

缶サットに搭載するパラシュートの安定構造の追求

1. 研究動機

2024年1月1日に石川県能登半島を震源とする「令和6年能登半島地震」が発生し、最大マグニチュード7.6を記録した。この地震により、能登半島各地では水道・電気の使用が困難となり、電波障害や道路の隆起による地域の分断などの問題が生じた。さらに、こうしたインフラの麻痺は被災地の被害状況(水・食料の残量、道路の寸断状況、負傷者数など)を不透明にし、被害の拡大を招いている。そこで私たちは、缶サットを用いて空中から被災地の写真を撮影して道路の寸断状況や屋外に取り残された人の有無などを確認することで、地震の初期段階から迅速な対応を可能にし、被害の拡大を防ぐことに貢献したいと考えた。



(図1) 缶サット本体

2. 先行研究

福井県立藤島高等学校の坂井勇太²⁾らによると、缶サットがパラフォイルの作成により一定の方角に安定して着地することが分かっている。パラフォイル(図2)はパラグライダー等に利用される容易な操縦が可能な翼形状のパラシュートである。それによると、パラフォイルに接続される糸の長さを調節することにより落下軌道の制御を目指したが、一定方向に回転し続けたため制御はできなかった。また、缶サット内部にカメラを搭載して空中写真の撮影を試みたが、撮影の露光時間やピントの調節が正常に行われず、鮮明な写真の撮影は困難だったと示されている。パラフォイルは水平方向に移動し目標地点に到達するために使用するが、本研究では空中写真の撮影を目標とするためドーム形状のパラシュートを使用する。



(図2) パラフォイルの例

3. 本研究で明らかにしたいこと

- ・缶サットの落下時に正確な空中写真撮影を可能にするために、降下時の滞空時間の延長や落下地点の正確性を増した、垂直方向に落下するパラシュートの理想的な構造を追求する。
- ・打ち上げ後に缶サット本体が自律的に起動し、写真撮影のデータを地上の端末に転送する仕組みを確立する。

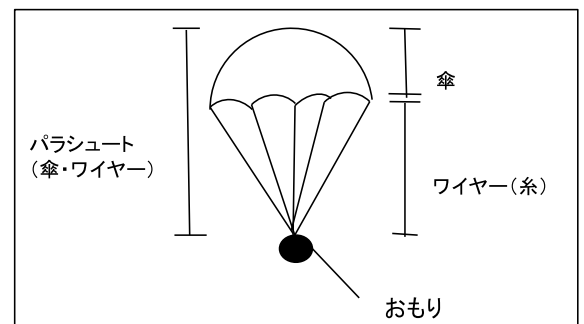
4. 実験計画

準備する物品

ポリウレタン100%の布 タコ糸 裁ちばさみ 500mlのアルミ缶
ガムテープ ペットボトルロケット
おもり(パラシュートを除く缶サット本体の質量に合わせる)
ストロボカメラ(スマートフォンでも可) 空気入れ
小型カメラ(自動ピンぼけ調整機能付き)
9軸センサ 気圧計 無線通信機 PC

使用場所

中央階段(大階段) グラウンド



(図3) パラシュートの構造

(実験手順)

始めに缶サットの内部に使用する基盤等の質量を測定し、パラシュートを除く缶サット本体の質量に合わせた質量のおもりで下記の実験を進めることとする。

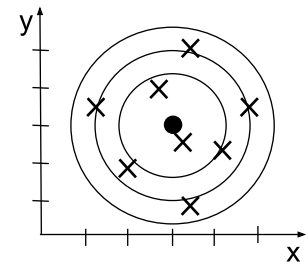
中央階段での実験(①、②、③)

①パラシュートの傘の形状選定

傘の素材には耐久性のあるポリウレタン製の布を使用し、正方形・正八角形・円の三種類で選定を行う。

このとき傘の面積は1600cm²に統一する。おもり(質量は上記に記載)を使用して高さ17.50mの位置から落とす。落下位置は横x縦yのグラフ上に点

で示す。(図4)また、パラシュートの滞空時間を求め、縦軸を滞空時間とした棒グラフで表す。その後、9軸センサを搭載し落下時の安定性をxyz軸方向への角速度を用いて数値化する。この操作を50回繰り返す。



