

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7601367号
(P7601367)

(45)発行日 令和6年12月17日(2024.12.17)

(24)登録日 令和6年12月9日(2024.12.9)

(51)国際特許分類	F I		
H 0 2 N 11/00 (2006.01)	H 0 2 N 11/00	Z	
B 2 9 C 64/106 (2017.01)	B 2 9 C 64/106		
B 2 9 C 64/40 (2017.01)	B 2 9 C 64/40		
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)	B 3 3 Y 10/00		
B 2 9 C 41/14 (2006.01)	B 2 9 C 41/14		
請求項の数 8 (全16頁)			

(21)出願番号 特願2020-169884(P2020-169884)	(73)特許権者 599011687
(22)出願日 令和2年10月7日(2020.10.7)	学校法人 中央大学
(65)公開番号 特開2022-61748(P2022-61748A)	東京都八王子市東中野 7 4 2 - 1
(43)公開日 令和4年4月19日(2022.4.19)	(74)代理人 100147485
審査請求日 令和5年8月30日(2023.8.30)	弁理士 杉村 憲司
特許法第30条第2項適用 中野 駿、小池 夏実、早川 健が、2020年5月29日付で、ロボティクス・メカトロニクス講演会2020において、出願に係る発明の内容を公開。	(74)代理人 230118913
	弁理士 杉村 光嗣
	(74)代理人 100097238
	弁理士 鈴木 治
	(74)代理人 100174023
	弁理士 伊藤 怜愛
	(72)発明者 早川 健
	東京都文京区春日 1 - 1 3 - 2 7 中央
	大学後楽園キャンパス内
	(72)発明者 小池 夏実
	最終頁に続く

(54)【発明の名称】 誘電エラストマアクチュエータの製造方法、及び、誘電エラストマアクチュエータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

誘電エラストマアクチュエータの製造方法であって、
液状の誘電性エラストマにモールドをディップし、その後、前記モールドを前記誘電性エラストマから引き上げる、ディップステップと、
前記ディップステップの後、前記モールド上の前記誘電性エラストマを硬化させて、前記モールド上で前記誘電性エラストマからなる膜体を得る、硬化ステップと、
前記硬化ステップの後、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去して、非平板状の3次元形状を有する前記膜体を得る、モールド除去ステップと、
前記モールド除去ステップの後、前記膜体の両面上にそれぞれ第1電極及び第2電極を設け、前記誘電エラストマアクチュエータを得る、組立ステップと、
を含み、

前記モールドは、第1溶媒によって溶けるような第1可溶性材料で構成されており、
前記モールド除去ステップでは、前記モールドを前記第1溶媒によって溶かすことによって、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去する、誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項2】

前記ディップステップの前に、前記モールドを製造する、モールド製造ステップを、さらに含み、

前記モールド製造ステップは、3Dプリンタによって、サポート材を使用せずに、前記

第 1 可溶性材料を用いて前記モールドを造形する、モールド造形ステップを、含む、請求項 1 に記載の誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項 3】

前記ディップステップの前に、前記モールドを製造する、モールド製造ステップを、さらに含み、

前記モールド製造ステップは、

3 D プリンタによって、前記第 1 溶媒とは異なる第 2 溶媒によって溶けるような第 2 可溶性材料からなるサポート材を使用しつつ、前記第 1 可溶性材料を用いて前記サポート材上に前記モールドを造形する、モールド造形ステップと、

前記モールド造形ステップの後、前記サポート材を前記第 2 溶媒によって溶かすことによって、前記サポート材上の前記モールドから前記サポート材を除去する、サポート材除去ステップと、

を含む、請求項 1 に記載の誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項 4】

誘電エラストマアクチュエータの製造方法であって、

液状の誘電性エラストマにモールドをディップし、その後、前記モールドを前記誘電性エラストマから引き上げる、ディップステップと、

前記ディップステップの後、前記モールド上の前記誘電性エラストマを硬化させて、前記モールド上で前記誘電性エラストマからなる膜体を得る、硬化ステップと、

前記硬化ステップの後、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去して、非平板状の 3 次元形状を有する前記膜体を得る、モールド除去ステップと、

前記モールド除去ステップの後、前記膜体の両面上にそれぞれ第 1 電極及び第 2 電極を設け、前記誘電エラストマアクチュエータを得る、組立ステップと、

を含み、

前記膜体は、内部に空洞を区画しているとともに、前記空洞に連通する開口を有しており、

前記組立ステップにおいて、前記第 1 電極は、前記膜体の外面上に設けられ、前記第 2 電極は、前記膜体の内面上に設けられ、

前記組立ステップでは、前記膜体の前記空洞に内圧付与用媒体を充填し、それにより、前記膜体に予備伸長を印加する、誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項 5】

前記モールド除去ステップでは、前記膜体から前記モールドを離型することによって、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去する、請求項 4 に記載の誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項 6】

前記内圧付与用媒体は、導電性であり、前記第 2 電極を構成する、請求項 4 に記載の誘電エラストマアクチュエータの製造方法。

【請求項 7】

誘電性エラストマからなり、非平板状の 3 次元形状を有する、膜体と、

前記膜体の両面上にそれぞれ設けられた、第 1 電極及び第 2 電極と、

を備え、

前記膜体は、自然状態において、非平板状の 3 次元形状を有し、

前記膜体は、内部に空洞を区画しているとともに、前記空洞に連通する開口を有しており、

前記第 1 電極は、前記膜体の外面上に設けられており、

前記第 2 電極は、前記膜体の内面上に設けられており、

前記膜体の前記空洞には、内圧付与用媒体が充填されており、それにより、前記膜体には予備伸長が印加されている、誘電エラストマアクチュエータ。

【請求項 8】

前記内圧付与用媒体は、導電性であり、前記第 2 電極を構成する、請求項 7 に記載の誘

10

20

30

40

50

電エラストマアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、誘電エラストマアクチュエータの製造方法、及び、誘電エラストマアクチュエータに関する。

