(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3542407号

(P3542407)

(45)発行日　平成16年7月14日(2004.7.14)　(24)登録日　平成16年4月9日(2004.4.9)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
B23K 31/00	B23K	31/00	F
B23K 9/00	B23K	9/00	501S
B23K 9/095	B23K	9/095	501A
G21C 13/00	G21C	13/00	GDBX

請求項の数 6　(全 31 頁)

(21)出願番号　特願平7-147147
(22)出願日　平成7年6月14日(1995.6.14)
(65)公開番号　特開平9-1376
(43)公開日　平成9年1月7日(1997.1.7)
審査請求日　平成12年10月23日(2000.10.23)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地
(74)代理人　100068504
弁理士　小川　勝男
(74)代理人　100061893
弁理士　高橋　明夫
(74)代理人　100086656
弁理士　田中　恭助
(72)発明者　望月　正人
茨城県土浦市神立町５０２番地　株式会社日立製作所機械研究所内
(72)発明者　遠藤　昭夫
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　株式会社日立製作所日立工場内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】低残留応力構造の溶接方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

溶接される構造物の継手形状に応じて、溶接条件を設定するに当たり、特定の溶接条件における溶接パスの積層の順序を決めるものとし、

前記特定の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。

【請求項２】

溶接される構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、

前記種々の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。

【請求項３】

複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物における溶接条件を設定するに当り、

特定の溶接条件におけるそれぞれの溶接パスの積層の順序を決めるものとし、前記特定の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。

【請求項４】
複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、
前記種々の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。
【請求項５】
溶接される構造物の継手形状に応じて、溶接条件を設定するに当たり、特定の溶接条件における溶接パスの積層の順序を決めるものとし、
前記特定の溶接条件下で溶接による残留変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。
【請求項６】
溶接される構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、
前記種々の溶接条件下で溶接による残留変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択することを特徴とする低残留応力構造の溶接方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、低残留応力構造の溶接方法に係り、特に、溶接構造物の残留応力を低くする溶接方法に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来の溶接構造物においては、残留応力、残留変形が発生した後に、熱処理などにより残留応力、残留変形を除去する方法が一般的であった。熱処理により残留応力、残留変形を除去する方法は、例えば、特開昭６２－１７１３３号公報に記載されている。
また、残留応力、残留変形を低減させる溶接法としては、すみ肉溶接において、溶接と同時に溶接線の裏側を加熱する方法などがある。溶接と同時に溶接線の裏側を加熱することにより残留応力、残留変形を低減させる溶接法は、例えば、特開平４－１６２９７８号公報に記載されている。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
上記従来技術の熱処理方法などにおいては、溶接後の残留応力値、残留変形値の大小については評価の対象ではなく、溶接後に熱処理を施すことによって残留応力、残留変形を低減させることに主目的がおかれていた。すなわち、熱処理を施す前の溶接終了後の残留応力、残留変形については考慮されていなかった。
【０００４】
また、上記従来技術のすみ肉溶接と同時に溶接線の裏側を加熱する方法などでは、溶接時の裏側の加熱条件を変化させることによつて残留応力、残留変形を低減させている。しかし、裏側の加熱条件を考慮しているものの、例えば、溶接パスの積層順序などについては考慮されていなかった。
【０００５】
本発明は、上記従来技術の問題点を解決するためになされたもので、溶接パスの積層順序とそれに伴う残留応力、残留変形に注目することにより、残留応力、残留変形の小さい溶接条件を設定した低残留応力構造の溶接方法を提供することを目的とする。
【０００６】

【課題を解決するための手段】
上記目的を達成するために、本発明の低残留応力構造の溶接方法に係る第１の方法は、溶接される構造物の継手形状に応じて、溶接条件を設定するに当り、特定の溶接条件における溶接パスの積層の順序を決めるものとし、前記特定の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択するものである。
【０００７】
同じく第２の方法は、溶接される構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、前記種々の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択するものである。
【０００８】
同じく第３の方法は、複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物における溶接条件を設定するに当り、特定の溶接条件におけるそれぞれの溶接パスの積層の順序を決めるものとし、前記特定の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択するものである。
【０００９】
同じく第４の方法は、複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、前記種々の溶接条件下で溶接による残留応力解析を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留応力値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択するものである。
【００１０】
同じく第５の方法は、溶接される構造物の継手形状に応じて、溶接条件を設定するに当り、特定の溶接条件における溶接パスの積層の順序を決めるものとし、前記特定の溶接条件下で溶接による残留変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択するものである。
【００１１】
同じく第６の方法は、溶接される構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、前記種々の溶接条件下で溶接による残留変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択するものである。
【００１２】
同じく第７の方法は、複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物における溶接条件を設定するに当り、特定の溶接条件におけるそれぞれの溶接パスの積層の順序を決めるものとし、前記特定の溶接条件下で溶接による残留変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる溶接パスの積層順序を、複数ある溶接パスの積層順序を逐次比較して選択するものである。
【００１３】
同じく第８の方法は、複数の溶接継手の組み合わせとして構成される溶接構造物の、少なくとも、開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序からなる種々の溶接条件を設定するに当り、前記種々の溶接条件下で溶接による残留応力変形解析もしくは残留変形測定を行ない、残留応力評価点として予め定めた注目点における残留変形値が最も小さくなる前記種々の溶接条件を、前記種々の溶接条件を逐次比較して選択するものである。

【００１４】
同じく第９の方法は、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、欠陥が発生すると予想される部位の表面での残留応力を許容値以下に設定するものである。
同じく第１０の方法は、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、欠陥が発生すると予想される部位の表面を起点とした断面、かつ、負荷される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力の平均値を最小にするものである。
【００１５】
同じく第１１の方法は、プラント機器を構成する溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、起動中および停止中を含めた運転時に負荷される部位の表面での残留応力を許容値以下に設定するものである。
同じく第１２の方法は、プラント機器を構成する溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、欠陥が発生すると予想される部位の表面を起点とした断面、かつ、起動中および停止中を含めた運転時に応力が負荷される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力の平均値を最小にするものである。
【００１６】
同じく第１３の方法は、溶接継手部の表側と裏側で耐腐食性の異なる条件で使用するプラント機器を構成する溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、耐腐食性の悪い環境側の構造物表面での残留応力を許容値以下に設定するものである。
同じく第１４の方法は、溶接継手部の表側と裏側で耐腐食性の異なる条件で使用する溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、き裂が進展すると考えられる断面でのき裂を開口させる方向の残留応力分布の圧縮応力のピーク値の位置が、耐腐食性の悪い環境側の構造物表面により近い位置になるように設定するものである。
【００１７】
同じく第１５の方法は、溶接構造物の中で未溶着部を有する溶接継手部付近について、第１もしくは第２の方法を用いて、未溶着先端付近での未溶着部を開口開口させる方向の残留応力が許容値以下になるように計算し、、溶接条件を設定するものである。
同じく第１６の方法は、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、溶接止端部での溶接線垂直方向残留応力が許容値以下になるように設定するものである。
【００１８】
同じく第１７の方法は、筐体形の溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力が許容値以下になるように設定するものである。
同じく第１８の方法は、繰り返し負荷荷重を受ける筐体形の溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、溶接止端部での溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力を含めた残留応力が許容値以下になるように設定するものである。
【００１９】
同じく第１９の方法は、溶接終了後に熱処理を受ける溶接構造物について、第１もしくは第２の方法を用いて、溶接される溶接構造物の継手形状に合わせ、溶接パスの積層の順序と溶接終了後の熱処理条件を考慮した残留応力を計算し、注目点での残留応力が許容値以下になるように設定するものである。
同じく第２０の方法は、溶接構造物の中で両側開先のルート部に未溶着部を有する溶接継手部について、第１もしくは第２の方法を用いて、左右の溶接肉盛量がほぼ均等になるように、溶接パスの積層順序を右側から左側、もしくは、左側から右側へ少なくとも３回は移動するようにしながら溶接を行うものである。
【００２０】
同じく第２１の方法は、円筒形の構造物で内外面の両側開先を持つ周方向溶接部について、第１もしくは第２の方法を用いて、内面側の溶接を行なったのちに、外面側の溶接を行

うものである。
同じく第２２の方法は、原子力発電プラントの原子炉圧力容器内部の炉心シュラウドの中で、少なくとも上部リング、上部胴、中間部リング、中間胴上半、中間胴下半、下部リング、下部胴の周方向溶接部について、第１の方法を用いて、両側開先を持つ溶接部のシュラウド内表面側から溶接を行い、その後、シュラウド外表面側の溶接を行うものである。
【００２１】
同じく第２３の方法は、原子力発電プラントの原子炉圧力容器内部の炉心シュラウドの中で、少なくとも上部リング、上部胴、中間部リング、中間胴上半、中間胴下半、下部リング、下部胴の周方向溶接部について、第２の方法を用いて、少なくとも溶接構造物の開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序に代表される溶接条件を決定し、シュラウド外表面側からシュラウド内表面側に溶接パスが積層される片側開先の溶接を行うものである。
【００２２】
同じく第２４の方法は、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡の溶接部について、第５の方法を用いて、原子炉圧力容器下鏡との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側での溶接を行い、次に、傾斜角度の大きい炉心中央側の溶接を行うこと、もしくは、原子炉圧力容器との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側での溶接ののちに、傾斜角度の大きい炉心中央側の溶接を行うことを繰り返すことにより溶接パスの積層を完了させるものである。
【００２３】
同じく第２５の方法は、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡の溶接部について、第６の方法を用いて、少なくとも溶接構造物の開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序に代表される溶接条件を決定し、原子炉圧力容器下鏡との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側での溶接を行い、次に、傾斜角度の大きい炉心中心側での溶接を傾斜角度の小さい断面での溶接による入熱量よりも小さい入熱量にて行うこと、もしくは、原子炉圧力容器下鏡との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側での溶接ののちに、傾斜角度の大きい炉心中心側での溶接を傾斜角度の小さい断面での溶接による入熱量よりも小さい入熱量にて行うことを繰り返すことにより溶接パスの積層を完了させるものである。
【００２４】
【作用】
第１の方法と第３の方法によれば、溶接構造物の残留応力を解析することにより、溶接パスの積層順序を求める作用が得られる。
第２の方法と第４の方法によれば、溶接条件の変化と残留応力の変化の関係から、溶接パスの積層順序や開先形状を含めた種々の溶接条件を求めることができる。
【００２５】
第５の方法と第７の方法によれば、溶接構造物の残留変形を解析することにより、溶接パスの積層順序を求める作用が得られる。
第６の方法と第８の方法によれば、溶接条件の変化と残留応力の変化の関係から、溶接パスの積層順序や開先形状を含めた種々の溶接条件を求めることができる。
【００２６】
第９の方法と第１１の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面残留応力を許容値以下に設定する作用が得られる。
第１０の方法と第１２の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面を起点とした断面、かつ、運転時に負荷される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力を最小にする作用が得られる。
【００２７】
第１３の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物の耐腐食性の悪い表面側での残留応力を許容値以下に設定する作用が得られる。

