

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7036658号
(P7036658)

(45)発行日 令和4年3月15日(2022.3.15)

(24)登録日 令和4年3月7日(2022.3.7)

(51)国際特許分類
B 2 3 K 9/095(2006.01)F I
B 2 3 K 9/095 5 1 5 A
B 2 3 K 9/095 5 1 0 D

請求項の数 19 (全30頁)

(21)出願番号 特願2018-83950(P2018-83950)
 (22)出願日 平成30年4月25日(2018.4.25)
 (65)公開番号 特開2019-188437(P2019-188437)
 A)
 (43)公開日 令和1年10月31日(2019.10.31)
 審査請求日 令和3年2月22日(2021.2.22)

(73)特許権者 000006208
 三菱重工業株式会社
 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
 (74)代理人 110000785
 誠真IP特許業務法人
 箕井祐介
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱
 重工業株式会社内
 立石浩毅
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱
 重工業株式会社内
 (72)発明者 周田直樹
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱
 重工業株式会社内
 (72)発明者 鴨和彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 溶接制御装置、溶接制御方法、および溶接制御プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御装置であって、少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定する実位置決定部と、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行する位置制御部と、を備え。_

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む

ことを特徴とする溶接制御装置。

【請求項 2】

前記目標位置決定部は、

前記溶接条件を取得する溶接条件取得部と、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件と該過去溶接条件下で設定された前記実位置である過去位置との関係性に基づいて、前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する条件ベース目標決定部と、を有することを特徴とする請求項1に記載の溶接制御装置。

【請求項 3】

前記条件ベース目標決定部は、前記過去溶接条件と、該過去溶接条件下で設定された前記過去位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデルを用いて、前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定することを特徴とする請求項2に記載の溶接制御装置。

10

【請求項 4】

前記目標位置決定部は、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件の下で行われた前記溶接時における過去溶接特徴量と、前記過去溶接特徴量の相対位置である過去位置との関係性に基づいて、前記溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する位置ベース目標決定部を有することを特徴とする請求項1に記載の溶接制御装置。

【請求項 5】

前記目標位置決定部は、前記過去溶接特徴量と、前記過去位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデルを用いて、前記溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定することを特徴とする請求項4に記載の溶接制御装置。

20

【請求項 6】

前記目標位置決定部は、前記学習モデルを用いて作成された、前記溶接特徴量に対する前記目標位置を求めるための関数またはテーブルを用いて、前記溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定することを特徴とする請求項3または5に記載の溶接制御装置。

【請求項 7】

前記目標位置と前記実位置との差異に基づいて、前記位置制御対象の位置制御の要否を判定する位置制御要否判定部を、さらに備え、

前記位置制御部は、前記位置制御要否判定部による判定結果に応じて、前記位置制御対象の位置制御を実行することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

30

【請求項 8】

前記位置制御要否判定部は、前記実位置と前記目標位置との差異が、過去に行われた溶接時の過去溶接特徴量と、該過去溶接特徴量に関連する前記位置制御対象の操作有無とが対応付けられた複数の操作履歴データに基づいて定められた所定の範囲を逸脱した場合に、前記位置制御対象の位置制御を必要と判定することを特徴とする請求項7に記載の溶接制御装置。

【請求項 9】

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御装置であって、少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定する実位置決定部と、

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行する位置制御部と、を備え、

前記実位置決定部は、

前記撮影画像を撮像する撮影部から前記撮影画像を取得する撮影画像取得部と、

40

50

所定の制御周期毎に、前記撮影画像から前記溶接特徴量を検出する溶接特徴量検出部と、前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出する算出部と、を有するとともに、
前記実位置決定部は、

前記溶接特徴量検出部による前記制御周期毎の前記溶接特徴量の検出異常を判定する検出異常判定部を、さらに有し、

前記検出異常が生じていないと判定された前記制御周期である正常制御周期では、該正常制御周期に取得された前記撮影画像から検出される前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出し、

前記検出異常が生じたと判定された前記制御周期である異常制御周期では、該異常制御周期より前の前記正常制御周期に取得された前記撮影画像から検出される前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出する

ことを特徴とする溶接制御装置。

【請求項 10】

前記溶接特徴量検出部は、前記制御周期毎に取得される複数の前記撮影画像から前記溶接特徴量を検出するよう構成されており、

前記検出異常判定部は、前記制御周期毎に取得される前記複数の撮影画像から前記溶接特徴量が検出されない場合に前記検出異常が生じたと判定することを特徴とする請求項9に記載の溶接制御装置。

【請求項 11】

前記実位置決定部は、

前記異常制御周期では、該異常制御周期から前記溶接特徴量に応じて定められた所定期間だけ前の期間内に前記正常制御周期が存在しない場合に、該異常制御周期における前記実位置の決定を行わないことを特徴とする請求項10に記載の溶接制御装置。

【請求項 12】

前記検出異常判定部は、前記異常制御周期の後の最初の前記正常制御周期までの期間が、前記溶接特徴量に応じて定められた所定期間を超えた場合に通知することを特徴とする請求項9～11のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

【請求項 13】

前記検出異常判定部は、前記溶接対象物の溶接を停止させるための命令を溶接実行装置に送信することを特徴とする請求項12に記載の溶接制御装置。

【請求項 14】

前記溶接の不具合事象を検出した場合に、前記目標位置決定部によって決定された前記目標位置を補正する目標位置補正部を、さらに備えることを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

【請求項 15】

前記溶接特徴量は、前記ワイヤ位置および前記溶融池の溶融池位置を含み、

前記位置制御対象は、前記溶接ワイヤであることを特徴とする請求項1～14のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

【請求項 16】

前記溶接条件は、電極電流、電極電圧、溶接速度、前記溶接ワイヤの単位時間当たりの供給量、開先幅のうちの少なくとも1つの条件を含むことを特徴とする請求項1～15のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

【請求項 17】

前記溶接条件は複数の条件を含み、

前記目標位置決定部は、前記溶接条件のうちの少なくとも2つの前記条件を1つに集約した集約条件を含む前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する請求項1～16のいずれか1項に記載の溶接制御装置。

【請求項 18】

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御方法であって、

10

20

30

40

50

少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定するステップと、

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定するステップと、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行するステップと、を備え、

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む

ことを特徴とする溶接制御方法。

【請求項 19】

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御プログラムであって、

コンピュータに、

少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定する実位置決定部と、

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行する位置制御部と、を実現させるとともに、

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む

溶接制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、アーク溶接の自動化のための溶接制御に関する。

【背景技術】

【0002】

溶接ワイヤを溶融池に連続的に供給しながら非消耗式電極を用いて施工する自動アーク溶接では、溶接対象物の開先（壁面）と電極との相対位置、溶接ワイヤが溶融池に挿入される位置と電極および溶融池との相対位置を適正に保つ必要がある。例えば、原子力発電プラント機器の溶接部といった高い溶接品質を確保する必要がある場合などには、溶接士は、直接またはカメラを用いて撮影した撮影画像を通して自動溶接施工を監視し、溶接ワイヤや電極が適正位置からずれた場合にはその調整のための介入操作を実施する。そして、このような溶接士による監視調整作業を自動で行うことが可能となれば、溶接作業の無人

10

20

30

40

50

化など、溶接士技能への依存の低減が図れる。

【0003】

上記のような監視調整作業の自動化のための技術としては、例えば特許文献1がある。特許文献1には、自動溶接装置は、溶接部分の画像を撮像し、画像の輝度差に基づいて溶融池の位置を求める。そして、この自動溶接装置は、開先内における溶融池の左端位置と開先表層部における溶融池の左端位置との差、及び、開先内における溶融池の右端位置と開先表層部における溶融池の右端位置との差に基づいて、左右方向における溶接ワイヤの先端位置を調節し、開先表層部における溶接線倣いを制御することが開示されている。なお、特許文献2には、アーク溶接に関する物理量と溶接条件との関係性を学習することにより、適切な溶接条件を自動的に作成することが開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第3408749号公報

特開2017-30014号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の技術によれば、消耗式電極を用いる自動溶接装置にて、溶接線倣いを行って溶接を高精度に行うことができるが、非消耗式電極を用いる自動溶接装置では、電極と溶接ワイヤとが別々に設けられている点で制御がより複雑になる。

20

【0006】

この点、本発明者らは、カメラなどで撮影した溶接時の画像から電極、溶接ワイヤ、開先、溶融池の相対関係を認識し、それぞれの相対関係について目標位置に対するずれ量を求め、ずれ量が例えばゼロとなるように、電極と溶接ワイヤの位置制御を行う手法を考えた。この際、自動アーク溶接では、溶接条件（ワイヤ供給量、溶接速度、溶接電流など）により溶接時の入熱状態が変化すると共に、入熱状態に応じて溶接状態が変化する。よって、溶接条件の違いに応じて、上記の目標位置を決定する必要があることを見出した。例えば、溶接ワイヤと溶融池の相対距離が一定となるよう制御してしまうと、溶接条件の変化により溶融池が小さくなったり、溶融池の変化量に応じて溶接ワイヤを電極に近づける方向に移動させることになるが、この場合には、電極と溶接ワイヤとが接触する虞がある。

30

【0007】

上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、溶接対象物への溶接施工を溶接条件に応じて制御する溶接制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

（1）本発明の少なくとも一実施形態に係る溶接制御装置は、

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御装置であって、少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定する実位置決定部と、

40

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行する位置制御部と、を備える。

【0009】

上記（1）の構成によれば、溶接条件に応じて、溶接ワイヤの位置または電極の位置などの位置制御対象の目標（目標位置）を決定する。そして、溶接実行装置による溶接状況を撮影画像の画像処理を通して得られる実際の位置制御対象の位置が目標になるように、溶

50

接実行装置に対する制御を行う。例えば位置制御対象の実位置は、撮影画像から検出される実際の位置であって、例えば撮影画像に設定される座標系における位置（絶対位置）や、位置制御対象の位置となるワイヤ位置、電極位置の、他の溶接特徴量（後述する溶融池位置や開先位置など）との相対位置などである。これによって、溶接士が行う場合と同等の溶接品質のアーク溶接を自動で行うことができ、溶接士技能への依存を低減した自動溶接を実現することができる。

【 0 0 1 0 】

（ 2 ）幾つかの実施形態では、上記（ 1 ）の構成において、

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

10

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む。

【 0 0 1 1 】

上記（ 2 ）の構成によれば、溶接条件に応じて、例えば溶接ワイヤの位置と溶融池の位置との相対位置などの溶接特徴量に含まれるいずれか 2 つ相対位置の目標（目標相対位置）を決定する。そして、溶接実行装置による溶接状況を撮影画像の画像処理を通して得られる実際の相対位置（実相対位置）が目標になるように、溶接実行装置に対する制御を行う。これによって、溶接士が行う場合と同等の溶接品質のアーク溶接を自動で行うことができ、溶接士技能への依存を低減した自動溶接を実現することができる。

20

【 0 0 1 2 】

（ 3 ）幾つかの実施形態では、上記（ 1 ）～（ 2 ）の構成において、

前記目標位置決定部は、

前記溶接条件を取得する溶接条件取得部と、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件と該過去溶接条件下で設定された前記実位置である過去位置との関係性に基づいて、前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する条件ベース目標決定部と、を有する。

30

上記（ 3 ）の構成によれば、溶接士が例えば溶接ワイヤなどの位置制御対象を操作した結果として得られる、位置制御対象の絶対位置、あるいは溶接ワイヤと溶融池との相対位置といった溶接特徴量のうちのいずれか 2 つ相対位置などとなるの実位置の実績と、その際の溶接条件との対応関係を蓄積して学習（機械学習）すると共に、この学習結果を用いて、溶接条件から直接、目標位置を求める。これによって、目標位置を適切に決定することができる。また、こうして決定された目標位置を位置制御に用いることにより、溶接士が行う場合と同等の溶接品質を実現することができる。

