

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4327609号
(P4327609)

(45) 発行日 平成21年9月9日(2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月19日(2009.6.19)

(51) Int. Cl.		F I		
G05B	19/418	(2006.01)	G05B	19/418 Z
G06F	17/50	(2006.01)	G06F	17/50 612H
G06F	19/00	(2006.01)	G06F	17/50 636D
			G06F	19/00 110

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2003-584838 (P2003-584838)	(73) 特許権者	505005049
(86) (22) 出願日	平成14年9月20日 (2002.9.20)		スリーエム イノベイティブ プロパティ ズ カンパニー
(65) 公表番号	特表2005-523495 (P2005-523495A)		アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133 -3427, セント ポール, ポスト オ フィス ボックス 33427, スリーエ ム センター
(43) 公表日	平成17年8月4日 (2005.8.4)	(74) 代理人	100099759
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/029942		弁理士 青木 篤
(87) 国際公開番号	W02003/087958	(74) 代理人	100092624
(87) 国際公開日	平成15年10月23日 (2003.10.23)		弁理士 鶴田 準一
審査請求日	平成17年8月12日 (2005.8.12)	(74) 代理人	100102819
(31) 優先権主張番号	10/120, 588		弁理士 島田 哲郎
(32) 優先日	平成14年4月10日 (2002.4.10)	(74) 代理人	100110489
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 篠崎 正海

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多層化材料の製造の1次元モデル化

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1次元計算技術を用いて、複合多層材料の製造に関するモデルの作成の方法において、ユーザからのセグメントデータを受信するステップであって、前記セグメントデータは製造プロセスを一連のセグメントに分割し、かつセグメント各々を複数の層を有するように形成しており、前記製造プロセスには多層の材料を製造することが含まれていて、そして前記セグメントデータは、前記製造プロセス内で前記材料が通る経路に沿っておよび前記プロセスの少なくとも1つの構成要素の表面に沿って、前記製造プロセスを分割する、ユーザからのセグメントデータを受信するステップと；

前記セグメントデータの関数として、該セグメント各々の層の寸法に関するプロセスパラメータの値を計算するステップであって、計算エンジンが前記プロセスパラメータの値の計算を実行し、そして前記セグメントデータが前記多層の材料の層又は前記製造プロセスにおける前記多層の材料に接触する一つ以上の構成要素の層、又はそれらの組み合わせを規定するようになっている、プロセスパラメータの値を計算するステップと、を含む方法。

【請求項2】

前記プロセスパラメータの値を計算する段階が、前記複数の層に関する位置のグリッドの有限差分式を評価するステップを含んでいて、前記有限差分式が、

【数 1】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{j,k} = \frac{A_j k_{j+1/2} \frac{T_{j+1} - T_j}{z_{j+1} - z_j} - A_{j-1} k_{j-1/2} \frac{T_j - T_{j-1}}{z_j - z_{j-1}}}{\frac{1}{2} V_j^+ (z_{j+1} - z_j) + \frac{1}{2} V_j^- (z_j - z_{j-1})}$$

10

を含み、
式中、

【数 2】

層が平坦であるときは、 $A_j = 1$ であるが、湾曲している場合には $A_j = \frac{r_{j+1} + r_j}{r_{OD}}$

【数 3】

20

層が平坦であるときは、 $V_j^+ = 1$ であるが、湾曲している場合には $V_j^+ = \frac{r_{j+1} + 3r_j}{4r_{OD}}$

【数 4】

層が平坦であるときは、 $V_j^- = 1$ であるが、湾曲している場合には $V_j^- = \frac{r_{j-1} + 3r_j}{4r_{OD}}$

30

である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

さらに、前記複数の層に関する曲率のデータを受信するステップと、
前記プロセスパラメータにもとづいて前記製造プロセスを制御する段階であって、前記
プロセスパラメータの値は 1 次元の有限差分モデルを用いて、前記曲率の逆数として前記
複数の層に関するプロセスパラメータに対して計算される、請求項 1 又は 2 に記載の方法

40

【請求項 4】

コンピュータ読取り可能媒体が命令を含んでいて、
該命令は、プロセッサに対して：
製造プロセス内で多層の材料が通る経路に沿って、および前記プロセスの少なくとも
1 つの構成要素の表面に沿って、製造プロセスの一連のセグメントを規定するユーザから
のデータを受信するためのユーザインターフェイスを提供させ、前記セグメントの前記デ
ータが前記セグメントのそれぞれに関して前記多層の材料の層又は前記プロセスにおける
前記多層の材料に接触する一つ以上の構成要素の層、又はそれらの組み合わせを規定するこ
とと；

前記セグメントの前記層の厚さに関するプロセスパラメータの値を計算させることと

50

；を行なわせるようになっている、
コンピュータ読取り可能媒体。

【請求項 5】

前記プロセスパラメータの値は 1 次元計算モデル前記セグメントデータに適用することにより、各セグメントの層の厚さに関するプロセスパラメータに対して計算される、請求項 4 に記載のコンピュータ読取り可能媒体。

【請求項 6】

システムが：

製造プロセスを規定し、前記製造プロセスを複数の層を有する一連のセグメントに分割するセグメントデータであって、前記製造プロセス内で前記材料が通る経路に沿って、および前記プロセスの少なくとも 1 つの構成要素の表面に沿って、前記製造プロセスを分割するセグメントデータを受信するためのユーザインターフェイスと；

前記一連のセグメントの前記複数の層の厚さに関するプロセスパラメータの値を計算するために、1 次元モデルを呼び出すための計算エンジンと；

を含むシステム。

【請求項 7】

前記計算エンジンにより適用された前記 1 次元モデルは、前記一連のセグメントの前記複数の層の厚さに関してプロセスパラメータの値を計算するために前記セグメントに適用された 1 次元計算モデルである、請求項 6 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、製造プロセスのコンピュータモデル化などのコンピュータモデル化に関する。

【背景技術】

【0002】

任意の産業の製造環境において、製造プロセスの正確な制御がきわめて重要である可能性がある。無駄なプロセス制御は、所望の収率および品質レベルを満たさない製品を生じる可能性がある。さらに、不十分なプロセス制御では、原材料の使用や人件費などが増大するために、費用が著しく嵩む可能性がある。したがって、改良したプロセス制御を得ることを目指して、多くのメーカーが製造プロセスに関する計算モデルまたはシミュレーションの開発を模索している。モデル化の専門家は、たとえば、種々のツールおよび種々のモデル化技術を用いて、計算モデルを開発することができる。モデル化技術としては、たとえば、有限要素解析、有限差分解、ニューラルネットワーク、線形回帰、部分最小二乗 (PLS)、主成分分析などを挙げることができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

一般に、本発明は、1 次元計算技術を用いて、複合多層材料の製造に関する正確なモデルの作成および実行を提供する。さらに具体的に言えば、この技術を用いて、製造プロセス中の材料に関連する温度などのプロセスパラメータの変動を計算してもよい。

【課題を解決するための手段】

【0004】

一実施形態において、本方法は、材料を製造するためのプロセスを分割するセグメントデータを受信して、1 層以上の層を有する一連のセグメントにするステップを含み、セグメントデータが製造プロセス内で材料が通る経路に沿って、およびプロセスの少なくとも 1 つの構成要素の表面に沿って、製造プロセスを分割する。セグメントデータは、材料の層のほか、ローラおよびベルトなどの材料と接触する可能性があるプロセス内の構成要素の層も規定することができる。この方法は、セグメントの層の厚さに関するプロセスパラメータの計算値をさらに含む。方法は、規定されたセグメントおよび層に関する値を計算