【背景技術】

【０００２】

従来、誘電エラストマからなる平板状の膜体と、膜体の両面上にそれぞれ設けられた電極と、を備えた、誘電エラストマアクチュエータがある（例えば、特許文献１）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【文献】特開２０２０－６１８７８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

しかしながら、上述のような従来の誘電エラストマアクチュエータでは、膜体が平板状であった。

【０００５】

20

本発明は、膜体が非平板状であるような誘電エラストマアクチュエータを得ることができ、誘電エラストマアクチュエータの製造方法、及び、膜体が非平板状であるような誘電エラストマアクチュエータを、提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法は、
液状の誘電性エラストマにモールドをディップし、その後、前記モールドを前記誘電性エラストマから引き上げる、ディップステップと、

前記ディップステップの後、前記モールド上の前記誘電性エラストマを硬化させて、前記モールド上で前記誘電性エラストマからなる膜体を得る、硬化ステップと、

30

前記硬化ステップの後、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去して、非平板状の３次元形状を有する前記膜体を得る、モールド除去ステップと、

前記モールド除去ステップの後、前記膜体の両面上にそれぞれ第１電極及び第２電極を設け、前記誘電エラストマアクチュエータを得る、組立ステップと、を含む。

【０００７】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、
前記モールドは、第１溶媒によって溶けるような第１可溶性材料で構成されており、
前記モールド除去ステップでは、前記モールドを前記第１溶媒によって溶かすことによって、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去するようにしてもよい。

40

【０００８】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、
前記ディップステップの前に、前記モールドを製造する、モールド製造ステップを、さらに含み、

前記モールド製造ステップは、３Ｄプリンタによって、サポート材を使用せずに、前記第１可溶性材料を用いて前記モールドを造形する、モールド造形ステップを、含んでもよい。

【０００９】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、
前記ディップステップの前に、前記モールドを製造する、モールド製造ステップを、さ

50

らに含み、

前記モールド製造ステップは、

３Ｄプリンタによって、前記第１溶媒とは異なる第２溶媒によって溶けるような第２可溶性材料からなるサポート材を使用しつつ、前記第１可溶性材料を用いて前記サポート材上に前記モールドを造形する、モールド造形ステップと、

前記モールド造形ステップの後、前記サポート材を前記第２溶媒によって溶かすことによって、前記サポート材上の前記モールドから前記サポート材を除去する、サポート材除去ステップと、
を含んでもよい。

【００１０】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、

前記モールド除去ステップでは、前記膜体から前記モールドを離型することによって、前記モールド上の前記膜体から前記モールドを除去してもよい。

【００１１】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、

前記膜体は、内部に空洞を区画しているとともに、前記空洞に連通する開口を有しており、

前記組立ステップにおいて、前記第１電極は、前記膜体の外面上に設けられ、前記第２電極は、前記膜体の内面上に設けられてもよい。

【００１２】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、

前記組立ステップでは、前記膜体の前記空洞に内圧付与用媒体を充填し、それにより、前記膜体に予備伸長を印加してもよい。

【００１３】

本発明の誘電エラストマアクチュエータの製造方法において、

前記内圧付与用媒体は、導電性であり、前記第２電極を構成してもよい。

【００１４】

本発明の誘電エラストマアクチュエータは、

誘電性エラストマからなり、非平板状の３次元形状を有する、膜体と、

前記膜体の両面上にそれぞれ設けられた、第１電極及び第２電極と、
を備え、

前記膜体は、自然状態において、非平板状の３次元形状を有する。

【００１５】

本発明の誘電エラストマアクチュエータにおいて、

前記膜体は、内部に空洞を区画しているとともに、前記空洞に連通する開口を有しており、

前記第１電極は、前記膜体の外面上に設けられており、

前記第２電極は、前記膜体の内面上に設けられていてもよい。

【００１６】

本発明の誘電エラストマアクチュエータにおいて、

前記膜体の前記空洞には、内圧付与用媒体が充填されており、それにより、前記膜体には予備伸長が印加されていてもよい。

【００１７】

本発明の誘電エラストマアクチュエータにおいて、

前記内圧付与用媒体は、導電性であり、前記第２電極を構成してもよい。

【発明の効果】

【００１８】

本発明によれば、膜体が非平板状であるような誘電エラストマアクチュエータを得ることができる誘電エラストマアクチュエータの製造方法、及び、膜体が非平板状であるような誘電エラストマアクチュエータを、提供することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるディップステップで、モールドをディップする様子を示す図面である。

【図 2】本発明の第 1 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるディップステップで、モールドを引き上げる様子を示す図面である。

【図 3】本発明の第 1 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド除去ステップを説明するための図面である。

【図 4】本発明の第 1 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド除去ステップにより得られた膜体を示す斜視図である。

10

【図 5】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド除去ステップを説明するための図面である。

【図 6】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 1 例におけるモールド造形ステップで使用される 3 D 造形用データを概略的に示す図面である。

【図 7】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 1 例におけるモールド造形ステップでモールドを造形する様子を示す図面である。

