

## 工作技術センターで製作された

## 各種ロボット

高田 洋吾 (たかだ ようご)



所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：動力システム工学（ロボット運動学）

趣味：ハンダ付け

### 1. 大阪市大のロボット

2006年頃、学生の頃から関心があったロボットに関する研究を始めました。それから今日まで、様々な形態のロボットを製作してきました。ここでは、その一部をご紹介します。ロボットの研究は、概念的に大きく二系統に分かれます。まず、ロボットの移動に関わる機械・電気系要素の研究です。具体的には、ロボットの外観、構造、機構、モータ、パワーエレクトロニクスなどです。また、もう一方は、情報処理系統の研究です。画像認識、ロボット間通信、人工知能などが該当します。私は機械物理系専攻に属することもあって、どちらかといえば、前者の機械的・電氣的要素に偏って研究開発しているように思います。

ロボットの研究は、エンジンシリンダ内解析に用いてきた数値流体力学（CFD）の知識を活かすため、水中を泳ぐ魚ロボットに関して手掛けました。真っ先に実施したのが、稚鯉の飼育と観察です。回流水槽の中に稚鯉と40ミクロンの微粒子を入れて、横からレーザーシート光を照射し、光る微粒子を、CCDカメラで下から撮影しました。魚の尾ひれの動きはもちろん、尾ひれ周りの水の流れがはっきりと目で見る事が出来ます。その魚の動きを参考にしながら魚ロボットを開発していくことになりました。

水中ロボットに関しては、西日本で実施される水中ロボットフェスティバル、JAMSTECのプールを用いる水中ロボットコンベンション、Techno-Oceanの水中ロボット競技会などがあり、各大学、高専、高校で競い合います。これらの競技会に今までに何度も本学学生らとともに出場しました。出場し始めた頃、真っ先に思ったことは、私たちが作ったロボットは、他の大学のロボットに比べて大きく見劣りするということです。それらのロボットは、見た目も美しく性能も良いのです。しかし、それらのロボットは、学生が苦勞して製作したものではなく、設計のみ大学内で行い、外注によって作り出されたものでした。言わば企業が作った製品です。高価なロボットであるため、実のところ、数年続けて同じロボットを使って、内部のプログラムだけ変更して出場させているとの話を伺いました。つまり、関係学生達にとって、主な仕事は機械要素のメンテナンスと電子機器の修理です。私には、それが楽しそうには思えませんでした。また、電子基板の修理のため、競技会場でハンダ付けをしている

他大学の学生の作業を観察する機会がありましたが、修理しているのか破壊しているのか分からない程度の慣れない手付きであったため、物を作る体得的なものづくり教育が軽視されつつあると感じずにはいられませんでした。他者が作った機械が壊れ、その修理だけを担当するのは一般的に面白くありません。修理のために知識を得ようとしてもモチベーションは上がりません。対称的に、自らが新規に無から作るのは楽しく、そのモチベーションも高まります。創造のために必要な専門知識を得ようとする学習にも目的意識が加わり楽しくなるでしょう。特に工学部・工学研究科に属する学生の場合は、ものづくりに関する知識や知恵、勘所を、実際に作ることから得るべきです。

ロボットを製作するには、機械部品、電子基板、プログラムを作るための幅広い専門分野の知識を浅くでも良いので、一通り実践できる水準まで理解できていなければなりません。学生に対して、「このロボットは機械も電気も、ほぼ全て自分一人で製作しました」と対外的に自信を持って断言してもらえよう接しました。この言葉には重みがあります。ただ作ったと述べているわけではありません。当該ロボット製作における機械、電気、情報に関連する知識を幅広く保有し、実践経験も既にあることを意味しています。もちろん、学生はしんどい思いをします。ロボット作りは、まず機械部品の加工から始まります。機械工学科の学生にとって得意とする分野ですが、まだまだ合格水準の技術を持たない学生達は、工作技術センターの技術職員さんにお世話になりながら、技術水準を短期間に大きく高めていきます。機械部品を組み立てて、見た目としてロボットが完成した後は、各アクチュエータ（主にモータ）を駆動するための回路、カメラの画像を取得するための回路、信号送受信をするための回路を作らなければなりません。機械科の学生はこれを嫌います。電子基板にはプログラマブル IC（一昔前は PIC マイコンを、最近では FPGA を使用）が含まれています。電子基板への各電子部品のハンダ付けや、プログラマブル IC へのプログラム書き込みが完了した後、ほぼ確実にトラブルに見舞われます。想定通りに動かない状態に悩み、ここでロボット開発の活動が場合によっては数週間低迷します。電子基板に不備があるのか、プログラムに不備があるのかの判断が付きにくい中、結局のところ当該学生が一人でどちらも担当しているので、どちらに不備があったとしても自己責任のもと、不備に対して対処していきます。ロボット作りで辛い部分です。動作に異常が無くなれば、組み上がったロボットに電子基板を取り付けて全て完成です。今までの苦しみが報われる瞬間です。私は今まで、その瞬間に笑顔にならない学生を見たことがありません。

