

平成 30 年度

OrigamiSat-1 報告書

東京工業大学 名前

何か書く？

目 次

第 1 章	サブシステム開発の経緯（設計・試験）	1
1.1	C&DH 系（OBC 岩崎・小出・林・井手, COBC 黒崎・中塚・大本, Rpi 飯島）	1
1.1.1	初期運用	1
	参考文献	9
	謝辞	10

第1章 サブシステム開発の経緯（設計・試験）

1.1 C&DH系（OBC 岩崎・小出・林・井手, COBC 黒崎・中塚・大本, Rpi 飯島）

1.1.1 初期運用

(1) 初期運用概要（黒崎）

初期運用では、アンテナを収納する際に巻かれたテグスを溶断することで、アンテナを展開させることを試みる。以下に初期運用の流れを示す。

- 1 OBC または COBC が溶断する
- 2 溶断が完了しアンテナが展開し、CW HK ダウンリンクが開始する
- 3 CW HK ダウンリンクが地上局で確認されたら、溶断停止コマンドを東工大地上局からアップリンク
- 4 衛星が溶断停止コマンドを受信したら、溶断を停止し、初期運用モードから定常運用モードに移行する
- 5 CW HK ダウンリンクの溶断ステータスが溶断前から溶断済みに更新されていることを確認することで、衛星が定常運用モードに移行したことを地上局が認識する

(2) 基本設計思想（黒崎・小出）

- **OBC がメインで溶断を行う。OBC が溶断に失敗している場合に CIB が溶断を行う。**本来であれば、Saving モードで OBC の電源が切られてしまうため、CIB がメインで溶断を行いたかったが、CIB は初期運用以外の開発がかなり遅れていたため、初期運用のデバックに割ける時間が限られており OBC をメインにしたという背景がある。
- **溶断頻度は 22.5 分間隔。**これは地球 1 周を 90 分かける OrigamiSat-1 の軌道において、地球 1 周の間に 4 回溶断をトライする設計になっている。地球 1 周分を基準に考えているのは、日向、日陰条件で宇宙環境温度が異なり、溶断の成功確率に影響が出ること考を考慮している。
- **1 日の間で 8 回（地球 2 周分）溶断をトライした後は、溶断を行わず待機。**これはバッテリーを温存するためである。

(3) 開発の流れ（黒崎）

開発の流れは以下の通りである．

- 3-A 不具合想定表作成
- 3-B ソフトフローチャート作成
- 3-C ソフト作成
- 3-D デバック
- 3-E フローチャートとソフトが対応しているか確認
- 3-F OBC/CIB 統合
- 3-G 恒温槽試験で溶断時間の確認
- 3-H FM 最終確認

各工程の詳細を以下に示す．

- 3-A 不具合想定表作成：不具合想定表は、「A）不具合原因表」と「B）不具合対応表」からなる．

A）不具合原因表は，電源系，通信系，その他の 3 種類に分けて作成した．実際に作成した表を表 1.1，表 1.2，表 1.3 に示す．表 1.1 に関しては，機器のトラブルによる再起動/電源オフだけでなく，モード切替による意図的な再起動/電源オフも想定している．

B）不具合対応表は，各シーケンスにおいて，表 1.1，表 1.2，表 1.3 で想定された不具合が発生した場合の，①対処法（どのように冗長系を組むか），②デバックの際の検証方法を示している．OBC，RXPIC，TXPIC それぞれにおいて対応表を作成した．実際に作成した表を表 1.4，表 1.5，表 1.6 に示す．

項目	再起動	可能性 (1:低～5:高)
1	OBCのみ再起動	3
2	OBCオフ	1
3	EPS再起動(OBC再起動、西無線再起動)	1
4	EPSオフ(OBCオフ、西無線オフ)	1
5	RX再起動	1
6	TX再起動	1
7	西無線再起動	2
8	西無線オフ	1
9	EPSオフ(OBCオフ、西無線オン)	3

