



宇宙で使う道具を作ろう！

松永研究室～機械宇宙学科



松永 三郎 助教授

いつも我々が何気なく見上げる青い空。そのどかな青空の上には人類に残された最後のフロンティア、宇宙が広がっている。

この宇宙空間において、衛星通信・惑星探査や宇宙ステーションなどに関し、多くの研究機関が様々な研究開発を推し進めている。本学の機械宇宙学科に所属する松永研究室もその中の一つだ。

この研究室では、基礎的な研究から人工衛星の設計・開発といった応用研究まで実に多彩な研究がおこなわれている。ここでは、その中の主な研究をいくつか紹介していこう。



ゴミで宇宙に行けなくなる!?

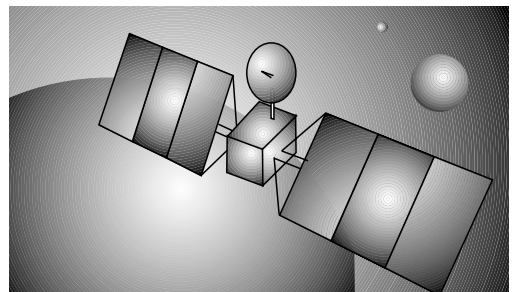
カーナビ・衛星放送・気象観測など、人工衛星の役割は今や我々の日常生活において非常に重要な位置を占めている。ところが、1つの人工衛星の寿命は短く、中には事故や故障に遭うものも出てくる。もし壊れてしまったら、代替りの衛星を打ち上げなくてはならない。

このように、次々に衛星を打ち上げるということは、それだけ故障して動かない衛星が増えているともいえる訳である。現在、約6000個もの人工衛星が地球の周回軌道にあるが、正常に機能しているのは、この内の僅か数%しかないのである。機能していない衛星を不具合衛星というが、これらは故障したまま貴重な周回軌道を占有し続け、新たに打ち上げる人工衛星の妨げとなってしまうのだ。特に、静止軌道は地上の一点に対して取りうる軌道が非常に少ない。そのため、寿命が尽きた静止衛星を軌道から離脱させる努力はしているがそれで対策が十分にとられた訳でもない。

また、打ち上げに使用するロケットの上段部などの様々な大きさの浮遊物体、つまり宇宙ゴミ(スペースデブリ)も不具合衛星と同様の問題を起こす。更に、これらの宇宙ゴミは高速で地球を

周回しているので、これが宇宙ステーションなどに衝突すれば、小さなものでも深刻な事態を引き起こす可能性もある。このため、人類は将来、宇宙ゴミによって宇宙に行けなくなるとさえ推測されているのである。

このような事情から、不具合衛星と宇宙ゴミの処理は今後の宇宙開発において重要な課題となっているのだ。ところで、不具合衛星の中には僅かな修理で再び機能しだすものもある。それらを修理して再利用すれば新たに衛星を打ち上げるよりも、はるかに経済的だ。そのため、特に不具合衛星の回収・修理は経済面でも効果が見込まれて、実利的な作業なのである。





ヒモで衛星を捕まえる！

それでは、どうやって宇宙空間に浮かぶ不具合衛星を捕まえたらいいのだろうか？

不具合衛星を捕獲する方法としては、ロボットアームを利用することがまず考えられるだろう。しかし、目標の不具合衛星が大型だったり回転していたりすると、アームは衛星の慣性により振り回されてしまうので捕獲は難しい。だいいち、動きが不安定な不具合衛星に接近すること自体が至難の技である。ロボットアームでは、全ての衛星を捕獲できる訳ではないのだ。

回転している不具合衛星を上手く捕まえるには、その回転をいかにして滑らかに減らしていくかが重要である。この点、大きな長所を持っているのが、紐を投げ縄のように衛星に絡みつけて捕獲する方法だ。ここで用いる紐のことをテザーというが、このテザーを利用すると、回転を滑らかに減衰させることができるのである。

