

BIRDS プラットフォーム ICD

Rev.F

2021.3.3

九州工業大学

革新的宇宙利用実証ラボトリー

<https://kyutech-laseine.net/english/>

目次

1	適用範囲	4
2	関連文書	4
3	機械的インターフェース	4
3.1	座標系	4
3.2	BIRDS プラットフォーム外形	5
3.3	BIRDS プラットフォーム内部構造	6
3.4	ペイロード要求	6
4	電氣的インターフェース	9
4.1	アンビリカルコネクタ仕様	9
4.2	コネクタ仕様	12
4.3	コネクタピン割り当て	13
4.4	ミッションペイロードからプラットフォームへのデータ転送速度	18
5	Software 情報	19
5.1	ソフトウェア開発環境	19
5.2	ソース コードの可用性、ソース コード プログラミング言語の詳細	21
5.3	地上局の操作ソース コードの可用性。ソース コード プログラミング言語の詳細	22
6	オペレーション関連情報	22
6.1	ペイロードに最大、公称、最小の電力	22
6.2	プラットフォームの電力消費量	22
6.3	ペイロードへの公称供給電圧、最大供給電流、過電流保護しきい値	22
6.4	バッテリー	24
6.5	ミッション データに割り当てられた データストレージ容量	24
6.6	ADCS の検出と ポインティングの精度と制御モード	25
6.7	ADCS の安定性	25
6.8	ソフトウェアの軌道上再構成可能性	25
6.9	衛星の位置及び時間情報	25
6.10	ハウスキーピングデータ	26
6.11	周波数、帯域幅、変調、速度、データ形式を含むアップリンク、ダウンリンク、CW 仕様	27
6.12	アンテナパターンと最大ゲインを含むアンテナ仕様	30
6.13	アンテナや無線機器を含む GS 仕様	30

7	安全情報.....	34
7.1	POD からの展開後の初期シーケンス	34
7.2	コールドロンチを保証するインヒビットロジック	34
7.3	容量と保護メカニズムを含むバッテリー仕様	38
8	信頼性情報.....	39
8.1	サブシステムの TRL.....	39
8.2	軌道、持続時間、ランチャーを含む飛行遺産	40
8.3	アップリンクコマンドの検証	41
8.4	シングルイベント効果保護メカニズム	41
8.5	衛星のリセット	41
8.6	Test の結果	42
8.6.1	振動環境	43
8.6.2	真空環境	43
8.6.3	熱環境	44
9	組み立て、統合、テストに関する情報.....	45
9.1	サテライト・アセンブリ手順	45
9.2	機能テスト手順.....	45
9.2.1	Dep.SW と RBF ピン(FP)の機能確認.....	45
9.2.2	PIC の機能確認.....	46
9.2.3	UART を用いた衛星状態の確認	48
9.2.4	CW 機能確認.....	49
9.2.5	アップリンクコマンドの機能確認.....	49
9.2.6	プラットフォームに展開可能なアイテムがある場合の展開試験手順	50
9.3	振動試験手順	50
9.4	熱真空試験手順	51
9.5	エンドツーエンドミッションシミュレーション試験手順	51
9.6	バッテリー充電方法	51

1 適用範囲

本文書は BIRDS プラットフォームのインターフェースを規定するものである。

なお、インターフェース要求は関連文章(1)CubeSat 規格、(2)JEM ペイロードアコモデーションハンドブックをベースとしたものである。

2 関連文書

- (1) ISO 17770:2017, Space Systems – Cube satellites
- (2) JEM Payload Accommodation Handbook, Vol.8 Rev. D, May 2020
- (3) BIRDS Platform Vibration Test Report
- (4) BIRDS Platform Thermal Vacuum Test Report
- (5) BIRDS Platform Assembly Procedure
- (6) ISO/TC20/SC14/WG1 “Space Systems – CubeSat Interface”, Working Draft, November, 2020.
- (7) CubeSat bus interface with Complex Programmable Logic Device, Acta Astronautica, **160**(2019), 331–342.
- (8) BIRDS Platform Battery Charging Procedure
- (9) ISO 16290, Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment
- (10) ISO 19683:2017, Space Systems – Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units

3 機械的インターフェース

3.1 座標系

BIRDS プラットフォームの座標系は CubeSat 放出機構(J-SSOD-R, E-SSOD 等)に準拠し、以下の座標系を定義する。

- ・プラットフォームの座標系(X, Y, Z)
- ・原点はプラットフォームのノミナル寸法における幾何学中心

図 3.1 に BIRDS プラットフォームの座標系を示す。

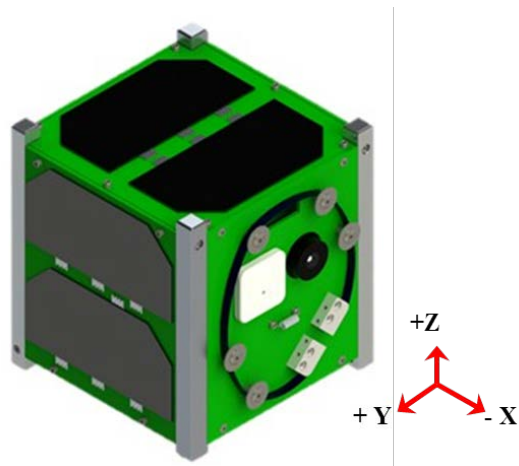


図 3.1 BIRDS プラットフォーム座標系

3.2 BIRDS プラットフォーム外形

BIRDS プラットフォームのサイズは表 3.2、及び図 3.2 に示す。構体の詳細な CAD 情報は STEP ファイルで提供する。プラットフォームのサイズは CubeSat 規格(1)(2)に準拠している。レールに関しては $\pm Z$ 端およびレール側面のエッジは 1 mm で丸めている。またレール表面は MIL-A-8625 Type3 に準拠し、10 μm 以上でハードアノダイズ処理がなされている。

表 3.2 衛星寸法

サイズ	プラットフォーム構体寸法 [mm]*	レール寸法 [mm]	公差 [mm]
1U	(X, Y, Z) : (100, 100, 113.5)	8.5mm 角	± 0.1

* レールを含むノミナル寸法

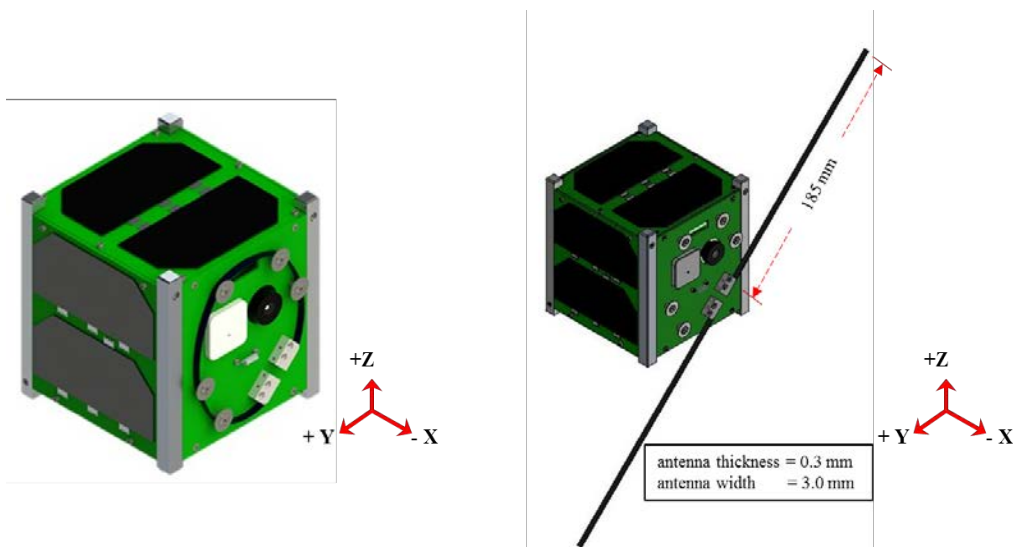


図 3.2 BIRDS プラットフォーム外形

BIRDS プラットフォームのペイロード部を除く質量は 0.95 kg である。また、重心位置はミッション部に 100g の基板類を追加した際、幾何学中心から(X, Y, Z)=(3.75 mm, -0.15 mm, -1.91 mm)の位置にある。

3.3 BIRDS プラットフォーム内部構造

図 3.3 に BIRDS プラットフォームの内部構造を示す。BIRDS プラットフォームはバックプレーン型のインターフェースを使用している。標準規格として、ペイロード用にバックプレーンボード(BPB)に 50 ピンメスコネクタ(A3C-50DA-2DSA)を 2 スロット設けている。ペイロードに使用できる許容厚さは最大 22.35 mm、基板サイズは 83 mm×86 mm である。

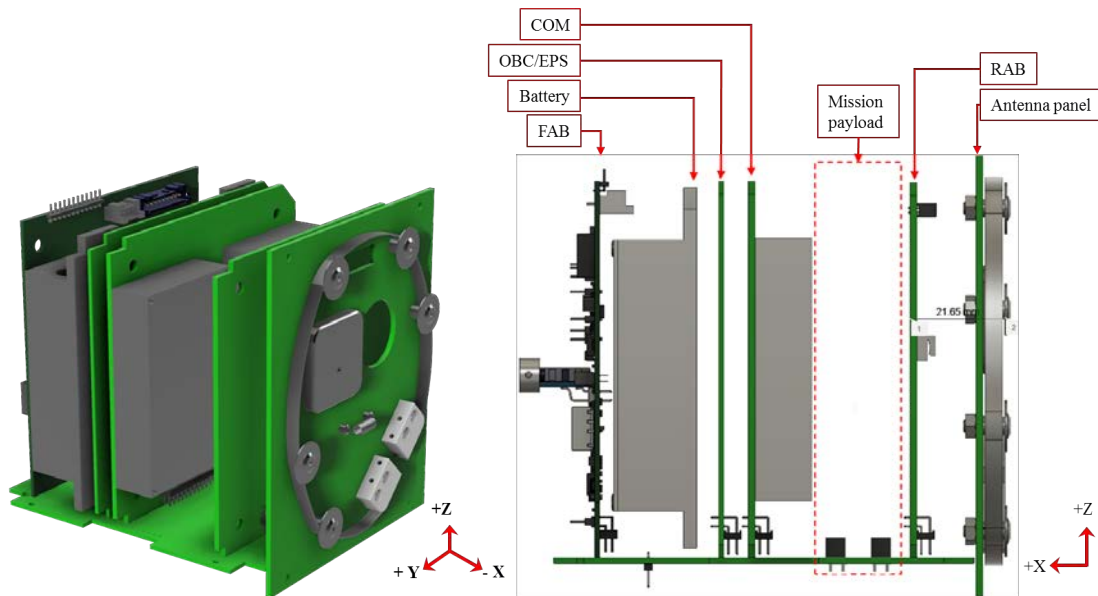


図 3.3 BIRDS プラットフォーム内部構造

3.4 ペイロード要求

図 3.4 に BIRDS プラットフォームにおけるペイロードのサイズ要求を示す。ペイロード基板のサイズは 90 mm×86 mm であり、バックプレーンボードとの接続のため、50 ピンのオス型コネクタ (NRPN252PARN-RC、LPC-50M2LG 等) を設けること。コネクタ位置に関しては図 3.4 を参照。また、BIRDS プラットフォームは 4 本のロングボルトにより各基板を固定する。そのため、基板の 4 隅にロングボルトを通すための $\Phi 3.8$ mm 穴を設けること。バックプレーンボードをカスタマイズし、50 ピンコネクタの数を減らし、コネクタ位

置を動かすことも可能。ペイロード基板が収納できる幅は最大 22.35 mm である。コネクタとロングボルト用の穴位置については図 3.4 を参照。

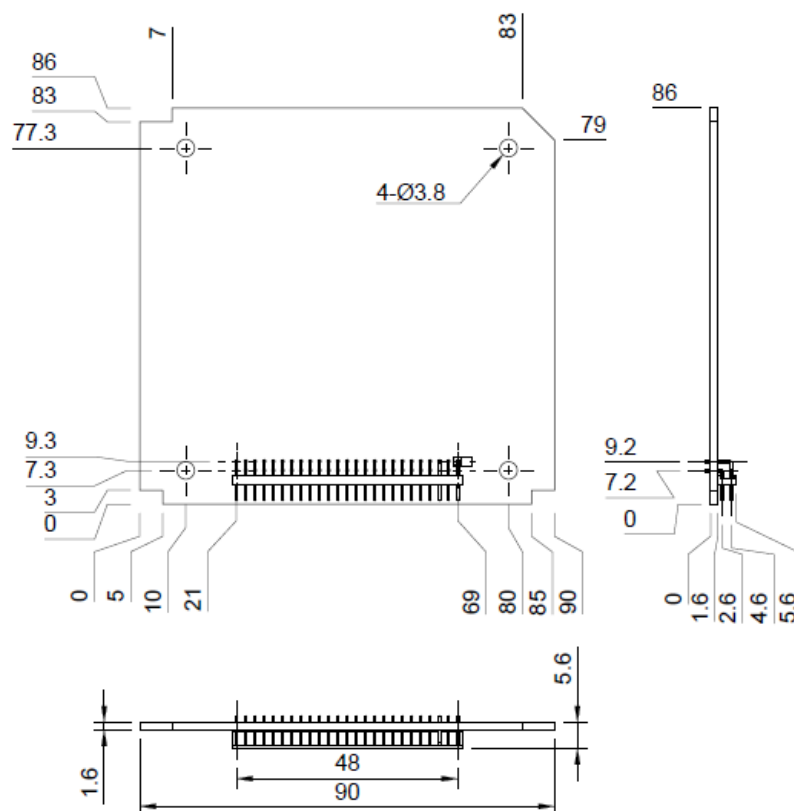


図 3.4 ペイロード基板サイズ要求

ペイロードは、RAB 横切ってアンテナパネルや衛星外部にアクセスできる。図 3.6 に BIRDS-3 の RAB とアンテナパネルを示す。ペイロードボードに取り付けられたカメラが外側を見ることができるよう、RAB 及びアンテナパネルの双方に通し穴が施されている。ユーザーが GPS アンテナを必要としない場合、RAB のルーティングを変更する必要があるが、図 3.6（左）の赤枠で示した GPS アンテナ部を取り除くことができる。カメラ+レンズの高さは、RAB とアンテナパネルの体積高さ、及び衛星外側に許可されている+6.5mm の空間を考慮し、28.15mm としている。ペイロードボードの位置を調整することにより、高さをさらに伸ばすことはできる。

