

全工協会人工衛星委員会 報告 —EM 完成までの 10 年—

前 人工衛星委員会委員長

(前 東京都立荒川工業高等学校長) 山本 誠

め報告する。

1. はじめに

これまで全国工業高等学校長協会（以下全工協会）では、創立 100 周年に向けて、人工衛星（以下衛星）の製作に取り組んできた。

平成 21 年度に準備委員会を立ち上げ、図 1 の衛星をイメージし、研究を零から始めて 10 年が経過した。一般に衛星の開発は、必要な機能を組み上げた BBM (Bread Board Model)、実機に近い構成で製作する EM (Engineering Model)、最終的に宇宙空間に放出する FM (Flight Model) という製作段階を経て完成させる。平成 27 年 3 月に、全国各地の工業高校の教員と生徒が中心となって製作を開始し、平成 29 年 1 月に BBM を完成させ、平成 31 年 3 月に EM が完成した。これまでの経緯や取組をまと

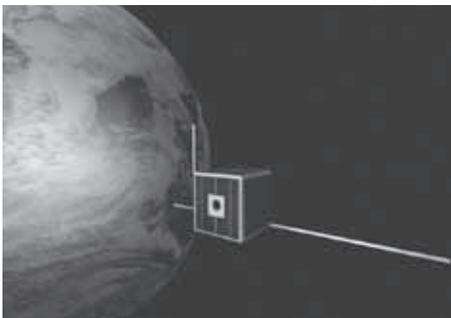


図 1 衛星のイメージ (三神幸男氏制作^{*1})

※ 1 東京都立蔵前工業高等学校長

2. 衛星の開発手順

(1) 衛星と環境

地上で小石を投げると、放物線を描いて地上に落下する。投げる速度を増すと、遠方に落下するが、ある速度以上で投げると、地球を中心に周回運動をする。これが衛星である。

衛星の打ち上げ時の衝撃は 8 G 程度、宇宙空間では太陽から強力な X 線や磁力線の照射を受ける。衛星の表面温度は -150°C から $+200^{\circ}\text{C}$ 程度となるが、衛星の内部温度は -40°C から $+60^{\circ}\text{C}$ 以内に保つ必要がある。環境への配慮は重要となる。

(2) ミッションの設定

衛星の打ち上げにはミッションが求められる。今回は、実験的ミッションと教育的ミッションを設定した。実験的ミッションでは、衛星に搭載されたカメラ画像を活用して、森林の状況を観察すること、教育的ミッションとして、全国の工業高校生と教職員で人工衛星を製作し、最終的には衛星からのカメラ画像を集めて、日本地図を完成させることとした。

(3) 衛星の開発段階とモデル

衛星は、次の 3 段階のモデルを経て、実際に

打ち上げることができる衛星となる。

① BBM

必要な機能を各々製作して組み上げ、まとめたもので機能モデルと呼ばれることもある。

② EM

実際に打ち上げる人工衛星の前段階として、実機に近い構成で製作し、実際に試験をして改良を加えるものである。

③ FM

最終的に宇宙空間に放出される人工衛星である。通常は、同一の構成で2式製作し、内1式が実際に打ち上げられる。

3. 組織と活動

(1) 人工衛星委員会

平成21年度に準備委員会が立ち上がり、平成22年に人工衛星委員会と名称変更し、毎月1回程度会合等をもちながら、調査・研究・試作が行われた。

人工衛星委員会で初めて試作した衛星（試作1号機）を図2に示す。当時は、大きさが決まっていなかったため、一辺が20cmの立方体で製作した。その後、平成27年度まで、試行錯誤を繰り返し、基本設計を終了し基本構成を固めた。

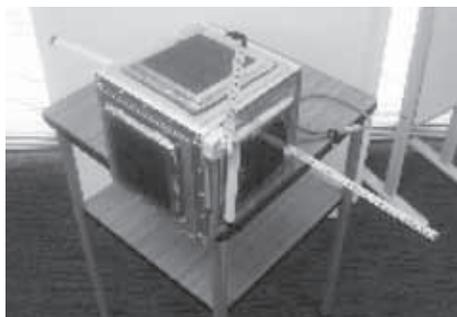


図2 試作した衛星（試作1号機）

(2) 製作協力校

衛星を製作するにあたり、全国の工業高校生が製作することを中心に掲げ、製作協力校とし

て衛星の製作を担当する学校を募集した。

製作協力校を引き受けて戴いた学校は次のとおりである。

- ① 私立八戸工大第一高等学校
- ② 埼玉県立新座総合技術高等学校
- ③ 千葉県立京葉工業高等学校
- ④ 千葉県立千葉工業高等学校
- ⑤ 東京都立六郷工科高等学校
- ⑥ 長野県長野工業高等学校
- ⑦ 長野県駒ヶ根工業高等学校
- ⑧ 長野県池田工業高等学校
- ⑨ 長野県松本工業高等学校
- ⑩ 大阪府茨木工科高等学校
- ⑪ 兵庫県立龍野北高等学校
- ⑫ 福岡県立福岡工業高等学校