【図 8】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 1 例におけるモールド造形ステップで得られたモールドを示す図面である。

20

【図 9】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 2 例におけるモールド造形ステップでモールドを造形する様子を示す図面である。

【図 1 0】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 2 例におけるモールド造形ステップで得られたモールド及びサポート材を示す図面である。

【図 1 1】本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド製造ステップの第 2 例におけるサポート材除去ステップでサポート材を溶かす様子を示す図面である。

30

【図 1 2】本発明の一実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータを備えた誘電エラストマアクチュエータシステムを概略的に示す図面である。

【図 1 3】図 1 2 の誘電エラストマアクチュエータの動作を説明するための図面であり、図 1 3 (a) は電圧を印加していない時の様子を示しており、図 1 3 (b) は電圧を印加した時の様子を示している。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

以下、本発明に係る、誘電エラストマアクチュエータの製造方法、及び、誘電エラストマアクチュエータの実施形態について、図面を参照しながら例示説明する。

各図において共通する構成要素には同一の符号を付している。

40

以下では、「誘電エラストマアクチュエータ」を「 D E A 」 (Dielectric Elastomer Actuator) と表記する場合がある。

【 0 0 2 1 】

図 1 2 は、本発明の一実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータ (D E A) 1 を備えた、誘電エラストマアクチュエータ (D E A) システム 2 を示している。 D E A 1 は、後述の本発明の任意の実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータ (D E A) の製造方法によって製造することができる。 D E A 1 は、誘電性エラストマからなる膜体 1 0 と、膜体 1 0 の両面上にそれぞれ設けられた、第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 と、を備えている。膜体 1 0 は、非平板状の 3 次元形状を有している。膜体 1 0 がなす 3 次元形状は、非平板状である限り、任意の形状とすることができる。 D E A 1 及び D E A システム 2 につ

50

いては、後により詳しく説明する。

【 0 0 2 2 】

ここで、図 1 ～ 図 4 を参照しつつ、本発明の第 1 実施形態に係る D E A の製造方法を説明する。本発明の第 1 実施形態の D E A の製造方法は、ディップステップと、硬化ステップと、モールド除去ステップと、組立ステップと、を含む。

【 0 0 2 3 】

まず、ディップステップを行う前に、予め、誘電性エラストマ槽 T E に入れられた液状の誘電性エラストマ E と、モールド M と、を準備する (図 1) 。

誘電性エラストマ E は、誘電体のエラストマであれば任意でよく、例えば、シリコン系エラストマ (例えば、ポリジメチルシロキサン (P D M S) 等) 、ゴム、アクリル系エラストマ、ウレタン系エラストマ等が挙げられる。

モールド M は、図の例では球形状を有しているが、任意の 3 次元形状を有してよい。

【 0 0 2 4 】

その後、ディップステップにおいて、液状の誘電性エラストマ E にモールド M をディップし (図 1) 、その後、モールド M を誘電性エラストマ E から引き上げる (図 2) 。これにより、誘電性エラストマ E の粘性によって、モールド M 上には、誘電性エラストマ E が膜状に付着する。

【 0 0 2 5 】

ディップステップの後、硬化ステップにおいて、モールド M 上の誘電性エラストマ E を硬化させて、モールド M 上で誘電性エラストマ E からなる膜体 1 0 を得る。誘電性エラストマ E を硬化させる方法は、誘電性エラストマ E の材料によって異なるが、例えば、誘電性エラストマ E を加熱したり、あるいは、誘電性エラストマ E を常温で乾燥させたりすることにより、行う。

【 0 0 2 6 】

硬化ステップの後、モールド除去ステップにおいて、モールド M 上の膜体 1 0 からモールド M を除去して、膜体 1 0 を得る (図 3) 。モールド除去ステップにより得られる膜体 1 0 は、自然状態において、非平板状の 3 次元形状を有しており、具体的には、モールド M の外形状に沿った 3 次元形状を有する (図 4) 。ここで、「自然状態」とは、膜体 1 0 に外力が加わっていない状態を指す。

第 1 実施形態では、より具体的に、モールド除去ステップにおいて、膜体 1 0 からモールド M を離型することによって、モールド M 上の膜体 1 0 からモールド M を除去する (図 3) 。これにより、膜体 1 0 からモールド M を簡単に除去することができる。

ここで、膜体 1 0 からモールド M を「離型する」とは、外力によってモールド M を膜体 1 0 から引き離すことを指す。

第 1 実施形態において、モールド M を構成する材料は、例えば、金属、樹脂等、任意でよい。また、第 1 実施形態において、モールド M は、任意の方法で製造されてよく、例えば、金型成型により製造されてもよいし、あるいは、3 D プリントによる造形によって製造されてもよい。

【 0 0 2 7 】

モールド除去ステップの後、組立ステップでは、膜体 1 0 の両面上にそれぞれ第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 を設ける等して、D E A 1 (図 1 2) を得る。

【 0 0 2 8 】

なお、モールド除去ステップの前にディップステップ及び硬化ステップを 1 回のみ行ってもよいし、あるいは、硬化ステップの前にディップステップを複数回にわたって繰り返して行ったり、モールド除去ステップの前にディップステップ及び硬化ステップを複数回にわたって繰り返して行ったりすることにより、膜体 1 0 の厚さを増大させてもよい。

【 0 0 2 9 】

本発明の第 1 実施形態に係る D E A の製造方法によれば、上述したディップステップ、硬化ステップ、及びモールド除去ステップを経て、非平板状の 3 次元形状を有する膜体 1 0 を得るので、膜体 1 0 が非平板状であるような D E A 1 を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