10

20

30

40

50

するために、1次元有限差分モデルなどの1次元モデルを呼び出すステップを含んでもよい。このような態様で、1次元モデル化技術を用いて、複合多層材料の製造をモデル化することができる。

【0005】

他の実施形態において、本システムは、製造プロセスを規定し、層を有する一連のセグメントに製造プロセスを分割するセグメントデータを受信するためのユーザインターフェイスを具備し、セグメントデータは製造プロセス内で材料が通る経路に沿って、およびプロセスの少なくとも1つの構成要素の表面に沿って、製造プロセスを分割する。システムは、各層の厚さに関するプロセスパラメータに関する値を計算するために、計算エンジンをさらに具備する。

10

【0006】

他の実施形態において、コンピュータ読取り可能媒体は、プロセッサに、製造プロセス内で材料が通る経路に沿って、およびプロセスの少なくとも1つの構成要素の表面に沿って、製造プロセスの一連のセグメントを規定するユーザからのデータを受信するためのユーザインターフェイスを提供させる命令を含み、セグメントデータがセグメントのそれぞれに関して1層以上の層を規定する。媒体は、セグメントの層の厚さに関するプロセスパラメータの計算値を計算するための命令をさらに含む。

【0007】

本発明は、1つ以上の利点を提供することができる可能性がある。たとえば、本願明細書に述べるように、1次元モデル化技術を用いて、複合多層材料の製造をモデル化することができる。これらの技術は、多次元有限要素解析などのより複雑な技術より実質的に高速かつ正確である可能性がある。したがって、本技術をオフラインで用いて、製造プロセスを記述し、モデル化してもよく、または製造プロセスの実時間制御を行うために、製造環境内に本技術を組込んでよい。

20

【0008】

さらに、本技術を用いて、ウェブ、フィルム、シートなどのその長さおよび幅より実質的に小さい厚さの任意の材料の製造をモデル化することができる。本技術は、張力、歪み、硬化速度、溶剤比、結晶化度などの材料の厚さに関して変更することができる任意のプロセスパラメータに容易に適用されることができる。

【0009】

本発明の1つ以上の実施形態に関する詳細は、添付図面および以下の説明に記載される。本発明の他の特徴、目的および利点は、説明および図面、特許請求の範囲から明白となるであろう。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

図1は、プロセス管理ソフトウェア4が製造プロセス6中、材料7内のプロセスパラメータの変動を計算するための計算エンジンを組込んだ実施例のシステム2を示すブロック図である。詳細には、計算エンジン8は、1次元計算技術を用いて、複合多層材料の製造に関する正確なモデルの作成および実行を行う。

【0011】

材料7は、その長さおよび幅より実質的に小さい厚さを有する種々の異なるタイプの材料のいずれか1つを含むことができる。材料7は、たとえば、ウェブ、フィルム、シートなどを含んでもよい。技術は材料7の厚さに関する温度の変動のモデル化に関して、本願明細書に記載されるが、本技術は張力、歪み、硬化速度、溶剤比、結晶化度などの他のプロセスパラメータに容易に適用されることができる。

40

【0012】

一般に、プロセス管理ソフトウェア4は、ワークステーションなどの計算装置または特定のプロセス制御ハードウェアによって提供される計算環境内部で実行する。プロセス管理ソフトウェア4は、材料7を製造するために、製造プロセス6を管理するための信号5を提供する。1つ以上のプロセスパラメータに関する計算値に基づいて、プロセス管理ソ

50

ソフトウェア 4 は、データ、閾値、目標レベル、製造プロセス 6 によって使用するための他の情報を制御することができる。さらに、プロセス管理ソフトウェア 4 は、プロセスデータ 9 を監視して記録することができる。プロセスデータ 9 は、温度、処理時間、速度、厚さ、流速、濃度、重量などの多種多様なプロセスパラメータを示すデータを含んでもよい。

【 0 0 1 3 】

以下に詳細に述べるように、ユーザインターフェイス 1 0 により、モデリングエンジニアなどのユーザ 1 6 は、1 次元計算法を用いて材料 7 の変動をモデル化することができるように、製造プロセス 6 を 1 つ以上の個別のセグメントに分割するセグメントデータを提供することができる。詳細には、ユーザは、材料 7 が通る経路に沿って、および製造プロセス 6 内の構成要素の表面に沿って、計算エンジン 8 の 1 つ以上のルールに従って、製造プロセス 6 のセグメントを規定する。ユーザ 1 6 は、材料の少なくとも 1 つの表面に関する境界条件が変化するとき、新たなセグメントを規定するためにセグメントデータを提供してもよい。たとえば、ユーザ 1 6 は、材料 7 の表面が経路に沿って浴槽またはローラなどの製造プロセス 6 の新たな構成要素と接触するたびに、新たなセグメントを規定してもよい。別の例として、ユーザ 1 6 は、第 2 の材料が材料 7 の表面の上に積層されるときに、材料 7 の新たなセグメントを規定してもよい。さらに、ユーザ 1 6 は、製造プロセスの構成要素が第 2 の材料に接触するか、または境界条件における変化を受けるときに、新たなセグメントを規定してもよい。

【 0 0 1 4 】

各セグメントに関して、ユーザ 1 6 は、材料 7 の平均速度、材料の平均厚さ、材料の 1 つ以上の表面に関する境界条件などの種々の情報を提供することができる。さらに、ユーザ 1 6 によって与えられるセグメントデータは、セグメント内に導入され、1 次元計算法によって検討しなければならない任意の層について記載する。たとえば、データは、材料 7 自体の層、製造プロセス 6 の構成要素の層またはそれらの任意の組合せについて記載してもよい。各層に関して、データは、厚さ、層の材料、初期条件などを記載してもよい。

【 0 0 1 5 】

さらに、ユーザ 1 6 は、規定される層が遭遇する任意の曲率を記載するデータを提供してもよい。一般に、曲率データは、材料 7 が通る経路に対する各層に関する表面外形に対する角度変化を記述する。このような態様で、曲率データは、回転構成要素に接触するときなど、材料 7 が方向における変化を受けるとき、層の表面外形に対する任意の変化を扱う。曲率データは、たとえば、層を通る弧の半径を特定してもよい。各層に関して、ユーザ 1 6 は、材料によって接触される回転構成要素の外形、材料 7 に対する構成要素の位置、巻き角、開始角度、最終角度などを与えてもよい。一部の層の場合には、曲率データは、通った経路に対する方向の変化を層が受けないという事実を反映することになる。

【 0 0 1 6 】

計算エンジン 8 は、示された層に関するプロセスパラメータの変動による曲率の影響を正確に計算するために、1 次元計算法を適用する。計算エンジン 8 は、1 次元計算法を適用して、温度および層の厚さなどの変動などのプロセスパラメータの変動をモデル化し、他の変動が層の境界条件において局所的なエッジ効果によって生じやすいことを認識する。言い換えれば、計算エンジン 8 はこの技術を用いて、各層の厚さが材料 7 内でプロセスパラメータのエッジ効果に対して優位を占める可能性があることを認識する。一実施形態において、計算エンジン 8 は、層にわたる一連の位置に関するプロセスパラメータの値を計算するために、有限差分モデルを呼び出す。

