

### 3章 ソフトウェア設計

この章では本研究で開発した OBC がどのようなアルゴリズムやデータフォーマットを構成しているかを説明する。

#### 3.1 鳳龍式号の CW、FM データのフォーマット

鳳龍式号のアルゴリズムを説明する前に、まず鳳龍式号の CW 及び FM 信号のデータフォーマットについて説明する

##### 3.1.1 CW のデータ構成

CW データは図 3.1 に示すように 11 文字のコールサイン部分と 15 文字のハウスキーピングデータより構成されている。

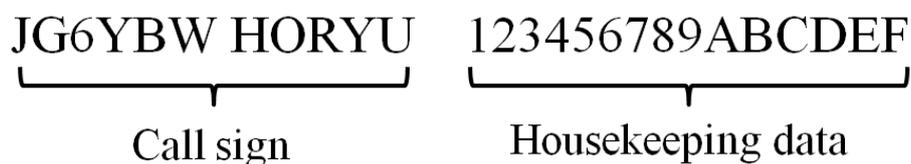


図 3.1 鳳龍式号の CW 型式

コールサインは鳳龍の信号である事を認識するために使用することが目的で有ると同時にアマチュア無線を使用する際に最初に入れないといけない物で有る。ハウスキーピングデータは 1 文字辺り 4bit のデータあり、2 文字でセンサデータの値を表している。図 3.2 にハウスキーピングデータの詳細を示す。

|                 |   |                       |   |                       |   |                           |   |
|-----------------|---|-----------------------|---|-----------------------|---|---------------------------|---|
| 1               | 2 | 3                     | 4 | 5                     | 6 | 7                         | 8 |
| Vref            |   | Battery temperature_1 |   | Battery temperature_2 |   | Communication temperature |   |
| 9               | A | B                     | C | D                     | E | F                         |   |
| Battery current |   | Battery voltage       |   | OBC Status data       |   |                           |   |

図 3.2 ハウスキーピングデータ詳細

OBC ステータスデータは図 3.3 に示すように予約コマンドの有無や、ミッション中かどうか、kill スイッチ等の情報を表しており全部で 12bit のデータから構成されている。Clock は 2.4 章で説明した時間データ生成の為に 4Hz の割り込みが正常に来ているかを判断する項目である。FLASH の動作確認については 2.7 章で説明した Read Identification (FLASH の動作確認に仕様) コマンドを FLASH メモリに送信し、正常な返答信号が返ってくるかどうかで FLASH メモリの簡易的な故障判定を行っている。Switch\_Share 及び Swith\_300 は 2.7 章の図??メモリ構成内の Multiplexer の事を差しており、正常なラインの切り替えが行えているか判断している。Debris はミッション機器として搭載されているデブリ基板にデブリが衝突した反応があるか無いかを表している。Reservation command は衛星に予約コマンドが入っておりコマンドのスタンバイ状態になっているかを表す項目である。Mission or Normal は現在の衛星の運用状態を表しており、通常運用状態か何かのミッションを行っているかを表すステータス値である。最後の Kill Switch のステータスは衛星のバッテリーを完全に放電するための回路の状態を表している。また時折 H8 Main から H8 COM への CW データの引き渡しに失敗する場合があるためその時の CW データはすべて 0 が出力される。

| D                                  |   |                                     |  |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| 12                                 | 11                                      | 10                                  | 9  |
| Clock<br>Normal:1 Trouble:0        | FLASH_Main<br>Normal:1 Trouble:0        | FLASH_Share<br>Normal:1 Trouble:0   | FLASH_300<br>Normal:1 Trouble:0            |
| E                                  |   |                                     |  |
| 8                                  | 7                                       | 6                                   | 5  |
| Switch_Share<br>Normal:1 Trouble:0 | Switch_300<br>Normal:1 Trouble:0        | Debris<br>Normal:1 Hits:0           | Reservation command<br>Reserve:1 Nothing:0 |
| F                                  |   |                                     |  |
| 4                                  | 3                                       | 2                                   | 1  |
| N/A                                | Mission or Normal<br>Mission:1 Normal:0 | Kill Switch_Main<br>Normal:1 Kill:0 | Kill Switch_COM<br>Normal:1 Kill:0         |

図 3.3 OBC のステータスデータ詳細

### 3.1.2 FM アップリンクのデータ構成

実際の衛星の運用では衛星に指示を送るために電波を使用して指令を送信しなければならない。この行為をアップリンクといい、鳳龍式号では FM 通信を使用して 145Mhz 帯のアマチュア無線帯を使用し行う。アップリンクの詳細なデータは衛星運用上重要なためにすべては示す事はできないために概要を示す。

| 1byte                 | 2~3byte | 4~8byte      | 9byte      | 10byte                |
|-----------------------|---------|--------------|------------|-----------------------|
| Identification signal | Reserve | Command Data | Check byte | Identification signal |

図 3.4 アップリンクコマンドのフォーマット概要

アップリンクコマンドは全部で 10byte のデータから構成され、認識信号、予約情報、コマンド情報、及びデータの正誤を確かめる check byte から構成されている。(Check byte については 3.2.2 にて詳細に説明を行う) 鳳龍式号はこのデータを受け取ると H8\_COM で簡易的なコマンドチェックを行い、鳳龍式号のコマンドとして認識するとデータを H8\_Main に引き渡し、詳細なコマンド解析をおこない地上からの指示を実行する。