つぎに、図 5 ～ 図 1 1 を参照しつつ、本発明の第 2 実施形態に係る D E A の製造方法を説明する。本発明の第 2 実施形態の D E A の製造方法は、モールド除去ステップの内容が第 1 実施形態とは異なる。ディップステップ、硬化ステップ、及び組立ステップは、第 1 実施形態と同様である。

図 5 は、本発明の第 2 実施形態に係る誘電エラストマアクチュエータの製造方法におけるモールド除去ステップを説明するための図面である。

第 2 実施形態では、モールド M は、第 1 溶媒 S 1 によって溶けるような第 1 可溶性材料で構成されている。第 1 溶媒 S 1 及び第 1 可溶性材料は、それぞれ任意であるが、例えば、第 1 溶媒 S 1 を水とし、第 1 可溶性材料を水溶性材料（例えば、水溶性ポリビニルアルコール（PVA）等）としてもよいし、あるいは、第 1 溶媒 S 1 を油とし、第 1 可溶性材料を油溶性材料としてもよいし、あるいは、第 1 溶媒 S 1 を有機溶剤とし、第 1 可溶性材料を ABS 樹脂や ASA 樹脂等としてもよい。ただし、第 1 溶媒 S 1 は、膜体 1 0 を溶かすことができないものとする。

第 2 実施形態において、モールド除去ステップでは、モールド M を第 1 溶媒 S 1 によって溶かすことによって、モールド M 上の膜体 1 0 からモールド M を除去し（図 5）、それにより、膜体 1 0 を得る（図 4）。具体的には、例えば、図 5 に示すように、硬化ステップ後のモールド M 及び膜体 1 0 を、第 1 溶媒槽 T 1 に入った第 1 溶媒 S 1 に漬けることで、モールド M を第 1 溶媒 S 1 によって溶かす。

【 0 0 3 1 】

第 2 実施形態によれば、第 1 実施形態と同様に、膜体 1 0 が非平板状であるような D E A 1 を得ることができる。また、第 2 実施形態によれば、モールド除去ステップにおいてモールド M を第 1 溶媒 S 1 によって溶かす（図 5）ので、第 1 実施形態のようにモールド除去ステップにおいて膜体 1 0 からモールド M を離型する場合（図 3）に比べて、膜体 1 0 の形状を、離型できないような形状とすることもできるので、膜体 1 0 の形状の自由度を向上でき、例えば、膜体 1 0 の形状を複雑な形状とすることも可能となる。

【 0 0 3 2 】

本発明の第 2 実施形態の D E A の製造方法は、ディップステップの前に、モールド M を製造する、モールド製造ステップを、さらに含んでもよい。

モールド製造ステップにおいて、モールド M は、任意の方法で製造されてよい。

例えば、モールド製造ステップは、図 6 ～ 図 8 に示す第 1 例や、図 9 ～ 図 1 1 に示す第 2 例のように、3D プリンタ P によって、第 1 可溶性材料を用いてモールド M を造形する、モールド造形ステップを、含んでもよい。モールド M を 3D プリンタ P によって造形することにより、例えばモールド M を金型成型により製造する場合に比べて、モールド M の形状の自由度を向上できる。

以下、図 6 ～ 図 8 に示す第 1 例と、図 9 ～ 図 1 1 に示す第 2 例とについて、順次説明する。

【 0 0 3 3 】

図 6 ～ 図 8 に示すモールド製造ステップの第 1 例は、モールド造形ステップにおいて、3D プリンタ P によって、サポート材を使用せずに、第 1 可溶性材料を用いてモールド M を造形する。より具体的に、モールド製造ステップの第 1 例は、3次元形状データ作成ステップと、3D 造形用データ生成ステップと、モールド造形ステップと、を含む。

まず、3次元形状データ作成ステップにおいて、コンピュータを用いて、モールド M の 3次元形状を表す 3次元形状データ（例えば、3次元 CAD データ）を作成する。

つぎに、3D 造形用データ生成ステップにおいて、コンピュータを用いて、3次元形状データ作成ステップで作成した 3次元形状データを、3D 造形用データ D（図 6）に変換する。3D 造形用データ D は、3D プリンタ P の造形部 P 2 が造形を行う際に 3D プリンタ P の制御部 P 1 によって読み込まれるものであり、制御部 P 1 が、造形部 P 2 に、造形物としてのモールド M を、造形させるように構成されている。3D 造形用データ D は、例えば、造形物としてのモールド M の各層の 2次元形状を表すスライスデータを含む。

つぎに、モールド造形ステップにおいて、３ＤプリンタＰによってモールドＭの造形を行う（図７）。３ＤプリンタＰは、例えば、光造形方式、粉末焼結積層方式、熱溶融積層方式（ＦＤＭ方式）、インクジェット方式等、任意の造形方式を用いて造形を行ってよい。図７では、熱溶融積層方式（ＦＤＭ方式）によって造形を行う様子を示している。３ＤプリンタＰは、例えば、ＣＰＵ等によって構成された制御部Ｐ１と、制御部Ｐ１による制御に従って造形を行う造形部Ｐ２と、造形される造形物としてのモールドＭを載せるための支持台Ｐ５と、支持台Ｐ５及び造形物としてのモールドＭが収容される収容体Ｐ６と、を備える。造形部Ｐ２は、モデル材ＭＭを用いて造形物を造形するように構成されたモデル材ノズルＰ３を有している。モデル材ノズルＰ３は、本例のように３ＤプリンタＰが熱溶融積層方式（ＦＤＭ方式）を用いて造形する場合、モデル材ＭＭを吐出するように構成される。モデル材ＭＭとしては、第１可溶性材料を用いる。このように構成された３ＤプリンタＰは、モールド造形ステップにおいて、制御部Ｐ１が、３Ｄ造形用データＤを読み込み、読み込んだ３Ｄ造形用データＤに含まれる３次元形状に基づいて、造形部Ｐ２に、モデル材ＭＭを用いて各層を順次造形させていく。この際、３ＤプリンタＰは、サポート材を使用せずに（すなわち、サポート材によって造形物としてのモールドＭを支持せずに）、第１可溶性材料をモデル材ＭＭとして用いてモールドＭを造形する。

