

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-40092
(P2020-40092A)

(43) 公開日 令和2年3月19日(2020.3.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
B 2 1 D 11/20 (2006.01)	B 2 1 D 11/20 B	5 B 0 4 6
G 0 6 F 30/23 (2020.01)	G 0 6 F 17/50 6 1 2 H	
G 0 6 F 30/10 (2020.01)	G 0 6 F 17/50 6 0 8 A	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2018-169713 (P2018-169713)	(71) 出願人	519135633 公立大学法人大阪 大阪府大阪市阿倍野区旭町一丁目2番7-601号
(22) 出願日	平成30年9月11日(2018.9.11)	(74) 代理人	100065248 弁理士 野河 信太郎
		(74) 代理人	100159385 弁理士 甲斐 伸二
		(74) 代理人	100163407 弁理士 金子 裕輔
		(74) 代理人	100166936 弁理士 稲本 潔
		(72) 発明者	柴原 正和 大阪府堺市中区学園町1番1号 公立大学 法人大阪府立大学内

最終頁に続く

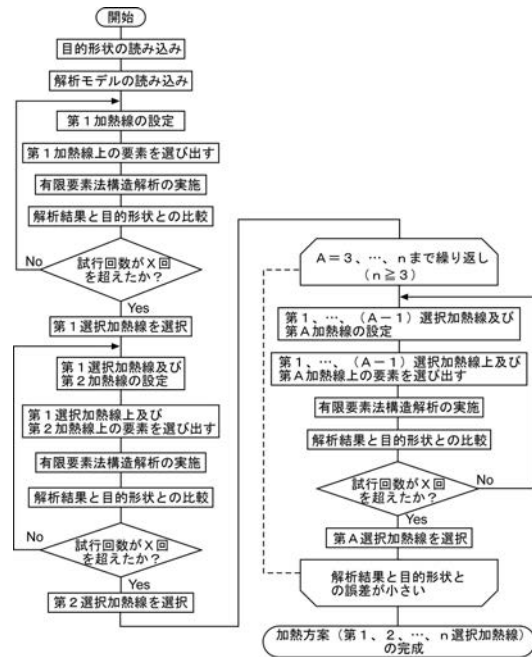
(54) 【発明の名称】線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案の算出方法

(57) 【要約】

【課題】本発明は、金属板を目的形状に近づけるために最適な複数の加熱線を含む加熱方案を算出することができる算出方法を提供する。

【解決手段】本発明の算出方法は、金属板の解析モデルの任意の位置に設定した第1加熱線を含む第1加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第1試行を第1加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第1試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第1試行で設定した第1加熱線を第1選択加熱線として選択するステップと、第1選択加熱線と、解析モデルの任意の位置に設定した第2加熱線とを含む第2加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第2試行を第2加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第2試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第2試行で設定した第2加熱線を第2選択加熱線として選択するステップとを備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案の算出方法であって、
前記金属板の解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも 1 本の第 1 加熱線を含む第 1 加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第 1 試行を第 1 加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、
繰り返した第 1 試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第 1 試行で設定した少なくとも 1 本の第 1 加熱線を第 1 選択加熱線として選択するステップと、
第 1 選択加熱線と、前記解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも 1 本の第 2 加熱線とを含む第 2 加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第 2 試行を第 2 加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、
繰り返した第 2 試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第 2 試行で設定した少なくとも 1 本の第 2 加熱線を第 2 選択加熱線として選択するステップとを備え、
前記加熱方案は、第 1 及び第 2 選択加熱線を含むことを特徴とする算出方法。

10

【請求項 2】

第 1 選択加熱線と、第 2 選択加熱線と、前記解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも 1 本の第 3 加熱線とを含む第 3 加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第 3 試行を第 3 加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、
繰り返した第 3 試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第 3 試行で設定した少なくとも 1 本の第 3 加熱線を第 3 選択加熱線として選択するステップとをさらに備え、
前記加熱方案は、第 1、第 2 及び第 3 選択加熱線を含む請求項 1 に記載の算出方法。

20

【請求項 3】

前記加熱方案は、第 1、第 2 及び第 3 選択加熱線をこの順で含む請求項 1 又は 2 に記載の算出方法。

【請求項 4】

前記有限要素法構造解析は、FEM 熱弾塑性解析又は固有ひずみ法による弾性解析である請求項 1～3 のいずれか 1 つに記載の算出方法。

【請求項 5】

第 1 又は第 2 加熱線は、直線又は曲線である請求項 1～4 のいずれか 1 つに記載の算出方法。

30

【請求項 6】

第 1 加熱条件は、複数の第 1 加熱線を含み、
第 2 加熱条件は、複数の第 2 加熱線を含む請求項 1～5 のいずれか 1 つに記載の算出方法。

【請求項 7】

少なくとも 1 本の第 1 加熱線を第 1 選択加熱線として選択するステップは、繰り返した第 1 試行のうち解析結果が最も目的形状に近づいた第 1 試行で設定した少なくとも 1 本の第 1 加熱線を第 1 選択加熱線として選択するステップであり、
少なくとも 1 本の第 2 加熱線を第 2 選択加熱線として選択するステップは、繰り返した第 2 試行のうち解析結果が最も目的形状に近づいた第 2 試行で設定した少なくとも 1 本の第 2 加熱線を第 2 選択加熱線として選択するステップである請求項 1～6 のいずれか 1 つに記載の算出方法。

40

【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれか 1 つに記載の算出方法をコンピューターに実行させるためのプログラム。

【請求項 9】

請求項 1～7 のいずれか 1 つに記載の算出方法により算出された加熱方案に基づいて金属板を線状加熱し曲げ加工する加工方法。

【請求項 10】

第 1 選択加熱線を含む第 1 加熱条件で金属板を線状加熱し、前記金属板に曲げ加工を施

50

すステップと、
前記曲げ加工が施された前記金属板の立体形状を計測するステップと、
計測された前記金属板の立体形状と、第1選択加熱線を含む第1加熱条件で実施した有限要素法構造解析の解析結果とを比較するステップと、
比較した結果に基づき前記金属板の立体形状が第1選択加熱線を含む第1加熱条件で実施した有限要素法構造解析の解析結果に近づくように前記金属板を加熱するステップとを備える請求項9に記載の加工方法。