他大学では、設計後外注し、残された業務はメンテナンスのみです。しかし、本学は違います。学生は工作技術センターを自由に出入りできます。全てを学生が作っているため、完成したロボットの性能を上回るにはどのように作ったら良かったのかを学生自身が把握しています。完成したばかりのロボットを改造するのではなく、完成したロボットを参考に、更に性能の高いロボットの製作が再び始まります。ロボットを完成させた学生の持つロボットを作りたいと思うモチベーションは、意外なことに完成後に高まっていることが多く、新しく入ってくる後輩学生達に良い刺激を与えながら、更に性能の高いロボットを創り出そうと試みます。

ロボットの研究を開始した 2006 年頃は想像もしていませんでしたが、その 5 年後には、各競技会で優勝できる水準に達していました。優勝に導いた当時の学生は、「このロボットは機械も電気も、ほぼ全て自分一人で製作しました」とプレゼンにおいて堂々と語り、当該学生の 6 年間の教育に関わった、市大の教職員に対する評価も良くなったと思っています。

## 2. 魚ロボット

水中ロボットの競技会で 2 度優勝した小型魚ロボット FOCUS について紹介いたします。図 1 が FOCUS です。ロボット前面と下面に CMOS カメラが取り付けられており、前方にある赤色の物体に対して追従する能力、底面の模様の変化から、自分の位置を推測する能力があります。エネルギー消費が小さいので、休まず 5 時間以上泳ぎ続けることが可能です。魚ロボットは当然ながら水の中で活動しますので、万一水がロボットの内部に入ってきた場合、比重が上がり沈んでしまいます。プールの底は水圧が高いので、更に多くの水がロボット内部に入り、中にある電子基板が廃棄物に変化します。浸水しないようにするためには、水密性能を高めることができる O リングを用いるべきなのですが、材質がアクリルの外殻部にタッピングによって作った雌ネジは脆く、ネジの締め付け強さに負けてしまう問題点がありました。FOCUS では、その問題点を解決するために、ヘリサート<sup>1)</sup>の活用を工作技術センターの職員さんに勧めてもらいました。試してみたところ、強く締め付けても全然ネジ山が欠けなくなりました。水密問題が解決したため、比較的高価で手間の掛かる FPGA を何の躊躇もせず使用できるようになり、ロボットの知能化が大きく進展しました。

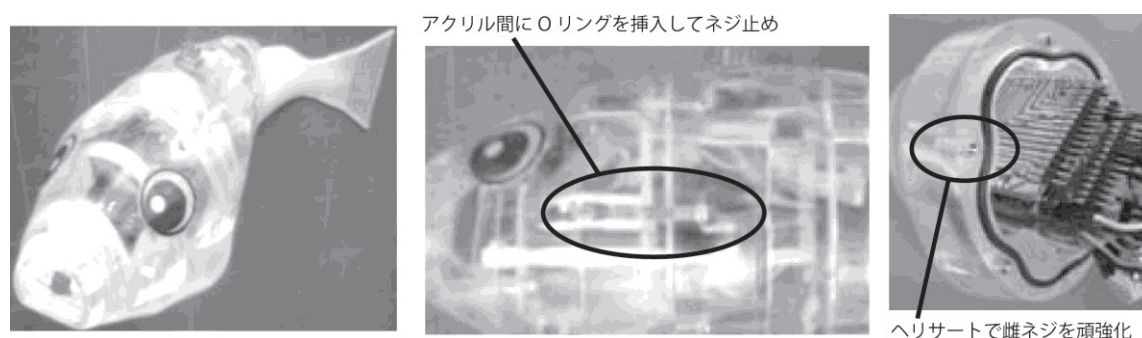


図 1 FOCUS (左:写真、中央:アクリル間をネジ接合、右:ヘリサート)

