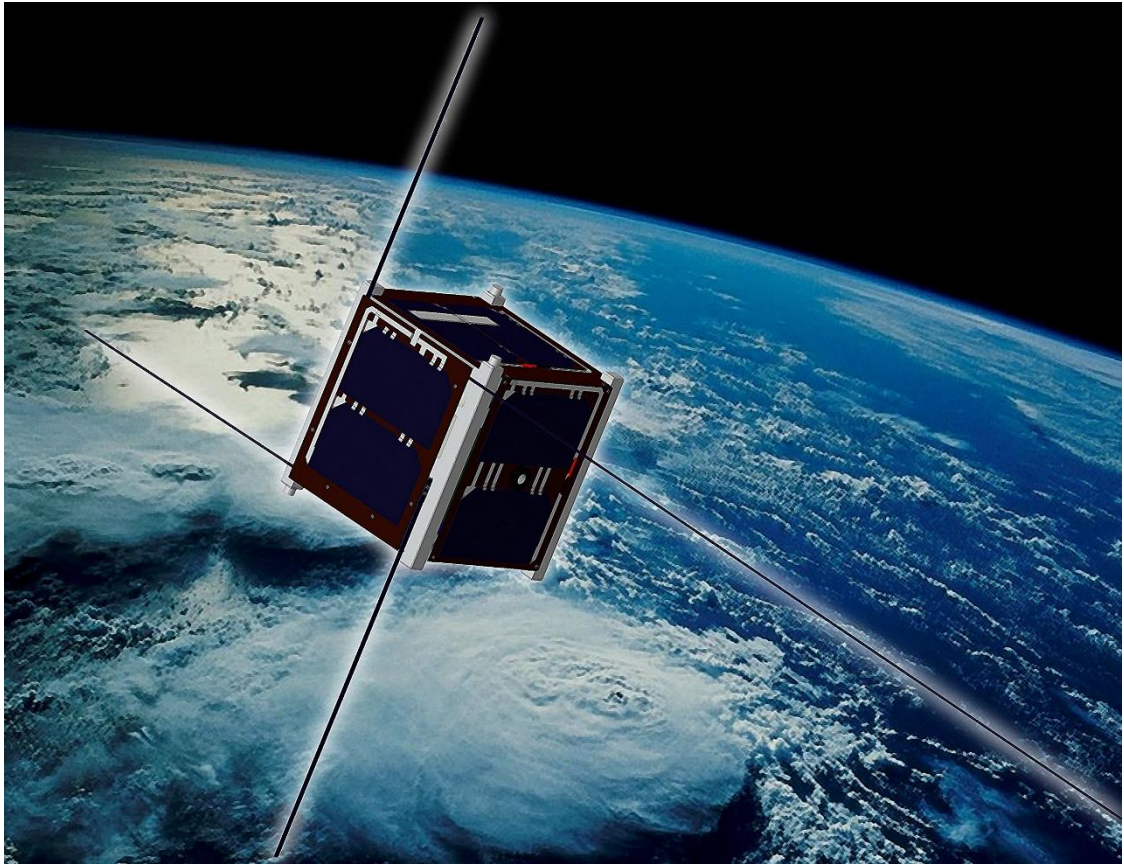




# アマチュア通信技術実証衛星「NEXUS」

## 「FM(バス通信機)ダウンリンクフォーマット」

版：第1版

作成日：2018/10/26

## 改訂履歴

| ver | 作成日        | 改訂内容 | 作成者 | 承認 |
|-----|------------|------|-----|----|
| 1.0 | 2018/10/26 | 初版   | 中村壮 |    |
|     |            |      |     |    |

## 1. フォーマット概要

ここでは、FM(バス無線機)のダウンリンクフォーマットの概要について述べる。ダウンリンクデータの具体的な中身については2章「データ内容」を参照。ダウンリンクフォーマットの概要は以下のようになっている。

Table 1 FM(バス無線機)ダウンリンクフォーマット概要

| 項目           | 詳細                                                                |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| 変調方式         | AFSK1200bps (NRZI 方式)<br>GMSK9600bps (NRZI 方式, 17Bit LFSR スクランブル) |
| プロトコル        | AX.25                                                             |
| INFO 部データサイズ | 12~256 [bytes]                                                    |
| データ内容        | HK データ, 画像データ, 電界強度データ                                            |

