

## 2章 ハードウェア設計

この章では本研究で開発した OBC がどのような素子から構成され、どのような機能を持っているかを説明する。

### 2.1 オンボードコンピュータの概要

図 2.1 に鳳龍式号の OBC の簡易的なブロック図を示す。鳳龍式号の OBC は大きく分けてミッションデータやセンサデータ、衛星の運用に必要なデータであるシステムデータを保存するために FLSAH メモリ 3 枚により構成されたメモリ領域と、センサやミッション機器の出力値をアナログからデジタルへ AD 変換するための A/D 変換部分、そしてデータのフォーマット化、解析、ミッション機器の制御などを行うメインプロセッサ (MPU) 部分から構成されている。

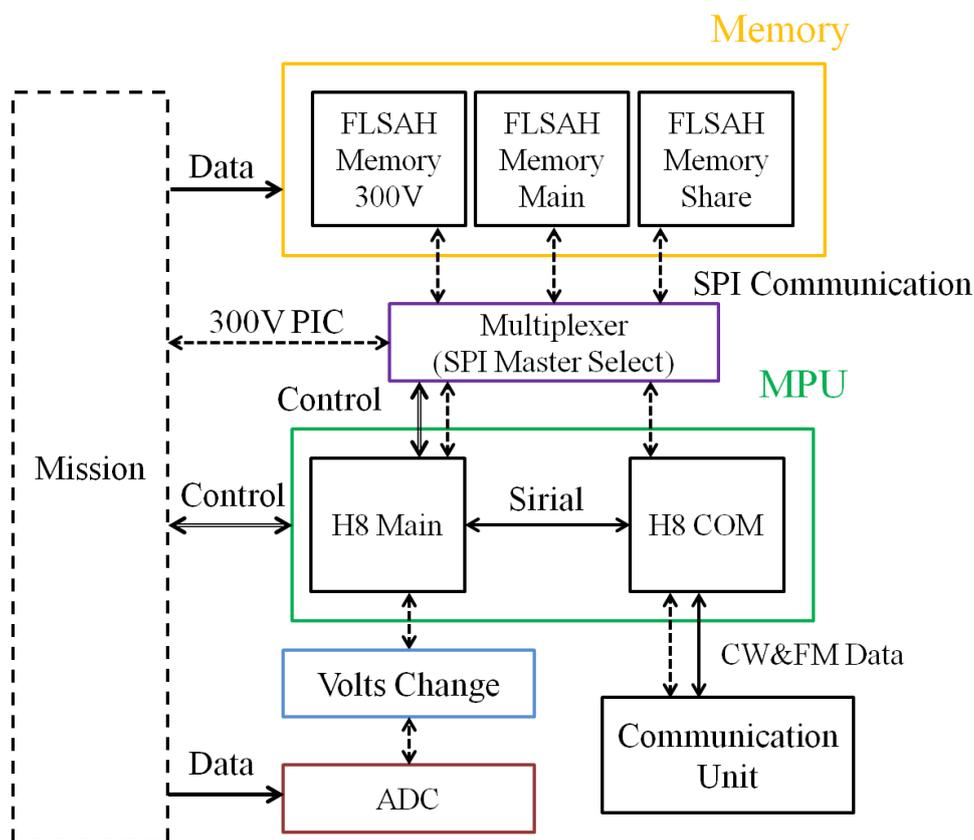


図 2.1 OBC の簡易システム図

MPU 部分は 2 つの H8 マイコンから構成されており、それぞれ役割別に Main 系と COM 系と呼んでいる。この部分については次の 2.2 章にて詳細に説明する。A/D 変換については H8 にも AD コンバータが内蔵されているが、外部に AD コンバータを設け SPI 通信で制御を行う事でデータの取得を行っている。A/D 変換部分については 2.5 章

にて説明する。メモリ領域についてはマルチプレクサで **SPI** のマスターを切り替えることにより **H8\_Main**、**H8\_COM**、及び **300V** 系の制御を行っている **300V\_PIC** の合計 3 つの **CPU** よりアクセスが可能となっておりデータの読み書きを行える仕様となっている。メモリ関係については 2.7 章にて説明する。

## 2.2 オンボードコンピュータの CPU の構成

鳳龍 2 号のメインプロセッサには表 2.1 に示すルネサスエレクトロニクス製の 16 ビットシングルチップマイクロコンピュータ **H8 ファミリ/H8/300H Tiny シリーズ H8/36057** (広温度範囲仕様) を使用している。

表 2.1 鳳龍 2 号で使用している CPU **H8** の詳細な仕様



■ CPU 型番 : **H8 36057F** (広温度範囲モデル)

■ 電源電圧 : - 0.3~7V

■ アナログ電源電圧 : - 0.3~7V

■ 動作温度範囲 - 40~85°C

■ 保存温度 : - 55~125°C

■ 通信規格 : **SCI3** 及び **SSU** 用のポートを搭載

鳳龍 2 号のオンボードコンピュータは上記の **H8/36057F** を 2 つ使用し、衛星の状態の監視、運用を行っている。**H8/36057F** を 2 つ使用している理由は衛星の動作をデータの管理やミッション機器の制御など衛星の主な動作部分に関する部分 (**Main** 系) と、通信機の設定やダウンリンク用のデータの生成、送信を行う部分 (**COM** 系) の二つの機能を分割しそれぞれを別々の **CPU** に処理させているためである。それぞれの詳細な役割は表 2.2 のように分類されている。

