T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	任意節数連結可能な教育用ヘビ型ロボットの開発
Title	Development of a Planar Snake-like Robot with an Arbitrary Number of Joints for Engineering Education
著者(和文)	遠藤玄, 山田浩也, 青木岳史
Authors	Gen Endo, Hiroya Yamada, Takeshi Aoki
出典 / Citation	, , , 2J1-06
Citation(English)	, , , 2J1-06
発行日 / Pub. date	2009, 9
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2009 The Robotics Society of Japan.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

任意節数連結可能な教育用ヘビ型ロボットの開発

○遠藤玄 (東京工業大学)　山田浩也 (東京工業大学)　青木岳史 (東京工業大学)

Development of a Planar Snake-like Robot with an Arbitrary Number of Joints for Engineering Education

*Gen ENDO (Tokyo Tech), Hiroya YAMADA (Tokyo Tech), Takeshi AOKI (Tokyo Tech)

Abstract—This paper proposes a new educational snake-like robot for young engineers. Due to the cost limitation of the robot, most of the conventional educational robots have very simple configuration with two drive wheels. On the contrary, we develop a huge robot with multi-degree of freedom by combining many segments which are made by each participants. We develop a snake-like robot which can be easily attached or detached arbitrary number of segments. We demonstrated a smooth serpentine motion of the proposed robot with 24 segments.

Key Words: Snake-like Robot, Educational Robot

1.　はじめに

近年，理科系教育を目的としてロボットを題材とした実習・工作教室が幅広く実施されている（例えば [1]）．対象年齢や教育の目的により実習内容は異なるが，製作するロボットの多くは独立二輪駆動型の車輪移動ロボットであり [2][3]，オープンループのプログラミングやセンサを用いたライントレース・障害物回避などを目標タスクとしている．参加者は一人一台，あるいは複数人で一台作成し，最終的に競技会などで競い合うことでタスクの達成度合いを評価する．

このような実習はメカトロニクス教育の入り口として重要な意義を持つ一方，製作するロボットそのものとそのタスクは原理的に単純で，その機構構成は十数年来変化がない．そこで本報では従来にない全く新しいロボット教材として，蛇行推進するヘビ型移動ロボットを提案する（Fig.1）．本ロボットの最大の特徴は**参加者全員が協力して１台の大きなロボットを製作する**という新機軸を導入したことである．

2.　制約条件

本ロボットは日本ロボット学会主催の第 51 回シンポジウム「ロボットの作り方 2009」のために設計された．受講対象者はロボット系の研究室に配属となった新４年生や高専の学生，企業の新入社員であり，ある程度の工学的事前知識はあるものの，物に触れた実作業経験は豊富ではない人を想定した．総製作時間は半日から１日程度で機械加工は行わず，半田付けおよび組立作業のみとした．ロボットの部品実費は 6000 円とした．

実習内容はヘビ型ロボットのみに特化したものから入るのではなく，まずマイコンを用いたメカトロニクス実習で一般的によく行われ，汎用性の高い下記実習を行うこととした．(以下便宜上，汎用実験と呼ぶ.)

- マイコンプログラム環境の構築
- DIO を用いた LED の ON-OFF 制御
- A/D 変換によるセンサ値の読み込み
- PWM 駆動による DC モータ駆動
- RC サーボモータの位置制御
- 1 自由度 DC サーボ機構

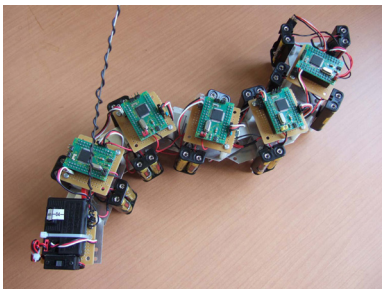

Fig.1 Overview of the educational snake-like robot

参加者はこれら汎用実験を一通り体験することでマイコン制御系の一般的な知識を身につけることが出来る．そして次にこれらを応用してヘビ型ロボットを構成するカリキュラムとした[1]．

3.　教育用ヘビ型ロボット

部品コストを考えると 6000 円で実現可能な制御系・アクチュエータ数は自ずと限定され，精々２自由度が限界であろう．それゆえ，今まで独立二輪駆動型車両が用いられてきた訳であるが，ここで発想を転換し，一人一台を製作するのではなく，参加者全員で一台を製作するとすれば超多自由度のロボットが製作可能である．