表 1.1: 不具合原因表（電源系）

項目	通信系	可能性 (1:低～5:高)
A	OBC→EPS I2Cerror	2
B	OBC→EEPROM I2Cerror	4
C	OBC→TX UARTerror	2
D	RX→TX UARTerror	2
E	TX→EEPROM I2Cerror	2
F	RX→EEPROM I2Cerror	2
G	西無線→RXPIC	1
H	西無線→TXPIC	1

表 1.2: 不具合原因表（通信系）

項目	その他不具合	可能性 (1:低～5:高)
あ	ioピン不良	3
い	TXのWDT	1
う	RXのWDT	1
え	ビット反転	2
お	EPS 溶断SW	2
か	TX 溶断SW	2
き	マルチプレクサ	3
く	マルチプレクサhigh状態	1
け	西無線 CW TX	2
こ	西無線 FM TX	2
さ	西無線 FM RX	2
し	OBC 故障	2
す	バッテリー電圧測定用ADCの故障	2

表 1.3: 不具合原因表（その他）

該当シーケンス	エラー項目	該当エラー	それに対する例外処理	検証方法
OBC起動しない	さ	OBC 故障	CIBが溶断シーケンス	
IO_PIN_50セット	あ	ioピン不良 OBC出力の不良は経験ない CIB側の入力の不良が心配 井手	どちらも溶断が始まってしまいう可能性あり →時間差でうまく調整する？ →EEPROMに溶断中かどうかを書き込む？ ありだと思う。溶断ステータスを未溶断、溶断中、溶断済みでわけるのはいいと思う。井手	保留
EPSスイッチ全オフ	A	OBC→EPS I2Cerror	エラーが起きたらEPSキルをRXに送信？ →出来なかったらそのままでもいい？→応ス イッずのリミットタイマーを打ち上げ前につけておく(30秒) ・リミットタイマーは初期運用後に停止できるよね？ 毎回30秒で止まってしまうのか心配。岩崎	リミットタイマー回数デバック済みのため、特に リミットタイマーはSW10のみの実装予定
溶断ステータス読み込み (溶断前に必ず読み込み)	B	OBC→EEPROMI2Cerror	SDに溶断ステータス書き込み さらにエラーでRXにリセットコマンド →無限ループに入る可能性 RXリセットコマンドをきめたとしてどうするか？ →読み込みできないと溶断開始 Bcエラーが出たらタスク停止、ioピン50を切 てCIBが溶断 ただし、溶断シーケンスに入る前の読み込みは片方が溶断済とわかれは通常運用へ	i2cエラーがでたと想定してiopinを切ってタスクを停止 →CIBが溶断シーケンスに入れるかを確認する
通常溶断SW	A	OBC→EPS I2Cerror	エラーが起きたら通常溶断終了、冗長溶断へ →通常ができなければ冗長予定だがUART割り込みも失敗したらどうするか？ →ioピンをきらない限りCIBの溶断にはならない →どちらでも失敗する可能性を考慮する必要あり 一回失敗したら終わる処理ではなく、ループで何度もUARTを送る処理になってなかったっけ？ 井手	i2cエラーが出ててもそのままプログラムが流れるので特に検証を行わない
通常溶断SW	お	EPS 溶断SW	通常溶断不可→冗長溶断へ	i2cエラーが出ててもそのままプログラムが流れるので特に検証を行わない
OBCが通常溶断中	1	OBCのみ再起動	OBCのイニシャライズでEPS全スイッチオフ	溶断中にOBCを再起動させEPSの溶断SWをオフに出来るかを確認
OBCが通常溶断中	2	OBCオフ	RXがOBCの起動確認してEPSキル →スイッチのタイムアウトは30秒 ニクログ線の焼き切れる可能性があるが OBCだけオフになる可能性が低いので考慮しない	溶断中にOBCを再起動させEPSの溶断SWをオフに出来るかを確認 特に対策はしないことになった
アップリンク待ち	1	OBCのみ再起動	何回溶断したかをEEPROMに保存、再起動その値を読んで再開	OBCを途中で再起動させ再度読み込みを行うかを確認
溶断回数読み込み	B	OBC→EEPROMI2Cerror	エラーが出る0からスタートして通常溶断になる →溶断ステータスと同様にタスク停止でCIBに頼む？ ・溶断するのが確定で回数で変わるのが溶断時間だけなら OBCで溶断してもいい気がする 岩崎	溶断回数読み込み時にエラーを起こして0から始まるかを確認する
OBC冗長系コマンド送信中	1	OBCのみ再起動	TXがコマンド破棄 CRCではじけるはず	あえて途中で途切れたUARTを送信後OBCを再起動
OBC冗長系コマンド送信中	き	マルチプレクサ	冗長系溶断使用できない通常溶断へ	
OBC冗長系コマンド送信中	C	OBC→TX UARTerror	冗長系溶断使用できない通常溶断へ	今のuartの回数で返り値ないから成功の判断をどうするか問題だね 岩崎 IO_PINのHigh, Lowの組み合わせでチェックできない？ 井手

