

第29回衛星設計コンテスト

ジュニア概要書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名 小型人工衛星を用いた大気圏内の実測
副題 高度 50km~200km のデータ計測ミッション
学校名 長崎県立長崎西高等学校

2. ミッションの概要

ラジオゾンデや人工衛星による実測が困難である高度 50~200 kmにおいて、軌道上の親機から複数の子機を指定した地点に投入し、地球上のあらゆる地点でのデータを取得できるシステムを提案する。投入する子機は搭載するミッション機器や投下のタイミングなどを自由にカスタマイズすることができる。2 種類の研究の同時並行などの幅広い運用もできるため、大気圏内における多くの有効なデータを得ることができると考えられる。

3. 目的と意義

(a) 目的

高度 50km~200km の大気圏内の実測は、気球でも人工衛星でも困難であり、これまでほとんど行われてこなかった。そこで我々は、その高度に眠る重要なデータを収集するべく、軌道上の人工衛星（以下、親機という）から、センサを搭載した機器（以下、子機という）を、地表へ向けて落とすことにより、大気圏内における様々なデータの直接的な観測ができるシステムを考案した。本研究は、このシステムの実現可能性の検討や、具体的な使用例を提案することが目的である。

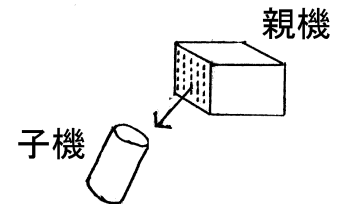


図1：親機から子機が放出される

(b) 重要性・技術的意義等

現在、大気圏内の直接的な観測は、ラジオゾンデという観測機器を積んだ気球によって行われている。しかし、気球の最高高度の世界記録は、JAXA による 53.7km であり^[1]、これ以上の高度では低温などを理由とするゴムの劣化や大気圧の減少により、気球が破裂してしまうために測定が困難である。

一方、人工衛星は、大気圏内において空気抵抗を受けるため、一定の高度以下では急激に高度を下げ、落下する。最低高度の世界記録は、JAXA の 167.4km である^[2]が、円軌道を維持するには推進系による軌道制御が必要である。

以上の理由により、高度 50km~200km の大気圏内での直接観測はこれまで行われておらず、実測によって得られるデータは有意義であると考えられる。本研究では、センサを搭載した子機を、極軌道で周回する軌道上の親機から地球に向けて放出することで、放出した地点の高度 50km~200km のデータを取得することができるシステムを提案する。

4. アイデアの概要

■運用開始から終了まで（図 2）

- ① ロケットを用いて、親機を高度 350 km の円軌道の極軌道に投入する。
- ② 導電性テザーが出る面が地球に向くように姿勢制御する。
- ③ 地上局からのコマンドにより導電性テザーを展開し、親機は徐々に高度を下げる。
- ④ 高度 220 km に到達し次第、地上局からのコマンドにより親機からテザーを切り離す。
- ⑤ 地上局からのコマンドにより、決まった時刻に親機の進行方面の反対の面から子機を放出する。
- ⑥ 子機は、親機から放出されると電源が入り、パラシュートを展開して減速する。高度が 200 km 以下になると測定を開始し、センサ類で計測したデータはメモリに保存する。
- ⑦ 子機は、高度 50 km 以下で測定を終了し、衛星通信網（イリジウム回線等）を介して全ての測定データを地上局へ送信する。その後、子機は安全な速度で地表に落下し、運用を終了する。
- ⑧ 子機を全て放出した親機は、自然降下によって再突入して燃え尽き、運用を終了する。

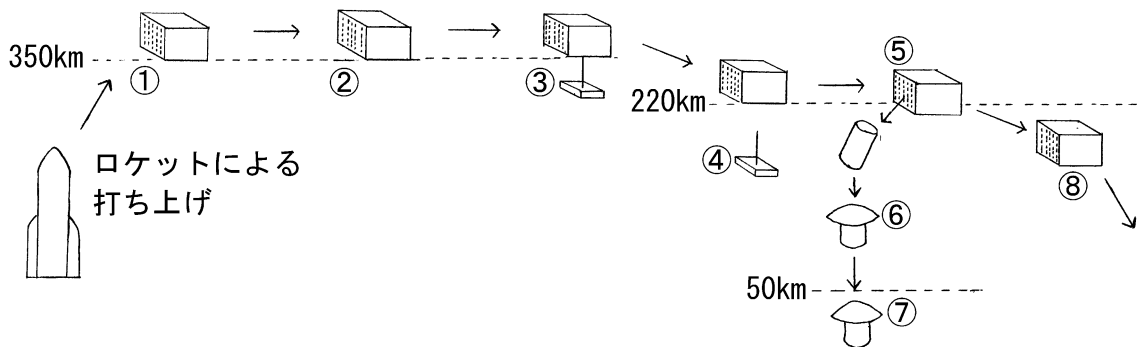


図 2：運用開始から終了までの流れ

■親機について

親機は一辺が 40 cm の小型人工衛星である。姿勢決定系として、地磁気センサ、スタートラッカ、GPS 受信機、ジャイロセンサを搭載し、姿勢制御には磁気トルカを用いる。送受信アンテナを搭載し、地上局との通信に用いる。軌道上で展開できる導電性テザーを搭載し（図 3）、高度を 220 km まで下げるために用いる。リチウム二次電池を搭載し、太陽光パネルで充電することができる。