【請求項11】

請求項9又は10に記載の加工方法により金属板を線状加熱し曲げ加工するように設けられた加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案を算出する算出方法、プログラム、加工方法及び加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

船舶には船首部やバルバス・パウ、船尾部などに複雑な曲面形状が存在する。これらの曲面形状を作成するために複数の鋼板に対して曲げ加工を行い、それらを溶接により接合する。曲げ加工の技術として、造船分野においては線状加熱が広く用いられている。

線状加熱とは、鋼板の表面をガスバーナーで加熱した際に発生する熱変形を利用するものであり、現在国内の多くの造船所で古くから採用されている技術である。線状加熱により鋼板の曲げ加工をする際、ガスバーナーの炎で鋼板を局所的に加熱しつつ、鋼板に水をかけることにより加熱部を急冷却すると、鋼板に塑性変形が発生する。この塑性変形は、加熱するガスバーナーの移動速度、燃焼ガスと流入酸素と混合比、バーナーと鋼板の距離などを変化させて鋼板への入熱を調整することにより制御することができる。また、線状加熱による曲げ加工は、複数の加熱線を適当な位置に配置することによって、鋼板を目的の曲面形状に近づける加工技術である。

しかし、線状加熱時に生じる変形は、縦収縮・横収縮、縦曲り・横曲りが混在する複雑なものであり、入熱量やガスバーナーの移動速度、加熱位置等にも依存するため、予測が非常に困難であることから、線状加熱による曲げ加工は自動化が困難とされる技術の一つである。

線状加熱による曲げ加工の自動化を実現するために用いる加熱方案算出方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-66902号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の加熱方案算出方法では、目的形状から算出した目的固有ひずみに基づき加熱方案を算出するため、加熱線が密集した部分において複雑な補正をする必要がある。

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、金属板を目的形状に近づけるために最適な複数の加熱線を含む加熱方案を算出することができる算出方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案の算出方法であって、前記金属板の解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも1本の第1加熱線を含む第1加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第1試行を

10

20

30

40

50

第1加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第1試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第1試行で設定した少なくとも1本の第1加熱線を第1選択加熱線として選択するステップと、第1選択加熱線と、前記解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも1本の第2加熱線とを含む第2加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第2試行を第2加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第2試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第2試行で設定した少なくとも1本の第2加熱線を第2選択加熱線として選択するステップとを備え、前記加熱方案は、第1及び第2選択加熱線を含むことを特徴とする算出方法を提供する。

【発明の効果】

【0006】

本発明の算出方法により、様々な位置に設定した加熱線から目的形状に近づく加熱線の選択を繰り返し行うため、金属板を目的形状に近づけるために最適な複数の加熱線を含む加熱方案を算出することができる。また、算出した加熱方案に基づき金属板を加熱することにより、金属板を目的形状に近い形状に変形させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の一実施形態の算出方法のフローチャートである。

【図2】(a)～(c)は、本発明の一実施形態の算出方法の説明図である。

【図3】本発明の一実施形態の算出方法に含まれる加熱線の設定方法の説明図である。

【図4】本発明の一実施形態の算出方法に含まれる加熱線上の要素を選び出す方法の説明図である。

【図5】本発明の一実施形態の算出方法に含まれる解析結果と目的形状との比較の説明図である。

【図6】(a)～(e)は、シミュレーションにおいて算出した加熱方案である。

【図7】(a)～(d)は、算出した加熱方案に基づく構造解析の解析結果である。

【図8】(a)はシミュレーションで用いた目的形状(椀型)であり、(b)は算出した加熱方案に基づく構造解析の解析結果である。

【図9】図8(a)(b)に示した破線A-A'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【図10】図8(a)(b)に示した一点鎖線B-B'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【図11】(a)はシミュレーションで用いた目的形状(鞍型)であり、(b)は算出した加熱方案に基づく構造解析の解析結果である。

【図12】シミュレーションにおいて算出した加熱方案である。

【図13】図11(a)(b)に示した破線A-A'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【図14】図11(a)(b)に示した破線B-B'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【図15】(a)はシミュレーションで用いた目的形状(掀れ型)であり、(b)は算出した加熱方案に基づく構造解析の解析結果である。

【図16】シミュレーションにおいて算出した加熱方案である。

【図17】図15(a)(b)に示した破線A-A'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【図18】図15(a)(b)に示した破線B-B'における目的形状と解析結果とを比較したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明の算出方法は、線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案の算出方法であって、前記金属板の解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも1本の第1加熱線を含む第1加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する

10

20

30

40

50

第1試行を第1加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第1試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第1試行で設定した少なくとも1本の第1加熱線を第1選択加熱線として選択するステップと、第1選択加熱線と、前記解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも1本の第2加熱線とを含む第2加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第2試行を第2加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第2試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第2試行で設定した少なくとも1本の第2加熱線を第2選択加熱線として選択するステップとを備え、前記加熱方案は、第1及び第2選択加熱線を含むことを特徴とする。

【0009】

本発明の算出方法において、第1選択加熱線と、第2選択加熱線と、前記解析モデルの任意の位置に設定した少なくとも1本の第3加熱線とを含む第3加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果と目的形状とを比較する第3試行を第3加熱線の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第3試行のうち解析結果が目的形状に近づいた第3試行で設定した少なくとも1本の第3加熱線を第3選択加熱線として選択するステップとをさらに備えることが好ましく、前記加熱方案は、第1、第2及び第3選択加熱線を含むことが好ましい。このようにして算出した加熱方案に基づき金属板を加熱することにより、金属板を目的形状により近い形状に変形させることが可能である。

前記加熱方案は、第1、第2及び第3選択加熱線をこの順で含むことが好ましい。このようにして算出した加熱方案に基づき金属板を加熱することにより、金属板を目的形状により近い形状に変形させることが可能である。

