

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-93935

(P2019-93935A)

(43) 公開日 令和1年6月20日(2019.6.20)

(51) Int.Cl.
B64G 1/22 (2006.01)

F1
B64G 1/22

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2017-225553 (P2017-225553)
(22) 出願日 平成29年11月24日(2017.11.24)

(71) 出願人 304021417
国立大学法人東京工業大学
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(74) 代理人 100100011
弁理士 五十嵐 省三
(72) 発明者 古谷 寛
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
(72) 発明者 岡田 秀明
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

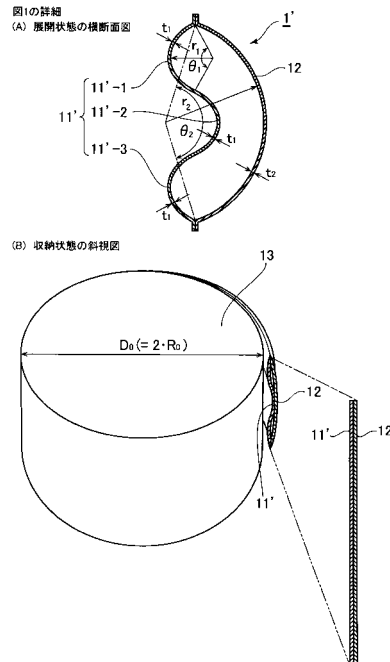
(54) 【発明の名称】 伸展ブーム

(57) 【要約】

【課題】 展開エネルギーを大きくすることができ、従って、展開力を大きくできる伸展ブームを提供する。

【解決手段】 伸展ブーム1'は、内側ブーム11'及び外側ブーム12を有する。内側ブーム11'の横断面形状が波形状となっており、内側ブーム11'はm個たとえば3個の連続する円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3よりなる。円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3は、同一の厚さ $t_1 = 0.3\text{ mm}$ 、同一の曲率半径 r_1 、同一の内角度 θ_1 で規定される。外側ブーム12は厚さ $t_2 = 0.3\text{ mm}$ 、曲率半径 r_2 、内角度 θ_2 で規定される単一円弧状断面形状を有する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

内側ブーム及び該内側ブームに結合された外側ブームを具備する伸展ブームであって、前記伸展ブームの展開状態における前記内側ブーム及び外側ブームの少なくとも一方の横断面形状が波形状である伸展ブーム。

【請求項 2】

前記波形状は曲率方向を交互に変化させた連続する複数の円弧状である請求項 1 に記載の伸展ブーム。

【請求項 3】

前記内側ブームの横断面の総長さと前記外側ブームの横断面の総長さとが等しい請求項 1 に記載の伸展ブーム。

【請求項 4】

単一ブームを具備する伸展ブームであって、前記伸展ブームの展開状態における前記単一ブームの横断面が波形状である伸展ブーム。

【請求項 5】

前記波形状は曲率方向を交互に変化させた連続する複数の円弧状である請求項 4 に記載の伸展ブーム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は超小型から小型の人工衛星の構造物等として用いられる自己伸展可能な伸展ブームに関する。

【背景技術】**【0002】**

人工衛星の構造物として膜状太陽電池、膜状アンテナ、膜状ハーネス等を展開するための膜展開構造が用いられる。この膜展開構造は自己伸展可能な伸展ブームを内蔵している。

【0003】

図 6 は一般的な 3 U (100 mm 立方体 3 個分) 超小型人工衛星を示し、(A) は分解斜視図、(B) は (A) の膜展開構造の展開状態を示す斜視図である。

【0004】

図 6 において、膜展開構造 100 は伸展マスト 200 によって本体 300 のカメラ等を有する伸展マスト格納部 301 に連結されている。また、本体 300 には伸展マスト格納部 301 を制御するための衛星バス 302 が設けられ、本体 300 の周囲には衛星バス 302 の初期駆動用電源としての太陽電池パネル 303 が設けられている。また、伸展マスト 200 はたとえばテレスコピック型で伸縮自在である。従って、宇宙空間において、伸展マスト 200 が衛星バス 302 によって制御されて伸長されると、膜展開構造 100 の蓋 101 がスプリング等によって開放され、図 6 の (A) に示す収納状態から図 6 の (B) に示す展開状態へ遷移する。尚、この遷移は不可逆性である。

