

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2012年3月1日(01.03.2012)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2012/026271 A1

- (51) 国際特許分類:  
B29B 7/58 (2006.01) B29B 9/14 (2006.01)  
B29B 7/48 (2006.01) B29C 47/92 (2006.01)  
B29B 9/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/067120
- (22) 国際出願日: 2011年7月27日(27.07.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2010-191542 2010年8月27日(27.08.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): ポリプラスチック株式会社(Polyplastics Co., Ltd.) [JP/JP]; 〒1088280 東京都港区港南二丁目18番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 平田 邦紘 (HIRATA, Kunihiro) [JP/JP]; 〒4168533 静岡県富士

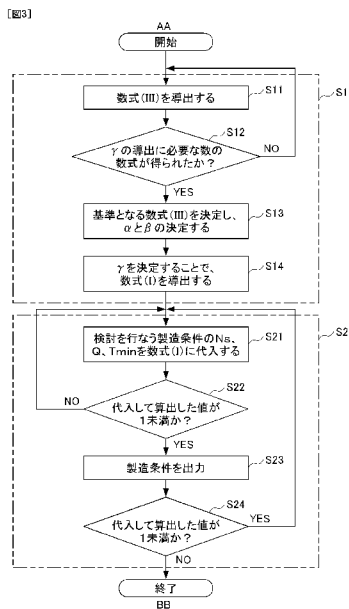
市宮島973番地 ポリプラスチック株式会社内 Shizuoka (JP). 石田 大 (ISHIDA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒4168533 静岡県富士市宮島973番地 ポリプラスチック株式会社内 Shizuoka (JP). 平郡 元一 (HIRAGORI, Motohito) [JP/JP]; 〒4168533 静岡県富士市宮島973番地 ポリプラスチック株式会社内 Shizuoka (JP).

- (74) 代理人: 正林 真之, 外(SHOBAYASHI, Masayuki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1-7-12 サピアタワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,

[続葉有]

(54) Title: SIMULATION DEVICE, PROGRAM, AND RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: シミュレーション装置、プログラム、及び記録媒体



(57) Abstract: Provided are a simulation device which derives production conditions capable of defibrating an undefibrating glass fiber bundle which is a collective body of monofilaments, to monofilaments, in the production of resin molded products using a meshing-type two-or-more-axis extruder; a program for realizing a function of the simulation device; and a computer readable recording medium in which the program is recorded. Disclosed is a method for producing a glass fiber reinforced thermoplastic resin composition pellet, using a two-or-more-axis extruder provided with screws rotating and meshing with each other, wherein, the minimum value of a time integration value of a shearing stress (minimum shearing stress history value ( $T_{min}$ )) received by a glass fiber bundle during the mixing and kneading process, is controlled.

(57) 要約: 噛み合い型の二軸以上の押出機を用いる樹脂成形品の製造において、モノフィラメントの集合体である未解繊ガラス繊維束をモノフィラメントに解繊できる製造条件を導出するためのシミュレーション装置、当該シミュレーション装置の機能を実現するためのプログラム、及び当該プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供する。互いに回転して噛み合うスクリューを備えた二軸以上の押出機を用いて、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法であって、混合混練する際にガラス繊維束が受けるせん断応力の時間積分値の最小値(最小せん断応力履歴値  $T_{min}$ ) を制御する。

- S11... DERIVE NUMERICAL FORMULA (III)
- S12... IS THE NUMBER OF NUMERICAL FORMULAE REQUIRED FOR DERIVING  $\gamma$  OBTAINED?
- S13... DETERMINE REFERENCE NUMERICAL FORMULA (III) AND DETERMINE  $\alpha$  AND  $\beta$
- S14... DERIVE NUMERICAL FORMULA (I) BY DETERMINING  $\gamma$
- S21... SUBSTITUTE  $N_s$ ,  $Q$ , AND  $T_{min}$  OF PRODUCTION CONDITIONS TO BE DISCUSSED IN NUMERICAL FORMULA (I)
- S22... IS VALUE CALCULATED AFTER SUBSTITUTION 1 OR LESS?
- S23... OUTPUT PRODUCTION CONDITIONS
- S24... IS VALUE CALCULATED AFTER SUBSTITUTION 1 OR LESS?
- AA... START
- BB... END

WO 2012/026271 A1



SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, ZA, ZM, ZW.

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,  
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,  
MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア  
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ  
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

### 発明の名称：シミュレーション装置、プログラム、及び記録媒体 技術分野

[0001] 本発明は、熱可塑性樹脂組成物ペレットの製造条件を導出するためシミュレーション装置、当該シミュレーション装置の機能を実現するためのプログラム、及び当該プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

### 背景技術

[0002] 熱可塑性樹脂にガラス繊維を混合混練し、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法としては、押出機に熱可塑性樹脂を供給し、溶融させた後に、ガラス繊維を供給し、押出機内で熱可塑性樹脂とガラス繊維とを混合混練し、混合物を冷却、造粒する方法が一般的である。押出機は、単軸押出機と同方向完全噛み合い型二軸押出機（以下、二軸押出機という場合がある）が使用されるが、単軸押出機と比較して、二軸押出機は生産性と運転の自由度がより高いので、二軸押出機がより好ましく用いられる。

[0003] 上記ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットの製造において、ガラス繊維は、直径が $6\mu\text{m}$ ～ $20\mu\text{m}$ のモノフィラメントを300本～3000本くらいをまとめてひとつの束にしてロービングに巻き取ったものか、ロービングを長さ1～4mmにカットしたもの（以下、チョップドストランドという場合がある）を使用する。取り扱いは、チョップドガラスの方が便利であるため、工業的にガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する場合においては、二軸押出機に熱可塑性樹脂を供給し、熱可塑性樹脂の溶融後、二軸押出機の途中からチョップドガラスを供給し、溶融状態の熱可塑性樹脂とガラス繊維とを混合混練し、混合物を押し出して、冷却固化する方法が最も多く行われている。

[0004] 上記の二軸押出機を用いて行うガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットの生産性は、二軸押出機の可塑化と混合混練の能力によって決定される。

二軸押出機の可塑化能力は、スクリューデザインの他に、スクリューの溝深さ（スクリューの外径と谷径の差）とスクリューが発生するトルクと、回転数に依存する。特許文献1に示されるように、大きな溝深さと、高いトルク及び回転数とを有する二軸押出機が開発された。この開発により二軸押出機の可塑化能力は、飛躍的に向上した。一方、二軸押出機の混合混練能力は、スクリューデザインに依存する。二軸押出機の可塑化能力の向上に伴い、滞留時間が減少した為、短時間で効率のよい混練混合性能を持ったスクリューデザインの開発が求められている。

[0005] ガラス繊維としては、前述のように、300本～3000本のモノフィラメントが、束になったチョップドストランドを一般的に使用する。ガラス繊維をモノフィラメントの束にせず二軸押出機に供給する方法では、モノフィラメントが綿状になり、流動性がなくなり、取り扱いが難しいためである。チョップドストランドは、二軸押出機内で、解繊されモノフィラメントになるまで混合混練される。同時に、モノフィラメントの長さが、 $300\mu\text{m}$ ～ $1000\mu\text{m}$ になるまでチョップドストランドは破断される。

[0006] 二軸押出機内での混合混練が不十分であると、モノフィラメントに解繊しないで、モノフィラメントの集合体の状態である、チョップドストランドの一部、もしくは全部が樹脂組成物ペレット中に残存する。ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットに、チョップドストランドの一部、もしくは全部が残存した場合、射出成形において、ゲートに上記チョップドストランドの一部又は全部が詰まり、射出成形ができなくなるか、射出成形ができたとしても、成形品に上記チョップドストランドの一部又は全部が存在し、外観不良又は機能低下の原因となる。

[0007] ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットの生産性を改善し、経済的に生産するためには、特許文献1の高機能の二軸押出機を使用するようになってきているが、生産性が向上すると、短い滞留時間でチョップドストランドを完全にモノフィラメントに解繊することが一層難しくなり、高い生産性を維持しながらモノフィラメントに解繊する技術が求められている。

[0008] モノフィラメントに解繊するための技術は、実験の繰り返しによって得ることができる。しかし、二軸押出機を使用する実験の場合、膨大な費用と時間がかかる。

[0009] ところで、二軸押出機を使用する実験を行わずに、二軸押出機内での樹脂挙動をシミュレーションにより予測する方法が開発されている。例えば、アンシス社「ポリフロー」、「アンシスCFX」、「Fluent」、アールフロー社「ScrewFlow-Multi」等のソフトウェアを用いれば、二軸押出機内の3次元非等温流動解析が可能であり、さらに粒子追跡解析を組み合わせることで、二軸押出機内での粘度、せん断速度、せん断応力、滞留時間等の局所情報をシミュレーションにより算出できる。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0010] 特許文献1：特表平11-51266号公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明は以上の課題を解決するためになされたものであり、その目的は、噛み合い型の二軸以上の押出機を用いる樹脂成形品の製造において、モノフィラメントの集合体である未解繊ガラス繊維束をモノフィラメントに解繊できる製造条件を導出するためのシミュレーション装置、当該シミュレーション装置の機能を実現するためのプログラム、及び当該プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、以上の課題を解決するために鋭意研究を重ねた。

その結果、数値解析によって得られる物理量である、平均せん断応力履歴、平均せん断歪履歴、比エネルギー、最短粒子流出時間等のいずれも、未解繊ガラス繊維束を含むペレット数N（単位重量あたりの未解繊ガラス繊維束を含むペレットの個数）と明確な相関がないこと、を見出すとともに、粒子

追跡法によって導出される、各ガラス繊維束に加わるせん断応力の時間積分値の中で最も小さい値である最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  が、未解繊ガラス繊維束を含むペレット数  $N$  と相関があることを見出した。

また、二軸押出機内で発生するせん断応力を解析し、吐出量  $Q$  とスクリー一回転数  $N_s$  との比 ( $Q/N_s$ ) が一定の場合には、最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  を制御することで、未解繊ガラス繊維を含む単位量あたりのペレット数  $N$  を制御できることを見出した。

さらに、上記比 ( $Q/N_s$ ) が一定でない場合であっても、未解繊ガラス繊維を含む単位量あたりのペレット数  $N$  は上記  $T_{min}$  及び ( $Q/N_s$ ) を用いて特定の数式で表せることを見出し、本発明を完成するに至った。より具体的には、本発明は以下のものを提供する。

- [0013] (1) 熱可塑性樹脂とガラス繊維束とを押し出機内で混練し、未解繊ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造したときの、未解繊ガラス繊維束を含む単位量あたりのペレット数  $N$  を所定の値以下に抑える製造条件を導出するためのシミュレーション装置であって、下記数式 (1) を導出するための情報を入力する入力手段と、前記入力手段に入力された情報に基づいて、下記数式 (1) を導出し、前記単位量あたりの未解繊ペレット数  $N$  が所定の値以下になる製造条件を算出する製造条件算出手段と、前記製造条件算出手段で算出された製造条件を出力する出力手段と、を備え、前記入力手段に入力される情報は、押し出機内において前記熱可塑性樹脂と前記ガラス繊維束とを混練する部分に配置されるスクリーエレメントの長さ  $L$  と前記スクリーエレメントの外径  $D$  との比である  $L/D$  と、吐出量  $Q$  と、前記スクリーエレメントでのスクリー一回転数  $N_s$  と、前記  $L/D$ 、前記吐出量  $Q$  及び前記スクリー一回転数  $N_s$  における、前記単位量あたりの未解繊ペレット数  $N$  及びガラス繊維束が押し出機に供給されてから押し出機内で受けるせん断応力の時間積分を行い時間積分値の中で最も小さい値である最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  と、の組を複数含むシミュレーション装置。

[数1]

$$N = 10^\alpha \left\{ \frac{T_{\min}}{\left( \frac{Q}{Ns} \right)^\gamma} \right\}^{-\beta} \quad \dots (I)$$

(上記数式 (I) 中の  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は、0 以上の定数である。)

[0014] (2) 前記熱可塑性樹脂と前記ガラス繊維とを混練するためのスクリー  
ーエレメントの外径を変更したとき、前記数式 (I) が下記数式 (II) で  
ある (1) に記載のシミュレーション装置。

[数2]

$$N = 10^\alpha \left\{ \frac{T_{\min}}{\left( \frac{(d2/d1)^\delta Q}{(d2/d1)^{-\epsilon} Ns} \right)^\gamma} \right\}^{-\beta} \quad \dots (II)$$