第１４の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物の耐腐食性の悪い環境側の表面により近い位置にき裂が進展すると考えられる断面での残留応力分布の圧縮応力のピーク値の位置がくる作用が得られる。

【００２８】

第１５の方法と第２０の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接継手部の未溶着部先端付近での未溶着部を開口させる方向の残留応力を許容値以下にする作用が得られる。

第１６の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物の溶接止端部での溶接線垂直方向の残留応力が許容値以下に設定する作用が得られる。

【００２９】

第１７の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物内部の拘束応力を許容値以下にする作用が得られる。

第１８の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接構造物内部の拘束応力を含めた残留応力を許容値以下にする作用が得られる。第１９の方法によれば、第１の方法および第２の方法による作用に加えて、溶接後に熱処理を受ける溶接構造物の溶接パスの積層順序と熱処理過程を含めた残留応力を許容値以下にする作用が得られる。

【００３０】

第２１の方法、第２２の方法、第２３の方法によれば、円筒形の構造物で内外面の両側開先を持つ周方向溶接部、すなわち、原子力発電プラントの原子炉圧力容器内部の炉心シュラウドの中で、少なくとも上部リング、上部胴、中間部リング、中間胴上半、中間胴下半、下部リング、下部胴の周方向溶接部について、第１３の方法と第１４の方法による作用が得られる。

第２４の方法、第２５の方法によれば、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡の溶接部について、第５の方法と第６の方法による作用が得られる。

【００３１】

【実施例】

以下、本発明の各実施例を図１ないし図２９を参照して説明する。

〔実施例　１〕

図１は、本発明の一実施例に係る溶接方法で、残留応力に注目した、溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。以下の説明において、（　）内は図１のフローチャートのステップＮｏ．である。

図１に示すように、溶接構造物の溶接手順を評価するには、まず、対象となる溶接構造物の形状を決定する（ステップ１０１）。その際、溶接構造物の材質（ステップ１０２）や、継手の開先の種類（ステップ１０３）を含めた情報を図示しない演算制御手段に入力する。

【００３２】

次に、対象となる溶接部の溶接条件を決定する（ステップ１０４）。その際、溶接方法（ステップ１０５）、溶接姿勢（ステップ１０６）、溶接棒径（ステップ１０７）、入熱量（ステップ１０８）を含めた情報を入力する。

溶接パスの積層順序として評価するｍ回（ｍ通り）の回数を数えるため、パラメータｎを１にする（ステップ１０９）。

ここで、評価するｍ回の溶接パスの積層順序を１回目からｍ回目に順に並べ、そのうち、ｎ回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ１１０）。すなわち、パラメータｎが１の場合、評価するｍ回の溶接パスの積層順序の中の１回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する。

【００３３】

選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留応力解析を実施する（ステップ１１１）。残留応力は、熱弾塑性解析や固有ひずみ解析などの数値解析により求めることができる。また、実験的に残留ひずみ量を測定し、弾性応力と弾性

ひずみとの関係式から残留応力を解析することもできる。
残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ１１２）。ここで、注目点は一箇所だけではなく、複数箇所を決めておいてもよい。
【００３４】
ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ１１３）。注目点が一箇所のみの場合はその点についてのみ比較する。また、注目点が複数ある場合は、それぞれの点について比較する。
注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶する（ステップ１１４）。この記憶は、上書きを可能とするもので、常に注目点での残留応力値が最も小さい積層順序を記憶していることになる。
【００３５】
注目点が一箇所のみの場合は、単純に残留応力値が小さい方の積層順序を記憶する。注目点が複数ある場合は、予めそれぞれの点に評価上の重要度を考慮した重み付けをし、複数の注目点全体として、残留応力値が小さい方の積層順序を記憶する。
注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さくない場合は、ステップ１１４の処理を無視する。
【００３６】
パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しいかどうかを判別し（ステップ１１５）、等しければステップ１１４にて記憶されている溶接パスの積層順序を溶接順序として設定する（ステップ１１７）。また、パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しくなければ、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ１１６）。その後、ステップ１１０に戻り、あらためて、ある溶接パスの積層順序について評価を行なう。
【００３７】
以上のような手順を実施することにより、本発明に係る残留応力を考慮した溶接方法を与えるための一実施例である、溶接構造物の溶接手順を評価することができる。
【００３８】
〔実施例　２〕
図２は、本発明の他の実施例に係る溶接方法で、残留変形に注目した、溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。以下の説明において、（　）内は図２のフローチャートのステップＮｏ．である。
図２に示すように、溶接構造物の溶接手順を評価するには、まず、対象となる溶接構造物の形状を決定する（ステップ２０１）。その際、溶接構造物の材質（ステップ２０２）や、継手の開先の種類（ステップ２０３）を含めた情報を入力する。
【００３９】
次に、対象となる溶接部の溶接条件を決定する（ステップ２０４）。その際、溶接方法（ステップ２０５）、溶接姿勢（ステップ２０６）、溶接棒径（ステップ２０７）、入熱量（ステップ２０８）を含めた情報を入力する。
溶接パスの積層順序として評価するｍ回（ｍ通り）の回数を数えるため、パラメータｎを１にする（ステップ２０９）。
ここで、評価するｍ回の溶接パスの積層順序を１回目からｍ回目に順に並べ、そのうち、ｎ回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ２１０）。すなわち、パラメータｎが１の場合、評価するｍ回の溶接パスの積層順序の中の１回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する。
【００４０】
選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留変形解析を実施する（ステップ２１１）。残留変形は、熱弾塑性解析などの数値解析により求めることができる。また、実験的に残留変形を求めることもできる。

残留変形解析結果から、残留変形を評価する点として予め決めておいた注目点での残留変形値を読み込む（ステップ２１２）。ここで、注目点は一箇所だけではなく、複数箇所を決めておいてもよい。

【００４１】

ここで、注目点での残留変形値と、これまでに行なった残留変形解析による注目点の残留変形値を比較する（ステップ２１３）。注目点が一箇所のみの場合はその点についてのみ比較する。また、注目点が複数ある場合は、それぞれの点について比較する。

注目点での残留変形値がこれまでに行なった残留変形解析による注目点の残留変形値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶する（ステップ２１４）。この記憶は、上書きを可能とするもので、常に注目点での残留応力値が最も小さい積層順序を記憶していることになる。

【００４２】

注目点が一箇所のみの場合は、単純に残留変形値が小さい方の積層順序を記憶する。注目点が複数ある場合は、予めそれぞれの点に評価上の重要度を考慮した重み付けをし、複数の注目点全体として、残留変形値が小さい方の積層順序を記憶する。

注目点での残留変形値がこれまでに行なった残留変形解析による注目点の残留変形値より小さくない場合は、ステップ２１４の処理を無視する。

【００４３】

パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しいかどうかを判別し（ステップ２１５）、等しければステップ２１４にて記憶されている溶接パスの積層順序を溶接順序として設定する（ステップ２１７）。また、パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しくなければ、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ２１６）。その後、ステップ２１０に戻り、あらためて、ある溶接パスの積層順序について評価を行なう。

【００４４】

以上のような手順を実施することにより、本発明に係る残留変形を考慮した溶接方法を与えるための一実施例である、溶接構造物の溶接手順を評価することができる。

【００４５】

〔実施例　３〕

図３は、本発明のさらに他の実施例に係る溶接方法で、溶接構造物の形状および溶接条件と溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。以下の説明において、（　）内は図３のフローチャートのステップＮｏ．である。

図３に示すように、溶接構造物の溶接手順を評価するには、まず、対象となる溶接構造物の形状と溶接条件、溶接パスの積層順序を評価するパラメータとして、それぞれｎ、ｑの値を１にする（ステップ３０１）。

【００４６】

次に、対象となる溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件を設定する（ステップ３０２）。その際、評価する溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件として考えられる、溶接構造物の材質や、継手の開先の種類、溶接方法、溶接姿勢、溶接棒径、入熱量を含めた情報をｐ通り入力する。ここで、評価するｐ回の溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件を１回目からｐ回目に順に並べ、そのうち、ｑ回目に数えられた溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件を選択する。

溶接パスの積層順序として評価するｍ回の回数を数えるため、パラメータｎを１にする（ステップ３０３）。ここで、評価するｍ回の溶接パスの積層順序を１回目からｍ回目に順に並べ、そのうち、ｎ回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する。

【００４７】

選択された溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件、溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留応力解析を実施する（ステップ３０４）。残留応力は、数値解析により求めることができる。また、実験的に残留ひずみ量を測定し、弾性応力と弾

