

(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
2016 年 12 月 15 日(15.12.2016)



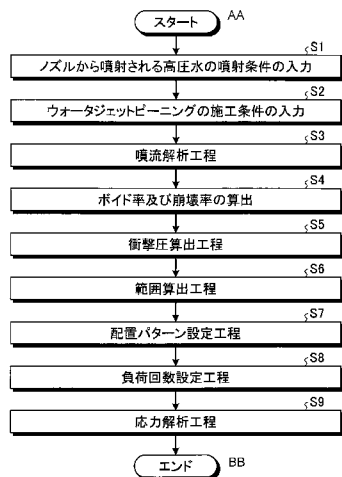
(10) 国際公開番号
WO 2016/199438 A1

- (51) 国際特許分類:
B23P 17/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050022
- (22) 国際出願日: 2016 年 1 月 4 日(04.01.2016)
- (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 2015-117824 2015 年 6 月 10 日(10.06.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 越智 真弓(OCHI, Mayumi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 小川 直輝(OGAWA, Naoki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 堀 展之(HORI, Nobuyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 8 番 1 号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー

[続葉有]

(54) Title: STRESS ANALYSIS METHOD FOR WATER-JET PEENING, STRESS ANALYSIS DEVICE, AND STRESS ANALYSIS PROGRAM

(54) 発明の名称: ウォータジェットピーニングの応力解析方法、応力解析装置及び応力解析プログラム



- S1 Input of jetting conditions for the high-pressure water jetted from the nozzle
S2 Input of conditions for implementing the water-jet peening
S3 Jet analysis process
S4 Calculation of a void fraction and a decay rate
S5 Impact pressure calculation process
S6 Range calculation process
S7 Arrangement pattern setting process
S8 Number-of-application times setting process
S9 Stress analysis process
AA Start
BB End

(57) Abstract: This stress analysis method for water-jet peening analyzes residual stress in a surface treated by water-jet peening by which a fluid from a nozzle is jetted to the surface to be treated. The stress analysis method comprises: a jet analysis process (S3); an impact pressure calculation process (S5); a range calculation process (S6) for calculating an impact pressure application range from a correlation between the impact pressure application range, the impact pressure, and a material strength; an arrangement pattern setting process (S7) for setting an arrangement pattern in which multiple impact pressure application ranges are arranged with respect to the surface to be treated; a number-of-application times setting process (S8) for setting a number of times the treatment will be applied to the surface to be treated; and a stress analysis process (S9) for analyzing residual stress in the surface to be treated by using the calculated impact pressure, the impact pressure application range, the set arrangement pattern, and the number-of-application times as analysis conditions.

(57) 要約: ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析方法であって、噴流解析工程 (S3) と、衝撃圧算出工程 (S5) と、衝撃圧負荷範囲と衝撃圧と材料強度との相関関係から、衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程 (S6) と、施工対象面に対して衝撃圧負荷範囲を複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程 (S7) と、配置パターンの位置を異ならせて、施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程 (S8) と、算出した衝撃圧、衝撃圧負荷範囲、設定した配置パターン及び負荷回数を解析条件として、施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程 (S9) と、を備える。



ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, 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：

ウォータージェットピーニングの応力解析方法、応力解析装置及び応力解析プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、高圧水等の流体を施工対象面に噴射して、施工対象面を改質するウォータージェットピーニングの応力解析方法、応力解析装置及び応力解析プログラムに関するものである。

背景技術

[0002] 構造物は、溶接等が行われることによって、その表面に引張残留応力が生じる。ウォータージェットピーニングは、構造物の表面に生じている引張残留応力を除去するために、構造物の表面に対して高圧水を噴射する。つまり、ウォータージェットピーニングは、構造物の表面に対して高圧水を噴射することで、高圧水中で発生する微細な気泡が崩壊することで生じる衝撃波により、構造物の表面に圧縮応力を与える。このため、構造物は、ウォータージェットピーニングにより引張残留応力が除去される。これにより、施工対象面は、ウォータージェットピーニングにより改質されることで、応力腐食割れが抑制される。

[0003] ここで、ウォータージェットピーニングが施工される施工対象物の残留応力を評価するウォータージェットピーニングの残留応力評価方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。この残留応力評価方法では、ノズルから噴出する噴流を解析して、気泡の気泡内圧と気泡数密度の予測結果に基づいて施工面上の気泡の崩壊圧を算出し、この崩壊圧を用いて施工面上の残留応力を算出している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第5011416号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、ウォータジェットピーニングが施工される施工対象物の材料強度は異なる場合がある。施工対象物の材料強度が異なると、ノズルから噴出する噴流条件が同じである場合であっても、施工対象面の残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲が異なる。このため、施工対象物の材料強度毎に、残留応力を評価しなければならず、残留応力の評価に多大な時間を要することとなる。

[0006] そこで、本発明は、施工対象面における材料強度が異なる場合であっても、施工対象面の残留応力を迅速に解析することができるウォータジェットピーニングの応力解析方法、応力解析装置及び応力解析プログラム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

[0007] 本発明のウォータジェットピーニングの応力解析方法は、ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析方法であって、前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲と、前記衝撃圧と、前記施工対象面における材料強度との相関関係から、前記衝撃圧及び前記材料強度に基づいて、前記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程と、算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を備えることを

特徴とする。

[0008] また、本発明のウォータジェットピーニングの応力解析装置は、ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析装置であって、解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する演算部と、前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲、噴射される前記流体による前記施工対象面への衝撃圧、及び前記施工対象面における材料強度の相関関係と、前記材料強度と、を記憶する記憶部と、を備え、前記演算部は、前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、前記相関関係から、算出した前記衝撃圧及び記憶した前記材料強度に基づいて、前記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程と、算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を実行することを特徴とする。

[0009] さらに、本発明のウォータジェットピーニングの応力解析プログラムは、ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析装置の演算部に、前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲と、前記衝撃圧と、前記施工対象面における材料強度との相関関係から、前記衝撃圧及び前記材料強度に基づいて、前

記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程と、算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を実行させることを特徴とする。

[0010] この構成によれば、衝撃圧と材料強度と衝撃圧負荷範囲との相関関係から、算出した衝撃圧と計測等によって得られた材料強度とに基づいて、応力解析に必要な衝撃圧負荷範囲を算出することができる。そして、算出した衝撃圧、衝撃圧負荷範囲、設定した配置パターン及び負荷回数を解析条件として、施工対象面の残留応力を解析することができる。このため、施工対象面における材料強度が異なる場合であっても、上記の相関関係から、衝撃圧負荷範囲を迅速に算出することができ、これにより、施工対象面における残留応力を迅速に解析することができる。

[0011] また、前記衝撃圧負荷範囲と前記衝撃圧と前記材料強度との相関関係は、前記衝撃圧／前記施工対象面の降伏応力と、前記衝撃圧負荷範囲との関数で表され、前記関数は、前記残留応力を除去可能な深さである残留応力変化深さ、及び前記残留応力を除去可能な範囲である残留応力変化範囲に応じて、複数用意されることが、好ましい。

[0012] この構成によれば、関数を用いることで、必要な残留応力変化深さ及び残留応力変化範囲に対して、衝撃圧及び降伏応力から、衝撃圧負荷範囲を迅速に算出することができる。

[0013] また、前記衝撃圧負荷範囲は、円形であり、前記配置パターン設定工程における所定の前記間隔は、前記衝撃圧負荷範囲の直径であり、前記配置パターンは、前記衝撃圧負荷範囲を、前記間隔を空けて列方向に並べて配置すると共に、複数の前記衝撃圧負荷範囲を、前記間隔を空けて行方向に並べて配

置することで、複数の衝撃圧負荷範囲を格子状に配置したものであることが、好ましい。

[0014] この構成によれば、施工対象面の所定の領域における残留応力を、効率良く算出することができる。なお、衝撃圧負荷範囲は、気泡の崩壊によって発生することから、理想的な形状として、円形としている。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図1は、本実施形態に係る応力解析装置の解析対象となる施工対象面周りの説明図である。