### 3.1.3 FM ダウンリンクのデータ構成

FM ダウンリンクデータは1 パケット当たり 86byte であり、図 3.5 に示すように識別信号と読み出しているデータの FLSAH メモリのアドレスを含むヘッダとセンサデータやミッションデータが含まれるミッションデータ情報、及び識別信号とデータチェック用の信号を含むフッタより構成されている。

| HORYU Down-link formation  |  |                                 |  |  |  |   |  |
|--|--|---------------------------------|--|--|--|---|--|
| 0~4byte  |  | 5~81byte(67~81 are reserve)     |  |  |  | 82~85byte目  |  |
| <b>Header information ※2</b><br>Identification signal +<br>Address information on data |  | <b>Mission data information</b> |  |  |  | <b>Footer information ※3</b><br>Identification signal +<br>Check byte |  |

| ※2 Header information |       |                        |                |              | ※3 Footer information |              |        |        |
|-----------------------|-------|------------------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------|--------|--------|
| 0byte                 | 1byte | 2byte                  | 3byte          | 4byte        | 82byte                | 83byte       | 84byte | 85byte |
| 0xdd                  | 0xdd  | Page Number<br>(0~255) | Refer to<br>※4 | Hamming code | CRC                   | Hamming code | 0xaa   | 0xaa   |

| Sector number 4bit , Unit number 1bit, Data-processing method 3bit                         |       |       |       |   |  |   |       |       |
|--|-------|-------|-------|---|--|---|-------|-------|
| 7bit目  | 6bit目 | 5bit目 | 4bit目 | 3bit目   |  | 2bit目   | 1bit目 | 0bit目 |
| <b>Sector information</b><br>The sector number of the transmitted data is inserted by 0~15 |       |       |       | <b>Unit number</b><br>Since the page is used by two division, the first half or the second half is expressed (0 or 1) |  | <b>Data-processing method</b><br>1:sensor data 2:N/A 3:Trek<br>4:ELF 5:300V 6:Camera data |       |       |

図 3.5 FM ダウンリンクのデータ構成

ヘッダ部分は 5byte のデータで構成されており、0、1byte 目に識別信号である【0xdd】が入っている。また 2~4byte 目にはパケットデータ内のミッションデータの種別を判別するためのデータ処理方法と読み出した FLSAH メモリのアドレス値が分かるようにセクター番号、ページ番号、ユニット番号と呼ばれる数値が挿入されている。

鳳龍式号ではデータを保存する際に FLSAH の 1 ページ (256byte) を 2 分割して使用しており前半部分をユニット番号 : 0、後半部分をユニット番号 : 1 としている。このようなアドレスデータをヘッダに組み込んでいる理由は送られてくるデータのアドレス値を地上側で把握できる事によりデータの抜けを把握することができ、そのデータだけを再送するように指定することができるためである。

データ処理方法は地上側でのデコードのしやすさを目的に挿入しており、地上側のデータ解析プログラムではこの値をみることにより、ダウンリンクされたパケットデータの種別を自動的に判別し、そのパケットにあった解析を行う事ができる。

フッタ部分は Check byte とハミング符号、及び識別データの合計 4byte のデータより構成されている。(Check byte については 3.2.2 にて詳細に説明を行う) ハミング符号

はデータ訂正符号の一種であり、1bit までのデータを訂正できる訂正符号である。（詳細は3.2.1にて述べる）フッタ部分の終わりにはデータの終了を示すための識別信号である【0xaa】が付加されている。

ミッションデータ部分は各ミッションによってデータフォーマットが異なっているため以下にその詳細を示す。

### ■ センサデータ

| Data Number | Sensor data                 | Data Number | Sensor data                | Data Number | Sensor data                 |
|-------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|-----------------------------|
| 0~4         | Header information          | 32          | Solar cell Volt -Z         | 59          | Panel temperature -X        |
| 5           | Date of acquisition (2byte) | 33          | Solar cell Volt +X         | 60          | Communication temperature   |
| 6           | Date of acquisition (2byte) | 34          | ↑ Humming code for 2 bytes | 61          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 7           | ↑ Humming code for 2 bytes  | 35          | Gyro Sensor 1              | 62          | Battery 2 temperature       |
| 8           | Hour of acquisition         | 36          | Gyro Sensor 1              | 63          | Battery 1 temperature ※     |
| 9           | Min of acquisition          | 37          | ↑ Humming code for 2 bytes | 64          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 10          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 38          | Gyro Sensor 2              | 65          | Battery 2 temperature ※     |
| 11          | Solar cell Current +X       | 39          | Gyro Sensor 2              | 66          | Communication temperature ※ |
| 12          | Solar cell Current +Y       | 40          | ↑ Humming code for 2 bytes | 67          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 13          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 41          | Gyro Sensor 3              | 68          | Battery Volt ※              |
| 14          | Solar cell Current -Y       | 42          | Gyro Sensor 3              | 69          | Battery Current ※           |
| 15          | Solar cell Current +Z       | 43          | ↑ Humming code for 2 bytes | 70          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 16          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 44          | Temperature Gyro 1         | 71          | Deburis                     |
| 17          | Solar cell Current -Z       | 45          | Temperature Gyro 2         | 72          | Mission log                 |
| 18          | Battery Current             | 46          | ↑ Humming code for 2 bytes | 73          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 19          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 47          | Temperature Gyro 3         | 74          | Present day                 |
| 20          | DCDC3.3 Current             | 48          | Panel temperature -Y       | 75          | Present day                 |
| 21          | DCDC5 Current               | 49          | ↑ Humming code for 2 bytes | 76          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 22          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 50          | Panel temperature +Z       | 77          | Present hour                |
| 23          | N/A                         | 51          | N/A                        | 78          | Present min                 |
| 24          | Vref Volt                   | 52          | ↑ Humming code for 2 bytes | 79          | ↑ Humming code for 2 bytes  |
| 25          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 53          | Battery 1 temperature      | 80          | N/A                         |
| 26          | Battery Volt                | 54          | Panel temperature +Y       | 81          | N/A                         |
| 27          | Solar cell Volt +Y          | 55          | ↑ Humming code for 2 bytes | 82~85       | Footer information          |
| 28          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 56          | Panel temperature -Z       |             |                             |
| 29          | Solar cell Volt -Y          | 57          | Panel temperature +X       |             |                             |
| 30          | Solar cell Volt +Z          | 58          | ↑ Humming code for 2 bytes |             | ※Backup ADC                 |
| 31          | ↑ Humming code for 2 bytes  |             |                            |             |                             |