性ひずみとの関係式から残留応力を解析することもできる。
残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ３０５）。ここで、注目点は一箇所だけではなく、複数箇所を決めておいてもよい。
【００４８】
ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ３０６）。注目点が一箇所のみの場合はその点についてのみ比較する。また、注目点が複数ある場合は、それぞれの点について比較する。
注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件および溶接パスの積層順序を記憶する（ステップ３０７）。この記憶は、上書きを可能とするもので、常に注目点での残留応力値が最も小さい積層順序を記憶していることになる。
【００４９】
注目点が一箇所のみの場合は、単純に残留応力値が小さい方の溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件および溶接パスの積層順序を記憶する。注目点が複数ある場合は、予めそれぞれの点に評価上の重要度を考慮した重み付けをし、複数の注目点全体として、溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件および溶接パスの積層順序を記憶する。
注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さくない場合は、ステップ３０７の処理を無視する。
【００５０】
パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しいかどうかを判別し（ステップ３０８）、等しければ次に進む。また、パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しくなければ、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ３０９）。その後、ステップ３０３に戻り、あらためて、同じ溶接構造物の形状と溶接部の溶接条件の元で、ある溶接パスの積層順序について評価を行なう。
【００５１】
パラメータｑと、溶接構造物の形状と溶接条件として評価する回数ｐが等しくなければパラメータｑを１大きくする（ステップ３１１）。その後、ステップ３０２に戻り、次の溶接構造物の形状と溶接条件の設定を行ない、評価を繰り返す。パラメータｑとパラメータｐが等しければステップ３０７にて記憶されている溶接構造物の形状と溶接条件および溶接パスの積層順序を溶接手順として設定する（ステップ３１２）。
【００５２】
以上のような手順を実施することにより、本発明に係る残留応力を考慮した溶接方法を与えるための一実施例である、溶接構造物の形状と溶接条件および溶接パスの積層順序を評価することができる。
【００５３】
〔実施例　４〕
図４は、本発明のさらに他の実施例に係る溶接方法で、仮想的に複数の溶接継手部をもつ溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。以下の説明において、（　）内は図４のフローチャートのステップＮｏ．である。
図４に示すように、溶接構造物の溶接手順を評価するには、まず、対象となる溶接構造物の形状を決定する（ステップ４０１）。その際、溶接構造物の材質（ステップ４０２）や、溶接構造物を仮想的に分割した場合の複数の溶接継手になる場所の開先の種類（ステップ４０３）を含めた情報を入力する。
【００５４】
次に、溶接構造物を仮想的に分割した場合の複数の溶接継手の個数を表すパラメータｑを１にする（ステップ４０４）。ここで評価するｐ個の仮想的な溶接継手の溶接条件を１個目からｐ個目に順に並べ、そのうち、ｑ回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ４０５）。すなわち、パラメータｑが１の場合、評価するｐ個の仮想的な溶接

継手の溶接条件の中の１回目に数えられた溶接継手の溶接条件を選択する。

【００５５】

対象となる仮想的な溶接継手部の溶接条件を設定する（ステップ４０６）。その際、溶接方法（ステップ４０７）、溶接姿勢（ステップ４０８）、溶接棒径（ステップ４０９）、入熱量（ステップ４１０）を含めた情報を入力する。

パラメータｑと、仮想的な溶接継手部の溶接条件として評価する回数ｐが等しいかどうかを判別し（ステップ４１１）、等しければステップ４１２に進む。また、パラメータｑと、仮想的な溶接継手部の溶接条件として評価する回数ｐが等しくなければステップ４０６に戻り、あらためて、ある仮想的な溶接継手部の溶接条件について評価を行なう。

【００５６】

溶接パスの積層順序として評価するｍ回の回数を数えるため、パラメータｎを１にする（ステップ４１２）。

ここで、評価するｍ回の溶接パスの積層順序を１回目からｍ回目に順に並べ、そのうち、ｎ回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ４１３）。すなわち、パラメータｎが１の場合、評価するｍ回の溶接パスの積層順序の中の１回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する。

【００５７】

選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留応力解析を実施する（ステップ４１４）。残留応力は、熱弾塑性解析や固有ひずみ解析などの数値解析により求めることができる。また、実験的に残留ひずみ量を測定し、弾性応力と弾性ひずみとの関係式から残留応力を解析することもできる。

残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ４１５）。ここで、注目点は一箇所だけではなく、複数箇所を決めておいてもよい。

【００５８】

ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ４１６）。注目点が一箇所のみの場合はその点についてのみ比較する。また、注目点が複数ある場合は、それぞれの点について比較する。

注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶する（ステップ４１７）。この記憶は、上書きを可能とするもので、常に注目点での残留応力値が最も小さい積層順序を記憶していることになる。

【００５９】

注目点が一箇所のみの場合は、単純に残留応力値が小さい方の積層順序を記憶する。注目点が複数ある場合は、予めそれぞれの点に評価上の重要度を考慮した重み付けをし、複数の注目点全体として、残留応力値が小さい方の積層順序を記憶する。

注目点での残留応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さくない場合は、ステップ４１７の処理を無視する。

【００６０】

パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しいかどうかを判別し（ステップ４１８）、等しければステップ４１７にて記憶されている溶接パスの積層順序を溶接順序として設定する（ステップ４２０）。また、パラメータｎと、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍが等しくなければ、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ４１９）。その後、ステップ４１３に戻り、あらためて、ある溶接パスの積層順序について評価を行なう。

【００６１】

以上のような手順を実施することにより、本発明に係る残留応力を考慮した溶接方法を与えるための一実施例である、仮想的に複数の溶接継手を有する溶接構造物の溶接手順を評価することができる。

【００６２】

〔実施例　５〕
図１に示したフローチャートの如き、残留応力に注目した、溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を適用した一実施例を、図５ないし図１３を参照して説明する。
図５は、図１に示したフローチャートの如き溶接手順を適用した沸騰水型原子炉圧力容器の分解斜視図、図６は、図５の沸騰水型原子炉圧力容器の炉心シュラウドを示す斜視図、図７は、図６の炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の周方向溶接部の拡大断面図である。
【００６３】
また、図８は、図６に示す炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の第一の例を示す説明図、図９は、同じ炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の第二の例を示す説明図、図１０は、同じ炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の第三の例を示す説明図、図１１は、図８の溶接パスの積層順序で溶接した炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力を示す線図、図１２は、図９の溶接パスの積層順序で溶接した炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力を示す線図、図１３は、図１０の溶接パスの積層順序で溶接した炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力を示す線図である。
【００６４】
図５は、原子力発電プラントの沸騰水型原子炉の圧力容器を示すもので、圧力容器１の内部には、炉心シュラウド２、上部格子板３、炉心支持板４、ジェットポンプ５など、種々の機器が取り付けられている。その中で、炉心シュラウド２は、圧力容器１の内側にある円筒型の構造物である。炉心シュラウド２およびその周辺部を取り出したものを図６に示す。炉心シュラウド２は、それぞれ円筒状の形状をした、上部リング２１と上部胴２２、その上部胴２２と中間部リング２３、その中間部リング２３と中間胴上半２４、その中間胴上半２４と中間胴下半２５、その中間胴下半２５と下部リング２６、その下部リング２６と下部胴２７等が、それぞれの周方向溶接により製作されている。
【００６５】
図７は、前記炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４とを接続する周方向溶接継手の、溶接部の断面の一例を示したものである。
中間リング溶接熱影響部における半径方向への軸方向残留応力の分布は、中間リング内表面からの応力腐食割れの発生および進展に大きく影響する。したがって、注目点を中間リング溶接熱影響部における半径方向への直線上での内表面と、圧縮応力の最大値のある箇所とし、注目する残留応力の方向として軸方向残留応力を取り上げる。注目点での軸方向残留応力が、内表面ではできるだけ小さく、圧縮応力の最大値のある箇所はできるだけ内表面寄りにあり、かつ、大きな圧縮応力になることが応力腐食割れの予防上望ましい。
【００６６】
前記炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４とを接続する周方向溶接を、図１のフローチャートのステップＮｏ．を用いて説明する。
まず、炉心シュラウドの形状と寸法を決定する（ステップ１０１）。材質はオーステナイト系ステンレス鋼ＪＩＳ規格ＳＵＳ３０４鋼（ステップ１０２）、開先種類は両側開先である（ステップ１０３）。
【００６７】
次に、溶接条件を決定する（ステップ１０４）。溶接方法は、初層はガスタングステン溶接、２層目以降はサブマージアーク溶接である（ステップ１０５）。溶接姿勢は下向き（ステップ１０６）、溶接棒径は初層は４ｍｍ、２層目以降は５ｍｍである（ステップ１０７）。入熱量は２０ｋＪ／ｃｍである（ステップ１０８）。
溶接パスの積層順序として評価するｍ回の回数を数えるため、パラメータｎを１にする（ステップ１０９）。この実施例の場合、ｍを３とする。

【００６８】
炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４を接続する周方向溶接継手の溶接部の断面での溶接パスの積層順序の一例を図８，９，１０に示す。
図８，９，１０は、いずれも沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。
周方向の多層溶接継手は、溶接終了後の最終的な断面で見ると軸対称形になるので、どの断面をとってもこのような断面になる。
【００６９】
図８中の数字は溶接パスの積層順序を示す。まず、両側開先の外表面側を約１／２溶接し、次に、内表面側を最終層まで溶接、その後、外表面側の残り約１／２を最終層まで溶接する。
同様に、図９、図１０中の数字は溶接パスの積層順序であり、図９では、まず両側開先の内表面側を溶接し、次に、外表面側を溶接する。図１０では、まず両側開先の外表面側を溶接し、次に、内表面側を溶接する。
ここで、評価する３通りの溶接パスの積層順序を１回目から３回目に順に並べ、そのうち、１回目に教えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ１１０）。今回の場合、図８に示した溶接順序である。
【００７０】
選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留応力解析を実施する（ステップ１１１）。このときの残留応力は、一例として、中間リング溶接熱影響部での半径方向への軸方向残留応力分布では、炉心シュラウド内表面側を起点として図１１のようになる。
図１１は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布（外表面側を約１／２まで溶接後、内表面側を溶接、その後、外表面側の残り約１／２を溶接した場合）の線図である。
内表面では引張応力が約３５０ＭＰａであり、その後内側に約５ｍｍ入ったところで約４００ＭＰａの引張応力になる。その後、応力値は減少し、内側に約１５ｍｍ入ったところで応力値は０になり、内側に約３０ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値を取り、その値は約－２５０ＭＰａである。
【００７１】
残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ１１２）。今回の場合、内表面での引張応力が約３５０ＭＰａ、内側に約３０ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値は約－２５０ＭＰａである。
ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ１１３）。今回は１回目の評価であるため、内表面での引張応力が約３５０ＭＰａ、内側に約３０ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値約－２５０ＭＰａは必然的に他の溶接順序での値より小さいとして扱われる。
【００７２】
注目点での残留応力値が、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶する（ステップ１１４）。今回の場合は図８に示した積層順序を記憶する。
溶接パスの積層順序を教えているパラメータｎを１大きくする（ステップ１１５）。今回の場合、パラメータｎを２にする。
パラメータｎ＝１と、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しいかどうかを判別し（ステップ１１５）、パラメータｎ＝１と溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しくないので、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ１１６）。今回の場合、パラメータｎを２にする。その後、ステップ１１０に戻る。
【００７３】