【 0 0 1 7 】

詳細に述べるように、一実施形態において、計算エンジン 8 は、層の曲率が近似しているか、または考慮されない場合より正確に、プロセスパラメータの変動をモデル化するために、曲率データを利用する。計算エンジン 8 は、たとえば、曲率データによって規定される弧の半径に対する層の厚さの比を計算してもよく、モデルの呼び出し時に、計算された比を利用してもよい。以下に述べるように、一実施形態において、計算エンジン 8 は各

10

20

30

40

50

セグメントを平坦なセグメントとしてモデル化するので、ユーザ 16 は曲率データを与える必要はない。各セグメントを平坦なセグメントとしてモデル化することは、プロセスの変動の正確さの劣る推定値を生じる可能性がある。しかし、この技術は、一部の環境では十分な推定値を提供することができ、計算リソースが少なく済む可能性がある。

【0018】

プロセスパラメータに関する計算値に基づいて、プロセス管理ソフトウェア 4 は製造プロセス 6 を制御する。さらに、ユーザインターフェイス 10 は、ディスプレイ 12 を介してユーザ 16 に計算したプロセスパラメータを提示してもよい。入力/出力 (I/O) 装置 19 との対話によって、ユーザ 16 は、モデルに対する種々の入力を調整して改良することができる。詳細には、以下に示すように、ユーザインターフェイス 10 は、スライダー、トグルスイッチまたはユーザ 16 が曲率データ、セグメントデータ、境界条件などを調整することができるデータ入力フィールドなどの種々の I/O 制御を表示してもよい。

10

【0019】

製造プロセス 6 の実時間制御を行うためのプロセス管理ソフトウェア 4 の一部として示されているが、計算エンジン 8 およびユーザインターフェイス 10 は、製造プロセス 6 をモデル化するためにオフラインで容易に用いることができる。このような態様で、計算エンジン 8 およびユーザインターフェイス 10 は、製造環境内に組込む必要はない。

【0020】

図 2 A は、複数のセグメントへの実施例の製造プロセス 6 の分割を示す概略図である。詳細には、新たなセグメントは、経路 P に沿って、およびプロセス 6 内の構成要素の表面に沿って規定される。たとえば、新たなセグメントは、材料 7 の表面に関する境界条件が変化するとき、たとえば、材料 7 の表面がローラ 18 A ~ 18 D またはエアジェット 24 などの製造プロセス 6 の新たな構成要素と接触するときに規定されてもよい。境界条件における変化の別の実施例は、たとえば、ラミネーションプロセスなどにおいて、ニップローラ 22 によって材料 7 上に材料 23 を積層またはコーティングするなどの材料 7 の表面の上に第 2 の材料を積層することである。セグメント間の変わり目は、図 2 A の中では点線によって示される。

20

【0021】

たとえば、製造プロセス 6 は、材料 7 の源で始まる第 1 のセグメント S1 に分割され、たとえば、ダイ 20 からローラ 18 A に材料 7 が適用される。材料 7 がローラ 18 A を離れると、セグメント S2 が始まり、材料 7 の表面に関して境界条件の変化が生じる。材料 7 の前縁がローラ 18 B に接触するとき、セグメント S2 が終わって、セグメント S3 が始まる。セグメント S4 は、材料 7 の後縁がローラ 18 B から離れる点で始まる。

30

【0022】

同様に、ローラ 18 C は、2 つの新たなセグメント S5、S6 を導入する。セグメント S7 は、材料 7 が液体浴槽 21 に接触する点で始まる。浴槽 21 内に位置するローラ 18 D は、セグメント S8、S9 を生じる。セグメント S10 は、材料 7 が浴槽 21 から離れる点で始まる。材料 7 がニップローラ 22 と接触するときに、セグメント S11 が始まる。さらなる材料 23 がニップローラ 22 によって材料 7 の上に積層されるときに、セグメント S12 が始まる。最後に、材料 7 および材料 23 がエアジェット 24 に達するときに、セグメント S13 が始まる。

40

【0023】

さらに、セグメントは、ローラ 18 の非接触部分をモデル化するために規定されてもよい。たとえば、セグメント S1' は、ローラ 18 A の非接触部分をモデル化するために規定される。同様に、セグメント S3'、S5'、S8'、S11'、S11" は、ローラ 18 B、18 C、18 D およびニップローラ 22 の非接触部分をそれぞれモデル化する。このような態様で、計算エンジン 8 は、ローラの非接触部分の状態のために生じるプロセスパラメータの変化を考慮する。

【0024】

50

一部の状態において、回転構成要素は、複数のセグメントに影響を及ぼしうる。したがって、より複雑な製造プロセスの場合には、1つ以上の組の循環セグメントを規定することができる。

【0025】

図2Bは、複数のセグメントへの別の実施例の製造プロセス6の分割を示す概略図である。詳細には、図2Bは、複雑な組の循環セグメントを規定することができる2つの具体的な状態を示す。たとえば、セグメントS1～S8は、一連の循環セグメントを形成する。材料7が一連のセグメントを通るとき、第1のセグメント、たとえば、S1内で温度などのプロセスパラメータが、1つ以上の他のセグメント、たとえば、S8のプロセスパラメータによって影響されるという意味では、セグメントS1～S8は循環と見なすことができる。別の例として、材料7は、異なる直径を有する3つのローラの周囲に巻き付けるベルトと接触する。この実施例において、セグメントS11～S20は、一連の循環セグメントを形成する。

10

【0026】

図2Aおよび図2Bは、材料7の経路に回転部材を導入することにより、1つ以上の新たなセグメントを規定することになるという原理を示している。しかし、新たなセグメントは、プロセスパラメータに実質的に影響を及ぼさない部材に関して規定される必要があるとは限らない。たとえば、計算エンジン8は、材料7の温度まで急速に加熱する回転部材に関して新たなセグメントを規定することなく、材料7内の温度変動を正確にモデル化してもよい。

20

【0027】

図3は、複数の層25A～25C(ここでは層25)を含むためにモデル化される製造プロセスの実施例のセグメント26に関して、計算エンジン8によって規定される有限差分グリッドの概略図である。詳細には、層25A、25Bを有する材料が、温度制御ローラ25Cによって移動される。したがって、セグメント26は、3つの層25A、25B、25C(ここでは層25)を含むように規定される。

【0028】

具体的なセグメント26について記載するセグメントデータに関して、計算エンジン8は、層25A、25Bおよびローラ25Cの厚さによって配置される方向Zに沿って、一連の位置 $L_1 \sim L_j$ (ここでは位置L)を含むようなグリッドを規定する。計算エンジン8が層25の境界付近でプロセスパラメータの急な勾配を捕捉し、層25内で異なる間隔を規定することができるように、位置Lは不規則に離隔されていてもよい。この実施例において、計算エンジン8は、セグメント26の層25を5箇所、3箇所および7箇所にそれぞれ再分割し、合計15箇所の位置を生じ、そのうち13箇所は唯一である。