【0010】

前記有限要素法構造解析は、FEM熱弾塑性解析又は固有ひずみ法による弾性解析であることが好ましい。

第1又は第2加熱線は、直線又は曲線であることが好ましい。

【0011】

本発明は、本発明の算出方法をコンピューターに実行させるためのプログラムも提供する。

本発明は、本発明の算出方法により算出された加熱方案に基づいて金属板を線状加熱し曲げ加工する加工方法も提供する。

本発明の加工方法は、第1選択加熱線を含む第1加熱条件で金属板を線状加熱し、前記金属板に曲げ加工を施すステップと、前記曲げ加工が施された前記金属板の立体形状を計測するステップと、計測された前記金属板の立体形状と、第1選択加熱線を含む第1加熱条件で実施した有限要素法構造解析の解析結果とを比較するステップと、比較した結果に基づき前記金属板の立体形状が第1選択加熱線を含む第1加熱条件で実施した有限要素法構造解析の解析結果に近づくように前記金属板を加熱するステップとを備えることが好ましい。このような加工方法により、金属板を目的形状により近い形状に変形させることができる。

本発明は、本発明の加工方法により金属板を線状加熱し曲げ加工するように設けられた加工装置も提供する。

【0012】

以下、図面を用いて本発明の一実施形態を説明する。図面や以下の記述中で示す構成は、例示であって、本発明の範囲は、図面や以下の記述中で示すものに限定されない。

【0013】

図1は本実施形態の算出方法のフローチャートであり、図2(a)～(c)は算出方法の説明図であり、図3は加熱線の設定方法の説明図である。また、図4は加熱線上の要素を選び出す方法の説明図である。

本実施形態の算出方法は、線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案6の算出方法である。また、本実施形態の算出方法は、金属板の解析モデル2の任意の位置に設定した第1加熱線4を含む第1加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果3と目的形状10とを比較する第1試行を第1加熱線4の位置を変えて繰り返すステップと、

繰り返した第1試行のうち解析結果3が最も目的形状10に近づいた第1試行で設定した第1加熱線4を第1選択加熱線5として選択するステップと、第1選択加熱線5と、解析モデル2の任意の位置に設定した第2加熱線4とを含む第2加熱条件で有限要素法構造解析を実施し、この解析結果3と目的形状10とを比較する第2試行を第2加熱線4の位置を変えて繰り返すステップと、繰り返した第2試行のうち解析結果3が最も目的形状10に近づいた第2試行で設定した第2加熱線4を第2選択加熱線5として選択するステップとを備える。また、加熱方案6は、第1選択加熱線5及び第2選択加熱線5を含む。ここでは、解析結果3が最も目的形状10に近づいた加熱線4を選択しているが、解析結果3が2番目又は3番目に目的形状10に近づいた加熱線4を選択してもよい。

また、本実施形態のプログラムは、本実施形態の算出方法をコンピューターに実行させるように作成されている。

10

【0014】

本実施形態の算出方法は、有限要素法構造解析(FEM構造解析)を利用して線状加熱による金属板の曲げ加工に用いる加熱方案を算出する方法である。

加熱方案は、金属板を加熱し曲げ加工するためのプランである。

本実施形態の算出方法では、金属板の解析モデル2を用いる。解析モデル2には、金属板の長さ、幅、厚さなどを設定する。また、解析モデル2を複数個の要素(メッシュ)8に分割する。要素8は、例えば、四角形又は三角形のシェルであってもよく、立方体、直方体、三角錐、三角柱などのソリッドであってもよい。また、要素8の各頂点が節点9となる。例えば、図2(a)に示した解析モデル2では、解析モデル2は、 $20 \times 20 (400)$ 個の要素8に分割され、この要素8は、4角形のシェルである。この場合、解析モデル2は格子状となり、各交点が節点9となる。

20

本実施形態の算出方法では、目的形状10のモデルを用いる。目的形状10は、金属板の曲げ加工の目標となる形状である。目的形状10のモデルは、金属板の解析モデル2の形状が目的形状10となるように節点9を動かして作成する。

【0015】

本実施形態の算出方法では、例えば、図1に示したフローチャートに基づき作成したプログラムをコンピューターに実行させることにより加熱方案6を算出することができる。ここでは、図1に示したフローチャートに沿って説明する。

まず、コンピューターに目的形状10のモデル及び解析モデル2を読み込む。

30

次に、解析モデル2の任意の位置に加熱線4を設定する。加熱線4は直線であってもよく、曲線であってもよい。また、複数の加熱線4を設定してもよい。例えば、5本の加熱線4を設定することができる。

例えば、加熱線4が直線である場合、図3に示したように、解析モデル2の任意の2つの節点9(x_1, y_1)、(x_2, y_2)をランダムに選択し、この2つの節点9を結ぶ直線に加熱線4を設定することができる。この場合、設定した加熱線4は、式： $y = \{ (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \} x + \{ (x_2 y_1 - x_1 y_2) / (x_2 - x_1) \}$ で表すことができる。

例えば、図2(a)に示した加熱線4aを設定することができる。また、5本の加熱線4を設定する場合、加熱線4a~4eを設定することができる。

40

【0016】

次に、設定した加熱線4上の要素8を選び出す。要素8の各辺のうち少なくとも1つの辺が加熱線4と交わればその要素8は加熱線4上にあるとすることができる。例えば、図4に示した解析モデル2では、要素(1)、(2)、(3)は加熱線4上にあるが、要素(4)は加熱線4上にない。複数の加熱線4を設定している場合には、複数の加熱線4上の要素8を選び出す。

【0017】

次に、解析モデル2で有限要素法構造解析を行う。有限要素法構造解析では、設定した加熱線4を線状加熱する加熱条件において、選び出した要素8にひずみを付与して解析結果3(構造解析により変形させた解析モデル)を得る。加熱条件は、加熱線4の位置に加

50

えて入熱量を含むことができる。

有限要素法構造解析はFEM熱弾塑性解析であってもよく、固有ひずみ法による弾性解析であってもよい。構造解析では、ガスバーナーを用いる線状加熱を想定してもよく、レーザーを用いる線状加熱（レーザーフォーミング等）を想定してもよく、誘導加熱を用いる線状加熱を想定してもよい。また、構造解析では、曲げ加工の対象となる金属板の材料物性値（ヤング率、ポアソン比、密度など）を用いる。

