

(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2012-208540

(P2012-208540A)

(43) 公開日 平成24年10月25日(2012.10.25)

(51) Int. Cl.		F 1		テーマコード (参考)
G 0 6 F	17/50	(2006.01)	G 0 6 F 17/50	6 1 2 H
C 2 5 D	13/22	(2006.01)	G 0 6 F 17/50	6 8 0 Z
			C 2 5 D 13/22	Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-71354 (P2011-71354)	(71) 出願人	000005348
(22) 出願日	平成23年3月29日 (2011. 3. 29)		富士重工業株式会社
			東京都新宿区西新宿一丁目7番2号
		(74) 代理人	100080001
			弁理士 筒井 大和
		(74) 代理人	100093023
			弁理士 小塚 善高
		(74) 代理人	100117008
			弁理士 筒井 章子
		(72) 発明者	沈 建栄
			東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士
			重工業株式会社内
		Fターム(参考)	5B046 JA04 JA09

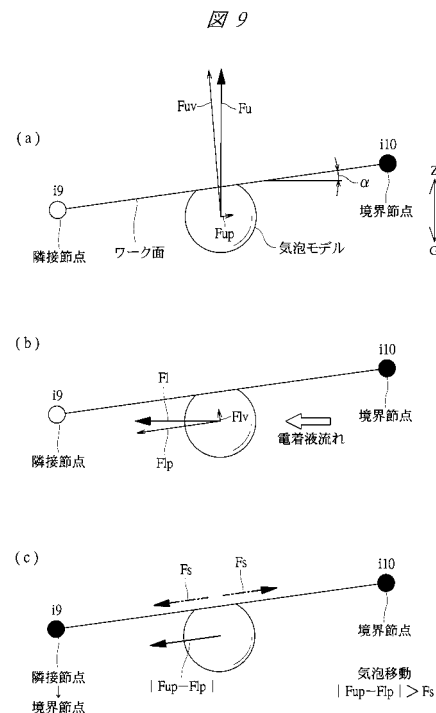
(54) 【発明の名称】 シミュレーション方法およびシミュレーションプログラム

(57) 【要約】

【課題】作業コストを抑制しつつ空気溜まりの予測精度を高める。

【解決手段】車体解析モデルを構成する複数の節点から、端に位置する節点 $i10$ を電着液に接する境界節点として設定される。この境界節点に隣接する隣接節点 $i9$ が電着液に接するか否かを判定する際には、節点 $i9$ 、 $i10$ 間のワーク面に付着する気泡モデルが設定され、この気泡モデルに作用する浮力 F_u からワーク面に平行となる浮力分力 F_{up} が算出される。続いて、気泡モデルに作用する電着液の流動推力 F_l から、ワーク面に平行となる推力分力 F_{lp} が算出される。そして、浮力分力 F_{up} および推力分力 F_{lp} から気泡モデルに作用する合力 ($F_{up} + F_{lp}$) が算出され、この合力がワーク面に付着する気泡モデルの付着力 F_s を上回るか否かが判定される。合力が付着力を上回る場合には、気泡モデルが移動するため隣接節点 $i9$ が電着液に接すると判定される。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークを処理液に沈めたときの空気溜まりを予測するシミュレーション方法であって、
前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、端に位置する要素を処理液に接する境界要素として設定する境界設定ステップと、

前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、前記境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定する気液判定ステップとを有し、

前記気液判定ステップは、

前記境界要素と前記隣接要素との間のワーク面に、所定の付着力で付着する気泡モデルを設定する気泡設定ステップと、

前記気泡モデルに作用する浮力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の浮力分力を算出する浮力分力算出ステップと、

前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の推力分力を算出する推力分力算出ステップと、

前記浮力分力と前記推力分力とを合算し、前記気泡モデルに対して前記ワーク面に平行となる方向に作用する合力を算出する合力算出ステップと、

前記合力が前記付着力を上回る場合には前記隣接要素が処理液に接すると判定する一方、前記合力が前記付着力を下回る場合には前記隣接要素が空気に接すると判定する判定ステップとを有することを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載のシミュレーション方法において、

前記隣接要素が処理液に接すると判定された場合に、この隣接要素を新たな境界要素として設定する境界更新ステップを有し、

前記気液判定ステップは、新たに設定された境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定することを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載のシミュレーション方法において、

前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力は、前記解析モデルの座標毎に処理液の流れ方向および流速が格納されるデータベースを参照して求められることを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のシミュレーション方法において、

前記解析モデルを構成する要素は、前記ワークの表面形状を分割する複数の表面要素、または前記表面要素の頂点に設けられる複数の節点要素であることを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 5】

ワークを処理液に沈めたときの空気溜まりを予測するシミュレーションプログラムであって、

前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、端に位置する要素を処理液に接する境界要素として設定する境界設定ステップと、

前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、前記境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定する気液判定ステップとを有し、

前記気液判定ステップは、

前記境界要素と前記隣接要素との間のワーク面に、所定の付着力で付着する気泡モデルを設定する気泡設定ステップと、

前記気泡モデルに作用する浮力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の浮力分力を算出する浮力分力算出ステップと、

前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の推力分力を算出する推力分力算出ステップと、

前記浮力分力と前記推力分力とを合算し、前記気泡モデルに対して前記ワーク面に平行となる方向に作用する合力を算出する合力算出ステップと、

前記合力が前記付着力を上回る場合には前記隣接要素が処理液に接すると判定する一方、前記合力が前記付着力を下回る場合には前記隣接要素が空気に接すると判定する判定ステップとを有することを特徴とするシミュレーションプログラム。

