



鉛直分岐を有する配管網内検査ロボットの開発

Inspection Robot Climbing Vertical Cross Piping

群馬大学大学院	久保 宏道	Koudou KUBO	Non-Member
大分産業創造機構	長屋 幸助	Kosuke NAGAYA	Member
群馬大学大学院	吉野 智彦	Tomohiko YOSHINO	Non-Member
群馬大学	星 敬之	Takayuki HOSHI	Non-Member
群馬大学大学院	村上 岩範	Iwanori MURAKAMI	Non-Member

A new robot is presented which is able to climb on a perpendicular piping with branches and moves on the ceiling in the piping. The robot is a crawler type whose crawler has made of magnetic tips. The magnetic tips of the robot adhere to the piping made of iron due to magnetic forces. When the adhesive force is larger than the gravity force of the robot, a connection between the robot and the ceiling can be maintained. That is, the inspection robot in piping can move freely in solid piping of all shape such as in the vertical T character piping and the vertical crossing piping. The robot has a camera so as to inspect inside of piping. To validate it, a compact crawler type robot is made, and its fundamental characteristics are investigated.

Key words: Piping, Inspection, Robot, Magnetic Force, Climbing the Wall, Vertical Crossing, Camera

1. 緒言

発電所や上・下水道・ガス管などに使われている配管は直径が比較的小さいものもあり、人間が中に入って直接検査することはできない。そのため、それらの配管の検査作業は、現在のところ人間が配管の外側から行っている場合が多い。しかし、配管は複雑に配置され、地中に広範囲に埋められている場合が多く、その検査作業は容易ではない。そのような配管を外側から検査するのは効率が悪いので、配管内にロボットを入れて検査することが提案され、現在様々な検査ロボットの開発が行われている[1-5]。

これまでに開発されたロボットとしては、まず磁気クローラ方式[3,4]があげられるが、これらは吸着力が大きく走行は安定しているが、壁面走行あるいは原子炉内を検査する目的で開発されたもので、大型管を対象としたものである。また、配管の円周面に複数のタイヤ、あるいは車体を押しつけその摩擦力で水平・垂直移動を行うものも販売されているが[1]、これらの方式では、その機構上配管の径が変化する場合やT字管などのように分岐のある管内を走行することはできない。

近年、分岐管を走行できるように永久磁石を車輪として利用し、その吸着力で水平・垂直移動を行うロボットも開発されている[2,5]。円形の永久磁石を車輪

として利用するこの磁気車は、車体の大きさをコンパクトにすることができ、様々な直径の配管に対応することができる。しかし、円形状車輪では配管との接地面積が小さいため、磁気吸着力が弱く、摩擦力も小さくなるため、配管内を垂直移動する場合は、滑りが生じ、水平管内の天井を移動する場合は剥がれ落ちてしまう可能性がある。

上記のようにこれまで開発された管内検査ロボットは一長一短を有し、通常の配管網内を自在に移動して検査することは難しく、とくに、重力の作用する鉛直十字管あるいは鉛直T字管などの分岐のある管内でロボットの姿勢を変えて走行させることは困難である。そこで、本研究では、上記の欠点を解消する磁気吸着力をクローラに有する配管内検査ロボットを新たに提案する。クローラ方式にすることにより、磁気吸着力はクローラの接地面全体に働くので、大きな吸着力が得られる。クローラ方式については、すでに研究成果が発表されているが、これまでの方式では、直径が10～20cm程度の水道管やガス管等の小径管の配管あるいは分岐配管内を移動させることは困難である。すなわち、配管内部には、曲面、凹凸、段差、分岐などがあり、それらは水平面・垂直面・天井などの走行状況によっても磁気力への影響が変わってくるため、左右のクローラが固定式の従来方式では、スムーズな走行をできないのみならず、鉛直分岐管部分では落下する。

連絡先：長屋幸助 〒250-0875 神奈川県小田原市南鴨宮 1-7-1-404,
E-mail: nagaya420@yahoo.co.jp

そこで、本研究では、新たな機構を用いた磁気クローラ方式を開発し、配管内部をスムーズに走行し、かつ鉛直分岐管にもスムーズに移動して壁面を登ることを可能にする。すなわち、磁性を有するという限定はあるが、鉛直 T 字管や鉛直十字管など、あらゆる形状の立体配管網の中を自在に走行できる管内検査ロボットを開発し、その設計法、吸着力特性、配管内での走行性能などについて調べる。また、車体に小型カメラを取り付けて、モニターを見ながら遠隔操作し、実際に配管内に欠陥を配置してその検査性や操縦性も検証する。