10

モールド造形ステップにより、第１可溶性材料からなるモデル材ＭＭから構成されたモールドＭが得られる（図８）。

上述したモールド製造ステップの第１例は、サポート材を用いないので、モールド造形ステップの後にサポート材を除去するステップが不要であり、モールド製造ステップが簡易なものとなる。

20

【００３４】

図９～図１１に示すモールド製造ステップの第２例は、モールド造形ステップにおいて、３ＤプリンタＰによって、第１溶媒Ｓ１（図５）とは異なる第２溶媒Ｓ２（図１１）によって溶けるような第２可溶性材料からなるサポート材ＳＭを使用しつつ、第１可溶性材料を用いてサポート材ＳＭ上にモールドＭを造形する。より具体的に、モールド製造ステップの第２例は、第１例について上述した３次元形状データ作成ステップ、３Ｄ造形用データ生成ステップ、及びモールド造形ステップに加えて、サポート材除去ステップを含む。３次元形状データ作成ステップ及び３Ｄ造形用データ生成ステップは、上述した第１例と同様である。

30

モールド造形ステップで用いる３ＤプリンタＰは、造形部Ｐ２が、モデル材ノズルＰ３に加えて、造形中に造形物としてのモールドＭを支持するサポート材ＳＭを吐出するように構成されたサポート材ノズルＰ４を、さらに有している。サポート材ＳＭとしては、第１溶媒Ｓ１（図５）とは異なる第２溶媒Ｓ２（図１１）によって溶けるような第２可溶性材料を用いる。第２溶媒Ｓ２及び第２可溶性材料は、第２溶媒Ｓ２が第１溶媒Ｓ１と異なるものである限り、それぞれ任意であるが、例えば、第２溶媒Ｓ２を水とし、第２可溶性材料を水溶性材料（例えば、水溶性ポリビニルアルコール（ＰＶＡ）等）としてもよいし、あるいは、第２溶媒Ｓ２を油とし、第２可溶性材料を油溶性材料としてもよいし、あるいは、第２溶媒Ｓ２を有機溶剤とし、第２可溶性材料をＡＢＳ樹脂やＡＳＡ樹脂等としてもよい。ただし、第２溶媒Ｓ２は、モールドＭを溶かすことができないものとする。このように構成された３ＤプリンタＰは、モールド造形ステップにおいて、制御部Ｐ１が、３Ｄ造形用データＤを読み込み、読み込んだ３Ｄ造形用データＤに含まれる３次元形状に基づいて、造形部Ｐ２に、モデル材ＭＭ及びサポート材ＳＭを用いて各層を順次造形させていく。この際、３ＤプリンタＰは、第２可溶性材料からなるサポート材ＳＭを使用しつつ（すなわち、サポート材ＳＭによって造形物としてのモールドＭのオーバーハング部を支持しつつ）、第１可溶性材料をモデル材ＭＭとして用いてサポート材ＳＭ上にモールドＭを造形する（図９）。

40

モールド造形ステップにより、第２可溶性材料からなるサポート材ＳＭによって支持された、第１可溶性材料からなるモデル材ＭＭから構成されたモールドＭが得られる（図１０）。

50

モールド造形ステップの後、サポート材除去ステップにおいて、サポート材 S M を第 2 溶媒 S 2 によって溶かすことによって、サポート材 S M 上のモールド M からサポート材 S M を除去し (図 1 1) 、それにより、モールド M を得る。具体的には、例えば、図 1 1 に示すように、モールド造形ステップ後のモールド M 及びサポート材 S M を、第 2 溶媒槽 T 2 に入った第 2 溶媒 S 2 に漬けることで、サポート材 S M を第 2 溶媒 S 2 によって溶かす。

上述したモールド製造ステップの第 2 例は、造形中にサポート材を用いるので、オーバーハング部を有しサポート材が必要となるような形状のモールド M を造形することができる。また、サポート材 S M を構成する第 2 可溶性材料を溶かすための第 2 溶媒 S 2 (図 1 1) は、モールド M を構成する第 1 可溶性材料を溶かすための第 1 溶媒 S 1 (図 5) とは異なるので、サポート材除去ステップにおいて、第 2 溶媒 S 2 によってモールド M を溶かすことがない。

