

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6693967号  
(P6693967)

(45) 発行日 令和2年5月13日 (2020.5.13)

(24) 登録日 令和2年4月20日 (2020.4.20)

(51) Int. Cl. F 1  
F 0 3 H 1/00 (2006.01) F 0 3 H 1/00 Z

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2017-540140 (P2017-540140)	(73) 特許権者	315008740
(86) (22) 出願日	平成28年1月28日 (2016.1.28)		サフラン エアークラフト エンジンス
(65) 公表番号	特表2018-503774 (P2018-503774A)		フランス国, エフ-75015 パリ, プ
(43) 公表日	平成30年2月8日 (2018.2.8)		ールバール デュ ジェネラル マルシア
(86) 国際出願番号	PCT/FR2016/050186		ル バラン 2
(87) 国際公開番号	W02016/120570	(74) 代理人	100099759
(87) 国際公開日	平成28年8月4日 (2016.8.4)		弁理士 青木 篤
審査請求日	平成31年1月9日 (2019.1.9)	(74) 代理人	100123582
(31) 優先権主張番号	1550745		弁理士 三橋 真二
(32) 優先日	平成27年1月30日 (2015.1.30)	(74) 代理人	100153084
(33) 優先権主張国・地域又は機関	フランス (FR)		弁理士 大橋 康史
		(74) 代理人	100160705
			弁理士 伊藤 健太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホール効果スラスト

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

推進軸線 (X) に沿った推力を展開するためのホール効果スラスト (10) であって、  
磁場 (B) を生成するための磁気回路 (30) と、  
アノード (62) と、第 1 カソード (64) と、少なくとも前記第 1 カソード (64) を介して電子を放出しかつ前記アノード (62) を介して電子を引き付けるための電圧源 (68) と、を備える電気回路 (60) とを備えた、ホール効果スラストにおいて、  
前記ホール効果スラストが、

前記ホール効果スラストが、前記推進軸線 (X) の周りに形成された壁 (22) 内部に配置され、

前記磁気回路及び前記電気回路が前記壁 (22) の周りに磁場及び電場 (B、E) を生成するように配列され、かつ、

前記推進軸線に平行でかつ前記壁に直交する全ての断面において、

前記磁気回路 (30) が、実質的に前記壁の表面に配置され相互に離間する、上流磁極 (50) と下流磁極 (52) とを有し、かつ、

前記アノード (62) 及び前記第 1 カソード (64) が前記上流磁極 (50) の両側に配置される、ことを特徴とする、ホール効果スラスト (10)。

【請求項 2】

前記磁気回路が、前記磁場 (B) が前記上流磁極 (5) の隣の前記壁の表面に対して概ね直交する方向を向くように配列される、請求項 1 に記載のホール効果スラスト (10)

10

20

。

【請求項 3】

前記電気回路（60）が、軸線方向において前記上流磁極（50）と前記下流磁極（52）との間に配列された第2 カソード（66）も含む、請求項1又は2に記載のホール効果スラスト（10）。

【請求項 4】

前記電気回路（60）が、前記下流磁極（52）から軸線方向に下流に配列された付加的 カソード（67）も含む、請求項1～3のいずれか1項に記載のホール効果スラスト（10）。

【請求項 5】

前記電圧源（68）が制御可能であり、前記ホール効果スラストの前記推力を逆転するために前記電圧源の電圧を逆転できる、請求項1～4のいずれか1項に記載のホール効果スラスト（10）。

【請求項 6】

前記磁気回路（30）及び／又は前記電気回路（60）が、前記壁の周りに非軸対称の磁場及び／又は電場（B及び／又はE）を生成するように配列される、請求項1～5のいずれか1項に記載のホール効果スラスト（10）。

【請求項 7】

請求項1～6のいずれか1項に記載の少なくとも一つのホール効果スラスト（10）を含む宇宙船（100）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、空気吸入式ホール効果スラストの分野に関する。

【背景技術】

【0002】

通常、空気吸入式ホール効果スラストは、

作動時にスラストによって粒子を収集し、加速し、噴出するためのノズルと、

アノードと、アノードの下流のカソードと、カソードを介して電子を放出しかつアノードを介して電子を引き付けるための電圧源とを備える電気回路と、

軸線方向にアノードから下流にノズルにおいて磁場を生成するための磁気回路であって、磁場が推進軸線に対して実質的に放射状の方向を向く、磁気回路とを備える。

【0003】

例えば、上記のスラストは、ある特許文献において説明される（例えば、特許文献1参照。）。

【0004】

実際には、ノズルは、磁気回路が放射状磁場を生成できるようにするために概ね環状である。したがって、ノズルは、内側壁と外側壁とを備え、粒子は、2つの壁の間を通過する。

