

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6116497号  
(P6116497)

(45) 発行日 平成29年4月19日 (2017. 4. 19)

(24) 登録日 平成29年3月31日 (2017. 3. 31)

(51) Int. Cl. F I  
**B 2 9 C 39/44 (2006. 01)** B 2 9 C 39/44  
**B 2 9 C 39/10 (2006. 01)** B 2 9 C 39/10  
**B 2 9 K 105/08 (2006. 01)** B 2 9 K 105:08

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-36706 (P2014-36706)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成26年2月27日 (2014. 2. 27)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2015-160371 (P2015-160371A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成27年9月7日 (2015. 9. 7)	(74) 代理人	110000785
審査請求日	平成28年2月23日 (2016. 2. 23)		誠真 I P 特許業務法人
		(72) 発明者	三浦 一浩
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	新藤 健太郎
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	加山 広之
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 樹脂流動制御システムおよび樹脂流動制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

強化繊維基材が配置された成形空間内を減圧しながら該成形空間内に樹脂を注入する樹脂成形時における前記樹脂の流動を制御するための樹脂流動制御システムであって、

前記成形空間内における前記樹脂の流動先端である実際のフローフロントの画像を検出するための画像検出部と、

少なくとも前記樹脂の粘度および前記成形空間内の圧力分布に基づき得られる理想的なフローフロントと、前記画像検出部により得られた前記実際のフローフロントとのかい離を算出するためのかい離算出部と、

前記実際のフローフロントの幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように前記樹脂の流動状態を調節するための流動調節部と、

前記画像検出部で検出された前記画像から前記実際のフローフロントの曲率を取得するための曲率取得部と、を備え、

前記流動調節部は、前記曲率取得部で取得された前記曲率が、予め設定された曲率範囲から外れた場合、あるいは、予め設定された目標曲率から外れた場合に、前記樹脂の流動状態を調節するように構成されている

ことを特徴とする樹脂流動制御システム。

【請求項 2】

前記画像検出部で検出された画像を複数の単位領域に分割する画像分割部をさらに備え、

10

20

前記かい離算出部は、前記理想的なフローフロントと前記実際のフローフロントとの間の前記単位領域に基づいて前記かい離を判定するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の樹脂流動制御システム。

【請求項 3】

前記画像分割部では、前記強化繊維基材に含浸した前記樹脂の流動速度に基づいて前記単位領域のサイズが設定されていることを特徴とする請求項 2 に記載の樹脂流動制御システム。

【請求項 4】

前記画像検出部は、前記成形空間内の温度分布を検出するためのサーモグラフィを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の樹脂流動制御システム。

10

【請求項 5】

前記画像検出部で検出された前記画像を解析することによって該画像中の相対的に高温の部位を前記実際のフローフロントとして認識するフローフロント認識部をさらに備えることを特徴とする請求項 4 に記載の樹脂流動制御システム。

【請求項 6】

前記流動調節部は、前記幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように、前記成形空間に連通して設けられる少なくとも 2 つの注入ポートから注入される前記樹脂の各々の注入量、または、前記成形空間に連通して設けられる少なくとも 2 つの吸引ポートからの各々の吸引圧力の少なくとも一方を調節するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の樹脂流動制御システム。

20

【請求項 7】

前記流動調節部は、前記成形空間を加熱するための少なくとも一つのヒータの出力を調節するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の樹脂流動制御システム。

【請求項 8】

前記画像検出部で検出された前記画像から前記実際のフローフロントの曲率を取得するための曲率取得部と、

前記曲率取得部で取得された前記曲率に基づいて、前記実際のフローフロントのうち閉曲線を形成するような部位である閉曲線位置を検出する閉曲線検出部と、

前記閉曲線検出部で検出された前記閉曲線位置を記憶するように構成された記憶部と、  
をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一項に記載の樹脂流動制御システム。

30

【請求項 9】

強化繊維基材が配置された成形空間内を減圧しながら該成形空間内に樹脂を注入する樹脂成形時における前記樹脂の流動を制御するための樹脂流動制御方法であって、

前記成形空間内における前記樹脂の流動先端である実際のフローフロントの画像を検出するための画像検出ステップと、

少なくとも前記樹脂の粘度および前記成形空間内の圧力分布に基づき得られる理想的なフローフロントと、前記画像検出ステップにより得られた前記実際のフローフロントとのかい離を算出するためのかい離算出ステップと、

40

前記実際のフローフロントの幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように前記樹脂の流動状態を調節するための流動調節ステップと、

前記画像検出ステップで検出された前記画像から前記実際のフローフロントの曲率を取得する曲率取得ステップと、を備え、

前記流動調節ステップでは、前記曲率取得ステップで取得された前記曲率が、予め設定された曲率範囲から外れた場合、あるいは、予め設定された目標曲率から外れた場合に、前記樹脂の流動状態を調節する

ことを特徴とする樹脂流動制御方法。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、例えば、繊維強化複合部材を製造するための樹脂含浸工法（RTM）等に適用され、強化繊維基材が配置された成形空間内における樹脂の流動を制御するための樹脂流動制御システムおよび樹脂流動制御方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、繊維強化複合部材（例えばFRP：繊維強化プラスチック）は、高強度で且つ軽量であることから、風車ブレード、航空機、自動車、船舶、鉄道車両等の部材への適用が急速に進みつつある。

## 【0003】

繊維強化複合部材の製造方法として、例えば特許文献1に記載されるように、成形型上に強化繊維基材を配置し、成形空間内に樹脂を注入して強化繊維基材に樹脂を含浸させた後、樹脂を硬化させる樹脂含浸成形（RTM：Resin Transfer Molding）工法が知られている。さらに近年は、RTM工法の派生として、真空樹脂含浸成形（VaRTM：Vacuum assisted Resin Transfer Molding）工法や減圧式樹脂含浸成形（Light-RTM）工法等も知られている。