2. 配管内検査ロボットの概要

従来のクローラ式ロボットについては、以下のような問題点があり、ただちに配管検査に用いることはできない。その問題点を列記すると、

- (1) クローラが配管内壁面に沿ってなめらかに接地しないため、配管天井面を走行するときに落下する。
- (2) とくに、配管内の回転時にクローラと配管内面の接地が難しい。
- (3) 鉛直分岐管内を昇るときに段差による落下力（重力）によるモーメントで落下する。

以上のような問題点をそれぞれ解決した構成のロボットの概要を Fig.1・Table 1 に示す。車両本体は左右独立に分けられており、中心部をストッパー付き回転ヒンジで固定している。減速機付きのモータを 2 個配置し、左右独立してコントロールすることで配管内での旋回を可能にしている。また、クローラをモータより内側に配置することによって、クローラ間隔を狭くしている。これにより上記の問題点の 1 と 2 をクリアしている。また、車体後方には、一端に車輪を有し、他端にねじりばねを有するアームを取り付け、上記 3 の問題点をクリアしている。さらに、磁気吸着を大きくするために本クローラの表面には、厚み方向に磁化された磁石が磁気回路を構成するように、隣りあう磁極を N, S, N, … と交互に反転させて配置し、磁石と配管面が直接吸着して磁石が破損することを防ぐため、磁石表面に厚さ 0.5mm のビニールシートを保護材として被覆している。一方、管内検査のために車体にカメラと照明用 LED を搭載し、モニターを見ながら遠隔操作できるようにしている。以下上記の問題点とそれぞれの要素の関係を詳述する。



Fig.1 Photos of the Robot.

Table 1 Dimensions of the system.

Length of vehicle [mm]	102.5
Width of vehicle [mm]	69
Height of vehicle [mm]	51.5
Weight of vehicle [g]	183
Number of magnet	28

3. 配管内検査ロボットの機構的設計

3.1 回転ヒンジの製作

配管内を走行するためには、クローラを配管面に接地させ、十分な吸着力を得る必要がある。しかし、左右の本体が固定式の場合、クローラが路面形状に対応できず、磁石の接地面積が小さくなることやクローラが配管面から浮き上がることによって、吸着力が減少するため走行が困難となる。そのため配管内において左右のクローラが配管面に吸着した状態でスムーズに旋回、走行するためには、左右のクローラが角度が変化する必要がある。そこで、本研究では車両本体を左右独立式にし、中心部をストッパー付き 2 自由度の回転ヒンジで固定している (Fig.2)。回転ヒンジで左右の車両を連結することにより、旋回中に配管面の状況に合わせて回転ヒンジが回転することで、クローラが浮き上がることを防ぎ、十分に接地できる構造となっている。また、本体が回転しすぎることにより磁石の接地面積が減少し、配管面から剥がれ落ちることを防ぐため、一定角度（上下 20°）以上回転しないようにストッパーが装着されている (Fig.3 参照)。

Fig.4 から分かるように、本回転ヒンジにより左右のクローラが配管面状況に合わせて接地し、浮き上がることなく、十分に接地した状態での旋回が可能となっている様子がわかる。

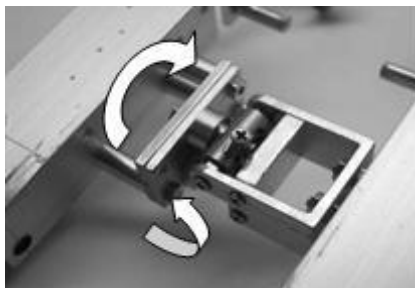


Fig.2 Photos of the rotation hinge.

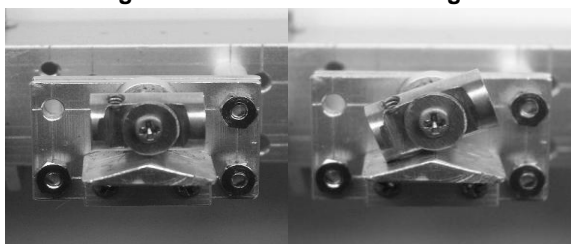


Fig.3 Photos of the stopper.