【0005】

特に、このようなノズルのため、このようなスラストを含む宇宙船の内部空間の特に大きな部分が占められてしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許出願公開第2003/0046921号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

したがって、本発明の目的は、設置されたとき宇宙船において占める空間がより小さい

10

20

30

40

50

ホール効果スラスタを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この目的は、推進軸線に沿って推力を展開するためのホール効果スラスタであって、ホール効果スラスタは、

磁場を生成するための磁気回路と、

アノードと、第1 カソードと、少なくとも第1 カソードを介して電子を放出しかつ アノードを介して電子を引き付けるための電圧源と、を備える電気回路とを備え、

スラスタは、

推進軸線の周りに形成された円筒形壁内部に配置され、

磁気回路及び電気回路が、壁の周りに磁場及び電場を生成するように配列され、かつ推進軸線に平行でかつ壁に直交する全ての断面において、

磁気回路が、実質的に壁の表面に配置され相互に離間する、上流磁極と下流磁極とを有し、かつ、

アノード及び第1 カソードが上流磁極の両側に配置される、ことを特徴とする、ホール効果スラスタによって達成される。

【0009】

上述の壁は、当然、スラスタが取り付けられる宇宙船の外部壁である。

【0010】

壁は、通常、軸対称の壁である。

【0011】

特に、壁は、円筒形壁とすることができる。「円筒形壁」は、本明細書において、閉鎖輪郭の周りににおいて定方向の「ゼネレータ」ラインを掃引することによって生成される表面を持つ壁を意味する。

【0012】

スラスタによって展開された推力は、概ね、壁の対称軸に沿った方向を向く。

【0013】

但し、一つの実施形態において、磁気回路及び/又は電気回路は、壁の周りに非軸対称磁場及び/又は電場（B及び/又はE）を生成するように配列される。スラスタによって生成された推力は、その後スラスタの軸線（円筒形壁によって画定される）に対して側方成分を示す。したがって、円筒形壁の軸線方向に対して多少傾斜する方向を向く。

【0014】

閉鎖輪郭は、円形、楕円形又は長円形とすることができ、例えば、競技トラックなどの形状を持つことができる。

【0015】

本発明は、したがって、ノズル内ではなく、したがって宇宙船内ではなく宇宙船外部で粒子加速を構成することによって、ホール効果スラスタの設計を完全に逆転する。

【0016】

本発明によれば、磁気回路によって発生した磁場は、宇宙船の円周全体で電子を捕捉する。但し、磁場は、円周の周りの位置の関数として変動する強さを持つことができる。

【0017】

磁気回路は、概略的に、磁場が上流磁極の隣の壁の表面に概ね直交する方向を向くように、配列される。

【0018】

壁と磁力線との間の角度は、 $90^\circ$ から僅かに逸れることができる。特に、 $75^\circ \sim 105^\circ$ の範囲にあれば充分である。

【0019】

本発明によれば、電気回路及び磁気回路は、このように、先行技術の設計のスラスタと比べて完全に修正される。但し、ホール効果エンジンの作動原理は、先行技術のホール効果スラスタの作動原理と実質的に同じままである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 0 】

一つの実施形態において、電気回路は、下流磁極から軸線方向に下流に配列された少なくとも一つの別のカソードを含む。この別のカソードは、宇宙船から下流に放出された粒子に電子を供給して、粒子を電氣的に中性にするのに役立つ。

## 【 0 0 2 1 】

本発明は、以上に規定するように少なくとも一つのホール効果スラスタを組み込む宇宙船も提供する。

## 【 0 0 2 2 】

本発明は、非限定的例として下に示す実施形態の詳細な説明を読むことによって、十分に理解できかつその利点が明らかになる。説明は、下記の図面を参照する。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 3 】

