

## 第26回衛星設計コンテスト

### アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

#### 1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 月周回旅行のための燃料補給機 (つきしゅうかいりょこうのためのねんりょうほきゅうき)			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） 日本が行える有人宇宙開発の可能性を探る (いほんがおこなえるゆうじんうちゅうかいはつのかのうせいをさぐる)			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	田久保勇志(タクボユウジ)	筑波大学附属駒場高等学校	3年

#### 2. アイデアの概要（プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

月自由帰還軌道を用いた月の周回旅行をミッションとして提案し、同時に日本が開発可能な燃料補給機を考案した(この補給機は日本がHTVの開発で培ってきた技術で十分実現可能なものである)。有人宇宙船を他国から静止軌道まで打ち上げ、その宇宙船とドッキングし、エンジンを燃焼させることで軌道に投入させることを目的とする、いわば「 $\Delta V$  提供サービス」である。将来的には、この補給機を軌道に複数配置することで、より商業利用に適したシステム構築を見据えている。

#### 3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

##### (a) 目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）

今回設計した人工衛星の目的は、「他国の有人宇宙船と協力して月周回の商業的利用の手段の確立」である。具体的には、静止軌道まで上昇した他国の有人宇宙船にドッキングして、月自由帰還軌道(Lunar Free Return Trajectory/以下FRT)へと人工衛星からエンジンを噴射し、月自由帰還軌道を通することでそのまま地球に帰ってくる、「月への旅行」を実現するものである。着想はアポロ13号の事故から、事故対応ばかりが注目されるが故に、13号が通ったルート自体は注目されていないが、エンジンをほとんど使わずに地球に帰還できる自由帰還軌道の商業的な価値は非常に高いと考え、将来的にこれを宇宙旅行に応用することを考え、そのための燃料補給機としての人工衛星を考案した。

##### (b) 重要性・技術的意義等(ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)

日本は世界と渡り合える宇宙開発技術を持っているが、現在独自の有人宇宙開発には全く参入していない。今後の宇宙利用において、この不利性は明白になっていくはずで、日本の宇宙開発はより厳しい環境になっていくだろうと考えた。今回の提案は、日本が現在保有している技術をもとに、マイナーチェンジのみで「有人宇宙開発のよりコアな部分へと参画」という形で世界の中での存在感を示すことができるようになる。現在日本はISSへHTVをもって貢献をしているが、今後数年でISSの国際運用が終わることを鑑みると、HTVと同じ発想を宇宙旅行という分野に向けることによって、日本独自ではないものの、有人宇宙船へのトラブルシューティングや補給がよりスムーズに行えるようになるというのがこの提案の最大の意義である。また、今回提案する技術的手法は、約50年前にアポロ計画においてフォン・ブラウンが考案していた地球軌道ランデブー方式と呼ばれる手法と同じである<sup>[3]</sup>ため、技術開発も十分可能と考える。今後民間人の宇宙利用の中で、宇宙旅行のニーズは確実に高まることは明らかであり、その中で(1)宇宙空間での自由な機体のドッキング・分離を行えるようになる(2)月自由帰還軌道での宇宙利用の商業的な価値を日本が提言する(3)HTV開発で成熟させた日本の技術をベースにして、広く国民の有人宇宙開発への関心を高めるという技術的、国策的な面でこの補給機は大きな貢献をするだろう。

#### 4. アイデアの概要

##### (1) ミッション概要

今回考案したプロシージャ全体(補給機の運用以外を含む)を以下に記す

- ①燃料補給機の打上げ(日本)…静止トランスファ軌道まで打ち上げ後、静止軌道に投入
- ②有人宇宙船の打上げ(他国)
- ③静止軌道まで上昇した宇宙船と燃料補給機のドッキング
- ④月自由帰還軌道へ機体を投入・月を周回して帰還し、補給機を分離して大気圏突入

