

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6047136号  
(P6047136)

(45) 発行日 平成28年12月21日(2016.12.21)

(24) 登録日 平成28年11月25日(2016.11.25)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>B 2 9 C</b> 47/92	(2006.01)	B 2 9 C	47/92
<b>B 2 9 C</b> 47/38	(2006.01)	B 2 9 C	47/38
<b>B 2 9 C</b> 45/76	(2006.01)	B 2 9 C	45/76
<b>G 0 6 F</b> 17/50	(2006.01)	G 0 6 F	17/50
			6 1 2 H

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2014-229018 (P2014-229018)	(73) 特許権者	000004215
(22) 出願日	平成26年11月11日(2014.11.11)		株式会社日本製鋼所
(65) 公開番号	特開2016-88056 (P2016-88056A)		東京都品川区大崎一丁目11番1号
(43) 公開日	平成28年5月23日(2016.5.23)	(74) 代理人	100101856
審査請求日	平成27年9月25日(2015.9.25)		弁理士 赤澤 日出夫
		(72) 発明者	富山 秀樹
			広島県広島市安芸区船越南1丁目6番1号
			株式会社日本製鋼所内
		(72) 発明者	福澤 洋平
			広島県広島市安芸区船越南1丁目6番1号
			株式会社日本製鋼所内
		審査官	辰己 雅夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シミュレーション装置、そのシミュレーション方法及びシミュレーションプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

材料の流動解析を行うシミュレーション装置であって、  
 前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行い、解析結果として少なくとも材料温度および材料圧力を算出する低次元解析部と、  
 前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付ける選択受付部と、  
 前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出する物理量抽出部と、  
 前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行う高次元解析部と  
 を備え、  
前記選択された対象領域に関する前記材料の物理量は、該対象領域の上流側端部に位置する境界位置の材料温度と、該対象領域の下流側端部に位置する境界位置の材料圧力であることを特徴とするシミュレーション装置。

【請求項2】

前記低次元の解析は、FAN法を適用した1次元解析であり、前記高次元の解析は、格子要素法を適用した3次元解析であることを特徴とする請求項1記載のシミュレーション装置。

## 【請求項 3】

前記演算対象場に関するスクリュ形状を示す形状データを表示装置に表示するデータ表示部を更に備え、

前記選択受付部は、前記表示装置に表示された形状データ上で選択された領域を前記対象領域として取得することを特徴とする請求項 1 または 請求項 2 記載のシミュレーション装置。

## 【請求項 4】

前記データ表示部は、ユーザからの操作に応じて前記形状データ上を移動可能なスライダーを前記表示装置に表示し、該スライダーが置かれた位置に対応する演算対象場における断面の前記低次元の流動解析の解析結果と前記高次元の流動解析の解析結果とを対応付けて表示することを特徴とする請求項 3 記載のシミュレーション装置。

10

## 【請求項 5】

材料の流動解析を行うシミュレーション装置が実行するシミュレーション方法であって、

前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行い、解析結果として少なくとも材料温度および材料圧力を算出するステップと、

前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付けるステップと、

前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出するステップと、

20

前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行うステップと

を備え、

前記選択された対象領域に関する前記材料の物理量は、該対象領域の上流側端部に位置する境界位置の材料温度と、該対象領域の下流側端部に位置する境界位置の材料圧力であることを特徴とするシミュレーション方法。

## 【請求項 6】

材料の流動解析をコンピュータに実行させるためのシミュレーションプログラムであって、

30

前記コンピュータを、

前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行い、解析結果として少なくとも材料温度および材料圧力を算出する低次元解析部と、

前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付ける選択受付部と、

前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出する物理量抽出部と、

前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行う高次元解析部

40

として機能させ、

前記選択された対象領域に関する前記材料の物理量は、該対象領域の上流側端部に位置する境界位置の材料温度と、該対象領域の下流側端部に位置する境界位置の材料圧力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】

本発明の実施形態は、樹脂材料などの材料を混練する混練装置、特に材料が収容されるシリンダ内にスクリュを備える押出成形機や射出成形機において溶融可塑化される材料の流動解析を行い、その成形プロセスを予測するシミュレーション装置、そのシミュレーシ

50

ョン方法及びシミュレーションプログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

押出成形機や射出成形機が備えるスクリュが回転することにより熔融可塑化された樹脂材料の速度・圧力分布などの物理量を算出し、混練状態や速度・圧力分布などの物性予測といった成形プロセスを予測するに際し、FAN法(Flow Analysis Network Method)や有限要素法(Finite Element Method: FEM)などの解析手法を用いた解析ソフトウェアが汎用的に用いられている。

【0003】

FAN法は、特許文献1～3記載の技術に代表されるように、例えば押出成形機を解析対象とした場合、押出成形機の装置構成と運転条件および材料物性から、押出成形機内部の充填率、圧力、温度、固相占有率、滞留時間、トルク、動力等の分布状態予測を押出成形機の軸方向断面の平均値として演算する手法である。この手法を用いた市販型のシミュレーションソフトウェアとしては、(株)日本製鋼所が開発した「TEX-FAN」、PolyDynamics INC.が開発した「EXTRUCAD」「NEXTRUCAD」、Polymer Processing Instituteの「WinSSD」、ドイツPaderborn大学の「REX」、Compulast社の「EXTRUDE R」、アメリカAkron大学が開発した「AKRO-CO-TWIN SCREW」などが知られている。

【0004】

この手法では、例えば押出成形機を解析対象とした場合、押出成形機が備えるスクリュとシリンダ間に存在する流路をシリンダの円周方向に沿って切り開いた形状をモデル化し、シリンダ壁面とスクリュ表面をそれぞれ上下2枚の平板とし、それがスクリュ溝深さ寸法の間隔で設置された形状に置換した状態で、スクリュ表面に相当する平板がスクリュ回転速度だけ平行移動する条件下での流動状態を演算する手段がとられる。この手法にて、ある断面流路要素に着目した場合、上流から流入される流体(熔融状態にある樹脂材料)量とその要素そのものが有する流体の搬送量とのバランスを解くことで、結果としてその要素内の流体圧力や滞留時間、下流側へ流出される流体量などを算出することができる。この演算を上流から下流へ、あるいはその逆方向への流体要素について順次実施することで最終的に押出成形機全体の物理量が算出される。つまり押出成形機の軸方向に対する物理量が出力されることから、一次元解析(1D解析)と位置づけされる。

【0005】

一方、FEMは、解析対象の流路全体を格子状の要素へ分割し、その要素内の節点を計算点とし、質量保存式や運動量保存式を全節点について離散化し、その連立方程式を同時に解くことで流路全体の物理量を演算させる手法であり、格子要素法の一つとして数えられる。格子要素法には、ソフトウェアによってはFEM法だけでなく有限体積法(Finite Volume Method: FVM)や有限差分法(Finite Difference Method: FDM)などいくつかの手法が適用される。これらの手法を用いた押出成形機の解析は、非特許文献1に代表される九州大学の研究チームによる事例や、汎用ソフトウェアとしてはANSYS社の「POLYFLOW」やアールフロー社の「SCREWFLOW-MULTI」などが知られている。この手法による流動解析は二次元(2D)もしくは三次元(3D)で実施され、特に近年ではコンピュータのハードウェア性能が著しい向上を見せていることから、3D解析を適用することが一般的となっている。