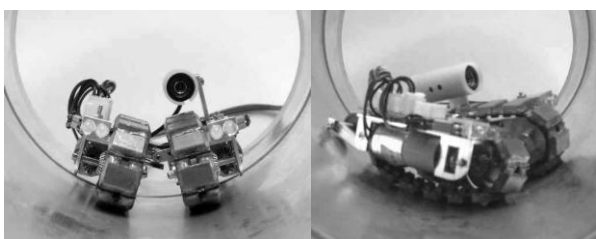


Fig.4 Adhesions of the crawler on inner surfaces of pipes.

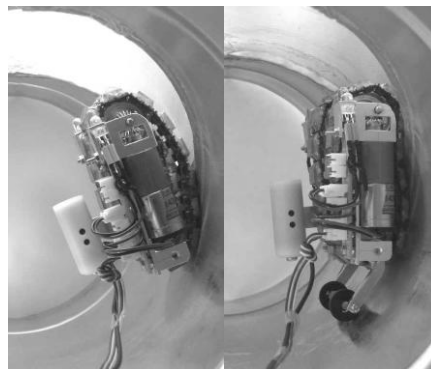


Fig.5 Perpendicular run of a T piping.



Fig.6a Attachment which gives the restoring moment to the robot.



Fig.6b Photos of the supplementary wheel.

3.2 補助車輪の製作

Fig.5 の左図は、クローラだけの状態で鉛直 T 字管を走行している状態である。クローラだけの状態では、鉛直 T 字管の継目による段差で前方の磁石が剥がれていき、最終的には配管面から剥がれ落ちてしまう。そのため、鉛直 T 字管を登るには、前方の磁石を配管面に押し付ける力（モーメント）が必要である。

そこで、フロントホイールを配管面に押しつける力を与えるため、車体後部にねじりばねを用いた補助車輪を取り付けることを提案する。Fig.6 に示すように、アームの一方の端をねじりばねと一緒に車体後部の軸に回転できるように取り付け、他端に小さな車輪を設け、それを路面に接地させる。路面に接地することにより、補助車輪はねじりばねで路面に押し付けられるので、フロントホイールも路面に押し付けられる。本装置ではアームの長さを 25mm（ねじりばねの中心軸と補助車輪の中心軸の距離）として設計することにする。また、車両本体の構造上、腕の長さを一直線上にすると、補助車輪の回転可能な角度が小さくなってし

まうため、アームをくの字になるように角度を変化させることにより、回転角を大きくできるようにしている。Fig.5 の右図は補助車輪を装着した状態で鉛直 T 字管走行しているときの様子である。本補助車輪の効果によって、段差を乗り越えた車両前方の磁石が路面に吸着しており、配管面から車体が剥がれ落ちずに段差を乗り越えることができる。

3.3 駆動システム

本ロボットでは、2本のクローラをそれぞれ独立して駆動させるため、左右の車体に各ひとつずつ減速機付きモータを配置している。本モータは、栄 43 シリーズの減速機付きモータであり、定格負荷回転数 130rpm, 定格駆動電圧 12V, 定格負荷電流 170mA, 定格負荷トルク 500gcm, 減速比 1/97, モータ重量 25g である。また、

減速機の効率実験により $\eta=0.73$ と求められた。

検査ロボットは有線で遠隔操作するため、検査ロボットは配管内を走行するときはケーブルを牽引しなければならない。検査ロボットが配管内を進んでいくと、ケーブルの長さが長くなり、ケーブルの重さと摩擦抵抗が増加する。そして、ケーブルの重さと摩擦抵抗が、ロボットの牽引力より大きくなるとロボットは前進することができなくなり、垂直面や天井面を走行している場合は、配管から剥がれ落ちてしまう。そこで、平板・直径 150mm・200mm の配管を用意し、それぞれ水平走行・垂直走行・天井走行時における牽引力の測定を行った。その結果を Fig.7 に示す。水平走行時には、ロボットの自重の影響により垂直走行、天井走行時と比較して、摩擦力が大きくなるため牽引力も大きくなるのに対し、垂直走行、天井走行時は水平走行時に比べ牽引力は小さくなるが、以下の実験ではこの索引力で十分であった。

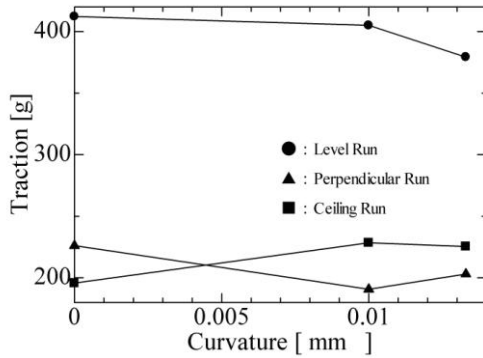


Fig.7 Traction force of the robot.