【0005】

図 6 の (B) においては、展開状態の 4 つの伸展ブーム 1 によってたとえば 1 m × 1 m の樹脂製の膜 2 が支持されている。膜 2 上には膜状太陽電池 3 及び膜状アンテナ 4 及び膜状ハーネス (図示せず) が予め接着されている。

【0006】

図 7 は図 6 の膜展開構造 100 の伸展ブーム 1 の収納状態、展開状態を説明する図である。但し、膜 2、膜状太陽電池 3、膜状アンテナ 4 等は図示省略してある。

【0007】

10

20

30

40

50

図7の(A)に示すごとく、膜展開構造100は、フレーム102上に、4つの伸展ブーム1の根元部1aを固定するための固定部103と、固定部103の周囲に矩形状に配置され、収納状態の4つの伸展ブーム1を巻き付けるための複数のピン104とを有する。この場合、フレーム102、固定部103及びピン104は一体で形成され、蓋101及び図示しないフランジカバーで覆われている。

【0008】

図7の(A)の収納状態において、伸展ブーム1の蓋101(図示せず)がスプリング等によって外されると、図7の(B)に示すごとく、伸展ブーム1は自己の展開エネルギーによって自己展開する。

【0009】

図8は従来 of 伸展ブームを示す斜視図であり、収納過程を説明するためのものである(参照:特許文献1、非特許文献1、2)。

【0010】

図8に示すように、伸展ブーム1は同一厚さ、同一の単一円弧状断面形状を有する内側ブーム11及び外側ブーム12を結合することによって構成されている。たとえば、内側ブーム11及び外側ブーム12のフランジを接着することによって結合する。この場合、内側ブーム11、外側ブーム12は低密度材料たとえば炭素繊維強化プラスチック(CFRP)によって形成し、軽量化を図ることができる。伸展ブーム1を直径 D_0 ($=2 \cdot R_0$)の円筒13に巻き付けるとき、伸展ブーム1の展開状態A及び収納状態Bの両方が観察できる。

【0011】

図9は図8の伸展ブーム1の詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

【0012】

図9の(A)に示す展開状態においては、たとえば、伸展ブーム1の内側ブーム11、外側ブーム12は、共に、厚さ $t_0 = 0.3 \text{ mm}$ 、曲率半径 $r_0 = 48 \text{ mm}$ 及び内角度 (180°) で規定される。

【0013】

図9の(B)に示すごとく、図9の(A)の伸展ブーム1を直径 D_0 ($=2 \cdot R_0$)の円筒13に巻き付けると、内側ブーム11は圧縮して弾性エネルギーが増大しかつ外側ブーム12は伸長して弾性エネルギーが増大する。これらの内外周差による弾性エネルギーの和が大きい展開エネルギー U_0 となり、大きい展開力を実現する。このとき、内側ブーム11、外側ブーム12が等方性材料からなり、円筒13の周方向縦弾性係数(ヤング率) E_t と円筒13の長手方向縦弾性係数(ヤング率) E_1 とが等しいとすれば、内側ブーム11による弾性(展開)エネルギー U_0 は、

$$U_0 = \frac{1}{r_0^2} + \frac{1}{R_0^2} \quad (1)$$

で表せる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】US 7, 895, 795 B 1

【非特許文献】

【0015】

【非特許文献1】Christoph Sickinger, Lars Herbeck, "Deployment strategies, analyses and tests for the CFRP booms of a solar sail", European Conf. on Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing, CNES, Toulouse, France, Dec. 2002

【非特許文献2】渡邊秋人、伊藤裕明、堀利行(サカセ・アドテック)、「1G05 三軸織物複合材料を用いた伸展ブームの応用」、第58回宇宙科学技術連合講演会講演集 2014年11月12日~14日 長崎ブリックホール