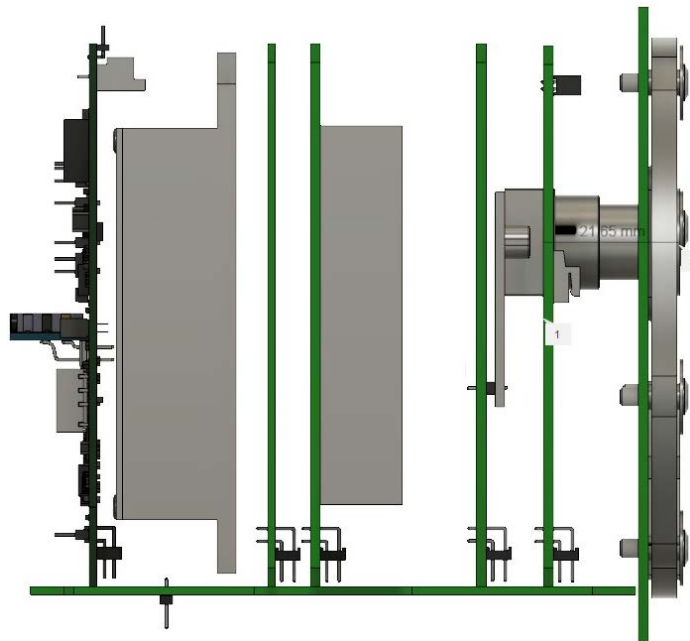


図 3.5 ペイロード基板サイズ要求(カメラ高さ)

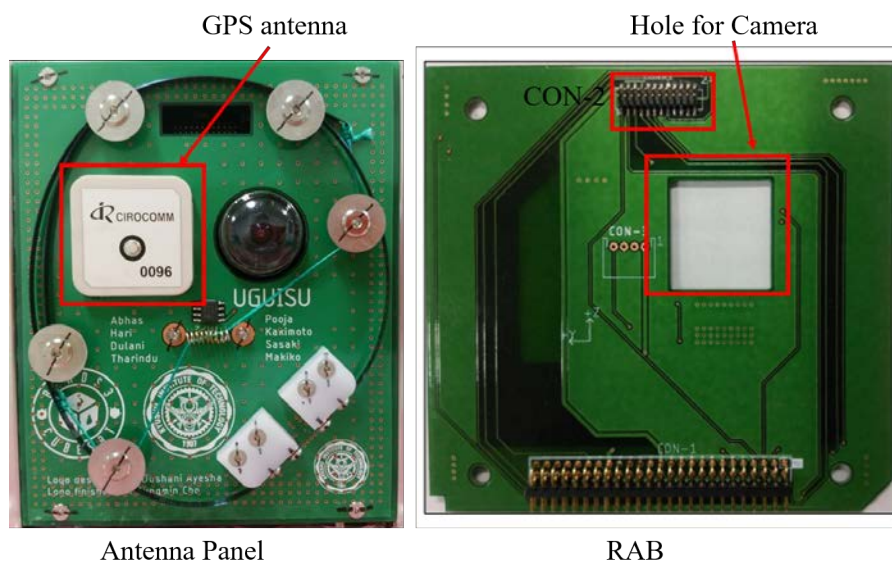


図 3.6 アンテナパネル RAB

4 電氣的インターフェース

4.1 アンビリカルコネクタ仕様

BIRDS プラットフォームは+X 面にアクセスポートを設けている（図 4.1-1 参照）。アクセスポートは 5 コネクタ、及び 2 本の RBF ピンがある。表 4.1-1 にアクセスコネクタのピン配置を示す。

J1 は 4x2 メスコネクタ（型番：SFMC-104-01-SD）で、フロントアクセスボード（FAB PIC）、及び OBC（Main PIC、Reset PIC、COM PIC）の PIC マイクロコントローラへのアクセスを提供する。PIC をプログラムするためには、PGC、PGD、3V3_FAB、GND、及び MCLR ピンを使用する。各 PIC には独自の MCLR ピンがあり、残りはすべての PIC で共通のピンである。

J2 は、Main PIC のシリアルラインへのアクセスを提供する 2x2 メスコネクタ（型番：SFMC-102-01-SD）である。J2 は、デバッグ時にデータを監視し、Main PIC に直接送信するために使用できる。

J3 は、ミッションペイロードへの外部アクセスを提供する 5x2 メスコネクタ（型番：SFMC-105-01-SD）である。ミッションペイロードへのアクセスは、6 本のハードワイヤード接続と CPLD を介した 4 本の設定可能な接続で構成されている（4.3 項を参照）。

J4 は 2x2 メスコネクタ（型番：SFMC-102-01-SD）で、バッテリー電圧、生電圧、太陽電池の電圧を測定する際に使用できる。

J5 は、バッテリーを外部から充電するために使用される 2x2 メスコネクタ（型番：SFMC-102-01-SD）である。バッテリーを外部から充電する際は、RBF2 ピンを取り外す必要がある。RBF1 と RBF2 は、衛星を移動するとき、又は電力を必要としない試験を実行する際、電力を確実にシャットダウンするメカニズムである。RBF1(EPS ブロック図における FP2)は負荷側に接続され、RBF2(EPS ブロック図における FP1)はバッテリー側に接続されている。

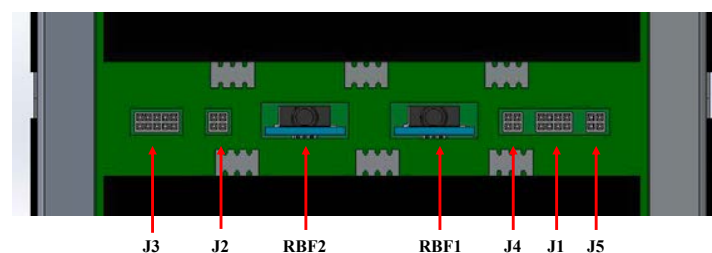


図 4.1-1 アクセスポート

表 4.1-1 アクセスコネクタのピン配置

	デジタルライン(固定)
	デジタルライン(CPLD で設定可能)
	電源ライン

J1 (Programming Main PIC, Reset PIC, COM PIC, FAB PIC)			
PIN	Signal Name	PIN	Signal Name
1	DEV1(PGC)	2	DEV2(PGD)
3	DEV3(MCLR FP)	4	DEV4(MCLR RP)
5	DEV5(MCLR CP)	6	DEV6(MCLR MP)
7	3V3 FAB	8	GND

J2 (Main PIC debug)			
PIN	Signal Name	PIN	Signal Name
1	FAB2OBC1	2	FAB2OBC2
3	GND	4	GND

J3 (Access to RAB)			
PIN	Signal Name	PIN	Signal Name
1	FAB2RAB1	2	FAB2RAB2
3	FAB2RAB3	4	FAB2RAB4
5	FAB2RAB5	6	FAB2RAB6
7	CPLD4	8	CPLD5
9	CPLD6	10	CPLD7

J4 (Monitor Battery)			
PIN	Signal Name	PIN	Signal Name
1	SRC V	2	BATT V
3	RAW V	4	GND

J5 (Charging line)			
PIN	Signal Name	PIN	Signal Name
1	EXT PWR	2	GND
2	EXT PWR	4	GND

アンテナパネルと RAB を介して-X 側からプログラミングやデバッグなど、ミッションペイロードにアクセスすることができる。



図 4.1-2 -X パネルのアクセスポート

アクセスポート CON-2 は、12 x 2 オスコネクタ（モデル番号：GRPBI22VWQS-RC）であり、ミッションボード内のプログラム、及びデバッグマイクロコントローラへのアクセスを行える。マイクロコントローラをプログラムするには、PGC、PGD、SUP_3V3_2、GND、及び MCLR ピンを使用する。USB ライン（Data +、Data-、及び Data_V_USB）は、USB を介して通信するマイクロコントローラへのアクセスとデバッグを提供する。UART ライン（CAM_RX、CAM_TX、及び CAM_DTR）もマイクロコントローラへのアクセスを提供する。このポートを使用して、デバッグ時にデータをモニタし、ペイロードマイクロコントローラに直接送信できる。

表 4.1-2 アクセスコネクタピン配置(-X パネル)

CON-2 (Programming Payload Microcontrollers)			
Pin Number	Signal Name	Pin Number	Signal Name
1	ADCS MCLR	2	SUP_3V3_2
3	ADCS_PGD	4	GND
5	ADCS_PGC	6	GND
7	DATA_V_USB	8	GND
9	DATA+	10	Unassigned
11	DATA-	12	Unassigned
13	CAM_RX	14	Unassigned
15	CAM_TX	16	CAM_DTR
17	Unassigned	18	Unassigned
19	Unassigned	20	Unassigned
21	Unassigned	22	Unassigned
23	Unassigned	24	Unassigned

4.2 コネクタ仕様

BIRDS プラットフォームには、各機器の接続に複数のコネクタが使用されている。図 4.2-1、図 4.2-2 は BPB、FAB、アンテナパネルのコネクタの位置、表 4.2-1 に使用しているコネクタの仕様を示す。コネクタ 1～16 は BPB に、コネクタ 17～19 は FAB に、コネクタ 20、21 はアンテナパネルにある。

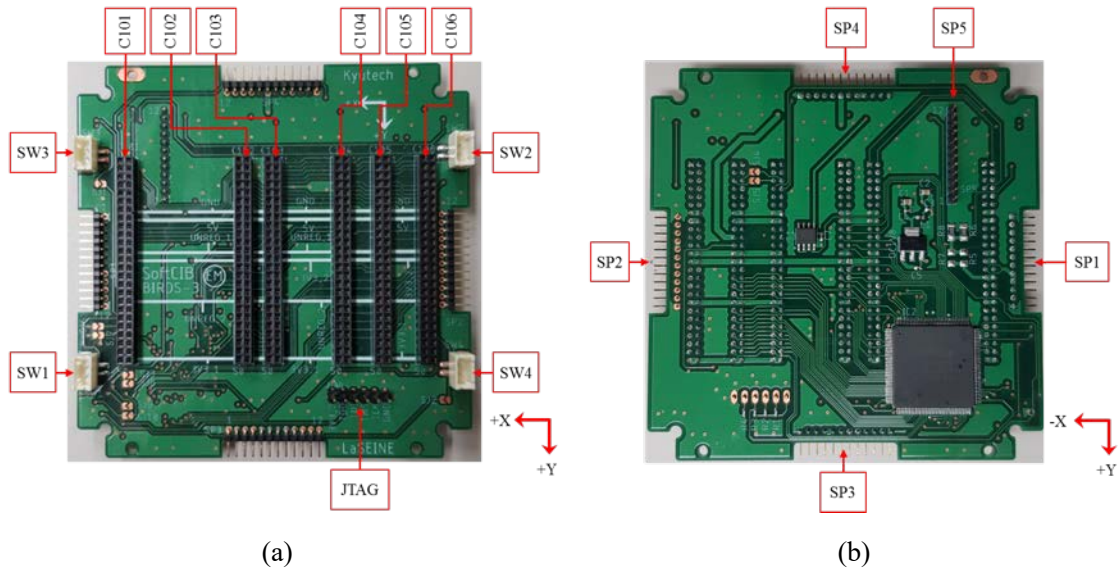


図 4.2-1 BPB のコネクタ位置 (a) 表面 (b) 裏面

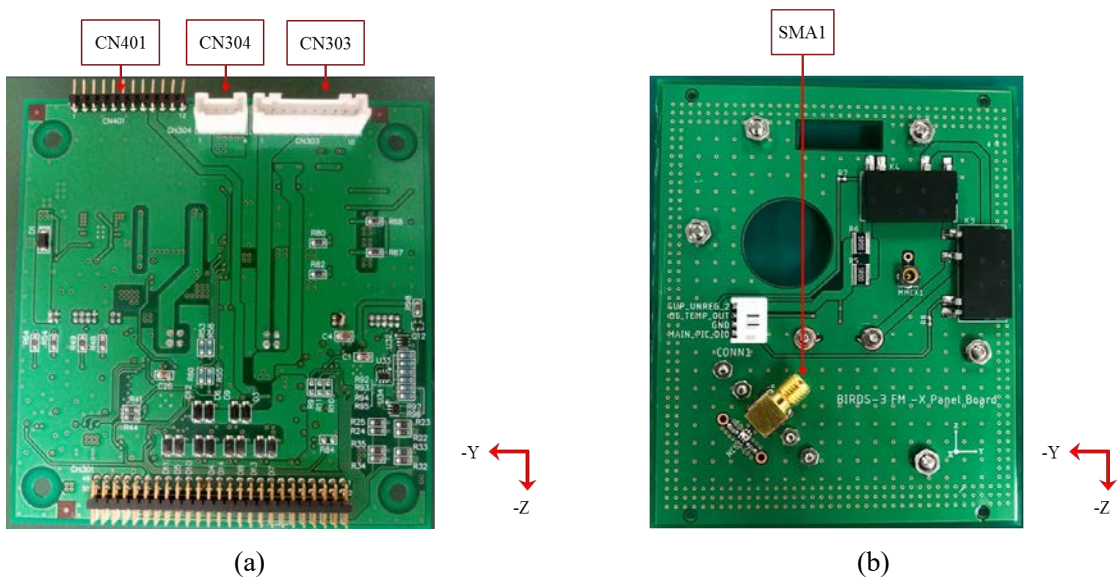


図 4.2-2 コネクタ位置(a) FAB、 (b)アンテナパネル

表 4.2-1 コネクタ仕様

No.	コネクタ名	ピン数	接続先	メーカー	型番	許容電流 [A]	許容電圧 [V]	仕様温度 [°C]
1	C101	50	FAB	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
2	C102	50	EPS/OBC	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
3	C103	50	COM	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
4	C104	50	Mission1	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
5	C105	50	Mission2	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
6	C106	50	RAB	Hirose	A3C-50DA-2DSA (71)	1	200	-55 to +85
7	SW1	2	Dep.SW	Molex	0554600272	1.5	125	-40 to +105
8	SW2	2	Dep.SW	Molex	0554600272	1.5	125	-40 to +105
9	SW3	2	Dep.SW	Molex	0554600272	1.5	125	-40 to +105
10	SW4	2	Dep.SW	Molex	0554600272	1.5	125	-40 to +105
11	SP1	12	+X Solar Panel	Hirosugi	PSR-210154-12	1	500	-40 to +105
12	SP2	12	Antenna Panel	Hirosugi	PSR-210154-12	1	500	-40 to +105
13	SP3	12	+Y Solar Panel	Hirosugi	PSR-210154-12	1	500	-40 to +105
14	SP4	12	-Y Solar Panel	Hirosugi	PSR-210154-12	1	500	-40 to +105
15	SP5	12	-Z Solar Panel	Hirosugi	PSS-210204-12	1	500	-40 to +105
16	JTAG	6	Programmer connector	Würth Elektronik	61300411121	3	250	-40 to +105
17	CN303	10	Battery power	JST	B10B-PASK-1 (LF) (SN)	3	250	-25 to +85
18	CN304	4	Battery heater and temp sensor	JST	B04B-PASK-1 (LF) (SN)	3	250	-25 to +85
19	CN401	12	+Z Solar Panel	Hirosugi	PSR-210154-12	1	500	-40 to +105
20	SMA1	1	UHF SMA	Cinch Connectivity Solutions Johnson	142-0711-301	1	335	-65 to +165
21	CON-2	1	RAB	Sullins Connector Solutions	GRPB122V WQS-RC	1	-	-40 to 105

