(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
2011 年 6 月 9 日(09.06.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/068193 A1

(51) 国際特許分類:
B64G 1/56 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/071662

(22) 国際出願日: 2010 年 12 月 3 日(03.12.2010)

(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 2009-276530 2009 年 12 月 4 日(04.12.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ＩＨＩ **(IHI Corporation)** [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 Tokyo (JP). 国立大学法人九州大学 **(KYUSHU UNIVERSITY)** [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目１０番１号 Fukuoka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 花田 俊也 **(HANADA, Toshiya)** [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目１０番１号 国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 北澤 幸人 **(KITAZAWA, Yukihito)** [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内 Tokyo (JP). 川辺 有恒 **(KAWABE, Aritsune)** [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三好 秀和, 外 **(MIYOSHI, Hidekazu** et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目２番８号 虎ノ門琴平タワー 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, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(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, 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).

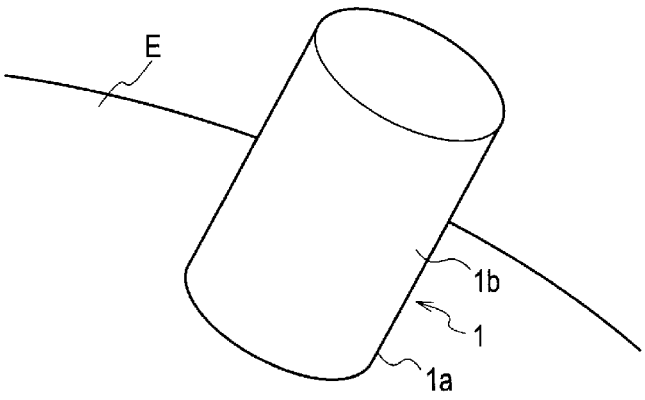
添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: METHOD FOR CLEARING SPACE DEBRIS

(54) 発明の名称 : スペースデブリ除去方法

[図2]



(57) **Abstract**: Disclosed is a method for clearing space debris in earth orbit, wherein, in earth orbit, a spatial region is provided having a greater resistive force than the atmosphere in said earth orbit, and space debris passing through said spatial region is decelerated by the resistive force, causing the decelerated space debris to fall from earth orbit.

(57) 要約: 地球周回軌道上のスペースデブリを除去する方法であって、地球周回軌道上に、該地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を設け、該空間領域を通過するスペースデブリを抵抗力により減速させ、減速させたスペースデブリを地球周回軌道上から落下させるスペースデブリ除去方法。

WO 2011/068193 A1

明　細　書

発明の名称 ： スペースデブリ除去方法

技術分野

[0001] 本発明は、地球周回軌道上のスペースデブリを除去する方法に関する。

背景技術

[0002] スペースデブリは、運用されることなく地球周回軌道上を周回している人工物である。例えば、寿命や事故、故障により運用を終えた宇宙機（人工衛星や宇宙ステーション、スペースシャトル等）、人工衛星の打ち上げに使用したロケットの本体及び部品、多段ロケットの切り離し時に生じた破片、宇宙飛行士が船外活動で落とした工具等がスペースデブリとなる。また、スペースデブリどうしが衝突して粉砕されることで生じた微細デブリも、スペースデブリに含まれる。したがって、スペースデブリには大小様々なものがある。

[0003] このようなスペースデブリは、その地球周回軌道と交差する地球周回軌道上にある運用中の宇宙機に衝突する恐れがあり、宇宙機にとって運用の障害となる。直径が１０ｃｍを超える大きな（完全体の宇宙機を含む）スペースデブリについては、地上からレーダ等でその存在を事前に捕捉して、宇宙機に退避行動（軌道変更、姿勢変更、乗員退避等）の措置を執らせることができる。しかし、直径が１０ｃｍ以下の小さなスペースデブリについては、地上からの捕捉が困難であるため、宇宙機に退避行動を執らせることが事実上不可能である。

[0004] そこで、スペースデブリに対する対策として、宇宙機の進行方向前方に薄肉の金属板を配置し、この金属板に、宇宙機に向かって飛来するスペースデブリを衝突、貫通させ、スペースデブリを細かく粉砕する技術が提案されている。この技術では、粉砕前のスペースデブリに比べて面積質量比（平均断面積／質量）が増加した粉砕後のスペースデブリを、エアードラグ（大気抵抗）により地球周回軌道上から落下させるようにしている（特許文献１参照

）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２００２－２５９９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、粉砕されたスペースデブリの地球周回軌道上における周回速度は、粉砕前のスペースデブリの周回速度より速くなることもある。スペースデブリの周回速度が速くなれば、その分だけエアードラグによるスペースデブリの落下も容易でなくなる。したがって、上述した従来技術のようなスペースデブリの粉砕は、周回速度が増加したスペースデブリの落下不実現により、図らずもスペースデブリを増加させる結果を招く恐れをはらんでいる。

[0007] 本発明は前記事情に鑑みなされたもので、本発明の目的は、破砕を伴わずに地球周回軌道上のスペースデブリの除去を行うことができるスペースデブリ除去方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様は、地球周回軌道上のスペースデブリを除去する方法であって、前記地球周回軌道上に、該地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を設け、前記空間領域を通過するスペースデブリを前記空間領域の抵抗力により減速させ、当該減速させたスペースデブリを前記地球周回軌道上から落下させるスペースデブリ除去方法である。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図１は、スペースデブリの現状と今後の推移を示すグラフである。

[図2]図２は、本発明によるスペースデブリ除去方法の第１実施形態を示す概念図である。

[図3]図３は、高度による大気密度モデルの一例である指数関数モデルを示すグラフである。

[図4]図４は、アルミニウム合金球の質量と直径との相関関係および面積質量比と直径との相関関係を示すグラフである。（ａ）は２．７７ｇ／ｃｍ^{3}の密度を有するアルミニウム合金球の質量と直径との相関関係を示すグラフ、（ｂ）は同アルミニウム合金球の面積質量比と直径との相関関係を示すグラフである。