[図2]図2は、本実施形態に係る応力解析装置の概略的な構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、本実施形態に係るウォータージェットピーニングの応力解析方法に関するフローチャートである。

[図4]図4は、施工対象面からの深さ方向における残留応力変化深さに関する図である。

[図5]図5は、施工対象面の水平方向における残留応力変化範囲に関する図である。

[図6]図6は、複数の衝撃圧負荷範囲により形成される配置パターンの一例を示す説明図である。

[図7]図7は、負荷回数に応じた配置パターンの一例を示す説明図である。

[図8]図8は、複数の衝撃圧負荷範囲により形成される配置パターンの一例を示す説明図である。

[図9]図9は、負荷回数に応じた配置パターンの一例を示す説明図である。

[図10]図10は、複数の衝撃圧負荷範囲により形成される配置パターンの一例を示す説明図である。

[図11]図11は、負荷回数に応じた配置パターンの一例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に、本発明に係る実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、

この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能であり、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせることも可能である。

[0017] [実施形態]

本実施形態に係る応力解析装置 1 は、高圧水（流体）を噴射するウォータージェットピーニングを施工対象面に施工したときの、施工対象面における残留応力を解析する装置である。まずは、応力解析装置 1 を説明する前に、図 1 を参照して、ウォータージェットピーニングについて説明する。

[0018] 図 1 は、本実施形態に係る応力解析装置の解析対象となる施工対象面周りの説明図である。図 1 に示すように、ウォータージェットピーニングは、施工対象物 8 の施工対象面 P に向けて、ノズル 5 から高圧水 6 を噴射する。ここで、施工対象面 P は、溶接等が行われることで、引張応力が残留している。高圧水 6 には、キャビテーションにより生じる気泡 7 が含まれる。高圧水 6 中の気泡 7 は、崩壊することで衝撃圧を発生させ、この衝撃圧により、施工対象面 P に対して圧縮応力を与える。このため、引張応力が残留する施工対象面 P は、ウォータージェットピーニングにより圧縮応力が与えられることで、残留応力が除去される。

[0019] 次に、図 2 を参照して、応力解析装置 1 について説明する。図 2 は、本実施形態に係る応力解析装置の概略的な構成を示すブロック図である。応力解析装置 1 は、演算部 11 と、記憶部 12 と、入力部 13 と、出力部 14 とを備えている。なお、演算部 11 は、CPU を含む集積回路等のハードウェア資源を用いて構成され、記憶部 12 は、メモリおよび記憶装置等のハードウェア資源を用いて構成されている。また、入力部 13 は、キーボード及びマウス等のハードウェア資源を用いて構成され、出力部 14 は、ディスプレイ等のハードウェア資源を用いて構成されている。

[0020] 記憶部 12 は、施工対象面 P における残留応力を解析するための応力解析

プログラムD 1 と、残留応力の解析に使用する諸元データD 2 とを記憶している。応力解析プログラムD 1 は、演算部 1 1 で実行されることにより、諸元データD 2 に基づく施工対象面Pの残留応力を解析する。諸元データD 2 としては、例えば、ノズル5から噴射される高圧水6の噴射条件に関するデータ、ウォータジェットピーニングの施工条件に関するデータ、施工対象面Pの応力解析の解析条件に関するデータ等がある。具体的に、諸元データD 2 としては、下記の図4及び図5に示す関数、施工対象面Pの材料強度として用いられる降伏応力等のデータがある。施工対象面Pの降伏応力は、予め計測等が行われることにより、既知の値となっている。

[0021] 入力部 1 3 は、残留応力の解析に用いられる各種データを入力するために使用されるものであり、例えば、各種データとして上記の諸元データD 2 が、入力部 1 3 を介して応力解析装置 1 に入力される。出力部 1 4 は、応力解析プログラムD 1 を実行することで得られた解析結果を出力する。

[0022] 演算部 1 1 は、記憶部 1 2 に記憶された応力解析プログラムD 1 を実行することで、解析条件に基づいて施工対象面Pにおける残留応力を解析する他、解析条件となる衝撃圧を算出したり、施工対象面Pにおける残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲を算出したりする。

[0023] 次に、図3を参照して、演算部 1 1 により施工対象面Pの残留応力を解析する動作について説明する。図3は、本実施形態に係るウォータジェットピーニングの応力解析方法に関するフローチャートである。なお、以下では、説明を簡略化するため、施工対象面Pは平面であり、この面上の一点に向かってノズル5から水を噴射するものとする。

[0024] 図3に示す応力解析方法は、噴流解析工程S 3 と、衝撃圧算出工程S 5 と、範囲算出工程S 6 と、配置パターン設定工程S 7 と、負荷回数設定工程S 8 と、応力解析工程S 9 とを含んでいる。噴流解析工程S 3 では、ウォータジェットピーニングにおけるノズル5からの高圧水6の噴射条件に基づいて、ノズル5から噴射される高圧水6の噴流を解析している。衝撃圧算出工程S 5 では、噴流解析工程S 3 の解析結果に基づいて、高圧水6の衝撃圧を算

出している。範囲算出工程 S 6 では、算出した衝撃圧及び記憶部 1 2 に記憶されている施工対象面 P における降伏応力に基づいて、図 4 及び図 5 に示す関数から衝撃圧負荷範囲を算出している。配置パターン設定工程 S 7 では、施工対象面 P に対して、衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置して、1 回の負荷毎の配置パターンを設定している。負荷回数設定工程 S 8 では、配置パターンの位置を異ならせて、施工対象面 P の全面が覆われるように、施工対象面 P への負荷回数を設定している。応力解析工程 S 9 では、算出した衝撃圧、算出した衝撃圧負荷範囲、設定した配置パターン及び負荷回数を解析条件とし、この解析条件に基づいて、施工対象面 P における残留応力を解析している。以下、図 3 を参照して、残留応力の解析動作について具体的に説明する。

[0025] 先ず、応力解析装置 1 には、入力部 1 3 を介して、ウォータジェットピーニングにおける高圧水の噴射条件が入力される（ステップ S 1）。つまり、ステップ S 1 では、ノズル 5 からの高圧水 6 の噴流を解析するために必要な噴射条件に関するパラメータが、応力解析装置 1 に入力される。応力解析装置 1 は、噴射条件に関するパラメータが入力されると、記憶部 1 2 に噴射条件を記憶する。

[0026] ここで、応力解析装置 1 は、高圧水 6 の噴流を解析するモデルとして、乱流を数値解析するための L E S（Large Eddy Simulation）モデルと、水と水中に存在する多数の気泡の挙動を数値解析するための 2 相流モデルと、気泡の発生や消滅等を含む気泡の挙動を数値解析するためのキャビテーションモデルとを採用している。このため、ステップ S 1 では、噴射条件に関するパラメータとして、例えば、蒸発係数、凝縮係数、気泡核生成部位体積率、気泡径が設定される。また、ステップ S 1 では、雰囲気気圧（施工部位の水深）、水の密度及び粘性、飽和蒸気圧が、ウォータジェットピーニングの施工時における条件と同じ値となるように設定される。さらに、ステップ S 1 では、蒸気が理想気体であると仮定したときの蒸気の密度が設定される。

[0027] 次に、応力解析装置 1 には、入力部 1 3 を介して、ウォータジェットピー

ニングにおける施工条件が入力される（ステップS2）。つまり、ステップS2では、ノズル5からの高圧水6の噴流を解析するために必要な施工条件に関するデータが、応力解析装置1に入力される。応力解析装置1は、施工条件が入力されると、記憶部12に施工条件に関するデータを記憶する。

[0028] ここで、ステップS2では、施工条件に関するデータとして、施工対象面Pを有する施工対象物8を模擬したモデルである施工対象モデル21に関するデータ、ノズル5を模擬したモデルであるノズルモデル22に関するデータ、施工対象モデル21及びノズルモデル22が配置される空間の座標系に関するデータが、応力解析装置1に入力される（図1参照）。