【0006】

これらFAN法とFEMによる解析の位置づけとしては、FAN法は押出成形機全領域の軸方向物理量の分布が得られるため、押出成形機内部の樹脂物性の変遷傾向把握や、押出樹脂の品質を予測するために用いられることが多い。一方で、FEMは押出成形機全領域の予測が現在のコンピュータ性能環境でも実施が困難であることから、主に混練部位の二次元断面での予測や混練領域を三次元的に抽出した3D解析を行うことで、その局所的

10

20

30

40

50

に抽出した領域の詳細な流動状態を予測することに用いられることが多い。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第3679392号

【特許文献2】特許第4414408号

【特許文献3】特開平09-029819号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】K. Funatsu, S. Kihara, M. Miyazaki, S. Katsuki and T. Kajiwara, Polym. Eng. Sci., 42, 707 (2002)

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述したようなFAN法やFEMを用いた解析ソフトウェアは、それぞれが特徴を有する解析、即ち使い手が得たい情報に合わせた解析に適用されるため、双方の長所を組み込んだ統合化解析を1つのソフトウェアで行うことができない。つまり、同一のソフトウェアで1D解析といった低次元解析と3Dといった高次元解析とを同時に実施することは不可能であるため、低次元解析と高次元解析とを同じ押出成形機の操作条件下で演算を行いたい場合は、それぞれのソフトウェアで同一操作条件となるようなパラメータ設定を手動で行い、出力された結果も個別に整理し、最終的に解析実施者がそれらデータを整理・処理することで、押出成形機全体の樹脂の物理量評価と局所的な混練挙動の評価結果を導き出さなくてはならず、その作業は非常に煩雑なものとなる。

20

【0010】

本発明は上述した問題点を解決するためになされたものであり、同じ混練装置の操作条件下での低次元流動解析と高次元流動解析とを効率よく実現するシミュレーション装置、そのシミュレーション方法及びシミュレーションプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0011】

上述した課題を解決するため、本発明の一態様は、材料の流動解析を行うシミュレーション装置であって、前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行う低次元解析部と、前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付ける選択受付部と、前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出する物理量抽出部と、前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行う高次元解析部とを備える。

40

【0012】

また、本発明の一態様は、材料の流動解析を行うシミュレーション装置が実行するシミュレーション方法であって、前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行うステップと、前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付けるステップと、前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出するステップと、前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行うステップとを備える。

【0013】

50



また、本発明の一態様は、材料の流動解析をコンピュータに実行させるためのシミュレーションプログラムであって、前記コンピュータを、前記材料の物性と、前記材料を混練する混練装置の構成データ及び操作条件とを含む設定情報に基づいて、前記混練装置の演算対象場における前記材料の低次元の流動解析を行う低次元解析部と、前記低次元の流動解析後または前記低次元の流動解析に先立って、前記演算対象場における高次元の流動解析の対象となる対象領域の選択を受け付ける選択受付部と、前記低次元の流動解析結果から、前記対象領域に関する前記材料の物理量を抽出する物理量抽出部と、前記抽出された物理量と、前記設定情報とに基づいて、前記対象領域における前記材料の高次元の流動解析を行う高次元解析部として機能させる。

【発明の効果】

10

【0014】

本発明によれば、同じ混練装置の操作条件下での低次元解析と高次元解析とを効率よく実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本実施の形態に係る押出成形機シミュレーション装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図2】本実施の形態に係る押出成形機シミュレーション装置の機能構成を示す機能ブロック図である。

【図3】本実施の形態に係る1D-3D連成解析処理を示すフローチャートである。

20

【図4】連成解析プログラムの起動画面を示す図である。

【図5】スクリュ形状データ作成画面を示す図である。

【図6】粘度予測曲線の表示画面を示す図である。

【図7】樹脂物性データの設定画面を示す図である。

【図8】操作条件の設定画面を示す図である。

【図9】各種設定パラメータの確認画面を示す図である。

【図10】1D流動解析処理の解析結果の表示画面を示す図である。

【図11】3D流動解析処理へ移行するか否かの提示画面を示す図である。

【図12】1D流動解析処理の解析結果の表示画面上での3D流動解析対象領域の選択および3D流動解析処理の実行を説明するための図である。

30

【図13】3D流動解析処理の解析結果における流路全体の要素分割データの表示画面を示す図である。

【図14】3D流動解析処理の解析結果におけるスクリュ形状の要素分割データの表示画面を示す図である。

【図15】1D及び3D流動解析処理双方の解析結果および圧力分布図の表示画面を示す図である。

【図16】図15に示される表示画面において指定された軸方向断面の2D圧力分布の表示画面を示す図である。

【図17】1D流動解析処理を示すフローチャートである。

【図18】3D流動解析処理を示すフローチャートである。

40

【図19】第2の1D-3D連成解析処理を示すフローチャートである。

【図20】連成解析プログラムが情報処理装置に適用される場合を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

【0017】

本実施の形態においては、2軸スクリュ式の押出成形機を解析対象とし、そのスクリュ混練場(2つのスクリュ及びシリンダ内に形成される流路空間)を演算対象場とし、そこで混練され溶融可塑化される樹脂材料の流動挙動の予測を行う押出成形機シミュレーション装置に本発明を適用した場合を例にとり説明を行う。なお、解析対象は2軸スクリュ式

50

に限定されるものではなく、単軸スクリュ式や3軸以上の多軸スクリュ式をその対象としてもよい。また、解析対象は、押出成形機に限定されるものではなく、混練装置や可塑性装置、射出成形機等、樹脂等の有機物や無機物といった材料を流動させるものであれば、あらゆる装置をその解析対象としてもよい。以下、本実施の形態について図面を参照しつつ、その詳細を説明する。

#### 【0018】

##### (装置構成)

図1は、本実施の形態に係る押出成形機シミュレーション装置のハードウェア構成を示すブロック図である。図1に示されるように、押出成形機シミュレーション装置10は、CPU(Central Processing Unit)11、記憶部12、入力部13、表示部14、HDD(Hard Disk Drive)15、を有する。

10

#### 【0019】

CPU11は記憶部12上に展開されるOS(Operating System)、BIOS(Basic Input/Output System)、アプリケーション、後述する連成解析プログラム等の各種プログラムを実行し、押出成形機シミュレーション装置10の制御を行う。記憶部12は、所謂RAM(Random Access Memory)などの揮発性のメモリであり、実行されるプログラムの作業領域として利用される。

#### 【0020】

入力部13は、押出成形機シミュレーション装置10を使用するユーザ(解析実施者)からの入力を受け付けるものであり、例えば、ディスプレイ上の特定の位置を指定するためのポインティングデバイスであるマウスや、文字または特定の機能等が割り当てられた複数のキーが配列されたキーボードである。

20

#### 【0021】

表示部14は、OSおよびOS上で動作するアプリケーションのGUI(Graphical User Interface)、後述する図4~図16に示される設定画面、確認画面、解析結果等をユーザが視覚的に認識可能に表示するディスプレイ等の出力装置である。

#### 【0022】

HDD15は、連成解析プログラム20や、後述する1D-3D連成解析処理において用いられる各種パラメータ、当該処理により算出される各種物理量といったデータが格納される、所謂不揮発性の記憶領域である。

