

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6185515号
(P6185515)

(45) 発行日 平成29年8月23日(2017.8.23)

(24) 登録日 平成29年8月4日(2017.8.4)

(51) Int.Cl. F 1
B 2 9 C 45/76 (2006.01) B 2 9 C 45/76

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-124948 (P2015-124948)	(73) 特許権者	000004215 株式会社日本製鋼所 東京都品川区大崎一丁目11番1号
(22) 出願日	平成27年6月22日(2015.6.22)	(74) 代理人	100101856 弁理士 赤澤 日出夫
(65) 公開番号	特開2017-7207 (P2017-7207A)	(72) 発明者	中川 一馬 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
(43) 公開日	平成29年1月12日(2017.1.12)	(72) 発明者	荒木 克之 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
審査請求日	平成28年3月25日(2016.3.25)	(72) 発明者	尾崎 公一 岡山県総社市窪木111番地 公立大学法 人岡山県立大学内
特許法第30条第2項適用 平成27年6月4日、プラスチック成形加工学会 第26回年次大会において公開		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 可塑化シミュレーション装置、その可塑化シミュレーション方法および可塑化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】

スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れかの状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出する可塑化シミュレーション装置であって、

前記樹脂材料の密度および熱伝導率を含む樹脂物性と、前記可塑化装置のシリンダ設定温度、計算領域におけるメッシュの刻み数を含む運転条件と、該可塑化装置のシリンダ径、スクリュ径、スクリュ溝深さ、スクリュリード、フライト幅、およびフライトクリアランスを含む構成データとを含むパラメータを取得する情報取得部と、

初期可塑化能力、せん断発熱量を取得する初期可塑化能力取得部と、

質量保存則およびエネルギー保存則を3ゾーンであるソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプール用に分けた、それぞれのゾーンに対する質量保存則およびエネルギー保存則に、前記初期可塑化能力、および前記パラメータを導入し、ソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの少なくとも何れかを有する計算領域における固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出する物理量算出部と、

前記パラメータおよび前記物理量に基づいて少なくとも計算領域におけるメルトプールの3次元空間のメッシュを作成して流動計算を行う3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出する可塑化能力算出部と

を備えることを特徴とする可塑化シミュレーション装置。

【請求項2】

前記パラメータに基づいて、前記計算領域を2次元空間のメッシュに分割して流動計算を行う2次元流動計算を行い、前記樹脂材料の単位時間当たりの溶融量である最大流量を算出する最大流量算出部を更に備え、

前記可塑化能力算出部は、

前記物理量と前記パラメータとを用いて3次元流動計算を行い、所定のメッシュにおける前記樹脂材料の流速を算出する溶融量算出部と、

前記最大流量に基づいて、前記流速が適正な値であるか否かを判定する流速判定部と、を有し、

前記流速が適正な値でないと判定された場合、前記パラメータおよび前記最大流量に基づいて可塑化能力を算出する

10

ことを特徴とする請求項1記載の可塑化シミュレーション装置。

【請求項3】

前記流速判定部は、前記流速が前記最大流量に基づく最大流速を超えるか否かを判定し、前記流速が前記最大流速を超えると判定した場合、前記流速が適正な値でないと判定することを特徴とする請求項2記載の可塑化シミュレーション装置。

【請求項4】

前記最大流量算出部は、前記パラメータを用いて2次元流動計算を行い、せん断速度分布を算出し、

前記可塑化能力算出部は、前記パラメータ、前記最大流量、および前記せん断速度分布に基づいて可塑化能力を算出することを特徴とする請求項2または請求項3記載の可塑化シミュレーション装置。

20

【請求項5】

前記最大流量算出部は、前記パラメータを用いて2次元流動計算を行い、せん断速度分布を算出し、該せん断速度分布に基づいてメルトフィルムにおけるせん断発熱量を算出し、

前記可塑化能力算出部は、前記せん断発熱量に基づいて可塑化能力および各物理量を算出することを特徴とする請求項2～請求項4の何れか1項に記載の可塑化シミュレーション装置。

【請求項6】

スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れかの状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出する可塑化シミュレーション装置が実行する可塑化シミュレーション方法であって、

30

前記樹脂材料の密度および熱伝導率を含む樹脂物性と、前記可塑化装置のシリンダ設定温度、計算領域におけるメッシュの刻み数を含む運転条件と、該可塑化装置のシリンダ径、スクリュ径、スクリュ溝深さ、スクリュリード、フライト幅、およびフライトクリアランスを含む構成データとを含むパラメータを取得するステップと、

初期可塑化能力、せん断発熱量を取得するステップと、

質量保存則およびエネルギー保存則を3ゾーンであるソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプール用に分けた、それぞれの質量保存の式およびエネルギー保存の式に、前記初期可塑化能力、および前記パラメータを導入し、ソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの少なくとも何れかを有する計算領域における固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出するステップと、

40

前記パラメータおよび前記物理量に基づいて少なくとも計算領域におけるメルトプールの3次元空間のメッシュを作成して流動計算を行う3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出するステップと

を有する可塑化シミュレーション方法。

【請求項7】

スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れかの状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出することをコンピュータに実行させる可塑化シミュレーションプログラムであって、

50

前記コンピュータを、

前記樹脂材料の密度および熱伝導率を含む樹脂物性と、前記可塑化装置のシリンダ設定温度、計算領域におけるメッシュの刻み数を含む運転条件と、該可塑化装置のシリンダ径、スクリュ径、スクリュ溝深さ、スクリュリード、フライト幅、およびフライトクリアランスを含む構成データとを含むパラメータを取得する情報取得部と、

初期可塑化能力、せん断発熱量を取得する初期可塑化能力取得部と、

質量保存則およびエネルギー保存則を3ゾーンであるソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプール用に分けた、それぞれの質量保存の式およびエネルギー保存の式に、前記初期可塑化能力、および前記パラメータを導入し、ソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの少なくとも何れかを有する計算領域における固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出する物理量算出部と、