30

【0029】

位置Lにおけるプロセスパラメータの値を計算するために、計算エンジン8は、他の変動が層の境界条件における局所的なエッジ効果によって影響されやすいことを認識する1次元計算法を呼び出す。したがって、層にわたる熱伝導に関するエネルギー式は、

【数1】

40

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{G} \quad (1A)$$

のように書くことができる。

【0030】

曲率データを利用すると、式は

50

【数2】

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot k \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{G} \quad (1B)$$

のように書くことができる。

式中、 k および C_p は、各層内の定数であり、 r は材料7の経路に沿って層が通る弧の半径を表す。図3に示されているように、 r は回転構成要素の外径 r_{OD} に対して半径として指定されてもよい。以下の計算方法は、(1A) および (1B) が交換可能に解くことができる新たな定式化を示す。各層に関する初期条件は一定であってもよく、または個別の値が各位置に割当てられてもよい。境界条件はまた、層の第1の表面および最後の表面に割当てられてもよく、一定の表面温度、対流または灰色体放射などの複数のオプションから選択されてもよい。

$$T_{\text{surface}} = T_{\text{wall}} \quad (2)$$

$$q = h (T_{\text{surface}} - T_{\infty}) \quad (3)$$

$$q = \epsilon \sigma (T_{\text{surface}}^4 - T_{\infty}^4) \quad (4)$$

【0031】

これらの式において、 h は対流係数であり、 T_{∞} は周囲の温度であり、 ϵ は放射率であり、 σ はボルツマン定数である。一定の表面温度境界条件は実際には対流として導入され、対流係数は、一定の表面温度を確保するために、各時間ステップに関して内部で計算される。以下は、 h に関する代表的な値である。

【0032】

【表1】

表1

静止大気	8W/m ² K
平行気流	30W/m ² K
空気衝突	100W/m ² K
乱流水	1000W/m ² K

【0033】

あるタイプのヒータでは、放射が、フィルムによって内部で吸収されるほか、表面でも吸収される。強度 I_s (単位面積当たりの出力) を有する放射が表面に達する場合には、強度は、層の吸収係数 κ に応じて指数関数的に減少する。これは、逆数の長さを単位にして

【数3】

$$I = I_s e^{-\kappa z} \quad (5)$$

と表現することができる。

式中、 z は層の表面からの距離である。大半の材料の場合には、吸収係数は波長と共に変化するため、この平均吸収係数はある程度注意して用いなければならない。任意の位置におけるエネルギー吸収速度（単位体積当たり）は、以下の式

【数 4】

$$\dot{G} = I_s \bar{\kappa} e^{-\bar{\kappa} z} \quad (6)$$

10

によって与えられる。

【0034】

図 3 に示されているように、この技術は、層 25 に対して有限差分グリッドを利用する。位置は、 z 方向において $j = 1 \sim j_{\max}$ と番号をつけることができ、 z_j 、 r_j として表現される座標を有することができる。この技術は、ラグランジェ (Lagrangian) のアプローチを利用し、セグメントに対する計算ステップとして、材料 7 に関する z_j 座標を移動させる。

【0035】

20

z_j および t_k を表すために、添え字 j および k を用いると、変数の値は、 $T_{j,k}$ 、 k_j 、 c_p および $(c_p)_{j,k}$ として書くことができる。他の節点の数量は、同様の態様で書かれる。

【0036】

エネルギー式は、不均等な間隔のグリッドにおいて、熱伝導の項

【数 5】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{k} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

30

または

【数 6】

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \mathbf{k} \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

40

の有限差分式を必要とする。 $k_{j+1/2}$ は温度 $(T_{j+1} + T_{j-1}) / 2$ で導電率を表し、 $k_{j-1/2}$ は同様に規定される。式は、新たな制御体積の定式化によって

【数 7】

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{z}} \left(\mathbf{k} \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \mathbf{z}} \right)_{j,k} = \frac{A_j k_{j+1/2} \frac{T_{j+1} - T_j}{z_{j+1} - z_j} - A_{j-1} k_{j-1/2} \frac{T_j - T_{j-1}}{z_j - z_{j-1}}}{\frac{1}{2} V_j^+ (z_{j+1} - z_j) + \frac{1}{2} V_j^- (z_j - z_{j-1})} \quad (7a)$$

10

のように近似される。

式中、相対的な節点領域および要素の体積を表す 3 つの新たな数量が、導入される。

【数 8】

$$\text{層が平坦であるときは、} A_j = 1 \text{ であるが、湾曲している場合には } A_j = \frac{r_{j+1} + r_j}{r_{OD}} \quad (8a)$$

20

【数 9】

$$\text{層が平坦であるときは、} V_j^+ = 1 \text{ であるが、湾曲している場合には } V_j^+ = \frac{r_{j+1} + 3r_j}{4r_{OD}} \quad (8b)$$

30

【数 10】

$$\text{層が平坦であるときは、} V_j^- = 1 \text{ であるが、湾曲している場合には } V_j^- = \frac{r_{j-1} + 3r_j}{4r_{OD}} \quad (8c)$$

40

【0037】

(7a) が位置の差に関して表現されているため、 z_j および r_j は式 (たとえば $z_j - z_{j-1} = r_j - r_{j-1}$) において交換可能であることに留意されたい。このようにして、1 組の式において、湾曲した層および平坦な層を継ぎ目なく結合する目的が実現されることができる。したがって、ユーザ 16 が曲率データを提供しない実施形態において、計算エンジン 8 は、各セグメントを平坦なセグメントとして、すなわち、 $A_j = 1$ 、 $V_j^+ = 1$ および $V_j^- = 1$ を設定することによって、容易にモデル化することができる。この態様において、各セグメントを平坦なセグメントとしてモデル化するために、(7a) は、以下の

50

ように書き直してもよい。

【数 1 1】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{j,k} = \frac{\frac{k_{j+1/2} T_{j+1}}{z_{j+1} - z_j} - \frac{k_{j+1/2} T_j}{z_{j+1} - z_j} - \frac{k_{j-1/2} T_j}{z_j - z_{j-1}} + \frac{k_{j-1/2} T_{j-1}}{z_j - z_{j-1}}}{\frac{1}{2}(z_{j+1} - z_{j-1})} \quad (7b)$$

10

【0038】

導電率値を位置間で評価することができるため、境界における平均導電率を計算する必要はない。エネルギー式を用いて、時間の導関数の十分に間接的な処理を用いる。これらの特徴によって、エネルギー式は、

【数 1 2】

$$(\rho C_p)_j \left[\frac{T_{j,k} - T_{j,k-1}}{\Delta t} \right] = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{j,k} + \dot{G}_j \quad (9)$$

20

となる。

【0039】

したがって、境界における $(C_p)_j$ の平均値は、以下のように計算することができる。

【数 1 3】

$$(\rho C_p)_j = \frac{(\rho C_p)_{j+1/2} \frac{1}{2} V_j^+ (z_{j+1} - z_j) + (\rho C_p)_{j-1/2} \frac{1}{2} V_j^- (z_j - z_{j-1})}{\frac{1}{2} V_j^+ (z_{j+1} - z_j) + \frac{1}{2} V_j^- (z_j - z_{j-1})} \quad (10)$$

30

【0040】

また、さらなる境界条件を考慮してもよい。2層が接触するとき、総エネルギーが保存されるため、表面温度は平均化されることができる。2層 a、b に関して、この平均接触温度は、以下のように書くことができる。

