

ARLISS2011 報告書

大阪府立大学 小型宇宙機システム研究センター(SSSRC)

日付：2011年10月11日

代表：別所 昂(M1)

1. はじめに

大阪府立大学、小型宇宙機システム研究センターでは超小型衛星の開発をおこなっている。そのため、ARLISS 2011 では、CubeSat を打ち上げるという独自のミッションを掲げた。衛星の基本動作、通信実験、ミッションをおこない、ARLISS 後も継続しておこなうプロジェクトに活かしたいと考え、ミッションコンペティションに参加した。

1.1. メンバー紹介

Team Name SSSRC (Small Spacecraft Systems Research Center)



渡米メンバー (左から窪田, 別所, 早崎)

Member Reader of Subsystems

No.	Name	Grade
①	Takashi BESSHO	Master 1st
②	Shunsuke ARAKI	Master 1st
③	Tomoyuki KUBOTA	Bachelor 2nd
④	Tsuyoshi NISHIMURA	Bachelor 4th
⑤	Akiya INAGAKI	Bachelor 3rd
⑥	Atsushi NISHINO	Bachelor 3rd

1.2. ARLISS2011 参加の目的

本センターでは超小型衛星 OPUSAT の開発をしている。ARLISS2011 には以下の目的を掲げている。

- ① 衛星開発のマイルストーン
- ② SPindle 審査委員からアドバイスを受ける
- ③ 打ち上げなど本番を想定した練習
- ④ 各大学との技術交流
- ⑤ 各大学へのアピール

①衛星開発のプロジェクトは長期にわたるため、開発の途中で仕様、スケジュールの確認、モチベーション管理などが必要となる。ARLISS に間に合うように今年度開発を進めてきた BBM を完成させることでマイルストーンとしての役割を持たせる。②大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC) で SPindle(SE/PM introductory lesson) というプログラムがあり、ARLISS で成功するために SPindle プログラムを活用することによって、審査員の方から衛星技術についてアドバイスを受けることができる。③本来衛星は運用を含めたシーケンスを試験しなければならない。BBM 段階でまだ本番を想定した試験は施行するのが難しく通常はおこなわない。しかし、早期段階から運用等の試験をおこなう意義は大きく、ARLISS がそのような機会であると考えた。④ARLISS は多くの国内外の大学が参加する大会であり、それぞれが持っている技術・ノウハウなどに触れる機会として重要であると考えている。⑤ OPUSAT 開発を各大学にアピールすることで、技術交流、共同開発、情報共有などの発展する可能性がある。これは、現在多くの大学がセパレートで開発を進めている状況を考えると大変意義のあることであると考えられる。

以上の理由から上記 5 点を主目的として挙げた。

2. 機体紹介

2.1. 機体概要

OPUSAT (ARLISS モデル) は BBM の統合を目指して開発した。そのため、サブシステムは軌道上モデ

ルと同じように、構造系、電源系、通信系、姿勢系、データ処理系のように配置している。

2.1.1. 機体仕様

機体は CubeSat の形状をした CANSAT、パラシュートで構成される。衛星構体には太陽電池の面積拡大を想定した展開機構を有し、内部に電気系の基板、通信機が搭載されている。表 1 に機体仕様、図 1 に衛星外観を示す。

表 1 機体仕様

Size and Weight	
type	1Unit CubeSat
size	W 100 x D100 x H122 mm
weight	1.0kg(parachute)
Power	
storage device	Li-ion Battery (typ.7.4V, 1000mA) Li-ion Capacitor(3.8V, 80F)
Communication	
downlink	CW 40bps (435MHz)
Attitude Determination and Control	
type	spin stabilization
sensors	2 axis gyro sensors
Command and Data Handling	
CPU	STM32F103VE
main memory	SD card
Structure and Thermal	
material	aluminum alloy (main structure, deployment paddle)
mechanism	deployment paddle (by wire cutting-off) deployment antenna (by wire cutting-off)