表 1.4: 不具合対応表（OBC）

該当シーケンス	エラー項目	該当エラー	それに対する例外処理	検証方法
アップリンク待ち	3	EPS再起動 (OBC再起動、西無線再起動)	西無線の周波数設定をタイマー割り込みで定期的に行う。周波数設定の頻度が未定。	西無線周波数設定をタイマー割り込みの中で追加。putCharで周波数設定が行われていることを確認。※1
アップリンク待ち	4	EPSオフ (OBCオフ、西無線オフ)	・電圧低下で意図的にオフ→RXPICはバッテリーの電圧が低いと判断した場合は、溶断しない限り問題ない。充電が完了したら、CIBがモード切替えし、EPSもオフになる ・原因不明のオフ→西無線がCIB切り替えになっていないので、西無線に電源が供給されていない。TXCOBCがEPSSoftに気付き、RXPICがEPSをリセットする。どうやってTXがRXに指示しよう	①ノミナル→saving サブパワーに切り替わる ②TXPICがEPSSVbusを定期的に監視。main文の中で、電圧異常でEPSリセットコマンドがTXからRXに送られる。RXがEPSをリセット。それでもダメなら、sub power供給にする。 RXPICはリセットする前に、OBXC取得の電圧値を確認する必要があるか？ダブルチェックが必要か要検討。※2
アップリンク待ち	7	西無線再起動	周波数設定必要。RXPICがタイマー割り込みで定期的にを行う。	※1と同様
アップリンク待ち	8	西無線オフ	・原因：エラー4→電源供給の切り替え ・EPSが生きている：EPSをリセットさせて、周波数設定を行えば生き返るかも？初期運用中は、EPS定期リセットの頻度を上げることで、解決？定期リセットのタイミングで、エラー4と勘違いしないか注意 ・西無線がいつているか消えているかはRXPICはわからない。TXPICで判断。どうやってTXからRXに指示するか	①定期的な周波数設定(※1と同様) ②EPSリセット頻度を通常 週1回、初期は1日1回※3 ③※2と同様
アップリンク待ち	さ	西無線 FM RX	西無線再起動。EPSの定期リセットで解決。	※①と同様
アップリンク受信	う	RXのWDT	WDTとは別にカウンターを用意し、立ち往生し続けたらbreak処理。	要検討
OBCの生死チェック中	あ	ioピン不良		
OBCの生死チェック中	1	OBCのみ再起動	OBCとCIBが同時に溶断してしまうとバッテリーがリセットしてしまうかもしれないので要注意 delay中にWDT叩くようにすればいいんじゃないでしょうか？(大本)	①delay追加 ②WDTはdelayの中でたたく OBCが長時間delayをしているので、ここでdelayを加える必要はなくなった
	2	OBCオフ		
	3	EPS再起動 (OBC再起動、西無線再起動)		
	4	EPSオフ(OBCオフ、西無線オフ)		
溶断ステータス読み込み	F	RX→EEPROM I2Cerror	・読み込み途中で止まる→WDTがRXPICをリセット。mainとsubのEEPROMが読めないとき永遠にリセットを繰り返す。WDTが壊れていたら永遠に止まり続ける WDTはタイマー割り込みなので、リセットは起きない。止まり続けてしまう。 ・読み込み途中で止まる→初期運用のi2cリードだけ、一定時間読み込みがなかったら、0x00をreturnするほうがいいのでは？ 読み込み回数の中のwhile分はUARTと同じように全部タイマーで一定時間ダメだったら抜けた方がいいと思う(大本) ・ビット反転とか読んだ値を讀んだ一閾値の値をうまく調整。mainとsubのEEPROMでダブルチェック。	