

深宇宙彫刻「ARTSAT2:DESPATCH」の開発と運用

宇佐美尚人^{1,*†}, 沢田恭兵², 木村元紀³, 久保田晃弘⁴

¹ 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻,² 機械工学専攻,³ 新領域創成科学研究科社会文化環境学
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

⁴ 多摩美術大学情報デザイン学科メディア芸術コース
〒192-0394 東京都八王子市鎌水 2-1723

概要

ARTSAT2:DESPATCH は、多摩美術大学と東京大学の有志から成る ARTSAT Project によって開発された、50cm 立方、重量 33kg の超小型宇宙機である。DESPATCH は 3D プリントによる自由な形状を有した彫刻部をもつ、機体そのものが芸術作品である世界初の宇宙機である。加えて、DESPATCH は CW ビーコンを送信する機能を持ち、センサ情報から生成した「宇宙詩」の送信を軌道上のミッションとして行った。DESPATCH は、2014 年 12 月 3 日に小惑星探査機「はやぶさ 2」の相乗り小型副衛星として、種子島宇宙センターから H2A ロケット 26 号機によって打ち上げられた。DESPATCH は予定通り地球脱出軌道への投入に成功し、主構造に 3D プリントを用いた超小型宇宙機を世界で初めて実証した。打ち上げ後、DESPATCH は軌道上でビーコンおよび宇宙詩の送信を行い、2014 年 12 月 14 日に地球からの距離がアマチュア無線最遠の 470 万 km の通信記録を達成した。

Development and Operation of Deep Space Sculpture “ARTSAT2:DESPATCH”

Naoto USAMI^{1,†,*}, Kyouhei SAWADA², Motoki KIMURA³, Akihiro KUBOTA⁴

¹ Department of Electrical Engineering and Information Systems, University of Tokyo,

² Department of Mechanical Engineering, University of Tokyo,

³ Department of Socio-Cultural Environmental Studies, University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

⁴ Art and Media Course, Department of Information Design, Tama Art University,
2-1723 Yarimizu, Hachioji, Tokyo 192-0394, Japan

SUMMARY

ARTSAT-2 DESPATCH is developed by ARTSAT project, which consists of voluntary members in The University of Tokyo and Tama Art University. DESPATCH, 50cm cube in size with a mass of 33 kg has a spiral-shaped 3D-printed sculpture as the main structure of the spacecraft. It is the world's first spacecraft whose body itself is an artwork. In addition, it has an orbital mission; it generates “space poems” from sensors' data and transmits them with CW beacon. DESPATCH was launched into earth escape trajectory as a piggyback payload with Hayabusa-2 by H-2A F26 rocket from Tanegashima Space Centre on December 3, 2014. According to this successful launch, we demonstrated the 3D-printed micro spacecraft on the orbit firstly in the world.

* Corresponding author. Project manager, ARTSAT2:DESPATCH.

† E-mail: usami@if.t.u-tokyo.ac.jp.

Received March 3rd, Revised Jun 16th, Accepted July 15th.

DESPATCH sent the beacon from the orbit and achieved 4.7 million km communication on December 14, which is the world's longest record between two amateur radio stations.

KEY WORDS: nano-satellite, ARTSAT project, 3D printer, Hayabusa-2, deep space

1. はじめに

ARTSAT-2:DESPATCH は、芸術作品として設計制作された世界初の宇宙機である。ここでいう芸術作品とは「機体の設計に際して、その造形（形状）が第一に考慮された宇宙機」という意味である。DESPATCH は小惑星探査機「はやぶさ 2」の相乗り宇宙機として開発され、太陽を周回する地球脱出軌道に投入された。その結果 DESPATCH は、世界で最も地球から離れた場所にある芸術作品となった。DESPATCH の芸術ミッションは、彫刻作品としての機体そのものを深宇宙に送ることと、取得した宇宙環境データから生成した宇宙詩の送信の二つである。また、この芸術ミッションを実現するための最小限の工学ミッションは、3D プリンタによって制作された部品を主構造に用いた宇宙機の実証と、アマチュア無線帯を用いた通信による微弱電波の国際共同受信である。

