

研究室紹介: 先端ロボティクス研究室 (稲垣研究室) 稲垣 克彦*

Introductory Article: Advanced robotics lab. (Ingk Lab.)

by

Katsuhiko Inagaki*

(received on Dec. 24, 2021 & accepted on Dec. 25, 2021)

Abstract: Inagaki Laboratory (Ingk Lab.) conducts comprehensive research and development of various mobile robots, including the development of actual machines. In this paper, three types of robots, leg-wheeled robot, spherical pedal type controller for omnidirectional robot and magnetic wheeled type of mobile robot are introduced.

Keywords: Robotics, Mechatronics, mobile robot, robot controller

1. はじめに

当研究室では、ロボットおよびメカトロニクス分野を対象に、各種の研究・開発を行っている。ロボットの中でも特に各種移動ロボットに関する機構の設計とその運動制御に関する研究を幅広く実施している。これに加え、メカトロニクス分野の教育自身も研究テーマとしている。本稿では前者について、近年における当研究室の研究テーマを中心に紹介する。

2. 研究に関する基本方針

当研究室における研究テーマは、原則として総合的な実機開発を伴っている。この為、開発に伴う各種スキルの獲得が、学部生および大学院生の実践的教育に密接に結びついている。ハードウェアについては、学部の専門であるコンピュータや電子回路に関する分野だけでなく、機械的なハードウェア分野の開発についても、CAD や 3D プリンタ等の各種工作機械を利用して自主開発を行っている。

3. 研究事例の紹介

3.1. 省自由度型脚車輪ロボット

車輪式と脚（歩行）式は陸上における移動方式として、その大半を占める。前者は移動効率（速度やエネルギー消費）について、後者は適応能力（対地適応性）について、それぞれ優れている。したがって、これら二者を融合した機構である脚車輪型移動を実現できれば、両者の長所を活かす事ができる可能性がある。しかし、単純な設計で脚車輪ロボットを開発しても、その移動効率は実用に供する事ができるような性能にはならない。本研究では、機構設計に省自由度設計という概念を導入し、最小限の自由度（関節数）で脚車輪型移動を実現する方法を模索している。具体的には、六角形状の閉リンク構造を持った胴体を導入し、3自由度だけで6脚の相対的な位置を決定できる設計としている。6脚のうち一部の脚先には、アクチュエータの要らない受動型車輪を設置している。そして、胴体形状を変化させながら、車輪の姿勢を能動的に変化させる事

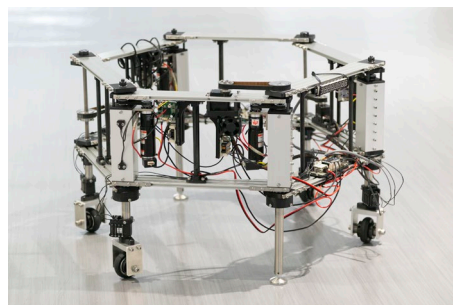


図1. Leg-wheeled robot with reduced DOF

で、車輪によるスケーティング動作（これをグライド推進という）を実現している。図1は開発したロボットの外観である。

3.2. 球体ペダルによる全方向移動機構の操縦システム

自動車等に代表される一般的な移動機構は、2自由度で構成されており、移動機構の速度や胴体回りの角速度に拘束条件がある。超信地旋回（いわゆるその場旋回）や横方向への移動が実現不可能なのは、この条件によるものである。逆を言えば、拘束条件がなければ、速度ベクトルと胴体回り角速度を独立して自由に制御する事が可能であり、前述の動作も実現できる。一般に、これを実現可能な移動機構を全方向移動機構と呼び、その実現には3自由度機構を適用する必要がある。

全方向移動機構を人間が操縦する事を考えると、操縦すべき自由度が1自由度増える事になるため、いわゆるハンドルとアクセル（+ブレーキ）のような2自由度系を対象とした操縦システムは適用できない。よって、全方向移動機構に適した専用の操縦装置を開発する必要がある。また、搭乗型の全方向移動機構の実用化シーンを考えると、狭所内で頻繁に移動や姿勢回転を繰り返すような、生産ライン等の現場における活用が考えられる。この場合、両手は各種作業の為に空けておく事が好ましく、足を使った操縦が望まれる。