[0029] 施工対象モデル21に関するデータは、上記したように、施工対象面Pが平面であり、この面上の一点に向かってノズル5から高圧水を噴射することから、施工対象モデル21の施工対象面Pが平面となるようなモデルとなっている。また、ノズルモデル22に関するデータは、ウォータジェットピーニングの施工時に使用されるノズル5を模擬したモデルであり、いずれの形状であってもよい。座標系に関するデータは、ノズルモデル22の噴射軸25と施工対象モデル21の施工対象面Pとが交差する点を原点とし、原点から噴射軸25が延びる方向をZ軸、このZ軸に垂直な軸をX軸、Z軸及びX軸に垂直な軸をY軸とするXYZ座標系のデータである。

[0030] また、ステップS2では、施工条件に関するデータとして、ノズル5からの噴流の吐出圧、ノズル5からの噴流の流量、噴流の噴射距離（ノズル5の出口から施工対象面Pまでの距離）S、ノズル5の噴射軸25に対する施工対象面Pの法線の角度、施工対象面Pの水深、水の温度、ノズル5からの水の噴射時間等のデータが、応力解析装置1に入力される（図1参照）。

[0031] ステップS2の実行後、応力解析装置1の演算部11は、ステップS1で設定した噴射条件に関するパラメータと解析モデルとを使用し、ステップS2で入力した施工条件に関するデータに基づいて、高圧水6の噴流解析を実行する（ステップS3）。演算部11は、噴流解析において、施工対象面P上での各時刻における気泡7の発生数及び気泡7の消滅数を導出し、導出し

た気泡 7 の発生数及び気泡 7 の消滅数を解析結果として、記憶部 1 2 に記憶させる。

[0032] 次に、演算部 1 1 は、噴流解析を実行して得られる解析結果から、施工対象面 P 上の各位置における気泡 7 のボイド率及び崩壊率を算出する（ステップ S 4）。ここで、ボイド率とは、水の単位体積に含まれる気泡の体積率であり、崩壊率とは、水の単位体積中で単位時間に崩壊する気泡の体積である。演算部 1 1 は、記憶部 1 2 に記憶された噴流解析の解析結果に基づいて、施工対象面 P 上の各位置における水の単位体積中で、噴射時間中における気泡 7 の単位時間毎の体積率を求める。そして、演算部 1 1 は、単位時間毎の体積率の平均値をボイド率とする。また、演算部 1 1 は、記憶部 1 2 に記憶された噴流解析の解析結果に基づいて、施工対象面 P 上の各位置における水の単位体積中で、各時刻における気泡 7 の消滅数から、施工対象面 P 上の各位置における水の単位体積中で、該当時刻を含む単位時間で崩壊する気泡 7 の体積を求める。そして、演算部 1 1 は、各単位時間で崩壊する気泡 7 の体積の平均値を崩壊率とする。

[0033] ステップ S 4 の実行後、応力解析装置 1 の演算部 1 1 は、ボイド率及び崩壊率に基づいて、衝撃圧を算出する（ステップ S 5：衝撃圧算出工程）。ここで、衝撃圧を P とし、気泡 7 の崩壊率を η とし、気泡 7 のボイド率を f とし、水深と噴流の流量に依存する係数を k とすると、衝撃圧 P は、経験則として、「 $P = k \times \eta \times f$ 」で表すことができる。

[0034] ステップ S 5 の実行後、応力解析装置 1 の演算部 1 1 は、算出した衝撃圧と、記憶部 1 2 に記憶された降伏応力とに基づいて、図 4 及び図 5 に示す関数から、衝撃圧負荷範囲を算出する（ステップ S 6：範囲算出工程）。ここで、衝撃圧負荷範囲とは、施工対象面 P 上において発生する残留応力を除去するにあたって、有効な衝撃圧を与えることが可能な範囲である。つまり、衝撃圧負荷範囲とは、施工対象面 P における残留応力が 0 となるような範囲であり、具体的には、気泡 7 のピーニング痕の範囲となる。この衝撃圧負荷範囲は、気泡 7 が球状であることから、施工対象面 P 上において作用する理

想的な形状となる衝撃圧負荷範囲は、円形の範囲となる。

[0035] ここで、図4及び図5の関数について説明する。図4は、施工対象面からの深さ方向における残留応力変化深さに関する図であり、図5は、施工対象面の水平方向における残留応力変化範囲に関する図である。図4及び図5において、その縦軸は、衝撃圧／降伏応力となっており、その横軸が衝撃圧負荷範囲となっている。図4及び図5の関数は、予め実験等により求められた関数である。なお、残留応力変化深さとは、施工対象面Pの原点から深さ方向において残留応力を除去可能な深さであり、この深さを変化させたものとなっている。また、残留応力変化範囲とは、施工対象面Pの原点から水平方向において残留応力を除去可能な範囲であり、この範囲を変化させたものとなっている。このため、関数は、残留応力変化深さ及び残留応力変化範囲に応じて、複数用意されている。

[0036] ここで、図4のL1は、施工対象面Pの原点から0.5mmの深さまでが残留応力変化深さとなっており、残留応力が低減するラインである。L2は、施工対象面Pの原点から1.0mmの深さまでが残留応力変化深さとなっており、残留応力が低減するラインである。L3は、施工対象面Pの原点から1.5mmの深さまでが残留応力変化深さとなっており、残留応力が低減するラインである。図4に示すように、L1～L3は、衝撃圧負荷範囲が一定である場合、残留応力変化深さを深くするためには、衝撃圧／降伏応力が大きくなる関数となっている。また、L1～L3は、衝撃圧／降伏応力が一定である場合、残留応力変化深さを深くするためには、衝撃圧負荷範囲を広くする関数となっている。

[0037] また、図5のL4は、施工対象面Pの原点から0.25mmの範囲が残留応力変化範囲となっており、残留応力が低減するラインである。L5は、施工対象面Pの原点から0.5mmの範囲が残留応力変化範囲となっており、残留応力が低減するラインである。L6は、施工対象面Pの原点から1.0mmの範囲が残留応力変化範囲となっており、残留応力が低減するラインである。なお、残留応力変化範囲は、ウォータジェットピーニングにより圧縮

応力が与えられる範囲である。図5に示すように、L4～L6は、衝撃圧負荷範囲が一定の範囲である場合、残留応力変化範囲を広くするためには、衝撃圧／降伏応力が大きくなる関数となっている。また、L4～L6は、衝撃圧／降伏応力が一定である場合、残留応力変化範囲を広くするためには、衝撃圧負荷範囲を広くする関数となっている。

[0038] ステップS6の実行後、応力解析装置1の演算部11は、算出した衝撃圧負荷範囲Eに基づいて、図6に示す所定の配置パターンを設定する（ステップS7：配置パターン設定工程）。ここで、図6は、複数の衝撃圧負荷範囲により形成される配置パターンを示す説明図である。図6に示すように、衝撃圧負荷範囲Eは円形の範囲となっている。配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eを、所定の（1個分の）間隔を空けて列方向（図6の左右方向）に並べて配置すると共に、列方向に並んだ複数の衝撃圧負荷範囲Eを、所定の（1個分の）間隔を空けて行方向（図6の上下方向）に並べて配置したパターンとなっている。また、列方向に並ぶ複数の衝撃圧負荷範囲Eは、行方向において重なり合うように、隣接して配置される。つまり、配置パターンは、複数の衝撃圧負荷範囲Eを格子状に配置したパターンとなっている。ここで、列方向及び行方向における所定の間隔は、円形となる衝撃圧負荷範囲Eの直径である。