図 3.6 センサデータフォーマット

ADC の分解能は 12bit だが 2.5 章で説明したようにジャイロセンサを除いて下位 4bit を削り、8bit のデータとしてパケットデータに組み込んでいる。

以下のミッションデータはそれぞれ2つのパケット構成を持っており、ミッションを行った際のデータ（開始時間、ミッション時間等）で構成されるシステムデータ、及びミッション結果で構成されるミッションデータがある。地上からダウンリンクを指示した場合1パケット目にシステムデータがダウンリンクされたのちに2パケット目以降にミッションデータがダウンリンクされる。

### ■Trek、ELF ミッション

| Data Number | Trek_ELF System information  | Data Number | Trek_ELF System information | Data Number | Trek_ELF Data information  |
|-------------|------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|
| 0~4         | Header information           | 29          | Trek Initial value 1        | 0~4         | Header information         |
| 5           | Date of acquisition (2byte)  | 30          | Trek Initial value 2        | 5           | Trek Data 1                |
| 6           | Date of acquisition (2byte)  | 31          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 6           | SCM Data 1                 |
| 7           | ↑ Humming code for 2 bytes   | 32          | Trek Initial value 3        | 7           | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 8           | Hour of acquisition          | 33          | Trek Initial value 4        | 8           | ELF Data 1                 |
| 9           | Min of acquisition           | 34          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 9           | 0x00                       |
| 10          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 35          | Trek Initial value 5        | 10          | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 11          | Mission time                 | 36          | Trek Initial value 6        | 11          | Trek Data 2                |
| 12          | Mission time                 | 37          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 12          | SCM Data 2                 |
| 13          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 38          | Trek Initial value 7        | 13          | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 14          | Sampling rate                | 39          | Trek Initial value 8        | 14          | ELF Data 2                 |
| 15          | 0x00                         | 40          | ↑ Humming code for 2 bytes  | 15          | 0x00                       |
| 16          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 41          | Trek Initial value 9        | 16          | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 17          | Mission mode                 | 42          | Trek Initial value 10       | 17~76       | Repet                      |
| 18          | missions completed normally? | 43          | ↑ Humming code for 2 bytes  |             |                            |
| 19          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 44~81       | N/A                         | 77~81       | N/A                        |
| 20          | Packet number                |             | ...                         |             | ...                        |
| 21          | Packet number                |             | N/A                         |             | N/A                        |
| 22          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 82~85       | Footer information          | 82~85       | フッタ情報                      |
| 23          | Date of end mission (2byte)  |             |                             |             |                            |
| 24          | Date of end mission (2byte)  |             |                             |             |                            |
| 25          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                             |             |                            |
| 26          | Hour of end mission (2byte)  |             |                             |             |                            |
| 27          | Min of end mission (2byte)   |             |                             |             |                            |
| 28          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                             |             |                            |

図 3.7 ELF ミッションのダウンリンクフォーマット

図 3.7~3.9 の各ミッションフォーマットのシステムデータ部は同じようなデータ構成をとっており、それぞれのデータの説明を行う。5,6,8,9 番のデータよりミッションの開始時間を取得することができる。また 14 番にミッションが行われた際のサンプリングレートが記載されているため、データ数と組み合わせることでそのデータがいつ取得したものかを把握することができる。11,12 番のミッションタイムは地上からのアップリンクコマンドで指定されたミッションの稼働時間である。23,24,26,27 番からはミッションの終了時刻を把握することができ、このデータはアップリンクコマンドで指定されたミッションの稼働時間の間正常に稼働し続けたかどうかの判断に使用される。

17 番のミッションモードは各ミッションは様々な試験モードを搭載しており、その中のどのミッションを行ったかという情報である。18 番はミッションが正常に終了し

たか、異常が発生したかを示すデータである。20,21 はミッションが行われた際に取得したデータが何パケット分になるかという情報を記す場所となっており、データのダウンリンクする際に参考にする。

■ 300V ミッション

| Data Number | 300V System information      | Data Number | 300V Mission data          |
|-------------|------------------------------|-------------|----------------------------|
| 0~4         | Header information           | 0~4         | Header information         |
| 5           | Date of acquisition (2byte)  | 5           | Data 1                     |
| 6           | Date of acquisition (2byte)  | 6           | Data 2                     |
| 7           | ↑ Humming code for 2 bytes   | 7           | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 8           | Hour of acquisition          | 8~79        | Repet                      |
| 9           | Min of acquisition           |             |                            |
| 10          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 80,81       | N/A                        |
| 11          | Mission time                 |             | N/A                        |
| 12          | Mission time                 | 82~85       | Footer information         |
| 13          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 14          | Mission mode                 |             |                            |
| 15          | 0x14                         |             |                            |
| 16          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 17          | missions completed normally? |             |                            |
| 18          | Packet Number                |             |                            |
| 19          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 20          | Date of end mission (2byte)  |             |                            |
| 21          | Date of end mission (2byte)  |             |                            |
| 22          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 23          | Hour of end mission          |             |                            |
| 24          | Min of end mission           |             |                            |
| 25          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 26~81       | N/A                          |             |                            |
|             | ...                          |             |                            |
|             | N/A                          |             |                            |
| 82~85       | Footer information           |             |                            |