40

【数 1 4】

$$\mathbf{T}_{\text{contact},j} = \frac{(\rho C_p)_{j+1/2} \frac{1}{2} \mathbf{V}_j^+ (z_{j+1} - z_j) \Gamma_{a,j} + (\rho C_p)_{j-1/2} \frac{1}{2} \mathbf{V}_j^- (z_j - z_{j-1}) \Gamma_{b,j}}{(\rho C_p)_{j+1/2} \frac{1}{2} \mathbf{V}_j^+ (z_{j+1} - z_j) + (\rho C_p)_{j-1/2} \frac{1}{2} \mathbf{V}_j^- (z_j - z_{j-1})} \quad (11)$$

10

【0041】

次に、式(7a)は、伝達項に関して代入することができる。層の底部または上部表面のいずれか、またはその両方から熱発生を生じる可能性があり、以下のようにモデル化されることができる。

【数 1 5】

$$\dot{\mathbf{G}}_j = \frac{\mathbf{I}_{\text{bottom_surface}}}{\frac{1}{2}(z_{j+1} - z_{j-1})} \left[e^{-\frac{1}{2}\bar{k}(z_j + z_{j+1})} - e^{-\frac{1}{2}\bar{k}(z_{j+1} + z_j)} \right] \quad (12)$$

20

【数 1 6】

$$\dot{\mathbf{G}}_j = \frac{\mathbf{I}_{\text{top_surface}}}{\frac{1}{2}(z_{j+1} - z_{j-1})} \left[e^{\frac{1}{2}\bar{k}(z_{j\text{max}}^2 - z_{j+1} - z_j)} - e^{\frac{1}{2}\bar{k}(z_{j\text{max}}^2 - z_j - z_{j-1})} \right] \quad (13)$$

30

【0042】

表面において、これらの式は、境界条件を含むように変更することができる。

【数 1 7】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{k} \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial z} \right)_{j=1,k} = \frac{\mathbf{A}_j \mathbf{k}_{j+1/2} \frac{\mathbf{T}_{j+1} - \mathbf{T}_j}{z_{j+1} - z_j} - \mathbf{h}(\mathbf{T}_j - \mathbf{T}_\infty)}{\frac{1}{2} \mathbf{V}_j^+ (z_{j+1} - z_j)} \quad (14)$$

40

【数 18】

$$\mathbf{G}_{j=1} = \frac{\mathbf{G}_{\text{bottom_surface}}}{z_{j+1} - z_j} \left[\mathbf{1} - e^{-\frac{1}{2} \bar{k} (z_{j+1} + z_j)} \right] \quad (15)$$

10

【0043】

類似の調整は、最後の表面（ $j = j_{\text{max}}$ ）に関して行うことができる。灰色体放射が所望である場合には、（14）は

【数 19】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{k} \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{j=1,k} = \frac{A_j k_{j+1/2} \frac{T_{j+1} - T_j}{z_{j+1} - z_j} - \varepsilon \sigma (T_j^4 - T_\infty^4)}{\frac{1}{2} V_j^+ (z_{j+1} - z_j)} \quad (16a)$$

20

となる。各セグメントを平坦なセグメントとしてモデル化するために、（16a）は、以下のように書き直してもよい。

【数 20】

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{k} \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{j=1,k} = \frac{\frac{k_{j+1/2} T_{j+1}}{z_{j+1} - z_j} - \frac{k_{j+1/2} T_j}{z_{j+1} - z_j} - \varepsilon \sigma (T_j^4 - T_\infty^4)}{\frac{1}{2} (z_{j+1} - z_j)} \quad (16b)$$

30

一定の温度境界条件は、（14）と類似の態様で実現されることができ、対流係数に関しては局所的なビオ数 300 を与えるほど十分に大きく計算されなければならない。 $h = 300 \text{ s q r t} (k \text{ C p} / \text{ t})$

【0044】

40

セグメントの各層の総エネルギーの変化は、セグメントの最初および最後に熱容量を比較することによって計算することができる。表面熱伝達は、セグメント内の各ステップの終わりで計算される。したがって、計算エンジン 8 は、層に関するプロセスパラメータの値を正確に計算するために、上述の 1 次元計算技術と呼び出すことができる。このような態様で、計算エンジン 8 は、複合多層材料の製造を正確にモデル化することができる。

【0045】

図 4 は、プロセス管理ソフトウェア 4 の動作の実施例のモードと、詳細には、上述した計算技術を適用するための計算エンジン 8 を示すフローチャートである。最初に、計算エンジン 8 は、ユーザインターフェイス 10 からセグメントデータを受信する（30）。セグメントデータは、製造プロセス 6 を 1 つ以上の個別のセグメントに分割し、上述したよ

50

うな 1 次元計算法を用いて、材料 7 内の変動をモデル化することができる。各セグメントに関して、セグメントデータは、セグメントタイプ、セグメント名、平均ライン速度、平均ライン幅、セグメントの上の温度、セグメントの上の対流係数、セグメントの下の温度、セグメントの下の対流係数、セグメントの長さをはじめとする種々の情報を記載している。さらに、セグメントデータは、セグメント内に導入され、1 次元計算法によって考慮される必要がある任意の層について記述する。たとえば、セグメントデータは、1 層以上の層の材料のほか、ローラなどの材料と接触しうる製造要素によって導入される層を規定してもよい。

【 0 0 4 6 】

さらに、計算エンジンは、セグメントデータによって導入される層の任意の曲率を記載するデータを受信してもよい (3 2)。提供されるのであれば、曲率データは、材料 7 が通る経路に対する各層の表面外形に対する角度変化を記述する。曲率データは、たとえば、層が通る弧の半径を指定してもよい。各層に関して、ユーザ 1 6 は、材料によって接触される回転構成要素の外径、材料 7 に対する構成要素の位置、巻き角、開始角度、最終角度などを提供してもよい。一部の層に関して、曲率データは、通った経路に対する方向における変化を層が受けないことを反映する。以下の具体的なセグメントデータおよび曲率データは、2 つのセグメント S 1、S 2 を規定する。第 1 のセグメントは、材料の単独層、たとえば、ポリエステル溶融物を導入するが、第 2 のセグメントはポリエステル溶融物を保持するキャストリングホイールの層を導入する。キャストリングホイールの曲率データは、ホイールの外径のほか、ホイールの巻き角を表す。

【 0 0 4 7 】

セグメント 1

タイプ：スパン

名前：カーテン

平均ライン速度：1 3 . 7 m / 分

平均ライン幅：0 . 7 4 7 m

上の温度：2 3

上の対流係数：1 0 W / m²

下の温度：2 3

下の対流係数：1 0 W / m²

作図点：1 9

長さ：0 . 0 5 m

層 1 :

