

HTV「こうのとり」と静止衛星への補給

防衛大学校 航空宇宙工学科

川瀬成一郎

はじめに

宇宙ステーションISSへ物資を送り届ける補給船として、日本のHTVは欧州の補給船とともに重要な役割をはたそうとしている。そのような動きに触発されて、ここでは静止軌道の通信衛星に対する補給という将来構想について考えてみたい。

静止衛星への補給

静止軌道にある通信衛星はふつう、10年ないし15年の運用によって寿命をむかえる。その多くは、衛星のハードウェアがまだ使えるのに推進剤が尽きることで寿命がくる。推進剤が尽きると、静止軌道の保持も姿勢の保持も停止するので、たとえハードウェアが良好でも通信衛星としては機能しない。まだ使えるハードウェアを廃棄しないで済むように、補給サービスを提供して衛星の寿命を伸ばそうという構想がいくつか唱えられてきた。

[1] “SIS” ・・<http://sm.mdacorporation.com/news/pr15032011.html>

[2] “Orbital Recovery” ・・ <http://www.jvantage.net/index.htm>

[3] “VIVISAT” ・・ <http://www.vivisat.com/>

どの構想でも、サービス機は対象とする静止衛星に接近して行って、ドッキングする。そして構想[1]では、サービス機は対象衛星に配管をつなぎこんで推進剤を補給し、一つの衛星にサービスを終わると離れて別の衛星へのサービスに向かう。構想[2][3]では、サービス機はひとつの対象衛星にドッキングを保ち続けるが、配管等をつなぐことはなく、軌道保持の推力や姿勢制御トルクの発生装置として働く。よって対象衛星に提供するものは運動量や角運動量であるが、これも広い意味で補給に該当するといえよう。

対象となる通信衛星は、当然ながらドッキングを誘導するような機能をもたない。しかしどの衛星も、打ち上げロケットに結合するリング状のインタフェースをもつので、サービス機はそれをつかまえて抱きつく。通信衛星の基本的な構えは図1のようになるが、ロケット結合インタフェースは地球の反対側の面(背面)にある。よってサービス機は背面に向けて接近するコースをとるであろう。前面つまり地球側の面への接近は適さないし、南北面にはソーラーパネルが広がる。東西面にはアンテナがあることを考えると、背面への接近コースが唯一の選択になる。

この背面接近コースは、実はHTV「こうのとり」がISSに向けて接近するコースと関連が深い。そういう観点からHTVの接近コースを見ることにしよう。

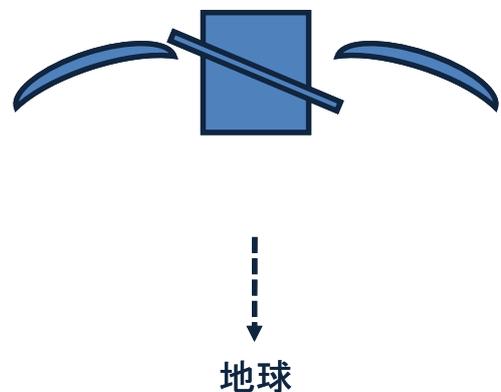


図1 通信衛星の構え

HTVの接近コース

HTVはおおよそ図2のようなコースをたどってISSにランデヴする*。まずは、ISSの軌道上で後方に位置するA点に到着し、いったんISSと相対静止の状態に入る。ここからランデヴを開始するが、まずHTVは減速をおこなって、 a_1 のように後退する動きを始める。減速によって軌道はエネルギーを下げるので、長半径が小さくなっている。そしてケプラー法則により、公転レートが速くなっている。これらを合わせた動きとして、HTVは高度を下げながら a_2 のように、ISSを追い越そうとする。ISSの真下のB点にきたとき、HTVは速度調整をおこなってISSと相対静止する。このB点から、ISSにむけて直線状に上昇していくのだが、この上昇は推力にたよる飛行になり、そのしくみは以下のように理解される。