超多自由度ロボットの中でも特に平面上を蛇行推進するヘビ型ロボット [4][5] は全く同一の能動屈曲関節を直鎖状に複数接続することで構成可能であることから，部位により作り分ける必要がなく，実習の運営上都合がよい．また１節は単純に鉛直軸周りに屈曲を行うだけであるから１自由度サーボ系があればよく，前述の汎用実験と整合性が良い．さらにヘビ型ロボットは1節単体では推進運動を生成できないが，それらが複数連なり協調して動くことにより，総体としての運動が生成される．これは Subsumption Architecture や自律分散制御にも通ずるものがあり学術的にも興味深い．加えて蛇行推進という物理的運動自体がそもそも不思議で興味深い運動であり，それを理解するためには力学的解析が必須である．本ロボットは単に製作するだけ

[1]汎用実験に必要なセンサ・DC モータなどの比較的高価な機材は貸与し，部品実費には含まれていない．またプログラミングに必要な PC 機材は持参してもらうこととした．

で終わってしまう作業実習ではなく「学術研究の面白さ」を伝える入口としても有用であると思われる．

4. 教育用ヘビ型ロボットの開発

4·1 制御システム構成

汎用実験でマイコンにより RC サーボを位置制御する実習を行っていることから，そのままヘビ型ロボットの関節角制御に適用する．蛇行推進運動は先頭節に入力した屈曲信号を後方関節に一定の時間遅れを持ってシフトしてゆくことで生成できるが [4][5]，各関節角は各節ごとに搭載されたマイコンで制御されていることから，協調動作のためにはマイコン間で何らかの通信を行う必要があるように一見思われる．(先頭節への指令は特別なので後述する．)

通信は RS232C や I2C，CAN など様々な方式が考えられるが，デイジーチェーン接続するためには最低 2 つの通信ポートが必要となりマイコンボードが高価になる．また通信線が入ることにより配線が増加する，各節を電気的に接続するためノイズ対策が必要となるなど様々なデメリットがある．

そこで Fig.2 に示すように，各節は電源を含め電気的に完全に独立の制御系とし，機械系のみ物理的に接続する構成とした．安価な小型ボリュームによるポテンショメータで前節の関節角度を計測し，マイコン内の配列にその計測データを順次蓄えることで時間遅れを生成し，前節から遅れて自節を同じ角度に制御する．このような構成にすることで，マイコン間の通信は不要となり複雑な通信プログラムや配線なしに（先頭節を除き）任意の節数を随時接続・分離することが可能になる．

4·2 制御系ハードウェア

汎用実験が可能でプログラミング環境も含めて低価格な制御系として，秋月電子通商製 AKI-H8/3694F [6] とベストテクノロジー社製の無償開発環境 GCC Developer Lite [7] を用いる．またプログラム書き込み・汎用実験用に I/O ボード [8] を，関節駆動アクチュエータには GWS 社製 RC サーボモータ [9] を用いた．制御系価格は計 4500 円程度である．

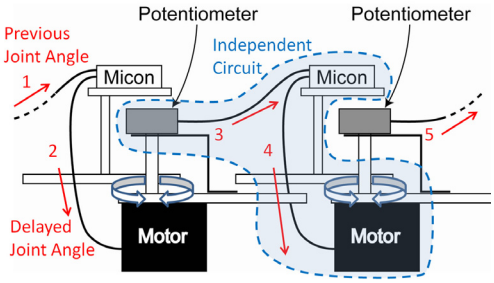

Fig.2 Desired joint angle is transmitted through independent circuits by physically connected potentiometers.