## 3. 社会インフラ点検用移動ロボット

### 3.1 橋梁検査ロボット・バイリム

2010 年 4 月に工学研究科において、「インフラ構造物の健全度診断技術と長寿命化技術の開発」プロジェクトが立ち上がりました（現在、ストックマネジメント研究センター）。2010 年 12 月 2 日の山梨県笹子トンネル事故により橋梁やトンネルなど日本国内においても社会インフラが著しく老朽化していることが浮き彫りになりました。点検の義務化は、各自治体や道路公団に著しい業務負担と費用不安を生み出し、ロボットによって安価かつ手軽に点検できる手段が求められるようになりました。そこで、2012 年 2 月にバイリム一号機、2013 年 8

月にバイリム二号機を開発しました<sup>[2]</sup>。図 1 にバイリム二号機の構造と写真を示します。本ロボットの開発および改良に関して、榎木幹司君の修士論文にまとめられる予定です。バイリムは、永久磁石を先端に取り付けたスポーク 8 本によって構成されるリムレス車輪 4 個で、立体的な構造を有する鋼橋各箇所を自由に移動することができます。工作技術センターに工作依頼して作ってもらった部品もいくつかありますが、その詳細については文献[2]を参考にしてください。

このロボットに関連する特許出願は 3 件です。2013 年度に 3 回展示会に出展し、2013 年 12 月 17 日に大学広報室を経てプレスリリースすることにもなりました。現在は、大阪にある企業と共同研究体制を組んで、現場適用を行う一歩手前の段階です。

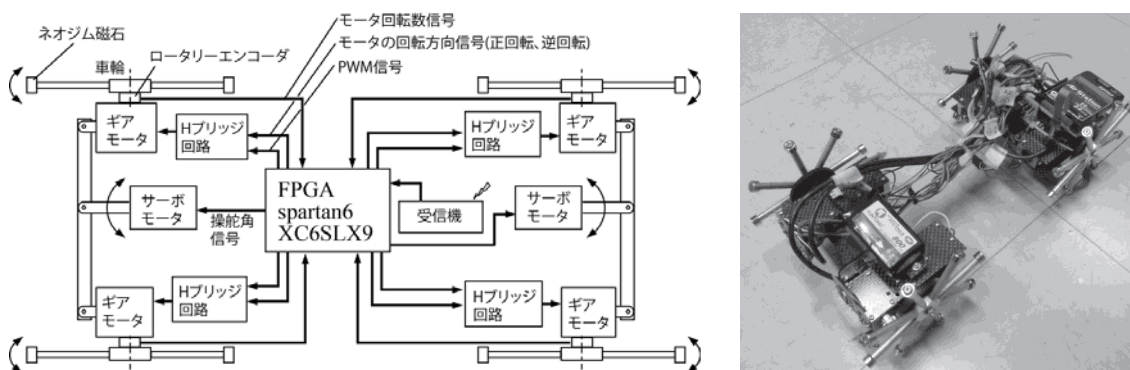


図 2 BIREM [バイリム] (左: 構造説明図、右: 写真)

### 3.2 鋼管外壁面移動ロボット・パグールス

老朽化しているのはトンネルや橋に限りません。工場内の各設備も痛んできています。図 3 に示すのは、鋼管外壁面移動ロボット・パグールス (PAGURUS) です。PAGURUS はラテン語で、日本語に訳すと「やどかり」になります。BIREM に構造がよく似ています。しかし、BIREM には、鋼管に吸着して移動する能力が無いのに対して、パグールスは左右の車輪の向かい角を制御できますので、鋼管に磁石が面で吸着して走行移動が可能です。本ロボットの試作と性能試験が、機械工学科 4 回生今城直人君 (本稿執筆時、大学院 修士 1 回生) の卒論テーマでした。