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

上述の従来 of 伸展ブーム1の展開エネルギーは、内側ブーム11及び外側ブーム12の曲率半径 r_0 が小さい程、又は収納状態の内側ブーム11、外側ブーム12が巻かれるピン配置の大きさ(円筒直径 D_0 相当)が小さい程、大きくできる。しかしながら、曲率半径 r_0 及びピン配置の大きさ(円筒直径 D_0 相当)には限度がある。たとえば曲率半径 r_0 は伸展ブーム1の高さの半分より小さくできない。また、ピン配置の大きさ(円筒直径 D_0 相当)は伸展ブーム1のフレーム102、固定部103及びピン104の存在のために限度がある。この結果、伸展ブーム1の展開エネルギー U_0 には限度があり、展開力を大きくできないという課題がある。

10

【0017】

また、軽量化のために伸展ブーム1の材料として低密度材料たとえばCFRPを用いた場合、内側ブーム11は圧縮歪に弱い。従って、伸展ブーム1の弾性エネルギーを大きくして展開力を上げるために、巻き付き半径 R_0 を小さくすると、逆に内側ブーム11の圧縮歪が増大して内側ブーム11が破壊するという課題もある。反対に、内側ブーム11を破壊しにくくするために、内側ブーム11の厚さを小さくすると、内側ブーム11の弾性エネルギーが小さくなり、この結果、展開力が小さくなり、伸展ブームの性能が低下するという課題がある。

20

【課題を解決するための手段】

【0018】

上述の課題を解決するために、本発明に係る伸展ブームは、内側ブーム及び内側ブームに結合された外側ブームを具備する伸展ブームであって、伸展ブームの展開状態における内側ブーム及び外側ブームの少なくとも一方の横断面形状が波形状であるものである。

【0019】

また、本発明に係る伸展ブームは、単一ブームを具備する伸展ブームであって、伸展ブームの展開状態における単一ブームの横断面が波形状であるものである。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、波形状による弾性(収納)エネルギーの増大によって展開エネルギーを大きくすることができ、従って、展開力を大きくできる。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明に係る伸展ブームの第1の実施の形態を示す斜視図である。

【図2】図1の詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

【図3】図1の伸展ブームの変更例を示す横断面図である。

【図4】本発明に係る伸展ブームの第2の実施の形態を示す斜視図である。

【図5】図4の詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

40

【図6】一般的な3U超小型人工衛星を示し、(A)は分解斜視図、(B)は(A)の膜展開構造の展開状態を示す斜視図である。

【図7】図6の膜展開構造の伸展ブームの収納状態、展開状態を説明するための図であり、(A)は収納状態を示す斜視図、(B)は展開状態を示す正面図である。

【図8】従来 of 伸展ブームを示す斜視図である。

【図9】図8の伸展ブームの詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

図1は本発明に係る伸展ブームの第1の実施の形態を示す斜視図であり、収納過程を説

50

明するためのものである。

【0023】

図1の伸展ブーム1'においては、図8の内側ブーム11の代りに内側ブーム11'を設けてある。内側ブーム11'の横断面形状が波形状となっており、内側ブーム11'はm個たとえば3個の連続する円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3よりなる。また、円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3の曲率方向を交互に変化させる。従って、円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3の境界は連続的に滑らかに変化する。この場合も、伸展ブーム1'を直径 $D_0 (= 2 \cdot R_0)$ の円筒13に巻き付けるとき、伸展ブーム1'の展開状態A及び収納状態Bの両方が観察できる。

10

【0024】

図2は図1の伸展ブーム1'の詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

【0025】

図2の(A)に示す展開状態において、内側ブーム11'の円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3は、たとえば、同一の厚さ $t_1 = 0.3 \text{ mm}$ 、同一の曲率半径 r_1 、同一の内角度 θ_1 で規定される。この場合、図2の(B)の収納状態において、断面が平たく空隙なく畳み込まれるための条件は、内側ブーム11'の縦弧長と外側ブーム12の弧長とが等しいこと、つまり、