[0039] ステップS7の実行後、応力解析装置1の演算部11は、設定した配置パターンに基づく負荷回数を設定する（ステップS8：負荷回数設定工程）。図7に示すように、図6の配置パターンは、施工対象面Pの所定の領域が全て覆われるように、位置を異ならせて設定される。本実施形態において、図6の格子状となる配置パターンを用いる場合、負荷回数は8回となる。具体的に、負荷回数が1回目から4回目となる配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eが重なり合わないよう配置される。負荷回数が5回目から8回目となる配置パターンは、1回目から4回目となる配置パターンに、衝撃圧負荷範囲Eが重なり合うよう配置される。

[0040] 具体的に、負荷回数が1回目となる配置パターンを基準とすると、2回目

の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向に1個分（衝撃圧負荷範囲Eの直径分）だけ移動させた位置となっている。3回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを行方向に1個分だけ移動させた位置となっている。4回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向及び行方向に1個分ずつだけ移動させた位置となっている。

[0041] 5回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向及び行方向に半個分（衝撃圧負荷範囲Eの半径分）ずつだけ移動させた位置となっている。そして、5回目の配置パターンを基準とすると、6回目の配置パターンは、5回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向に1個分（衝撃圧負荷範囲Eの直径分）だけ移動させた位置となっている。7回目の配置パターンは、5回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを行方向に1個分だけ移動させた位置となっている。8回目の配置パターンは、5回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向及び行方向に1個分ずつだけ移動させた位置となっている。このように、応力解析装置1の演算部11は、図7に示す負荷回数を設定することで、施工対象面Pの所定の領域が全て覆われるような、負荷回数を設定できる。

[0042] ステップS8の実行後、応力解析装置1の演算部11は、算出した衝撃圧の大きさ、算出した衝撃圧負荷範囲、設定した配置パターン及び負荷回数を含む解析条件に基づいて、施工対象面Pにおける残留応力解析を実行する（ステップS9：応力解析工程）。また、解析条件としては、気泡7の衝撃圧が所定の衝撃圧まで上昇するまでの時間（衝撃圧の上昇時間）を含む。この応力解析工程では、軸対称モデルを用いた有限要素法（FEM：Finite Element Method）に基づく解析を行っている。このため、ステップS9では、施工対象面Pを有する施工対象物8を模擬した軸対称モデルである施工対象モデル21に関するデータ、ノズル5を模擬した軸対称モデルであるノズルモデル22に関するデータ、施工対象モデル21及びノズルモデル22が配置される空間の座標系に関するデータが、解析条件として応力解析装置1に入

力される。なお、座標系に関するデータは、Z軸を中心とする極座標系のデータである。そして、応力解析工程S9では、設定した負荷回数に基づいて、負荷毎にFEM解析を繰り返し実行することで、施工対象面Pの所定の領域における残留応力を算出する。

[0043] 以上のように、本実施形態によれば、応力解析装置1の演算部11は、図4及び図5に示す関数を用いて、算出した衝撃圧と、計測等によって得られた材料強度とに基づいて、応力解析に必要な衝撃圧負荷範囲を算出することができる。そして、応力解析装置1の演算部11は、算出した衝撃圧、衝撃圧負荷範囲、設定した配置パターン及び負荷回数を解析条件として、施工対象面Pの残留応力を解析することができる。このため、応力解析装置1の演算部11は、施工対象面Pにおける材料強度が異なる場合であっても、図4及び図5に示す関数から、衝撃圧負荷範囲を迅速に算出することができ、これにより、施工対象面Pにおける残留応力を迅速に解析することができる。

[0044] また、本実施形態によれば、図4及び図5に示す関数を用いることで、衝撃圧及び降伏応力から、衝撃圧負荷範囲を迅速に算出することができる。

[0045] また、本実施形態によれば、図6に示す配置パターンを用いると共に、図7に示す負荷回数を設定することで、施工対象面Pの所定の領域における残留応力を、効率良く算出することができる。

[0046] なお、本実施形態では、図6に示す配置パターンと、図7に示す負荷回数を設定したが、これに限定されず、例えば、図8に示す配置パターンと、図9に示す負荷回数を設定してもよいし、図10に示す配置パターンと、図11に示す負荷回数を設定してもよい。図8及び図10は、複数の衝撃圧負荷範囲により形成される配置パターンの一例を示す説明図であり、図9及び図11は、負荷回数に応じた配置パターンの一例を示す説明図である。

[0047] 図8に示す配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eを、所定の（1個分の）間隔を空けて列方向（図8の左右方向）に並べて配置すると共に、列方向に並んだ複数の衝撃圧負荷範囲Eを、所定の（1個分の）間隔を空けて行方向（図8の上下方向）に並べて配置したパターンとなっている。また、行方向に

隣接する一方の衝撃圧負荷範囲Eが、行方向に隣接する他方の衝撃圧負荷範囲E同士の間位置するように配置される。つまり、配置パターンは、複数の衝撃圧負荷範囲Eを千鳥状に配置したパターンとなっている。ここで、列方向及び行方向における所定の間隔は、円形となる衝撃圧負荷範囲Eの直径である。

[0048] 図9に示すように、図8に示す配置パターンを用いる場合、図6に示す配置パターンを用いた場合と同様に、施工対象面Pの所定の領域が全て覆われるように、位置を異ならせて設定される。図8の千鳥状の配置パターンを用いる場合、負荷回数は8回となる。具体的に、負荷回数が1回目から4回目となる配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eが重なり合わないよう配置される。負荷回数が5回目から8回目となる配置パターンは、1回目から4回目となる配置パターンに、衝撃圧負荷範囲Eが重なり合うよう配置される。

[0049] 具体的に、負荷回数が1回目となる配置パターンを基準とすると、2回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向に1個分（衝撃圧負荷範囲Eの直径分）だけ移動させた位置となっている。3回目の配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eの半径を r とすると、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを行方向に $\sqrt{3}r$ だけ移動させ、列方向に半個分（衝撃圧負荷範囲Eの半径 r 分）だけ移動させた位置となっている。4回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを行方向に $\sqrt{3}r$ だけ移動させ、3回目とは反対側の列方向に半個分（衝撃圧負荷範囲Eの半径 r 分）だけ移動させた位置となっている。

[0050] 5回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、衝撃圧負荷範囲Eを列方向に $1/2r$ だけ移動させ、行方向に $\sqrt{3}/2r$ だけ移動させた位置となっている。なお、負荷回数が5回目から8回目は、1回目から4回目と同様であるため、説明を省略する。

[0051] このように、図8に示す配置パターンを用いると共に、図9に示す負荷回数を設定することでも、施工対象面Pの所定の領域における残留応力を、効

率良く算出することができる。

[0052] 図10に示す配置パターンは、衝撃圧負荷範囲Eを、所定の間隔を空けて列方向（図10の左右方向）に並べて配置すると共に、列方向に並んだ複数の衝撃圧負荷範囲Eを、所定の間隔を空けて行方向（図10の上下方向）に並べて配置したパターンとなっている。ここで、列方向における所定の間隔は、円形となる衝撃圧負荷範囲Eの直径よりも小さい間隔であり、行方向における所定の間隔は、列方向における所定の間隔よりも小さい間隔である。この間隔は、図10に示す配置パターンを用いて、図11に示す負荷回数を設定可能な間隔であり、具体的に、列方向における所定の間隔は、 $(2\sqrt{3}-2)r$ （ r は、衝撃圧負荷範囲Eの半径）であり、行方向における所定の間隔は、衝撃圧負荷範囲Eの半径である。また、列方向に並ぶ複数の衝撃圧負荷範囲Eは、行方向において重なり合うように、隣接して配置される。つまり、配置パターンは、複数の衝撃圧負荷範囲Eを格子状に配置したパターンとなっている。

[0053] 図11に示すように、図10に示す配置パターンを用いる場合、図6に示す配置パターンを用いた場合と同様に、施工対象面Pの所定の領域が全て覆われるように、配置パターンの位置を異ならせて設定される。図10の格子状の配置パターンを用いる場合、負荷回数は4回となる。