【 0 0 3 5 】

ただし、第 2 実施形態では、モールド製造ステップにおいて、モールド M は、金型成型によって製造されてもよい。

【 0 0 3 6 】

上述の本発明の各実施形態に係る D E A の製造方法により製造されることができる、本発明の一実施形態に係る D E A 1 は、例えば、図 1 2 及び図 1 3 に示すものとなる。図 1 2 は、本発明の一実施形態に係る D E A 1 を備えた D E A システム 2 を概略的に示している。図 1 3 は、図 1 2 の D E A 1 の動作を説明するための図面であり、図 1 3 (a) は D E A 1 に電圧を印加していない時の様子を示しており、図 1 3 (b) は D E A 1 に電圧を印加した時の様子を示している。D E A 1 は、誘電性エラストマからなる膜体 1 0 と、膜体 1 0 の両面上にそれぞれ設けられた、第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 と、を備えている。図 1 2 ~ 図 1 3 の D E A 1 の膜体 1 0 は、図 4 に示す膜体 1 0 と同じである。膜体 1 0 は、D E A 1 の一部を構成している状態、かつ、D E A 1 に電圧が印加されていない状態において、非平板状の 3 次元形状を有している (図 1 3 (a)) 。また、膜体 1 0 は、単体で見たときに、自然状態において、非平板状の 3 次元形状を有している (図 4) 。本例において、膜体 1 0 は、略球形状 (具体的には、中空球形状に開口 1 0 B を設けた形状) を有しているが、膜体 1 0 がなす 3 次元形状は、非平板状である限り、任意の形状とすることができる。

【 0 0 3 7 】

D E A システム 2 (図 1 2) は、D E A 1 を駆動させるように構成されている。D E A システム 2 は、D E A 1 に加えて、D E A 1 の第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 に電氣的に接続された電源装置 2 3 を備える。電源装置 2 3 は、D E A 1 に電圧を印加したり、D E A 1 への電圧の印加を停止したりする。電源装置 2 3 は、例えば、直流電源とすることができる。

【 0 0 3 8 】

D E A 1 は、電源装置 2 3 によって電圧が印加されると、第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 どちらが静電気力によって引き合うことで、膜体 1 0 のなす 3 次元形状が膨張するように、膜体 1 0 が伸びる (図 1 3 (b)) 。その後、D E A 1 は、電源装置 2 3 によって電圧の印加が停止されると、膜体 1 のなす 3 次元形状が収縮するように、膜体 1 0 が縮んで、元の形状及び大きさに戻る (図 1 3 (a)) 。D E A 1 は、非平板状の 3 次元形状を有するので、電圧が印加された際に、従来の平板状の D E A とは異なる変形動作をすることができる。

【 0 0 3 9 】

第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 をそれぞれ構成する材料は、導電性があり、かつ、膜体 1 0 の伸縮動作を阻害しないものであれば、任意でよく、例えば、導電性グリース (例えば、カーボングリース) 、伸縮性電極、導電性液体 (例えば、水) 等が好適である。

第 1 電極 1 1 及び第 2 電極 1 2 は、それぞれ、膜体 1 0 上の一か所 (一部分又は全体) のみに設けられてもよいし、あるいは、膜体 1 0 上の複数個所に設けられてもよい。

【 0 0 4 0 】

膜体 10 は、図 4、図 12 ~ 図 13 の例のように、内部に空洞 10 A を区画しているとともに、空洞 10 A に連通する開口 10 B を 1 つ又は複数有していてもよい。

このような膜体 10 を備えた DEA 1 を製造するにあたっては、上述の本発明の各実施形態の DEA の製造方法において、まず、ディップステップにおいて、好ましくはモールド M の一部のみを液状の誘電性エラストマ E にディップし（図 1 ~ 図 2）、それにより、モールド M 上に形成される膜体 10 が空洞 10 A 及び開口 10 B を有するようにし（図 3、図 5）、その後のモールド除去ステップにおいて、膜体 10 の開口 B を介してモールド M を膜体 10 から除去する（図 3、図 5）。それにより、上述のような膜体 10 を得る。その後、組立ステップにおいて、第 1 電極 11 は、膜体 10 の外面上に設けられ、第 2 電極 12 は、膜体 10 の内面上に設けられることで、DEA 1 が得られる（図 12 ~ 図 13）。それにより得られた DEA 1 においては、第 1 電極 11 は、膜体 10 の外面上に設けられており、第 2 電極 12 は、膜体 10 の内面上に設けられている。この場合、第 1 電極 11 は、導電性グリース（例えば、カーボングリース）又は伸縮性電極が好適である。また、第 2 電極 12 は、導電性グリース（例えば、カーボングリース）、伸縮性電極、又は、導電性液体（例えば、水）が好適である。図 12 ~ 図 13 の例においては、第 1 電極は、カーボングリースであり、第 2 電極は、水である。第 2 電極 12 が導電性液体である場合、第 2 電極 12 は、膜体 10 の空洞 10 A 内に充填されると、好適である。

このように、膜体 10 が、内部に空洞 10 A を区画しているとともに、空洞 10 A に連通する開口 10 B を 1 つ又は複数有している場合、DEA 1 に電圧が印加されると、膜体 10 の空洞 10 A が膨張して膜体 10 のなす 3 次元形状が膨張するように、膜体 10 が伸びる（図 13（b））。このような膜体 10 が有する 3 次元形状としては、図 4、図 12 ~ 図 13 の例のような略球形状（具体的には、中空球形状に開口 10 B を設けた形状）の他に、例えば、心臓や肺等の臓器の形状が挙げられる。臓器の形状を有する膜体 10 を備えた DEA 1 は、例えば、臓器シミュレータに好適に用いることができる。