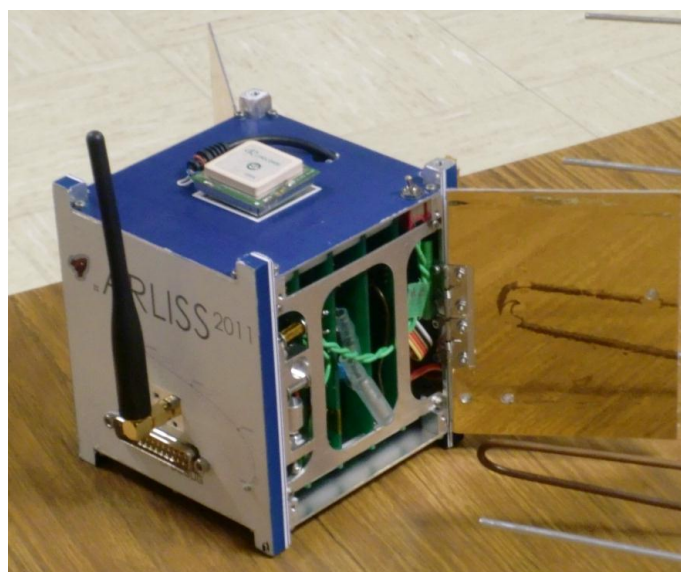


図 1 OPUSAT (ARLISS2011 モデル) 外観

2.1.2. システム構成

システム構成図を図 2 に示す。

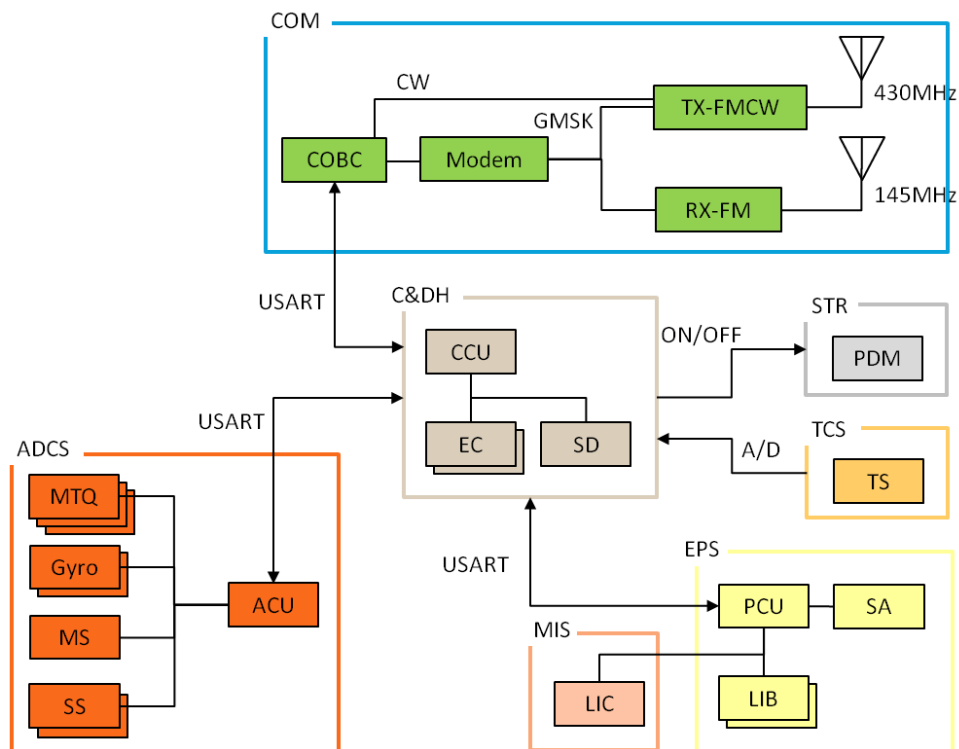


図 2 システム構成図 (磁気トルカ, 磁気センサ, 太陽センサ, 太陽電池は搭載せず)

システム構成図について説明する。

- 通信系(COM)は通信系 CPU(COBC), CW の送信機(TX-CW)で構成する。
- 構造系(STR)はパドル展開機構(PDM)で構成する。
- データ処理系(C&DH)は中央演算器(CCU), メモリ(SD)で構成する。
- 電源系(EPS)は電源制御ユニット(PCU), リチウムイオンバッテリー(Li-B), リチウムイオンキャパシタ(Li-C)で構成する。

本衛星のシステムは, CCU を中心としてスター型に構成されており, CCU と各系間で UART による HK データの伝達を行う。また, CCU がパドル展開およびアンテナ展開の ON/OFF を行う。