## 【0004】

ところで、樹脂の成形時において、成形空間内に配置した強化繊維基材に樹脂を含浸させる場合、部材の板厚変化部や形状の複雑な部位では強化繊維基材に含浸された樹脂の流れが不均一となり、樹脂が不足した製造欠陥が発生することがある。一般的に、樹脂の不足した部位はドライスポットと呼ばれ、繊維強化複合部材の強度を局所的に著しく低下させる可能性がある。従来はこのような製造欠陥への対策として、作業者が樹脂の流動状況を監視し、樹脂の成型時のばらつきに対処していた。しかしその場合、成形品の品質が作業者の経験や能力に左右されるという問題がある。

## 【0005】

そこで、樹脂含浸シミュレーションを実施し、ドライスポットが生じにくいような樹脂含浸経路となるように、フローメディア等の副資材を配置する技術が開発、実用化されつつある。また、ドライスポットが生じにくいように、製造時の樹脂含浸のばらつきに対応して樹脂の温度や成形空間内の圧力を制御する技術も知られている。例えば、特許文献2には、成形空間内を減圧するための吸引ポートが複数設けられており、樹脂の含浸が遅い方向の吸引ポートを積極的に利用することで、ドライスポットが生じないように樹脂を流すようにしたRTM工法が記載されている。また、非特許文献1には、マトリックス状に配置した電極のインピーダンス変化から樹脂含浸領域を判定し、ドライスポットの生じそうな箇所を加熱することによりドライスポットの発生を回避する方法が記載されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献1】国際公開第2004/033176号

【特許文献2】米国特許出願公開第2013/0270729号明細書

## 【非特許文献】

## 【0007】

【非特許文献1】小林誠治、外3名、「全面くし型電極を用いた誘導加熱によるVaRTMスマートフロー」、社団法人日本機械学会 M & M 2009 材料力学カンファレンス、2009年7月24～26日、p.461 - 463

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

上述したように、例えば繊維強化複合部材等のような樹脂成形品の品質向上のためには、樹脂成形時における樹脂の流動状態を良好に保つことが重要である。すなわち、樹脂の流動状態にばらつきがある場合、ドライスポット等の製造欠陥が生じて樹脂成形品の強度低下を招くおそれがある。そこで、高品質の樹脂成形品を製造するためには、樹脂の流動状態を監視し、適宜制御することが望ましい。

この点、特許文献2や非特許文献1に記載される方法によれば、樹脂の流動状態の監視や制御が可能となるが、監視により検出された現在の樹脂の流動状態から適正な流動状態へ修正するための具体的な制御方法については何ら記載されていない。

【0009】

本発明の少なくとも幾つかの実施形態は、上述の事情に鑑み、樹脂成形時における樹脂の流動状態を適正にし、樹脂成形品の品質向上に寄与し得る樹脂流動制御システムおよび樹脂流動制御方法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】

【0010】

本発明の幾つかの実施形態にかかる樹脂流動制御システムは、

強化繊維基材が配置された成形空間内を減圧しながら該成形空間内に樹脂を注入する樹脂成形時における前記樹脂の流動を制御するための樹脂流動制御システムであって、

前記成形空間内における前記樹脂の流動先端である実際のフローフロントの画像を検出するための画像検出部と、

少なくとも前記樹脂の粘度および前記成形空間内の圧力分布に基づき得られる理想的なフローフロントと、前記画像検出部により得られた前記実際のフローフロントとのかい離を算出するためのかい離算出部と、

前記実際のフローフロントの幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように前記樹脂の流動状態を調節するための流動調節部と、を備えることを特徴とする。

なお、本明細書において、「理想的なフローフロント」とは、成形空間内において樹脂の流動不良（例えばドライスポットの発生に繋がるような流動不良）が生じないような適正な流動状態が実現される場合のフローフロントであり、任意に設定可能としてもよい。また、「実際のフローフロントの幅方向」は、画像検出部で検出された画像上における、樹脂の流動方向（樹脂の含浸方向）に対して垂直な方向であってもよい。但し、画像検出部で検出された画像が立体画像である場合、「実際のフローフロントの幅方向」は、任意の面における、樹脂の流動方向（樹脂の含浸方向）に対して垂直な方向であってもよい。

【0011】

上記樹脂流動制御システムによれば、樹脂成形時において樹脂の流動状態を適正に保つことができ、樹脂成形品の品質向上に寄与できる。すなわち、上記実施形態では、実際のフローフロントと、理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布が平準化されるように、樹脂の流動状態を調節するようになっている。このように、理想的なフローフロントが与えられることによって制御目標が明確となり、優れた制御性が実現できるとともに制御精度の向上が可能となる。また、実際のフローフロントと理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布を経時的に取得していけば、樹脂が含浸される全域にわたって樹脂の流動状態を改善できるため、ドライスポット等の製造欠陥の発生を抑制でき、樹脂成形品の品質向上に寄与する。

【0012】

幾つかの実施形態において、前記画像検出部で検出された画像を複数の単位領域に分割する画像分割部をさらに備え、前記かい離算出部は、前記理想的なフローフロントと前記実際のフローフロントとの間の前記単位領域に基づいて前記かい離を判定するように構成されている。

このように、フローフロントを含む画像に設定された単位領域を用いることによって、理想的なフローフロントと実際のフローフロントとのかい離を容易に判定することができる。また、画像分割部において、要求される制御精度に応じて単位領域を設定することが可能であるため、対象に応じた適切な制御の実施に寄与できる。

