

第 14 回衛星設計コンテスト アイデアの部 ミッション解析書

流星バースト生成粉塵散布衛星 「流星号」

葛巻拓也 中元隆介 大倉徹也 降矢敏秀 堀祐介 渡辺雄太

東京都立航空工業高等専門学校 電子工学科

1. 本ミッションの目的

流星バースト通信 (MBC : Meteor Burst Communication) とは、地球に降ってくる塵が大気圏で燃え尽き、その際生じる、飛跡に残る電離気体柱 (流星バースト) に電波を反射させることで遠距離通信を可能にする通信方法である。この通信路は、塵が大気圏に突入することで初めて開けるため、発生時刻、継続時間が確率的である。そのため任意の時間帯、場所で通信をすることがしにくい。そこで人為的に流星バーストを起こし、任意の時間帯、場所で用いることができるかどうかを検証し、また、その他にも流星バースト通信の特性について観測をすることが、本ミッションの目的である。

2. 流星バースト通信について [1][2]

2.1 流星バースト通信とは

地球上では1日に重さにして約 1 t、個数で言うと 10^{12} 個にもものぼる宇宙塵が霧雨のごとく降り注いでいる。この宇宙塵は大気圏への突入に際して、高度 100 km 辺りで流星バーストと呼ばれる長さ数十 km の細長い電離気体柱を形成する。この流星バーストは低 VHF 帯電波 (30~50 MHz) をよく反射し、これを利用することで距離約 2000 km の見通し外通信が可能になる。

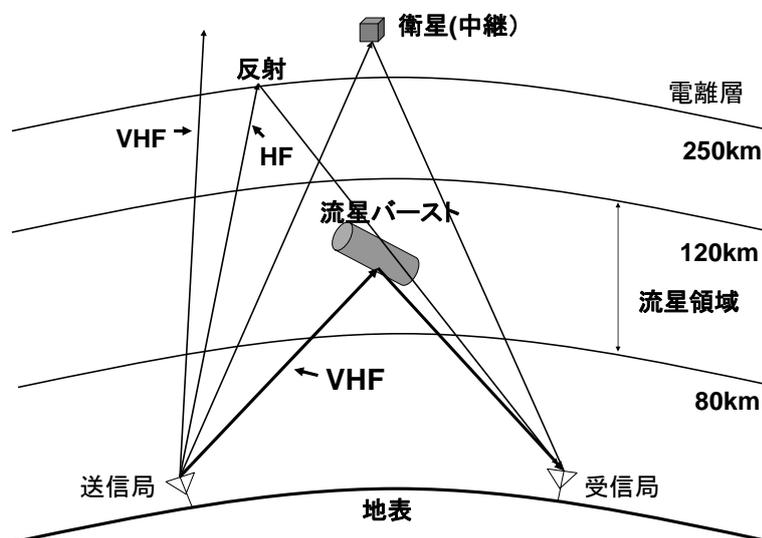


図 1 流星バースト通信

流星バースト通信は、衛星通信や短波通信と異なり、通信路の発生時刻、継続時間などが確率的である。そのため携帯電話などのように常時通信を行うのには向いていないがパケット通信には有効である。またマルチパス・ドップラシフト・フェージングなどの面で比較的安定しており、短波通信で問題になる時間帯による反射状況の変化がない。そのため小容量の見通し外通信には、短波通信システムよりも安価で簡易にシステムを構築でき、運用も比較的楽にできる。

2.2 アンダーデンス・オーバーデンス

流星バースト通信路は、突入してくる宇宙塵の大きさにより、その接続時間が異なる。宇宙塵が比較的小さい場合、受信信号電力は指数関数的に減衰し、大きい場合は通信路は比較的長く継続させるが、一般にゆっくりとしたフェージングを伴う。前者はアンダーデンス、後者はオーバーデンスと呼ばれる。図2にこれらの受信状態の一例を示す。