30

#### 【0023】

連成解析プログラム20は、ユーザにより起動選択されることにより記憶部12に展開されるアプリケーションソフトウェアプログラムであり、当該展開により、1D-3D連成解析処理が実行される。1D-3D連成解析処理は、FAN法解析による1D解法と、FEM解析による3D解法を連成したものである。即ち、連成解析プログラム20は、同一のソフトウェアにて、1D流動解析機能と3D流動解析機能とを有する演算手法を搭載している。具体的には、1D-3D連成解析処理は、1D流動解析後に、その解析結果から演算対象場の一部領域を抽出し、1D解析実施時に設定した樹脂の供給量(押出量)やスクリュ回転数、シリンダの設定温度などの操作条件や粘度モデル式とそのパラメータなどの樹脂物性をそのまま3D流動解析条件へ自動設定する。また、さらには3D流動解析に必要な境界条件を1D流動解析によって得られた樹脂温度や樹脂圧力などの結果をそのまま抽出して自動設定を行うことで3D流動解析を実行するものである。したがって、連成解析プログラム20を適用することにより、1D流動解析と3D流動解析とを同一の演算条件下で実施することが可能となり、1D流動解析で得られた領域の一部分を局所的に三次元的な評価を行うことができるため、押出成形機全体の樹脂の物理量評価と局所的な混練挙動の評価を同時に行えることが可能となる。

40

#### 【0024】

##### (機能構成)

次に、連成解析プログラム20を組み込んだ押出成形機シミュレーション装置10の機能構成を説明する。図2は、本実施の形態に係る押出成形機シミュレーション装置の機能

50

構成を示す機能ブロック図である。図2に示されるように、押出成形機シミュレーション装置10は、表示部14に各種画面を表示し、そこに入力される設定パラメータを取得する画面出力部101と、後述する1D流動解析処理を行う1D解析部102と、各種処理における判定処理を行う判定処理部103と、後述する3D流動解析対象領域の選択を受け付ける領域選択部104と、後述する3D流動解析処理を行う3D解析部105とを、機能として有する。これら機能は、連成解析プログラム20に基づいてCPU11や記憶部12等の前述したハードウェア資源が協働することにより実現される。

#### 【0025】

(1D - 3D連成解析処理)

次に、押出成形機シミュレーション装置10の前述した各機能により実行される1D - 3D連成解析処理について、図3～図16を用いてその詳細を説明する。図3は、本実施の形態に係る1D - 3D連成解析処理を示すフローチャートである。本実施の形態においては、1D - 3D連成解析処理は、押出成形機シミュレーション装置10が起動され、連成解析プログラム20が実行されることをトリガとしている。先ず、連成解析プログラム20が起動すると、画面出力部101は、図4に示されるような起動画面(Tex - Fanのウィンドウ)を表示装置14に表示する(S1)。この起動画面においてユーザから「新規解析」の項目が選択されると、画面出力部101は、図5に示されるようなスクリュ形状データ作成画面(Tex - Geo - [model, scw]のウィンドウ)を表示部14に表示し、1D流動解析に必要なスクリュの構成データの入力を受け付ける(S2)。「新規解析」の項目は、例えば、図4に示される「ファイル」の項目がユーザにより選択押下されることにより、選択可能に表示される。

#### 【0026】

本実施の形態においては、スクリュ形状データ作成画面では、本出願人の保有する特許第3795852号の技術を適用して、後述する1D流動解析の演算対象場に関するスクリュ形状データを作成するようにしている。簡単に説明すると、画面出力部101は、図5に示されるスクリュを構成する各種部品を示す部品ピース5aを入力部13によるクリック選択可能に表示し、ユーザがクリックしたまま画面右側へドラッグしドロップすることにより各種部品ピース5aを連結してスクリュ形状データ5bを表示する。各部品ピース5aのドロップの際、それぞれでプロパティウィンドウ5cが表示され、構成データの inputs が受け付けられる。本実施の形態においては、構成データとして、L/D、リード、角度、外径、フライト位置、刻印番号、スクリュ材質、スベア、端面ズラシ角等が入力される。なお、スクリュ形状によっては、即ち、選択する部品ピース5aによっては、シリンダ径や溝深さ等を入力するようにしてもよい。なお、この技術に限定されるものではなく、スクリュ形状を形成できる手法であればあらゆる手段を用いてもよいが、後述する3D流動解析対象領域を選択するステップを鑑みると、ユーザが視覚的に認識且つ選択可能なスクリュ形状データを作成可能な手法が好ましい。

#### 【0027】

構成データが入力され、ユーザにより「次へ」が選択されると、画面出力部101は、別ウィンドウとして「解析ウィザード」を表示し、そこに図示しない樹脂材料の粘度データの入力画面、図6に示されるような粘度予測曲線の表示画面、図7に示されるような樹脂物性データの設定画面等を表示し、1D流動解析に必要な各種樹脂物性データの inputs を受け付ける(S3)。図6に示される粘度予測曲線は、当該粘度予測曲線の表示画面に先立って表示された粘度データの入力画面において入力された樹脂材料の粘度データに基づいて自動パラメータフィッティングを行った粘度モデル式の予測曲線である。なお、入力される粘度データとしては、例えば、少なくとも2水準の温度条件下において予め測定された、各水準で少なくとも3種類以上の剪断速度における剪断粘度データが挙げられる。図7では、粘度モデル式としてCross modelが選択されている。また、本実施の形態においては、図7に示される設定画面にて、樹脂物性データとして、固体密度、固体熱伝導率、固体比熱、溶融体密度、溶融体熱伝導率、溶融体比熱、融解熱量、融点等が入力される。これら粘度データの入力画面、表示画面、設定画面は、「解析ウィザード」

10

20

30

40

50

に設けられた「次へ」のボタンが選択されることで推移する。また、「キャンセル」が選択されれば、本ウィンドウが閉じられ、「戻る」が選択されれば、直前の各種画面に戻る。

#### 【0028】

樹脂物性データが入力され、ユーザにより「次へ」が選択されると、画面出力部101は、「解析ウィザード」のウィンドウにおいて図8に示されるような操作条件（解析条件）の設定画面を表示し、1D流動解析に必要な各種操作条件の入力を受け付ける（S4）。本実施の形態においては、操作条件として、Extruder Type、押出量、スクリュ回転速度、スクリュ先端圧力、原料樹脂温度、スクリュの各要所におけるシリンダ温度が入力される。また、図8に示されるように、スクリュの各要所をユーザが視覚的に捉えられるよう、ステップS2の構成データの受付処理で作成したスクリュ形状データ5bも併せて表示することが好ましい。なお、スクリュ形状によっては、即ち、選択する部品ピース5aによっては、Slot Clearance、シリンダ径、チップクリアランス、軸間距離、溝深さ等も順次入力する。

10

#### 【0029】

操作条件が入力され、ユーザにより「次へ」が選択されると、画面表示部101は、「解析ウィザード」のウィンドウにおいて、図9に示されるように今までに設定した各種設定パラメータの確認画面を表示し、ユーザに確認を促す（S5）。