①存在しない'slave address or high/low addressをread→0xffがくる→mainで0xffが来てしまったらsubEEPROMを読みに行くようにする。 ②read/writeの回数のI2CMasterWaitの中でdelayを永遠に繰り返した。WDTのパルスが打たれるためリセットが起きない。 ③I2CはUARTと違い、待ち続けているわけではないから、止まることはない、by 井手。→タイマー処理はとりあえず保留※4
溶断ステータス読み込み	う	RXのWDT	止まってしまい、WDTも死んだら、定期的なEPSリセットを待つ	※3と同様
電圧測定	本	バッテリー電圧測定用ADCの故障	・値が0x000か返ってこない場合、バッテリー電圧不足とみなされ永遠にtxpicは溶断してなくなる。 ・ADCは実際に測定を行わず、測定されたeepromの値をreadするだけではないかもしれない。でも、i2cは懸念リスクがあるので、ADCの方がリスクは低いと思う。	電圧測定は中止→衛星動作モードを読んでEPSがついているかついていないかを判断
電圧測定	F	RX→EEPROM I2Cerror	i2cの競合が起きて、無限ループに入ることを防ぐために、ここで書き込みは行わずともいいかもしれない。バッテリー電圧測定の記録は、エラーでresetのタイマー割り込み(モード切替)のところで行う。	
衛星動作モード読み込み	F	RX→EEPROM I2Cerror	①mainが3タイプ以外の衛星動作モードを讀んだら、subを讀みに行く。それでもダメなら、エラーだす ②読み込み途中で止まる→WDTがRXPICをリセット ③mainとsubのEEPROMが読めないと永遠にリセットを繰り返す。WDTが壊れていたら永遠に止まり続けるので、I2Cにタイマー追加。読み込み途中で止まる→初期運用のi2cリードだけ、一定時間読み込みがなかったら、0x00をreturnするほうがいいのでは？ 溶断ステータス読み込みと同じ意見です(大本) ④カウンターが72以上の場合は、subを讀みに行く。それでもダメなら、0x00に戻す	①変な衛星モードをeepromに保存 ②途中でdelayを入れる ③※4と同様 ④大きいカウンターの数字を入れる
溶断カウンター読み込み	F	RX→EEPROM I2Cerror	WDTとは別にカウンターを用意し、立ち往生し続けたらbreak処理。	・存在しない'slave address or high/low addressをread→0x00がくる→mainで0x00が来てしまったらsubEEPROMを読みに行くようにする。
200s待機	う	RXのWDT	・200s待機中もWDTにパルスを送り続ける必要あり。 ・タイマー割り込みで割り込んでくればよいが、割り込んでくれない場合は、この200秒待機の中でもパルスを途中途中送る必要あり。 ・WDTが壊れた時の対処法未定	・delay時間中もパルスを送っており、リセットがかわらないことを確認済み。
RXPICからTXPICへコマンド送信中	D	RX→TX UARTerror	コマンドを送れない。RXPICは送れていないことを気づくすべし。TXPICのルートが読めるか、OBCの通常溶断と冗長溶断に期待か	RXPICからTXPICにコマンドを送ったら、TXPICがちゃんと受け取ったよ。と返事するまで、複数回送る？要検討
溶断ステータス書き換え	F	RX→EEPROM I2Cerror	WDTとは別にカウンターを用意し、立ち往生し続けたらbreak処理。	※4とほぼ同様。readバージョン