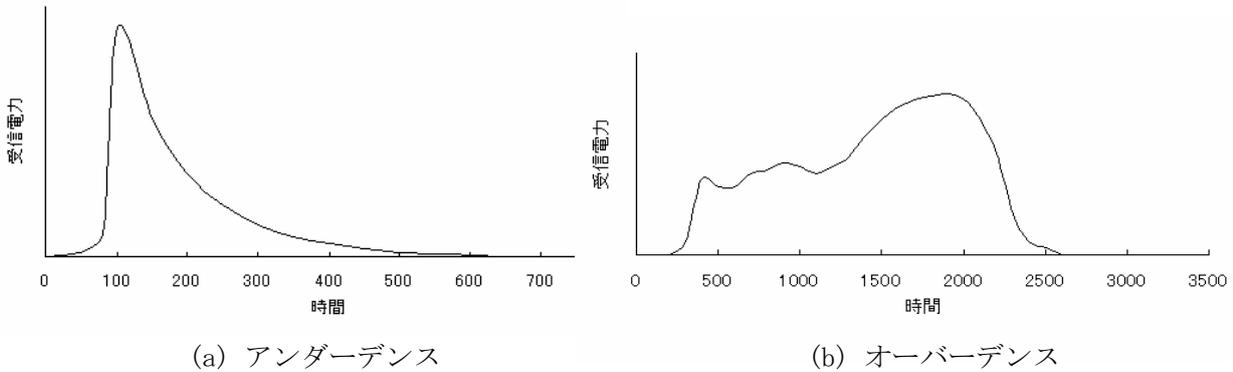


図2 受信電力の変動

2.3 フットプリント・ホットスポット

フットプリントとは、送信した電波が1つの流星バーストにより反射され届く範囲である。(図3) 地上での通信可能範囲は馬蹄型になることが多いが、形や大きさはバーストの位置、角度や長さにより違いがある。またその大きさは、流星バーストが送信局に近ければ大きくなり、受信局に近ければ小さくなる。

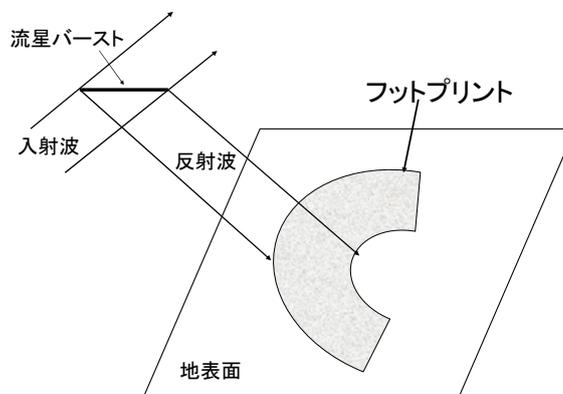


図3 フットプリント

ホットスポットとは受信局と送信局の2局間の通信路の中で、特に反射効率の良いバーストが発生する空域のことをいう。このホットスポットとされている空域は、直径が両局を結ぶ線上にある楕円の周上で、この楕円の直径は局間距離よりやや長く、短径は高度の約2倍となることが知られている。

2.4 利用構成

流星バースト通信は、通常の衛星を用いた通信や短波通信と比べ、発生時刻や通信時間などに制限がある。そのため、携帯電話などのように常時通信を行うのには向いていないがパケット通信には有効である。周波数帯は30~80 MHzを用いることが可能であり、周波数が低いほど強い反射が得られる。

しかし低すぎる（30 MHz 程度）とD層での吸収や電離層反射との干渉が起こり、通信が不利になってしまうので、35～50 MHz が利用されることが多い。流星バースト通信は、回線を敷設しなくてもよい
ため通常の衛星回線やマイクロ波中継回線による通信よりも低コストで行うことができ、5 素子の八木アンテナで、最長 2000 km 程度の通信が可能である。

2.5 特長

電離気体柱（流星バースト）は電離層反射を利用した通常の短波帯通信のように、時間帯により周波数を変える必要がないため、アンテナの設置が低コストかつ簡単にできる。またシステムが、専用あるいは共有者が少ないため、運用調整の必要がない。デジタル通信による伝送データの信頼性が高いということも実証されている。その他にも通信時間やバーストの発生位置が毎回異なるため、傍受がほとんど不可能であり、通信の秘守性が極めて高いことが挙げられる。

通信路の開閉が確率的である流星バースト通信のシステムには、データ収集用のマスター局を 1 つおき、多数のリモート局を設置するというシステムが最適で、多地点からのデータ、通報を収集するテレメトリに適切である。

