

2025 年度

航空機設計仕様書

2025 年 8 月

東京理科大学創域理工学部機械航空宇宙工学科

小笠原研究室

7522095 舟木 悠太

目次

1	序論	2
1.1	研究背景	2
1.2	パラフォイルの仕組み	2
1.3	先行研究	3
1.3.1	3GMAR(3rd Generation Mid-Air Retrieval) の手順	3
1.3.2	空中回収におけるパラフォイルの自律誘導	4
1.4	研究目的	4

1 序論

1.1 研究背景

1.2 パラフォイルの仕組み

この節では、パラフォイルの基本的な仕組みについて説明する。パラフォイルは、展開可能な柔軟構造を有し、端部の形状を変形させることで姿勢の変更及び軌道制御が可能な落下傘を指す(図(1.1))。



Fig. 1.1 The X-38 prototype of the Crew Return Vehicle is suspended under its giant 7,500-square-foot parafoil during its eighth free flight on Thursday, December 13, 2001.[NASA,2001]

パラフォイルはキャノピー、ペイロード、そしてテザーから構成されている。パラフォイルのキャノピーは、翼型断面を有し、揚力を発生させることで滑空飛行を実現する。ペイロードは、パラフォイルに吊り下げられた物体であり、テザーはキャノピーとペイロードを接続する。パラフォイルは前進時にキャノピーが空気を取り込み、空気流のせき止め圧(ラム圧)でセルを膨らませて翼形状を保持する。パラフォイルは減速や降下に用いられるパラシュートと比べてアスペクト比が大きく、端面が翼型形状であるため滑空飛行が可能となる。

パラフォイルの制御は、主にテザーの端部を引くことで行われ、テザーの片端を引く非対称制御とテザーの両端を引く対称制御の2通りの制御方法を使い分ける。非対称制御では、例としてテザーの右側を引くとキャノピーの右後部が下がることでバンク角が発生し、向心力が働くことで左旋回が可能となる。対称制御では、両端のテザーを引くことでキャノピーの後縁が下がり揚抗比が変化することで前進速度を制御できる。

1.3 先行研究

1.3.1 3GMAR(3rd Generation Mid-Air Retrieval) の手順

空中回収において、ヘリコプターとパラフォイルが安定した会合を行うため、会合時の衝撃荷重及び相対速度の低減及び空中回収に適したパラフォイルの種類の研究が行われてきた。Dean らは、3GMAR(3rd Generation Mid-Air Retrieval) という空中回収の方式を提案した。3GMAR の手順は以下の通りである(図(1.1))。