【 0 0 1 3 】

（ 4 ）幾つかの実施形態では、上記（ 3 ）の構成において、

前記条件ベース目標決定部は、前記過去溶接条件と、該過去溶接条件下で設定された前記過去位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデルを用いて、前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する。

40

上記（ 4 ）の構成によれば、機械学習を通して作成される学習モデルを用いて、溶接条件から、それに応じた目標位置を適切に決定することができる。

【 0 0 1 4 】

（ 5 ）幾つかの実施形態では、上記（ 2 ）の構成において、

前記目標位置決定部は、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件の下で行われた前記溶接時における過去溶接特徴量と、前記過去溶接特徴量の相対位置である過去位置との関係性に基づいて、前記過去溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する位置ベース目標決定部を有する。

50

【0015】

溶接条件が変われば溶接時の入熱条件（入熱状態）が変わるなどするため、溶接条件に応じて適切な溶接ワイヤや電極といった位置制御対象の位置が変わる。溶接士の操作は、このような溶接条件に応じて異なる溶接施工状態の視覚情報を主体に溶接品質を確保するための特徴点（溶接ワイヤや溶融池の位置など）を認識し、経験に基づきワイヤ位置や電極などを操作することで、高品質な溶接を達成している。このような知見の下、溶接士が行った操作には溶接条件の違いが反映されており、溶接条件に代えて、溶接士の操作履歴から目標位置を求めることが可能と考えた。

【0016】

上記（5）の構成によれば、過去において、溶接士が溶接ワイヤなどの位置制御対象を操作した結果として得られる溶融池の位置および溶接ワイヤの位置などの溶接特徴量の実績と、その結果から得られる相対位置の実績との関係性を学習すると共に、この学習結果に基づいて、溶融池の位置および溶接ワイヤの位置などの溶接特徴量から目標相対位置を求める。これによって、目標相対位置を適切に決定することができる。また、未だ経験していない溶接条件に対しても、容易に対応することができる。また、こうして決定された目標相対位置を位置制御に用いることにより、溶接士が行う場合と同等の溶接品質を実現することができる。

10

【0017】

（6）幾つかの実施形態では、上記（5）の構成において、前記目標位置決定部は、前記過去溶接特徴量と、前記過去位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデルを用いて、前記溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する。

20

上記（6）の構成によれば、機械学習を通して作成される学習モデルを用いて、溶接特徴量から、それに応じた目標位置を適切に決定することができる。

【0018】

（7）幾つかの実施形態では、上記（4）、（6）の構成において、前記目標位置決定部は、前記学習モデルを用いて作成された、前記溶接条件または前記溶接特徴量に対応する前記目標位置を求めるための目標値変換手段を用いて、前記溶接条件または前記溶接特徴量から前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する。

上記（7）の構成によれば、計算量を抑制しつつ、溶接条件に応じた目標相対位置を算出することができる。

30

【0019】

（8）幾つかの実施形態では、上記（2）～（7）の構成において、前記目標位置と前記実位置との差異に基づいて、前記位置制御対象の位置制御の要否を判定する位置制御要否判定部を、さらに備え、前記位置制御部は、前記位置制御要否判定部による判定結果に応じて、前記位置制御対象の位置制御を実行する。

【0020】

上記（8）の構成によれば、目標位置と実位置との差異に基づいて、位置制御対象の位置制御を実行する。溶接士の操作を解析すると、溶接士は、経験に基づいて、例えば溶接時に溶接ワイヤと溶融池との相対位置の差異が大きくなり過ぎた場合など、目標相対位置と実相対位置との差異が所定の範囲を逸脱した場合には、その差異を修正するための操作を行っている。よって、目標位置と実位置との差異が所定の範囲に収まっている場合には、目標位置と実位置とに差異が生じている場合であっても溶接ワイヤの位置制御を実行しないようにする（制御不感帯を設定する）。これによって、少ない操作回数で溶接士と同等の溶接を行うことができる。

40

【0021】

（9）幾つかの実施形態では、上記（8）の構成において、前記位置制御要否判定部は、前記実位置と前記目標位置との差異が、過去に行われた溶接時の過去溶接特徴量と、該過去溶接特徴量に関連する前記位置制御対象の操作有無とが対

50

応付けられた複数の操作履歴データに基づいて定められた所定の範囲を逸脱した場合に、前記位置制御対象の位置制御を必要と判定する。

上記(9)の構成によれば、位置制御対象の位置制御の実行の要否を判定するための範囲を、溶接土が行った溶接ワイヤの位置の操作有無と、過去溶融池位置および過去ワイヤ位置との関係といった、位置制御対象と過去溶接特徴量との関係に基づいて決定する。これによって、上記の閾値を適切に設定することができ、少ない操作回数で溶接土と同等の溶接を自動で行うことができる。

【0022】

(10) 幾つかの実施形態では、上記(1)～(9)の構成において、前記実位置決定部は、

前記撮影画像を撮像する撮影部から前記撮影画像を取得する撮影画像取得部と、所定の制御周期毎に、前記撮影画像から前記溶接特徴量を検出する溶接特徴量検出部と、前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出する算出部と、を有する。

【0023】

上記(10)の構成によれば、溶接時の溶接箇所を撮影する撮影部から撮影画像を取得すると共に、所定の制御周期毎に取得した撮影画像(1又は複数)を画像処理することにより検出した溶接特徴量に基づいて実位置を算出する。これによって、溶接時の撮影画像を逐次画像処理することにより、実位置を逐次算出することができる。

【0024】

(11) 幾つかの実施形態では、上記(10)の構成において、前記実位置決定部は、

前記溶接特徴量検出部による前記制御周期毎の前記溶接特徴量の検出異常を判定する検出異常判定部を、さらに有し、

前記検出異常が生じていないと判定された前記制御周期である正常制御周期では、該正常制御周期に取得された前記撮影画像から検出される前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出し、

前記検出異常が生じたと判定された前記制御周期である異常制御周期では、該異常制御周期より前の前記正常制御周期に取得された前記撮影画像から検出される前記溶接特徴量に基づいて前記実位置を算出する。

【0025】

例えば、溶接条件により定まる入熱量が小さすぎると撮影画像が暗くなり過ぎてしまい、逆に、入熱量が大きすぎると、撮影画像が明るくなり過ぎてしまうなどに起因して、画像処理によって溶接特徴量が検出できなかったり、間違って検出されたりするなど、溶接特徴量が適切に検出できない場合が有り得る。

【0026】

上記(11)の構成によれば、撮影画像からの溶接特徴量の検出が適切になされなかつた場合には、例えば直前などの正常制御周期に取得された撮影画像から検出した溶接特徴量(代替特徴量)を代わりに用いて実位置を算出するなどして、検出異常が生じていないと判定されていた撮影画像に基づく実位置を用いるようにする。これによって、溶接を継続して実行することができる。また、検出異常が生じている溶接特徴量に基づいて溶接が制御されるような事態を防止することができ、溶接対象物や溶接実行装置の損傷を防止し、溶接制御装置の信頼性を向上させることができる。

【0027】

(12) 幾つかの実施形態では、上記(11)の構成において、

前記溶接特徴量検出部は、前記制御周期毎に取得される複数の前記撮影画像から前記溶接特徴量を検出するよう構成されており、

前記検出異常判定部は、前記制御周期毎に取得される前記複数の撮影画像から前記溶接特徴量が検出されない場合に前記検出異常が生じたと判定する。

上記(12)の構成によれば、制御周期毎に複数の撮影画像が取得されるようになっており、複数の撮影画像に基づいて、溶接特徴量の検出およびその検出異常の判定を含む位置

10

20

30

40

50

制御の全体がなされる。これによって、位置制御対象の位置制御を適切に行いつつ、撮影画像毎に位置制御のための処理を行うことによる処理負荷の低減を図ることができる。

【 0 0 2 8 】

(1 3) 幾つかの実施形態では、上記 (1 2) の構成において、前記位置決定部は、

前記異常制御周期では、該異常制御周期から前記溶接特徴量に応じて定められた所定期間だけ前記位置決定部は、前記正常制御周期が存在しない場合に、該異常制御周期における前記実位置の決定を行わない。

上記 (1 3) の構成によれば、上記の場合には実位置の決定を行わないようにすることにより、後述するように、溶接を可能な限り継続しつつ、溶接の信頼性の向上を図ることができる。

【 0 0 2 9 】

(1 4) 幾つかの実施形態では、上記 (1 1) ~ (1 3) の構成において、

前記検出異常判定部は、前記異常制御周期の後の最初の前記正常制御周期までの期間が、前記溶接特徴量に応じて定められた所定期間を超えた場合に通知する。

【 0 0 3 0 】

上記 (1 4) の構成によれば、撮影画像からの溶接特徴量の検出異常が所定期間を超えて継続した場合には、溶接の継続可否を判断する必要があるものとして、通知を行う。溶接特徴量は時間の経過に伴って変化するが、上記の所定期間は、溶接特徴量の変化がある場合でも、制御をせずに溶接を継続可能な期間であり、この期間の経過後は通知を行う。これによって、溶接を可能な限り継続しつつ、溶接の信頼性の向上を図ることができる。

【 0 0 3 1 】

また、例えば、電極は、開先 (溶接対象物の壁) の形状が急に変化することは稀であることから、制御をせずに溶接が継続可能であると見込める期間が比較的長いのに対し、溶接ワイヤはリールに巻かれた状態のものを引き出しながら使うため、溶接ワイヤの位置が急に変化する場合があり、検出異常の直前の撮影画像の位置から変化し易く、制御をせずに溶接が継続可能であると見込める期間が比較的短い。このため、上記 (1 4) の構成では、電極位置は電極位置用の所定期間、ワイヤ位置はワイヤ位置用の所定期間を用いるというように、溶接特徴量ごとに上記の所定期間を設定する。このように、上記の所定期間を溶接特徴量に応じて定めることにより、溶接特徴量に含まれる各種特徴量の検出異常時に適した溶接の継続を行うことができる。

【 0 0 3 2 】

(1 5) 幾つかの実施形態では、上記 (1 4) の構成において、

前記検出異常判定部は、前記溶接対象物の溶接を停止させるための命令を溶接実行装置に送信する。

上記 (1 5) の構成によれば、溶接対象物の溶接を停止させることにより、溶接を可能な限り継続しつつ、溶接の信頼性の向上を図ることができる。

【 0 0 3 3 】

(1 6) 幾つかの実施形態では、上記 (1) ~ (1 5) の構成において、

前記溶接の不具合事象を検出した場合に、前記目標位置決定部によって決定された前記目標位置を補正する目標位置補正部を、さらに備える。

【 0 0 3 4 】

例えば、溶接ワイヤの先端が溶融池に入っていない場合に生じる溶滴が発生した場合には、溶接ワイヤの先端と溶融池とが接触した状態にする必要があることから、溶接ワイヤを撮影画像における下方向に移動させる必要がある。また、溶接ワイヤの先端が溶融池の底となる溶接対象物に衝突するつつきが生じた場合には、衝突しないように、溶接ワイヤを撮影画像における上方向に移動させる必要がある。このような溶接の不具合事象の検出時の溶接ワイヤなど位置制御対象の位置制御と、上述した、実位置が目標位置になるようにするための溶接ワイヤなど位置制御対象の位置制御を行なうと、一方が下方向への制御を行おうとし、他方が上方向への制御を行おうとするなど、互いに逆方向に制御を行

10

20

30

40

50

おうとする結果、制御ハンチングが生じる可能性がある。

【0035】

上記(16)の構成によれば、溶接の不具合事象に基づいて目標位置を補正することにより、ハンチングの発生を回避することができる。

【0036】

(17)幾つかの実施形態では、上記(2)～(16)の構成において、前記溶接特徴量は、前記ワイヤ位置および前記溶融池の溶融池位置を含み、前記位置制御対象は、前記溶接ワイヤである。

