(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

(43) 国際公開日
2012 年 4 月 19 日(19.04.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/050108 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 11/25 (2006.01) *G06T 3/00* (2006.01)
B23K 31/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/073379

(22) 国際出願日: 2011 年 10 月 12 日(12.10.2011)

(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 2010-231343 2010 年 10 月 14 日(14.10.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友金属工業株式会社 (**Sumitomo Metal Industries, Ltd.**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 穴山 和孝 (**ANAYAMA Kazunori**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 鈴間 俊之 (**SUZUMA Toshiyuki**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 西畑 ひとみ (**NISHIBATA Hitomi**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 富士本 博紀 (**FUJIMOTO Hiroki**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 福井 清之 (**FUKUI Kiyoyuki**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 内原正人 (**UCHIHARA Masato**) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜４丁目５番３３号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 大中 実 (**OHNAKA Minoru**); 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場２丁目３番６号 第一住建長堀橋駅前ビル４階 Osaka (JP).

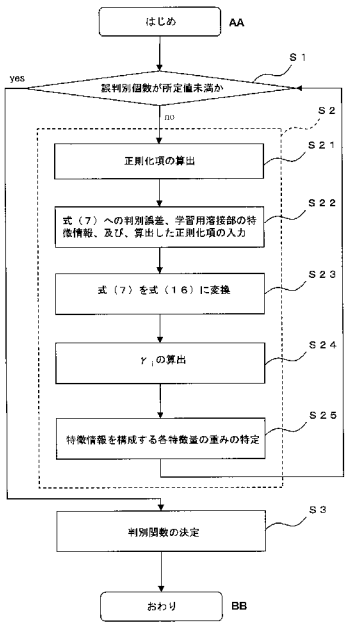
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

[続葉有]

(54) **Title**: WELDING QUALITY DETERMINATION DEVICE

(54) 発明の名称 : 溶接品質判別装置

[図4]



AA Start
S1 Is number of false determinations less than prescribed value?
S21 Calculate regularization term
S22 Input determination error, feature information of learning welds and calculated regularization term into expression (7)
S23 Convert expression (7) to expression (16)
S24 Calculate γ_i
S25 Specify weights of feature quantities making up the feature information
S3 Decide determination function
BB End

(57) **Abstract**: Disclosed is a welding quality determination device capable of determining welding quality accurately and comparatively easily. The disclosed welding quality determination device determines the welding quality of a target weld on the basis of which of two welding quality regions a mapped point is in, wherein said mapped point is a mapping of a data point representing feature information of the target weld of unknown welding quantity onto a mapping space having a higher dimensional number than the number of feature quantities making up the feature information, and said two welding quality regions are formed by bisecting the mapping space by a determination boundary. The aforementioned determination function is selected by adopting weights of the feature quantities, which make up the determination function representing the determination boundary, so as to minimize the sum of the determination error which corresponds to the determination accuracy of the learning welds, and a regularization term which has a positive correlation with the number of dimensions of the identification boundary.

(57) 要約: 本発明に係る溶接品質判別装置は、溶接品質が未知の判別対象溶接部の特徴情報を示すデータ点を、特徴情報を構成する特徴量の数よりも高い次元数の写像空間に写像した写像点が、判別境界により写像空間を二分することによって形成された２つの溶接品質の領域の何れに位置するかに基づいて判別対象溶接部の溶接品質を判別する装置であって、判別境界を示す判別関数を構成する各特徴量の重みとして、学習用溶接部の判別精度に対応する判別誤差と、識別境界の次元数と正の相関を有する正則化項との和が最小となる重みを採用して、前記判別関数を決定する。これにより、比較的簡易に且つ精度良く溶接品質が判別可能となる。

WO 2012/050108 A1

BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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 (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, 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)）

明　細　書

発明の名称 ： 溶接品質判別装置

技術分野

[0001] 本発明は、溶接部の溶接品質を判別する溶接品質判別装置に関する。特に、本発明は、金属材料のスポット溶接において生じる溶接不良の有無などの溶接品質を判別するのに好適に用いられる溶接品質判別装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば、自動車部品の製造ラインでは、該製造ラインに配置されたスポット溶接機の電極間電圧（溶接電圧）や電極間電流（溶接電流）の時系列変化を各種の計測器によって計測可能である。溶接部のナゲット（楕円体状の溶融・凝固した部分）は、電極間の電気抵抗による発熱によって形成されるものであるため、ナゲットの形成不良が発生する際には、上記の溶接電流や溶接電圧に微小な変化が生じる。特に、スポット溶接では、通電初期の初期接触抵抗が生じている状態から、通電後期のナゲット形成・成長過程へと、溶接電流や溶接電圧が独特な遷移現象を示すので、これらの信号を監視することで溶接品質低下につながる変化を読み取れると考えられる。

[0003] 従来、溶接電流や溶接電圧の変化を利用して溶接部の溶接品質を評価する装置としては、例えば、特許文献１～４に記載の装置が提案されている。

[0004] 特許文献１には、通電中の時々刻々変化する溶接電流と電極間電圧とを少なくとも半サイクルごとに検出して、各半サイクルごとの溶接電流の増加過程と減少過程それぞれの所定の同一電流値に対応した電極間電力の減少過程のワークにかかる電力から増加過程のワークにかかる電力を引いた電力差分を時系列的に監視する抵抗スポット溶接品質監視装置が提案されている。そして、特許文献１に記載の装置は、前記電力差分を縦軸に取り、その横軸にサイクル数を取ったサイクル線図上に電力差分の挙動を示す曲線を表し、横軸の任意指定サイクル数の計測基準点での電力差分の変化から溶接ナゲット成長過程中に溶接品質評価を行っている。

[0005] 特許文献１に記載の装置では、計測基準点をどのように決定するかによって評価結果が左右されるものの、この計測基準点の具体的な決定方法について何ら開示されていない。また、特許文献１に記載の装置では、破断試験等によって実際の溶接品質が既知である溶接部のデータを用いた学習（溶接品質を判別するための判別境界の作成）が行われていないため、溶接品質を精度良く評価できない。さらに、特許文献１に記載の装置では、ナゲットの成長が安定した状態であるか否かを判別することが可能であるものの、たとえナゲットが成長過程であっても（ナゲットの成長が安定した状態でなくても）、実際にはナゲット径が既に工業的に必要な大きさを超えている（すなわち、溶接品質が良である）場合がある。特許文献１に記載の装置では、上記のように実際には溶接品質が良であってもナゲットが成長過程である場合には、溶接品質が不良であると判別するおそれがある。

[0006] 特許文献２には、被溶接材の形状と材質を入力する手段と、溶接電流とチップ間電圧を検出する手段と、両検出値から熱伝導モデルに基づいて被溶接材温度を算出すると共に、この算出された温度の分布から推定ナゲット径Ａを推定する手段と、被溶接物の溶接強度確保に必要な基準ナゲット径Ａを入力する手段と、前記推定ナゲット径Ａと前記基準ナゲット径Ａとを比較し、その比較結果を出力する手段とを備えた抵抗溶接の溶接品質監視装置が提案されている。

[0007] 特許文献２に記載の装置では、溶接電流及び溶接電圧（チップ間電圧）から熱伝導モデルに基づいて溶接部の温度を算出し、溶接部のナゲット径を推定するものであるため、溶接品質の評価結果が熱伝導モデルの精度に左右される。また、この熱伝導モデルに基づいて精度の高い計算を行うには、多種多様の被溶接材の高温までの比熱や抵抗など、膨大なデータを取得しておく必要があり手間を要する。また、精度の高い計算を行うほど計算時間が当然に長くなり、オンラインで溶接品質を監視するのには適さない。さらに、特許文献２に記載の装置でも、破断試験等によって実際の溶接品質が既知である溶接部のデータを用いた学習（溶接品質を判別するための判別境界の作成

）が行われていないため、溶接品質を精度良く評価できない。

[0008] 特許文献３には、溶接電流を検出する溶接電流測定手段と、チップ間電圧を検出するチップ間電圧検出手段と、両検出手段の検出値から見かけ上のチップ間動抵抗を算出するチップ間動抵抗算出手段と、溶接中の溶接電流の瞬時値が変化している電流変化期間における前記チップ間動抵抗の動抵抗瞬時値変化率を算出する動抵抗瞬時値変化率算出手段と、チップ間動抵抗及び動抵抗瞬時値変化率を順次記憶する記憶手段と、記憶された動抵抗瞬時値変化率を用いて溶接品質判定のための演算処理を行う演算手段を備えたことを特徴とする抵抗溶接部の品質評価装置が提案されている。

[0009] 特許文献３に記載の装置でも破断試験等によって実際の溶接品質が既知である溶接部のデータを用いた学習（溶接品質を判別するための判別境界の作成）が行われていないため、溶接品質を精度良く評価できない。また、特許文献３に記載の装置では、ナゲット形成時期の判定基準は明確であるものの、工業的には、最終的に得られたナゲット径、或いは、そのナゲット径が必要な大きさを有しているか否かの判定が必要である。特許文献３には、動抵抗瞬時値変化率の絶対値とその経過時間を用いてナゲットの大きさを判別してもよいとの記載がある（特許文献３の第３頁右欄第４３行～第４４行）ものの、その具体的な方法が明示されていない。さらに、溶接中には、温度上昇に伴う被溶接材自体の抵抗の増加と共に、被溶接材同士の接触面積（通電面積）の拡大によるチップ間動抵抗の低下も生じるため、通電後期の溶接品質の評価（動抵抗瞬時値変化率に基づくナゲット径の算出）は難しいと考えられる。

[0010] 特許文献４には、溶接電圧又は溶接電流をサンプリングして第１の信号の値列を供給する第１のサンプリング手段と、溶接電圧又は溶接電流をサンプリングして第２の信号の値列を供給する第２のサンプリング手段と、上記第１の信号及び第２の信号から一般化離散点畳込み演算によって上記第１の信号及び第２の信号の値に依存する１つ以上の人工的な第３の信号の１つ以上の値列を生成する信号生成手段と、上記第１の信号、第２の信号及び第３の

信号の対応する値を三つの組の形で識別する三つ組生成手段と、品質監視に有用な三つの組の値を収集して複数の群又は領域にする収集手段とを備えた稼働時溶接評価装置が提案されている。

具体的には、特許文献４に記載の装置は、良好な溶接品質が得られる際の溶接電流・溶接電圧信号をサンプル信号として記憶する。そして、特許文献４に記載の装置は、その記憶されたサンプル信号に指定の係数を乗じて生成される人工信号を算出する。特許文献４に記載の装置は、その人工信号とサンプル信号とを３次元的にプロットし、そのプロットした領域を小領域に分割し、各小領域に存在するプロット点をカウントする。特許文献４に記載の装置は、そのカウント数に、各小領域毎に設定された重みをかけて、基準信号とする。特許文献４に記載の装置は、基準信号の平均と分散を算出し、これらに基づき、オンライン検査中に入力された溶接電流・溶接電圧信号の確率密度関数を計算し、確率密度が低い（10^{-4}以下）場合に溶接不良が発生していると判定する。

[0011] スポット溶接では、電極の先端は打点数の増加により摩耗する。しかし、一般的なスポット溶接機では、電極が摩耗したとしても、同一の電極を用いて連続数百打点以上に亘って良好なナゲットを形成することが可能である。一方、電極が摩耗していくにつれて、溶接電流・溶接電圧は微妙に変化していく。従って、溶接品質が良好な打点であっても、溶接電流・溶接電圧信号はある程度ばらついている。特許文献４に記載の装置における溶接品質の良否の判定基準は、理想的な溶接条件の下での基準信号に依存しており、上記のように、溶接電流・溶接電圧信号に微小な変化が生じた場合、基準信号の範囲から外れてしまい、溶接品質の判定を誤る可能性が高い。

[0012] また、特許文献４に記載の装置は、理想的な溶接条件の下でのサンプル信号からある特定の係数に従って人工信号を算出する。特定の係数とは、数多くの実験をもとに経験的に設定された値であって、溶接条件毎に係数を設定しなければならず、統計解析の専門家の関与が不可欠である。

[0013] 以上に説明した従来の溶接部の溶接品質評価装置は、全て溶接電流や溶接

電圧の変化を利用するものであるが、これら以外にも、溶接中の電極加圧力の変化や電極変位を利用して溶接品質を評価することが考えられる。以下、具体的に説明する。

[0014] 溶接中に被溶接材の温度が上昇することにより、被溶接材は熱膨張する。このため、被溶接材を挟み込む電極間の距離を一定に保つ条件では、電極加圧力が上昇する。一方、電極加圧力をほぼ一定に保つ条件では、電極間距離が増大する（電極変位が生じる）。このように、溶接中に被溶接材の温度が上昇することにより、電極加圧力の変化又は電極変位が生じることになる。また、チリ（溶融金属の飛散）が発生する場合には、急激な溶接部の膨張や、これに続く溶接部の厚みの減少が生じることで、電極加圧力の急激な変化や、急激な電極変位が生じることもある。このように、溶接中の電極加圧力の変化や電極変位は、被溶接材の熱膨張、すなわち被溶接材の発熱状況の情報を含むため、これらを利用することでも溶接部の溶接品質を評価できると考えられる。

[0015] 従来、電極加圧力の変化や電極変位を利用して溶接部の溶接品質を評価する装置や方法としては、例えば、特許文献５、６に記載の装置や方法が提案されている。

[0016] 特許文献５には、一対の電極間に被溶接部材を挟持し、電極間に通電することにより、溶接を行う抵抗溶接機において、前記電極の一方に設けられ、圧力を検出する圧力センサと、通電時の圧力に相当する設定圧と前記圧力センサの出力の時間変化軌跡との差面積を算出する手段と、算出された差面積に対応するナゲット径を出力表示する手段とを備えたことを特徴とする抵抗溶接機のモニタリング装置が提案されている。

[0017] また、特許文献６には、新規な電極時を基準とした溶接回数をパラメータとし、前記電極の変位量と溶接強度の相関データを取得する溶接品質データ取得工程と、前記相関データの特性の変化と前記溶接回数の関係を解析する相関データ変化解析工程と、該相関データ変化解析工程により得られた前記電極の変位量と前記溶接回数とに基づいて溶接強度を推定し溶接を実行する

溶接工程とを具備し、該溶接工程により得られる溶接強度を管理することを特徴とする抵抗溶接における溶接品質推定方法が提案されている。

[0018] しかしながら、特許文献５に記載の装置や特許文献６に記載の方法では、破断試験等によって実際の溶接品質が既知である溶接部のデータを用いた学習（溶接品質を判別するための判別境界の作成）が行われていないため、溶接品質を精度良く評価できない。

先行技術文献

特許文献

[0019] 特許文献1：日本国特開２００６－１１０５５４号公報

特許文献2：日本国特開平６－１７０５５２号公報

特許文献3：日本国特開平１０－３１４９５６号公報

特許文献4：日本国特表２００３－５１６８６３号公報

特許文献5：日本国特開平１－２７１０７８号公報

特許文献6：日本国特開平７－２９０２５４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0020] そこで、本発明は、比較的簡易に且つ精度良く溶接品質を判別可能な溶接品質判別装置を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0021] 前記課題を解決するため、本発明は、溶接品質が未知の判別対象溶接部を溶接した際の、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量に基づいて得られた複数の特徴量を成分とする特徴情報を示すデータ点を、前記特徴情報を構成する特徴量の数よりも高い次元数の写像空間に写像した写像点が、前記写像空間を二分することによって形成された２つの溶接品質の領域の何れに位置するかを判別し、前記判別対象溶接部の溶接品質を前記写像点が位置すると判別した領域に対応する溶接品質であると判別する溶接品質判別装置において、前記特徴量を

取得するための取得部と、前記写像空間を二分する判別境界を示す判別関数を決定する決定部と、該決定部によって決定された判別関数に前記判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの該判別関数の出力値に基づいて、前記判別対象溶接部の溶接品質を判別する判別部とを備え、前記取得部は、前記判別対象溶接部を溶接する際の、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量を検出する検出手段と、該検出手段によって検出した前記物理量に基づき前記特徴量を抽出する特徴量抽出手段とを具備し、前記２つの溶接品質のそれぞれは、予め設定された互いに異なる溶接品質であり、前記決定部は、前記２つの溶接品質の何れかを有することが既知である学習用溶接部の前記特徴情報を用いて前記判別関数を決定し、前記判別関数は、前記２つの溶接品質のうち一方又は他方の溶接品質を有する前記学習用溶接部の特徴情報が入力されると、前記特徴情報が入力された学習用溶接部の写像点を出力するカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）と、前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に付され、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みとから構成された関数であり、前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）は、要素がｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋが半正定値であるカーネル関数であり、ｘは、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報であり、ｘ’は、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報であり、前記決定部は、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差、及び、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差で規定され、前記２つの差の何れかの絶対値が小さくなれば小さくなり、大きくなれば大きくなる判別誤差と、前記判別関数の次元数に対し正の相関を有し、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みに応じて変動すると共に、正則化パラメータが乗じられた正則化項との和からなる誤差関数の値を最小にするように、所定の正則化パラメータについて、前記特徴情報を構成する各特徴量

の重みを特定し、前記誤差関数の値を最小にするように特定した前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを、前記判別関数を構成する各特徴量の重みとして仮に採用したときにおいて、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値よりも、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値の方が小さくなる前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の数と、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値よりも、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値の方が小さくなる前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の数とを加算した誤判別個数が、所定値以上の場合は、前記正則化パラメータを調整して、再度、前記誤差関数の値を最小にするように、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを特定し、前記誤判別個数が所定値未満の場合は、前記誤差関数の値を最小にするように特定した前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを、前記判別関数を構成する各特徴量の重みとして採用することを確定して、前記判別関数を決定することを特徴とする溶接品質判別装置を提供する。

[0022] 本発明に係る溶接品質判別装置は、溶接品質が未知の判別対象溶接部の高次元数の写像空間への写像点が、写像空間を二分することによって形成された２つの溶接品質の領域の何れに位置するかを判別する。そして、本発明に係る溶接品質判別装置は、判別対象溶接部の溶接品質を、前記２つの溶接品質の領域のうち、判別対象溶接部の写像点が位置すると判別した領域に対応する溶接品質であると判別する。本発明に係る溶接品質判別装置は、写像空間を二分する判別境界を示す判別関数を以下のように決定する。