前記パラメータおよび前記物理量に基づいて少なくとも計算領域におけるメルトプールの3次元空間のメッシュを作成して流動計算を行う3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出する可塑化能力算出部

として機能させるための可塑化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、射出成形機に代表される単軸または多軸スクリュ式の可塑化装置の可塑化行程をシミュレートする可塑化シミュレーション装置、その可塑化シミュレーション方法および可塑化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】

従来、この種の可塑化装置において熔融可塑化される樹脂材料の樹脂温度や固相率といった物理量を算出し、可塑化工程をシミュレートするシミュレーション技術が知られている。一般的にこのようなシミュレーションにおいては、単位時間において可塑化される材料の重量を示す可塑化能力(kg/h)が物理量の算出のために用いられており、この可塑化能力を固定して、または、所定のスクリュ特性式を用いて算出した可塑化能力を用いて、物理量を算出することが広く実施されている(下記、特許文献1、非特許文献1及び2参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-007951号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】日本製鋼所技報 63号

【非特許文献2】Engineering Principles of Plasticating Extrusion

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、シミュレーション上ではなく、実際の可塑化能力は数ある諸条件に応じて変動するものであるため、上述したように可塑化能力を固定してしまうと、精度の高い物理量の算出結果を得ることが困難であるという問題があった。一方、スクリュ特性式を用いて諸条件に応じた可塑化能力を算出するようにしても、当該スクリュ特性式に従った計算精度でしか可塑化能力を算出できず、可塑化能力を固定した場合と同様に精度の高い物理量の算出結果を得ることが困難であるという問題があった。

【0006】

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、極めて高い精度で可塑

10

20

30

40

50

化能力を算出することができるシミュレーション装置、可塑化シミュレーション方法および可塑化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】

【0007】

上述した課題を解決するため、本発明の一態様は、スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れか状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出する可塑化シミュレーション装置であって、前記樹脂材料の樹脂物性と前記可塑化装置の運転条件と該可塑化装置の構成データとを含むパラメータを取得する情報取得部と、初期可塑化能力を取得する初期可塑化能力取得部と、前記初期可塑化能力、前記パラメータ、質量保存の式およびエネルギー保存の式を用いて固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出する物理量算出部と、前記パラメータおよび前記物理量に基づいて3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出する可塑化能力算出部とを備える。

10

【0008】

また、本発明の一態様は、スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れか状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出する可塑化シミュレーション装置が実行する可塑化シミュレーション方法であって、前記樹脂材料の樹脂物性と前記可塑化装置の運転条件と該可塑化装置の構成データとを含むパラメータを取得するステップと、初期可塑化能力を取得するステップと、前記初期可塑化能力、前記パラメータ、質量保存の式およびエネルギー保存の式を用いて固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出するステップと、前記パラメータおよび前記物理量に基づいて3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出するステップとを有する。

20

【0009】

また、本発明の一態様は、スクリュ式の可塑化装置におけるシリンダ内の樹脂材料がソリッドベッド、メルトフィルム、およびメルトプールの何れか状態にある3ゾーンモデルに基づいて可塑化能力を算出することをコンピュータに実行させる可塑化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、前記樹脂材料の樹脂物性と前記可塑化装置の運転条件と該可塑化装置の構成データとを含むパラメータを取得する情報取得部と、初期可塑化能力を取得する初期可塑化能力取得部と、前記初期可塑化能力、前記パラメータ、質量保存の式およびエネルギー保存の式を用いて固相率およびメルトフィルム厚みを含む物理量を算出する物理量算出部と、前記パラメータおよび前記物理量に基づいて3次元流動計算を行い、可塑化能力を算出する可塑化能力算出部として機能させる。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、極めて高い精度で可塑化能力を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本実施の形態においてシミュレーションされる単軸スクリュ式射出成形機を示す概略断面図である。

40

【図2】本実施の形態に係る可塑化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3】本実施の形態に係る可塑化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4】3ゾーンモデルを説明するための図である。

【図5】3ゾーンモデルにおける流動制限を説明するための図である。

【図6】本実施の形態に係る可塑化解析処理を示すフローチャートである。

【図7】初期可塑化能力算出処理を示すフローチャートである。

【図8】2次元流動解析処理を示すフローチャートである。

【図9】3次元流動解析処理を示すフローチャートである。

50

【図10】可塑化能力算出処理を示すフローチャートである。

【図11】実機での実験結果、可塑化解析処理により算出された算出結果、及びスクリュ特性式のみを用いた一般的な解析処理により算出された算出結果の各可塑化能力を示す図である。

【図12】各算出結果の可塑化能力と実機での実験結果の可塑化能力との一致度を示す図である。

【図13】各算出結果の可塑化能力と実機での実験結果の可塑化能力との誤差の割合を示す図である。

【図14】可塑化シミュレーション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。

10

【発明を実施するための形態】

【0012】

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。

【0013】

本実施の形態においては、図1に示されるような、樹脂材料が投入されるホッパ1と、樹脂材料を溶融するためのシリンダ2と、樹脂材料を溶融混練すると共にシリンダ2先端部（下流側）へ搬送する単軸のスクリュ3とを備えるスクリュ式射出成形機4の定常状態における可塑化解析を行う可塑化シミュレーション装置を例にとり説明を行う。即ち、本実施の形態に係る可塑化シミュレーション装置は、スクリュ3が回転している回転状態の各種物理量を算出するものである。なお、本実施の形態においては、可塑化装置として射出成形機を例に挙げ説明するが、これに限定されるものではなく、スクリュ式の押出機や多軸スクリュ式の可塑化装置においても本発明を適用することが可能である。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。

20

【0014】

（装置構成）

図2は、本実施の形態に係る可塑化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に示されるように、可塑化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。

【0015】

CPU11は記憶部12上に展開されるOS（Operating System）、BIOS（Basic Input/Output System）、アプリケーション等の各種プログラムを実行し、可塑化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。