次に、評価する３通りの溶接パスの積層順序の中で、２回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ１１０）。今回の場合、図９に示すような溶接パスの積層順序である。
選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留解析を実施する（ステップ１１１）。このときの残留応力は、一例として、中間リング溶接熱影響部での半径方向への軸方向残留応力分布では、炉心シュラウド内表面側を起点として図１２のようになる。
【００７４】
図１２は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布（内表面側を溶接後、外表面側を溶接した場合）の線図である。
内表面では引張応力が約２００ＭＰａである。その後、応力値は減少し、内側に約１０ｍｍ入ったところで応力値は０になり、内側に約１８ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値を取り、その値は約－２５０ＭＰａである。
【００７５】
残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ１１２）。今回の場合、内表面での引張応力が約－２００ＭＰａである。
ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ１１３）。現在記憶されている情報は１回目の解析による残留応力であり、内表面での引張応力が約３５０ＭＰａ、内側に約３０ｍｍ入ったところでの圧縮応力のピーク値は約－２５０ＭＰａである。
【００７６】
注目点での軸方向残留応力が、内表面ではできるだけ小さく、圧縮応力の最大値のある箇所はできるだけ内表面寄りにあり、かつ、大きな圧縮応力になるという判定基準から判断すると、今回行なった解析結果の方が、内表面での引張応力が小さく、また、圧縮応力の最大値は同じ程度であるが、圧縮応力のある箇所は内表面寄りにある。したがって、注目点での残力応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残力応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶するため、今回の評価に用いた図９の積層順序を記憶する（ステップ１１４）。
【００７７】
溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ１１５）。今回の場合、パラメータｎを３にする。
パラメータｎ＝２と、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しいかどうかを判別し（ステップ１１５）、パラメータｎ＝２と溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しくないので、溶接パスの積層順序を数えているパラメータｎを、１大きくする（ステップ１１６）。今回の場合、パラメータｎを３にする。その後、ステップ１１０に戻る。
【００７８】
次に、評価する３通りの溶接パスの積層順序の中で、３回目に数えられた溶接パスの積層順序を選択する（ステップ１１０）。今回の場合、図１０に示すような溶接パスの積層順序である。
選択された溶接パスの積層順序で製作する溶接構造物について、溶接による残留解析を実施する（ステップ１１１）。このときの残留応力は、一例として、中間リング溶接熱影響部での半径方向への軸方向残留応力分布では、炉心シュラウド内表面側を起点として図１３のようになる。
【００７９】
図１３は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布（外表面側を溶接後、内表面側を溶接した場合）の線図である。

図１３に示すように、内表面では引張応力が約２５０ＭＰａである。その後、応力値は減少し、内側に約１５ｍｍ入ったところで応力値は０になり、内側に約３５ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値を取り、その値は約－２００ＭＰａである。

【００８０】

残留応力解析結果から、残留応力を評価する点として予め決めておいた注目点での残留応力値を読み込む（ステップ１１２）。今回の場合、内表面での引張応力が約２５０ＭＰａ、内側に約３５ｍｍ入ったところでの圧縮応力のピーク値取は約２００ＭＰａである。

ここで、注目点での残留応力値と、これまでに行なった残留応力解析による注目点の残留応力値を比較する（ステップ１１３）。現在記憶されている情報は２回目の解析による残留応力であり、内表面での引張応力が約２００ＭＰａ、内側に約１８ｍｍ入ったところでの圧縮応力のピーク値は約－２５０ＭＰａである。

【００８１】

注目点での軸方向残留応力が、内表面ではできるだけ小さく、圧縮応力の最大値のある箇所はできるだけ内表面寄りにあり、かつ、大きな圧縮応力になるという判定基準から判断すると、今回行なった解析結果の方が、内表面での引張応力が大きく、また、圧縮応力のある箇所が外表面寄りにあり、圧縮応力の最大値も大きい。したがって、注目点での残力応力値がこれまでに行なった残留応力解析による注目点の残力応力値より小さい場合は、今回評価を行なっている溶接パスの積層順序を記憶するため、今回の評価に用いた図１０の積層順序を記憶せずに、次に進む（ステップ１１３）。

【００８２】

パラメータｎ＝３と、溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しいかどうかを判別し（ステップ１１５）、パラメータｎ＝３と溶接パスの積層順序として評価する回数ｍ＝３が等しいので、現在記憶されている図９に示されたような溶接順序を決定する（ステップ１１７）。

【００８３】

以上のように、図１に示した本発明の一実施例である残留応力に注目した溶接パスの積層順序を考慮した溶接手順予測手法を、炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４を接続する周方向溶接継手に適用した結果、図９に示されたような溶接順序を決定することができる。

炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４を接続する周方向溶接継手の残留変形に注目した場合についても、図２のフローを用いて同様に残留変形解析を行なうことにより、同様の結果を得ることができる。

【００８４】

〔実施例　６〕

次に、図６に示した如き沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウド２の中間胴上半２４と中間胴下半２５の周方向溶接を例に、図３のフローによって溶接パスの積層順序や、開先形状などの溶接条件を決定する手法を説明する。

図３は、本発明の他の実施例に係る溶接構造物の形状および溶接条件と溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順予測手法のフローチャート図である。

【００８５】

中間胴上半２４と中間胴下半２５とは、突合せ周継手として接合される。この周継手の開先形状はａ通り考えられる。また、入熱量はｂ通り、溶接棒径はｃ通り、溶接方法はｄ通り、溶接姿勢ｅ通りが考えられる。これらすべてを含んだ溶接条件はｐ通り考えられることになる。ここで、Ｐ＝ａ×ｂ×ｃ×ｄ×ｅと表される。

【００８６】

このｐ通りの溶接条件（ステップ３０２）について、ｍ通り考えられる溶接パスの積層順序（ステップ３０３）の残留応力をそれぞれ解析し、注目点での残留応力値が最も小さくなる溶接条件と溶接パスの積層順序を選択する（ステップ３１２）。注目する点での判定基準は、前述の炉心シュラウドの中間リング２３と中間胴上半２４とを接続する周方向溶接継手と同じく、注目点での軸方向残留応力が、内表面ではできるだけ小さく、圧縮応力

の最大値のある箇所はできるだけ内表面寄りにあり、かつ、大きな圧縮応力になるという判定基準である。

【００８７】

一例として以下に示す図１４ないし図１９は、考えられる一つの開先形状に対する溶接パスの積層順序の例を示したものである。

図１４ないし図１９は、いずれも沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【００８８】

図１４の例では、内表面側を溶接後、外表面側を溶接している。

また、図１５の例では、内表面側を約１／２まで溶接したのち、外表面側を溶接し、その後内表面側の残り約１／２を溶接した場合の溶接パスの積層順序を示している。

さらに、図１６の例では、内表面側を約１／２まで溶接したのち、外表面側を約１／２まで溶接、その後、内表面側の残り約１／２を溶接、再び外表面側の残り約１／２を溶接した場合の溶接パスの積層順序を示している。

【００８９】

次に、図１７の例では、外表面側を溶接後、内表面側を溶接した場合の溶接パスの積層順序を示している。

また、図１８の例では、外表面側を約１／２まで溶接したのち、内表面側を溶接し、その後、外表面側の残り約１／２を溶接した場合の溶接パスの積層順序を示している。

さらに、図１９の例では、外表面側を約１／２まで溶接したのち、内表面側を約１／２まで溶接、その後、外表面側の残り約１／２を溶接、再び内表面側の残り約１／２を溶接した場合の溶接パスの積層順序を示している。

【００９０】

また、図２０は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の開先寸法を変化させた溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

ここでは具体的な手順の説明を省略するが、これらの溶接パスの積層順序それぞれに、開先形状、入熱量、溶接棒径、溶接方法は、溶接姿勢のパラメータがどのように働くかを解析的に求めることができる。また、評価を行なった解析結果をデータベースとして保存しておけば、類似の形状の解析対象が現われたときに、すべてのケースを評価しなくてもよいことになる。

【００９１】

図２１は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。すなわち、炉心シュラウド２の中間胴上半２４と中間胴下半２５の周方向溶接において、図３のフローによって決定した、溶接パスの積層順序や開先形状などの溶接条件による溶接熱影響部での軸方向残留応力の半径方向への分布を示す。

図２１に示すように、内表面では圧縮応力が約－５０ＭＰａである。その後、応力値は減少し、内側に約１５ｍｍ入ったところで圧縮応力のピーク値を取り、その値は約－３００ＭＰａである。その後、応力値は徐々に大きくなり、内側に約３５ｍｍ入ったところで０になり、外表面では約１００ＭＰａの引張応力である。

【００９２】

〔実施例　７〕

次に、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物において、欠陥が発生すると予想される部位の残留応力を評価した実施例の一例について説明する。

図２２は、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物６の一部の断面形状を示す斜視図である。この溶接構造物の一部の断面は、すみ肉継手になっており、ウエブ６１とフランジ６２が溶接部６３によって接続されている。また、すみ肉継手は図中の矢印の方向に繰り返し負荷荷重Ｐを受ける。

このとき、すみ肉継手の中で最も大きい応力が発生するのは溶接止端部６４であり、欠陥が最も発生しやすいと考えられる。

【００９３】

そこで、一例として図１に示したフローにより、注目点である溶接止端部６４での荷重方向の残留応力が許容値以下になるように溶接パスの積層順序を決定する。これにより、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物６の疲労破壊の予防上、望ましい残留応力分布を得ることができる。