[0023] 本発明に係る溶接品質判別装置は、まず、判別誤差と正則化パラメータが乗じられた正則化項との和からなる誤差関数の値を最小にするように、所定の正則化パラメータについて、特徴情報を構成する各特徴量の重みを特定する。そして、本発明に係る溶接品質判別装置は、誤差関数の値を最小にするように特定した特徴情報を構成する各特徴量の重みを、判別関数を構成する各特徴量の重みに仮に採用したときの誤判別個数が所定値未満の場合には、該特定した重みを、判別関数を構成する各特徴量の重みに採用することを確定して、判別関数を決定する。

[0024] 判別誤差と正則化パラメータが乗じられた正則化項との和からなる誤差関数の値を小さくするには、少なくとも判別誤差と正則化項との何れかを小さくする必要がある。例えば、正則化パラメータが大きい場合、正則化項が誤差関数の値に与える影響が大きい。正則化項は特徴情報を構成する各特徴量の重みに応じて変動する。このため、正則化パラメータが大きい場合は、正則化項を十分に小さくする重みが誤差関数の値を最小にする重みとして特定される。判別関数の次元数と正則化項とは正の相関を有する。このため、正則化項を十分に小さくする重みが誤差関数の値を最小にする重みとして特定され、且つ、該重みが判別関数を構成する各特徴量の重みに採用されることが確定されて、判別関数が決定されることにより、判別関数の過度の高次元化が抑制されて、過学習（判別境界（判別関数）の作成に用いる学習用溶接部の中に特徴量が特異な値である学習用溶接部が存在すると、特徴量が特異な値である学習用溶接部についても正確に溶接品質を判別できるように、過度に高次元化した判別境界（判別関数）が作成される現象）が抑制される。よって、本発明に係る溶接品質判別装置では、過学習を抑制できる。

[0025] また、誤差関数の値を最小にするように特定した重みを、判別関数を構成する各特徴量の重みに仮に採用したときの誤判別個数が所定値以上の場合には、本発明に係る溶接品質判別装置は、正則化パラメータを調整して、再度、誤差関数の値を最小にする重みを特定する。上述の正則化パラメータの調整により、正則化パラメータを小さくすると、正則化項が誤差関数の値に与

える影響が小さくなる一方で、判別誤差が誤差関数の値に与える影響が大きくなる。このため、正則化パラメータが小さくなるように調整すると、調整前よりも、判別誤差を小さくする重みが誤差関数の値を最小にする重みとして特定されることが可能となる。判別誤差は、一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの判別関数の出力値（以下、「一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値」という。）と一方の溶接品質に対応する値との差、及び、他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの判別関数の出力値（以下、「他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値」という。）と他方の溶接品質に対応する値との差で規定されるものである。さらに、該判別誤差は、一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と一方の溶接品質に対応する値との差、及び、他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と他方の溶接品質に対応する値との差の何れかの絶対値が小さくなると、小さくなり、大きくなると、大きくなる。つまり、判別誤差が小さくなると、一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値、又は、他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値が小さくなる。一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値が小さくなると、該絶対値よりも、一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値が大きくなる一方の溶接品質を有する学習用溶接部の数が減少する。同様に、他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値が他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値が小さくなると、該絶対値よりも、他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値が大きくなる他方の溶接品質を有する学習用溶接部の数が減少する。従って、判別誤差が小さくなると、誤判別個数が小さくなる。従って、正則化パラメータを調整する前において特定した重みを、判別関数を構成する各特徴量の重みに仮に採用したときの誤判別個数が所定値以上の場合であっても、正則化パラメータが小さくなる

ように調整することで、誤判別個数が所定値未満となる重みを特定でき、特定した重みを、判別関数を構成する各特徴量の重みに採用することを確定して、判別関数を決定できる。

[0026] 以上のように、誤差関数の値を最小にするように特定した重みのうち、判別関数を構成する各特徴量の重みに仮に採用したときの誤判別個数が所定値未満となる重みを特定した場合にのみ、本発明に係る溶接品質判別装置は、特定した重みを判別関数を構成する各特徴量の重みに採用することを確定して、判別関数を決定する。このため、本発明に係る溶接品質判別装置は、溶接品質を精度良く判別できる。ただし、正則化項が増加するにつれて過学習が発生する可能性が高まる。このため、例えば、正則化パラメータは初期段階で大きくし、誤判別個数が所定値未満となる重みが特定できない場合に、正則化パラメータを少しずつ小さくなるように調整することで、誤判別個数が所定値未満となる重みを特定することが好ましい。尚、上述の判別誤差は、例えば、一方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と一方の溶接品質に対応する値との差、及び、他方の溶接品質に対応する判別関数の出力値と他方の溶接品質に対応する値との差の２乗和と正の相関を有する値とされる。前記の２乗和と正の相関を有する値は、例えば、前記の２乗和の平方根とされる。

[0027] また、判別関数は、カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）と各特徴量の重みとから構成され、写像関数を有していない。このため、判別関数の決定のために、写像関数を計算する必要がない。写像関数の計算量は膨大である。このため、判別関数の決定のために、写像関数を計算する必要がない本発明に係る溶接品質判別装置は、判別関数を少ない計算量で決定できる。

[0028] さらに、本発明に係る溶接品質判別装置は、２つの溶接品質の何れかを有することが既知である学習用溶接部の特徴情報を用いて判別関数を自動的に決定するため、特許文献４に記載の装置のように統計解析の専門家の関与が不要で、比較的簡易に溶接品質を判別可能である。

[0029] なお、本発明における「２つの溶接品質」の概念には、例えば、溶接が良

好な状態と溶接不良の状態（例えば、溶接部のナゲット径が予め定めた基準値と比較して大きい場合には溶接が良好な状態とされ、基準値以下の場合には溶接不良の状態とされる）の他、電極の交換が必要な状態と電極の交換が不要な状態も含まれる。また、「２つの溶接品質」の概念には、溶接不良という点では同じ状態であるが、溶接不良の要因が互いに異なるものも含まれる。

また、本発明における「溶接品質に対応する値」とは、一方の溶接品質と他方の溶接品質とを判別し得るように予め決定された値であって、一方の溶接品質と他方の溶接品質とで異なる値とされている。

また、本発明における「学習用溶接部の前記特徴情報」とは、学習用溶接部を溶接した際の、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量に基づいて得られた複数の特徴量を成分とする特徴情報を意味する。

さらに、本発明における「物理量に基づいて得られた複数の特徴量」には、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量そのものから得られた特徴量に限られず、上記の複数の物理量を用いた演算結果から得られた特徴量も含まれる。例えば、本発明における「物理量に基づいて得られた複数の特徴量」には、溶接電圧を溶接電流で除算した結果である通電抵抗から得られた特徴量も含まれる。

[0030] 好ましくは、前記判別部は、判別した前記判別対象溶接部の溶接品質と共に、当該判別対象溶接部の特徴情報を示すデータ点を前記写像空間に写像した写像点と、前記写像空間を二分する前記判別境界との直線距離で表される当該判別対象溶接部の判別結果の確信度を算出する。

[0031] 斯かる好ましい構成によれば、判別した判別対象溶接部の溶接品質と共に、当該判別対象溶接部の判別結果の確信度が算出される。このため、例えば、溶接が良好な状態であると判別されたがその確信度が低い場合には、他の装置による溶接品質の再検査を実施したり、或いは、一律に溶接不良の状態であると取り扱って、溶接不良品が流出するおそれを未然に防ぐことが可能

である。

発明の効果

[0032] 本発明に係る溶接品質判定装置によれば、比較的簡易に且つ精度良く溶接品質を判別可能である。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]本発明の一実施形態に係る溶接品質判別装置の概略構成図である。

[図2]フラクタル次元の算出手順を示す説明図である。

[図3]学習用溶接部に関する情報を示す模式図である。

[図4]判別関数を決定する手順を示すフロー図である。

[図5]本発明の溶接品質判別装置を用いた判別試験１における溶接部の形態を示す断面図である。

[図6]判別試験１における実際の溶接品質を判定する方法を説明する説明図である。

[図7]判別試験１において、スポット溶接における電極の摩耗と溶接部のナゲット径の変化の一例を示す図である。

[図8]判別試験１の評価結果の一例を示す図である。

[図9]溶接品質が溶接良好であるものを更に複数の溶接品質に区分した例を示す図である。

[図10]溶接品質が溶接不良であるものを更に複数の溶接品質に区分した例を示す。

[図11]本発明に係る溶接品質判別装置の変形例を示す概略構成図である。

[図12]フラクタル次元以外の特徴量の算出手順を示す説明図である。

[図13]本発明の溶接品質判別装置を用いた判別試験２の概要を示す図である。

[図14]判別試験２における溶接部の形態を示す断面図である。

[図15]判別試験２における実際の溶接品質を判定する方法を説明する説明図である。

[図16]判別試験２において、スポット溶接における電極の摩耗と溶接部のナ

ゲット形成状態の変化の一例を示す図である。

[図17]判別試験２の評価結果の一例を示す図である。

[図18]判別試験２の評価結果の他の例を示す図である。

[図19]判別試験３における溶接部の形態を示す断面図である。

[図20]判別試験２において、スポット溶接における溶接部のナゲット径の変化の一例を示す図である。

[図21]判別試験３の評価結果の一例を示す図である。

[図22]判別試験３の評価結果の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、添付図面を参照しつつ、本発明の一実施形態について、金属材料のスポット溶接における溶接品質を溶接電流及び溶接電圧を用いて判別する場合を例に挙げて説明する。尚、本明細書中に記載の各式において、太字斜体で示すパラメータはベクトルを意味する。

[0035] 図１は、本実施形態に係る溶接品質判別装置１００の概略構成図である。図１に示すように、溶接品質判別装置１００は、特徴量を取得するための取得部１と、判別関数を決定する決定部２と、溶接品質を判別する判別部３とを備える。

[0036] 取得部１は、金属材料からなる被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部Ｗをスポット溶接する際の溶接電流及び溶接電圧を検出する検出手段として、電流・電圧測定器１１と、コイル（トロイダルコイル）１２とを具備する。電流・電圧測定器１１は、スポット溶接機を構成する溶接用電極Ｅ１、溶接用電極Ｅ２にそれぞれ電気的に接続され、これにより溶接電圧の経時変化が計測される。また、電流・電圧測定器１１は、一方の電極Ｅ２に接続されたシャンクＳ２を囲繞するように配置されたコイル１２に接続され、これにより溶接電流の経時変化が計測される。また、取得部１は、検出手段（電流・電圧測定器１１及びコイル１２）によって検出した溶接電流及び／又は溶接電圧に基づき特徴量を抽出する特徴量抽出手段１３を具備する。本実施形態の特徴量抽出手段１３は、溶接電流及び溶接電圧の双方に基づき特徴量を抽出する。

[0037] 特徴量抽出手段１３によって抽出される特徴量としては、検出手段によって検出した溶接電流及び溶接電圧の溶接品質に対応する時系列変化の特徴を表現するために、例えば、フラクタル次元解析や、フーリエ解析、ウェーブレット解析などの信号処理を溶接電流及び溶接電圧の信号波形に適用した結果を用いることができる。特徴情報を構成する特徴量の数は、複数であれば限定されるものでない。

[0038] 本実施形態の特徴量抽出手段１３は、溶接電流及び溶接電圧の信号波形に対してフラクタル次元解析を適用し、特徴量を抽出している。

フラクタル次元とは、時系列信号波形を幾何構造とみなした場合に、その幾何構造の形状的な複雑さの程度を示す。フラクタル次元が大きいほど、時系列信号波形が複雑であることを意味する。溶接電流及び溶接電圧の信号波形に対してフラクタル次元解析を適用する際には、１回の溶接打点に対応する信号波形全てを１つの連続図形とみなして適用しても良いし、ある特定の時間間隔に信号波形を分割して適用しても良い。信号波形を分割してフラクタル次元解析を適用する場合には、分割数に応じた個数のフラクタル次元が得られる。

[0039] ある時系列信号波形のフラクタル次元ｄは、以下の式（Ａ）で与えられる。

[数1]

$$d=\lim_{\delta\to 0}\frac{\ln c-\ln N_\delta(S)}{\ln\delta}=-\lim_{\delta\to 0}\frac{\ln N_\delta(S)}{\ln\delta}\cdots(A)$$

ただし、$c=\lim\frac{N_\delta(S)}{1/\delta^d}$

上記式（Ａ）において、Ｓは信号波形のデータ列を、δはボックスサイズを、N_δ（Ｓ）は信号波形を被覆するために必要なボックス個数を意味する。

[0040] 以下、図２を適宜参照しつつ、フラクタル次元ｄの具体的な算出手順を説明する。

フラクタル次元ｄを算出する際には、以下の第１ステップ～第５ステップ

を実行する。

（１）第１ステップ：０より大きい適当なボックスサイズδを設定する。

（２）第２ステップ：図２（ａ）に示すように、信号波形Ｓを被覆するために必要なボックス個数N_δ（Ｓ）をカウントする（図２（ａ）では、ボックスサイズδ_4で信号波形を被覆した例を示している）。

（３）第３ステップ：図２（ａ）に示すように、ボックスサイズδを変更（図２（ａ）に示す例では、δ_1、δ_2、δ_3、δ_4と段階的に変更）して、第１ステップ及び第２ステップを繰り返すことにより、各ボックスサイズδに対応するボックス個数N_δ（Ｓ）を算出する。

（４）第４ステップ：図２（ｂ）に示すように、横軸にｌｎδ、縦軸にｌｎN_δ（Ｓ）をプロットしたグラフを描く。

（５）第５ステップ：図２（ｂ）に示すように、第４ステップで描いたグラフに最小自乗法等により近似直線Ｌを当てはめ、その傾きをフラクタル次元ｄとして算出する。

[0041] また、特徴量抽出手段１３によって抽出される特徴量としては、検出手段によって検出した溶接電流及び溶接電圧の溶接品質に対応する時系列変化の特徴をより一層十分に表現するために、以下に述べるような特徴量を採用することも可能である。

[0042] スポット溶接では、溶接電流及び溶接電圧の信号波形は、巨視的に見れば通電初期の初期接触抵抗が生じている状態から、通電後期のナゲット形成・成長過程へと、図１２（ａ）に示すように独特な遷移現象を示す。ナゲットの形成不良が発生する際には、必ずしも溶接電流及び溶接電圧の信号波形に巨視的に大きな変化が見られるとは限らず、巨視的には大きな変化が見られない場合には微小な変化が生じていると考えられる。

そこで、信号波形の変化のうち、巨視的な（基本的な）変化を近似曲線（高次曲線やスプライン曲線等）の当てはめによって表現し、微小な変化を信号波形に対する上記近似曲線の誤差によって表現すること、すなわち、信号波形の変化を２つの要素に分解して捉えることで、信号波形の情報をより詳

細に表現できると考えられる。

[0043] 具体的には、以下のようにして特徴量を抽出する。

（１）図１２（ａ）に示すように、信号波形（図１２（ａ）に示す例では溶接電圧）の実データに近似曲線を当てはめる。図１２（ａ）に示す例では、７次曲線を当てはめている。

（２）図１２（ｂ）に示すように、信号波形（信号波形の実データ）に対する近似曲線の誤差を母集団とし、この母集団の累積密度分布に、以下の式（Ｂ）で表される自由度νのスチューデントのｔ分布を当てはめる。この当てはめの際、以下の式（Ｃ）で表される密度関数（尤度関数）に最尤推定法を適用して、未知のパラメータである自由度νを決定する。式（Ｃ）で表される尤度関数は、自由度νにある値を指定したときに、式（Ｂ）で表されるスチューデントのｔ分布が実データの母集団の累積密度分布にどれだけ当てはまりが良いかを測るための関数である。具体的には、上記の最尤推定法では、式（Ｃ）で表される尤度関数の対数をとった対数尤度関数を最大化するように自由度νを決定する。このようにして決定された自由度νは、式（Ｂ）で表されるスチューデントのｔ分布が実データの母集団の累積密度分布に最も当てはまりの良い自由度νの推定値となっていると考えられる。

[数2]

$$f(z\mid\nu)=\frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}\cdot\frac{1}{\sqrt{\nu\pi}}\cdot\left(1+\frac{z^2}{\nu}\right)^{\frac{-(\nu+1)}{2}}\quad\cdots(B)$$

$$f(z\mid\mu,\ \sigma,\ \nu)=\frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sigma\sqrt{\nu\pi}\cdot\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}\cdot\left[\frac{\nu+\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2}{\nu}\right]^{\frac{-(\nu+1)}{2}}\quad\cdots(C)$$

ここで、上記式（Ｂ）、（Ｃ）において、ｚは特徴情報（溶接電流や溶接電圧）の実データを、Γ（・）はガンマ分布を意味する。また、上記式（Ｃ）において、μは位置パラメータを、σはスケールパラメータ（σ＞０）を意味する。これらのパラメータμ、σは、母集団の累積密度分布から推定可

能な値である。

（３）上記（１）で得られた近似曲線の係数パラメータ（例えば、ｎ次の近似曲線$P_0 t + P_1 t^2 + \cdots P_{n-1} t^n$の各係数$P_0 \sim P_{n-1}$　ここで、ｔは時間を表す。図１２（ａ）に示す例では、ｎ＝７）と、上記（２）で得られたパラメータμ、σ、νとを特徴量とする。

[0044] 決定部２は、溶接品質が未知の判別対象溶接部の溶接品質を判別するための判別境界を示す判別関数を決定する。この判別境界は、判別対象溶接部を溶接した際の溶接電流及び／又は溶接電圧（本実施形態では、溶接電流及び溶接電圧の双方）に基づいて得られた複数の特徴量を成分とする特徴情報（ベクトル）を構成する特徴量の数よりも高い次元数の写像空間を、２つの溶接品質（以下、２つの溶接品質の一方を「溶接品質Ａ」と、他方の溶接品質を「溶接品質Ｂ」という）の領域に二分するものである。溶接品質Ａと溶接品質Ｂとは、溶接品質判別装置１００のユーザ等により予め設定された互いに異なる溶接品質である。溶接品質Ａと溶接品質Ｂとは、例えば、溶接が良好な状態と溶接不良の状態とにすることができる。