【請求項 6】

請求項 5 記載のシミュレーションプログラムにおいて、

前記隣接要素が処理液に接すると判定された場合に、この隣接要素を新たな境界要素として設定する境界更新ステップを有し、

前記気液判定ステップは、新たに設定された境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定することを特徴とするシミュレーションプログラム。

【請求項 7】

請求項 5 または 6 記載のシミュレーションプログラムにおいて、

前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力は、前記解析モデルの座標毎に処理液の流れ方向および流速が格納されるデータベースを参照して求められることを特徴とするシミュレーションプログラム。

【請求項 8】

請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のシミュレーションプログラムにおいて、

前記解析モデルを構成する要素は、前記ワークの表面形状を分割する複数の表面要素、または前記表面要素の頂点に設けられる複数の節点要素であることを特徴とするシミュレーションプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ワークを処理槽に沈めたときの空気溜まりを予測するシミュレーション技術に関する。

【背景技術】

【0002】

ワークに塗装やメッキを施す方式として、処理液を溜めた処理槽にワークを沈めるディップ方式がある。このようなディップ方式においては、塗装皮膜や金属皮膜を良好に形成するため、空気溜まりが発生することのないワーク形状が求められている。そこで、空気溜まりが発生することのないワーク形状を効率良く設計するため、設計段階において空気溜まりを予測するシミュレーション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 2007-39802 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 のシミュレーション方法は、処理槽内における処理液の流動状況と空気溜まりの発生状況とをデータベース化し、このデータベースを参照して空気溜まりの発生状況を予測している。このように、処理液の流動状況を考慮したものであるため、高精度に空気溜まりを予測することが可能であるが、個々のワーク形状に合わせて処理液の流動状況と空気溜まりの発生状況とをデータベース化することは、作業コストを増大させる要因となっていた。

【0005】

10

20

30

40

50

本発明の目的は、作業コストを抑制しつつ空気溜まりの予測精度を高めることにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明のシミュレーション方法は、ワークを処理液に沈めたときの空気溜まりを予測するシミュレーション方法であって、前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、端に位置する要素を処理液に接する境界要素として設定する境界設定ステップと、前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、前記境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定する気液判定ステップとを有し、前記気液判定ステップは、前記境界要素と前記隣接要素との間のワーク面に、所定の付着力で付着する気泡モデルを設定する気泡設定ステップと、前記気泡モデルに作用する浮力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の浮力分力を算出する浮力分力算出ステップと、前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の推力分力を算出する推力分力算出ステップと、前記浮力分力と前記推力分力とを合算し、前記気泡モデルに対して前記ワーク面に平行となる方向に作用する合力を算出する合力算出ステップと、前記合力が前記付着力を上回る場合には前記隣接要素が処理液に接すると判定する一方、前記合力が前記付着力を下回る場合には前記隣接要素が空気に接すると判定する判定ステップとを有することを特徴とする。

10

【0007】

本発明のシミュレーション方法は、前記隣接要素が処理液に接すると判定された場合に、この隣接要素を新たな境界要素として設定する境界更新ステップを有し、前記気液判定ステップは、新たに設定された境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定することを特徴とする。

20

【0008】

本発明のシミュレーション方法は、前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力は、前記解析モデルの座標毎に処理液の流れ方向および流速が格納されるデータベースを参照して求められることを特徴とする。

【0009】

本発明のシミュレーション方法は、前記解析モデルを構成する要素は、前記ワークの表面形状を分割する複数の表面要素、または前記表面要素の頂点に設けられる複数の節点要素であることを特徴とする。

30

【0010】

本発明のシミュレーションプログラムは、ワークを処理液に沈めたときの空気溜まりを予測するシミュレーションプログラムであって、前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、端に位置する要素を処理液に接する境界要素として設定する境界設定ステップと、前記ワークの解析モデルを構成する複数の要素から、前記境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定する気液判定ステップとを有し、前記気液判定ステップは、前記境界要素と前記隣接要素との間のワーク面に、所定の付着力で付着する気泡モデルを設定する気泡設定ステップと、前記気泡モデルに作用する浮力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の浮力分力を算出する浮力分力算出ステップと、前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力に基づいて、前記ワーク面に平行となる方向の推力分力を算出する推力分力算出ステップと、前記浮力分力と前記推力分力とを合算し、前記気泡モデルに対して前記ワーク面に平行となる方向に作用する合力を算出する合力算出ステップと、前記合力が前記付着力を上回る場合には前記隣接要素が処理液に接すると判定する一方、前記合力が前記付着力を下回る場合には前記隣接要素が空気に接すると判定する判定ステップとを有することを特徴とする。

40

【0011】

本発明のシミュレーションプログラムは、前記隣接要素が処理液に接すると判定された場合に、この隣接要素を新たな境界要素として設定する境界更新ステップを有し、前記気液判定ステップは、新たに設定された境界要素に隣接する隣接要素を抽出し、この隣接要素が処理液と空気とのいずれに接するかを判定することを特徴とする。

50

【0012】

本発明のシミュレーションプログラムは、前記気泡モデルに作用する処理液の流動推力は、前記解析モデルの座標毎に処理液の流れ方向および流速が格納されるデータベースを参照して求められることを特徴とする。