30

【0016】

入力部13は、可塑化シミュレーション装置10を使用するユーザからの入力（例えば後述する各種パラメータ）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。

40

【0017】

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）や解析結果を表示するディスプレイ等の出力装置である。このような出力装置により、例えば、解析結果として算出された物理量がヒストグラムといった形で表示される。HDD15は、後述する可塑化解析処理において用いられる各種パラメータや当該処理により算出される各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。

【0018】

（機能構成）

次に、可塑化シミュレーション装置10の機能構成を説明する。図3は、本実施の形態

50

に係る可塑化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に示されるように、可塑化シミュレーション装置10は、取得部101と、解析部102と、判定部103と、出力部104とを、機能として有する。これら機能は、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。

【0019】

取得部101は、所定の物理量を算出するために必要な各種パラメータを取得するものである。なお、当該パラメータとして、ユーザにより手入力された情報を取得してもよく、解析対象のスクリュ式射出成形機4に対応して固有に紐付けられた情報をHDD15から取得するようにしてもよい。解析部102は、取得された各種パラメータに基づいてシミュレーションの解析値として可塑化能力や各物理量の算出を行うものである。判定部103は、可塑化解析処理における各種判定を行うものであり、出力部104は、解析部102の算出結果や判定部103の判定結果を受けて、これらの結果を表示部14やHDD15へ出力するものである。

【0020】

(概要)

理解を容易にするために、本実施の形態に係る可塑化解析処理の概要を簡単に説明する。本実施の形態においては、溶融樹脂量(適宜、溶融量とも称する)、樹脂温度、固相率、メルトフィルム厚み、スクリュ動力、圧力等の各物理量の算出をTadmorモデルに倣い、図4に示されるような3ゾーンモデルを導入してゾーン毎に分けて行われる。図4に示される参照符号51は、スクリュ3及びスクリュ3のフライト5からなる領域において樹脂材料が固形で存在するソリッドベッドを示し、参照符号52は、樹脂材料の溶融が促進されるメルトフィルムを示し、参照符号53は、溶融状態にある樹脂材料である溶融樹脂が滞留するメルトプールを示している。

【0021】

この3ゾーンモデルにおいて可塑化される樹脂材料は、図5に示されるように各矢印で示される流速ベクトルを持って流動している。なお、樹脂材料はスクリュ3により押し出されるため、ここではシリンダ2にも流速ベクトルが付されている。本来、メルトフィルム52にある溶融樹脂は、シリンダ2と接触するためにその溶融が促進されるが、そこからメルトプール53へ流入する流量、換言すると、メルトフィルム52とメルトプール53との境界にあるメッシュの流量は、当該メッシュのメルトフィルム52の溶融樹脂の溶融量(ソリッドベッド51の溶融量)を超えることはない。しかしながら、従来の解析手法では、計算上、当該流量が当該溶融量を超えてしまう可能性がある。そのため、本実施の形態においては、溶融樹脂の流速ベクトルのうち、メルトフィルム52からメルトプール53へ流入する流速ベクトル60の流量が、メルトフィルム52の溶融量を超えないよう制限する、流量制限を可塑化能力の算出に組み込んでいる。このように実際には起こりえない事象を制限することで、高い精度での可塑化能力の算出を実現している。

【0022】

(処理動作)

以下、図面を用いて本実施の形態に係る可塑化シミュレーション装置10の動作の詳細を説明する。図6は、本実施の形態に係る可塑化解析処理を示すフローチャートである。なお、この処理において算出される各値は、出力部104により適宜記憶部12またはHDD15に格納される。そのため、本フロー内においては各値の格納処理は割愛する。図6に示されるように、本実施の形態に係る可塑化解析処理は、先ず、後述する3次元流動解析処理において用いられる初期値の可塑化能力である初期可塑化能力を算出するための初期可塑化能力算出処理が実行される(S1)。その後、各物理量を算出するために用いられる後述する分割せん断発熱量及び後述する最大流量を算出するための2次元流動解析を行う2次元流動解析処理が実行され(S2)、初期可塑化能力と、分割せん断発熱量とに基づいて、可塑化能力および各種物理量を算出する3次元解析を行う3次元流動解析処理が実行され(S3)、本フローは終了となる。以下、これら各処理の詳細を順次説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

先ず、初期可塑化能力算出処理の詳細を説明する。図7は、初期可塑化能力算出処理を示すフローチャートである。図7に示されるように、先ず、取得部101は、可塑化能力や各物理量を算出するための樹脂物性、運転条件およびスクリュ式射出成形機4の構成データの各種パラメータを取得する(S101, S102, S103)。ステップS101において取得される樹脂物性のパラメータとしては、例えば、粘度フィッティングによるモデルパラメータ、固体および溶融体の密度、比熱、熱伝導率、融点、溶融熱量などが挙げられる。ステップS102において取得される運転条件のパラメータとしては、例えば、スクリュ回転数、背圧、シリンダ設定温度、シリンダ設定温度境界位置、スクリュ位置、メッシュ刻み数、計算サイクル数、計量樹脂量、原料樹脂温度などが挙げられる。ステップS103において取得される構成データのパラメータとしては、例えば、シリンダ径、スクリュ径、スクリュ溝深さ、スクリュリード、フライト幅、フライトクリアランスなどが挙げられる。この構成データは、スクリュ3の先端部分やホッパ2近辺の供給部分など複数の計算領域(スクリュ3の各ポジション)における各値であることが好ましい。

10

【 0 0 2 4 】

以上の取得されたパラメータに基づいて、解析部102は初期可塑化能力を算出し(S104)、本フローは終了となる。ここで算出する初期可塑化能力は、単位時間当たりの樹脂材料(溶融樹脂)の重量(kg/h)で示されるものであり、下記(1)式または(2)式で表わされるスクリュ特性式を用いて算出される。なお、(1)式は、シリンダ2内で樹脂材料がスクリュ3により牽引されている部分である牽引流部分における計算に用いられ、(2)式はその他の部分における計算に用いられる。