4.3 コネクタピン割り当て

BIRDS プラットフォームに使用されているコネクタのピンの割り当てを表 4.3-1～表 4.3-8 に示す。

	デジタルライン(固定)
	デジタルライン (CPLD を介した)
	アナログライン
	電源ライン

表 4.3-1 C101、C102 コネクタピンの割り当て

C101 (FAB)					C102 (OBC/EPS)				
Signal Name	Pin Number		Signal Name		Signal Name	Pin Number		Signal Name	
Prog_GIO_1	1	2	Prog_GIO_2		Prog_GIO_1	1	2	Prog_GIO_2	
Prog_GIO_3	3	4	Prog_GIO_4		Prog_GIO_3	3	4	Prog_GIO_4	
Prog_GIO_5	5	6	Prog_GIO_6		Prog_GIO_5	5	6	Prog_GIO_6	
FAB to RAB_GIO_1	7	8	FAB to RAB_GIO_2		OBC-COM_1	7	8	OBC-COM_2	
FAB to RAB_GIO_3	9	10	FAB to RAB_GIO_4		FAB to RAB_GIO_3	9	10	FAB to RAB_GIO_4	
FAB to RAB_GIO_5	11	12	FAB to RAB_GIO_6		FAB to RAB_GIO_5	11	12	FAB to RAB_GIO_6	
GND-SYS	13	14	GND-SYS		GND-SYS	13	14	GND-SYS	
SUP_5V0	15	16	SUP_5V0		SUP_5V0	15	16	SUP_5V0	
FAB to OBC_GIO_1	17	18	FAB to OBC_GIO_2		FAB to OBC_GIO_1	17	18	FAB to OBC_GIO_2	
FAB to OBC_GIO_3	19	20	FAB to OBC_GIO_4		FAB to OBC_GIO_3	19	20	FAB to OBC_GIO_4	
POWERSC_-Y	21	22	TEMP_2_-Y		CPLD8	21	22	CPLD9	
SUP_UNREG_1	23	24	SUP_UNREG_1		SUP_UNREG_1	23	24	SUP_UNREG_1	
SUP_3V3_2	25	26	SUP_3V3_2		SUP_3V3_2	25	26	SUP_3V3_2	
POWERSC_+Y	27	28	TEMP_1_+Y		CPLD10	27	28	CPLD11	
RAW_POWER	29	30	RAW_POWER		RAW_POWER	29	30	RAW_POWER	
POWERSC_-Y	31	32	TEMP_5_-Y		CPLD12	31	32	CPLD13	
POWERSC_-Z	33	34	TEMP_3_-Z		CPLD14	33	34	CPLD15	
SUP_UNREG_2	35	36	SUP_UNREG_2		SUP_UNREG_2	35	36	SUP_UNREG_2	
POWERSC_-X	37	38	TEMP_4_-X		CPLD16	37	38	CPLD17	
Kill_SW	39	40	DEP_SW_1		Kill_SW	39	40	DEP_SW_1	
DEP_SW_2	41	42	CPLD1/ DEP_SW_3		DEP_SW_2	41	42	CPLD18	
CPLD2/ DEP_SW_4	43	44	CPLD3/ TEMP_6		OBC-COM_3	43	44	OBC-COM_4	
CPLD4	45	46	CPLD5		OBC-COM_5	45	46	OBC-COM_6	
CPLD6	47	48	GND_BAT		OBC-COM_7	47	48	OBC-COM_8	
SUP_3V3_1	49	50	SUP_3V3_1		SUP_3V3_1	49	50	SUP_3V3_1	

表 4.3-2 C103、C104 コネクタピン割り当て

C103 (COM)					C104 (MSN-1)				
Signal Name	Pin Number		Signal Name		Signal Name	Pin Number		Signal Name	
COM to RAB GIO 1	1	2	COM to RAB GIO 2		COM to RAB GIO 1	1	2	COM to RAB GIO 2	
COM to RAB GIO 3	3	4	COM to RAB GIO 4		COM to RAB GIO 3	3	4	COM to RAB GIO 4	
COM to RAB GIO 5	5	6	COM to RAB GIO 6		COM to RAB GIO 5	5	6	COM to RAB GIO 6	
OBC-COM 1	7	8	OBC-COM 2		FAB to RAB GIO 1	7	8	FAB to RAB GIO 2	
FAB to RAB GIO 3	9	10	FAB to RAB GIO 4		FAB to RAB GIO 3	9	10	FAB to RAB GIO 4	
FAB to RAB GIO 5	11	12	FAB to RAB GIO 6		FAB to RAB GIO 5	11	12	FAB to RAB GIO 6	
GND-SYS	13	14	GND-SYS		GND-SYS	13	14	GND-SYS	
SUP 5V0	15	16	SUP 5V0		SUP 5V0	15	16	SUP 5V0	
CPLD19	17	18	CPLD20		CPLD39	17	18	CPLD40	
CPLD21	19	20	CPLD22		CPLD41	19	20	CPLD42	
CPLD23	21	22	CPLD24		CPLD43	21	22	CPLD44	
SUP_UNREG 1	23	24	SUP_UNREG 1		SUP_UNREG 1	23	24	SUP_UNREG 1	
SUP 3V3 2	25	26	SUP 3V3 2		SUP 3V3 2	25	26	SUP 3V3 2	
CPLD25	27	28	CPLD26		CPLD45	27	28	CPLD46	
CPLD27	29	30	CPLD28		CPLD47	29	30	CPLD48	
CPLD29	31	32	CPLD30		CPLD49	31	32	CPLD50	
CPLD31	33	34	CPLD32		CPLD51	33	34	CPLD52	
SUP_UNREG 2	35	36	SUP_UNREG 2		SUP_UNREG 2	35	36	SUP_UNREG 2	
CPLD33	37	38	CPLD34		CPLD53	37	38	CPLD54	
CPLD35	39	40	CPLD36		CPLD55	39	40	CPLD56	
CPLD37	41	42	CPLD38		CPLD57	41	42	CPLD58	
OBC-COM 3	43	44	OBC-COM 4		CPLD59	43	44	CPLD60	
OBC-COM 5	45	46	OBC-COM 6		CPLD61	45	46	CPLD62	
OBC-COM 7	47	48	OBC-COM 8		CPLD63	47	48	CPLD64	
SUP 3V3 1	49	50	SUP 3V3 1		SUP 3V3 1	49	50	SUP 3V3 1	

表 4.3-3 C105、C106 コネクタピン割り当て

C105 (MSN-2)					C106 (RAB)				
Signal Name	Pin Number		Signal Name		Signal Name	Pin Number		Signal Name	
COM to RAB GIO 1	1	2	COM to RAB GIO 2		COM to RAB GIO 1	1	2	COM to RAB GIO 2	
COM to RAB GIO 3	3	4	COM to RAB GIO 4		COM to RAB GIO 3	3	4	COM to RAB GIO 4	
COM to RAB GIO 5	5	6	COM to RAB GIO 6		COM to RAB GIO 5	5	6	COM to RAB GIO 6	
FAB to RAB GIO 1	7	8	FAB to RAB GIO 2		FAB to RAB GIO 1	7	8	FAB to RAB GIO 2	
FAB to RAB GIO 3	9	10	FAB to RAB GIO 4		FAB to RAB GIO 3	9	10	FAB to RAB GIO 4	
FAB to RAB GIO 5	11	12	FAB to RAB GIO 6		FAB to RAB GIO 5	11	12	FAB to RAB GIO 6	
GND-SYS	13	14	GND-SYS		GND-SYS	13	14	GND-SYS	
SUP 5V0	15	16	SUP 5V0		SUP 5V0	15	16	SUP 5V0	
CPLD39	17	18	CPLD40		CPLD65	17	18	CPLD66	
CPLD41	19	20	CPLD42		CPLD67	19	20	CPLD68	
CPLD43	21	22	CPLD44		CPLD69	21	22	CPLD70	
SUP_UNREG 1	23	24	SUP_UNREG 1		SUP_UNREG 1	23	24	SUP_UNREG 1	
SUP 3V3 2	25	26	SUP 3V3 2		SUP 3V3 2	25	26	SUP 3V3 2	
CPLD45	27	28	CPLD46		CPLD71	27	28	CPLD72	
CPLD47	29	30	CPLD48		CPLD73	29	30	CPLD74	
CPLD49	31	32	CPLD50		CPLD75	31	32	CPLD76	
CPLD51	33	34	CPLD52		CPLD77	33	34	CPLD78	
SUP_UNREG 2	35	36	SUP_UNREG 2		SUP_UNREG 2	35	36	SUP_UNREG 2	
CPLD53	37	38	CPLD54		CPLD79	37	38	CPLD80	
CPLD55	39	40	CPLD56		CPLD81	39	40	CPLD82	
CPLD57	41	42	CPLD58		CPLD83	41	42	CPLD84	
CPLD59	43	44	CPLD60		CPLD85	43	44	CPLD86	
CPLD61	45	46	CPLD62		CPLD87	45	46	CPLD88	
CPLD63	47	48	CPLD64		CPLD89	47	48	CPLD90	
SUP 3V3 1	49	50	SUP 3V3 1		SUP 3V3 1	49	50	SUP 3V3 1	

表 4.3-4 SW1, SW2, SW3, SW4 コネクタピン割り当て

Pin Number	SW1	SW2	SW3	SW4
1	Dep_SW_1	Dep_SW_2	Dep_SW_3	Dep_SW_4
2	GND_SYS	GND_BAT	GND_SYS	GND_SYS

表 4.3-5 SP1, SP2, SP3, SP4, SP5 コネクタピン割り当て

SP1		SP2	
Pin Number	Signal Name	Pin Number	Signal Name
1	GND_SYS	1	GND_SYS
2	SUP_3V3_1	2	SUP_3V3_1
3	Unassigned	3	SUP_UNREG_2
4	SP_BUS_1	4	Unassigned
5	SP_BUS_2	5	Unassigned
6	Unassigned	6	Unassigned
7	Unassigned	7	Unassigned
8	POWERSC_+X	8	POWERSC_-X
9	POWERSC_+X	9	POWERSC_-X
10	TEMP_1+X	10	TEMP_5-X
11	Unassigned	11	Unassigned
12	GND_SYS	12	GND_SYS

SP3		SP4		SP5	
Pin Number	Signal Name	Pin Number	Signal Name	Pin Number	Signal Name
1	GND_SYS	1	GND_SYS	1	GND_SYS
2	SUP_3V3_1	2	SUP_3V3_1	2	SUP_3V3_1
3	Unassigned	3	Unassigned	3	Unassigned
4	SP_BUS_1	4	SP_BUS_1	4	SP_BUS_1
5	SP_BUS_2	5	SP_BUS_2	5	SP_BUS_2
6	Unassigned	6	Unassigned	6	Unassigned
7	Unassigned	7	Unassigned	7	Unassigned
8	POWERSC_+Y	8	POWERSC_-Y	8	POWERSC_-Z
9	POWERSC_+Y	9	POWERSC_-Y	9	POWERSC_-Z
10	TEMP_4+Y	10	TEMP_2-Y	10	TEMP_3-Z
11	Unassigned	11	Unassigned	11	Unassigned
12	GND_SYS	12	GND_SYS	12	GND_SYS

表 4.3-6 JTAG コネクタピン割り当て

JTAG	
Pin Number	Signal Name
1	SUP_3V3_2
2	TDO
3	TDI
4	TMS
5	TCK
6	GND_SYS

表 4.3-7 CN303、CN304 コネクタピン割り当て

CN303 (Battery Power)		CN303 (Battery heater and sensor)	
Pin Number	Signal Name	Pin Number	Signal Name
1	GND_BAT	1	PWR_BAT
2	GND_BAT	2	BAT_HEATER
3	GND_BAT	3	BAT_TEMP
4	GND_BAT	4	GND_SYS
5	Unassigned		
6	Unassigned		
7	PWR_BAT		
8	PWR_BAT		
9	PWR_BAT		
10	PWR_BAT		

表 4.3-8 CN401 コネクタピン割り当て

CN401	
Pin Number	Signal Name
1	GND_SYS
2	SUP_3V3_1
3	Unassigned
4	Unassigned
5	Unassigned
6	Unassigned
7	Unassigned
8	POWERSC_+Z
9	POWERSC_+Z
10	TEMP_7+Z
11	TEMP_8+Z
12	GND_SYS

BPB はコンポーネント間の信号接続に柔軟性を持たせるために CPLD (ispMACH4000ZE) を載せている。CPLD は、ルーティングの変更が必要な時、ミッションボードのピン配置