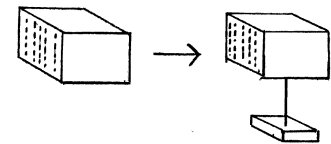


図 3：親機はテザーにより高度を 220 km まで下げる

進行方向の反対側の面には、子機を格納するための円柱形の穴が 30 か所あり、センサを搭載した子機を計 30 機収めることができる。親機と子機は、熱により容易に切れる構造糸によって固定されており、この糸を電熱線によって焼き切ることで固定を解除し、ばねの力を用いて押し出すことで子機を後方へ放出する。このときの反作用がもたらす親機の姿勢への影響を最小限にするため、ばね定数が小さいばねを使用する。

■子機について

子機は半径 2.5 cm、高さ 18 cm の円筒形で、体積は 350 cm³ とする。C&DH 系として Raspberry Pi Zero を搭載し、位置把握のための GPS 受信機、高度算出のための気圧センサ、測定したデータを送信するためのイリジウム通信用アンテナを持つ。

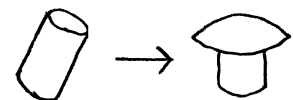


図 4：子機はパラシュートで減速して地表まで落下

子機は、親機から放出されたとき、電力源との絶縁部が抜ける仕組みにより電源が入る。その後、ガス発生装置（インフレーター）に点火信号を送り、発生した窒素ガスで膨らむエアバッグ型パラシュートを開き（図 4）、空力加熱が生じない速度まで減速し、そのまま地表へ落下する。

打ち上げから測定開始までしばらく時間があるが、測定開始までは子機の電源をオフにできるうえ、その後の子機の運用は 4 時間以内と想定しているため、人工衛星等ではあまり使用されない一次電池が活用できるのではないかと考え、必要な電池のサイズを以下のように見積もった。

4時間連続使用する Raspberry Pi Zero、GPS 受信機、気圧センサ、および、最初に一度だけ使用するインフレーター、最後に 10 分間使用するイリジウム通信用アンテナ、これらの総電力量は 22.1Wh である。この電力量を、リチウム二次電池よりも重量エネルギー密度が高いリチウム一次電池^[3]で確保するための体積は 53.6cm³ である。子機に搭載するセンサ等のミッション機器として最大 3W までは搭載できるようにしたいので、必要な電力量を 12Wh 増やして 34.1Wh とすれば、リチウム一次電池の必要な体積は 82.9cm³ と見積もることができ、余裕をもたせ、90 cm³ に決定した。このとき、使用するセンサの体積が 60 cm³ 以下であれば、すべての機器および配線等を 350 cm³ の円柱内に収納可能であると結論付けられる。

■本研究の独創性

本システムでは従来の人工衛星で測ることができず、気球でも測ることができていなかった未知の高度 50km~200km を測定することを可能とする。本システムでは子機にセンサ等のミッション機器を搭載するため、研究に応じて子機のミッション機器を入れ替えることができる。また、親機内での待機中の放電量が少なく、充電の必要がないため子機では一次電池を用いている。一つの衛星ではなく複数の子機衛星を用いて測定するため、地球上のいろいろな地点で同時期にデータの取得ができる。また、落下地点とセンサの組み合わせが自由であるため、1 地点で、異なるセンサを搭載した子機を 2 個落とすなど、2 種類の異なる研究を並行して実行することもできる。

■本システムの応用例「スベンスマルク効果の検証」

1997 年、デンマークの宇宙物理学者 Henrik Svensmark 博士が提唱した宇宙空間から飛来する銀河宇宙線が地球の雲の形成を促しているという仮説で、2019 年に神戸大学が銀河宇宙放射線による地球気候への影響の証拠を発見したことで、注目された。2005 年の段階で、銀河宇宙放射線が雲の核生成の触媒として作用していることが明らかとなったが、現段階では、その影響について多くの説があり、いまだ議論されている。

本システムであれば、子機にシンチレーション検出器とフォトダイオードを搭載することで、大気中の銀河宇宙放射線量を地球各地で測定することができるため、大気圏内の高度分布を作成することができ、スベンスマルク効果についての理解が進む可能性がある。なお、シンチレーション検出器とフォトダイオードは消費電力が 3W 以下であり、体積も小さいため、子機に搭載することができる。

5. 得られる成果

高度 50km~200km の観測されてこなかった範囲のデータ収集を可能とすることによって、これまで行われていなかった高度の研究を行うことが可能となる。地球への小型人工衛星の落下の試行回数を増やすため、多くの運用中のデータを取得することができる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ・ 一度の親機の打ち上げによって複数の子機の投入を可能としているため、一度に世界各地の多くのデータを取得できる。
- ・ 子機には、3W 以下のセンサを搭載することができ、落下地点とセンサの組み合わせは自由に指定ができるため、研究の目的に応じてカスタマイズができる柔軟なシステムである。
- ・ 子機には一次電池を搭載しており、人工衛星としては貴重な事例となる。

7. 参考文献

[1] 宇宙航空研究開発機構：無人気球到達高度の世界記録更新について(平成 25 年 9 月 20 日)

https://www.jaxa.jp/press/2013/09/20130920_ballon_j.html

[2] つばめ (SLATS) |人工衛星プロジェクト|JAXA 第一宇宙技術部門 サテライトナビゲーター

<https://www.satnavi.jaxa.jp/project/slats/>

[3] 臼田 昭司『リチウムイオン電池回路設計入門』日刊工業新聞社

以上