(上記数式 (II) 中の  $d1$  は変更前の前記外径、 $d2$  は変更後の前記外径  
、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\epsilon$  は、全て 0 以上の定数である。)

[0015] (3) 前記製造条件算出手段は、複数の前記 L/D の条件毎に、吐出量  
Q と前記最小せん断応力履歴値  $T_{\min}$  との関係を表す近似曲線を作成する近似  
曲線作成ステップと、前記数式 (I) に基づいて、前記単位量あたりの未解  
織ペレット数 N が所定の値以下になる最小せん断応力履歴値  $T_{\min}$  である閾値  
 $T_{\min}$  決定する閾値  $T_{\min}$  決定ステップと、各近似曲線から前記閾値  $T_{\min}$  で  
の各吐出量 ( $Q_n$ ) を算出する吐出量  $Q_n$  算出ステップと、前記 L/D と前  
記  $Q_n$  との関係式を導出する関係式導出ステップと、を備え、前記関係  
式に基づいて、製造条件を選択する (1) 又は (2) に記載のシミュレ

ーション装置。

[0016] (4) 前記スクリュウエレメントは、フライト部に切り欠きを有する逆送りのスクリュウエレメントである(1)から(3)のいずれかに記載のシミュレーション装置。

[0017] (5) (1)から(4)のいずれかに記載のシミュレーション装置の機能をコンピュータで実現するためのプログラム。

[0018] (6) (5)に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

### 発明の効果

[0019] 本発明によれば、ガラス繊維束と熱可塑性樹脂とを混練する際にガラス繊維束が受けるせん断応力の時間積分値の最小値(最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ )を制御することで、ガラス繊維束がモノフィラメントに解繊される製造条件をシミュレーションにより導出することができる。

[0020] なお、生産効率に優れた高性能二軸押出機を用いた場合に、特に、ガラス繊維束が解繊せずに樹脂組成物ペレット中に残存することが問題となっている。本発明はこのような高性能な二軸押出機を用いても上記のガラス繊維の未解繊の問題を解消できる。

### 図面の簡単な説明

[0021] [図1]図1は、押出機のスクリュウ構成の一例を示す図である。

[図2]図2は、本発明のシミュレーション装置の一例を示すブロック図である。

[図3]図3は、シミュレーション方法の一例を示すフローチャートである。

[図4]図4は、押出機サイズを変更する場合のシミュレーション方法の一例を示すフローチャートである。

[図5]図5は、図3に示すフローチャートとはS2が異なるシミュレーション方法の一例を示すフローチャートである。

[図6]図6は、各(L/D)での吐出量Qと最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ との関係を表す近似曲線を示す図である。

[図7]図7は、 $L/D$ と $Q_n$ との関係を表す一次関数 ( $Q = f(L/D)$ ) を示す図である。

[図8]図8は、実施例で使用した具体的なスクリーパターンを示す図である。

[図9]図9は、実施例で使用した具体的なスクリー形状を示す図である。

[図10]図10は、実施例で使用した押出機の $Q/N_s = 1.0$ の条件で、最小せん断応力履歴値 ( $Pa \cdot sec$ ) とガラス繊維束の一部又は全部が未解繊のペレット数 (個/ペレット10kg) との関係を示す図である。

[図11]図11は、実施例で使用した押出機の $Q/N_s = 1.0$ 、 $Q/N_s = 0.8$ 、 $Q/N_s = 0.5$ の条件での、最小せん断応力履歴値 ( $Pa \cdot sec$ ) とガラス繊維束の一部又は全部が未解繊のペレット数 (個/ペレット10kg) との関係 (相関線) を示す図である。

[図12]図12は、実施例で使用した押出機の $Q/N_s$ にほとんど依存しない最小せん断応力履歴値 ( $Pa \cdot sec$ ) とガラス繊維束の一部又は全部が未解繊のペレット数 (個/ペレット10kg) との関係 (相関線) を示す図である。

[図13]図13は、実施例で使用した押出機の吐出量と最小せん断応力履歴値との関係を示す図である。

[図14]図14は、実施例で使用した押出機の吐出量と $L/D$ との関係を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施形態について詳細に説明するが、本発明は、以下の実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の目的の範囲内において、適宜変更を加えて実施することができる。なお、説明が重複する箇所については、適宜説明を省略する場合があるが、発明の要旨を限定するものではない。

[0023] 本発明のシミュレーション装置は、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する際の製造条件をシミュレーションにより導出する。本発明

のシミュレーション装置について説明する前に、先ず、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法について簡単に説明する。

[0024] <ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットの製造方法>

ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法は、互いに回転して噛み合うスクリーを備えた二軸以上の押出機を用いて、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法である。

[0025] 具体的には、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造する方法は、例えば、以下の工程を備える。

熱可塑性樹脂を上記押出機に供給して加熱、混練し可塑化する可塑化工程。

可塑化工程後に、一束以上のガラス繊維束を押出機に供給して、上記ガラス繊維束を解繊しながら、解繊されたガラス繊維と可塑化した熱可塑性樹脂とを混練する混練工程。

混練工程後に、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物を押出す押出工程。

押出されたガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物をペレット化するペレット化工程。

[0026] 以下、これらの各工程について簡単に説明する。説明には、図1に記載のスクリー構成を備える二軸押出機を用いる。この押出機は樹脂可塑化部と混練部とを備える。樹脂可塑化部は供給部、可塑化部、輸送部を備え、混練部は混練部1、混練部2を備える。

[0027] [可塑化工程]

可塑化工程では、ホッパから供給された熱可塑性樹脂を移送・溶融して、均質な溶融体を作る。先ず、熱可塑性樹脂について説明し、次いで、ホッパから供給された熱可塑性樹脂が均質な溶融体になるまで（可塑化工程の詳細）を説明する。

[0028] (熱可塑性樹脂)

使用する熱可塑性樹脂の種類は特に限定されない。熱可塑性樹脂の具体例としては、ポリプロピレン、ポリアセタール、液晶性樹脂、ポリブチレンテ

レフタレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリフェニレンサルファイド、ナイロン66等が挙げられる。これらの熱可塑性樹脂の中でも特に、粘性の低いものほど、上記ガラス繊維束の未解繊の問題は生じやすい。粘性が低いと熔融状態ではせん断応力が発生し難くなり、モノフィラメントを収束したガラス繊維束は、解繊し難くなるからである。粘性の低い樹脂としては、例えば、ポリブチレンテレフタレート、液晶性樹脂、ポリエチレンテレフタレート、ナイロン66等が挙げられる。

[0029] (可塑化工程の詳細)

熱可塑性樹脂の可塑化は図1に記載の二軸押出機の樹脂可塑化部で行われる。樹脂可塑化部は、供給部、可塑化部、輸送部を有する。供給部及び輸送部で使用するスクリュウエレメントとしては、例えば順送りフライトからなる搬送用のエレメント等が挙げられる。可塑化部に使用するスクリュウエレメントとしては、逆送りフライト、シールリング、順送りニーディングディスク、逆送りニーディングディスク等のスクリュウエレメントの組み合わせ等が挙げられる。以下、供給部、可塑化部、輸送部について簡単に説明する。

[0030] 供給部では樹脂ペレットを移送する。供給部は、一般に樹脂ペレットが熔融しないような温度設定で、樹脂ペレットをホッパ側からダイ方向側に移送する働きをする。

このように樹脂ペレットが熔融しないような低温で行われるが、熔融の準備段階として外部ヒータによる予熱が行われる場合がある。また、樹脂ペレットは、回転するスクリュウとシリンダーに挟まれるため、樹脂ペレットには摩擦力が加わり、摩擦熱が発生する。上記予熱や摩擦熱によって熔融し始める場合もある。

[0031] 場合によっては、供給部では、樹脂ペレットの移送がスムーズに進むように、スクリュウの溝深さの調整、予熱の温度調整を従来公知の方法で行う必要がある。

[0032] 可塑化部では、供給部から移送された樹脂ペレットに圧力を加えて樹脂ペ

レットを溶融する。可塑化部では、樹脂ペレットにせん断応力が加わる結果、樹脂ペレットが溶融しながら、さらに前方（ホッパからダイの方向）へと移送される。

[0033] 輸送部では、可塑化部で溶融された熱可塑性樹脂（以下、溶融樹脂という場合がある）を移送する。輸送部では、可塑化部で均質な溶融状態になった熱可塑性樹脂を混練部まで移送する。

[0034] [混練工程]

混練工程では、可塑化工程後に、一束以上のガラス繊維束を押出機に供給して、上記ガラス繊維束を解繊しながら、解繊されたガラス繊維と可塑化した熱可塑性樹脂とを混練する。

[0035] 混練工程は図1に示す二軸押出機の混練部で行われる。混練部は、混練部1、混練部2からなり、混練部2は混練部21、混練部22からなる。混練部1で使用するスクリュウエレメントとしては、例えば順送りフライトからなる搬送用のエレメントが挙げられる。混練部21及び22に使用するスクリュウエレメントとしては、逆送りフライト、シールリング、順送りニーディングディスク、逆送りニーディングディスク等のスクリュウエレメントの組み合わせが挙げられる。例えば、混練部21に順送りニーディングディスクを用いて、混練部22に逆送りフライトを用いる等の組み合わせが挙げられる。また、後述する通り、本発明の製造方法においては、フライト部に切り欠きを有する逆送りのスクリュウエレメントを混練部に用いることが好ましい（本実施形態では混練部21がフライト部に切り欠きを有する逆送りのスクリュウエレメントである）。理由については後述する。

[0036] (混練部1)

混練部1では副原料フィード口から投入されたガラス繊維束と溶融樹脂とを混練部2まで搬送する。この混練部1での搬送においてはスクリュウの溝内部にガラス繊維束や樹脂が完全に充満せず、ガラス繊維束にせん断力が加からない領域である。

[0037] ガラス繊維束について簡単に説明する。ガラス繊維束は、300本から3

000本のモノフィラメントが束になったチョップドストランド、1100本か2200本が束になったチョップドストランドが好ましく使用できる。また、モノフィラメントの径は、特に限定されないが、6 $\mu$ mから20 $\mu$ mの範囲のものが好ましく、6 $\mu$ m、10 $\mu$ m、13 $\mu$ mのものが物性上特に好ましい。なお、ロービングのままモノフィラメントの束を連続的に二軸押出機に供給することもできる。しかし、ロービングをカットしたチョップドストランドは、輸送、二軸押出機への供給において、取り扱いが容易である。このため、チョップドストランドの使用が好ましい。

[0038] (混練部2)

混練部2では、ガラス繊維束及び溶融樹脂にせん断応力がかかる。せん断応力がかかることでガラス繊維束の解繊及びモノフィラメントと溶融樹脂との混練が進む。ここで、混練部2でのスクリーウの回転数が回転数 $N_s$ にあたる。また、混練部21におけるスクリーウ長さが $L$ であり、スクリーウ外径が $D$ である。

[0039] 本願発明の製造方法の特徴は、混練部2でのガラス繊維束と溶融樹脂との混練の結果、未解繊のガラス繊維束がペレット中に残存しないことにある。この効果を得るためには、特定の製造条件で樹脂組成物ペレットの製造を行う必要がある。本発明は、この特定の製造条件を導出するためのシミュレーション装置である。

[0040] [押出工程、ペレット化工程]

ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物がどのように押出され、どのようにペレット化されるかは特に限定されないが、例えば、棒状に押出されたガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物を切断してペレット化することができる。なお、切断方法は特に限定されず、従来公知の方法を利用することができる。なお、押出工程における吐出量が吐出量 $Q$ にあたる。

[0041] <シミュレーション装置>

本発明のシミュレーション装置は、図2に示すように、入力手段と、製造条件算出手段と、出力手段とを備える。

[0042] 入力手段は、 $L/D$ 、吐出量 $Q$ 、スクリー回転数 $N_s$  ( $L/D$ 、吐出量 $Q$ 及びスクリー回転数 $N_s$ を併せて、「最小せん断応力履歴値の導出条件」という場合がある。)、未解繊ペレット数 $N$ 、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ の組が複数入力される。

製造条件算出手段では、入力された最小せん断応力履歴値の導出条件、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ 、単位量あたりの未解繊ペレット数 $N$ に基づいて、上記数式(1)を導出し、未解繊ペレット数 $N$ が所定の値未満になる製造条件を算出する。本実施形態では1kgあたりの未解繊ペレット数 $N$ が1未満の場合について説明する。