4. 配管内検査ロボットの力学的設計

4.1 磁気吸着力

本ロボットのクローラには、クローラの長手方向の長さが $b=8\text{mm}$ 、幅 $a=12\text{mm}$ 、厚さ 2mm 、残留磁束密度 0.9T の磁石を用いている。磁石表面に 0.5mm のビニールシートを被覆し、路面を直径 150mm 円筒とした状態における磁石一枚の吸着力は、実験により $F_c=3.36\text{N}$ と求められた。

4.2 従来型クローラの鉛直 T 字管落下のメカニズム

鉛直 T 字管内壁面をロボットが昇降するとき、従来型ロボットでは Fig.8 のように曲面に沿ってクローラが走行するため、せり出した状態となる。このときロボットが滑落しない条件は、

$$2\mu \sum_{n=1}^N F_c \cos \beta_n > mg \quad (1)$$

ここに F_c は磁石 1 個の吸着力、 β_n は n 番目の磁石と鉛直軸のなす角、 μ は摩擦係数、 N は面に吸着している磁石の個数、 mg はロボット重量である。

本ロボットの場合、摩擦力は大きいので、上記の滑落は磁石が 1 – 2 枚程度、壁に貼り付いているだけで滑落は防止できる。しかし、ロボットが Fig.8 のようにせり出したとき、本クローラは柔軟な弾性ベルトに磁石が接着されているため、落下力によるモーメントを受け持つことは難しく、モーメントの大きい部分の磁石から引き剥がしが始まり、順次剥がされていき、ついにはロボット全体が落下する。このメカニズムを以下に示す。

Fig.8 のような状態を考え、点 D におけるクローラ (ベルト) のたわみ δ 、2 本のベルトの張力を T 、

磁気吸着力を F_D とすると、

$$2F_D \cos \theta_1 = T \sin \theta_1 + T \sin \theta_2 \quad (2)$$

$$2F_D a = mgl_g \sin \phi \quad (3)$$

θ_1 、 θ_2 は微小であるので ($\cos \theta_1 \approx 1$ 、 $\sin \theta_1 \approx \theta_1$ 、 $\sin \theta_2 \approx \theta_2$)、

$$T = \frac{mgl_g (l-a) \sin \phi}{\delta l} \quad (4)$$

一方、クローラの車輪半径を r 、軸間距離を l とするとクローラ (ベルト) の必要長さ l_c は

$$l_c = 2(l + \pi r) \quad (5)$$

管壁面に接触させるため、ベルトの長さを δ_0 だけ長くすると、使用したベルトの長さは

$$l_0 = l_c + \delta_0 = 2(l + \pi r) + \delta_0 \quad (6)$$

Fig.8 のような状態でベルトが壁面に貼り付いたとき以下の関係式が得られる。

$$l_1 + l_2 = l + \delta_0 \quad (7a)$$

$$\left. \begin{aligned} l_1 \sin \theta_1 &= \delta, l_2 \sin \theta_2 = \delta \\ l_1 \cos \theta_1 &= a, l_2 \cos \theta_2 = l - a \end{aligned} \right\} \begin{aligned} l_1^2 &= a^2 + \delta^2, \\ l_2^2 &= (l - a)^2 + \delta^2 \end{aligned} \quad (7b)$$

$$\therefore \delta \approx \sqrt{\frac{2a(l-a)\delta_0}{l}} \quad (8)$$

このとき θ_1 、 θ_2 は近似的に

$$\theta_1 = \frac{\delta}{a} = \sqrt{\frac{2(l-a)\delta_0}{al}} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \sqrt{\frac{2a\delta_0}{(l-a)l}} \quad (10)$$