上記(17)の構成によれば、ワイヤ位置と溶融池位置との実相対位置がその目標相対位置になるように、溶接実行装置に対する制御を行うことができる。

10

【0037】

(18)幾つかの実施形態では、上記(1)～(17)の構成において、前記溶接条件は、電極電流、電極電圧、溶接速度、前記溶接ワイヤの単位時間当たりの供給量、開先幅のうちの少なくとも1つの条件を含む。

上記(18)の構成によれば、上述した1つの条件を含む溶接条件に応じた実位置を決定することができる。

【0038】

(19)幾つかの実施形態では、上記(1)～(18)の構成において、前記溶接条件は複数の条件を含み、

前記目標位置決定部は、前記溶接条件のうちの少なくとも2つの前記条件を1つに集約した集約条件を含む前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定する。

20

上記(19)の構成によれば、電極電流、電極電圧、溶接速度、前記溶接ワイヤの単位時間当たりの供給量、開先幅などの溶接条件に含まれる条件うちの少なくとも2つの条件を1つに集約することによって、入力となる溶接条件Cに含まれる条件の数(次元)を少なくする(次元を小さくする)。これによって、例えば、上述した目標値変換手段をテーブルで作成する場合など、入力された溶接条件の組合せを入熱量等の別要素に集約することで次元を落とすことができるので、より少数のテーブルで対応することなどができる。

【0039】

(20)本発明の少なくとも一実施形態に係る溶接制御方法は、

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御方法であって、少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定するステップと、

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定するステップと、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行するステップと、を備える。

【0040】

上記(20)の構成によれば、上記(1)と同様の効果を奏する。

30

【0041】

(21)幾つかの実施形態では、上記(20)の構成において、

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む。

40

上記(21)の構成によれば、上記(2)と同様の効果を奏する。

【0042】

(22)幾つかの実施形態では、上記(20)～(21)の構成において、前記目標位置を決定するステップは、前記溶接条件を取得するステップと、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件と、該過去溶接条件下で設定された前記実位置である過去位置との関係性に基づいて、前記溶接条件に応じた前記目標位置を決定するステップと、を有する。

上記(22)の構成によれば、上記(3)と同様の効果を奏する。

【0043】

10

(23)幾つかの実施形態では、上記(21)の構成において、前記目標相対位置を決定するステップは、

過去に行われた溶接時の過去溶接条件の下で行われた前記溶接時における過去溶接特徴と、前記過去溶接特徴の相対位置である過去相対位置との関係性に基づいて、前記過去溶接特徴から前記溶接条件に応じた前記目標相対位置を決定するステップを有する。

上記(23)の構成によれば、上記(5)と同様の効果を奏する。

【0044】

(24)本発明の少なくとも一実施形態に係る溶接制御プログラムは、

溶接対象物の溶接に用いられる溶接ワイヤ、又は前記溶接ワイヤを溶融させるための電極の少なくとも一方を含む位置制御対象を制御するように構成された溶接制御プログラムであって、

コンピュータに、

少なくとも前記位置制御対象を含むように撮影した撮影画像から検出される溶接特徴量であって、前記溶接ワイヤのワイヤ位置または前記電極の電極位置の少なくとも一方を含む溶接特徴量に基づいて前記位置制御対象の実位置を決定する実位置決定部と、

前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、

前記実位置を前記目標位置にするための前記位置制御対象の位置制御を実行する位置制御部と、を実現させる。

上記(24)の構成によれば、上記(1)と同様の効果を奏する。

20

【0045】

30

(25)幾つかの実施形態では、上記(24)の構成において、

前記撮影画像は、前記溶接ワイヤが溶融されることにより前記溶接対象物の開先に形成される溶融池又は前記開先の少なくとも一方をさらに含み、

前記溶接特徴量は、前記開先の開先位置、または前記溶融池の溶融池位置の少なくとも一方をさらに含み、

前記実位置は、前記ワイヤ位置または前記電極位置の少なくとも一方と、前記開先位置または前記溶融池位置との相対位置である実相対位置を含み、

前記目標位置は、前記溶接対象物を溶接する際の溶接条件に応じた前記相対位置の目標である目標相対位置を含む。

上記(25)の構成によれば、上記(2)と同様の効果を奏する。

40

【発明の効果】

【0046】

本発明の少なくとも一実施形態によれば、溶接対象物への溶接施工を溶接条件に応じて制御する溶接制御装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】本発明の一実施形態に係る溶接装置の構成例を示す斜視図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る撮影画像を示す図である。

【図3A】本発明の一実施形態に係る溶接制御装置の機能を示すブロック図であり、溶接

50

条件を入力として目標相対位置を決定する。

【図3B】本発明の一実施形態に係る溶接制御装置の機能を示すブロック図であり、また、溶融池位置およびワイヤ位置を入力として目標相対位置を決定する。

【図4】本発明の一実施形態に係る実相対位置決定部の異常制御周期時の動作を説明するための図であり、異常制御周期時の所定期間だけ前に正常制御周期が存在する場合を示す。

【図5】本発明の一実施形態に係る実相対位置決定部の異常制御周期時の動作を説明するための図であり、異常制御周期時の所定期間だけ前に正常制御周期が存在しない場合を示す。

【図6】本発明の一実施形態に係る溶融池位置とワイヤ位置と溶接土による操作履歴との関係を示すグラフである。

【図7】本発明の一実施形態に係る溶接の不具合事象を検出した際のロジックを示す図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る溶接制御方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0048】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【0049】

図1は、本発明の一実施形態に係る溶接装置7の構成例を示す斜視図である。図2は、本発明の一実施形態に係る撮影画像Vを示す図である。

溶接装置7は、鋼板などの溶接対象物を自動でアーク溶接する装置である。図1に示すように、溶接装置7は、溶接施工を制御する溶接制御装置1と、溶接制御装置1からの制御(指令)に従ってアーク溶接を実行する溶接実行装置8と、を備える。

【0050】

まず、溶接装置7を構成する溶接実行装置8について説明する。溶接実行装置8は、ワイヤ送り機構81と、電極82と、撮影部83とを備える。ワイヤ送り機構81は、溶接施工に伴って消耗する溶接ワイヤ8wを溶接対象物9の溶接箇所に向けて順次送り出す(供給)するための機構である。ワイヤ送り機構81にセットされた溶接ワイヤ8wの先端部分が電極82からのアーク放電にて溶融されることにより、溶接ワイヤ8wが溶融した液相の金属が、溶接対象物9の溶接箇所(溶接部)にて冷えて固化することで、溶接対象物9が溶接される。

【0051】

図1に示す実施形態では、溶接対象物9の溶接箇所は、2つの部材の間に形成された水平方向に延びる隙間であり、ワイヤ送り機構81及び電極82が溶接対象物9の隙間の長手方向に沿って相対移動することで、溶接施工を行う。より詳細には、ワイヤ送り機構81及び電極82が溶接対象物9の隙間の長手方向に沿って所定の溶接速度で相対移動することにより、溶接ワイヤ8wが溶融した液相の金属である溶融池8mが溶接方向(隙間の長

10

20

30

40

50

手方向)に沿って順次形成される(図2参照)。そして、溶融池8mが冷えて固化することで、溶接対象物9が溶接される。

【0052】

なお、以下の説明では、溶接方向の前後方向、溶接対象物9の隙間の幅方向(長手方向に直交する方向)を左右方向、前後方向および左右方向に直交する方向を上下方向(図1では垂直方向)と称する。また、実際の溶接施工時には、溶接ワイヤ8wの真上には電極82を含む電極82を支持する部材の少なくとも一部が位置しているなど、溶接ワイヤ8wの先端と電極82とは図1に示すよりも近づいた位置関係にある。

【0053】

また、撮影部83は、動画または静止画を撮影するカメラなどの撮影装置であり、溶接箇所を撮影するように設置される。撮影部83によって撮影された溶接箇所の撮影画像V(以下、単に、撮影画像V)は、上述した溶接ワイヤ8wや、溶融池8m、電極82、溶接対象物9の隙間を形成する壁面である開先91の少なくとも2つの撮影対象の位置を検出するために用いられる。図1に示す実施形態では、上記の撮影対象を同一の画像に撮影するために、撮影部83は、溶接箇所を斜め上から覗き込む位置に設置されている。例えば、図1に示す実施形態では、撮影部83は、図2に示すように、撮影画像Vに溶接ワイヤ8wと、電極82と、溶融池8mと、開先91とが含まれるように、溶接箇所を撮影するように構成されている。

【0054】

上述したような構成を備える溶接実行装置8を用いた溶接対象物9の溶接施工時には、上述の通り、溶接実行装置8と溶接対象物9とが相対移動するが、溶接実行装置8に設置された撮影画像Vにおける開先91の位置は、溶接対象物9の形状に応じて変化する。同様に、溶接ワイヤ8wは、ワイヤ送り機構81を用いて、リールに巻かれた状態のもの引き出しながら溶接箇所に供給するが、溶接ワイヤ8wの曲がり癖などのために、撮影画像Vにおける溶接ワイヤ8wの位置も変化する。このため、溶接実行装置8は、溶接ワイヤ8wや電極82の位置を移動(調整)する機構を有している。

【0055】

図1に示す実施形態では、溶接ワイヤ8wおよび電極82は、それぞれ、撮影画像Vにおける前後方向および左右方向にそれぞれ移動させることができるとあるが、図1に示すように、溶接実行装置8は、上述したような溶接ワイヤ8wや電極82を位置制御対象8Tとして、位置制御対象8Tの位置を、溶接制御装置1からの命令に従って移動させるように構成されている。

【0056】

以下、溶接制御装置1について、図3A～図3Bを用いて説明する。

図3Aは、本発明の一実施形態に係る溶接制御装置1の機能を示すブロック図であり、溶接条件Cを入力として目標相対位置Rtを決定する。図3Bは、本発明の一実施形態に係る溶接制御装置1の機能を示すブロック図であり、また、溶融池位置Pmおよびワイヤ位置Pwを入力として目標相対位置Rtを決定する。

【0057】

溶接制御装置1は、溶接対象物9の溶接に用いられる溶接ワイヤ8w、又は溶接ワイヤ8wを溶融させるための電極82の少なくとも一方を含む位置制御対象8Tの位置を制御するように構成された装置である。溶接制御装置1は、少なくとも位置制御対象8Tを含むように撮影した撮影画像Vから検出される溶接特徴量Pであって、溶接ワイヤ8wのワイヤ位置Pwまたは電極82の電極位置Peの少なくとも一方を含む溶接特徴量Pに基づいて位置制御対象8Tの実位置を決定(取得)する実位置決定部と、溶接対象物9を溶接する際の溶接条件Cに応じた上記の実位置の目標である目標位置を決定する目標位置決定部と、上記の実位置を目標位置にするための位置制御対象8Tの位置制御を実行する位置制御部と、を備える。

【0058】

上記の位置制御対象8Tの実位置は、撮影画像Vから検出される実際の位置であって、例

10

20

30

40

50

えば撮影画像 V に設定される座標系での位置（絶対位置）であっても良いし、位置制御対象 8 T の位置となるワイヤ位置 P w、電極位置 P e の、他の溶接特徴量 P（後述する溶融池位置 P m や開先位置 P b など）からの相対位置（実相対位置 R r）であっても良い。溶接特徴量 P の位置が絶対位置である場合には、例えば撮影画像 V を撮影するカメラなどを固定した状態において、ワイヤ位置 P w などの絶対位置を、撮影画像 V の左右方向（後述）における中央の位置を目標位置などとして制御する。あるいは、上記の目標位置に対応する目標絶対位置を、絶対位置や他の溶接特徴量 P から算出可能な関数を予め準備しておき、そのような関数を用いて溶接特徴量 P から目標絶対位置を求めても良い。より具体的には、例えば、電極位置 P e と開先位置 P b の左右方向（後述）における位置から、非線形関数やテーブルを用いるなどして目標絶対位置を求める。