しかしその反面、発生時間がランダムなため、通信には平均的に数秒から数十分の情報伝送の遅れを伴い、常時回線が確保されていないため、大量、高速のリアルタイムでの情報伝送には不向きである。また瞬間的ではあるが、比較的大きい送信電力（300 W程度）が必要となる。

2.6 現在の利用

現在、流星バースト通信は辺境地域での気象観測や監視情報のデータ収集システムに、低速小容量のデータ伝送システムとして用いられている。実用例としては米国のロッキー山脈に 600 個ほど設置されている積雪データ収集用システム「SNOTEL」、アラスカのパイプラインの監視や気象観測を行っている「AMBCS」などがある。日本においても海上保安庁により、流星バースト通信を用いた海洋データ収集システムの構築が行われている。また、トラックなどの輸送監視システムの開発も行われており固定通信だけでなく、移動体通信への応用の期待も高まっている。

3. ミッション概要

高度 300 km まで打ち上げた衛星から、流星バーストの素となる粉塵が入ったカプセルを投下し、カプセルの高度が 120 km に達したところでカプセルを開封させ、カプセル内の物質により流星バーストを生成させる。

カプセルは、オーバードェンスとアンダーデンスの両特性を得るために、同一の物質でも大きさの異なった 2 種類の塵の入ったものをそれぞれ作る（つまり荒い塵と細かい塵の 2 つのカプセルを作る）。カプセルに入れる塵の質量はすべて 20 g とし、それぞれ 1 つの塵の質量が 10^{-4} g (アンダーデンス用)、 10^{-1} g (オーバードェンス用) である粉塵を用いる。またカプセルには、鉄、白金、プラスチックなど、様々な種類の物質を入れて、それぞれの流星バーストの反射特性を測定する。

カプセルは高度 120 km 辺りで、時限式で開封する。しかし流星バーストの発生地点は正確にはわからないので、できるだけ多くの地上局に協力してもらい、発生位置の特定や、特性の測定を行う。

以下にミッションの手順を簡単に示す。

- (i) 流星バーストの元となる粉塵入りカプセルを搭載したペンシルロケットを 25 個積み込んだ衛星を、高度 700 km まで打ち上げる。

- (ii) 衛星は地上局からの命令により、粉塵入りカプセルを搭載したペンシルロケットを射出する。
- (iii) 射出されたペンシルロケットは衛星の進行方向と逆方向に噴射し、周回軌道速度から減速して

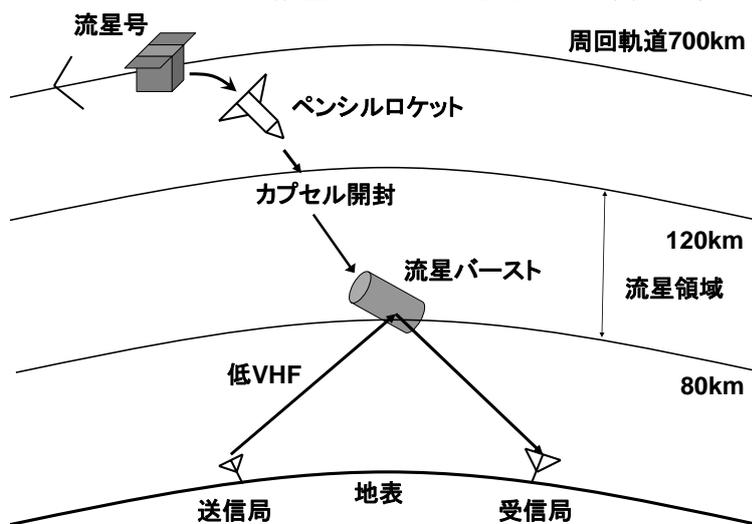


図4 ミッションの流れ

大気圏に突入する。

- (iv) ペンシルロケットが高度 120 km 程度まで降下したところで、カプセルが時限式で開封する。
- (v) (iv)により高度約 100 km 地点にできた流星バーストを用い、データ通信を行う。この通信実験での、電波の強度や、通信できた時間、誤り率、フットプリントなどの特性を測定する。
- (vi) 他のカプセルについても(ii)～(v)の実験を行う。
- (vii) すべての粉塵を落とし終えた母衛星は、その後、自身が大気圏へ突入し、可視の流星となる。