表 1.5: 不具合対応表（RXPIC）

該当シーケンス	エラー項目	該当エラー	それに対する例外処理	検証方法
CWダウンリンク	け	西無線 CW TX	周波数設定？	RXPIC※①と同様
OBCからの割り込み				
OBCからのコマンド	C (1,2,3,4,6)	OBC→TX UARTError	基本、次のトライに期待。 ・10byte来ない、割り込み後、中でコマンド受信を待機し続ける→TXのmain文のWDTがリセットをかける。 ・10byte受け取ったが、ノイズが乗りおかし→crcチェックで破棄。 ・OBCから誤ったコマンドが送られてくる→switch文のdefaultに入る	※6 ・①D/c以外の文字で割り込みを発生させ模擬的に停止。②1文字目(D/c)であったが途中で停止、の2パターンをFT232でPCから割り込み、WDTでリセットが分かるかチェック。 ・ちゃんとリセットかゆる。確認終了。 ・crcの数字を散えて変なものにする ・存在しないコマンドを送信
OBCからのコマンド	い	TXのWDT	・WDTの電源がoffになっていて、立ち往生時に、リセットが分からない→WDT POWER HIGHを定期的に行う？ ・WDTの電源はonだが、パルスpin不良により、リセットが分かるか続ける	井手さんのnew割り込み関数で、立ち往生時は、すぐbreakできる※5
OBCからのコマンド	え	ビット反転	CRCチェックではじかれる→OBC通常溶断のみ	CRC機能チェック
OBCからのコマンド	き	マルチプレクサ	・OBCが生きていて、OBCからTXPICへのコマンドが、通らなかった場合、通常溶断のみになっちゃうけど、大丈夫？（要検討）	OBCは意図的に、RXPICのioピンを切るんだっけ？ →2エラーが出たら、CIBの冗長ルート2溶断を意図的に行うために、ioピンを切る。
OBCからのコマンド	4	EPSオフ(OBCオフ、西無線オフ)	EPSが切れていたら、溶断の電源が入らない。→諦める？1日1回のEPSリセットで復活を期待	①EPSの生死判断。RXPIC※2と同様 ②EPS定期リセット。RXPIC※3と同様
溶断中	か	TX 溶断SW	1日1回のEPSリセットで復活することを期待	RXPIC※3と同様
溶断中	6	TX再起動	TXが落ちれば溶断PINもlowになる？（要確認）次のトライに期待※6	ピンをhighにした状態で、電源を切り、溶断ピンがlowになるか確認 →CIBがリセットかかるとTX冗長溶断用の溶断ピンがlowになった。TXPICが再起動してしまっても、HIGHになりっぱなしにはならないから大丈夫。
RXからの割り込み				
RXからのコマンド1byte受信	い	TXのWDT	上と同様	※5と同様
RXからのコマンド1byte受信	D	RX→TX UARTError	上と同様	※6と同様
RXからのコマンド1byte受信	6	TX再起動	コマンド破棄される。残りのbyteもt/gチェックではじかれる。	コマンド送信中に再起動。はじかれた。確認済み。
RXからのコマンド1byte受信	5	RX再起動	10byte送られず、割り込み関数内で立ち往生するが、WDTでリセットかかりループ抜け出す	抜け出した。確認済み。
溶断ステータス読み込み	6	TX再起動	次のトライに期待	-----
溶断ステータス読み込み	E	TX→EEPROM I2Cerror	・Main eepromエラーで0xFFが帰ってきた場合は、sub eepromを読みに行く・立ち往生したWDTでリセット。次のトライに期待	RXPICと同じ。プログラム更新まだ。
溶断ステータス読み込み	い	TXのWDT	上と同様	RXPIC※4と同じ。
溶断中	か	TX 溶断SW	上と同様	RXPIC※3と同じ
溶断中	6	TX再起動	※6と同じ	※6と同じ
ダウンリンク				
データダウンリンク開始	7	西無線再起動	RXが周波数設定を定期的に行っている	RXPIC※1と同じ
データダウンリンク開始	8	西無線オフ	EPSVBUSの電圧を常に監視。EPS offと判断したら、西無線をsub powerに切り替え、周波数設定を再度行い、CWダウンリンク再開	RXPIC※2と同じ
データダウンリンク開始	6	TX再起動	問題なし	-----
データダウンリンク開始	け	西無線 CW TX	EPSリセット、RXPIC周波数設定を定期的に行っているの、復活を待つ。	
データダウンリンク開始	こ	西無線 FM TX	EPSリセット、RXPIC周波数設定を定期的に行っているの、復活を待つ。	
データダウンリンク開始	さ	西無線 FM RX	EPSリセット、RXPIC周波数設定を定期的に行っているの、復活を待つ。	RXPIC※1と同様