#### 【0030】

ユーザが確認を終え、「完了」が選択されると、画面出力部101により「解析ウィザード」のウィンドウが閉じられ、1D解析部102、判定処理部103により1D流動解析処理が実行される（S6）。1D流動解析処理においては、各種設定パラメータに基づいて1D流動解析が実行され、解析後に図10に示されるような1D流動解析処理の解析結果の表示画面（Tex-Fan-[結果.fan]）が表示される。図10に示されるように、本実施の形態においては、1D流動解析処理の結果として、Residence Time（滞留時間）、Fill Factor（充填率）、Temp（樹脂材料温度）、Pressure（樹脂圧力）が出力される。これら物理量は、その下方に配置したスクリュ形状データ5bの対応する各位置における断面の平均値、即ち、各グラフの横軸がスクリュ形状データ5bに対応付けられており、その軸方向に直行する断面の平均値である。1D流動解析処理の詳細については後述する。

20

30

#### 【0031】

1D流動解析処理後、画面出力部101は、図11に示されるように別のウィンドウとして「YES」及び「NO」のボタンが含まれる「confirmation」を表示し、そこに3D流動解析処理へ移行するか否かの提示画面を表示して3D流動解析処理を実行するか否かをユーザに選択させる（S7）。なお、この「confirmation」は、1D流動解析処理の解析結果の表示画面が表示されている状態で表示されており、「YES」及び「NO」のボタンが何れも未選択の状態では、各グラフのスケールや表示倍率等を自由に変更することができる。

#### 【0032】

「NO」が選択された場合（S7, NO）、再度1D流動解析処理を実行するために、ステップS2の構成データの受付処理へ移行する。なお、当該ステップS2へ移行せず、1D流動解析処理の解析結果の表示画面が表示されたまま「confirmation」のウィンドウが閉じられるようにしてもよい。

40

#### 【0033】

一方、「YES」が選択された場合（S7, YES）、領域選択部104は、1D流動解析処理の解析結果の表示画面におけるスクリュ形状データ5b上で3D流動解析対象領域の選択を可能にすると共に、その選択を受け付けて3D流動解析の実行を可能にし、ユーザに当該選択および当該実行を促す（S8）。3D流動解析対象領域は、3D流動解析の対象となる演算対象場を示す領域であり、図12において12aとして示される。本実施の形態においては、スクリュ形状データ5b上で例えばマウスのドラッグなどで、その

50

領域の一部（または全部）を選択することで3D流動解析対象領域12aの選択形成を可能としている。領域選択部104は、3D流動解析対象領域12aが選択されると、1D流動解析処理の解析結果の表示画面上のツールバーに設けられたアイコンボタン12bを選択（クリック）可能とする。

#### 【0034】

アイコンボタン12bが選択されると、3D解析部105により3D流動解析処理が実行され（S9）、本フローは終了となる。3D流動解析処理においては、1D流動解析で用いた各種設定パラメータと、1D流動解析の解析結果とに基づいて3D流動解析が実行され、解析後に新たな3D流動解析結果を表示するウィンドウが表示される。このウィンドウでは、例えば図13に示されるような流路全体の要素分割データや図14に示されるようなスクリュ形状の要素分割データ、図15の画面右下に示される圧力分布データ、その他樹脂温度分布などを3D形状で表示することができる。この状態では、図10に示される1D流動解析処理の解析結果のウィンドウと、図13及び図14に示される3D流動解析処理の解析結果のウィンドウの双方が表示されている。これは、同一のソフトウェア（連成解析プログラム20）上での動作環境下にあることから、双方の解析結果の同時リンクを可能としているためである。

#### 【0035】

このため、図15に示されるように、3D流動解析対象領域12aの断面を指定するスライダー15aを左右に移動することで、図15の左側に位置する1D流動解析結果上に配置されたスライドライン15bをリンクさせて左右に移動することができ、したがって1D流動解析結果と3D流動解析結果の双方でその対応断面を表示することができ、延いては押出成形機全体での位置情報を把握すると共にその断面の詳細物性分布の評価を行うことが可能となる。また、図15に示されている3D流動解析結果の表示画面（図13、図14を参照）は、ユーザの選択（対応するアイコンの選択等）に応じて、図16に示されるようにスライダー15aの位置に対応するスクリュ断面での2D分布図に切り替えることができるため、1D流動解析断面での詳細物性分布を分析することも可能となる。

#### 【0036】

##### （1D流動解析処理）

次に、上述した1D流動解析処理について説明する。本実施の形態に係る1D流動解析処理は、FAN法を適用した1D流動解析であり、本実施の形態においては、本出願人の保有する特許第3679392号の技術を適用して解析を行うようにしている。なお、1D流動解析処理としてはFAN法に限定されるものではない。例えば、有限差分法や境界要素法を用いてもよく、押出成形機の演算対象場（流路領域）における各種物理量を算出できる手法であればどのような手法でもよい。以下、図17を用いて1D流動解析処理を簡単に説明する。

#### 【0037】

図17は、1D流動解析処理を示すフローチャートである。図17に示されるように、まず、1D解析部102は、圧力 $P_0$ および原料樹脂温度 $T_0$ を初期化、具体的には $P_0 = 0$ 、 $T_0 =$ 樹脂材料温度とし（S601）、前述した各種設定パラメータに基づいて押出特性パラメータ、粘性発熱パラメータを算出する（S602）。これら特性パラメータの算出後、1D解析部102は、押出特性の式を導入し（S603）、前述した設定パラメータ、特性パラメータに基づいて物理量として圧力 $P$ 、充填率 $f$ 、滞留時間 $t$ を算出する（S604）。算出後、エネルギーバランスの式を導入し（S605）、設定パラメータ、特性パラメータに基づいて物理量として発熱量および樹脂材料温度 $T$ を算出する（S606）。算出後、1D解析部102は、収束判定のために、押出成形機全流路領域（スクリュ形状データ5bで示される領域）に対し、差圧  $P = P - P_0$ 、温度差  $T = T - T_0$  の計算を行い、差圧  $P$  および温度差  $T$  を算出する（S607）。

#### 【0038】

算出後、判定処理部103は、押出成形機全流路領域における差圧  $P$  および温度差

10

20

30

40

50

Tがそれぞれの所定の収束値未満であるか否かを判定する(S608)。押出成形機全流路領域における差圧Pおよび温度差Tがそれぞれの収束値未満であると判定された場合(S608, YES)、画像出力部は、解析結果を出力、例えば充填率f、圧力(樹脂材料圧力)P、滞留時間t、樹脂材料温度T等の物理量を、前述した図10に示されるようなグラフおよび数値形式で表示出力し(S609)、本フローは終了となる。一方、押出成形機全流路領域における差圧Pおよび温度差Tがそれぞれの収束値未満でないと判定された場合(S608, NO)、判定処理部103は、 $P_0 = P$ 、 $T_0 = T$ とし(S610)、再度ステップS602の各種特性パラメータの算出処理へと移行する。

#### 【0039】

上述した特性パラメータの算出方法や、押出特性の式、エネルギーバランスの式、これらの式を用いた物理量の算出等は、前述した特許第3679392号の手法と同様であるため、その詳細は省略する。

#### 【0040】

##### (3D流動解析処理)

次に、上述した3D流動解析処理について説明する。本実施の形態に係る3D流動解析処理は、FEMを適用した3D流動解析である。なお、3D流動解析処理としてはFEMに限定されるものではない。例えば、有限体積法や有限差分法などを用いてもよく、3D流動解析対象領域12aにおける各種物理量を算出できる手法であればよい。以下、図18を用いて3D流動解析処理を詳細に説明する。