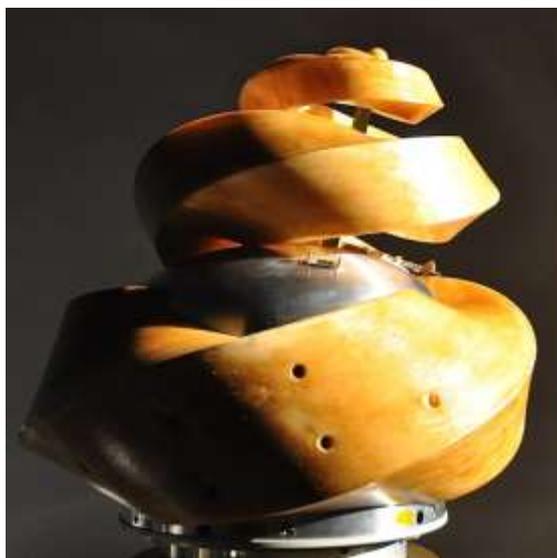


図 1 DESPATCH の外観

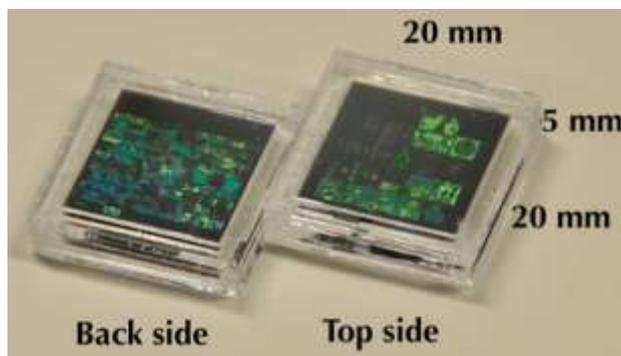


図 2 搭載された MEMS ロゼッタストーン

図 1 に DESPATCH フライトモデルの外観を示す。螺旋形状の彫刻部は 3D プリンタによって制作され、内部機器を収めるアルミニウムケースを取り巻くように取り付けられている。宇宙機を一次電池

だけで駆動し、太陽電池を持たない設計としたことで、このような自由な造形が可能になった。一方、機体内部には未来の DESPATCH の発見者に向けて、機体の設計図や開発経緯、子どもたちからの宇宙へのメッセージなどを小型のシリコンデバイスに彫り込んだ、MEMS ロゼッタストーンとも呼ぶべき、もう一つの彫刻作品(図 2)が搭載されている。

表 1 地球からの距離と送信データの対応表

フェーズ	距離[10 ⁶ km]	DESPATCH が送信するデータ	通信速度
フェーズ 1	～18	モールス信号によるハウスキーピングデータ	6[WPM]
フェーズ 2	18～186	Baudot 符号による宇宙生成詩	1[bps]
フェーズ 3	186～	Duty 比の変化で表されたアナログ温度情報	N/A

CP0		J	Q	FIGS	I	LTRS	Z	N	N	
CP1		Loop count		Main board Temperature		RSSI		Battery Temperature		
CP2		Transmitter Temperature (Color)				Keel Temperature (Color)				
CP3	11111 (LTRS)	Battery Temperature (Color)				Aluminum cover Temperature (Color)				00000 (NULL)
CP4		Angular velocity A (Rhythm)				Angular velocity B (Rhythm)				
CP5		Angular velocity C (Rhythm)				Main board Current (Rhythm)				
CP6		A	R	T	S	A	T	FIGS	2	
CP7		D	E	S	P	A	T	C	H	

図 3 宇宙詩のフォーマット

DESPATCH は太陽を周回する地球脱出軌道に投入されるため、打ち上げ後は地球から急速に離れて行く。結果としてアップリンクの回線設計は打ち上げ後まもなく成り立たなくなることから、DESPATCH は自律して機能するように設計され、地上からのコマンドは、法令で定められた通信機の緊急停止命令のみとした。DESPATCH からの信号の送信内容は、軌道予測から得られた地球からの距離（放出からの時間）に応じて、表 1 に示す 3 段階に変化するよう設定した。フェーズ 1 は機体の状態を確認するために、ハウスキーピングデータを送信する。フェーズ 2 では、メインミッションの宇宙生成詩を送信する。宇宙詩は図 3 のような形式であり、温度情報を色に対応させたカラーフレーズ、機体の姿勢を音響詩の断片に対応したリズムフレーズなどを Baudot 符号で送信する[1]。フェーズ 3 では温度情報を Duty 比に対応させたビーコンを送信し、アマチュア無線の最遠記録の樹立を狙う。

本論文では、DESPATCH を 3 つの側面から解説する。まず、DESPATCH の機体及びシステムについて述べる。次に、DESPATCH のミッションデザインについて述べる。最後に、DESPATCH の運用結果を報告する。

2. DESPATCH の機体及びシステム

DESPATCH は、芸術作品としての宇宙機というコンセプトを実現するために工学的に必要最小限である構造とシステムを持つ。本章では、この DESPATCH 機体の構造と電装、3D プリント部分の適合性について説明する。

2.1 DESPATCH の構造

DESPATCH の機体構造と機器配置を図 4 に示す。DESPATCH の機体は、SOLIZE 株式会社の協力により 3D プリントを用いて制作された渦巻状の彫刻部、内部電子機器、そして株式会社由紀精密の協力によって制作された金属ケースおよび内部構造部材からなる。

図 5 に示す彫刻部の素材はナイロン 12 であり、打ち上げ時の振動及び衝撃に耐えられるように設計されている。彫刻部の側面にはいくつかの穴が開けられており、そこにボルトを差し込んでケースと結合する。また、ばねのような形状を持つ彫刻部の振動を抑制するために、GFRP 製のステイが取り付け

けられている。このステイにはモノポールアンテナとして機能する銅板が貼り付けられている。3Dプリンタで使用した材料特性、および構造の機械的な特性と解析結果は文献[2]に詳しい。

こうした全体構造により、アンテナが伸びる方向は DESPATCH 機体の慣性主軸から外れる。そうすることで、アンテナゲインのヌルが地球にむくことで通信が定常的に不能となることを避ける。図 6 に電磁界解析ソフトウェア HFSS[3]を用いて計算したアンテナパターンを示す。前述のように、機体の鉛直方向とゲインのヌル方向がずれていることがわかる。ロケットからの放出時に機体の姿勢は制御できないが、機体は幾何学的な対称性をもたないため、基本的にその回転軸や回転速度は定常にはならない。このことから、機体が回転していれば、送信電波が地球に届くタイミングが必ず存在することがわかる。