[図5]図５は、直径１ｃｍのアルミニウム合金球の軌道寿命を示すグラフである。

[図6]図６は、高度によるスペースデブリの飛行速度を示すグラフである。

[図7]図７は、直径１ｃｍのアルミニウム合金球が周回する地球周回軌道の近点高度を９０ｋｍに下げるのに必要なアルミニウム合金球の減速量と地球周回軌道の初期高度との相関関係を示すグラフである。

[図8]図８は、エアロジェルに突入したアルミニウム合金球の速度履歴および飛行（移動）距離を示すグラフである。（ａ）はエアロジェルに突入した直径１ｃｍのアルミニウム合金球の速度履歴を突入から１ｍｓ分に亘って示すグラフ、（ｂ）は同アルミニウム合金球のエアロジェル突入後の飛行（移動）距離を突入から１ｍｓ分に亘って示すグラフである。

[図9]図９は、本発明によるスペースデブリ除去方法の第２実施形態を示す概念図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

[0011] まず、本発明の実施形態を具体的に説明するのに先立って、スペースデブリの現状と今後について説明する。図１は、スペースデブリの数の推移を、スプートニク１号の打ち上げ時である１９５７年から将来に亘って示すグラフである（出典、Liou, J.-C., Johnson N. L., PLANETARY SCIENCE: Risks in Space from Orbiting Debris, Science, Vol.311, Issue 5759, 2006, pp.340-341.）。このグラフの縦軸はスペースデブリ（地上からレーダ等によって捕捉できる直径１０ｃｍオーバーの大きいスペースデブリ）の個数、横軸は西暦年数を示す。２００６年１月１日までの部分は実測値、それ以降の

部分は推定値である。但し、この推定値は、２００６年以降に宇宙機（人工衛星や宇宙ステーション、スペースシャトル等）の打ち上げを行わず、かつ、宇宙機の爆破（ミサイル等による人為的な爆破や宇宙機自身に起因して発生する爆破）が発生しないものと仮定した場合の値である。また、図１中の細線は、衝突によって発生するデブリ、破線は、完全体の宇宙機とその運用によって生じるデブリ（落下工具等）、一点鎖線は、宇宙機の爆破によって発生するデブリ、太線はそれらの合計をそれぞれ示している。

[0012] 図１のグラフに示す研究結果では、２０５５年までは、衝突で発生するスペースデブリの数が、大気抵抗で落下・消滅するスペースデブリの数と釣り合って、スペースデブリの総数が平衡状態を保つが、それ以降は、衝突で発生するスペースデブリの数が、大気抵抗で落下・消滅するスペースデブリの数を上回って、スペースデブリの総数が自然増する傾向にある。したがって、スペースデブリは、宇宙機が今後打ち上げられなくても増加することが見込まれる。即ち、宇宙環境は既に不安定な状態を迎えており、実際には宇宙機の打ち上げを現在も行っていることから、現実には現在もスペースデブリが増加しているものと思われる。

[0013] 以上のような事情により、スペースデブリを地球周回軌道上から除去することは、宇宙環境の浄化と宇宙機の安定した運用を図る上で、非常に重要であることが分かる。

[0014] 次に、本発明によるスペースデブリ除去方法の実施形態を、以下に具体的に説明する。

図２は本発明によるスペースデブリ除去方法の第１実施形態を示す概念図である。本実施形態では、除去対象のスペースデブリ（図示せず）が周回する地球周回軌道上に、中空の円筒体（筒体）１を配置している。

[0015] 円筒体１は、フレーム１ａと、このフレーム１ａに張設されて円筒体１の周面を構成する減速材料１ｂ（空間領域）とを有している。減速材料１ｂは、円筒体１を配置する地球周回軌道の高度における大気よりも高い密度（単位体積あたりの質量）を有している。そのため減速材料１ｂは、その内部を

スペースデブリが通過する際に、当該高度における大気よりも大きな摩擦力をスペースデブリに作用させることができる。この減速材料１ｂには、比較的低密度の材料が用いられる。この低密度材料は、除去対象となるスペースデブリが、想定される入射速度で入射したとき、これを略非破壊で内部に進入させることが可能な密度および強度を有する。低密度材料としては、例えば、フォーム材（例：ポリイミドフォーム材）、エアロジェル（例：シリカエアロジェル）、フォイルスタック等を使用することができる。フォイルスタックとは、金属やプラスチックのフォイルを多層に重ねたものである。なお、円筒体１の周面は、一体的に形成された減速材料１ｂで構成してもよく、また、円筒体１の周方向または軸方向に分割された複数の減速材料１ｂを、円筒体１の周面に沿って並設することで構成してもよい。また、フレーム１ａは、減速材料１ｂを円筒体１の周面として張設するものであれば特に限定されず、例えば、一体的に形成された減速材料１ｂの内周面に固定されたトラス材、あるいは、分割された各減速材料１ｂの周囲を囲む枠材および各枠材を連結するビーム材で構成することができる。

[0016] 上述した構成の円筒体１は、直径よりも中心軸方向の寸法を大きくして形成されている。このような形状の円筒体１は、重力傾斜の作用によって、一方の開口端が地球Ｅを指向する姿勢で地球周回軌道上に配置される。したがって、円筒体１の地球周回軌道と同じ高度の、円筒体１の地球周回軌道とは異なる地球周回軌道上を周回するスペースデブリは、自身の地球周回軌道が円筒体１の地球周回軌道と交差する点において、円筒体１をその径方向（または当該径方向に平行な方向）に通過する。つまり、スペースデブリは、円筒体１の両開口端どうしを結ぶ直線と交差する方向で円筒体１を通過し、その際、円筒体１の周面における周方向に間隔をおいた２箇所において減速材料１ｂを通過することになる。

[0017] 円筒体１の減速材料１ｂは、ある１個スペースデブリが入射したとき、当該１個のスペースデブリを略非破壊のまま通過させ、かつその通過の際に、当該１個のスペースデブリに摩擦力を作用させることによって、当該１個の

