

惑星アエロブレーキ基礎技術の研究

Basic Researches on Planetary Aerobrake Technology

八坂 哲雄 (Tetsuo Yasaka)

九州大学・大学院工学研究院・特任教授



研究の概要

惑星探査機を、惑星の周回軌道に投入する際に推進剤を不要とするアエロブレーキを実現する技術を研究し、地球周回軌道でその実証をすることを目標とする。衛星の設計、姿勢制御、ならびに大気中の航行技術を連携して研究する。

研 究 分 野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キ ー ワ ー ド：惑星探査、アエロブレーキ、エアロキャプチャー、アブレーション、小型衛星

1. 研究開始当初の背景・動機

月・火星の探査に続き、人類は必然的に木星など外惑星に向かう。九州大学は木星に人類の前進基地を設け、ガス惑星の探査、木星域の資源利用を目指す長期プロジェクトを提唱。それを実現する最大のブレークスルーとなるアエロブレーキを実現するための基礎技術を研究する。

2. 研究の目的

アエロブレーキを実証するために地球を周回する衛星を研究開発し、探査機構成技術、軌道姿勢制御、衛星システム技術を取得し、次に地球高層大気層に突入させることにより空気力による軌道の変化を実証する。また、木星大気を想定した水素雰囲気における衝撃波を伴う高速流体と探査機の相互作用を研究する。

3. 研究の方法

テザー衛星の研究実績を基に、探査機に必要なユニットを開発。探査機の環境試験設備を整備し、上記ユニットの地上実証を行う。また、別プログラムによりこの探査機を地球周回軌道に打ち上げ宇宙実証を行う。アエロブレーキのクリティカル技術である木星投入軌道の正確な制御法に関し、テザー伸展などを利用し、推進剤の必要量を最小化する技術を開発する。惑星大気中の航行の力学に関し、超高層流装置を整備し、また解析手法を研究し、アブレーションなどの耐熱技術、水素雰囲気中の力学を明らかにする。

4. 研究の主な成果

(a) 惑星探査計画

世界的に最も先進的と評価される九大の木星計画を具現化する輸送系の課題を研究。木星にいたる通常の軌道では、木星によって加速され、太陽系から飛び出す軌道を取る。アエロブレーキによって木星周回軌道に留まらせることができる軌道を見出した。木星半径7万kmに対して、高度で200km幅の進入路が存在する。これにより、木星域のどこへでもきわめて少量の推進剤で到達できるようになる。スイングバイを利用では、木星直接投入に比べてペイロードが6倍になる反面、到達時間は2倍になる。金星、地球、火星を経由の候補とすれば、ほぼ毎年打ち上げ機会があることを見出した。

(b) 衛星設計

アエロブレーキの技術を地球周辺で実証する手段として、衛星「QSAT」を研究開発した(図1)。衛星を構成する電源系、データー処理系、通信系、姿勢検出系、姿勢制御系、ならびに構造の各ユニットが完成し、このうちいくつかは地域中小企業により市場に提供できる素地を作った。



図1 QSAT衛星

特色のある成果

- ・姿勢検出装置：通常の衛星に適用可能な太陽センサー、磁気センサー、ジャイロ。
- ・データ処理系：MPUを各ユニットに配置した分散処理。軌道上でのプログラム更改が可能。
- ・衛星分離装置：非火薬で多数回使用可能な新たなデバイスを開発。(図2)
- ・伸展ブーム：釣竿技術を応用して電動機で伸張する軽量長尺のブーム。

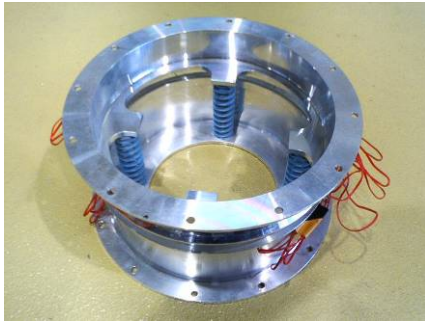


図2 非火薬分離機構

(c) 衛星姿勢制御

アエロブレーキを成立させるためには惑星周辺で正確な軌道投入が必要である。衛星がテザー機能を持っていることを利用し、非ホロノミック制御によりテザー系姿勢を制御し、適切な時点でテザーを切断することにより探査機に所望の速度増分を与える方式を世界で初めて明らかにした。

(d) 大気航行

水素が主成分である木星大気中を航行する時の力学を研究した。

- ・水素極超音速希薄流の解析を行い、水素分子の回転緩和、振動緩和、解離反応を考慮し、木星大気を対象としたエアロキャプチャーが実現できる見通しを得た。
- ・デトネーション駆動型イクスパンションチューブを用いて水素極超音速流の発生を試み、8km/sを達成した。
- ・炭素系アブレータをアーク加熱空気流に曝し、分光分析によりCN Violet、C₂ SWAN バンドをアブレータの上流側で観測し、スポーレーションの発生を確認した。
- ・惑星大気に突入したときの強い衝撃波を含む非定常大規模乱流を解明するため、精度向上を達成できるLES/RANSハイブリッド乱流モデルを検討し、新たなモデル表式を確立した。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

- ・現在の月・火星に向けた諸国の活動が、10年後には木星に向けられる。それを先取りした本研究は外国でも高い関心をもたれている。
- ・研究開発された衛星は本格的な科学・技術ミッションを行うことができる規模であり、衛星用機器は汎用性をもって、地域産業への広がりをもたらした。
- ・テザー機能を活用した衛星の姿勢、軌道制御を開発し国際的にも評価された。
- ・水素大気での空力特性の研究を初めて本格化した。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1) **Tetsuo Yasaka**, “Outpost in Jovian system — a stepwise long-term undertaking”, Acta Astronautica, Vol. 59, Issues 8-11, pp. 638-643, October-December, 2006.

2) R. E. Poetro, **T. Yasaka**, T. Hanada, “Jovian Outpost Establishment and Operation - Conventional Propulsion Assessment”, 6th IAA Intern'l Conf. on Low-Cost Planetary Missions, 13 Oct. 2005.

3) 外本伸治, 「非ホロノミック性を利用した剛体衛星の軌道変更に関する研究」, 日本航空宇宙学会論文集, 第54巻, 第634号, pp. 477-484, 2006.

4) Hisashi Kihara, Masaki Hatano, Noriyuki Nakiyama, Ken-ichi Abe and Michio Nishida, “Preliminary Studies of Spallation Particles Ejected from an Ablator”, Trans. of the JSTS, Vol. 49, No. 164, pp. 65-70, 2006.

5) Ieyoung Kim, Hiroshi Hirayama, Toshiya Hanada, **Tetsuo Yasaka**, “Development of Micro Satellite in Kyushu University”, 25th ISTS, 2006-s-11, 2006.

ホームページ等

<http://ssdl-www.aero.kyushu-u.ac.jp/qsat/>