また、溶接構造物の疲労破壊の予防上の別の観点から、欠陥が発生すると予想される部位の表面を起点とした断面、かつ、負荷される荷重の最大主応力の方向に垂直方向の断面での残留応力の平均値を最小にするように、溶接パスの積層順序を決定することが望ましい。

【００９４】

同様に、上述のような構造要素によって構成される筐体形の溶接構造物において、図１または図３に示したフローにより、溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力が許容値以下になるように設定することにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

また、繰り返し負荷荷重を受ける筐体形の溶接構造物において、図１または図３に示したフローにより、溶接止端部での溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力を含めた残留応力が許容値以下になるように設定することにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

【００９５】

〔実施例　８〕

次に、プラント機器を構成する溶接構造物において、起動中および停止中を含めた運転時に負荷される部位の表面での残留応力を評価した実施例の一例について説明する。

図２３は、沸騰水型原子炉の圧力容器を貫通する炉心モニタハウジングの取付け溶接部を示す斜視図である。炉心モニタハウジング７の取付け溶接部７１は、圧力容器下部の鏡板１１と、圧力容器下部の鏡板肉盛溶接部１２を貫通する穴の圧力容器内表面側で、周方向に楕円状に多層溶接されている。炉心モニタハウジング７は、運転時において腐食環境中にあるため、応力腐食割れの予防上、欠陥の発生が予想される部位での応力を低くしておくことが望ましい。

【００９６】

炉心モニタハウジング７には、取付け時の溶接による残留応力の他に、起動中および停止中を含めた運転時に熱および内圧による応力が発生する。熱および内圧による応力は、溶接止端部７２および溶接ルート部７３の炉心モニタハウジング内外表面において大きな応力になる。そこで、溶接止端部７２および溶接ルート部７３の炉心モニタハウジング内外表面における残留応力と運転能力の和が許容値以下になるように、溶接パスの積層順序を決定することにより、応力腐食割れに対して問題のない応力を分布させることができる。

【００９７】

また、溶接止端部７２および溶接ルート部７３の炉心モニタハウジング内外表面をそれぞれ結ぶ断面における最大主応力に垂直方向の断面での残留応力の平均値を最小にするような溶接パスの積層順序を決定することも、応力腐食割れ防止上都合がよい。

また、炉心モニタハウジングの取付け溶接部の形状、開先形状、溶接条件、溶接パスの積層順序などをパラメータとして、図３に示したフローを用いることにより、応力腐食割れに対して問題のない構造形状と残留応力になるような、溶接部の形状、開先形状、溶接条件、溶接パスの積層順序などの種々の溶接条件を求めることもできる。

【００９８】

〔実施例　９〕

次に、溶接継手部の表側と裏側で耐腐食性の異なる条件で使用するプラント機器を構成する溶接構造物の残留応力を評価した実施例の一例について説明する。図２４は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部を示す部分斜視図、図

２５ないし図２９は、沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。

【００９９】

図２４に示すものは、沸騰水型原子炉の炉心シュラウド２の中間胴上半２４と、中間胴下半２５との周方向溶接である。中間胴上半２４と中間胴下半２５との周方向溶接部３０は、多層溶接により接続されている。炉心シュラウド２の内表面側は外表面側に比べて耐腐食性が悪い。したがって、軸方向に垂直な平面き裂が発生すると考えられる内表面の溶接熱影響部でのき裂を開く方向である軸方向残留応力はできるだけ小さく、かつ、き裂が進展すると考えられる半径方向断面でのき裂を開口させる方向である軸方向残留応力分布の圧縮応力のピークの位置はできるだけ内表面側にあることが望ましい。

【０１００】

この周方向溶接部３０に対して、溶接部の形状、開先形状、溶接条件、溶接パスの積層順序などをパラメータとして、図３に示したフローを用いることにより、種々の残留応力分布が得られる。図２５ないし図２９にそれらの一例を示す。中間胴内表面側からの半径方向距離に沿った軸方向残留応力を表示している。

これらの残留応力分布を比較すると、内表面での残留応力は、図２９に示した分布が最も小さく、以下、図２６と図２８、図２７と図２５に示した分布の順に大きくなる。また、圧縮応力がピークになる位置は図２７と図２８と図２９に示した分布が最も内表面側にあり、図２６と図２５に示した分布はそれに比べて外表面側にある。

【０１０１】

したがって、図２９に示した軸方向残留応力分布が得られるような溶接部の形状、開先形状、溶接条件、溶接パスの積層順序など種々の溶接条件を図３に示したフローにより評価して選定すれば、応力腐食割れに対して問題のない構造形状と残留応力になるように設定することができる。

同様に、円筒形をした構造物の周方向溶接において、内表面側の耐腐食性が外表面側の耐腐食性よりも悪いとき、図３の方法を用いて、溶接構造物の開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序に代表される種々の溶接条件を決定し、内面側を溶接したのちに、外面側の溶接を行うことにより、応力腐食割れ防止上、望ましい残留応力分布にすることができる。

【０１０２】

逆に、円筒形をした構造物の周方向溶接において、外表面側の耐腐食性が内表面側の耐腐食性よりも悪いとき、図３の方法を用いて、溶接構造物の開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序に代表される種々の溶接条件を決定し、外面側を溶接したのちに、内面側の溶接を行うことにより、応力腐食割れ防止上、望ましい残留応力分布にすることができる。

【０１０３】

〔実施例　１０〕

次に、繰り返し負荷荷重を受ける未溶着部を有する溶接構造物において、欠陥が発生すると予想される未溶着部の残留応力を評価した実施例の一例について説明する。図３０は、繰り返し負荷荷重を受ける未溶着部を有する溶接構造物の一部の断面形状を示す斜視図である。

この未溶着部を有する溶接構造物８の一部の断面は、すみ肉継手になっており、ウエブ８１とフランジ８２が溶接部８３によって接続されている。この溶接部８３には、未溶着部８４が存在する。また、すみ肉継手は図中の矢印の方向に繰り返し負荷荷重Ｐを受ける。

【０１０４】

このとき、すみ肉継手の中で最も大きい応力が発生するのは荷重方向に対する未溶着部８４であり、欠陥が最も発生しやすいと考えられる。

そこで、一例として、図１に示したフローにより、注目点である溶接止端部８５での荷重方向の残留応力が許容値以下になるように溶接パスの積層順序を決定する。これにより、

繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物６の疲労破壊の予防上、望ましい残留応力分布を得ることができる。

【０１０５】

また、溶接構造物の疲労破壊の予防上の観点から、欠陥が発生すると予想される部位の表面を起点とした断面、かつ、負荷される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力の平均値を最小にするように、溶接パスの積層順序を決定するのも望ましい。

同様に、上述のような構造要素によって構成される筐体形の溶接構造物において、図１または図３に示したフローにより、溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力が許容値以下になるように設定することにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

【０１０６】

また、繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物において、図１または図３に示したフローにより、溶接止端部での溶接終了後に発生する構造物内部の拘束応力を含めた残留応力が許容値以下になるように設定することにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

【０１０７】

またさらに、例えば、溶接構造物の中で両側開先のルート部に未溶着部を有する溶接継手部において、左右の溶接肉盛量がほぼ均等になるように、溶接パスの積層順序を右側から左側、もしくは、左側から右側へ少なくとも３回は移動するようにしながら溶接を行うことにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

【０１０８】

〔実施例　１１〕

溶接終了後に熱処理を受ける溶接構造物において、溶接される溶接構造物の継手形状に合わせ、溶接パスの積層の順序と溶接終了後の熱処理条件を考慮した上で残留応力を評価した実施例の一例について説明する。

例えば、図７に示すような構造物が熱処理を受ける場合、溶接パスの積層の順序とその後の熱処理によって発生する残留応力を、例えば図１のフローを用いて、欠陥が最も発生しやすいと考えられる部位の残留応力が許容値以下になるように設定する。このことにより、溶接構造物の健全性を保証する上で、望ましい残留応力分布を得ることができる。

また、図２２，図２３，図２４，図３０に示したような構造物が熱処理を受ける場合についても、同様のことが言える。もちろん、他の形状の構造物についても同じことである。

【０１０９】

〔実施例　１２〕

次に、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡との溶接部における、注目点での残留応力を評価した結果、得られた溶接方法について説明する。

この場合、応力腐食割れが発生しやすい場所として、配管内外表面に炉水に浸された部分が挙げられる。これらの部位での残留応力を許容値以下にするために、例えば図１に示したフローを用いて、残留応力を評価する。

【０１１０】

図３１は、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡との溶接部を示す斜視図である。

原子力発電プラントの中性子束計装配管７Ａと原子炉圧力容器下部の鏡板１１との溶接部において、原子炉圧力容器下部の鏡板１１との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側７４での溶接を行い、次に、傾斜角度の大きい炉心中央側７５の溶接を行う。

もしくは、原子炉圧力容器下部の鏡板１１との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側７４での溶接の後に、傾斜角度の大きい炉心中央側７５の溶接を行うことを繰り返すことにより溶接パスの積層を完了させる。

【０１１１】

また、原子力発電プラントの中性子束計装配管７Ａと原子炉圧力容器下部の鏡板１１との

溶接部において、溶接構造物の開先形状、溶接方法、入熱量、溶接パスの積層の順序に代表される溶接条件を決定し、原子炉圧力容器下部の鏡板１１との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側７４での溶接を行い、次に、傾斜角度の大きい炉心中央側７５での溶接を傾斜角度の小さい断面での溶接による入熱量よりも小さい入熱量にて行うこともできる。

【０１１２】

もしくは、原子炉圧力容器下部の鏡板１１との傾斜角度の小さい圧力容器胴体側７４での溶接の後に、傾斜角度の大きい炉心中央側７５での溶接を傾斜角度の小さい断面での溶接による入熱量よりも小さい入熱量にて行うことを繰り返すことにより、溶接パスの積層を完了させることもできる。

このようにして、原子力発電プラントの中性子束計装配管７Ａと原子炉圧力容器下部の鏡板１１との溶接部における残留応力を評価することにより、溶接方法を決定することができる。