## 【0013】

一実施形態において、前記画像分割部では、前記強化繊維基材に含浸した前記樹脂の流動速度に基づいて前記単位領域のサイズが設定されている。

これにより、対象ごとに適正な単位領域の設定が可能となる。

## 【0014】

幾つかの実施形態において、前記画像検出部は、前記成形空間内の温度分布を検出するためのサーモグラフィを含んでいる。この場合、前記画像検出部で検出された前記画像を解析することによって該画像中の相対的に高温の部位を前記実際のフローフロントとして認識するフローフロント認識部をさらに備えていてもよい。

樹脂成形時には、通常、樹脂を加熱した状態で成形空間内に注入するため、成形空間内において、樹脂が含浸された部分と樹脂が含浸されていない部分とでは温度の違いが生じる。そのため、サーモグラフィによって成形空間内の温度勾配の大きい箇所を検出することによって、非接触にて実際のフローフロントを正確に検出することができる。

## 【0015】

一実施形態において、前記流動調節部は、前記幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように、前記成形空間に連通して設けられる少なくとも2つの注入ポートから注入される前記樹脂の各々の注入量、または、前記成形空間に連通して設けられる少なくとも2つの吸引ポートからの各々の吸引圧力の少なくとも一方を調節するように構成されている。

このように、少なくとも2つの注入ポートから注入される樹脂の各々の注入量、または、複数の吸引ポートにおける各々の吸入圧力の少なくとも一方を調節することによって、樹脂の流動状態を効果的に調節することが可能となる。

## 【0016】

幾つかの実施形態において、前記流動調節部は、前記成形空間を加熱するための少なくとも一つのヒータの出力を調節するように構成されている。

このように、成形空間内の加熱状態を調節することによって、樹脂の流動状態を部位によって変化させることができ、樹脂の流動状態を効果的に調節することが可能となる。

## 【0017】

幾つかの実施形態において、前記画像検出部で検出された前記画像から前記実際のフローフロントの曲率を取得するための曲率取得部をさらに備え、

前記流動調節部は、前記曲率取得部で取得された前記曲率が、予め設定された曲率範囲から外れた場合、あるいは、予め設定された目標曲率から外れた場合に、前記樹脂の流動状態を調節するように構成されている。

このように、原則として前記かい離に基づいて樹脂の流動状態を調節した上で、曲率取得部で取得された曲率が、予め設定された曲率範囲から外れた場合、あるいは、予め設定された目標曲率から外れた場合に、樹脂の流動状態を調節することによって、適正なフローフロントの形成を促進するような制御が可能となる。例えば、予め設定された曲率範囲から外れてフローフロントが閉曲線を形成するような曲率を有する場合、成形後、その部位に樹脂の不足したドライスポットが存在する可能性が高い。したがって、そのような場合には閉曲線が形成されないように樹脂の流動状態を調節する。これにより、ドライスポットの発生を未然に防止することができる。

## 【0018】

幾つかの実施形態において、前記画像検出部で検出された前記画像から前記実際のフローフロントの曲率を取得するための曲率取得部と、

前記曲率取得部で取得された前記曲率に基づいて、前記実際のフローフロントのうち閉曲線を形成するような部位である閉曲線位置を検出する閉曲線検出部と、

前記閉曲線検出部で検出された前記閉曲線位置を記憶するように構成された記憶部と、をさらに備える。

上述したように、フローフロントが閉曲線を形成するような曲率を有する場合、ドライスポットが発生する可能性がある。そのため、閉曲線検出部で検出された閉曲線位置を記

10

20

30

40

50

憶しておくことによって、ドライスポットの発生し易い位置を容易に把握可能となる。さらに、成形後の検査時において、記憶された閉曲線位置付近を重点的に検査すれば、成形不良部位を効果的に検出できる。よって、ドライスポットを補修せずに繊維強化複合部材を出荷してしまう可能性を排除できるため、トラブルの未然防止に役立つ。

#### 【0019】

本発明の幾つかの実施形態にかかる樹脂流動制御方法は、

強化繊維基材が配置された成形空間内を減圧しながら該成形空間内に樹脂を注入する樹脂成形時における前記樹脂の流動を制御するための樹脂流動制御方法であって、

前記成形空間内における前記樹脂の流動先端である実際のフローフロントの画像を検出するための画像検出ステップと、

少なくとも前記樹脂の粘度および前記成形空間内の圧力分布に基づき得られる理想的なフローフロントと、前記画像検出部により得られた前記実際のフローフロントとのかい離を算出するためのかい離算出ステップと、

前記実際のフローフロントの幅方向における前記かい離の分布が平準化されるように前記樹脂の流動状態を調節するための流動調節ステップと、を備えることを特徴とする。

#### 【0020】

上記樹脂流動制御方法によれば、樹脂成形時において樹脂の流動状態を適正に保つことができ、樹脂成形品の品質向上に寄与できる。すなわち、上記実施形態では、実際のフローフロントと理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布が平準化されるように、樹脂の流動状態を調節するようになっている。このように、理想的なフローフロントが与えられることによって制御目標が明確となり、優れた制御性が実現できるとともに制御精度の向上が可能となる。また、実際のフローフロントと理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布を経時的に取得していけば、樹脂が含浸される全域にわたって樹脂の流動状態を改善できるため、ドライスポット等の製造欠陥の発生を抑制でき、樹脂成形品の品質向上に寄与する。

#### 【発明の効果】

#### 【0021】

本発明の幾つかの実施形態によれば、実際のフローフロントと理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布が平準化されるように、樹脂の流動状態を調節するようになっている。これにより、優れた制御性が実現できるとともに制御精度の向上が可能となる。また、実際のフローフロントと理想的なフローフロントとの幅方向におけるかい離の分布を経時的に取得していけば、樹脂が含浸される全域にわたって樹脂の流動状態を改善できるため、ドライスポット等の製造欠陥の発生を抑制でき、樹脂成形品の品質向上に寄与する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0022】