【0013】

本発明のシミュレーションプログラムは、前記解析モデルを構成する要素は、前記ワークの表面形状を分割する複数の表面要素、または前記表面要素の頂点に設けられる複数の節点要素であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、ワーク面に所定の付着力で付着する気泡モデルを設定し、気泡モデルに作用する浮力からワーク面に平行となる浮力分力を算出し、気泡モデルに作用する処理液の流動推力からワーク面に平行となる推力分力を算出する。そして、浮力分力と推力分力とに基づき気泡モデルに作用する合力を算出し、この合力と付着力とを比較することで気液判定を行っている。これにより、処理液の流動推力を考慮することができ、空気溜まりの予測精度を向上させることが可能となる。しかも、処理液の流動推力による空気溜まりへの影響について、気泡モデルを用いて演算するようにしたので、大規模なデータベースを準備する必要がなく、作業コストを大幅に引き下げることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】電着塗装工程を示す概略図である。

【図2】シミュレーション装置を示すブロック図である。

【図3】車体解析モデルを示す概略図である。

【図4】記憶装置に格納される車体解析モデルのデータを示す説明図である。

【図5】(a)および(b)は車体解析モデルを気液判定する際の手順を示す説明図である。

【図6】(a)は図5(a)のA-A線に沿って車体解析モデルを示す説明図であり、(b)は図5(b)のA-A線に沿って車体解析モデルを示す説明図である。

【図7】(a)～(c)は隣接節点について気液判定を行う際の手順を示す説明図である。

【図8】流動推力を算出する際に参照されるデータベースの一例を示す概略図である。

【図9】(a)～(c)は隣接節点について気液判定を行う際の手順を示す説明図である。

【図10】(a)は流動推力を考慮していない従来のシミュレーション方法やシミュレーションプログラムによる車体解析モデルの気液判定結果を示す説明図である。また、(b)は流動推力を考慮した本発明のシミュレーション方法やシミュレーションプログラムによる車体解析モデルの気液判定結果を示す説明図である。

【図11】(a)は図10(a)のA-A線に沿って車体解析モデルを示す説明図であり、(b)は図10(b)のA-A線に沿って車体解析モデルを示す説明図である。

【図12】空気溜まりの予測手順を示すフローチャートである。

【図13】ステップS7における気液判定の手順を詳細に示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1は電着塗装工程を示す概略図である。図1に示すように、ワークである車体10に対して電着塗装を施すため、電着塗装工程には電着液(処理液)を溜めた処理槽11が設置されている。車体10に対して脱脂や表面調整等の前処理を施した後に、車体10を処理槽11に沈めて通電を施すことにより、車体10のアウト面やインナ面には電着塗膜が形成されることになる。この電着塗装工程において良好な塗装品質を得るためには、車体10を処理槽11に沈めたときに空気溜まりを発生させることのない車体形状が求められている。このような車体形状を効率良く設計するため、設計段階において空気溜まりの発生状況を予測することが重要となっている。また、処理槽11には図示しないノズルが複数設置されており、これらのノズルから電着液が吐出されている。このため、空気溜まりの発生状況を高精度に予測す

10

20

30

40

50

るためには、処理槽 11 における電着液の流れを考慮することが必要となっている。

【0017】

以下、本発明の一実施の形態であるシミュレーション方法およびシミュレーションプログラムについて説明する。ここで、図 2 はシミュレーション装置 12 を示すブロック図であり、このシミュレーション装置 12 によってシミュレーション方法やシミュレーションプログラムが実行される。図 2 に示すように、シミュレーション装置 12 は、CPU やメモリ等によって構成される演算装置 13、キーボード等の入力装置 14、液晶ディスプレイ等の表示装置 15、磁気ディスク等の記憶装置 16 を備えている。このシミュレーション装置 12 は、マイクロコンピュータやパーソナルコンピュータ等の単一のコンピュータを用いて構成しても良く、ネットワークを介して相互に接続される複数のコンピュータを用いて構成しても良い。

10

【0018】

シミュレーション装置 12 の記憶装置 16 には、車体全体を表す車体解析モデル(解析モデル)が格納されている。ここで、図 3 は車体解析モデルを示す概略図であり、図 4 は記憶装置 16 に格納される車体解析モデルのデータを示す説明図である。図 3 の拡大部分に示すように、車体解析モデルは、車体 10 の表面形状を分割する複数の表面要素(要素)と、表面要素の頂点に設けられる節点要素(要素)とによって構成されている。この車体解析モデルについては、各節点要素(以下、節点という)が位置する座標データ等の形で記憶装置 16 に格納されている。図 4 に示すように、記憶装置 16 には、車体解析モデルを構成するパネル部材の番号データ、各パネル部材が備える節点の番号データ、各節点の座標データ(X 座標値、Y 座標値、Z 座標値)等が格納されている。なお、XYZ 直交座標系における Z 軸の方向は、重力方向 G に対して逆向きに設定されている。また、車体解析モデルとしては、衝突変形シミュレーション等に用いられる車体解析モデルを流用することが可能である。

20

【0019】

また、演算装置 13 には気液判定部 17 が設けられており、この気液判定部 17 は車体解析モデルの各節点について気液判定処理を実行する。この気液判定処理とは、車体解析モデルを構成する各節点について、電着液(液体)に接する節点であるか、或いは空気(気体)に接する節点であるかを判定する処理である。すなわち、気液判定処理とは、各節点の属性データが電着液または空気の何れであるかを判定する処理である。ここで、図 5 (a)および(b)は車体解析モデル I を気液判定する際の手順を示す説明図である。なお、説明を容易にするため、図 5 には簡略化された車体解析モデル I が示されている。また、図 6 (a)は図 5 (a)の A-A 線に沿って車体解析モデル I を示す説明図であり、図 6 (b)は図 5 (b)の A-A 線に沿って車体解析モデル I を示す説明図である。