【図 1】本発明によるスラスタを組み込む宇宙船の部分断面図である。

【図 2】図 1 の宇宙船の部分斜視図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 2 4 】

図 1 及び 2 は、本発明のホール効果スラスタ 1 0 を含む宇宙船 1 0 0、特に人工衛星を示す。

## 【 0 0 2 5 】

人工衛星は、地球の大気圏の軌道を回って 1 0 0 キロメートル ( k m ) ~ 3 0 0 k m の高度を維持する衛星である。

20

## 【 0 0 2 6 】

有利なことには、この高度は比較的低く、設備の一部のピース（通信設備、カメラなど）を比較的小さいサイズにしたがって比較的小さい質量にできる。逆に、この高度において、地球の大気圏は、低いがゼロではない衛星の通過に対する抵抗に対抗する。したがって、その結果生じるドラッグを補正する必要がある。

## 【 0 0 2 7 】

スラスタ 1 0 の機能は、人工衛星に推力を与えて、所望の高度で作動を維持できるようにすることである。

## 【 0 0 2 8 】

スラスタは、また軌道変更または修正を行うのにも役立つ。

30

## 【 0 0 2 9 】

有利なことに、スラスタ 1 0 などの本発明のスラスタは、ソーラーパネルなどの電力供給手段に結合されたとき、人工衛星を所定高度に長期間維持するために必要な推力を与えることができる。

## 【 0 0 3 0 】

人工衛星 1 0 0 は、概ね軸線 X の周りの回転体の形式である外側保護ケーシング 2 0 の中に配置される。スラスタ 1 0 は、ケーシング 2 0 の外部壁 2 2 内部に配置される。壁 2 2 の主要部分は円筒形の外部形状を持つ。

## 【 0 0 3 1 】

説明する実施形態において、スラスタ 1 0 は、軸線 X の周りで軸対称である構造を有する。この文脈において、「上流」及び「下流」は、人工衛星したがってスラスタの正常行程方向に対して規定される。

40

## 【 0 0 3 2 】

スラスタ 1 0 は、磁気回路 3 0 と電気回路 6 0 とを有する。

## 【 0 0 3 3 】

磁気回路 3 0 は、壁 2 2 の軸線方向に（軸線 X に対して「軸線方向」）上流の部分に概ね放射状の磁場を生成するように配列される。

## 【 0 0 3 4 】

このために、軸線 X の周りで軸対称に配列される複数の同一の個別の磁気回路 3 2 を有

50

する。

【0035】

各回路32は、U字形の軸線断面を有する軟鉄芯34を備える。芯34は、壁22に近接して軸線Xに平行に延びる長いロッド36を有する。また、屈曲区分の端部が壁22の表面のすぐ下に配列されるように、壁22へ向かって曲がる屈曲区分38も有する。これらの区分38に対面して、ケーシング20は、磁場が通過できるようにするために、非磁気、電気絶縁材料のリング40を有する。リング40は、例えばセラミック、多結晶立方晶炭素（ダイヤモンドとして知られる）又はアルミナで作ることができる。

【0036】

各回路32は、ロッド36の周りに配列されたソレノイドを形成するコイル46も有する。

10

【0037】

回路32のコイル36の端末は、電圧源44の端末に接続される。電圧源は、コイル46へ加えられた電圧の効果を受けて、壁の周りに安定した磁場Bを生成できるように選択される。また、電流源を使用することも可能である。

【0038】

電圧源44によってコイル46へ電圧が加えられたとき、各磁気回路32は、磁場Bを生成する。この磁場は、回路32によって人工衛星の傍らの空間において衛星100の外部へ放射される。形成される磁力線を図1に示す。この図に示すように、屈曲区分38の端部は、回路32のための磁極、即ち上流磁極50及び下流磁極52を形成する。

20

【0039】

上流磁極50の隣において、磁場Bは壁22の表面に対して実質的に直交する方向を向く。

【0040】

図から分かるように、2つの隣り合う別個の磁気回路32の上流磁極は、相互に接近するように又は可能であれば接触するように形成される。同じことが下流磁極にも言える。これによって、磁気回路は、任意の軸平面において上流磁極と下流磁極を持つことができ、磁極は磁場を生成する。これによって、磁場Bは、壁22の周縁全体において実質的に均等に生成される。

【0041】

30

別の実施形態において、各回路32は、基本的に、実質的に軟鉄芯34と同じ形状を有する磁石によって構成できる。この場合、スラスト10の周りに磁場Bを生成するためにコイル46及びこれに動力を供給する電圧源44を設置する必要がない。

【0042】

スラスト10は、電気回路60も有する。この回路は、アノード62と、第1カソード64と、第2カソード66と、第3カソード67（又は付加的カソード）と、アノード62を第1、第2に及び第3カソード64、66及び67に接続する電圧源68と、を備える。