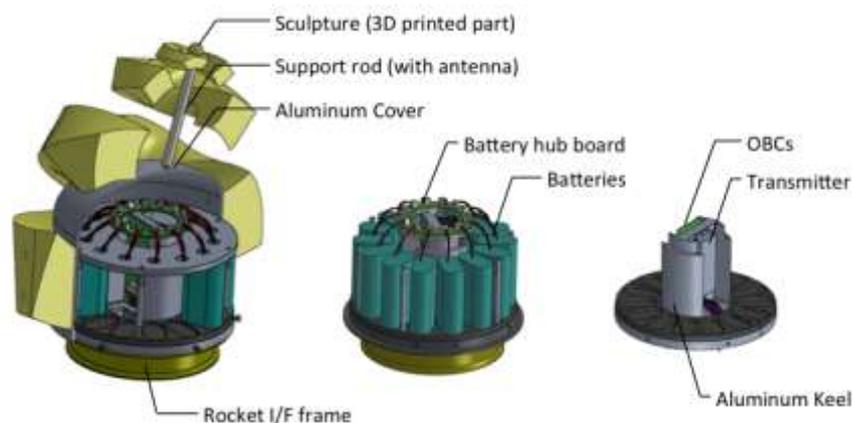


図 4 DESPATCH の構造と機器配置



図 5 3D プリントにより作成された彫刻部

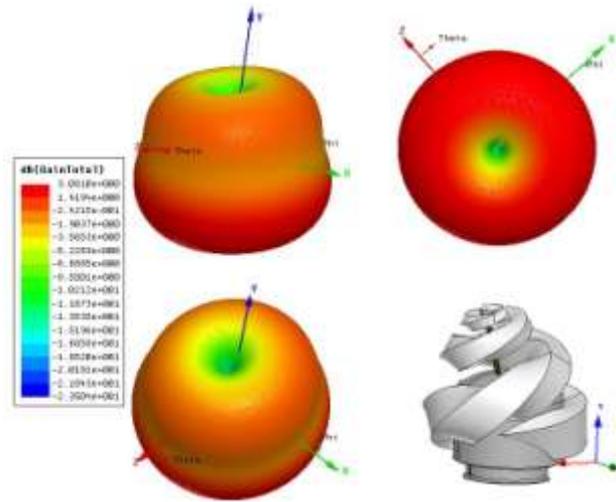


図 6 DESPATCH のアンテナパターン。それぞれ側面(左上)、底面(右上)、上面(左下)から見た様子を示す。右下は、対応する機体の座標系。

図 7 は内部の電子機器を収めるケースである。カバーはアルミニウム (A2017-T4) を素材とし、削り出し加工によって一体成形されている。カバーの側面には底板に固定するための穴と、彫刻部を固定するための穴が開けられている。底板にはカバー、電池組み付け部材、電子機器搭載用ピラー、PAFをはじめとするロケットインターフェース関連の部品を接続するためのネジ穴が空けられている。機体の熱的な要請から、底板は PAF との接合面を除き白アルマイト加工されている。カバーについては、底板との熱結合が期待できないため、黒アルマイト加工を内面に施して内部機器との熱結合を取っている。



図 7 内部機器を収めるケース、カバー(左)と底板(右)



図 8 電子機器を搭載するピラー



図 9 電池組み付け部分

電子機器は、主に図 8 に示すピラーに取り付けられている。片面に送信機を、その反対側の面に OBC や受信機、ノイズに弱い送信機用の発振器を取り付けている。このように送信機とその他の機器を離れたのは、送信機の出力が 7W と超小型衛星としては非常に大きいため、送信機の周囲に強力な電磁場が発生し、それにより他の電子機器に悪影響を与えることが懸念されたからである。また、送信機が大きな熱を発生させるため、その熱が他の電子機器に伝わらないようにする目的もある。

電池を組み付けた部分を図 9 に示す。14 個のリチウムイオン一次電池 (BCX85DD) を、下部の GFRP 製の板と、上部のアルミ製の板で挟む構造となっている。上板は電池ではなく、アルミ製の柱とピラーで支えられている。また、電池と上下の板はシリコンゴムで接着されている(図 9 の電池と板とが接する箇所に見える白い部分)。シリコンゴムによって電池は振動から保護される。上の板の黒アルマイト加工は、図 7 のケースカバーとの熱結合を取るために施されている。