また、ロボットの傾斜角 ϕ は

$$\phi = \phi_1 + \theta_1 \quad (11)$$

このとき磁石が引き剥がされる瞬間のモーメントの釣り合いは

$$T \sin(\theta_1 + \theta_2) b = \frac{b}{2} F_c \times 2 \quad (12)$$

となる。ここで、

$$F_c > F_f = T \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

のとき磁石は壁面に接着しているが、 $F_c < F_f$ で磁石は壁面から引き剥がされる。

4.3 摩擦による落下抵抗

上述のように鉛直 T 字管内を登るためには、Fig.8 のようなせり出しを防止する必要がある。本ロボットでは、車両後部に Fig.9 に示すようなねじりばねを有する補助車輪を取り付け、そのねじりばねによりモーメントを得て、クローラを壁面に接着させることを提案する。以下その解析を示すが、符号は新たに定義している。本ロボットは斜面および垂直壁を登る必要があるが、そのときの鉛直壁とクローラとの摩擦力はクローラ重量より大きくなければならない。本設計は前述のように、突起面のある垂直管内へロボットを移動するとき、後部に吸着はがれを防止するため、ねじりばねを用いた補助車輪を有する。このため、弾性ベルトに取り付けられた後部磁石 5 を引きはがす力が働く。このときばねのねじりモーメント M は、

$$M = k(\theta - \theta_0) = Rl \sin \theta \quad (13)$$

$$R = \frac{k(\theta - \theta_0)}{l \sin \theta} \quad (14)$$

ここで、

$$Q_1 + Q_2 = R$$

$$Q_2 l_1 = R(l_1 + l_2)$$

の関係より、 Q_1, Q_2 は

$$Q_1 = -\frac{kl_2(\theta - \theta_0)}{ll_1 \sin \theta} \quad (15)$$

$$Q_2 = \frac{k(\theta - \theta_0)(l_1 + l_2)}{ll_1 \sin \theta} \quad (16)$$

となる。ここに k はねじりばねのばね定数、 θ_0 は補助車輪が壁面に接地していないときの初期角度で、 θ は

補助車輪が壁面に接地しているときの角度である。

内径 3mm, 巻数 4, 線形 0.5mm, アーム長 30mm の

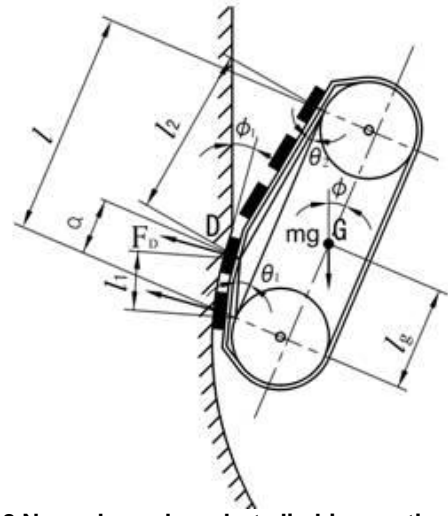


Fig.8 Normal crawler robot climbing vertical T-shape branch

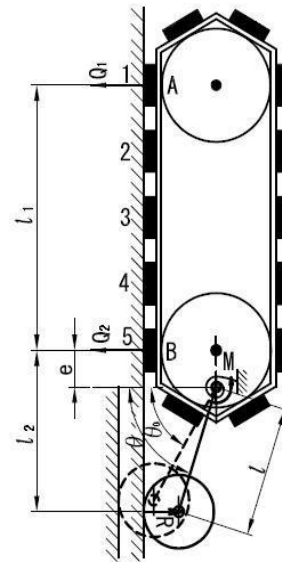


Fig.9 Vehicle climbing on a wall.

標準ねじりばねを用いると、そのばね定数は $k = 0.18 \text{ N} \cdot \text{mm}/\text{deg}$ である。本例では、接地時のねじり角は $\theta - \theta_0 = 13^\circ$, $e = 7 \text{ mm}$, $l = 25 \text{ mm}$, $l_1 = 50.5 \text{ mm}$, $l_2 = 30.9 \text{ mm}$, $\theta = 73^\circ$ である。したがって、No.1 の磁石の押し付け力 Q_1 , No.5 の磁石の引きはがし力 Q_2 は $Q_1 = -0.06 \text{ [N]}$, $Q_2 = 0.16 \text{ [N]}$