(図4)グラフ表示の例

②パラシュートの傘の面積の実験

傘の形状の選定後、傘の面積を100cm²ずつ変えて終端速度を計測する。各面積のパラシュートでそれぞれ50回落下実験を行い、得た時間のデータをそれぞれ平均化する。その後、それらの値を傘の面積を横軸、地面に到達する直前の速さを縦軸としたグラフに、計測した値をプロットしそれらをつなぐ滑らかな線を描く。このグラフにおいて傾きが横軸に平行になるような最小の横軸上の点を求める。これにより、終端速度が一定になるときの最小面積の傘のパラシュートを導く。また、9軸センサを搭載し落下時の安定性をxyz軸方向への角速度を用いて数値化する。

③接続するタコ糸の長さの実験

パラシュートに接続するタコ糸の長さを5.0cm間隔で変え、パラシュートが地面に落下するまでの時間を計測し横軸をタコ糸の長さ、縦軸を落下時間としたグラフに値をプロットする。それぞれの紐の長さのパラシュートで50回繰り返し落下実験を行う。これにより最も落下までの時間が長くなる紐の長さを求める。また、9軸センサを搭載し落下時の安定性をxyz軸方向への角速度を用いて数値化する。

以上①～③を踏まえ最も滞空時間が長く、安定性の高いパラシュートを缶サットの打ち上げ実験に用いるパラシュートとして採用する。

④缶サットの自律的な起動の確認

缶サット内部のプログラムが完成次第、順次投下実験を行う。グラウンドでの実験の際、空中写真を撮影した高さや落下時の高さを調べるために気圧計を搭載し、気圧の差により缶サットの飛行高度を求める。また、撮影した写真のデータを地上の端末に送信できるようにプログラムする。

5. 仮説

・パラシュートの傘の形状選定において、円型のパラシュートの傘にタコ糸を接合した場合、タコ糸により空気抵抗で布が張らない部分ができるため安定しにくく、角形のパラシュートが安定するのではないかと。また、正八角形は正方形に比べてタコ糸間距離が短く均一に空気を分散しにくいいため、安定性が失われるのではないかと。

・ $V_f = mg/k$ (V_f :終端速度 m :質量 g :重力加速度 k :抗力定数)に達するまでの時間は $e^{-k/mt}$ に関係しパラシュートの傘の面積を大きくして k の値が大きくなることで終端速度に達するまでの時間が短くなり(図5)低い高度でも安定した落下ができるのではないかと。

・パラシュートの開閉に支障を来さない程度に紐を長くすることでトルクの式よりパラシュートの回転に必要な力が大きくなり、外力により落下が阻害されにくくブレのない空中写真撮影が可能になるのではないかと。

※トルクの式(ある点を中心にして物体を回転させる力の大きさ)

$\tau = r \times F \times \sin \theta$ (τ :トルク r :力の作用点から回転軸までの長さ、紐の長さ F :力の大きさ θ :力の方向と回転軸に対するアームの方向との間の角度)

$$v = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right)$$

(図5)終端速度微分方程式をvについて解いた結果

実験方法の分析方法について

①パラシュートの傘の形状選定

正方形・正八角形・円形の傘で落下実験を行い、縦軸を落下時間とした棒グラフで表す。また、落下位置を横x縦yのグラフ上にプロットしてxyグラフ上に表す。

②パラシュートの傘の面積の実験

パラシュート面積を横軸、地面に到達する直前の速度を縦軸としてプロットし曲線のグラフを描く。グラフに対する接線の傾きがほぼ0に等しい最小の傘面積を求める。

③接続するタコ糸の長さの実験

パラシュートの落下時間を縦軸としてグラフにプロットし、タコ糸の長さと落下時間の関係を考察する。

①②③の実験では、9軸センサを搭載し落下時の安定性をxyz軸方向への角速度を用いて数値化し、横軸を落下し始めてからの経過時間、縦軸を角速度(deg/s)としてグラフで表す。

6. 参考文献

1) 東京農工大学工学研究院 機械システム工学専攻 中村 健志 高橋 俊 新井 紀夫
自由落下するパラシュート周りの流れ場の解析 (2011)

<https://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=30-2tokushu2.pdf&dir=54>

(参照 2024-5-22)

2) 福井県立藤島高等学校 坂井 勇太 本田 叡大 覧塔 龍之介

缶サットの災害時における活用 一缶サットの自律飛行と上空からの被害状況の把握一(2023)

(参照 2024-5-22)

3) 地理空間データを使ってまだ見ぬCanSatの投下場所を探せ！！～UNISEC×宙畑コラボ企画 10年越しの課題への挑戦
(2021-12-8) <https://sorabatake.jp/24329/>

(参照 2024-5-22)