【0041】

上述のように、膜体 10 が、内部に空洞 10 A を区画しているとともに、空洞 10 A に連通する開口 10 B を 1 つ又は複数有している場合、図 12 ~ 図 13 の例のように、DEA 1 の膜体 10 の空洞 10 A には、内圧付与用媒体 13 が充填されており、それにより、膜体 10 には予備伸長が印加されていてもよい。膜体 10 に予備伸長が印加されていることにより、膜体 10 がより柔らかくなる。膜体 10 は、エラストマとして一般に、一定の初期ひずみ（予備伸長）を印加した後のほうが、ばね定数が低く抑えられるからである。そのため、DEA 1 に電圧が印加された際に、膜体 10 がより大きく伸びるようになる。

このような DEA 1 を得るにあたっては、例えば、上述の本発明の各実施形態の DEA の製造方法における組立ステップにおいて、膜体 10 の空洞 10 A に内圧付与用媒体 13 を充填し、それにより、膜体 10 に予備伸長を印加する。

内圧付与用媒体 13 を構成する材料は、膜体 10 に均一に予備伸長を印加する観点から、液体（例えば、水）又は気体（例えば、空気（大気））が好適である。

この場合、DEA システム 2 は、図 12 の例のように、膜体 10 の開口 10 B を介して膜体 10 の空洞 10 A に内圧付与用媒体 13 を供給するように構成された内圧付与用媒体供給装置 22 を備えると、好適である。この場合、膜体 10 の空洞 10 A には、内圧付与用媒体供給装置 22 によって、内圧付与用媒体 13 が充填される。図 12 の例において、内圧付与用媒体供給装置 22 は、膜体 10 の開口 10 B を介して、膜体 10 の空洞 10 A に、液体（例えば、水）からなる内圧付与用媒体 13 を供給するように構成されている。図 12 の例において、内圧付与用媒体供給装置 22 は、内圧付与用媒体 13 を貯蔵する媒体槽 221 と、媒体槽 221 と膜体 10 の空洞 10 A との間で圧力付与用媒体 13 を流通させるように構成されたホース 222 と、を有している。ホース 222 の膜体 10 側の一端は、筒状の治具 21 を介して、膜体 10 の開口 10 B に接続されている。ただし、内圧付与用媒体供給装置 22 は、図 12 の例とは異なる構成を有していてもよい。

【0042】

内圧付与用媒体 13 は、図 12 ~ 図 13 の例のように、第 2 電極 12 を構成してもよい

。この場合、内圧付与用媒体 13 は、導電性である。この場合、内圧付与用媒体 13 は、図 12 ~ 図 13 の例のように、導電性液体（例えば、水）であると、好適である。内圧付与用媒体 13 が第 2 電極 12 を構成する場合、内圧付与用媒体 13 が、内圧付与機能と電極機能との両方の機能を兼ね備えるので、第 2 電極 12 を別途設ける必要がなくなり、D E A 1 の構造の簡単化が可能である。

ただし、内圧付与用媒体 13 を非導電性とし、第 2 電極 12 を別途設けてもよい。その場合、第 2 電極 12 は、導電性グリース（例えば、カーボングリース）又は伸縮性電極であると、好適である。

【0043】

また、D E A 1 の膜体 10 の空洞 10 A には、内圧付与用媒体 13 が充填されていなくともよく、ひいては、膜体 10 には予備伸長が印加されていなくともよい。

10

【0044】

膜体 10 の厚さは、D E A 1 の性能向上の観点から、例えば 0.1 ~ 1.0 mm が好適である。このような薄い厚さを持つ非平板状の 3 次元形状の膜体 10 は、上述したディップステップを含む製造方法以外の製法（例えば、3 D プリンタによる造形）によって製造することは、難しい。

【産業上の利用可能性】

【0045】

本発明の D E A の製造方法によって製造される D E A、及び、本発明の D E A は、任意の用途に用いることができ、例えば、臓器シミュレータに好適に用いることができる。

20

【符号の説明】

【0046】

- 1 誘電エラストマアクチュエータ（D E A）
- 10 膜体
- 10 A 空洞
- 10 B 開口
- 11 第 1 電極
- 12 第 2 電極
- 13 内圧付与用媒体
- 2 誘電エラストマアクチュエータ（D E A）システム
- 21 治具
- 22 内圧付与用媒体供給装置
- 221 媒体槽
- 222 ホース
- 23 電源装置
- M モールド
- E 誘電性エラストマ
- T E 誘電性エラストマ槽
- S 1 第 1 溶媒
- T 1 第 1 溶媒槽
- S 2 第 2 溶媒
- T 2 第 2 溶媒槽
- D 3 D 造形用データ
- P 3 D プリンタ
- P 1 制御部
- P 2 造形部
- P 3 モデル材ノズル
- P 4 サポート材ノズル
- P 5 支持台
- P 6 収容体