【図1】本発明の実施形態に係る樹脂流動制御システムの全体構成を示す図である。

【図2】本発明の実施形態におけるフローフロント画像を例示した図である。

【図3】理想的なフローフロントの時系列変化の一例を示す図である。

【図4】本発明の実施形態における他のフローフロント画像を例示した図である。

【図5】本発明の実施形態における他のフローフロント画像を例示した図である。

【図6】本発明の実施形態に係る樹脂流動制御方法を示すフローチャートである。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0023】

以下、添付図面に従って本発明の実施形態について説明する。ただし、この実施形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

#### 【0024】

図1は、本実施形態に係る樹脂流動制御システムの全体構成を示す図である。

本実施形態に係る樹脂流動制御システム20および樹脂流動制御方法は、強化繊維基材

10

20

30

40

50

１１が配置された成形空間２内を減圧しながら、該成形空間２内に樹脂１２を注入する樹脂成形法の全般に適用される。以下の一実施形態においては、真空樹脂含浸成形（VaRTM：Vacuum assisted Resin Transfer Molding）工法について具体的に説明するが、これに限定されるものではなく、例えば、樹脂含浸成形（RTM：Resin Transfer Molding）工法や減圧式樹脂含浸成形（Light-RTM）工法等の他の成形法にも適用できる。

#### 【００２５】

最初に、一実施形態に係るVaRTM工法について説明する。

同図に示すように、まず、樹脂１２が含浸されていないドライな繊維からなる基材である強化繊維基材１１を成形型１上に載置し、固定する。その後、強化繊維基材１１の上に、剥離シート（ピールプライ）３及び樹脂拡散用網状シート（フローメディア）４をこの順に配置する。剥離シート３は、成形後の繊維強化複合部材１０の取外しを容易にするためのものである。また、樹脂拡散用網状シート４は、後述の樹脂の強化繊維基材１１への浸透を促進するためのものである。なお、剥離シート３または樹脂拡散用網状シート４は選択的に、適宜用いられるものである。

#### 【００２６】

成形型１は、強化繊維基材１１の載置面が平坦であってもよいし、凹部（不図示）を有していてもよい。また、成形型１上に載置された強化繊維基材１１を固定部材によって固定してもよい。強化繊維基材１１を構成する繊維には、例えば、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維等の公知の繊維を用いることができる。なお、強化繊維基材１１は、繊維が一方向に引き揃えられた一方向繊維シート（又はテープ）であってもよい。

#### 【００２７】

そして、成形型１上に載置された強化繊維基材１１を密閉性のバッグフィルム５で覆い、バッグフィルム５内を減圧し、バッグフィルム５内に液状の樹脂１２を注入する。

具体的には、注入ポート６及び吸引ポート７が設けられたバッグフィルム５を強化繊維基材１１に被せ、シール部材（不図示）によって、バッグフィルム５と成形型１とで囲まれる成形空間２を密封する。次いで、吸引ポート７に真空ポンプが接続され、この真空ポンプにより成形空間２内が減圧される。さらに、注入ポート６を介して減圧下の成形空間２内に液状の樹脂１２が注入される。その際、樹脂１２は、通常、粘性を低くするために室温より温めた状態で注入される。例えば、エポキシ樹脂は、２０ から３０ に温度が変化すると初期の粘性は約１／２となる。したがって、適正な流動状態が得られるような粘度となるように加温された樹脂１２が注入されるようになっている。

#### 【００２８】

成形空間２内が減圧されると、成形空間２内の圧力分布（すなわち吸引ポート側と注入ポート側との圧力差）によって、樹脂１２が成形空間２内で流動する。これにより強化繊維基材１１に樹脂１２が徐々に含浸していく。図１におけるハッチング領域は、強化繊維基材１１への樹脂１２の含浸領域を示している。なお、樹脂１２は、不飽和ポリエステル、エポキシ樹脂、ポリアミド樹脂、フェノール樹脂等の熱硬化性樹脂であってもよいし、ポリブチレンテレフタレートに代表される熱可塑性樹脂であってもよい。

このとき、後述する本実施形態に係る樹脂流動制御システム２０または樹脂流動制御方法を用いて、樹脂１２の流動状態を調節するようになっている。

#### 【００２９】

その後、強化繊維基材１１と樹脂１２とが一体的に成形された繊維強化複合部材１０が得られるように、樹脂１２を硬化する。具体的には、樹脂１２が熱硬化性樹脂であれば、加熱条件下または室温条件下で反応により樹脂１２を硬化させる。一方、樹脂１２が熱可塑性樹脂であれば、熔融した樹脂１２を冷却硬化する。

そして、繊維強化複合部材１０は、成形型１から取り外され、製品の大きさに応じて裁断される。

#### 【００３０】

次に、本発明の実施形態に係る樹脂流動制御システム２０の構成について説明する。

幾つかの実施形態に係る樹脂流動制御システム２０は、樹脂成形時において樹脂１２の

10

20

30

40

50

流動状態を制御するように構成されており、主として、画像検出部（例えばサーモグラフィ 21 および画像取得部 32 を含む）と、かい離算出部 35 と、流動調節部（例えば流動調節機構 22 および成形条件制御部 39 を含む）と、記憶部 38 と、を備えている。

また、一実施形態に係る樹脂流動制御システム 20 は、画像分割部 33 と、曲率取得部 36 と、閉曲線検出部 37 と、のうち少なくともいずれかを更に備えていてもよい。