30

【0020】

図 5 (a)および図 6 (a)に示すように、まず、気液判定処理においては、車体解析モデル I を構成する全節点 $i1 \sim i15$ の属性データが空気に設定される。続いて、端に位置する節点 $i1 \sim i6$ 、 $i10 \sim i15$ が境界節点(境界要素)として設定され、図 5 (b)および図 6 (b)に示すように、境界節点 $i1 \sim i6$ 、 $i10 \sim i15$ の属性データが電着液に変更される(境界設定ステップ)。なお、端に位置する節点とは、車体 10 の縁の部分に位置する節点、すなわちパネル部材の縁部やパネル部材に形成される穴の縁部に位置する節点を意味し、車体 10 を処理槽 11 に沈めたときに無条件で電着液に接する節点である。また、換言すれば、端に位置する節点とは、表面要素によって囲まれていない節点、つまり表面要素が四角形で構成される場合に 4 つの表面要素によって共有されていない節点である。

40

【0021】

続いて、図 6 (b)に示すように、複数の節点から解析対象となる境界節点が設定されるとともに、この境界節点に隣接する隣接節点(隣接要素)が設定される。すなわち、節点 $i6$ が解析対象となる境界節点として設定されたときには、節点 $i6$ に隣接する節点 $i7$ が隣接節点として設定される。また、節点 $i10$ が解析対象となる境界節点として設定され

50

たときには、節点 i 10 に隣接する節点 i 9 が隣接節点として設定される。このように隣接節点が設定されると、この隣接節点について気液判定が実行される(気液判定ステップ)。以下、隣接節点 i 7 の気液判定について説明した後に、隣接節点 i 9 の気液判定について説明する。

【0022】

図7(a)～(c)は隣接節点 i 7 について気液判定を行う際の手順を示す説明図である。図7(a)に示すように、境界節点 i 6 と隣接節点 i 7 との間のワーク面に付着する気泡モデル(例えば直径 2 mm)が設定され(気泡設定ステップ)、この気泡モデルに作用する浮力 F_u が算出される。また、境界節点 i 6 と隣接節点 i 7 との座標値に基づいて、水平方向に対するワーク面の傾斜角 α が算出される。そして、浮力 F_u と傾斜角 α とに基づいて、ワーク面に平行となる方向の浮力分力 F_{up} が算出される(浮力分力算出ステップ)。この浮力分力 F_{up} とは、気泡モデルを隣接節点 i 7 に向けて移動させようとする力である。また、図7(a)に示す F_{uv} とは、ワーク面に垂直となる方向の浮力分力である。なお、浮力 F_u を算出する際には、例えば、以下の式(1)を用いることが可能であり、浮力分力 F_{up} を算出する際には、例えば、以下の式(2)を用いることが可能である。 ρ_w は電着液の密度であり、 ρ_a は空気の密度であり、 V は気泡モデルの体積であり、 g は重力加速度である。

$$F_u = (\rho_w - \rho_a) \times V \times g \quad \cdots (1)$$

$$F_{up} = F_u \times \sin \alpha \quad \cdots (2)$$

続いて、図7(b)に示すように、隣接節点 i 7 の座標値に基づき所定のデータベースを参照することにより、隣接節点 i 7 に作用する電着液の流れ方向および流速を読み込み、気泡モデルに作用する電着液の流動推力 F_l が算出される。ここで、図8は流動推力 F_l を算出する際に参照されるデータベースの一例を示す概略図である。図8に示すように、車体解析モデルおよびその周辺が複数の領域に区画されるとともに、これらの領域毎に電着液の流れ方向および流速を示すデータ $D_{11} \sim D_{nN}$ が格納されている。このようなデータベースを参照し、電着液が気泡モデルを押し込む流動推力 F_l が算出されると、流動推力 F_l と傾斜角 α とに基づいてワーク面に平行となる方向の推力分力 F_{lp} が算出される(推力分力算出ステップ)。この推力分力 F_{lp} とは、気泡モデルを境界節点 i 6 に向けて移動させようとする力である。また、図7(b)に示す F_{lv} とは、ワーク面に垂直となる方向の推力分力である。なお、流動推力 F_l を算出する際には、例えば、以下の式(3)を用いることが可能であり、推力分力 F_{lp} を算出する際には、例えば、以下の式(4)を用いることが可能である。 S は気泡モデルの受圧面積(断面積)であり、 v_w は電着液の流速である。

$$F_l = S \times \rho_w \times v_w^2 / 2 \quad \cdots (3)$$

$$F_{lp} = F_l \times \cos \alpha \quad \cdots (4)$$

次いで、図7(c)に示すように、浮力分力 F_{up} と推力分力 F_{lp} とに基づいて、気泡モデルに作用する合力($F_{up} + F_{lp}$)が算出される(合力算出ステップ)。なお、図示する場合には、推力分力 F_{lp} と浮力分力 F_{up} との作用方向が逆向きであり、浮力分力 F_{up} が推力分力 F_{lp} よりも大きいことから、気泡モデルには隣接節点 i 7 に向かう方向に合力が作用している。気泡モデルに作用するスカラー量としての合力は $|F_{up} - F_{lp}|$ となる。続いて、隣接節点 i 7 の属性データが電着液であるか否かを判定するため、気泡モデルに作用する合力($F_{up} + F_{lp}$)が、ワーク面に付着する気泡モデルの付着力 F_s を上回るか否かが判定される(判定ステップ)。なお、気泡モデルの付着力 F_s とは、気泡モデルを移動させる際に移動方向とは反対方向に作用する抗力であり、電着液の表面張力や分子間力等に基づいて予め設定される力である。そして、気泡モデルに作用する合力が付着力を上回る場合($|F_{up} - F_{lp}| > F_s$)には、気泡モデルが移動して抜けることから、隣接節点 i 9 の属性データは電着液であると判定される。一方、気泡モデルに作用する合力が付着力を上回らない場合($|F_{up} - F_{lp}| \leq F_s$)には、気泡モデルがそのまま停止することから、隣接節点 i 9 の属性データは空気であると判定される。なお、図示する場合には、合力($|F_{up} - F_{lp}|$)が付着力 F_s を下回ることから、隣接節