※制約条件について

初めに、日本の現状打ち上げ可能な人工衛星についての制約条件(静止トランスファ軌道/以下GS0への打ち上げ)はH2Bロケットで5t、H3で8t程度である。また、日本単独での月周回を行うためには、477tの打ち上げ用ロケットが必要で、一方GS0到達のみに必要な打ち上げ用ロケットの質量は211tである(この値は2条件の差を明示するための検証方法であるので、実際の打ち上げロケットの質量とは大きく異なる。詳細は説明資料参照)。また、GS0で打ち上げ後分離した宇宙船に人工衛星がドッキングして、FRTに投入するために必要なエンジン質量は6.92tであることから(算出については説明資料を参照)、ロケットの打ち上げ能力的には日本の技術の範囲内でこの補給機を打ち上げることができることが示された。

##### (2) 機体諸元(機体の図は説明資料に記載した)

- ・質量: 8.5t (Empty Mass 1.5t/燃料質量 7t)…H3ロケットの打ち上げ能力以内である
- ・直径・高さ: TBD (m)…H3ロケットの機体諸元が公表されていないためここでは明記できない。
- ・推進剤: ケロシン系(噴射速度 3800m/s)と酸化剤  
比推力だけを考慮すればLox/LH<sub>2</sub>の混合燃料のほうが高いが、液体水素の沸点の低さから、軌道上での長期間の運用は難しく、保存性に優れるケロシン系の燃料を選択した。
- ・設計: ベースはHTVとして、このモデルに変更を加えていく
- ・HTV(このとり)からの引き継ぐ要素

##### (イ) 補給キャリア非与圧部

燃料タンクおよび軌道投入用のエンジンを搭載する。HTVのような与圧部分は不要であるため、機体の大部分はこれが占める。

##### (ロ) アビオニクスシステムと近傍通信システム

ドッキングを行うための通信・制御システムは、HTVこのとりの開発で十分完成しているため、この技術をそのまま利用することで、オペレーションの安全性を高めることができる。(とはいえ日本は有人宇宙活動の技術を未保有であるので、今後の安全性の更なる吟味・改善は不可欠である)

- ・HTV(このとり)からの新規開発要素

##### (イ) 燃料噴射用エンジン

推進用の新規エンジンの開発も必要である。これがアポロ機械船におけるメインエンジンの役割を果たす。ケロシン系のロケットエンジンは日本にとっては未開発要素であるため、新規開発が必要。ケロシン系の推進剤は比推力が比較的高いうえに、沸点が高く、長期保存に向くため、今回の推進剤に選定した。

##### (ロ) ドッキング用の規格の統一

ISSでのHTVのドッキングは、ISS側がアームで捕獲する形であったが、この補給機は直接のドッキングが必要となる。HTVが捕獲形式のドッキングを行うのは開口部分の扉の大きさを確保するためであるが、今回はこの必要がなく、直接ドッキングで十分である。

また、全ての国のドッキング用の規格を統一することで、どの宇宙船に対しても自由帰還軌道のオプションを与え、補給機の商業的利用価値を飛躍的に高める。アンドロジナスドッキング機構のようにオス・メス両方を持たせる必要はないので、比較的容易に開発できると考える。(別紙資料参照)

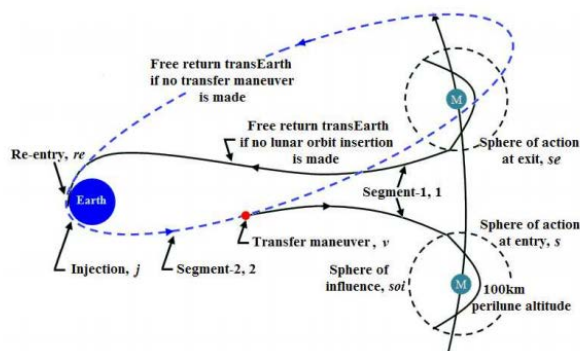
##### (3) 運用・軌道

##### 【人工衛星単体について】

- ・目標軌道: 静止軌道(GTOから投入)
- ・運用年数: 軌道投入から1年以内(宇宙放射線による機体の不具合の生じる可能性を考えて設定)
- ・機体数: 将来的には軌道上に2~5機が同時に存在していることを想定
- ・機能: GS0まで到達した有人宇宙船に接続し、補給船のエンジンを燃焼させ、FRTに投入させる。  
その後地球の大気圏再突入時に宇宙船と分離し、大気圏で消滅する。