を柔軟に変更できるため、BPB を再設計する必要はない。CPLD の詳細は文献 (7) を参照。CPLD を搭載した BPB は、2019 年から ISS 軌道で 1 年以上運用されている BIRDS-3 衛星に搭載されている。CPLD はデジタルデータのみを処理できる。

4.4 ミッションペイロードからプラットフォームへのデータ転送速度

BIRDS プラットフォームとミッションペイロード間のデータ転送に関して、図 4.4 に示す。ミッションペイロードに対しては Main PIC からデジタルの I/O ライン及び UART 通信が可能である。UART のデータ転送速度は 9,600 bps である。また、フラッシュメモリに対するデータ転送は SPI 通信が使用される。SPI 通信のデータ転送速度は 1 Mbps となっている。

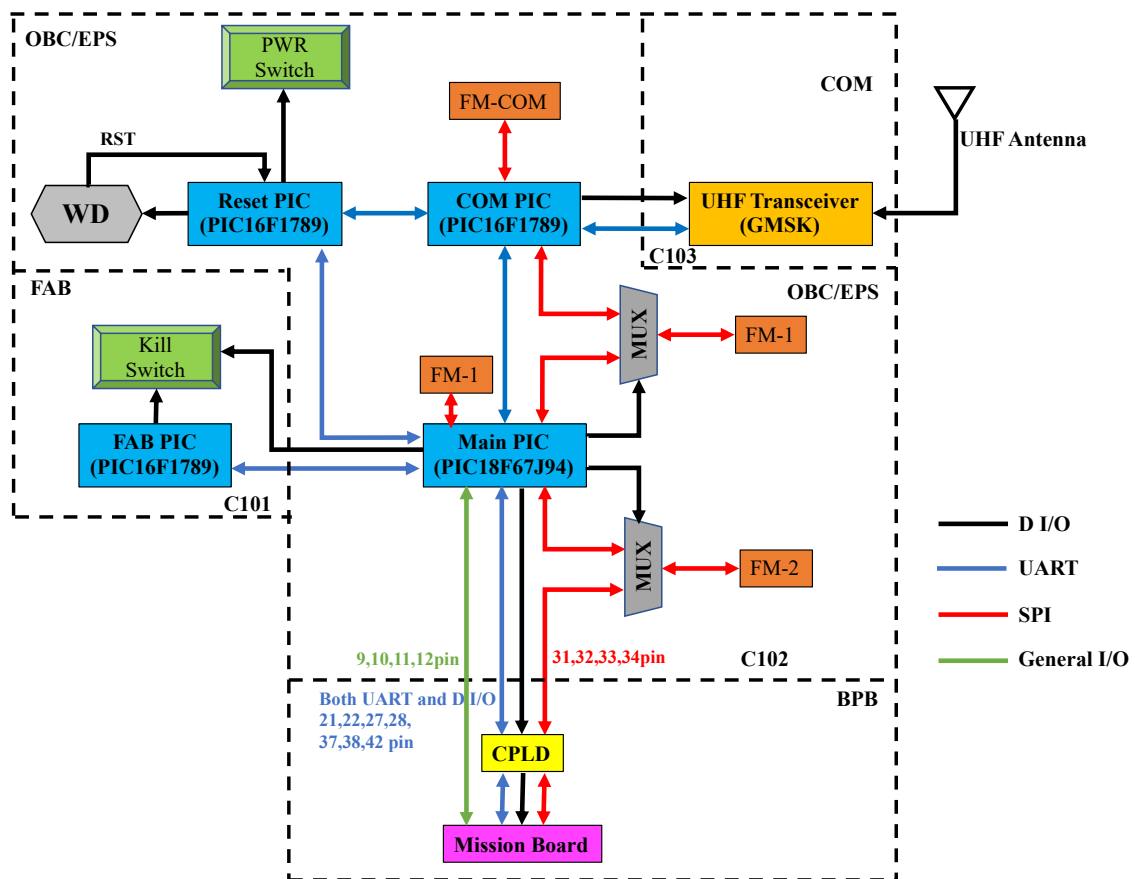


図 4.4 プラットフォーム・ペイロード間のデータ転送

5 Software 情報

5.1 ソフトウェア開発環境

BIRDS プラットフォームのソフトウェア開発環境は、CCS C コンパイラ (Ver.5.076) ([Http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers](http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers)) を使用した C プログラミング言語をベースとしている。Microchip 社の PICKit プログラマは、プログラムを作成し、PIC にロードする必要がある。OBC と FAB 上の各 PIC には、プログラミング用の独自のコネクタが配置されている。コネクタピンのピッチは 1.27mm。衛星を組み立てた後、PIC は+X 側のアクセスポートコネクタにより、外部からアクセスできる。J1 コネクタを介して各 PIC のプログラムが可能 (セクション 4.1 を参照)。J2 コネクタは Main PIC との RS232 インターフェース用であり、ユーザーはそれを使用してモニタリングやデバッグを行える。図 5.1-1 に PICKit-3 プログラマとそのピン配置、表 5.1-1 に PICKit から J1 への接続を示す。

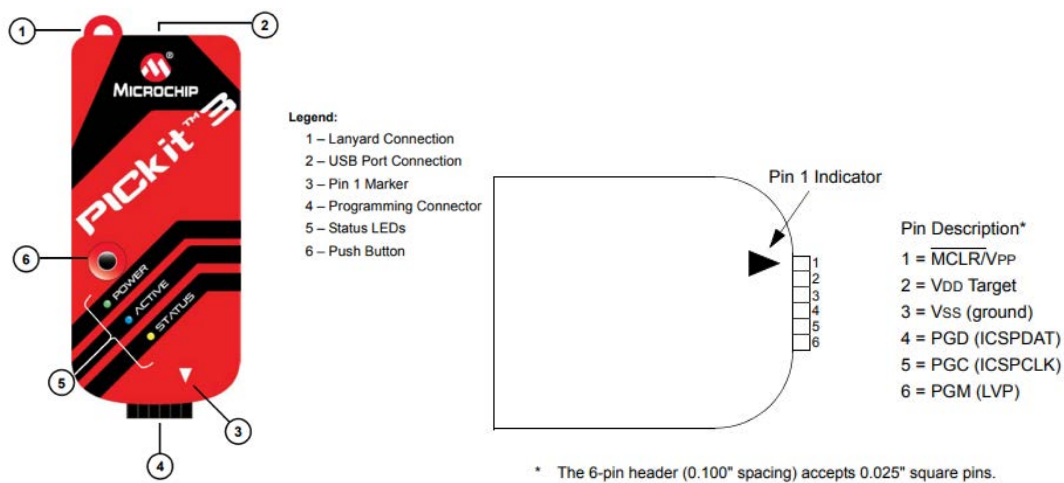


図 5.1-1 Microchip PICKit 3 プログラマ

(<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51795B.pdf>)

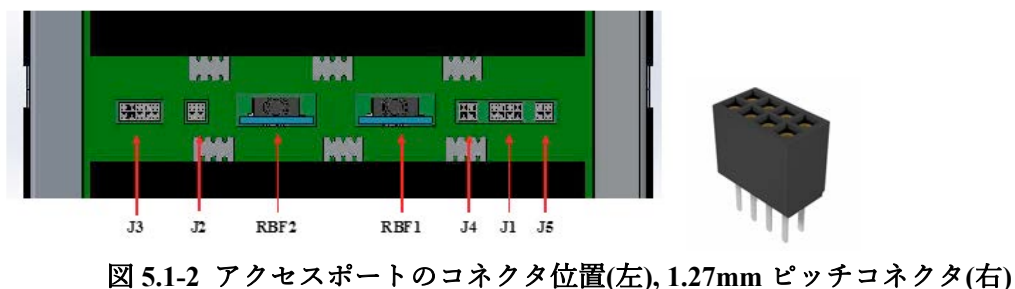


図 5.1-2 アクセスポートのコネクタ位置(左), 1.27mm ピッチコネクタ(右)

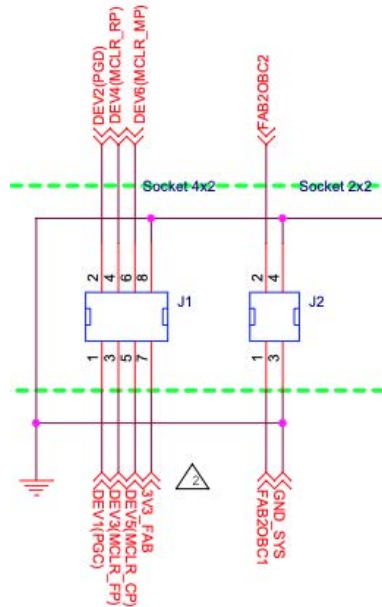


図 5.1-3 J1、J2 コネクタのピン配置

表 5.1-1 のように、各 PIC をプログラミングするには、PICkit を J1 コネクタに接続する必要があります。PICkit のピン 1 は、プログラムする必要がある PIC プロセッサ(J1 コネクタのピン 3 から 6 のいずれか)に接続する。

表 5.1-1 PICkit と J1 間の接続

PICkit Pin No.	J1 Pin No.	Pin description
1	3	MCLR for FAB PIC
	4	MCLR for Reset PIC
	5	MCLR for COM PIC
	6	MCLR for Main PIC
2	7	3.3V power of satellite
3	8	Power ground
4	2	PGD, Data line of programming
5	1	PGC, Clock line of programming

ユーザーの PC は、J2 に接続し、表 5.1-2 のように RS232 インターフェースを使用することで、モニタリングもしくはデバッグを行える。

表 5.1-2 J2 の RS232 インターフェースに対するピン配置

RS232 Pin No.	J2 Pin No.	Pin description
2	1	RxD, From Satellite to PC
3	2	TxD, Form PC to Satellite
5	3	Power ground

CPLD は、OBC とミッションペイロードを接続するデジタルフォロワーとして機能する。VHDL は、OBC ミッションペイロードピンマップに基づく、入出力ルートの実装に使用される。Lattice Semiconductor 社の isp Lever Classic IDE を使用して JEDEC ファイルを生成し、Lattice Semiconductor 社の Diamond Programmer を使用して CPLD にロードする。CPLD は、BPB にある JTAG コネクタを介してプログラムされる。図 5.1-4 に、CPLD のプログラミングケーブルを示す。

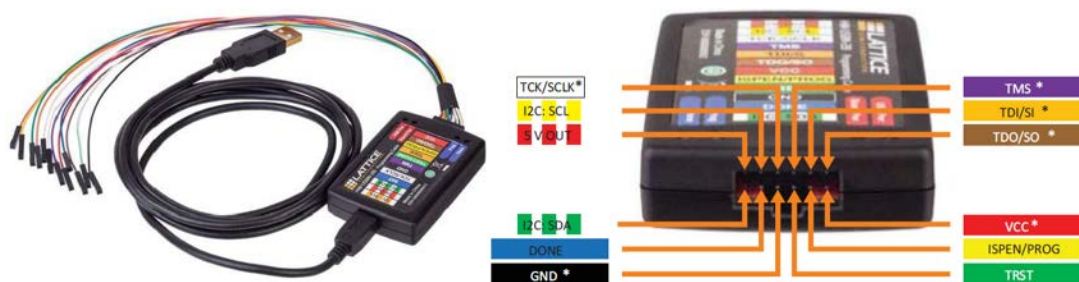


図 5.1-4 CPLD プログラミングケーブル

(<https://www.latticesemi.com/en/Products/DevelopmentBoardsAndKits/ProgrammingCablesforPCs>)

5.2 ソース コードの可用性、ソース コード プログラミング言語の詳細

4つの PIC プロセッサのサンプルコードは、ソフトウェア開発のリファレンスとして利用できます。最初のサンプルコードは、太陽電池電力監視の FABPIC 用です。2 番目のサンプルコードは、衛星電源管理の PIC のリセット用です。3 番目のサンプルコードは、衛星と地上局の間の衛星通信機能の COMPIC 用です。4 番目のサンプルコードは、衛星データ管理の Main PIC 用です。サンプルコードは、BIRDS-3 プロジェクトの遺産に基づき C 言語で記述しています。CCS コンパイラのソフトウェアライブラリは、プロセッサ間のシリアルインターフェイスを含めて積極的に使用されています。

5.3 地上局の操作ソースコードの可用性。ソースコードプログラミング言語の詳細

地上局は、アンテナからパソコン操作まで、アマチュア無線機器で構成されている。オペレーション用ソフトウェアは、C言語を仕様して国立大学法人九州工業大学革新的宇宙利用実証ラボラトリーにより開発されており、そのコードはサンプルコードとして使用できる。衛星追跡及びアンテナ制御には、アマチュア無線ソフトウェアの SatPC32 を使用している。SatPC32 は、アマチュア無線コミュニティのメンバーである Erich Eichmann (DK1TB) によって作成、及びサポートされている。彼は、アマチュア衛星をサポートするために、ソフトウェアからのすべての収益を AMSAT に寄付した。ユーザーは、AMSAT の Web ページ <https://www.amsat.org/product/satpc32-by-electronic-download/> から SatPC32 ソフトウェアを 50 米ドルの料金をダウンロードできる。AMSAT の Web ページには、SatPC32 に関する基本的な情報もある。

6 オペレーション関連情報

6.1 ペイロードに最大、公称、最小の電力

BIRDS プラットフォームはバスシステムからペイロードにノミナルで 1,500mW、最大 1,880 mW、最小 1,350mW の電力を供給できる。

6.2 プラットフォームの電力消費量

BIRDS プラットフォームを使用している BIRDS-3 衛星の軌道上での結果に基づくと、生成される電力は ISS 軌道で最大で約 1.23 Wh、最小で 0.88 Wh。1 周でのノミナル消費電力は 0.424 Wh である。

6.3 ペイロードへの公称供給電圧、最大供給電流、過電流保護しきい値

BIRDS プラットフォームの電力ラインは Unreg1、Unreg2、5V0、3V3#1、3V3#2 の 5 つの電力線がある。Unreg1、2 はバッテリーからの生電圧になっており 4.2 V の電圧、5V0 のラインは DCDC で昇圧し 5 V の電圧を、3V3#1、3V3#2 のラインは DCDC で降圧し 3.3 V の電圧を供給する。5 V 及び 3.3 V ラインの DCDC の定格電流は 2.0 A である。各電力ライン