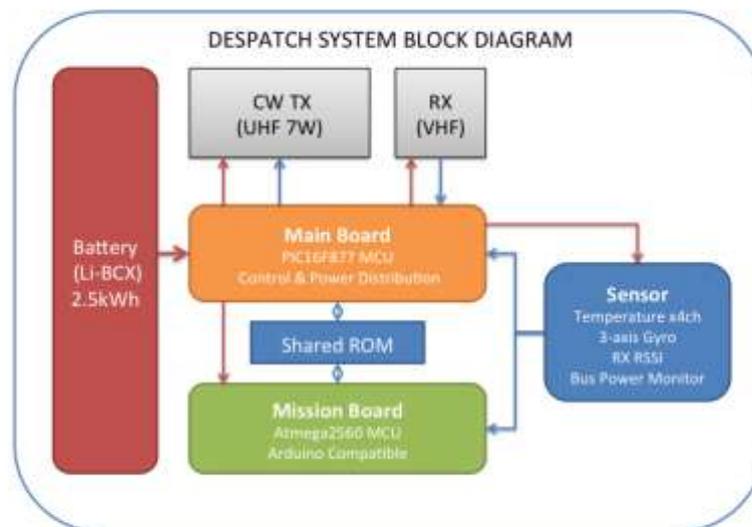


図 10 DESPATCH のシステムダイアグラム

2.2 DESPATCH の電装

DESPATCH のシステムダイアグラムを図 10 に示す。DESPATCH のシステムは、芸術ミッションのひとつである宇宙詩の送信に特化したものとなっている。通信機は（株）西無線研究所が本プロジェクトのために新規開発した CW 送信機[5]と小型受信ユニットを採用した。受信機の役割は、緊急停止信号の受信及び電界センサのみであり、それ以外にコマンドのアップリンクは行わない。送信機は、DESPATCH の最大設計（目標）通信距離が 300 万 km になるよう、出力 7W のもの（TXE430MCW-501A, 図 11）を特注で開発制作した。そのため、通信機の消費電力が 24W と非常に大きくなっており、それを 1 週間連続稼働させるために大容量のリチウムイオン電池（3.9V, 30Ah）を 2 直 14 並列で搭載した。

次に、図 12 のメインボード及びミッションボードについて説明する。OBC の機能は、センサ情報の取得と送信機の操作というシンプルなものとした。そこでメインボードに搭載する CPU には宇宙環境における堅牢性に配慮して、実績のある PIC16F877 を採用した。Arduino Mega との互換性を有するミッションボードの Morikawa[5]には、CPU として ATmega2560 が搭載されている。メイン OBC は、ミッション OBC が生成した宇宙詩のデータを受け取り送信するだけでなく、過電流の監視や、温度が 60 度を上回った時には発熱源である送信機を一時的に停止するなど、機体の温度管理を行う。後に述べるが、この温度管理機能が軌道上で設計通りに作動したことによって、DESPATCH の稼働期間が当初の予定を大きく上回り、アマチュア無線の最遠記録を達成することにつながった。

2.3 DESPATCH の 3D プリント部分の適合性

最後に、3D プリントで作成された彫刻部を機体に搭載するために検討検証した事項について述べる。彫刻部は、SOLIZE 株式会社が所有する粉末造形式の 3D プリンタによって製造された。粉末造形式の 3D プリンタで制作された構造物について、材料的に懸念された事項は以下の 2 点であった。

- ・硬化しなかった粉末が飛散する可能性
- ・素材強度の再現性

粉末の飛散問題に対する対策の一つとして、まず造形部分は中抜きをせず、稠密に作成することとした。中抜きをした場合重量は軽くなるが、内部に粉末が残留する。中抜きをしないことにより重量は増大するが、粉末の飛散問題は表面処理だけで対応できる。そこで稠密な彫刻部の表面にシーラー加工を施すことで粉末を固着し、粉末の飛散問題をクリアした。図 13 は 3D プリンタから取り出された直後の彫刻部である。シーラー加工後の彫刻部である図 5 と色が大きく異なることが確認できる。

素材の強度の再現性については、造形部分のプリントと同時に試験片を作成し、それを材料試験にかけることで証明した。試験片の制作に際しては、強度の異方性も考慮した。これは、積層型の 3D プリンタにおいては、積層面方向とそれに垂直な積層方向とでは、材料の強度が異なる可能性があるからだ。さらに、強度が空間的に等質であることも保証する必要があるため、試験片は同じ向きでも異なる位置で複数枚作成した。こうした試験を通じて、3D プリンタが宇宙機の構造部材としての再現性があり、打ち上げに耐える強度を有することが証明できた。

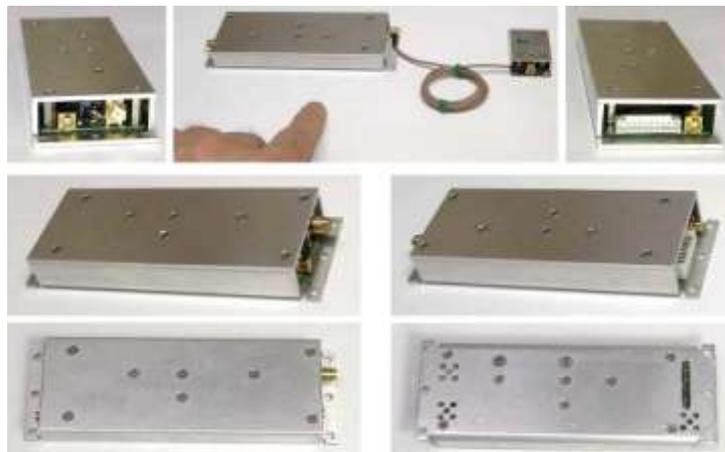


図 11 出力 7W の CW 送信機 (西無線研究所提供)



図 12 メインボード(下)とミッションボード(上)



図 13 表面処理前の彫刻部

3. DESPATCH のデザインコンセプト

DESPATCH は世界で初めて深宇宙に投入される芸術作品として開発された。本章では、DESPATCH のシステム、構造、通信がどのようなコンセプトでデザインされたかについて述べる。