出力手段では、製造条件算出手段で算出された製造条件を出力する。

[0043] 先ず、入力手段に入力される各パラメーターについて説明する。なお、 $L$ 、 $D$ 、吐出量 $Q$ 、スクリー回転数 $N_s$ については上述の通りであり、説明を省略する。

[0044] 最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ は、従来公知の二軸押出機内3次元流動解析ソフトウェアを用いて導出することができる。例えば、実施例に記載するような、粒子追跡解析で導出できる。最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ はせん断応力の時間積分を行うことで得られる時間積分値であるが、積分区間は、溶融樹脂及びガラス繊維束にせん断応力がかかる区間であり、図1に示す押出機の場合には、混練部2の区間である。

[0045] 最小せん断応力履歴値の導出方法は、特に限定されない。市販のソフトウェアを用いて導出する方法、実験により導出する方法等が挙げられる。

[0046] 以下、本発明のシミュレーション装置の動作及びシミュレーション方法について、図3のフローチャートに基づいて説明する。

[0047] 入力された情報(最小せん断応力履歴値の導出条件、単位量あたりの未解繊ペレット数、最小せん断応力履歴値)に基づいて、下記数式(1)を導出する(S1)。

[数3]

$$N = 10^\alpha \left\{ \frac{T_{\min}}{\left( \frac{Q}{N_s} \right)^\gamma} \right\}^{-\beta} \quad \dots (I)$$

[0048] 数式 (I) の導出にあたって、定数  $\gamma$  は、縦軸を  $N$  とし、横軸を  $T_{\min}$  とした 2次元のグラフを作成したときに、 $Q/N_s$  の影響が小さくなるように決定する。

[0049]  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  はどのような方法で導出してもよいが例えば以下の方法で導出することができる。

[0050] 最初に、所定の  $Q/N_s$  の条件における入力データに基づいて、下記数式 (III) を導出する (S11)。

[数4]

$$N = 10^\alpha T_{\min}^{-\beta} \quad \dots (III)$$

(上記数式 (I) 中の  $\alpha$ 、 $\beta$  は、0 以上の定数である。)

[0051] 導出された数式 (III) に基づいて、 $\alpha$ 、 $\beta$  を決定する。

[0052]  $\gamma$  を導出するために必要な数式 (III) の数になるまで、所定の  $Q/N_s$  の条件を異なる条件に変更して、数式 (III) の導出を繰り返す (S12)。なお、 $\gamma$  を導出するために必要な  $Q/N_s$  の条件数は予め決めて設定しておく。数式の数 は 3 以上であることが好ましい。

[0053] 次に、得られた複数の数式 (III) の中から基準となる数式 (III) を決定し、 $\alpha$ 、 $\beta$  を決定する (S13)。選択方法は特に限定されず、任意に決定することができる。例えば、最初に導出した数式 (III) を基準にすることができる。この基準となる数式 (III) の  $\alpha$ 、 $\beta$  が数式 (I) の  $\alpha$ 、 $\beta$  となる。

[0054]  $Q/N_s$  の条件によって異なる数式 (III) を、ひとつの数式でまとめ

るための $\gamma$ を導出する(S14)。 $Q/N_s$ の条件によらず適用できるような $\gamma$ の値を、従来公知の近似方法(例えば、最小二乗法、ガウスニュートン法、シンプレックス法という方法等)を用いて決定する。

[0055] Nが所定数未満になるような製造条件を算出する(S2)。製造条件の算出結果が出力手段によって出力されることで終了する。製造条件の算出は例えば、以下の方法で行うことができる。

[0056] 検討を行なう製造条件の $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ を導出した数式(1)に代入して計算を行なう(S21)。ここで、検討を行なう製造条件の $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ は、コンピュータが自動で任意に選択して決定してもよいし、予め決めておいた $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ を代入するように設定しておいてもよい。 $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ 、 $Q/N_s$ の少なくとも一つを固定して、製造条件の算出を行なってもよい。

[0057] 計算した結果、Nが所定数(本実施形態では1)以上の場合には、所定の $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ を、 $T_{min}$ がより大きい条件、又は $Q/N_s$ がより小さい条件に変更して、これらの値を、数式(1)に代入する(S22)。Nが以上になる場合に、どのように条件を変更するかを予め設定しておいてもよい。

[0058] Nが所定数未満(例えば1未満)の条件であれば、出力手段により製造条件が出力される(S23)。

[0059] Nが所定数未満になる製造条件が、予め決めた数得られるまで、製造条件の算出を繰り返す(S24)。算出する製造条件の数は任意に決定する。所望の数の製造条件が得られたら、シミュレーションは終了する。

[0060] なお、数式(1)は、熱可塑性樹脂の種類、ガラス繊維束の種類が異なれば、新たに数式(1)を導出しなおす必要がある。そして、予め導出された数式(1)を用いる場合には、最小せん断応力履歴値の導出条件、未解織ペレット数、最小せん断応力履歴値を入力した後、Nが所定数未満になるような製造条件の算出(S2)のみを行なえば、製造条件を算出することができる。

[0061] [押出機サイズを変更した場合の製造条件の決定]

一般的に、小型の試作機を用いて製造条件の検討を行い、大型の量産機で樹脂組成物ペレットの製造を行う。この量産機による製造を行う場合、小型の試作機を用いて導出した数式（I）を用いると、単位量あたりの未解繊ペレット数が所定の値未満になるような製造条件を正確に選択することができない。同じ吐出量及び同じスクリー回転数の条件であっても、小型の試作機と大型の量産機とでは、バレルからの伝熱量が異なり、熔融樹脂にかかる熱エネルギーが異なるからである。

[0062] 小型の試作機ではなく大型の量産機でシミュレーション、実験等を行い、上述の方法と同様の方法で、大型量産機での上記数式（I）を導出することも可能ではあるが、時間と費用と手間がかかる。以下に説明する方法を行うことで、小型の試作機で導出した数式（I）から大型の量産機で用いることができる数式（I'）を導出することができる。

[0063] スクリューエレメントの外径Dが、 $d_1$ から $d_2$ に変更になる場合、試作機での吐出量 $Q_m$ と量産機での吐出量 $Q_M$ の間には下記数式（IV）が成立し、試作機でのスクリー回転数 $N_{s_m}$ と量産機でのスクリー回転数 $N_{s_M}$ の間には下記数式（V）が成立する。

[数5]

$$Q_M = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^\delta Q_m \quad \dots (IV)$$

[数6]

$$N_{s_M} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{-\varepsilon} N_{s_m} \quad \dots (V)$$

[0064] 熔融樹脂にかかる比エネルギーが同等になるように上記数式（IV）、（V）の $\delta$ 及び $\varepsilon$ を決定する。 $\delta$ 及び $\varepsilon$ の決定方法としては、理論的に決定する方法、実験的に決定する方法のいずれでもよい。理論的に決定する方法としては、一般的には、断熱状態と仮定して、目的関数を比エネルギー、あるいは総せん断量、滞留時間等が、小型機と大型機で一致するように、パラメ

ーター  $\delta$  及び  $\varepsilon$  が導出される。小型機と大型機の伝熱量の差を仮定して、目的関数としての比エネルギーが、小型機と大型機で一致するように、パラメータ  $\delta$  及び  $\varepsilon$  を導出することもできる。実験的に決定する方法としては、目的関数を、比エネルギーとするか、もしくは、物性を示すパラメータを採用し、目的関数が、小型機と大型機とで一致するように、統計的にパラメータ  $\delta$  及び  $\varepsilon$  を算出するような方法が挙げられる。

[0065] 小型の試作機と大型の量産機との間に成立する上記数式 (I V)、(V) を導出することで、大型機に成立する単位量あたりの未解繊ペレット数  $N$  と最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  との間の下記数式 (I I) を容易に導出することができる。

[数7]

$$N = 10^{\alpha} \left\{ \frac{T_{min}}{\left( \frac{(d2/d1)^{\delta} Q}{(d2/d1)^{-\varepsilon} N_s} \right)^{\gamma}} \right\}^{-\beta} \quad \dots (I I)$$

[0066] 次いで、押出機サイズの変更を行った場合の、本発明のシミュレーション装置の動作及びシミュレーション方法について、図4のフローチャートに基づいて説明する。

[0067]  $d_2$  の値を入力手段に入力することでシミュレーションが開始される。なお、上記数式 (I V)、(V) における、 $\delta$ 、 $\varepsilon$  を実験で導出する場合には、実験で導出したこれらの値も入力する（実験的に導出した場合には、下記 S 3 工程は省略する）

[0068] 先ず、上記数式 (I V)、(V) の  $\delta$ 、 $\varepsilon$  を導出する (S 3)。断熱状態と仮定して、目的関数を比エネルギー、あるいは総せん断量、滞留時間等が、小型機と大型機で一致するように、これらの値を算出する。

[0069] 次いで、数式 (I I) を導出する (S 4)。数式 (I I) の導出後は、上述の方法 (S 2) と同様にして製造条件を算出することができるため、説明

を省略する。

[0070] [簡便な製造条件の決定]

上記のような数式(1)、(11)を用いることで、未解織のガラス繊維束を含む樹脂組成物ペレットが製造されないような製造条件を決定することができる。しかしながら、製造条件の検討の都度、数式(1)又は(11)に $N_s$ 、 $Q$ 、 $T_{min}$ を代入する方法の場合、非常に時間がかかる(特に、シミュレーションによる $T_{min}$ の導出に時間がかかる)。そこで、以下の方法で、 $L/D$ と、許容される中で最大の吐出量(最大吐出量)との関係を導出することで、この関係に基づいて、容易に製造条件を決定できる。その結果、 $N$ が所定の値未満の条件を満たす製造条件を決定することができる。具体的には、上述のS1に続いて、以下の方法でS2を実施する。

[0071] 以下に説明する $L/D$ と最大吐出量との関係を導出する方法は、近似曲線作成ステップ(S2A)と、近似曲線閾値 $T_{min}$ 決定ステップ(S2B)と、吐出量 $Q_n$ 算出ステップ(S2C)と、関係式導出ステップ(S2D)と、を備える。そして、関係式導出ステップ(S2D)で得られた関係式に基づいて、選択可能な製造条件の範囲を決定する製造条件範囲決定ステップ(S2E)と、製造条件範囲を出力する製造条件範囲出力ステップ(S2F)とを行い、シミュレーションが終了する。以下に各ステップについて詳細に説明する。説明には図5に示すフローチャートを用いる。

[0072] (近似曲線作成ステップ(S2A))

近似曲線作成ステップでは、 $Q/N_s = \text{一定}$ とし、吐出量 $Q$ と最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ との関係を表す近似曲線を作成する。

[0073] 具体的には、例えば、S1で入力手段に入力された( $L$ (混練部21の長さ) $/D$ )、吐出量 $Q$ 、スクリー回転数 $N_s$ 、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ の情報に基づいて近似曲線を作成することができる。

[0074] 例えば、入力された条件である( $Q_A$ 、 $T_{minA}$ )、( $Q_B$ 、 $T_{minB}$ )、( $Q_C$ 、 $T_{minC}$ )から近似曲線を作成する。近似曲線の作成方法は、特に限定されないが、例えば最小二乗法、ガウスニュートン法、シンプレックス法という

方法等という方法で作成することができる。なお、図6 (a) に近似曲線F 1を示した。

[0075] また、近似曲線作成ステップ (S 2 A) においては、混練部2 1の長さ (L) /スクリュウエレメントの外径 (D) (L/D) の条件を少なくとも1回変更して、各 (L/D) での吐出量Qと最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  との関係を表す近似曲線を、上記と同様の方法で作成する。なお、リード長とは、ガラス繊維束を解繊しながら、解繊されたガラス繊維と可塑化した熱可塑性樹脂とを混練するためのニーディングディスクのリード長を指す (混練部2 1)。

[0076] 近似曲線作成ステップ (S 2 A) では、近似曲線を少なくとも一つ導出すればよいが、ここでは近似曲線F 2、F 3を導出したとする。図6 (b) に近似曲線F 1、F 2、F 3を示した。

[0077] (閾値  $T_{min}$  決定ステップ (S 2 B) )

閾値  $T_{min}$  決定ステップとは、上記式 (1) においてペレット数Nが所定の値未満 (本実施形態では1とする。) になる最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  を決定するステップである。最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  は、未解繊ペレット数Nを縦軸、最小せん断応力履歴値  $T_{min}$  を横軸とするグラフを作成することにより導出することができる。

