

磁力吸着壁面移動機構に関する基礎研究

Basic research on magnetic force adsorption wall motion mechanism

香川大学准教授 石原 秀則
香川大学大学院 坂本 丈尚
四国電力 松井 隆

Hidenori ISHIHARA
Tomonao SAKAMOTO
Takashi MATSUI

We considered painting of the inner wall of the containment vessel of the reactor and maintenance of the welded part are important. Therefore, we are developing a wall running robot which can paint walls and maintain welded parts even at elevated places. A magnet was used as a tire to make it an adsorption mechanism and a follower. A mechanism that does not use magnets is used for the drive wheels. In the conventional wall motion robot, it was impossible to overcome corner steps. Also, although forward and backward directions are possible, we could not move the robot to rotate. In order to solve these problems, we chose a buffer casters for the magnet rings and tried to improve running performance. We made a prototype machine and conducted a running experiment to overcome the step. It was possible to overcome the step, to make it possible to rotate, and to improve the running performance from last time. In the future, we will install cameras and ultrasonic flaw detectors in prototype and verify the possibility of maintenance.

Keywords: Magnetic Attraction, Wall Climbing Robot, Maintenance Robot, Driving Performance, Turning

1. 諸言

環太平洋造山帯に位置している日本は、2011年3月11日、東日本大震災により、福島第一原発事故が引き起こされた。そこで我々は、事故の未然防止や被害を最小限に抑えるために、設備の強化、日常点検が重要であると考えた。また、対象として原子炉格納容器に焦点をおき、原子炉格納容器内壁の塗装や溶接部のメンテナンスが重要であると考えた。しかし、原子炉格納容器は約30mの高さがあり、人間が中に入り作業を行うことは非常に危険であるため、作業に時間がかかることが予測される。

これらのデメリットを解消するために、我々は高所でも壁面の塗装や、溶接部のメンテナンスができる壁面走行ロボットの開発を行っている。その中でも本論文では塗装・メンテナンスの前段階として、壁面を移動できる機構部分の設計を行い、実験によりその有用性を検証する。

連絡先:坂本文尚、〒761-0396 香川県高松市林町
2217-20、香川大学大学院工学研究科、
E-mail: s17g510@stu.kagawa-u.ac.jp

2. 設計、試作機

2.1 設計方針

壁面の走行を考える上で考えられる手法はプロペラを用いた機構、吸盤を用いた機構、永久磁石を用いた機構が考えられる。そこで我々は3つの理由から、永久磁石を用いて壁面に吸着する方針にした。まず1つ目に今回の対象となる壁面が鋼板である。2つ目にエネルギー効率が良い。3つ目に故障した場合でも磁力は発生しているため、張り付いたままであり、落下する危険性を回避することができる。以上のことから磁石を用いることにした。現在、研究・開発されている永久磁石を利用した壁面移動ロボットを Table1 に示す。

Table1 Characteristics of robots being researched and developed [2]-[5]

No.	Developer	Robot name	Characteristic
1	Osaka Gas	Inspection Robot for Spherical Tanks	It is attached to the wall by magnetizing the tires of four wheels.
2	Tokyo Tech	Vmax III	Magnets are attached to the bottom of the robot.

			It corresponds to movement in all directions with a tire with 6 wheels set as one set.
3	Tokyo Tech	Disk Rover	Increasing the adsorption power by mounting the tire of the magnet diagonally
4	iXs Research Corp	Mag Bug	Magnets are attached to the bottom of the robot. Use omni wheel to move in all directions
5	ETHZ	Magnebike	The auxiliary wheel is attached to the side of the magnetized tire of two wheels

磁石の使い方を大きく分類すると、磁石をタイヤとして使用、またはロボット底面に磁石をつけるかに分けられる。磁石をタイヤとして使用した場合、磁石と壁面の距離をより近づけることができ、吸着力を大きくできる。しかしタイヤの機構が複雑になる。また磁石をロボットの底面につける場合は、好きなタイヤを使用できるが、磁石と壁面が接触していないため、磁石を大きくし、吸着力を大きくしなければならない。本論文では磁石をタイヤとして使用し、吸着機構かつ従輪にした。動輪には磁石を用いない機構にする。実際に試作機を作製し、検証する。

2.2 試作機の課題、改善

現段階での試作機を Fig.1 に示す。



Fig.1 Previous prototype

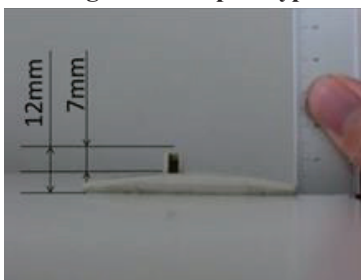


Fig.2 Step

ホワイトボード、鉄製モニュメント、鉄製ロッカーで、試作機の動作確認を行った。(Table2)

Table2 Confirmed move

No.	Confirmation contents	Success / failure
1	90 degree wall surface	Success
2	60 degree wall surface	Success
3	120 degree wall surface	Success
4	Gap (7 mm)	Success
5	Gentle step (maximum height 5 mm, width 60 mm)	Success
6	Horny step	failure

Fig.2 の角のある段差部分(角の高さ 7mm、壁面からの距離 12mm)は乗り越えが不可能であった。原因は、磁石のタイヤの直径が小さかったことと、平面と動輪との距離ができて空転してしまったことであると考えられる。また現在の試作機では、従輪である磁石輪の向きを完全に固定しているため、前後の進行方向は可能であるが機体を回転させる動きは不可能である。