となる。したがって、No.5 の磁石については、吸着力が Q_2 減少し、

$$F_5 = F_c - Q_2 = 3.36 - 0.16 = 3.2 \text{ [N]}$$

No.1 の磁石については、吸着力が Q_1 増加し、

$$F_1 = F_c - Q_1 = 3.36 + 0.06 = 3.42 \text{ [N]}$$

となる。このときの全摩擦力 F_f は、

$$\begin{aligned} F_f &= 2\mu F_1 + 2\mu(N-2)F_c + 2\mu F_s \\ &= \mu(2 \times 3.42 + 2 \times 3 \times 3.36 + 2 \times 3.2) = 33.4\mu \text{ [N]} \end{aligned}$$

ここに、 μ は摩擦係数である。

一方、本ロボットの全質量は $m = 183 \text{ g}$ (カメラ重量も含む) であるので、鉛直壁面走行時の落下力は $mg = 1.79 \text{ N}$ である。これより、 $\mu > 0.054$ であれば落下しないことになる。磁石の被覆材としてビニールを用い、走行路を鉄板円筒としたとき、 $\mu = 0.6$ と求められており安全である。

なお、この場合はロボットの重力方向はロボット軸と平行であるので、ロボットの傾きによる落下モーメントはほぼ零となるので ($\phi = 0$)、磁石の引き剥がしはないと考えて良い。

4.4 T字管走行時の設計

本研究で開発するロボットは Fig.10 に示すようなもので、クローラの後方の車体にリンク A の一方の端をねじりばねと一緒に取付け、他端に小さな車輪を付け、それを路面に接地させる。

すなわち、車輪はねじりばねで路面に押し付けられているので、路面形状に沿って接地する。このとき、例えば Fig.13 のように曲面から直線部に移行するとき、車輪よりリンクは P の荷重を受け、クローラの磁石は路面に吸着するので、クローラは路面側にたるみ、反対側が張った状態となる。このとき、ロボットの落下モーメント以上の復元モーメントを補助車輪とねじりばねで与えると、ロボットの姿勢を図のように保つことができる。すなわち、ロボットの傾き ϕ を常にほぼ零とすることができる。このとき車両が滑落しないための条件はクローラの両側で、

$$2 \sum_{n=1}^N \mu F_c \sin \theta_n - 2\mu Q_1 - 2\mu Q_2 > mg \quad (17)$$

となる。

本研究で使用する鉄管は直径 150mm の円筒を組み合わせたもので、垂直 T 字管の角度は $\theta_1 \cong \theta_2 \cong 80^\circ$ 、 $\theta_3 = \theta_4 = \theta_5 = 90^\circ$ である。このとき、曲面の影響で平地走行のときより θ は大きくなるが、安全側をみて、平地の場合と同様に $\theta = 73^\circ$ とすると、滑落に抵抗する摩擦力は、

$$F_f = 19.9 \text{ [N]}$$

となる。この F_f は、クローラの落下力 $mg = 1.79 \text{ N} < F_f$

であるので、滑落に対しても安全である。

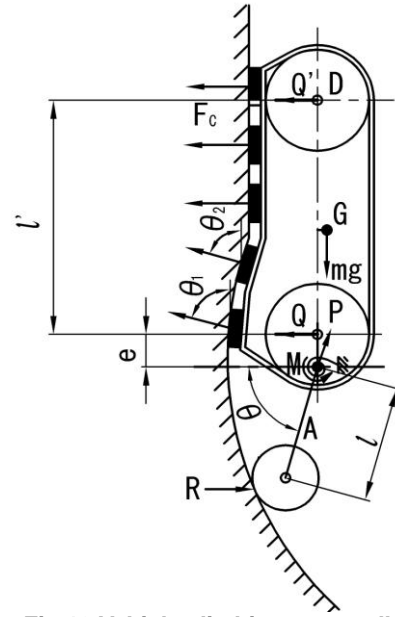


Fig.10 Vehicle climbing on a wall with non-continuous surface.

4.5 天井走行時の落下力の検討

Fig.11 の点 A, B まわりのモーメントの釣合より、

$$mg(l_1 - l'_g) - Q_2 l_1 + R(l \sin \theta + e + l_1) = 0 \quad (18)$$

$$-mg l'_g + Q_1 l_1 + R(l \sin \theta + e) = 0 \quad (19)$$

の関係が得られる。以上より Q_1 、 Q_2 は

$$Q_1 = \frac{mg l'_g - k(\theta - \theta_0) \left(1 + \frac{e}{l \sin \theta}\right)}{l_1} \quad (20)$$

$$Q_2 = \frac{mg(l_1 - l'_g) + k(\theta - \theta_0) \left(1 + \frac{e + l_1}{l \sin \theta}\right)}{l_1} \quad (21)$$