FEM熱弾塑性解析では、加熱条件（設定した加熱線4の位置及び入熱量(J/mm)）に対して選び出した要素8の縦収縮，横収縮，角変形，縦曲りの4成分の固有ひずみ量を算出する。FEM熱弾塑性解析では、熱及び変形履歴を逐次再現し変形解析を行うため、過渡の状況を解析できる。

10

【0018】

固有ひずみ法による弾性解析では、線状加熱による金属板（解析モデル2）の変形は、固有変形によって発生すると考える。この固有変形が既知であれば、線状加熱による金属板（解析モデル2）の変形が、弾性解析において加熱線4に沿って固有変形を強制ひずみとして加える事で予測可能になる。従って、固有ひずみ法による弾性解析では、予め算出した又は測定した固有ひずみを用いて構造解析をおこなう。例えば、FEM熱弾塑性解析を用いて算出した固有ひずみ、又は実際に線状加熱して変形させた金属板を測定することにより得られる固有ひずみを固有ひずみ法による弾性解析に用いることができる。また、固有ひずみ法による弾性解析は、予め算出又は測定した入熱量と固有ひずみとの関係を表す式を用いて行うことができる。

20

また、固有ひずみ法は、弾性解析であるため、計算時間が熱弾塑性解析に比べてかなり短時間であることが特徴として挙げられる。

【0019】

次に、解析結果3と目的形状10とを比較し、解析結果3と目的形状10との誤差を評価する。そして、この誤差及び設定した加熱線4の位置を記憶部に保存する。

評価指標としては、例えば、節点9の面外方向変位量又は曲率とすることができる。図5は、評価指標を節点9の面外方向変位量13とした場合における解析結果3と目的形状10との比較の説明図である。例えば図5のように、解析結果3の節点9から対応する目的形状10の節点12までの面外方向の変位量（誤差）を算出する。

加熱線4の設定から誤差及び設定した加熱線4の位置の保存までのフローを1回目の試行という。

30

【0020】

1回目の試行が終わると、次に2回目の試行を行う。2回目の試行は、基本的には1回目の試行と同じフローであるが、2回目の試行の加熱線4は、1回目の試行の加熱線4の設定位置とは異なる位置にランダムに設定する。2回目の試行においても、加熱線4は直線であってもよく、曲線であってもよい。また、複数の加熱線4を設定してもよい。例えば、図2(a)に示した加熱線4bを設定する。また、5本の加熱線4を設定する場合、例えば、加熱線4f～4jを設定することができる。そして、設定した加熱線4上の要素8を選び出し、有限要素法構造解析を実施し、解析結果3を得る。得られた解析結果3と目的形状10とを比較し、誤差及び設定した加熱線4の位置を記憶部に保存する。

40

このような試行をX回繰り返す。例えば、図2(a)に示したように、加熱線4の位置を加熱線4c～4kとして、それぞれの位置で試行を行うことができる。また、各試行において複数の加熱線4を設定して試行を行うことができる。例えば、5本の加熱線を設定する場合、各試行において5本の加熱線4を設定して試行を行う。試行回数は、例えば、500回とすることができる。

各試行における解析結果3は、異なる位置の加熱線4に対応した形状となり、それぞれ違う形状となり、解析結果3と目的形状10との誤差は各試行で異なる。

【0021】

次に、各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が最も小さい試行における加熱線4を選択加熱線5として選択する。各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が

50

2番目又は3番目に小さい試行における加熱線4を選択加熱線5として選択してもよい。また、試行において複数の加熱線4を設定している場合、複数の加熱線4を選択加熱線5として選択する。例えば、図2(a)に示した加熱線4a~4kのうち加熱線4dを選択することができる。また、各試行において加熱線4を5本設定している場合、例えば、加熱線4f~4jを選択することができる。

1回目の試行から選択加熱線5を選択するまでを1回目の加熱線選択フローという。

【0022】

1回目の加熱線選択フローが終わると、次に2回目の加熱線選択フローを行う。2回目の加熱線選択フローは、基本的には1回目の加熱線選択フローと同じフローであるが、解析モデル2の任意の位置に加熱線4をランダムに設定する際に、1回目の加熱線選択フローにおいて選択した選択加熱線5と、2回目の加熱線選択フローの各試行においてランダムに設定する加熱線4の両方を設定し、選択加熱線5上の要素8及び設定した加熱線4上の要素8を選び出す。そして、この加熱条件で構造解析を行うことにより、選択加熱線5と設定した加熱線4の両方を反映した解析結果3を得ることができる。2回目の加熱線選択フローにおいても各試行で複数の加熱線4を設定してもよい。また、1回目の加熱線選択フローの各試行において設定する加熱線4の本数と、2回目の加熱線選択フローの各試行において設定する加熱線4の本数とは、違う本数であってもよい。例えば、図2(b)に示した選択加熱線5と加熱線4lを設定することができる。また、各試行において加熱線4を5本設定している場合、例えば、1回目の加熱線選択フローにおいて選択した選択加熱線(加熱線4f~4j)と加熱線4l~4pを設定することができる。

2回目の加熱線選択フローにおいてX回まで試行を繰り返し、各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が最も小さい試行における加熱線4を選択加熱線5として選択する。各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が2番目又は3番目に小さい試行における加熱線4を選択加熱線5として選択してもよい。また、試行において複数の加熱線4を設定している場合、複数の加熱線4を選択加熱線5として選択する。例えば、図2(b)に示した加熱線4l~4vのうち加熱線4sを選択することができる。また、各試行において加熱線4を5本設定している場合、例えば、加熱線4l~4pを選択することができる。