#### 【0031】

具体的な装置構成例として、樹脂流動制御システム 20 は、サーモグラフィ 21 と、画像処理装置 31、分析装置 34、記憶部 38 および成形条件制御部 39 を含む制御ユニット 30 と、流動調節機構 22 と、から構成されてもよい。画像処理装置 31 は画像取得部 32 および画像分割部 33 を含んでいる。また、画像処理装置 31 は画像分割部 33 を含んでいてもよい。分析装置 34 はかい離算出部 35 を含んでいる。また、分析装置 34 は曲率取得部 36 を含んでいてもよいし、あるいは曲率取得部 36 および閉曲線検出部 37 の両方を含んでいてもよい。例えば、制御ユニット 30 は、図示しない CPU（中央演算装置）、RAM（Random Access Memory）、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体等から構成されている。後述の各種機能を実現するための一連の処理の過程は、プログラムの形式で記録媒体等に記録されており、このプログラムを CPU が RAM 等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、後述の各種機能が実現される。

#### 【0032】

以下、図 1 乃至図 3 を参照して、各部位の具体的な構成について詳細に説明する。なお、図 2 は本発明の実施形態におけるフローフロント画像を例示した図である。図 3 は理想的なフローフロントの時系列変化の一例を示す図である。

#### 【0033】

図 1 に示すように、画像検出部は、成形空間 2 内における樹脂 12 の流動先端である実際のフローフロント 41 の画像を検出するように構成される。例えば、画像検出部は、成形空間 2 内の温度分布を検出するサーモグラフィ 21 と、サーモグラフィ 21 で検出された温度分布を取得する画像取得部 32 とから構成される。サーモグラフィ 21 は、成形空間 2 内の温度分布を連続的または間欠的に検出するようになっている。画像取得部 32 は、サーモグラフィ 21 から温度分布画像を取得するようになっている。その際、時系列的に異なる複数の温度分布画像を取得する。取得した画像は記憶部 38 に蓄積してもよい。画像取得部 32 で取得された温度分布画像には、図 2 に示すように、成形空間 2 内における樹脂 12 の流動先端である実際のフローフロント 41 が含まれている。このように、サーモグラフィ 21 によって成形空間 2 内の温度分布を検出することによって、成形空間 2 内の温度勾配の大きい箇所として、非接触にて実際のフローフロント 41 を正確に検出することができる。この場合、画像検出部で検出された画像を解析することによって該画像中の相対的に高温の部位を実際のフローフロントとして認識するフローフロント認識部（不図示）をさらに備えていてもよい。なお、本実施形態では、実際のフローフロント 41 を含む画像 40 の取得手段としてサーモグラフィ 21 を用いた場合を例示したが、画像 40 の取得手段はこれに限定されるものではない。例えば成形空間 2 内の電気抵抗を用いて実際のフローフロント 41 を含む画像 40 を取得してもよい。

#### 【0034】

図 1 に戻り、かい離算出部 35 は、理想的なフローフロント 42（図 2 および図 3 参照）と、画像検出部により得られた実際のフローフロント 41（図 2 参照）とのかい離  $d_1$ 、 $d_2$  を算出するように構成されている。ここで、理想的なフローフロント 42 は、少なくとも樹脂 12 の粘度および成形空間 2 内の圧力分布に基づいて得られ、成形空間 2 内において樹脂 12 の流動不良（例えばドライスポットの発生に繋がるような流動不良）が生じないような適正な流動状態が実現される場合のフローフロントであり、任意に設定可能としてもよい。なお、樹脂 12 の粘度は、樹脂 12 の種類と温度条件から得られる。また、成形空間 2 内の圧力分布は、吸引ポート 7 からの吸引圧力または注入ポートからの樹脂注入量から得られる。なお、理想的なフローフロント 42 を取得する際には、成形空間 2 の形状や各寸法、注入ポート 6 または吸引ポート 7 の位置や個数等の他の成形条件を考慮



してもよい。具体的に、理想的なフローフロント42は、上記した成形条件を考慮したシミュレーションによって求めてもよい。あるいは、理想的なフローフロント42は、上記した成形条件を考慮して経験的または実験的に求めてもよい。図3に示すように、理想的なフローフロント42は、樹脂注入開始時から時系列的に変化するものである。すなわち、理想的なフローフロント42は、注入ポート6側から吸引ポート7側へ向けて矢印A方向に移動する。そのため、樹脂注入開始時からの時間経過に応じて複数の理想的なフローフロント42に関する情報を記憶部38に格納しておいてもよい。

#### 【0035】

また、かい離算出部35では、実際のフローフロント41の幅方向における理想的なフローフロント42とのかい離 $d_1$ 、 $d_2$ を取得する。図2を参照して、具体的には、まず実際のフローフロント41に対応する理想的なフローフロント42を選択する。例えば、樹脂注入開始時からの時間経過に対応した理想的なフローフロント42を選択してもよい。あるいは、実際のフローフロント41のうち最も進行した点Pの位置が重なるような理想的なフローフロント42を選択してもよい。あるいは、注入ポート6から実際のフローフロント41までの距離の平均値と、注入ポート6から理想的なフローフロント42までの距離の平均値が一致するような理想的なフローフロント42を選択してもよい。

こうして選択された理想的なフローフロント42と、実際のフローフロント41とのかい離 $d_1$ 、 $d_2$ を、実際のフローフロント41の幅方向において算出する。なお、実際のフローフロント41の幅方向とは、画像検出部で検出された画像上における、樹脂の流動方向（樹脂の含浸方向）Aに対して垂直な方向であってもよい。但し、画像検出部で検出された画像40が立体的な画像である場合、実際のフローフロント41の幅方向は、任意の面における、樹脂の流動方向（樹脂の含浸方向）に対して垂直な方向であってもよい。例えば、この幅方向に異なる少なくとも2点において、理想的なフローフロント42と実際のフローフロント41とのかい離 $d_1$ 、 $d_2$ を算出してもよい。