$$3 \cdot r_1 \cdot \theta_1 = r_2 \cdot \theta_2 \quad (2)$$

20

但し、 r_2 は外側ブーム12の曲率半径($r_2 = r_0 = 48 \text{ mm}$)、

$$\theta_2 \text{は外側ブーム12の内角度} (\theta_2 = \theta_0)$$

である。また、各円弧状断面形状部材11'-1、11'-2、11'-3の形状を外側ブーム12の形状と一致させると、

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (3)$$

となる。この場合、(2)、(3)式より、

$$r_1 = r_2 / 3 = 16 \text{ mm}$$

となる。

【0026】

図2の(B)に示すごとく、図2の(A)の伸展ブーム1'を直径 $D_0 (= 2 \cdot R_0)$
 $= 70 \text{ mm}$ の円筒13に巻き付けると、内側ブーム11'は圧縮して弾性エネルギーが増大し、かつ外側ブーム12は伸張して弾性エネルギーが増大する。内外周差による弾性エネルギーの和が大きい展開エネルギー U_1 となり、大きい展開力を実現する。この場合、内側ブーム11'の弾性エネルギー U_1 も上述の(1)式と同等の式で表せる。すなわち、

30

$$U_1 = m \cdot \left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{R_0^2} \right) = 3 \cdot \left(\frac{1}{16^2} + \frac{1}{35^2} \right) \quad (4)$$

尚、従来の内側ブーム11の弾性エネルギー U_0 は、

$$U_0 = \frac{1}{r_0^2} + \frac{1}{R_0^2} = \frac{1}{48^2} + \frac{1}{35^2} \quad (5)$$

40

である。従って、内側ブーム11'による収納エネルギーは、従来に比較して、 $U_1 / U_0 = 3.8$ 倍に増加することになる。

【0027】

さらに、円弧状断面形状部材を8個($m = 8$)とした場合、 $r_1 = 6 \text{ mm}$ となり、内側ブーム11'の弾性エネルギー U_1 は、

$$U_1 = 8 \cdot \left(\frac{1}{6^2} + \frac{1}{35^2} \right) \quad (6)$$

となり、内側ブーム11'による収納エネルギーは、従来に比較して、 $U_1 / U_0 = 22.9$ 倍に増加することになる。

【0028】

このように、内側ブーム11'による収納(展開)エネルギーは各円弧状断面形状部材

50

の曲率半径 r_1 の比の 2 乗と内側ブーム 1 1' の周方向の半径 R_0 の比の 2 乗との和の m 倍に比例するので、展開力を大きくすることができる。

【0029】

上述のごとく、内側ブーム 1 1' による収納エネルギーの増大は内側ブーム 1 1' の薄膜化に寄与する。すなわち、歪エネルギーは断面 2 次モーメント (I_y 、 I_z) に比例するので、従来と同一収納エネルギーを実現するときには、内側ブーム 1 1' を薄膜化できる。たとえば、従来の伸展ブーム 1 においては、内側ブーム 1 1'、外側ブーム 1 2' の各板厚 $t_0 = 0.3 \text{ mm}$ とすれば、収納状態での最大歪は、

$$\begin{aligned} &= (t_0 + t_0) / D_0 \\ &= (0.3 + 0.3) / 70 \\ &= 8.57 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

10

となる。他方、第 1 の実施の形態において、断面 2 次モーメント (I_y 、 I_z) は厚さ t_1 の 3 乗に比例する。従って、たとえば、 $r_1 = 6 \text{ mm}$ ($m = 8$)、 $r_2 = r_0 = 48 \text{ mm}$ とすれば、同一の収納エネルギーを達成するためには、内側ブーム 1 1' の厚さ t_1 は、

$$t_1 = 0.3 \text{ mm} \times (1 / 22.9)^{1/3} = 0.105 \text{ mm}$$

となる。尚、外側ブーム 1 2' の厚さ t_2 は $t_2 = t_0 = 0.3 \text{ mm}$ である。従って、収納状態での最大歪は、

$$\begin{aligned} &= (t_1 + t_2) / D_0 \\ &= (0.105 + 0.3) / 70 \\ &= 5.79 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

