

ARLISS2011 報告書

首都大学東京 Ibis Works
佐原 宏典

1. 摘要

本書は ARLISS2011 における首都大学東京 Ibis Works に関する報告書である。

2. 目的

Ibis Works では上空の強風に対抗出来る制御則の構築を目指している。当チームでは2つの制御則を考案しているが、その内のひとつである、ターゲットまでの距離のみに応じて旋回半径を調整することで安定してターゲット近傍へ接近し、維持する制御則の実証を行う。

3. チーム・カンサット紹介

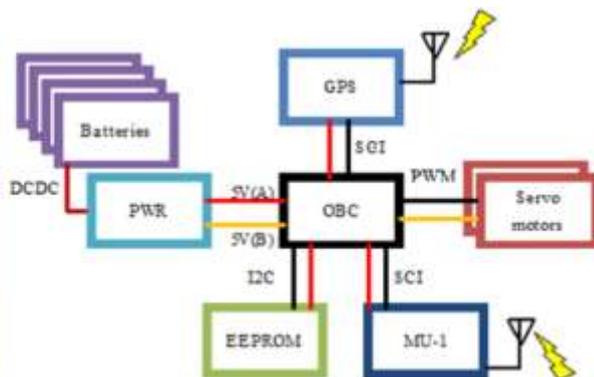
Ibis Works は首都大学東京宇宙システム研究室において 2008 年度に創設された。パラフォイルを取り付けたフライバック型カンサットに注力し、外乱特に上空の強風に対抗出来る制御則の構築を目的としてシミュレーションを行い、2009 年度から能代宇宙イベント及び ARLISS に参加している。2010 年度までは学生一人のチームであったがその学生が卒業したため、指導教員であった現メンバーがチームを継続している。いずれもチーム構成は一人であるが、前年度の実績を完全に引き継ぐことで、開発項目を大幅に減じることに成功している。

2009 年度に製作した当チームのカンサットを第 1 図に示す。この缶サットは天板及び底板に厚さ 3mm のアルミ板材を用い、3 本の支柱にて構造を支えている。これにより 100G の加速度に耐え得ることを構造計算及びシミュレーションにより確認しており、又、実際のフライトにおいても殆ど構造に変形の生じないものとなっている。2011 年度からはバッテリーをより容量の大きなものに変更したため重量増が発生し、そのため支柱の材質及び取付方法を変更した。

当チームのカンサットのシステム構成を第 2 図に示す。システムは OBC を中心とする中央集権体制である。バッテリーには Li-Fe を用いており、2,200mAh の電流容量を有する。これを 2 つの DCDC により、ひとつは電子系への 5V 供給、ひとつはサーボモータへの 5V 供給を担う。同じ電圧の系統を独立させたのは、サーボモータ駆動による消費電流の増減の影響が電子系へ及ばないようにするためである。OBC には GPS、EEPROM、MU-1 が接続され、PWM 出力がサーボモータへ送られる。GPS は測位データを NMEA0183 に従って 1Hz にて OBC へ送り、OBC にて制御則に従って演算を行い、サーボモータを制御する。測位及び制御に関するデータは EEPROM へ 1Hz にて書き込まれると共に、MU-1 にて地上へ伝送される。尚、ロケットに収納され、上空で放出されるまでは MU-1 への電力供給は切断されているため、電波は発射されない。一方、EEPROM への書き込みは電源 ON 当初より開始される。サーボモータは 2 つ搭載し、パラフォイルを接続することでロール制御に加えてピッチ制御も行えるようにしている。このシステム構成は 2009 年度より変更されていない。