【0023】

3、4、・・・、n回目の加熱線選択フローを順におこなう。各加熱線選択フロー(A回目の加熱線選択フローという)は、基本的には1回目の加熱線選択フローと同じフローであるが、解析モデル2の任意の位置に少なくとも1本の加熱線4をランダムに設定する際に、A回目の加熱線選択フローの各試行においてランダムに設定する少なくとも1本の加熱線4と、(A-1)回目以前の加熱線選択フローにおいて選択したすべての選択加熱線5とを設定する。また、A回目の加熱線選択フローの各試行において複数の加熱線4を設定して試行を行うことができる。例えば、5本の加熱線4を設定する場合、各試行においてランダムに設定する5本の加熱線4と、(A-1)回目以前の加熱線選択フローにおいて選択したすべての選択加熱線5とを設定して試行を行う。

例えば、3回目の加熱線選択フローでは、1回目の加熱線選択フローにおいて選択した選択加熱線5(4d)と、2回目の加熱線選択フローにおいて選択した選択加熱線5(4s)と、3回目の加熱線選択フローの各試行においてランダムに設定する少なくとも1本の加熱線4とを設定する。つまり、加熱線選択フローの回数を重ねるにつれて設定する選択加熱線5の数が増えていく。

【0024】

そして、すべての選択加熱線5上の要素8及び設定した加熱線4上の要素8を選び出し、この加熱条件で構造解析を行うことにより、すべての選択加熱線5と設定した加熱線4とを反映した解析結果3を得ることができる。

A回目の加熱線選択フローにおいてX回まで試行を繰り返し、各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が最も小さい試行における加熱線4を選択加熱線5として選択する。各試行のうち解析結果3と目的形状10との誤差が2番目又は3番目に小さい試行に

10

20

30

40

50

おける加熱線 4 を選択加熱線 5 として選択してもよい。また、試行において複数の加熱線 4 を設定している場合、複数の加熱線 4 を選択加熱線 5 として選択する。

n 回目の加熱線選択フローにおいて選択した選択加熱線 5 を含む加熱条件での解析結果 3 と目的形状 10 との誤差が小さいと判断すると、加熱線選択フローの繰り返しを終了し、1 ~ n 回目の加熱線選択フローで選択した選択加熱線 5 を含む加熱方案 6 が完成する。加熱方案 6 は、例えば、図 2 (c) のように複数の選択加熱線 5 を含む。

【0025】

得られた加熱方案 6 に基づき金属板を線状加熱し曲げ加工することにより、金属板を目的形状に近い形状に変形させることが可能である。金属板の曲げ加工は、作業者が行ってもよく、機械で自動的に行ってもよい。機械で金属板の曲げ加工をする場合、複数の選択加熱線 5 を同時に加熱してもよい。

10

加熱方案 6 は、加熱線選択フローの順序に対応した選択加熱線 5 の順序を含むことができる。加熱方案 6 に基づき金属板を線状加熱し曲げ加工する際、この順序に従って、選択加熱線 5 を加熱することができる。このことにより、金属板を目的形状により近い形状に変形させることが可能である。

【0026】

得られた加熱方案 6 に基づき金属板を加工する加工方法は、A 回目 (A = 1 ~ n) の加熱線選択フローで選択した選択加熱線 5 を含む加熱条件で金属板を線状加熱し、金属板に曲げ加工を施すステップと、曲げ加工が施された金属板の立体形状を計測するステップと、計測された金属板の立体形状と、A 回目の加熱線選択フローにおいて選択加熱線 5 を含む加熱条件で実施した有限要素法構造解析の解析結果 3 とを比較するステップと、比較した結果に基づき金属板の立体形状が前記解析結果 3 に近づくように金属板を加熱するステップとを備えることができる。

20

金属板の立体形状を計測するステップは、三次元測定器を用いて行うことができる。三次元測定器は、接触式であってもよく、走査レーザプローブタイプ又は光学タイプの非接触式であってもよい。このことにより、金属板を目的形状により近い形状に変形させることが可能である。

【0027】

加熱方案 6 に基づく金属板の加工を自動で行う加工装置は、例えば、金属板を加熱する加熱部と、加工装置を制御する制御部とを備えることができる。制御部は、加熱方案 6 を読み込むことができるように設けられ、加熱方案 6 に従って金属板を加熱するように加熱部を制御するように設けられる。

30

【0028】

シミュレーション

本発明の算出方法 (構造解析: 固有ひずみ法による弾性解析) を用いて加熱方案 (目的形状: 椀型、鞍型、捺れ型) を算出し、算出した加熱方案を用いて固有ひずみ法による弾性解析 (構造解析) を行うシミュレーションを実施した。

固有ひずみ法による変形解析のために要素に付与する固有ひずみは、解析モデルに対し FEM 熱弾塑性解析を実施し、その変形結果より取得した。

固有ひずみ法による構造解析では、板長さ: 500mm、板幅: 500mm の板状の解析モデルを用い、解析モデルは、節点数、要素数がそれぞれ 2,601、2,500 となるように四角形のシェル要素に分割した。また、金属板の材料は SM490A (溶接構造用圧延鋼材) と仮定し、板厚は 16mm と仮定した。SM490A の材料定数を表 1 に示す。また、シミュレーションでは、目的形状として 3 種類 (椀型、鞍型、捺れ型) を設定した。1 本の選択加熱線の位置決定に費やす試行回数は 500 回とした。

40

【0029】

【表 1】

ヤング率: 212000 MPa	ポアソン比: 0.3	密度: $7.81 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
------------------	------------	--

【0030】

50

固有ひずみを得るための F E M 熱弾塑性解析では、解析モデルは板長さを500mm、板幅を500mm、板厚16mmとし、節点数および要素数は61,711、50,000とした。溶接条件は電流150A、電圧20V、溶接速度2.286mm/sec、溶接効率は0.8とした。その結果得られた固有ひずみ（縦収縮、横収縮、縦曲率、横曲率）を表2に示す。

【0031】

【表2】

縦収縮 ε_x : -1.135476×10^{-2}	縦曲率 ρ_x : -4.790146×10^{-4}
横収縮 ε_y : -8.340290×10^{-3}	横曲率 ρ_y : -3.917135×10^{-6}