表 2.2 Main 系及び COM 系の説明

<p>■Main 系</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 時間データの管理</li> <li>・ ミッション機器の電源の ON、OFF</li> <li>・ 各センサデータの保存</li> <li>・ 各ミッション機器のデータの保存</li> <li>・ 保存データから DownLink データの生成</li> <li>・ UpLink コマンドの解读、実行 etc</li> </ul>	<p>■COM 系</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 通信機の FM 通信機能の設定</li> <li>・ DownLink データの変調</li> <li>・ CW データの生成 (ハウスキーピングデータ)</li> <li>・ UpLink コマンドの受信 etc</li> </ul>

Main 系の H8 と COM 系の H8 は互いにシリアル通信で結ばれており、お互いのデータの交換を行うことができる。また一定の信号を送ると相手から特定の信号が返ってくるかどうかで相手側の CPU が正常に動作しているかを判断する。もし一定時間正常に動作していないようであればリセット信号を送信し、相手側の CPU に強制的にリセットをかけるウォッチドッグタイマーの役割も果たしている。

### 2.3 リセット制御

2.2 章に記載しているリセット動作を実現するために OBC では図 2.2 の回路を作成している。また使用している素子を表 2.3、2.4 に示す。

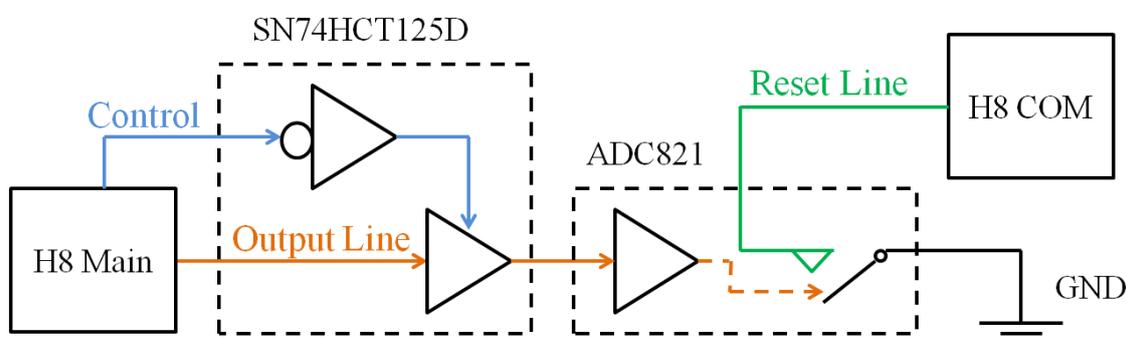
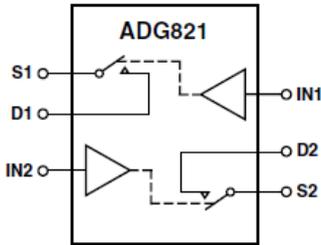


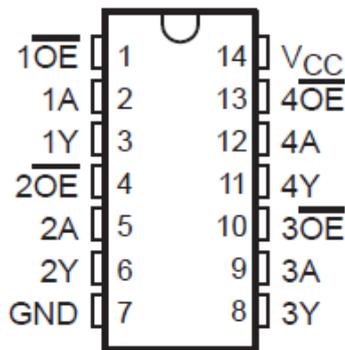
図 2.2 Main から COM 側をリセットする制御回路

表 2.3 ADG821 の詳細



- Dual SPST Switches ADG821
- 動作電圧 1.8~5.5V
- 動作温度範囲 -40~125°C
- 低オン抵抗
- 低消費電力

表 2.4 SN74HCT125D



- SN74HCT125
- 動作電圧 4.5~5.5V
- 動作温度範囲 -40~85°C
- 高速動作
- 低消費電力

H8にはリセットラインが搭載されており、その pin が GND に落ちた場合に H8 にソフトウェア的なリセットがかかり、プログラムの初期アドレスに強制的に戻ることができる。そのために図 2.2 の場合だと Dual SPST Switches 素子である ADG821 (表 2.3) に入る H8\_Main からの出力線(表 2.3 の IN1 または IN2)が High になった場合、ADG821 の素子が動作し、H8\_COM のリセットライン (表 2.3 の D1 または D2) が GND (表 2.3 の S1 または S2) に接続され H8\_COM がリセットされる。H8\_Main からの出力が LOW の場合、D1 と S1 (もしくは D2 と S2) は解放状態となる。D1 (D2) のラインはプルアップ処理をされているので H8\_COM のリセットライン High 状態となりリセットがかからない状態になる。この回路と同様の物を H8\_COM が H8\_Main をリセットするためにも搭載している。

また SN74HCT125D (表 2.4) は 3 ステートバッファ的な役割を担っており、H8 の誤作動によりリセットが入らないようにする冗長系の役割を果たしている。リセット動作を行うためには制御線を LOW, 出力線を High にすることにより初めてリセット動作を行う事ができる仕様になっている。リセットをかけるタイミングについては 3.4 章にて詳細に述べる。