10

【 0 0 5 9 】

以下、溶接特徴量 P の位置を相対位置とした実施形態である図 3 A ~ 図 3 B に示す実施形態を例に、溶接制御装置 1 が備える上述した機能部について、それぞれ説明する。図 3 A ~ 図 3 B に示すように、溶接制御装置 1 は、実相対位置決定部 2 と、目標相対位置決定部 3 と、位置制御部 5 と、を備える。位置制御対象 8 T の実位置が絶対位置の場合の実施形態については、以下の説明中の実相対位置 R r を絶対位置、目標相対位置 R t を目標絶対位置などと読み替えて考えれば良い。

【 0 0 6 0 】

なお、溶接制御装置 1 は、コンピュータで構成されており、図示しない C P U（プロセッサ）や、R O M や R A M といったメモリや外部記憶装置などとなる記憶装置 m を備えている。そして、メモリ（主記憶装置）にロードされたプログラム（溶接制御プログラム 10）の命令に従って C P U が動作（データの演算など）することで、溶接制御装置 1 が備える上記の各機能部を実現する。換言すれば、上記の溶接制御プログラム 10 は、コンピュータに後述する各機能部を実現させるためのソフトウェアであり、コンピュータによる読み込みが可能な記憶媒体に記憶されても良い。

20

【 0 0 6 1 】

実相対位置決定部 2 は、上述した撮影画像 V から検出される溶接特徴量 P であって、開先 9 1 の開先位置 P b、溶接ワイヤ 8 w のワイヤ位置 P w、溶融池 8 m の溶融池位置 P m、または電極 8 2 の電極位置 P e の少なくとも 2 つを含む溶接特徴量 P のうちのいずれか 2 つの相対位置である実相対位置 R r を決定する。撮影画像 V は、位置制御対象 8 T、及び溶接ワイヤ 8 w が溶融されることにより溶接対象物 9 の開先 9 1 に形成される溶融池 8 m 又は開先 9 1 の少なくとも一方を含むように撮影される。より具体的には、位置制御対象 8 T が溶接ワイヤ 8 w の場合には、撮影画像 V には、溶接ワイヤ 8 w の少なくともワイヤ位置 P w の部分と、溶融池 8 m の少なくとも溶融池位置 P m の部分、または開先 9 1 の少なくとも開先位置 P b の部分とが含まれる。他方、位置制御対象 8 T が電極 8 2 の場合には、撮影画像 V には、電極 8 2 の少なくとも電極位置 P e の部分と、開先 9 1 の少なくとも開先位置 P b の部分とが含まれる。

30

【 0 0 6 2 】

また、上記のワイヤ位置 P w は、溶接ワイヤ 8 w における所望の部位の位置である。溶融池位置 P m は、溶融池 8 m における所望の部位である。開先位置 P b は、開先 9 1 における所望の部位の位置である。電極位置 P e は、電極 8 2 における所望の部位の位置である。図 1 ~ 図 3 B に示す実施形態では、図 2 に示すように、ワイヤ位置 P w は、撮影画像 V の最も後ろ側（上下方向の最も下側）に位置する溶接ワイヤ 8 w の先端部分の位置としている。溶融池位置 P m は、撮影画像 V において最も前側に位置する溶融池 8 m の先端部分の位置としている。開先位置 P b は、電極 8 2 との相対位置で定められる所定箇所の位置としている。また、電極位置 P e は、撮影画像 V の最も後ろ側（上下方向における最も下側）に位置する電極 8 2 の先端部分としている。また、図 1 ~ 図 3 B に示す実施形態では、溶接特徴量 P には、少なくともワイヤ位置 P w および溶融池位置 P m が含まれるようになっている。

40

【 0 0 6 3 】

50

より詳細には、実相対位置決定部2は、撮影画像Vを画像処理することにより、溶接特徴量Pを検出し、検出結果に基づいて実相対位置R_rを算出する。例えば、位置制御対象8Tが溶接ワイヤ8wの場合には、その上下方向における位置制御を行うために、ワイヤ位置P_wおよび溶融池位置P_mを検出する。あるいは、その左右方向における位置制御を行うために、ワイヤ位置P_wおよび開先位置P_bを検出する。他方、位置制御対象8Tが電極82の場合には、その左右方向における位置制御を行うために、電極位置P_eおよび開先位置P_bを検出する。実相対位置R_rは、制御対象物を制御する方向に沿った距離であっても良い。あるいは、撮影画像Vの左下の端などの任意の位置を基準とした位置（座標）や、実相対位置R_rを構成する2つの溶接特徴量Pのうちの一方を基準とした他方の位置（座標）であっても良い。

10

【0064】

図1～図3Bに示す実施形態では、位置制御対象8Tを少なくとも溶接ワイヤ8wとしており、溶接特徴量Pには、ワイヤ位置P_wおよび溶融池位置P_mが含まれている。そして、図3A～図3Bに示すように、実相対位置決定部2は、溶接時の溶接箇所を撮影する撮影部83から撮影画像Vを取得する撮影画像取得部21と、所定の制御周期T毎に、この撮影画像取得部21によって取得された撮影画像V（1または複数）から、ワイヤ位置P_wおよび溶融池位置P_mを含む溶接特徴量Pを検出する溶接特徴量検出部22と、検出されたワイヤ位置P_wおよび溶融池位置P_m溶接特徴量Pに基づいて実相対位置R_r（ワイヤ池相対位置）を算出する算出部24と、を有する。

20

【0065】

より具体的には、上記の撮影画像取得部21は撮影部83に接続されることにより、撮影画像Vが逐次（リアルタイムに）入力されるようになっている。また、溶接特徴量検出部22は撮影画像取得部21に接続されることにより、撮影画像取得部21が取得した撮影画像Vが逐次入力されるようになっている。なお、撮影画像取得部21は、入力された撮影画像Vの全てを記憶装置mに記憶しても良いし、所定の間隔などで間引くなどして、そのうちの一部を記憶装置mに記憶しても良い。撮影画像取得部21によって記憶された撮影画像Vが溶接特徴量検出部22に入力される。そして、溶接特徴量検出部22は、所定の制御周期T毎に、溶接特徴量Pを検出するようになっている。算出部24は、溶接特徴量検出部22に接続されることにより、溶接特徴量Pが逐次入力される。これによって、溶接時の撮影画像Vを逐次画像処理することにより、実相対位置R_rを逐次算出することができる。

30

【0066】

目標相対位置決定部3は、溶接対象物9を溶接する際の溶接条件Cに応じた上記の相対位置（ワイヤ池相対位置などの実相対位置R_r）の目標である目標相対位置R_tを決定する。溶接条件Cは、溶接実行装置8による溶接対象物9の溶接状態に影響を与える条件である。例えば、溶接条件Cは、電極82に対する電極電流や電極電圧、溶接実行装置8と溶接対象物9との相対移動の速度（アーケの移動速度）である溶接速度、溶接ワイヤ8wの供給量（単位時間当たりの供給量）、開先91の開先幅のうちの少なくとも1つの条件を含んでも良い。

30

【0067】

溶接状態は、溶接時の入熱条件に応じて変わるが、溶接条件Cは入熱条件を設定する。具体的には、電極電流や電極電圧が大きいほど入熱量は大きい。溶接速度が速いほど、単位時間に溶接する箇所が多くなるため、溶接箇所の大きさの単位量あたりの入熱量は小さくなる。溶接ワイヤ8wの供給量が多いほど、溶接ワイヤ8wの単位量あたりの入熱量は小さくなる。また、開先幅が大きいほど、溶融池8mが左右方向などに広がるので、単位体積あたりの入熱量は小さくなる。

40

【0068】

また、目標相対位置R_tは、上述した実相対位置R_rとの比較が可能である必要があり、例えば、制御対象物を制御する方向に沿った距離や、実相対位置R_rを構成する2つの溶接特徴量Pのうちの一方を基準とした他方の位置であっても良い。目標相対位置R_tの決

50

定方法については後述するが、機械学習を適用して、目標相対位置 R_t を決定しても良い。

【0069】

位置制御部 5 は、上述した実相対位置決定部 2 によって決定された実相対位置 R_r を、上述した目標相対位置決定部 3 によって決定された目標相対位置 R_t にするための溶接対象物の位置制御を実行する。換言すれば、溶接対象物の位置制御は、実相対位置 R_r と目標相対位置 R_t との差異（ずれ量）がゼロを含む所定の範囲に収めるようにするのに必要な溶接対象物の制御量を算出し、溶接実行装置 8 に対して算出した制御量を送信する。そして、溶接実行装置 8 は、受信した制御量に応じて溶接対象物の位置を制御する。

【0070】

より具体的には、制御量は、現在位置からの移動すべき方向への移動量であっても良いし、溶接実行装置 8 が位置を認識する座標系における、溶接対象物の移動すべき座標であっても良い。また、位置制御部 5 は、撮影画像 V の画像処理を通して、送信した制御量に対して移動した移動後の位置を検出しながら、溶接対象物の位置を制御しても良い（フィードバック制御）。

10

【0071】

なお、上述した実施形態では、ワイヤ位置 P_w と溶融池位置 P_m との前後方向に沿った相対位置（ワイヤ池相対位置）を例に説明したが、本実施形態に本発明は限定されない。ワイヤ位置 P_w と溶融池位置 P_m との左右方向に沿った相対位置についても、上述したのと同様な、溶接条件 C に応じた位置制御を行っても良い。また、上述したのと同様に、他の幾つかの実施形態では、撮影画像 V から電極 8_2 の電極位置 P_e およびワイヤ位置 P_w を検出すると共に、溶接条件 C に基づいてその目標相対位置を算出することにより、電極位置 P_e とワイヤ位置 P_w との実相対位置が目標相対位置になるように、電極 8_2 またはワイヤ位置 P_w の少なくとも一方を前後方向に制御しても良い。その他の幾つかの実施形態では、撮影画像 V から電極位置 P_e および開先 9_1 の開先位置 P_b 検出すると共に、溶接条件 C に基づいてその目標相対位置を算出することにより、電極位置 P_e と開先位置 P_b との実相対位置が目標相対位置になるように、電極位置 P_e を左右方向に制御しても良い。図 2 に示すように、電極位置 P_e は、前後方向における最も前側に位置する電極 8_2 の先端部分であっても良いし、開先位置 P_b は、電極 8_2 との相対位置で定められる所定箇所の位置であっても良い。

20

【0072】

30

上記の構成によれば、溶接条件 C に応じて、例えば溶接ワイヤ 8_w の位置と溶融池 8_m の位置との相対位置などの溶接特徴量に含まれるいずれか 2 つ相対位置の目標（目標相対位置 R_t ）を決定する。そして、溶接実行装置 8 による溶接状況を撮影画像 V の画像処理を通して得られる実際の相対位置（実相対位置 R_r ）が目標になるように、溶接実行装置 8 に対する制御を行う。これによって、溶接士が行う場合と同等の溶接品質のアーク溶接を自動で行うことができ、溶接士技能への依存を低減した自動溶接を実現することができる。

【0073】

次に、目標相対位置 R_t の決定に関する幾つかの実施形態について説明する。なお、以下の説明では、より具体的な説明とするために、上記の実相対位置 R_r および目標相対位置 R_t を、ワイヤ位置 P_w と溶融池位置 P_m との相対位置である場合を例として説明する。ただし、これには限定されず、上述した溶接特徴量 P（ワイヤ位置 P_w 、溶融池位置 P_m 、電極位置 P_e 、開先位置 P_b ）のうちのいずれか 2 つの相対位置であれば良く、以下の説明中のワイヤ位置 P_w と溶融池位置 P_m を所望の 2 つの位置に読み替えて適用すれば良い。