2.2. ミッション

2.2.1. ミッションステートメント

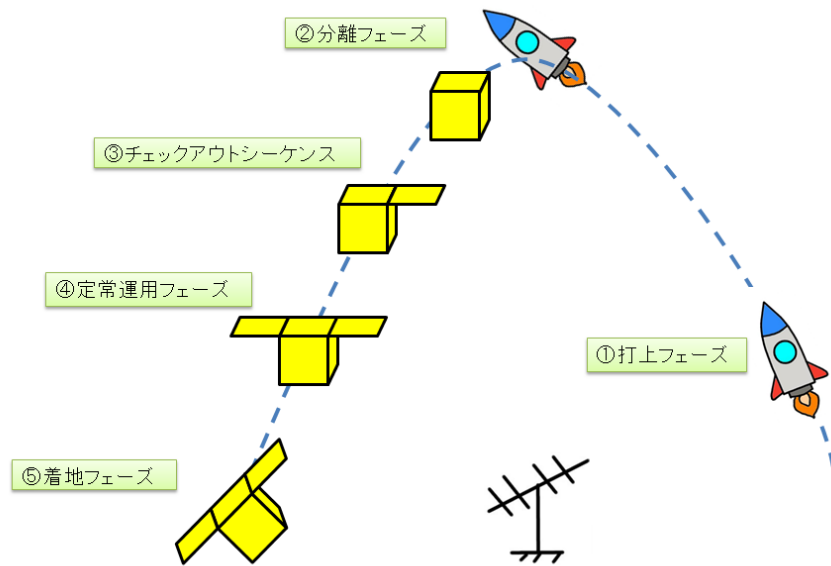


図3 ミッションステートメント

① 打上フェーズ

- ・搭載機器の電源を OFF にしておく(コールドロッチを実現する)
- ・ロケット打上荷重, 振動に耐える

② 分離フェーズ

- ・分離確認スイッチにより, 電源系を ON にする
- ・パラシュートの開傘をおこなう
- ・電源系は電力の供給を開始し, 各サブシステムの機器を ON にする

③ チェックアウトシーケンス

- ・データ処理系 CCU は他系マイコンとの接続を確認する

④ 定常運用フェーズ

- ・構造系はタイマー制御により模擬太陽電池パドル 1, 2 を展開する
- ・電源系はバッテリー放電を確認し, LIC の基本特性を計測する
- ・通信系は CCU から送られてくる HK データを CW で送信する
- ・データ処理系は HK データの取得・保存を行い, COBC に送信する

⑤ 着地フェーズ

- ・構造系はパラシュート開傘状態での着地による衝撃に耐える
- ・通信系は CCU から送られてくる GPS データを回収されるまで CW で送り続ける

2.2.2. ミニмумサクセス

SUBSYSTEMS	MINIMUM SUCCESS
EPS	Supply electric power to each instrument
COM	Send HK Log Data in Morse
C&DH	Save the House Keeping Data into SD Card Data Communication between C&DH and Each Subsystems Get HK date from each subsystem and save them on SD card

EPS

リチウムイオンバッテリー（2直列1並列）を5Vに降圧して各機器に電力分配する。降圧—分配は3つのラインで行っている。1ラインが三端子レギュレーターによる全マイコンへの電力供給，残り2ラインは高効率のDCDCコンバーターによるマイコン以外への電力供給となっている。効率の面でDCDCに劣る三端子レギュレーターを使用したのは，同素子が電氣的耐性の面でDCDCより優れており，重要部品であるマイコンへの安定な電力供給に向いていると判断した事による。

COM

HKデータをモールス信号で送信する。

C&DH

系と他のサブシステム（電源系）との間でデータ通信をおこない，そのHKデータをSDカードに保存する。

2.2.3. フルサクセス

SUBSYSTEMS	FULL SUCCESS
EPS	Measure Own Bus System Voltage Measure LIC Voltage and Current in the Discharge Experiment (LIC : Lithium Ion Capacitor)
COM	Send HK Log Data in GMSK
C&DH	Save HK log data every seconds
STR	Deployment Solar Panels

EPS

3つのバスラインの電圧をPICで計測し，それを記録する。

キャパシタの電圧・電流を，待機—放電終了の間監視し，運用中にキャパシタの特性を計測するノウハ

ウを獲得する.

COM

HK ログデータを GMSK 変調によるパケット通信で送信する.

C&DH

(電源系の) HK データログを毎秒記録する.

STR

タイマー制御により一方の太陽電池パドルを, C&DH 系 CCU からの制御によりもう一方の太陽電池パドルを展開する. 展開方式には, テグスカットを用いている.