【０１１３】

なお、本発明は、以上に述べてきた各実施例に限定されるものではなく、これらの実施例から類推できる他の溶接構造物の低残留応力構造の溶接方法も、本発明の中に含まれることは言うまでもない。

【０１１４】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明の各方法によれば下記の効果がある。

第１の方法によれば、溶接構造物の残留応力を溶接順序を考慮して解析することにより、溶接パスの積層順序を求めることができる効果が得られる。

第２の方法によれば、溶接条件の変化と残留応力の変化の関係から、溶接パスの積層順序を求めることができる効果が得られる。

【０１１５】

第３の方法によれば、複数の溶接継手の組合せとして構成される溶接構造物の残留応力を溶接順序を考慮して解析することにより、溶接パスの積層順序を求めることができる効果が得られる。

第４の方法によれば、複数の溶接継手の組合せとして構成される溶接構造物の溶接条件の変化と残留応力の変化との関係から、溶接パスの積層順序を含めた溶接条件を求めることができる効果が得られる。

【０１１６】

第５の方法によれば、溶接構造物の残留変形を溶接順序を考慮して解析することにより、溶接パスの積層順序を求めることができる効果が得られる。

第６の方法によれば、溶接条件の変化と残留応力の変化との関係から、溶接パスの積層順序を含めた溶接条件を求めることができる効果が得られる。

【０１１７】

第７の方法によれば、複数の溶接継手の組合せとして構成される溶接構造物の残留変形を溶接順序を考慮して解析することにより、溶接パスの積層順序を求めることができる効果が得られる。

第８の方法によれば、複数の溶接継手の組合せとして構成される溶接構造物の溶接条件の変化と残留応力の変化との関係から、溶接パスの積層順序を含めた溶接条件を求めることができる効果が得られる。

【０１１８】

第９の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面残留応力を許容値以下に設定することができる効果が得られる。

第１０の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面を起点とした断面、かつ、運転時に付加される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力を最小にすることができる効果が得られる。

【０１１９】

第１１の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、プラント機器を構成

する溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面残留応力を許容値以下に設定することができる効果が得られる。
第１２の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、プラント機器を構成する溶接構造物の欠陥が発生しやすい部位の表面を起点とした断面、かつ、運転時に付加される荷重の最大主応力方向に垂直方向の断面での残留応力を最小にすることができる効果が得られる。
【０１２０】
第１３の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の耐腐食性の悪い表面側での残留応力を許容値以下に設定することができる効果が得られる。
第１４の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の耐腐食性の悪い環境側の表面により近い位置に亀裂が進展すると考えられる断面での残留応力分布の圧縮応力のピーク位置を分布させることができる効果が得られる。
【０１２１】
第１５の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接継手部の未溶着部先端付近での未溶着部を開口させる方向の残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第１６の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の溶接止端部での溶接線垂直方向の残留応力が許容値以下に設定することができる効果が得られる。
【０１２２】
第１７の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物の拘束応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第１８の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接構造物内部の拘束応力を含めた残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
【０１２３】
第１９の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接後に熱処理を受ける溶接構造物の溶接パスの積層順序と熱処理過程を含めた残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第２０の方法によれば、第１および第２の方法による効果に加えて、溶接パスの積層順序を両側開先を持つ溶接継手の左右で移動させることにより、溶接継手部の未溶着部先端付近での未溶着部を開口させる方向の残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
【０１２４】
第２１の方法によれば、円筒型の構造物の残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第２２の方法によれば、原子力発電プラントの原子炉圧力容器内部の炉心シュラウドの周方向溶接による残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第２３の方法によれば、原子力発電プラントの原子炉圧力容器内部の炉心シュラウドの周方向溶接部の溶接順序を考慮することにより、残留応力を許容値以下にすることができる効果が得られる。
【０１２５】
第２４の方法によれば、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡の溶接部において、溶接順序を考慮することにより、残留変形を許容値以下にすることができる効果が得られる。
第２５の方法によれば、原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡の溶接部において、入熱量と溶接順序とを考慮することにより、残留変形を許容値以下にすることができる効果が得られる。
【０１２６】
上記を総合して、本発明によれば、溶接パスの積層順序とそれに伴う残留応力、残留変形に注目することにより、残留応力、残留変形の小さい溶接条件を設定した低残留応力構造

の溶接方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施例に係る溶接方法で、残留応力に注目した、溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。

【図２】本発明の他の実施例に係る溶接方法で、残留変形に注目した、溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。

【図３】本発明のさらに他の実施例に係る溶接方法で、溶接構造物の形状および溶接条件と溶接パスの積層順序を考慮した溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。

【図４】本発明のさらに他の実施例に係る溶接方法で、仮想的に複数の溶接継手部をもつ溶接構造物の溶接手順評価手法を示すフローチャート図である。

【図５】図１に示したフローチャートの如き溶接手順を適用した沸騰水型原子炉圧力容器の分解斜視図である。

【図６】図５の沸騰水型原子炉圧力容器の炉心シュラウドを示す斜視図である。

【図７】図６の炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の周方向溶接部の拡大断面図である。

【図８】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図９】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１０】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１１】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布の線図である。

【図１２】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布の線図である。

【図１３】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間部リングと中間胴上半の溶接部の溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向の分布の線図である。

【図１４】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１５】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１６】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１７】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１８】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図１９】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の周方向溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図２０】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の開先寸法を変化させた溶接部における溶接パスの積層順序の一例を断面で示した説明図である。

【図２１】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。

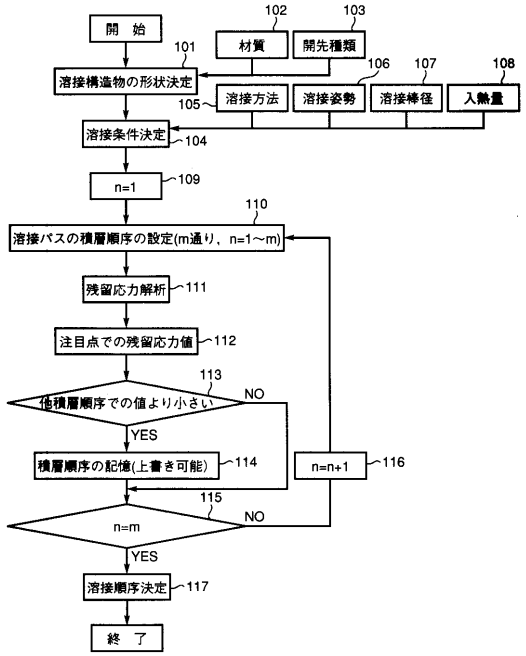
【図２２】繰り返し負荷荷重を受ける溶接構造物の一部の断面形状を示す斜視図である。この溶接構造物の一部の断面は、すみ肉継手になっている。また、すみ肉継手は図中の矢印の方向に繰り返し負荷荷重Ｐを受ける。

【図２３】沸騰水型原子炉の圧力容器を貫通する炉心モニタハウジングの取付け溶接部を示す斜視図である。

【図２４】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部を示す部分斜視図である。
【図２５】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。
【図２６】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。
【図２７】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。
【図２８】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。
【図２９】沸騰水型原子炉圧力容器炉心シュラウドの中間胴上半と中間胴下半の溶接部における溶接熱影響部での軸方向残留応力の内表面を起点とした半径方向への分布の一例を示す線図である。
【図３０】繰り返し負荷荷重を受ける未溶着部を有する溶接構造物の一部の断面形状を示す斜視図である。
【図３１】原子力発電プラントの中性子束計装配管と原子炉圧力容器下鏡との溶接部を示す斜視図である。
【符号の説明】
１…沸騰水型原子炉の圧力容器、２…炉心シュラウド、３…上部格子板、４…炉心支持板、５…ジェットポンプ、６…負荷荷重を受ける溶接構造物、７…炉心モニタハウジング、７Ａ…中性子束計装配管、８…未溶着部を有する溶接構想物、１１…圧力容器下部の鏡板、１２…鏡板肉盛溶接部、２１…上部リング、２２…上部胴、２３…中間部リング、２４…中間胴上半、２５…中間胴下半、２６…下部リング、２７…下部胴、３０…周方向溶接部、６１…ウエブ、６２…フランジ、２８，２９，６３，７１，８３…溶接部、６４，７２，８５…溶接止端部、７３…溶接ルート部、７４…圧力容器胴体側、７５…炉心中央部、８４…未溶着部。