人工衛星委員会では、製作協力校の担当の先生方と年間数回の会議とWeb会議で、情報を交換・共有し、衛星製作に関する細部の連絡・調整を行い製作した。

(3) 講習会と電波実験

人的な繋がりや知識・技術の向上を目指し、講習会や電波実験を行った。

① 講習会

平成25年に、東京理科大学理工学部のセミナーハウスで、同大の木村真一教授を講師として、衛星カメラを中心に衛星で使用する機器や電子デバイスについての講習会を行った。

また、平成27年には、千葉県柏の森セミナ



図3 講習会

一ハウスでアンテナ製作や衛星から来る電波の受信など、体験的かつ実際的な講習を行った(図3)。

② 電波実験

平成23年から27年まで、衛星の周知理解と実際の衛星の運用に向けて、電波実験を行った(図4)。平成23年度及び平成24年度は富士山5合目、平成25年度は木曽駒ヶ岳、平成26年度は御岳山(東京都)、平成27年度は木曽駒ヶ岳と場所を変えて実施した。電波実験では、実際に衛星で使用されるモールス信号とパケット通信を、アンテナの向きや角度を変えて送信し、各地の学校での受信状況を報告してもらった取組を行った。



図4 電波実験(木曽駒ヶ岳山頂)

4. システム構成

衛星は、図5に示すとおり地上局及び人工衛星局のシステムとして構成される。衛星との通信には、アマチュア無線で使用される周波数帯を使用し、アップリンクと呼ばれる地上から衛星への通信は144MHz帯の電波を使用し、ダウンリンクと呼ばれる衛星から地上への通信は430MHz帯の電波を使用するものとした。アップリンクはDTMF(Dual Tone Multiplexed Frequency)方式で制御信号を出力し、ダウンリンクは、モールス信号で無線局の呼び出し符号に加えて、人工衛星本体の電圧や温度などの基

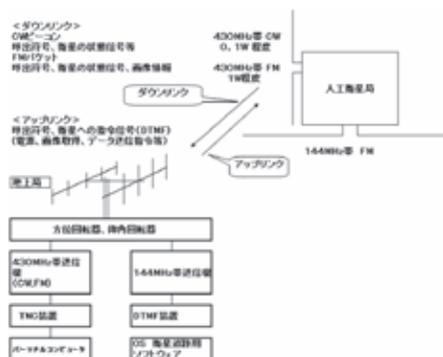


図5 人工衛星のシステム

本的な情報を常時送信するほか、パケット信号で詳細な管理情報やカメラ画像情報等を選択出力するものとした。

5. 衛星の仕様と筐体

人工衛星の基本仕様と動作及び筐体の概要を次に示す。

(1) 基本仕様

- ① 外形寸法 100 × 100 × 227 (mm)
2U 規格
- ② 重量 2.6 (kg) 以内
- ③ 使用周波数 144 MHz 帯, 430 MHz 帯
- ④ 制御信号 DTMF 信号
- ⑤ 計測信号 CW

AFSK 1200 BPS AX.25 パケット信号

- ⑥ センサ類 温度, 電圧, 画像(衛星カメラ)
- ⑦ 太陽電池パネル 2W (最大)

(2) 動作

本体の基本構成を図6に示す。各ブロックの名称等は、当初設計の名称のものである。宇宙空間に放出された衛星は、はじめにアンテナ展開機構を動作させて、通信用のアンテナを伸長させる。衛星の電源は、太陽電池パネルと蓄電池部から構成される。太陽光を太陽電池パネルで電気エネルギーに変換し、蓄電池に充電して使用する。電源制御部は、効率的な充電と放電を管理し、電源分配部を経由して、各部に電力を供給する。FM受信機と受信信号処理部は、

地上からの DTMF 信号を受け、復調後コマンド受信処理部で衛星への制御命令を出力する。衛星各部の情報は、衛星管理部で収集され、テレメトリ処理部で蓄積される。

モールス信号処理部は、衛星の状態信号をテレメトリ処理部から受け、呼び出し符号と共にモールス符号として CW 送信機に出力する。送信信号処理部は、カメラからの画像情報や衛星各部の詳細情報を、テレメトリ処理部から受け取り、パケット処理部でビット配列を整え、AX.25 形式のパケット信号として、FM 送信機に AFSK (Audio Frequency Shift Keying) で出力する。衛星には、温度、電圧等のセンサとカメラが実装され、各部からの情報を出力する。

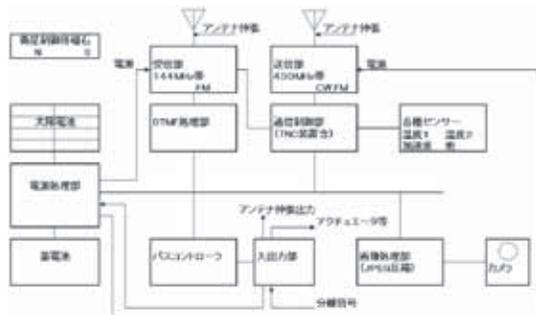


図 6 基本構成 (当初)