は過電流保護装置を備えており、過電流保護の閾値は、Unreg1 は 4.0A、Unreg2 は 3.0A、5V0、3V3#1、3V3#2 は 2.0A に設定されている。図 6.3 に EPS のブロック図を示す。

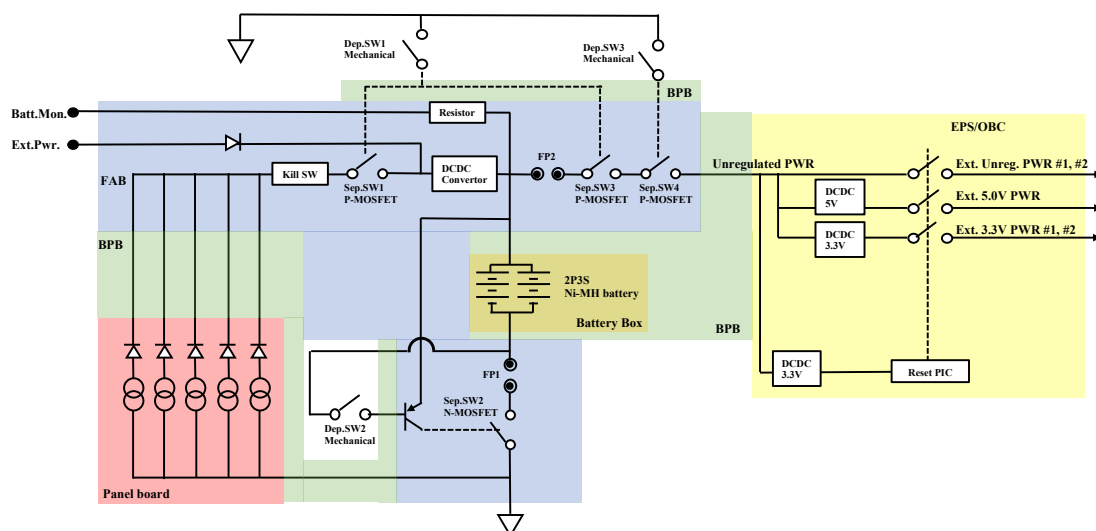


図 6.3 EPS ブロック図

Unreg1 は、BPB の 50 ピンコネクタの#23 ピン及び#24 ピンに該当し、UHF Tx/Rx 用に用いられている。従って、これら 2 つのピンから電力を取得することは推奨しない。Unreg2 は、BPB の 50 ピンコネクタの#35 ピン、及び#36 ピンに該当し、アンテナ展開のヒートカッター回路に使用している。ペイロードに大量の電力が必要な場合、このラインを使用することを推奨するが、このラインはバッテリーに直接接続されているため、ペイロード側には過電流保護などの適切な保護が必要である。5V0 (50 ピンコネクタの#15 ピン、及び#16 ピン) は、5V を必要とするすべてのペイロードに使用できる。3V3#1 (50 ピンコネクタの#49 及び#50) は、ノミナルの消費電力が 66 mW の FAB PIC に電力を供給するために使用される。3V3#2 (50 ピンコネクタの#25 及び#26) はペイロードに使用される。ペイロードボードが 3.3V を使用する場合は、3V3#2 を使用することを推奨する。

6.4 バッテリ

BIRDS プラットフォームに使用されているバッテリーは、NiMH (NiOOH/Metal Alloy/KOH)セルを 3 直列 2 並列で組み合わせたものである。バッテリーセルの特性に関して表 6.4-1 に、バッテリーの使用に関しては表 6.4-2 に示す。バッテリーの充電方法に関しては文献(8)を参照。

表 6.4-1 バッテリーセルの仕様

電極	NiMH (NiOOH/Metal Alloy/KOH)
サイズ [mm]	直径 14.35 × 長さ 50.4
OCV [V]	1.2
最大電圧 [V]	1.6
最小電圧 [V]	0.9
定格容量 [mAh]	2,000
最大放電電流 [mA]	6,000
放電温度 [°C]	0 to +50
充電温度 [°C]	0 to +40
保管温度 [°C]	-20 to +40

表 6.4-2 バッテリーの仕様

使用バッテリーセル数	6
セル組み合わせ	3S2P
使用環境温度 [°C]	0 to +40
OCV [V]	3.6
最大電圧 [V]	4.8
最小電圧 [V]	2.7
定格容量 [mAh]	4,000

6.5 ミッション データに割り当てられた データストレージ容量

Main PIC は、衛星ミッションシステムと SPI インターフェースで 1 つの NOR タイプフラッシュメモリ (MT25QL01GBBB8ESF-0SIT) を共有しており、容量は 1 Gbit (= 128,000 [Kbytes]) である。フラッシュメモリはミッションデータに割り当てられている。表 6.5

に、BIRDS プラットフォームを使用した BIRDS3 プロジェクトのミッションデータのストレージ容量を割り当てのサンプルを示す。

表 6.5 ミッションデータの割り当てサンプル、1sector=64kBytes

CAM	90 sectors	5,760 kBytes
LDM	1 sector	64 kBytes
ADCS	500 sectors	32,000 kBytes
High Sampling	409 sectors	26,176 kBytes
Normal Sampling	1000 sectors	64,000 kBytes
Total	2000 sectors	128,000 kBytes

6.6 ADCS の検出と ポインティングの精度と制御モード

BIRDS プラットフォームには、ADCS（姿勢決定および制御システム）の機能はない。オプションで、受動的な姿勢安定化制御のために、構造に永久磁石とヒステリシスダンパーを取り付けることができる。また、アクティブな姿勢制御機能が必要な場合は、ユーザーがミッションシステムとして取り付けることも可能である。

磁力計、ジャイロセンサーなどの姿勢制御センサは、RAB 又はミッションボードに取り付けることができる。これは、ユーザーの ADCS 設計によって異なる。

6.7 ADCS の安定性

N/A

6.8 ソフトウェアの軌道上再構成可能性

軌道上におけるソフトウェアの再構成は行えません。

6.9 衛星の位置及び時間情報

BIRDS プラットフォームでは、衛星は軌道計算の結果を GS と通信で得ることにより、自身の位置を推定できる。オプションで GPS を搭載している場合、衛星は GPS で自分の位置を知ることができる。衛星の時間は衛星が軌道に放出された後、Reset PIC によってカ

ウントされている。時間と位置の情報は、OBC を介してミッションペイロードに渡すことができる。時間情報は、衛星のリセット（定期的または非定期的なリセット）ではリセットされない。Reset PIC で問題が発生し、Reset PIC が再起動される場合、Reset PIC が有する時刻情報はリセットされる。

6.10 ハウスキーピングデータ

サンプル OBC プログラムによって提供されるノミナルオペレーションモードでは、表 6.10 のデータが 90 秒ごとに収集される。ハイサンプリングモードでは、データは 5 秒ごとに収集される。表 6.10 にハウスキーピングの内容とデータサイズを示し、図 6.10 にハウスキーピングのデータ形式を示す。

表 6.10 ハウスキーピングデータの内容及びデータサイズ

Field	Byte Number	Data size [byte]	Field	Byte Number	Data size [byte]
Header (0x33)	0	2	SRC Voltage	40	1
seconds	2	1	RAW Voltage	41	1
minutes	3	1	SRC Current HIGH,LOW	42	2
hours	4	1	Battery Voltage	44	1
days	5	2	Battery Current HIGH,LOW	45	2
(0xAA)	7	3	Battery Temperature	47	1
+X Temperature HIGH,LOW	10	2	Heater Status Flag	48	1
-Y Temperature HIGH,LOW	12	2	Kill switch Status Flag	49	1
-Z Temperature HIGH,LOW	14	2	(0xBB)	50	3
+Y Temperature HIGH,LOW	16	2	*Magnetometer data X axis	53	2
-X Temperature HIGH,LOW	18	2	*Magnetometer data Y axis	55	2
Backplane Temp HIGH,LOW	20	2	*Magnetometer data Z axis	57	2
+Z Temperature HIGH,LOW	22	2	*Gyroscope data X axis	59	2
+X Voltage HIGH,LOW	24	2	*Gyroscope data Y axis	61	2
-Y Voltage HIGH,LOW	26	2	*Gyroscope data Z axis	63	2
-Z Voltage HIGH,LOW	28	2	*GPS data	65	48
+Y Voltage HIGH,LOW	30	2	(0xCC)	113	3
+Z Voltage HIGH,LOW	32	2	Voltage RAW	116	1
+X Current	34	1	Current 3V3#1 line	117	1
-Y Current	35	1	Current 3V3#2 line	118	1
-Z Current	36	1	Current UNREG#1 line	119	1
+Y Current	37	1	Current UNREG#2 line	120	1
+Z Current	38	1	Reset Time	121	1
Raw Current	39	1	Footer (0x44)	122	2

注: (*)でマークされたデータはオプションとして姿勢制御を取り付けなければ、サンプル
ル OBC プログラムによって読むことはできない。

Header (0x33)		sec	min	hour	day		0xAA			+X Temp HIGH,LOW		-Y Temp HIGH,LOW		-Z Temp HIGH,LOW		+Y Temp HIGH,		-X Temp HIGH,LOW		BPB TEMP HIGH,LOW	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

+Z Temp HIGH,LOW		+X Voltage HIGH,LOW		-Y Voltage HIGH,LOW		-Z Voltage HIGH,LOW		+Y Voltage HIGH,LOW		+Z Voltage HIGH,LOW		+X Current	-Y Current	-Z Current	+Y Current	+Z Current	Raw Current	SRC Voltage	RAW Voltage	SRC Current HIGH,LOW	
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

Battery Voltage	Battery Current H&L		Battery Temp	Heater FLAG	Kill Status	0xBB			Magnetometer X		Magnetometer Y		Magnetometer Z		GYRO X		GYRO Y		GYRO Z	
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

GPS																							
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87		
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte		

GPS																							
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111		
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte		

0xCC			Voltage RAW	Current 3V3#1	Current 3V3#2	Current UNREG#1	Current UNREG#2	Reset Time	Footer (0x44)	
114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

図 6.10 ハウスキーピングデータのデータ形式

6.11 周波数、帯域幅、変調、速度、データ形式を含むアップリンク、ダウンリンク、CW 仕様

BIRDS プラットフォームの地上局とのアップリンク、ダウンリンク、CW の仕様に関して、表 6.11-1～表 6.11-3 に示す。

表 6.11-1 アップリンク特性

送信出力 [W]	50 W
周波数 [MHz]	435.***
バンド幅 [kHz]	26
変調方式	GMSK
データ速度 [bps]	4,800
パケットフォーマット	AX.25

表 6.11-2 ダウンリンク特性

送信出力 [W]	0.8 W
周波数 [MHz]	437.375
バンド幅 [kHz]	26
変調方式	GMSK
データ速度 [bps]	4800
パケットフォーマット	AX.25

表 6.11-3 CW 特性

送信出力 [W]	0.1
周波数 [MHz]	437.375
バンド幅 [Hz]	500
変調方式	CW morse code
データ速度 [wpm]	20

サンプルソフトウェアを CW 送信に使用する場合、CW ビーコンの仕様は次のとおりである。BIRDS プラットフォームは、CW Type-1 (CW-1) と CW Type-2 (CW-2) の 2 つの CW ビーコンを送信する。CW は 2 分ごとに送信され、CW-1 と CW-2 を切り替える。どちらも同じビーコン形式（衛星コールサイン、衛星プロジェクト名、CW ショートメッセージングサービス (CW-SMS)、ハウスキーピング情報）を持っている。CW-1 のハウスキーピング情報は、バッテリーの状態、動作モード、キルスイッチのステータス、ソーラーパネル、およびリセットに関するものである。CW-2 ハウスキーピング情報は、ジャイロデータ、自動ミッション (ATDM) ステータス、予約コマンド情報、アップリンク成功ステータス、及び BPB の温度情報である。CW-SMS は、地上局が英数字メッセージを衛星に送信し、衛星がビーコンでメッセージを送信するアウトリーチサービスとして使用できる。図 6.11 にビーコン形式を示し、表 6.11-4 に CW-1 及び CW-2 ビーコンのビット単位の情報を示す。

Satellite Call Sign					
J	G	6	Y	L	E

Project Name					
B	I	R	D	S	3

CW Short Messaging Service (CW-SMS)					
X	X	X	X	X	X

CW Housekeeping Format (HK)									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

図 6.11 CW ビーコンのフォーマット

表 6.11-4 CW-1、CW-2 ハウスキーピングデータのフォーマット

HK	CW-1		CW-2	
Cell	Data	Bit	Data	Bit
(1)-(2)	Battery Voltage [mV]	8bit	Gyro X [deg/s]	8bit
(3)-(4)	Battery Current [mA]	8bit	Gyro Y [deg/s]	8bit
(5)-(6)	Battery Temp [°C]	8bit	Gyro Z [deg/s]	8bit
(7)	CW Format Identifier	1bit	CW Format Identifier	1bit
	Operation Mode	2bit	ATDM 1	1bit
			ATDM 2	1bit
	Kill Switch Main	1bit	ATDM 3	1bit
(8)	Kill Switch FAB	1bit	ATDM 4	1bit
	Antenna Deploy Status	1bit	Battery Heater	1bit
	Solar Cell +X	1bit	Reserve Command	1bit
	Solar Cell -Y	1bit	Uplink Success	1bit
(9)	Solar Cell -Z	1bit	BPB Temperature	8bit
	Solar Cell +Y	1bit		
	Solar Cell +Z	1bit		
(9)-(10)	Time after Reset in HRS	5bit		

