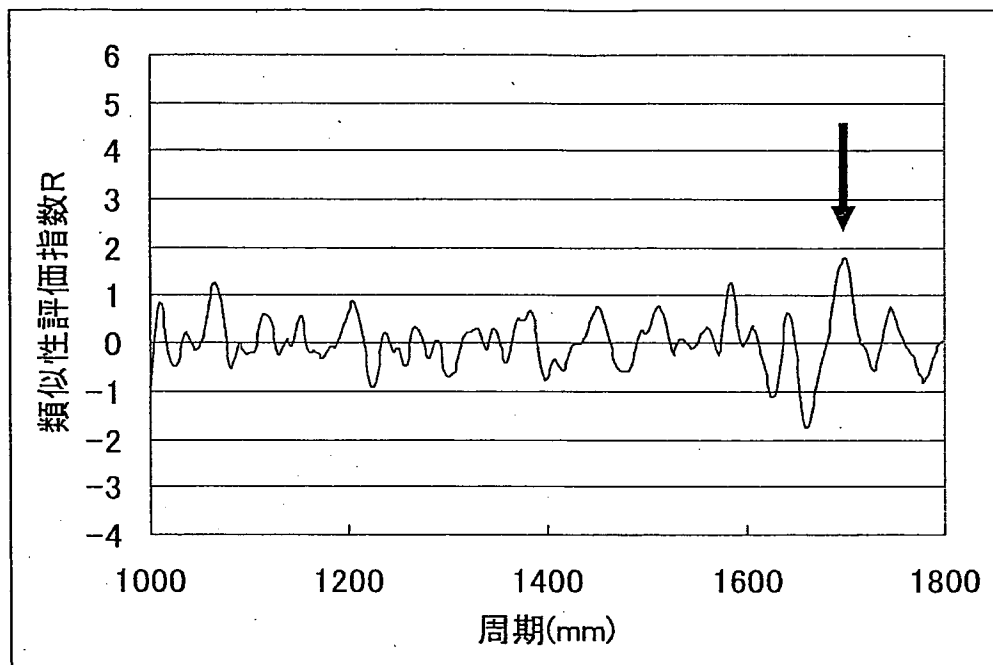
単周期 50mm×8mm領域

図12



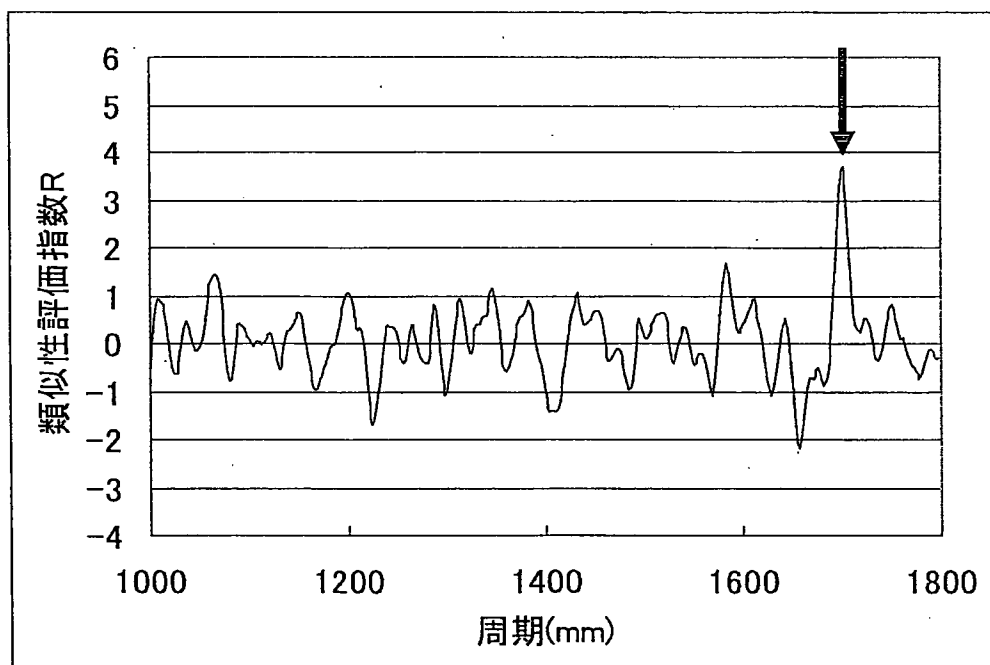
複数周期 50mm×8mm領域

図13



