

宇宙テザー技術の検証とその将来

首都大学東京 藤井 裕矩、渡部 武夫、草谷 大郎

Space Tether Technology and Experimental Study

Hironori A. Fujii, Takeo Watanabe, and Tairou Kusagaya

Tokyo Metropolitan University, Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

E-Mail: fujii@tmit.ac.jp

Abstract: Space tether technology is reviewed for its status including a sounding rocket experiment deploying one-kilometer electro-dynamic tether, a small satellite experiment of tethered orbit-elevation without fuel, tethered space solar power satellite equipped with 10km tether, and a sample-return mission from an asteroid employing a harpoon-penetrating tape-tethered corer. Future of space tether technology is also foreseen as “free-lunch” Jovian tour, electro-dynamic re-boost, electro-dynamic tether de-orbit of satellite.

Key words; Space Tether, Electro-dynamic Tether, Sounding Rocket, Space Solar Power Satellite

宇宙テザー技術は宇宙新技術の一つであって、人工衛星同士をひもでつなぎ構造物を形成するシステムであり巻き取った状態で打ち上げ、軌道上で展開することにより大型宇宙構造物の要素となる。このため、宇宙テザー技術は次のような特長を持つ、すなわち、1) 宇宙構造物に加わる重力は小さいため軽量で長大な構造物を構築できる；2) 打ち上げ時にコンパクトに巻き込むことが出来る；3) 圧縮には耐えられないが、引張りには強い構造物を構築することが出来る；4) スプール

から巻き戻すことによって展開することが出来、自律的な構築が可能であり宇宙の人的資源の省力化につながる事が出来る；さらに、5) 軌道上では、重力傾度により受動安定が得られる。

多くのテザー技術による応用が NASA による宇宙ハンドブックで、空気力学研究、ミッションコンセプト、重力制御、導電技術、惑星ミッション、科学、宇宙ステーション、そして輸送といった多様な分野で見ることが出来る [1]。本稿では、このような宇宙テザー技術について実験的な検証の手法の紹介と、いくつかの応用例ならびに将来構想について述べる。

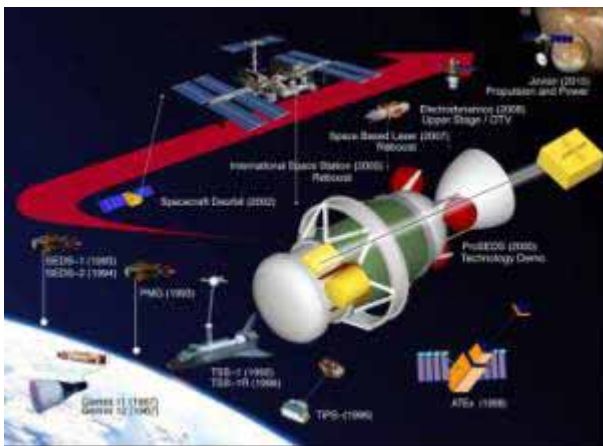


Fig. 1 Brief History of Tether Technology

宇宙テザー技術の検証 1: 観測ロケット実験

導電テザーの初の実験として期待された ProSEDS はコロムビア事故のあおりを受けキャンセルされ、テザー技術の将来計画におけるミッシングリンクとなった(Fig.1)。このため、観測ロケットのペアテープテザーを用いた宇宙科学実験は、世界初の軌道上でのペア・テザー実験となるものであって、1) 軌道上での OML (Orbital-Motion-Limit) 電子収集

理論の検証； 11) 電子ビーム生成のデモンストレーション；の二つの理学実験を通して、テザー技術の検証を行うことを目的としている。

この実験の主要な特徴は他の衛星に危険が無いことである。実際に、高度はISS以下であり、20分以内の短期間の実験となり危険性はほとんどない。観測ロケット実験は低価格、シンプルなミッション、短期間での実現性といった特長を持つテザー実験の理想的なデモンストレーションとなる。この観測ロケット実験においては1kmのペア・テープテザーを展開させ、3Aの電流を流し理学実験を行う(Fig.2)。観測ロケット実験においては全体の飛行時間が20数分と極めて短いため弾道飛行の初期フェーズにおける約100m高度に達したところから、1.迅速かつ高信頼性のテープテザーの展開、ならびに、2.ホロー・カソードの短時間での点火の技術が必要となり、十分な検討が行われてきた。最近では2007年1月に国際メンバーが集まり最終的段階の詰めを行った(Fig.3)。