40

【0074】

幾つかの実施形態では、図 3_A に示すように、上述した目標相対位置決定部 3 は、溶接対象物 9 に対して溶接を実行する際の溶接条件 C を取得する溶接条件取得部 3_1 と、過去に行われた溶接時の溶接条件（過去溶接条件）と、この過去溶接条件下で設定された過去の溶融池位置（過去溶融池位置）および過去のワイヤ位置（過去ワイヤ位置）の相対位置といった、上述した溶接特徴量 P のうちのいずれか 2 つの相対位置である過去相対位置との

50

関係性に基づいて、溶接条件取得部 3 1 によって取得された溶接条件 C から、溶接条件に応じた目標相対位置 R t を決定する条件ベース目標決定部 3 2 と、を有する。つまり、過去の溶接施工時に、溶接士が溶融池位置 P m に対するワイヤ位置 P w をどのように設定していたかの情報、および、その際の溶接条件 C の内容の情報の実績を関連付けて蓄積し、これを学習データとして学習（機械学習）することにより、上記の関係性を導出する。

【 0 0 7 5 】

より具体的には、条件ベース目標決定部は、前記過去溶接条件と、該過去溶接条件下で設定された前記過去相対位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデル（条件ベース学習モデル）を用いて、前記溶接条件に応じた前記目標相対位置を決定する時や場所、溶接対象物 9 が異なる溶接施工毎に、同じタイミングにおける溶融池位置 P m およびワイヤ位置 P w などの溶接特徴量 P に基づいて算出される過去相対位置と、溶接条件 C との情報セットを、例えば時間をずらして複数回取得する。こうして得られる、複数のタイミングの各々における過去相対位置と、溶接条件 C とを対応付けた複数のデータを学習データとする。この学習データの学習には、ニューラルネットワークや回帰分析など、周知の手法を適用しても良い。こうして得られた学習モデルや回帰式（以下、学習モデル）は、溶接士が行っている溶接条件 C と上記の過去相対位置との関係性が導出されたものである。このため、学習モデルを用いることで、入力となる溶接条件 C に対して、溶接士が設定するであろうワイヤ池相対位置などの目標相対位置 R t を得ることが可能となる。よって、目標相対位置決定部 3 は、学習モデルを用いることにより、取得した溶接条件 C に対応する目標相対位置 R t を決定することが可能となる。

10

【 0 0 7 6 】

この際、溶接条件 C に複数の条件が含まれる場合には、そのうちの少なくとも 2 つの条件を 1 つに集約して、入力となる溶接条件 C に含まれる条件の数（次元）を小さくしても良い。この場合、溶接条件 C は、溶接条件 C のうちの少なくとも 2 つの条件を 1 つに集約した集約条件と、その他の条件とを含むことになる。よって、目標相対位置決定部 3 は、このような集約条件を含む溶接条件 C に応じた目標相対位置 R t を決定する。例えば、溶接速度と、溶接電流と、溶接電圧と、の 3 つの条件を入熱量という 1 つの条件に集約を含む溶接条件 C と、過去相対位置との関係性を学習しても良い。この場合の学習モデルは、溶接速度と、溶接電流と、溶接速度の 3 つの条件の代わりに、入熱量という 1 つの条件を含むことになる。なお、入熱量は、外部から溶接部に供給される熱量であり、入熱量 = $\{ 60 \times \text{溶接電流} \times \text{溶接電圧} \} \div \text{溶接速度}$ との関係がある。ただし、本実施形態に本発明は限定されない。状況に応じて、目標相対位置 R t との関係性を最も表す条件を集約すれば良い。例えば、他の幾つかの実施形態では、溶接速度および溶接電流の 2 つの条件を入熱量という 1 つの条件に集約するなどしても良い。

20

【 0 0 7 7 】

学習モデルを用いて予め複数の溶接条件 C と目標相対位置 R t との関係をテーブル化した場合には、溶接条件 C に複数の条件が含まれる場合には、複数の条件の組合せを網羅したようなテーブルが必要になるが、条件の数が増えると、その組み合わせ数が増大するので、テーブル作成のコストが増大する。上記のように、複数の条件を 1 つの条件に集約し、次元数を減らすことで、このようなテーブル作成のコストを低減することができる。

30

【 0 0 7 8 】

なお、溶接対象物 9 を溶接する際の溶接条件 C は、溶接実行装置 8 などに設定されている設定値を、溶接実行装置 8 から取得しても良いし、オペレータなどから入力されたものを取得しても良い。

40

【 0 0 7 9 】

上記の構成によれば、過去において、溶接士が例えば溶接ワイヤ 8 w などの位置制御対象 8 T を操作した結果として得られる溶接ワイヤ 8 w と溶融池 8 m との相対位置といった溶接特徴量 P のうちのいずれか 2 つ相対位置の実績と、その際の溶接条件 C との対応関係を蓄積して学習（機械学習）すると共に、この学習結果に基づいて、溶接条件 C から直接、目標相対位置 R t を求める。これによって、目標相対位置 R t を適切に決定することができる

50

きる。また、こうして決定された目標相対位置 R_t を位置制御に用いることにより、溶接士が行う場合と同等の溶接品質を実現することができる。

【 0 0 8 0 】

他の幾つかの実施形態では、目標相対位置決定部 3 は、過去に行われた溶接時の過去溶接条件の下で行われた溶接時の過去溶融池位置および過去ワイヤ位置といった過去の溶接特徴量（以下、過去溶接特徴量）と、この過去溶接特徴量の相対位置ある過去相対位置との関係性に基づいて、入力となる溶融池位置 P_m およびワイヤ位置 P_w などの溶接特徴量 P から、溶接条件 C に応じた目標相対位置 R_t を決定する位置ベース目標決定部 3-4 を有する。上述したのと同様に、過去の溶接施工時に、溶接士が溶融池位置 P_m に対するワイヤ位置 P_w などの位置をどのように設定していたかの情報と、この時の両者の相対位置との関係の実績を関連付けて蓄積し、これを学習データとして学習（機械学習）することにより、上記の関係性を導出する。

10

【 0 0 8 1 】

ここで、溶接条件 C が変われば溶接時の入熱条件（入熱状態）が変わるなどするため、溶接条件 C に応じて適切な溶接ワイヤ P_w や電極といった位置制御対象 8_T の位置が変わる。溶接士の操作は、このような溶接条件 C に応じて異なる溶接状態の視覚情報を主体に溶接品質を確保するための溶接特徴量 P （ワイヤ位置 P_w 、溶融池位置 P_m 、電極位置 P_e 、開先位置 P_b など）を認識し、経験に基づきワイヤ位置 P_w や電極 8_2 などを操作することで、高品質な溶接を達成している。このような知見の下、溶接士が行った操作には溶接条件 C の違いが反映されており、溶接条件 C に代えて、溶接士の操作履歴から目標相対位置 R_t を求めることができた。

20

【 0 0 8 2 】

より具体的には、目標相対位置決定部 3 は、上述した過去溶接特徴量と、上述した過去相対位置とを対応付けた複数のデータを機械学習することにより得られる学習モデル（位置ベース学習モデル）を用いて、上記の溶接特徴量 P から溶接条件 C に応じた目標相対位置 R_t を決定する。すなわち、時や場所、溶接対象物 9 が異なる溶接施工毎に、同じタイミングにおける溶融池位置 P_m 、及びワイヤ位置 P_w などの溶接特徴量 P の情報セットを、例えば時間をずらして複数回取得する。これによって、同一のタイミングにおける例えば溶融池位置 P_m と、ワイヤ位置 P_w と、その両者の相対位置の算出値の実績を対応付けたデータを複数のタイミングで得ることができ、この複数のデータを学習データとする。この学習データの学習には上記のような周知の学習手法を適用しても良い。学習によって得られる学習モデルは、溶接士が行っている例えば溶融池位置 P_m およびワイヤ位置 P_w と、この両者の相対位置の算出結果との関係性が導出されたものである。このため、学習モデルを用いることで、入力となる溶接特徴量 P に対して、溶接士が設定するであろうワイヤ池相対位置などを得ることが可能となる。よって、目標相対位置決定部 3 は、学習モデルを用いることにより、溶接特徴量 P に対応する目標相対位置 R_t を決定することができる。

30

【 0 0 8 3 】

上記の構成によれば、過去において、溶接士が溶接ワイヤ P_w などの位置制御対象 8_T を操作した結果として得られる溶融池 P_m の位置および溶接ワイヤ P_w の位置などの溶接特徴量 P の実績と、その結果から得られる相対位置の実績との関係性を学習すると共に、この学習結果に基づいて、溶融池 P_m の位置および溶接ワイヤ P_w の位置などの溶接特徴量 P から目標相対位置 R_t を求める。これによって、目標相対位置 R_t を適切に決定することができる。また、未だ経験していない溶接条件 C に対しても、容易に対応することができる。例えば、大量のデータ（学習データ）から溶接ワイヤ P_w と溶融池 P_m との目標相対位置 R_t が線形の関係にあるというように、その傾向がわかった場合、いまだ経験していないが、過去に経験した条件に近い溶接条件 C や複数のデータの内挿に位置するような条件は、線形モデル化の範疇に入るため、対応可能となる。また、こうして決定された目標相対位置 R_t を位置制御に用いることにより、溶接士が行う場合と同等の溶接品質を実現することができる。

40

50

【0084】

その他の幾つかの実施形態では、溶接条件 C に応じた目標相対位置 R t を、入熱条件等を考慮しながら予め設定した関数やテーブルなどの目標値変換手段を作成しておき、目標相対位置決定部 3 は、その目標値変換手段を用いて、溶接条件 C から目標相対位置 R t を決定しても良い。具体的には、目標相対位置決定部 3 は、上述した条件ベース学習モデルを用いて作成された、溶接条件 C から、この溶接条件 C に対応する目標相対位置 R t を求めるための目標値変換手段を用いて、溶接条件 C から目標相対位置 R t を決定しても良い。あるいは、目標相対位置決定部 3 は、上述した位置ベース学習モデルを用いて作成された、溶接特徴量 P から、この溶接特徴量 P に対応する目標相対位置 R t を求めるための目標値変換手段を用いて、溶接特徴量 P から目標相対位置 R t を決定しても良い。これによって、計算量を抑制しつつ、溶接条件 C に応じた目標相対位置 R t を算出することができる。

【0085】

次に、溶接制御装置 1 が備えるその他の幾つかの実施形態について、図 6 ~ 図 7 を用いて説明する。図 6 は、本発明の一実施形態に係る溶融池位置 P m とワイヤ位置 P w と溶接士による操作履歴との関係を示すグラフである。また、図 7 は、本発明の一実施形態に係る溶接の不具合事象を検出した際のロジックを示す図である。

【0086】

幾つかの実施形態では、溶接制御装置 1 は、図 3 A ~ 図 3 B に示すように、上述した目標相対位置 R t と実相対位置 R r との差異に基づいて、位置制御対象 8 T の位置制御の要否を判定する位置制御要否判定部 4 を、さらに備えても良い。この場合、上述した位置制御部 5 は、位置制御要否判定部 4 による判定結果に応じて、溶接ワイヤ 8 w などの位置制御対象 8 T の位置制御を実行する。

【0087】

図 6 に示すグラフについて説明すると、横軸は溶融池位置 P m であり、縦軸はワイヤ位置 P w であり、溶融池位置 P m およびワイヤ位置 P w に対して、溶接士の操作内容をプロットしている。つまり、図 6 には、溶融池位置 P m およびワイヤ位置 P w の各組合せにおいて、溶接士がどのような操作をしたかを示している。具体的には、溶接士は、黒塗りの四角でプロットした点において下方向に操作し（下操作）、薄い色の四角でプロットした点において上方向に操作し（上操作）、白丸でプロットした点において操作しなかったことを示す。なお、図 6 に示すグラフの溶融池位置 P m およびワイヤ位置 P w は、撮影画像 V の左下の端（図 2 参照）を原点とし、この原点からの相対位置であるが、本実施形態に本発明は限定されず、座標の原点は任意の位置として良い。