#### 【0041】

図18は、3D流動解析処理を示すフローチャートである。図18に示されるように、先ず、3D解析部105は、1D流動解析処理時と同様の前述した各種設定パラメータを取得し、解析条件パラメータとして設定すると共に(S901)、1D流動解析の解析結果から、境界条件データを抽出し、これを設定する(S902)。本実施の形態においては、境界条件データは、3D流動解析対象領域12aの上流側端部に位置する境界位置の樹脂材料温度Tと、当該領域の下流側端部に位置する境界位置の樹脂材料圧力Pである。1D流動解析の解析結果は、断面平均値として出力されるため、本実施の形態に係る3D流動解析では、3D流動解析対象領域12aの最上流部と最下流部の断面全節点にこれら1D流動解析の解析結果を一様に与える。このため、3D流動解析の解析結果でも3D流動解析対象領域12aの最上流断面の樹脂材料温度Tと最下流断面の樹脂材料圧力Pは均一データのまま出力される。しかしながら、それらの断面よりも3D流動解析対象領域12a内における1節点分下流側または上流側の断面での節点データは分布を有するので、この境界条件データの設定で極めて妥当な解析を行うことができる。

#### 【0042】

境界条件データの設定後、3D解析部105は、3D流動解析対象領域12aのスクリュ形状を3次元で再現する(S903)。スクリュ形状の再現を簡単に説明すると、一般的な樹脂流動解析と同様に、3D流動解析対象領域12aの最上流部(流体流入部)に流体(樹脂材料)の流入量(設定された押出量)あるいは流速を与え、当該領域内のいずれかの部位(一般的には流出口)に境界条件データにおける樹脂材料圧力Pを設定する。なお、熱解析を実施する場合には外部からの伝熱量の設定が施される。これらの設定値をもとに、スクリュ形状を具体的に再現する。スクリュ形状の詳細な再現方法は、一般的な手法であるため、その詳細は省略する。

#### 【0043】

スクリュ形状の再現後、3D解析部105は、演算対象場である3D流動解析対象領域12aの流路領域を予め設定された三次元形状の格子要素に分割する(S904)。この分割する格子要素の形状は、演算時間とその精度の観点から、四面体が好ましく、六面体により好ましい。分割後、3D解析部105は、計算点(格子要素の節点)に与える物理量を算出するために圧力 $P_0$ および原料樹脂温度 $T_0$ を初期化、具体的には $P_0 =$ 境界条件データにおける樹脂材料圧力、 $T_0 =$ 境界条件データにおける樹脂材料温度とし(S905)、全計算点において圧力(樹脂材料圧力)P、速度v、滞留時間t、樹脂材料温度

10

20

30

40

50

T等の物理量を算出する(5906)。具体的には、3D解析部105は、設定パラメータ等の各種パラメータに基づき、質量保存の法則、運動量保存の法則を用いて各計算点における圧力P、速度v、滞留時間tを算出し、エネルギー方程式を用いて各計算点における樹脂材料温度Tを算出する。当該算出方法は、一般的な手法であるため、その詳細は省略する。なお、温度解析を行わない場合には、樹脂材料温度Tの算出を省いてもよい。

【0044】

例えば、圧力P、速度vを算出する場合を簡単に説明すると、以下の(1)および(2)式を各計算点に適用し、各計算点での速度vと圧力Pを算出する。

【0045】

【数1】

$$\nabla v = 0 \quad \dots\dots(1)$$

【0046】

【数2】

$$-\nabla P + \nabla(2\eta D) = 0 \quad \dots\dots(2)$$

【0047】

上記式においては、v：速度ベクトル、P：圧力、 $\eta$ ：剪断粘度、D：ひずみ速度テンソルである。剪断粘度 $\eta$ は、設定されたスクリュ回転数N、シリンダ直径 $D_B$ から以下の(3)式を用いてスクリュが回転することにより定められる剪断速度を求め、その剪断速度を用いて粘度モデル式から剪断粘度 $\eta$ を算出する。

【0048】

【数3】

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi D N}{H} \quad \dots\dots(3)$$

【0049】

この(3)式においては、 $D_B$ ：シリンダ径、H：溝深さ、N：スクリュ回転数、である。剪断粘度 $\eta$ は樹脂材料を対象とした非ニュートン流体のモデル式を適用して算出することが好ましい。非ニュートンのモデル式は複数種類が提案されているが、例えば、そのうちの代表モデルであるPower-lawモデルを例にすると、以下の(4)式により求めることができる。

【0050】

【数4】

$$\eta = m \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad \dots\dots(4)$$

【0051】

この(4)式においては、 $\eta$ ：剪断粘度、m、n：物性パラメータ、である。(1)式と(2)式を三次元成分に展開すると、(1)式は1つの式のままであるが、速度vは( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ )になるため、(2)式はx、y、z成分に展開したそれぞれの3つの式になる。求めた剪断粘度 $\eta$ を(2)式に代入すると、(1)式と(2)式との不確定パラメータは圧力Pと速度( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ )の4つとなるため、方程式が(1)~(4)の4つであることから、これらを連立させて解くことで圧力P、速度vを算出することができる。なお、各計算点の物理量を求められる方程式であれば、何れの方程式を用いてもよい。

【0052】

物理量算出後、3D解析部105は、収束判定のために、3D流動解析対象領域12a

10

20

30

40

50

における計算点に対し、差圧  $P = P - P_0$ 、温度差  $T = T - T_0$  の計算を行い、差圧  $P$  および温度差  $T$  を算出する (S 9 0 7)。なお、ここでの  $P$  及び  $T$  は、ステップ S 9 0 6 における物理量算出の処理により算出された樹脂材料圧力  $P$ 、樹脂材料温度である。

#### 【 0 0 5 3 】

算出後、判定処理部 1 0 3 は、差圧  $P$  および温度差  $T$  がそれぞれの所定の収束値未満であるか否かを判定する (S 9 0 8)。差圧  $P$  および温度差  $T$  がそれぞれの収束値未満であると判定された場合 (S 9 0 8, YES)、画像出力部は、解析結果を出力、例えば物理量として圧力  $P$  を、前述した図 1 5 の画面右上側に示されるようなグラフ、画面右下側に示されるような 3 D 形式の圧力分布図として表示出力し (S 9 0 9)、本フローは終了となる。一方、差圧  $P$  および温度差  $T$  がそれぞれの収束値未満でないとして判定された場合 (S 9 0 8, NO)、判定処理部 1 0 3 は、 $P_0 = P$ 、 $T_0 = T$  とし (S 9 1 0)、再度ステップ S 9 0 6 の物理量算出の処理へと移行する。

10

#### 【 0 0 5 4 】

本実施の形態によれば、低次元の 1 D 流動解析時に設定した設定パラメータを高次元の 3 D 流動解析に自動的に流用することができ、その境界条件においても 3 D 流動解析対象領域 1 2 a を選択するのみで 1 D 流動解析の解析結果から自動的に抽出することができるため、手作業で設定、算出する場合に比べて極めて効率よく低次元流動解析と高次元流動解析とを実現することが可能となる。また、その双方の解析結果をリンクさせて表示、選択することができるため、ユーザの理解を深めることができると共に容易にその評価を行うことが可能となる。