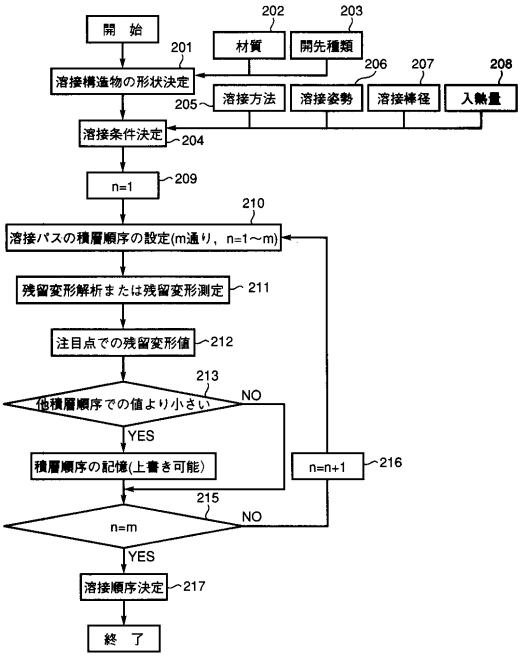
【図１】

図 1



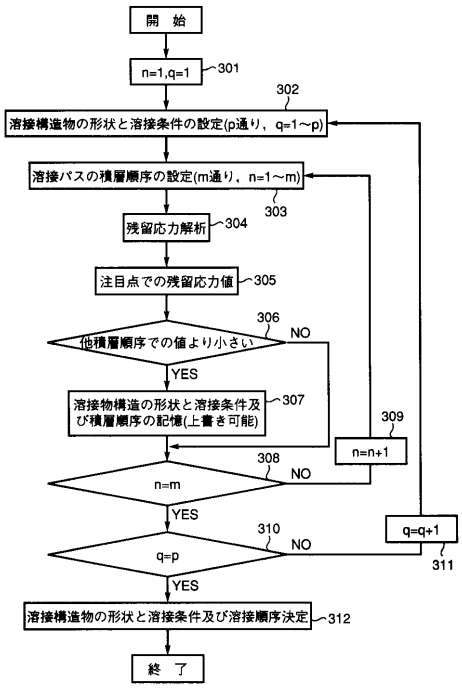
【図２】

図 2



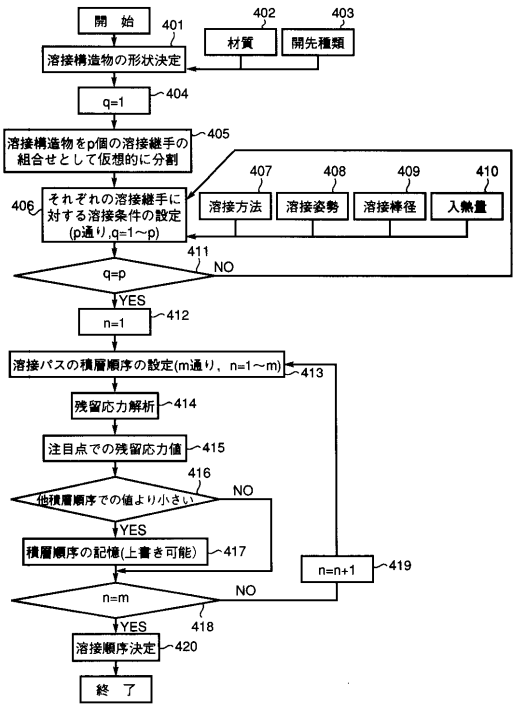
【図３】

図 3



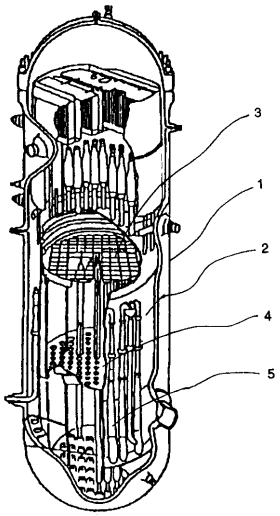
【図４】

図 4



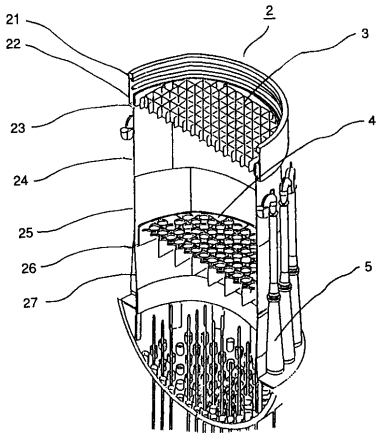
【図５】

図 5



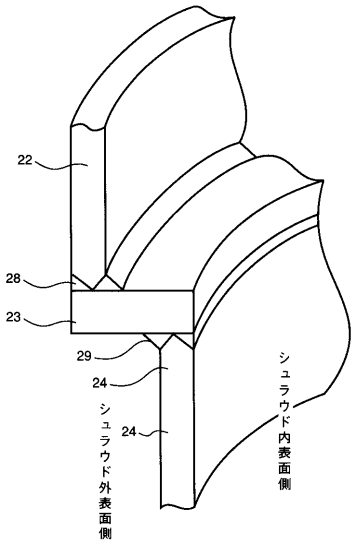
【図６】

図 6



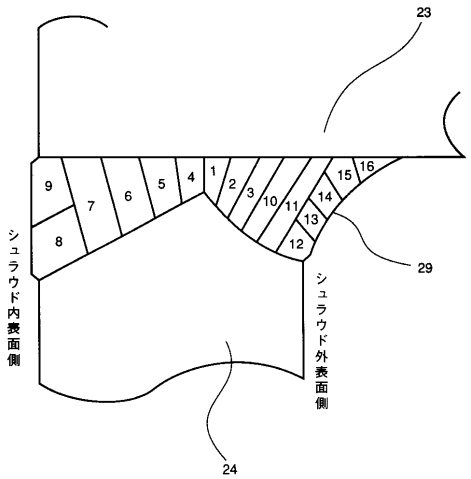
【図７】

図 7



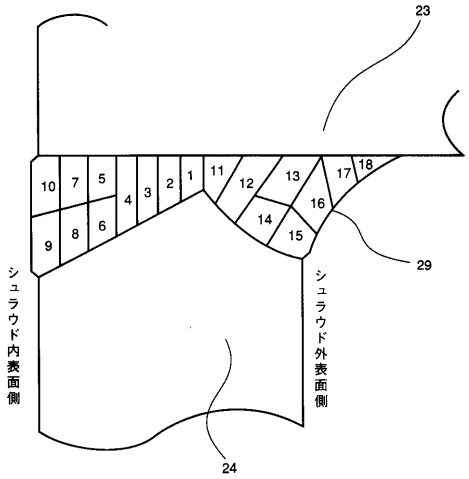
【図８】

図 8



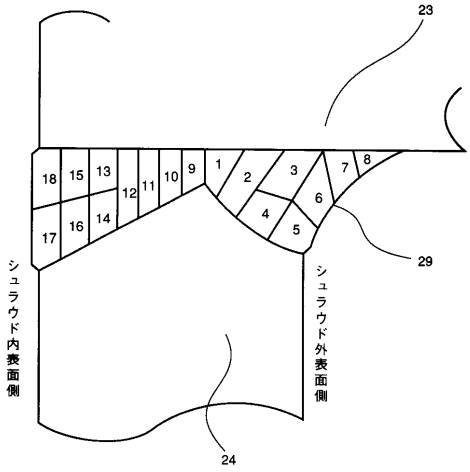
【図９】

図 9



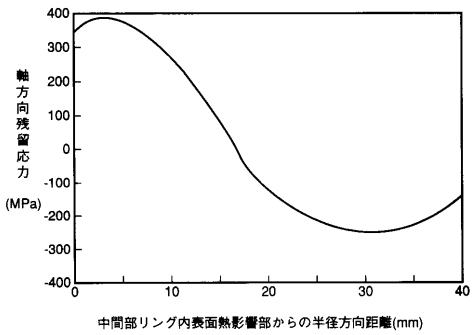
【図１０】

図 10



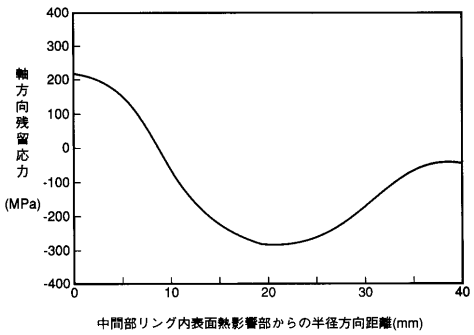
【図１１】

図 11



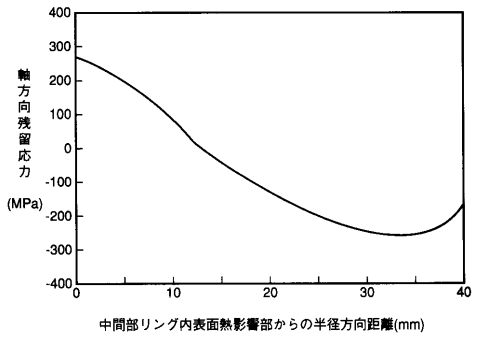
【図１２】

図 12



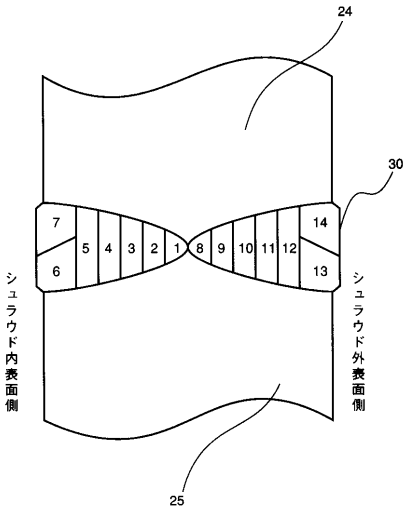
【図１３】

図 13



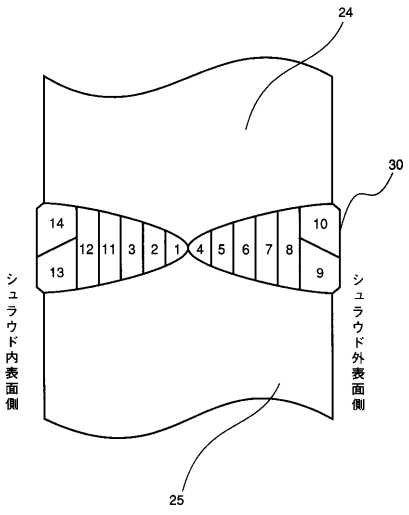
【図１４】

図 14



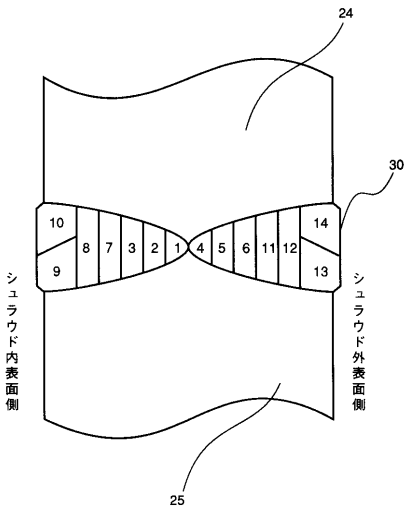
【図１５】

図 15



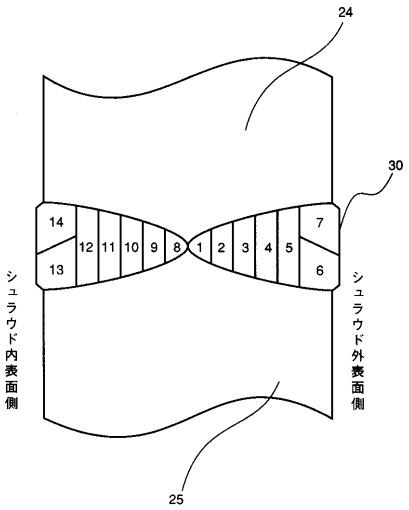
【図１６】

図 16



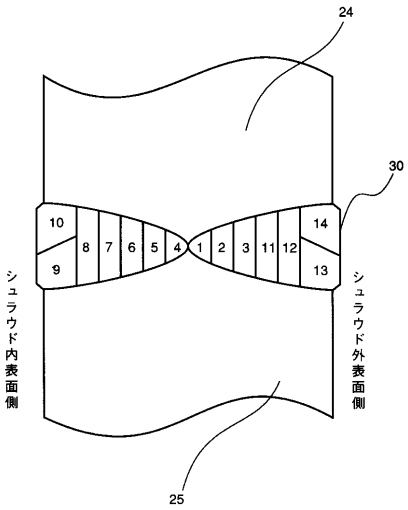
【図１７】

図 17



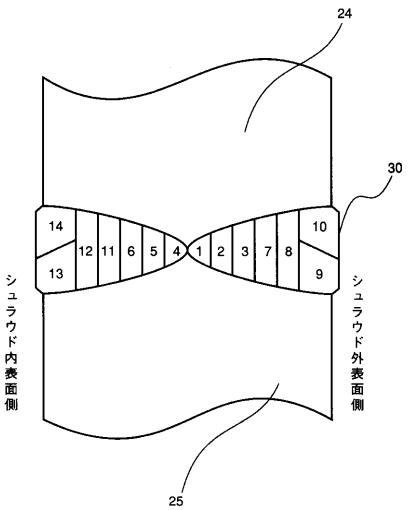
【図１８】

図 18



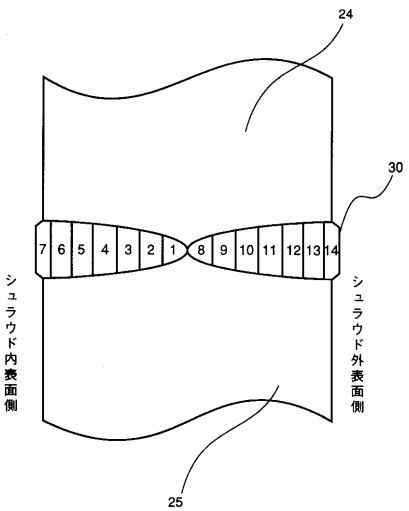
【図１９】

図 19



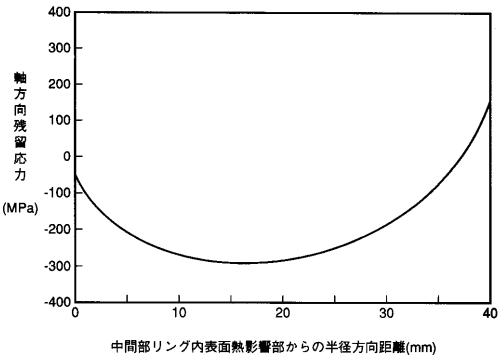
【図２０】

図 20



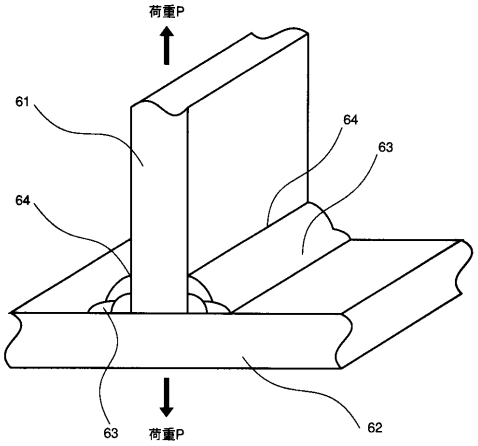