【0088】

なお、図 6 の縦軸の値は横軸の値よりも定数 S だけ大きく、破線は、溶融池位置 P m に対してワイヤ位置 P w が定数 S だけ大きい点を結んだ線となる。破線で示されるように、例えば溶接速度の速い、遅いに応じて、溶融池位置 P m およびワイヤ位置 P w の位置が異なっていることが分かる。また、ワイヤ池相対位置（距離）についても、溶接速度が速い場合には、操作無しのプロット点（白丸）のワイヤ位置 P w は破線の下側に集中しており、実相対位置 R r は、より短くなっている。逆に、溶接速度が遅い場合には、操作無しのプロット点（白丸）のワイヤ位置 P w は破線の上側に集中しており、実相対位置 R r は、より長くなっていることが見て取れるなど、溶接条件 C に応じて、目標相対位置 R t を変えていることがわかる。

【0089】

図 6 に示すように、例えば溶融池位置 P m が a × の場合などの任意の溶融池位置 P m においてワイヤ位置 P w は様々な値をとる中で、溶接士は操作する場合と操作しない場合がある。そして、図 6 から、溶接士は、溶融池位置 P m において、ワイヤ位置 P w のある範囲では操作を行わず、その範囲を超えてワイヤ位置 P w が大きくなると下操作を行い、ワイヤ位置 P w がその範囲を下回ると上操作を行う傾向が見受けられる。つまり、溶接士の操作を解析すると、溶接士は、経験に基づいて溶接時に溶接ワイヤ 8 w と溶融池 8 m との実相対位置 R r の差（| P w - P m |）が所定の範囲を逸脱した場合に、その差異を修正す

10

20

30

40

50

るための操作を行っている。

【 0 0 9 0 】

よって、位置制御要否判定部 4 により、目標相対位置 R_t と実相対位置 R_r との差異が所定の範囲に収まっている場合には、目標相対位置 R_t と実相対位置 R_r とに差異が生じている場合であっても溶接ワイヤ $8w$ の位置制御を実行しないようにする（制御不感帯を設定する）。これによって、少ない操作回数で溶接土と同等の溶接を行うことができる。

【 0 0 9 1 】

幾つかの実施形態では、上述した所定の範囲（以下、適宜、制御不感帯）は、過去に行われた溶接時の過去溶融池位置と、過去ワイヤ位置と、その時の過去ワイヤ位置の操作有無とが対応付けられた複数の操作履歴データなど、過去溶接特徴量と、これに対応する位置制御対象 $8T$ の操作有無とが対応づけられた複数の操作履歴データに基づいて定められても良い。この場合、位置制御要否判定部 4 は、上述した実相対位置 R_r と目標相対位置 R_t との差異が、上記のように定められた制御不感帯（所定の範囲）を逸脱した場合に、溶接ワイヤ $8w$ などの位置制御対象 $8T$ の位置制御を必要と判定する。逆に、位置制御要否判定部 4 は、上記の差異が、制御不感帯の範囲内にある場合には、位置制御対象 $8T$ の位置制御を不要と判定する。

【 0 0 9 2 】

より詳細には、例えば、溶接特徴量 P を入力、操作有無ラベルを出力とした分類モデルをサポートベクトルマシン（SVM：Support Vector Machine）で生成し、着目すべき特徴量空間（図 6 では溶融池位置 P_m とワイヤ位置 P_w との二次元空間）について、オペレータの介入操作が必要な空間（ラベル：操作有）と操作が不要な空間（ラベル：操作無）の分離境界面を特定する。こうして得られた線が図 6 に示す実線と二点鎖線で示す線である。実線が下操作有りと操作無しとの分離境界であり、実線よりも上の空間が下操作有り、下の空間が下操作無しとなる。他方、二点鎖線が上操作有りと操作無しとの分離境界であり、二点鎖線よりも下の空間が上操作有り、上の空間が上操作無しとなる。そして、この 2 つの分離境界の間の空間が、操作が不要な制御不感帯となる。

【 0 0 9 3 】

要するに、図 6 において、溶融池位置 P_m に対するワイヤ位置 P_w が実線よりも大きくなった場合には下操作を実行し、二点鎖線よりも小さくなった場合には上操作を実行し、実線と二点鎖線の間であれば操作を行わない。換言すれば、各溶融池位置 P_m における、上記の実線と二点鎖線との間の範囲が制御不感帯であり、この制御不感帯をワイヤ位置 P_w の制御目標範囲とする。なお、目標相対位置決定部 3 によって算出される目標相対位置 R_t は、この制御目標範囲に収まることになる。

【 0 0 9 4 】

図 3 A ~ 図 3 B に示す実施形態では、位置制御要否判定部 4 は、実相対位置決定部 2、目標相対位置決定部 3 にそれぞれに接続されており、実相対位置 R_r および目標相対位置 R_t が入力され、実相対位置決定部 2 から実相対位置 R_r および目標相対位置 R_t が入力されるようになっている。また、位置制御要否判定部 4 は、実相対位置 R_r および目標相対位置 R_t が入力されると、実相対位置 R_r と目標相対位置 R_t との差異が、制御不感帯の範囲にあれば、目標相対位置 R_t と実相対位置 R_r との差異があっても、ワイヤ位置 P_w の位置制御を行わない。逆に、実相対位置 R_r と目標相対位置 R_t との差異がこの制御不感帯の範囲を逸脱すれば、この制御不感帯の範囲に収まるように、ワイヤ位置 P_w の位置制御を行う。

【 0 0 9 5 】

なお、収集した操作歴データ（学習データ）は操作無に対して操作有（例：下操作有、上操作有）のデータが少なく、このようにデータ数に偏りがある場合、SVM の識別性能が大きく低下することが知られている。そこで、データ数不均衡の解消を図るために、図 6 に示す実施形態では、データ数比に基づきクラスの重み付けを行うことで、データ数の少ない操作有のクラスが過小に評価されるという問題を解消している。

【 0 0 9 6 】

10

20

30

40

50

上記の構成によれば、溶接ワイヤ 8 w の位置制御の実行の要否を判定するための範囲を、溶接土が行った溶接ワイヤ 8 w の位置の操作有無と、過去溶融池位置およびワイヤ位置との関係に基づいて決定する。これによって、上記の所定の範囲を適切に設定することができ、少ない操作回数で溶接土と同等の溶接を自動で行うことができる。

【 0 0 9 7 】

上述した実施形態において、幾つかの実施形態では、上記の所定の範囲は、溶接条件 C に応じて決定しても良い。つまり、溶接ワイヤ 8 w の位置制御の実行の要否を判定するための制御不感帯を、溶接条件 C あるいは溶接条件 C が反映されたものとなる溶融池位置 P_m およびワイヤ位置 P_w などの溶接特徴量 P に応じて可変とする。これによって、溶接条件 C に応じて上記の所定の範囲（制御不感帯の範囲）を設定することができ、溶接ワイヤ 8 w などの溶接特徴量 P の位置制御を厳格に行う必要がある溶接条件 C とそうでない溶接条件 C に対して、それぞれ適切に対応することができる。

なお、他の幾つかの実施形態では、溶接条件 C にかかわらず、一定であっても良い。

【 0 0 9 8 】

また、幾つかの実施形態では、上述した実相対位置決定部 2 は、図 3 A ~ 図 3 B に示すように、溶接特徴量検出部 2 2 による上述した制御周期 T 毎の溶接特徴量 P の検出異常（以下、単に、検出異常）を判定する検出異常判定部 2 3 を、さらに有していても良い。より詳細には、実相対位置決定部 2 は、検出異常判定部 2 3 によって検出異常が生じていないと判定された制御周期 T である正常制御周期 T_s では、この正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V から検出される溶接特徴量 P に基づいて実相対位置 R_r を算出する。

【 0 0 9 9 】

その一方で、幾つかの実施形態では、後述する図 4 に示すように、検出異常判定部 2 3 によって検出異常が生じたと判定された制御周期 T である異常制御周期 T_f では、この異常制御周期 T_f より前の既に終わった正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V から検出される溶接特徴量 P に基づいて実相対位置 R_r を算出しても良い。つまり、実相対位置決定部 2 は、異常制御周期 T_f では、その異常制御周期 T_f 以前の正常制御周期 T_s で得られた実相対位置 R_r を用いるようにしても良い。

【 0 1 0 0 】

上記の検出異常は、溶接特徴量検出部 2 2 による画像処理によって、制御周期 T 毎に、撮影画像 V から溶接特徴量 P が全く検出できなかった場合や、溶接特徴量 P の値がこれまでの値から想定外に大きく変化した場合、溶接特徴量 P の値が通常あり得ない値になった場合など、外れ値となった場合である。例えば、溶接条件 C により定まる入熱量が小さすぎると撮影画像 V が暗くなり過ぎてしまい、逆に、入熱量が大きすぎると、撮影画像 V が明るくなり過ぎてしまうなどに起因して、画像処理によって溶接特徴量 P が検出できなかったり、間違って検出されたりするなど、溶接特徴量 P が適切に検出できない場合が有り得る。

【 0 1 0 1 】

そして、本実施形態では、異常制御周期 T_f では、即座に溶接の制御を停止するのではなく、この判定よりも前の正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V から得られる実相対位置 R_r を用いることにより、溶接施工を継続する。溶接特徴量 P の検出異常は、溶接時の入熱量などに応じて一時的に生じる可能性があり、その自然に回復する場合があるからである。

【 0 1 0 2 】

具体的には、異常制御周期 T_f では、それ以前の正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V から検出された溶接特徴量 P が算出部 2 4 に入力されるように構成されても良いし、それ以前の正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V からの実相対位置 R_r が算出部 2 4 から出力されるように構成されても良い。図 3 A ~ 図 3 B に示す実施形態では、検出異常判定部 2 3 は、溶接特徴量検出部 2 2 から入力される溶接特徴量 P が検出できなかったことの通知または溶接特徴量 P の値に基づいて、検出異常の有無を判定する。そして、検出異常判定部 2 3 は、検出異常が無いと判定した場合には、溶接特徴量検出部 2 2 から入力さ

10

20

30

40

50

れる溶接特徴量 P を算出部 24 に出力するようになっている。

【0103】

これについて、図 4 を用いて説明する。図 4 は、本発明の一実施形態に係る実相対位置決定部 2 の異常制御周期 T_f 時の動作を説明するための図であり、異常制御周期 T_f 時の所定期間 R だけ前に正常制御周期 T_s が存在する場合を示す。図 4 には、時間の経過に伴って各制御周期 T が繰り返されており、各制御周期 T で取得された撮影画像 V から、溶接特徴量 P ($P_1, P_2, \dots, P_{n-1}, P_{n+1}, \dots$: n は整数) を検出する様子が示されている。

【0104】

そして、図 4 に示す実施形態では、 n 番目より前および後の制御周期 T が正常制御周期 T_s であり、 n 番目が異常制御周期 T_f であったとする。このため、実相対位置決定部 2 (溶接特徴量検出部 22) は、 n 番目の制御周期 T (異常制御周期 T_f) に取得された撮影画像 V からは溶接特徴量 P を検出できない。よって、実相対位置決定部 2 は、 n 番目の異常制御周期 T_f より前 (以前) の正常制御周期 T_s の撮影画像 V から検出された溶接特徴量 P を、この n 番目の異常制御周期 T_f の撮影画像 V から検出された溶接特徴量 P として代用する。