20

【 0 0 2 5 】

【数1】

$$Q_v = A \frac{V_{bz} \cdot w \cdot h}{2} \quad (1)$$

【 0 0 2 6 】

【数2】

$$Q_v = A \frac{V_{bz} \cdot w \cdot h}{2} - B \frac{w \cdot h^3 \cdot \sin \phi}{12\eta} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (2)$$

30

【 0 0 2 7 】

この(1)式および(2)式においては、 Q_v ：体積流量、A及びB：係数、 V_{bz} ：樹脂の流れ方向の移動速度、w：スクリュ溝幅、h：スクリュ溝深さ、 ϕ ：スクリュヘリックス角、 η ：樹脂粘度、 $\frac{\partial P}{\partial z}$ ：圧力変化量である。また、(2)式における樹脂粘度は、下記(3)式および(4)式の粘度式により求められる。

【 0 0 2 8 】

【数3】

$$\eta = \frac{A_0 \cdot \alpha}{\left[1 + (c \cdot \alpha \cdot g)^a \right]^{(1-n)/a}} \quad (3)$$

40

【 0 0 2 9 】

【数4】

$$\alpha = \exp(-b \cdot (T - T_r)) \quad (4)$$

【 0 0 3 0 】

50

この(3)式および(4)式においては、 η : 樹脂粘度、 A_0 , a , b , c : 粘度係数、 g : せん断速度、 Tr 及び n : 粘度パラメータ、 T : 樹脂温度である。これら(1)~(4)式に、取得部101により取得された各種パラメータのうちの必要なパラメータが導入されることで、初期可塑化能力が算出される。ここでの必要なパラメータとは、スクリュ回転数、シリンダ径、スクリュ溝深さ、溶融体密度等である。

【0031】

次に、前述した2次元流動解析処理の詳細を説明する。図8は、2次元流動解析処理を示すフローチャートである。図8に示されるように、先ず、解析部102は、取得部101により取得された各種パラメータを記憶部12またはHDD15から取得し(S201)、これらパラメータを用いた一般的な2次元流動計算を行い、溶融樹脂のメルトフィルム52内における速度分布を算出する(S202)。算出後、解析部102は、当該速度分布に基づいて、下記(5)式で示されるメルトフィルム52内におけるメッシュ毎のせん断速度を算出し、メルトフィルム52内におけるせん断速度分布を算出する(S203)。

10

【0032】

【数5】

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dy} \quad (5)$$

【0033】

20

この(5)式においては、 $\dot{\gamma}$: せん断速度、 du : メッシュ間速度差、 dy : 1メッシュの距離(厚み)、である。せん断速度分布の算出後、このせん断速度分布に基づいて、メルトフィルム52内におけるメッシュ毎の粘度、せん断発熱量を算出する(S204)。樹脂粘度は2次元解析の一般的な手法により求めてもよく、上記(3)式および(4)式の粘度式により求めてもよい。せん断発熱量は、下記(6)式により求めることができる。

【0034】

【数6】

$$Q = \eta \cdot \dot{\gamma}^2 \quad (6)$$

30

【0035】

この(6)式においては、 Q : せん断発熱量([W])、 η : 樹脂粘度、 $\dot{\gamma}$: せん断速度である。粘度、せん断発熱量の算出後、解析部102は、これらに基づいてメルトフィルム52からソリッドベッド51およびソリッドベッド51内部の熱流束を算出する(S205)。メルトフィルム52からソリッドベッド51への熱流束は下記(7)式、ソリッドベッド51内部への熱流束は下記(8)式により求めることができる。

【0036】

【数7】

$$q_{fs} = 2k_m \frac{T_f - T_m}{\delta_m} + Q \cdot \delta_m \frac{A_1}{A_1 + B_1 + C_1} \quad (7)$$

40

【0037】

【数8】

$$q_{ss} = k_s \frac{T_m - T_s}{\frac{h - \delta_m}{2}} \quad (8)$$

【0038】

50

(7)式および(8)式においては、 q_{fs} ：メルトフィルムからソリッドベッドへの熱流束〔 W/m^2 〕、 k_m ：溶融体の熱伝導率、 T_f ：メルトフィルム温度、 T_m ：樹脂融点、 δ_m ：メルトフィルム厚み、 Q ：せん断発熱量、 q_{ss} ：ソリッドベッド内部への熱流束〔 W/m^2 〕、 k_s ：固体の熱伝導率、 h ：スクリュ溝深さ、 A_1 ：パラメータ、 B_1 ：パラメータ、 C_1 ：パラメータである。

【0039】

熱流束算出後、解析部102は、算出したせん断発熱量と熱流束とから、メルトフィルム52における溶融樹脂の溶融量を算出し、これを単位時間で割ることにより、メルトフィルム52からメルトプール53へ流れる溶融樹脂の単位時間当たりの最大流量を算出し(5206)、本フローは終了となる。具体的には、せん断発熱量と熱流束とを用いて、

10

【0040】

【数9】

$$m = \frac{(q_{fs} - q_{ss}) \cdot X \cdot dz}{\rho(C_p(T_m - T_s) + H_T)} \quad (9)$$

【0041】

この(9)式においては、 m ：最大流量〔 m^3/s 〕、 q_{fs} ：メルトフィルムからソリッドベッドへの熱流束、 q_{ss} ：ソリッドベッド内部への熱流束、 X ：ソリッドベッド幅、 dz ：流れ方向メッシュ幅、 ρ ：樹脂密度、 C_p ：樹脂比熱、 T_m ：樹脂融点、 T_s ：ソリッドベッド温度、 H_T ：樹脂融解熱である。

20

【0042】

ここで、本実施の形態においては、メルトフィルム52におけるせん断発熱量の $C/(A+B+C)$ がメルトフィルム52内での温度上昇に用いられることとする。即ち、複数のメッシュのうち、メルトフィルム52に対応するメッシュについては、上記(6)式で求めたせん断発熱量に $C/(A+B+C)$ を乗じ、後述する各物理量の算出においてこの $C/(A+B+C)$ としたせん断発熱量を用いる。せん断発熱量を $C/(A+B+C)$ とする理由は、以下のとおりである。