【0032】

目的形状：椀型

図6(a)～(e)は、選択加熱線の本数をそれぞれ10本、20本、30本、40本、55本として算出した加熱方案であり、図7(a)～(d)は、選択加熱線の本数をそれぞれ10本、20本、30本、40本として算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったときの解析結果である。図8(a)は構造解析に用いた目的形状であり、図8(b)は選択加熱線の本数を55本として算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったときの解析結果である。図9は、図8(a)(b)の破線A-A'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布であり、図10は、図8(a)(b)の一点鎖線B-B'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布である。

【0033】

目的形状を椀型としたシミュレーションでは、目的形状と解析結果との誤差を評価する指標に節点における曲率を採用した。また、選択加熱線の本数を10本、20本、30本、40本、55本とした。

このシミュレーションでは、図6(a)～(e)に示した加熱方案を算出することができた。また、算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったところ、図7(a)～(d)、図8(b)に示した解析結果を得ることができた。なお、図6の実線は金属板の表面の選択加熱線を表し、点線は金属板の裏面の選択加熱線を表す。

【0034】

図7(a)～(d)からわかるように、選択加熱線が10本の時点で椀型の傾向を捉えており、選択加熱線が20本の時点ではほぼ目的形状と一致する形状を成形できていることがわかった。それ以降では形状を微調整する、ないしは形状にほとんど影響を与えないような選択加熱線が増える様子が確認できた。また図6に示した加熱位置に注目すると、母材の対角線方向に多く選択加熱線が配置されていることがわかった。これは中央部が落ちくぼむような椀型の形状を成形するために、角変形と縦曲りの両者を用いて母材全体を万遍なく曲げるような選択加熱線の位置が選択されていった結果であると考えられる。

また、図8(a)(b)、図9、10から図8(b)に示した解析結果は目的形状の傾向を良好に捉えていることが確認できた。従って、本発明の算出方法により算出した加熱方案に基づき金属板を加熱することにより、金属板を目的形状に近い形状に曲げ加工できることがわかった。

【0035】

目的形状：鞍型

図11(a)は構造解析に用いた目的形状であり、図11(b)は選択加熱線の本数を40本として算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったときの解析結果である。図12は、選択加熱線の本数を40本として算出した加熱方案である。図13は、図11(a)(b)の破線A-A'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布であり、図14は、図11(a)(b)の一点鎖線B-B'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布である。

【0036】

10

20

30

40

50

目的形状を鞍型としたシミュレーションでは、目的形状と解析結果との誤差を評価する指標に節点における面外方向変位を採用した。また、選択加熱線の本数を40本とした。

このシミュレーションでは、図12に示した加熱方案を算出することができた。また、算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったところ、図11(b)に示した解析結果を得ることができた。

図11、図13、14から図11(b)に示した解析結果は目的形状の傾向を良好に捉えていることが確認できた。

【0037】

目的形状：擦れ型

図15(a)は構造解析に用いた目的形状であり、図15(b)は選択加熱線の本数を16本として算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったときの解析結果である。図16は、選択加熱線の本数を16本として算出した加熱方案である。図17は、図15(a)(b)の破線A-A'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布であり、図18は、図15(a)(b)の一点鎖線B-B'において目的形状と解析結果とを比較した面外方向変位分布である。

10

【0038】

目的形状を擦れ型としたシミュレーションでは、目的形状と解析結果との誤差を評価する指標に節点における面外方向変位を採用した。また、選択加熱線の本数を16本とした。

このシミュレーションでは、図16に示した加熱方案を算出することができた。また、算出した加熱方案に基づき固有ひずみ法による構造解析を行ったところ、図15(b)に示した解析結果を得ることができた。

20

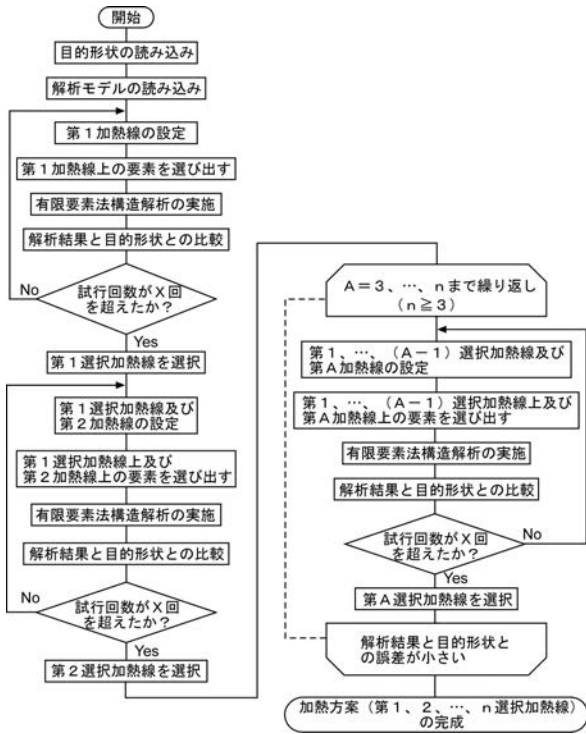
図15、図17、18から図15(b)に示した解析結果は目的形状の傾向を良好に捉えていることが確認できた。

【符号の説明】

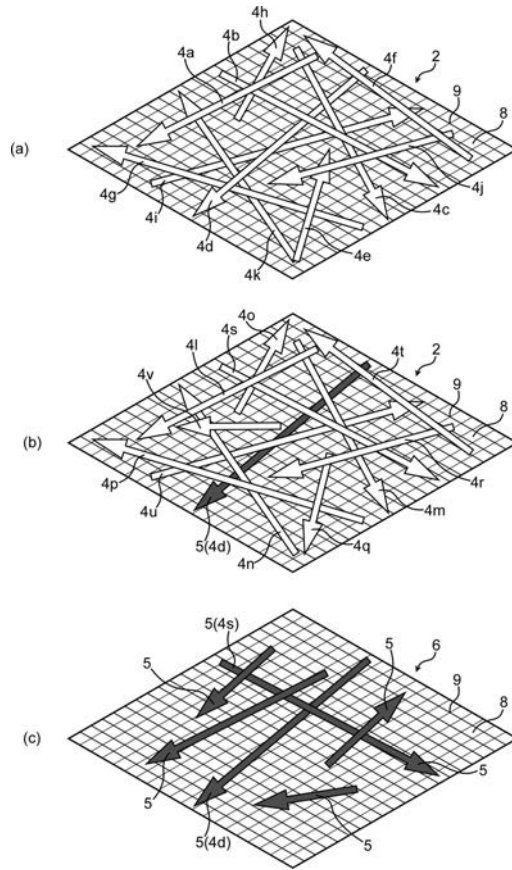
【0039】

2：解析モデル 3：解析結果 4、4a～4x：加熱線 5：選択加熱線
6：加熱方案 8：要素 9：節点 10：目的形状 11：目的形状の要素
12：目的形状の節点 13：解析結果と目的形状との変位量

