

## 研究室訪問

### 東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 内山 勝 教授 訪問記 (第8回受領者)

7月の終わり、阿草 清滋選考委員（名古屋大学大学院 教授）に同行いただきて当財団の中塚常務理事と共に、杜の都の緑の中、ちょうどオーブンキャンパスで賑わう内山研究室を訪問いたしました。先生からは多岐にわたってご研究されているロボットのお話を興味深くお聞かせいただきました。

- 研究室をご紹介いただき、現在の研究テーマなどについてお聞かせください。

研究室では、宇宙遠隔操作システム、パラレルマニピュレータ、ハイブリッドシミュレータ、フレキシブルマニピュレータ、ヒューマノイドロボット、などを主な研究テーマにしています。各研究テーマの概要は順次お話ししますが、その前に研究室のメンバーを紹介いたします。教職員として教授の私と近野助教授、助手、技官の4名、研究員にはエジプト、韓国、ウガンダ、スウェーデン出身の4名、博士課程3名、修士課程13名の陣容です。

宇宙遠隔操作システムは、当専攻の名称通り当研究室の基本とする研究で、衛星との交信に通信網の関係で5～6秒の時間遅れが間々発生します。この問題を解消するためにテレロボティクスの技術を開発して、ドイツ航空宇宙研究所（DLR）との共同実験、宇宙開発事業団（NASDA）のETS-VIIを利用した実験を行ってきました。単腕のものはNASDAの衛星を使って地上から動作させることができました。現在は、双腕タイプで衛星の捕獲実験などを目指しています。

パラレルマニピュレータというのは、重量のあるアクチュエータを固定台にまとめて配置し、動作部分のアームを、軽量化した複数のリンクで構成することで高速動作、高剛性の確保を可能にしたマニピュレータです。アームの共振点に近い周波数で動作しますので、加速度40Gまで達成しています。

ハイブリッドシミュレータは、数値シミュレーションとハードウェアシミュレーションを組み合させて宇宙ロボットの運動を模擬するシミュレータです。数値シミュレーションには、模擬対象の運動方程式を解くために必要なパラメータ（質量、慣性モーメントなど）からなるソフトウェアモデル（数値モデル）を使用します。

ハapticインターフェースというのは、パラレル機構をシリアルに結合したハイブリッド型パラレル機構によって構成する6自由度を持つ操作インターフェースで、これにより宇宙にあるロボットを遠隔操作する時の操作感覚（力情報と触感）を地上で体感することができます。小型で作業領域も広く高速動作も可能という特徴があります。

フレキシブルマニピュレータは、宇宙に向けて行くのにロボットにも軽量化が求められますので、剛性は低くなりますが、アームを細いリンク構造にしたマニピュレータです。これを実用化するために、アームの位置とか姿勢の状態に応じた振動制御法を開発しました。実際には、アームリンクの姿勢位置を計算で求めて、その姿勢位置に応じた制御方法になります。

ヒューマノイドロボットは人間の形態を模倣したロボットで、多くの研究機関で研究が進められていますが、制御対象となる作業がいろいろ変化していくのでそれに応じたソフトが必要になります。当研究室ではリアルタイムUNIXを利用し、かつソフト動的再構成という機能を実現し、動作中にソフトモジュールの組み替えを行えるように工夫しています。