単周期 100mm×8mm領域

図14



複数周期 100mm×8mm領域

12/16

図15A

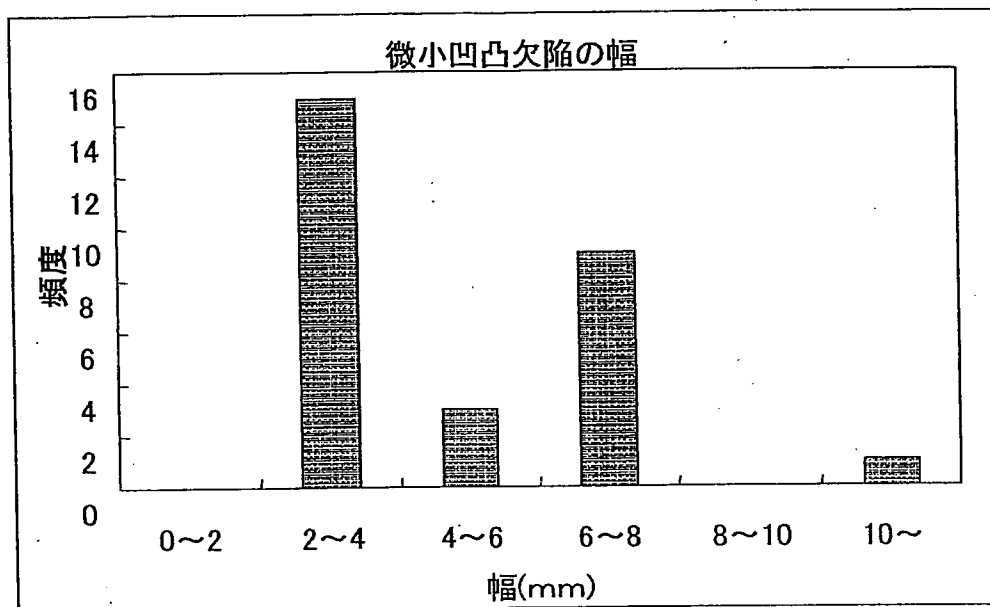
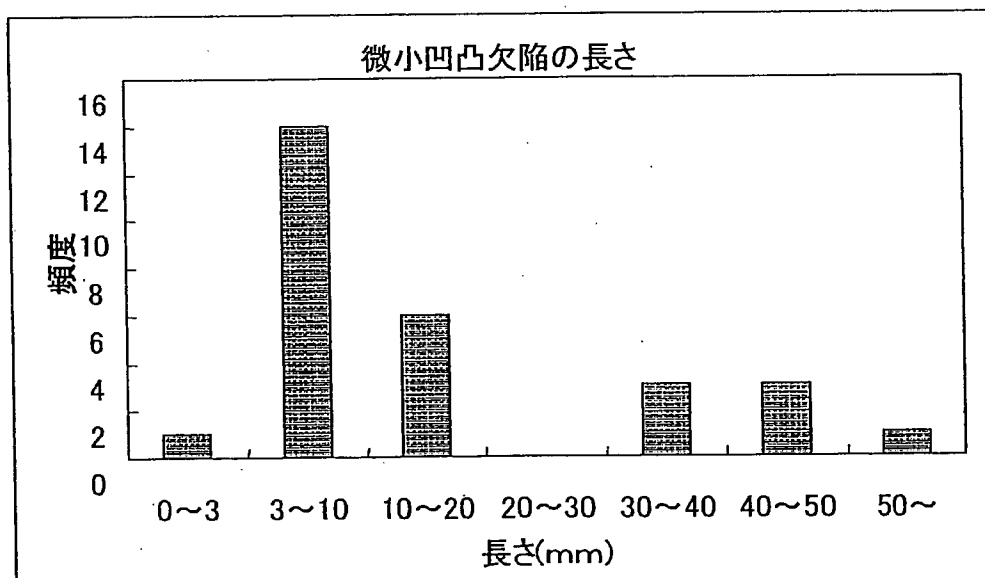


