



# Sustainable Constellations

## Disposal and Reuse with Tethered Systems (DaRTS)

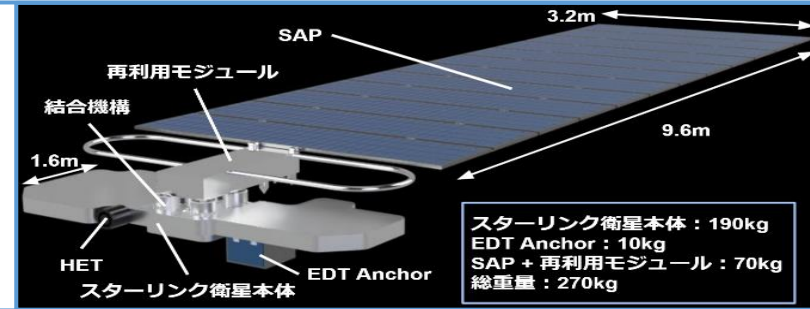
渋谷教育学園渋谷高等学校：佐藤裕成アレックス 上坂進之祐 齋藤優衣 岡遙希 江尻晃輔 吉本陽貴

### 目的・意義

DaRTSは衛星コンステレーションの安全性を高め、持続可能な運用の実現を目指すシステムの構想である

- システム異常や故障等が発生した衛星と運用を終了した衛星を、導電性テザー (Electrodynamic Tether: EDT) を用いて迅速かつ安全に廃棄し、非デブリ化を目指す
- 運用を終了した衛星(終衛星)からは太陽電池パドル(SAP)など長期使用可能な部品を取り外し、打ち上げられた新しい衛星(新衛星)に軌道上で装着することで再利用し、循環型宇宙開発に寄与する

The Mission: SpaceX社の「スターリンク計画」において、SAPを再利用する

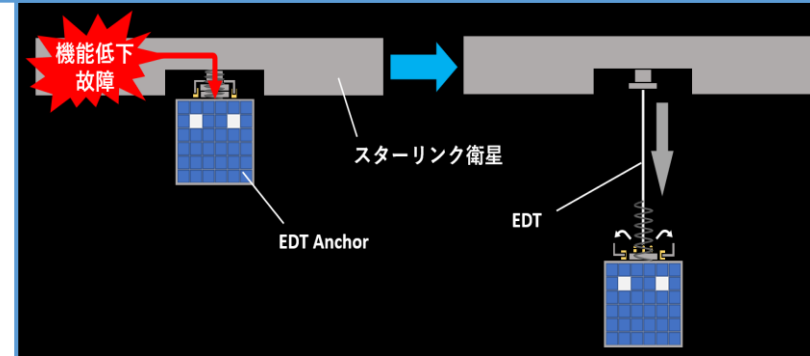


### 衛星の自律廃棄システム

衛星自律降下装置「EDT Anchor」を各衛星の底面に設置し、安全かつ速やかに衛星を廃棄する

- EDT Anchorは衛星の機能低下(再利用に適さない場合)と故障またはその予兆を検知する
- EDT Anchorは衛星から離脱し、地球方向に3kmのEDTを伸展することで、EDTシステムを構成し、軌道離脱を行う
- EDT Anchorは地上局からアップリンクされたコマンド信号に従い、EDTの印加電圧・電流をコントロールすることで衛星の軌道を制御、または姿勢を安定する

EDT Anchorは、**簡単・燃料不要・低コスト・導入しやすい**

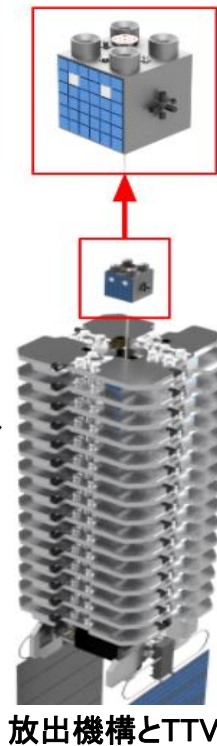


### 衛星部品の再利用システム

再利用する衛星部品を脱着可能で統一化された「再利用モジュール」に搭載し、テザー運搬機「Tethered Transport Vehicle: TTV」を使用することで衛星間の部品の受け渡しを行う