20

となる。この結果、圧縮歪による破壊し易い CFRP を伸展ブーム 1' の材料として用いることができる。

【0030】

また、収納効率は内側ブーム 1 1' の厚さ t_1 と外側ブーム 1 2' の厚さ t_2 の和である層厚 $h = t_1 + t_2$ に反比例する。たとえば、3U 超小型人工衛星の場合、膜展開構造 100 は奥行 \times 幅 \times 高さ $= D \times D \times D = 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 立方体である。従って、 $D = 2 \cdot R = 100 \text{ mm}$ 、 $D_0 = 2 \cdot R_0 = 70 \text{ mm}$ とすれば、従来の場合の最大ブーム長 L_0 は、

$$\begin{aligned} L_0 &= (R^2 - R_0^2) / (t_0 + t_0) \\ &= 3.14 (50^2 - 35^2) / (0.3 + 0.3) \\ &= 6676 \text{ mm} \end{aligned}$$

30

となる。他方、第 1 の実施の形態においては、最大ブーム長 L_1 は、

$$\begin{aligned} L_1 &= (R^2 - R_0^2) / (t_1 + t_2) \\ &= 3.14 (50^2 - 35^2) / (0.105 + 0.3) \\ &= 9890 \text{ mm} \end{aligned}$$

となり、理論的には、約 10 m の伸展ブームを実現できる。

【0031】

上述の第 1 の実施の形態においては、図 3 に示すごとく種々の変更例が可能である。

【0032】

40

たとえば、図 3 の (A) に示すごとく、波形状の下側ブーム 1 1' の代わりに波形状の上側ブーム 1 2' を設けてもよい。つまり、上側ブーム 1 2' は図 2 の (A) の円弧状断面形状部材 1 1' - 1、1 1' - 2、1 1' - 3 と同様の 3 個の円弧状断面形状部材 1 2' - 1、1 2' - 2、1 2' - 3 よりなる。尚、図 2 の (A) 及び図 3 の (A) の各波形状は同一である必要はなく、異なってもよい。また、下側ブーム 1 1'、上側ブーム 1 2' における波形状の数は 2 又は 4 以上になし得る。

【0033】

また、図 3 の (B) に示すごとく、波形状の下側ブーム 1 1' 及び波形状の上側ブーム 1 2' の両方を設けてもよい。この場合、収納状態において断面が平たく空隙なく畳み込まれるための条件は、内側ブーム 1 1' の総弧長と外側ブーム 1 2' の総弧長とが等しい

50

こと、つまり、

$$r_{11} \cdot \frac{1}{r_{11}} + r_{12} \cdot \frac{1}{r_{12}} + r_{13} \cdot \frac{1}{r_{13}}$$

$$= r_{21} \cdot \frac{1}{r_{21}} + r_{22} \cdot \frac{1}{r_{22}} + r_{23} \cdot \frac{1}{r_{23}}$$

である。また、下側ブーム 1 1' の波形状の数と上側ブーム 1 2' の波形状の数は同一でもよく、異なってもよい。但し、下側ブーム 1 1' と上側ブーム 1 2' との間の空間はなるべく広くした方が、伸展ブーム 1' の捩り方向の変形の防止の点から好ましい。

【0034】

図4は本発明に係る伸展ブームの第2の実施の形態を示す斜視図であり、収納過程を説明するためのものである。

【0035】

10

図4の伸展ブーム 1'' はコンベックス型単一ブームよりなる。伸展ブーム 1'' の横断面形状が m 個の連続する波形状断面部分つまり円弧状部分となっており、円弧状断面部分 1 1'' - 1、1 1'' - 2、... の曲率方向を交互に変化させる。従って、各円弧状断面部分 1 1'' - 1、1 1'' - 2、... の境界は連続的に滑らかに変化する。この場合も、伸展ブーム 1'' を直径 D_0 ($= 2 \cdot R_0$) の円筒 1 3 に巻き付けるとき、伸展ブーム 1'' の展開状態 A 及び収納状態 B の両方が観察できる。