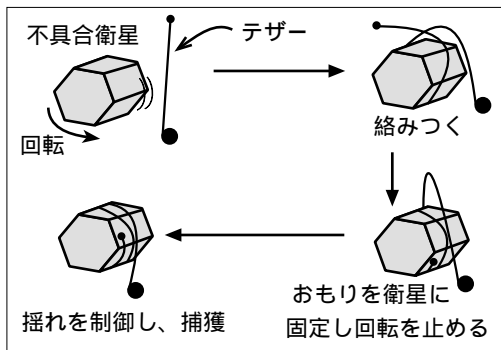


図1 テザーによる回転物の捕獲

ではテザーによる捕獲の仕組みを示そう。

テザーによる捕獲装置を用いて回転している不具合衛星を捕まえるには、まずテザーを目標に向けて伸ばしてゆき、目標に絡みつきのながら摩擦と衝突時の衝撃により回転を減らしてゆく。

次に、テザーの端にあるおもりを衛星に固定する。もう一方の端には、ヨーヨーのようにテザーを巻き取る機能のある制御装置があるが、これを用い、テザーの張力を調節して回転を完全に止めるように制御する。そして最後に、衛星の揺れを制御して、これを捕獲するのである(図1)。

このように書くとテザーによる捕獲は簡単なことのように思える。しかし実際にはそう上手く簡単にできる訳ではない。テザーによる捕獲を宇宙で実証するには、まず地上で理論と実験の両面からの裏づけをする必要がある。

松永研究室では捕獲の動作をコンピュータ・シミュレーションで解析し、テザーを用いることで回転を滑らかに減衰させることができるのを理論的に確認した。そして次にこの理論を、「空気スラスタ型衛星模擬システム」という設備で実験的に検証してみた。

この設備では図2のように3m x 5mの完全に水平なガラス板の上に、圧縮空気を吹き付けることでホバークラフトのように浮くことのできる装置を衛星に見立て運動させる。そして、その位置をレーザー光を用いて正確に割り出すことで、宇宙での人工衛星の動きをシミュレーションするというものである。この設備による実験においても、テザーの張力を上手く変化させることで滑らかに回転を制御できたのである。

テザーによる捕獲装置が実用段階に達すれば、将来的にはテザーで不具合衛星を捕まえ、遠隔操作で故障箇所を修復する無人衛星ができてくるであろう。ただ現段階では、テザーが目標に巻きつく動作のシミュレーションが完璧ではないということや、巻きついた後でどのように目標の姿勢を制御するかということが課題となっている。

このように克服すべき課題は残っているが、松永研究室では、テザーによる方法を含めた捕獲装置の開発が実用化に向けて進んでいる。



図2 空気スラスタ型衛星模擬システム



TIDで配線がすっきり！

不具合衛星を捕獲したら、次にそれを修理しなければならない。

遠隔操作によって不具合衛星を修復するには、人間の手に相当する機械が当然必要となる。その機械が、「マニピュレータ」といわれるロボットの手だ。

ところが、ここで大きな課題がある。

今までのマニピュレータは、1つのメインコンピュータで全ての動作を集中制御しているため、機械の根元にはモーター用・電源用・制御用などの配線が100本以上も出てしまう。これは配線の断線やロボットの運動障害の大きな原因となる。そこで、配線をできる限り減らすのが望ましい。

それでは、どうやって配線を少なくすればいいのか？ここで登場してくるのがインターネットをはじめとするコンピュータ通信で用いられている「シリアル通信」という通信方式だ。シリアル通信というのは、使用する導線をデータの送信用と受信用の2本だけとして、それぞれにデジタルデータを1ビットずつ順（シリアル）に送ってゆく方式である。この通信方式は、通信速度は遅いが、使用する配線が少ないので取りまわしが簡単なことが特徴である（図3）

松永研究室で開発しているマニピュレータで

は、独自に開発したTID(Titech Intelligent Driver)という基盤をマニピュレータの各関節に配置し、それぞれの部分の動作を制御させる。そして、TID同士をシリアル通信で接続し、それをメインコンピュータにつなげることで、機械の外に出る配線を10本と、大幅に減らすことに成功したのである。