テープテザーの高速展開

テープテザー展開においては1kmのテープテザーを高度100kmに到達後140秒間での展開を検討した(Fig.3)。その結果、新たに折りたたみ展開方式を考案し、水平板上の空気潤滑2次元展開実験、単段式及び2段式の水ロケットを用いた実験などで、折りたたみ展開方式での信頼性の高い高

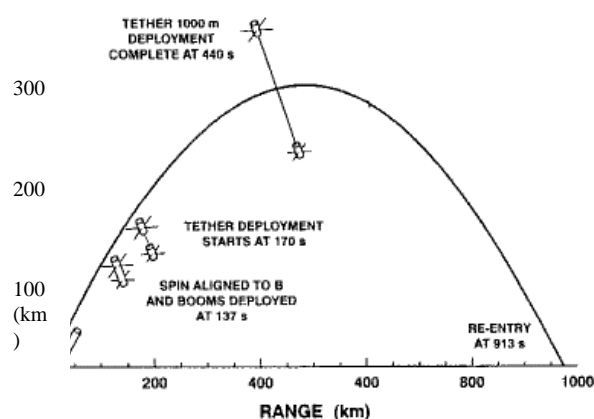


Fig.3 International Tether Meeting :
Fig.2 Mission profile of a sounding rocket

展開するために、真空装置内で繰り出し抵抗測定実験をおこなった。また、バネ射出による初速度のみで展開させることを検討し、強力なバネを縮め、保持し、開放する方法を考えるため、実際に射出装置の作成を行ったりして万全の準備を行っている。

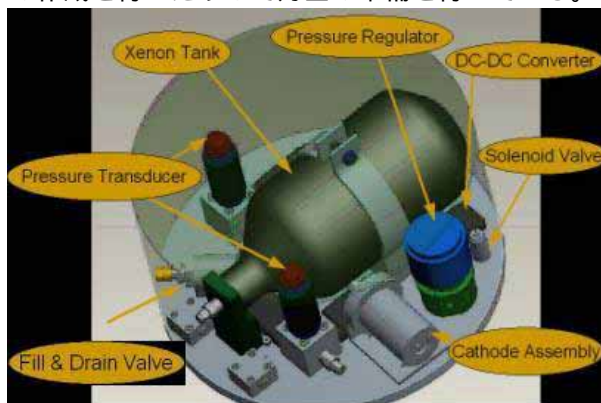


Fig.4 Fast Starting Hollow Cathode Test Pallet



速展開を確認した。さらに、確実に希望する長さ

Sept. 2004, 11 April 2005, 4 & 5 January 2007

ホロー・カソードの高速点火

理学実験での十分な時間を確保するために、到達高度 100 km でのテープテザーの展開と同時にホロー・カソードのコールドスタートが必要となる。これに関しては FAST Pallet (Fast Starting Hollow Cathode Test Pallet) プロジェクトとして NASA/MSFC ならびにコロラド州立大学のチームが十分な検討を行っており、(Fig.4) すでにモックアップを製作するなど万全な準備を行っている。

宇宙テザー技術の検証 2 : 小型衛星による検証

M5 や VOLNA (ESA) などの打ち上げ機を用いた小型衛星実験では、工学的な応用として、実用的な利点からも大いに有用性が期待されているテザー技術を用いて推進燃料を使わない軌道上昇を図る手法である (Fig.6)。

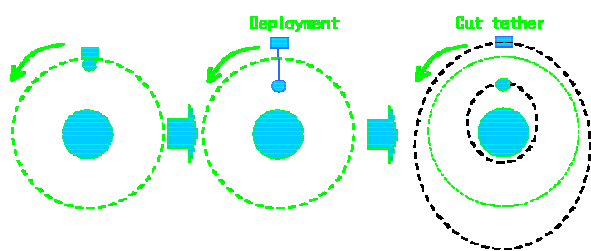


Fig.6 Engineering Mission

また、理学実験では宇宙で導電テザーを用いると非線形アルフヴェン波を生成させ制御できる (Fig.7)。このため非線形波動の振る舞いを直接観測する極めて有効な研究手段を与えることが出来る。