10

20

30

40

50

点 $i7$ の属性データは空気のまま維持されることになる。

【0023】

続いて、隣接節点 $i9$ の気液判定について説明する。図9(a)~(c)は隣接節点 $i9$ について気液判定を行う際の手順を示す説明図である。図9(a)に示すように、境界節点 $i10$ と隣接節点 $i9$ との間のワーク面に付着する気泡モデル(例えば直径2mm)が設定され、この気泡モデルに作用する浮力 F_u が算出される。また、境界節点 $i10$ と隣接節点 $i9$ との座標値に基づいて、水平方向に対するワーク面の傾斜角 α が算出される。そして、浮力 F_u と傾斜角 α とに基づいて、ワーク面に平行となる方向の浮力分力 F_{up} が算出される。この浮力分力 F_{up} とは、気泡モデルを境界節点 $i10$ に向けて移動させようとする力である。なお、図9(a)に示す F_{uv} とは、ワーク面に垂直となる方向の浮力分力である。

10

【0024】

続いて、図9(b)に示すように、隣接節点 $i9$ の座標値に基づいて図8のデータベースを参照することにより、隣接節点 $i9$ に作用する電着液の流れ方向および流速を読み込み、気泡モデルに作用する電着液の流動推力 F_l が算出される。このように流動推力 F_l が算出されると、流動推力 F_l と傾斜角 α とに基づいてワーク面に平行となる方向の推力分力 F_{lp} が算出される。この推力分力 F_{lp} とは、気泡モデルを隣接節点 $i9$ に向けて移動させようとする力である。なお、図9(b)に示す F_{lv} とは、ワーク面に垂直となる方向の推力分力である。

20

【0025】

次いで、図9(c)に示すように、浮力分力 F_{up} と推力分力 F_{lp} とに基づいて、気泡モデルに作用する合力($F_{up} + F_{lp}$)が算出される。なお、図示する場合には、推力分力 F_{lp} と浮力分力 F_{up} との作用方向が逆向きであり、推力分力 F_{lp} が浮力分力 F_{up} よりも大きいことから、気泡モデルには隣接節点 $i9$ に向かう方向に合力が作用している。気泡モデルに作用するスカラー量としての合力は $|F_{up} - F_{lp}|$ となる。続いて、隣接節点 $i9$ の属性データが電着液であるか否かを判定するため、気泡モデルに作用する合力($F_{up} + F_{lp}$)が、ワーク面に付着する気泡モデルの付着力 F_s を上回るか否かが判定される。なお、図示する場合には、合力($|F_{up} - F_{lp}|$)が付着力 F_s を上回り、気泡モデルが移動して抜けることから、隣接節点 $i9$ の属性データは空気から電着液に変更されることになる。

30

【0026】

このように、隣接節点 $i9$ の属性データが空気から電着液に変更されると、この隣接節点 $i9$ は新たな境界節点として設定される(境界更新ステップ)。そして、境界節点 $i9$ に隣接する節点 $i8$ が隣接節点として設定されるとともに、この隣接節点 $i8$ について同様の気液判定が実行される。このような気液判定は、未解析の隣接節点が存在しなくなるまで繰り返され、車体解析モデルを構成する全節点の属性データが電着液または空気に分けられることになる。なお、全節点に関する気液判定の結果は、演算装置13のポスト処理部18を経て表示装置15に出力される。ポスト処理部18においては、例えば、電着液に接する節点や空気に接する節点を、色相や濃淡等によって区分して表現する処理が実行される。

40

【0027】

ここで、図10(a)は流動推力 F_l を考慮していない従来のシミュレーション方法やシミュレーションプログラムによる車体解析モデルIの気液判定結果を示す説明図である。また、図10(b)は流動推力 F_l を考慮した本発明のシミュレーション方法やシミュレーションプログラムによる車体解析モデルIの気液判定結果を示す説明図である。また、図11(a)は図10(a)のA-A線に沿って車体解析モデルIを示す説明図であり、図11(b)は図10(b)のA-A線に沿って車体解析モデルIを示す説明図である。

【0028】

まず、図10(a)および図11(a)に示すように、電着液の流れを考慮していない場合、つまり節点間における上下の位置関係だけを考慮した場合には、車体解析モデルIが片

50

側に傾斜する構造であるため、全節点 $i 1 \sim i 15$ の属性データが電着液と判定される。すなわち、車体解析モデル I が下方に開口する凹形状を有していないことから、車体解析モデル I には空気溜まりが発生しないと判定されることになる。一方、図 11(a)および図 11(a)に示すように、電着液の流れを考慮した場合には、浮力によって上方に抜けようとする空気が流動する電着液によって押し戻されることから、節点 $i 7$ において空気溜まりが発生するとの正しい結果を導くことが可能となる。