これに鑑みて、本研究では小型の競技用ボールを全方向移動機構の操縦装置として適用することにした。このボールは全方向移動機構の車輪としても利用され

* 東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科



図 2. Controller for omnidirectional robot

るオムニホイールという部品を使って、下部が支持されており、トラックボールのように全方向へ回転できるようになっている。この装置で、ボールを自動車のアクセルペダルのように足で操り、 x, y の各軸回りの回転角度をそれぞれ y, x 方向への速度ベクトルの指示量として利用し、 z 軸回りの回転角度を胴体回りの角速度の指示量として用いる仕様である。

この際、注意しなければならないのは、自動車のアクセルペダルが踏み込み量に応じて復元力を発生させる仕様となっているのと同様に、ボールの回転角度に応じてボールが原点姿勢へ復帰させるような復元力を生じさせる必要がある点である。この機能を実装しない場合、操縦者がボールの原点姿勢を認識する事が極めて困難になり、操縦性が著しく低下する懸念がある。

そこで、機構では前述のオムニホイールに DC モータを取り付け、サーボロックによって復元力を生成するようにしている。図 2 は開発した全方向移動機構用の球体ペダル型操縦装置の外観である。

3.3. トンネル施工用セントル表面移動機構

トンネルには様々なタイプのものがあるが、その中でも最も代表的なものが、いわゆる山岳トンネルである。山岳トンネルでは、発破や削岩機等で岩盤を破碎した後、トンネル内に下処理（吹付けコンクリートの覆工、ロックボルトの設置、防水シートの設置等）を施した後、二次覆工と呼ばれるトンネル内壁のコンクリート施工作業を行う。この作業では、最初に図 3 に示すセントルと呼ばれる構造体をトンネル内部に搬入する。このセントルの断面はトンネル断面より一回り小さくなっており、セントル外壁とトンネル内壁の間に幅 30cm 程の隙間を生じる。ここにコンクリートを流し込む事で内壁を施工する方法を取る。コンクリートの硬



図 3. Centre for tunnel construction



図 4. Magnetic wheel mobile robot for centre

化後、セントルを降下させた上で、約 10m のセントル長分だけ、セントルを奥に移動させ、同様の作業を繰り返していく。この際、コンクリート施工の作業員はセントル内部において作業を行う必要があるが、その空間は極めて狭く、この空間からセントルに設けられた窓を通してセメント流し込みの為のホースや、締固め作業用のパイプレータを、前述の空間に投入する必要がある、コンクリート覆工作業は過酷なものになっている。

本研究は、セントルの表面を自在に移動可能な移動機構を開発する事で、締固め作業用の自動化や、覆工の状況の監視を行えるようにするシステムの実現を目指している。図 3 に示すように、セントル表面の斜度は垂直を上回る傾斜の部分もあり、その移動は容易ではない。しかし、幸いな事にセントルは鋼鉄製である上に表面は滑らかになっている。この性質を利用し、車輪自身が磁石となっているマグホイールと呼ばれる車輪を利用する事で、磁力によってセントル表面に吸着する構造の移動機構を開発している。この際、一部の車輪でもセントル表面から離れてしまうと、吸着力が急激に失われ、落下事故等につながる恐れがある。これを回避する為、車輪には特殊な受動自由度を設け、セントルの曲面に柔軟に対応できるような機構を設けている。また、4 輪の車輪にスリップが生じないように、個々の車輪に独立してモータを設置すると共に、各モータを研究室で開発したサーボモジュールで速度制御している。図 4 は実際のセントルで移動実験を行っている時の様子である。

4. おわりに

本稿では、当研究室において実施している各種ロボット・メカトロニクスシステムについて紹介した。今後とも、実機開発を伴う総合的なシステム開発を行っていきたい。

参考文献

- [1] K.Nohara, K.Inagaki, "A Study of Gliding Locomotion by Leg-wheeled Robot with Reduced DOF", Int. conf. on advanced intelligent mechatronics AIM2018, pp.1276-1281 (2018)
- [2] T. Siri Wattanalard, R. Sugimoto, K. Inagaki, "The Spherical Pedal Control Device for Omni-Directional Mobile Robot Manipulation", Int. conf. on climbing and walking robots and the support technologies CLAWAR2021, pp.1-11 (2021)
- [3] 康, 熊井他, "トンネル施工の為のセントル外壁移動ロボットの開発", SICE 第 22 回システムインテグレーション部門講演会, pp.2135-2137 (2021)