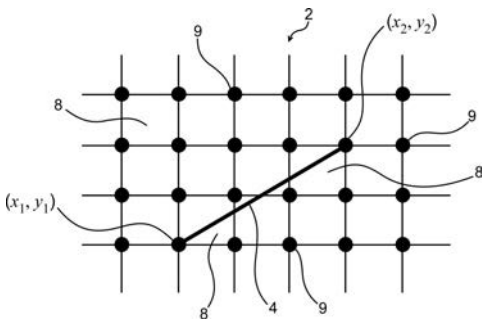
【 図 1 】



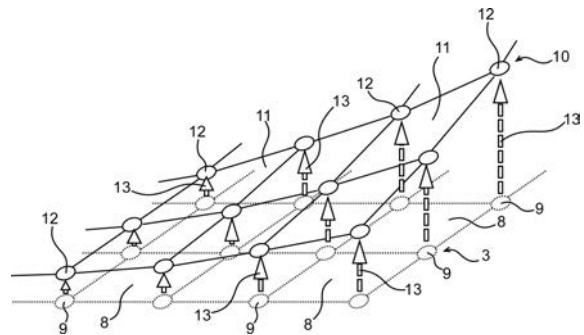
【 図 2 】



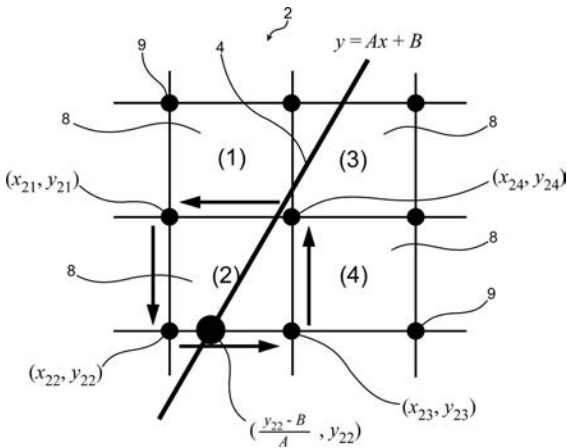
【 図 3 】



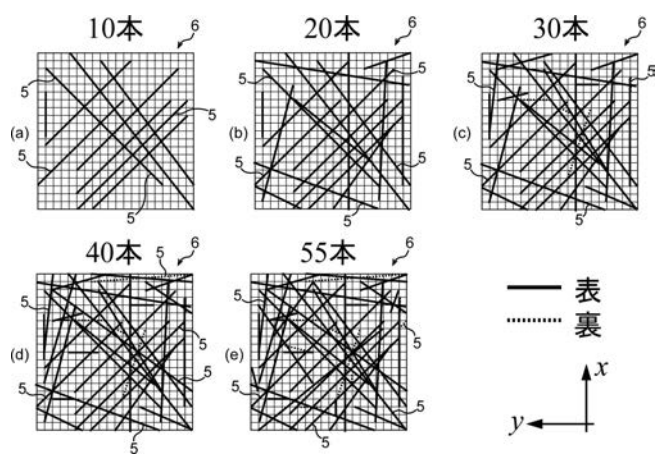
【 図 5 】



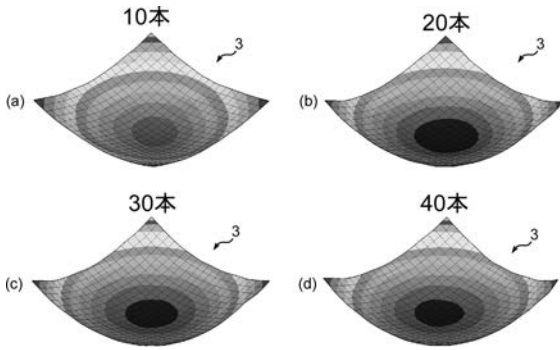
【 図 4 】



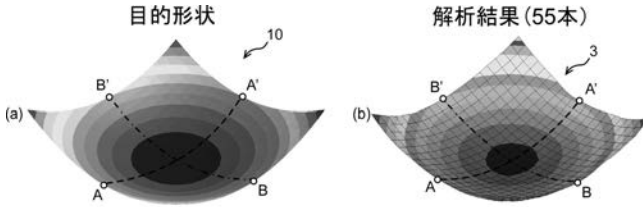
【 図 6 】



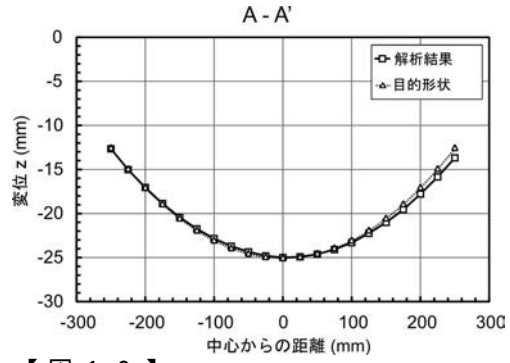
【 図 7 】



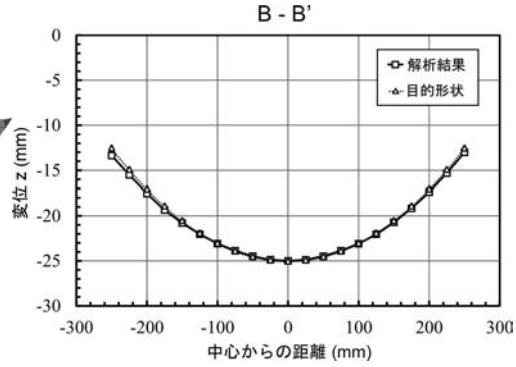
【 図 8 】



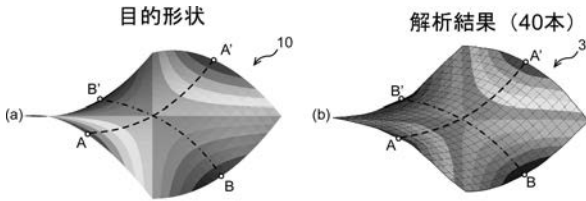
【 図 9 】



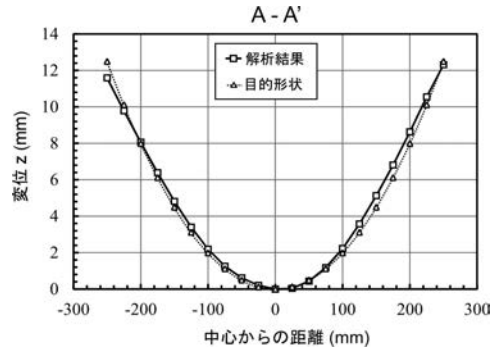
【 図 10 】



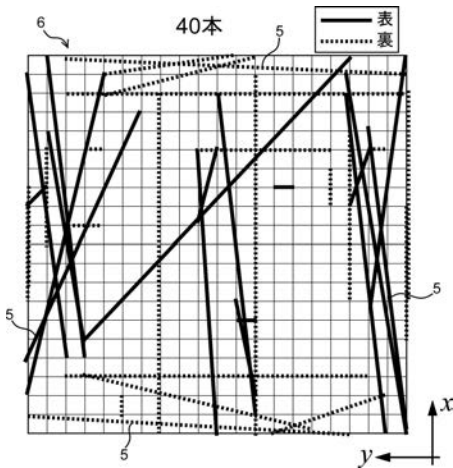