#### 衛星部品の再利用システムの概要

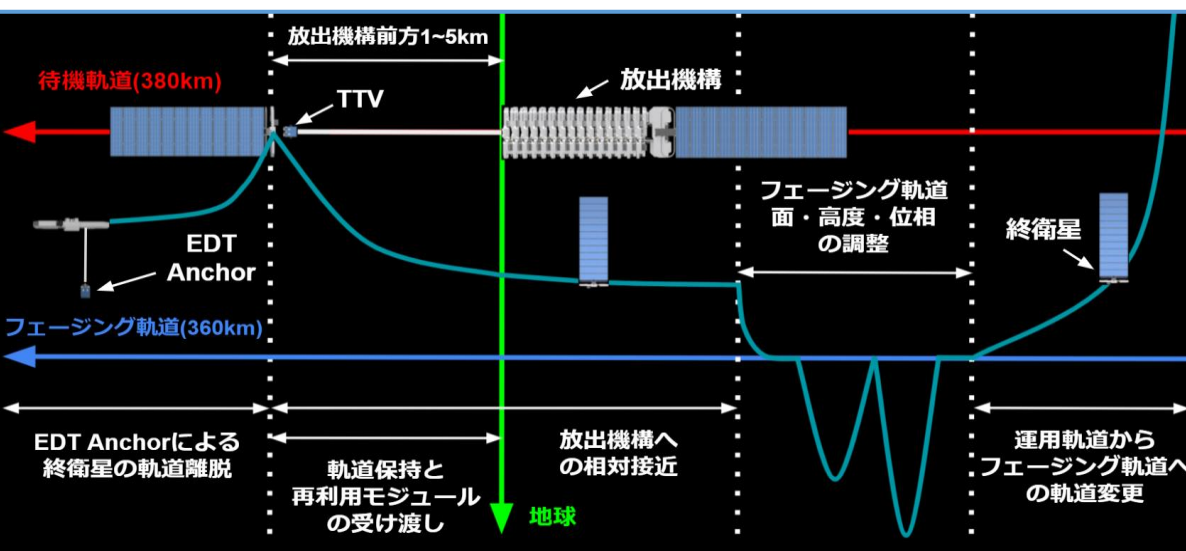
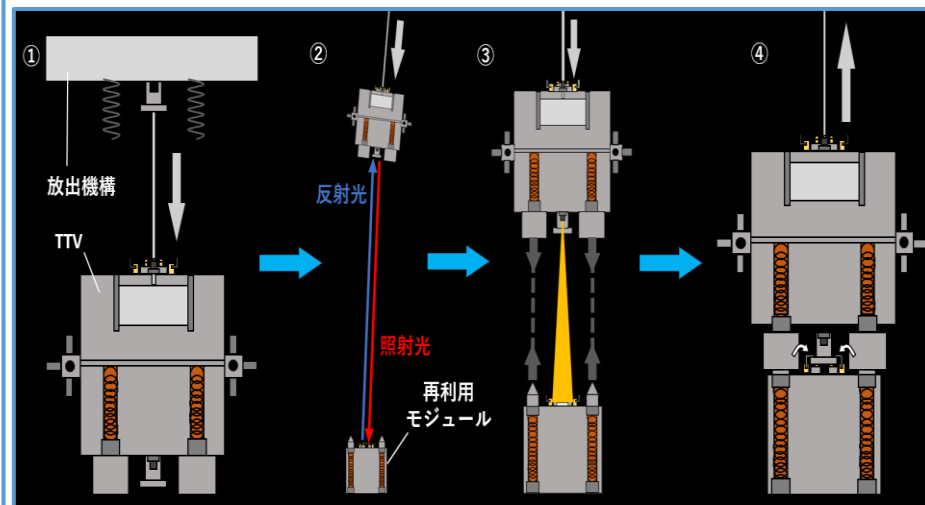
- 再利用モジュールを持った終衛星は高度550kmの運用軌道から、新衛星を60基搭載した「放出機構」が投入された高度380kmの待機軌道に遷移する
- 終衛星はGPS相対航法によって放出機構前方1~5kmへ相対接近し、待機軌道に乗り、軌道を保持する
- 放出機構にテザーで接続されているTTVは、終衛星に向けて放出され、テザーを伸展することで終衛星へ接近する
- TTVは電磁石の補助のもと終衛星の再利用モジュールと結合し、終衛星が離脱し、TTVが再利用モジュールと合体した状態で伸展したテザーを巻き取ることで放出機構へ帰還する
- TTVは再利用モジュールを放出機構の先端にある新衛星に結合させて、新衛星が放出され、TTVは全ての新衛星に再利用モジュールを渡すまでこのプロセスを繰り返す
- 終衛星はSAPを失って電気推進機を作動できないため、EDT Anchorを伸展させ、軌道離脱を行う