スペースデブリの飛行速度を減速させることができる厚さに形成される。減速材料１ｂの適切な厚さは、例えば、以下の検討を行うことで求めることができる。

[0018] まず、除去対象となるスペースデブリの直径や質量（密度、面積質量比）を特定する。ここでは、スペースデブリが、密度＝２．７７ｇ／ｃｍ^{3}のアルミニウム合金による直径１ｃｍの球体であるものと仮定する。また、このアルミニウム合金球は、２次元平面内の円軌道上を周回しているものとし、周回中にアルミニウム合金球に働く摂動力は大気抵抗のみであるものとする。なお、円筒体１を配置する地球周回軌道における大気密度は、高度による大気密度モデルを示す図３の指数関数モデル（出典、David A. Vallado, "Fundamentals of Astrodynamics and Applications, 2nd Edition," pp.532-534.）により定めることとする。さらに、減速材料１ｂには、密度＝１．９ｋｇ／ｍ^{3}のエアロジェルを用いるものとする。アルミニウム合金球がエアロジェル中を通過する際に受ける摩擦抵抗（摩擦力）は、エアロジェルと同じ密度の大気をアルミニウム合金球が通過する際に受ける空気抵抗と同じであるものと仮定する。

[0019] 上述した密度を有するアルミニウム合金球の直径と質量との関係は、図４（ａ）のグラフに示す相関を有している。このグラフによれば、例えば直径１ｃｍのアルミニウム合金球の質量は１．４５ｇとなる。また、直径１ｃｍで１．４５ｇの質量を有するアルミニウム合金球の面積質量比は、直径との間に図４（ｂ）のグラフに示す相関を有している。このグラフによれば、直径１ｃｍのアルミニウム合金球の軌道計算に必要なパラメータである面積質量比は、０．０５４ｍ^2／ｋｇとなる。

[0020] 図５は、直径１ｃｍのアルミニウム合金球の軌道寿命を示すグラフである。ここで言う軌道寿命とは、直径１ｃｍのアルミニウム合金球が地球周回軌道から落下・消滅するまでにかかる時間を年数で表したものである。減速材料１ｂの厚さの検討に当たっては、直径１ｃｍのアルミニウム合金球が、地球周回軌道から落下・消滅して自然浄化されるまでに１００年ほど要する高

度８００ｋｍの地球周回軌道を周回する場合を想定する。

[0021] 図６は、高度によるスペースデブリの飛行速度を示すグラフである。この図６に示すように、スペースデブリは、高度１００ｋｍを割ると飛行速度が急激に下がり、大気圏に落下する。大気圏に落下したスペースデブリは燃焼して消滅する。したがって、スペースデブリは、高度が９０ｋｍまで下がれば落下・消滅したものと評価することができる。

[0022] そこで、直径１ｃｍのアルミニウム合金球が周回する地球周回軌道の近点高度を９０ｋｍに下げるのに必要なアルミニウム合金球の減速量を考える。図７は、必要な減速量と地球周回軌道の初期高度との相関関係を示すグラフである。図７に示すように、アルミニウム合金球の地球周回軌道が初期高度＝８００ｋｍであるとすると、地球周回軌道の近点高度を９０ｋｍに下げるのに必要なアルミニウム合金球の減速量は約２００ｍ／ｓである。

[0023] 図８（ａ）は、エアロジェルに突入した直径１ｃｍのアルミニウム合金球の速度履歴を突入から１ｍｓ分に亘って示すグラフ、図８（ｂ）はそのアルミニウム合金球のエアロジェル突入後の飛行（移動）距離を突入から１ｍｓ分に亘って示すグラフである。図８（ａ）に示すように、直径１ｃｍのアルミニウム合金球がエアロジェルに突入して２００ｍ／ｓ減速されるまでにかかる時間は０．１ｍｓ程である。また、図８（ｂ）に示すように、直径１ｃｍのアルミニウム合金球がエアロジェルに突入して０．１ｍｓの間に飛行（移動）する距離は、１ｍ未満である。

[0024] したがって、８００ｋｍの高度で周回する直径１ｃｍのアルミニウム合金球は、１ｍの厚さのエアロジェルを通過すると、通過時にエアロジェルから受ける摩擦力により、地球周回軌道の近点高度が９０ｋｍに落下するのに必要な速度まで減速されることになる。

[0025] 以上の通り、減速材料１ｂの厚さは、除去対象となるスペースデブリの直径や質量（密度、面積質量比）および地球周回軌道の高度を特定し、そのスペースデブリの地球周回軌道の近点高度を９０ｋｍに下げるのに必要な減速量を求め、減速材料１ｂを通過するスペースデブリをその減速量だけ減速さ

せることができる厚さに設定すればよい。なお、本実施形態では、スペースデブリが円筒体１をその径方向に通過するので、スペースデブリは減速材料１ｂを２箇所通過することになる。したがって、減速材料１ｂの厚さを決定するにあたっては、この点（スペースデブリが減速材料１ｂを２回通過する点）を踏まえておく必要がある。

[0026] なお、近年では、スペースデブリの増加を防ぐために、地球周回軌道上に打ち上げた宇宙機を一定期間（例えば２５年）後に地球周回軌道上から除去する（例えば地上へ落下させる）ルール作りが検討されている。そこで、地球周回軌道上に配置する円筒体１の面積質量比を適切に選択し、一定期間後に近点高度が９０ｋｍまで落下するように構成した円筒体１を地球周回軌道上に配置して、本発明を実施するようにしてもよい。そのようにすれば、一定期間に亘って徐々に近点高度を下げながら地球の周りを周回する円筒体１によって、円筒体１が当初配置された高度以下の地球低軌道上のスペースデブリを順次除去し、かつ、円筒体１自身も地球周回軌道上から除去することができる。

[0027] 以上に、除去対象となるスペースデブリが周回する地球周回軌道の高度に、その高度における大気よりも高い密度の低密度材料（フォーム材、エアロジェル、フォイルスタック等）を減速材料１ｂとして用いた円筒体１を配置し、低密度材料の通過時（スペースデブリが減速材料１ｂに進入してから脱出するまでの間）にスペースデブリに摩擦力を作用させることによりスペースデブリを減速させて、地球周回軌道からスペースデブリを除去する場合の実施形態について説明した。この実施形態は、除去対象となるスペースデブリが周回する地球周回軌道の高度に、その高度における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を設け、その空間領域をスペースデブリが通過する際（スペースデブリが当該空間領域に進入してから脱出するまでの間）に、当該空間領域の抵抗力によってスペースデブリを減速させて、地球周回軌道からスペースデブリを除去する本発明のスペースデブリ除去方法の一例である。なお、「空間領域」とは、３次元の有限な領域を意味し、「抵抗力」とは、当該