図 3.8 300V ミッションのフォーマット

## ■ Scamp ミッション

| Data Number | Camera System information    | Data Number | Camera Data information    |
|-------------|------------------------------|-------------|----------------------------|
| 0~4         | Header information           | 0~4         | Header information         |
| 5           | Date of acquisition (2byte)  | 5           | Data                       |
| 6           | Date of acquisition (2byte)  | 6           | Data                       |
| 7           | ↑ Humming code for 2 bytes   | 7           | ↑ Humming code for 2 bytes |
| 8           | Hour of acquisition          | 8~79        | Repet                      |
| 9           | Min of acquisition6          |             |                            |
| 10          | ↑ Humming code for 2 bytes   | 80,81       | N/A                        |
| 11          | Mission Infomation           |             |                            |
| 12          | Mission Information          | 82~85       | Footer information         |
| 13          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 14          | Mission mode                 |             |                            |
| 15          | missions completed normally? |             |                            |
| 16          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 17          | Packet Number                |             |                            |
| 18          | Packet Number                |             |                            |
| 19          | ↑ Humming code for 2 bytes   |             |                            |
| 20~81       | N/A                          |             |                            |
|             | ...                          |             |                            |
|             | N/A                          |             |                            |
| 82~85       | Footer information           |             |                            |

図 3.9 Scamp ミッションのフォーマット

### 3.2 データチェック方法

衛星の運用ではデータ保存中（鳳龍式号では FLSAH メモリ内にあるデータ）及びダウンリンク中にノイズ等により、データが本来のものから変更されてしまう場合がある。そのまま衛星より受信したデータをそのまま解析してしまうと衛星が現在置かれている状態や、ミッション結果について間違って認識してしまう可能性がある。そこで鳳龍式号では1つのデータチェック符号と1つのデータ訂正符号を使用し送信されてきたデータが取得したときと同じデータであるかどうかの判別を行っている。

#### 3.2.1 ハミング訂正符号（参考文献：情報理論 著者 三木成彦、吉川英機）

ハミング訂正符号はランダムな誤りを検出し訂正を行うことを目的とした巡回符号である。誤りを検知及び訂正を行いたいデータに訂正するための符号を付加する。

ハミング訂正符号は元データ + 符号データから構成され、訂正できるデータ量は符号データの量によって決定される。例えば符号データに 3bit（10進数で 8）使用すると元データ（1~5bit）+ 符号データ（3bit）= 8bit までのデータのうち 1bit までのデータ

反転の訂正が可能となる。符号データに 4bit(10進数で 16)の容量を割いた場合、元データ (1~12bit) + 符号データ (4bit) = 16bit までのデータのうち 1bit までの訂正が可能となる。

元データに付加するための符号データの算出する方法を以下に示す。まず付加する符号データ分だけ元データを上位 bit にシフトさせる。この処理によって生まれたデータを仮に基礎データとする。またシフトさせた bit 量を次数と定義する。(例: 符号データに 3bit 領域を用意した場合、元データを 3bit 上位方向にシフトさせ基礎データを得る。この場合だと次数は 3 になる。) 表 3.1 より次数に対応した生成多項式を得る。生成多項式を得た後は図 3.10 のように基礎データを生成多項式を使い論理和をとっていき、余りを算出する。この計算で得られた余りが符号データとなり、元データを符号データ分シフトさせたところに代入することにより、訂正符号付きのデータを取得する事ができる。なお図 3.10 の場合は元データを 1101、符号データ量を 3bit として、符号データの算出を行っている。

表 3.1 生成多項式一覧

| 次数 m | 生成多項式 (2進数表示)    | 次数 m | 生成多項式 (2進数表示)          |
|------|------------------|------|------------------------|
| 1    | $x+1(11)$        | 5    | $x^5+x^2+1(1000101)$   |
| 2    | $x^2+x+1(111)$   | 6    | $x^6+x+1(10000011)$    |
| 3    | $x^3+x+1(1011)$  | 7    | $x^7+x^3+1(100001001)$ |
| 4    | $x^4+x+1(10011)$ |      |                        |

|  |   |
|--|---|
| $  \begin{array}{r}  1011 \overline{) 1101000} \\  \underline{1011} \phantom{000} \\  1100 \phantom{00} \\  \underline{1011} \phantom{0} \\  1110 \phantom{0} \\  \underline{1011} \phantom{0} \\  1010 \phantom{0} \\  \underline{1011} \\  001  \end{array}  $ | <p>Ex: Original data = 1101    Mark data = 3bit(001)</p> <p>Generating polynomial = 1011</p> <p>Basic data = 1101000</p> <p>Original data + Mark data = 1101001</p> |
|--|---|

図 3.10 ハミング訂正符号付きデータの算出方法例

次にデータが反転しているかどうかをチェックする方法について述べる。上記の図 3.10 の場合だと元データデータが 1101 の場合、符号データは 001 となり最終的なデータは 1101001 となる。このデータのうち 1bit が反転したデータである 1001001 のデータ反転をチェックする方法を図 3.11 に示す。

$$\begin{array}{r}
 1011 \overline{) 1001001} \\
 \underline{1011} \phantom{001} \\
 1000 \phantom{001} \\
 \underline{1011} \\
 111
 \end{array}$$