【0029】

以下、前述した空気溜まりの予測手順をフローチャートに沿って簡単に説明する。図 12 は空気溜まりの予測手順を示すフローチャートである。図 12 に示すように、ステップ S 1 では、車体解析モデルを構成する全節点の属性データが空気に設定される。続いて、ステップ S 2 では、端に位置する節点が境界節点として設定され、ステップ S 3 では、境界節点の属性データが電着液に変更される(境界設定ステップ)。続くステップ S 4 では、後述する隣接節点の有無について未解析の境界節点が存在するか否かが判定される。ステップ S 4 において、未解析の境界節点が存在する場合には、ステップ S 5 に進み、解析対象となる境界節点が設定される。続くステップ S 6 では、境界節点に隣接する隣接節点の有無が判定される。ステップ S 6 において、隣接節点が存在する場合には、ステップ S 7 に進み、隣接節点について気液判定が実施される(気液判定ステップ)。

【0030】

ここで、図 13 はステップ S 7 における気液判定の手順を詳細に示すフローチャートである。図 13 に示すように、ステップ S 11 では境界節点の座標値が読み込まれ、ステップ S 12 では隣接節点の座標値が読み込まれる。ステップ S 13 では、隣接節点の座標値に基づきデータベースを参照し、電着液の流れ方向および流速が読み込まれる。続くステップ S 14 では、境界節点と隣接節点との間のワーク面に付着する気泡モデルの付着力 F_s が読み込まれる(気泡設定ステップ)。また、ステップ S 15 では、境界節点と隣接節点との座標値に基づきワーク面の傾斜角 α が算出される。ステップ S 16 では、気泡モデルに作用する浮力 F_u と傾斜角 α とに基づき、ワーク面に平行となる方向の浮力分力 F_{up} が算出される(浮力分力算出ステップ)。ステップ S 17 では、気泡モデルに作用する流動推力 F_l と傾斜角 α とに基づき、ワーク面に平行となる方向の推力分力 F_{lp} が算出される(推力分力算出ステップ)。続いて、ステップ S 18 では、浮力分力 F_{up} と推力分力 F_{lp} とに基づき、気泡モデルに作用する合力($F_{up} + F_{lp}$)が算出される(合力算出ステップ)。続くステップ S 19 において、気泡モデルに作用する合力(浮力分力 F_{up} と推力分力 F_{lp} が同方向に働く場合は合力 $= |F_{up} + F_{lp}|$ 、逆方向に働く場合は合力 $= |F_{up} - F_{lp}|$)が付着力 F_s を上回るか否かが判定される(判定ステップ)。そして、ステップ S 19 において、合力($F_{up} + F_{lp}$)が付着力 F_s を上回ると判定された場合には、ステップ S 20 に進み、隣接節点の属性データが電着液に変更される。一方、ステップ S 19 において、合力($F_{up} + F_{lp}$)が付着力 F_s を下回ると判定された場合には、ステップ S 21 に進み、隣接節点の属性データが空気のまま維持される。

【0031】

このように、隣接節点についての気液判定が完了すると、図 12 のステップ S 8 に進み、隣接節点の属性データが電着液であるか否かが判定される。ステップ S 8 において、隣接節点の属性データが電着液であると判定された場合には、ステップ S 9 に進み、電着液に変更された隣接節点が新たな境界節点として設定される(境界更新ステップ)。そして、再びステップ S 4 に戻り、未解析の境界節点について気液判定が実行されることになる。一方、ステップ S 8 において、隣接節点の属性データが空気であると判定された場合には、そのままステップ S 4 に戻り、未解析の境界節点について気液判定が実行されることになる。このように、未解析の境界節点が存在しなくなるまで、ステップ S 4 からの気液判定が繰り返され、車体解析モデルを構成する全節点の属性データが電着液と空気とに分けられることになる。

【0032】

これまで説明したように、本発明においては、電着液の流れを考慮して空気溜まりの有

無を判断するようにしたので、空気溜まりの予測精度を高めることが可能となる。しかも、電着液の流れによる空気溜まりへの影響について、気泡モデルを用いて演算するようにしたので、大規模なデータベースを準備する必要がなく、作業コストを大幅に引き下げることが可能となる。

【0033】

本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。例えば、前述の説明では、車体解析モデルの節点要素について気液判定を実行しているが、これに限られることはなく、車体解析モデルの表面要素について気液判定を実行しても良い。この場合には、表面要素の代表点(例えば、重心点、内心点、外心点等)を設定した上で、代表点の座標データを用いて傾斜角 α を算出するとともに、座標データを用いて電着液の流れ方向や流速が求められることになる。また、前述の説明では、気泡モデルの直径寸法を 2 mm に設定しているが、この値に限られることはなく、車体仕様や処理槽仕様等に応じて適宜変更しても良い。

10

【0034】

また、前述の説明では、ワークとして車体 10 を挙げているが、これに限られることはなく、ワークとしてケース等の他の部品を用いても良い。さらに、図示する場合には、四角形の表面要素によってパネル部材の表面形状を表しているが、これに限られることはなく、三角形や五角形等の表面要素を用いて解析モデルを構成しても良い。なお、電着塗装工程を例に挙げて説明しているが、本発明のシミュレーション方法やシミュレーションプログラムを、単なるディップ方式の塗装処理に対して適用しても良く、ワークに金属皮膜を形成するメッキ処理に対して適用しても良い。