表 1.6: 不具合対応表（TXPIC）

3-B ソフトフローチャート作成：3-A で作成した不具合想定表を元に、初期運用時の OBC, TXPIC, RXPIC のフローチャートを作成した。作成したフローチャートは、他のコンポーネント担当者等とも検討した。

3-C ソフト作成：3-B で作成されたフローチャートを元に、ソフトを書いた。

3-D デバック：3-C と同時並行で書いたソフトをその都度デバックする。いつ、どの部分をデバックし、結果はどうであったかを必ず記録する。後に確認した際にどの部分までデバックしたか分からなくなってしまうため。

3-E フローチャートとソフトが対応しているか確認

3-F OBC/CIB 統合。初期運用は OBC と CIB が連携して行うため、統合作業が必要である。冗長系を含むフローチャートの全てのルートにおいてバグが無いかを、単体では 3-D で確認済みだが、OBC と CIB のプログラムを同時に動かして確認した。

3-G 恒温槽試験で溶断時間の確認：恒温槽において、宇宙環境の想定最大温度 50℃と想定

最低温度-30℃を再現し、それぞれの温度環境下で溶断することができるか、溶断時間は適切であるか検証した。

- 3-H FM 最終確認: FM 本体を JAXA に引き渡す直前、最終プログラム書き込み後、eeprom 初期パラメータ書き込み前に、初期運用プログラムで溶断できるか確認を行った。FM 本体を溶断することはできないので、ダミーの糸を溶断した。

(4) OBC 初期運用モードソフト詳細（小出）

フローチャートのなものどセットで

(5) CIB 初期運用モードソフト詳細（黒崎）

フローチャートのなものどセットで

(6) 初期運用 運用結果（黒崎）

アマチュア無線家からの CW HK データ受信報告を受け、東工大地上局にて溶断停止コマンドをアップリンク。CW HK データで溶断ステータスが溶断前から溶断済みに書き換わっていることを確認した。

(7) コメントや次回の改善点

OBC / CIB 共通（黒崎・小出）

- 溶断済みフラグを CW HK データのフリースペースの 1byte に入れたのは神采配だったと思う。OrigamiSat-1 の場合、アップリンクで EEPROM の指定アドレスを読んでダウンリンクする機能が使えなくなってしまうため、CW HK データ以外に溶断済みを確認する術が無かった。
- OBC と CIB が同時に溶断を行ってしまった場合、バッテリーがどの程度減少するかの検証をできていなかった。
- OBC と CIB のどちらが、何回目の溶断で溶断を成功し、ダウンリンクを開始したかを分かるようにした方がいいのかもしれない。
- 「(3) 開発の流れ」3-F における OBC/CIB の統合は、初期運用のプログラムしか動かしていなかったため、モード切替やダウンリンクなども動かし、本番の運用を想定したデバックが必要であった。

OBC（小出）

- aaaaaaaa

CIB（黒崎）

- FM に書き込んだプログラムでは、溶断ステータスは毎回、eeprom を読み込んで判断としていたが、一度、溶断停止コマンドがアップリンクされて溶断ステータスを書き換わったら、PIC 内のグローバル変数も書き換わるようなプログラムの方が良かったかもしれない。

というのも, RXPIC が eeprom の読み込みができず, 溶断ステータスを判断できない場合は全て「未溶断」判定にしていた. 実際, OrigamiSat-1 は eeprom を読み込めないという事象が起きてしまい, RXPIC は毎回, 初期運用モードに入り, 200 秒待機や溶断などをしてしまっていたと思われるため.

参考文献

謝辞

謝辞 本文

2019 年 5 月
名前