変調方式は AFSK1200bps / GMSK9600bps であり, アマチュア無線で一般に使われている TNC でデコード可能である。

## 2. データ内容

ここでは、FM(バス無線機)が送信するデータの具体的な中身について述べる。具体的なダウンリンクデータの中身は以下の5通りである。

|                                |                 |             |        |               |            |                 |               |                  |            |                  |
|--------------------------------|-----------------|-------------|--------|---------------|------------|-----------------|---------------|------------------|------------|------------------|
| (1) HK data download           | 0<br>識別番号: 0xA0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>...   | 82<br>センシングデータ① | 83<br>...     | 160<br>センシングデータ② | 161<br>... | 238<br>センシングデータ③ |
| (2) Realtime HK data download  | 0<br>識別番号: 0xA1 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>...   | 82<br>センシングデータ  |               |                  |            |                  |
| (3) FI data download           | 0<br>識別番号: 0xB0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>...   | 163<br>電界強度データ  |               |                  |            |                  |
| (4) CAM FEPRM Status Downlink① | 0<br>識別番号: 0xC0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>ROM番号 | 6<br>...        | 13<br>セクタ空き情報 |                  |            |                  |
| ②                              | 0<br>識別番号: 0xC0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>セクタ番号 | 6<br>...        | 19<br>ステータス情報 |                  |            |                  |
| ③                              | 0<br>識別番号: 0xC0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>セクタ番号 | 6<br>...        | 19<br>セクタ空き情報 |                  |            |                  |
| ④                              | 0<br>識別番号: 0xC0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>セクタ番号 | 6<br>...        | 19<br>セクタ空き情報 |                  |            |                  |
| ⑤                              | 0<br>識別番号: 0xC0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>セクタ番号 | 6<br>...        | 19<br>セクタ空き情報 |                  |            |                  |
| (5) Image data download        | 0<br>識別番号: 0xC1 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>...   | 163<br>画像データ    |               |                  |            |                  |

を16回繰り返す  
を16回繰り返す  
を16回繰り返す  
を15回繰り返す

Figure 1 ダウンリンクデータ内容

全てのパケットについて、識別番号(そのパケットが何のデータであるか), パケット番号(データを送り始めて何番目のパケットであるか), アップリンク回数(衛星がアップリンクされた回数は何回か)という3つの情報が、5バイトで付加される。それぞれのダウンリンクデータについての説明を以下に述べる。

## 2.1. HK data download

C&DH に保存したされている HK データを読み出し、送信する。識別番号は 0xA0。1 パケットにおけるデータ内容を以下に示す。

|                      |                 |             |        |               |          |                 |           |                  |            |                  |
|----------------------|-----------------|-------------|--------|---------------|----------|-----------------|-----------|------------------|------------|------------------|
| (1) HK data download | 0<br>識別番号: 0xA0 | 1<br>パケット番号 | 2<br>3 | 4<br>アップリンク回数 | 5<br>... | 82<br>センシングデータ① | 83<br>... | 160<br>センシングデータ② | 161<br>... | 238<br>センシングデータ③ |
|----------------------|-----------------|-------------|--------|---------------|----------|-----------------|-----------|------------------|------------|------------------|

Figure 2 HK data download データ内容(1 パケット分)

HK データは 78 バイトをひとまとまりとし、1 パケットで 78 バイトの HK データを 3 つまでダウンリンクできる。この 1 パケットに包む HK データの個数はアップリンクにて可変であり、デフォルトは 1 個である。HK データの内訳は以下のようになっている。