## 【ミッション全体について】

・軌道：有人船を打ち上げたのち、月自由帰還軌道に投入 (FRT)



(左図) 月自由帰還軌道の概念図<sup>[1]</sup>

月の公転周期と宇宙船の接近のタイミングを合わせることで、月の重力を利用して機体からの推進を使用せず地球に帰還することができる軌道

・商業的な利用

まず、月の FRT は火星のそれと異なり短い周期での周回ができる。更に、GSO に補給機を複数配置しておくことで、打ち上げ延期などにも柔軟に対応できる、商業利用のしやすいシステムを構築することができる。また LFRT の周期は 5~10 日であるから、乗員に

必要な生命維持装置も比較的少ない資源量で済むことが考えられる。

※静止軌道にはすでに多くの人工衛星が存在しており、それらとの競合については位相の調整や、通常時には他の軌道に移しておいて、ドッキング時のみ静止軌道を利用するなどの解決策を考えていく必要がある。

## 5. 得られる成果

※宇宙で利用することにより、どのような効果があるかなど。

(1) 「燃料補給船」を宇宙空間でドッキングする技術はアポロ計画時からあったが、頻繁に使われているものではない。燃料補給(ΔV 確保・軌道変更)は将来における重要な基盤となり、火星をはじめとするより遠い宇宙空間への人類の進出を促進する。

(2) 打上に伴うハードウェアの増加はあるものの、日本の積極的な有人宇宙開発への参入に伴って宇宙旅行の商業的な利用機会や月近辺での観測・実験などの学術的な利用機会が増えることは間違いなく、日本人の宇宙利用の敷居を下げるができる(補給機(運用システム全体)の大量生産が可能となれば、経済的なコストも逡減することが予想される)。

(3) 宇宙空間の有人商業的利用を大きく推進することで、宇宙開発を巡る国際情勢の中での日本の地位を上げることができる。世界の中でも月周回旅行は先駆的であるため、今後の国内外における宇宙ビジネスの起爆剤となることが期待される。

(4) 燃料補給機と有人宇宙船の機体開発を別の国が行うことで、集中的に資金を投入することができ、結果安全性が高まることが予想される。また、個々の打上げに必要なロケットの規模を小さくすることで、宇宙開発の発展途上の国でも技術開発が行いやすくなる。

## 6. 主張したい独創性または社会的な効果

人工衛星の打上げ目的は多くが観測であるため、衛星の周りを周回することが前提となっているが、商業的な部分で見ると必ずしもそれが必要ではないということ、そしてアポロ 13 号という大事故からビジネスのチャンスを見出したことに斬新さがあると考え。アポロ 13 号では「そうせざるをえなかった」わけであるが、月の近くまで行くというニーズだけを考慮すると、「そうせざるをえなかった状況」に対する需要は大きいに違いないのだ。

さらに、前項で述べた通り、この補給機が日本の宇宙開発の競争力を支える人工衛星になることは間違いのないといえる。今後商業的な人工衛星・宇宙船は増えていくと考えられるが、そのなかでも(1)運用コストが非常に小さいこと(2)有人船の打上げの遅れなどにも簡単に対応できること(3)ミッションを国単位で分業制にすることでそれぞれの開発にかけられるコストが上がる(ないし国単位ではコストが低下する)といったメリットを備えた宇宙旅行補給機は存在しえないだろうと考える。宇宙開発に参画するために、ファルコンヘビーやサターンVのようなロケットを保有しなければならない時代が終焉に向かうということは、発展途上国の宇宙開発にとっての光ともなるだろう。

以上