空間領域の中を地球周回軌道上の物体が通過する際に、その物体に対して、その地球周回軌道方向の速度成分を減少させるように作用する力（制動力）を意味する。従って、抵抗力が大きい空間領域とは、その中を通過する物体に対してより大きな制動力を作用させることのできる空間領域を意味する。

[0028] 即ち、空間領域を通過するスペースデブリを減速させるための抵抗力は、摩擦力だけに限らず、例えば、強い磁場から受ける電磁力を、空間領域を通過するスペースデブリを減速させるための抵抗力として用いることも考えられる。つまり、除去対象となるスペースデブリが周回する地球周回軌道の高度に、その高度における大気の磁場よりも強い磁場の空間領域を設け、この強い磁場の空間領域を通過する際にスペースデブリに働く電磁力により、スペースデブリを減速させて、地球周回軌道からスペースデブリを除去するようにしてもよい。

[0029] 図９は本発明によるスペースデブリ除去方法の第２実施形態を示す概念図である。本実施形態では、除去対象のスペースデブリが周回する地球周回軌道上に、その地球周回軌道が存在する高度における大気よりも強い磁場の空間領域１１を設けている。この空間領域１１の磁場は、除去対象のスペースデブリの地球周回軌道と同じ高度の、異なる地球周回軌道上を周回する物体において、所要の強い磁場を形成するのに適した大きさ及び方向の電流を流すことによって実現することができる。この空間領域１１の強い磁場は、磁場のベクトルが、スペースデブリの地球周回軌道と直交するベクトル成分を含むことが望ましい。

[0030] 本実施形態において、空間領域１１の地球周回軌道と同じ高度の、空間領域１１の地球周回軌道とは異なる地球周回軌道上を周回するスペースデブリは、自身の地球周回軌道が空間領域１１の地球周回軌道と交差する点において、空間領域１１を通過する。その際、スペースデブリ中の荷電粒子が空間領域１１の磁場から地球周回軌道方向とは異なる方向（理想的には地球に接近する方向）へローレンツ力を受け、あるいは、スペースデブリ中の導体が電磁誘導によって生じる誘導電流と磁場との相互作用による力を受け、スペ

ースデブリの地球周回軌道上の飛行速度が（場合によっては飛行方向の変化を伴って）減速されることになる。

[0031] したがって、本実施形態の除去方法により除去する対象のスペースデブリの直径や質量（密度、面積質量比）を特定し、これに応じて、地球周回軌道の近点高度が９０ｋｍに落下するのに必要な速度までスペースデブリを減速させるのに適した電磁力を求め、その電磁力が、空間領域１１を通過するスペースデブリに働くように、空間領域１１の磁場の強さとその磁場を作るのに必要な電流の大きさ及び方向とを決定すればよい。

[0032] 以上に説明した本発明の第１及び第２実施形態に係るスペースデブリ除去方法によれば、摩擦力や電磁力により、近点高度が９０ｋｍに下がるまで地球周回軌道上におけるスペースデブリの飛行速度を減速させるので、周回速度の増加やそれによる落下不実現の恐れがあるスペースデブリの粉砕を伴わずに、スペースデブリを地球周回軌道上から除去することができる。

[0033] また、本発明の第１実施形態に係るスペースデブリ除去方法によれば、減速材料１ｂをフレーム１ａに円筒状に張設した円筒体１を用いることから、円筒体１の通過時にスペースデブリを減速材料１ｂに２回通過させて、減速材料１ｂから受ける摩擦力によるスペースデブリの減速を効率的に実行させることができる。

[0034] なお、上述した第１実施形態では円筒体１を用いたが、円筒体に代えて、断面が（正）多面体である筒体を用いるようにしてもよい。また、減速材料１ｂを通過する際の摩擦力によりスペースデブリを減速させる場合に、減速材料１ｂは必ずしも中空体（第１実施形態のような円筒体や、断面が（正）多面体である筒体）である必要はない。つまり、円柱状や（正）多面体による角柱状のような中実体であってもよい。

[0035] そして、本発明のスペースデブリ除去方法は、地上からのレーダ等によって捕捉できない１０ｃｍ以下のスペースデブリを除去対象とする場合に特に有用であるが、１０ｃｍを上回る大きなスペースデブリを除去対象とする場合にも本発明が有用であるのは言うまでもない。

[0036] また、本発明のスペースデブリ除去方法は、特に、大気抵抗（エアードラグ）がスペースデブリに作用することを期待できる、高度２０００ｋｍ未満の地球低軌道上に、円筒体１や空間領域１１のような、地球低軌道上における大気よりも大きな抵抗力の空間領域を配置して実施すると、効果的である。しかし、高度２０００ｋｍ以上の地球周回軌道上に、その地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を配置して本発明のスペースデブリ除去方法を実施することも、勿論可能である。

[0037] 以上説明した通り、本発明の一態様は、地球周回軌道上のスペースデブリを除去する方法であって、前記地球周回軌道上に、該地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を設け、前記空間領域を通過するスペースデブリを前記空間領域の抵抗力により減速させ、当該減速させたスペースデブリを前記地球周回軌道上から落下させるスペースデブリ除去方法である。

[0038] 本スペースデブリ除去方法によれば、地球周回軌道上のスペースデブリが、地球周回軌道上に設けられた、地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を通過する際に、その空間領域から抵抗力を受けて減速する。この減速によって、スペースデブリが飛行する地球周回軌道の近点高度は徐々に地球に近づき、やがて、大気圏再突入により燃え尽きさせるのに適した高度（例えば地上９０ｋｍ）までスペースデブリが落下する。

[0039] このように、スペースデブリは、前記空間領域通過時の抵抗力によって、大気圏再突入により燃え尽きさせるのに適した高度まで落下するように減速される。このため、周回速度の増加やそれによる落下不実現の恐れがあるスペースデブリの粉砕を伴わずに、スペースデブリを地球周回軌道上から除去することができる。

[0040] また、本スペースデブリ除去方法において、前記空間領域を、前記地球周回軌道上における大気よりも密度が高い空間領域とし、該空間領域を通過するスペースデブリを摩擦力により減速させるようにしてもよい。