30

【0043】

メルトフィルム52からソリッドベッド51への熱流束は、上記(7)式により求められる。これによれば、せん断発熱量は $A/(A+B+C)$ がソリッドベッド51へ流れることがわかる。また、シリンダ2からメルトフィルム52への熱流束は、下記(10)式により求められる。これによれば、せん断発熱量は $B/(A+B+C)$ がシリンダ2へ流れることがわかる。よって、残りの $C/(A+B+C)$ のせん断発熱量がメルトフィルム52内に残り、溶融樹脂の温度上昇に用いられることがわかる。したがって、メルトフィルム52に対応するメッシュのせん断発熱量を $A/(A+B+C)$ 、 $B/(A+B+C)$ 、 $C/(A+B+C)$ と分割することで、現実に沿った熱量を与えることができ、これを可塑化能力、各物理量の算出に用いることで、精度の高い解析結果を得ることができる。

40

【0044】

【数10】

$$q_{bf} = 2k_m \frac{T_b - T_f}{\delta_m} - Q \cdot \delta_m \frac{B_1}{A_1 + B_1 + C_1} \quad (10)$$

【0045】

この(10)式においては、 q_{bf} ：シリンダからメルトフィルムへの熱流束、 k_m ：

50

溶融体の熱伝導率、 T_f ：メルトフィルム温度、 T_m ：樹脂融点、 δ_m ：メルトフィルム厚み、 Q ：せん断発熱量、 A_1 ：パラメータ、 B_1 ：パラメータ、 C_1 ：パラメータである。

【0046】

次に、前述した3次元流動解析処理の詳細を説明する。図9は、3次元流動解析処理を示すフローチャートである。図9に示されるように、まず、解析部102は、取得部101により取得された各種パラメータ、算出した初期可塑性能力、分割せん断発熱量を記憶部12またはHDD15から取得し(S301)、取得した初期可塑性能力を第1可塑性能力と設定する(S302)。

【0047】

設定後、解析部102は、これらのデータに基づいて各物理量を算出する(S303)。本実施の形態においては、算出される物理量として溶融樹脂量、樹脂温度、固相率、メルトフィルム52厚み、スクリュ動力、圧力が挙げられる。これら物理量は全計算領域(メッシュ毎)に渡って算出される。これらの物理量は、第1可塑性能力と、取得部101により取得された各パラメータのうちの必要なパラメータと、質量保存則およびエネルギー保存則を用いて、更にメルトフィルム52に対しては分割せん断発熱量を別途用いて算出する。具体的には、図4に示されるソリッドベッド51における各種物理量の算出には下記(11)式と(12)式とが用いられる。

【0048】

【数11】

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \{ \rho X (h - \delta_m) H \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \rho X (h - \delta_m) v_{sz} H \} + \lambda X \dot{m}_f + \lambda (h - \delta_m) \dot{m}_p \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_s X (h - \delta_m) \frac{\partial T_s}{\partial z} \right\} + X q_{fs} + (h - \delta_m) q_{ps} \end{aligned} \quad (11)$$

【0049】

【数12】

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ \rho X (h - \delta_m) \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \rho X (h - \delta_m) v_{sz} \} + X \dot{m}_f + (h - \delta_m) \dot{m}_p = 0 \quad (12)$$

【0050】

この(11)式および(12)式においては、 ρ ：樹脂密度、 X ：ソリッドベッド幅、 h ：スクリュ溝深さ、 δ_m ：メルトフィルム厚み、 H ：エンタルピー、 v_{sz} ：ソリッドベッドの流れ方向移動速度、 λ ：融解熱、 \dot{m}_f ：ソリッドベッドのメルトフィルム側融解質量流速、 \dot{m}_p ：ソリッドベッドのメルトプール側融解質量流速、 k_s ：固体樹脂の熱伝導率、 T_s ：ソリッドベッド温度、 q_{fs} ：メルトフィルムからソリッドベッド界面への熱流束、 q_{ps} ：メルトプールからソリッドベッド界面への熱流束、である。

【0051】

また、図4に示されるメルトフィルム52における各物理量の算出には下記(13)式と(14)式とが用いられる。

【0052】

【数13】

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho X \delta_m H) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho X \delta_m v_{fx} H) + \rho \delta_m v_{fx} H + X q_{fs} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_m X \delta_m \frac{\partial T_f}{\partial z} \right) + X q_{bf} + X \delta_m Q_G \quad (13)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

【 数 1 4 】

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho X \delta_m) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho X \delta_m v_{fz}) + \rho \delta_m v_{fx} = X \dot{m}_f \quad (14)$$

【 0 0 5 4 】

この(13)式および(14)式においては、 ρ ：樹脂密度、 X ：ソリッドベッド幅、 δ_m ：メルトフィルム厚み、 H ：エンタルピー、 v_{fz} ：メルトフィルム流れ方向速度、 v_{fx} ：メルトフィルムかき出し方向速度、 q_{fs} ：ソリッドベッド界面からソリッドベッド内部への熱流束、 k_m ：溶融体熱伝導率、 T_f ：メルトフィルム温度、 q_{bf} ：シリ

10

【 0 0 5 5 】

また、図4に示されるメルトプール53における各物理量の算出には下記(15)式と(16)式とが用いられる。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 5 】

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \{ \rho (w - X) h H \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \rho (w - X) h v_{pz} H \} + (h - \delta_m) q_{ps} \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_m (w - X) h \frac{\partial T_p}{\partial z} \right\} + \rho \delta_m v_{fx} H + (w - X) q_{Bp} + (w - X) h Q'_G \end{aligned} \quad (15)$$