【0105】

なお、例えば、各異常制御周期 T_f では、その異常制御周期 T_f から溶接特徴量 P に応じて定められた所定期間 R だけ前の期間内に正常制御周期 T_s が存在しない場合に、実相対位置決定部 2 は、その異常制御周期 T_f における実相対位置 R_r の決定を行わないよう構成しても良い。換言すれば、異常制御周期 T_f の後の最初の正常制御周期 T_s までの期間が所定期間 R を超えた場合に通知しても良い。あるいは、検出異常判定部 23 から後述する通知を行っても良い。

【0106】

また、例えば図 4 において、 $n-1$ 番目も異常制御周期 T_f であった場合には、 $n-2$ 番目の正常制御周期 T_s における溶接特徴量 P を代用しても良い。また、図 4 では、 $n-1$ 番目 (直前) の正常制御周期 T_s における溶接特徴量 P を代用しているが、上記の所定期間 R に含まれる正常制御周期 T_s における溶接特徴量 P であれば良い。

【0107】

図 1 ~ 図 3 B に示す実施形態では、上述した溶接特徴量検出部 22 が溶接特徴量 P の検出を行う制御周期 T の 1 周期の間に、撮影画像取得部 21 によって複数の撮影画像 V が取得され、記憶装置 m などに蓄積されるようになっている。そして、溶接特徴量検出部 22 は、制御周期 T 每に蓄積される複数の撮影画像 V から溶接特徴量 P を検出するようになっており、この複数の撮影画像 V から対象とする溶接特徴量 P が全く検出できない場合 (有効データなし) には、上記の検出異常が生じたと判定する。これによって、位置制御対象 8 T の位置制御を適切に行いつつ、撮影画像毎に位置制御のための処理を行うことによる処理負荷の低減を図っている。なお、本実施形態において、正常制御周期 T_s においてワイヤ位置 P_w などの 1 つの位置に関して、複数の撮影画像 V から複数の値が検出された場合には、制御の基準として最も適切と考えられる、例えば位置が適切に検出された撮影画像 V のうちの、正常制御周期 T_s の 1 周期内で最新となる撮影画像 V から検出された値を、溶接特徴量 P としてその後の実相対位置 R_r の算出に用いるようにしても良い。

【0108】

ただし、図 1 ~ 図 3 B に示す実施形態に本発明は限定されず、他の幾つかの実施形態では、上記の制御周期 T の 1 周期の間に、撮影画像取得部 21 によって 1 つの撮影画像 V が取得されるようになっていても良い。この場合には、溶接特徴量検出部 22 は、制御周期 T 每に得られる 1 つの撮影画像 V から対象とする溶接特徴量 P が検出できない場合には、上記の検出異常が判定したと判定する。

【0109】

上記の構成によれば、撮影画像 V からの溶接特徴量 P の検出が適切になされなかった場合には、例えば直前などの正常制御周期 T_s に取得された撮影画像 V から検出した溶接特徴量

10

20

30

40

50

量 P (代替特徴量) を代わりに用いて実相対位置 R_r を算出するなどして、検出異常が生じていないと判定されていた撮影画像 V に基づく実相対位置 R_r を用いるようとする。これによって、溶接を継続して実行することができる。また、検出異常が生じている溶接特徴量 P に基づいて溶接が制御されるような事態を防止することができ、溶接対象物 9 や溶接実行装置 8 の損傷を防止し、溶接制御装置 1 の信頼性を向上させることができる。

【0110】

なお、他の幾つかの実施形態では、実相対位置決定部 2 は、異常制御周期 T_f では、実相対位置 R_r を算出部 24 に出力しないなどすることにより、位置制御対象 8 T の制御を行わないようにしても良い。

【0111】

上述した検出異常に關する実施形態において、幾つかの実施形態では、図 3 A ~ 図 3 B に示すように、上記の検出異常判定部 23 は、異常制御周期 T_f の後から、最初の正常制御周期 T_s までの期間が、溶接ワイヤ 8 w といった位置制御対象 8 T に応じて定められた所定期間 R を超えた場合に通知する(図 5 参照)。つまり、撮影画像 V からの溶接特徴量 P の検出異常が所定期間 R を超えて継続した場合には、溶接の継続可否を判断する必要があるものとして、通知を行う。この通知は、溶接特徴量 P の検出異常を通知するものである。例えばオペレータなどに向けたものであっても良く、ディスプレイなどへの異常通知メッセージの出力や、音や音声による通知であっても良い。検出異常判定部 23 は、この通知と共に、溶接を停止させるための命令を溶接実行装置 8 に自動で送信しても良い。

10

【0112】

これについて図 5 を用いて説明する。図 5 は、本発明の一実施形態に係る実相対位置決定部 2 の異常制御周期 T_f 時の動作を説明するための図であり、異常制御周期 T_f 時の所定期間 R だけ前に正常制御周期 T_s が存在しない場合を示す。図 5 に示す実施形態では、 P_{n-1} 番目の制御周期 T が正常制御周期 T_s であり、それ以降 (P_n 番目 ~ P_{n+m-1} 番目) が異常制御周期 T_f であったとする。この場合、実相対位置決定部 2 (溶接特徴量検出部 22) は、 n 番目 ~ $n+m-1$ 番目の異常制御周期 T_f で取得された撮影画像 V からは溶接特徴量 P が検出できない。また、 $n+m$ 番目の制御周期 T は、正常制御周期 T_s または異常制御周期 T_f のいずれであったとしても、上記の所定期間 R を超えている。よって、検出異常判定部 23 は、 $n+m-1$ 番目の制御周期 T が終わった時点以降に上記の通知を行う。また、この通知と共に、上述した溶接を停止の命令を送信しても良い。なお、図 5 の P_{n+1} ~ P_{n+m-1} 番目の異常制御周期 T_f では、上述したように、以前の正常制御周期 T_s における溶接特徴量 P を代用しても良い。

20

【0113】

溶接特徴量 P は時間の経過に伴って変化するが、上記の所定期間 R は、溶接特徴量 P の変化がある場合でも、制御をせずに溶接を継続可能な期間であり、この期間の経過後は通知を行う。これによって、溶接を可能な限り継続しつつ、溶接の信頼性の向上を図ることができる。

30

【0114】

また、例えば、電極 8 2 は、開先(溶接対象物 9 の壁)の形状が急に変化することは稀であることから、制御をせずに溶接が継続可能であると見込める期間が比較的長いのに対し、溶接ワイヤ 8 w はリールに巻かれた状態のものを引き出しながら使うため、溶接ワイヤ 8 w の位置が急に変化する場合があり、検出異常の直前の撮影画像 V の位置から変化し易く、制御をせずに溶接が継続可能であると見込める期間が比較的短い。このように、上記の所定期間 R を溶接特徴量 P に応じて定めることにより、溶接特徴量 P に含まれる各種特徴量の検出異常時に適した溶接の継続を行うことができる。

40

【0115】

また、幾つかの実施形態では、図 3 A ~ 図 3 B、図 7 に示すように、溶接制御装置 1 は、溶接の不具合事象を検出した場合に、目標相対位置決定部 3 によって決定された目標相対位置 R_t を補正する目標位置補正部 6 を、さらに備えても良い。図 7 に示す実施形態では、目標相対位置決定部 3 が output する目標相対位置 R_t が位置制御要否判定部 4 に入力され

50

る前に、目標位置補正部 6 が溶接の不具合事象を検出した場合に出力する補正量が、目標相対位置 R_t を補正するようになっている。目標位置補正部 6 による目標相対位置 R_t の補正が行われた場合には、補正後の目標相対位置 R_t' と、実相対位置 R_r とが位置制御要否判定部 4 に入力される。

【 0 1 1 6 】

また、上記の溶接の不具合事象は、例えば、溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融池 8 m に入っていない場合に生じる溶滴や、溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融池 8 m の底となる溶接対象物 9 に衝突するつっつきといった事象である。溶滴は、溶接ワイヤ 8 w のそり癖等により先端が上方向に浮き上がり、溶融池 8 m 中に挿入されてない状態でアーク熱で溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融することにより溶融池 8 m に落下する、溶接ワイヤ 8 w が溶融した液相の玉状の金属である。例えば撮影画像 V の画像処理などにより溶滴を検出することによって、溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融池 8 m よりも上方向に浮き上がっている状態を検出可能である。溶接ワイヤ 8 w のそり癖等により先端が溶融池 8 m よりも上方向に浮き上がると、溶接ワイヤ 8 w が溶融しきれず電極 8 2 に衝突する可能性がある。溶接ワイヤ 8 w が電極 8 2 に衝突すると、電極 8 2 と溶接ワイヤ 8 w とが短絡してアーク放電が中断される場合や、電極 8 2 が破損する可能性がある。

【 0 1 1 7 】

このように、溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融池 8 m に入っていない場合に生じる溶滴が発生した場合には、溶接ワイヤ 8 w の先端と溶融池 8 m とが接触した状態にする必要があることから、下方向に移動させる必要がある。また、溶接ワイヤ 8 w の先端が溶融池 8 m の底となる溶接対象物 9 に衝突するつっつきが生じた場合には、衝突しないように、上方向に移動させる必要がある。

【 0 1 1 8 】

そして、このような溶接の不具合事象の検出時の溶接ワイヤ 8 w の位置制御と、上述した、実相対位置 R_r が目標相対位置 R_t になるようにするための溶接ワイヤ 8 w の位置制御を別々に行うと、一方が下方向への制御を行おうとし、他方が上方向への制御を行おうとするなど、互いに逆方向に制御を行おうとする結果、制御ハンチングが生じる可能性がある。

このため、図 7 に示すように、溶接の不具合事象に基づいて目標相対位置 R_t を補正することにより、上述したようなハンチングの発生を回避することができる。

【 0 1 1 9 】

以下、上述した溶接制御装置 1 (溶接制御プログラム) に対応した溶接制御方法について、図 8 を用いて説明する。図 8 は、本発明の一実施形態に係る溶接制御方法を示す図である。

溶接制御方法は、溶接対象物 9 の溶接に用いられる溶接ワイヤ 8 w、又は溶接ワイヤ 8 w を溶融させるための電極 8 2 の少なくとも一方を含む位置制御対象 8 T の位置を制御する方法である。図 8 に示すように、溶接制御方法は、実相対位置決定ステップ (S 1) (実位置決定ステップ) と、目標相対位置決定ステップ (S 2) (目標位置決定ステップ) と、位置制御ステップ (S 4) と、を備える。また、溶接制御方法は、図 8 に示すように、位置制御要否判定ステップ (S 3) を備えていても良い。

図 8 を用いてステップ順に溶接制御方法を説明する。なお、図 8 のフローは、溶接施工時に例えば周期的などに繰返し行われる。

【 0 1 2 0 】

図 8 のステップ S 1 において、実相対位置決定ステップを実行する。実相対位置決定ステップ (S 1) は、撮影画像 V に基づいて、上述した実相対位置 R_r を決定するステップである。実相対位置決定ステップ (S 1) は、既に説明した実相対位置決定部 2 が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略する。図 8 に示す実施形態では、ステップ S 1 1 において、上述した撮影部 8 3 から撮影画像 V を取得し (撮影画像取得ステップ)、ステップ S 1 2 において、撮影画像 V から上述した溶接特徴量 P を検出し (溶接特徴量検出ステップ)、ステップ S 1 3 において、溶接特徴量 P に基づいて、上記の実相対位置 R_r を

10

20

30

40

50

算出するようになっている（算出ステップ）。

【0121】

この際、幾つかの実施形態では、上記の溶接特徴量検出ステップ（ステップS12）による溶接特徴量Pの検出異常を判定する検出異常判定部ステップ（不図示）を、さらに有していても良い。検出異常判定部ステップは、既に説明した検出異常判定部23が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略する。