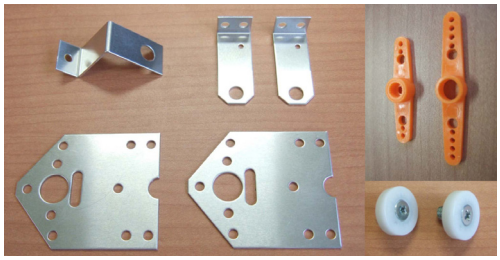

Fig.3 Major structural parts for one unit

4·3 機構系ハードウェア

今回は実習の時間的制約から機械加工を要する部品は外注することとしたが，自作する場合でも容易に加工できるよう厚さ 1[mm] のアルミ板材により構造部品を製作した．合計 3 種類・5 点とし，簡素な形状で部品点数が少なくなるよう留意した（Fig.3）．1 セットのみの外注製作価格はおよそ 12000 円であったが 50 セット発注することにより量産効果で 10 分の 1 以下の 1100 円となった．なお受動車輪は引き戸用の樹脂ベアリングを転用し，節間を連結するサーボホーンは GWS サーボモータに付属のものを追加工することでコストを抑えている．また組み立てに際しては特殊な工具は用いず学校実習用として販売されている工具セット（例えば [10]）でほぼすべて組み立てられるよう注意して設計した．機構系価格は計 1300 円程度である．

4·4 先頭節への関節指令

蛇行推進を行うためには先頭節が屈曲信号を生成する必要がある．もちろんマイコン上で先頭の関節角を正弦波駆動することも可能であるが，この場合操縦することは出来ない．そこで先頭節はラジコンにより操作者がマニュアルで屈曲信号を指示することとし，操舵は振動の中心値をオフセットさせることで実現する．先頭節の外観を Fig.4 に示す．受信機により関節角度指令を受取り，RC サーボを駆動する単純な構成である．

5. 製作実習

ヘビ型ロボットの製作実習に入る前に，導入としてヘビ型ロボットの概要と研究意義，力学などの基礎的事項の講義を行った [4][11]．続いて汎用実験を行いマイコン開発環境の設定や RC サーボ制御の実習を行った．

ヘビ型ロボットの製作実習は (1) 制御回路系の製作 (2) 機構ユニット組立 (3) ユニット間接続 (4) 操縦実験の順に行った．(1) はマイコンボードとポテンショメータ・RC サーボを接続するための中継基板の製作が主な作業であり，各自ユニバーサル基板を用いてハンダ付けを行った．各作業とも写真資料を中心としたマニュアルを準備し，参加者の進度に合わせて各人が作業できるよう工夫している．

実習への参加人数は 47 名であり，ハンダ付けなどの作業は経験の有無によって作業速度が大きく異なる．実際機構ユニット組立完了まで早い人で 1 時間弱，遅い

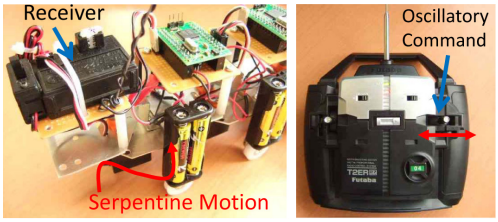

Fig.4 Desired joint angle for the first segment to generate serpentine motion

人だと 2 時間以上を要しており時間的に大きな差が生じた．しかしながら本ロボットはいつでもユニット間の接続作業が可能であることから，作業進度の早い人は早い人同士で接続作業を行うことが出来る．Fig.5 に時間ごとに撮影したヘビ型ロボットの様子を示す．実習時間が経過するごとに徐々に節数が増えていることが分かる．4 節程度では十分な推力を得られずわずかにしか推進できなかったが，時間を追い節数が増えるに従って滑らかに滑走することが可能であった[2]．

時間の都合上，途中で帰路につかねばならない参加者もおり，全員のユニットを連結することは出来なかったが，最終的には全 24 関節のヘビ型ロボットが完成し滑走出来ることを確かめた．また参加者は交替で操縦することでその推進原理を体感するとともにその運動を楽しむことが出来た．

6. まとめ

本報では新しいロボット教材として任意の節数接続可能なヘビ型ロボットを開発した．従来の一人一台作成する実習ではなく，参加者全員が協力して一台のロボットを製作する新しい実習である．

様々な人とコミュニケーションを取りつつ一つの目標に向かって協力して作業することは工学の醍醐味であり，またそのスキルは非常に重要である．本セミナーでは参加者同士はほとんど初対面であったが，お互いのユニットを接続する際には必然的に会話が生まれ，最終的に 1 台のヘビ型ロボットが動き出したときには，感嘆の声とともに，充実した一体感を味わうことが出来た．したがって協力して一つのモノを作り上げるという体験学習としても価値ある実習なのではないかと考えている．実習最後に撮影した記念写真を Fig.6 に示す．