[0041] このようにすれば、地球周回軌道上における大気よりも密度が高い物質を

、スペースデブリが周回する地球周回軌道上に配置するだけで、スペースデブリを、前記空間領域通過時の摩擦力により、大気圏再突入により燃え尽きさせるのに適した高度まで落下するように減速させることができる。

[0042] さらに、本スペースデブリ除去方法において、前記空間領域を、一方の開口端を地球に向けた筒体の周面によって構成し、スペースデブリが、該筒体の両開口端どうしを結ぶ直線と交差する方向において、筒体を通過するようにしてもよい。

[0043] スペースデブリが、前記筒体の両開口端どうしを結ぶ直線と交差する方向において、筒体を通過すると、スペースデブリは筒体の対向する周面の２箇所を通過することになる。つまりスペースデブリは、筒体を１回通過する度に前記空間領域を２回通過するようになるので、空間領域の摩擦力によるスペースデブリの減速と地球周回軌道上からの落下とを効率的に実行することができる。

[0044] また、本スペースデブリ除去方法において、前記地球周回軌道上から所定期間を費やして落下する面積質量比の前記筒体を前記地球周回軌道上に配置するようにしてもよい。

[0045] このようにすれば、地球周回軌道上に配置した筒体が、近点高度を徐々に地球に近づけながら、所定期間（例えば２５年）を費やして地球周回軌道上から落下する。このため、筒体が周回する軌道の高度は、所定期間に亘って徐々に下がることになり、その間、筒体が周回する高度の範囲において、スペースデブリの減速とそれによる地球周回軌道からの落下を実行することができる。

[0046] しかも、所定期間後には筒体が当初配置された地球周回軌道から落下するので、筒体自身がスペースデブリとして地球周回軌道上に残存しないよう除去することができる。

[0047] 本出願は、２００９年１２月４日に出願された日本国特許願第２００９－２７６５３０号に基づく優先権を主張しており、これらの出願の全内容が参照により本明細書に組み込まれる。

産業上の利用可能性

[0048] 本発明にかかるスペースデブリ除去方法によれば、地球周回軌道上のスペースデブリが、地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を通過する際に、該空間領域から抵抗力を受ける。これにより、スペースデブリの地球周回軌道の近点高度は下がり（または近点高度の降下が促進され）、やがて大気圏再突入により燃え尽きさせるのに適した高度までスペースデブリが落下する。このため、周回速度の増加やそれによる落下不実現の恐れがあるスペースデブリの粉砕を伴わずに、スペースデブリの地球周回軌道上からの除去を行うことができる。

符号の説明

[0049] １　円筒体（筒体）

１ａ　フレーム

１ｂ　減速材料（空間領域）

１１　空間領域

Ｅ　地球

請求の範囲

[請求項1] 地球周回軌道上のスペースデブリを除去する方法であって、

前記地球周回軌道上に、該地球周回軌道上における大気よりも抵抗力が大きい空間領域を設け、

前記空間領域を通過するスペースデブリを前記空間領域の抵抗力により減速させ、

当該減速させたスペースデブリを前記地球周回軌道上から落下させる、

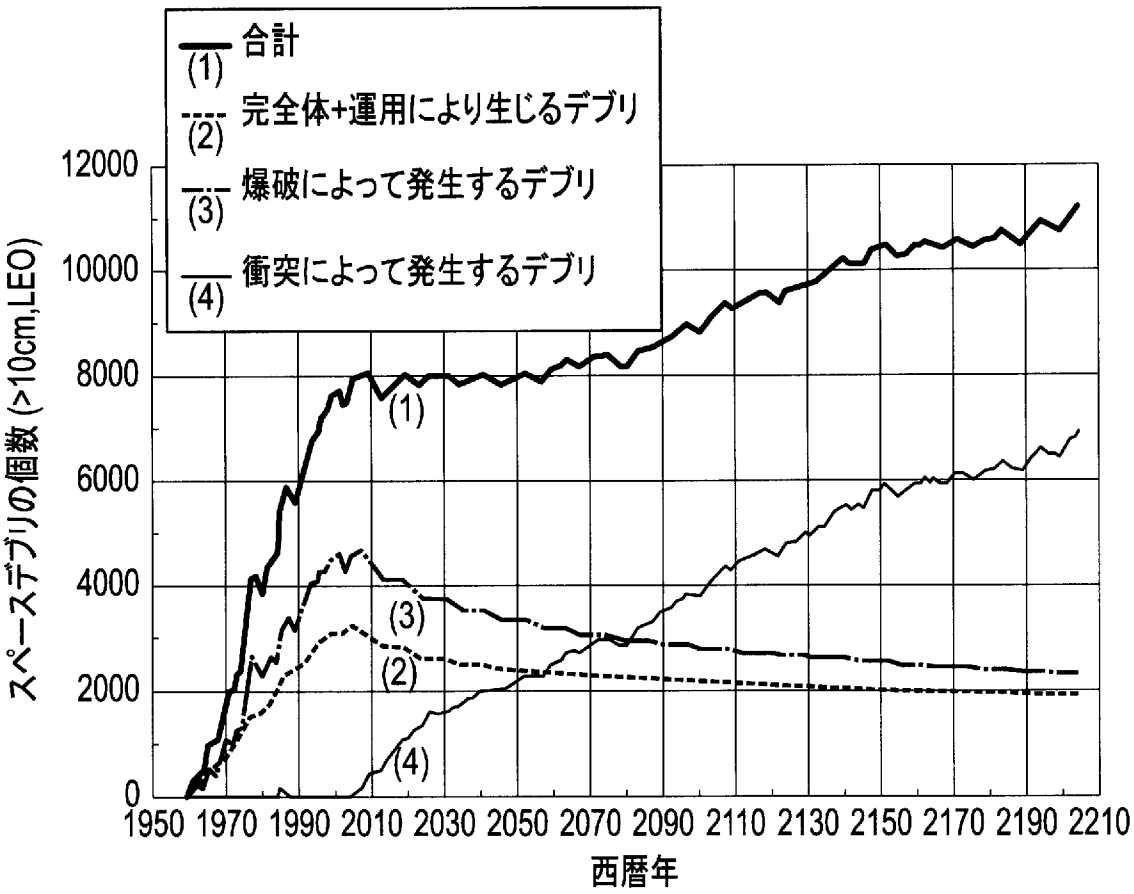
ことを特徴とするスペースデブリ除去方法。

[請求項2] 前記空間領域を、前記地球周回軌道上における大気よりも密度が高い空間領域とし、該空間領域を通過するスペースデブリを摩擦力により減速させるようにしたことを特徴とする請求項１記載のスペースデブリ除去方法。