[0045] 決定部２は、溶接品質Ａと溶接品質Ｂの何れかを有することが既知である学習用溶接部の特徴情報を用いて、判別関数を決定する。決定部２に入力される学習用溶接部の特徴情報は、例えば、前述した取得部１の特徴量抽出手段１３によって抽出された特徴量を用いることによって得られる。溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報、及び、前述の判別対象溶接部の特徴情報は、同一種の特徴量から構成されている。学習用溶接部が溶接品質Ａ及び溶接品質Ｂの何れを有するかは、例えば、学習用溶接部について特徴量を抽出した後、当該学習用溶接部を破断してナゲット径を評価することにより知ることができる。図３に示すように、溶接品質Ａを有する各学習用溶接部の特徴情報を構成する各特徴量と、溶接品質Ｂを有する各学習用溶接部の特徴情報を構成する各特徴量とは、学習用溶接部の識別子と、学習用溶接部の溶接品質とに紐付けられて決定部２に記憶されている。尚、図３に示すように、各学習用溶接部の特徴情報

を構成する各特徴量の値は、０～１の範囲内の値に収まるように正規化されている。

[0046] 決定部２が決定する判別関数ｆ（ｘ）は、下記式（１）で表現される。

[数3]

$$f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{w}^{T}\phi(\boldsymbol{x}) \cdots (1)$$

ｗは、特徴情報を構成する各特徴量の重みを成分とする重み情報（ベクトル）を示す。式（１）に記載のｘは、溶接品質Ａ又は溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報（ベクトル）を示す。φ（・）は、前記の写像空間に特徴情報を示すデータ点（ベクトルの先端の点）を写像する写像関数であって、正定値性を有するものを示す。正定値性のある写像関数としては、ガウス分布の関数などがある。

[0047] 写像関数φ（・）の計算量は膨大である。少ない計算量で判別関数ｆ（ｘ）を決定できるように、本実施形態では、判別関数として、下記式（２）で表現された判別関数ｆ（ｘ）を用いる。以下の記載において、判別関数ｆ（ｘ）とは、下記式（２）で表現された判別関数ｆ（ｘ）を意味する。

[数4]

$$f(\boldsymbol{x}) = \Sigma\,\alpha\,k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') \cdots (2)$$

αは、特徴情報を構成する各特徴量の重みを示す。ｋ（ｘ，ｘ’）は、要素がｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋが半正定値であるカーネル関数を示す。式（２）以降に記載のｘは、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報（ベクトル）を示す。ｘ’は、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報（ベクトル）を示す。要素がｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋとは、カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報ｘを入力したときに得られるカーネル関数の出力値、及び、カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報ｘ’を入力したときに得られるカーネル関数の出力値を要素とする行列である。

[0048] 要素がカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋが半正定値である

カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）の例として、下記の５つのカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）がある。

[数5]

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = f(\boldsymbol{x})\, k_1(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}')\, f(\boldsymbol{x}')$$

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = q(k_1(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}'))$$

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \exp(k_1(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}'))$$

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \boldsymbol{x}^{T} \boldsymbol{K} \boldsymbol{x}'$$

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = k_a(\boldsymbol{x}_a + \boldsymbol{x}_a') + k_a(\boldsymbol{x}_b + \boldsymbol{x}_b')$$

また、要素がカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋが半正定値であるカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）の他の例として、下記式のシグモイド関数とガウス関数とがある。

[数6]

$$\text{シグモイド関数：} k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \frac{1}{1 + \exp(-\beta \boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{x}')}$$

$$\text{ガウス関数：} k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \exp\left(\frac{-||\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}'||^2}{2\sigma^2}\right)$$

尚、上記に例示した７つのカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）において、ｆ（・）は任意の関数を示し、ｑ（・）は非負係数の多項式を示し、k_1（・，・）、k_a（・，・）及びk_b（・，・）は任意のカーネル関数を示し、下付き文字ａ及びｂは、学習用溶接部の識別子を示し、βはシグモイド関数のゲインを示し、σは分散を示す。

[0049] 上記式（２）は、以下のように導出される。

[数7]

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \phi(\boldsymbol{x})^{T} \phi(\boldsymbol{x}') = \sum_{m=1}^{d} \phi_m(\boldsymbol{x})\, \phi_m(\boldsymbol{x}') \cdots (3)$$

と定義すれば、下記式（４）が導出される。

[数8]

$$k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}') = \sum_{m=1}^{d} \boldsymbol{x}^m (\boldsymbol{x}')^m \cdots (4)$$

ｄは、特徴情報を構成する特徴量の数を示す。特徴情報を構成する特徴量の数を十分に多くすれば、上記式（１）から下記式（５）が導出される。

[数9]

$$f(\boldsymbol{x}) = \Sigma \alpha k(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}')$$

$$= \Sigma \alpha \phi(\boldsymbol{x})^T \phi(\boldsymbol{x}') \cdots (5)$$

ここで、重み情報ｗは、下記式（６）で表現される。

[数10]

$$\boldsymbol{w} = \Sigma \alpha \phi(\boldsymbol{x}) \cdots (6)$$

カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）の定義（上記式（３））によれば、上記式（６）を用いて、上記式（１）から上記式（２）が導出される。上記式（２）の判別関数ｆ（ｘ）は、学習用溶接部の特徴情報を構成する特徴量の数に、その次元数が影響される関数となっている。

[0050] 以下、判別関数ｆ（ｘ）の決定の手順について、適宜図４を参照しつつ説明する。決定部２は、まず、誤判別個数が所定値未満か否かを判別する（図４のステップＳ１）。誤判別個数とは、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報ｘを判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの該判別関数ｆ（ｘ）の出力値（以下、「溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値」という。）と溶接品質Ａに対応する値との差の絶対値よりも、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値の方が小さくなる溶接品質Ａを有する学習用欠陥の数と、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報ｘ’を判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの該判別関数ｆ（ｘ）の出力値（以下、「溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値」という。）と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値よりも、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差の絶対値の方が小さくなる溶接品質Ｂを有する学習用溶

接部の数とを加算した数である。尚、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報ｘ、又は、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報ｘ’を判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力するときは、判別関数ｆ（ｘ）の特徴情報を構成する各特徴量の重みαを任意の値（例えば１）とする。また、本実施形態では、溶接品質Ａに対応する値は１とされ、溶接品質Ｂに対応する値はー１とされている。溶接品質Ａに対応する値と溶接品質Ｂに対応する値とは、溶接品質判別装置１００のユーザ等により予め決定され、溶接品質Ａと溶接品質Ｂとを判別し得るように、互いに異なる値とされる。

[0051] 決定部２は、誤判別個数が所定値以上であると判別した場合は、判別誤差と、正則化パラメータλが乗じられた正則化項$\alpha^{T}K\alpha$との和からなる誤差関数の値を最小にする特徴情報を構成する各特徴量の重みαを特定する（図４のステップＳ２）。誤差関数の最小値は、下記式（７）で表現される。

[数11]

$$\min_{\alpha}\sum_{i=1}^{n}\gamma_{cost}(y^{(i)}f(x^{(i)}))+\lambda\alpha^{T}K\alpha\cdots(7)$$

上付き文字の（ｉ）は、学習用溶接部の識別子を示す。尚、正則化パラメータλは０～１の範囲の値を採る。判別誤差は、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの判別関数ｆ（ｘ）の出力値と、溶接品質Ａに対応する値との差、及び、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの判別関数ｆ（ｘ）の出力値と、溶接品質Ｂに対応する値との差で規定され、前記２つの差の何れかの絶対値が小さくなれば小さくなり、大きくなれば大きくなるものである。

[0052] 式（７）のγ_{cost}は、下記式（８）で表現される。

[数12]

$$\gamma_{cost}=\max\{0,\ 1-yf(x)\}\cdots(8)$$

上記式（８）は下記式（９）を近似した凸関数である。

[数13]

$$\gamma\ (f\ (\boldsymbol{x}),\ \boldsymbol{y}) = \frac{1}{2}(\boldsymbol{y} - sgn[f\ (\boldsymbol{x})])^2$$
$$= 1 - \boldsymbol{y}\, sgn[f\ (\boldsymbol{x})] = 1 - sgn\ [\boldsymbol{y} f\ (\boldsymbol{x})] \cdots (9)$$

上記式（９）のｙは、各特徴量の重みを成分とするベクトルを示す。判別誤差を求めるために、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力する場合は、ベクトルｙの各成分を１とし、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報をカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力する場合は、ベクトルｙの各成分を－１とする。上記式（９）のｓｇｎ［ｆ（ｘ）］は、下記式（１０）で表現される。

[数14]

$$sgn[f\ (\boldsymbol{x})] = \begin{cases} 1\ (f\ (\boldsymbol{x}) \geqq 0) \\ \\ -1\ (f\ (\boldsymbol{x}) < 0) \end{cases} \cdots (10)$$

[0053] 正則化項$\alpha^{T}K\alpha$は、下記式（１１）で表現される。

[数15]

$$||\boldsymbol{w}||^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \alpha_i \alpha_j \phi\ (\boldsymbol{x}^{(i)})^{T} \phi\ (\boldsymbol{x}^{(j)})$$
$$= \boldsymbol{\alpha}^{T} \boldsymbol{K} \boldsymbol{\alpha} \cdots (11)$$

下付き文字のｉは、溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報を構成する特徴量の種類を表わす識別子を示す。下付き文字のｊは、溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報を構成する特徴量の種類を表わす識別子を示す。

[0054] 上記式（１１）より、正則化項$\alpha^{T}K\alpha$は、各特徴量の重みαと正の相関を有することが分かる。正則化項$\alpha^{T}K\alpha$は、以下のように導出される。溶接品質Ａを有する学習用溶接部の各特徴量の線形和w_0は、下記式（１２）で表現される。

[数16]

$$\boldsymbol{w}_0 = \sum_i \alpha_i \phi(\boldsymbol{x}^{(i)}) \cdots (12)$$

また、重み情報ｗは、線形和ｗ$_0$に、学習用溶接部の特徴情報を示すデータ点を写像した写像点φ（ｘ$^{(i)}$）に直交するξ成分を加えたものであるので、下記式（１３）で表現される。

[数17]

$$\boldsymbol{w} = \boldsymbol{w}_0 + \boldsymbol{\xi} \cdots (13)$$

ここで、重み情報ｗと写像点φ（ｘ$^{(j)}$）との内積φ（ｘ$^{(j)}$）^{T}・ξは０であるという条件から、前述した式（５）のｆ（ｘ）は、下記式（１４）で表現される。

[数18]

$$f(\boldsymbol{x}^{(j)}) = \boldsymbol{w}^T \phi(\boldsymbol{x}^{(j)}) = \boldsymbol{w}_0{}^T \phi(\boldsymbol{x}^{(j)}) \cdots (14)$$

即ち、式（８）の左辺のγ$_{cost}$は、ξ成分の値に依存しないことが分かる。また、線形和ｗ$_0$とξ成分との直交性から、下記式（１５）を導出できる。

[数19]

$$\lambda ||\boldsymbol{w}||^2 = \lambda (||\boldsymbol{w}_0||^2 + ||\boldsymbol{\xi}||^2) \cdots (15)$$

式（１５）から、λ||ｗ||^{2}はξ＝０のときに最小値になることは明らかである。ゆえに、誤差関数が最小となるのは、ｗ＝ｗ$_0$のときである。ここで、上記式（１２）を利用すると、式（１５）から式（１１）を導出できる。

[0055] 上記式（１１）と上記式（２）とにより、正則化項α^{T}Ｋαは、上記式（２）の判別関数ｆ（ｘ）の次元数と正の相関を有することが分かる。

[0056] 以下、誤差関数の値を最小にする特徴情報を構成する各特徴量の重みαを特定する手順（図４、ステップＳ２）の詳細について説明する。まず、決定部２は、上記式（１１）の重みα$_i$及び重みα$_j$に任意の値（例えば１）を入力し、上記式（１１）のｘ$^{(i)}$に溶接品質Ａを有する学習用溶接部の特徴情報を入力し、ｘ$^{(j)}$に溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の特徴情報を入力し、正

則化項$\alpha^{T}K\alpha$を算出する（図４のステップＳ２１）。

[0057] 次に、上記式（７）の$y^{(i)}$に上記式（８）の左辺のγ_{cost}を入力し、上記式（７）の$x^{(i)}$に溶接品質Ａ又は溶接品質Ｂを有する各学習用溶接部の特徴情報を入力し、上記式（７）の正則化項$\alpha^{T}K\alpha$にステップＳ２１で算出した正則化項$\alpha^{T}K\alpha$の値を入力する（図４のステップＳ２２）。尚、このときの上記式（７）の正則化パラメータは初期値であり、ここでは、初期値を１とする。

[0058] 次に、上記式（７）を下記式（１６）に変換する（図４のステップＳ２３）。

[数20]

$$\min_{\alpha} \sum_{i=1}^{n} \xi_i + \frac{\lambda}{2}\boldsymbol{\alpha}^{T}\boldsymbol{K}\boldsymbol{\alpha} \cdots (16)$$

[0059] 上記式（７）から下記式（１６）への変換について説明する。特徴情報$x^{(i)}$、値$y^{(i)}$に対する判別誤差の出力をξ_iとすれば、出力ξ_iの最小値は、２つの不等式（１７）、（１８）にて定義される最小値となる。

[数21]

$$\xi_i \geqq 0 \cdots (17)$$

$$\xi_i \geqq 1 - \boldsymbol{y}^{(i)} f(\boldsymbol{x}^{(i)}) = 1 - \boldsymbol{y}^{(i)} \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \boldsymbol{K}_{ij} = 0 \cdots (18)$$

$$\boldsymbol{K}_{ij} = k(\boldsymbol{x}^{(i)}, \boldsymbol{x}^{(j)})$$

最小値となるときの出力ξ_iをスラック変数と呼び、最小値となるときの出力ξ_iを上記式（７）に導入することによって、上記式（１７）、（１８）を制約条件として、上記式（７）は、上記式（１６）に変換される。

[0060] 上記式（１６）は、出力ξと特徴情報を構成する各特徴量の重みαとに関する凸二次計画問題の形式になっている。以下、上記式（１６）の凸二次計画問題の解法を示す。

[0061] 上記式（１６）は、ラグランジュの未定乗数法を用いて解く。下記式（１９）をラグラジアンと定義する。

定義域：$\Omega \subseteq R^{n}$

尚、R^nは、実数全体を示す。

[数22]

制約条件：$g_i(\boldsymbol{w}) \leqq 0$，　$h_i(\boldsymbol{w}) = 0$

尚、$g_i(\boldsymbol{w})$及び$h_i(\boldsymbol{w})$は任意の関数を示す。

凸二次計画問題：min.　$f(\boldsymbol{w})$，$\boldsymbol{w} \in \Omega$

$$L(w, \alpha, \beta) = f(\boldsymbol{w}) + \sum_{i=1}^{k} \alpha_i g_i(\boldsymbol{w}) + \sum_{i=1}^{m} \beta_i h_i(\boldsymbol{w})$$
$$= f(\boldsymbol{w}) + \boldsymbol{\alpha}' g(\boldsymbol{w}) + \boldsymbol{\beta}' h(\boldsymbol{w}) \cdots (19)$$

[0062] 下記の凸二次計画問題をラグラジアンL（w，α，β）を用いて解くための必要十分条件は、ＫＫＴ（karush-kuhn-Tucker）により、下記式（２０）～（２４）を満たすα*、β*が存在することである。

凸二次計画問題

定義域：$\Omega \subseteq R^n$

[数23]

制約条件：$g_i(\boldsymbol{w}) \leqq 0$，　$h_i(\boldsymbol{w}) = 0$

尚、$g_i(\boldsymbol{w})$及び$h_i(\boldsymbol{w})$はアフィン関数を示す。

凸二次計画問題：min.　$f(\boldsymbol{w})$，$\boldsymbol{w} \in \Omega$

$$\frac{\delta L(\boldsymbol{w}^*, \boldsymbol{\alpha}^*, \boldsymbol{\beta}^*)}{\delta \boldsymbol{w}} = 0 \cdots (20)$$

$$\frac{\delta L(\boldsymbol{w}^*, \boldsymbol{\alpha}^*, \boldsymbol{\beta}^*)}{\delta \beta} = 0 \cdots (21)$$

$$\alpha_i^* g_i(\boldsymbol{w}^*) = 0 \cdots (22)$$

$$g_i(\boldsymbol{w}^*) \leqq 0 \cdots (23)$$

$$\alpha_i^* \geqq 0 \cdots (24)$$

式（１９）～式（２４）においては、αおよびβはラグランジュ乗数を示す。w*は最適化されたときの重み情報を示す。α*及びβ*は、w*が得られたときのラグランジュ乗数α及びβを示す。

[0063] 上記式（１９）を用いて、上記式（１６）から、下記式（２５）を導出できる。

[数24]

$$L(\boldsymbol{\xi}、\boldsymbol{\alpha}、\boldsymbol{\beta}、\boldsymbol{\gamma}) =$$

$$\sum_{i=1}^{n} \xi_i + \frac{\lambda}{2}\boldsymbol{\alpha}^{T}\boldsymbol{K}\boldsymbol{\alpha} - \sum_{i=1}^{n}\beta_i\xi_i - \sum_{i=1}^{n}\gamma_i\left(\xi_i - 1 + y^{(i)}\sum_{j=1}^{n}\alpha_j K_{ij}\right) \cdots (25)$$

制約条件：$\beta_i \geqq 0$、$\gamma_i \geqq 0$

γは、ラグランジュ乗数を示す。

[0064] 下記の制約条件の下で、下記式（２６）で表現される凸関数である目的関数を最小化する一般的な凸二次計画問題において、最適解が探索される実行可能領域が、ϕ（空集合）でないと仮定すると、下記式（２６）は、下記式（２７）に変換される。