第 1 図 当チームの缶サット

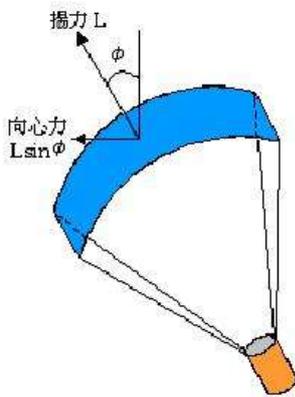


第 2 図 システム構成

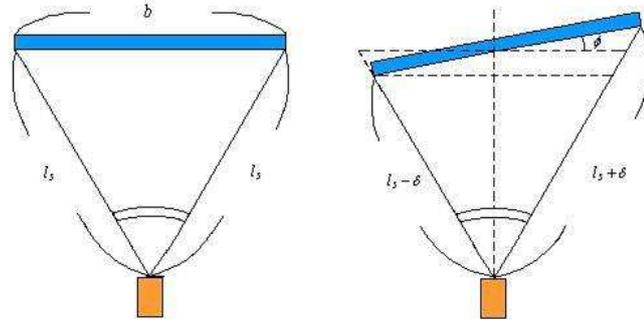
4. 制御則

首都大学東京では上空の強風に対抗出来る制御則の開発に努めている。これまでに2つの有望な制御則を見出しており、シミュレーションによってその有効性を確認している。そのひとつはターゲットまでの距離のみに応じた旋回半径を算出して制御するものであり、もうひとつはターゲットまでの方位角のみに応じた旋回制御を行うものである。いずれもただ一つの測位データのみで制御するものであり、更に着地点が安定してターゲット周辺に収まるものである。2010年度のARLISSでは前者の実証することを試みたが、プログラムミスのためそれは達成されなかった。今年度ではそのようなミスを無くし、引き続き前者の実証を行った。

ターゲットまでの距離のみに応じた旋回半径を算出する制御則は、以下のモデルに基づく。即ち、第3図に示すようにパラフォイルが傾いたときの揚力に起因する向心力によってカンサットは旋回を行う。このとき、第4図のようにサーボモータがパラフォイルの制御ラインを引くことによってパラフォイルの傾きは一意に決まるため、結局サーボモータの回転角によってカンサットの旋回半径が決定される。尚、ここではカンサットの旋回半径が変化することに起因するカンサットの飛行速度の増減も考慮している。