【0043】

アノード62は、導電性でかつ好ましくは非磁気性の材料例えばグラファイト、ステンレス鋼又は他の金属で作られる。

40

【0044】

カソードは、電子を放出するように設計され、六ほう化ランタン（ $\text{LaB}_6$ ）、バリウム含浸タングステン（ $\text{WBa}$ ）の任意の一つの材料で作ることができる。

【0045】

カソードはリング形である必要はなく、スポットカソード（中空カソード）でもよい。具体的には、磁気位相距離（magnetic topological distance）は、物理的距離ではなく力線によって決まる。カソードがスポットカソード（中空カソード）である場合、電気回路においてリング64は明白な役割を持たない。即ち、壁22に静電気が蓄積するのを避けるために表面において単に導電体を使用することが可能である。

50

## 【 0 0 4 6 】

アノード 6 2 は、上流磁極 5 0 から軸線方向に上流に配置される。第 1 カソード 6 4 は、上流磁極 5 0 から下流に但しこれに近接して（望ましくはそのすぐ隣に）したがって下流磁極 5 2 から上流に所定距離に配置される。

## 【 0 0 4 7 】

第 2 カソード 6 6 は、上流磁極 5 0 と下流磁極 5 2 との間に配置される。

## 【 0 0 4 8 】

したがって、第 2 カソード は、上流磁極 5 0 の下流でかつ下流磁極 5 2 の上流にある。

## 【 0 0 4 9 】

第 3 カソード 6 7 は、下流磁極 5 2 の下流に配置される。

10

## 【 0 0 5 0 】

カソード 6 6 及び 6 7 の各々は、下流磁極 5 2 に近接して、したがって、第 1 カソード から下流に所定距離に配置される。

## 【 0 0 5 1 】

回路 6 0 は、3 つの カソード 6 4、6 6 及び 6 7 を持つが、他の実施形態において、一つの カソード しか設置しないことが可能であり、2 つの カソード を設置することも可能である。一つの カソード の位置又は 2 つの カソード の位置は、カソード 6 4、6 6 及び 6 7 の位置から自由に選択できる。

## 【 0 0 5 2 】

アノード 6 2 及び第 1、第 2 及び第 3 カソード 6 4、6 6 及び 6 7 は、全てリング形である。これらのリングは、各々、軸線 X に対して概ね直交する平面（又はより正確には軸線に直交する 2 つの近接する平面の間）において壁 2 2 の円周全体に延びる。3 つのリングの各々は、壁 2 2 の表面と同一平面に在り、壁の一部分を構成する。

20

## 【 0 0 5 3 】

アノード 6 2 と カソード 6 4、6 6 及び 6 7 との間で電圧源 6 8 によって電圧が加えられるとき、電場 E は、人工衛星の外部空間において、壁 2 2 の周りの アノード 6 2 と第 1 カソード 6 4 との間に形成される。電場は、軸線 X に対して実質的に平行の方向を向く。

## 【 0 0 5 4 】

逆に、電場 E は、下流磁極 5 2 の近隣においては極めて低い。したがって、スラスタ 1 0 によって生成される力は、上流磁極 5 0 に近接して生成され、電場 E がないところでは、対抗力は実際には下流磁極に近接して生成されない。

30

## 【 0 0 5 5 】

また、電圧源 6 8 は制御可能である（図には示さない）。即ち、スラスタからの推力を逆転するために電圧を逆転できる。

## 【 0 0 5 6 】

具体的には、2 つの極は、アノード と第 1 及び第 2 カソード との間で加えられる電圧を逆転したい場合、要望に応じて交換可能である。この逆転は、例えば、大気圏に再進入する際人工衛星 1 0 0 にブレーキを掛けるために、スラスタ 1 0 によって加えられる力を逆転するのに役立つ。

