

ARTSAT1: INVADER 衛星

通信方式及びデータフォーマット

ARTSAT プロジェクトチーム

Version	改訂日	改訂箇所
初版	2014 年 2 月 24 日	
A 改訂	2014 年 2 月 26 日	FM テレメトリパケット 内容の修正
B 改訂	2014 年 3 月 3 日	FM テレメトリパケット の追加、修正
C 改訂	2014 年 7 月 27 日	ptr, ptd の誤記訂正

1. はじめに

本文書は、ARTSAT Project 1 機目の衛星である CUBESAT「INVADER」の通信フォーマットについて解説します。

2. INVADER 衛星コールサイン

INVADER 衛星のコールサインは以下になります。

Call Sign : JQ1ZKK

3. INVADER 衛星ダウンリンク通信仕様

INVADER 衛星は CW Beacon 通信、FM パケット通信、FM デジトーカー通信の 3 種の形式でデータダウンリンクを行います。それぞれの概要は以下になります。データフォーマットに関しては後述します。

CW Beacon, A1A

Frequency	437.325 [MHz]
Transmitter Power	100 [mW]
Antenna	Half-wave dipole antenna
Protocol	Morse code
運用形態	常時送信

FM Packet, F2D

Frequency	437.200 [MHz]
Transmitter Power	800 [mW]
Antenna	Half-wave dipole antenna
Modulation	AFSK 1200bps
Protocol	Ax.25
運用形態	アップリンク応答

Digitalker, F3E

Frequency	437.200 [MHz]
Transmitter Power	800 [mW]
Antenna	Half-wave dipole antenna
Protocol	Sound / Voice
運用形態	アップリンク応答

4. INVADER 衛星アップリンク通信方式

INVADER のアップリンク回線の仕様は以下の表のようになっています。

FM Packet, F2D

Frequency	145 MHz Band
Antenna	Quater-wave monopole antenna
Modulation	AFSK1200bps
Protocol	Ax.25

5. ダウンリンクデータフォーマット解説

5.1. CW データフォーマット

INVADER の CW は大きく分けて 6 フレーム有り、それぞれ各フレーム頭の 3 文字 (AS0~AS5) で区別されます。

AS0 から流れ始め、AS5 が流れ終わると、再び AS0 に戻ります。

フレーム間 (例えば AS0 と AS1 の間) は、10 秒の無音間隔が空きます (冬眠モードとよばれるモードに入ると、フレーム間は 30 秒になります)。

以下の URL にデータ解析用のエクセルフォーマットを置いています。ご利用ください。

http://artsat.jp/wp-content/uploads/2014/02/INVADER_CW_FORMAT_revTT4.xls

フレームナンバー	AS0
内容	衛星のコールサインデータ
データ	“JQ1ZKK”

フレームナンバー	AS1
内容	メッセージ
情報データ	“THE FIRST ART SATELLITE IN THE WORLD ARTSAT1: INVADER ARTSAT. JP”

フレームナンバー	AS2
内容	衛星ステータス情報
データ	<u>1~6 文字目</u> CW カウント回数 AS0~AS5 を流すたびに 1 回カウントが増える。HEX。 <u>7 文字目</u> 充放電状態 “1”の場合、衛星が放電状態。“0”の場合、衛星が充電状態にあることを示す。 <u>8~11 文字目</u> Main OBC リセット残り時間 本衛星では CPU の停止を防止するために、CPU を定期リセットしています。CPU がリセットされ

	<p>るまでの時間を表す。</p> <p>残り時間: (“8 文字目”×16 + “9 文字目”) [時間] (“10 文字目”×16 + “11 文字目”) [分]</p> <p><u>12 文字～13 文字目 二次電池電圧</u></p> <p>二次電池の電圧を表します。</p> <p>二次電池電圧 = 3.7+(“12 文字目”×16 + “13 文字目”-113)÷255×5÷2.8 [V]</p> <p><u>14 文字目 衛星モード情報</u></p> <p>衛星のモードを表します。0 の場合「通常モード」、1 の場合「電力消費を抑える冬眠モード」になっていることを表します。</p>
--	---