【 図 11 】



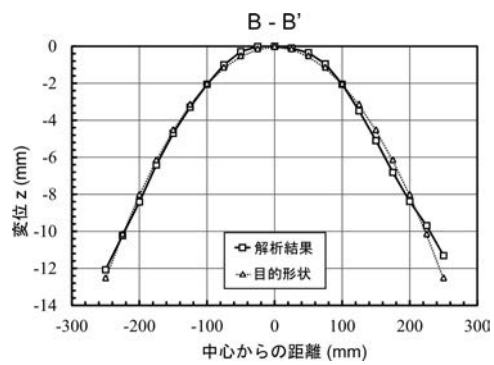
【 図 13 】



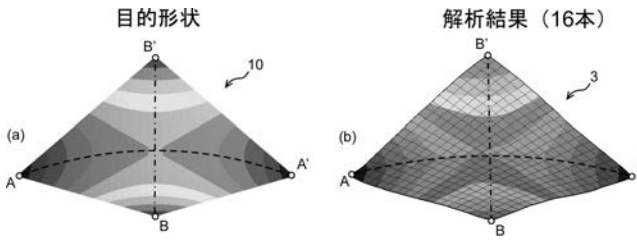
【 図 12 】



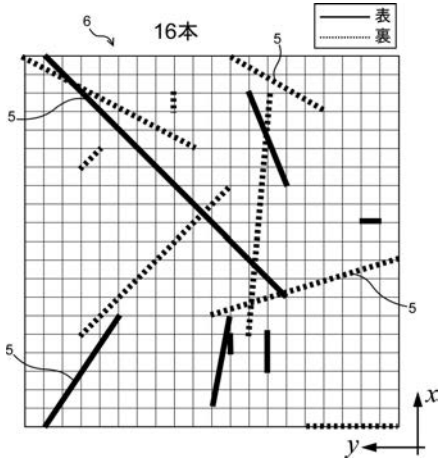
【 図 14 】



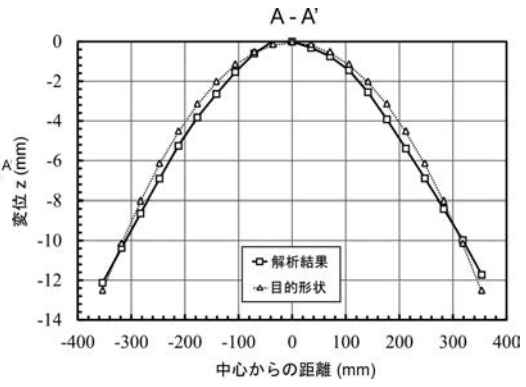
【 図 1 5 】



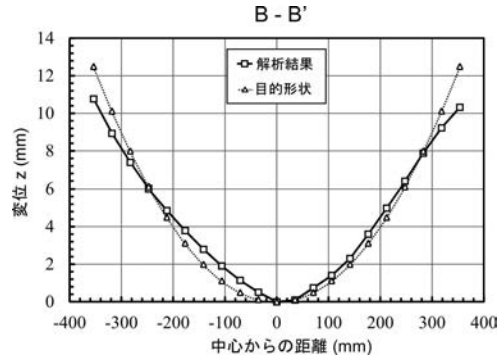
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 生島 一樹
大阪府堺市中央区学園町1番1号 公立大学法人大阪府立大学内
- (72)発明者 山田 祐介
大阪府堺市中央区学園町1番1号 公立大学法人大阪府立大学内
- (72)発明者 前川 真奈海
大阪府堺市中央区学園町1番1号 公立大学法人大阪府立大学内
- (72)発明者 阪本 啓志
大阪府堺市中央区学園町1番1号 公立大学法人大阪府立大学内
- Fターム(参考) 5B046 AA04 BA08 FA04 FA06 GA01 HA09 JA04 JA07 KA05