6.12 アンテナパターンと最大ゲインを含むアンテナ仕様

BIRDS プラットフォーム使用されるダイポールアンテナのアンテナパターンを図 6.12 に示す。

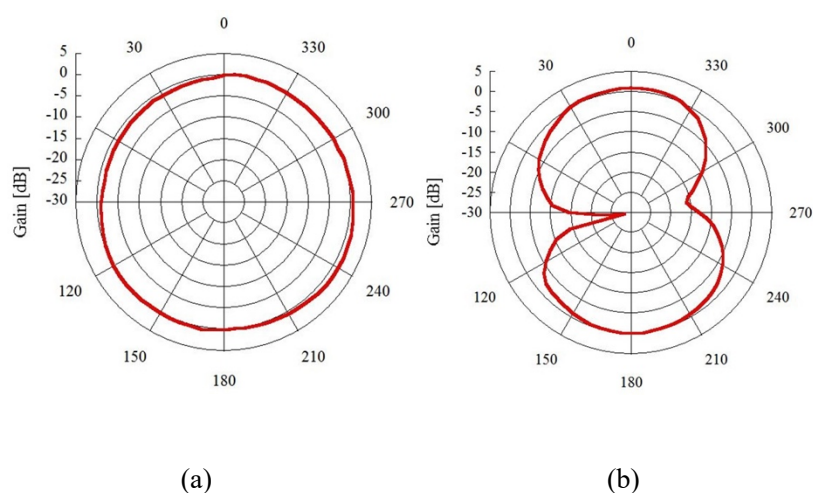


図 6.12 アンテナパターン (a)H-Plane、(b)E-Plane

6.13 アンテナや無線機器を含む GS 仕様

図 6.13 に、BIRDS プラットフォームで使用される地上局システムの仕様を示します。地上局システムは、PC、TNC (KPC-9612 Plus)、RF (IC-9100)、LNA で構成されるエンコード/デコード部と、UHF アンテナとローテーターで構成されるアンテナ制御部で構成されています。RF の特性を表 6.13-1 に、ローテーターの特性を表 6.13-2 に示します。アンテナは 2 つのスタックアレイで使用されます。単独のアンテナの特性を表 6.13-3 に、組み合わせた特性を表 6.13-4 に示します。地上局システムに使用するオペレーティングソフトウェアは、追跡ソフトウェア SatPC32 とともに C++で開発しています。

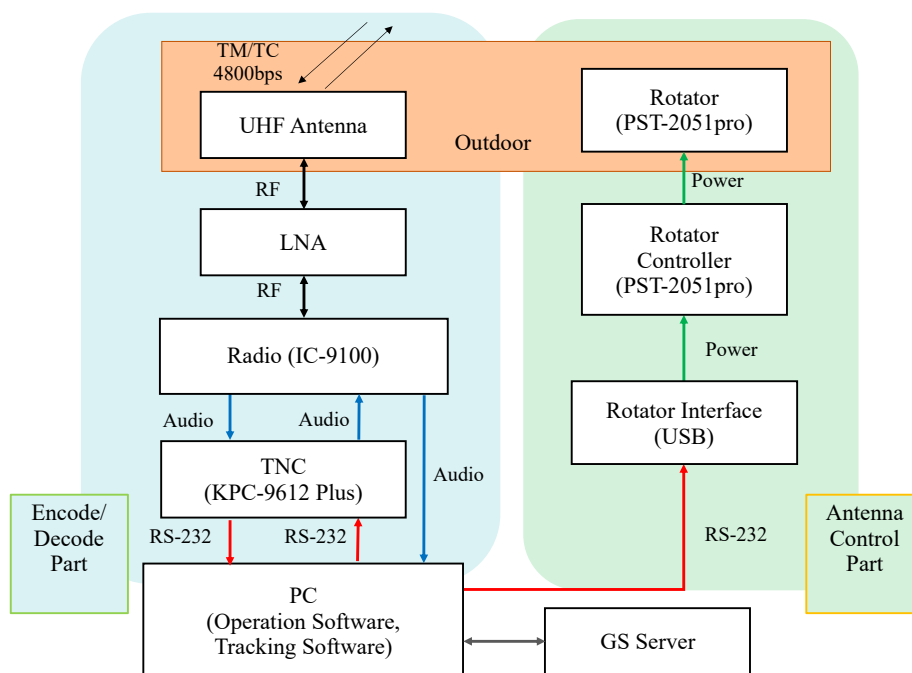


図 6.13 BIRDS プラットフォームの地上局システム

表 6.13-1 地上局 RF 特性 (ICOM 9100M)

周波数範囲	RX	<Operating range> 30kHz to 60.000MHz 144.000MHz to 146.000MHz 430.000MHz to 440.000MHz <Guaranteed range> 500kHz to 29.9999MHz 50.000MHz to 54.000MHz 144.000MHz to 146.000MHz 430.000MHz to 440.000MHz
	TX	1.800MHz to 1.875MHz 1.9075MHz to 1.9125MHz 3.500MHz to 3.580MHz 3.599MHz to 3.612MHz 3.662MHz to 3.387MHz 3.702MHz to 3.716MHz 3.745MHz to 3.770MHz 3.791MHz to 3.805MHz 7.000MHz to 7.200MHz 10.100MHz to 10.150MHz ~ 14.350MHz 14.000MHz 18.068MHz ~ 18.168MHz 21.000MHz ~ 21.450MHz 24.890MHz ~ 24.990MHz 28.000MHz ~ 29.700MHz 50.000MHz ~ 54.000MHz 144.000MHz ~ 146.000MHz 430.000MHz ~ 440.000MHz 4630KHz
変調方式・データレート		LSB / USB, CW, RTTY, AM, FM, DV (1200bps to 9600bps)
チューニングステップ		1 / 10 / 100 Hz / 1 / 5 / 6.25 / 9 / 10 / 12.5 / 20 / 25 / 50 / 100 KHz / 1 MHz

出力	SSB/CW/RTTY /FM/D-STAR	2~100 W (1.8~54 MHz bands) 2~50 W (144 MHz band) 2~50 W (430 MHz band)
	AM	2~30 W (1.8~54 MHz bands)
周波数安定度		± 0.5 ppm max with temperature from 0°C to +50°C after 5' power ON.
分解能		最小 1Hz
データプロトコル		AX.25
インターフェース		Jack 8-pin (microphone) Jack 3.5 mm (CI-V remote control) Jack 6.35 mm (ALC) Jack 6.35 mm (CW keyer) Jack 6.35 mm (SEND) Jack 2.5 mm (DATA1, GPS) Socket 6-pin (DATA2, TNC) Socket 13-pin (accessories) Socket 4-pin (antenna tuner) USB (PC, cloning, input modulation)

表 6.13-2 ローテータ特性(ProSisTel - PST2051pro+E)

制御範囲	水平角	360 deg
	仰角	180 deg
回転速度		4 deg/sec
精度		1 deg

表 6.13-3 アンテナ特性

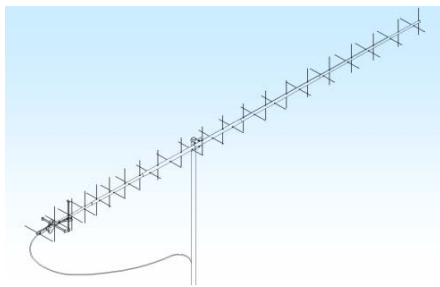
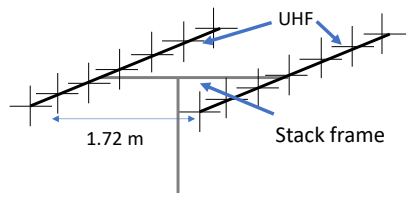
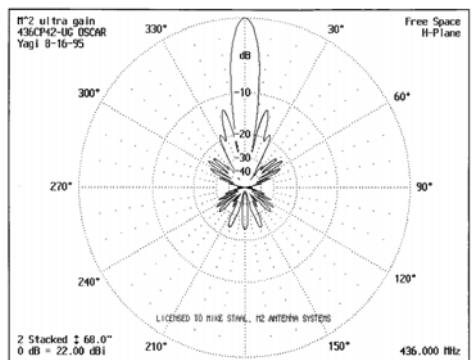
モデルナンバー	436CP42UG
周波数範囲	430 to 438 MHz
感度	18.9 dBic
ビーム幅	21° circular
boomサイズ	18'10" / 1-1/2" to 1" (about 5.7m)
受風面積 / 耐風速	2 Sq.Ft. / 100MPH (about 160 km/h)
重量	7.5 Lbs. / 10 Lbs. (about 3.4kg)
外形	

表 6.13-4 アンテナアレイ特性

外形	
感度	22.00 dBi
重量	12.7 kg
スタックフレーム重量	5.9 kg
アンテナパターン	

ISS 軌道上の BIRDS-3 衛星と、北緯 33.892511 度および東経 130.840118 度に位置する九州工業大学の地上局との間の一般的なリンクバジェットについて、アップリンクは、0 度の低い仰角で成功した。また、FM パケットのダウンリンクは、最低 0 度の高度で成功した。表 6.13-5 は、軌道上での BIRDS-3 の運用実績に基づくリンクバジェットを示す。

表 6.13-5 BIRDS-3 の運用実績に伴うリンクバジェット

Elevation angle [degree]	Free space path loss [dB]	Calculated Effective attenuation [dB]	Received power of the satellite [dBm]	Link margin [dB]
0	152.6	139.8	-92.8	0.2
5	150.6	137.8	-90.8	2.2
9	149.0	136.2	-89.2	3.8
20	145.4	132.6	-85.6	7.4
30	142.9	130.1	-83.1	9.9
40	141.1	128.3	-81.3	11.7
49	139.8	127.0	-80	13
60	138.8	126.0	-79	14
70	138.1	125.3	-78.3	14.7
80	137.7	124.9	-77.9	15.1
90	137.6	124.8	-77.8	15.2

リンクバジェット計算

衛星の受信電力= 47 dBm - 衛星から地上局への CW 電力を使用して計算された実効減衰値
リンクマージン = 衛星の受信電力 - 衛星の受信感度 (-93 dBm)

衛星の受信機感度 (-93dBm) は飛行前の試験で測定した。試験は、完全に組み立てた FM モデルの衛星でアンテナを展開した状態で行った。衛星は、地上設備から離れた場所でバッテリーにより起動させた。コマンドアップリンクは、空中（電波）を介して送信した。コマンド到達の成否は、衛星から無線で返送された確認信号をチェックすることによって検証した。地上側のアンテナと無線機の間には減衰器を取り付け、コマンドアップリンクの成功率を見ながら、減衰器の値を調整した。受信機の感度は、成功率が 50% になったときに決定した。

7 安全情報

7.1 POD からの展開後の初期シーケンス

- 1) 4つの Dep.SW が ON になり、太陽電池からバッテリーへの充電ライン、及び Unreg1 と Unreg2 の電源ラインに電力が供給される。
- 2) Reset PIC に電力が供給され、30min タイマーがカウントされる。
- 3) Reset PIC は Main PIC、COM PIC、FAB PIC を起動させる。
- 4) Main PIC は FAB PIC から 5 秒おきに衛星のデータ収集を開始する。
- 5) Reset PIC(電源ライン)、及び Main PIC(信号ライン)は、アンテナ展開メカニズム用のヒートカッターをアクティブにする。
- 6) アンテナ展開後、ヒートカッターを停止する。
- 7) Reset PIC は UHF 送信機への電力を ON にし、RF 放射（CW ビーコン送信）を有効にする。

7.2 コールドロンチを保証するインヒビットロジック

BIRDS プラットフォームは図 7.2-1 に示すスイッチが配置されており、コールドロンチに対応した設計となっている。スイッチは Dep.SW（機械式）および Sep.SW（電子式）が使用されている。BIRDS プラットフォームには 2 つのエネルギー源がある。1 つはバッテリーであり、もう一つは太陽電池パネルである。図 7.2-1 に示すように、バッテリーに対し

て、Sep.SW2、Sep.SW3、Sep.SW4 により LOAD 側への電力供給を制御している。また、太陽電池パネルに対しては、Sep.SW1、Sep.SW4 により LOAD 側への電力供給を制御している。また、太陽電池パネルから LOAD 側へ電力を供給するためには Reset PIC をアクティブにしなければならず、そのために必要な最小電力は 380mW である。ISS 内の光では衛星表面に取り付けた太陽電池パネルにより衛星を起動させるために十分な電力を生成することはできない。このようにコールドロンチの要求に対応している。各スイッチの仕組みに関しては以下に示す。

図 7.2-2 に Sep.SW 周辺の回路図を示します。Sep.SW として使用している MOSFET のゲートにはプルアップ抵抗が設置されています。そのため、ゲートに接続された Dep.SW の配線が外部電波の影響で帯電することなく、MOSFET が誤動作することはありません。

Dep.SW は衛星放出により ON になる機械式スイッチであり、BIRDS プラットフォームでは 2 種類のスイッチを使用している。スイッチの詳細は表 7.2 に示す。Dep.SW1 と Dep.SW3 は BIRDS プラットホームのレール端 (-Z 側) に取り付けられている。Dep.SW1、Dep.SW3 のスイッチ先端は、レール端から最大 1.2mm 突出しており、レール端から約 0.85mm まで押し込むことでスイッチは OFF となる。詳細は図 7.2-3 を参照。Dep.SW2 は BIRDS プラットホームのレール側面に取り付けられるサイドスイッチである。Dep.SW2 の本体はプラットフォーム内に収まっており、アクチュエータの先端が、レール側面の穴から突出している。詳細は図 7.2-4 を参照。アクチュエータはレール表面から約 1.6mm の位置まで押し込むと、スイッチは OFF となる。さらに押し込んでいくと、レール表面の高さまで押し込むことができる。

Sep.SW は電子式スイッチです。Sep.SW1、Sep.SW3、Sep.SW4 は P-MOSFET(SQA403EJ) のゲートに Dep.SW が接続しており、Dep.SW が ON になる(システム GND に接続)ことで MOSFET ゲートが GND と接続し、Sep.SW は ON となります。一方、Sep.SW2 は N-MOSFET (Si7998DP) のゲートに PNP トランジスタが接続しており、Dep.SW2 が ON になる(バッテリー GND に接続)ことによりトランジスタが ON となり、N-MOSFET ゲートに正の電圧を印加し、Sep.SW2 が ON となります。