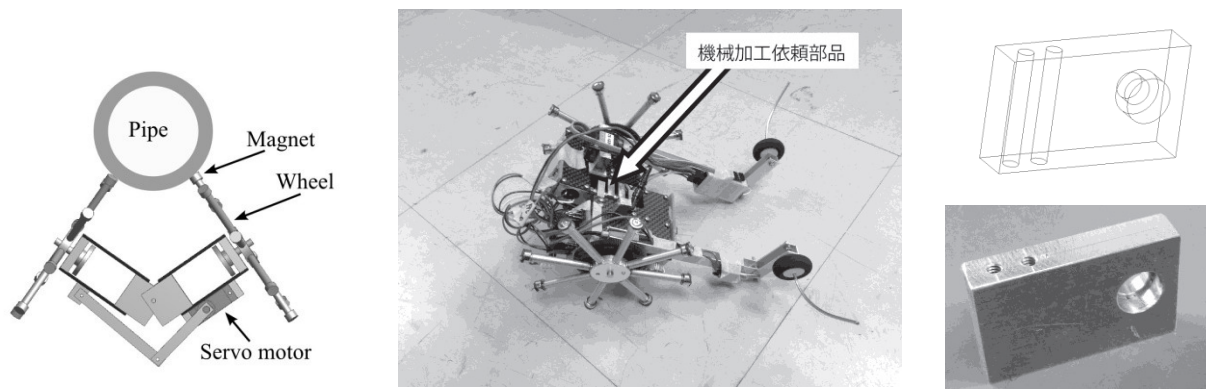


図 3 PAGURUS [パグールス] (左: 鋼管吸着時、中央: 写真、右: センターへの加工依頼部品)

学生自らがほとんどの部品を製作できますが、図3の一番右にある部品は、学生では加工が難しいので、工作技術センターへ製作依頼をさせて頂きました。部品の右側にある大きい穴にはベアリングが入ります。素材が丸棒の場合は、旋盤を使うことで、10ミクロンの精度を出すことは学生にも可能ですが、元々の部材の形が直方体である場合、難易度が一気に高くなります。貫通穴であればリーマを使えば何とか精度が出るのですが、穴にはベアリングが向こう側に抜けてしまわないようにするための段があります。加工は技術職員さんの手により、NCフライス盤で行われました。精度はベアリングが丁度入る良質な部品に仕上がっていました。

このロボットは完成後、特許出願(2014-153871)や国際会議発表(ICPT2014)などの研究成果に繋がっています。現在、走行中に鋼管から落下する確率は約5%程度であり、今後、機械機構の見直し、モデリング、制御系設計を経て、落下率の更なる低下が見込まれます。

### 3.3 コンクリート壁検査用移動ロボット・ホーネット

2013年度に橋梁検査ロボット・バイリムの展示を行ったとき、数多くご指摘頂いた内容が、コンクリート橋において、磁石吸着式では使えないということでした。そこで、コンクリート橋でも使用可能なロボットについて思案した結果作り出したのが図4に示すホーネットです。写真のロボットは、製作途中のホーネット二号機です。

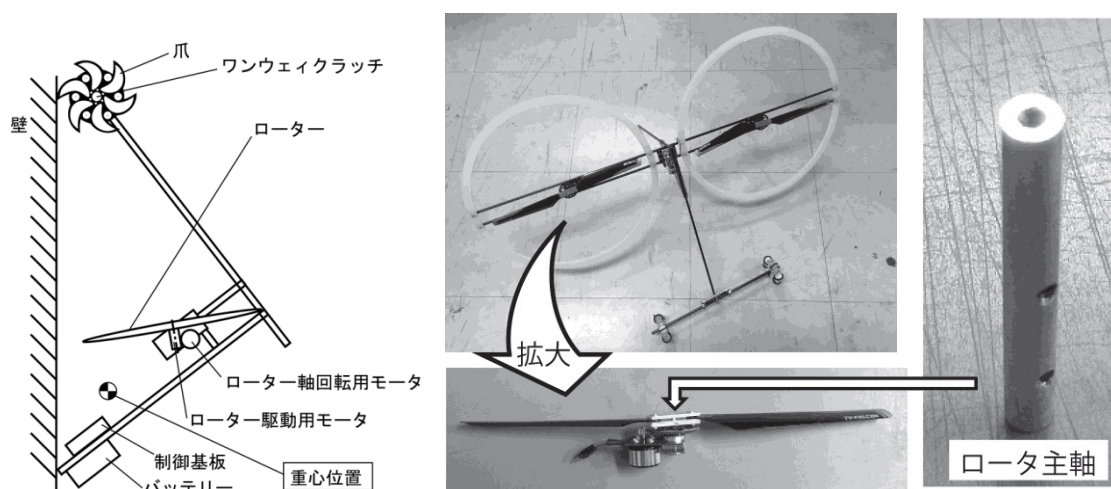


図4 HORNET (左:壁を登るときの状態、中央:写真、右:工作センターへの加工依頼部品)