[0054] 具体的に、負荷回数が1回目となる配置パターンを基準とすると、2回目の配置パターンは、列方向において、1回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲E同士の間、2回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲Eが位置するような配置となっている。3回目の配置パターンは、1回目の配置パターンに対して、列方向において、1回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲Eと、2回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲Eとの間に位置すると共に、行方向において、衝撃圧負荷範囲Eを3/4個分（衝撃圧負荷範囲Eの半径×1.5個分）だけ移動させた位置となっている。4回目の配置パターンは、列方向において、3回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲E同士の間、4回目の配置パターンの衝撃圧負荷範囲Eが位置するような配置となっている。

[0055] このように、図 10 に示す配置パターンを用いることで、図 11 に示すように、負荷回数を抑制して設定することができ、施工対象面 P の所定の領域における残留応力を、効率良く算出することができる。

符号の説明

- [0056]
- 1 応力解析装置
 - 5 ノズル
 - 6 高圧水
 - 7 気泡
 - 8 施工対象物
 - 11 演算部
 - 12 記憶部
 - 13 入力部
 - 14 出力部
 - 21 施工対象モデル
 - 22 ノズルモデル
 - 25 噴射軸
 - P 施工対象面
 - E 衝撃圧負荷範囲
 - D1 応力解析プログラム
 - D2 諸元データ

請求の範囲

[請求項1]

ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析方法であって、

前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、

前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、

前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲と、前記衝撃圧と、前記施工対象面における材料強度との相関関係から、前記衝撃圧及び前記材料強度に基づいて、前記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、

前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、

前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程と、

算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を備えることを特徴とするウォータジェットピーニングの応力解析方法。

[請求項2]

前記衝撃圧負荷範囲と前記衝撃圧と前記材料強度との相関関係は、前記衝撃圧／前記施工対象面の降伏応力と、前記衝撃圧負荷範囲との関数で表され、

前記関数は、前記残留応力を除去可能な深さである残留応力変化深さ、及び前記残留応力を除去可能な範囲である残留応力変化範囲に応じて、複数用意されることを特徴とする請求項1に記載のウォータジェットピーニングの応力解析方法。

[請求項3]

前記衝撃圧負荷範囲は、円形であり、

前記配置パターン設定工程における所定の前記間隔は、前記衝撃圧負荷範囲の直径であり、

前記配置パターンは、前記衝撃圧負荷範囲を、前記間隔を空けて列方向に並べて配置すると共に、複数の前記衝撃圧負荷範囲を、前記間隔を空けて行方向に並べて配置することで、複数の衝撃圧負荷範囲を格子状に配置したものであることを特徴とする請求項1または2に記載のウォータジェットピーニングの応力解析方法。

[請求項4]

ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析装置であって、

解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する演算部と、

前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲、噴射される前記流体による前記施工対象面への衝撃圧、及び前記施工対象面における材料強度の相関関係と、前記材料強度と、を記憶する記憶部と、を備え、

前記演算部は、

前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、

前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、

前記相関関係から、算出した前記衝撃圧及び記憶した前記材料強度に基づいて、前記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、

前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、

前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負

荷回数設定工程と、

算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を実行することを特徴とするウォータジェットピーニングの応力解析装置。

[請求項5]

ノズルから施工対象面に向けて流体を噴射するウォータジェットピーニングの前記施工対象面における残留応力を解析するウォータジェットピーニングの応力解析装置の演算部に、

前記ノズルから噴射される前記流体の噴流を解析する噴流解析工程と、

前記噴流解析工程の解析結果に基づいて、前記流体の衝撃圧を算出する衝撃圧算出工程と、

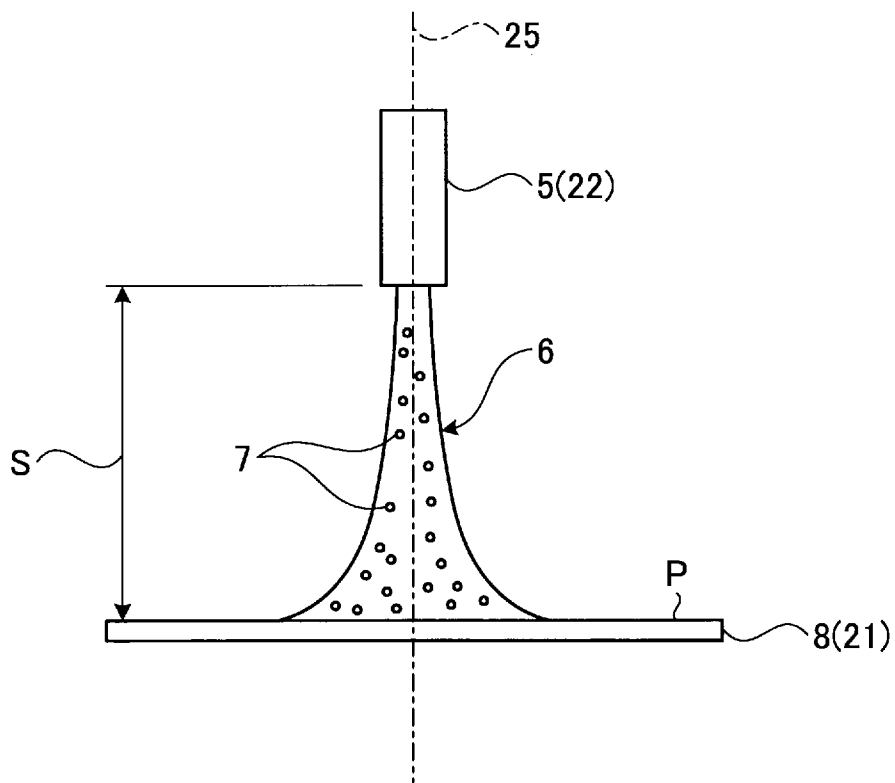
前記施工対象面における前記残留応力の除去に有効な衝撃圧負荷範囲と、前記衝撃圧と、前記施工対象面における材料強度との相関関係から、前記衝撃圧及び前記材料強度に基づいて、前記衝撃圧負荷範囲を算出する範囲算出工程と、

前記施工対象面に対して、前記衝撃圧負荷範囲を所定の間隔を空けて複数配置した配置パターンを設定する配置パターン設定工程と、

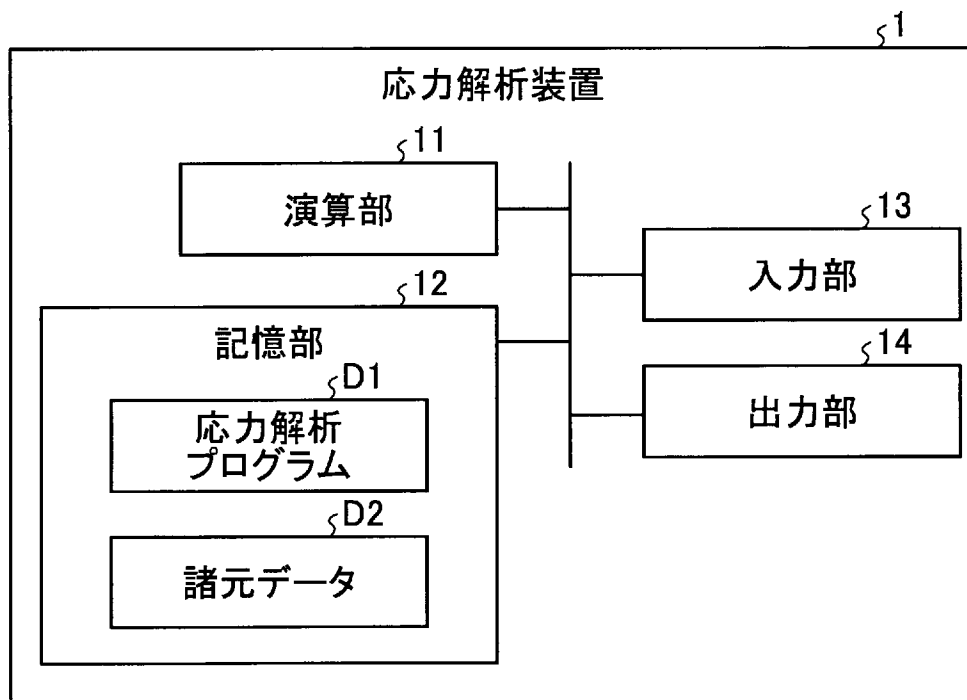
前記配置パターンの位置を異ならせて、前記施工対象面の所定の領域が全て覆われるように、前記施工対象面への負荷回数を設定する負荷回数設定工程と、