20

【 0 0 5 7 】

【 数 1 6 】

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ \rho (w - X) h \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \rho (w - X) h v_{pz} \} = \rho \delta_m v_{fx} + (h - \delta_m) \dot{m}_p \quad (16)$$

30

【 0 0 5 8 】

この(15)式および(16)式においては、 ρ ：樹脂密度、 w ：スクリュ溝幅、 X ：ソリッドベッド幅、 h ：スクリュ溝深さ、 H ：エンタルピー、 v_{pz} ：メルトプール流れ方向速度、 δ_m ：メルトフィルム厚み、 q_{ps} ：メルトプールからソリッドベッド界面への熱流束、 k_m ：溶融体熱伝導率、 T_p ：メルトプール温度、 v_{fx} ：メルトフィルムかき出し方向速度、 q_{Bp} ：シリンドラからメルトプールへの熱流束、 Q'_G ：メルトプールせん断発熱量、 \dot{m}_p ：ソリッドベッドのメルトプール側融解質量流速、である。

【 0 0 5 9 】

前述した(11)式、(13)式、および(15)式はエネルギー保存則を示しており、(12)式、(14)式および(16)式は質量保存則を示している。また、質量保存則およびエネルギー保存則をソリッドベッド51と、メルトフィルム52と、メルトプール53とに分けたため、この質量保存則およびエネルギー保存則を満足させるように融解質量流速が導入されている。これらの数式に、取得された各パラメータのうちの必要なパラメータ、第1可塑化能力、分割せん断発熱量等を導入することで、溶融樹脂量、樹脂温度、固相率、メルトフィルム厚み、スクリュ動力、圧力等を算出することができる。

40

【 0 0 6 0 】

図9に戻り、ステップS303の各物理量の算出を終えると、解析部102は、固相率と、メルトフィルム厚みとから、メルトプール53の形状メッシュを作成する(S304)。この形状メッシュの作成方法は、例えば有限体積法等の手法を用いて格子メッシュを作成すればよく、一般的な手法であるためここでの説明は省略する。形状メッシュの作成

50

後、解析部 102 は、可塑化能力算出処理を実行する (S305)。可塑化能力算出処理は、可塑化能力の算出に流動計算を用いるものであり、この処理により算出されるメルトフィルム 52 からメルトプール 53 への溶融樹脂の流出量を第 2 可塑化能力とするものである。この可塑化能力算出処理についての詳細は後述する。

【0061】

第 2 可塑化能力算出後、判定部 103 は、算出した第 2 可塑化能力が所定の条件を満たすか否かを判定する (S306)。本実施の形態においては、この所定の条件を第 1 可塑化能力と、第 2 可塑化能力との変化量が 0.01% 以下であることとする。これは、可塑化能力によってメルトプール 53 が生成する位置が異なるために実施している処理であり、その変化量が極めて小さくなった場合に定常状態になったと判断できる。なお、変化量は、この値に限定するものではなく、可塑化能力に変化が見られないと判断可能な値であればよく、例えば 0.1 や 0.005 等でもよいが、精度の観点からいえばより小さい値の方が好ましい。

10

【0062】

第 2 可塑化能力が所定の条件を満たさないと判定された場合 (S306, NO)、解析部 102 は、第 2 可塑化能力を第 1 可塑化能力として更新して新たな第 1 可塑化能力として (S307)、ステップ S303 の各種物理量を算出する処理へ移行する。一方、第 2 可塑化能力が所定の条件を満たすと判定された場合 (S306, YES)、解析部 102 は、第 2 可塑化能力に基づいて、上記ステップ S303 の各種物理量を算出する処理と同様の処理を行うことにより、各物理量を算出する (S308)。算出後、出力部 104 は、第 2 可塑化能力や、これに基づく各物理量をユーザの入力に応じて適宜記憶部 12、表示部 14、HDD 15 へ出力し (S309)、本フローは終了となる。例えば、出力部 104 は、各物理量をスクリーン 3 上の各計算領域 (ポジション) 毎に予め指定されたアウトプットファイルにアウトプットし、表示部 14 上へ表示する。

20

【0063】

次に、前述した可塑化能力算出処理の詳細を説明する。本実施の形態に係る可塑化能力算出処理は、一般的な非圧縮流動計算に、本実施の形態に係る流動制限を組み込んだものである。図 10 は、その可塑化能力算出処理を示すフローチャートである。図 10 に示されるように、まず、解析部 102 は、流動計算を一般化した、保存則の基礎方程式である下記 (17) 式および (18) 式に基づいて、仮の速度 (メルトフィルム 52 からメルトプール 53 へ流れる溶融樹脂の流速) を算出する (S401)。算出後、解析部 102 は、算出した仮の速度の圧力補正を行うと共に、下記 (19) 式に基づいて樹脂温度を計算する (S402)。ここで圧力補正された仮の速度を補正速度と称して以後説明を行う。

30

【0064】

【数 17】

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S \quad (17)$$

【0065】

【数 18】

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (18)$$

40

【0066】

【数 19】

$$\rho \cdot C_p \frac{DT}{Dt} = -(\nabla \cdot \mathbf{q}) + (\boldsymbol{\tau} : \nabla \mathbf{v}) - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_p (\nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (19)$$

【0067】

この (17) 式においては、左から、1 項目が非定常項、2 項目が対流項、3 項目が拡

50

散項、4項目が生成項を示している。また、(18)式および(19)式においては、
 ρ : 密度、 C_p : 比熱、 T : 樹脂温度、 t : 時間、 q : 熱流束、 σ : 応力、 v : 速度、 P :
 圧力である。

【0068】

圧力補正後、判定部103は、流量制限を行う必要があるか否かを判定する(S403)。
 本実施の形態においては、この判定を、メルトフィルム52とメルトプール53の境界のメッシュにおける補正速度が、ステップS2の2次元流動解析処理で算出された最大流量に基づいて算出される最大速度(最大流速)を超えるか否かにより判定するようにしている。補正速度が最大速度を超える場合、メルトフィルム52の溶融量よりメルトフィルム52からメルトプール53へ流出する流出量が大きいう矛盾した状態にあると判断され、流量制限を行う必要があると判定される。より具体的には、判定部103は、下記(20)式を用いて最大流量から最大速度を算出し、最大速度<補正速度であるか否かを判定する。