【0036】

図5は図4の伸展ブーム 1'' の詳細を示し、(A)は展開状態の横断面図、(B)は収納状態の斜視図である。

【0037】

20

図5の(A)に示す展開状態において、伸展ブーム 1'' の円弧状断面部分 1 1'' - 1、1 1'' - 2、... は、たとえば、同一の厚さ $t_3 = t_0 = 0.3 \text{ mm}$ 、同一の曲率半径 r_3 、同一の内角度 θ_3 で規定される。

【0038】

図5の(B)に示すごとく、図5の(A)の伸展ブーム 1'' を直径 D_0 ($= 2 \cdot R_0$) $= 70 \text{ mm}$ の円筒 1 3 に巻き付けると、伸展ブーム 1'' の各円弧状断面部分 1 1'' - 1、1 1'' - 2、... は伸縮して弾性エネルギーが増大する。この弾性エネルギーが大きい展開エネルギー U_2 となり、大きい展開力を実現する。伸展ブーム 1'' の弾性エネルギー U_2 も上述の(1)式と同等の式で表せる。すなわち、

$$U_2 = m \cdot \left(\frac{1}{r_3^2} + \frac{1}{R_0^2} \right)$$

30

【0039】

このように、伸展ブーム 1'' による収納(展開)エネルギーは各円弧状断面部分 1 1'' - 1、1 1'' - 2、... の曲率半径の比の2乗と伸展ブーム 1'' の周方向の半径の比の2乗との和の m 倍に比例するので、展開力を大きくすることができる。