#### TTVの接近、最終接近、結合、そして帰還の詳細

- TTVは終衛星に向けて、放出機構からばねによって放出され、テザーを伸展しつつ制御し、GPS相対航法によって衛星へ相対速度2m/sで接近する
- TTVは搭載のFlash LiDARのレーザ光を再利用モジュールに照射して距離と視線方向を計測し、搭載の単眼カメラで再利用モジュールの位置を推定する
- TTVは再利用モジュール後方30mまで達すると、コールドガスを噴射させて最終接近し、単眼カメラで再利用モジュールの6自由度を推定し、TTVと再利用モジュールがソレノイドで結合ポートに磁界を作って制御することで、双方を結合させる
- TTVはその結合を固定させてテザーを巻き取り、放出機構に帰還し、TTVがFlash LiDARを、新衛星が単眼カメラを用いることでTTVが再利用モジュールを新衛星に結合させる

TTVのみが最終接近とドッキングを行う = **コスト削減**



### 得られる成果・独創性・社会的な効果

- DaRTSはSDGsの目標12「つくる責任 つかう責任」の宇宙での実践である
- 衛星コンステレーションでEDT Anchorを活用し、安全性を高めた速やかな軌道離脱を実現する
- 衛星部品をモジュールに搭載することで、宇宙空間での部品の再利用・調達を可能にする
- 衛星を「デブリのリスク要因ではなく、宇宙で調達可能な部品」と捉える発想の転換が独創的である

| フェーズ | ①通常の累積質量[t] | ②通常の累積金額[百万ドル] | ③DaRTS採用時の累積質量[t] | ④DaRTS採用時の累積金額[百万ドル] | 質量差[t] = ③-① | DaRTS採用時のコスト削減効果[百万ドル] = ④-② |
|------|-------------|----------------|-------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| 1    | 11,149      | 30,324         | 11,487            | 31,244               | 338          | 920                          |
| 2    | 22,297      | 60,648         | 20,243            | 55,062               | -2,054       | -5,586                       |
| 3    | 33,446      | 90,972         | 29,000            | 78,881               | -4,445       | -12,092                      |
| 4    | 44,594      | 121,296        | 37,757            | 102,699              | -6,837       | -18,597                      |
| 5    | 55,743      | 151,620        | 46,514            | 126,517              | -9,229       | -25,103                      |
| 6    | 66,891      | 181,944        | 55,270            | 150,336              | -11,621      | -31,609                      |

- DaRTSをスターリンク計画に導入し、70kgのSAPのみ搭載したモジュールの寿命を30年とすると、概算で打上げ費用が総額316億ドル削減できる
- DaRTSをスターリンク計画以外に、他の衛星運用にも導入することで、さらなる経済効果が期待される