## 2.4 時間データの生成

鳳龍 2 号機の時間データは地上の時間 (X 年 M 月 D 日 H 時 M 分) に合わせるのではなく、衛星起動から何秒経過 (起動から XXXX 秒経過) しているかでデータの管理を行っている。この理由としては地上の時間に合わせた場合はコマンド情報が「X 年 M 月 D 日 H 時 M 分に〇〇ミッションを開始」などのようなコマンドになり衛星側は常に正確な時間管理を求められるが、時間データが衛星起動から XX 秒経過の場合であるとコマンド情報が「コマンド受信から XX 秒後に〇〇ミッションを開始」など元々衛星側が保持しているデータが正確でない場合でもある程度正常に動作させたいタイミングでミッションを起動させることができるためである。なお時間データの生成には以下のクロック素子により外部割込みによる時間データ生成を採用している。

表 2.5 SG-3030JF

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ SG-3030JF</li> <li>■ output 周波数 : 32.768kHz</li> <li>■ 動作電圧 : 1.5~5.5V</li> <li>■ 動作温度 : -40~85°C</li> </ul>
--	---

表 2.6 TC74HC4060AF

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ TC74HC4060AF</li> <li>■ 電源電圧 : 2~6V</li> <li>■ 動作温度 - 40~85°C</li> <li>■ 最大 1/16384 の分周が可能</li> <li>■ 鳳龍式号ではこの素子を使い 4Hz の波形を生成</li> </ul>
--	--

表 2.5 及び 2.6 の素子の組み合わせにより、SG-3030JF の 32.768kHz のパルスを TC74HC4060AF により分周することで 4Hz のクロックパルスに変換して H8\_Main に割り込み動作パルスとして信号を送信している。H8\_Main はこのパルスの数をカウントすることにより、時間データの生成を行っている。

## 2.5 A/D 変換

### 2.5.1 A/D 変換回路

図 2.1 の AD 変換にあたる部分である。衛星に搭載されている各センサや、ミッションデータを取得するためにはそれぞれが出力する電圧値をアナログデータからデジタルデータへ変更する必要がある。今回使用している CPU の H8 にも 10bit 分解能の A/D コンバータが内蔵されているが、故障時のリスク及び CH 数不足により鳳龍式号では表 2.7 に示す外部の AD コンバータを使用している。

表 2.7 鳳龍式号で使用している AD コンバータ MCP3208

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ MCP3208</li> <li>■ 動作電圧：2.7V～5V</li> <li>■ 動作温度：-40～+85℃</li> <li>■ CH 数：8 ポート</li> <li>■ 分解能：12bit</li> <li>■ 通信方式：SPI 通信</li> </ul>
--	--

表 2.7 の AD コンバータは外部より SPI 信号にて特定の信号を送ることにより、AD 変換を開始し、取得したデータを SPI 通信にて H8 に送信することによりデータの取得を行うことができる。また Vref 電圧には測定電圧に応じて 4.096V もしくは 5V を使用している。鳳龍 2号では ADC の駆動電圧を 5V に指定している。しかしながら ADC を制御する OBC の CPU である H8 マイコンは消費電力を抑えるために駆動電圧を 3.3V にしている。そのために SPI 通信に信号レベルに差が生じてしまう。これを解消するため表 2.8 のスリーステットバッファを使用し、SPI の信号ラインの電圧変換を行っている。

表 2.8 鳳龍式号の通信ラインの電圧変換に使用する TC74VHC125

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ TC74VHC125</li> <li>■ 動作電圧：2～5.5V</li> <li>■ 動作温度：-40～85℃</li> <li>■ 入力電圧：0～5.5V</li> <li>■ 出力電圧：0～Vcc</li> <li>■ 入力上昇時間 (dt/dv)：0～100ns/V</li> <li>■ 入力下降時間 (dt/dv)：0～20ns/V</li> </ul>
--	---

表 2.8 の TC74VHC125 を使用することにより 5→3.3Vの電圧変換を行い 5V 駆動の AD コンバータと 3.3V駆動の H8 との間 SPI 通信を行っている。詳細なブロック図は図 2.3 のようになっている。

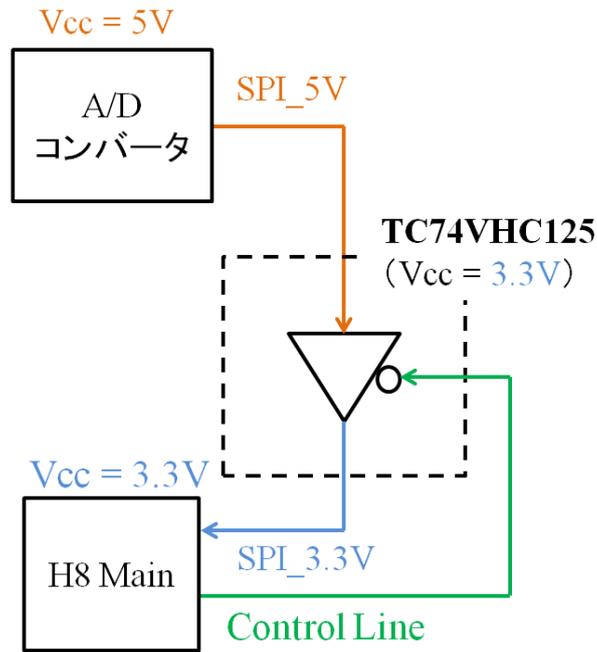


図 2.3 ADC と H8 間の電圧変換方法

図 2.3 のように TC74VHC125 の駆動電圧 Vcc に 3.3V をバイアスすることにより、入力電圧 (SPI 信号\_5V ) は 3.3V の信号に変換される。信号の向きが逆の場合 (H8→ADC) の場合は 3.3V のままの信号となるが、信号の閾値 (H : 3V 、 L : 1.5V ) の関係上、正常に信号の “ 1 ” “ 0 ” の判断ができるために問題なく使用できる。