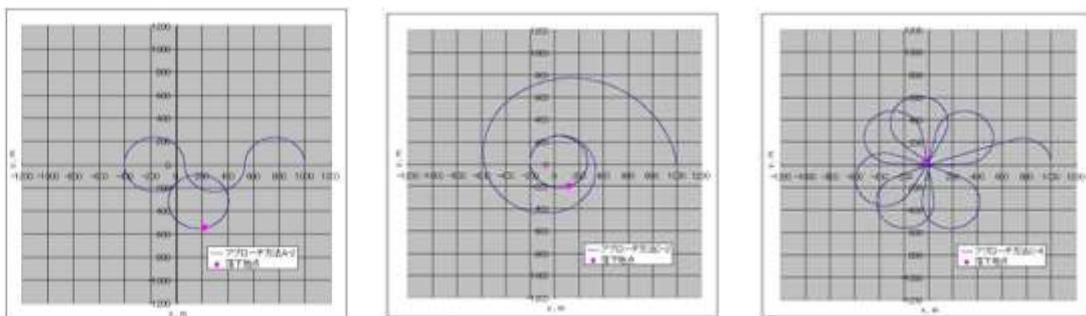


第3図 カンサットモデル



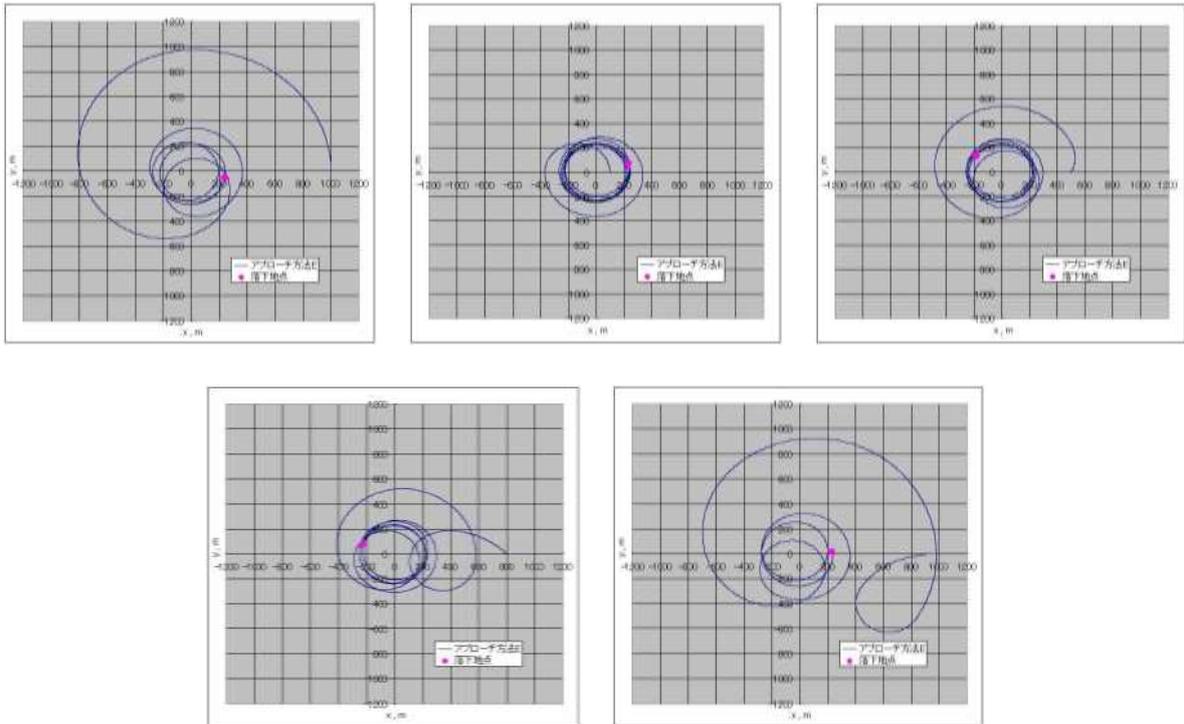
第4図 制御ラインとパラフォイル傾きの関係

ここで、ターゲットまでの距離に応じてカンサットの旋回半径を変化させる制御則においてその変化の決定を算出する数式や係数を調整することで、第5図のようにターゲットへの接近が可能になる。尚、第5図中ではいずれもターゲットは原点位置としている。



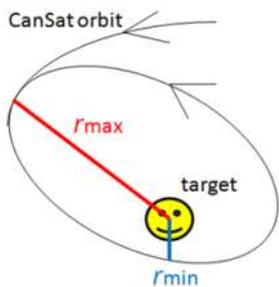
第5図 カンサット飛行のシミュレーション例

シミュレーションによって試行錯誤を行うことで、最終的にひとつの制御則を採用することとした。第6図に示すように、カンサットのロケットからの放出地点や放出速度、及び放出方向を種々に変えた場合でも、カンサットはいずれもターゲットに向けて飛行し、ターゲット近傍で旋回を繰り返すことで最終的にターゲット近傍にて着地することが示された。即ちカンサットはターゲット直近への着地を目指すのではなく、ターゲット近傍へ安定して接近してそこに留まることを行うことで、カムバックコンペティションに参加することを目指した。



第6図 採用した制御則. 種々の放出状態における飛行軌跡と着地点 (ピンク色の点)

以上の制御則に基づき, 放出状態の変化に応じた着地点予測を纏め, その最大値と最小値の一覧を第7図に示す. サクセスレベルとしてこの最大半径以内に着地することをまず目指し, 条件により事前に予測は出来ないが最小半径以内に入ればより高い成功と位置付けた. 尚, 第7図右の表では上空での風が定常状態 (Steady wind) か高度分布を持つ状態 (Unsteady wind) か, 及びその風の基準の強度 (Beaufort number) がいずれかによって求めた予測となっている.