【0069】

【数20】

$$v_{\max} = \frac{m}{\delta_m \cdot \Delta z} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (20)$$

【0070】

この(20)式においては、 v_{\max} : 最大速度、 m : 最大流量、 δ_m : メルトフィルム厚み、 z : 3次元メッシュの長さである。

【0071】

流量制限を行う必要があると判定された場合(S403, YES)、解析部102は、補正速度を最大速度とし(S404)、上記(18)式、(19)式を用いた収束処理(マスバランス)を実行することにより真の速度を算出する(S405)。算出後、解析部102は、真の速度に基づいてメルトフィルム52とメルトプール53の境界のメッシュの体積流量を算出し、これに溶融体(溶融樹脂)の密度に乗じることにより第2可塑化能力を算出し(S406)、本フローは終了となる。一方、流量制限を行う必要がないと判定された場合(S403, NO)、補正速度をそのままに、真の速度を算出する処理に移行する。

【0072】

以上に説明した可塑化解析処理により算出された解析結果について、その優位性を図面を用いて簡単に説明する。図11は、実機での実験結果、可塑化解析処理により算出された算出結果、及びスクリュ特性式のみを用いた一般的な解析処理により算出された算出結果の各可塑化能力を示す図である。図12は、各算出結果の可塑化能力と実機での実験結果の可塑化能力との一致度を示す図であり、図13は、各算出結果の可塑化能力と実機での実験結果の可塑化能力との誤差の割合を示す図である。各図面に示されるPPは、ポリプロピレン、PEはポリエチレン、PMMAはポリメタクリル酸メチル樹脂、PA6は、ナイロン6、PA66はナイロン66を示している。実験結果は、実際に樹脂材料を溶融可塑化させた際の計測結果から導かれた定常状態の可塑化能力を示し、解析結果Aは、本実施の形態に係る可塑化解析処理により導かれた定常状態の可塑化能力を示し、解析結果Bは従来の計算手法(スクリュ特性式を用いた手法)により導かれた定常状態の可塑化能力を示している。

【0073】

図11~図13に示されるように、何れのプラスチックにおいても、解析結果Bより解析結果Aが実験結果に近い値を導き出しており、特にPA6においてそれは顕著である。したがって、本実施の形態に係る可塑化解析処理によれば、従来と比較して非常に高い精度で可塑化能力を算出できることがわかる。

【0074】

10

20

30

40

50

本実施の形態によれば、諸条件を反映した3次元の流動計算から予測精度の高い可塑性能力を算出することができる。特に、これに流量制限を組み込むことにより、メルトフィルム52とメルトプール53との境界にあるメッシュの流量が、最大流量以下になるように制限することができるため、当該メッシュの流量が最大流量を超えるといた現実起こりえない事象を防止することができる。したがって、現実に近いより精度の高い可塑性能力を得られ、延いては、高精度の解析結果を得ることができる。更に、分割せん断発熱量に基づいて可塑性能力および各物理量を算出することにより、メルトフィルム52内の溶融樹脂の温度上昇に用いられるせん断発熱量を適切な値にすることができ、上記の効果をより高めることが可能となる。これは特にスクリュ動力において顕著である。

【0075】

10

なお、本実施の形態においては、スクリュ特性式を用いて初期可塑性能力を算出するようにしているが、可塑性能力のあたりをつけて、入力または格納された所定の値を初期可塑性能力として取得するようにしてもよい。

【0076】

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。

【0077】

20

また、実施の形態にて述べた可塑性シミュレーション装置10における各種ステップを、可塑性シミュレーションプログラムとして、図14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。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。

【0078】

なお、特許請求の範囲に記載の可塑性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可塑性シミュレーション装置10である。情報取得部は、例えば取得部101であり、初期可塑性能力取得部、物理量算出部、最大流量算出部および溶融量算出部は、例えば解析部102であり、可塑性能力算出部は、例えば解析部102および判定部103である。また、流速判定部は、例えば判定部103である。