図15B



13/16

図16A

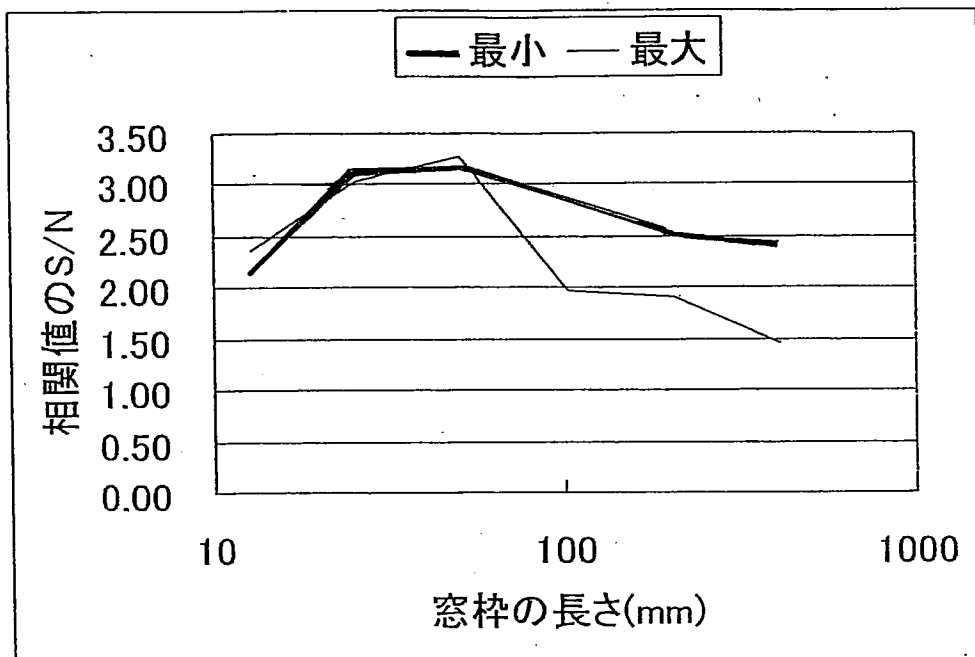
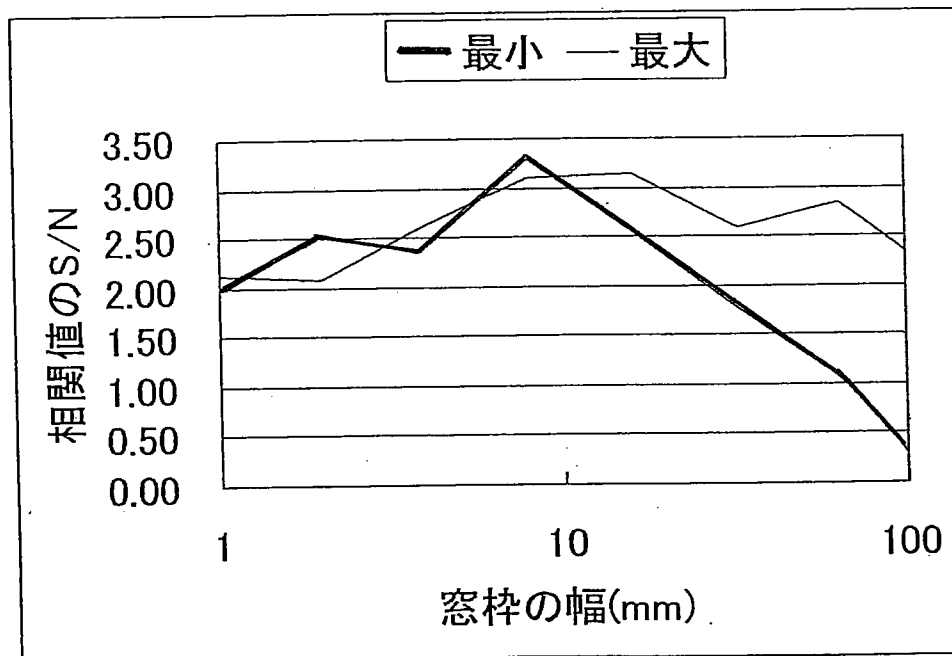