Table 2 HK データ内訳

| データ内容                 | データ型   | データ量     |
|-----------------------|--------|----------|
| 衛星時間                  | int 型  | 4 bytes  |
| スイッチ情報                | int 型  | 1 byte   |
| リセット情報                | int 型  | 5 bytes  |
| バッテリー電圧               | long 型 | 2 bytes  |
| バッテリー電流               | long 型 | 2 bytes  |
| 電流データ                 | long 型 | 12 bytes |
| バッテリー温度 1             | long 型 | 2 bytes  |
| バッテリー温度 2             | long 型 | 2 bytes  |
| 5V レギュレータ温度 1         | long 型 | 2 bytes  |
| 5V レギュレータ温度 2         | long 型 | 2 bytes  |
| 3.5V レギュレータ温度         | long 型 | 2 bytes  |
| トランスポンダ用パワーアンプ温度      | long 型 | 2 bytes  |
| QPSK 送信機温度            | long 型 | 2 bytes  |
| FSK 送信機温度             | long 型 | 2 bytes  |
| +x 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| +y 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| +z 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| -x 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| -y 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| -z 面温度                | long 型 | 2 bytes  |
| 西無線送信機温度              | long 型 | 2 bytes  |
| 西無線受信機温度              | long 型 | 2 bytes  |
| 温度データ(Gyro)(x,y,z の順) | long 型 | 6 bytes  |
| Gyro データ(x,y,z の順)    | long 型 | 6 bytes  |
| 磁気データ(x,y,z,ref の順)   | long 型 | 8 bytes  |
| 合計                    |        | 78 bytes |

HK データは 16 進数で送信されるため、物理量への換算がそれぞれ必要である。換算式をそれぞれ次項に示す。

#### 2.1.1. 衛星時間

衛星時間は 0.5sec でカウントしているため、次式で換算できる。

$$\text{Time} = 0.5 \times \text{衛星時間(dec)} \quad (1)$$

#### 2.1.2. スイッチ情報

スイッチ情報とは、各サブシステムやコンポーネントがどのような電源状況にあるか、また EPS の運用モードがどのようなものであるかを 1 バイトで表したものである。スイッチ情報はバイナリデータであるので換算は不要である。バイナリデータが意味する情報は以下の通りである。

| 7bit(MSB)        | 6bit           | 5bit                        | 4bit          | 3bit          | 2bit           | 1bit          | 0bit(LSB)     |
|------------------|----------------|-----------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| 強制実行<br>do/don't | ヒーター<br>ON/OFF | 3.5V<br>regulator<br>ON/OFF | CDH<br>ON/OFF | CAM<br>ON/OFF | QPSK<br>ON/OFF | FSK<br>ON/OFF | TPR<br>ON/OFF |

< 注 >

強制実行：電力状態の如何にかかわらず、運用可能にすること。

#### 2.1.3. リセット情報

リセット情報は各サブシステムのリセット回数がそれぞれ 1 バイト(バイナリ)で送信される。5 バイトの内訳は以下の通りである。

| reset info[0] | reset info[1] | reset info[2] | reset info[3] | reset info[4] |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| FMR           | CDH           | CW            | EPS           | SG            |

## 2.1.4. バッテリ電圧

バッテリ電圧は以下の式で換算できる.

$$\text{Bus Voltage [V]} = 5 \times \text{data} \div 4096 \quad (2)$$

## 2.1.5. バッテリ電流

バッテリ電流は以下の式で換算できる.

$$\begin{aligned} \text{Vdata} &= 5 \times \text{data} \div 4096 \\ \text{Bus Current [mA]} &= \text{Vdata} \div 0.0005 \end{aligned} \quad (3)$$

## 2.1.6. 電流データ

電流データは以下の式で換算できる.

$$\begin{aligned} \text{Vdata} &= 5 \times \text{data} \div 4096 \\ \text{Bus Current [mA]} &= \text{Vdata} \div 0.01 \end{aligned} \quad (4)$$

## 2.1.7. 温度データ

温度データは以下の式で換算できる.

