

第22回衛星設計コンテスト

事務局使用欄
受付番号

年 月 日

アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 磁気トルカ方式姿勢制御の簡素化について			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） ～高校生にもできる姿勢制御手法の考案～			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	横山 晃生 (ヨコヤマ コウキ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	2年
代表者(副)	井手 祐太 (イデ ユウタ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ1	坂本 悠衣 (サカモト ユイ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ2	服部 瑛一郎 (ハットリ エイチロウ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ3	山本 峻太郎 (ヤマモト シュンタロウ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ4			
メンバ5			
メンバ6			
メンバ7			
メンバ8			

2. アイデアの概要（プレスリリース等で使用するのので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

小型衛星の姿勢制御は磁気トルカを3軸使用するのが主流であるが、衛星の軌道を地軸を含む面内における極軌道に限定し、衛星の同じ面を地表に向けるという動作条件のもと、磁気トルカを2個に減らすことができる。本研究では、地球による食を利用して衛星の緯度を算出し、能動制御を行う手法を考案した。高度なプログラミングや回路設計が回避できるため、高校生による人工衛星の製作にまた一歩近づく研究成果となった。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）

本校物理部は、昨年の第21回衛星設計コンテストにおいて『高校生が共同利用できる小型通信衛星』という内容で発表を行い、人工衛星の設計には、衛星の運用方法・通信方式・軌道計算など、見えないところで様々な技術が関わっていることを知ることができた。

そこで今回は、人工衛星の姿勢制御技術に焦点を当て、現在使用されている技術や原理を学ぶとともに、今後高校生が小型人工衛星システムを製作する際に、高校生にも自作できる簡素化された姿勢制御技術を考案しようと考えた。

(b) 重要性・技術的意義等(ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)

一般的な人工衛星用姿勢制御アクチュエータには、主に次に挙げるようなものがあり、衛星の大きさや慣性モーメントなどを考えて適切に選ぶ必要がある。本研究で想定する衛星は、一辺50cmの立方体で重量50kgの小型衛星である。

リアクションホイール方式は、電気で動作するため燃料が不要で長期間使用できるが、重量と必要電力が大きく、高価すぎる。ガスジェット方式は、制御の精度が低くても良い場合は短パルス噴射で制御をしている例もあるが、主にリアクションホイールのアンローディングに使用されることが多い。重力傾斜方式は、衛星から地球方向にアームを伸ばし、作用する重力の差によって衛星の姿勢が安定する受動制御である。しかし、打ち上げ後に長いアームを伸ばす機構が必要である。磁気トルカ方式は、衛星の中に設置した電磁コイルが発する磁気が地球磁場と干渉して発生する力を利用する。必要な磁気モーメントに応じて、自由に大きさや電力を選定でき、仕組みも比較的簡単であるので、小型衛星ではよく使われている方式である。さらに、高度 600km 以上では地磁気トルクが空気抵抗等の他の外乱トルクより十分大きいいため、磁気トルカでも十分姿勢制御ができる。

それぞれのアクチュエータには、以上のような特色があるが、小型衛星に適しており、高校生にも自作できる方式として磁気トルカ方式に着目し、以下では新しい制御システムについて考察する。

4. アイデアの概要

※ミッション全体の構成・ミッション機器の形状・質量・機能・運用軌道など、図を使用するなどして分かりやすく説明して下さい。

製作する衛星の仕様として、一辺 50cm の立方体、重量 50kg、軌道高度は 600km とし、搭載している何らかの光学機器が付いた面を常に地球に向け続けなければならないものとする。この要求を 2 本の磁気トルカで実現できる軌道として、地軸を含み地球の公転面に垂直な面内における極軌道で、太陽に対して軌道面が 1 年中変わらない軌道を考える。この軌道を採用する理由は次の 2 つである。

- ① 地軸と衛星の軌道面の関係が年間を通して一定である。
- ② 地球による食が一定周期で起こる。

ロケットにより、衛星が上記の軌道に投入されるという前提で、衛星の同じ面を地表に向け続けるための制御方法を説明する。

衛星から見て地表に垂直な向きに X 軸、衛星の軌道の接線方向に Z 軸をとり (図 1)、X 軸と Z 軸の向きにそれぞれ磁気トルカ L1 と L2 を設置する。衛星は、磁気センサーと、経過時間の測定・記録に必要なタイマーも持つものとする。打ち上げられたロケットは南へ進み、衛星は低緯度地域でロケットから分離され、目的の軌道に入る。衛星の電源が ON になり、タイマーも計測を始める。衛星の軌道周期が約 100 分で一定であることを利用して、衛星の現在地の緯度をタイマーで推定 (詳細は後述) しながら、L1、L2 に対して次のようなスイッチングを行う。