### 2.5.2 TC74VHC125 の制御線の使い方

H8 より TC74VHC125 のゲートに制御線が出ている理由は、SPI は通信の性質上多数の機器が同じライン上にぶら下がる形となる。本研究で開発した OBC 基板のラインには ADC 以外にも Scamp (カメラ) 系を操作するために SPI ラインを使用している。Scamp と通信する際にこの TC74VHC125 が動作している場合、Scamp の SPI 信号ラインが図 2.4 のように GND の値が不安定 (図 2.4 では本来なら 0V にならないといけないところで 0.7V 程度の値を出力している) となり最終的に通信できなくなる不具合が発生した。このために Scamp を動作させる際には TC74VHC125 からの出力値を停止させるためにこの制御線を設けている。この制御線は High にすることで TC74VHC125 を停止させることができる。

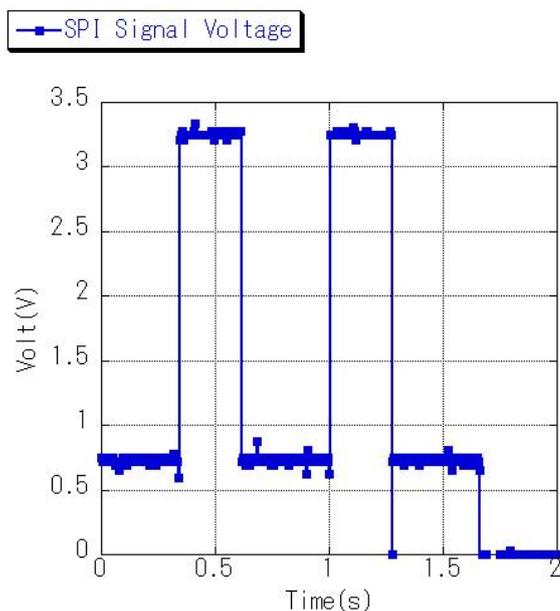


図 2.4 TC74VHC125 によって引き起こされる Scamp の SPI 通信の不具合

### 2.5.3 ADC の構成について

鳳龍式号では合計 6 個の ADC を使用し、33CH 分のデータ取得を行っている。以下に ADC 別の取得データを示す。

表 2.9 ADC の取得データ一覧

	ADC1	ADC2
CH1	電流センサ 1(太陽電池 X)	N/A
CH2	電流センサ 2(太陽電池+Y)	電圧センサ 2(Vref)
CH3	電流センサ 3(太陽電池-Y)	電圧センサ 3(バッテリー電圧)
CH4	電流センサ 4(太陽電池+Z)	電圧センサ 4(太陽電池+Y)
CH5	電流センサ 5(太陽電池-Z)	電圧センサ 5(太陽電池-Y)
CH6	電流センサ 6(バッテリー電流)	電圧センサ 6(太陽電池+Z)
CH7	電流センサ 7(DCDC3.3 電流)	電圧センサ 7(太陽電池-Z)
CH8	電流センサ 8(DCDC5 電流)	電圧センサ 2(太陽電池 X)
Vref	4.096	5

	ADC3	ADC4
CH1	ジャイロ 1	N/A
CH2	温度 1(ジャイロ付属)	バッテリー温度 1
CH3	ジャイロ 2	パネル温度+Y
CH4	温度 2(ジャイロ付属)	パネル温度-Z
CH5	ジャイロ 3	パネル温度+X
CH6	温度 3(ジャイロ付属)	パネル温度-X
CH7	パネル温度-Y	通信機温度
CH8	パネル温度+Z	バッテリー温度 2
Vref	4.096	4.096

	ADC_Trek	ADC_ELF
CH1	Trek ミッション 出力値	ELF ミッション出力値
CH2	バッテリー温度 1	SCM(表面電位計)出力値
CH3	バッテリー温度 2	N/A
CH4	通信機温度	N/A
CH5	電圧センサ 3(バッテリー電圧)	N/A
CH6	電流センサ 6(バッテリー電流)	N/A
CH7	N/A	N/A
CH8	N/A	N/A
Vref	5	5

ADC\_Trek 及び ADC\_ELF はそれぞれミッション用に用意した別々の ADC となっており、たとえミッション機器で故障があった際に ADC にダメージを受けたとしてもハウスキーピングデータ（衛星の運用に必要なセンサの出力値）の取得には影響が出ないような設計を行っている。（ADC\_Trek には逆にセンサ取得系の ADC が何らかの理由で故障した際にも重要なハウスキーピングデータの取得ができなくなることを避けるために、冗長性を持たせる意味で余っている CH で重要な個所のセンサデータの取得を行っている）。