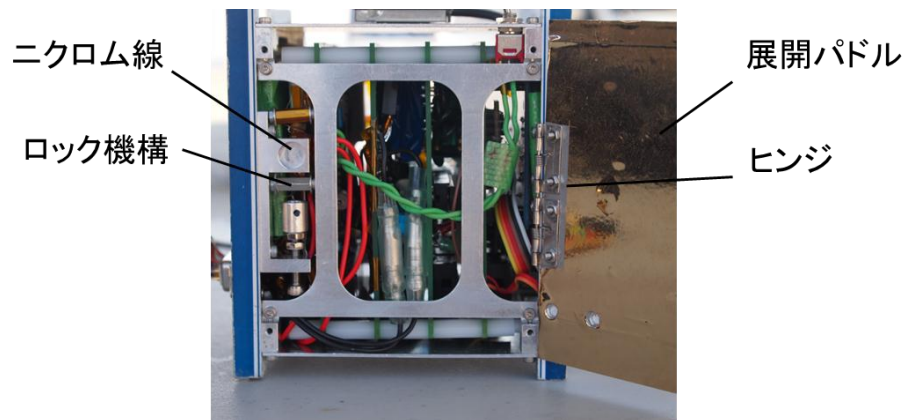


図 4 構造系展開機構

3. 結果

3.1. 打上げ状況

3.1.1. 1回目

日時: 9月13日(火) 14:00 ごろ

- 分離スイッチ, 正常に動作した.
- 分離後, パラシュート正常開傘したが, 途中パラシュートと CANSAT のインターフェースねじが4個中1個外れ, パラシュートのひもがねじれる形で大気抵抗をあまり受けなくなり, 高速落下した.
- 風もあまりなく, 打上地点から近いところへ落下
- GPS, センサ等の情報取得は正常動作した.
- 分離から回収までの全期間にわたって, CW は受信できた.

3.1.2. 2回目

日時: 9月15日(木) 15:00 ごろ

- 分離スイッチ, 正常に動作.

- 分離後、パラシュート正常開傘し、落下までしっかりと固定されていた。
- GPS、センサ等の情報取得は正常、CW による送信も正常動作していたが、回収後の解析により、GPS データが常に打上地点を示していたことが判明
- 風が強く、CANSAT が長距離流された。回収地点は打上地点から 6.8km 離れていた。八木アンテナの指向性が強い方向へ移動し、発見、回収をおこなった。