[0078] (吐出量  $Q_n$  算出ステップ (S 2 C) )

吐出量  $Q_n$  算出ステップとは、作成した各近似曲線から閾値  $T_{min}$  での各吐出量 ( $Q_n$ ) を算出するステップである。

[0079] 近似曲線F 1に閾値  $T_{min}$  を代入して算出される吐出量を  $Q_1$ 、近似曲線F 2に閾値  $T_{min}$  を代入して算出される吐出量を  $Q_2$ 、近似曲線F 3に閾値  $T_{min}$  を代入して算出される吐出量を  $Q_3$  とする。 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  を図6 (c) に示した。

[0080] (関係式導出ステップ (S 2 D) )

関係式導出ステップとは、各近似曲線でのL/Dと上記各吐出量 ( $Q_n$ ) とから、上記L/Dと  $Q_n$  との関係を一関数 ( $Q = f(L/D)$ ) に

よって近似するステップである。

[0081] 吐出量 $Q_1$ を導出したときの、 $L/D$ を $L_1/D_1$ とし、吐出量 $Q_2$ を導出したときの上記 $L/D$ を $L_2/D_2$ とし、吐出量 $Q_3$ を導出したときの上記 $L/D$ を $L_3/D_3$ とする。横軸に混練部 $L/D$ 、縦軸に吐出量 $Q$ とし、 $(Q_1, L_1/D_1)$ 、 $(Q_2, L_2/D_2)$ 、 $(Q_3, L_3/D_3)$ から一次関数 $(Q) = f(L/D)$ を導出する。導出結果を図7(a)に示す。なお、導出方法については特に限定されないが、例えば最小二乗法等の方法で導出することができる。

[0082] 以上のようにして、 $L/D$ と最大吐出量 $Q_n$ との関係が導出される。この関係に基づくことで、容易に製造条件を決定できる。例えば、製造条件範囲決定ステップ(S2E)、製造条件範囲出力ステップ(S2F)を行なうことで製造条件を決定することができる。

[0083] [製造条件範囲決定ステップ(S2E)]

製造条件範囲決定ステップでは、未解織ガラス繊維が含まれる単位量あたりのペレット数が所定の値未満の製造条件範囲を決定する。具体的には $(Q) < f(L/D)$ を満たす領域を決定する。この領域から製造条件を選択すれば、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ は閾値 $T_{min}$ 以上になり、未解織ガラス繊維束を含む単位量あたりのペレット数は所定の値未満になる。

[0084] [製造条件範囲出力ステップ(S2F)]

製造条件範囲出力ステップ(S2F)は、上記製造条件範囲決定ステップ(S2E)で決定された製造条件範囲を、出力手段により出力するステップである。この出力により、所望の製造条件が得られるので、シミュレーションは終了する。

[0085] なお、押出機内の樹脂温度を、樹脂が劣化する温度以下に維持する必要がある。図7(a)の点線Zは、樹脂の劣化限界の温度を示す線である。これと $(Q) = f(L/D)$ の交点まで吐出量を上げることができる。特に熱で劣化しやすい樹脂の場合には、樹脂が劣化しないように、例えば、製造条件範囲決定ステップ(S2E)において、樹脂の劣化限界の温度を示す線を考

慮する。

[0086] なお、数式(1)の代わりに数式(11)を用いれば、大型の量産機の場合にも上記の簡便な製造条件の決定を行うことができる。

[0087] なお、混練部21に、特開2002-120271に記載されているような切り欠きのあるスクリュウエレメントを使用した場合の $(Q)_{BMS} = f(L/D)_{BMS}$ を図7(b)に示した。切り欠きのあるスクリュウエレメントを用いることで製造条件の選択の幅が広がるため好ましい。

### 実施例

[0088] 以下、実施例及び比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0089] 実施例においては以下の材料を用いた。

熱可塑性樹脂：ポリブチレンテレフタレート樹脂(PBT) (メルトインデックス(MI) = 70 g / 10分)

カーボンマスターバッチ

ガラス繊維束：直径が13 μmのモノフィラメントを2200本束ねた長さ3mmのチョップドストランド

また、組成は以下の通りである。

PBTが67.5質量%、カーボンマスターバッチが2.5質量%、ガラス繊維束が30質量%

押出条件は以下の通りである。

押出機：同方向完全噛み合い型二軸押出機TEX44αII (日本製鋼所製) スクリューエレメントの外径(D)が0.047m

押出条件；

[表1]

吐出量Q [kg/hr]	100	300	650
Q / N s [kg/hr/rpm]	0.5, 0.8, 1.0		

バレル温度；220℃

スクリュウデザイン；

### (1) 概略

押出機のスクリューは図1のように表すことができ、図1に示すスクリューパターンの概略は以下の通りである。

C 1 : ホッパ

C 2 ~ C 5 : 供給部

C 5 ~ C 6 : 可塑化部

C 6 ~ C 8 : 輸送部

C 9 : 副原料フィード口

C 1 0 : 混練部 1

C 1 1 : 混練部 2 (混練部 2 1、混練部 2 2 からなる)

(2) 実施例で使用した具体的なスクリューパターンは、図8に示す通りである。なお、ニーディングディスクで、各ディスクが送り方向に45°位相がずれているものをFKとし、逆送りの1条のフライトで切り欠きのあるエレメントをBMSとする。

図8 (a) に示すスクリューパターンをFK 1. 0D (L/D=1)、

図8 (b) に示すスクリューパターンをFK 2. 0D (L/D=2)、

図8 (c) に示すスクリューパターンをBMS 1. 0D (L/D=1)、

図8 (d) に示すスクリューパターンをBMS 2. 0D (L/D=2)、

図8 (e) に示すスクリューパターンをBMS 2. 5D (L/D=2. 5)

、

とする。L/Dは、混練部21のリード長(L)とスクリューエレメントの外径(D)との比(L/D)である。

### (3) スクリューの形状

図8に示すスクリューパターンはそれぞれC11の混練部2のみ異なる。C11の混練部2のスクリューの形状を図9に示す。図8(a)のパターンのスクリュー形状を図9(a)に示し、図8(b)のパターンのスクリュー形状を図9(b)に示し、図8(c)のパターンのスクリュー形状を図9(c)に示し、図8(d)のパターンのスクリュー形状を図9(d)に示し、

図8 (e) のパターンのスクリュースhapeを図9 (e) に示した。

図9 (a) に示すスクリュースhapeは混練部21が長さ1.0Dの順送りニーディングディスク、混練部22が長さ0.5Dの逆送りフライト

図9 (b) に示すスクリュースhapeは混練部21が長さ2.0Dの順送りニーディングディスク、混練部22が長さ0.5Dの逆送りフライト

図9 (c) に示すスクリュースhapeは混練部21が長さ1.0Dの切り欠き含有の1条の逆送りニーディングディスク、混練部22が長さ0.5Dの逆送りフライト

図9 (d) に示すスクリュースhapeは混練部21が長さ2.0Dの切り欠き含有の1条の逆送りニーディングディスク、混練部22が長さ0.5Dの逆送りフライト

図9 (e) に示すスクリュースhapeは混練部21が長さ2.5Dの切り欠き含有の1条の逆送りニーディングディスク、混練部22が長さ0.5Dの逆送りフライト

[0090] [数式(111)の導出]

$Q/N_s = 1.0$ の条件で、図10に示すような最小せん断応力履歴値 ( $Pa \cdot sec$ ) とガラス繊維束の一部又は全部が未解繊のペレット数 (個/ペレット10kg) との関係求めた。具体的には以下のような方法で導出した。

[0091] 先ず、数式(111)の導出に必要な、 $L/D$ 、吐出量 $Q$ 、スクリュースhape回転数 $N_s$ 、未解繊ペレット数 $N$ 、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ の組を複数決定する。 $L/D$ 、吐出量 $Q$ 、スクリュースhape回転数 $N_s$ を任意に決めて、以下の方法で、最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ を導出し、実験により未解繊ペレット数 $N$ を求めた。具体的には以下のようにして求めた。

[0092] 先ず、シミュレーションによる最小せん断応力履歴値 ( $Pa \cdot sec$ ) の導出について説明する。

二軸押出機内3次元流動解析ソフト (アールフロー社製  $ScrewFlow - Multi$ ) を用いて同方向完全噛み合い型二軸押出機内の樹脂挙動を

解析した。

解析の際に用いた支配方程式は、連続式（A）、ナビエーストークス式（B）、温度バランス式（C）である。

[数8]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad \dots (A)$$

[数9]

$$-\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} = 0 \quad \dots (B)$$

[数10]

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \vec{v} \cdot \nabla T = k \nabla^2 T + Q \quad \dots (C)$$

[0093] 解析仮定として、非圧縮性流体で、完全溶融・完全充満とした。また、粘度近似式はアレニウス近似及びWLF近似を使用した。解析手法は、有限体積法、SOR法、SIMPLEアルゴリズムであり、計算としては、まず定常解析を行い、これを初期値として、非定常解析を行った。非定常解析の後、トレーサー粒子を配置（約5000個）して、トレーサー粒子にかかる局所情報を収集した（粒子追跡解析）。せん断応力の時間積分値の最小値  $T_{min}$  は、トレーサー粒子にかかる局所情報のせん断応力を時間積分し、全粒子の最小値を求めたものである。

[0094] 次いで、実験による未解織ペレット数の導出について説明する。

PBTを二軸押出機に供給した後、上記押出条件で、ガラスのチョップドストランドを供給し、混練混合した後、ダイから樹脂組成物を押し出し、溶融した樹脂組成をダイから引取りストランドにして、水槽でストランドを冷却固化して、カッターで、ストランドを3mmの長さに切断してペレットを作成した。ペレットを10kg採取し、黒色のペレットの中のガラス未解織（銀色の凝集塊）を目視にて探し、ガラス未解織を含んだペレットの個数を数

えた。

[0095] 未解織ペレット数と最小せん断応力履歴値と間の関係を表す近似曲線（相関線）を、最小二乗方法で求めた。 $Q/N_s = 1.0$ で、混練部2に前述のように図8（a）から（e）の異なるエレメントを入れ、かつ、異なるQで実験とシミュレーションを行った結果、以下のようなひとつの近似曲線が得られた。近似曲線については図10に示した。

[数11]

$$N = 10^{11.5042} T_{\min}^{-2.200} \dots (VI)$$

[0096] 即ち、上記数式（11）の $\alpha$ が11.5042、 $\beta$ が-2.200となった。

[0097]  $Q/N_s = 0.8$ 、 $Q/N_s = 0.5$ の条件でも、上記と同様にして、図11に示すように、最小せん断応力履歴値（Pa・sec）とガラス繊維束の一部又は全部が未解織のペレット数（個/ペレット10kg）との関係（相関線）を求めた。なお、図11には $Q/N_s = 1.0$ の場合の相関線についても示した。

[0098] 図11に示すように、 $Q/N_s$ 毎に相関線が異なる。そこで、上記数式（1）の形式の関数に最小二乗法で近似した。近似曲線を図12に示した。図12に示すように、 $Q/N_s$ にほとんど依存しない一つの相関線で近似できた。なお、 $\gamma$ は3.0であった。

[0099] 図11に示すように、所定の最小せん断応力履歴値以上であれば、単位量あたりの未解織ペレット数が所定の値未満になることが確認できた。

[0100] [押出機サイズを変更した場合の製造条件の決定]

スクリーエレメントの外径（D）の条件を0.047mから0.069mに変更した。熔融樹脂にかかる比エネルギーが同等になるように上記数式（V）、（VI）の $\delta$ 及び $\varepsilon$ を上述の方法で検討し、成形加工（第11巻、第11号、1999年、910頁から913頁に記載）の方法で補正して決定した。 $\delta$ が2.5、 $\varepsilon$ が0.5であった。

[0101] 最終的に量産機では、以下の数式になる。

[数12]

$$N = 10^{11.5042} \left( \frac{T_{\min}}{\left( \frac{KQ}{D^3 N_s} \right)^{3.0}} \right)^{-2.2000} \quad \dots (V I I)$$

( $K = 1.03823 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$ 、 $D^3 = 0.3285 \text{ [m}^3\text{]}$ )

[0102] 比エネルギーが同等になるように調整した上記の式を用いれば、未解織ペレット数が0になる条件をシミュレーションで最小せん断応力履歴値を導出することにより確認することができる。