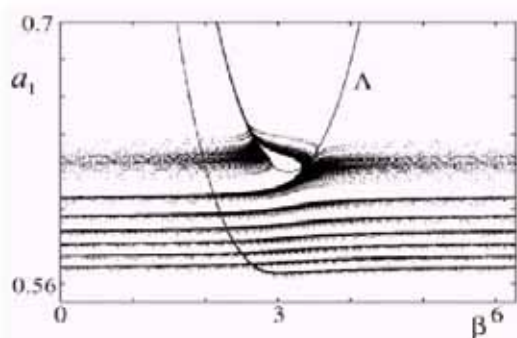


Fig.7 Nonlinear Alfvén Wave



Fig.8 Sample Return with Tape Tether

テザー技術の応用 1: 小惑星サンプルリターン計画

小惑星探査において、テザーを使うことによって、小惑星からサンプルを引き抜く “はやぶさ Mk2” に向けてのテザードサンプラーのアイデア探査機本体の安全を確保できるサンプリング手法である (Fig.8)。3次元解析・実験のために航空機を用いた弾道飛行による微小重力実験を本年度 2007-2008 実施予定である。

テザー技術の応用 2 : テザー型太陽発電衛星

太陽発電衛星は宇宙空間で太陽光発電を行い、二酸化炭素を発生しないクリーンな発電システムで更に地上とは違って天候や時間帯によって左右されることなく発電しほぼ無尽蔵なエネルギー供給可能という特徴がある (Fig.9)。

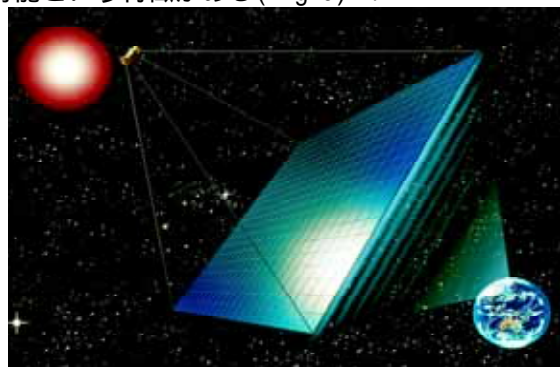


Fig.9 USEF 提案実証型 SSPS

テザー技術の応用将来 1 : 導電テザー推進

テザー上に流れる電流と地球磁場との干渉によるローレンツ力を推進に利用すると推進剤消費が極めて少ない高比推力な推進システムを構成することが出来、20km 導電テザーを用いた宇宙ステーションの軌道維持(Fig.12) や、デブリ除去(Fig.13)などに大いに有効となることが期待されている。



Fig.12 ISS LEO operation requires reboost



Fig.13 ED Tether Deorbit of Satellites

テザー技術の応用将来 2: 木星ツアー

木星大気への突入に際して導電テザーを回転させ、木星の衛星 Callisto, Ganymede, Europa, そし

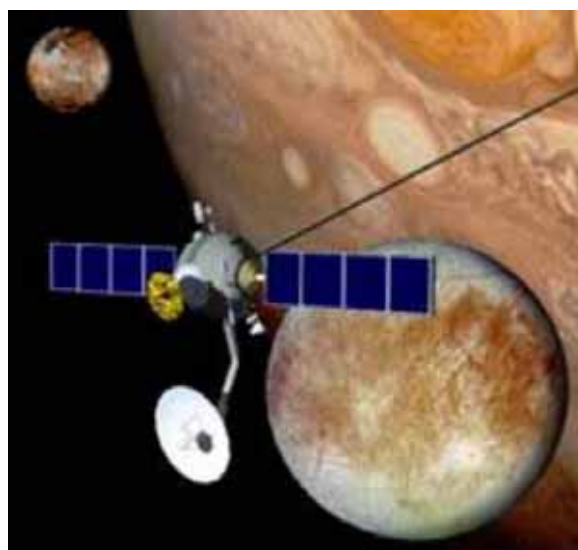


Fig.14 ED Tethers for Jupiter Tour

てIoの“Free-Lunch”(燃料を使わないで)連続探査を行うことが出来る。

まとめ

宇宙テザー技術の検証実験、また、宇宙テザー技術の応用例、さらに、将来計画として導電テザーによる軌道制御などを紹介した。これら宇宙テザー技術は、低価格で実現でき、そのミッションはシンプルであり、かつ、短期間で実現できる。さらに、理学の面では新発見につながる学術成果が期待され、工学の面では技術的なブレイクスルーが期待される、ProSEDSが残したミッシングリンクを補完する理工学両面で重要な技術検証になる。

この宇宙テザー技術は我が国が国際的なリーダーシップをとりうる極めて重要な宇宙技術であり、トップサイエンス、そして、トップテクノロジーを標榜することの出来るものであり今後の進展が大いに期待される。

参考文献:

- 1) Fujii, H.A., “New Space Technology: 1km Tether to 100,000km Space Elevator,” *The International IPSI-2004 Conference*, Opening Keynote Speech, Montenegro, October 2- 9, 2004.