[数25]

$$\text{目的関数：} \frac{1}{2}\boldsymbol{w}^{T}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{w} - \boldsymbol{k}^{T}\boldsymbol{w} \cdots (26)$$

$$\text{制約条件：} \boldsymbol{X}\boldsymbol{w} \leqq \boldsymbol{c}$$

上記式（２６）から下記式（２９）においては、Ｑはｎ×ｎ正定値行列を示し、ｋはｎ－ベクトルを示し、ｃはｍ－ベクトルを示し、ｗは最適化対象のベクトルを示し、Ｘはｍ×ｎ行列を示す。

[数26]

$$\max_{\boldsymbol{\alpha} \geqq 0}\left(\min_{\boldsymbol{w}}\left(\frac{1}{2}\boldsymbol{w}^{T}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{w} - \boldsymbol{k}^{T}\boldsymbol{w} + \boldsymbol{\alpha}^{T}(\boldsymbol{X}\boldsymbol{w} - \boldsymbol{c})\right)\right) \cdots (27)$$

[0065] ここで、上記式（２７）のｗの最小値を求める問題は非制約最適化問題となっており、最適解は下記式（２８）で表現される。

[数27]

$$\boldsymbol{w} = \boldsymbol{Q}^{-1}(\boldsymbol{k} - \boldsymbol{X}^{T}\boldsymbol{\alpha}) \cdots (28)$$

[0066] 上記式（２８）の右辺を上記式（２６）の最適化対象のベクトルｗに代入すると、下記の制約条件の下で、下記式（２９）で表現される目的関数を最大化する双対問題が得られる。

[数28]

$$\text{目的関数：} -\frac{1}{2}\boldsymbol{\alpha}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{P}\boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{\alpha}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{d} - \frac{1}{2}\boldsymbol{k}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{k} \cdots (29)$$

制約条件：$\boldsymbol{\alpha} \geqq 0$

$(\boldsymbol{P}=\boldsymbol{X}\boldsymbol{Q}^{-1}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}},\ \boldsymbol{d}=\boldsymbol{c}-\boldsymbol{X}\boldsymbol{Q}^{-1}\boldsymbol{k})$

[0067] よって、二次計画問題は、より単純な制約条件を持つ双対問題へと変換できる。この性質を利用することによって、最適解の探索に必要な計算量の大幅な低減を実現できる。

[0068] 以上の流れと同様に、上記式（２５）で表現された二次計画問題を双対問題に導く。まず、上記式（２５）を重みα_i及び出力ξ_iについて微分したラグラシアンＬ（ξ，α，β，γ）を０とおく（下記式（３０）参照）。

[数29]

$$\frac{\delta L(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma})}{\delta \alpha_i} = \sum_{i=1}^{n} (\lambda \boldsymbol{K}_{ij}\alpha_j - \gamma_i y^{(j)}\boldsymbol{K}_{ij}) = 0 \cdots (30)$$

ここで、Ｋは対称行列だからＫ$^{\mathrm{T}}$＝Ｋなので、上記式（３０）から下記式（３１）を導出できる。

[数30]

$$\lambda \boldsymbol{K}\boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{K}\hat{\boldsymbol{\gamma}} = 0 \cdots (31)$$

$$(\text{但し、}\hat{\boldsymbol{\gamma}} = (\hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \cdots, \hat{\gamma}_n),\ \hat{\gamma}_i = \gamma_i y^{(i)},\ i = 1, \cdots, n) \cdots (32)$$

[0069] 行列Ｋが正則であると仮定すると、下記式（３３）が得られる。

[数31]

$$\alpha_i = \frac{1}{\lambda}\gamma_i y^{(i)} \cdots (33)$$

[0070] 下記式（３４）が満たされるとき、出力ξ_iに関してはいくらでも小さくできる。すなわち、双対問題のラグランジュ関数（上記式（２５）参照）は、－∞となるため、双対問題を考える際には、下記式（３５）の制約が入った場合のみを考慮すればよいことになる。

$1-\beta_i-\gamma_i \neq 0 \cdots (34)$

$1-\beta_i-\gamma_i=0$…（３５）

このように、ラグランジュ関数が１次式となっている変数はその係数は０なので、双対問題は出力ξ_iと無関係である。ゆえに、重みα_iを上記式（３３）で置換し、上記式（３５）の制約条件のもとで、下記式（３６）のラグランジュ関数を最大化する。

[数32]

$$L_{dp}(\boldsymbol{\beta},\ \boldsymbol{\gamma})=\sum_{i=1}^{n}\gamma_i-\frac{1}{2\lambda}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}y^{(i)}y^{(j)}\gamma_i\gamma_j\boldsymbol{K}_{ij}\cdots(36)$$

また、$\beta_i\geqq 0$、及び、$\gamma_i\geqq 0$の条件から、上記式（３５）の制約条件は、下記式（３７）のようになる。

$0\leqq\gamma_i\leqq 1$…（３７）

最急降下法や内点法といった公知の最適解探索手法を用いて、上記式（３６）からγ_iを算出し（図４のステップＳ２４）、該算出したγ_iを式（３３）に代入すれば、誤差関数を最小とする特徴情報を構成する各特徴量の重みαが特定される（図４のステップＳ２５）。

[0071] 決定部２は、上記のように特定した学習用溶接部の特徴情報を構成する各特徴量の重みαを判別関数ｆ（ｘ）の学習用溶接部の特徴情報を構成する各特徴量の重みαに仮に採用する。そして、図４のステップＳ１と同様にして、決定部２は、特定した各特徴量の重みαを判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに仮に採用した場合の誤判別個数を算出する。算出した誤判別個数が所定値以上であれば、決定部２は、正則化パラメータλを小さくなるように調整し、再度、上記のように、誤差関数を最小とする特徴情報を構成する各特徴量の重みαを特定する（図４のステップＳ２）。尚、正則化パラメータλを小さくなるように調整した後のステップＳ２１における正則化項の算出においては、前述した式（１１）の重みα_i及び重みα_jに、前回のステップＳ２５において特定した各特徴量の重みαを入力する。一方、算出した誤判別個数が所定値未満であれば、特定した各特徴量の重みαを、判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに採用することを確定して、判別

関数ｆ（ｘ）を決定する（図４のステップＳ３）。

[0072] 本実施形態の決定部２は、上述のように正則化パラメータλの初期値を正則化パラメータλの最大値とし、誤判別個数が所定値未満である場合、正則化パラメータλを小さくするように調整する。正則化パラメータλが大きい場合、正則化項$\alpha^{T}K\alpha$が誤差関数の値に与える影響が大きい。このため、正則化パラメータλが大きい場合は、正則化項$\alpha^{T}K\alpha$を十分に小さくする各特徴量の重みαが誤差関数の値を最小にする各特徴量の重みαとして特定される。判別関数ｆ（ｘ）の次元数と正則化項$\alpha^{T}K\alpha$とは正の相関を有する。このため、正則化項$\alpha^{T}K\alpha$を十分に小さくする各特徴量の重みαが誤差関数の値を最小にする各特徴量の重みαとして特定され、且つ、該各特徴量の重みαを判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに採用されることが確定して判別関数を決定すると、判別関数（判別境界）の高次元化を抑制して、過学習を抑制できる。また、正則化項を十分に小さくする各特徴量の重みαが特定された場合であっても、該各特徴量の重みαを、判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに仮に採用したときの誤判別個数が所定値以上の場合、該各特徴量の重みαを判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに採用することが確定されない。この場合、正則化パラメータλが小さくなるように調整されて、再度、誤差関数の値を最小にする各特徴量の重みαが特定される。正則化パラメータλを小さくすると、正則化項$\alpha^{T}K\alpha$が誤差関数の値に与える影響が小さくなる一方で、判別誤差が誤差関数の値に与える影響が大きくなる。このため、正則化パラメータλが小さくなるように調整すると、調整前よりも、判別誤差を小さくする各特徴量の重みαが誤差関数の値を最小にする各特徴量の重みαとして特定されることが可能となる。判別誤差は、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差、及び、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差で規定されるものである。さらに、該判別誤差は、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差、及び、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の何

れかの絶対値が小さくなると、小さくなり、何れかが大きくなると、大きくなる。つまり、判別誤差が小さくなると、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差の絶対値、又は、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値が小さくなる。溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差の絶対値が小さくなると、該絶対値よりも、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値が大きくなる溶接品質Ａを有する学習用溶接部の数が減少する。同様に、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値が小さくなると、該絶対値よりも、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値が大きくなる溶接品質Ｂを有する学習用溶接部の数が減少する。従って、判別誤差が小さくなると、誤判別個数が小さくなる。従って、正則化パラメータを調整する前において特定した各特徴量の重みαを、判別関数ｆ（ｘ）を構成する各特徴量の重みαに仮に採用したときの誤判別個数が所定値以上の場合であっても、正則化パラメータλが小さくなるように調整することで、誤判別個数が所定値未満となる各特徴量の重みαを特定でき、特定した各特徴量の重みαを、判別関数を構成する各特徴量の重みαに採用することを確定して、判別関数ｆ（ｘ）を決定できる。

[0073] また、前述した式（２）で表現された判別関数ｆ（ｘ）は、カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）と特徴情報を構成する各特徴量の重みαとを有し、写像関数を有していない。このため、誤判別個数を算出する際に、写像関数を計算する必要がない。換言すれば、判別関数を決定するために、写像関数を計算する必要がない。写像関数の計算量は膨大である。このため、判別関数ｆ（ｘ）の決定のために、写像関数を計算する必要がない溶接品質判別装置１００は、判別関数ｆ（ｘ）を少ない計算量で決定できる。

[0074] 判別部３は、判別対象溶接部の溶接品質が溶接品質Ａであるか溶接品質Ｂであるかを判別する。判別部３は、取得部１によって取得した特徴量から構成される特徴情報を、決定部２が決定した判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数

ｋ（ｘ，ｘ’）に入力して、判別関数ｆ（ｘ）の出力値、即ち、該特徴情報を示すデータ点を写像空間に写像した写像点を算出する。そして、判別部３は、判別対象溶接部の溶接品質を、前記の２つの領域の何れかの領域のうち、写像点が位置すると判別した領域に対応する溶接品質であると判別する。具体的に説明すれば、判別部３は、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差の絶対値と、前記判別関数ｆ（ｘ）の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差の絶対値とを比較し、前者の方が小さければ判別対象溶接部は溶接品質Ａであると判別し、後者の方が小さければ判別対象溶接部は溶接品質Ｂであると判別する。本実施形態では、前述のように、溶接品質Ａに対応する値は１とされ、溶接品質Ｂに対応する値は－１とされているため、判別関数ｆ（ｘ）が両者の中間の値となるとき、すなわち、ｆ（ｘ）＝０が、前記写像空間を二分する判別境界に相当することになる。

[0075] 尚、判別関数ｆ（ｘ）の出力値に殆ど影響を与えない又は全く影響を与えない特徴量の重みは、決定部２によって０と特定される可能性が高い。上述のように、決定部２は、誤差関数を最小とする特徴情報を構成する各特徴量の重みαを特定する。誤差関数は、判別誤差と正則化項$\alpha^{T}K\alpha$との和からなる関数である。判別誤差は、溶接品質Ａに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ａに対応する値との差、及び、溶接品質Ｂに対応する判別関数の出力値と溶接品質Ｂに対応する値との差で規定され、前記２つの差の何れかの絶対値が小さくなれば小さくなり、大きくなれば大きくなるものである。すなわち、判別誤差は、判別関数ｆ（ｘ）の出力値に応じて変動する。判別関数ｆ（ｘ）は、前述した式（２）より、特徴量の重みに応じて変動する。このため、判別関数ｆ（ｘ）の出力値に殆ど影響を与えない又は全く影響を与えない特徴量の重みを変動させた場合における判別誤差の変動量は小さい。正則化項$\alpha^{T}K\alpha$は、各特徴量の重みαと正の相関を有する。このため、判別誤差と正則化項との和からなる誤差関数の値は、判別誤差の変動量が小さい特徴量の重みを最小（即ち、０）にすることで、小さくなる可能性が高い。従っ

て、判別関数ｆ（ｘ）の出力値に殆ど影響を与えない又は全く影響を与えない特徴量の重みは、決定部２によって０と特定される可能性が高い。

[0076] 判別部３が判別対象溶接部の溶接品質を判別するために、決定部２が決定した判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力される特徴情報を、上記のように重みが０と特定された特徴量以外の特徴量から構成される特徴情報としてもよい。このような特徴情報を決定部２が決定した判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力される特徴情報とする場合、重みが０と特定された特徴量が判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力されず、その分、判別対象溶接部の溶接品質の判別に必要な計算量が低減される。判別対象溶接部の溶接品質の判別に必要な計算量が低減されることで、判別対象溶接部の溶接品質を高速に判別できる。また、上述のように、判別関数ｆ（ｘ）の出力値に殆ど影響を与えない又は全く影響を与えない特徴量の重みが０と特定される可能性が高い。従って、重みが０と特定された特徴量が判別関数ｆ（ｘ）のカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力されなくても、判別関数ｆ（ｘ）の出力値を用いて行う判別対象溶接部の溶接品質の判別は、一定の精度以上で行うことができる。

[0077] また、本実施形態では、判別誤差が、凸関数である前述した式（８）のγ_{cost}を用いて表現される。前述した式（８）のγ_{cost}は凸関数であるので、局所解に陥ることなく、判別誤差の値を最小にする重みαを求めることができる。このため、判別誤差を所定値未満にする重みαを効率的に特定できる。

[0078] さらに、本実施形態では、判別対象溶接部の溶接品質が２つの溶接品質（溶接品質Ａ及び溶接品質Ｂ）の何れであるかを判別する例について説明したが、前述した決定部２及び判定部３の動作を繰り返すことにより、判別対象溶接部の溶接品質が３つ以上の溶接品質の何れであるかを判別することも可能である。例えば、前述した溶接品質Ａが溶接良好な状態であり、前述した溶接品質Ｂが溶接不良の状態である場合を考える。そして、溶接不良（溶接品質Ｂ）が更に溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れかの溶接品質に区分で

きる場合を考える。すなわち、溶接品質が、溶接良好（溶接品質Ａ）、溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れかに区分できる場合を考える。この場合、先ず決定部２においては、判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好（溶接品質Ａ）及び溶接不良（溶接品質Ｂ）の何れであるかを判別するための判別境界を示す判別関数を、前述した手順で決定する。判別部３は、決定部２で決定したこの判別関数を用いて、判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好（溶接品質Ａ）及び溶接不良（溶接品質Ｂ）の何れであるかを判別する。次に、決定部２においては、溶接不良（溶接品質Ｂ）であると判別された判別対象溶接部の溶接品質が、溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れであるかを判別するための判別境界を示す判別関数を、前述したのと同様の手順で決定する。判別部３は、決定部２で決定したこの判別関数を用いて、溶接不良（溶接品質Ｂ）であると判別された判別対象溶接部の溶接品質が溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れであるかを判別する。これにより、判別対象溶接部は、３つの溶接品質Ａ、Ｂ１、Ｂ２の何れであるか判別されることになる。以上に述べた手順と同様の手順を繰り返せば、判別対象溶接部の溶接品質が４つ以上の溶接品質の何れであるかを判別することが可能である。

[0079] 上記のように、溶接不良を更に細かく区分して（例えば、溶接不良の要因毎に区分して）判別すれば、例えば、判別結果に応じた（溶接不良の要因に応じた）スポット溶接機の不具合箇所を特定し易く、迅速なスポット溶接機の調整が可能になるといった、溶接機の運用面での利点が得られる。

[0080] 一方、溶接良好を更に区分して判別することにより、溶接品質の判別精度が向上することを期待できる。以下、この点について説明する。

[0081] スポット溶接機の通電中には、（１）電極Ｅ１（又はＥ２）と被溶接材Ｍ１（又はＭ２）との接触面積の拡大、及び、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との接触面積の拡大による通電抵抗の減少と、（２）被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部の温度上昇による通電抵抗の増加とが同時に生じ、これらが複合することによって様々な通電抵抗の信号波形（溶接電圧の信号波形）の変化が生じる。具体的には、チリが発生すると急激に通電抵抗が低下するという特徴的

な信号波形の変化が生じたり、接触面積が急速に拡大すると通電抵抗の上昇が抑えられるなど、溶接品質が良好な場合（例えば、溶接部のナゲット径が予め定めた基準値と比較して大きい場合）であっても、通電抵抗等の信号波形にはいくつかのパターンが存在する（後述する図９参照）。このため、溶接良好であってもチリが発生する等の特殊なケースを、他の溶接良好なケースと全く同じ溶接品質として取り扱う（全てのケースを溶接良好な溶接品質として纏めてしまい、それ以上の区分を行わない）と、溶接良好な溶接品質（チリが発生する等の特殊なケースも含む）を有する学習用溶接部の特徴情報に過度のバラツキが生じて、判別関数（判別境界）を精度良く決定できない結果、判別対象溶接部の判別精度が低下するおそれがある。このため、たとえ最終的な判別結果としてはいずれも溶接良好として纏めた形で外部に出力するとしても、少なくとも溶接品質判別装置１００の内部では、溶接良好を更に区分して（例えば、チリが発生する場合と発生しない場合とに区分して）判別する構成とすることにより、溶接品質の判別精度が向上することを期待できる。

[0082] 具体的には、例えば、溶接品質が、溶接良好Ａ１、溶接良好Ａ２、溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れかに区分できる場合を考える。溶接良好Ａ１の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報のバラツキや、溶接良好Ａ２の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報のバラツキは、溶接良好Ａ１及び溶接良好Ａ２を溶接良好として一纏めにする場合の特徴情報のバラツキに比べて、抑制されることが期待できる。そして、先ず決定部２においては、各溶接品質（溶接良好Ａ１、溶接良好Ａ２、溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２）を有する学習用溶接部の特徴情報を用いて、判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好Ａ１及びその他の溶接品質（溶接良好Ａ２、溶接不良Ｂ１、溶接不良Ｂ２）の何れであるかを判別するための判別境界を示す判別関数を、前述した手順で決定する。この際、前述のように、溶接良好Ａ１の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報のバラツキが小さければ、上記の判別関数を精度良く決定し得ることが期待できる。判別部３は、決定部２で決定したこの判