また Vref 値が 4.096V の ADC は ADC の分解能が 12bit（4095）のために出力値＝各センサが出力する電圧値だが Vref = 5V の ADC は実際に出力している電圧値 X を求める際には、ADC の出力値 Y とすると  $X = Y \times 5 \div 4.096$  にて算出することができる。

#### 2.5.4 取得データの圧縮

今回選定した ADC は分解能が 12bit とセンサが持つ分解能の以上の性能のためにジャイロセンサを除き、取得データを 12bit から 8bit にデータを圧縮して使用している。データ量を 12bit から 8bit に減らすことにより一度の DownLink でより種類の多いデータを取得することができる

(ex) 2057 (Decimal) → 100000001001 (Binary)



128 (Decimal) → 10000000~~1001~~ (Binary)



2048 (Decimal) → 100000000000 (Binary)

図 2.5 データ圧縮の方法

#### 2.6 ミッション制御

衛星に搭載されているミッション機器 (300V、Trek、ELF、Scamp) は Main 系を担当している H8 より High 信号をうける事により電力供給が開始され、ミッションが開始される。High 信号を受け電力が供給されるようになる方法は 2 種類あり、一つは過電流防止回路を操作する方法、もう一つは P-mos による電力供給である。

##### 2.6.1 過電流防止回路によるミッション制御

この方法は消費電力が比較的大きい 300V ミッションや、ELF ミッションの起動に用いられる。図 2.6 に実際の回路構成を示す。過電流防止回路は各系に供給する電力ライン上に設置し、負荷側でシングルイベントラッチアップや地絡故障が発生した時に流れる過電流を遮断するためのものである。過電流防止回路は下図 2.6 の抵抗 R の両端に 50mV 以上の電位差が発生したとき、N 型 MOSFET のゲート電圧を 0V に下げ、電力を遮断する。その応答速度は 1 u sec 以下である。一度過電流が発生し、50mV の閾値を上回ると 130 m sec の遅延の後に再起動させる。回路中の 100kΩ はプルダウン抵抗、1kΩ は地絡故障対策用に設置している。

OBC ではこの過電流防止回路の ON 端子に High (3.3V)、Low (0V) の信号を送ることで制御を行う。OBC からの信号が High の場合過電流防止回路の ON には NAND 素子を介して Low が入力され動作モードになる。動作モード時には N-MOSFET が動作し、負荷側 (ミッション側) に電力が配給される。OBC からの信号が Low の場合過電流防止回路の ON には NAND 素子を介して High が入力されスタンバイモードになる。スタンバイモード時には N-MOSFET が動作しておらず、負荷側 (ミッション側) に電力が配給されないためミッション機器は OFF 状態になる。このように OBC では High、Low

信号によりミッション機器の動作を制御している。

また NAND 素子をいれて出力を逆転させている理由を以下に示す。もし仮に NAND 素子を入れないでミッションを OFF 状態にしたい場合 H8 の出力を High 信号にしなければならない。しかしながら衛星が起動した際には初期設定等で時間ロスがあるために、H8 の出力を High にするまでにすべてのミッション機器がわずかに ON 状態になってしまう。この状態を防ぐために出力を逆転させる NAND 素子を挿入している。

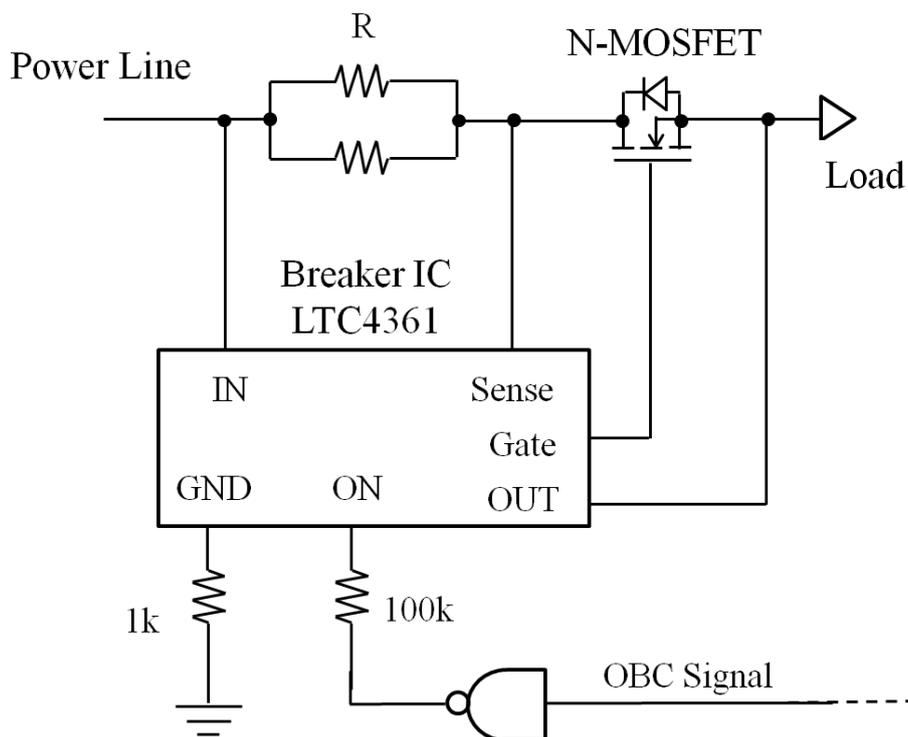


図 2.6 過電流防止回路の制御によるミッション制御

## 2.6.2 トランジスタと P-mos によるミッション制御

こちらの方法は主に消費電力がすくないデブリミッション、及び Scamp ミッションの制御に使用される。上記のミッションでは過電流防止回路が1つのミッションにつき1つ与えられていないためにトランジスタと P-mos による制御を採用している。図 2.7 に詳細な回路設計を示す。