フレームナンバー	AS3
内容	衛星ステータス情報
データ	<p><u>1 文字目 Main OBC 電源状態</u></p> <p>0 の場合、Main OBC の電源が OFF 状態、1 の場合、Main OBC の電源が ON 状態にあることを示します。</p> <p><u>2 文字目 Mission OBC 電源状態</u></p> <p>0 の場合、Mission OBC の電源が OFF 状態、1 の場合、Mission OBC の電源が ON 状態にあることを示します。</p> <p><u>3 文字目 RX 電源状態</u></p> <p>0 の場合、RX の電源が OFF 状態、1 の場合、RX の電源が ON 状態にあることを示します。</p> <p><u>4 文字目 バッテリーヒーター電源状態</u></p> <p>0 の場合、バッテリーヒーターの電源が OFF 状態、1 の場合、バッテリーヒーターの電源が ON 状態にあることを示します。</p> <p><u>5 文字～6 文字目 二次電池電圧</u></p> <p>二次電池の電圧を表します。</p> <p>二次電池電圧 = 3.7+(“5 文字目”×16 + “6 文字目”-113)÷255×5÷2.8 [V]</p> <p><u>7 文字目 衛星モード情報</u></p> <p>衛星のモードを表します。0 の場合「通常モード」、1 の場合「電力消費を抑える冬眠モード」になっていることを表します。</p>

フレームナンバー	AS4
内容	衛星ステータス情報
データ	<p><u>1 文字～2 文字目 Main OBC 電流消費</u></p> <p>Main OBC の消費している電流値を表します。</p> <p>Main OBC 電流消費= (“1 文字目”×16 + “2 文字目”) ÷255 [A]</p> <p><u>3 文字～4 文字目 Mission OBC 電流消費</u></p> <p>Mission OBC の消費している電流値を表します。</p> <p>Mission OBC 電流消費= (“3 文字目”×16 + “4 文字目”) ÷255 [A]</p> <p><u>5 文字～6 文字目 Power OBC 電流消費</u></p>

	<p>Power OBC の消費している電流値を表します。</p> <p>Power OBC 電流消費= (“5 文字目”×16 + “6 文字目”) ÷255÷3 [A]</p> <p><u>7 文字～8 文字目 受信機電流消費</u></p> <p>受信機の消費している電流値を表します。</p> <p>受信機電流消費= (“7 文字目”×16 + “8 文字目”) ÷255÷2 [A]</p> <p><u>9 文字～10 文字目 送信機 (CW) 電流消費</u></p> <p>送信機 (CW) の消費している電流値を表します。</p> <p>送信機 (CW) 電流消費= (“9 文字目”×16 + “10 文字目”) ÷255 [A]</p> <p><u>11 文字～12 文字目 送信機 (Tx) 電流消費</u></p> <p>送信機 (Tx) の消費している電流値を表します。</p> <p>送信機 (Tx) 電流消費= (“11 文字目”×16 + “12 文字目”) ÷255×2 [A]</p> <p><u>13 文字～14 文字目 バッテリーヒーター電流消費</u></p> <p>バッテリーヒーターの消費している電流値を表します。</p> <p>バッテリーヒーター電流消費= (“13 文字目”×16 + “14 文字目”) ÷255 [A]</p> <p><u>15 文字～16 文字目 バス機器電流消費</u></p> <p>バス機器の消費している電流値を表します。</p> <p>バス機器電流消費= (“15 文字目”×16 + “16 文字目”) ×2÷255÷1.5 [A]</p> <p><u>17 文字～18 文字目 二次電池充電電流</u></p> <p>二次電池に充電している電流値を表します。</p> <p>二次電池充電電流= (“17 文字目”×16 + “18 文字目”) ÷255 ÷1.3[A]</p> <p><u>19 文字～20 文字目 太陽電池電流</u></p> <p>太陽電池で発電している電流値を表します。</p> <p>太陽電池発電電流= (“19 文字目”×16 + “20 文字目”) ÷255÷1.6 [A]</p> <p><u>21 文字～22 文字目 二次電池電圧</u></p> <p>二次電池の電圧を表します。</p> <p>二次電池電圧 = 3.7+(“21 文字目”×16 + “22 文字目”-113) ÷255×5÷2.8 [V]</p> <p><u>23 文字目 衛星モード情報</u></p> <p>衛星のモードを表します。0 の場合「通常モード」、1 の場合「電力消費を抑える冬眠モード」になっていることを表します。</p>
--	--