名前：P E T シート

厚さ：2 . 3 m m

開始温度：3 0 2

材料：ポリエステル溶融物

セグメント 2

タイプ：ローラ

ローラ位置：下

名前：キャストリングロール

平均ライン速度：1 3 . 7 m / 分

平均ライン幅：0 . 7 4 7 m

上の温度：2 3

上の対流係数：1 0 W / m²

下の温度：3 5

下の対流係数：1 0 0 0 W / m²

作図点：1 9

外径：1 . 0 m

巻き角：9 0 °

ローラ層： 1

層 1：

名前： シェル

厚さ： 15 . 2 mm

開始温度： 35

材料： 鋼

【 0 0 4 8 】

上述したデータなどのセグメントデータおよび曲率データを受信後、計算エンジン 8 は、層に関するセグメントデータおよび曲率データに基づいて、規定された層の厚さに関するプロセスパラメータの値を正確に計算するために、1次元計算技術呼び出す(34) 10
。示されているように、計算エンジンは、曲率データを利用する上述の計算方法呼び出してよく、または各セグメントを平坦なセグメントとしてモデル化する計算方法呼び出してよい。

【 0 0 4 9 】

ユーザインターフェイス 10 は、計算値をユーザに表示してもよい(36)。さらに、プロセス管理ソフトウェア 4 は、セグメントの計算値に応じて、たとえば、材料 7 に関する速度、圧力、体積または流速を制御することによって、製造プロセス 6 を制御してもよい(38)。

【 0 0 5 0 】

図 5 は、複合多層材料の製造をモデル化するために、1次元計算法の適用をさらに示すフローチャートである。最初に、計算エンジン 8 は、製造プロセスの初期条件を受信する(40)。たとえば、ユーザ 16 は、組のセグメントのうち、第 1 のセグメント内に規定される位置に関する初期入力温度を提供してもよい。計算エンジン 8 は、ユーザ 16 によって提供される初期条件に基づいて、入力ベクトルを設定することによってモデルを初期化し(42)、現在のセグメントカウンタを第 1 のセグメントに設定する(44)。 20

【 0 0 5 1 】

次に、計算エンジン 8 は、現在のセグメントのために規定される層に関して、温度などのプロセスパラメータの予測値の出力ベクトルを計算するために、1次元モデル呼び出す(46)。上述したように、計算エンジン 8 は、層にわたる位置のグリッドにおける値を計算するために、1次元有限差分式呼び出してよい。 30

【 0 0 5 2 】

値の出力ベクトルを計算した後、計算エンジン 8 は、現在のセグメントに関するセグメントデータが、一連の循環セグメントの最後のセグメントを規定するかどうかを決定する(48)ことによって、安定な状態値を計算してもよい。その場合には、計算エンジン 8 は、終了基準が組を満たしているかどうかを設定する(50)。そうでない場合には、計算エンジン 8 は、組において現在のセグメントを第 1 のセグメントに設定し(51)、出力ベクトルに基づいて、入力ベクトルを設定する(52)。計算エンジン 8 は、終了基準が満たされるまで、モデルを繰り返し呼び出す。たとえば、計算エンジン 8 は、反復している間の予測値内の変化が所定の閾値未満に減少したかどうかを決定してもよい。別の例として、層に関する温度変動をモデル化する際に、計算エンジン 8 は、回転構成要素に残っている総熱量が回転構成要素に入る総熱量の所定の閾値内であるかどうかを決定してもよい。 40

【 0 0 5 3 】

終了基準が満たされた場合(50における「YES」の分岐)、またはセグメントがセグメントのサイクルにおける最後のセグメントでない場合(48における「NO」の分岐)には、計算エンジン 8 は、すべてのセグメントがモデル化されたかどうかを決定する(54)。そうでない場合には、計算エンジン 8 は、現在のセグメントの出力ベクトルに基づいて、次のセグメントに関する入力ベクトルを設定し(56)、次に現在のセグメントカウンタを経路に沿って次のセグメントに更新する(58)。計算エンジン 8 は、セグメントのすべてがモデル化されるまで、各セグメントに関してモデル化技術を繰り返す。 50

【 0 0 5 4 】

図 6 は、ユーザ 1 6 が 1 つ以上のセグメントを有する製造プロセスを規定するために対話するユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 6 0 を示している。実施例において、ユーザ 1 6 は、プロセスを 5 つのセグメント 6 4 に分割するために、入力領域 6 2 内にセグメントデータを入力している。さらに、ウィンドウ 6 0 は、ユーザ 1 6 が材料 7 の 1 層以上の層 6 8 について記載するために対話する第 2 の入力領域 6 6 を含む。

【 0 0 5 5 】

図 7 は、ユーザ 1 6 が特定のセグメントに関してさらに詳細なデータを提供するために対話するユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 7 0 を示している。示された実施例において、ユーザ 1 6 は、回転部材を含む「ローラ (R O L L E R) 」と名づけられた現在のセグメントに関するセグメントデータを入力している。回転部材に関してウィンドウ 7 0 によって取得されるセグメントデータは、材料 7 に対する回転部材の位置、部材の名前、セグメント内の材料 7 の平均ライン速度および幅、セグメントの上および下の境界温度および対流係数、セグメントに関する作図点の数、セグメントの長さを含むことができる。さらに、ウィンドウ 7 0 は、回転部材のシェルなどのセグメントによって導入される任意の層 7 2 について記述するセグメントデータを取得する。

【 0 0 5 6 】

さらに、ウィンドウ 7 0 は、ユーザが製造プロセス 6 にわたって材料 7 が通る経路に対して層の曲率を記載するさらなるデータを提供するために対話する入力領域 7 4 を含む。たとえば、ユーザ 1 6 は、回転部材の周囲の弧を通る層の巻き角、回転構成要素の外径、新たな層の開始角度、現在の層の最終角度などをはじめとする曲率データを入力してもよい。図 8 は、曲率データの一部を提供する際に、ユーザ 1 6 を支援するために、ユーザ 1 6 が「拡張 (A D V A N C E D) 」ボタン 7 6 (図 6) を選択する際に、ユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 8 0 を示している。

【 0 0 5 7 】

図 9 は、回転部材によって提供される層を記述するデータを取得するために、ユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 9 0 を示している。詳細には、ウィンドウ 9 0 は層の名前、厚さ、開始温度および材料を取得する。同様に、図 1 0 は、材料 7 の層を記述するデータを取得するために、ユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 1 0 0 を示している。ユーザは、開始セグメントおよび終了セグメントと層を関連付けることができる。このような態様で、層は、複数のセグメントに伸びるように記載されることができる。

【 0 0 5 8 】

図 1 1 は、ユーザ 1 6 がモデル化されるプロセスパラメータに影響を及ぼしうる製造システム 6 内の他の構成要素について記述するために対話するユーザインターフェイス 1 0 によって提示される実施例のウィンドウ 1 1 0 を示している。この実施例において、ユーザ 1 6 は、経路に沿って材料 7 の流れに平行に熱を導入する熱源を規定する。この構成要素に関して、ウィンドウ 1 1 0 は、気温、ライン速度、空気の色度などを含む種々のデータを取得する。

【 0 0 5 9 】

図 1 2 は、セグメントデータによって規定される各層の厚さに関するプロセスパラメータの具体的な計算値を示すユーザインターフェイス 1 0 によって提示されるグラフ 1 3 0 である。図 1 3 は、各層に関して計算エンジン 8 によって規定される有限差分位置に対する各セグメント内のプロセスパラメータの変動を示すユーザインターフェイス 1 0 によって生成されるグラフ 1 4 0 である。

【 0 0 6 0 】

本発明の種々の実施形態が記載されてきた。これらの実施形態および他の実施形態は、特許請求の範囲内にある。

【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

【図 1】プロセス管理ソフトウェアが複合多層材料内のプロセスパラメータの変動を計算するために、1次元モデルを呼び出すための計算エンジンを組込んだ実施例のシステムを示すブロック図である。