20

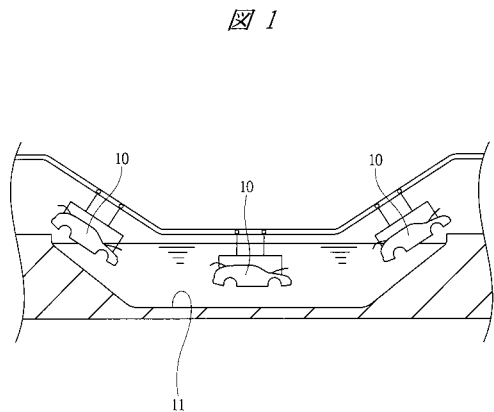
【符号の説明】

【0035】

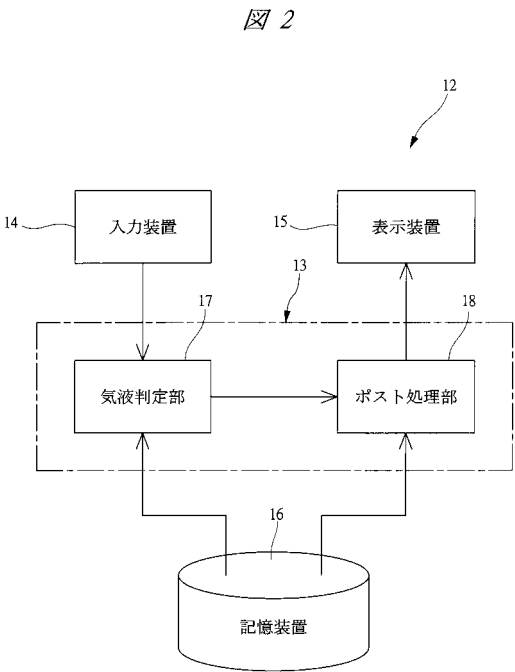
10 車体(ワーク)
I 車体解析モデル(解析モデル)
i1 ~ i15 節点要素(要素)
Fs 付着力
Fu 浮力
Fup 浮力分力
Fl 流動推力
Fup 推力分力
Fup + Fup 合力

30

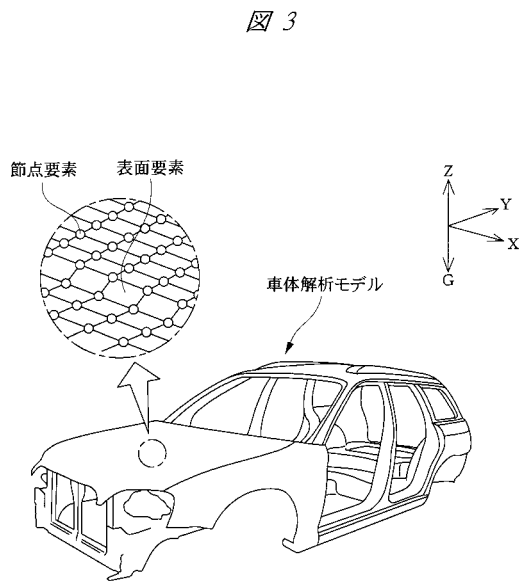
【図 1】



【図 2】



【図 3】

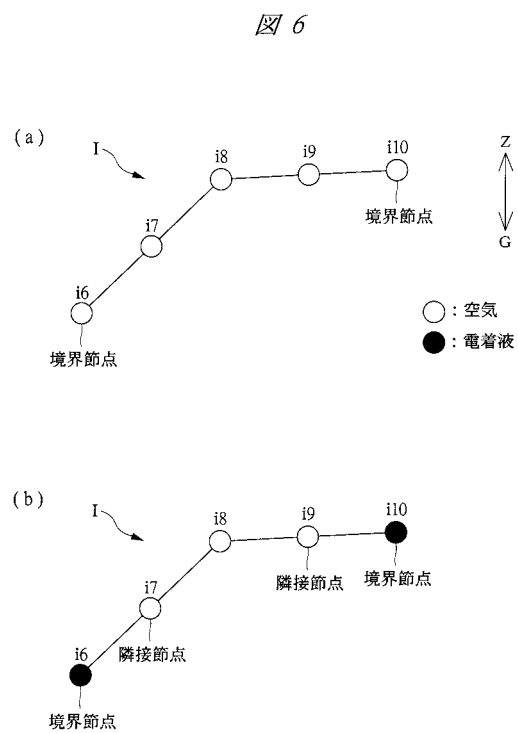


【図 4】

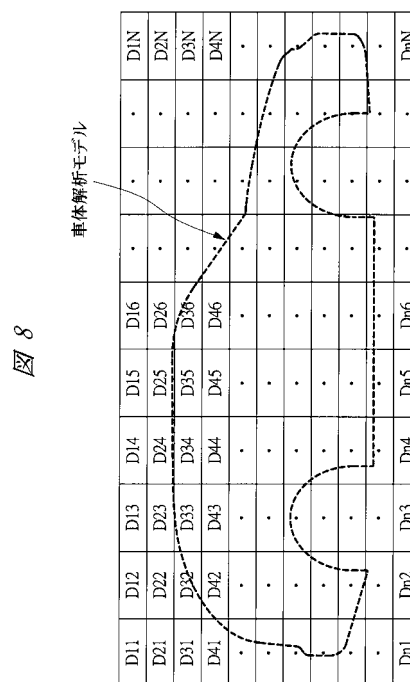
図 4

部品番号	節点番号	X座標値	Y座標値	Z座標値
1	1	4	7	8
	2	33	77	5
	3	21	44	22
	・	・	・	・
	・	・	・	・
2	n	***	***	***
	1	***	***	***
	2	***	***	***
	・	・	・	・
	・	・	・	・
3	n	***	***	***
	1	***	***	***
	2	***	***	***
	・	・	・	・
	・	・	・	・
N	n	***	***	***
	1	***	***	***
	2	***	***	***
	・	・	・	・
	・	・	・	・