3.1 システムデザイン

深宇宙彫刻というコンセプトの DESPATCH は、地球周回軌道上の衛星とは異なる通信と運用を行うため、機体のシステムデザインに関して、従来の宇宙機とは異なる制約と新たな自由度が生じる。深宇宙軌道に投入された宇宙機は、ロケットからの分離後、急速に地球との距離が開いていく。通常そのような場合、大きなゲインのアンテナを持つ地上局を用意し、機体側にもハイゲインアンテナと姿勢制御機能を持たせることで、宇宙機と地上局の回線を成立させる。そのためには、十分な資金と技術的な蓄積が必要となる。しかしながら、今回はこうした制約を逆手に取り、逆に通信が成立する設計期間を、地球から約 300 万 km に達するまでの、打ち上げ後 1 週間に限定した。そうすることで、機体の電源を一次電池だけで供給することが可能になり (=太陽電池パネルの搭載が不要になり)、機体の形状の自由度が大幅に増加し、さらに送受信機やアンテナといった通信システムに対する負担が軽減される。前述の電装や通信、データ処理といった、電気的なデザインおよびミッションはこうした設計コンセプトを踏まえてデザインされた。



図 14 ARTSAT プロジェクトが開発した大気球搭載用モジュール

DESPATCH の設計は、図 14 の JAXA 大気球ビジーバック実験のために開発した搭載モジュール[6]をベースにしている。大気球搭載用モジュールは、モジュールの回収が可能であるため通信機能が不要であり、取得した各種センサデータをミッション OBC「Morikawa」で記録する、データロガーとしての機能を持っている。さらにこのモジュールは、ミッション期間が短いため、一次電池だけで駆動する。このモジュールに送信機を付与したものが DESPATCH であり、それは先に述べた設計コンセプトを満たすものとなった。他の 50cm 級の衛星に比べてシステムが格段にシンプルとなったため、このデザインは研究室に属さない少人数の有志で開発を行う ARTSAT プロジェクトの趣旨とも合致した。

3.2 造形デザイン

DESPATCH は芸術作品であるが、芸術作品であるということは、その色や形状が個人（作家）の感情や好みによって決められる、ということの意味してはいない。芸術作品には、そうした個人の内面の発露による主観的表現ではなく、来るべき未来のビジョンを社会に提示するという役割もある。DESPATCH が伝えたいのは「芸術も科学や技術同様に常に未踏のフロンティアを目指している」ということであり、そこから既存の彫刻や詩の先にある新しい芸術の可能性を見つけ出そうとする。新しい素材やメディア、新しい表現の場、新しい方法の中には、きっと未知の芸術が潜んでいる。DESPATCH の芸術ミッションは、現実の社会の中で「一体何が（新たな）芸術なのかを探求し、それを社会に示す」ためにある。

こうしたコンセプトを踏まえて、彫刻部の形状については、ウラジーミル・タトリンによるロシア・アヴァンギャルドの象徴的かつモニュメンタルな建築作品である「第三インターナショナル記念塔」[7]および、ロバート・スミッソンによるランドアートの先駆的な作品である「スパイラル・ジェティ」[8]を参照しながら、古くから宇宙や生命のダイナミズムを象徴している「らせん」をテーマに、造形のスタディを行った。設計期間が限られていたため、図 15 に示すように CG 上でいくつかのコンセプトスタディーとプロトタイピングを行った後、最終的な形状を決定した。



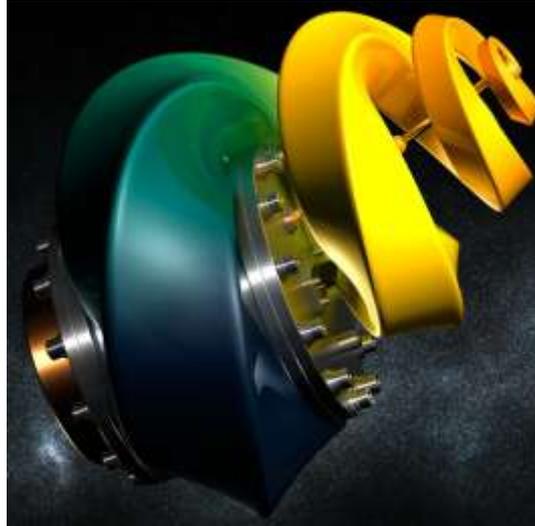


図 15 DESPATCH の初期設計段階における CG を用いたプロトタイピングの一例。
太陽電池を搭載しないことで可能になった自由な造形の活用法を検討した。

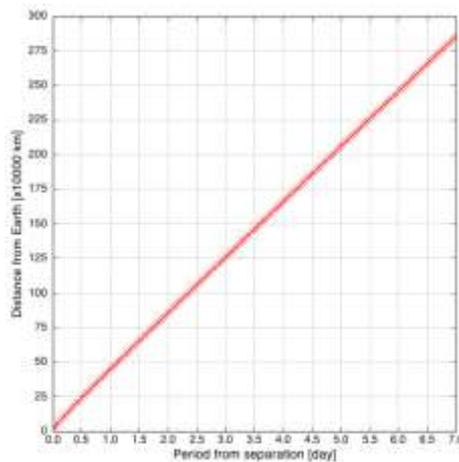


図 16 打ち上げ後の到達距離

3.3 通信デザイン

DESPATCH は「はやぶさ 2」の相乗り副衛星であるため、それに準じた軌道に投入される。これまで述べてきたように、その軌道は地球を脱出する太陽周回（惑星）軌道であり、地球の横を並走しながら、打ち上げ後約半年は DESPATCH と地球との距離は離れ続けることになる。