3.2. GPS データ

1 回目のフライトでは、衛星が起動してから回収されるまでの間 GPS データを毎秒取得することができた。1 回目の GPS のログを Fig.1 に示す。

2 回目のフライトでは、起動後約 100 秒で GPS データの更新が止まっていたため、途中からデータを取得できていない。図 5 に GPS データを示す。

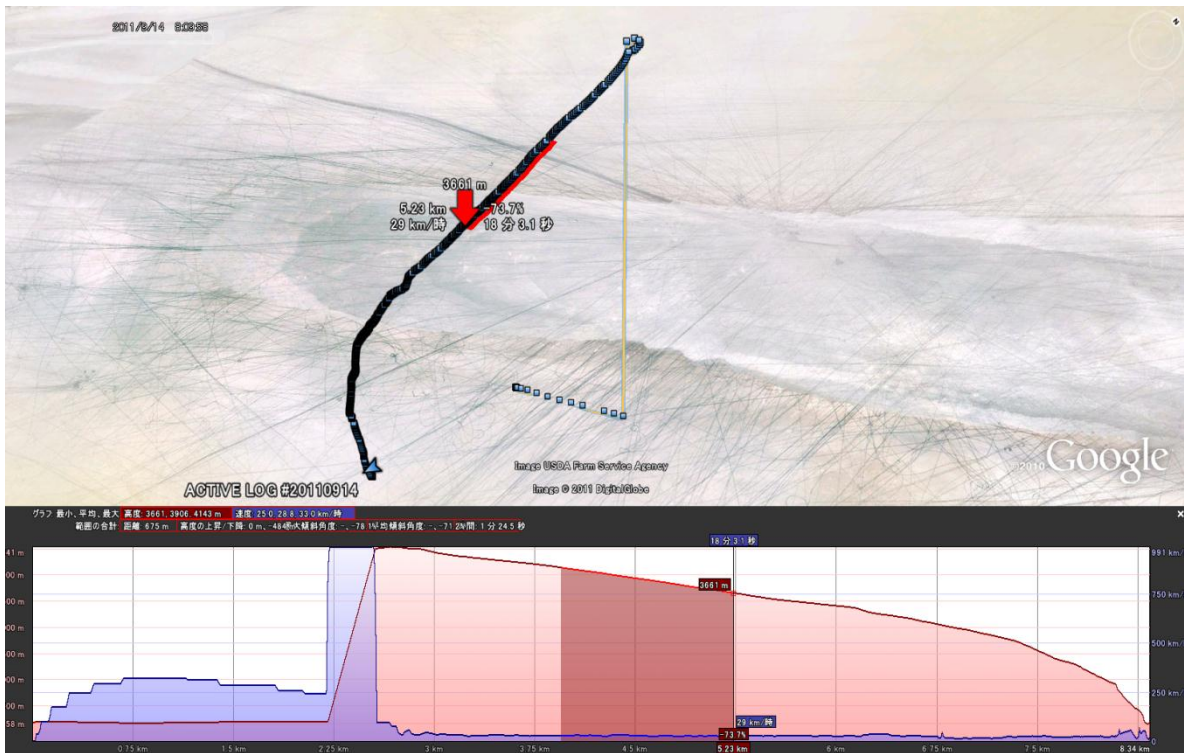


図 5 GPS Log of First Flight

3.3. ミッション結果

3.3.1. ミニマムサクセス

EPS

他の系が予定通り動作したことから、概ね 5V の電力供給が行われたと思われる。(但し計測回路の配線ミスにより、計測値は大きく乱れた.)

COM

データの送受信を正常に行うことに成功した。ただし、元来の予定では C&DH から送られてくる HK デ

ータを地上に送ることになっていたものの、ARLISS では CanSat を確実に回収することが求められていたため、安全対策として C&DH から送られてくる GPS データのみを Downlink することにした。

C&DH

1 回目、2 回目の打ち上げともに、電源系と通信し、SD カードに HK データを記録することができた。

3.3.2. フルサクセス

EPS

2 つの DCDC コンバーターの出力電圧が電源投入時から 88 秒～112 秒と 934 秒以降で、本来 5.0V 出力のところ約 6.3V の電圧が出力された。ここでシーケンスを重ね合わせると、60 秒～120 秒の間キャパシタの放電が行われ。また 934 秒から DCDC コンバーターに通電が始まっている。調べてみると DCDC コンバーターラインの電圧計測ピンにキャパシタの放電開始信号ピンが混線しており、これにより正しい計測が出来なかった。

PIC の動作不良の前にキャパシタの放電を行えたので、電圧計測は想定していた全区間で行えた。電流計測が 2 つのキャパシタの内一方で失敗しており、計測部分の回路ミスが原因であった。もう一方では設計値通りの値を計測することが出来た。図 6 にキャパシタの実験データを示す。