20

#### 【 0 0 5 5 】

また、本実施の形態のように、3 D 流動解析実施時に格子要素 (メッシュ) の分割数を予めルール化させておけば、3 D 流動解析対象領域 1 2 a を選択する以外に、解析条件を入力・設定することを不要とすることが可能となる。したがって、解析に必要なデータの大部分は連成解析プログラム 2 0 内で自動転送および設定することが可能となる。これらにより、従来の 1 D 流動解析である FAN 法ソフトウェアを用いた一般的な二軸押出成形機シミュレーションでは、条件設定から解析終了までの時間が 1 条件でおよそ 5 分程度であったが、本実施の形態のように 3 D 流動解析を自動リンクさせて解析を実施しても定常解析であればプラス 1 0 分程度で終了することができるため、実際の成形プロセスの最適化検討解析に用いる際にも十分実用範囲の消費時間に収まることができ、その作業時間からコストを大幅に低減することができる。

30

#### 【 0 0 5 6 】

また、1 D 流動解析のみを単独で実行することもできるため、仮にユーザが 1 D 流動解析後に 3 D 流動解析が不要と判断した場合は、3 D 流動解析の実行を回避することができる。したがって、先に 1 D 流動解析を数例実施し要求値を満たすスクリュ全体構成あるいは操作条件の最適化を実施することができ、その最適化が完了した時点で 3 D 解析を実行し、より詳細な混練性能を評価することも可能となる。

#### 【 0 0 5 7 】

なお、本実施の形態においては、各種画面でユーザの入力を促し、入力された設定パラメータを取得すると説明したが、これに限定されるものではない。1 D 解析部 1 0 2 及び 3 D 解析部 1 0 5 が、解析時に予め HDD 1 5 に格納された各種パラメータを適宜取得するようにしてもよい。

40

#### 【 0 0 5 8 】

##### ( 応用例 )

本実施の形態では、3 D 流動解析の実行が選択された場合に 3 D 流動解析対象領域 1 2 a の選択をしており、1 D 流動解析終了後にその結果を評価した上で、3 D 流動解析対象領域 1 2 a を選択し、3 D 流動解析を実行している。つまり、1 D 流動解析をまず実施した後に 3 D 流動解析を実行する手順となる。しかしながら、これらは同一のソフトウェア (連成解析プログラム 2 0) 内で実施可能であるため、1 D 流動解析を実施する前に 3 D

50



流動解析対象領域 1 2 a を予め設定することで 1 D 流動解析と 3 D 流動解析とを直列で実行（1 D 流動解析終了後に 3 D 流動解析を自動実行）するようにしてもよい。

【 0 0 5 9 】

図 1 9 は、1 D 流動解析と 3 D 流動解析とを直列で実行する第 2 の 1 D - 3 D 連成解析処理を示すフローチャートである。なお、図 1 9 において図 3 と同一符号のものは図 3 に示される処理と同様の処理を行うものであり、その詳細は省略する。図 1 9 に示されるように、この場合、ステップ S 8 の 3 D 流動解析対象領域 1 2 a の選択処理がステップ S 2 の構成データの入力受付の処理の後に設けられ、その後、ステップ S 3 の樹脂物性データの入力受付の処理が実行される。また、この場合、ステップ S 9 の 3 D 流動解析処理に含まれるステップ S 9 0 9 の解析結果出力の処理では、図 1 4 に示されるように、1 D 流動解析結果と 3 D 流動解析結果とが同時に出力（表示）される。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 9 に示されるように、第 2 の 1 D - 3 D 連成解析処理においても、3 D 流動解析を実施するために必要な設定項目は 1 D 流動解析実施前に設定した押出成形機全体のスクリュ構成をもとに 3 D 流動解析対象領域 1 2 a を選択抽出するだけである。また、解析条件パラメータは 1 D と 3 D の解析で共有し、3 D 流動解析に必要な境界条件データは 1 D 流動解析の解析結果から自動抽出する点は、図 3 に示される 1 D - 3 D 連成解析処理と共通である。

【 0 0 6 1 】

以上のように、第 2 の 1 D - 3 D 連成解析処理を実施する場合、3 D 流動解析実施に必要な条件設定はすべて 1 D 流動解析実施前に完了させ、1 D 流動解析終了後に自動的に 3 D 流動解析を実行させるため、連成解析を行うための演算時間を大幅に短縮できる。そのため、既に構築されている押出成形プロセスの評価検証や押出成形機のサイズを変更した場合のスケールアップ解析などについて、押出成形機全体の物性検証と局所的な混練性能検証が効率的に実施できる。なお、1 D - 3 D 連成解析処理の実行前に、図 3 に示される本実施の形態に係る 1 D - 3 D 連成解析処理と、図 1 9 に示される第 2 の 1 D - 3 D 連成解析処理との何れを採用するかをユーザ側で選択決定できるコマンドを、例えば起動画面に設定しておけば、連成解析の目的に応じた演算が実施可能となる。

20

【 0 0 6 2 】

本発明は、その要旨または主要な特徴から逸脱することなく、他の様々な形で実施することができる。そのため、前述の実施の形態は、あらゆる点で単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示すものであって、明細書本文には、何ら拘束されない。更に、特許請求の範囲の均等範囲に属する全ての変形、様々な改良、代替および改質は、全て本発明の範囲内のものである。

30

【 0 0 6 3 】

また、実施の形態にて述べた連成解析プログラム 2 0 を、図 2 0 に示されるような、コンピュータにより読み取り可能な可搬型の記録媒体 8 に記憶させ、当該記録媒体 8 を情報処理装置 9 に読み込ませることにより、前述した機能を情報処理装置 9 に実現させることができる。例えば、情報処理装置 9 に連成解析プログラム 2 0 を読み込んだ場合、当該プログラムを起動するためのアイコンが表示部 1 4 に表示され、これをユーザが選択することにより、図 4 に示されるような起動画面が表示される。記録媒体 8 としては、例えば、光ディスク（CD-ROM、DVD ディスク等）、磁気ディスク（ハードディスクドライブ等）、フラッシュメモリ、IC カード、更にネットワークを介することで伝送可能な媒体等、コンピュータで読み取りや実行が可能な全ての媒体が含まれる。

40

【 0 0 6 4 】

なお、特許請求の範囲に記載のシミュレーション装置は、例えば、前述の実施の形態における押出成形機シミュレーション装置 1 0 であり、シミュレーション方法は、例えば 1 D - 3 D 連成解析処理であり、シミュレーションプログラムは、例えば連成解析プログラム 2 0 である。低次元解析部は、例えば 1 D 解析部 1 0 2 及び判定処理部 1 0 3 であり、選択受付部は、例えば領域選択部 1 0 4 である。物理量抽出部は、例えば 3 D 解析部 1 0

50

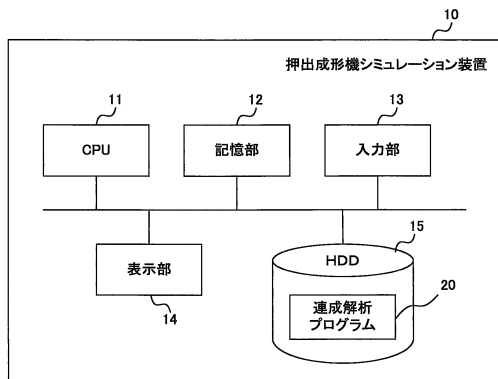
5 であり、高次元解析部は、例えば判定処理部 103 及び 3D 解析部 105 である。データ表示部は、例えば画面出力部 101 であり、表示装置は、例えば表示部 14 である。スライダーは、例えばスライダー 15 a である。