図 16 に、打ち上げ後の DESPATCH と地球との距離の推移の計算結果を示す。打ち上げ後一週間で、地球と DESPATCH の距離が約 300 万 km に達することがわかる。電波の強度は距離の 2 乗に反比例するため、地球周回の低高度の軌道上(高度約 400km)との通信と比べて、回線設計の条件は 80dB 以上悪化する。地上局側及び衛星側のアンテナに、大型衛星で用いる高ゲインのものを使用できない場合、回線設計は衛星側の送信機の出力増加と、通信速度を低くすることによって成立させるしかない。そこで DESPATCH では、ダウンリンクの方式を通信速度が低く帯域の狭い CW のみとし、送信機としては地球周回軌道の超小型衛星が通常用いるものの数十倍の 7W の出力を持つ無線機から、表 1 のような通信形式で送信することとした。つまり、地球からの距離が近いうちは高速なモールス信号を用い、その後は低速 (1bps) のオンオフで信号を送信する。さらに地球から離れて回線設計が成り立たなくなる頃から、(温度によって変化する) シンプルなビーコンを送信することで、アマチュア無線の最遠記録の樹立を狙う。

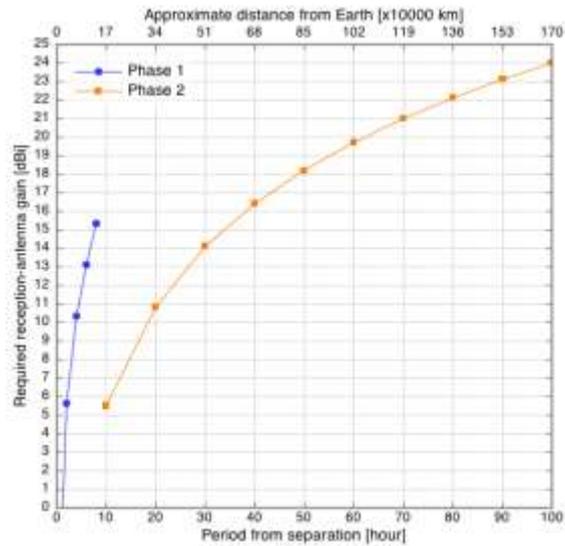


図 17 受信に必要とされるアンテナゲイン

図 17 は、表 1 の送信フェーズ及び図 16 の地球からの距離の計算を元に、受信可能な地上局のアンテナゲインを算出した結果である。ダウンリンクの速度が異なるフェーズ 1 と 2 では、必要なゲインの時間変化、ひいては距離に対する変化が異なっていることがわかる。以上のような通信デザインにより、アマチュア局でも十分に DESPATCH からの電波（宇宙詩）を受信することが可能となった。

4. DESPATCH の運用

4.1 受信体制の構築

DESPATCH は地球脱出軌道をとるために、その可視時間や仰角の推移は、通常の地球周回軌道の超小型衛星のそれとは大きく異なる。図 18 に地球上の各地点における可視時間と最大仰角を示す。東京での可視時間は 1 日あたり 9 時間程度である。本プロジェクトでは多摩美術大学に地上局設備を有しており、その間は DESPATCH が送信する電波を受信することができるが、図 16 に示したとおり、機体が見えていない（電波を受信できない）間にも距離は遠くなっていく上に、アップリンクでコマンドを送ることによるデータの取得方法ではないため、不可視期間の DESPATCH のダウンリンクの内容は取得できない。そこで、打ち上げに先立って、世界中に向けて共同受信の呼びかけを行った。