別関数を用いて、判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好Ａ１及びその他の溶接品質（溶接良好Ａ２、溶接不良Ｂ１、溶接不良Ｂ２）の何れであるかを判別する。次に、決定部２においては、その他の溶接品質であると判別された判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好Ａ２及び溶接不良（溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２）の何れであるかを判別するための判別境界を示す判別関数を、前述したのと同様の手順で決定する。前述のように、溶接良好Ａ２の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報のバラツキが小さければ、上記の判別関数を精度良く決定し得ることが期待できる。判別部３は、決定部２で決定したこの判別関数を用いて、その他の溶接品質であると判別された判別対象溶接部の溶接品質が溶接良好Ａ１及び溶接不良（溶接不良Ｂ１、溶接不良Ｂ２）の何れであるかを判別する。以下、同様にして、溶接不良であると判別された判別対象溶接部の溶接品質が溶接不良Ｂ１及び溶接不良Ｂ２の何れであるかを判別すれば、最終的には、判別対象溶接部は、４つの溶接品質Ａ１、Ａ２、Ｂ１、Ｂ２の何れであるか判別されることになる。

[0083] 図９は、溶接品質が溶接良好であるものを更に複数の溶接品質（溶接良好１～５）に区分した例を示す。図１０は、溶接品質が溶接不良であるものを更に複数の溶接品質（溶接不良１～４）に区分した例を示す。図９、図１０に示す例では、チリ発生の有無や電極の汚損の有無、その他の外乱要因の有無に関わらず、溶接部のナゲット径が予め定めた基準値と比較して大きい場合には溶接良好とされ、基準値以下の場合には溶接不良とされることを前提にしている。しかしながら、例えば、図９に示す「溶接良好５」の信号波形が得られた溶接部を溶接不良に属するものとして学習させることにより、溶接位置のずれが生じる場合を溶接不良として検出させるなど、目的や必要に応じて溶接品質を任意に分類することが可能である。

[0084] なお、本実施形態では、溶接品質を溶接電流及び溶接電圧を用いて判別する場合を例に挙げて説明したが、本発明は、これに限るものではなく、図１１に示すように、溶接用電極の加圧力や溶接用電極の変位を用いて溶接品質を判別する構成とすることも可能である。

[0085] 図１１は、本発明に係る溶接品質判別装置の変形例を示す概略構成図である。図１１に示すように、本変形例に係る溶接品質判別装置１００Ａは、前述した溶接品質判別装置１００と同様に、特徴量を取得するための取得部１Ａと、判別関数を決定する決定部（図示省略）と、溶接品質を判別する判別部（図示省略）とを備える。溶接品質判別装置１００Ａが備える決定部及び判別部の機能は、前述した溶接品質判別装置１００と同様であるため、これらの説明を省略し、以下、取得部１Ａについて説明する。

[0086] 取得部１Ａは、被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部Ｗをスポット溶接する際の電極Ｅ２の加圧力を検出する検出手段としてのロードセル１１Ａと、被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部Ｗをスポット溶接する際の電極Ｅ１の変位を検出する手段としての変位計１２Ａとを具備する。また、取得部１Ａは、特徴量抽出手段１３と、データロガー１４とを具備する。ロードセル１１Ａは、電極Ｅ２の荷重負荷を受ける位置に配置され、これにより溶接中の電極Ｅ２の加圧力の経時変化が計測される。また、変位計１２Ａは、接触式又は非接触式の変位センサ１２１Ａと、変位センサ１２１Ａによる変位測定対象となる測定対象部１２２Ａとを具備する。変位センサ１２１Ａ及び測定対象部１２２Ａのいずれか一方は、スポット溶接機の可動部（電極と一体的に可動する部分）に取り付けられ、いずれか他方は、スポット溶接機の不動部に取り付けられる。図１１に示す例では、変位センサ１２１Ａが不動部に取り付けられ、測定対象部１２２Ａが可動部に取り付けられている。変位センサ１２１Ａによって測定対象部１２２Ａの変位が測定される（変位センサ１２１Ａと測定対象部１２２Ａとの距離が測定される）ことで、溶接中の電極Ｅ１の変位が計測される。計測された電極Ｅ２の加圧力及び電極Ｅ１の変位は、直接又はデータロガー１４を介して、特徴量抽出手段１３に入力され、特徴量抽出手段１３は、電極Ｅ２の加圧力及び電極Ｅ１の変位に基づき特徴量を抽出する。なお、本変形例では、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位の双方を用いて溶接品質を判別する（双方に基づき特徴量を抽出する）構成について説明したが、いずれか一方のみを用いて溶接品質を判別することも可能である

。また、前述した溶接電流や溶接電圧と組み合わせて溶接品質を判別することも可能である。

[0087] 以下、本実施形態に係る溶接品質判別装置１００、１００Ａを用いて溶接品質（溶接が良好であるか、溶接が不良であるか）を判別する試験を行った結果について説明する。

[0088] ＜判別試験１＞

図１に示すように、引っ張り強さが２７０ＭＰａで、板厚が０．７ｍｍの鋼板からなる被溶接材Ｍ１、Ｍ２を重ね合わせて、電極Ｅ１、Ｅ２で挟み込み、スポット溶接した際の溶接品質を判別する試験を行った。被溶接材Ｍ１、Ｍ２のスポット溶接にはエア加圧式の定置型スポット溶接機を用い、電極Ｅ１、Ｅ２による加圧力を１５０ｋｇｆ、溶接電流（設定値）を８．５ｋＡに設定して、１打点当たり５周期の通電（１周期が１／６０ｓｅｃなので、通電時間にして約８０ｍｓｅｃ）を行った。電極Ｅ１、Ｅ２としては、先端の曲率半径が４０ｍｍで、先端の径が６ｍｍであるドームラジアス型電極を用いた。電流・電圧測定器１１としては、ミヤチテクノス社製のウェルドチェッカーを用い、サンプリング速度は０．１ｍｓｅｃとした。

[0089] ここで、電極Ｅ１、Ｅ２に通電した後の被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部には、図５に示すように、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面を中心に、楕円体状の溶融・凝固した部分Ｎが形成され、この部分を前述のようにナゲットと称する。本判別試験では、以下に示す手順で、このナゲットＮの直径（ナゲット径）を測定し、その値の大小で、実際の溶接品質（溶接の良・不良）を判定した。

[0090] 図６は、実際の溶接品質（溶接の良・不良）を判定する方法を説明する説明図である。図６（ａ）に示すように、溶接した被溶接材Ｍ１、Ｍ２のうち、図６（ｂ）に示すように、一方の被溶接材Ｍ１を他方の被溶接材Ｍ２に対して捩って、溶接部Ｗを破断させる。そして、図６（ｃ）に示すように、破断面をルーペで観察することにより破断径ｄを測定し、これをナゲット径とした。なお、溶接部Ｗを破断させる場合、図６（ｃ）の（ｉ）に示すように、

被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面で破断が生じる場合と、図６（ｃ）の（ｉｉ）に示すように、被溶接材Ｍ１又はＭ２の母材で破断が生じる場合がある。被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面で破断が生じる場合には、外部に露出したナゲットＮの寸法を破断径（ナゲット径）ｄとした。一方、被溶接材Ｍ１又はＭ２の母材で破断が生じる場合には、母材の破断箇所の寸法を破断径（ナゲット径）ｄとした。本判別試験においては、上記の何れの破断形態であっても、ナゲット径ｄが２．５ｍｍを超える場合に「良」と判定し、２．５ｍｍ以下の場合には「不良」と判定した。

[0091] 図７は、スポット溶接における電極の摩耗と溶接部のナゲット径の変化の一例を示す図である。図７（ａ）は電極の先端と被溶接材との接触状況の変化を、図７（ｂ）は溶接部のナゲット径の変化を示す。なお、電極の先端と被溶接材との接触状況は、所定の打点数のスポット溶接が終了する毎に、電極と被溶接材との間に感圧紙を配置することによって観察した。図７（ａ）に示すように、打点数の増加に伴って、電極Ｅ１、Ｅ２の先端と、被溶接材Ｍ１、Ｍ２との接触面積が増加する。そして、数百点の溶接の後には、接触部がドーナツ状になるなど、接触状況が不安定になる。これに伴い、図７（ｂ）に示すように、同一の溶接条件で得られるナゲット径ｄも変化し、やがてナゲットＮが形成されなくなる。

以上に説明した破断試験によるナゲット径の測定結果に基づき溶接品質（溶接の良・不良）を判定するという手法は、一般的に利用されており、本判別試験においても、学習用溶接部の溶接品質の判定や、溶接品質判別装置１００の判別結果の評価に利用した。

[0092] ここで、破断試験によるナゲット径の測定は測定誤差を含むため、特に判定しきい値（例えば２．５ｍｍ）付近における溶接部の実際の溶接品質の判定結果は曖昧なものとなるおそれがある。このため、破断試験によるナゲット径の測定結果に基づく学習用溶接部を利用する本実施形態に係る溶接品質判別装置１００においても、その判別結果に曖昧さが残るおそれがある。そこで、本実施形態に係る溶接品質判別装置１００（判別部３）は、判別対象

溶接部の溶接品質（溶接の良・不良）に加えて、その判別結果の確信度も算出するように構成されている。この確信度は、判別対象溶接部の特徴情報を示すデータ点を写像空間に写像した写像点と、前記写像空間を二分する判別境界との直線距離で表され、具体的には、以下の式（３８）のD_iで表される。

[数33]

$$D_i = | y \boldsymbol{w}^T \phi (\boldsymbol{x}^{(i)}) | / ||\boldsymbol{w}|| \cdots (38)$$

上記式（３８）において、下付き文字ｉは、判別対象溶接部の識別子を示す。また、ｙは、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）≧０のときには各成分が１のベクトルを示し、上記の判別関数ｆ（ｘ）＜０のときには各成分が－１のベクトルを示す。

[0093] 上記の式（３８）で表される確信度D_iは、０から１までの値となり得る。

ここで、例えば、判別関数ｆ（ｘ）≧０となる領域が溶接良好であり、判別関数ｆ（ｘ）＜０となる領域が溶接不良であるとする。このとき、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）≧０で且つその確信度D_i＝１であるとすれば、この判別対象溶接部の溶接品質は溶接良好であると判別され、その判別結果（溶接良好）の確らしさは１００％（溶接不良である確からしさは０％）であることを意味する。判別結果の確からしさ（％）は、（０．５×D_i＋０．５）×１００で表される。また、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）≧０で且つその確信度D_i＝０であるとすれば、この判別対象溶接部の溶接品質は溶接良好であると判別され、その判別結果（溶接良好）の確らしさは５０％であることを意味する。同様に、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）＜０で且つその確信度D_i＝１であるとすれば、この判別対象溶接部の溶接品質は溶接不良であると判別され、その判別結果（溶接不良）の確らしさは１００％であることを意味する。また、判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの判別関数ｆ（ｘ）＜０で且つその確信度D_i＝０であるとすれば、この判別対象溶接部の溶接品質は溶接不良であると判別され、その判別結果（溶接不

良）の確らしさは５０％であることを意味する。

[0094] 以上のように、判別した判別対象溶接部の溶接品質と共に、この判別対象溶接部の判別結果の確信度を算出する構成とすれば、例えば、溶接良好と判別されたがその確信度が低い場合（所定のしきい値以下である場合）には、他の装置による溶接品質の再検査を実施したり、或いは、一律に溶接不良の状態であると取り扱って、溶接不良品が流出するおそれを未然に防ぐことが可能である。

[0095] 本判別試験では、６０組の被溶接材を溶接し、そのうち４１組の被溶接材の溶接部を学習用溶接部とし、残りの１９組の被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とした。本判別試験では、前述のように、溶接電流及び溶接電圧の信号波形のフラクタル次元を特徴量として用い、学習用溶接部の実際の溶接品質を破断試験によって評価した。

[0096] 図８は、本判別試験の評価結果を示す。図８に示す「判別結果」は、溶接品質判別装置１００による判別結果を示し、「ナゲット径」は、破断試験によるナゲット径の測定結果を示す。そして、図８には、溶接品質判別装置１００によって算出した「良・不良」それぞれの判別結果についての確らしさ（＝（０．５×D_1＋０．５）×１００）も示している。

図８に示すように、本実施形態に係る溶接品質判別装置１００によれば、溶接部ナゲット径による「良・不良」判定のしきい値（２．５ｍｍ）付近の被溶接材（Ｎｏ．１３～Ｎｏ．１６）を除き、ナゲット径による「良・不良」判定と合致する判別結果が得られていることが分かる。そして、溶接部ナゲット径による「良・不良」判定のしきい値付近の上記被溶接材では、判別結果の確からしさが「良・不良」ともに５０％程度となり、良・不良の何れの領域に属するか微妙な判別結果となっていることが分かる。

[0097] ＜判別試験２＞

本判別試験でも図１に示す構成を有する溶接品質判別装置１００を用いた。ただし、本判別試験では、図１３に示すように、引張り強さが５９０ＭＰａで板厚が２．０ｍｍの鋼板からなる被溶接材Ｍ１、Ｍ２と、引張り強さが

２７０ＭＰａで板厚が０．７ｍｍの鋼板からなる被溶接材Ｍ３とを重ね合わせた、計３枚の被溶接材を電極Ｅ１、Ｅ２で挟み込み、スポット溶接した際の溶接品質を判別した。被溶接材Ｍ１、Ｍ２、Ｍ３のスポット溶接にはサーボ加圧式で直流電源のスポット溶接機を用い、電極Ｅ１、Ｅ２による加圧力を３．２ｋＮ、溶接電流（設定値）を７．８ｋＡに設定して、１打点当たり通電時間４１７ｍｓｅｃの通電を行った。電極Ｅ１、Ｅ２としては、先端の曲率半径が４０ｍｍで、先端の径が６ｍｍであるドームラジアス型電極を用いた。電流・電圧測定器１１としては、ミヤチテクノス社製のウェルドチェッカーを用い、サンプリング速度は約０．３８ｍｓｅｃとした。

[0098] ここで、電極Ｅ１、Ｅ２に通電した後の被溶接材Ｍ１、Ｍ２、Ｍ３の溶接部には、図１４に示すように、楕円体状の溶融・凝固した部分（ナゲット）Ｎが形成される。本判別試験では、以下に示す手順で、このナゲットＮ各部の直径（ナゲット径）を測定し、その値の大小で実際の溶接品質（溶接の良・不良）を判定した。

[0099] 図１５は、実際の溶接品質（溶接の良・不良）を判定する方法を説明する説明図である。図１５（ａ）に示すように、溶接された被溶接材Ｍ１、Ｍ２、Ｍ３を溶接部Ｗの中央を通る断面が観察できるように切断し、研磨・腐食を行った。腐食後の断面写真の一例を図１５（ｂ）に、その模式図を図１５（ｃ）に示す。図１５（ｃ）に示すように、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面におけるナゲットＮの直径をナゲット径Ｄ１、被溶接材Ｍ２と被溶接材Ｍ３との界面におけるナゲットＮの直径をナゲット径Ｄ２と定義し、それぞれを測定した。本判別試験においては、ナゲット径Ｄ１が５．５ｍｍ（被溶接材Ｍ１、Ｍ２の板厚の平方根の４倍に相当）を超え、且つ、ナゲット径Ｄ２が３．３ｍｍ（被溶接材Ｍ３の板厚の平方根の４倍に相当を越える場合に「良」と判定し、ナゲット径Ｄ１及びＤ２のうち、いずれか一方でも上記条件を満たさない場合には「不良」と判定した。

[0100] 図１６は、スポット溶接における電極の摩耗と溶接部のナゲット形成状態の変化の一例を示す図である。図１６（ａ）は電極の先端と被溶接材との接

触状況の変化を、図１６（ｂ）は溶接部のナゲット径Ｄ１、Ｄ２の変化を示す。図１６（ａ）に示すように、打点数の増加に伴って、電極Ｅ１、Ｅ２の先端と、被溶接材Ｍ１、Ｍ３との接触面積が増加する。これに伴い、図１６（ｂ）に示すように、同一の溶接条件で得られるナゲット径Ｄ１、Ｄ２が変化し、ナゲット径Ｄ２が前述した３．３ｍｍに満たなくなる。

以上に説明した断面観察によるナゲット径の測定結果を、学習溶接部の溶接品質の判定や、溶接品質判別装置１００の判別結果の評価に利用した。

[0101] 本判別試験では、交差検定法により、６５組の被溶接材の溶接部の溶接品質を評価した。具体的には、６５組の被溶接材を第１グループ（２２組）、第２グループ（２２組）及び第３グループ（２１組）に分け、第１グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第２及び第３グループの被溶接材の溶接部を学習用溶接部として用いた。同様に、第２グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第１及び第３グループの被溶接材の溶接部を学習用溶接部として用い、第３グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第１及び第２グループの被溶接材の溶接部を学習用溶接部として用いた。本判別試験では、溶接電圧の信号波形の近似曲線の係数パラメータ及び前述のパラメータμ、σ、γを特徴量として用いる場合（その結果を後述する図１７に示す）と、溶接電圧の信号波形のフラクタル次元を特徴量として用いる場合（その結果を後述する図１８に示す）との双方で判別を行った。また、学習用溶接部の実際の溶接品質を前述した断面観察によって評価した。

[0102] 図１７は、特徴量として溶接電圧の信号波形の近似曲線の係数パラメータ及び前述のパラメータμ、σ、γを特徴量として用いた場合における、本判別試験の評価結果を示す。図１７に示す「判別結果」は、溶接品質判別装置１００による判別結果を示し、「実際の品質」は、断面観察による実際の溶接品質の評価結果を示す。図１７に示す「確らしさ」は、図８に示すものと同義である。