ちなみに、このマニピュレータは次に触れるRBRというロボットのために開発されているものである。

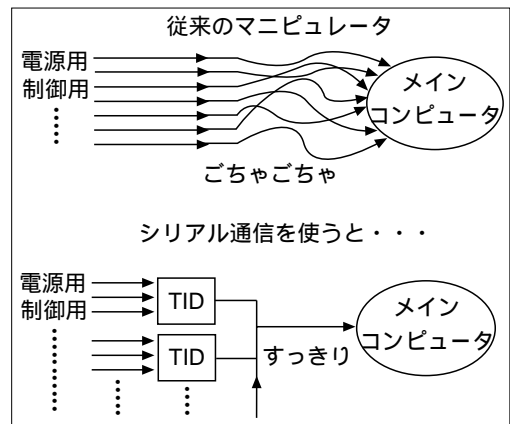


図3 TIDの概念図



変幻自在、RBR

ご存じの通り、今年から日本も参加している国際宇宙ステーションの建設が始まった。その中の日本が建設するモジュール、JEM(Japan Experiment Module)は、マニピュレータがついているなど図4のように特徴的な構造をしている。このマニピュレータが出ている下の、台のような部分を曝露部という。この曝露部には小さな箱が幾つかついているのだが、これらの箱の中で様々なものを宇宙空間にさらす実験がおこなわれるのである。

松永研究室では、この箱の中で、前章に挙げたマニピュレータを搭載している再構成歩行型宇宙ロボット、RBR(Reconfigurable Brachiating space Robot、図5)を実験しようとしている。

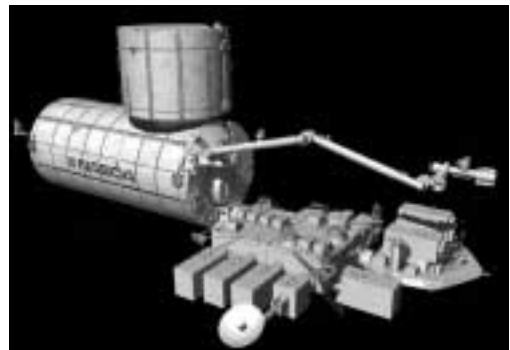


図4 日本のモジュール、JEM

RBRを構成する3本のマニピュレータは通常、メインコンピュータが積んである真ん中のセンタ

ハブにそれぞれつながっている。ところでRBRでは各マニピュレータの先端の3本のツメに、ものを掴む仕組みの他に機械的・電氣的に接続できる仕組みを搭載させている。そのため他のマニピュレータの先端に自分の先端を接続し、センタハブから切り離すことで、より長いマニピュレータを構成することが可能なのである。これこそ配線の数を抑えたから実現できる芸当なのだ。

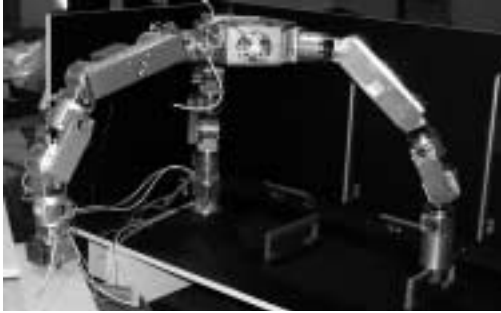


図5 RBR (右と中央の足は未完成)

また、RBRは宇宙飛行士用に用意されているJEMや宇宙ステーションの外壁の取っ手を利用して歩行することができる。これが、このロボットが「再構成歩行型」と呼ばれる理由なのである。

このように、RBRは作業内容に合わせて様々な形態をとることができ、自力で歩行できるので、多様な無人作業をおこなうことが可能である。

例えば、遠く離れた箇所を修理する時は腕を長

く伸ばしたり、色々な所を撮影したい時には、先端にカメラをつけたりすることができるのだ。

国際宇宙ステーションが完成すれば、本格的な宇宙時代が到来し、色々な宇宙実験ができるように感じられる。しかし、実際には宇宙飛行士は設備面の作業に追われてしまい、実験にまで手が回らないのではないかとされているのだ。そこで、RBRのようなロボットが人間に代わって宇宙作業をおこなえるようになれば、宇宙飛行士の負担は軽減され、宇宙ステーションでより効率のよい実験ができるわけである。

現在、RBRに搭載される3本のマニピュレータのうちの1本が完成しているのでその写真を掲載しておこう。機械から出る配線の少なさに注目してほしい。



図6 RBR用のマニピュレータ



缶ジュースが宇宙を飛ばす!?