磁石輪の改善として、まず磁石の直径を大きくし、サスペンション機構を入れ段差に対応しなければならない。また自由に壁を移動できるようにするために、前後方向の動きに加え、回転の運動を追加させなければならない。すべての条件を満たすものとして、今回磁石輪として緩衝キャスターを選定し、走行性能の改善に努めた。取り寄せた緩衝キャスターの車輪部分を丸型ネオジム磁石に変えた。手順としてサスペンション機構と 360 度回転する機能を持った緩衝キャスターを使用し、キャスターの車輪を、前回より直径を大きくしたネオジム磁石に変更した。現在の試作機の磁石輪を Fig.3、新しく改善した磁石輪を Fig.4 に示す。



Fig.3 Magnet ring (before improvement)



Fig.4 Magnet ring (after improvement)

3. 試作機の製作, 走行実験

試作機を Fig.5 に示すように新しく改善した磁石輪を4つ使用し製作した。駆動輪の位置は、以前の試作機と同様の位置に取り付けた。ここで問題となったのが、駆動輪の取り付け高さである (Fig.6 中の A 参照)。駆動輪の取り付け高さを高くすることによって、駆動輪が壁面を押し付ける力が上がるが、モータにかかるトルクが増え、モータが正常に作動しなくなることが考えられる。また逆に駆動輪の取り付け高さを低くすると、モータにかかるトルクは減少するが、モータのトルクが十分に壁面に伝えられなくなり、駆動輪が空転してしまうことが考えられる。この問題を解消するために、実際に駆動輪高さを1mmずつ変更し、それぞれ実際に走行実験を行い、効率よく走行できる最適の駆動輪高さを検証していく。

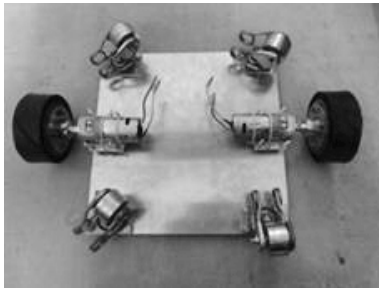


Fig.5 Improved Prototype



Fig.6 Drive wheel installation height

タミヤモーター540K300 で駆動輪高さをそれぞれ変更し、走行実験を行った。今回、ホワイトボード、非常扉、ロッカーを壁面の対象とした。駆動輪高さ 15mm~20mm で走行実験を行った結果、3 つとも正常に走行できたのが、

駆動輪高さ 17mm であった。問題としていたロッカーの角の高さ 7mm も、磁石輪が引っ掛かることなく走行した。しかし、16, 18, 19mm でもロッカーを正常に走行できたが、時々隙間や段差に磁石輪が引っ掛かり、駆動輪が空回りを起こす傾向が見られた。タイヤの摩擦力を上げることで、走行の性能が向上すると考えられる為、再度タイヤに耐震防止ジェルをはり、ロッカーでの走行実験を行った。実験結果は駆動輪高さ 15mm~18mm で、すべての動きに走行が可能であった。

4. 走行性能実験

性能実験として、それぞれの駆動輪高さの速度実験を上方向、横方向に分けて行った。結果を Table.3 に示す。

Table3 Speed Test Results

Drive wheel height	Speed (upward)	Speed (width)
15mm	0.261m/s	0.338m/s
16mm	0.254m/s	0.341m/s
17mm	0.242m/s	0.345m/s
18mm	0.207m/s	0.345m/s

またそれぞれの駆動輪取付高さで、段差を乗り越える走行実験を行った。実験結果を Table.4 に示す。

Table4 Experiment of running a step

Drive wheel height	Horizontal step	Vertical step
15mm	12mm	14mm
16mm	12mm	13mm
17mm	11mm	12mm
18mm	11mm	12mm

駆動輪高さ 15mm の時が段差を乗り越えるのに一番有利であることが分かる。それに加え、駆動輪高さ 15mm の時が、一番上方向に対して速度が高かった為、最適の駆動輪高さは、15mm であるということが考えられる。

5. 結言

本稿では、現在の試作機の課題について述べ、方向転換を容易に行えるように、永久磁石を用いた緩衝キャストに変更することを提案した。また改善した磁石輪を使用し、試作機を製作した。駆動輪高さを変えての走行実験や、タイヤの摩擦を上げての走行実験、性能実験を行い、それぞれの高さの性能の比較に努めた。前回の試作機の課題としていた段差の乗り越え、回転運動などを可能とし、走行性能を前回より向上させることが出来た。今後の課題は、まず溶接部のメンテナンスができるよう

に、試作機にカメラや超音波探傷器を搭載し、メンテナンスの可能性を検証する。

参考文献

[1] 三宅徹、石原秀則、吉田俊一、“自走式窓清掃小型ロボットの開発（方形領域の隅々まで掃引可能な壁面吸着移動機構の開発）”、第10回ロボティクスシンポジウム、2005。

[2] 川口 圭史、曾木忠幸、甲斐、森崎弘康、早川秀樹、“球形貯槽検査用ロボットの開発”、日本ロボット学会誌、Vol.21, No.7, pp.770-775, 2003。

[3] 鶴清、広瀬茂男、“全方向移動車両 Vmax の原理を

利用した凹凸壁面对応型全方向移動ロボットの開発”、ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集、“1A1-D20(1)“-1A1-D20(4)”, 2008。

[4] 広瀬茂男、堤竹浩、外山良成、小林研吾、“磁気ディスク型壁面移動ロボット Disk Rover の開発”、第10回ロボティクスシンポジウム、2005。

[5] Fabien T, Wolfgang Fischer, Gilles Caprari, Roland Siegwart, Roland Moser, Francesco Mondada, “Magnebike: A magnetic wheeled robot with high mobility for inspecting complex-shaped structures”, Journal of Field Robotics, Vol.26, No.5, pp.453-476, 2009。