Generating polynomial = 1011

Mistake data = 1001001

Original data + Mark data = 1101001

図 3.11 誤りの訂正方法の例

図 3.11 のように論理和を算出すると最終的に余りとして 111 を得る事ができた。この余りを表 3.2 のシンドロームと一致する場所を検索すると誤り位置が上位 2bit 目であると検知することができる。この 2bit 目は先ほどデータを変更した箇所と一致していることが分かる。

表 3.2 シンドローム表

| 誤り位置       | シンドローム | 誤り位置       | シンドローム |
|------------|--------|------------|--------|
| 1 (上位 bit) | 101    | 5          | 100    |
| 2          | 111    | 6          | 010    |
| 3          | 110    | 7 (下位 bit) | 001    |
| 4          | 011    |            |        |

鳳龍式号ではこのハミング訂正符号を 1byte(8bit)の元データに対して 4bit の符号データをつけ、これをもう 1 セット足すことにより元データ 2byte を符号付きデータ 3byte に変換を行っている。地上側ではこの作業と逆の事を行い元データに変換しデータの収集を行う。図 3.12 に上記の説明を図示したものを示す。

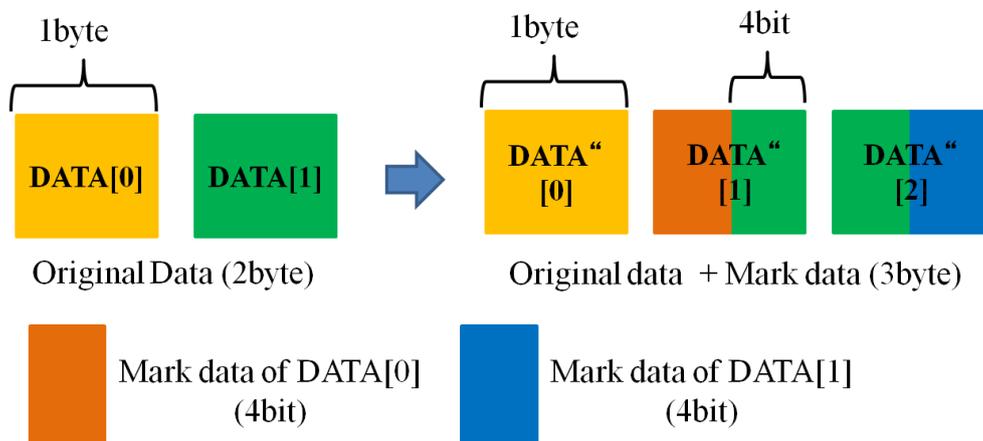


図 3.12 鳳龍式号でのハミング訂正符号の使い方

### 3.2.2 データチェック byte

鳳龍式号ではデータの復元はできないが、元のデータと同じデータかどうか調べるためのチェック値を独自の方法で算出している。計算方法は Check Sum に近く、Check Sum はすべてのデータの値を足した下位 8bit を Check Byte にする方法だが、鳳龍式号ではすべてのデータの xor を算出し導き出された値を Check Byte にしている。メリットとしてはどんなにデータ数が増えても算出される Check Byte は 1byte で出てくる事であり、デメリットはデータが間違っていた場合にも単純計算で 1/256 の確率で正解とみなしてみなす可能性があるという事と間違いが判別できても間違いを訂正することはできないという事である。鳳龍式号では通信速度の関係よりデータチェックに容量を割く事ができないためにこの方式を採用した。

$$\boxed{\text{DATA}[0]} \text{ XOR } \boxed{\text{DATA}[1]} \text{ XOR } \dots \text{ XOR } \boxed{\text{DATA}[n]} = \text{Check Byte}$$

図 3.13 Check byte の算出方法

鳳龍式号ではこのハミング訂正符号と Data Check Byte を組み合わせてデータのダウンリンクを行い、データのロスを防ぐ工夫を行っている。

### 3.3 H8 Main のアルゴリズム

H8 Main は2章で説明したように衛星のミッション制御、時間データの管理、各種センサーデータを行うなど衛星全体の動作を制御している CPU である。以下に H8 Main の簡易的な動作アルゴリズムを示す。