【0122】

ステップS2において、目標相対位置決定ステップを実行する。目標相対位置決定ステップ（S2）は、上述した目標相対位置R_tを決定するステップである。目標相対位置決定ステップ（S2）は、既に説明した目標相対位置決定部3が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略するが、幾つかの実施形態では、上述した機械学習を用いた手法により、目標相対位置R_tを決定しても良い。

10

【0123】

ステップS3において、位置制御要否判定ステップを実行する。位置制御要否判定ステップ（S3）は、目標相対位置R_tと実相対位置R_rとの差異に基づいて、位置制御対象8Tの位置制御の要否を判定するステップである。位置制御要否判定ステップ（S3）は、既に説明した位置制御要否判定部4が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略する。図8に示す実施形態では、ステップS31において、目標相対位置R_tと実相対位置R_rとの差異が、上述した制御不感帯を逸脱したか否かを判定し、制御不感帯を逸脱したと判定した場合に、位置制御対象8Tの位置制御を必要と判定し、次のステップS4に進む。逆に、ステップS31において、目標相対位置R_tと実相対位置R_rとの差異が、制御不感帯を逸脱していないと判定した場合に、位置制御対象8Tの位置制御を不要と判定し、フローを終了する。

20

【0124】

ステップS4において、位置制御ステップを実行する。位置制御ステップ（S4）は、上述した実相対位置決定ステップ（S1）によって決定された実相対位置R_rを、上述した目標相対位置決定ステップ（S2）によって決定された目標相対位置R_tにするための位置制御対象8Tの位置制御を実行するステップである。位置制御ステップ（S4）は、既に説明した位置制御部5が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略する。

30

【0125】

また、幾つかの実施形態では、上記の溶接制御方法は、溶接の不具合事象を検出した場合に、目標相対位置決定ステップ（S2）によって決定された目標相対位置R_tを補正する目標位置補正ステップを、さらに備えても良い。目標位置補正ステップは、既に説明した目標位置補正部6が実行する処理内容と同様であるため、詳細は省略する。なお、目標相対位置決定ステップ（S2）は、図8のステップS2とステップS3との間で実施されると良い（図7参照）。

【0126】

本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

40

【符号の説明】

【0127】

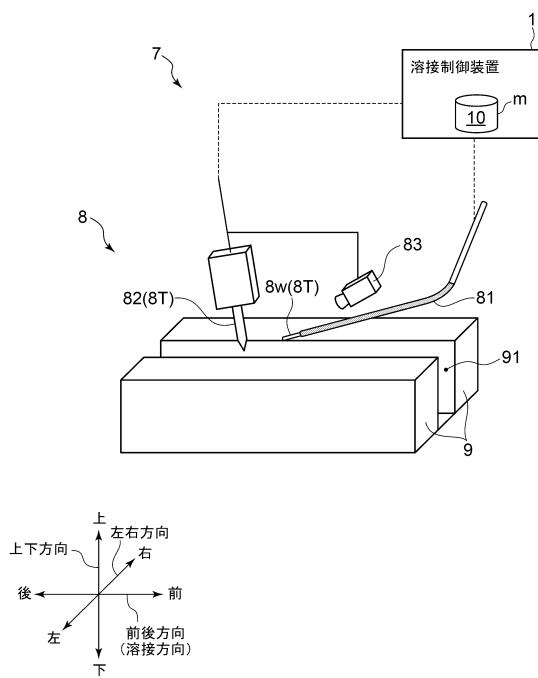
- 1 溶接制御装置
- 1 0 溶接制御プログラム
- m 記憶装置
- 2 実相対位置決定部
- 2 1 撮影画像取得部
- 2 2 溶接特徴量検出部
- 2 3 検出異常判定部
- 2 4 算出部
- 3 目標相対位置決定部

50

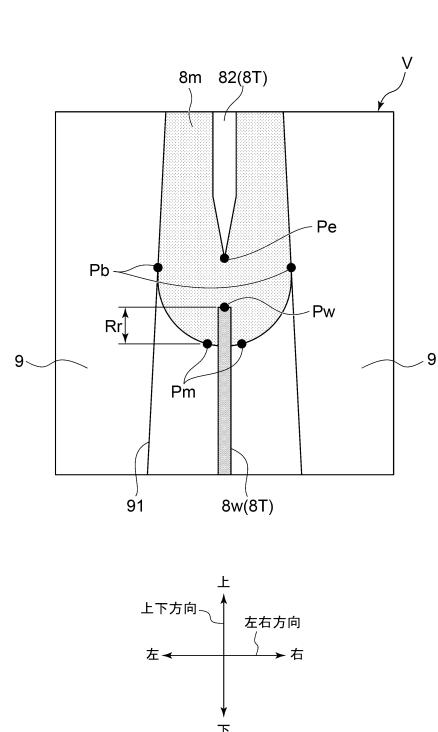
3 1	溶接条件取得部	
3 2	条件ベース目標決定部	
3 4	位置ベース目標決定部	
4	要否判定部	
5	位置制御部	
6	目標位置補正部	
7	溶接装置	
8	溶接実行装置	
8 T	位置制御対象	10
8 1	ワイヤ送り機構	
8 2	電極	
8 3	撮影部	
8 m	溶融池	
8 w	溶接ワイヤ	
9	溶接対象物	
9 1	開先（溶接対象物）	
C	溶接条件	
P	溶接特徴量	
P m	溶融池位置	
P w	ワイヤ位置	20
P b	開先位置	
P e	電極位置	
R r	実相対位置	
R t	目標相対位置	
S	定数	
V	撮影画像	
T	制御周期	
T f	異常制御周期	
T s	正常制御周期	
		30

【図面】

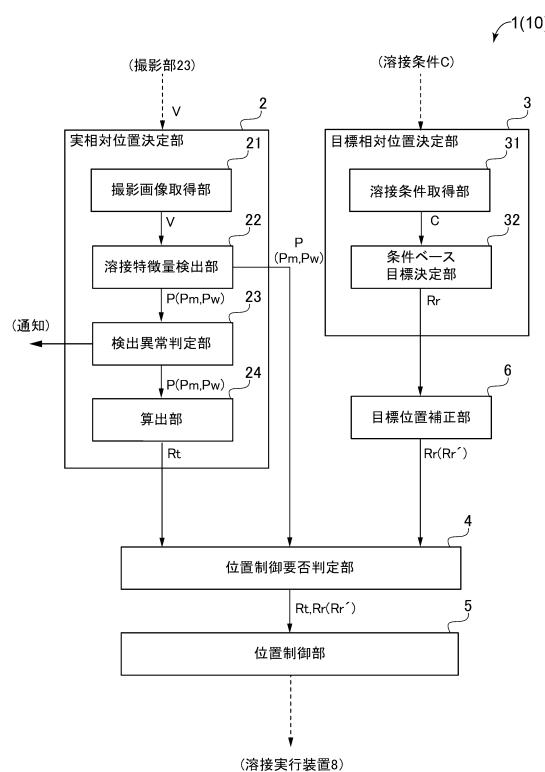
【図 1】



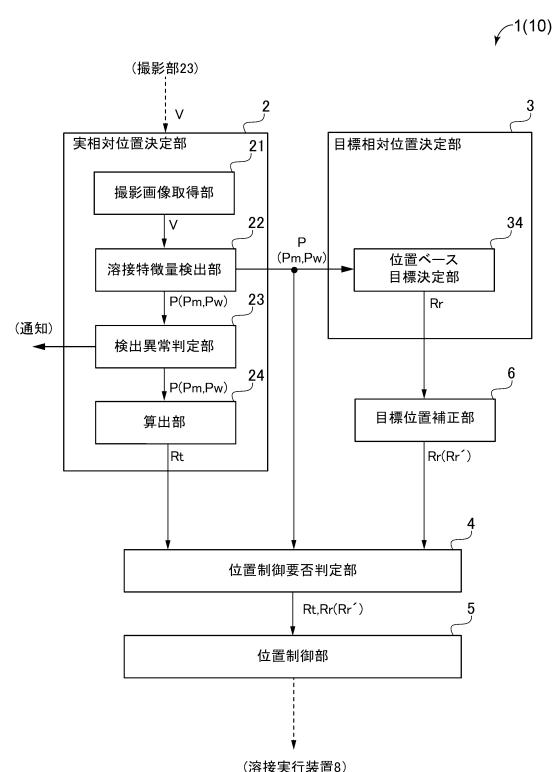
【図 2】



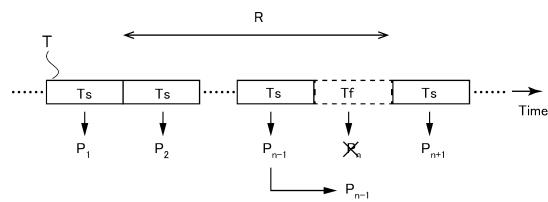
【図 3 A】



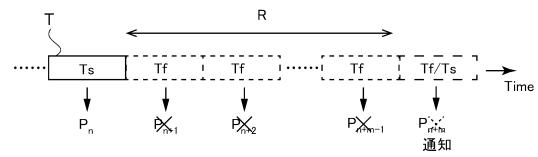
【図 3 B】



【図 4】

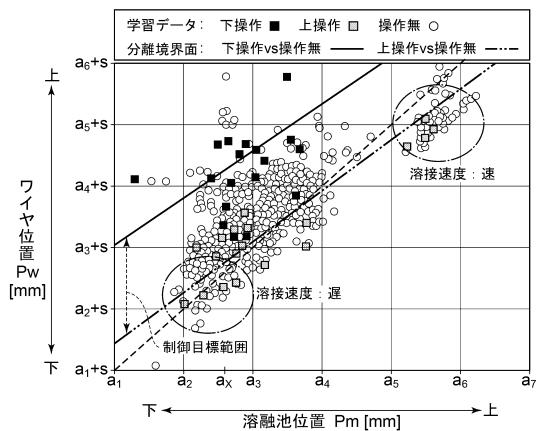


【図 5】

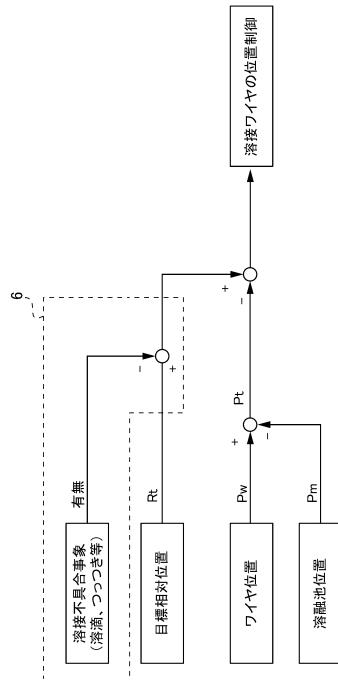


10

【図 6】



【図 7】



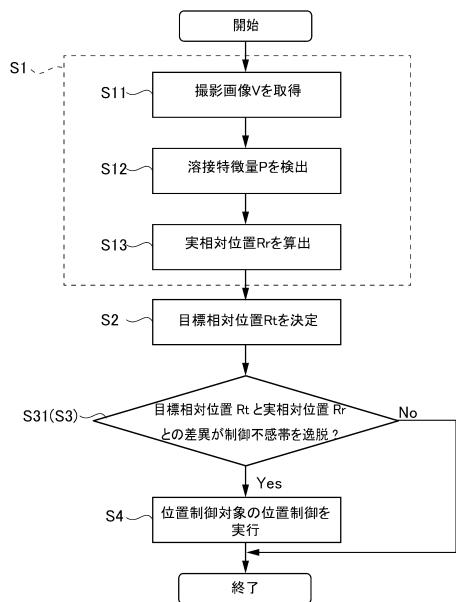
20

30

40

50

【図 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 木村 正宏

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 佐野 裕介

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 西嶋 泰志

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 後藤 泰輔

(56)参考文献 特開2004-017088 (JP, A)

特開2017-030014 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B23K 9/095