4. システム概要 [3]

まず、このミッションに用いられる衛星の全体図を図5に示す。

衛星のサイズは、300 mm×300 mm×300 mm である。またソーラパネル展開時の長さは 900 mm となる。

ソーラパネルは展開式 2 枚、上面のパネル 1 枚の計 3 枚あり、これによりエネルギーの確保を行う。前面にはペンシルロケットを射出させるための射出口が 5×5 個設置してある。また、コマンド、テレメトリ等の通信用のパラボラアンテナを 2 基搭載している。

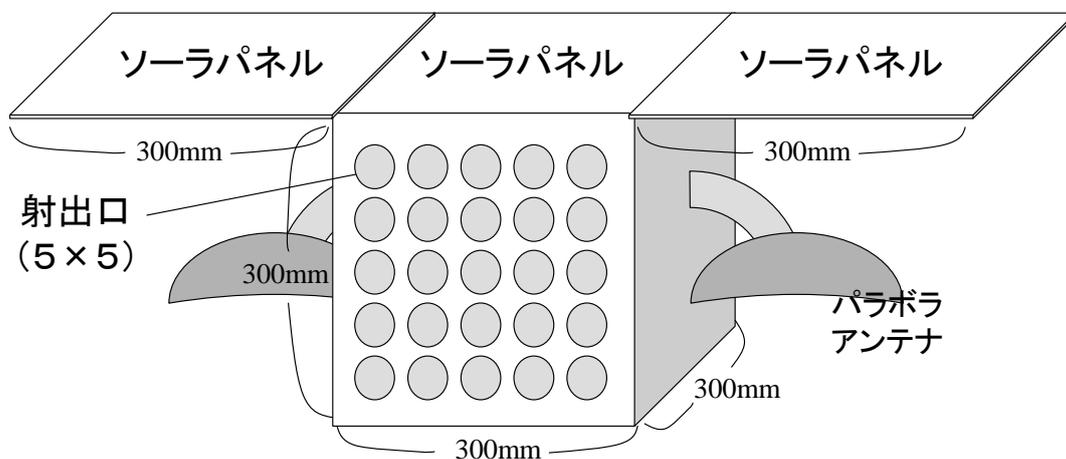


図5 流星号全体図

次に衛星の内部構造を図6に示す。

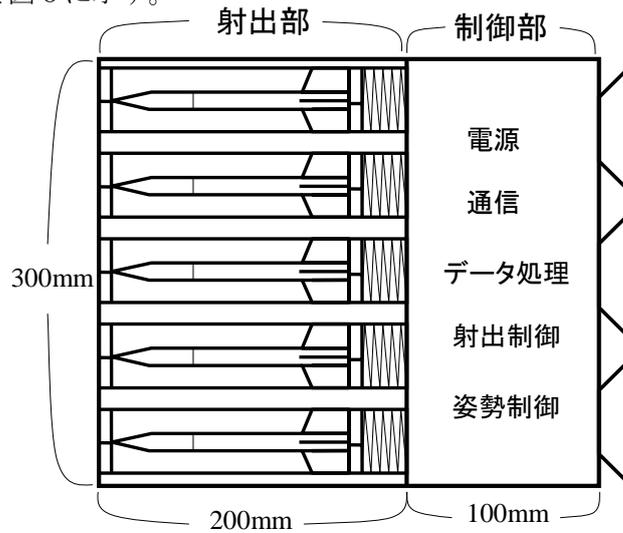


図6 衛星内部構造概略図

衛星の内部構造は射出部、制御部の2つからなっており、それぞれの幅は射出部 200 mm、制御部 100 mm となる。

射出部では、ペンシルロケットの射出と、その動作制御が主となっている。

射出口はペンシルロケットのサイズが 180 mm×55 mm×55 mm なので、スペースも考慮して最大 5×5=25 個の射出口を設置することができる。本ミッションでは各々の物質による流星バーストの特性を調査するため、25 個の射出口を取り付ける。

制御部は、電源、通信、データ処理、姿勢制御や射出制御により構成されている。カプセル射出時にバネによる反動が起こるため、それを防ぐために、射出と同時に、同じ力だけエネルギーを放出する事も担当する。