- 長年にわたってロボットのご研究を続けて来られたわけですが、取組まれるきっかけなどについてお話を聞かせてください。

最初にロボットの研究を始めたのは、大学院生の時で、修士論文にまとめました。ほぼ30年前

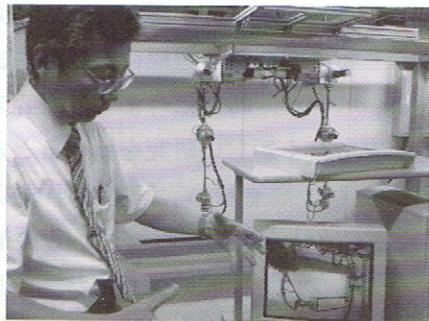


写真1 フレキシブルマニピュレータのご説明をされる  
内山教授

になります。当時は人間の手作業がコンピュータで自動的にできたらなと思いましたし、何かひとつできるようになればどんどん進歩すると思っていました。ところが、自分で設計してみるとそんなに簡単ではないということがすぐに分かりました。その後、一時は油圧サーボとか管内流体の研究に携わりロボットの研究は中断しましたが、5年くらいして助教授時代にロボットの研究を再開しました。10年ほど前に航空宇宙工学専攻の教授となってから、ロボットの研究が本格化しました。今では宇宙だけでなくロボット全般にわたっての研究に広がっています。

ロボットの研究は試作が重要で、「ソフトテレロボティクスの研究」で立石財団から助成を受けた時は、「柔らかい」という新しいコンセプトのロボット研究の試作費を確保できて、大きな支援となりました。この研究助成から一連のロボット研究につながり、さらに一連のロボット研究の成果から、科研費とか別の費用を確保できるようになって、研究シーズを大きく伸ばす意味で助成の意義は大きかったと思っています。

「ソフト」というのは「柔らかい」という意味で、宇宙にあるロボットを遠隔操作して安全なシステムにする狙いがありました。ロボットが柔らかいことと制御システムが柔らかいことから人間と共に存できるロボットにできると思います。助成研究では、バネによって柔らかい関節モジュールを実現しようとした。先ほど紹介しましたその後の研究では、リンク自体が変形する機構で柔らかさを実現していますが、柔らかさを追求してきたのは共通するテーマでした。その意味では助成研究の成果は今につながっていると言えます。

○お話を伺っていますと、ロボットの開発にはソフトをはじめとする総合的な技術が必要になるように感じます。

この研究室では「柔らかさ」を追求していますので、柔らかいが故に振動を止める振動制御の技術が必須になります。ロボットが姿勢を変えることで質量の位置関係、慣性モーメントが都度異なります。この振動制御のために、集中バネ質量モデリング手法によって質量の位置関係や慣性モーメントを求めたりしています。このような動作をシミュレーションする技術、歪みゲージや力覚センサ、レーザ変位センサ、カメラなどのセンサを駆使する技術も必要になります。ロボットの機械設計だけなく、どうしてもコンピュータ、ソフト、センサ、リアルタイムOS、動力学シミュレータのための数値計算などの技術が求められます。これらを理解しているキーマンと個々の技術を熟知している研究者のチームの総合力で研究を進めるのが良いと思います。当研究室でもこれらの条件面に恵まれて、ヒューマノイドロボットの開発などもスムーズに進んできました。しかし、長く研究を続けていますと学校の場合、担当する研究者が卒業して順次かわっていきますので、それまでの研究成果の継続性、特にソフトの継続性の確保が現実の問題として出てきます。そのためにもキーマンは絶対に必要だと感じます。

○今後のロボット研究はどのような方向にいくのでしょうか。

ロボットの研究を開始した当初はモータがかなり大きくて重く、その割りにはパワーが出ないという問題がありました。したがって、機械系が大きく重くなってしまい満足に動かせない状況が続きました。最近のヒューマノイドロボットをみると格段の違いです。モータの進歩が大きいと感じています。先ほどお話をいたしましたように、ロボットの研究はコンセプトを明確にして試作してみることが重要で、理論に基づいてロボットを実現するよりも実際にロボットを動かして問題点等を確認し解決して理論化していく方法が実際的だと思っていますし、何よりもロボットが動いていることを目の当たりにすることが次のステップに進める原動力だと思っています。

ロボットの研究は、誰かが新しい方法・手段で一步を踏み出ると、それをベースに次には多くの研究成果が出てきます。最近のヒューマノイドロボットに多くの方が興味を持っておられるのが良い例ですし、学生もロボットの研究に興味を示していますので、間違いなく多方面に向かって大きく発展していくもの信じています。



写真2 左から、内山教授、阿草選考委員、中塚常務理事

(本日は貴重なお時間をいただきありがとうございました。レポーター：事務局長 加藤 裕)