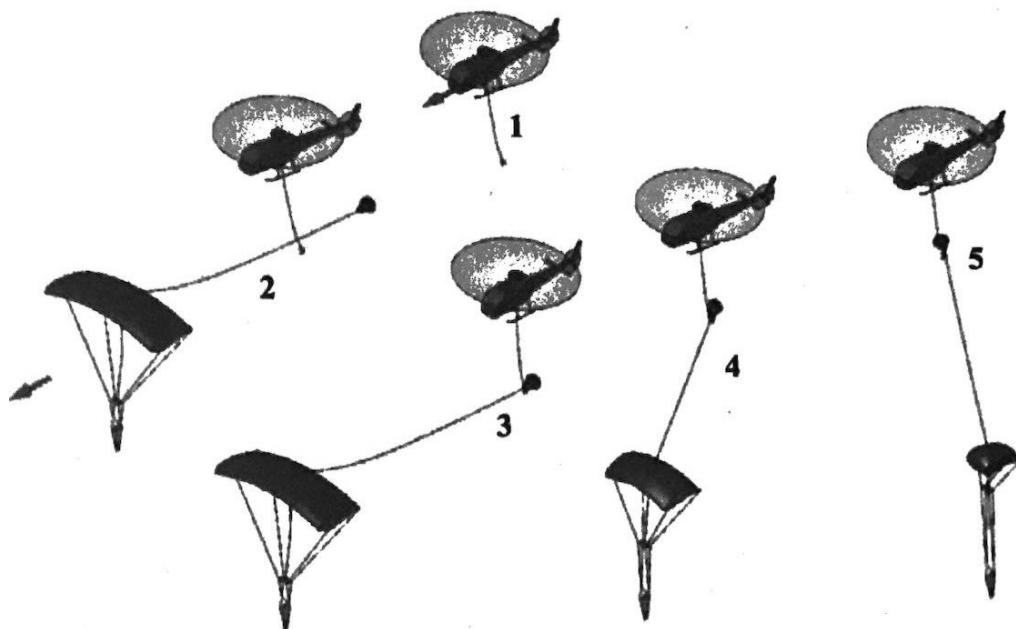


Fig. 1.2 The process of 3GMAR.[Dean,2005]

3GMAR ではフックが取り付けられた回収ヘリコプターが、ドローグパラシュートが取り付けられたパラフォイルに接近し、ドローグにフックをかけて回収する。この時の手順は接近、会合、引き上げの 3 段階に分けられる。接近段階では、ヘリコプターは、パラフォイルをパイロットが目視で確認できるまでパラフォイルに向かって飛行する。その後、回収ヘリコプターはパラフォイルと右斜め編隊を組み、パラフォイルより約 15m 高い高度を維持し、パラフォイルの中心線の左側に約 15m 離れて位置する。このときヘリコプターとパラフォイルとの相対速度はほぼ 0m/s となる。会合段階では、ヘリコプターはパラフォイルに向かって徐々に接近し、ドローグパラシュートにフックをかける。引き上げ段階では、ヘリコプターはドローグパラシュートを引き上げる。この際、係合ラインに張力がかかり、パラフォイルのサスペンションラインに取り付けられた「スライダー」と呼ばれる部品が引き上げられキャノピーが収縮する。これにより、パラフォイルの揚力が減少し、ヘリコプターへの負荷が軽減される。

3GMAR では、パラフォイルがヘリコプターの前方を滑空するため、ヘリコプターのパイロットがパラフォイルを追跡するのが容易である上、ヘリコプターとパラフォイルの相対速度が小さいた

め、会合時の衝撃荷重が低減される。これにより、安全かつ効率的な空中回収が可能となる。その一方、3GMAR ではパラフォイルが自律制御を行うことは想定されていないため、風などの外乱やパラフォイルの初期値のずれによりパラフォイルがヘリコプターから離れた方向に移動する可能性がある。したがって空中回収の成功は、ヘリコプターの性能及びパイロットの技術に依存している。([Dean,2005])

1.3.2 空中回収におけるパラフォイルの自律誘導

Mari らは、ATLAS V に搭載された RD-180 エンジンの空中回収を計画するにあたって、パラフォイルに自律誘導システムを導入することを検討した。ペイロードの内部に GPS を搭載することで、パラフォイル展開後にペイロードの位置情報を取得し、目標地点に向かって自律的に誘導することを目的としている。このシステムは実証されておらず、([Mari,2008])

1.4 研究目的

参考文献

- [Dean,2005] The Past, Present, and Future of Mid-Air Retrieval Dean S. Jorgensen ‐ , Roy A. Haggardt and Glen J. Brown Vertigo, Inc., Lake Elsinore, California 92531, 18th AIM Aerodynamic DeceleratorS ystems Technology Conference and Seminar(2005)
- [Mari,2008] Partial Rocket Reuse Using Mid-Air Recovery Mari Gravlee*, Bernard Kutter † , Frank Zegler ‡ , Brooke Mosley§ United Launch Alliance Denver, CO Roy A. Haggard** Vertigo Lake Elsinore, CA, AIAA SPACE 2008 Conference Exposition 9 - 11 September 2008, San Diego, California(2008)
- [NASA,2001] The National Aeronautics and Space Administration, The X-38 prototype of the Crew Return Vehicle is suspended under its giant 7,500-square-foot parafoil during its eighth free flight on Thursday, December 13, 2001, from <<https://www.nasa.gov/image-detail/amf-ec01-0339-146/>>, (参照日 2024 年 1 月 2 日)