(3) 筐体

衛星の筐体の材料には、超々ジュラルミン (A7075) を使用し、2 U (100 × 100 × 227 mm) と呼ばれる大きさの立方体の各面を分割して製作した (図 7)。



図 7 筐体

6. BBM から EM の完成に向けて

(1) BBM の完成

人工衛星委員会及び製作協力校では、各校で製作した PC 板を持ち寄り、各基板を接続させて動作を確認し、平成 29 年 1 月に図 8 に示す BBM を完成させた。

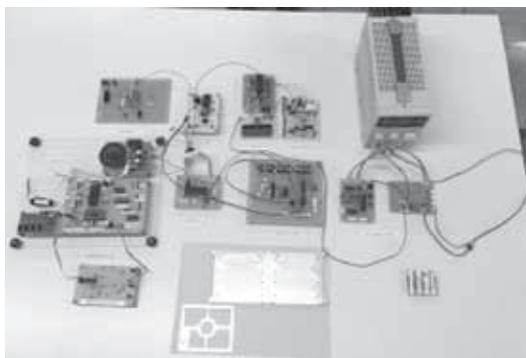


図 8 BBM の完成

(2) EM の構成

EM は、送信機、受信機、カメラ装置、太陽電池パネルと 4 枚の PC 板に分割された人工衛星の各部から構成される (図 9)。



図 9 EM 構成図

製作協力校で製作した PC 板を持ち寄り、動作試験を行い、EM としての基本動作を確認した。

主要な 4 枚の PC 板はつぎのとおりで、CAD 画面を活用して筐体内の各装置の配置を決定するものとした。主要な 4 枚の PC 板の概要を次に示す。

① 基板 1 (通信系 & OBC)

送受信機やカメラ装置と接続され、衛星機能

の中心的役割を果たす OBC（On-Board Computer）と呼ばれる基板である。

② 基板 2（CDH 1-CDP）

地上からの制御命令（Command）を解釈し、衛星の各部に指令を出力する基板である。

③ 基板 3（CDH 2-TDA）

衛星で観測したデータを蓄積し、パケット用のデータに加工・保存する基板である。

④ 基板 4（PCU-PDU）

太陽電池パネルで発電した電力を蓄電池に充電し、使用可能な電力を分配・制御する基板である。

(3) 機能試験の実施

平成 30 年 12 月及び平成 31 年 1 月に全工協会工業教育会館で人工衛星委員会及び製作協力校担当者会議を行い、EM の機能試験（図 10）及び筐体への格納試験を行った。

EM として、4 枚の PC 板及びカメラ装置、送信機、受信機等を相互に接続し、機能試験を行った。試験項目として、自立的ビーコン電波の発信、地上からのコマンド受付、カメラ装置でのデータ取得とパケットデータ出力の動作を決め、動作試験を行った。試験項目の正常動作を確認し、PC 板が相互に接続され衛星全体が EM として基本的に正常に機能していることを確認した。

7. おわりに

平成 21 年度に準備委員会を発足させ、約 10 年が経過した。平成 29 年 1 月に BBM の接続試験を実施し、平成 31 年 1 月に EM が完成できた。

これまでに、関係諸機関の皆様、関係した全国の工業高等学校の先生方及び生徒諸君に、多大なご支援・ご協力を戴きました。この場を借りて、厚くお礼を申し上げます。

近い将来、工業高校の教員と生徒が協力して

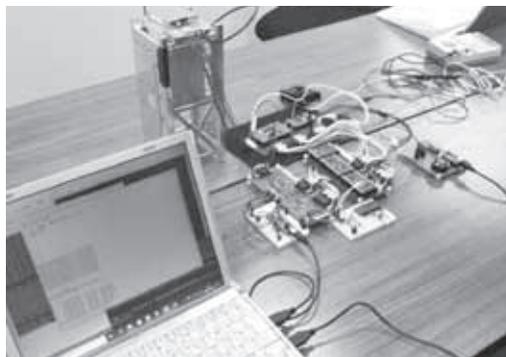


図 10 機能試験



図 11 完成した EM 内部

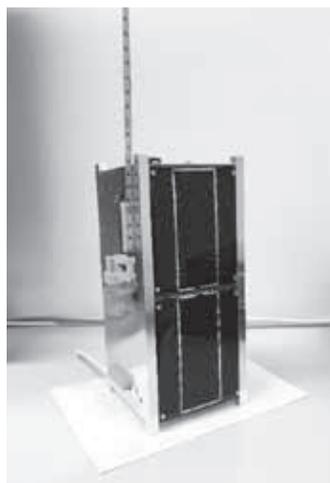


図 12 完成した EM

製作した衛星が地球を回り、教員と生徒が共に夢を語り喜び、その衛星製作に関わる技術が、多くの人々の役に立ち、世界の人々の幸福に結びつくことを期待している。