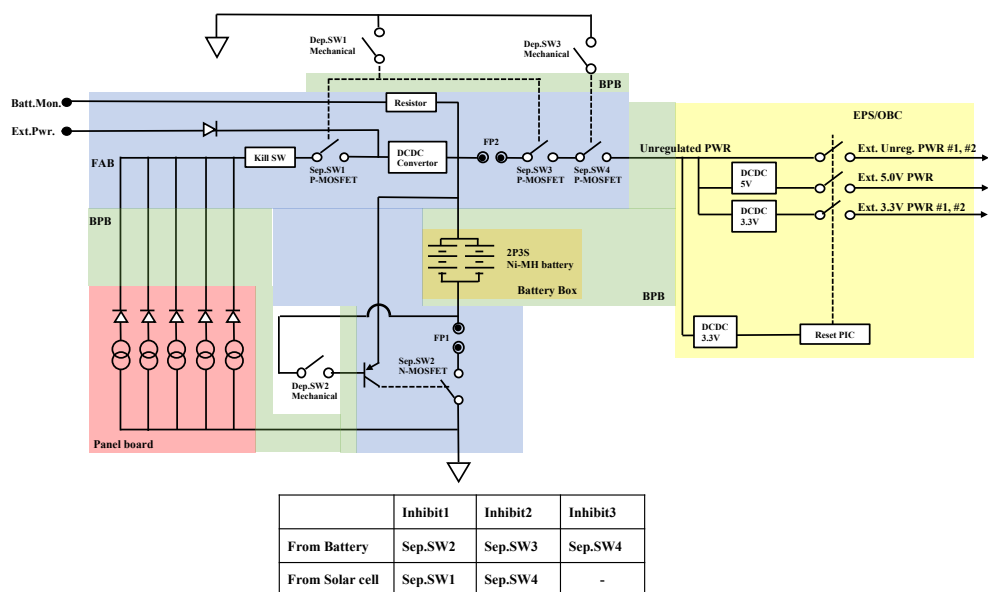


図 7.2-1 電源系ブロック図

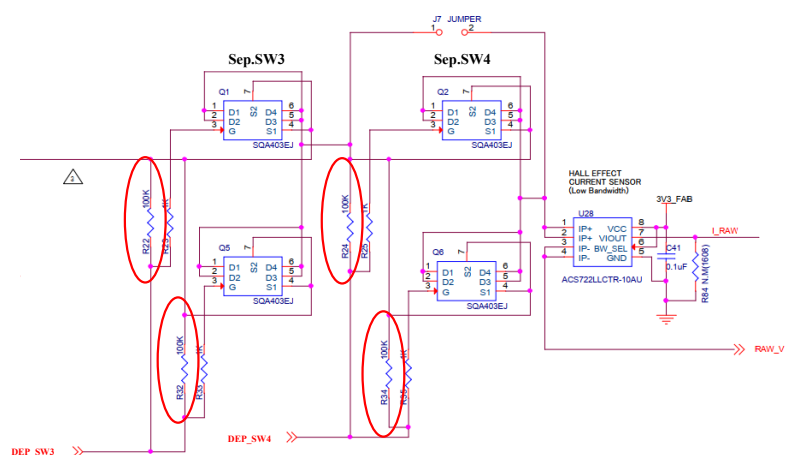


図 7.2-2 Sep.SW 周辺の回路図

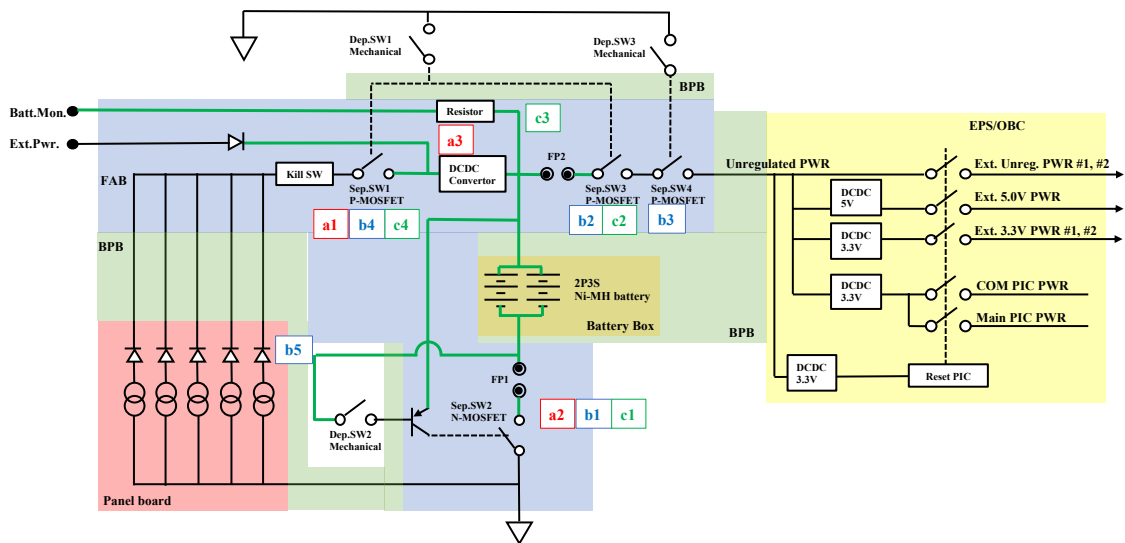
表 7.2 分離スイッチ（機械式スイッチ）の特性

	Dep.SW 1 and 3	Dep.SW 2 and 4
メーカー	C&K COMPONENTS	OMRON Corporation Electronic
パーツ番号	SDS002	J-7-V22
定格負荷	100 mA (DC)	7 A
定格電圧	12 V (DC)	125-250 V (AC)
もどりの力	0.29 N	0.05 N
動作までの動き	2 mm	1.6 mm
先端形状	-	R2.4 roller type
耐久性 (電氣的)	50,000 cycles	50,000 cycles
使用温度範囲	-40° C ~ +85° C	-10° C ~ +80° C

7.3 容量と保護メカニズムを含むバッテリー仕様

BIRDS プラットフォームに使用しているバッテリーの仕様は 6.4 節を参照。

バッテリーは過充電、過放電、短絡故障により、破裂等の危険性を有する。BIRDS プラットフォームは衛星軌道に放出されるまでの間、バッテリーを保護するために保護機能を有している。図 7.3 に各故障に対応した保護機能を示す。



		Inhibit1	Inhibit2	Inhibit3
a. Overcharge		Sep.SW1 [a1]	Sep.SW2 [a2]	DCDC Converter [a3]
b. Overdischarge	Load side	Sep.SW2 [b1]	Sep.SW3 [b2]	Sep.SW4 [b3]
	Solar cell side		Sep.SW1 [b4]	Diode [b5]
c. External short	Load side	Sep.SW2 [c1]	Sep.SW3 [c2]	Proper Insulation [c3]
	Solar cell side		Sep.SW1 [c4]	

Note: Proper insulation (double isolation is shown by green line in figure above, single isolation is black line)

図 7.3 バッテリーハザードに対するインヒビット

バッテリーの保護装置として、回路を切断する Sep.SW、出力電圧を制御する DCDC コンバータ、電流の逆流を防ぐダイオードを備えている。

まず、バッテリーの過充電に対して、バッテリーは、太陽電池パネル及び GND から Sep.SW1、Sep.SW2 の 2 つのスイッチにより切り離されている。更に、太陽電池パネルとバッテリー間に DCDC コンバータを備えており、この DCDC コンバータの出力電圧は nominal で 4.2V で設計している。そのため、バッテリーに対して過剰な電圧が太陽電池パネル側から生じて、DCDC コンバータにより降圧され、バッテリーに対して 4.2V 以上の入力電圧は生じない。

バッテリーの過放電に対しては、バッテリーから負荷側の回路、およびバッテリーから太陽電池パネル側の回路の双方で3インヒビットが形成されている。バッテリーから負荷側では、バッテリーは、負荷及びGNDからSep.SW2、Sep.SW3、Sep.SW4の3つのスイッチにより切り離されている。また、バッテリーから太陽電池パネル側では、バッテリーは、太陽電池パネル及びGNDからSep.SW1、Sep.SW2の2つのスイッチにより切り離され、更に太陽電池パネルとバッテリー間にダイオードを備えており、バッテリーから太陽電池パネル側への逆流を防ぎ、過放電は生じない。

バッテリーの短絡に対しても、バッテリーから負荷側の回路、およびバッテリーから太陽電池パネル側の回路の双方で3インヒビットが形成されている。バッテリーから負荷側では、バッテリーは、負荷及びGNDからSep.SW2、Sep.SW3の2つのスイッチにより切り離され、さらにバッテリーからSep.SW2、Sep.SW3間の配線は2重絶縁処理（被覆線を異なる絶縁膜で覆う、もしくは基板配線間に絶縁層を挟み且つ1mm以上の間隔を開けた空間絶縁）がなされている。

また、バッテリーから太陽電池パネル側では、バッテリーは、太陽電池パネル及びGNDからSep.SW1、Sep.SW2の2つのスイッチにより切り離され、さらにバッテリーからSep.SW2、Sep.SW3間の配線は2重絶縁処理がなされている。

更に、図7.3に示すように、バッテリーの充電ラインやモニターライン等、バッテリーから第1インヒビットにあたるラインは全て2重絶縁処理を、その他のラインも絶縁処理を行っている。

8 信頼性情報

8.1 サブシステムの TRL

表 8.1 TRL

サブシステム	TRL	備考
OBC	9 (Flight proven)	Operational in three BIRDS-3 satellites Total cumulated time in orbit > 3years
EPS	9 (Flight proven)	
COM	9 (Flight proven)	
Backplane board with CPLD	9 (Flight proven)	Operational on one BIRDS-3 satellite Total cumulated time in orbit > 1years
Structure	9 (Flight proven)	Launched to ISS via Antares

8.2 軌道、持続時間、ランチャーを含む飛行遺産

BIRDS プラットフォームは 2019 年 4 月に Antares ロケットによって打ち上げられたシグナス補給船に搭載された 3 機の BIRDS3 衛星に使用されている。3 機の BIRDS3 衛星は 2019 年 6 月に ISS から ISS 軌道(高度 400km、Inclination： 51.6°、Duration： 92.6 min)に放出され、2020 年 11 月現在までの 18 ヶ月の運用実績がある。2019 年 6 月以降に BIRDS-3 の軌道上での温度を表 8.2-1、図 8.2-1 に示す。

表 8.2-1 BIRDS-3 の軌道上での温度

コンポーネント	温度範囲 [°C]
Solar Panel	-38 to +64
Battery	-0.9 to +26.9

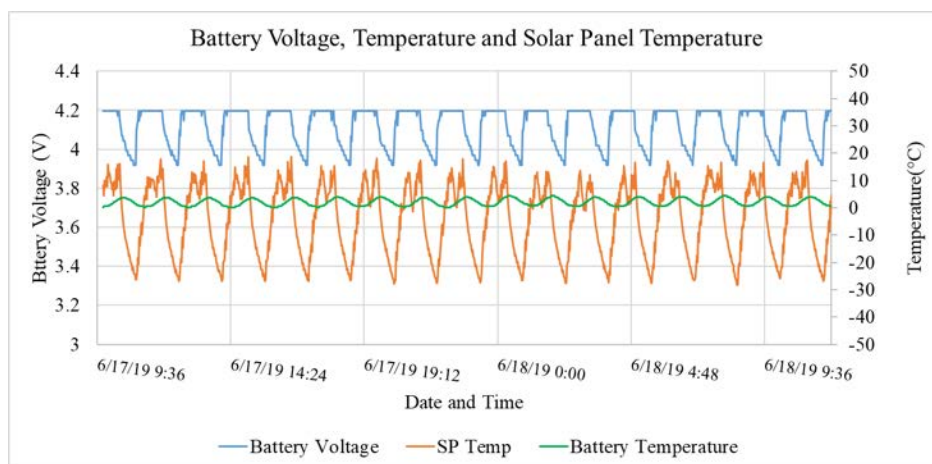


図 8.2-1 BIRDS-3 軌道上での温度

2019 年 6 月から 2020 年 10 月までの ISS 軌道での放射線の総線量を表 8.2-2 に示す。

表 8.2-2 ISS 軌道における放射線量

アルミシールド[mm]	トータルドーズ (2019 年 6 月までの 16 ヶ月) [rad]
1	2.462×10^3
2	9.756×10^2
3	4.407×10^2
4	2.221×10^2
5	1.208×10^2

8.3 アップリンクコマンドの検証

地上局からアップリンクされたコマンドは、最初に COM PIC で処理される。コマンドは以下の形式で構成されている。

表 8.3 アップリンクコマンド

0x42	Sat ID	0x00	Variable command									CRC_H	CRC_L
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

次の条件を満たす場合、コマンドは有効と判断される。

- ・巡回冗長検査コード（CRC）が正しい
- ・衛星 ID が正しい

8.4 シングルイベント効果保護メカニズム

BIRDS プラットフォームはバスシステムの動作のために複数の PIC が使用されている。特に衛星動作に関わる Main PIC、Reset PIC、COM PIC に関して、軌道上運用時の放射線などによるシングルイベントに伴う、エラーに対する保護メカニズムとして watch dog timer を使用し、動作をモニターし、問題発生時にリセットを行うシステムとなっている。

8.5 衛星のリセット

衛星には 2 種類のリセット機能がある。1 つは 24 時間の定期的リセット、もう 1 つは PIC プロセッサ、COM PIC、及び Main PIC がフリーズした際に行う不定期リセットである。

- ・ 定期的リセット

Reset PIC は衛星のすべての電力を管理し、衛星時間管理用のクロックタイマーを備えている。前回のリセットから 24 時間経過したら、リセット PIC で衛星の電源をすべ

てオフにし、バスシステムの電源をオンにして衛星を初期化する。この定期的なリセットの定期的な初期化に基づいて、衛星の運用スケジュールを決定する必要がある。

- **不定期リセット**

電子機器、特にマイクロコントローラは、放射線のシングルイベント、ソフトウェアのバグなどのため、常にフリーズするリスクがある。Reset PIC は、COM PIC 及び Main PIC から定期的にメッセージを受け取っている。メッセージの期間は、衛星の設計に基づいてユーザーが決定できる。Reset PIC が COM PIC 又は Main PIC からユーザーが決定した閾値時間を超えてもメッセージを受信できない場合、Reset PIC は衛星のすべての電源をオフにし、衛星を初期化します。Reset PIC がフリーズするリスクがあるため、Reset PIC には外部ウォッチドッグタイマーが接続されている。Reset PIC が外部ウォッチドッグタイマーに定期的なパルスを送信しない場合、ウォッチドッグタイマーは Reset PIC をリセットし、衛星は再起動される。

8.6 Test の結果

BIRDS プラットフォームは ISS 放出衛星の打ち上げ環境(参照(2))に対応している。いくつかの重要な部品は、トータルドーズ (TID) とシングルイベントラッチアップ (SEL) についてテストを行っている。表 8.6 に示す。

表 8.6 パーツの TID と SEL 試験

パーツ	使用法	実施した試験
PIC 16F1789	COM PIC, Reset PIC, FAB PIC	Single Event Latch-up using Cf-252 source Total ionization dose using Cs-134
PIC 18F67J94	Main PIC	Single Event Latch-up using Cf-252source
IRL620(N-channel MOSFET)	Mission	Total ionization dose using Co-60 up to 50 kRad.
IRLML6402 (P-channel MOSFET)	Mission	Total ionization dose using Co-60 up to 50 kRad.

