

P-167 ソーラー電力セイル用ランデブードッキングおよびカプセル技術の検討

○川崎繁男, 山田和彦, 板東信尚 (JAXA), 中条俊大, 高尾勇輝 (東大), 宮地晃平, 藤田和央, 鈴木俊之, 下田孝幸, 高柳大樹, 丹野英之, 森治, 加藤秀樹 (JAXA), 高橋祐介 (北大), 石田広之, 渡部竜平 (早大), 新井恭輔, 比護悠介 (東海大), 荒谷貴洋 (東理大), 菊地翔太 (東大), 北尾啓, 中村拓磨 (青学)

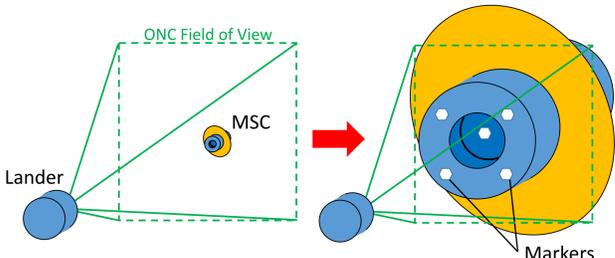
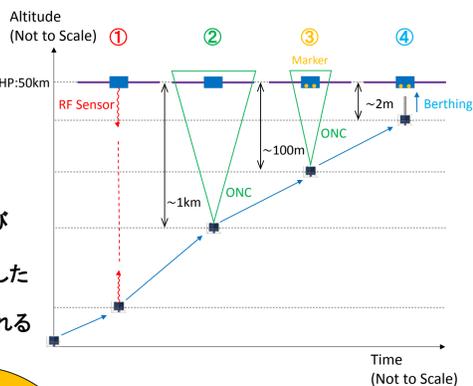
◆ランデブードッキング

○目的・要求: 子機が採取したサンプルは地球へ持ち帰るために、ドッキング後に親機へ受け渡される。木星トロヤ群領域では地上局との通信伝播遅延が大きく、かつ子機の限られた電力量の下での運用が求められるため、一連の自律的なランデブードッキングが要求される。

誘導・航法

小惑星離陸後からドッキングに至るまでのランデブードッキングには、RFセンサ(後述)、および子機搭載のONC(航法カメラ)を使用し、親機との相対距離に応じてそれぞれのセンサを使い分ける。

- RFセンサを用いたレトロディレクティブ機能、およびドップラーシフト計測。
- ～③ 航法カメラにより親機が捉えられる距離まで接近したら、画像航法に切り替える。
- ④ 数mほどの距離に到達したら、パーシングと呼ばれる手法によりドッキングを行う。

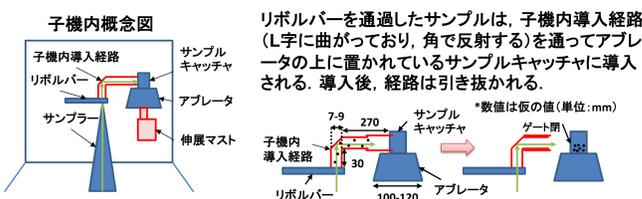


子機はONCを使用するにあたって、親機に対し遠方にある場合は親機全体の大きさを捉えることで、近接した場合には親機に設置したマーカーの分布を見ることで自身の位置推定を行う。

サンプル搬送

小惑星上で採取されたサンプルは、①小惑星表面→子機内サンプルキャッチャー、②子機内→親機カプセル、と2段階を経て搬送される。

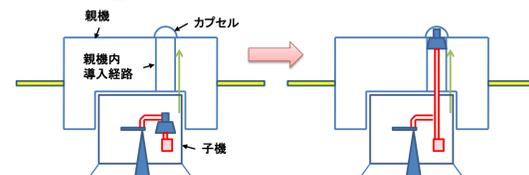
①小惑星表面→子機内サンプルキャッチャー



導入経路試作品(試験用)

