

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 |

| | |
|---|---|
| | <p>106~114byte 目 : FF 固定</p> <p>115~127byte 目 : 00 固定</p> |
| <p>ID2. 粗履歴データ (256秒間隔で記録されたもの)</p> | <p>r-g-c-ptr-(127Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A</p> <p>※ID 1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。</p> |
| <p>ID3. 詳細履歴データ (2秒間隔記録されたもの)</p> | <p>r-g-c-ptd-(127Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A</p> <p>※ID 1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。</p> |
| <p>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)</p> | <p>r-g-c-pta- (以下の32byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A</p> <p>1~4byte 目 : 衛星時刻 (HEX)</p> <p>5byte 目 : 太陽電池 プラス X 面発電電流</p> <p>6byte 目 : 太陽電池 マイナス X 面発電電流</p> <p>7byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面発電電流</p> <p>8byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面発電電流</p> <p>9byte 目 : 太陽電池 プラス Z 面発電電流</p> <p>10byte 目 : 太陽電池 マイナス Z 面発電電流</p> <p>11byte 目 : 二次電池充電電流</p> <p>12byte 目 : 太陽電池 プラス X 面温度</p> <p>13byte 目 : 太陽電池 マイナス X 面温度</p> <p>14byte 目 : 太陽電池 プラス Y 面温度</p> <p>15byte 目 : 太陽電池 マイナス Y 面温度</p> <p>16byte 目 : 太陽電池 プラス Z 面温度</p> <p>17byte 目 : 太陽電池 マイナス Z 面温度</p> <p>18byte 目 : 二次電池温度 1</p> <p>19byte 目 : 二次電池温度 2</p> <p>20byte 目 : 二次電池温度 3</p> <p>21byte 目 : ジャイロセンサ X 軸</p> <p>22byte 目 : ジャイロセンサ Y 軸</p> <p>23byte 目 : ジャイロセンサ Z 軸</p> <p>24byte 目 : 磁気センサ X 軸</p> <p>25byte 目 : 磁気センサ Y 軸</p> <p>26byte 目 : 磁気センサ Z 軸</p> <p>27~32byte 目 : 00 固定</p> |
| <p>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)</p> | <p>r-g-c-pti-(以下の160Byte データ) + 0x20 0x0D 0x0A</p> <p>1~4byte 目 : OBC time</p> <p>5~8byte 目 : OBC time</p> |

| | |
|-----------------------|--|
| | <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にも出来ます。</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> |