フレームナンバー	AS5
内容	衛星ステータス情報
データ	<p><u>1 文字～2 文字目 二次電池電圧</u></p> <p>二次電池の電圧を表します。</p> <p>二次電池電圧 = 3.7+(“1 文字目”×16 + “2 文字目”-113) ÷255×5÷2.8 [V]</p> <p><u>3 文字～4 文字目 バス電圧</u></p> <p>バスの電圧を表します。</p> <p>バス電圧 = (“3 文字目”×16 + “4 文字目”) ÷255×5×5÷3 [V]</p>

	<p><u>5文字～6文字目 二次電池温度 1</u></p> <p>二次電池の温度を表します。二次電池には 3 つの温度計が付いており、1 つ目の温度を表します。</p> <p>二次電池温度= $-1481.96 + \text{SQRT}(2.1952 \times 1000000) + (1.8639 - (((\text{"5 文字目"} \times 16 + \text{"6 文字目"}) \times 5 \div 255 - 2.5) \div 4 + 5 \div 3)) \div (3.88 \times 0.000001)$ [°C]</p> <p><u>7文字～8文字目 二次電池温度 2</u></p> <p>二次電池の温度を表します。二次電池には 3 つの温度計が付いており、2 つ目の温度を表します。</p> <p>二次電池温度= $-1481.96 + \text{SQRT}(2.1952 \times 1000000) + (1.8639 - (((\text{"7 文字目"} \times 16 + \text{"8 文字目"}) \times 5 \div 255 - 2.5) \div 4 + 5 \div 3)) \div (3.88 \times 0.000001)$ [°C]</p> <p><u>9文字～10文字目 二次電池温度 3</u></p> <p>二次電池の温度を表します。二次電池には 3 つの温度計が付いており、3 つ目の温度を表します。</p> <p>二次電池温度= $-1481.96 + \text{SQRT}(2.1952 \times 1000000) + (1.8639 - (((\text{"9 文字目"} \times 16 + \text{"10 文字目"}) \times 5 \div 255 - 2.5) \div 4 + 5 \div 3)) \div (3.88 \times 0.000001)$ [°C]</p> <p><u>11文字目 衛星モード情報</u></p> <p>衛星のモードを表します。0 の場合「通常モード」、1 の場合「電力消費を抑える冬眠モード」になっていることを表します。</p>
--	---

5.2. FM パケットデータフォーマット

INVADER のダウンリンク FM パケット(AFSK1200bps)は全て、Ax.25 パケットプロトコルの上に次のような基本フレームを持つ構成になっています。

[参照] Ax.25 パケットプロトコル : <http://www.tapr.org/pdf/AX25.2.2.pdf>

データ位置	データ長	データ内容	データ (Binary, 16 進)
Flag	1byte		0x7e
To Address	7byte	地上局コールサイン JQ1ZKL (1bit シフトしたもの)	0x94, 0xa2, 0x62, 0x64, 0x96, 0x98, 0x60
From Address	7byte	衛星コールサイン JQ1ZKK (1bit シフトしたもの)	0x94, 0xa2, 0x62, 0x64, 0x96, 0x96, 0x61
Control	1byte		0x03
PID	1byte		0xf0
Info	可変	衛星データ	可変
FCS	2byte	誤り検知符号	可変
Flag	1byte		0x7e