次に射出動作を図7に示す。

射出前は二つのストッパにより、ペンシルロケットは押さえられているが、射出命令後、二つのストッパが持ち上がり、バネによりペンシルロケットを射出する。

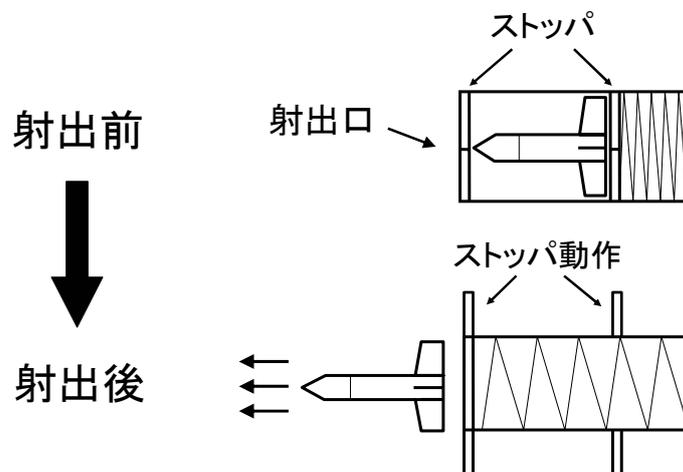


図7 発射モデル

図8にペンシルロケットの概略図を示す。

ペンシルロケットの先端部は粉塵の入ったカプセルとなっていて、このカプセルは時限式で開封するようになっている（高度120 kmで開封）。またカプセル部以下は燃料部となっており、ここには燃料が入れている。ペンシルロケットはこの燃料を噴射し、周回速度から減速して大気圏へ突入する。

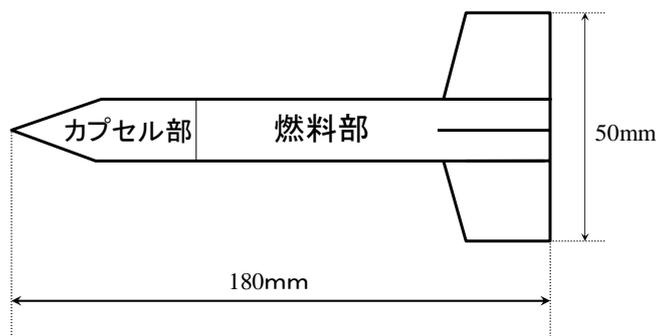


図8 ペンシルロケット概要

5. 得られる成果 [1]

第一に、衛星による人為的な流星バースト通信の実験は今まで行われたことがなく、流星バーストを人為的に発生させる事が可能であるならば、流星バースト通信の研究をさらに深めることができる。

もし人為的に流星バーストを発生させ、通信を行うことができれば、これまで詳しい研究が行えなかったフットプリント、ホットスポットの詳細について観測・検討をすることができる。また、投下される媒質の種類を変え、各特性を調べることにより、媒質による反射特性も調べることができる。

さらに他にも、流星バースト通信において、まだ研究がなされていない部分を調べることも可能になると思われる。

6. まとめ

現在、自然に発生した流星バーストによる通信、研究は行われているが、人為的に流星バーストを発生させ、通信、研究を行った例がない。そこに着目し、流星バースト生成粉塵を散布し、人為的に流星バーストを起こす衛星と、それによりフットプリント・ホットスポットなどの研究や、落下させる各物質により生成される流星バーストの反射特性を観測し検証するミッションを提案した。

本ミッションで、人為的に流星バーストを起こすことができ通信可能となれば、バーストの発生が確率的であるために曖昧であった流星バースト通信の詳細を、検証することが可能になるだろう。また、流星バーストを起こすことが可能となった後に追実験を行い、各媒体の流星バーストの特性を調べ、通信時間や、大容量転送などに優れる媒体が見つければ、新たな通信路としての発展に期待される。今後はさらに流星バースト通信を研究していきたい。

参考文献等

- [1] 福田明 「流星バースト通信」 コロナ社(1997)
- [2] <http://www2.denshi.numazu-ct.ac.jp/~nagasawa/index.html>
- [3] <http://www.jaxa.jp/index.html>