[0103] [簡便な製造条件の決定方法]

上記数式 (V I I) を用いる。

[0104] (近似曲線作成ステップ)

数式 (V I I) を導出する際に得たデータに基づいて、吐出量と最小せん断応力履歴値との関係を導出した。導出結果を図13 (a) に示した。なお、図13 (a) には近似曲線も併せて示している。

[0105]  $Q/N_s = 0.8$  の場合についても同様の方法で、近似曲線を作成した。結果を図13 (b) に示した。

[0106] (閾値  $T_{\min}$  決定ステップ)

未解織ペレット数  $N$  (個/ペレット10kg) が1未満になる条件は、図12から求めると  $78000 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$  であった。

未解織ペレット数  $N$  (個/ペレット1kg) が0.4未満になるよう設定した場合、図12から求めると最小せん断応力履歴値は  $78000 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$  であった。

[0107] (吐出量  $Q_n$  算出ステップ)

$78000 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$  を図10中に点線で示した。 $Q/N_s = 1.0$  と  $0.8$  の場合に各近似曲線で最小せん断応力履歴値が  $78000 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$

cになる吐出量を表2にまとめた。

[表2]

L/D	FK			BMS			
	1.0 D	2.0 D	3.0 D	1.0 D	2.0 D	2.5 D	3.0 D
$Q/N_s = 1.0$ (kg/hr/rpm)	10	35	75	65	250	360	435
$Q/N_s = 0.8$ (kg/hr/rpm)	13	40	160	180	510	675	745

[0108] (関係式導出ステップ、製造条件決定ステップ)

表2の結果を図14にまとめた。図14に示す各直線は、L/D毎に未解繊ペレットが所定の値になる最大の吐出量を示すことから、容易に製造条件を決定することができる。また、図14には、樹脂の劣化限界の温度を示す線(劣化限界線)も併せて示した。劣化限界線との交点までの吐出量から製造条件を選択する必要がある。

[0109] また、フライト部に切り欠きを有するスクリュウエレメントを混練部21に用いることで、製造条件の選択の幅が広がることも、確認された(図14)。

## 請求の範囲

[請求項1]

熱可塑性樹脂とガラス繊維束とを押し出機内で混練し、未解繊ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物ペレットを製造したときの、未解繊ガラス繊維束を含む単位量あたりのペレット数 $N$ を所定の値以下に抑える製造条件を導出するためのシミュレーション装置であって、

下記の数式(1)を導出するための情報を入力する入力手段と、

前記入力手段に入力された情報に基づいて、下記の数式(1)を導出し、前記単位量あたりの未解繊ペレット数 $N$ が所定の値以下になる製造条件を算出する製造条件算出手段と、

前記製造条件算出手段で算出された製造条件を出力する出力手段と、を備え、

前記入力手段に入力される情報は、

押し出機内において前記熱可塑性樹脂と前記ガラス繊維束とを混練する部分に配置されるスクリーエレメントの長さをスクリーエレメントの外径( $D$ )の倍数で表現した( $L/D$ )と、

ガラス繊維強化熱可塑性樹脂組成物の吐出量を $Q$ と、

前記スクリーエレメントでのスクリー回転数 $N_s$ と、

前記 $L/D$ 、前記吐出量 $Q$ 及び前記スクリー回転数 $N_s$ における、前記単位量あたりの未解繊ペレット数 $N$ 及びガラス繊維束が押し出機に供給されてから押し出機内で受けるせん断応力の時間積分を行い時間積分値の中で最も小さい値である最小せん断応力履歴値 $T_{min}$ と、の組を複数含むシミュレーション装置。

[数1]

$$N = 10^\alpha \left\{ \frac{T_{min}}{\left( \frac{Q}{N_s} \right)^\gamma} \right\}^{-\beta} \dots (1)$$

(上記数式 (1) 中の  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は、0 以上の定数である。)

[請求項2]

前記熱可塑性樹脂と前記ガラス繊維束とを混練するためのスクリー  
ーエレメントの外径を変更したとき、前記数式 (1) が下記の数式 (11)  
である請求項1に記載のシミュレーション装置。

[数2]

$$N = 10^{\alpha} \left\{ \frac{T_{\min}}{\left( \frac{(d2/d1)^{\delta} Q}{(d2/d1)^{-\varepsilon} N_s} \right)^{\gamma}} \right\}^{-\beta} \quad \dots (11)$$

(上記数式 (11) 中の  $d1$  は変更前の前記外径、 $d2$  は変更後の前  
記外径、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$  は、全て0以上の定数である。)

[請求項3]

前記製造条件算出手段は、

複数の前記  $L/D$  の条件毎に、吐出量  $Q$  と前記最小せん断応力履歴  
値  $T_{\min}$  との関係を表す近似曲線を作成する近似曲線作成ステップと  
、

前記数式 (1) に基づいて、前記単位量あたりのペレット数  $N$  が所  
定の値以下になる最小せん断応力履歴値  $T_{\min}$  である閾値  $T_{\min}$  決定  
する閾値  $T_{\min}$  決定ステップと、

各近似曲線から前記閾値  $T_{\min}$  での各吐出量  $Q_n$  を算出する吐出量  
 $Q_n$  算出ステップと、

前記  $L/D$  と前記  $Q_n$  との関係式を導出する関係式導出ステッ  
プと、を備え、

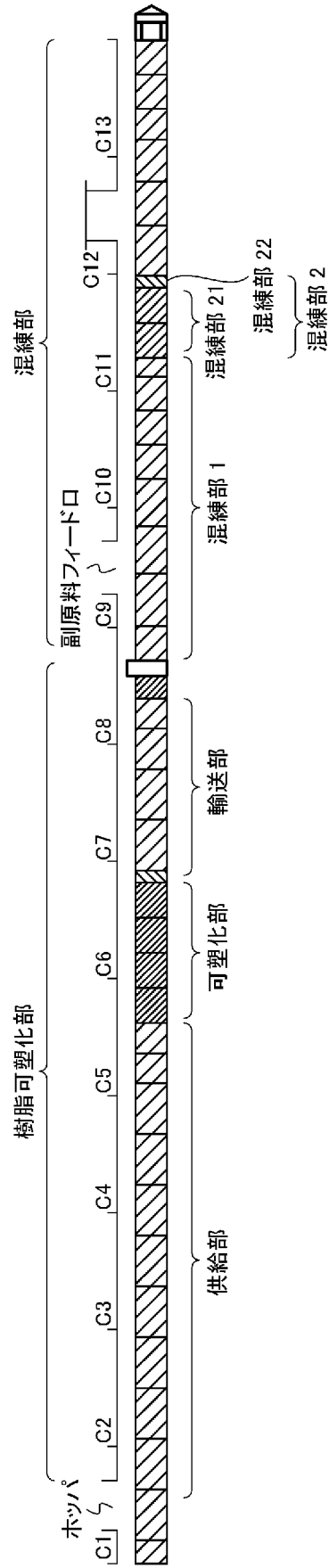
前記関係式に基づいて、製造条件を選択する請求項1又は2に  
記載のシミュレーション装置。

[請求項4]

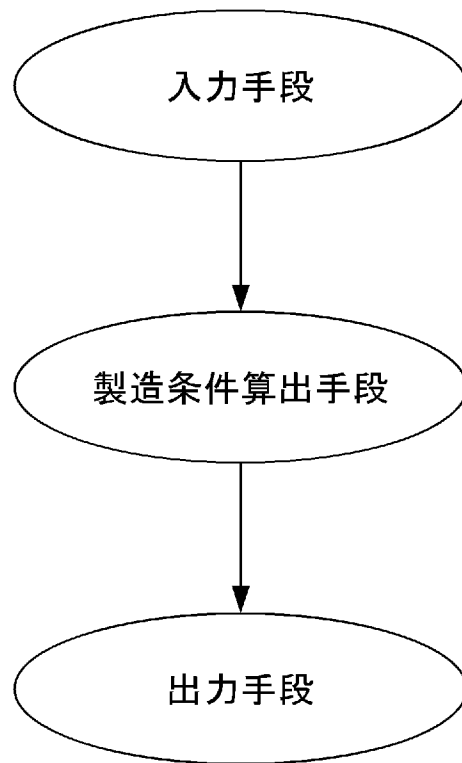
前記スクリーエレメントは、フライト部に切り欠きを有する逆送  
りのスクリーエレメントである請求項1から3のいずれかに記載の  
シミュレーション装置。

- [請求項5]           請求項 1 から 4 のいずれかに記載のシミュレーション装置の機能をコンピュータで実現するためのプログラム。
- [請求項6]           請求項 5 に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

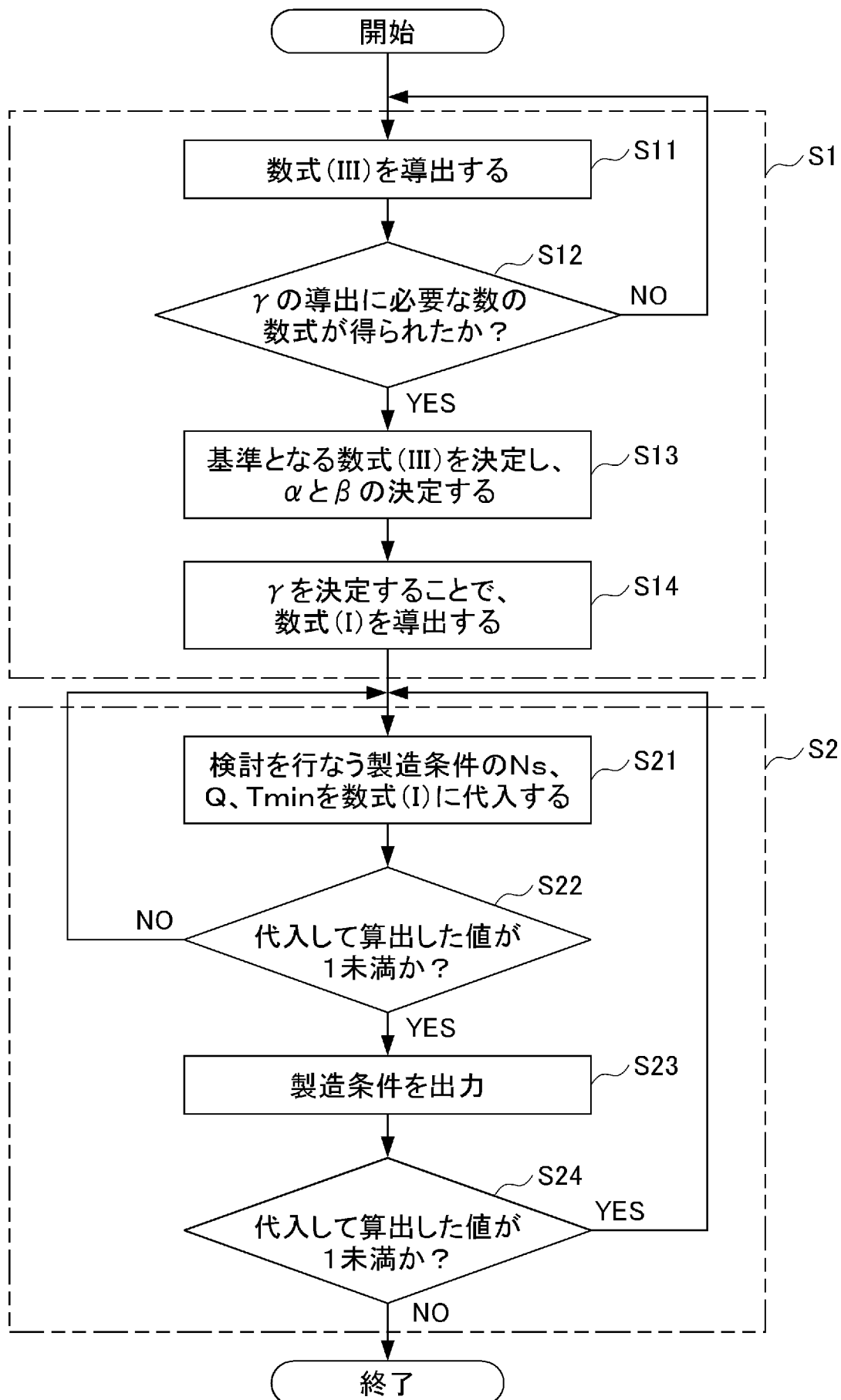
[図1]