#### 【0036】

流動調節部は、実際のフローフロント41の幅方向における理想的なフローフロント42とのかい離 $d_1$ 、 $d_2$ の分布が平準化されるように、樹脂12の流動状態を調節するように構成される。例えば、流動調節部は、成形条件制御部39と、流動調節機構22とから構成される。その場合、成形条件制御部39は、実際のフローフロント41の幅方向における理想的なフローフロント42とのかい離 $d_1$ 、 $d_2$ の分布が平準化されるような制御信号を生成し、流動調節機構22へ出力する。そして、流動調節機構22はこの制御信号に基づいて制御され、樹脂12の流動状態を調節するようになっている。

#### 【0037】

一実施形態において、流動調節部は、幅方向におけるかい離 $d_1$ 、 $d_2$ の分布が平準化されるように、成形空間2に連通して設けられる少なくとも2つの注入ポート6から注入される樹脂12の各々の注入量、または、成形空間2に連通して設けられる少なくとも2つの吸引ポート7からの各々の吸引圧力の少なくとも一方を調節するように構成されている。図2には、3つの注入ポート6a、6b、6cと、1つの吸引ポート7が設けられている場合を例示している。この場合、3つの注入ポート6a、6b、6cからの樹脂12の注入量を調節することによって、樹脂12の流動状態を調節するようになっている。例えば、樹脂12の含浸速度が遅れている側に位置する注入ポート6aからの樹脂12の注入量を、樹脂12の含浸速度が遅れていない側に位置する注入ポート6cからの樹脂12の注入量よりも増加させる。このように、少なくとも2つの注入ポート6から注入される樹脂の各々の注入量、または、複数の吸引ポート7における各々の吸入圧力の少なくとも一方を調節することによって、樹脂12の流動状態を効果的に調節することが可能となる。

#### 【0038】

他の実施形態において、図4に示すように、流動調節部は、成形空間2を加熱するための少なくとも一つのヒータの出力を調節するように構成されている。なお、図4は本発明の実施形態における他のフローフロント画像40を例示した図である。この実施形態では

、成形空間 2 内を部分的に加熱可能なヒータを用いて、樹脂 1 2 の含浸速度が遅れている側の実際のフローフロント 4 1 付近の領域 5 0 を部分的に加熱する。ヒータの構成例としては、複数の矩形平板型のヒータが成形型 1 に配列されて埋設された構成であってもよいし、同様の複数の矩形平板型のヒータがバッグフィルム 5 の上に配置された構成であってもよい。このように、成形空間 2 内の加熱状態を調節することによって、樹脂 1 2 の流動状態を部位によって変化させることができ、樹脂 1 2 の流動状態を効果的に調節することが可能となる。

#### 【 0 0 3 9 】

上記実施形態によれば、樹脂成形時において樹脂 1 2 の流動状態を適正に保つことができ、樹脂成形品 1 0 の品質向上に寄与できる。すなわち、上記実施形態では、実際のフローフロント 4 1 と、樹脂 1 2 の適正な流動状態に応じた理想的なフローフロント 4 2 との幅方向におけるかい離  $d_1$  ,  $d_2$  の分布が平準化されるように、樹脂 1 2 の流動状態を調節するようになっている。このように、理想的なフローフロント 4 2 が与えられることによって制御目標が明確となり、優れた制御性が実現できるとともに制御精度の向上が可能となる。また、実際のフローフロント 4 1 と理想的なフローフロント 4 2 との幅方向におけるかい離  $d_1$  ,  $d_2$  の分布を経時的に取得していけば、樹脂 1 2 が含浸される全域にわたって樹脂 1 2 の流動状態を改善できるため、ドライスポット等の製造欠陥の発生を抑制でき、樹脂成形品 1 0 の品質向上に寄与する。

#### 【 0 0 4 0 】

また、本実施形態に係る樹脂流動制御システム 2 0 は、以下の構成を備えていてもよい。

図 1 および図 2 に示すように、一実施形態において、樹脂流動制御システム 2 0 は、画像検出部で検出された画像 4 0 を複数の単位領域 4 3 に分割する画像分割部 3 3 をさらに備えており、かい離算出部 3 5 において、理想的なフローフロント 4 2 と実際のフローフロント 4 1 との間の単位領域 4 3 に基づいてかい離  $d_1$  ,  $d_2$  を判定するように構成されている。具体的に、画像分割部 3 3 は、実際のフローフロント 4 1 を含む画像 4 0 に対してメッシュ 4 4 を重畳し、画像 4 0 を複数の単位領域 4 3 に分割する。単位領域 4 3 は、強化繊維基材 1 1 に含浸した樹脂 1 2 の流動速度に基づいて、そのサイズが設定されていてもよい。例えば、樹脂 1 2 の流動方向 A におけるメッシュ 4 4 間の距離  $L$  を、樹脂 1 2 の流動速度に基づいて設定する。このとき、メッシュ 4 4 間の距離（例えば流動方向 A における距離  $L$ ）の下限値は画像 4 0 の解像度（例えば 1 画素分の距離）に基づいて設定され、上限値は要求制御精度に基づいて設定されてもよい。その場合、メッシュ 4 4 間の距離は、この範囲内において設定される。

これにより、対象ごとに適正な単位領域 4 3 の設定が可能となる。また、単位領域 4 3 のサイズは、樹脂 1 2 の流動状態を算出するシミュレーションの結果に基づいて決定してもよいし、実験的または経験的に基づいて決定してもよい。

#### 【 0 0 4 1 】

このように、実際のフローフロント 4 1 を含む画像 4 0 に設定された単位領域 4 3 を用いることによって、理想的なフローフロント 4 2 と実際のフローフロント 4 1 とのかい離  $d_1$  ,  $d_2$  を容易に判定することができる。また、画像分割部 3 3 において、要求される制御精度に応じて単位領域 4 3 を設定することが可能であるため、対象に応じた適切な制御の実施に寄与できる。実際のフローフロント 4 1 と理想的なフローフロント 4 2 とのかい離  $d_1$  ,  $d_2$  が、予め設定された数の単位領域 4 3 を超えた場合（例えば 1 つの単位領域 4 3 を超えた場合）に、流動調節部において樹脂 1 2 の流動を調節するようにしてもよい。