8.6.1 振動環境

BIRDS プラットフォームは表 8.6.1-1、表 8.6.1-2 に示すレベルの振動環境に耐える構造を有している。同設計の BIRDS プラットフォームで試験が行われており（文献(3)を参照）、ファスナー部品の破損、ガラス部品の破損、通信機の誤作動、その他 BIRDS プラットフォームの誤作動は発生していない。また、現在 BIRDS プラットフォームを使用した衛星は ISS 軌道で運用されており、打ち上げ振動環境に十分な耐性を有している。

表 8.6.1-1 振動環境(AT レベル)

周波数[Hz]	PSD [G ² /Hz]
20	0.02
50	0.02
120	0.031
230	0.031
1000	0.0045
2000	0.0013
Overall [Grms]	4.08
Duration [sec]	60

表 8.6.1-2 振動環境(QT レベル)

周波数[Hz]	PSD [G ² /Hz]
20	0.04
50	0.04
120	0.062
230	0.062
1000	0.009
2000	0.0026
Overall [Grms]	5.77
Duration [sec]	120

8.6.2 真空環境

BIRDS プラットフォームは 5×10^{-3} Pa 以下の真空環境下に耐える設計となっている。同設計の BIRDS プラットフォームで試験が行われており(文献(4)を参照)、約 14 時間の間、真空環境に晒したが、その間 BIRDS プラットフォームは正常に動作した。また、現在 BIRDS プラットフォームを使用した衛星は 18 ヶ月間 ISS 軌道で運用されており、真空環境に十分な耐性を有している。

8.6.3 熱環境

BIRDS プラットフォームに使用する部品は-15～+60 度の熱環境に耐え得るものを使用している。BIRDS プラットフォームに使用している基板の対応温度を表 8.4-2 に示す。バッテリーに関して、使用するバッテリーセルは-20～+50 度の耐性が保証されている。別途、熱真空試験において+60 度まで対応できることを確認している。

表 8.6.3-1 各コンポーネントの温度耐性

コンポーネント	最低使用温度 [°C]	最高使用温度 [°C]
FAB	-40	+80
OBC/EPS Board	-40	+85
Battery	-20	+50 (+60) *
COM-UHF TRX Board	-20	+60
RAB	-40	+80
External Panel	-40	+85
CPLD Backplane	-40	+105

* 熱真空試験により BIRDS プラットフォームに使用しているバッテリーが-20 度～+60 度で使用できることは確認されている。

表 8.6.3-2 熱真空試験での各コンポーネントの温度

コンポーネント	最低使用温度 [°C]	最高使用温度 [°C]
FAB	-40	+62
OBC/EPS Board	-32	+64
Battery	-11	+48
COM-UHF TRX Board	-36	+67
RAB	-42	+69
External Panel	-50	+80
CPLD Backplane	-42	+67

9 組み立て、統合、テストに関する情報

9.1 サテライト・アセンブリ手順

BIRDS プラットフォームの組み立て手順に関しては、Assembly Procedure(文献(5))を参照すること。

9.2 機能テスト手順

9.2.1 Dep.SW と RBF ピン(FP)の機能確認

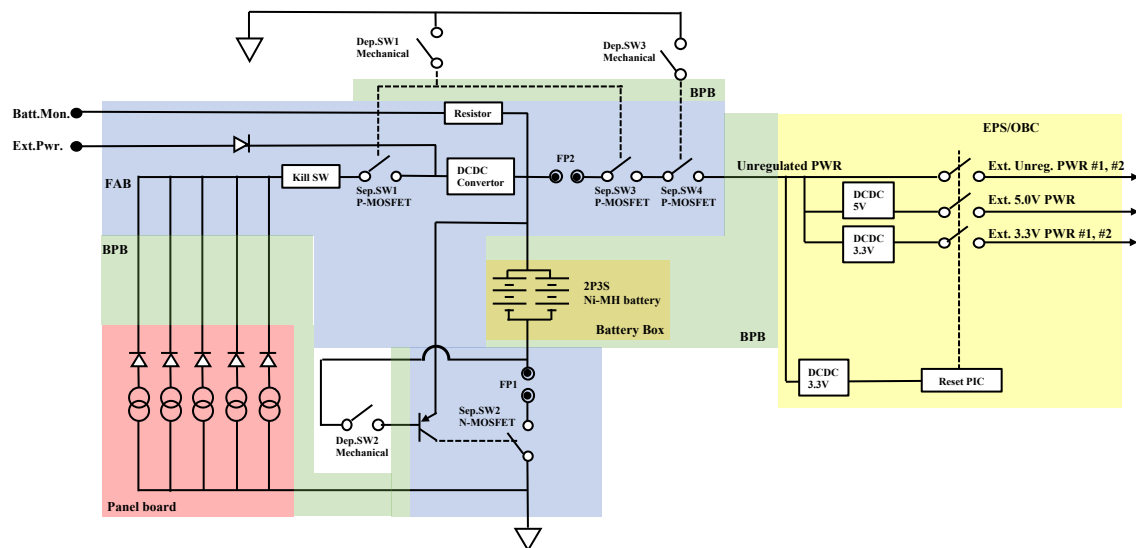


図 9.2-1 EPS ブロックダイアグラム

- RBF1(図 9.2-1 の FP2)と RBF2(図 9.2-1 の FP1)を取り外す。
- すべての Dep.SW を解放する。これは、衛星が放出後の状態であることを意味する。
- RBF1 の機能確認。

RBF1 を挿入し、衛星の負荷に電力が供給されていないことを確認する。

- RBF1 を取り外す。
- RBF2 の機能確認。

RBF2 を挿入し、バッテリーが衛星の電気システムから切れていることを確認する。バッテリーに電流が流れないことを確認。

vi. RBF2 を取り外し、RBF1 を挿入する。

vii. Dep.SW1 の機能確認。

Dep.SW1 を押す。

バッテリーと太陽電池が切れていることを確認。太陽電池とバッテリーの間に電流がない。

Dep.SW1 を解放し、RBF1 を取り除く。

viii. Dep.SW2 の機能確認。

Dep.SW2 を押す。

衛星の負荷に電力が供給されていないことを確認する。

Dep.SW2 を解放する。

ix. Dep.SW3 の機能確認。

Dep.SW3 を押す。

衛星の負荷に電力が供給されていないことを確認する。

Dep.SW3 を解放する。

x. 両方の RBF ピンを挿入する。

9.2.2 PIC の機能確認

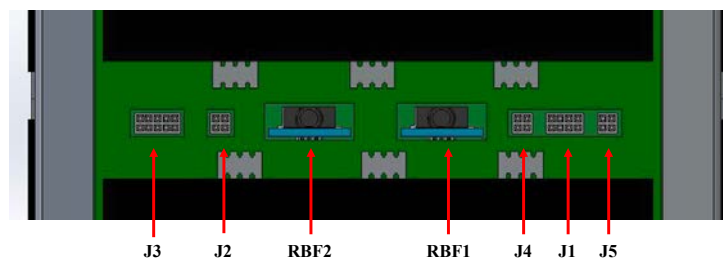


図 9.2-2 アクセスポート

- i. RBF1、RBF2 を挿入する。
- ii. すべての分離スイッチを解放する。
- iii. J5 を外部電源に接続する。

外部電源は、出力電圧を 5.0 V、電流を 2.0A にセットする。

- iv. PICKit プログラマを J1 のコネクタの Reset PIC に接続する。
- v. RBF1、RBF2 を取り外す。
- vi. 外部電源を入れ、電力を供給する。

外部電源の出力電流が電流制限に達していないことを確認する。

- vii. Reset PIC プログラミング機能確認。

テストソフトウェアを使用して Reset PIC へプログラムを書き込む。

- viii. PICKit プログラマを J1 コネクタの FAB PIC に接続する。

- ix. FAB PIC プログラミング機能確認。

テストソフトウェアを使用して FAB PIC へプログラムを書き込む。

- x. PICKit プログラマーを J1 コネクタの COM PIC に接続する。

- xi. COM PIC プログラミング機能チェック。

テストソフトウェアを使用して COM PIC へプログラムを書き込む。

- xii. PICKit プログラマを J1 ソケットコネクタの Main PIC に接続する。

- xiii. Main PIC プログラミング機能確認。

テストソフトウェアを使用して Main PIC へプログラムを書き込む。

xiv. RBF1、RBF2 を挿入する。

9.2.3 UART を用いた衛星状態の確認

i. ユーザーの PC と J2 コネクタを RS232 ケーブルで接続する。

ii. ユーザーの PC でシリアル端末を開く。

iii. 基本的な衛星機能確認。

- Main PIC からのメッセージを確認し、衛星の状態を確認する。

- 衛星状態には以下の項目が含まれる。

- 各 PIC マイクロコントローラーのアクティブ化

- バッテリー電圧

- バッテリー電流

- バッテリー温度

- 太陽電池の電圧

- 太陽電池電流

- パネルボードの温度

- Unreg#1 の出力電圧

- Unreg#1 の出力電流

- Unreg#2 の出力電圧

- Unreg#2 の出力電流

- 3V3#1 の出力電圧

- 3V3#1 の出力電流

- 3V3#2 の出力電圧
- 3V3#2 の出力電流
- 5V0 の出力電圧
- 5V0 の出力電流
- Reset PIC のタイマクロック

9.2.4 CW 機能確認

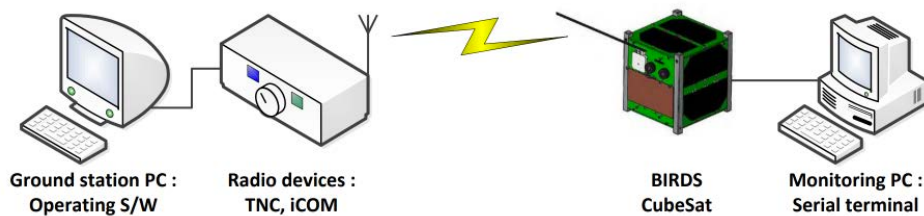


図 9.2.4 通信テストのコンフィグレーション

- i. 地上局機器(PC、及び無線機器)をテーブルに置く。
- ii. CW 受信作業用の地上局機器をセットアップする。
- iii. iCOM 無線機器とアンテナの間に 40dB 以上の減衰器を入れる。
- iv. 衛星とモニタ PC を別のテーブルに置く。
- v. モニタ PC のシリアル端子を使用し、J2 コネクタの UART インターフェースを介して CW 送信をアクティブにする。
- vi. CW 機能確認。

地上局の PC に CW 音声を録音し、そのデータを分析する。

9.2.5 アップリンクコマンドの機能確認

- i. アップリンク作業用に地上局機器をセットアップする。

- ii. iCOM 無線機器とアンテナ間に 40dB 以上の減衰機を入れる。
- iii. 地上局 PC の動作 S/W を使用し、衛星にアップリンクコマンドを送信する。
- iv. アップリンクコマンドの機能確認。

地上局からの確認音を確認する。

モニタ PC の J2 コネクタの UART インターフェースを使用し、コマンドデータを確認する。

9.2.6 プラットフォームに展開可能なアイテムがある場合の展開試験手順

- i. 衛星を完全に組み立てる。
- ii. 撮影用カメラを準備し、ビデオ録画を開始する。
- iii. RBF1、RBF2 を取り外す。
- iv. 展開時間を計測するために外部タイマーをスタートする。
- v. Dep.SW を全てアクティブにする。
- vi. 展開システムの起動を待つ。
- vii. 展開システムが起動を確認し、タイマーを停止する。
- viii. 起動時のタイマーを記録する。
- ix. ビデオ録画を停止する。

9.3 振動試験手順

BIRDS プラットフォームの振動試験手順は、Vibration Test Report(文献(3))を参照。

9.4 熱真空試験手順

BIRDS プラットフォームの熱試験手順は、Thermal Vacuum Test Report(文献(4))を参照。

9.5 エンドツーエンドミッションシミュレーション試験手順

- i. RBF ピン 1 を取り外し、次に RBF ピン 2 を取り外す。
- ii. 全ての Dep.SW をアクティブにし、タイマーを開始する。
- iii. アンテナ展開を待つ。 展開の瞬間に、タイマーを停止する。
- iv. 展開システムの動作時間を確認する。通常は Dep.SW をアクティブにして 30 分以上。
- v. 地上局システムで CW を確認する。
- vi. 数時間待つ。
- vii. 地上局システムで CW を確認する。
- viii. 数時間待つ。
- ix. HK（ハウスキーピング） データのコマンドを送信し、テレメトリデータを確認する。
- x. 数時間待つ。
- xi. ミッションシステムのコマンドを送信する。
- xii. 数時間待つ。
- xiii. ミッションデータをダウンリンクし、ミッションデータを分析する。
- xiv. 手順 vi から手順 xiii までを数日間繰り返す。

9.6 バッテリー充電方法

バッテリーの充電手順は Battery Charging Procedure(文献(8))を参照。