図１７に示すように、７個の被溶接材（Ｎｏ．５３、Ｎｏ．５７、Ｎｏ．

６０、Ｎｏ．６７、Ｎｏ．６９、Ｎｏ．７１、Ｎｏ．８１）を除き、実際の「良・不良」判定と合致する判別結果が得られていることが分かる。

[0103] 図１８は、特徴量として溶接電圧の信号波形のフラクタル次元を特徴量として用いた場合における、本判別試験の評価結果を示す。図１８に示す「判別結果」、「実際の品質」及び「確らしさ」は、図１７に示すものと同義である。

図１８に示すように、１４個の被溶接材（Ｎｏ．５３、Ｎｏ．５５、Ｎｏ．５７、Ｎｏ．６０、Ｎｏ．６３、Ｎｏ．６７、Ｎｏ．７０～Ｎｏ．７２、Ｎｏ．７６、Ｎｏ．７８、Ｎｏ．８０、Ｎｏ．８２、Ｎｏ．８３）を除き、実際の「良・不良」判定と合致する判別結果が得られていることが分かる。

[0104] 図１７に示す評価結果と図１８に示す評価結果とを比較すれば、いわゆる３枚組溶接については、信号波形の情報をより詳細に表現できると考えられる、信号波形の近似曲線の係数パラメータ及びパラメータμ、σ、γを特徴量として用いた場合（図１７）の方が、優れた判別精度が得られることが分かる。

[0105] ＜判別試験３＞

本判別試験では図１１に示す構成を有する溶接品質判別装置１００Ａを用いた。ただし、変位計１２Ａは用いなかった。図１１に示すように、引張り強さが５９０ＭＰａで板厚が２．０ｍｍの鋼板からなる被溶接材Ｍ１と、引張り強さが２７０ＭＰａで板厚が０．７ｍｍの鋼板からなる被溶接材Ｍ２とを重ね合わせて、電極Ｅ１、Ｅ２で挟み込み、スポット溶接した際の溶接品質を判定する試験を行った。被溶接材Ｍ１、Ｍ２のスポット溶接には、サーボ加圧式で直流電源のスポット溶接機を用い、電極Ｅ１、Ｅ２による加圧力を２．５ｋＮ、溶接電流（設定値）を７．０ｋＡに設定して、１打点当たり通電時間４１７ｍｓｅｃの通電を行った。電極Ｅ１、Ｅ２としては、先端の曲率半径が４０ｍｍで、先端の径が６ｍｍであるドームラジアス型電極を用いた。そしてロードセル１１Ａから電圧として出力される加圧力の信号波形をデータロガー１４で収集し、特徴量抽出手段１３に入力した。

[0106] ここで、電極Ｅ１、Ｅ２に通電した後の被溶接材Ｍ１、Ｍ２の溶接部には、図１９に示すように、楕円体状のナゲットＮが形成される。本判別試験でも、図１５を参照して説明したのと同様の手順で、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面におけるナゲットＮの直径（ナゲット径）ＤＩを測定した。本判別試験においては、上記の界面におけるナゲット径ＤＩが３．３ｍｍ（被溶接材Ｍ２の板厚の平方根の４倍に相当）を超える場合に溶接品質を「良」と判定し、３．３ｍｍ以下の場合に「不良」と判定した。

[0107] 図２０は、スポット溶接における溶接部のナゲット径の変化の一例を示す図である。図２０（ａ）に示すように、打点数の増加に伴って、同一の溶接条件で得られるナゲット径ＤＩが変化し、ナゲット径ＤＩが前述した３．３ｍｍに満たなくなる。なお、本試験のように、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２の材質や板厚が異なる場合には、図２０（ｂ）に示すように、一方の被溶接材の内部にナゲットＮが形成されていても、被溶接材Ｍ１と被溶接材Ｍ２との界面では、ナゲット径ＤＩが３．３ｍｍを満たさない場合や、全く接合されない場合もある。スポット溶接部の継手としての強さを確保するためには、被溶接材の界面同士が強固に接合されていることが必要であるため、界面のナゲット径ＤＩに基づき溶接品質の良否を評価することは一般的である。

以上に説明した断面観察による界面のナゲット径の測定結果を、学習溶接部の溶接品質の判定や、溶接品質判別装置１００Ａの判別結果の評価に利用した。

[0108] 本判別試験では、交差検定法により、４６組の被溶接材の溶接部の溶接品質を評価した。具体的には、４６組の被溶接材を第１グループ（１５組）、第２グループ（１５組）及び第３グループ（１６組）に分け、第１グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第２及び第３グループの被溶接材の溶接部を学習用溶接部として用いた。同様に、第２グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第１及び第３グループの被溶接材の溶接部を学習用溶接部として用い、第３グループの被溶接材の溶接部を判別対象溶接部とする場合には、第１及び第２グループの被溶接

材の溶接部を学習用溶接部として用いた。本判別試験では、溶接電圧の信号波形の近似曲線の係数パラメータ及び前述のパラメータμ、σ、γを特徴量として用いる場合（その結果を後述する図２１に示す）と、溶接電圧の信号波形のフラクタル次元を特徴量として用いる場合（その結果を後述する図２２に示す）との双方で判別を行った。また、学習用溶接部の実際の溶接品質を前述した断面観察によって評価した。

[0109] 図２１は、特徴量として溶接電圧の信号波形の近似曲線の係数パラメータ及び前述のパラメータμ、σ、γを特徴量として用いた場合における、本判別試験の評価結果を示す。図２１に示す「判別結果」、「実際の品質」及び「確らしさ」は、図１７や図１８に示すものと同義である。

図２１に示すように、３個の被溶接材（Ｎｏ．１０１、Ｎｏ．１１０、Ｎｏ．１１３）を除き、実際の「良・不良」判定と合致する判別結果が得られていることが分かる。

[0110] 図２２は、特徴量として溶接電圧の信号波形のフラクタル次元を特徴量として用いた場合における、本判別試験の評価結果を示す。図２２に示す「判別結果」、「実際の品質」及び「確らしさ」は、図２１に示すものと同義である。

図２２に示すように、４個の被溶接材（Ｎｏ．１０８、Ｎｏ．１１１、Ｎｏ．１１２、Ｎｏ．１１４）を除き、実際の「良・不良」判定と合致する判別結果が得られていることが分かる。

[0111] 図２１に示す評価結果と図２２に示す評価結果とを比較すれば、いずれの特徴量を用いる場合であっても、同程度の優れた判別精度が得られることが分かる。

符号の説明

[0112] １・・・取得部

２・・・決定部

３・・・判別部

１１・・・電流・電圧測定器

１２・・・コイル

１３・・・特徴量抽出手段

１００・・・溶接品質判別装置

Ｅ１、Ｅ２・・・電極

Ｍ１、Ｍ２・・・被溶接材

Ｓ１、Ｓ２・・・シャンク

Ｗ・・・溶接部

請求の範囲

［請求項1］ 溶接品質が未知の判別対象溶接部を溶接した際の、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量に基づいて得られた複数の特徴量を成分とする特徴情報を示すデータ点を、前記特徴情報を構成する特徴量の数よりも高い次元数の写像空間に写像した写像点が、前記写像空間を二分することによって形成された２つの溶接品質の領域の何れに位置するかを判別し、前記判別対象溶接部の溶接品質を前記写像点が位置すると判別した領域に対応する溶接品質であると判別する溶接品質判別装置において、

前記特徴量を取得するための取得部と、前記写像空間を二分する判別境界を示す判別関数を決定する決定部と、該決定部によって決定された判別関数に前記判別対象溶接部の特徴情報を入力したときの該判別関数の出力値に基づいて、前記判別対象溶接部の溶接品質を判別する判別部とを備え、

前記取得部は、前記判別対象溶接部を溶接する際の、溶接電流、溶接電圧、溶接用電極の加圧力及び溶接用電極の変位のうちの少なくとも一つの物理量を検出する検出手段と、該検出手段によって検出した前記物理量に基づき前記特徴量を抽出する特徴量抽出手段とを具備し、

前記２つの溶接品質のそれぞれは、予め設定された互いに異なる溶接品質であり、

前記決定部は、前記２つの溶接品質の何れかを有することが既知である学習用溶接部の前記特徴情報を用いて前記判別関数を決定し、

前記判別関数は、前記２つの溶接品質のうち一方又は他方の溶接品質を有する前記学習用溶接部の特徴情報が入力されると、前記特徴情報が入力された学習用溶接部の写像点を出力するカーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）と、前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に付され、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みとから構成された関数であり、

前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）は、要素がｋ（ｘ，ｘ’）で与えられる行列Ｋが半正定値であるカーネル関数であり、ｘは、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報であり、ｘ’は、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報であり、

前記決定部は、

前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差、及び、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差で規定され、前記２つの差の何れかの絶対値が小さくなれば小さくなり、大きくなれば大きくなる判別誤差と、前記判別関数の次元数に対し正の相関を有し、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みに応じて変動すると共に、正則化パラメータが乗じられた正則化項との和からなる誤差関数の値を最小にするように、所定の正則化パラメータについて、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを特定し、

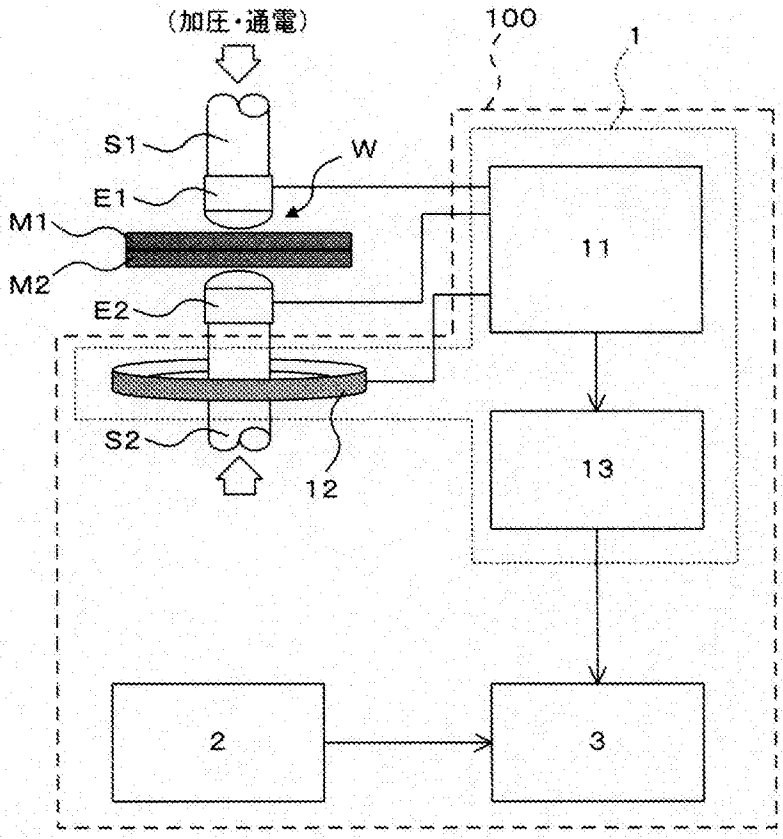
前記誤差関数の値を最小にするように特定した前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを、前記判別関数を構成する各特徴量の重みとして仮に採用したときにおいて、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値よりも、前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値の方が小さくなる前記一方の溶接品質を有する学習用溶接部の数と、前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記他方の溶接品質に対応する値との差の絶対値よりも、前記他方の溶接品質を有する学

習用溶接部の特徴情報を前記カーネル関数ｋ（ｘ，ｘ’）に入力したときの前記判別関数の出力値と前記一方の溶接品質に対応する値との差の絶対値の方が小さくなる前記他方の溶接品質を有する学習用溶接部の数とを加算した誤判別個数が、所定値以上の場合は、前記正則化パラメータを調整して、再度、前記誤差関数の値を最小にするように、前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを特定し、

前記誤判別個数が所定値未満の場合は、前記誤差関数の値を最小にするように特定した前記特徴情報を構成する各特徴量の重みを、前記判別関数を構成する各特徴量の重みとして採用することを確定して、前記判別関数を決定することを特徴とする溶接品質判別装置。

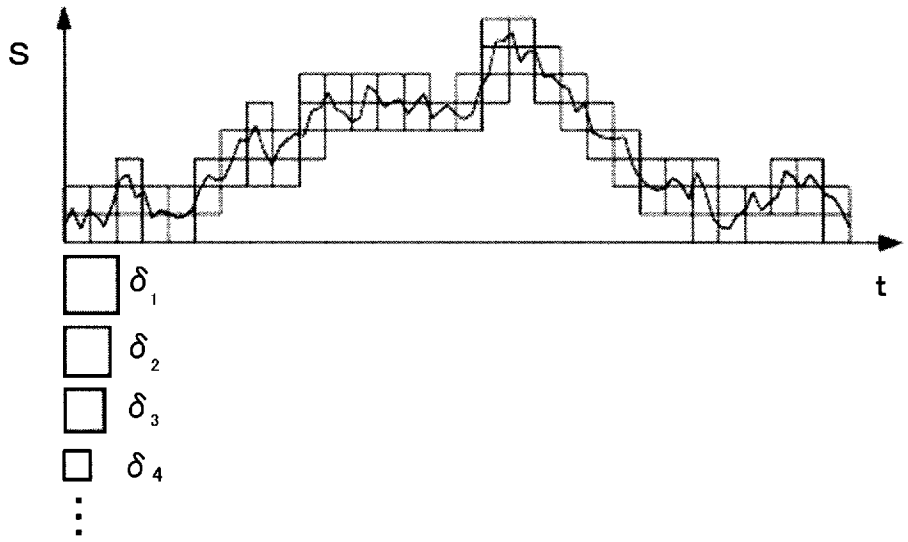
［請求項2］ 前記判別部は、判別した前記判別対象溶接部の溶接品質と共に、当該判別対象溶接部の特徴情報を示すデータ点を前記写像空間に写像した写像点と、前記写像空間を二分する前記判別境界との距離で表される当該判別対象溶接部の判別結果の確信度を算出することを特徴とする請求項１に記載の溶接品質判別装置。

[図1]

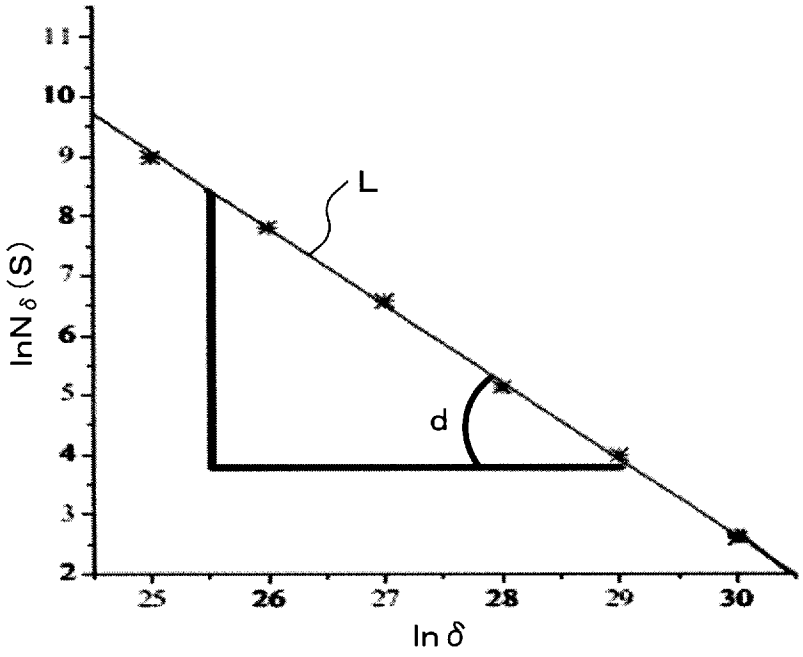


[図2]

(a)



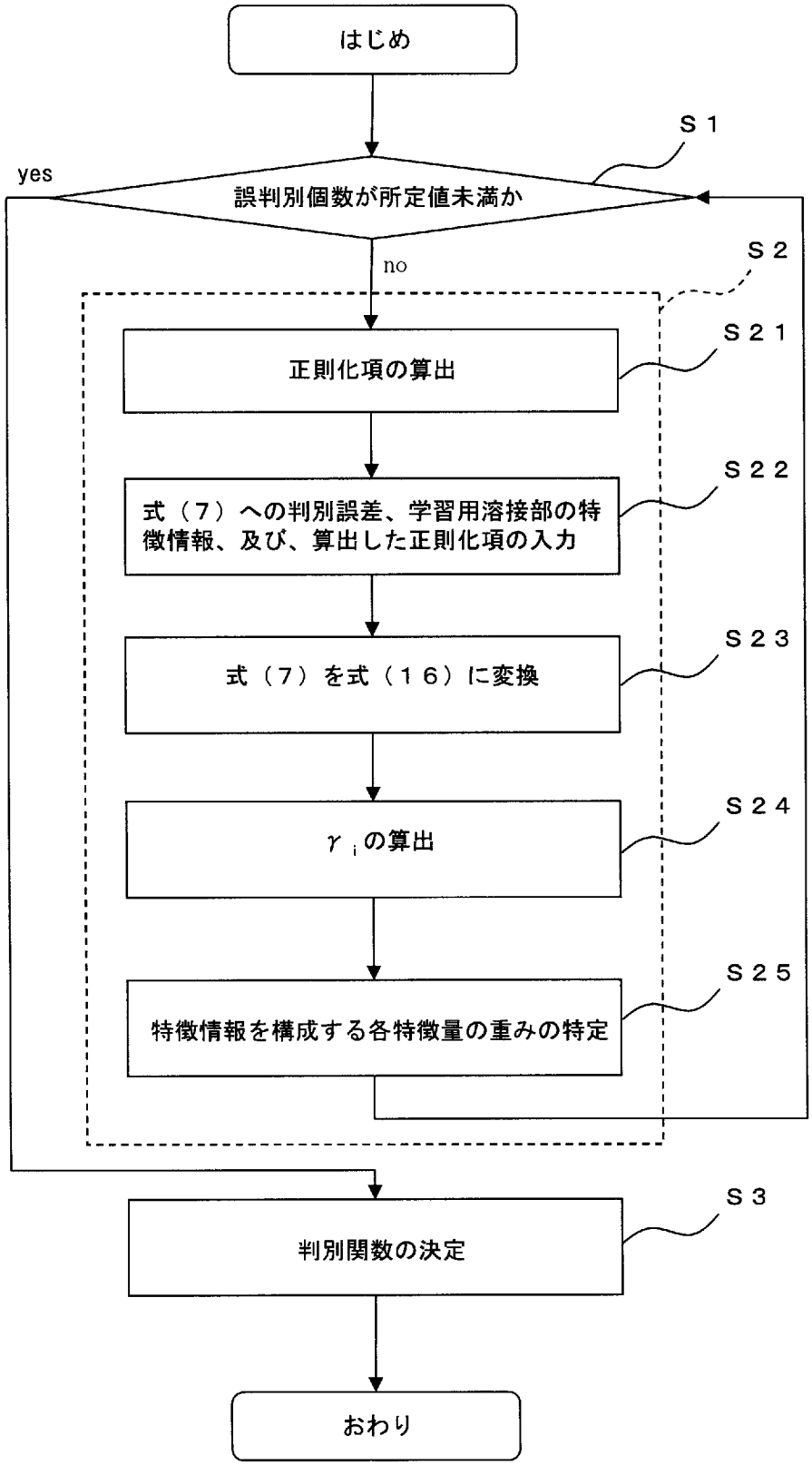
(b)