②子機内→親機カプセル

親機とドッキング後、伸展マストを駆動させ、親機内導入経路を通してカプセル内まで搬送する。



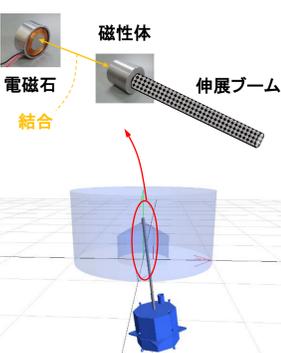
サカセ・アドテック製伸展マストモータにより1.1m伸展する



搬送試験の様子

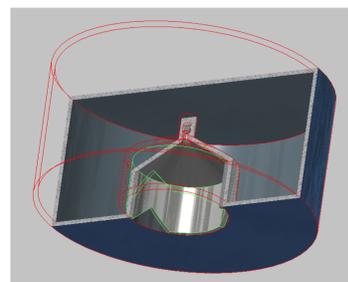
パーシング

子機の航法・誘導制御誤差に伴い、親機へ直接ドッキングを行うことは困難であるため、パーシングと呼ばれる手法により解決する。これは子機が伸展させたブームの先端を親機に結合させ、その後ブームを巻き取ることでドッキングを成立させるものである。無重力下における子機・ブーム・親機間の相互作用を実験的に模擬することが困難であることから、マルチボディスミュレーションによりこれらの挙動を解析し、実際に想定される航法・誘導制御精度の下でパーシングが成立可能であることを定量的に評価した。



サンプル搬送用位相合わせ機構

ドッキング成立後、子機はさらにもうひとつのブームを伸展し、この先端に取り付けたサンプルを親機へ搬送する。しかし、親機と子機の間には相対的な回転自由度が存在するため、この回転位相を要求位置に合わせる、および固定することが必要とされる。そこで、図の緑線で示す溝機構を親機に設け、子機側面の対応する箇所突起を設置することで、ブームの巻き取りに伴い位相の収束、および固定を実現させる。

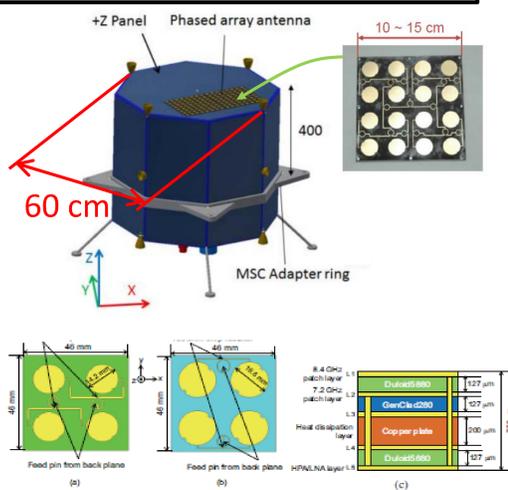


◆ソーラー電力セイル子機RFセンサ

○目的・要求: 子機に搭載するRFセンサには、コンパクトな薄型送受信アンテナに対してアクティブ集積フェーズドアレーアンテナ、セイルからのパイロット信号に自律的にピーク電力で応答できるレトロディレクティブ機能、ランデブードッキング制御に必要な接近速度情報のためのドップラーシフト計測機能が必要である。