算出した前記衝撃圧、前記衝撃圧負荷範囲、設定した前記配置パターン及び前記負荷回数を解析条件とし、前記解析条件に基づいて、前記施工対象面における残留応力を解析する応力解析工程と、を実行させることを特徴とするウォータジェットピーニングの応力解析プログラム。

[図1]



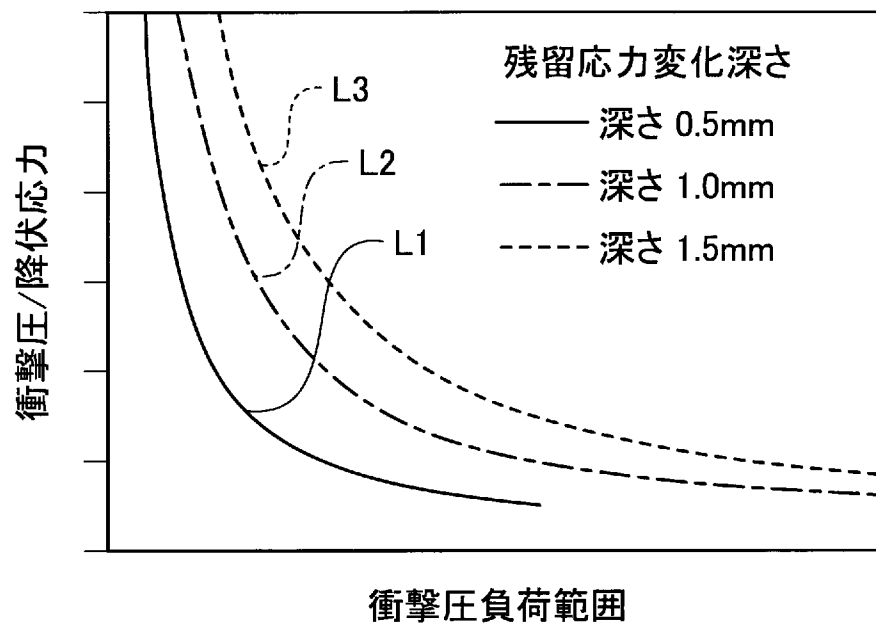
[図2]



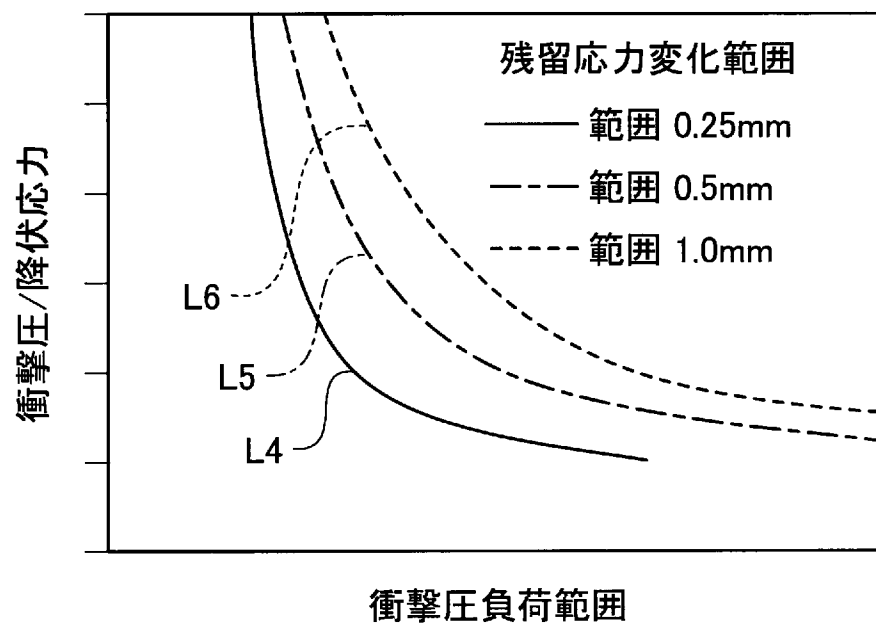
[図3]



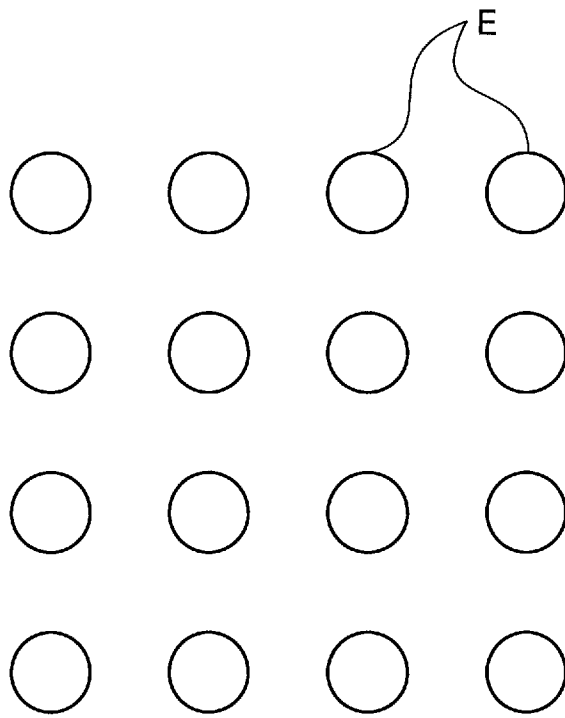
[図4]