現在、社会インフラ点検用ロボットとして、無人ヘリが注目されています。その無人ヘリの欠点である(1)耐外風性、(2)操縦難易度、(3)消費電力大、(4)安全性低、以上4つの問題全てを軽減させる目的でホーネットを研究開発しました。図4左の図はホーネットを横から見た時のイラストです。壁に爪で引っ掛けつつ、ローターによって浮上力を得て、上昇します。壁に接触しながら移動しますので、空中浮遊している場合に比べて、耐外風性や操縦性が

変優れています。また、耐外風性と操縦性に優れている関係で、安全性も自ずと高くなります。最後に残るのは(3)の消費電力に関してですが、この消費電力については、壁の状態とロボットの重心位置に依存します。壁の凹凸が激しく、爪で引っ掛かりやすい状態であれば、ロボットが静止中、ローターの回転を停止させても、壁にぶら下がった状態を保持できる可能性が有ります。上昇のときは無人ヘリと同様の電力が必要ですが、実際の検査に用いる場合は、上昇中の時間よりも静止中の時間の方が相当長くなります。また、重心位置が壁に近ければ近いほど、ロボットの重量を爪によって支える比率が高くなります。逆に壁から重心位置が遠いほど、ローターを回して浮上力を得ていなければならなくなります。ホーネット一号機において、壁が布ヤスリ (#40) の状態として実験した結果、消費電力が 20%低減することを確認しました。壁の状態に爪が引っ掛かり易いように工夫を入れることで、消費電力は更に大きく低減するだろうと考えています。

現在、機械工学科 4 回生の都倉悠平君の手によって、ホーネット二号機が製造途中の状態にあります。なお、このロボットに関して、2 つあるローターの主軸について、工作技術センターへ製作依頼をさせて頂きました。右にその完成品の写真を示します。φ3 の棒の端面一箇所と側面 2 箇所に M1.4 の雌ネジがあります。素材は超々ジュラルミン(A7075)で、軽くて変形しにくく加工もしやすい素材ですが、高価です。この軸は各箇所で径が細くなったり太くなったりしてはならない高い精度が要求される部品です。また、側面 2 箇所のタップの下穴が細い棒の中心を貫かなければなりません。学生が旋盤とボール盤で加工できるものではなく、技術職員さんに特殊な加工方法で作製して頂きました。より簡単に作れる設計はきっと有ると思います。しかし、今のところ、その設計方法について答えが得られていません。高価な素材に加え、特殊加工を必要とする部品は量産には適しませんので、コストを抑えた設計が望まれます。

#### 4. おわりに

以前は、『設計したら次は加工だ』と、そう思っていました。最近、『設計したかったらまずは加工だ』が正しいような気がしています。ものづくりを得意とする学生は、作ろうとするものの機構・構造をすぐに明確化し、設計製作に取り掛かるまでの時間が短いのに対して、ものづくり未経験の学生は、完成品のイメージが浮かばず、どのように加工すれば作れるのかも全然想像できず、結局、設計図を描く勇気が持てず、そこで低迷しているように思えます。設計のみをして外注に頼りすぎて、ものづくりが出来なくなった大学も散見されるようになった昨今、そのような大学の卒業生を差し置いてでも、ものづくりの経験を通じて得た実践的知識を持つ本学の卒業生が、企業でリーダーを務める未来を想像します。

作りたいものを作りたいときに作ることが出来る場所があるということは、ここ大阪市立大学の強みの一つです。また、研究室の学生誰もが、決して拒まれることなく、自由にボール盤や旋盤、フライス盤を用いて加工できること、いつでも気楽に相談に乗って下さる技術職員さんがおられることは、我々、大阪市大の教員にとっても、また、学生にとっても極めて大きなアドバンテージになっています。

参考文献

- [1] 佐藤高之, ヘリサートについて, *Fabrica*, No.24, pp.41-44, (2012).
- [2] 檜木幹司, 橋梁検査ロボットの開発, *Fabrica*, No.25, pp.34-35, (2013)