30

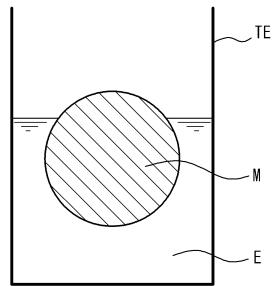
40

50

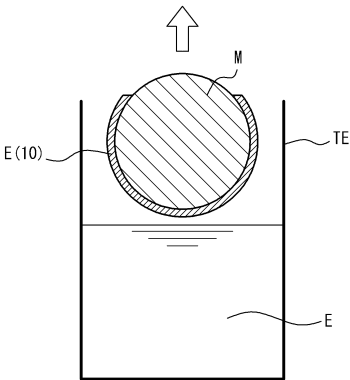
M M モデル材
S M サポート材

【図面】

【図 1】

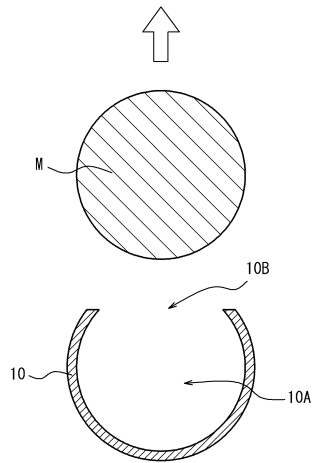


【図 2】

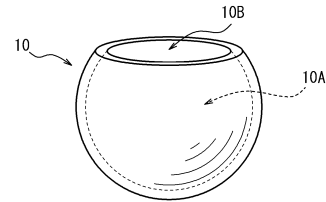


10

【図 3】



【図 4】



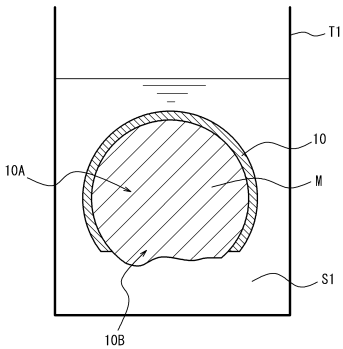
20

30

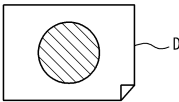
40

50

【図 5】



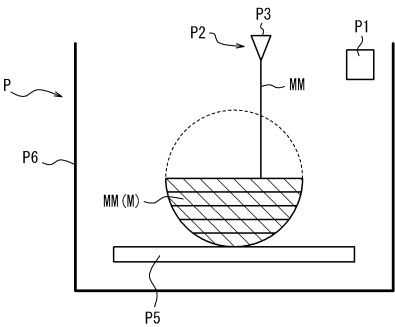
【図 6】



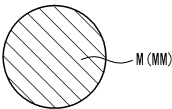
10

20

【図 7】



【図 8】

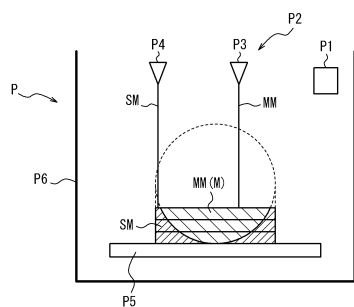


30

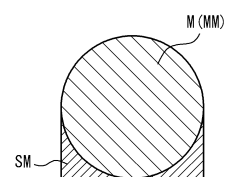
40

50

【 図 9 】



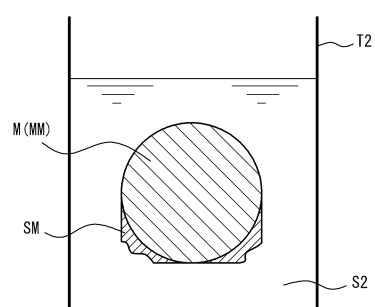
【 図 1 0 】



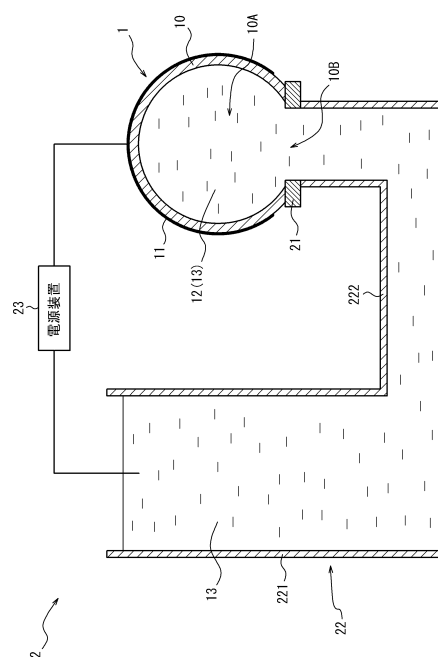
10

20

【 図 1 1 】



【图 1 2】

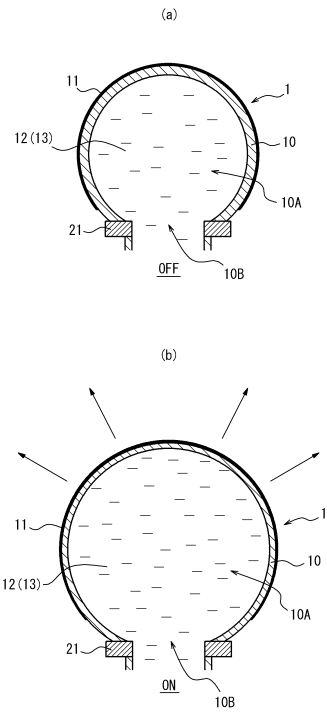


30

40

50

【 図 1 3 】



フロントページの続き

東京都文京区春日 1 - 1 3 - 2 7 中央大学後楽園キャンパス内
(72)発明者 中野 駿
東京都文京区春日 1 - 1 3 - 2 7 中央大学後楽園キャンパス内
審査官 服部 俊樹
(56)参考文献 特表 2 0 1 2 - 5 1 7 7 9 0 (J P , A)
特表 2 0 1 8 - 5 0 3 2 5 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 1 5 4 3 8 (J P , A)
特表 2 0 1 5 - 5 1 8 7 7 0 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 N 1 1 / 0 0
B 2 9 C 6 4 / 1 0 6
B 2 9 C 6 4 / 4 0
B 3 3 Y 1 0 / 0 0
B 2 9 C 4 1 / 1 4