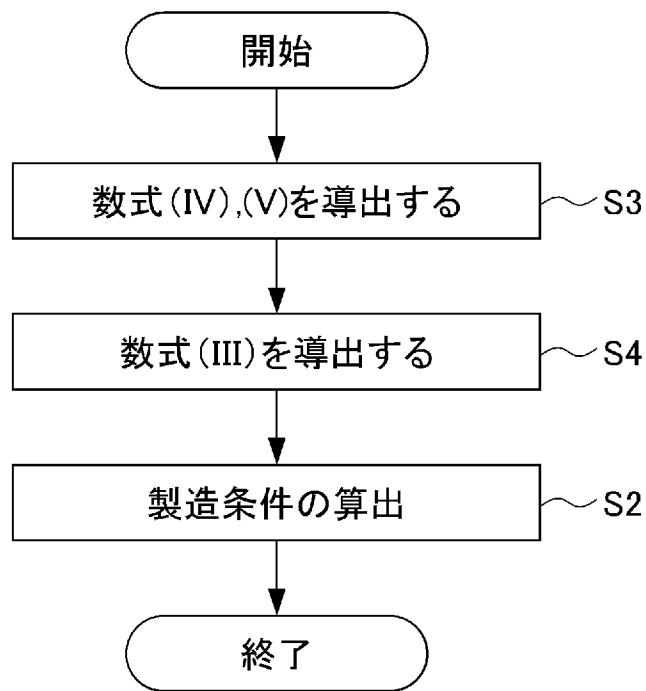
[図2]



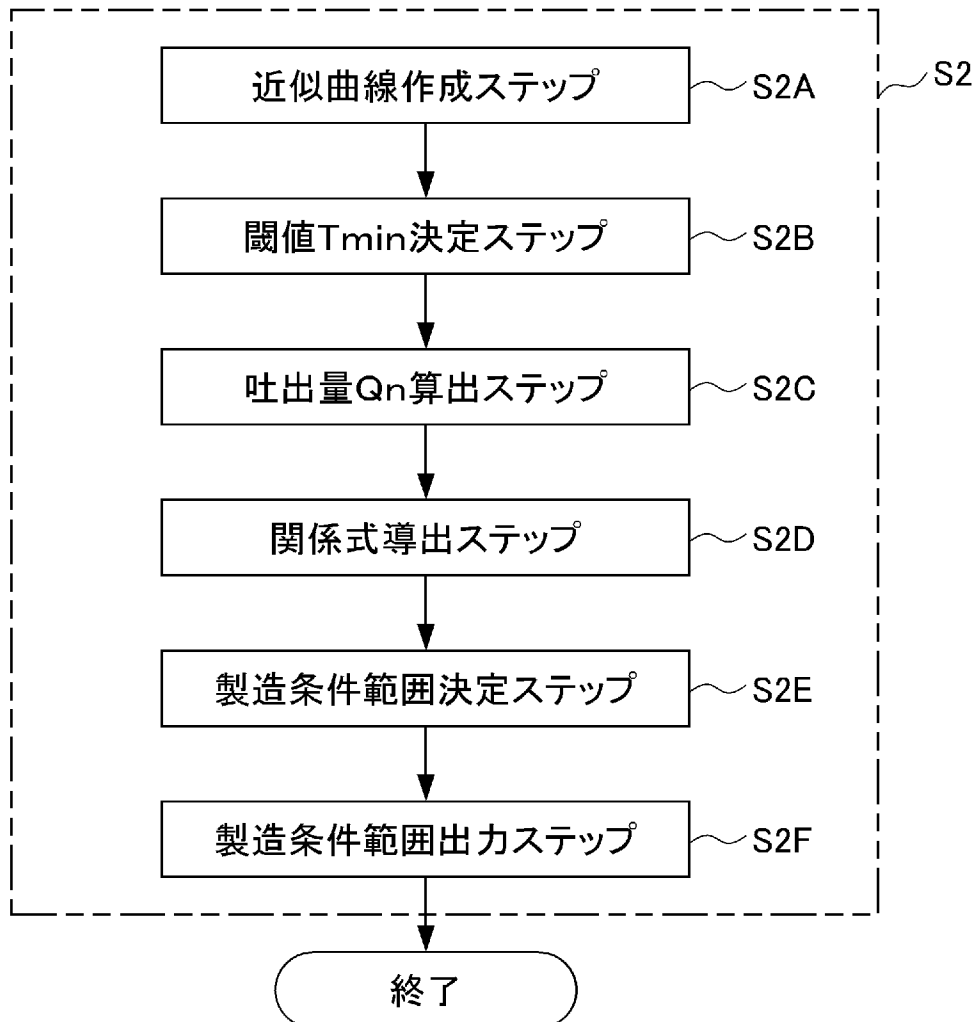
[図3]



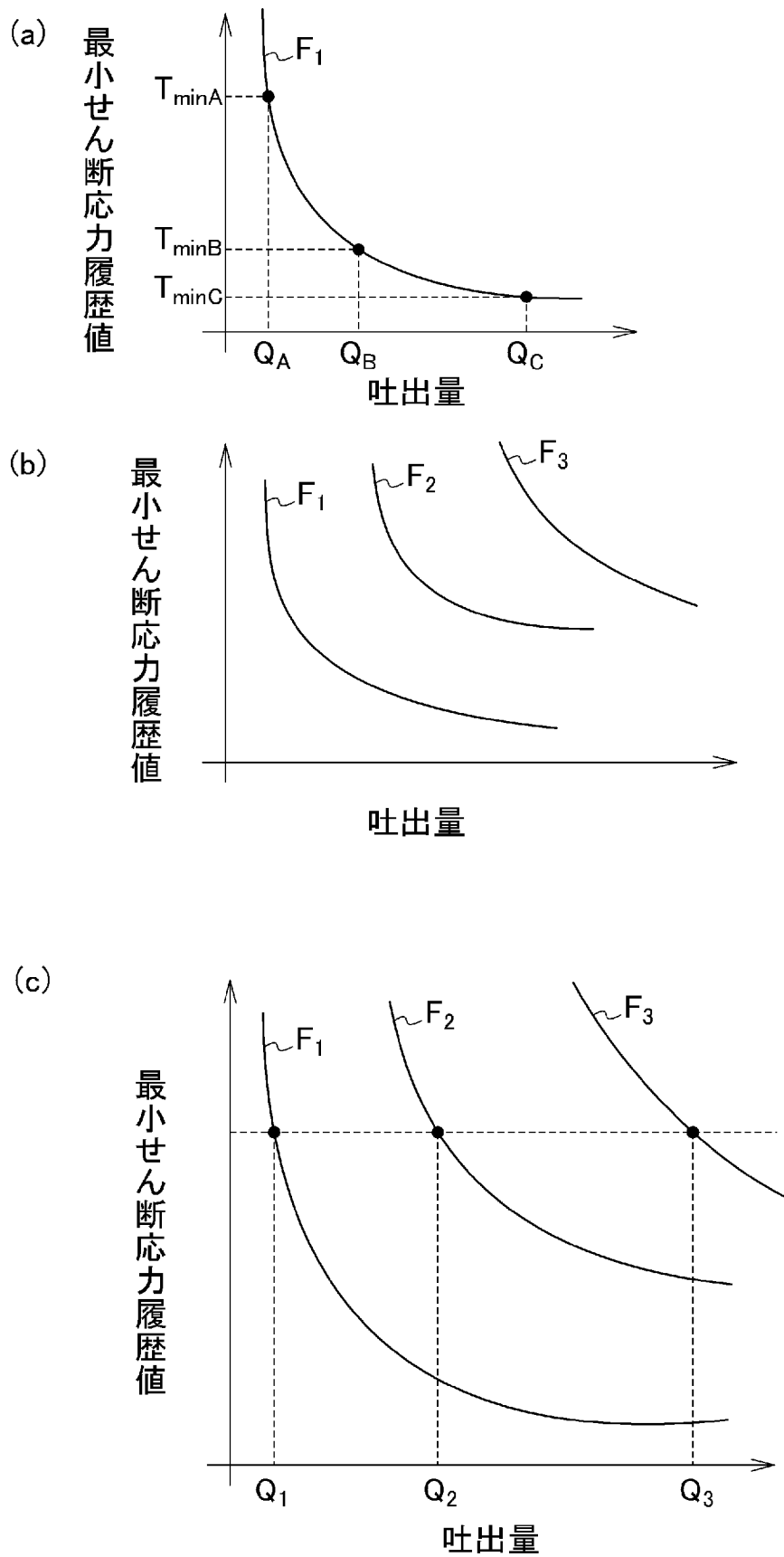
[図4]



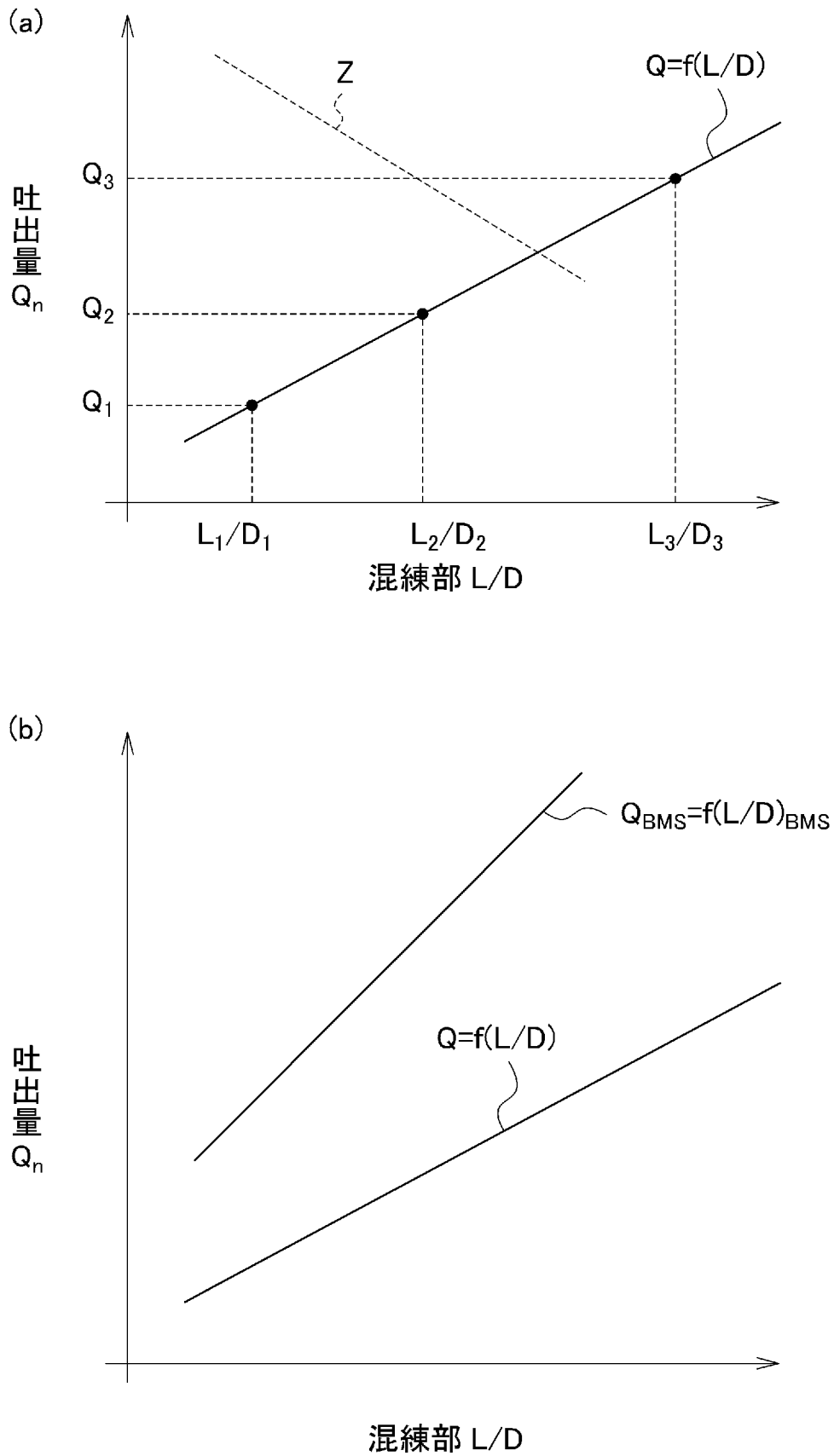
[図5]