【符号の説明】

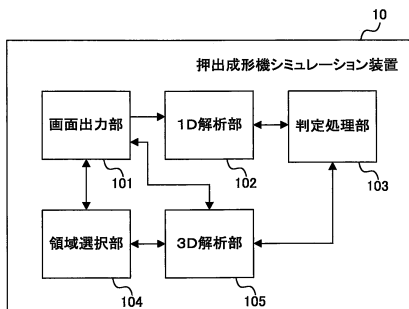
【0065】

10 押出成形機シミュレーション装置、101 画面出力部、102 1D解析部、103 判定処理部、104 領域選択部、105 3D解析部。

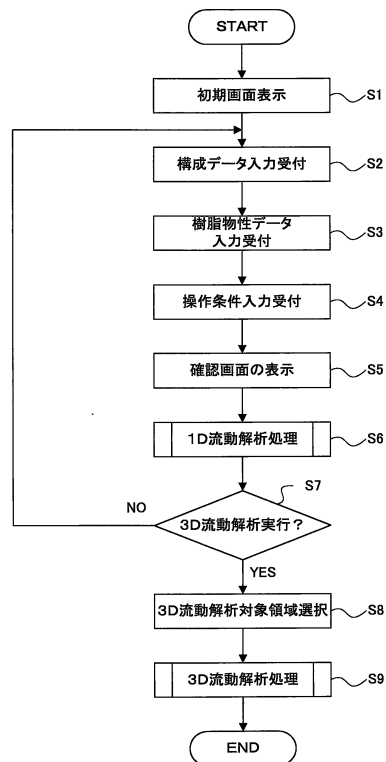
【図1】



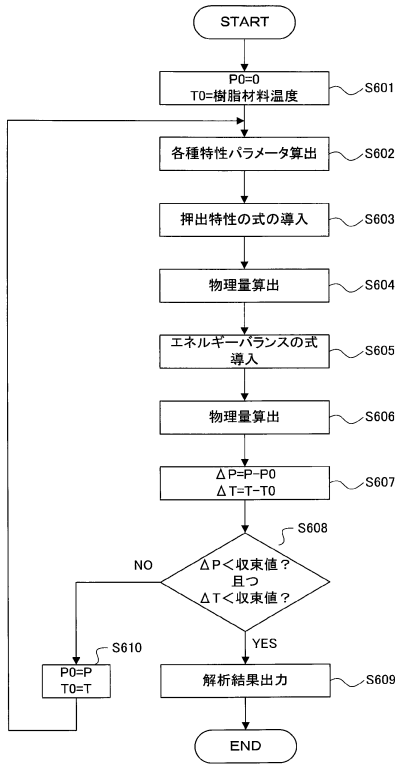
【図2】



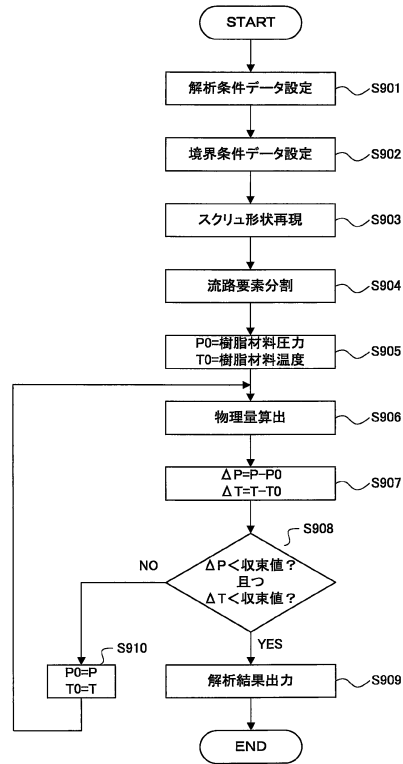
【図3】



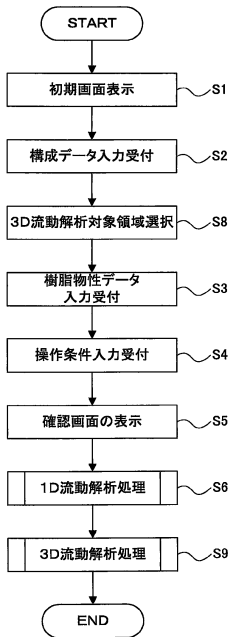
【図17】



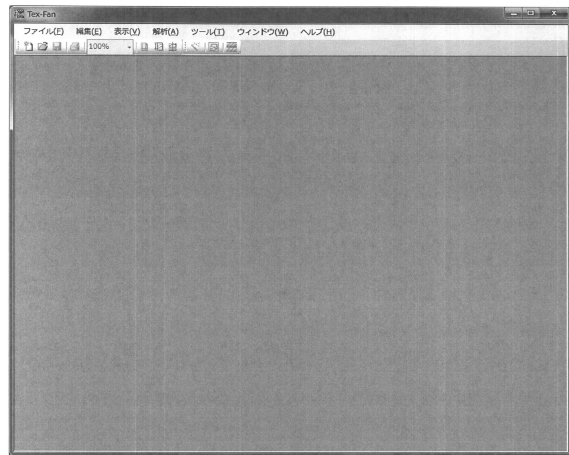
【図18】



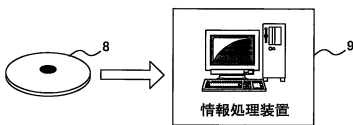
【図19】



【図4】

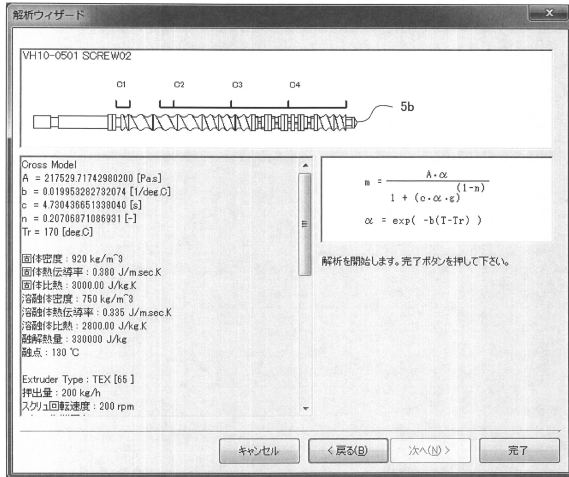


【図20】

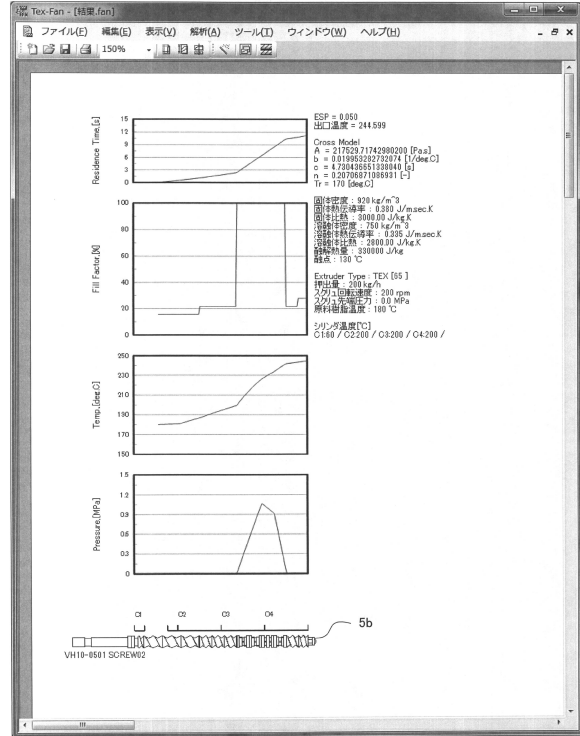