#### 【 0 0 4 2 】

図 1 および図 4 に示すように、一実施形態において、樹脂流動制御システム 2 0 は、画像検出部で検出された画像 4 0 から実際のフローフロント 4 1 の曲率を取得するための曲率取得部 3 6 をさらに備えている。その場合、流動調節部では、原則としてかい離  $d_1$  ,  $d_2$  に基づいて樹脂 1 2 の流動状態を調節した上で、曲率取得部 3 6 で取得された曲率が

、予め設定された曲率範囲から外れた場合、あるいは、予め設定された目標曲率から外れた場合に、樹脂 12 の流動状態を調節するようになっている。曲率範囲または目標曲率は、記憶部 38 に記憶されてもよい。例えば、実際のフローフロント 41 のうち位置 M において、予め設定された曲率範囲から外れて閉曲線 45 を形成するような曲率を有する場合、成形後、その部位に樹脂の不足したドライスポットが存在する可能性が高い。なお、実際のフローフロント 41 のうち閉曲線が形成されるような曲率を有する位置を閉曲線位置と称する。すなわち、閉曲線位置 M においては、閉曲線 45 の内側に空気が閉じ込められているか、あるいは、閉曲線 45 の外側を樹脂 12 が流れて閉曲線 45 の内部領域で樹脂 12 が不足することによって、ドライスポットが発生することがある。したがって、このような場合には、閉曲線位置 M において閉曲線 45 が形成されないように樹脂 12 の流動状態を調節する。これにより、ドライスポットの発生を未然に防止することができる。また、予め適正な曲率範囲を設定しておき、曲率取得部 36 で取得された曲率がこの曲率範囲を逸脱したときに、樹脂 12 の流動状態を調節するようにしてもよい。

10

このように、実際のフローフロント 41 の曲率に基づいて樹脂 12 の流動状態を調節することによって、適正なフローフロントの形成を促進するような制御が可能となる。

#### 【0043】

図 1 および図 5 に示すように、他の実施形態において、樹脂流動制御システム 20 は、画像検出部で検出された画像 40 から実際のフローフロント 41 の曲率を取得するための曲率取得部 36 と、曲率取得部 36 で取得された曲率に基づいて、実際のフローフロント 41 のうち閉曲線 45 を形成するような部位である閉曲線位置 M、N を検出する閉曲線検出部 37 とを更に備えている。なお、図 5 は本発明の実施形態における他のフローフロント画像を例示した図である。閉曲線検出部 37 で検出された閉曲線位置 M、N は、記憶部 38 に蓄積されてもよい。その際、記憶部 38 には、閉曲線位置 M、N の座標情報を記憶させてもよいし、画像 40 が単位領域 43 に分割されている場合には、単位領域 43 ごとに識別番号を付与しておき、閉曲線位置 M、N が存在する識別番号を記憶させてもよい。

20

実際のフローフロント 41 が閉曲線 45 を形成するような曲率を有する場合、ドライスポットが発生する可能性がある。そのため、閉曲線検出部 37 で検出された閉曲線位置 M、N を記憶しておくことによって、ドライスポットの発生し易い位置を容易に把握可能となる。さらに、成形後の検査（例えば非破壊検査）時において、記憶された閉曲線位置付近を重点的に検査すれば、成形不良部位を効果的に検出できる。よって、ドライスポットを補修せずに、繊維強化複合部材 10 を出荷してしまう可能性を排除できるため、トラブルの未然防止に役立つ。

30

#### 【0044】

以下、図 6 を参照して、本発明の実施形態に係る樹脂流動制御方法について説明する。なお、図 6 は本発明の実施形態に係る樹脂流動制御方法を示すフローチャートである。

図 1 に示すように強化繊維基材 11 が配置された成形空間 2 内を減圧しながら該成形空間 2 内に樹脂を注入する樹脂成形時において、画像検出ステップ S1 でサーモグラフィ 21 により成形空間 2 内の温度分布を検出する。サーモグラフィ 21 で検出された温度分布情報を含む画像は画像取得部 32 に送信される。この温度分布情報には、樹脂 12 の実際のフローフロント 41 が含まれる。次いで、画像処理ステップ S2 において、画像取得部 32 に入力された画像に対して画像処理を行った後、温度分布解析ステップ S3 において画像処理後の画像に対して温度分布解析を行う。これにより、画像中の温度勾配が大きい領域が抽出されて実際のフローフロント 41 を含む画像 40（図 2 参照）が得られる。このとき、画像分割部 33 によって、画像 40 を複数の単位領域 43 に分割してもよい。

40

#### 【0045】

続いて、かい離算出ステップ S4 において、理想的なフローフロント 42 と実際のフローフロント 41 とのかい離を算出する。そして、かい離判定ステップ S5 において、実際のフローフロント 41 の幅方向にかい離が存在するか否かを判定し、少なくとも幅方向のいずれかの位置にかい離が存在する場合には、流動調節ステップ S6 において、実際のフローフロント 41 の幅方向におけるかい離の分布が平準化されるように、流動調節部によ

50

って樹脂 1 2 の流動状態を調節する。例えば、流動調節部は、少なくとも 2 つの注入ポート 6 から注入される樹脂 1 2 の各々の注入量、または、少なくとも 2 つの吸引ポート 7 からの各々の吸引圧力の少なくとも一方を調節することによって樹脂 1 2 の流動状態を調節する。あるいは、流動調節部は、成形空間 2 を加熱するための少なくとも一つのヒータの出力を調節することによって樹脂 1 2 の流動状態を調節する。なお、かい離判定ステップ S 5 において、実際のフローフロント 4 1 と理想的なフローフロント 4 2 とのかい離が存在しない場合には、画像検出ステップ S 1 に戻る。