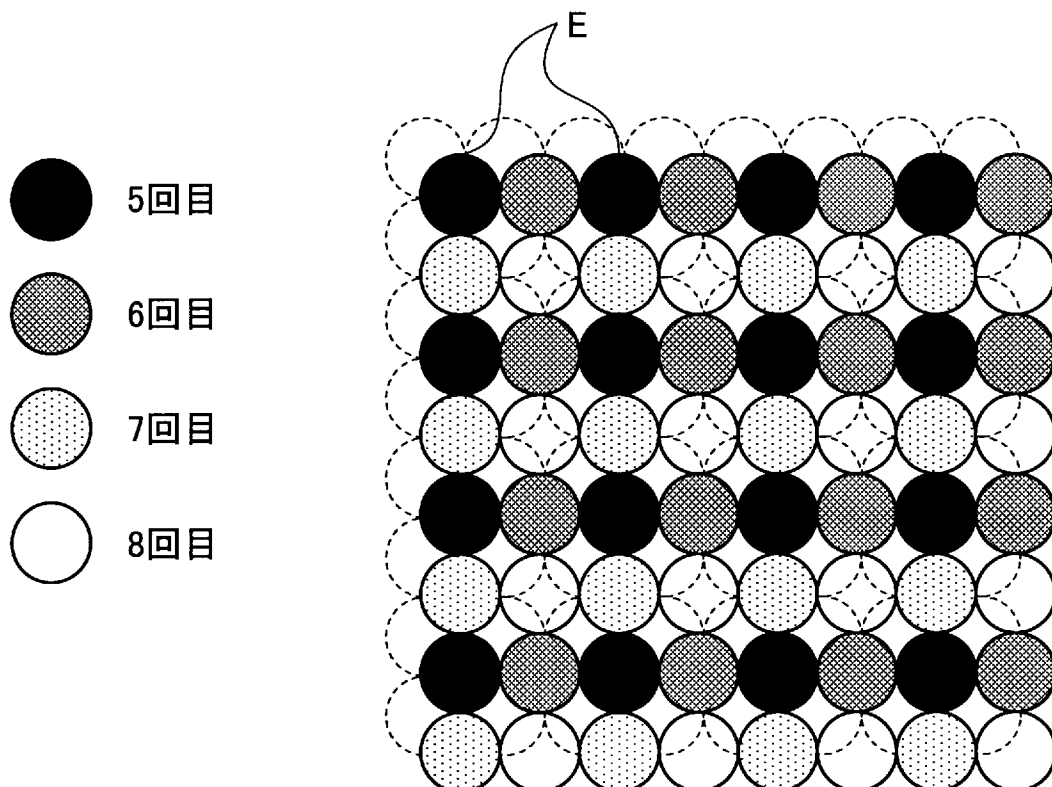
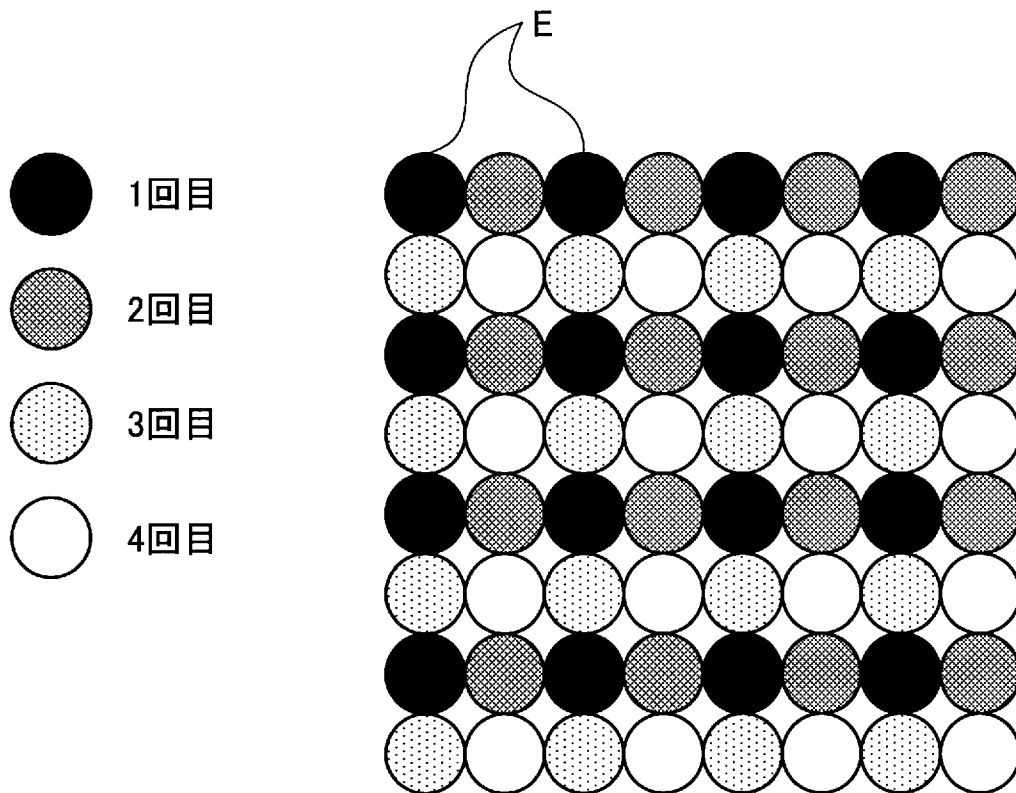
[図5]



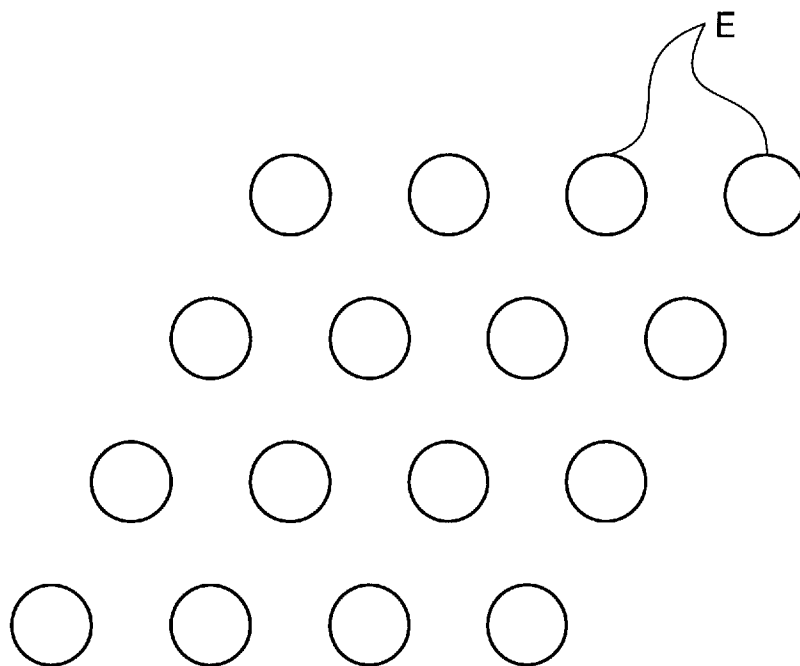
[図6]