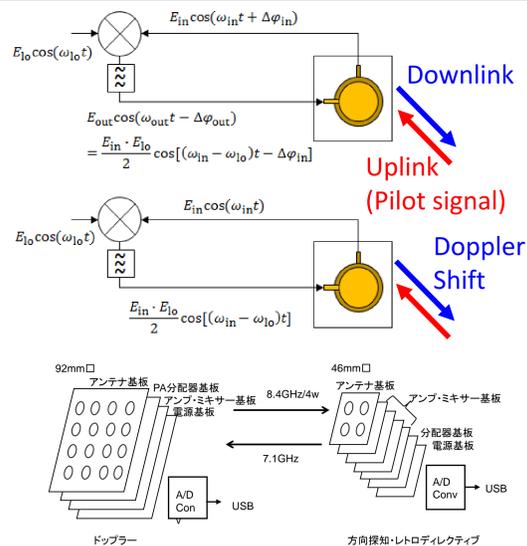
薄型・軽量送受信アンテナのためのアクティブ集積フェーズドアレーアンテナ技術

ソーラー電力セイル(親機)とランダー(子機)間の通信系はDLRIによりS帯となることが決められているが、サンプルリターンについては、より精度の高い帰還制御と方向探知のため、X帯の制御系を用いる。帰還のための通信制御系アンテナは、4x4アレーのアンテナと送受信機が薄型・軽量化されたアクティブ集積アンテナを用い、図のように子機の上面に装着される。このアクティブ集積アンテナアレーは、レトロディレクティブ機能とドップラーシフト機能を持ち、2cm以下で1kg以下の薄型・軽量化で達成する。



方向探知のためのレトロディレクティブ機能、および、ランデブードッキング制御のためのドップラーシフト計測

レトロディレクティブ機能とはパイロット信号を受信し、位相共役(位相符号を±逆転する)信号を送信することで、アンテナのビーム方向をパイロット信号と同じ方向へ向けることができる。この技術を使えば、親機局からパイロット信号さえ受信できれば、子機に信号を返すことができる。本研究室では、平面回路レトロディレクティブアンテナを実現し、ビーム方向をコントロールすることに成功している。デモンストレーション用としては、図のような機能を持つ4x4と2x2アレーを試作する。

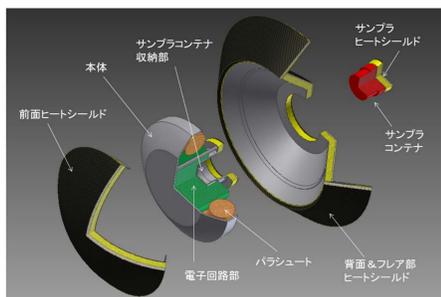


◆木星圏からの直接帰還のための超高速リエントリカプセル

○目的・要求: トロヤ群からのサンプルリターンミッションの実現にむけて、限られたリソース(重量20kg程度)で、超高速(~15km/s)で、地球大気圏に再突入し、地上まで安全に到達できるリエントリカプセルを開発する。

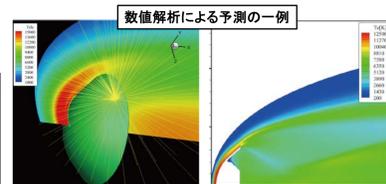
木星軌道から、直接に地球大気圏へ突入する場合、その突入速度は、15km/s近くに達し、例えば、「はやぶさ」と同サイズ、同重量のカプセルが、その速度で地球大気圏に再突入した場合、その空力加熱は、「はやぶさ」カプセルの3倍程度と非常に過酷な状況となる。

高速再突入カプセルの一つの設計案として、張り出し部をつけて、弾道係数を下げることにより、加熱率を「はやぶさ」程度まで緩和することを提案(下図) →その分重量が増加するため、軽量化が必須要求



カプセルの軽量化 & 最適設計にむけての活動をj進めている。

- 基準となる「はやぶさ」アブレータの熱応答特性の詳細な理解 → ISASアーク風洞を利用してさまざまな条件での熱応答特性の取得 → 数値解析との合わせ込により、耐熱構造の最適化を目指す。
- 超高速流体現象の理解にむけて実験 & 数値解析的アプローチ → 相模原、調布に加えて、角田の膨張波管の運用が開始 → 輻射の測定に加え、物体背後の加熱率測定にもトライする → 数値解析により、カプセル周囲全体の加熱率分布予測も実施
- 試験的に他の耐熱材料と「はやぶさ」アブレータの比較も開始



これらの活動の成果を集約して、カプセル全体の耐熱構造の最適設計を検討する。特に、カプセル背面のヒートシールドは、マージンが大きいいため、その軽量化は、カプセル重量軽減の鍵である。