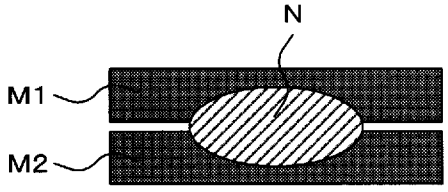
[図3]

識別子	特徴情報		溶接品質
	特徴量(溶接電流のﾌﾗｸﾀﾙ次元)	特徴量(溶接電圧のﾌﾗｸﾀﾙ次元)	
001	0.1	0.5	A
002	0.5	0.1	B
003	0.2	0.6	A
004	0.3	0.5	B
⋮	⋮	⋮	⋮

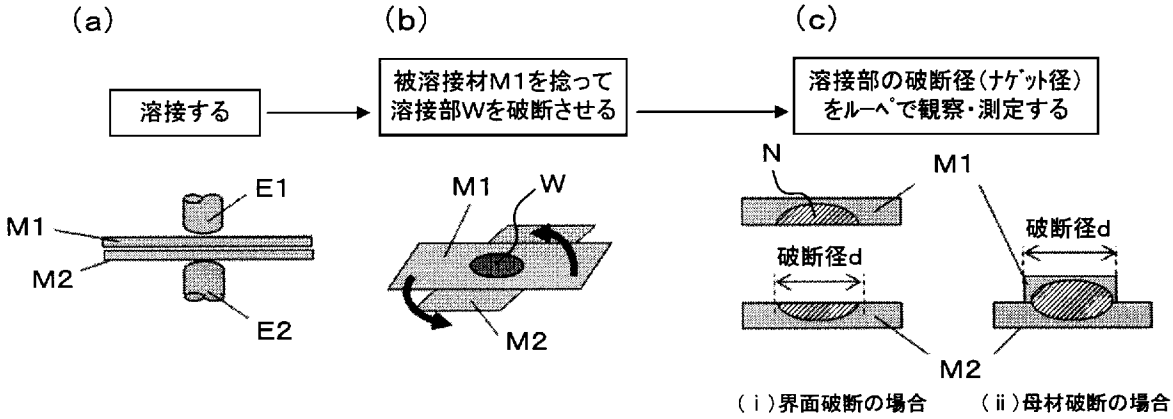
[図4]


はじめ
S１
yes
誤判別個数が所定値未満か
no
S２
S２１
正則化項の算出
S２２
式（７）への判別誤差、学習用溶接部の特徴情報、及び、算出した正則化項の入力
S２３
式（７）を式（１６）に変換
S２４
γ i の算出
S２５
特徴情報を構成する各特徴量の重みの特定
S３
判別関数の決定
おわり

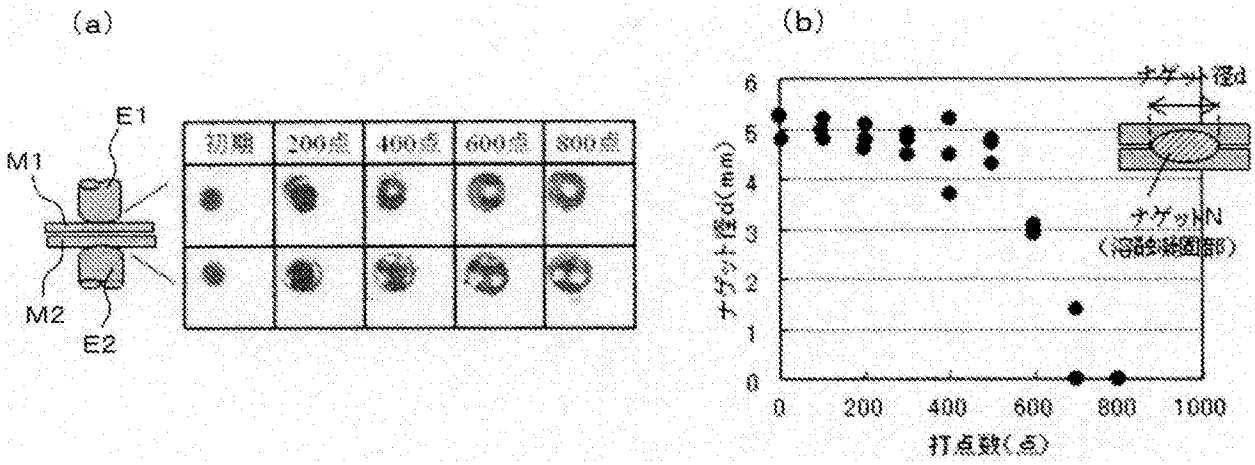
[図5]


N
M1
M2

[図6]



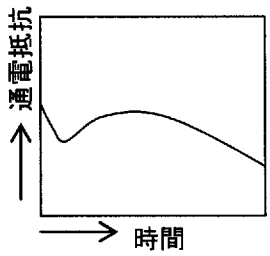
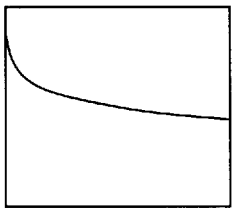
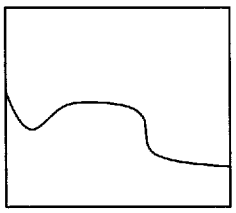
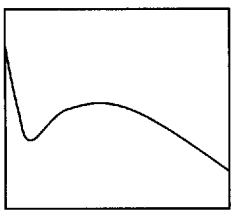
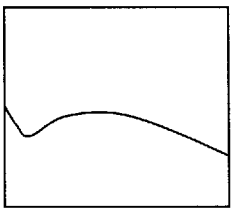
[図7]



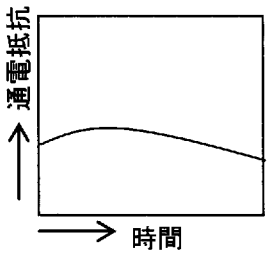
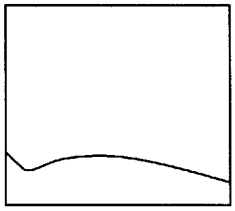
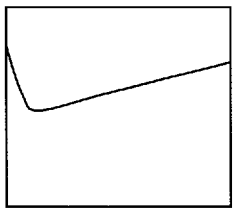
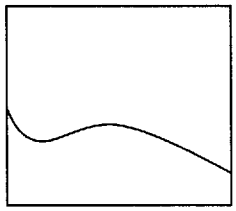
[図8]

被溶接材	判別結果	ナゲット径	確らしさ(良)	確らしさ(不良)
No. 1	良	良好	99%	1%
No. 2	良	2. 75	100%	0%
No. 3	良	2. 65	96%	4%
No. 4	良	2. 60	86%	14%
No. 5	良	2. 80	87%	13%
No. 6	良	良好	74%	26%
No. 7	良	2. 75	75%	25%
No. 8	良	良好	76%	24%
No. 9	良	2. 90	52%	48%
No. 10	良	3. 00	51%	49%
No. 11	良	良好	54%	46%
No. 12	良	2. 60	55%	45%
No. 13	良	2. 50	52%	48%
No. 14	良	2. 50	51%	49%
No. 15	良	2. 50	51%	49%
No. 16	良	2. 20	53%	47%
No. 17	不良	0	25%	75%
No. 18	不良	0	17%	83%
No. 19	不良	0	13%	87%

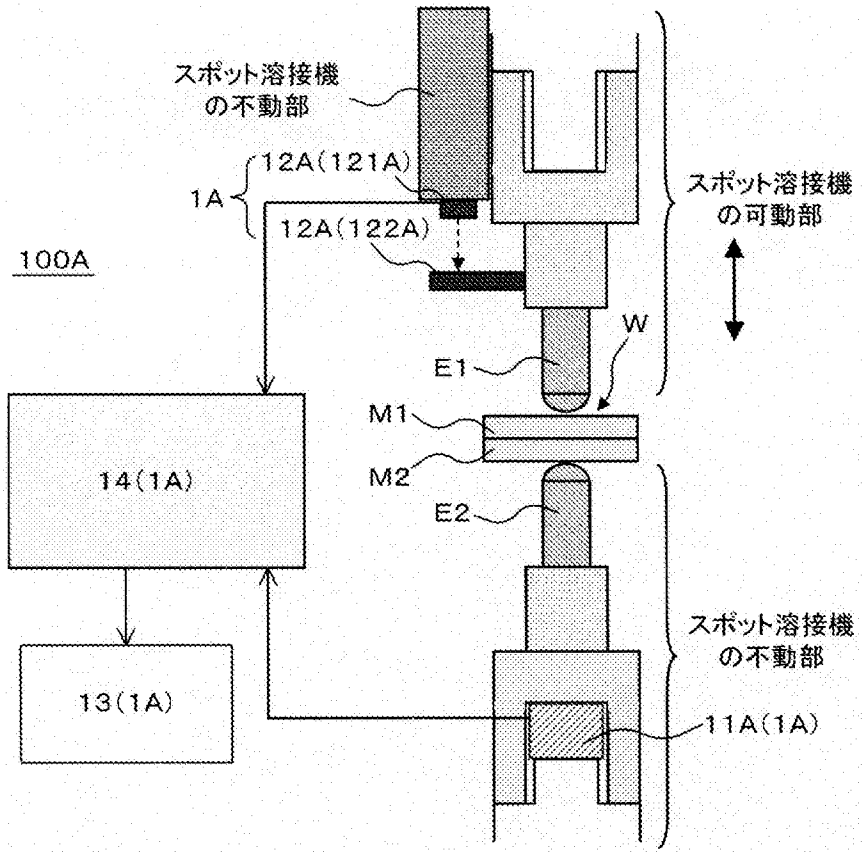
[図9]

区分例	信号波形の例	説明 （左記の信号波形が生じる例）
溶接良好1		溶接時間の途中で、被溶接材の間及び電極と被溶接材との間の接触面積拡大による通電抵抗の減少を、溶接部の温度上昇による通電抵抗の増加が上回り、ある時間にピークが現れる。
溶接良好2		溶接時間全体を通じ、被溶接材の間及び電極と被溶接材との間の接触面積拡大による通電抵抗の減少が、溶接部の温度上昇による通電抵抗の増加を上回り、ピークが現れない。
溶接良好3		溶接時間の途中で、被溶接材の間からチリが発生し、急激な接触面積の拡大・溶接部の厚みの減少が生じて、上記溶接良好1や2の信号波形の途中で、急激な通電抵抗の低下が生じる。
溶接良好4		溶接部へのごみの噛み込みや、電極の汚れにより、初期または全体の通電抵抗が上記溶接良好1や2の信号波形よりも高くなる。 被溶接材の間にギャップがあり、初期から中期の通電抵抗が上記溶接良好1や2の信号波形よりもやや高くなる。
溶接良好5		溶接位置が設定位置からずれて、近接する既溶接点との間隔が大きくなり、全体の通電抵抗が上記溶接良好1や2の信号波形よりも高くなる。 溶接位置が設定位置からずれて、近接する既溶接点との間隔が小さくなり、全体の通電抵抗が上記溶接良好1や2の信号波形よりも低くなる。

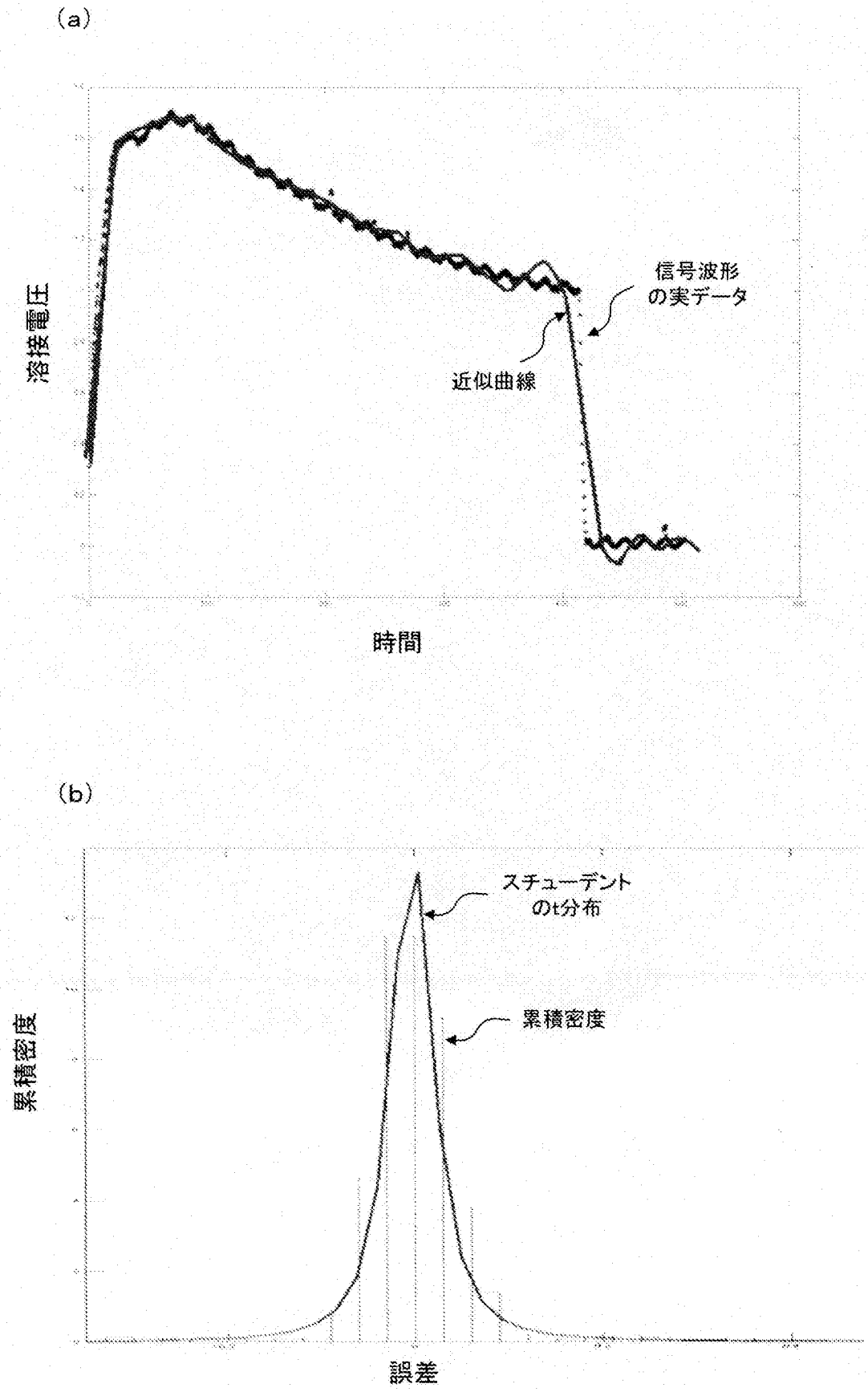
[図10]

区分例	特徴波形の例	説明（左記の波形が生じる例）
溶接不良1		電極先端形状の不良（先端径の拡大）により、被溶接材の間及び電極と被溶接材との間の接触面積が大きくなりすぎ、初期または全体の通電抵抗が低くなる。
溶接不良2		溶接位置の不良（設定位置からのずれ）により、近接する既溶接点との間隔が小さくなり、全体の通電抵抗が図9の溶接良好1や2の信号波形よりも低くなる。 溶接位置の不良または被溶接材の供給ミスにより、被溶接材の無い点や足りない点で通電し、全体の通電抵抗が図9の溶接良好1や2の信号波形よりも低くなる。
溶接不良3		溶接条件設定不良や装置エラーにより、電極への入力電流が小さく、被溶接材の間の接触面積が拡大しにくいために、後期の通電抵抗が高くなる。
溶接不良4		溶接条件設定不良や装置エラーにより、電極への入力電流が小さく、被溶接材の温度上昇が少ないために、後期または全体の通電抵抗が低くなる。

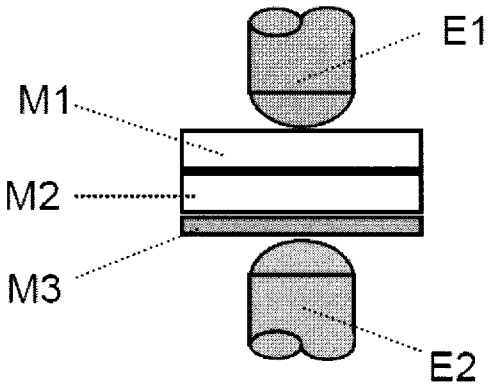
[図11]


スポット溶接機
の不動部
12A(121A)
1A
12A(122A)
100A
スポット溶接機
の可動部
W
E1
M1
M2
14(1A)
E2
スポット溶接機
の不動部
13(1A)
11A(1A)