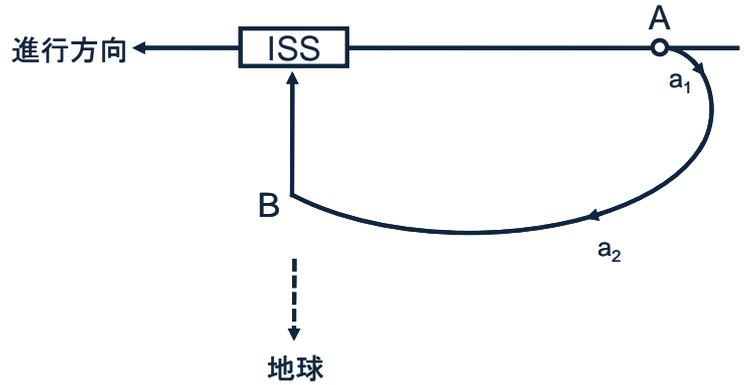


図2 HTVの接近コース

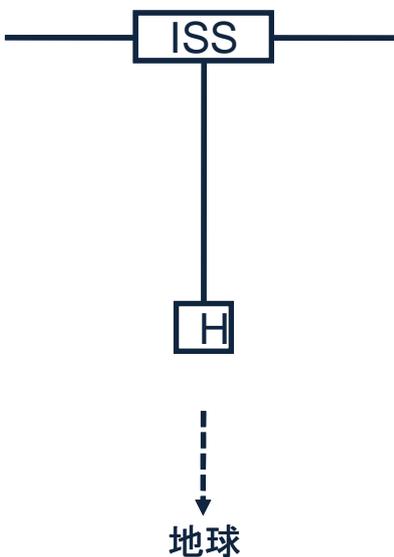


図3 ロープで結ぶ

B点で相対静止した瞬間に、ISSとHTVを重さのないロープでつないだと想像しよう(図3)。ただしHTVの質量はISSに比べて十分に小さいとしておく。重力傾度が働くので、ロープは張力をうけて張り、その張力はロープの長さに比例する。このまま何もしなければ、HTVはISSの真下に相対静止を続ける。HTVを上昇させるには、ロープをゆっくり巻き上げる。上昇つまり接近するにつれて、張力は段々と減っていく。これと同じことをロープなしでおこなうには、ロープにかかる張力と同じ強さの推力 F_R をHTVが発生するとよい(図4)。ここで注意として、一定速度で上昇していくと、その進行方向は図中の細かい点線のように横向きにずれる。それは図4が回転座標系に相当するからで、横ずれを抑えるためにHTVは推力 F_C をあわせて発生する。接近するにつれて、推力 F_R は小さく絞っていくが、もし接近していく速度を一定とする

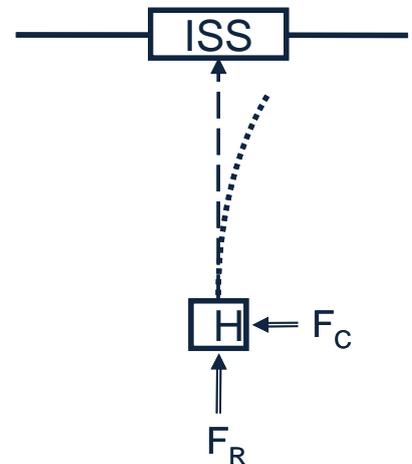


図4 推力で上昇

なら推力 F_C のほうは一定に保つ。万が一、接近の途中で不具合が生じたときは、ただちに推力を止める。それは上記においてロープを切ったことに相当するので、なにもしなくてもHTVはISSから離れていく。この点、推力にたよる上昇接近コースはフェイルセーフにかなっている。

静止軌道の場合

図2で、ISSが静止衛星だとするとどうなるか。重力傾度はISSに関して上と下に対称に現れるから、B点をISSの上のほうに設けて、そこから背面にむけて下降して接近するとよい。A点はISSの前方に置かれる。つまり図2でのコースを、ISSを中心として点対称に変えたものが静止衛星への接近コースになり、その場合でも上記の議論が同様に成り立つ。ただし違いとして、静止軌道でのほうが重力傾度の現れ方は小さく、軌道周期は長くなる。よって推力 F_R 、 F_C ともに小さくて済む。軌道周期が24時間と長いので、数時間タームでの運動ならば必ずしも図2のようなコースに縛られずに自由運動をおこなう余地があ

* 内山崇ほか:HTV技術実証機運用結果、日本航空宇宙学会誌Vol.58, No.680 (2010) pp.283-289.

る。しかし図2の点対称コースが基本であることは変わらないので、時間をかけて慎重に接近していくには基本コースが適するであろう。

むすび

HTV「こうのとり」がISSにランデヴするコースと、補給サービス機が静止衛星にランデヴするであろうコースを比べると、たがいに点対称の関係にあることを見た。この意味でこうのとりは、将来の静止衛星への補給ランデヴについて、ひとつの模範を示したとみることができよう。このような観点にたてば、ISSへの補給活動の進展と、静止衛星サービス構想における今後の展開に一層の関心もたれる。■