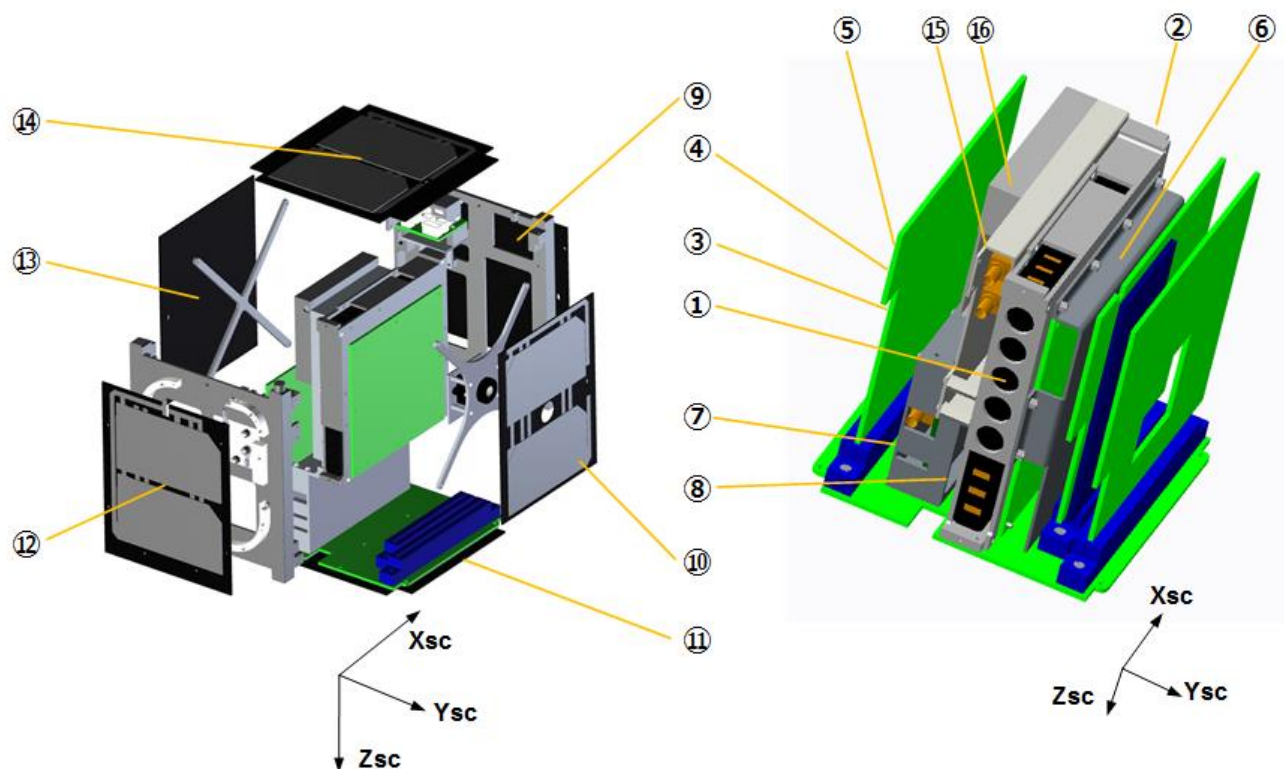
$$\begin{aligned} \text{Tdata} &= 5 \times \text{data} \div 4096 \\ \text{Temp [}^{\circ}\text{C]} &= \text{A} \times \text{Tdata} + \text{B} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで, A,B はセンサ固有の値である. この値は以下の表の通りである.

Table 3 センサごとの各値

| 番号 | 項目               | A      | B   |
|----|------------------|--------|-----|
| ①  | バッテリ温度 1         | -37.50 | 127 |
| ②  | バッテリ温度 2         | -36.83 | 126 |
| ③  | 5V レギュレータ温度 1    | -37.38 | 127 |
| ④  | 5V レギュレータ温度 2    | -37.06 | 126 |
| ⑤  | 3.5V レギュレータ温度    | -36.95 | 125 |
| ⑥  | トランスポンダ用パワーアンプ温度 | -37.19 | 126 |
| ⑦  | QPSK 送信機温度       | -37.56 | 128 |
| ⑧  | FSK 送信機温度        | -36.89 | 125 |
| ⑨  | +x 面温度           | -37.33 | 127 |
| ⑩  | +y 面温度           | -37.35 | 127 |
| ⑪  | +z 面温度           | -37.14 | 126 |
| ⑫  | -x 面温度           | -37.27 | 127 |
| ⑬  | -y 面温度           | -37.02 | 125 |
| ⑭  | -z 面温度           | -37.04 | 127 |
| ⑮  | 西無線送信機温度         | -37.67 | 126 |
| ⑯  | 西無線受信機温度         | -37.72 | 128 |