	Beaufort number	Steady wind		Unsteady wind	
		r_{min} [m]	r_{Max} [m]	r_{min} [m]	r_{Max} [m]
LawC	B_2	136.0	221.4	136.2	221.4
	B_1	131.6	269.7	132.2	269.7
	B_3	117.2	414.2	117.2	414.2
	B_4	92.6	546.7	93.0	543.0
	B_5	72.2	746.4	72.3	739.3
	B_6	1000.0	5916.6	1000.0	5766.6

第7図 カンサット着地点予測一覧

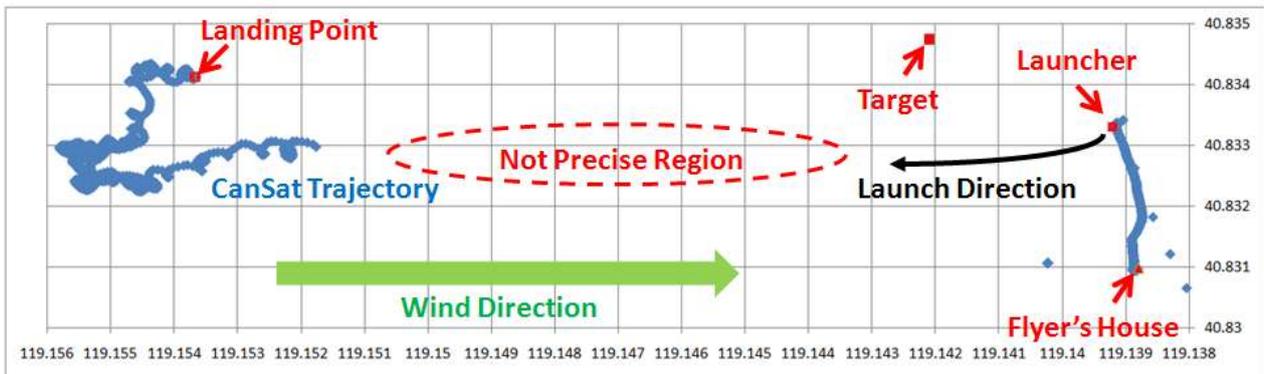
5. 事前試験

ARLISS2011 への参加に先立ち, 事前試験を行った. 試験項目は, 長時間通電試験, ロケット収納及び放出後長時間フライト模擬試験, 気球による放出実験である. 又, 2010 年度までに実施した試験項目は落下衝撃試験であり, ここでは機軸及び機軸外方向のいずれにおいても約 100G の加速度に耐え得ることを確認している. 又, ロケット放出後のパラフォイル開傘による衝撃にも耐えることを確認した. 尚, 長時間フライト模擬試験においてはロケット収納後の待機時間を 2 時間とし, その後 20 分間のフライトが実施出来ることを確認したが, 当チームのカンサットの場合は 10 時間程度の待機時間でも可能な電池容量となっている.

6. フライト

ARLISS2011 では2回のフライトを実施した。1回目のフライトではパラフォイルの開傘衝撃によるものと思われる支柱と底板の分離が起こり、それにより GPS へ大きな加速度が加わった結果、GPS 機能は殆ど正常であったにも拘らず、一切の衛星補足が行えない事態となった。そのためターゲットまでの距離を算出出来ず、制御則に従った飛行を行うことが出来なかった。フライト後に故障原因を求めた結果、以下のことが起こったと考えられる。即ち、アルミ製の支柱に設けたメネジが完全なものではなかったため、開傘衝撃によって支柱を底板に取り付けるネジが3本中1本のみ抜け、これにより底板に自由度が生じて大きく動いたためにカンサット全体に衝撃が発生、その衝撃により GPS のアンテナ及び回路の一部に破損が生じたと考えられる。