なお，実習後はヘビ型ロボットは分解され，各自 1 節ずつ持ち帰ることになる．1 節のみでは推進できないため，機構部品リスト・購入先・図面とともに，1 つの H8 ボードで 6 個の RC サーボを駆動するための回路図・サンプルプログラムを配布し，興味のある参加者は部品を購入・製作すれば類似のヘビ型ロボットが個人で製作出来るよう情報提供した．

今後は製作マニュアルをより充実させるとともに，運営の効率化を図り，再び講習会を開催したいと考えている．キット化し一般教材として販売することも意義があると考えている．最終的には世界で最多の関節数の蛇行推進ヘビ型ロボットの製作を目指したい．

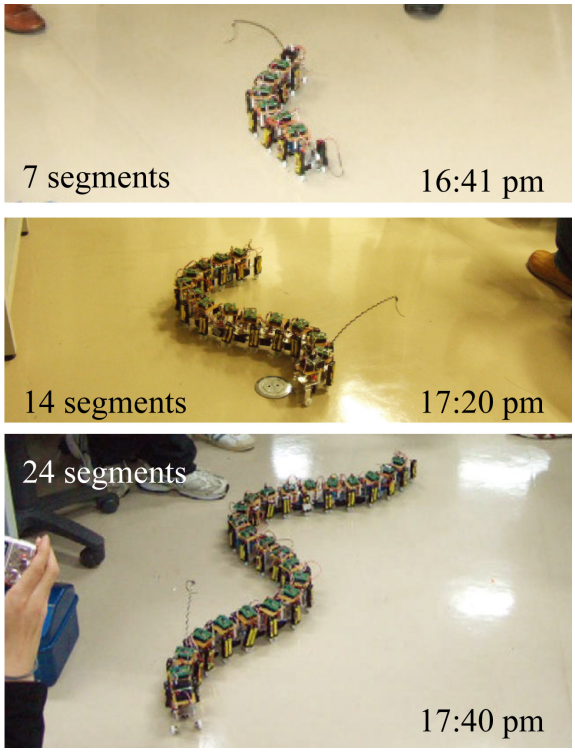

Fig.5 Temporal sequence of the length of the snake-like robot

[2] 予め 4 つの先頭節を用意しておいたため，短い節数でポテンショメータなどの調節を行い，最後に全体を接続することで 1 台のヘビ型ロボットを効率よく作成した．

謝辞

本実習実施にあたり多大なサポート頂きました東京工業大学機械宇宙システム専攻広瀬福島研究室の学生諸君に感謝致します．

[1] “科学技術振興機構サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト事例紹介ロボット”, http://spp.jst.go.jp/example/index.html
[2] 千葉工業大学未来ロボット技術研究センタ：“ロボットキット作成テキスト”, 日本ロボット学会ロボット工学セミナ第 66 回講習会「ロボットの作り方 2008」配布資料, 2008.
[3] “JAPAN ROBOTECH 社ロボデザイナー”, http://www.japan-robotech.com/robodesigner/index.html
[4] 広瀬茂男: “生物機械工学”, 工業調査会, 1987.
[5] 遠藤玄, 外川圭司, 広瀬茂男: “索状能動体に関する研究ーシステムの自立化と対地適応推進ー”, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.3, pp.419–425, 2000.
[6] “AKI-H8/3694F(QFP) タイニーマイコンキット”, http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-00855/
[7] “株式会社ベストテクノロジー GCC Developer Lite”, http://www.besttechnology.co.jp/modules/knowledge/?GCC%20Developer%20Lite
[8] “H8 タイニー I/O ボード”, http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-00207/
[9] “GWS サーボ MICRO/2BBMG/F”, http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-01908/
[10] ” ホーザン株式会社 S-34 工具セット”, http://www.hozan.co.jp/catalog/toolo_kit/S-34.htm
[11] Shigeo Hirose, Hiroya Yamada: “Snake-like robots”, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.16, Issue. 1, pp.88-98, 2009.

Fig.6 Commemorative photo with participants