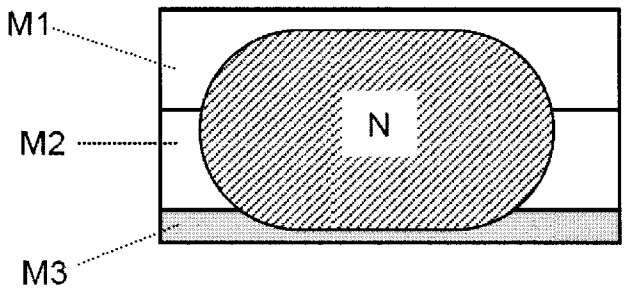
[図12]



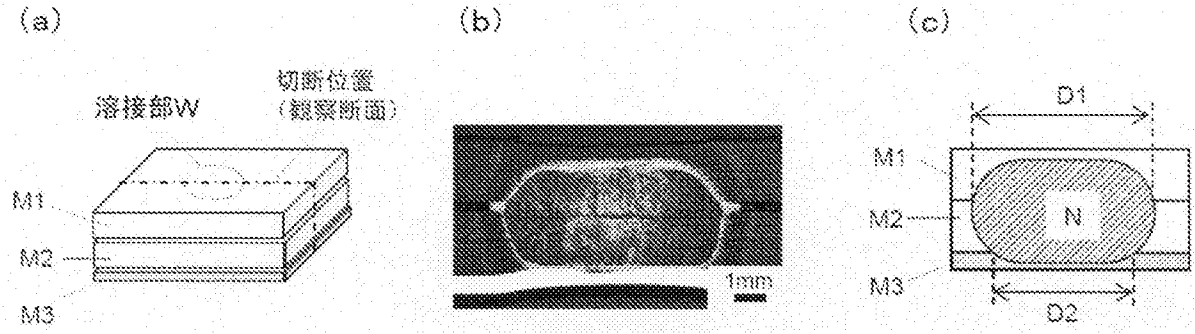
[図13]



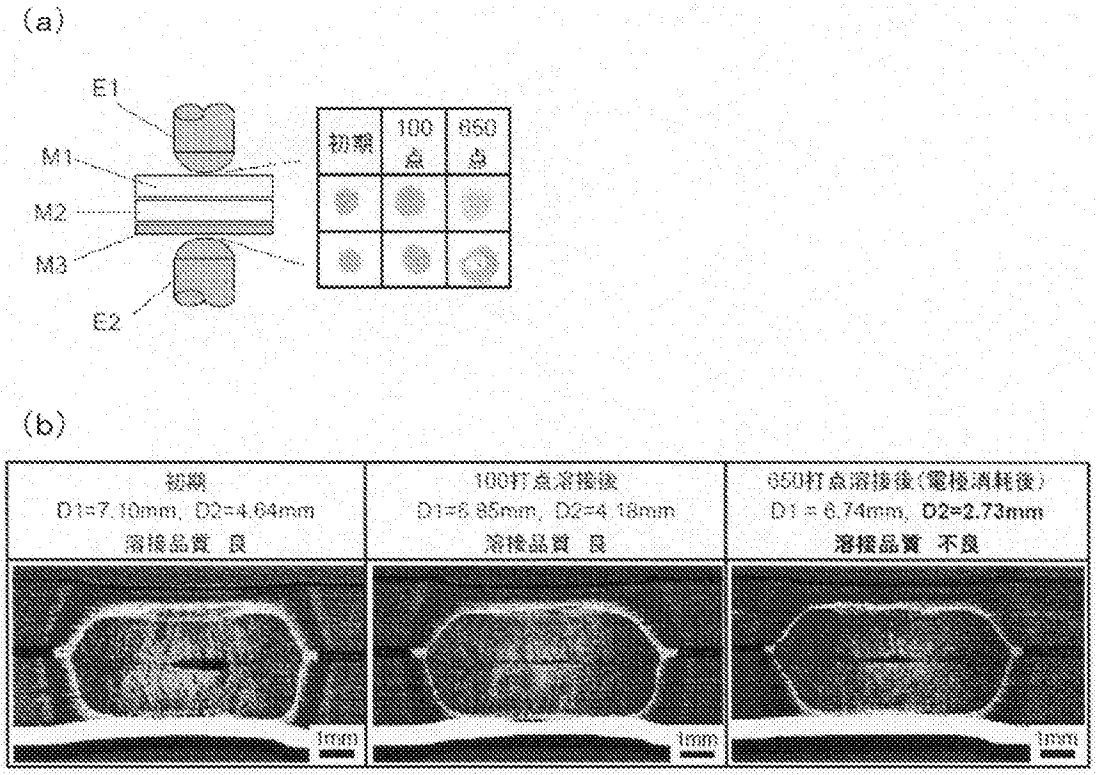
[図14]



[図15]



[図16]



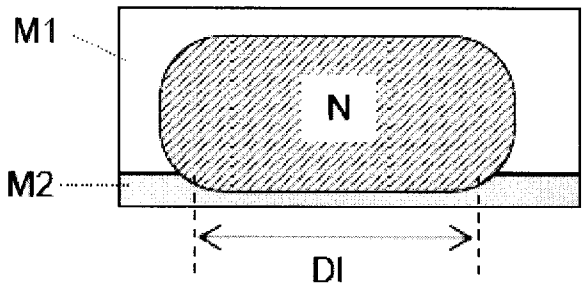
[図17]

被溶接材	判別結果	実際の品質	確らしさ(良)	確らしさ(不良)
No. 20	良	良	100%	0%
No. 21	良	良	100%	0%
No. 22	良	良	99%	1%
No. 23	良	良	99%	1%
No. 24	良	良	100%	0%
No. 25	良	良	100%	0%
No. 26	良	良	99%	1%
No. 27	良	良	100%	0%
No. 28	良	良	100%	0%
No. 29	良	良	100%	0%
No. 30	良	良	100%	0%
No. 31	良	良	100%	0%
No. 32	良	良	99%	1%
No. 33	良	良	99%	1%
No. 34	良	良	100%	0%
No. 35	良	良	100%	0%
No. 36	良	良	100%	0%
No. 37	良	良	86%	14%
No. 38	良	良	94%	6%
No. 39	良	良	100%	0%
No. 40	良	良	87%	13%
No. 41	良	良	100%	0%
No. 42	良	良	100%	0%
No. 43	良	良	99%	1%
No. 44	良	良	83%	17%
No. 45	良	良	95%	5%
No. 46	良	良	100%	0%
No. 47	良	良	100%	0%
No. 48	良	良	96%	4%
No. 49	良	良	100%	0%
No. 50	良	良	99%	1%
No. 51	良	良	100%	0%
No. 52	良	良	100%	0%
No. 53	良	不良	81%	19%
No. 54	良	良	100%	0%
No. 55	不良	不良	59%	41%
No. 56	不良	不良	63%	37%
No. 57	不良	良	65%	35%
No. 58	不良	不良	65%	35%
No. 59	不良	不良	54%	46%
No. 60	不良	良	65%	35%
No. 61	不良	不良	54%	46%
No. 62	不良	不良	54%	46%
No. 63	良	良	78%	22%
No. 64	不良	不良	52%	48%
No. 65	不良	不良	57%	43%
No. 66	不良	不良	51%	49%
No. 67	不良	良	68%	32%
No. 68	不良	不良	69%	31%
No. 69	良	不良	79%	21%
No. 70	良	良	80%	20%
No. 71	不良	良	61%	39%
No. 72	良	良	77%	23%
No. 73	不良	不良	66%	34%
No. 74	不良	不良	64%	36%
No. 75	良	良	93%	7%
No. 76	良	良	76%	24%
No. 77	不良	不良	51%	49%
No. 78	良	良	97%	3%
No. 79	不良	不良	54%	46%
No. 80	良	良	93%	7%
No. 81	良	不良	77%	23%
No. 82	良	良	76%	24%
No. 83	良	良	94%	6%
No. 84	不良	不良	75%	25%

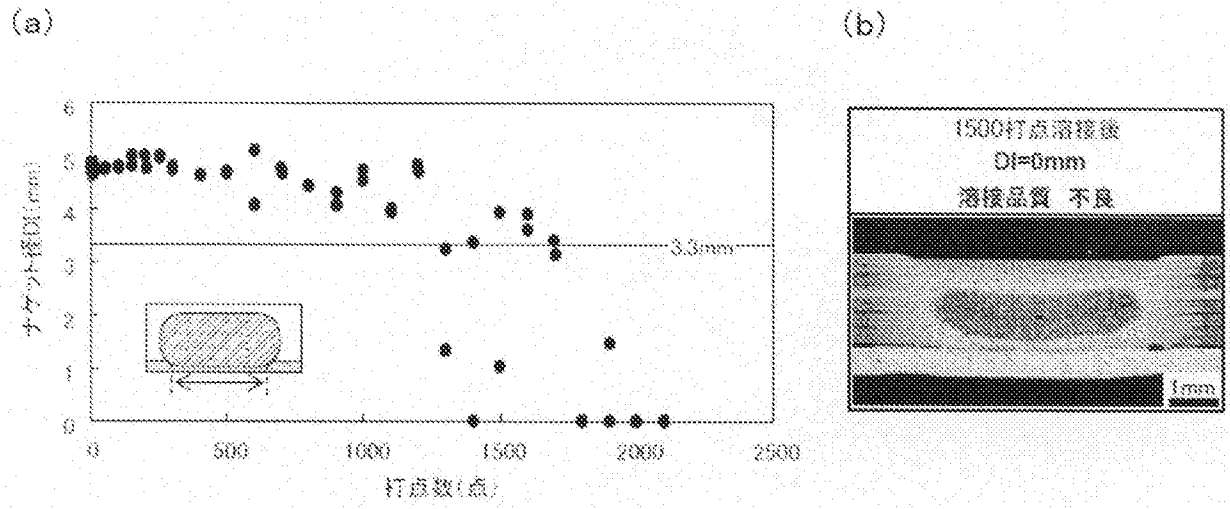
[図18]

被溶接材	判別結果	実際の品質	確らしさ(良)	確らしさ(不良)
No. 20	良	良	97%	3%
No. 21	良	良	98%	2%
No. 22	良	良	98%	2%
No. 23	良	良	97%	3%
No. 24	良	良	98%	2%
No. 25	良	良	97%	3%
No. 26	良	良	98%	2%
No. 27	良	良	97%	3%
No. 28	良	良	98%	2%
No. 29	良	良	98%	2%
No. 30	良	良	99%	1%
No. 31	良	良	99%	1%
No. 32	良	良	99%	1%
No. 33	良	良	99%	1%
No. 34	良	良	100%	0%
No. 35	良	良	99%	1%
No. 36	良	良	99%	1%
No. 37	良	良	99%	1%
No. 38	良	良	99%	1%
No. 39	良	良	99%	1%
No. 40	良	良	99%	1%
No. 41	良	良	99%	1%
No. 42	良	良	99%	1%
No. 43	良	良	99%	1%
No. 44	良	良	99%	1%
No. 45	良	良	98%	2%
No. 46	良	良	99%	1%
No. 47	良	良	99%	1%
No. 48	良	良	99%	1%
No. 49	良	良	98%	2%
No. 50	良	良	99%	1%
No. 51	良	良	98%	2%
No. 52	良	良	98%	2%
No. 53	良	不良	98%	2%
No. 54	良	良	99%	1%
No. 55	良	不良	78%	22%
No. 56	不良	不良	75%	25%
No. 57	不良	良	64%	36%
No. 58	不良	不良	67%	33%
No. 59	不良	不良	70%	30%
No. 60	不良	良	71%	29%
No. 61	不良	不良	68%	32%
No. 62	不良	不良	67%	33%
No. 63	不良	良	68%	32%
No. 64	不良	不良	70%	30%
No. 65	不良	不良	64%	36%
No. 66	不良	不良	64%	36%
No. 67	不良	良	66%	34%
No. 68	不良	不良	68%	32%
No. 69	不良	不良	64%	36%
No. 70	不良	良	63%	37%
No. 71	不良	良	63%	37%
No. 72	不良	良	71%	29%
No. 73	不良	不良	68%	32%
No. 74	不良	不良	61%	39%
No. 75	良	良	76%	24%
No. 76	不良	良	64%	36%
No. 77	不良	不良	68%	32%
No. 78	不良	良	74%	26%
No. 79	不良	不良	64%	36%
No. 80	不良	良	66%	34%
No. 81	不良	不良	59%	41%
No. 82	不良	良	57%	43%
No. 83	不良	良	71%	29%
No. 84	不良	不良	70%	30%

[図19]


M1
N
M2
DI

[図20]


(a)
(b)
3.3mm
0
500
1000
1500
2000
2500
打点数(点)
1500打点溶接後
DI=0mm
溶接品質 不良
1mm

[図21]

被溶接材	判別結果	実際の品質	確らしさ(良)	確らしさ(不良)
No. 85	良	良	99%	1%
No. 86	良	良	100%	0%
No. 87	良	良	100%	0%
No. 88	良	良	100%	0%
No. 89	良	良	100%	0%
No. 90	良	良	100%	0%
No. 91	良	良	100%	0%
No. 92	良	良	100%	0%
No. 93	良	良	100%	0%
No. 94	良	良	100%	0%
No. 95	良	良	100%	0%
No. 96	良	良	100%	0%
No. 97	良	良	100%	0%
No. 98	良	良	100%	0%
No. 99	良	良	100%	0%
No. 100	良	良	99%	1%
No. 101	不良	良	66%	34%
No. 102	良	良	100%	0%
No. 103	良	良	94%	6%
No. 104	不良	不良	51%	49%
No. 105	不良	不良	57%	43%
No. 106	良	良	100%	0%
No. 107	良	良	100%	0%
No. 108	不良	不良	63%	37%
No. 109	良	良	99%	1%
No. 110	良	不良	85%	15%
No. 111	良	良	90%	10%
No. 112	良	良	100%	0%
No. 113	不良	良	51%	49%
No. 114	不良	不良	51%	49%
No. 115	良	良	100%	0%
No. 116	良	良	100%	0%
No. 117	良	良	100%	0%
No. 118	良	良	100%	0%
No. 119	良	良	100%	0%
No. 120	良	良	99%	1%
No. 121	良	良	99%	1%
No. 122	良	良	99%	1%
No. 123	良	良	100%	0%
No. 124	良	良	100%	0%
No. 125	良	良	100%	0%
No. 126	良	良	100%	0%
No. 127	良	良	100%	0%
No. 128	良	良	100%	0%
No. 129	良	良	100%	0%
No. 130	良	良	100%	0%

[図22]

被溶接材	判別結果	実際の品質	確らしさ(良)	確らしさ(不良)
No. 85	良	良	100%	0%
No. 86	良	良	100%	0%
No. 87	良	良	100%	0%
No. 88	良	良	100%	0%
No. 89	良	良	100%	0%
No. 90	良	良	100%	0%
No. 91	良	良	100%	0%
No. 92	良	良	99%	1%
No. 93	良	良	100%	0%
No. 94	良	良	99%	1%
No. 95	良	良	100%	0%
No. 96	良	良	100%	0%
No. 97	良	良	100%	0%
No. 98	良	良	100%	0%
No. 99	良	良	100%	0%
No. 100	良	良	98%	2%
No. 101	良	良	86%	14%
No. 102	良	良	99%	1%
No. 103	良	良	90%	10%
No. 104	不良	不良	52%	48%
No. 105	不良	不良	55%	45%
No. 106	良	良	99%	1%
No. 107	良	良	99%	1%
No. 108	良	不良	86%	14%
No. 109	良	良	96%	4%
No. 110	不良	不良	59%	41%
No. 111	不良	良	68%	32%
No. 112	不良	良	59%	41%
No. 113	良	良	94%	6%
No. 114	良	不良	93%	7%
No. 115	良	良	94%	6%
No. 116	良	良	100%	0%
No. 117	良	良	100%	0%
No. 118	良	良	99%	1%
No. 119	良	良	100%	0%
No. 120	良	良	100%	0%
No. 121	良	良	100%	0%
No. 122	良	良	100%	0%
No. 123	良	良	100%	0%
No. 124	良	良	100%	0%
No. 125	良	良	100%	0%
No. 126	良	良	100%	0%
No. 127	良	良	100%	0%
No. 128	良	良	100%	0%
No. 129	良	良	100%	0%
No. 130	良	良	100%	0%

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/073379

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K11/25(2006.01)i, *B23K31/00*(2006.01)i, *G06T3/00*(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)
B23K11/25, B23K31/00, G06T3/00

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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 2009-186243 A (Nippon Steel Corp.), 20 August 2009 (20.08.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1,2
Y	JP 2008-287437 A (Canon Inc.), 27 November 2008 (27.11.2008), entire text; all drawings & US 2008/0285861 A1	1,2
Y	WO 2008/056638 A1 (Fujifilm RI Pharma Co., Ltd.), 15 May 2008 (15.05.2008), entire text; all drawings & US 2010/0183202 A1	1,2

☒ 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	Date of mailing of the international search report
10 January, 2012 (10.01.12)	24 January, 2012 (24.01.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/073379

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-214380 A (Osaka University), 30 September 2010 (30.09.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1,2

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／０７３３７９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K11/25(2006.01)i, B23K31/00(2006.01)i, G06T3/00(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K11/25, B23K31/00, G06T3/00

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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 2009-186243 A (新日本製鐵株式会社) 2009.08.20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	１，２
Y	JP 2008-287437 A (キヤノン株式会社) 2008.11.27, 全文, 全図 & US 2008/0285861 A1	１，２
Y	WO 2008/056638 A1 (富士フイルムＲＩファーマ株式会社) 2008.05.15, 全文, 全図 & US 2010/0183202 A1	１，２

☑　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 １０．０１．２０１２	国際調査報告の発送日 ２４．０１．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 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）　３Ｐ　９１４７ 中島　昭浩 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６４

Ｃ（続き）．　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 2010-214380 A (国立大学法人大阪大学) 2010.09.30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	１，２