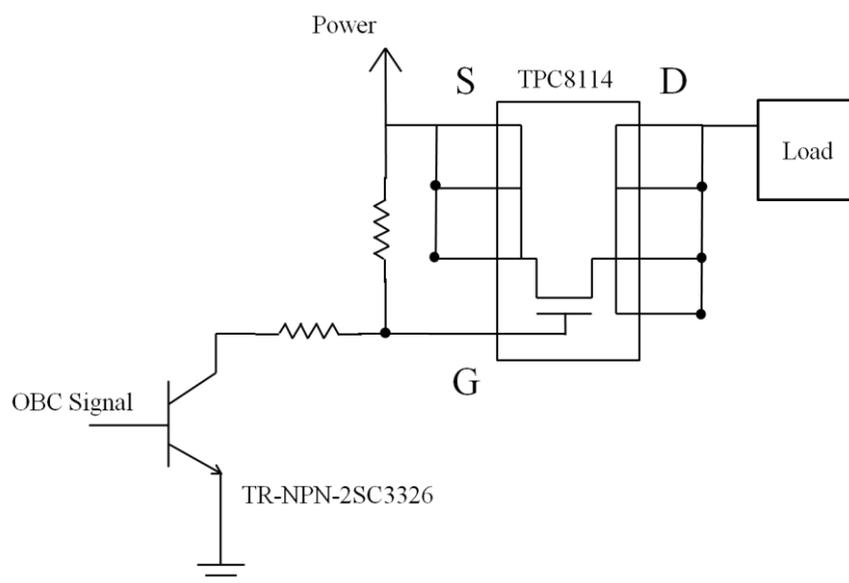


図 2.7 トランジスタと P-mos を用いた電力制御

使用している素子はトランジスタに TR-NPN-2SC3326 と呼ばれる素子と P-mos に TPC8114 と呼ばれる素子を使用している。動作としては P-mos の場合 S と G が同電位の場合は D に電流が流れないために OBC Signal が Low の場合はトランジスタが動作しないため S と G が同電位となり、電力の配給がストップされる。逆に OBC Signal が High の場合はトランジスタが動作状態になり電流経路ができるため、抵抗を介して S と G に電位差が生まれる。そのために D に電流が流れミッション機器に電力の配給が行われる。

## 2.7 データ保存、読み出し

### 2.7.1 FLSAH メモリの基本的な使用方法

データの保存には M25P80 (STMicroelectronics 製) の FLSAH メモリを使用している。

表 2.10 鳳龍式号で使用している FLSAH メモリ

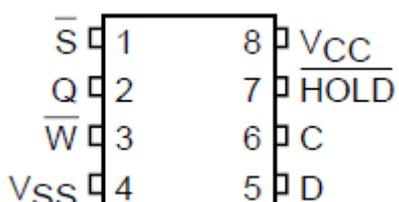
	<ul style="list-style-type: none"><li>■ M25P80</li><li>■ 通信規格 : SPI 通信</li><li>■ データ容量 : 8Mbit (1Mbyte)</li><li>■ 動作電圧 : 2.7~3.6V</li><li>■ 書き込み保証回数 : 10 万回</li></ul>
---	--

表 2.10 の FLSAH メモリは SPI 通信にて特定のコマンドを送信することによりデータの保存、読み出し、消去が可能となっている。また仕様条件では書き込み回数が 10 万回となっておりそれ以上の書き込みはできなくなる可能性がある。以下に鳳龍式号において使用する FLSAH メモリのコマンドを示す。

#### • Read Data Bytes (データ読み込み)

コマンドデータ : 0x03 + Address byte (3byte) + Data bytes (1~∞)

指定したアドレス値から Xbyte のデータを取得する。

0x03 + Address byte (3byte) のコマンド送信後、通信を続ける限りデータが読みだされる。

#### • Page Program (データ書き込み)

コマンドデータ : 0x02 + Address byte (3byte) + Data bytes (1~256byte)

指定したアドレス値から FLSAH 側に送ったデータの保存を行う

#### • Sector Erase (データ削除)

コマンドデータ : 0xd8 + Address byte (3byte)

指定したアドレス値のセクター (データ領域) のデータの削除を行う

#### • Read Identification (FLSAH の動作確認に仕様)

コマンドデータ : 0x9f

FLSAH 側に正常に SPI 通信を行うことができるかの確認のために使用。正常に動作を行えている場合はリターンデータとして 0x20 0x20 0x14 0x10 のデータが FLSAH 側から返答される。

## 2.5.2 鳳龍のメモリシステムの構成について

鳳龍式号では図 2.1 OBC の簡易システム図に示したように 3 枚の FLSAH メモリからミッションデータや運用データを保存するメモリ領域を構成している。これからメモリシステムの構成を述べるにあたって、図 2.1 をさらに詳細に示したものを図 2.8 に示す。