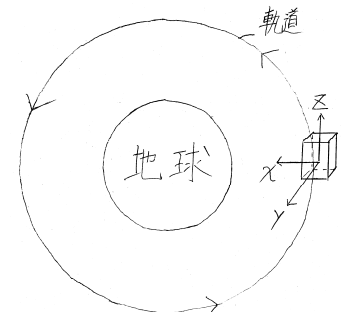


図 1 : 座標軸の設定

北の地磁気極の上空では L1 に電流を流す。地磁気極周辺の磁場は地表に対してほぼ垂直であるため、L1 が磁場に沿い、L1 が地球中心を向く。このとき、電流が一定だと往復を繰り返して回転が減衰しないので、磁気センサーで取得したデータを参考にして衛星が磁場となす回転角を算出し、クロスプロダクト則にのっとり L1 の電流の制御を行う。これにより Y 軸と Z 軸回りの衛星の回転が減衰する。また、IGRF モデルによると磁場の伏角が 80 度~90 度となる緯度の範囲は北緯 80 度以上であるから、その範囲を通過する時間は約 5.5 分である。同規模の小型衛星の回転をクロスプロダクト則制御により止めるには約 10 分が必要というデータもあることから、何周かに分けて回転を止めることになる。なお、北の地磁気極は北極点とほぼ一致しているが、南の地磁気極は南極点から大きくずれているため、南の地磁気極を利用した制御は実施しないものとする。

赤道の上空では L2 に電流を流す。赤道周辺の磁場は地表に対してほぼ平行であるため、同様にクロスプロダクト則にのっとり電流を制御すると、L2 が磁場に沿って軌道の接線方向を向き、X 軸と Y 軸回りの回転が減衰する。なお、衛星が半周して南へ向かう場合は、衛星から見た磁場の向きが逆になるので、L2 に流す電流の向きが逆となる制御結果になるだろう。また、磁場の伏角が 0 度~20 度となる範囲は、赤道を挟んで南北 10 度の緯度幅であるから、同様に何周かに分けて回転を止めることになる。

緯度を知る方法として、地球による食を利用することを考えた。図2は北半球が冬至の日の軌道面の断面図である。点Aで衛星が地球の影に入ると衛星の各面に貼ってある太陽光パネルの電圧が低下するため、その時刻を「食の入り」とする。点Cで影から出るといずれかの太陽パネルの電圧が上昇するため、その時刻を「食の出」とする。衛星の軌道面は地軸を含み、冬至（と夏至）の日に太陽光となす角が0度になるため、AとCの平均の時刻に通過する「食の中間」である点Bの位置は、地球の公転面との交点すなわち北緯23.4度の位置である。そこで、Bから66.6度の角度に相当する時間だけ進むと北極であるため、北極の上空を通過する時刻を正確に計算することができる。この衛星の軌道であれば、日数が経過しても、AC間の幅は狭くなっていくが、点Bだけは不変であるので、太陽センサ等を併用することなく緯度が決定できるうえに、打ち上げ後の衛星の正確な軌道周期も得ることができる。季節が反転すると太陽光の向きも反転するので、春分の日（この日は食が起こらない）以降では、食の中間がB'に移り、その緯度は南緯23.4度となる。この場合は、66.6度進んだときの磁場の向きがX軸の負の向きであることから南極と判断でき、その場合はL1に電流を流さず、あと180度（＝半周期）だけ待ち、北極でL1による制御を行う。

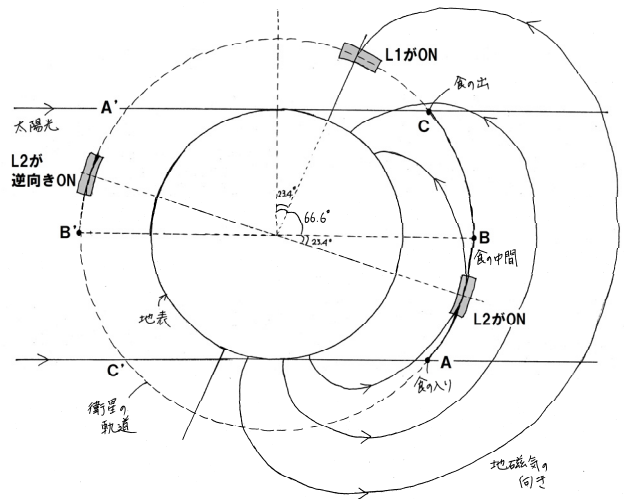


図2：地球による食を利用した緯度の検出方法

以上の方法により、2つの磁気トルカ、1つの磁気センサ、太陽光パネル（食の判定に利用）を組み合わせることで、衛星の姿勢決定と制御が可能になると考えた。

5. 得られる成果

※宇宙で利用することにより、どのような効果があるかなど。

今回考案したシステムは、複雑な計算を減らすことができ、高価なセンサやアクチュエータを使用しなくて良い。よって、実装が比較的簡単で、費用も抑えられるため、高校生でも利用可能な技術であると考えられる。衛星の軌道や精度に多少制限がかかるが、この方式を採用すれば、姿勢制御についての考察が省略でき、他の設計作業に時間をかけることができる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

※「ここは新しいアイデアである」という部分や、このアイデアによって世の中のここに役立つなど、特に主張したい箇所。

本校物理部は、前大会では人工衛星の運用方法と通信方式について考察を行った。また、今年は姿勢制御技術について考察を行い、他校でも実践可能な研究事例として発表を行う。

このような取り組みを今後も毎年少しずつ続け、人工衛星の製作や運用に関わる様々な領域の技術を多くの高校生が簡素化してでも少しずつ分担して研究し習得していき、知識を蓄積していくことが将来高校生の手で人工衛星を製作するための参考書となることを期待する。近い将来、高校生による自作の人工衛星の製作を実現したい。

以上