Info (衛星データ部) は、地上局から送られるコマンドに応じて変化します (以下の ID1~ID5)。

地上局から送られるコマンドは、運用状況により都度変化します。

解析用のエクセルフォーマットを WEB 上に公開予定です。

ID	データ内容
ID1. 現在ステータス 情報	r-g-c-sta-(以下の 127Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A 1~4byte 目 : 衛星時刻 (HEX) 5byte 目 : 二次電池電圧 6byte 目 : バス電圧 7~10byte 目 : 00 固定 11byte 目 : Power OBC 消費電流値 12byte 目 : バス消費電流値 13byte 目 : 二次電池充電電流値 14byte 目 : 太陽電池発電電流 (合計) 15byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面発電電流 2 16byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面発電電流 2 17byte 目 : 太陽電池 マイナス Z 面発電電流 18byte 目 : 太陽電池 プラス Z 面発電電流 19byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面発電電流 1 20byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面発電電流 1

21byte 目	: 太陽電池 マイナス X 面発電電流
22byte 目	: 太陽電池 プラス X 面発電電流
23byte 目	: アンテナ展開消費電流
24byte 目	: バッテリーヒーター消費電流
25byte 目	: TX 消費電流
26byte 目	: CW 消費電流
27byte 目	: RX 消費電流
28byte 目	: Main OBC 消費電流
29byte 目	: Mission OBC 消費電流
30byte 目	: 00 固定
31byte 目	: 二次電池温度 1
32byte 目	: 二次電池温度 2
33byte 目	: 二次電池温度 3
34byte 目	: 太陽電池 プラス X 面温度
35byte 目	: 太陽電池 マイナス X 面温度
36byte 目	: 太陽電池 プラス Y 面温度 1
37byte 目	: 太陽電池 プラス Y 面温度 2
38byte 目	: 太陽電池 マイナス Y 面温度 1
39byte 目	: 太陽電池 マイナス Y 面温度 2
40byte 目	: 太陽電池 プラス Z 面温度 1
41byte 目	: 太陽電池 プラス Z 面温度 2
42byte 目	: 太陽電池 マイナス Z 面温度 1
43byte 目	: 太陽電池 マイナス Z 面温度 2
44byte 目	: Power OBC 温度
45byte 目	: Mission OBC 温度
46byte 目	: 送信機温度
47byte 目	: 受信機温度
48byte 目	: Main OBC 温度
49~50byte 目	: 00 固定
51byte 目	: ジャイロセンサ X 軸 (X 軸周りの回転速度)
52byte 目	: ジャイロセンサ Y 軸 (Y 軸周りの回転速度)
53byte 目	: ジャイロセンサ Z 軸 (Z 軸周りの回転速度)
54byte 目	: 磁気センサ X 軸
55byte 目	: 磁気センサ Y 軸
56byte 目	: 磁気センサ Z 軸
57~100byte 目	: 00 固定
101~102byte 目	: 充電 IC 動作情報
103~105byte 目	: 00 固定