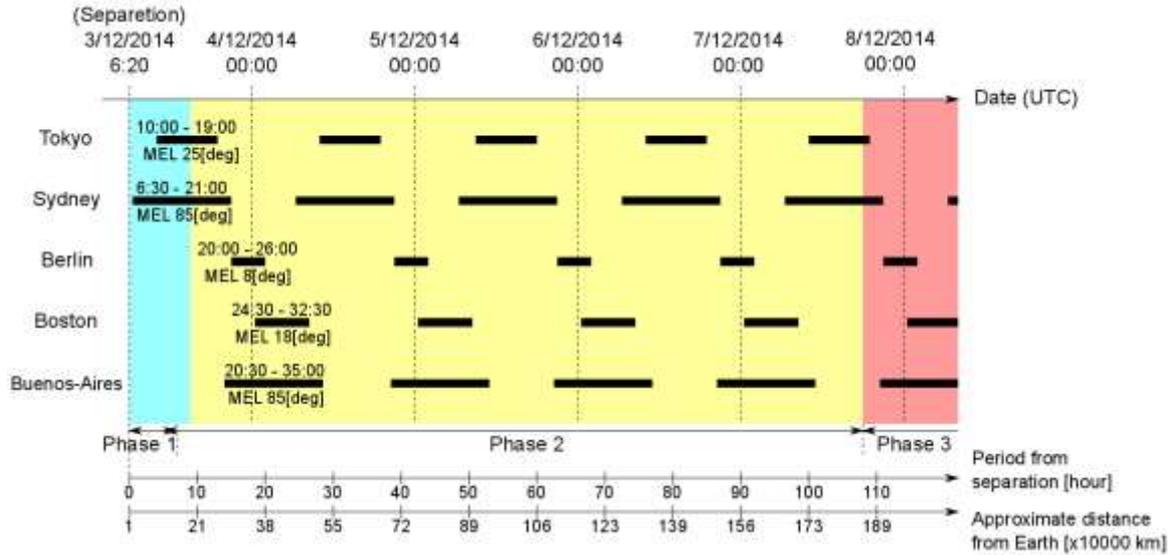


図 18 地球上の各地点における可視時間と最大仰角

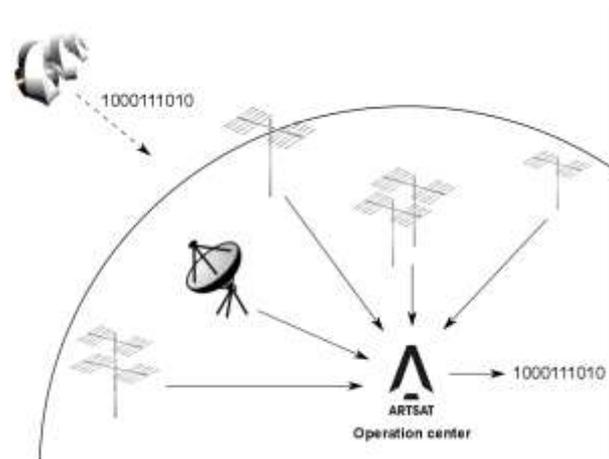


図 19 共同受信ミッションのイメージ図

図 19 は共同受信のイメージ図である。DESPATCH の送信する電波を、世界各地の様々なアマチュア無線局で受信することを試みる。そうすることで、単一の地点だけではそもそも機体が見えない期間や、地上の雑音などの影響で受信できなかった場合でも、他の地点からの受信データをマージすることで、DESPATCH が送信した内容を少しでも多く復元することができる。こうした共同受信を、世界中のアマチュア無線局の力を借りて実現するために、DESPATCH の打ち上げ前に、共同受信の呼びかけを AMSAT 及びインターネットを通じて行った。共同受信ミッションの呼びかけの文章は、日本語及び英語で作成された[9]。

4.2 打ち上げと運用の記録

天候不順による 3 日の延期を経て、日本時間の 2014 年 12 月 3 日 13 時 22 分 04 秒に、DESPATCH は H2A ロケット 26 号機によって「はやぶさ 2」「プロキオン」「しんえん 2」と共に、種子島宇宙センターから打ち上げられた。打ち上げから 1 時間 58 分 11 秒後に DESPATCH の切り離しが行われた。図 20 はその様子である。DESPATCH が日本の可視期間に入った同日 18 時 50 分には、多摩美術大学地上局で DESPATCH からのモールス信号が図 21 のように受信でき、DESPATCH の稼働が確認できた。



図 20 H2A ロケットから分離した直後の DESPATCH (赤丸内、JAXA 提供)



図 21 DESPATCH のファーストビーコンの受信画面 (上: 波形、下: スペクトル)

その後、日本時間の翌 4 日 0 時 36 分頃に宇宙詩の受信を確認し、フェーズ 2 への移行を確認することができた。フェーズ 2 への移行後、DESPATCH からの電波を約 20 分受信した後 50 分間停波する、という現象が発生した。その原因を検討するために、宇宙詩の受信結果から送信時の機体温度を算出したところ、約 50 度という値となった。このことから第 2 章で述べた、送信機の温度が高くなりすぎた際に機体冷却のために送信機を停止する機能が働いていると推定した。機体温度が予定より高くなったのは事実であるが、これは設計時の想定内の挙動であり、逆にその結果、当初の予定の 3 倍以上の期間、DESPATCH が電波を送信できることとなった。

共同受信ミッションの呼びかけを受けて、日本を始めとしてチェコ、ロシア、オランダ、スロバキア、アルゼンチン、ポーランド各国からの受信報告が届いた。多摩美術大学の地上局では、打ち上げから 3 日目の日本時間 12 月 5 日 23 時頃、988,000km の距離まで DESPATCH からの電波を受信することができた。打ち上げからの経過時間は約 60 時間であり、この地上局のアンテナが 18.9dB のゲインを持つ 2 スタック 16 エレメントの八木アンテナであることから、図 17 の回線計算が正しかったことが確認できた。

多摩美術大学の主管制局で受信ができなくなった後も、より高ゲインのアンテナを有する海外局では受信が続けられた。打ち上げから6日目の12月9日には、ポーランドのチームからの受信報告によって、フェーズ3への移行が確認された。この時点で、アマチュア無線局同士の最遠通信記録が樹立し、最終的にはオランダ[10]とチェコ[11]のアマチュア無線家が、打ち上げ後11日目の12月14日21時(UTC)に、4,696,700km地点からのビーコン信号を受信した。その翌日、オスカーナンバーFO-81がDESPATCHに付与された。残念ながらその後は受信が確認できなかったため、バッテリーが枯渇していると推定される打ち上げ一ヶ月後の2015年1月3日に、DESPATCHの運用終了を宣言した。