温度センサの貼り付け位置を以下に示す.



| 番号 | 項目               | 番号 | 項目       |
|----|------------------|----|----------|
| ①  | バッテリー温度 1        | ⑨  | +x 面温度   |
| ②  | バッテリー温度 2        | ⑩  | +y 面温度   |
| ③  | 5V レギュレータ温度 1    | ⑪  | +z 面温度   |
| ④  | 5V レギュレータ温度 2    | ⑫  | -x 面温度   |
| ⑤  | 3.5V レギュレータ温度    | ⑬  | -y 面温度   |
| ⑥  | トランスポンダ用パワーアンプ温度 | ⑭  | -z 面温度   |
| ⑦  | QPSK 送信機温度       | ⑮  | 西無線送信機温度 |
| ⑧  | FSK 送信機温度        | ⑯  | 西無線受信機温度 |

Figure 3 温度センサ貼り付け位置

## 2.1.8. Gyro 温度データ

Gyro 温度データは該当データを 10bit の符号付整数として扱うことで、以下の式により換算できる。

$$\text{Gyro Temp} = 0.2 \times \text{data}(\text{signed}) + 45 \quad (6)$$

## 2.1.9. Gyro データ

Gyro データは該当データを符号付整数として扱うことで、以下の式により換算できる。

$$\text{Rate Data [dec/sec]} = \text{data}(\text{signed}) \times 0.0125 \quad (7)$$

## 2.1.10. 磁気データ

磁気データは以下の式で換算できる。

$$\begin{aligned} \text{Mdata} &= 5 \times \text{data} \div 4096 \\ \text{Gauss [nT]} &= \text{Mdata} \div 10e-5 \end{aligned} \quad (8)$$

## 2.2. Realtime HK data downlink

0.5s ごとに出力される HK データをリアルタイムに送信する。識別番号は 0xA1。1 パケットにおけるデータ内容を以下に示す。

|                               |           |        |   |   |          |          |     |    |
|-------------------------------|-----------|--------|---|---|----------|----------|-----|----|
| (2) Realtime HK data downlink | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5        | ... | 82 |
|                               | 識別番号:0xA1 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | センシングデータ |     |    |

Figure 4 Realtime HK data downlink データ内容(1 パケット分)

HK データ内容は 2.1 節を参照。

## 2.3. FI data downlink

C&DH に保存された FI(Field Intensity : 電界強度)データをダウンリンクする。識別番号は 0xB0。電界強度データは 256 バイトをひとまとまりとする。以下に電界強度データの内訳を示す。

| データ内容 | データ量      |
|-------|-----------|
| 衛星時間  | 4 bytes   |
| 電界強度  | 252 bytes |
| 合計    | 256 bytes |

電界強度データは 1 プロット 2 バイトであり、測定開始時に測定間隔を 10s と 60s の 2 つからアップリンクにより選択する。測定間隔が 10s の時は、測定開始時の衛星時間と 252 バイト分のプロット数である 126 プロット分が 10s ごとに C&DH に保存される。電界強度データは 16 進数で送信されるため、物理量への換算がそれぞれ必要である。換算式をそれぞれ次項に示す。

## 2.3.1. 衛星時間

物理量への換算は 2.1.1 節参照。

## 2.3.2. 電界強度

トランスポンダ基板に搭載している LOG アンプ AD8307 から PIC マイコンへの入力電圧を  $V_{in}$ 、PIC マイコン内で AD 変換した際の値を AD とすると、 $V_{in}$  は次のように求められる。

$$V_{in} = AD \times \frac{2.048}{1024} [V] \quad (9)$$

地上で測定したデータを基に求めた入力電圧  $V_{in}$  [V] と電界強度  $emf$  [dBm] の関係式より、 $emf$  は次のように求められる。ただし、 $emf$  が  $-80 \sim -20$  [dBm] の値のときのみ次式を適応することとする。

$$emf = 121.89 \times V_{in}^3 - 574.69 \times V_{in}^2 + 953.85 \times V_{in} - 607.93 [V] \quad (10)$$