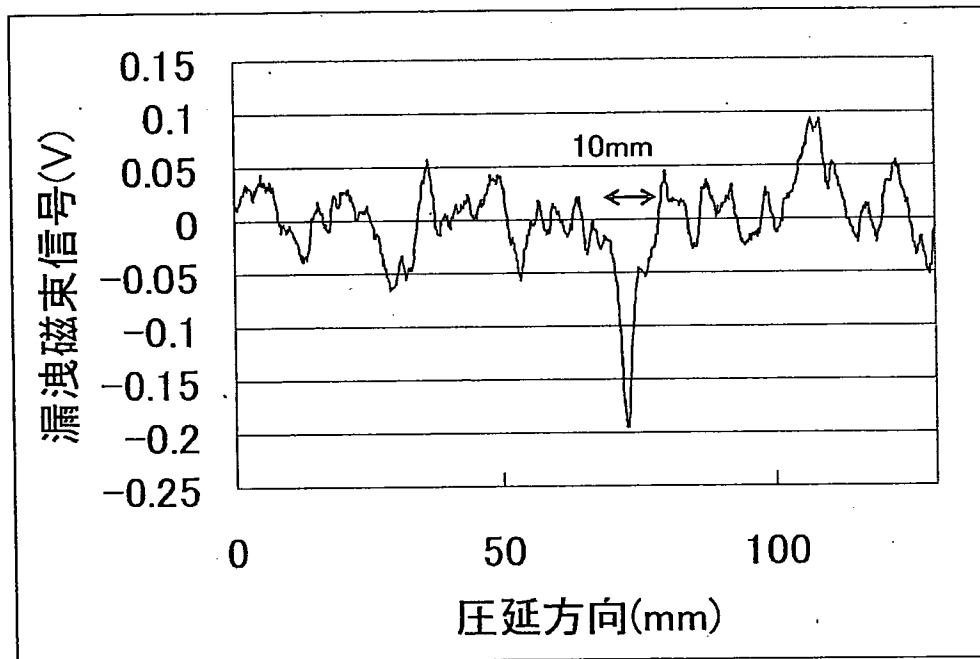
図16B



14/16

図17

3×3mmの欠陥の探傷例



漏洩磁束信号

15/16

図18

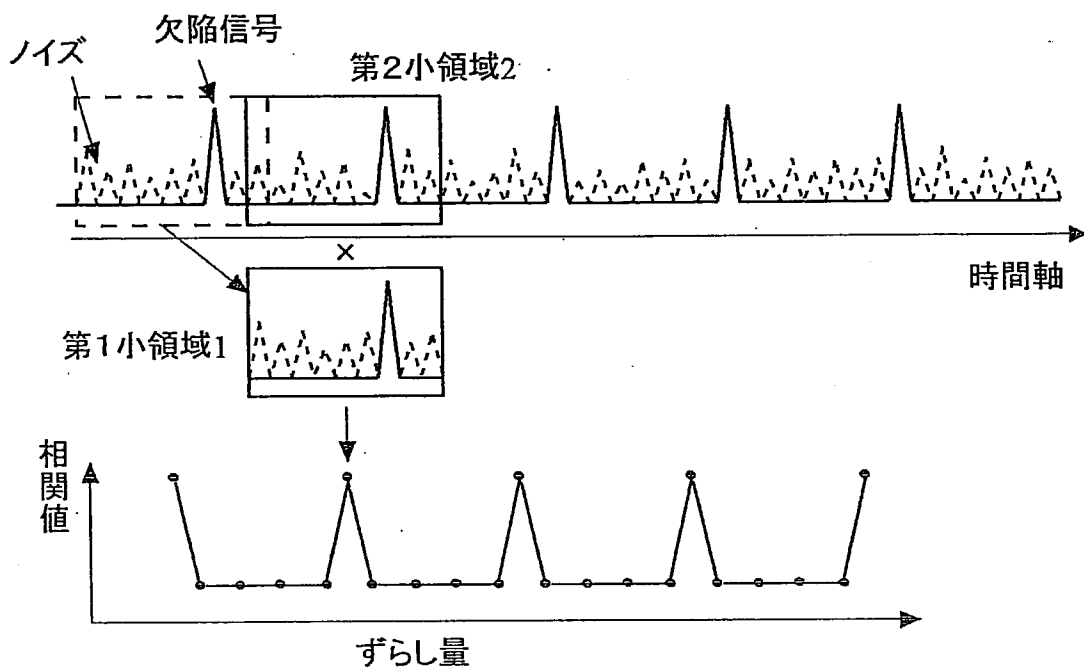


図19

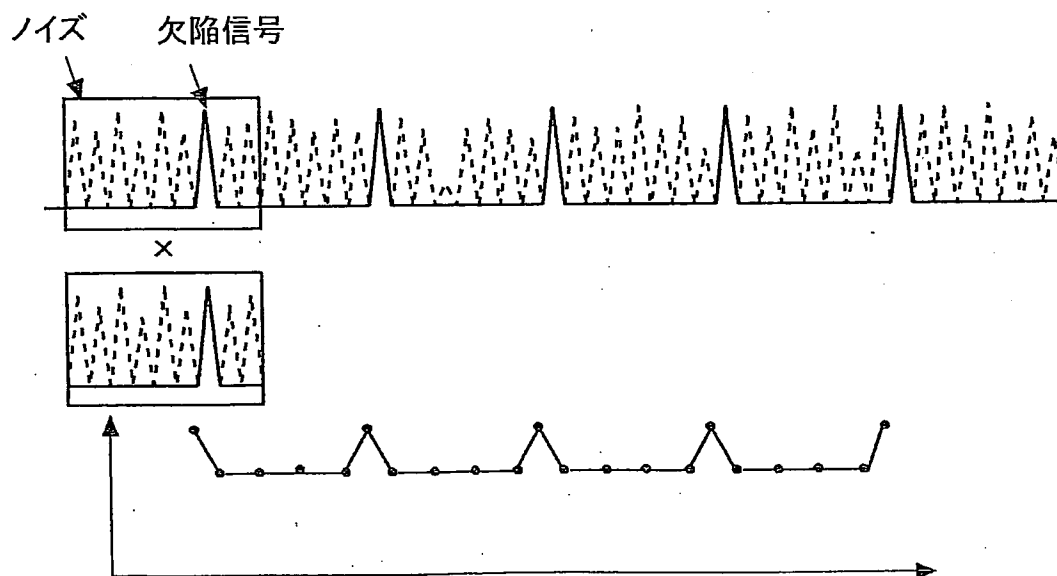


図20A

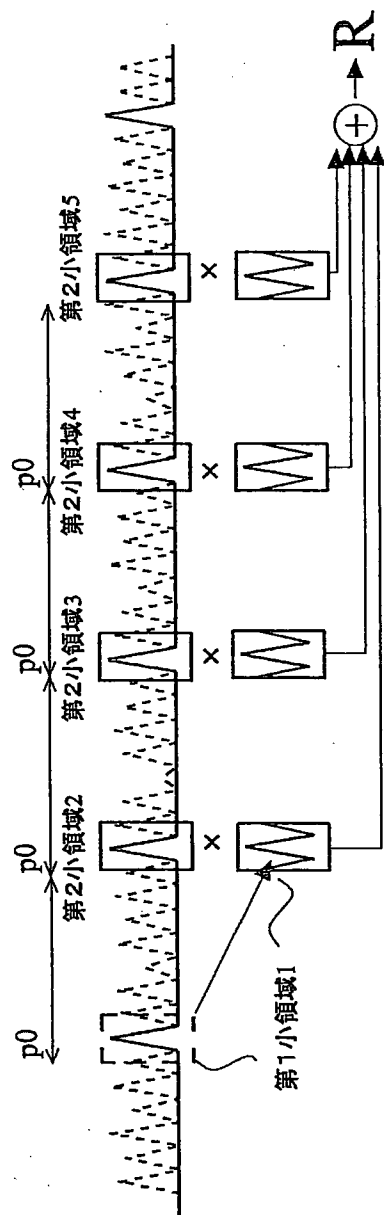


図20B

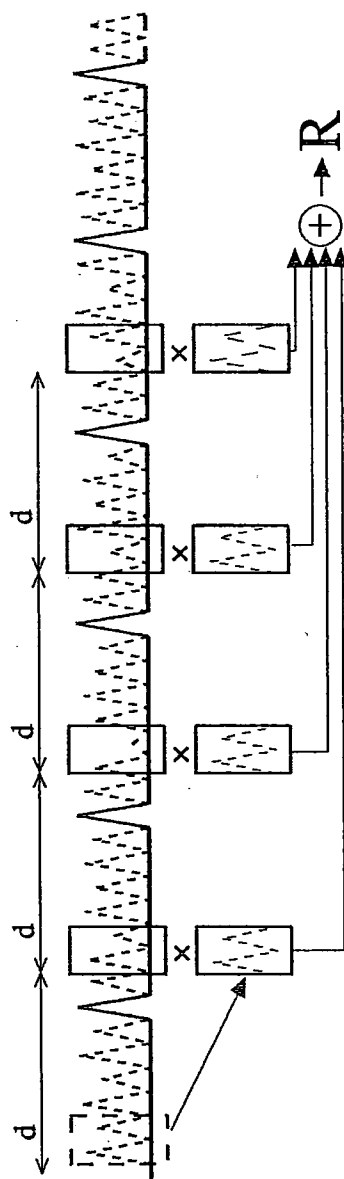
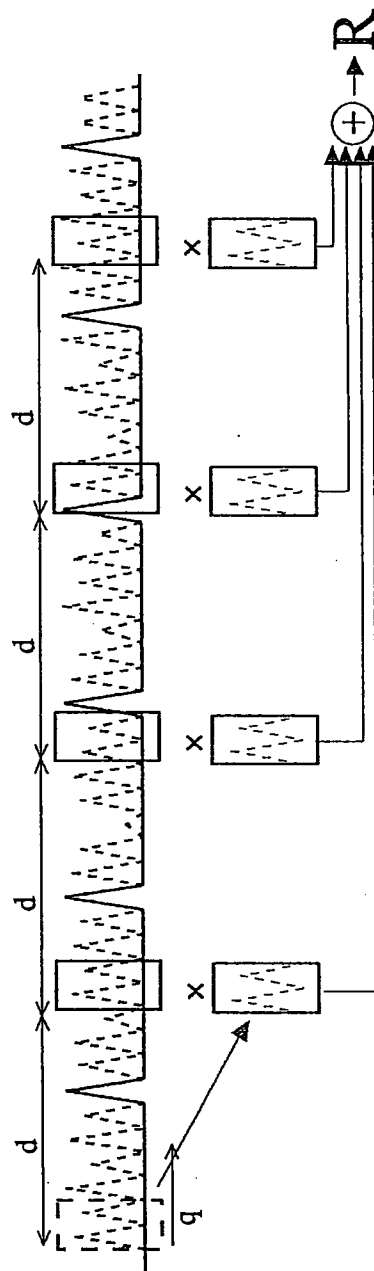


図20C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/056914

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N27/83(2006.01) i, G01N21/892(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N27/72-27/90, G01N21/84-21/958

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-153614 A (Nippon Steel Corp.), 15 June, 2006 (15.06.06), Claim 1 (Family: none)	1-9
Y	JP 7-198627 A (Nippon Steel Corp.), 01 August, 1995 (01.08.95), Claims 2, 3 (Family: none)	1-9
Y	JP 8-160006 A (Kawasaki Steel Corp.), 21 June, 1996 (21.06.96), Claim 1 (Family: none)	3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
22 April, 2009 (22.04.09)

Date of mailing of the international search report
12 May, 2009 (12.05.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01N27/83(2006.01)i, G01N21/892(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N27/72-27/90, G01N21/84-21/958

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-153614 A（新日本製鐵株式会社）2006.06.15, 請求項 1（ファミリーなし）	1 - 9
Y	JP 7-198627 A（新日本製鐵株式会社）1995.08.01, 請求項 2、請求項 3（ファミリーなし）	1 - 9
Y	JP 8-160006 A（川崎製鐵株式会社）1996.06.21, 請求項 1（ファミリーなし）	3

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 2 . 0 4 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 5 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 洋介

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

2 W

4 4 0 5