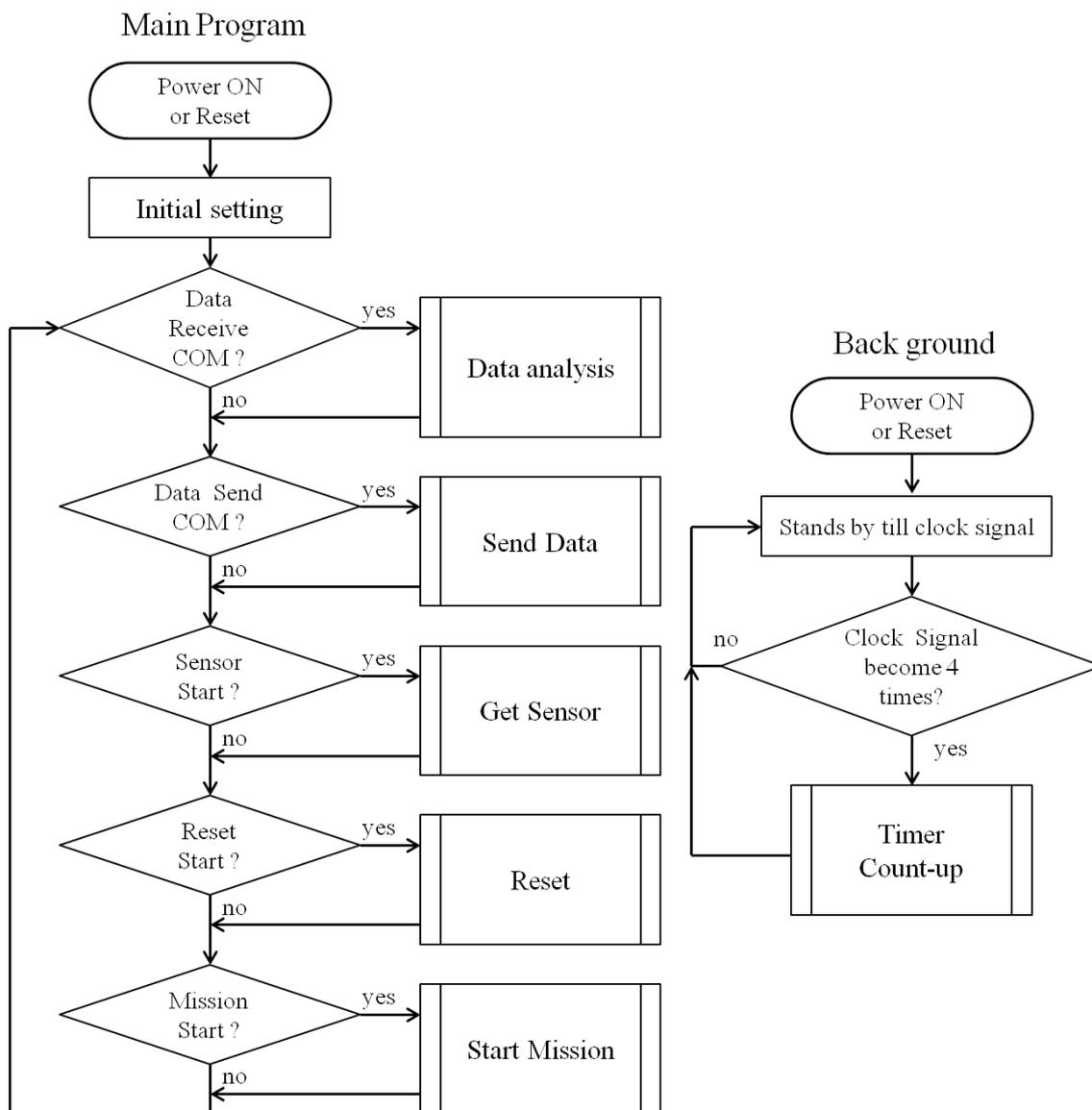


図 3.14 H8 Main の動作アルゴリズム

メインプログラムのアルゴリズムを説明する。初めに電源が入るもしくは H8 にリセットがかかると初期設定が行われる。初期設定とは FLSAH メモリのシステム情報部分から電源投入前もしくはリセット前の状態を読み出し、再びそのデータを再設定（総稼働時間や、FLSAH メモリのアドレス値等）することである。またここでデータを設定すると同時に OBC の各機器が正常に動作しているか自動判定を行う。判定したデータ

の内容は図 3.2 ハウスキーピングデータ詳細の OBC ステータスデータ部分に反映され CW データとして地上に降ろされる。

またメインプログラムと並行して外部クロックから来る 4Hz の信号の割り込みを検知し、時間データの生成を行っている。この時間データはセンサデータの動作タイミングや、予約ミッションを行う際に使用される。また衛星が起動してからどのくらいの時間が経過したか等のデータもここで生成される。

**Data Receive COM** は H8 COM 側から何かデータが来ていないか判断する箇所であり、データが来ていた場合はそのデータを取得、判別するためのデータ解析の関数が実行される。H8 COM 側から来るデータとしてはアップリンクコマンドデータや H8 COM 側の生存信号などがある。H8 COM 側から一定時間以上生存信号が来なかった場合 H8 Main は COM 側に異常が発生したと判断し、H8 COM を強制リセットするウォッチドックタイマーのような役割を果たしている。

**Data send COM** は H8 Main 側が H8 COM 側に送信するデータがあるかどうかを判断する箇所である。この送信 Flag が ON になる動作としては、センサデータを取得後の CW データを引き渡すときや、一定時間毎に H8 COM に送る生存信号などがある。

**Sensor start** はセンサデータ取得タイミングになるとフラグが ON になり、センサデータ取得の関数が実行される。実行されるタイミングはデータを FLSAH メモリに保存するためのデータ取得が 1 回/10 分、その他にも 1 回/2 分のタイミングで CW データを更新するために最新のデータの取得を行っている。

**Reset Start** は Reset 条件を満たすときかどうかを判断する箇所である。Reset 条件の詳細は 3.5 章にて詳細に述べる。リセットがかかるとプログラムは初期位置に戻り、再び初めから実行される。

**Mission Start** はミッションフラグが ON の場合実行され、ミッションモードに入りミッションが実行される。ミッションフラグが入る条件としては H8 COM からコマンドデータを読み込んだ時、もしくは予約コマンドによりミッションの開始時間になった場合にミッションフラグが ON となる。

上記のすべてのチェックが終わった場合また **Data Receive COM** にもどり、再びすべてのチェック項目を見ていくプログラム構成になっている。

### 3.4 H8 COM のアルゴリズム

H8 COM は2章で説明したように衛星の通信関係のデータの処理を行う CPU であり、H8 Main とともに鳳龍式号のコントロールを行っている素子である。図??に H8 COM の動作アルゴリズムを示す。