【図 2 A】複数のセグメントに分割した実施例の製造プロセスを示す概略図である。

【図 2 B】複数のセグメントに分割した別の実施例の製造プロセスを示す概略図である。

【図 3】複数の層を有する実施例のセグメントによる有限差分グリッドを示す概略図である。

【図 4】プロセス管理ソフトウェアおよび計算エンジンの動作の実施例のモードを示すフローチャートである。

10

【図 5】複合多層材料の製造をモデル化するための1次元計算法の適用をさらに示すフローチャートである。

【図 6】1つ以上のセグメントを有する製造プロセスを規定するために、ユーザが対話するユーザインターフェイスによって示される実施例のウィンドウを示す。

【図 7】ユーザが特定のセグメントに関するさらに詳細なデータを提供する実施例のウィンドウを示す。

【図 8】ユーザが選択した層に関するさらなる曲率データを提供することができる実施例のウィンドウを示す。

【図 9】回転部材によって形成される層を示すデータを捕捉するための実施例のウィンドウを示す。

20

【図 10】材料の層を示すデータを捕捉するための実施例のウィンドウを示す。

【図 11】ユーザがモデル化されるプロセスパラメータに影響を及ぼす可能性がある製造プロセス内の他の構成要素を示す実施例のウィンドウを示す。

【図 12】1次元計算法による各セグメント内のプロセスパラメータに関する計算値を示すユーザインターフェイスによって作成されるグラフである。

【図 13】1次元計算法による各セグメント内のプロセスパラメータに関する計算値を示すユーザインターフェイスによって作成されるグラフである。

【 図 1 】

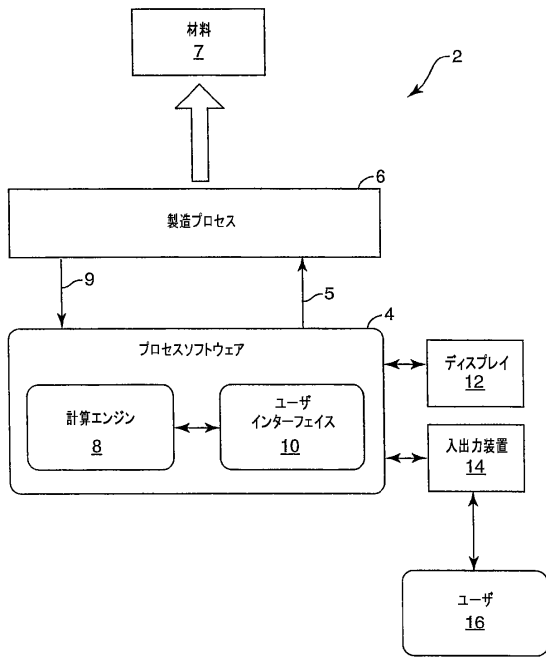


FIG. 1

【 図 2 A 】

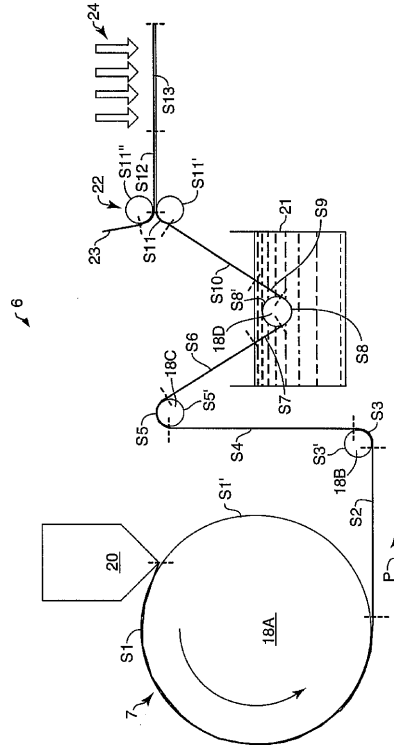


FIG. 2A

【 図 2 B 】

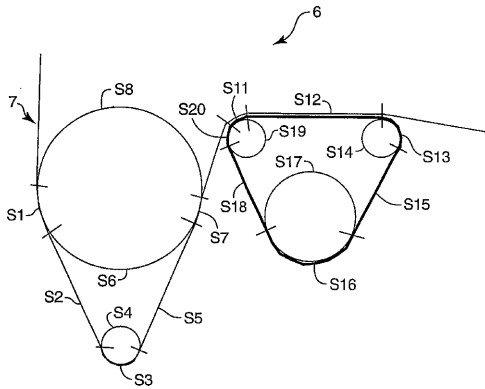


FIG. 2B

【 図 3 B 】

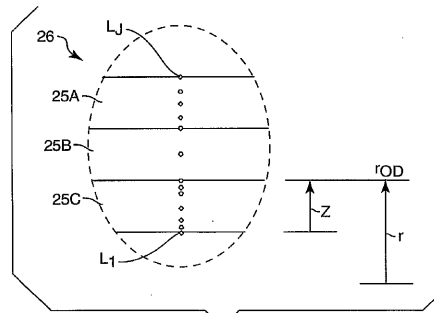


FIG. 3B

【 図 3 A 】

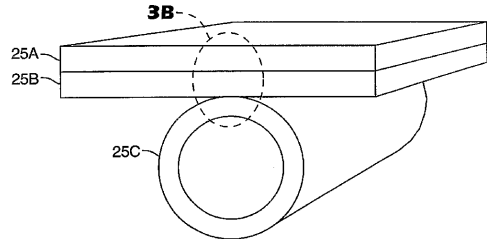


FIG. 3A

【 図 4 】