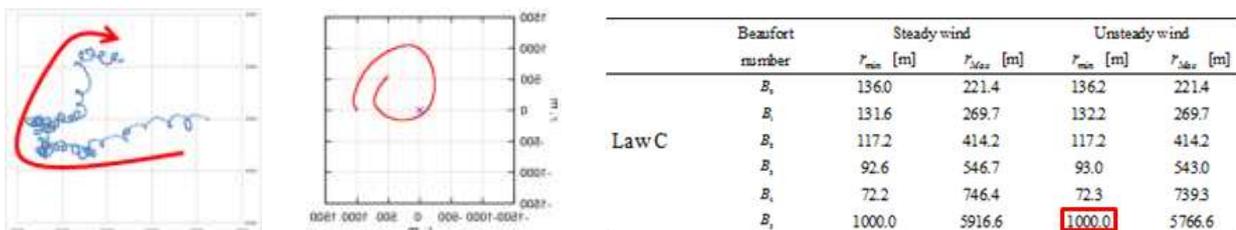
以上の推定に基づき、2回目のフライトではネジを緩み止め及び接着剤にて固定して抜けが起こらないように徹底した。その結果、2回目のフライトでは動作は正常に行われた。そのフライト履歴を第8図に示す。



第8図 2回目のフライト履歴

2回目のフライトでは打上時、比較的強い西風が地上で吹いていたため上空では 10m/s 以上の強風 (Beaufort number で B5 以上) となっていたと推測される。従ってロケットは風見安定により射点から西へ向かって上昇し、高度 4,500m 辺りでカンサットを放出した。ロケットの上昇中及びカンサット放出後暫くは測位に誤差が大きいため第8図では Not Precise Region として省いている。測位が正常に戻った点からの履歴を見ると、カンサットは半径 5~10m 程度の旋回を行いながら当初は風上に向かって飛行していたが、その後大きく旋回してターゲットに向かって飛行を開始した。もしこれが単に風に流されただけであるとすれば、当初風上に向かって飛行していたことが説明出来ない。従ってこれは制御則に基づく制御半径に一致することもあり、強風下において制御則が有効に効いたものと判断される。尚、当チームのカンサットの重量と比較してパラフォイルは小型のものであったため、飛行時の降下率が大きく、カンサットはターゲットに到達する以前に着地した。

このフライトについて成否判断を行う。第9図左は実際のフライト履歴、中央は事前のシミュレーションの内、最も実際に近いものの履歴、右は判定基準である。カンサットはシミュレーションとほぼ一致する軌跡を描いて飛行したことが分かる。着地点はターゲットから 978m の地点であり、これは Unsteady wind における B5 の場合である 1,000m の目標に対して小さい。従って本フライトにおいて、当チームの目標は達成され、フライトは成功であったと判断される。



第9図 フライトの成否判断

7. まとめ

Ibis Works では上空の強風に対抗出来る制御則の構築を目指している。当チームでは2つの制御則を考案しているが、その内のひとつである、ターゲットまでの距離のみに応じて旋回半径を調整することで安定してターゲット近傍へ接近し、維持する制御則の実証を ARLISS2011 にて実施した。その結果、制御則に従った飛行を行い、ターゲットへ接近することが確認され、事前予測の範囲内に着地した。これにより今回の実証は成功であったと判断される。

8. 来年度に向けた課題

来年度に向けた課題を抽出した。

- バッテリ重量の軽減

今年度のカンサットではバッテリーを大型のものに変更したため、支柱の材質及び取付方法を変更した。その結果、アルミ製のメネジを設けるなどしたことにより、ネジ結合の信頼性が低下した。これを改善するために、根本となっているバッテリー重量についてその軽減を行う。

- 制御則の変更

今年度には、ターゲットまでの距離のみに応じて旋回半径を変化させる制御則を適用し、その有効性が確認された。来年度はもうひとつの制御則である、ターゲットまでの方位角のみによって行う制御を確認する。

- パラフォイルの揚力係数及び抗力係数を実測する。

シミュレーションで導入したこれらの係数は仮定されたものであるため、実際のシミュレーションよりも実際は結果的に早く着地した。より精度の高い予測を行うためにはこれらの係数の実測は必須である。