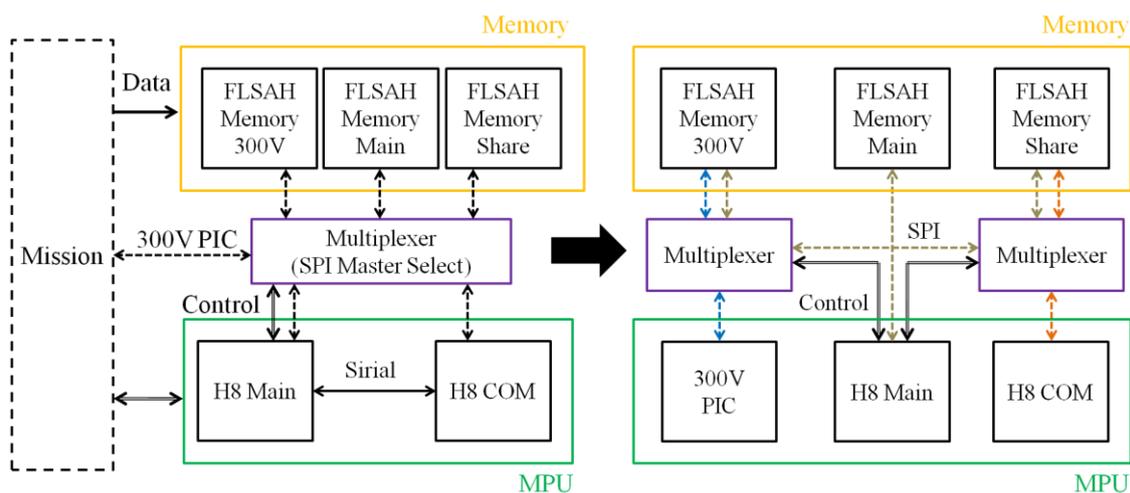


図 2.8 FLSAH メモリの構成

図 2.8 に示すように鳳龍式号では FLSAH の SPI 線にマルチプレクサを搭載している。図 2.8 の左図は、図 2.1 と同様の右図をより詳細に表わしたものでマルチプレクサの個数、及びアクセス先を詳細に示している。このマルチプレクサを切り替えることで FLSAH メモリのマスターを変更することができ、メモリにアクセスすることができる CPU の切り替えを行っている。このマルチプレクサの切り替えは H8\_Main が権限を持っており、その他の素子はマルチプレクサを切り替えることはできない仕様になっている。FLSAH メモリにアクセスすることができる素子は H8\_Main、H8\_COM、及び 300V ミッション系に搭載されている 300V\_PIC の合計 3 素子である。またそれぞれの素子によってアクセスできる FLSAH メモリは異なっている。以下に 3 枚の FLSAH メモリにどのようなデータが書き込まれるかを示す。

■ **FLSAH Main** (アクセス可能 : H8\_Main)

この FLSAH には衛星の運用に不可欠なシステムデータ (時間やデータの書き込み先アドレスなど) や各種センサデータ、Trek,ELF ミッションデータ、Scamp による撮影画像などが保存される。

・保存データ内容

◆0~2 セクター

データ内容 : システム情報 (時間データ、アドレス情報、ミッションログ 等)
備考 : 0~3 セクター目には同じ情報を書き、読み出す際にデータの破損がないかを多数決をとりデータを読み出す。

◆3~6 セクター

データ内容 : 各種センサデータ
備考 : 約 2 週間分のセンサデータを保存可能 データ容量が一杯になった場合は古いデータから消去を行う。

◆7、8 セクター

データ内容 : リザーブ
備考 : 余りの領域

◆9~12 セクター

データ内容 : ELF、Trek ミッションデータ
備考 : 一度の試験につき 1 セクターを使用、過去 3 ミッション分のデータまで保存可能容量が一杯になった場合には古いデータから消去して上書きする。

◆13~15 セクター

データ内容 : Scamp (画像データ)
備考 : 一枚のデータにつき 1 セクターを消費。 過去 2 枚までのデータを保存できる。容量が一杯になった場合には古いデータから消去して上書きする。

■ **FLSAH\_300V** (アクセス可能 : H8\_Main、300V\_PIC)

この FLSAH は鳳龍のメインミッションである 300V ミッション系のデータを保存するための FLSAH メモリである。300V ミッションは他のミッションとは違い OBC によって直接データの取得は行わず、ミッションの起動、終了のみ OBC が担当する。そのために OBC は 300V ミッションを開始するとマルチプレクサを切り替え FLSAH\_300V のマスターを 300V ミッション制御用の PIC に引き渡し、300V の PIC がミッションデータを FLSAH に書き込む。ミッション終了と共に OBC は FLSAH への書き込み制限を再び OBC 側に切り替え、データのダウンリンク要請があった場合は FLSAH\_300V にミッションデータを読み、ダウンリンクを行う。

・保存データ内容

◆0~2 セクター

データ内容 : システム情報 (ミッションモード別のアドレス値)
備考 : 0~3 セクター目には同じ情報を書き、読み出す際にデータの破損がないかを多数決をとりデータを読み出す。