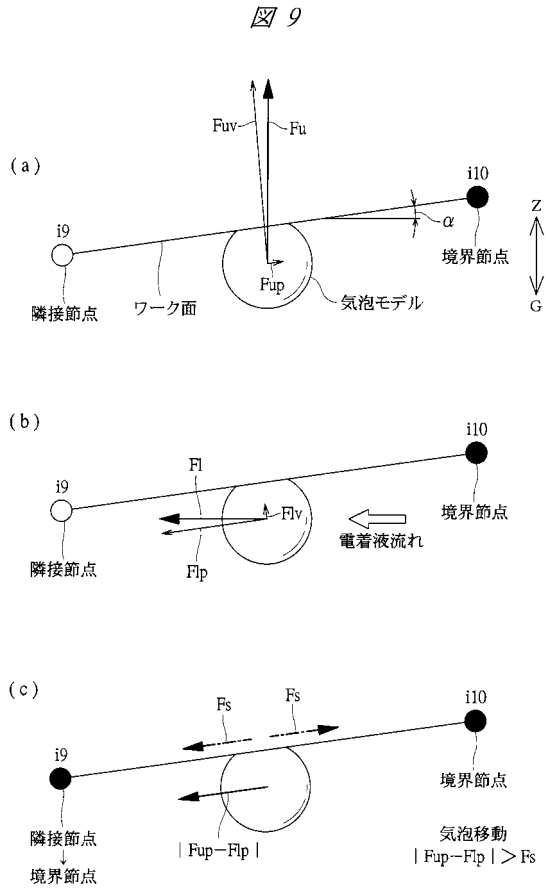
【図 6】



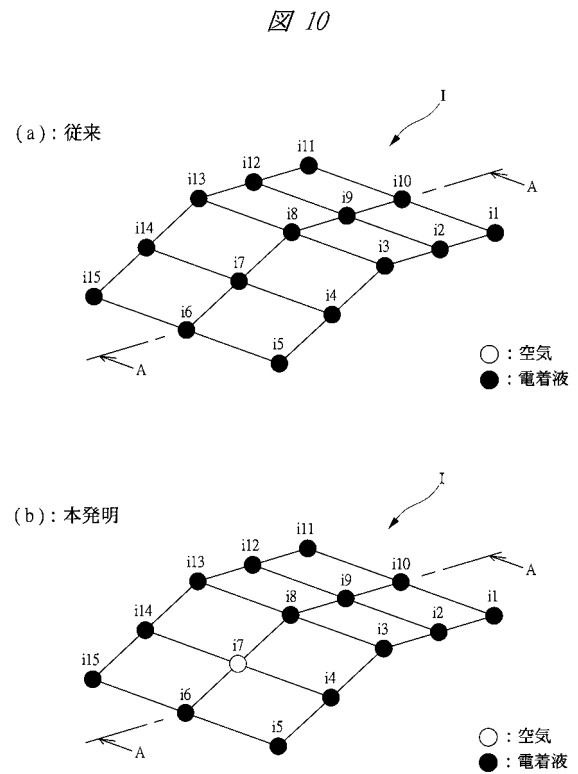
【图 8】



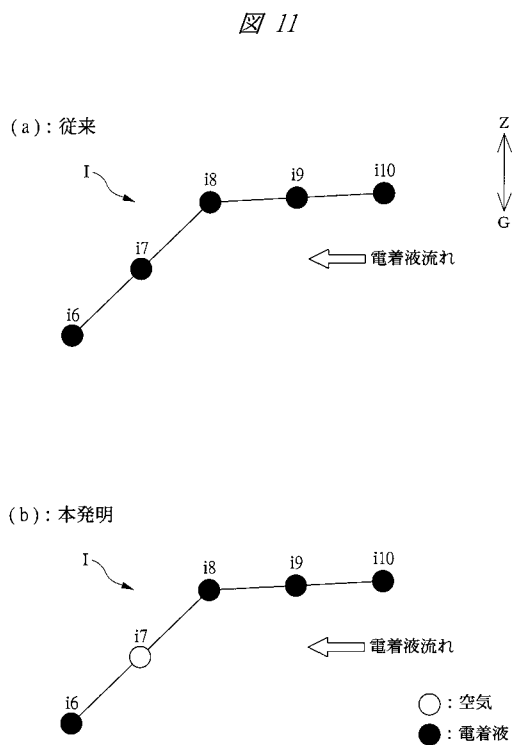
【図 9】



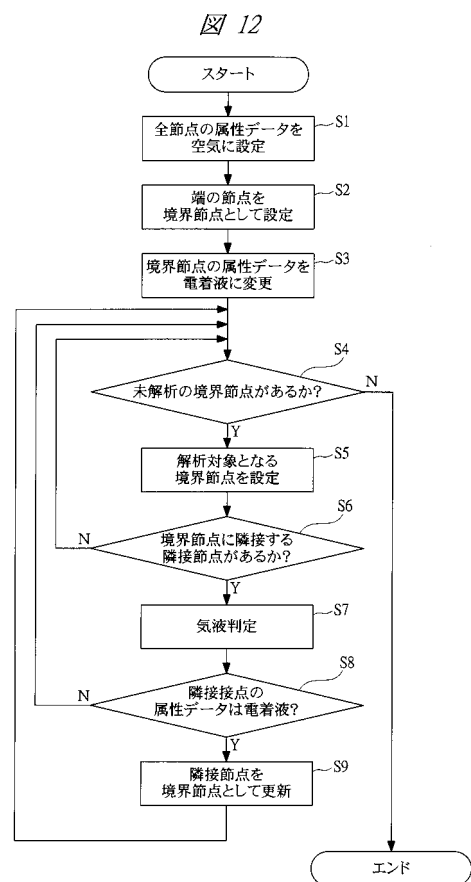
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 13】