【図２１】

図 21



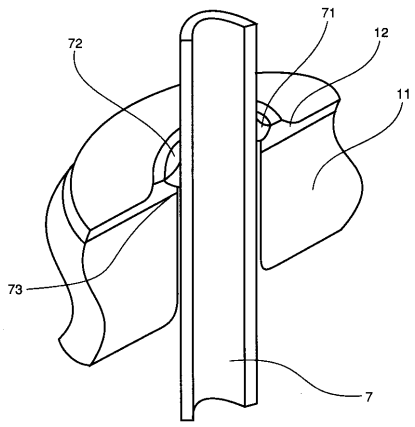
【図２２】

図 22



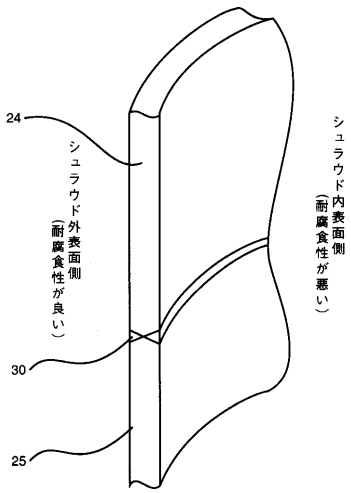
【図２３】

図 23



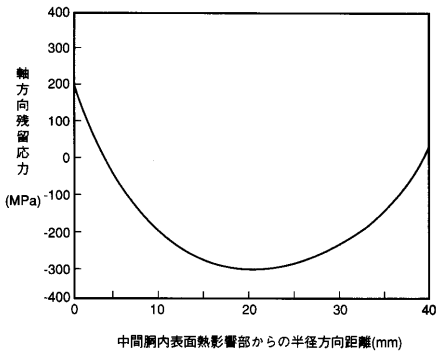
【図２４】

図 24



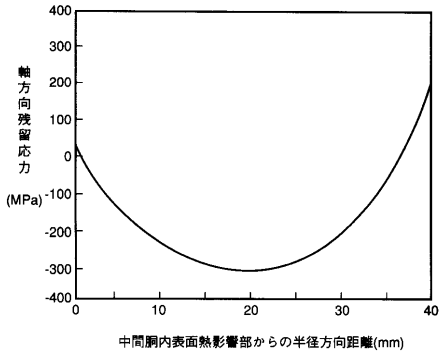
【図２５】

図 25



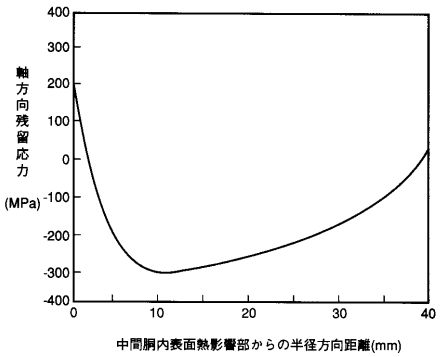
【図２６】

図 26



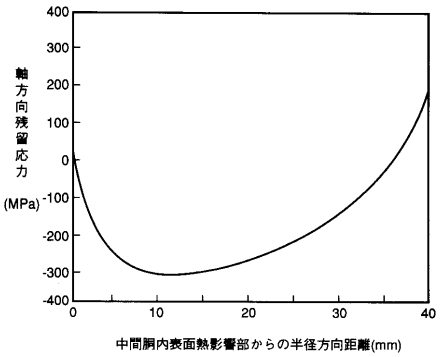
【図２７】

図 27



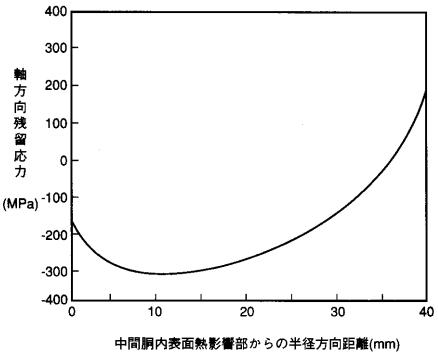
【図２８】

図 28



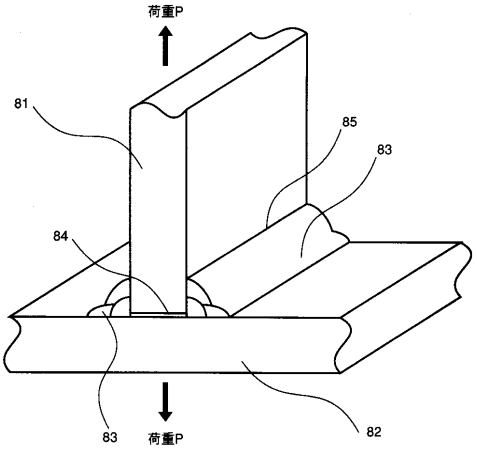
【図２９】

図 29



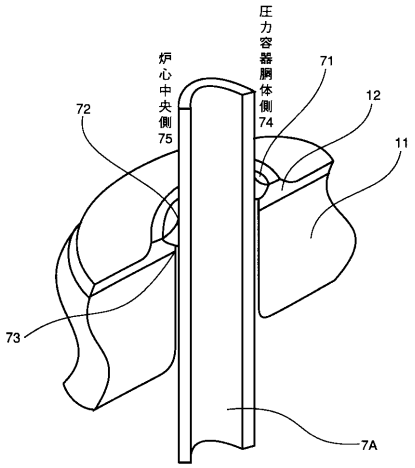
【図３０】

図 30



【図３１】

図 31



フロントページの続き

(72)発明者　和田　則明
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　株式会社日立製作所日立工場内
(72)発明者　服部　成雄
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　株式会社日立製作所日立工場内
(72)発明者　玉井　康方
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　株式会社日立製作所日立工場内
(72)発明者　中川　正紀
茨城県土浦市神立町５０２番地　株式会社日立製作所機械研究所内
(72)発明者　林　真琴
茨城県土浦市神立町５０２番地　株式会社日立製作所機械研究所内
(72)発明者　藤森　治男
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所日立研究所内

審査官　千葉　成就

(56)参考文献　特開平３－２８６９９８（ＪＰ，Ａ）
特開昭５６－１０９１６７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
B23K 31/00
B23K 9/00 501
B23K 9/095 501
G21C 13/00 GDB