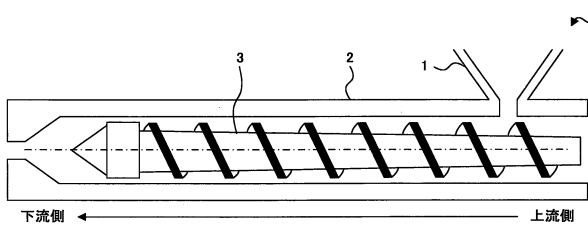
30

【符号の説明】

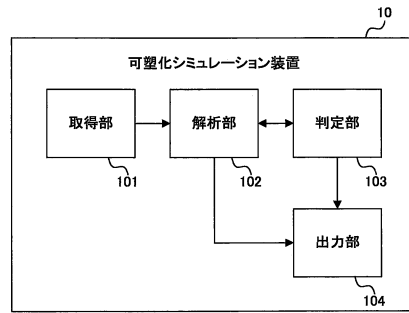
【0079】

3 スクリュ、4 スクリュ式射出成形機、10 可塑性シミュレーション装置、101 取得部、102 解析部、103 判定部。

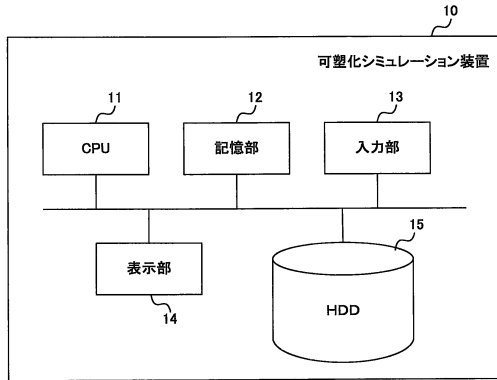
【図1】



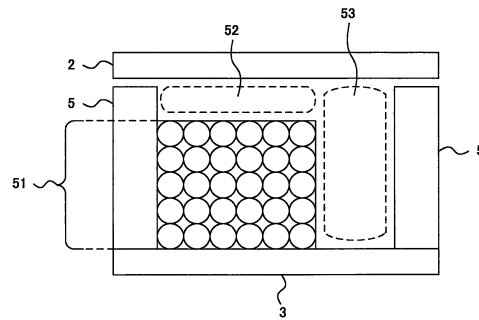
【図3】



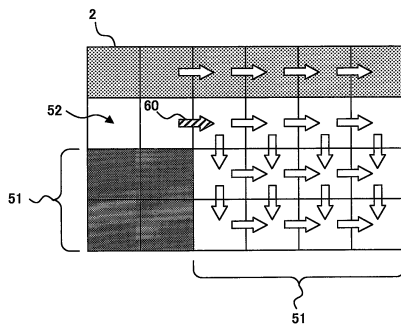
【図2】



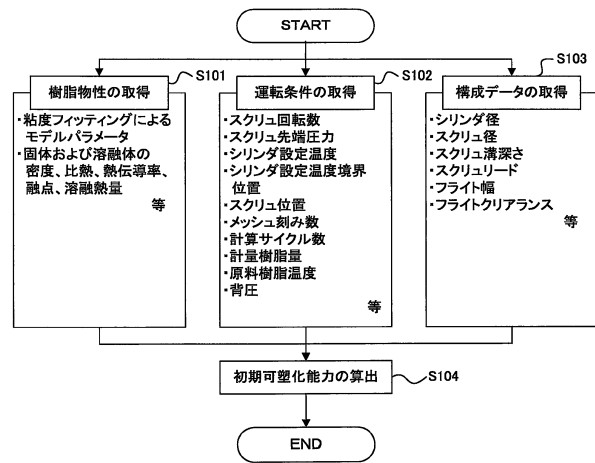
【図4】



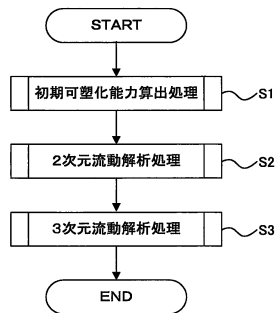
【図5】



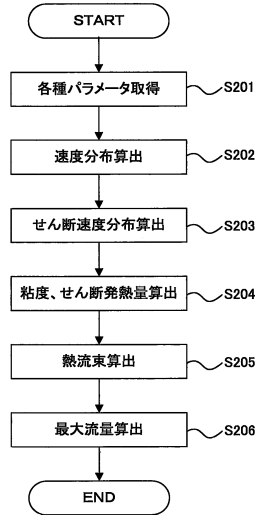
【図7】



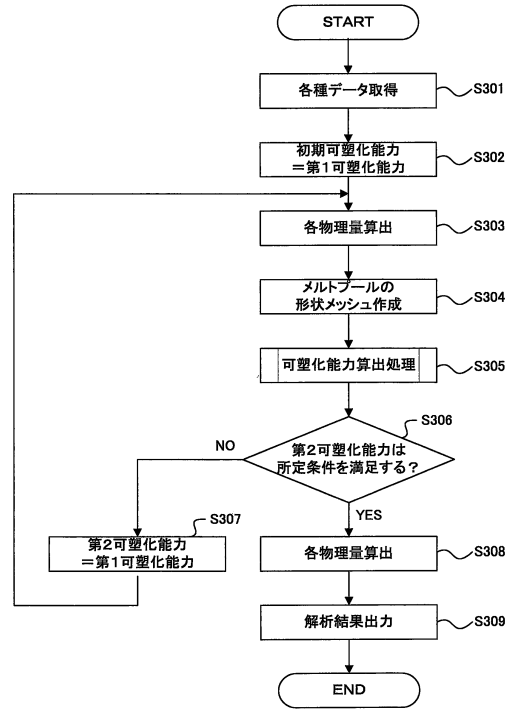
【図6】



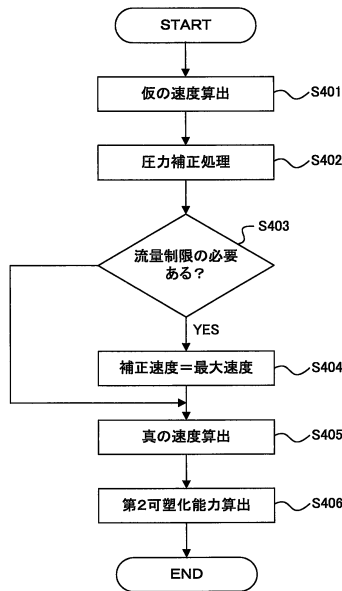
【図8】



【図9】



【図10】



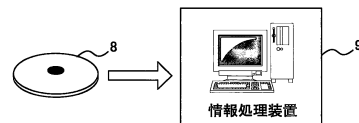
【図12】

	実験結果	解析結果A	解析結果B
PP	-	106.5	88.9
PE	-	94.1	85.1
PMMA	-	96.5	107.1
PA6	-	99.6	78.9
PA66	-	96.4	77.9

【図13】

	実験結果	解析結果A	解析結果B
PP	-	6.5	11.1
PE	-	5.9	14.9
PMMA	-	3.5	7.1
PA6	-	0.4	21.1
PA66	-	3.6	22.1

【図14】



【図11】

	実験結果	解析結果A	解析結果B
PP	33.371	35.545	29.670
PE	39.296	36.996	33.437
PMMA	47.889	46.233	51.293
PA6	47.737	47.538	37.661
PA66	42.124	40.623	32.806

フロントページの続き

審査官 関口 貴夫

(56)参考文献 特開2007-007951(JP,A)
特開平04-364921(JP,A)
特開平06-335953(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B29C 45/76