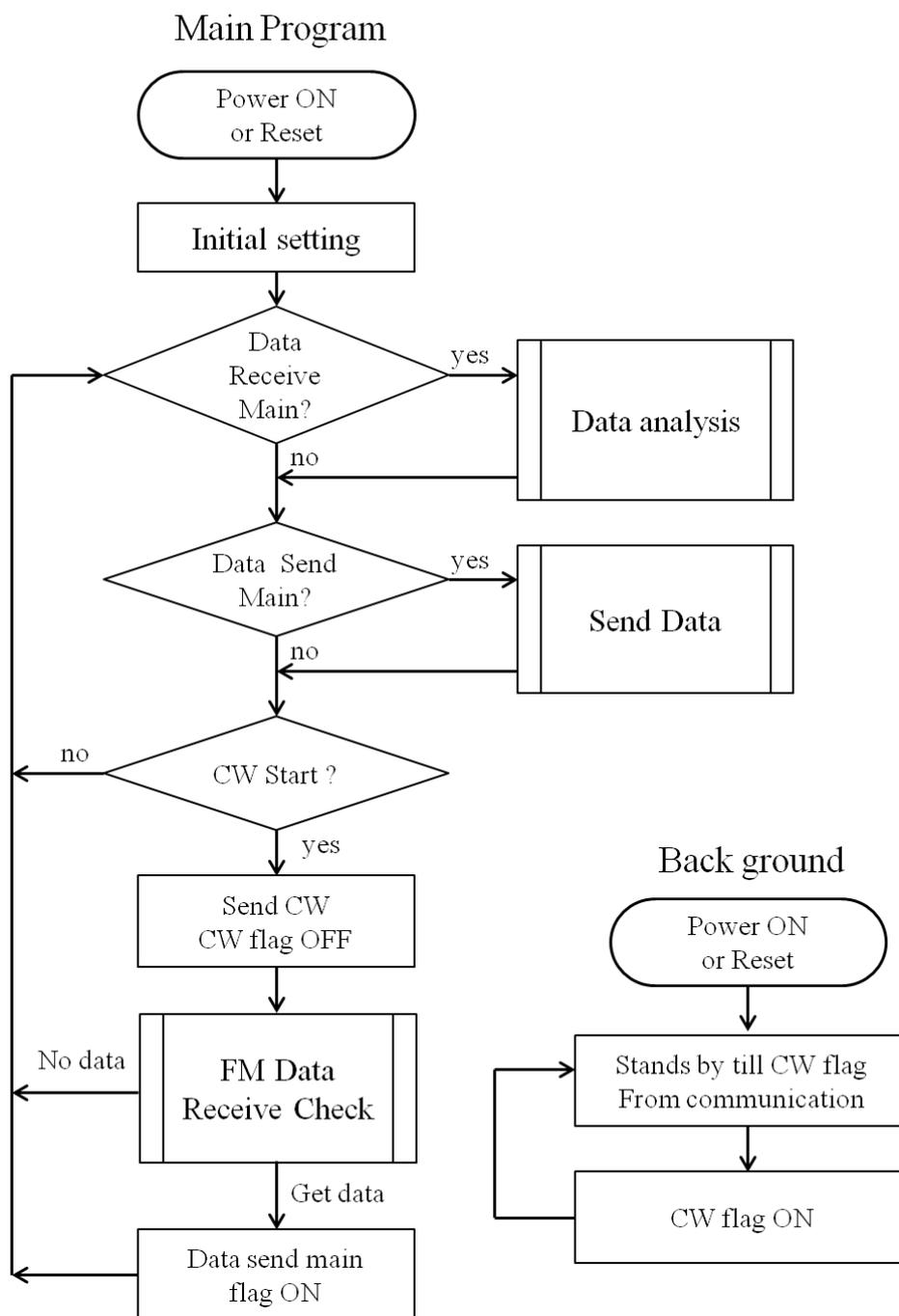


図 3.15 H8\_COM の動作アルゴリズム

H8 Main と同様に H8 COM も電源 ON もしくはリセットにより起動するとまず初期設定を行う。H8 COM は Main 側と違い FLSAH メモリからのデータ読み出しによるデータ設定などは行われない。

初期設定が終了するとループに入り、まず H8 Main 側からデータが送られてきていないか確認する。H8 Main 側から送られてくるデータとしては H8 Main の生存信号や衛星のバッテリー充電回路を開放し、衛星を運用停止にするキルスイッチの ON,OFF 情報などがある。H8 COM も H8 Main と同様に H8 Main のウォッチドックタイマーとしての機能があり、一定時間 H8 Main から信号が来なかった場合 H8 Main に異常が発生したとみなし H8 Main にリセットをかける。

次に H8 Main に送信するデータがないか確認する。H8 Main に送信するデータとしては H8 COM の生存信号や、コマンド受信フラグなどがある。H8 COM は H8 Main と違い時間データの生成を行っていないため、CW を送信した回数で H8 Main 側に生存信号を送るタイミングを設定している。

CW Start では CW 送信のフラグが ON になっているか確認する。OFF の場合は再び Data Receive Main に戻る。ON の場合は現在 H8 Main から受け取っている CW データの送信を開始する。CW 送信フラグの ON は通信基板に搭載されている PIC からの割り込みがあった場合 ON となり、メインプログラムにその値が反映される。

CW 送信が終わると CW のフラグを OFF にし、FM 受信モードに入る。FM 受信モードは一定時間経過するもしくは、CW フラグが ON になった場合終了し Data Receive Main に戻る。FM 受信中に地上からアップリンクコマンドを受け取ると H8 Main にコマンドデータを送信すると同時に通信基板の PIC に割り込み信号を送り FM 送信モードに移行する。受信したコマンドが鳳龍のコマンドだった場合そのデータ内容によって図 3.5 FM ダウンリンクのデータ構成の mission data information 内に表 3.1 のデータを 86byte 挿入したデータパッケージが 2 パッケージ受信成功信号として送信される。