松永研究室では、人工衛星の研究もしている。この研究室の衛星設計・開発はとても活発で、平成5年からのNASDA(宇宙開発事業団)等共催の衛星設計コンテストで毎年受賞している。

しかし、いくらよい衛星を設計したとしても、その衛星が実際に組み立てられて、打ち上げられる訳ではない。これでは研究の面でも学生教育の面でも十分とはいえないだろう。こうして立ち上げられたのが「CanSatプロジェクト」である。

CanSatプロジェクトとは学生の手で缶ジュース大の人工衛星を製作し、打ち上げようとする国際プロジェクトであり、日本の東工大と東大、米国のスタンフォード大とアリゾナ州立大などが参加

している。

松永研究室ではこのCanSatプロジェクト向けに4つの衛星を製作している。"Spider"、"TeS"、"etc."と"SabSat"の各衛星だ。それぞれの衛星の機能を紹介していこう。

SpiderとTeSは、共にテザーを用いた実験をおこなう衛星なのであるが、内容は少しずつ違っている。まず、Spiderは先端に重りをつけたテザーを本体から伸ばしたり縮めたりする衛星である。一方、TeSは衛星の両端に釣竿のリールのような機構をつけて、長く伸ばしたテザーの上を行き来させる実験をするものである。そしてetc.は地上基地局との通信の実験をおこなう衛星だ。最後の

SabSatは前の3つより一回り小さく、130ml缶の大きさに、小型のCCDカメラを搭載することで、上空からの映像をリアルタイムで送れるシステムを持っている。

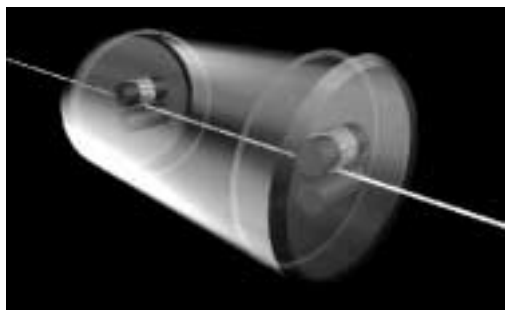


図7 TeS(Tether Shuttle)

さて、SpiderやTeSで使用されるテザーだが、衛星から数十kmもの長さのテザーを伸ばしてゆき、そのテザーの上でセンサーや実験設備を行き来させることで、地球磁場やオゾン層をより広範囲で観測したり材料実験をしたりするという構想を松永先生は持っていらっしゃる。また、このシステムは宇宙ステーションにおいては、遠く離れた場所へ物資を運搬する手段としても利用できる。このように、たった一本の紐が宇宙空間で様々な形に 응용されうるのだ。

CanSatプロジェクトは現在も着々と研究開発が進行している。今年の9月には、米国ネバダ州のブラックロック砂漠において、アマチュア団体の

宇宙に関する研究開発はビッグ・サイエンスだといわれているが、松永研究室でおこなわれている研究もその例に漏れず、内容的にも使用する設備についても壮大なものだった。だが、逆にいえば宇宙開発は気の長い研究ともいえるだろう。CanSatにしても松永研究室の長年にわたる衛星設計の実績があったからこそ実現したものだし、最終的な打ち上げにはなお数年かかる予定だ。宇宙開発の研究には根気がいるのである。

ミニロケットにより衛星を高度4～5kmまで打ち上げる試験をしている。この結果は11月にハワイで行われた大学宇宙システムシンポジウムにおいて発表され、来年度もまた更にパワーアップしておこなわれる予定だ。CanSatの衛星が実際に宇宙へ打ち上げられるのはまだ先のことだが、数年後にはH Aロケットで打ち上げられるだろう。

このような学生主導型の衛星打ち上げは日本の宇宙開発の中心であるNASDAも重要視しており、今後ますます増えてゆくだろうと思われる。米国はその点先進的で、CanSatプロジェクトにも実は米国の高校が参加している。日本でもいつか高校生が衛星打ち上げに参加する機会が訪れるかもしれない。

他にも、松永研究室は米国の大学やNASAとの共同衛星開発プロジェクトも立ち上げている。



CanSat打ち上げ

松永研究室では、そのような研究を学生一人が何テーマも担当してしまうほど精力的に研究活動をおこなっている。今後の同研究室の研究成果に期待したい。

松永研究室の研究活動は下記のアドレスのホームページに詳細が載っている。参照されたい。

<http://horse.mes.titech.ac.jp/>

(相田 将俊)

写真提供：東工大松永研究室（図2、5、7、「CanSat打ち上げ」）、宇宙開発事業団（図4）