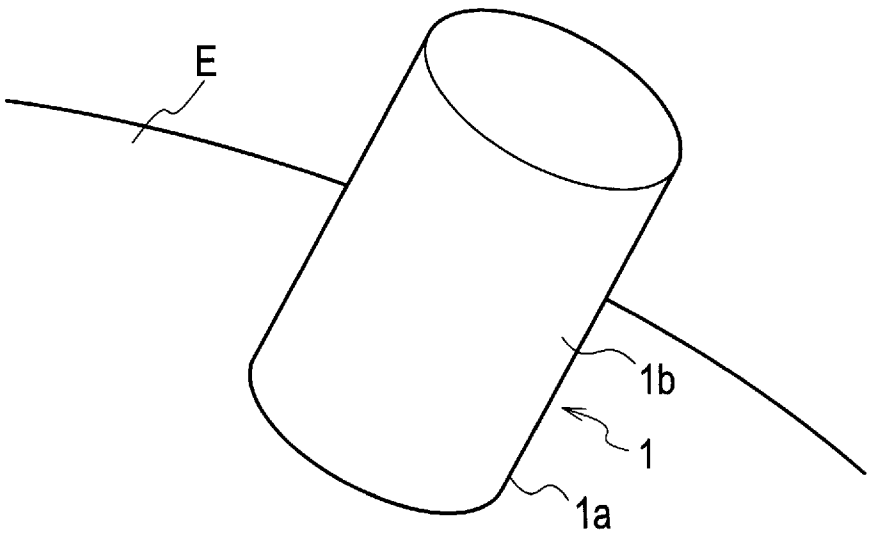
[請求項3] 前記空間領域を、一方の開口端を地球に向けた筒体の周面によって構成し、該筒体の両開口端どうしを結ぶ直線と交差する方向において、前記スペースデブリに前記筒体を通過させるようにしたことを特徴とする請求項２記載のスペースデブリ除去方法。

[請求項4] 前記地球周回軌道上から所定期間を費やして落下する面積質量比の前記筒体を前記地球周回軌道上に配置するようにしたことを特徴とする請求項３記載のスペースデブリ除去方法。

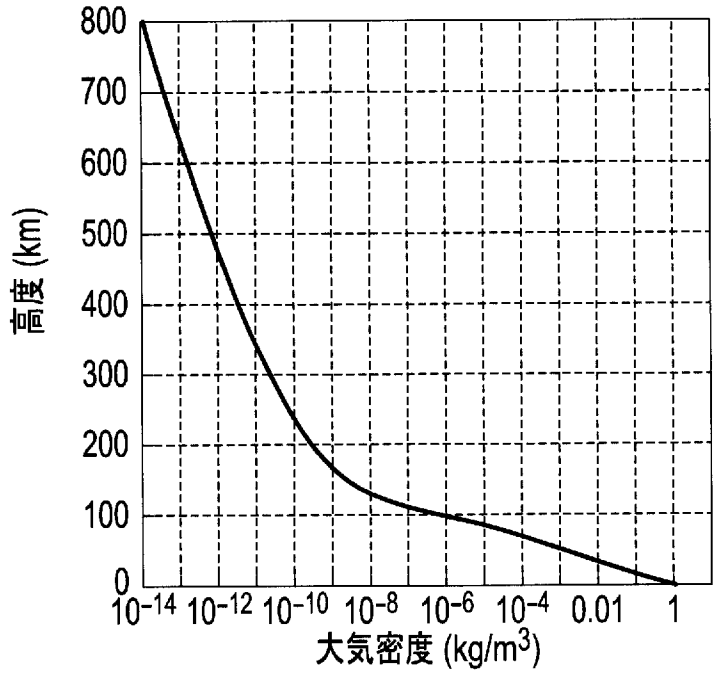
[図1]


合計
(1)
完全体+運用により生じるデブリ
(2)
爆破によって発生するデブリ
(3)
衝突によって発生するデブリ
(4)
スペースデブリの個数 (>10cm,LEO)
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
1950 1970 1990 2010 2030 2050 2070 2090 2110 2130 2150 2170 2190 2210
西暦年

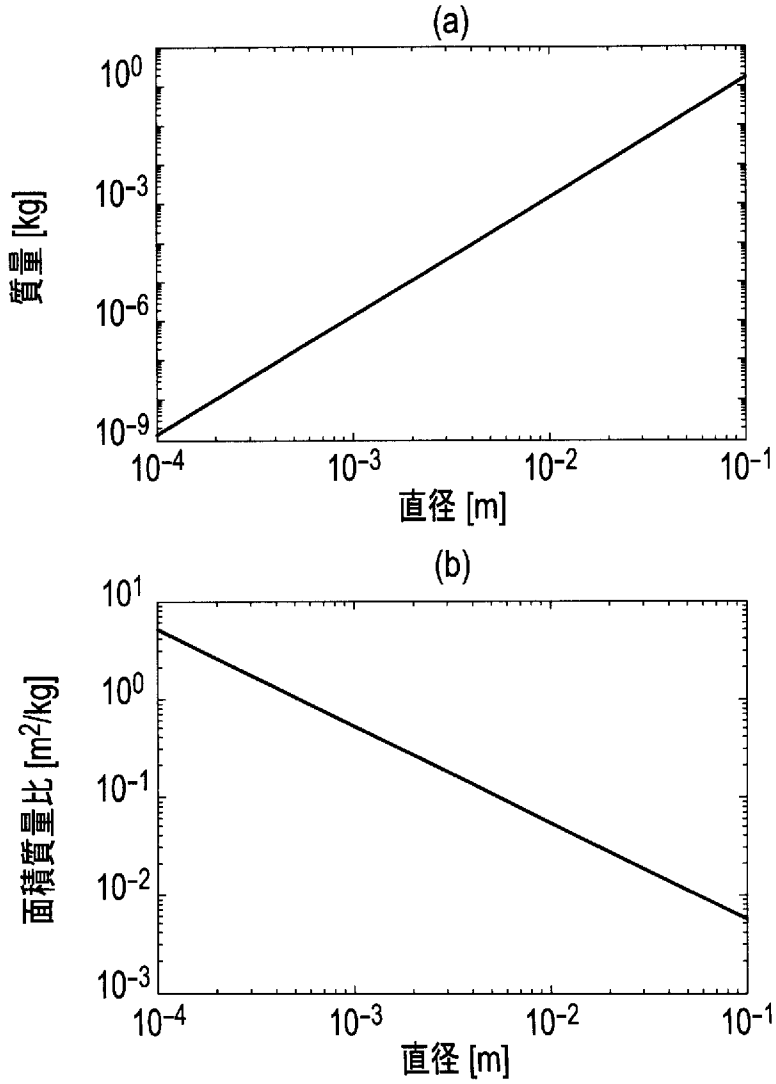
[図2]