表 3.1 アップリンク成功時の返答データ内容

|                         |      |
|-------------------------|------|
| ミッション系のコマンド受信した際の返答データ  | 0x11 |
| システム系のコマンド受信した際の返答データ   | 0x66 |
| ダウンリンク系のコマンド受信した際の返答データ | 0x33 |

FM ダウンリンク系のデータだった場合、返答信号の後に指定されたデータのダウンリンクが行われる。ミッション系、システムデータ系の場合はコマンドにあった内容が実行される。

### 3.5 定期リセット及び強制リセットアルゴリズム

鳳龍式号では放射線によるシングルイベント等の対策に一定時間経過すると定期リセットがかかる。また特定の反応が一定時間来なくなった場合強制的にリセットがかかる仕様を採用している。以下にそのリセットタイミングを記入する

表 3.2 鳳龍式号のリセットタイミング一覧

| 動作名             | 発動までの時間            | 備考  |
|-----------------|--------------------|---|
| H8 Main 定期リセット  | 3 時間               | H8 COM も同時にリセット   |
| H8 COM 定期リセット   | 約 5 時間             | H8 Main も同時にリセット<br>何らかの理由で H8 Main 定期リセットが発動しなかった際の子備          |
| H8 Main 強制リセット① | 30 分               | H8 COM 側から生存信号が来なくなつてからの時間                                      |
| H8 Main 強制リセット② | 10s + 4s × X パケット数 | H8 COM が FM 送信を行っている際になるモード                                     |
| H8 COM 強制リセット①  | 約 15 分             | H8 Main 側から生存信号が来なくなつてからの時間 H8 COM 自身もリセットをかける                  |
| H8 COM 強制リセット②  | 即時                 | アップリンクコマンドによる強制リセット H8 COM が正常に作動している必要がある H8 COM Main とともにリセット |

定期リセットは3時間に一度 H8 Main が主導で行われるように設計している。また正常に定期リセットが行われていれば H8 COM による定期リセットは発生しないが、なんらかの理由で定期リセットが行われなかった時の為 H8 COM による定期リセットを設定している。H8 COM による定期リセットのタイミングの計り方は約1分に一度通信基板の PIC より H8 COM に CW 送信のフラグを ON にする割り込み信号が入ってくるため、この割り込み数をカウントし 300 回 (約 5 時間) 割り込みが入ると定期リセットが発動するような仕様を作成している。

また強制リセットがかかるタイミングとしては大きく分けて以下の3つのパターンがある

- ①ウォッチドッグタイマー的な強制リセット
- ②FM 送信時の強制リセット
- ③アップリンクによる強制リセット

①のウォッチドッグタイマー的な強制リセットは H8 Main COM どちらかが生存信号を

送ってこなくなった場合監視しているもう片方の CPU が相手側の CPU に強制的にリセットをかける仕様となっている。表 3.2 のリセット発動までの時間はあくまで現在 (2012\_01\_23) の仕様であり、今度の動作テストで若干の時間の変更を行う可能性がある。

#### ②FM 送信時の強制リセット

これは FM 熱真空時に発生した不具合に対処するために搭載したリセットプログラムである。FM 熱真空時に通信基板のモデムと H8 COM とのデータ通信が正常に行われずに FM 送信がずっと行われ続けるという不具合が発生した。(詳細は 4 章の FM 熱真空試験を参照) この不具合の対処法の一つとして FM 送信が始まると H8 Main は H8 COM を監視するモードに移行し、一定時間経過しても終了信号が来ない場合強制リセットをかけるというプログラムを実装した。リセットするまでの一定時間の算出方法は  $10s + 4s \times X$  (ダウンリンクパケット数) により算出される。10s は最初のアップリンクを受け取った際の返答時間の秒数であり、あとは地上から要求されたパケット数  $\times 4s$  の時間追加されその合計値が監視時間となる。この監視時間を経過しても COM 側が終了信号を送ってこない場合 H8 Main は H8 COM を強制リセットする。

#### ③アップリンクによる強制リセット

アップリンクによる強制リセットは一定のコマンドを送ることにより、H8 Main COM をリセットする方法である。この強制リセットのアップリンクは通常のアップリンクコマンドと違い H8 Main には送られず、H8 COM のみで処理される。そのため H8 Main がなんらかの理由で停止していた場合にもリセットをかける事ができる。しかしながら H8 COM が何らかの理由で停止していた場合、アップリンクコマンド自体を受け取ることができないためにこのコマンドによるリセット動作を行う事はできない。

### 3.6 各ミッションの運用時間制限

各ミッションには地上から運用時間を決める項目が設定されている。鳳龍式号ではもしもの為にあらかじめ各ミッションに運用限界時間を設定しており、それ以上の時間設定のコマンドが送られてきても受け付けないように設定している。表 3.3 に各ミッションにおける運用限界時間を記す。

表 3.3 各ミッションの動作時間制限

|                |      |
|----------------|------|
| ELF,Trek ミッション | 30 分 |
| 300V ミッション     | 65 分 |
| Scamp ミッション    | 10 分 |

ELF,Trek は極域での運用のみなので極域を通過する時間である 20 分間のみの動作だが、少し余裕をとって 30 分の上限に設定している。300V ミッションは 300V 側からの要求で 1 時間の上限設定を設けている。Scamp に関しては撮影時間から 10 分も経過してしまうと本来の撮影場所を通過してしまうために撮影の意味がなくあるために上限時間を 10 分に設定している。