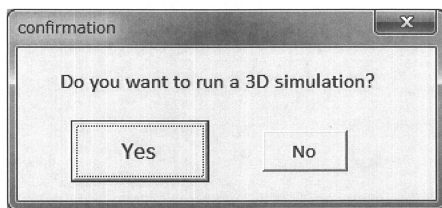
【図 9】



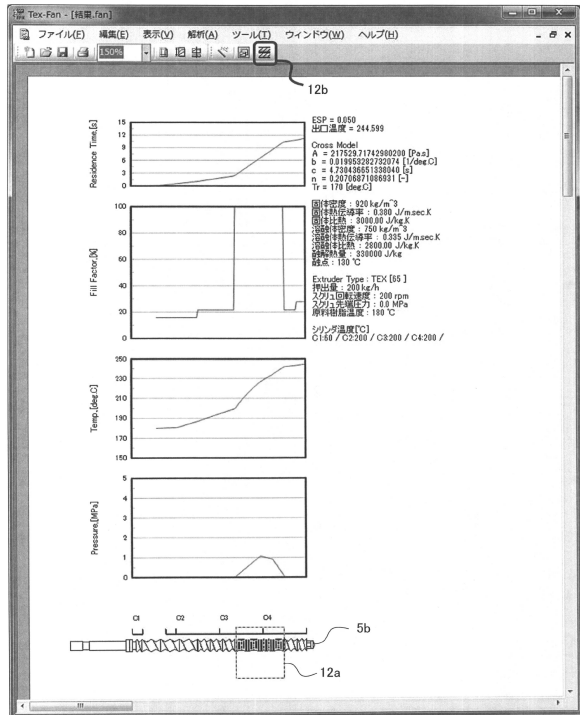
【図 10】



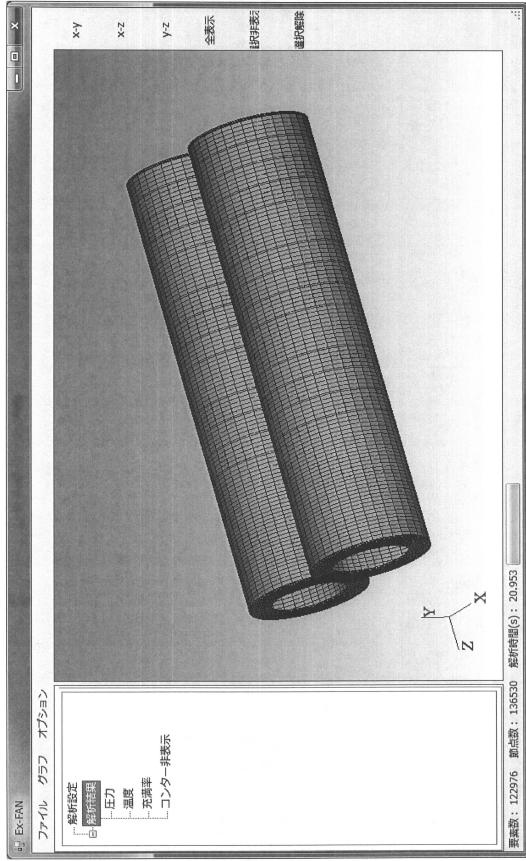
【図 11】



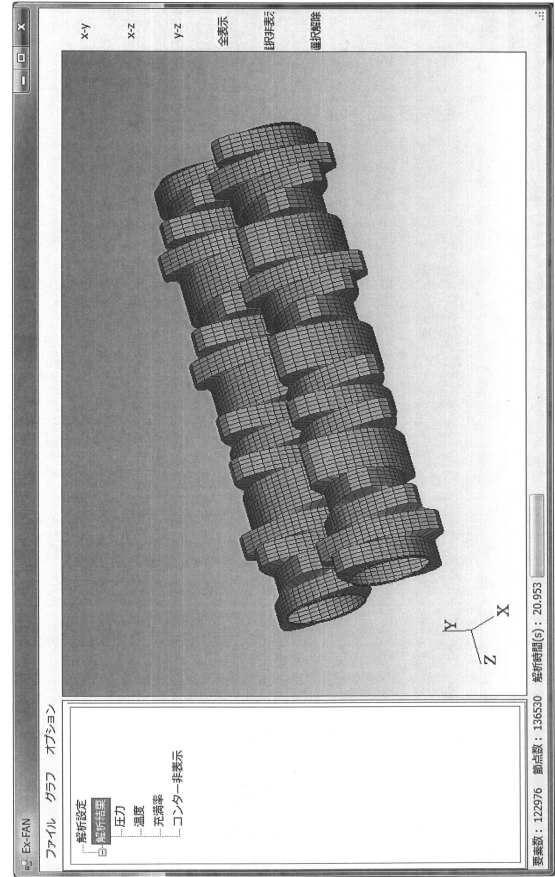
【図 12】



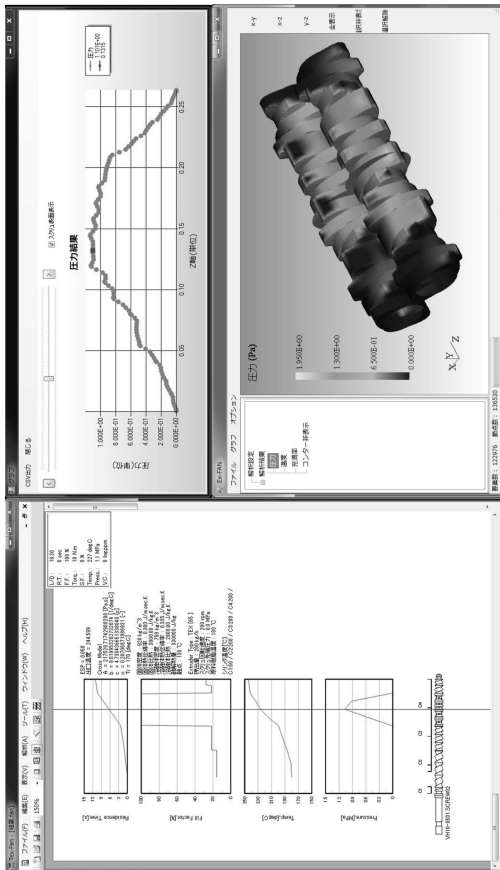
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【図 16】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 029819 (JP, A)  
特開2001 - 001386 (JP, A)  
特開平04 - 364921 (JP, A)  
特開2006 - 103316 (JP, A)  
米国特許出願公開第2012 / 0179649 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)  
B29C47 / 00 - 47 / 96