【0040】

上述の第2の実施の形態においては、各円弧状断面部分は同一であっても、異なってもよい。また、円弧状断面部分の数 m は2以上であればよい。

【0041】

尚、本発明は上述の実施の形態の自明の範囲のいかなる変更にも適用し得る。

【符号の説明】

40

【0042】

1、1'、1'' : 伸展ブーム

1a : 根元

2 : 膜

3 : 膜状太陽電池

4 : 膜状アンテナ

1 1、1 1' : 内側ブーム

1 1' - 1、1 1' - 2、1 1' - 3 : 円弧状断面形状部材

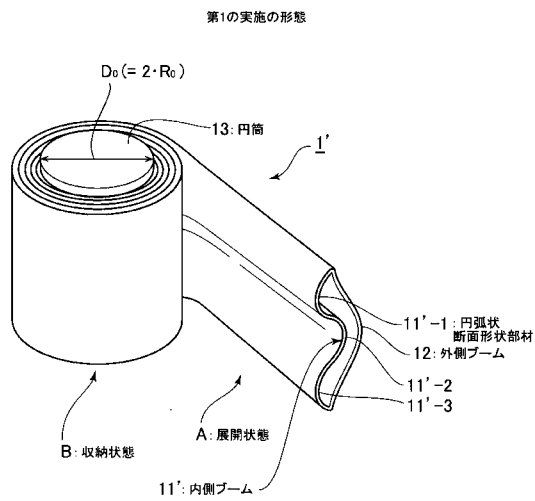
1 2、1 2' : 外側ブーム

1 2' - 1、1 2' - 2、1 2' - 3 : 円弧状断面形状部材

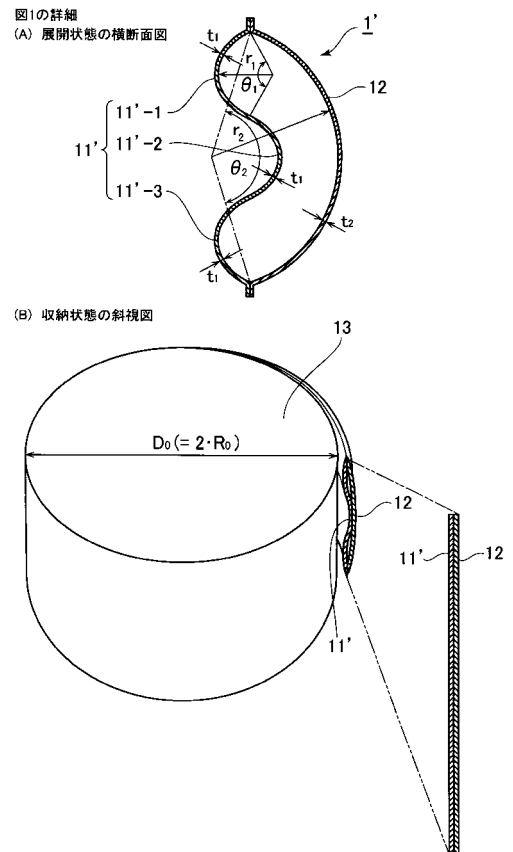
50

- 13 : 円筒
- 100 : 膜展開構造
- 101 : 蓋
- 102 : フレーム
- 103 : 固定部
- 104 : ピン
- 200 : 伸展マスト
- 300 : 本体
- 301 : 伸展マスト格納部
- 302 : 衛星バス
- 303 : 太陽電池パネル
- A : 展開状態
- B : 収納状態