	106~114byte 目 : FF 固定 115~127byte 目 : 00 固定
ID2. 粗履歴データ (256秒間隔で記録されたもの)	r-g-c- ptr -(127Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A ※ID1と同じフォーマットで過去の記録データがダウンリンクされます。
ID3. 詳細履歴データ (2秒間隔記録されたもの)	r-g-c- ptd -(127Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A ※ID1と同じフォーマットで過去の記録データがダウンリンクされます。
ID4. 履歴データ (配信用に抽出されたデータ、600秒間隔で記録されたもの)	r-g-c- pta - (以下の32byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A 1~4byte 目 : 衛星時刻 (HEX) 5byte 目 : 太陽電池 プラス X 面発電電流 6byte 目 : 太陽電池 マイナス X 面発電電流 7byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面発電電流 8byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面発電電流 9byte 目 : 太陽電池 プラス Z 面発電電流 10byte 目 : 太陽電池 マイナス Z 面発電電流 11byte 目 : 二次電池充電電流 12byte 目 : 太陽電池 プラス X 面温度 13byte 目 : 太陽電池 マイナス X 面温度 14byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面温度 15byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面温度 16byte 目 : 太陽電池 プラス Z 面温度 17byte 目 : 太陽電池 マイナス Z 面温度 18byte 目 : 二次電池温度 1 19byte 目 : 二次電池温度 2 20byte 目 : 二次電池温度 3 21byte 目 : ジャイロセンサ X 軸 22byte 目 : ジャイロセンサ Y 軸 23byte 目 : ジャイロセンサ Z 軸 24byte 目 : 磁気センサ X 軸 25byte 目 : 磁気センサ Y 軸 26byte 目 : 磁気センサ Z 軸 27~32byte 目 : 00 固定
ID5. 履歴データ関連パラメータ取得 (現在のデータ記録位置等)	r-g-c- pti -(以下の160Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A 1~4byte 目 : OBC time 5~8byte 目 : OBC time

	<p>9~12byte 目 : OBC time</p> <p>13~32byte 目 : 00 固定</p> <p>33~59byte 目 : FF 固定</p> <p>60~64byte 目 : 00 固定</p> <p>65~68byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>69~73byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>73~76byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>77~80byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>81~84byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>85~88byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>89~92byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>93~96byte 目 : 粗履歴書き込みスレーブ数</p> <p>97~100byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>101~104byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>105~108byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>109~112byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>113~126byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>117~120byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>121~124byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>125~128byte 目 : 粗履歴書き込みページ数</p> <p>129~132byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>133~132byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>137~140byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>141~144byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>145~148byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>149~152byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>153~156byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p> <p>157~160byte 目 : API 履歴書き込みページ数</p>
ID6. 画像データ	<p>r-g-c-rsr-(128byte) + 0x20 0x0D 0x0A</p> <p>※1 パケットで画像の一部 (128byte) がダウンリンクされます。複数パケットのデータを合成することで画像が再生されます。1 枚の画像サイズは画像ごとに変化します (JPEG 圧縮画像)。</p>
ID7. MainOBC 定期リセット解除	<p>r-g-c-mrr + 0x20 0x0D 0x0A</p>

5.3. FM デジトーカーフォーマット

デジトーカーではデータを音声形式で配信します。

デジトーカーの運用は地上からのコマンドにより開始され、1回あたり約5分間にわたり運用される予定です。

デジトーカーを運用する場合は事前にHP等に情報を掲載する予定です。

デジトーカーの運用内容は2種類存在します。以下、解説です。

モード名	内容
メッセージモード	<p>地上からアップロードしたテキスト/数値データから</p> <ul style="list-style-type: none"> ・音声合成チップが音声を生成（テキスト/数値データを読み上げます。） ・モルルス信号を生成 ・メロディーを生成 <p>して、送信します。</p>
データ音楽モード	<p>センサーデータをトーン音に変換して送信します。トーン音への変換アルゴリズムは以下の通りです。トーン音を周波数解析することで、センサーデータの値を知ることが出来ます。</p> <p>■ トーン音変換アルゴリズム</p> <p>センサーからの8ビット(0~255)の生データ d を以下の式で周波数 f[Hz]に変換する。つまり最低音を110[Hz]として、8ビットのデータを64平均律で4オクターブの音域にマッピングする。</p> $f = 110.0 \times 2^{d/64} \text{ [Hz]}$ <p>イントロ：OBC時間 第一部：ジャイロ&磁気センサーデータ 第二部：電圧(バス&電池&太陽電池パネル) 第三部：電流(バス&電池&太陽電池パネル、各種ボード&無線機) 第四部：温度(電池&太陽電池パネル) コーダ：温度(各種ボード&無線機)</p>