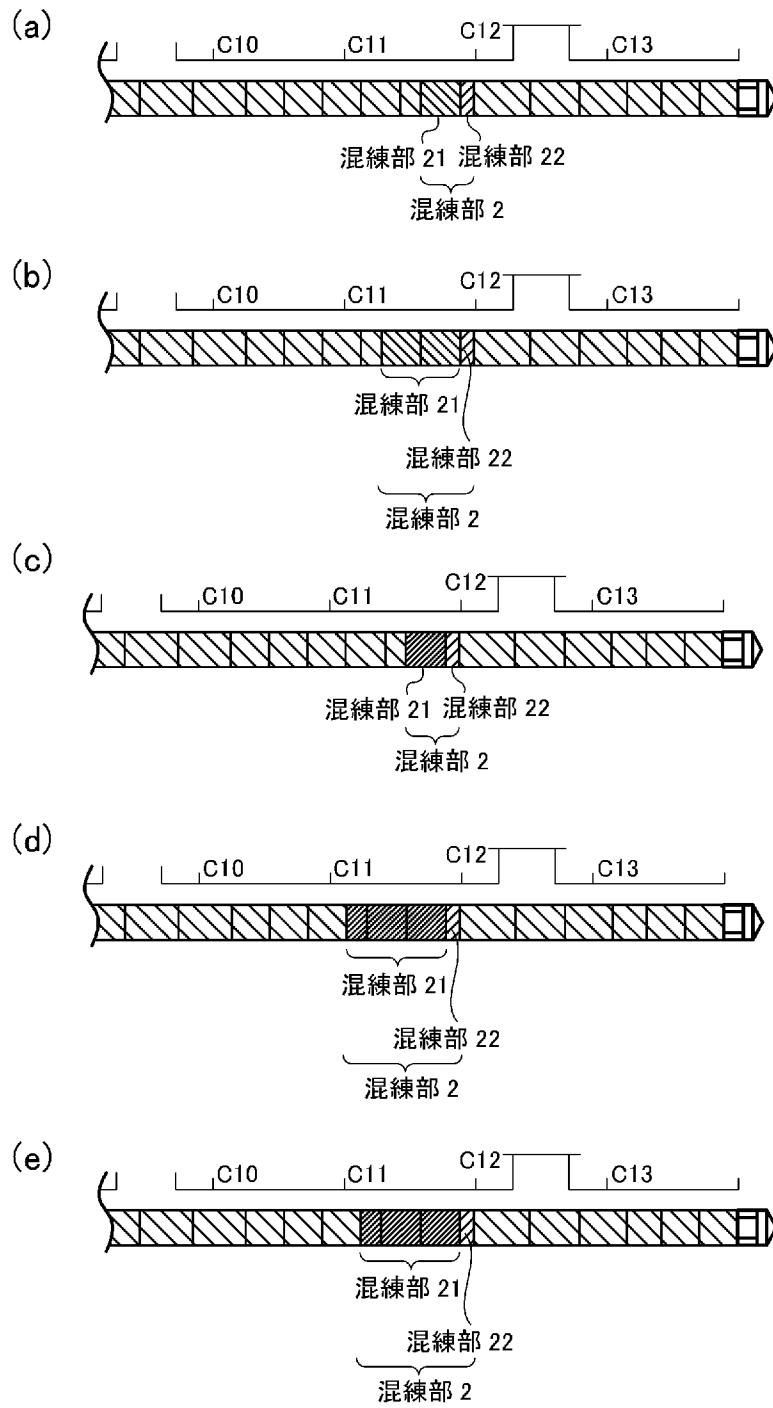
[図6]



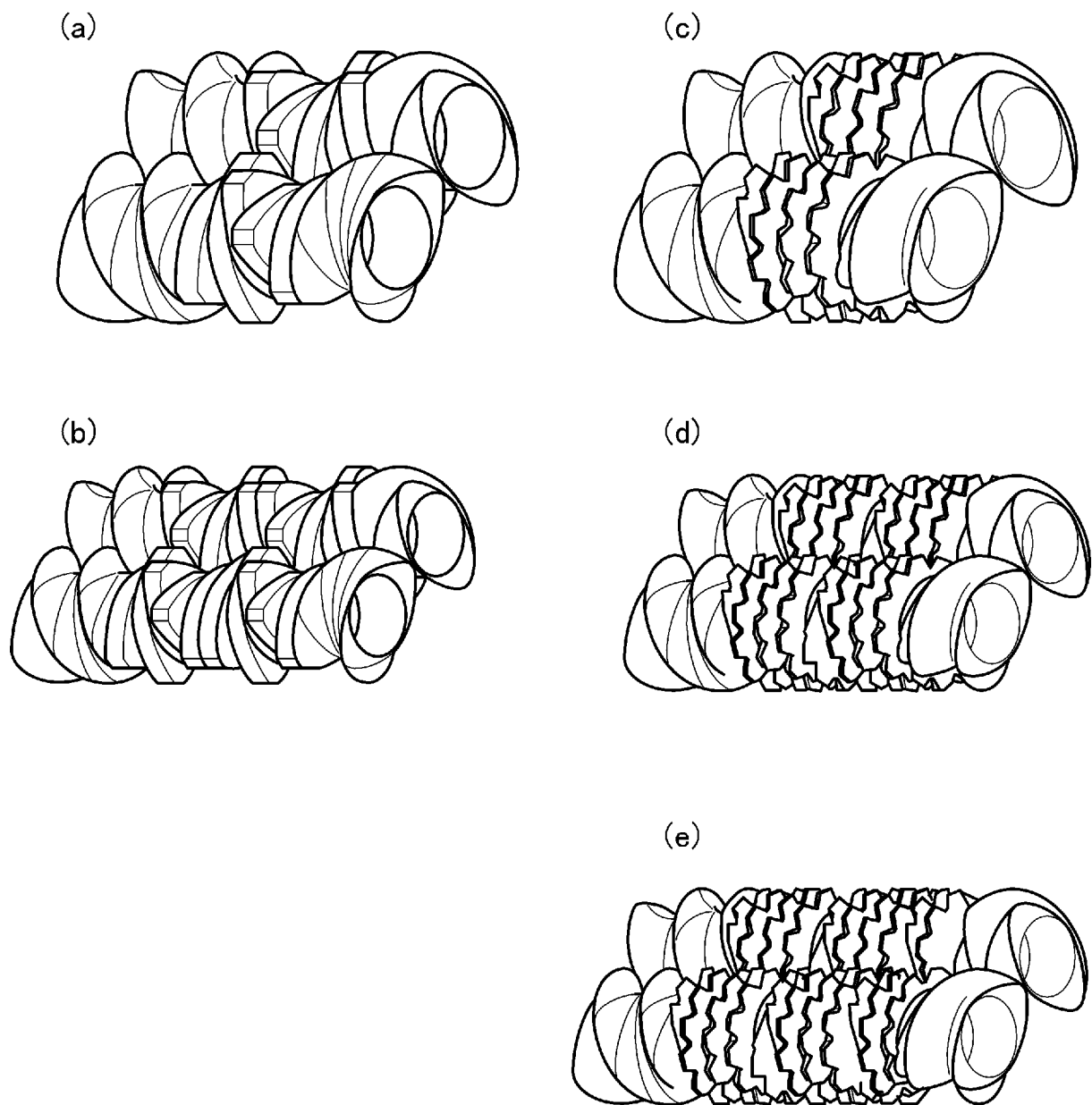
[図7]



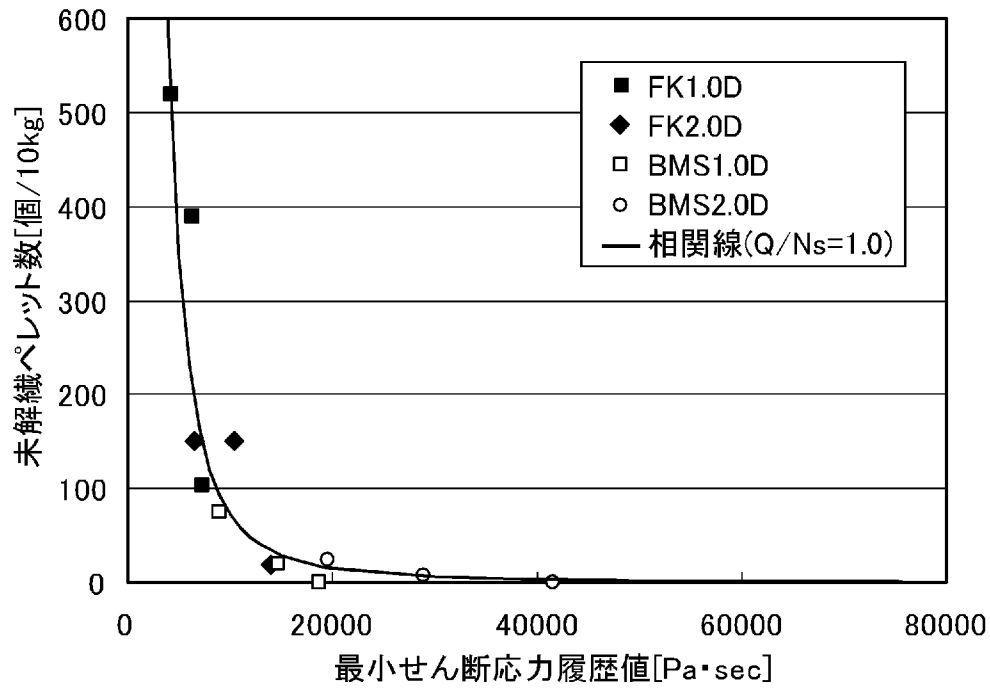
[図8]



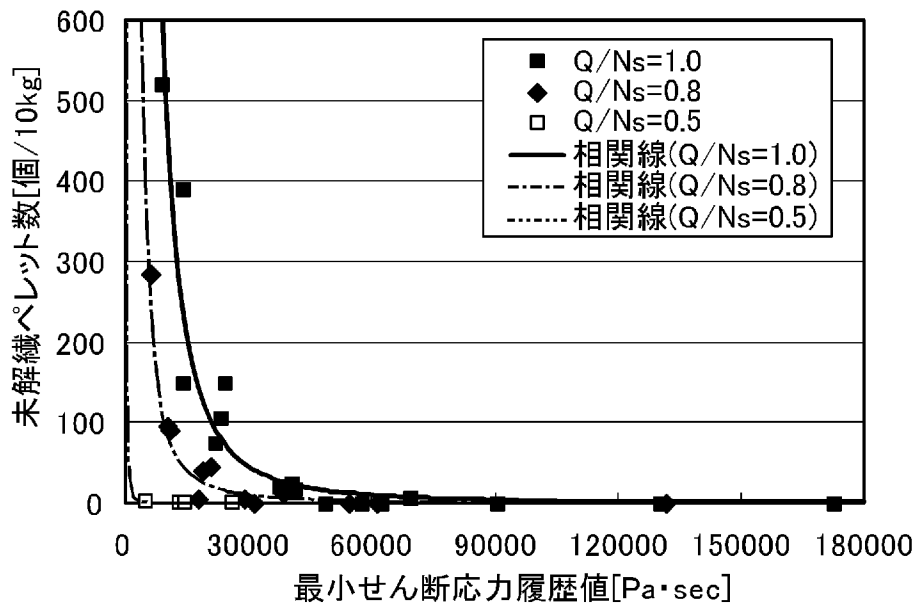
[図9]