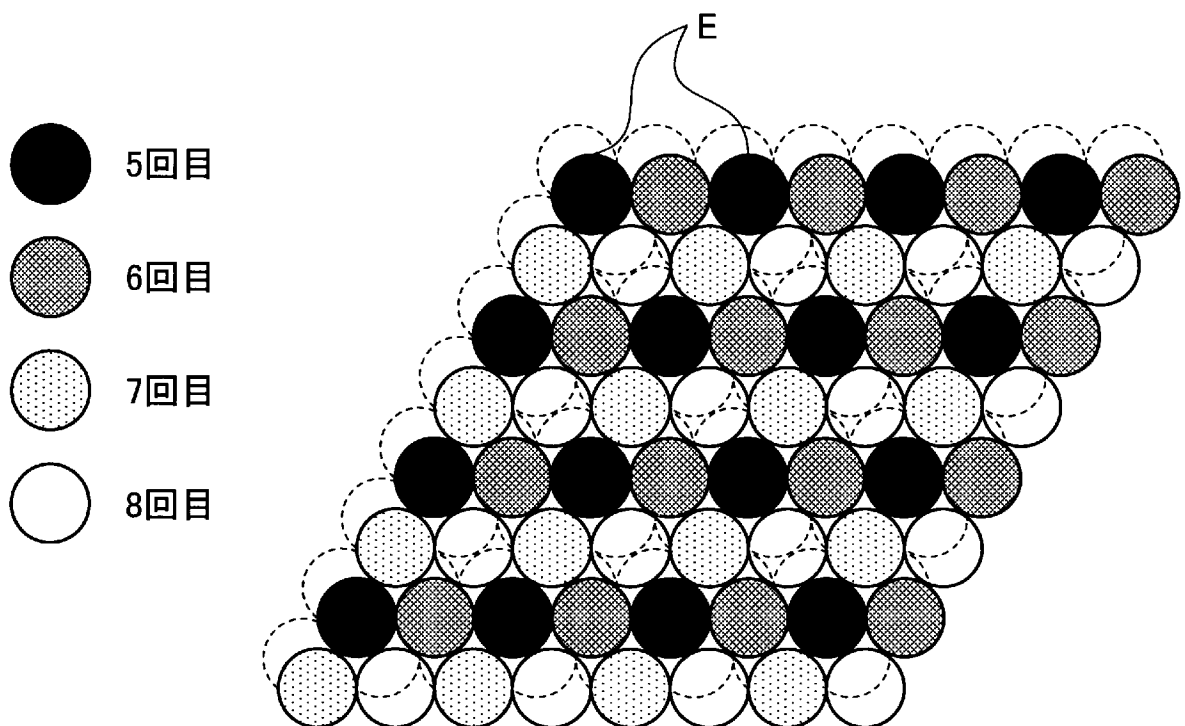
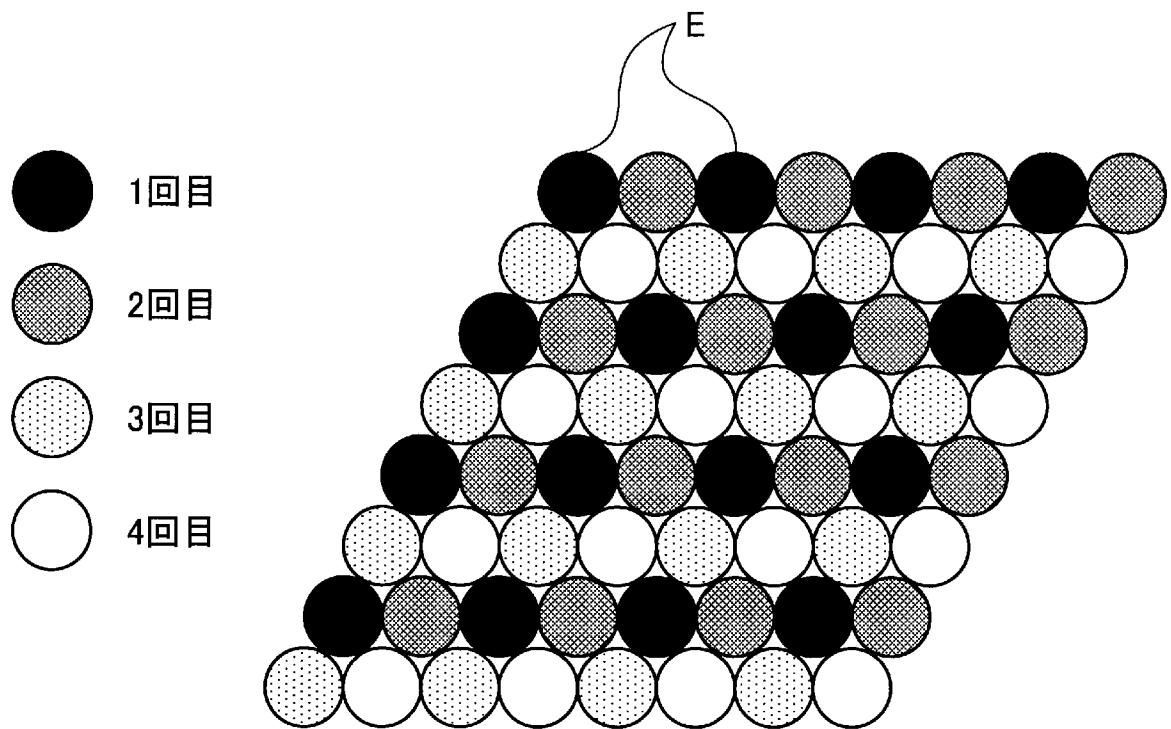
[図7]



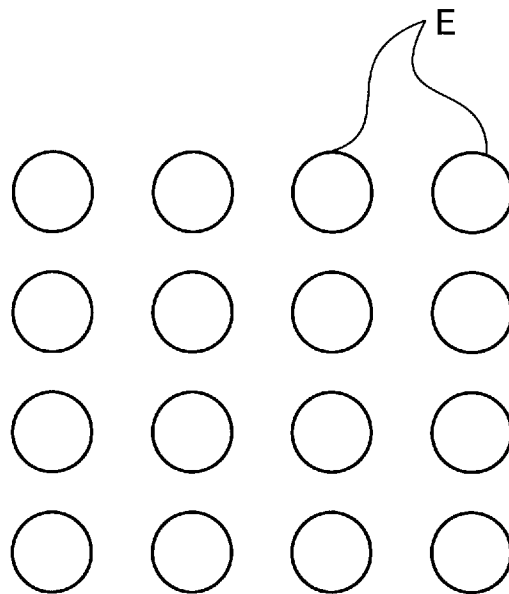
[図8]



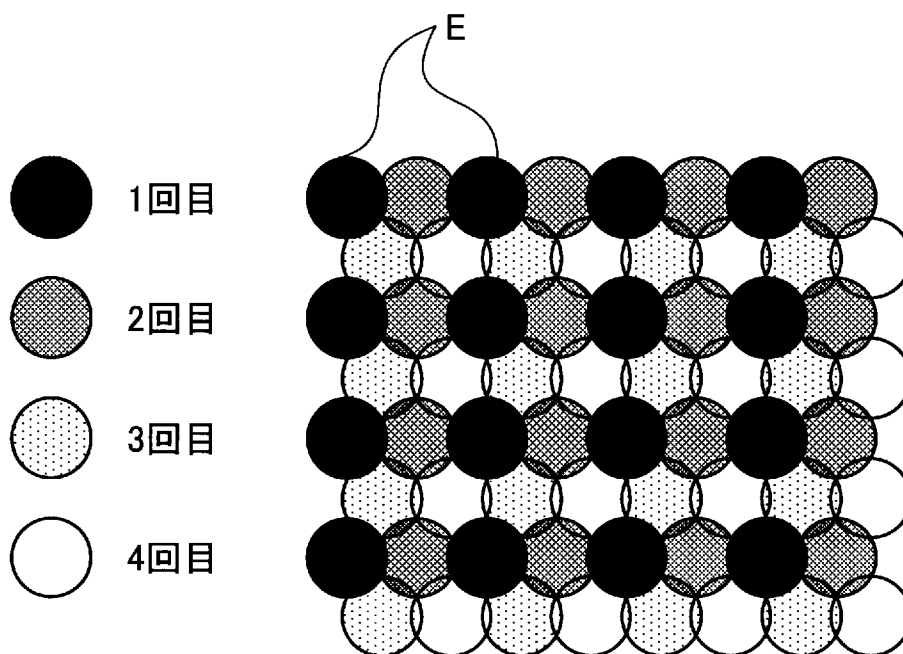
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050022

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23P17/00(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)

B23P17/00, C21D7/06, G21C19/02

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-104775 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 June 2015 (08.06.2015), abstract; paragraphs [0028] to [0074] & US 2015/0151405 A1 abstract; paragraphs [0041] to [0087] & EP 2878686 A2	1-5
A	JP 2011-200966 A (Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.), 13 October 2011 (13.10.2011), abstract; paragraphs [0086] to [0112] & US 2011/0232348 A1 abstract; paragraphs [0109] to [0132]	1-5

☒ 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
02 March 2016 (02.03.16)

Date of mailing of the international search report
15 March 2016 (15.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050022

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-142899 A (Toshiba Corp.), 01 July 2010 (01.07.2010), fig. 1 (Family: none)	1-5
A	US 2013/0263635 A1 (PRATT & WHITNEY), 10 October 2013 (10.10.2013), paragraphs [0005], [0022] to [0023] & WO 2013/152250 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B23P17/00(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（I P C））

Int.Cl. B23P17/00, C21D7/06, G21C19/02

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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）

WPI

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
A	JP 2015-104775 A（三菱重工業株式会社） 2015.06.08, 要約欄, 段落[0028]-[0074] & US 2015/0151405 A1, abstract, 段落[0041]-[0087] & EP 2878686 A2	1-5
A	JP 2011-200966 A（日立GEニュークリア・エナジー株式会社） 2011.10.13, 要約欄, 段落[0086]-[0112] & US 2011/0232348 A1, abstract, 段落[0109]-[0132]	1-5

☒ 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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

02.03.2016

国際調査報告の発送日

15.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号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）

村上 哲

3 C

9039

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

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
A	JP 2010-142899 A (株式会社東芝) 2010.07.01, 図1 (ファミリーなし)	1-5
A	US 2013/0263635 A1 (PRATT & WHITNEY) 2013.10.10, 段落[0005], [0022]-[0023] & WO 2013/152250 A1	1-5