電界強度データダウンリンクでは、1 パケットに電界強度データを 159 バイトしかデータを包み込めない。そのため電界強度データは次ページに示す表のように送られてくる。

Table 4 電界強度データとパケット番号の関係

| パケット番号 | INFO 部内容 | データ量      |
|--------|----------|-----------|
| 0      | 衛星時間     | 4 bytes   |
|        | 電界強度     | 155 bytes |
| 1      | 電界強度     | 101 bytes |
|        | 衛星時間     | 4 bytes   |
|        | 電界強度     | 54 bytes  |
| 2      | 電界強度     | 159 bytes |
| 3      | 電界強度     | 43 bytes  |
|        | 衛星時間     | 4 bytes   |
|        | 電界強度     | 112 bytes |
| ⋮      | ⋮        | ⋮         |

## 2.4. CAM FEPROM status downlink

カメラシステムの FEPROM の保存状況を読み出し、送信する。識別番号は 0xC0。CAM FEPROM status データはデータ容量が大きいため 8 パケットに分けて送信される。8 パケット分のデータを以下に示す。

| (4) CAM FEPROM Status Downlink① | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 13 |
|---------------------------------|-----------|--------|---|---|----------|-------|---------|-----|----|
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | ROM番号 | セクタ空き情報 |     |    |
| ②                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ③                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ④                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ⑤                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ⑥                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ⑦                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |
| ⑧                               | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | 6       | ... | 19 |
|                                 | 識別番号:0xC0 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | セクタ番号 | ステータス情報 |     |    |

を10回繰り返す

を10回繰り返す

を10回繰り返す

を10回繰り返す

を10回繰り返す

を10回繰り返す

を3回繰り返す

Figure 5 CAM FEPROM status downlink データ内容(8 パケット分)

パケット①について

ROM 番号 : CAM に搭載されている 2 つの ROM のうちどちらのステータス情報であるか  
 セクタ空き情報 : ROM 各セクタ(0-63)内のデータの有無

パケット②～⑧について

セクタ番号 : 指定した ROM のどのセクタのステータス情報であるか  
 ステータス情報 : 以下にステータス情報の内訳を示す。

| 項目       | 詳細                         | データ量    |
|----------|----------------------------|---------|
| 撮影時間     | このセクタに保存した写真を撮影した時間        | 4 bytes |
| 画像フォーマット | 撮影画像の画像形式. 詳細は Table 5 参照. | 1 byte  |
| 連写数      | 連写写真撮影枚数                   | 2 bytes |
| データサイズ   | このセクタに保存した写真のデータ容量         | 3 bytes |
| 保存開始アドレス | このセクタに保存した写真の保存開始アドレス      | 3 bytes |

Table 5 CAM 撮影画像フォーマット

| 画像フォーマット(dec) | 内容         |
|---------------|------------|
| 0             | JPEG, QVGA |
| 1             | JPEG, VGA  |

|    |                         |
|----|-------------------------|
| 2  | JPEG, SVGA              |
| 3  | JPEG, HD                |
| 4  | JPEG, FHD               |
| 5  | JPEG, max1(2592×1944)   |
| 6  | RGB565, QVGA            |
| 7  | RGB565, VGA             |
| 8  | RGB565, SVGA            |
| 9  | RGB565, HD              |
| 10 | RGB565, FHD             |
| 11 | RGB565, max2(2203×1652) |

セクタ番号とステータス情報の合わせて 15 バイト×63 セクタ分が②～⑧の 7 パケットに分けて送信される。

## 2.5. Image data downlink

C&DH に保存したされている画像データを読み出し，送信する．識別番号は 0xC1．1 パケットにおけるデータ内容を以下に示す．

|                         |           |        |   |   |          |       |     |     |
|-------------------------|-----------|--------|---|---|----------|-------|-----|-----|
| (5) Image data downlink | 0         | 1      | 2 | 3 | 4        | 5     | ... | 163 |
|                         | 識別番号:0xC1 | パケット番号 |   |   | アップリンク回数 | 画像データ |     |     |

Figure 6 Image data downlink データ内容(1 パケット分)