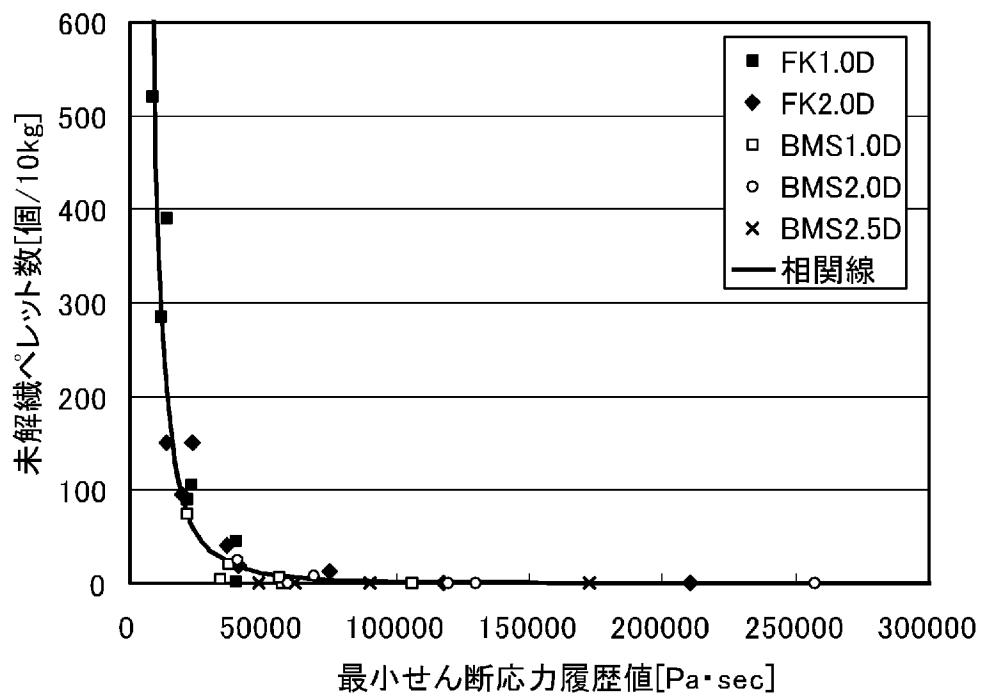
[図10]



[図11]

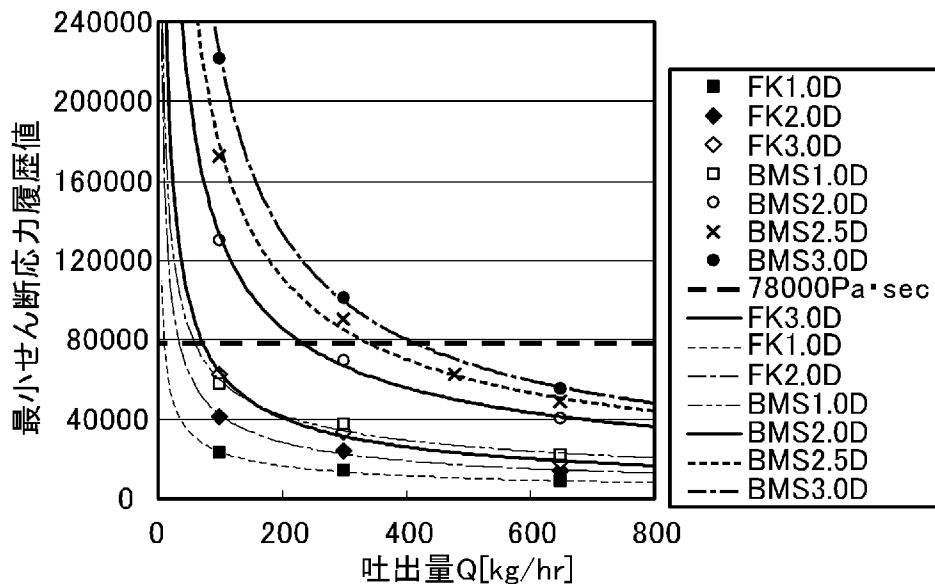


[図12]

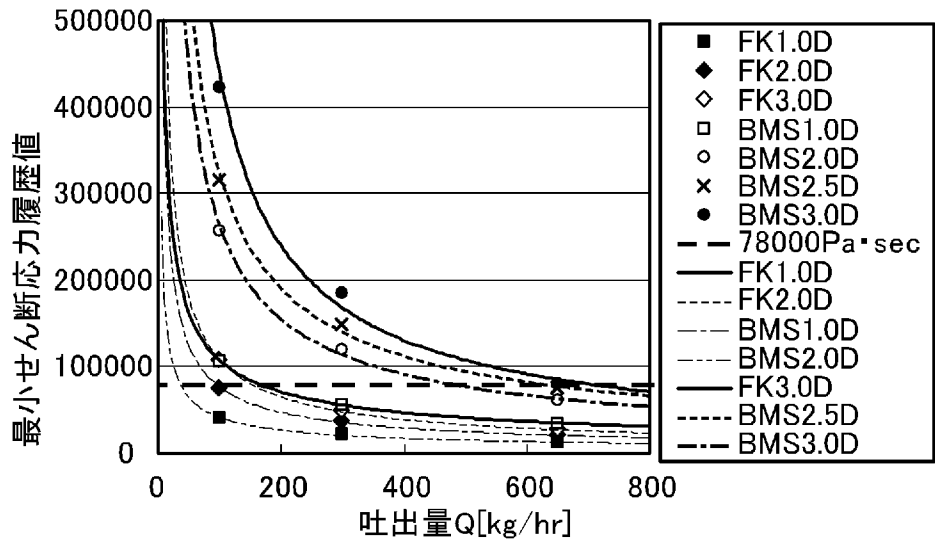


[図13]

(a)

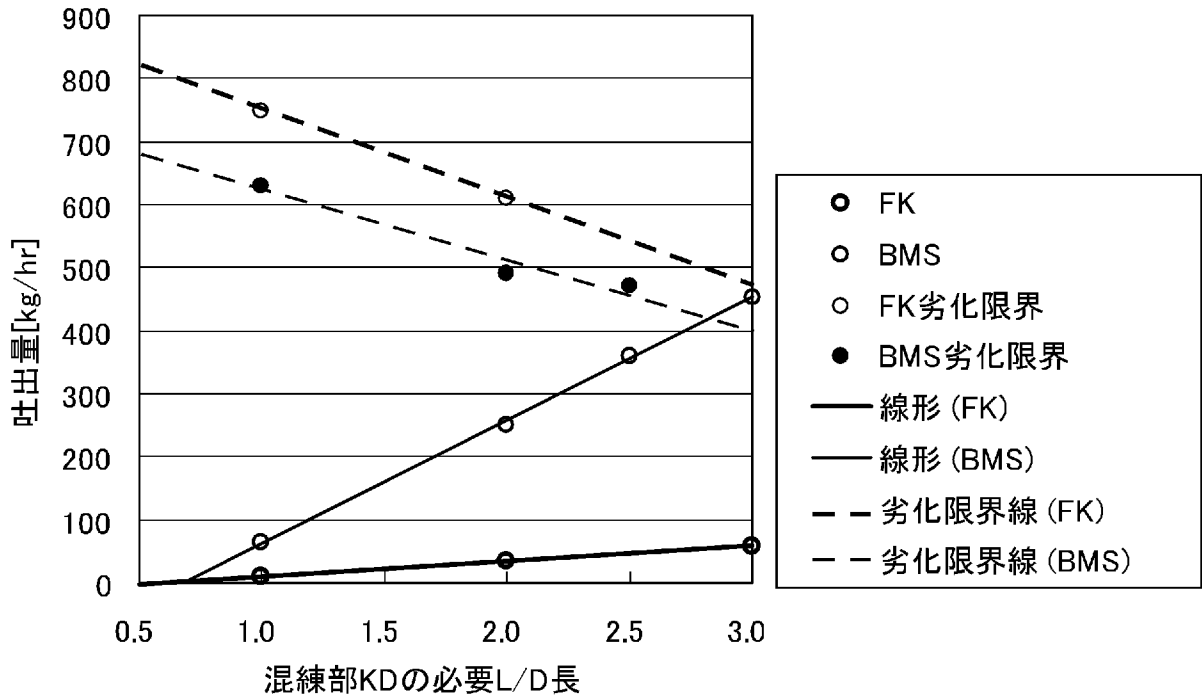


(b)

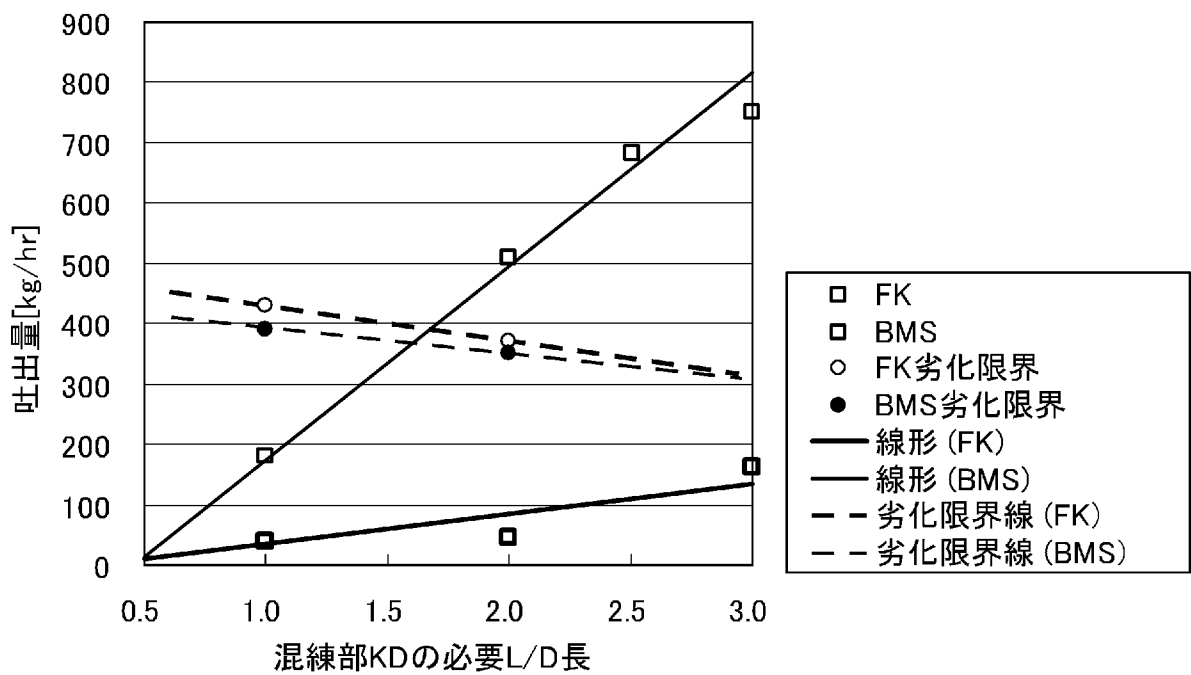


[図14]

(a)



(b)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/067120

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29B7/58(2006.01)i, B29B7/48(2006.01)i, B29B9/06(2006.01)i, B29B9/14(2006.01)i, B29C47/92(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29B7/00-9/16, B29C47/00-47/96

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-60001 A (Toray Industries, Inc.), 05 March 1996 (05.03.1996), entire text & US 5679456 A & US 6428728 B1	1-6
A	JP 2002-18842 A (Sumitomo Chemical Co., Ltd.), 22 January 2002 (22.01.2002), entire text (Family: none)	1-6
A	JP 9-29819 A (Asahi Chemical Industry Co., Ltd.), 04 February 1997 (04.02.1997), entire text (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
11 August, 2011 (11.08.11)

Date of mailing of the international search report  
23 August, 2011 (23.08.11)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/067120

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-137113 A (Sekisui Chemical Co., Ltd.), 30 May 1995 (30.05.1995), entire text (Family: none)	1-6
A	JP 2010-654 A (The Japan Steel Works, Ltd.), 07 January 2010 (07.01.2010), entire text (Family: none)	1-6
A	WO 2006/123824 A1 (Polyplastics Co., Ltd.), 23 November 2006 (23.11.2006), entire text & KR 10-2008-0007606 A & CN 101175619 A	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. B29B7/58(2006.01) i, B29B7/48(2006.01) i, B29B9/06(2006.01) i, B29B9/14(2006.01) i, B29C47/92(2006.01) i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. B29B7/00-9/16, B29C47/00-47/96

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2011年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2011年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-60001 A (東レ株式会社) 1996. 03. 05, 全文 & US 5679456 A & US 6428728 B1	1-6
A	JP 2002-18842 A (住友化学工業株式会社) 2002. 01. 22, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 9-29819 A (旭化成工業株式会社) 1997. 02. 04, 全文 (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー  
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 11. 08. 2011	国際調査報告の発送日 23. 08. 2011
----------------------------	----------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 奥野 剛規	4F	4168
	電話番号 03-3581-1101 内線 3430		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 7-137113 A (積水化学工業株式会社) 1995. 05. 30, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2010-654 A (株式会社日本製鋼所) 2010. 01. 07, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	WO 2006/123824 A1 (ポリプラスチックス株式会社) 2006. 11. 23, 全文 & KR 10-2008-0007606 A & CN 101175619 A	1-6