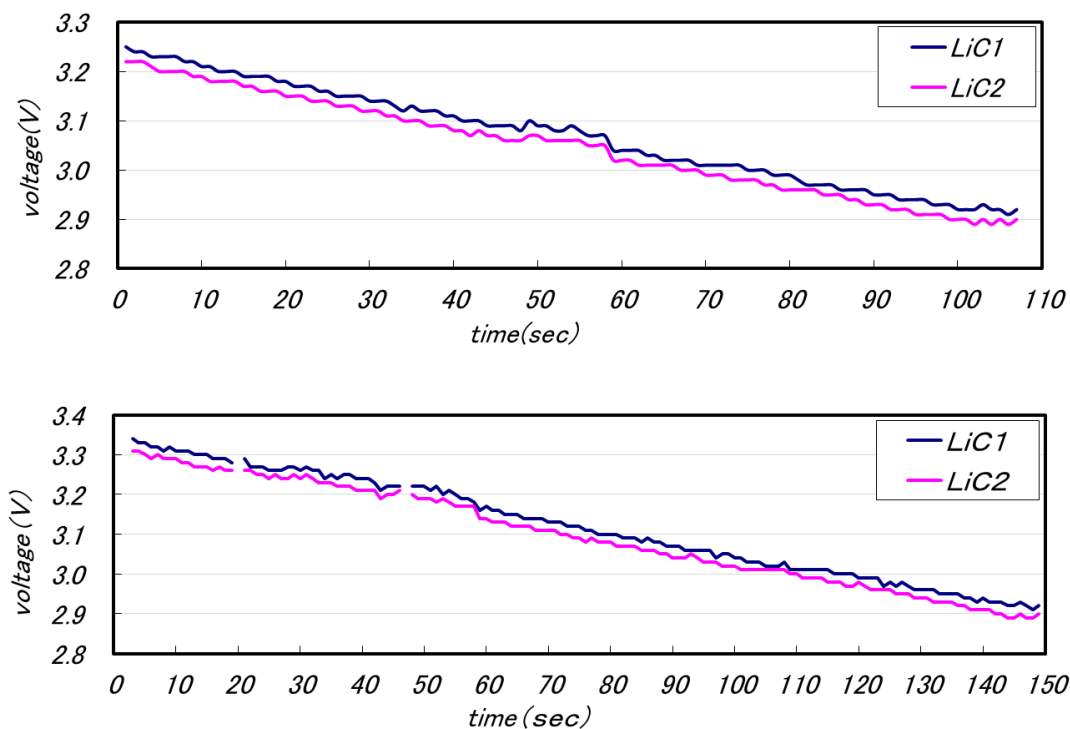


図 6 キャパシタ放電実験データ

COM

GMSK 変調を用いたパケット通信を行う予定であったが、開発の遅れによりパケット通信モジュールの搭載を見送った。よって、通信系のフルサクセスは達成することができなかった。

C&DH

- 1 回目の打ち上げでは、電源系と毎秒通信を行えた。
- 2 回目の打ち上げでは、電源系と約 3 秒に一度の通信をおこなった。

STR

両方の太陽電池パドルとも、展開していることが確認できた。

ただし、現地でタイマー制御部がうまく動作しなかったため、両方の太陽電池パドルとも C&DH 系 CCU からの制御により展開した。

3.4. Lessons learned

3.4.1. データ通信不具合

2 回目のフライト直前に、CCU-PCU 間で 2 回目以降の通信が途絶する現象が確認された。本番のフライトでは、PCU を定期的のリセットすることで通信が停止しないよう対処した。

通信できなくなった原因は、出発直前に書き換えた PCU ソースコード内の数値データの扱いに関する部分であった。書き換えたプログラムを書き込んでいなかったため、1 回目のフライトでは通信ができた。

3.4.2. GPS の不具合

2 回目の打ち上げでは、GPS データの更新が起動後約 100 秒で停止していた。着陸後に撮影した CanSat を写真では GPS のインジケータが点灯していないように見えることから、GPS のコネクタが抜けていた可能性が考えられる。

4. Impression

4.1. 反省

4.1.1. スケジュール面

今回、OPUSAT 開発のマイルストーンとして ARLISS011 に参加した。そのため、衛星開発に必要な技術を ARLISS でおこなうとし、仕様を決定していたが、その目標設定が不的確であったため、もともと搭載しようと思っていた部分の開発が間に合わなかった。原因は開発要素の初期検討や詳細化に不足があったと思われる、また判明した時に途中で更新をあまりおこなうこともなかった。技術や知識が乏しい本団体で始めからすべてのことを把握することは難しいが、今回で培ったノウハウはこれからのプロジェクトや後輩に残したい。

4.2. 謝辞

今回、プロジェクトを進めるに当たり、非常に多くの人にお世話になりました。

ロケットを打上げてくれた AEROPAC の方々には高度 4km の上空まで我々の CANSAT を運んでくださったこと、また間近で打上を見せていただいたこと、ナイトロンチで素敵な打上もを見せてくださったこと、非常に刺激的な体験でした。

ARLISS 運営の須藤さん、伊藤さん、自分の打上げではないのにも関わらず、貴重な時間を割いて、大会事前準備、早朝からの射場準備、夕方遅くの片付け、さまざまな報告の場のアレンジメントなど運営に関する数々の苦労があったと思いますが、ARLISS が無事何事もなく終わったのは運営の方々のご活躍があったからだと思います。ありがとうございました。

大阪府立大学大久保先生、南部先生、各先生方へは設計、多方面にわたり、お世話になりました。これからも OPUSAT プロジェクトを進めるにあたり、ご指導いただければ幸いです。

寝食を共にした SSSRC メンバーのみなさま、実際にアメリカに渡ったのは別所 (M1)、窪田 (B2)、早崎 (B2) の 3 名でしたが、在米中の日本からのバックアップや CANSAT 機体の開発など、お疲れ様でした。しかし、OPUSAT の開発はまだまだこれからです。今後ともよろしく願いいたします。

ARLISS で出会った他大学のみなさま、これからの交流のきっかけになることができました。技術はもちろん、学外での交流の場は非常に貴重ですので、これからもよろしく願いいたします。