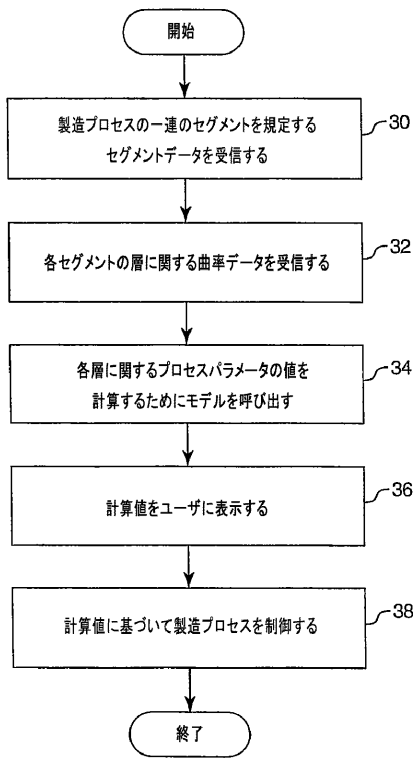


FIG. 4

【 図 5 】

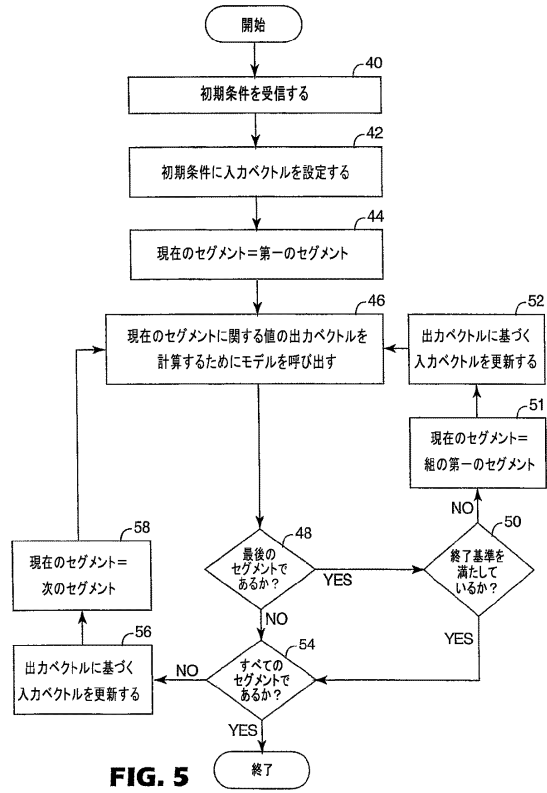


FIG. 5

【 図 6 】

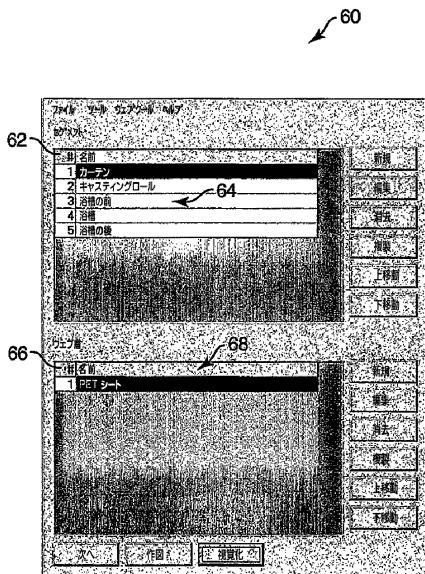


FIG. 6

【 図 7 】

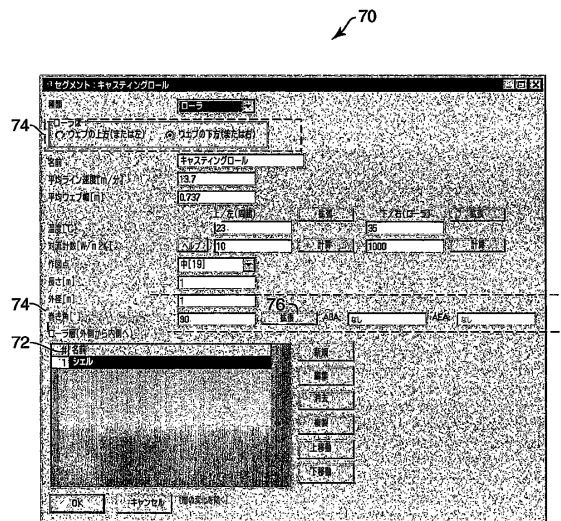


FIG. 7

【 図 8 】

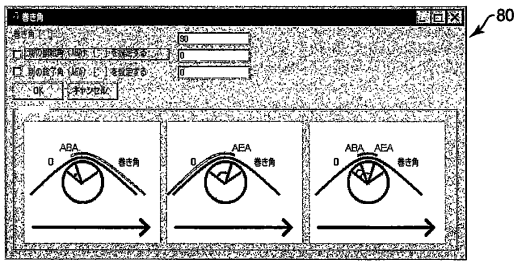


FIG. 8

【 図 10 】

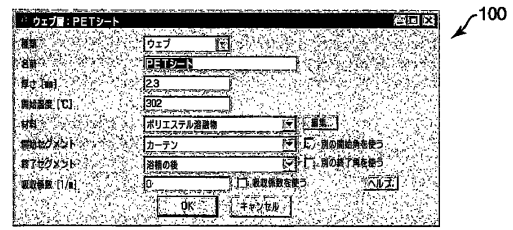


FIG. 10

【 図 9 】

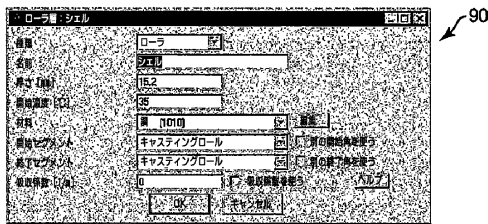


FIG. 9

【 図 11 】

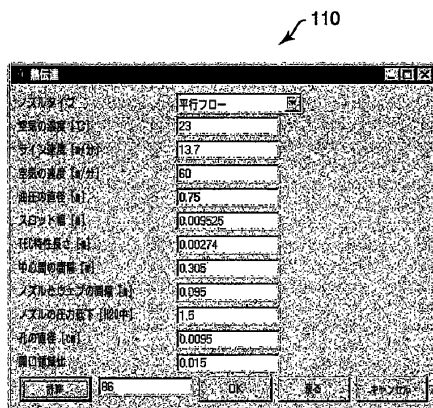


FIG. 11

【 図 12 】

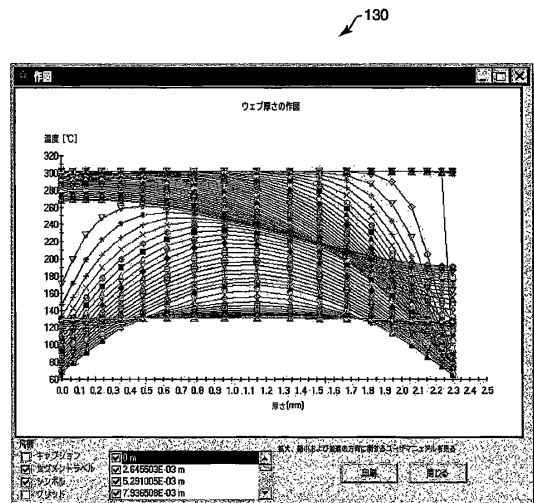


FIG. 12

【 図 13 】

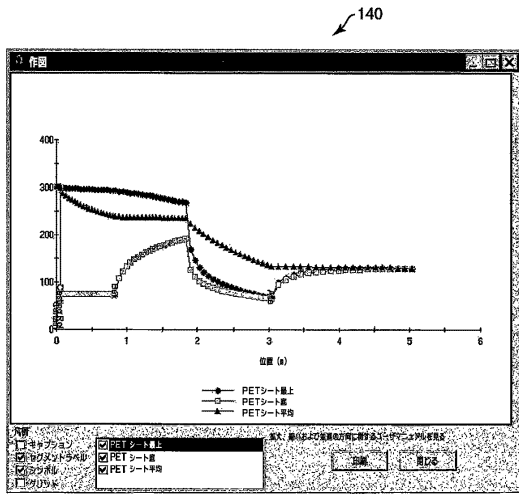


FIG. 13

フロントページの続き

(74)代理人 100082898

弁理士 西山 雅也

(72)発明者 ベイ, ランディー エス.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

(72)発明者 コリンズ, エリサ ジェイ.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

(72)発明者 ドップス, ジェイムズ エヌ.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

審査官 松原 陽介

(56)参考文献 特開2001-113304(JP, A)

特開平02-098641(JP, A)

特開平07-267445(JP, A)

特開平11-024230(JP, A)

特開平09-309665(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/418

G06F 17/50

G06F 19/00