## 【 0 0 5 7 】

アノード 及び カソード の役割は、それを可能にする性質のものであれば交換可能である。

40

## 【 0 0 5 8 】

別の実施形態において、上流極 5 0 の上流に カソード をその下流に アノード を設置することが可能であり、電圧源 6 8 は推力逆転モードで極に接続される。

## 【 0 0 5 9 】

この カソード 及び アノード は、アノード 6 2 と カソード 6 4、6 6 及び 6 7 の代わりに推力逆転モードで使用される。

## 【 0 0 6 0 】

スラスタ 1 0 は、下記のように作動する。

50

## 【 0 0 6 1 】

電圧、典型的には 1 5 0 ボルト ( V ) ~ 8 0 0 V の範囲の電圧が、上流 アノード 6 2 の下流の カソード 6 4、6 6 及び 6 7 の間に設定される。カソード 6 4、6 6 及び 6 7 は、その後電子を放出し始める。この電子の大部分は、磁気回路 3 0 によって生成され所望の性能に適合化された磁場によって形成された磁気エンクロージャに捕捉される。所望の性能は、典型的には 1 0 0 ガウス ~ 3 0 0 ガウス程度である。この磁気エンクロージャに捕捉された電子は、仮想カソードグリッド 7 0 を形成する。但し、ある程度の高さのエネルギー電子 ( 典型的には、1 0 電子ボルト ( e V ) ~ 4 0 e V ) は、磁気エンクロージャ 7 0 から逃れて、アノード 6 2 へ向かう。

## 【 0 0 6 2 】

10

人工衛星 1 0 0 は、大気圏に対して移動しているので、粒子は常に仮想カソードグリッド 7 0 の中へ浸透する。グリッドの中に保持される電子とこれらの粒子の原子との間の衝突は、原子をイオン化する。電気回路 6 0 によって生成された電場 E の効果を受けて、イオン化粒子は、人工衛星の後部へ向かって加速する。このようにして、スラスタ 1 0 は、壁 2 2 から下流に人工衛星の後部へ向かって X 方向に非常に高速で噴出されるプラズマジェットを生成する。対称形なので、生成される推力は、実質的に中心軸線 X と整列する。

## 【 0 0 6 3 】

電圧源 6 8 によって加えられた電圧の方向に応じて、スラスタ 1 0 によって生成される力は、一つの方法又は X 軸に沿った他の方法とすることができる。

## 【 0 0 6 4 】

20

スラスタ 1 0 の作動時に、第 2 及び第 3 カソード 6 6 及び 6 7 は、人工衛星 1 0 0 の下流に放出された粒子に電子を供給し、それによって、粒子が電氣的に中性になるようにする。

## 【 0 0 6 5 】

第 2 カソード の使用は、特に任意である。スラスタ 1 0 によって加速された粒子を中性化するために必要な電子を供給するのは、主に、下流磁極 5 2 の下流に配置される第 3 カソード 6 7 である。

## 【 0 0 6 6 】

有利なことには、本発明のスラスタは、ほとんどのホール効果スラスタと異なり、推進ガスの供給を必要としない。

30

## 【 0 0 6 7 】

更に、人工衛星の外部壁にスラスタを配置することによって、人工衛星内部において大量の空間を解放し、それによって、内部における大きなペイロードを可能にする。

## 【 0 0 6 8 】

また、スラスタは、非軸対称に配列しても、本発明の範囲内に在ることが分かるはずである。特に、コイル 4 6 は、同一である必要はない。例えば、コイルは、磁場が壁の一方の側において反対側より強くなるように配列できる。このような状況においては、スラスタによって生成された推力は、壁の軸線に沿った方向ではなく、壁の軸線に対して多少偏った方向を向く。





---

フロントページの続き

- (72)発明者 フレデリク ラファエル ジャン マルシャンディス  
フランス国, 2 7 2 0 0 ベルノン, リュ ドゥ ピジー - セ - 6 3
- (72)発明者 バネッサ ピアル  
フランス国, 2 7 2 0 0 ベルノン, リュ ダルビュフェラ 1 1 0 ア
- (72)発明者 ステファン ズールバッハ  
フランス国, 2 7 2 0 0 ベルノン, リュ サン ラザール 4 4

審査官 伊藤 秀行

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2 0 0 3 / 0 0 4 6 9 2 1 ( U S , A 1 )  
米国特許出願公開第2 0 0 8 / 0 1 1 6 8 0 8 ( U S , A 1 )  
L.Pekker , Analysis of Air Breathing Hall Effect thruster , 42nd AIAA Plasmadynamics and  
Laser Conference, Honolulu, Hi , 米国 , Air Force Research Laboratory , 2 0 1 1 年 5 月 2  
5 日

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- |         |           |
|---------|-----------|
| F 0 3 H | 1 / 0 0   |
| B 6 4 C | 2 1 / 0 0 |
| B 6 4 C | 2 3 / 0 0 |