#### 【 0 0 4 6 】

以上説明したように、上記実施形態によれば、実際のフローフロント 4 1 と理想的なフローフロント 4 2 との幅方向におけるかい離 d の分布が平準化されるように、樹脂 1 2 の流動状態を調節するようになっている。これにより、樹脂 1 2 の流動状態の制御に際して、優れた制御性の実現できるとともに制御精度の向上が可能となる。また、実際のフローフロント 4 1 と理想的なフローフロント 4 2 との幅方向におけるかい離 d の分布を経時的に取得していけば、樹脂 1 2 が含浸される全域にわたって樹脂 1 2 の流動状態を改善できるため、ドライスポット等の製造欠陥の発生を抑制でき、樹脂成形品 1 0 の品質向上に寄与する。

#### 【 0 0 4 7 】

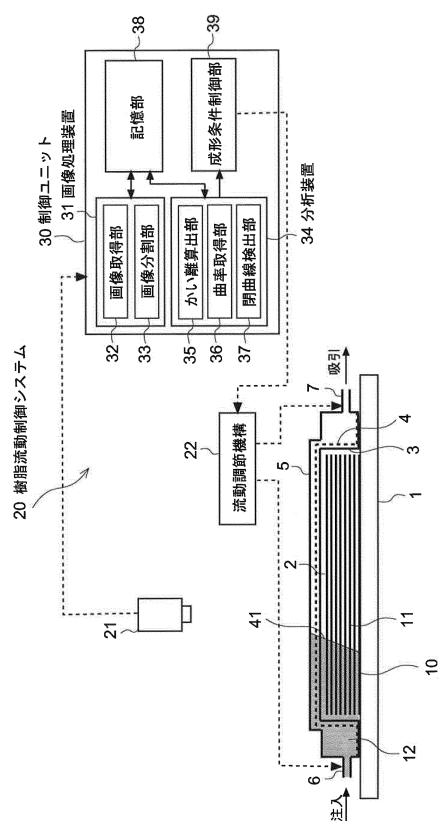
以上、本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明はこれに限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変形を行ってもよいのはいうまでもない。

#### 【 符号の説明 】

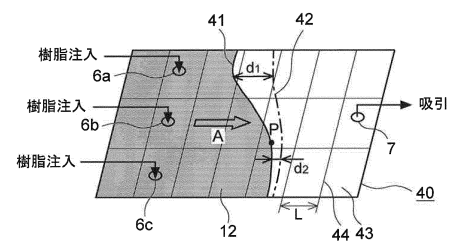
#### 【 0 0 4 8 】

- |     |             |    |
|-----|-------------|----|
| 1   | 成形型         |    |
| 2   | 成形空間        |    |
| 3   | 剥離シート       |    |
| 4   | 樹脂拡散用網状シート  |    |
| 5   | バッグフィルム     |    |
| 6   | 注入ポート       |    |
| 7   | 吸引ポート       |    |
| 1 0 | 繊維強化複合部材    | 30 |
| 1 1 | 強化繊維基材      |    |
| 1 2 | 樹脂          |    |
| 2 0 | 樹脂流動制御システム  |    |
| 2 1 | サーモグラフィ     |    |
| 2 2 | 流動調節機構      |    |
| 3 0 | 制御ユニット      |    |
| 3 1 | 画像処理装置      |    |
| 3 2 | 画像取得部       |    |
| 3 3 | 画像分割部       |    |
| 3 4 | 分析装置        | 40 |
| 3 5 | かい離算出部      |    |
| 3 6 | 曲率取得部       |    |
| 3 7 | 閉曲線検出部      |    |
| 3 8 | 記憶部         |    |
| 3 9 | 成形条件制御部     |    |
| 4 0 | 画像          |    |
| 4 1 | 実際のフローフロント  |    |
| 4 2 | 理想的なフローフロント |    |
| 4 3 | 単位領域        |    |
| 4 4 | メッシュ        | 50 |

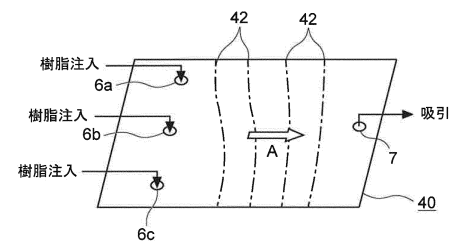
【 図 1 】



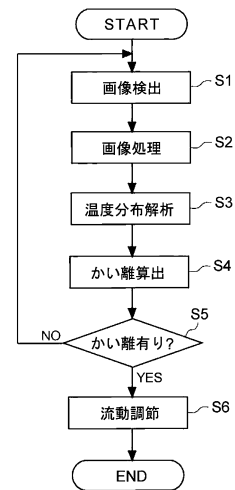
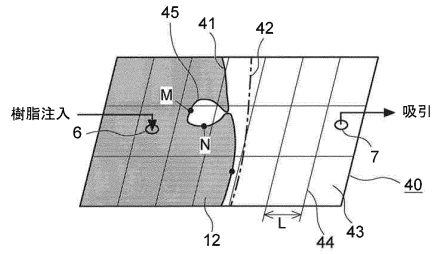
【圖 2】



【 図 3 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

審査官 高 橋 理絵

- (56)参考文献 特開2003-039451(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0046771(US,A1)  
特開平05-016199(JP,A)  
米国特許第06577958(US,B1)  
特開平05-189816(JP,A)  
特開2003-053744(JP,A)  
特開2008-044358(JP,A)  
特開2005-199524(JP,A)  
特開2003-039479(JP,A)  
欧州特許出願公開第01555104(EP,A1)  
米国特許出願公開第2013/0270729(US,A1)  
特開2007-269015(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B29C 39/00 - 39/44  
B29C 70/00 - 70/88