◆3 セクター

データ内容 : 初期動作確認
備考 : 1 回分のデータしか保存できないために毎回上書きが行われる

◆4、5 セクター

データ内容 : 300V 発電
備考 : 過去一回分までのミッションデータを保存することができる

◆6、7 セクター

データ内容 : ノミナル太陽電池の放電抑制
備考 : 過去一回分までのミッションデータを保存することができる

◆8、9 セクター

データ内容 : フィルムによる放電抑制
備考 : 過去一回分までのミッションデータを保存することができる

◆10、11 セクター

データ内容 : コーティングによる放電抑制
備考 : 過去一回分までのミッションデータを保存することができる

◆12、13 セクター

データ内容：オーロラ放電
--------------

備考：過去一回分までのミッションデータを保存することができる
--------------------------------

◆14、15 セクター

データ内容：フィルム劣化実証
----------------

備考：過去一回分までのミッションデータを保存することができる
--------------------------------

■FLSAH\_Share (アクセス可能：H8\_Main、H8\_COM)

このFLSAHにはFMダウンリンクする際にMain側からCOM側にダウンリンクデータを引き渡す際にパケットデータが記入される。地上からFMダウンリンク要請があった場合、H8\_MainがFLSAH\_Main及びFLSAH\_300Vから対応するデータを読み出してパケットに変換し、パケットに変換したデータをこのFLSAH\_Shareに書き込む。その後SPIのマスターを切り替えH8\_COMがFLSAH\_Shareのデータを読むことでダウンリンクデータを取得することができる。ひとつのセクターにデータを書き続けると書き込み回数に関係よりFLSAHメモリの寿命を短くするため、FLASHのセクターをOBCがリセット動作するたびに一つずつ交換して使用している。

## 2.8 回路設計

図2.9にOBC基板のボード図、及び実際に作成したFM基板を示す。基板は4層構造になっており、1,2,4層目にベタGNDを、3層目に電流経路を設置している。また基板設計の際には一番ノイズに敏感であるSPI通信のラインを優先的に設計し、周りをしっかりGNDで覆うなどのノイズ対策を行っている。その他回路で区切られたスペースなどもスルーホールによりGNDに落としている。詳細な回路図については付録を参照

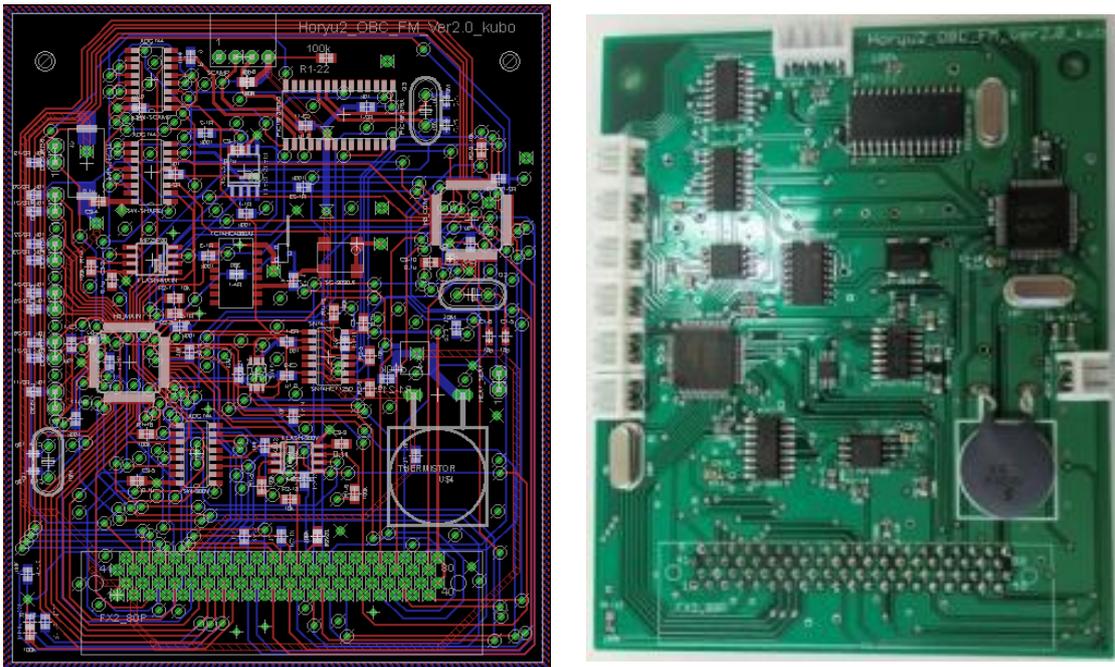


図 2.9 作成した OBC のボード図及び実際の基板

## 2.9 放射線対策

放射線による不具合に一定量放射能を浴びると永久的に機器が故障するトータルドーズと呼ばれるものがある。この故障を回避するために実際に宇宙に飛ぶものの H8 及び FLSAH メモリには図 2.10 のタングステンシート（日本タングステン製、高比重タングステンシート、 $250 \times 250 \times 3$ ）を RTV で接着し、放射線曝露量の低減を行っている。図 2.10 に実施に RTV でタングステンシートを固定している様子を示す。図 2.10 は通信基板の RTV の接着の様子だが OBC 基板においても同様の処理を施している。またタングステンシート無しの状態でもトータルドーズ試験を行った結果 OBC を構成する素子のトータルドーズ耐性は宇宙空間で 2 年以上あることを確認している。



図 2.10 左：タングステン装着前 右：タングステン装着後（通信基板）