5. おわりに

DESPATCHは世界初の深宇宙彫刻としてデザインされた。DESPATCHは工学ミッションとして、3Dプリント技術で制作した機体部材の使用と、深宇宙共同通信技術の実証を行った。また芸術ミッションとして、芸術作品としての宇宙機に加えて、深宇宙環境で得られたセンサーデータを用いた、アルゴリズム的な宇宙詩の生成と送信を行った。DESPATCHは芸術作品としてのコンセプトを実現するために、宇宙機としては工学的に最小限の機能で構成したため、5人程度のチームにもかかわらず、約1年の開発期間で完成することができた。DESPATCHは「はやぶさ2」の相乗りとして2014年12月3日に地球脱出軌道に投入され、計画された全てのミッションを達成した上で469.67万kmというアマチュア無線の最遠通信記録を樹立した。DESPATCHの成功は工学的な観点から見れば、技術のみに目を向け、総花的になりがちな超小型宇宙機の開発に一石を投じるものである。また、超小型宇宙機の展開という観点から見れば、商業的利用でも理学実験でもない、文化芸術を基盤とした新しい宇宙利用の可能性を開く事ができ、まさに超小型宇宙機の本来の趣旨に立ち返ったプロジェクトになったといえる。なお、ARTSATプロジェクトの成果により、プロジェクトリーダーの久保田晃弘が、「平成27年度(第66回)芸術選奨」文部科学大臣賞(メディア芸術部門)を受賞した[12]。

謝辞

DESPATCHがミッションを完遂することができたのは、本当に数多くの方のご支援の賜物である。株式会社由紀精密とは、機器配置をはじめとする構造デザインを共同で行っただけでなく、金属筐体の制作を担当していただいた。SOLIZE株式会社には、3Dプリンタによる彫刻部の制作を担当いただき、さらにその材料試験や表面処理について、数多くの助言をいただいた。(株)西無線研究所には、ミッションの要となる小型高出力の送信機を新規開発していただいた。東京大学大規模集積システム設計教育研究センターの三田准教授及び久保田助教(当時)には、MEMSメモリを提供していただいた。熊本大学の波多英寛先生や、九州工業大学超小型衛星試験センターの方々には、FMの試験を受け持っていたいただいた。

JAXAの産業連携センターの方々には、機体の開発から試験、運用に至るまで数多くの支援をいただいた。同じくJAXAの「はやぶさ2」チームに、地球脱出軌道に対する相乗りという貴重な打ち上げ機会をいただけたことも、感謝の念に堪えない。

ARTSATプロジェクトメンバーの一人でもある眞田正弘氏をはじめとするJAMSAT及びAMSATのアマチュア無線家のみなさんには、共同受信ミッションの呼びかけと、DESPATCHからの電波の受信報告をいただいた。特に設計目標の1.5倍を超える469.67万kmの通信記録を達成した、オランダの無線家PEIITR氏とチェコの無線家OKIDFC氏の設備と技術力には、改めて驚異と敬意の念を示したい。

最後になったが、約1年という短い開発期間と最小限の人数で開発に携わったDESPATCHプロジェクトのメンバーおよび、多摩美術大学と東京大学の関係各位に、改めて厚くお礼を述べたいと思う。

本プロジェクトは、2012~14年度多摩美術大学共同研究費「超小型衛星を活用した衛星芸術とその教育への展開に関する研究」および、科研費基盤研究(C)25370137「衛星芸術用ミッションモジュールの開発と遠隔創造の実践」の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 久保田 晃弘, "DESPATCH の宇宙詩 : 遠隔創造による生成詩の実験", 芸術工学会誌 (68), 34-37, 2015-05, 芸術工学会
- [2] Kyohei Sawada, Meikan Chin, Naoto Usami, Motoki Kimura, Akihiro Kubota, "Structural Design of 3D Printed Spacecraft - ARTSAT2: DESPATCH" International Symposium on Space Technology and Science, 2015
- [3] ANSYS HFSS, 3D Full-wave Electromagnetic Field Simulation by ANSYS.
- [4] 超小型人工衛星用無線機 501A 型 CW 送信機,
<http://www.nishimusen.co.jp/eisei2013/eisei2013.htm>
- [5] 堀口 淳史, 橋本 論, 中澤 賢人, 久保田 晃弘, "Arduino 互換ミッション OBC 用のソフトウェア開発: 抽象化とリプログラミング",宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-14-009, 15-32, 2015-03
- [6] 中澤 賢人, 久保田 晃弘, "ミッション OBC 「Morikawa」を用いた気球芸術用データの取得", 大気球シンポジウム, 2014
- [7] 第三インターナショナル記念塔, <http://artscape.jp/artword/index.php/> 「第三インターナショナル記念塔」ウラジーミル・タトリン
- [8] スパイラル・ジェティ, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ロバート・スミッソン>
- [9] 共同受信の呼びかけ, <http://despatch.artsat.jp/ja/>, <http://despatch.artsat.jp/en>
- [10] Rx test DESPATCH 437.318MHz, <http://www.ok1dfc.com/eme/despatch/despatch.htm>
- [11] ARTSAT2:DESPATCH Deep Space Probe Reception Report,
<http://www.itr-datanet.com/~pe1itr/artsat2despatch/> .
- [12] 平成 27 年度 (第 66 回) 芸術選奨文部科学大臣賞及び同新人賞の決定について,
http://www.bunka.go.jp/koho_hodo_oshirase/hodohappyo/2016030902.html