E
1b
1
1a

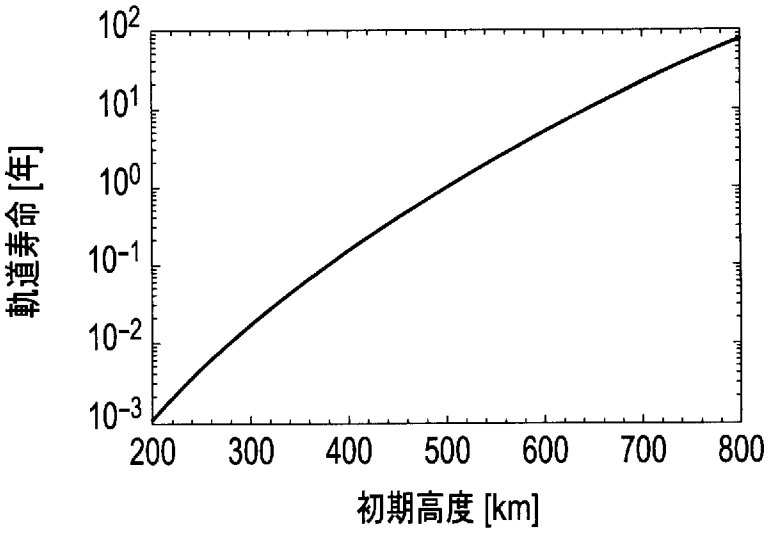
[図3]


800
700
600
500
400
300
200
100
0
高度 (km)
10-14 10-12 10-10 10-8 10-6 10-4 0.01 1
大気密度 (kg/m3)

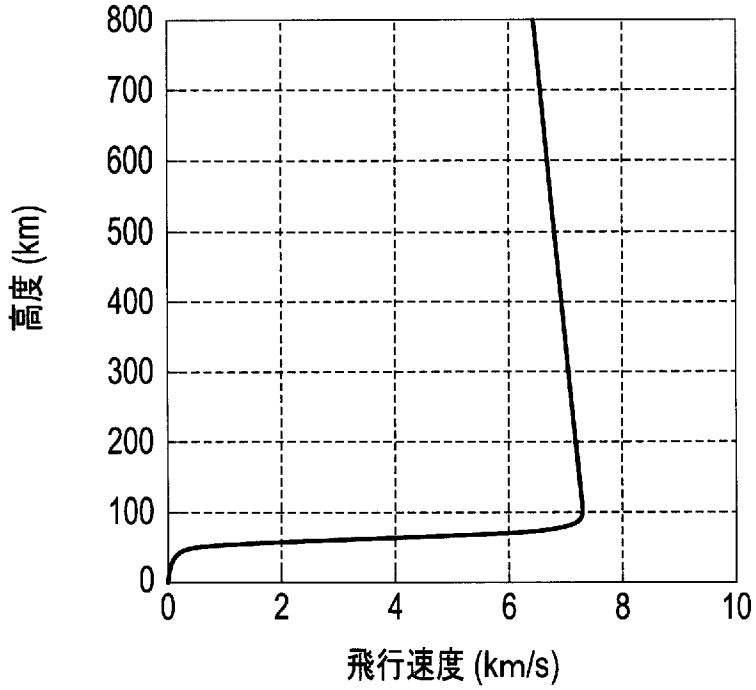
[図4]


(a)
質量 [kg]
10-4 10-3 10-2 10-1
直径 [m]
(b)
面積質量比 [m2/kg]
10-4 10-3 10-2 10-1
直径 [m]

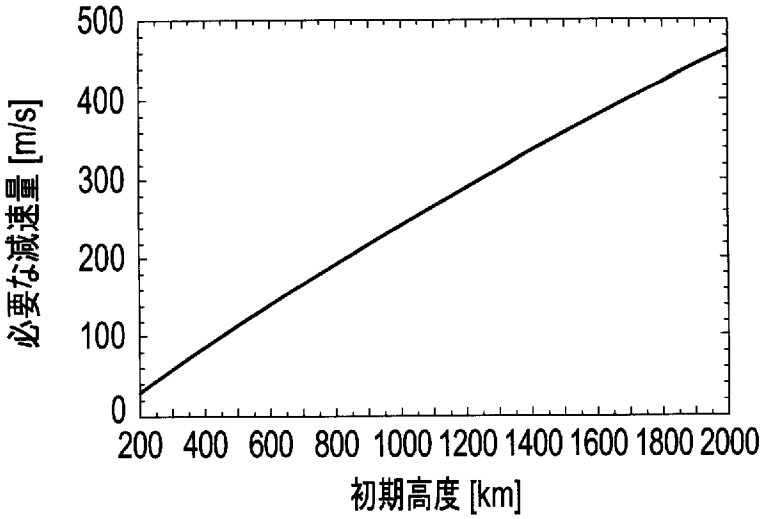
[図5]


10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
軌道寿命 [年]
200
300
400
500
600
700
800
初期高度 [km]