【 図 1 】

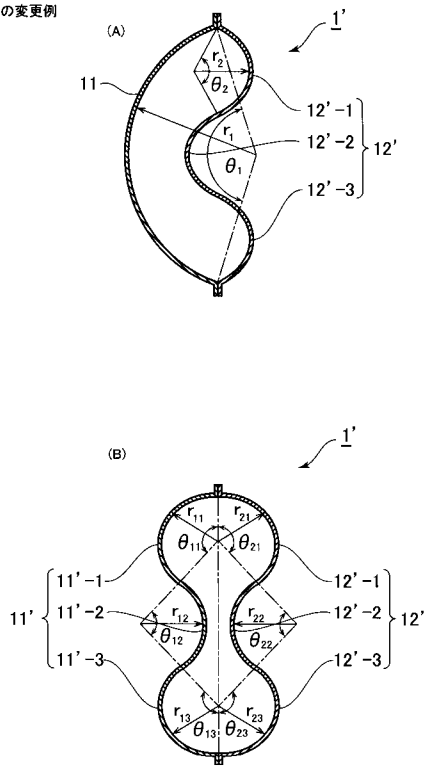


【 図 2 】



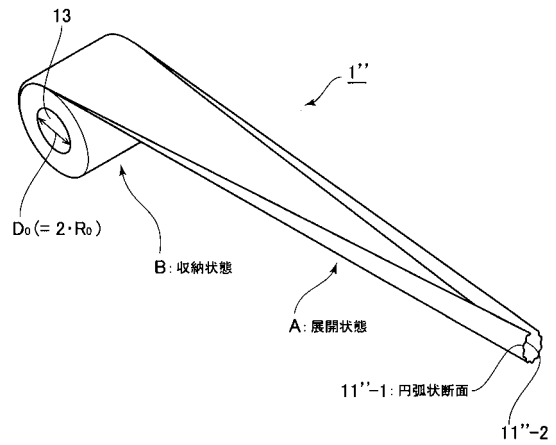
【 図 3 】

図2の変更例



【 図 4 】

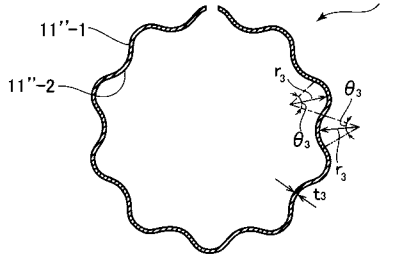
第2の実施の形態



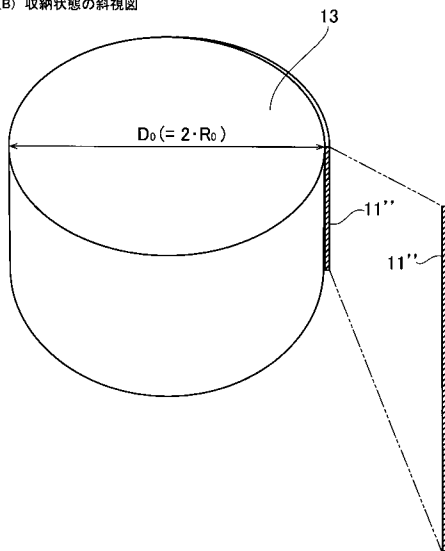
【 図 5 】

図4の詳細

(A) 展開状態の横断面図



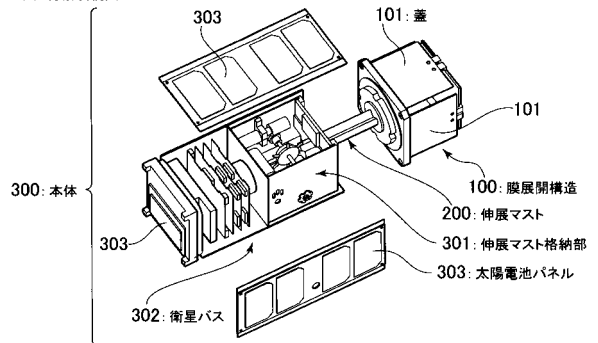
(B) 収納状態の斜視図



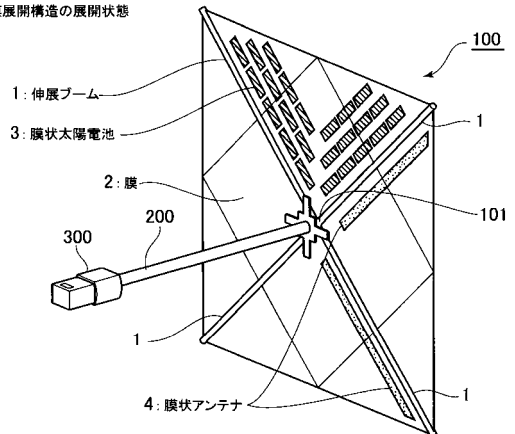
【 図 6 】

3U超小型人工衛星

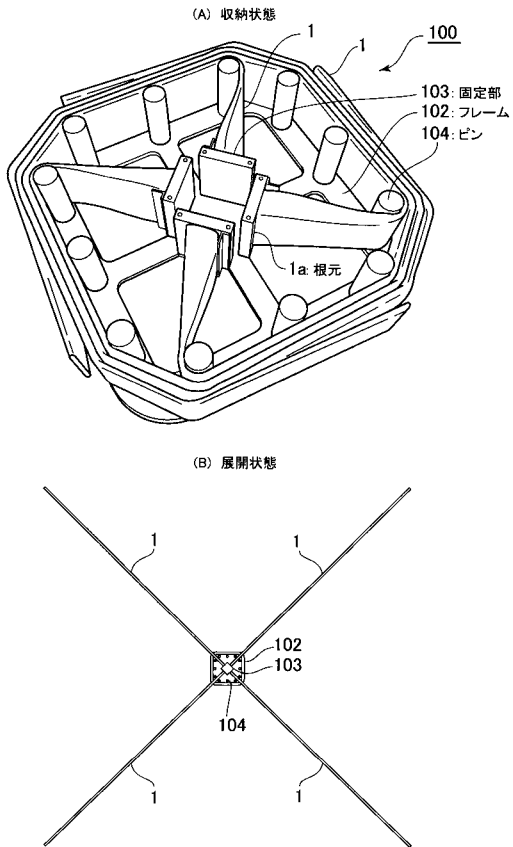
(A) 分解斜視図



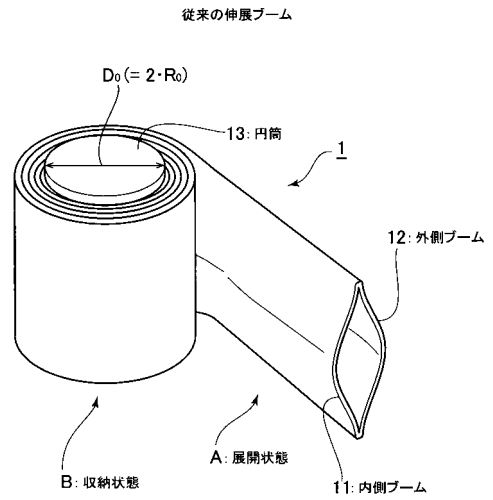
(B) 膜展開構造の展開状態



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