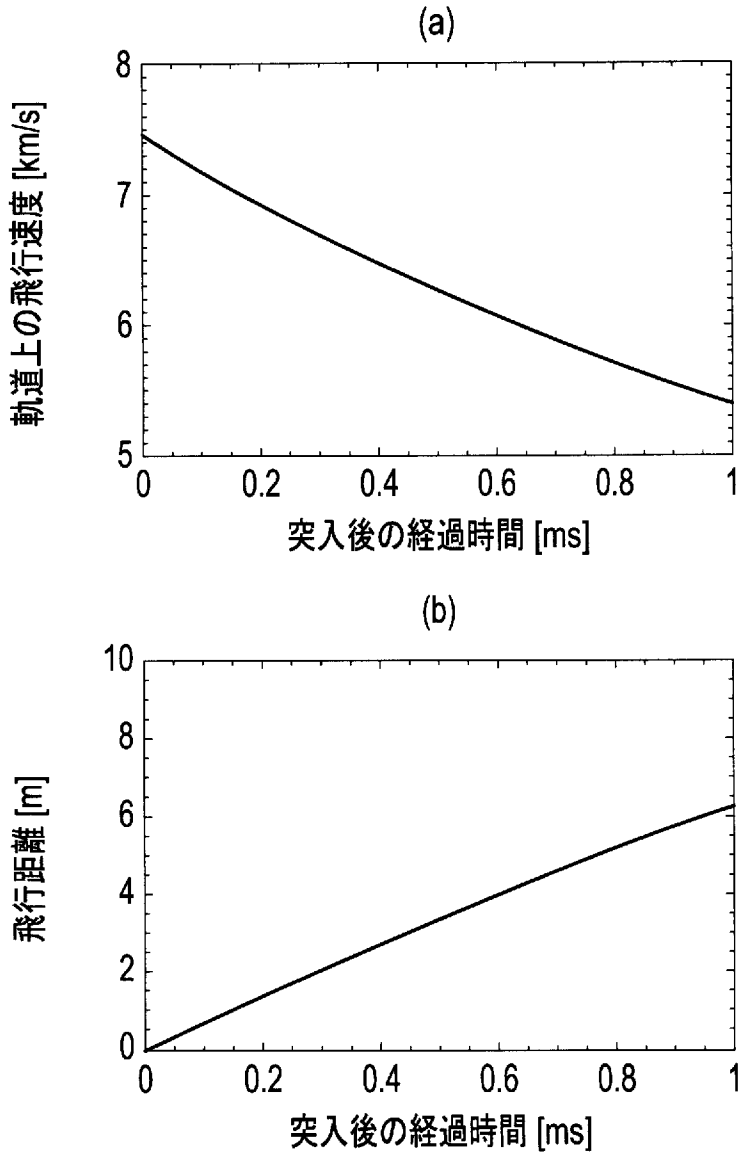
[図6]


800
700
600
500
400
300
200
100
0
高度 (km)
0
2
4
6
8
10
飛行速度 (km/s)

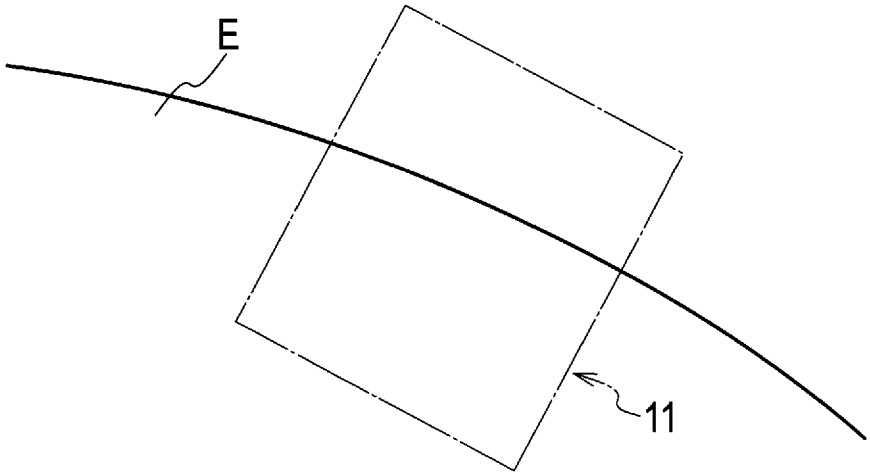
[図7]


必要な減速量 [m/s]
500
400
300
200
100
0
200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000
初期高度 [km]

[図8]


(a)
軌道上の飛行速度 [km/s]
8
7
6
5
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
突入後の経過時間 [ms]
(b)
飛行距離 [m]
10
8
6
4
2
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
突入後の経過時間 [ms]

[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/071662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B64G1/56(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)
B64G1/56

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 1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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.
X A	JP 2007-109514 A (Japan Aerospace Exploration Agency), 26 April 2007 (26.04.2007), paragraphs [0004] to [0006] (Family: none)	1-2 3-4
A	WO 2009/091037 A1 (IHI Corp.), 23 July 2009 (23.07.2009), entire text; fig. 1 to 8 & EP 2236422 A	1-4
A	JP 2004-98959 A (National Aerospace Laboratory of Japan), 02 April 2004 (02.04.2004), entire text; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-4

☒ 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	Date of mailing of the international search report
20 December, 2010 (20.12.10)	28 December, 2010 (28.12.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/071662

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 11-236000 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 31 August 1999 (31.08.1999), entire text; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-4

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０７１６６２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B64G1/56(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.　B64G1/56

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	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０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
X	JP 2007-109514 A（独立行政法人　宇宙航空研究開発機構）2007.04.26，段落【０００４】－【０００６】（ファミリーなし）	１－２
A		３－４
A	WO 2009/091037 A1（株式会社ＩＨＩ）2009.07.23，全文，第１－８図 & EP 2236422 A	１－４
A	JP 2004-98959 A（独立行政法人航空宇宙技術研究所）2004.04.02，全文，第１－７図（ファミリーなし）	１－４

☑　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の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 ２０．１２．２０１０	国際調査報告の発送日 ２８．１２．２０１０
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）　３Ｄ　３３２２ 杉山　悟史 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３４１

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 11-236000 A（石川島播磨重工業株式会社）1999.08.31，全文，第１－９図（ファミリーなし）	１－４