と求められる。

この場合は、クローラ車輪の拘束により点 A, B は水平状態のまま引き剥がされるので、

$$2F_c > Q_1, 2F_c > Q_2 \quad (22)$$

であれば落下しないことになる。本ロボットの場合、

$$Q_1 = 0.737 \text{ [N]} < 2F_c (= 6.72 \text{ [N]})$$

$$Q_2 = 1.16 < 2F_c$$

であり、落下に対して安全である。

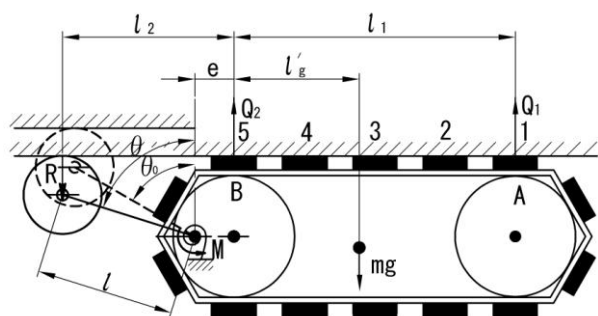


Fig.11 Vehicle on ceiling.

$$r = 10.9 \text{ mm}, M_f = 6.23 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}, F_c = 3.36 \text{ N},$$

$$Q_2 = 0.16 \text{ N}, \theta = 90^\circ$$

これらを式 (29) に代入すると、鉛直管を登るときに必要なトルクは、

$$M_t = 0.05 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

となる。

モータは、栄 43 シリーズの減速機付きモータを選択する。このモータの最大起動トルク M_d は 2500gcm である。したがって、

$$M_d = 24.5 \text{ [N} \cdot \text{cm]} \cong 0.25 \text{ [N} \cdot \text{m]} > 0.05 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

となるので問題はない。

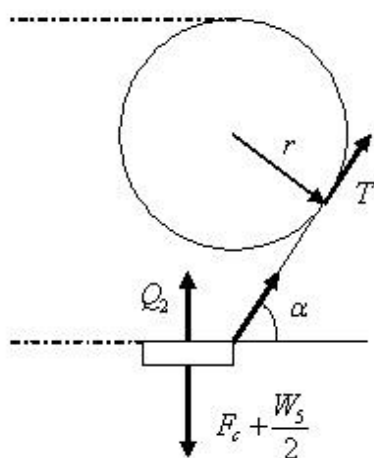


Fig.12 Analytical model for the driving torque.

4.6 駆動トルク

本ロボットでは、吸着トルクに打ち勝ってクローラを回転させる必要があるため、駆動トルクは通常の搬送車より大となる。このとき、磁気吸着力によるトルクの釣合は (Fig.12 参照)、後輪に作用する重量を W_5 とすると、

$$\frac{b}{2} \left(F_c + \frac{W_5}{2} - Q_2 \right) = \frac{T}{2} b \sin \alpha \quad (23)$$

磁石を引きはがすときのトルクは Tr である。したがって、斜面を登るとき片側のクローラの駆動トルクは

$$M_t = \left(\frac{2F_c - 2Q_2 + W_5 \cos \theta}{2 \sin \alpha} + \frac{W}{2} \sin \theta \right) r + \frac{1}{2} M_f \quad (24)$$

ここに、 θ は管の斜角、 W_5 は No.5 の磁石に作用する車両重量、 M_f は摩擦トルクである。

本研究の場合の各諸量は、

$$\alpha = 60^\circ, W = 1.79 \text{ N} (0.183 \text{ kgf}), W_5 = 1.0 \text{ N},$$

5. 配管内走行実験

5.1 検査ロボットの配管内走行状況

検査ロボットを配管内で走行させるために、Fig.13 に示すような配管コースを製作した。配管コースは配管直径 150mm で、入口から出口までの長さは 2424mm である。Fig.14 に検査ロボットが垂直 T 字管を登っている様子を示す。図より、車体後部の補助車輪の効果によって車体が剥がれ落ちることなく、鉛直 T 字管を走行できることがわかる。また、天井面や鉛直壁面、鉛直 T 字管下りの走行についても、車体が剥がれ落ちることなく走行することが可能であった。

5.2 配管内探傷走行実験

車両に搭載した小型カメラにより、モニターを見ながら遠隔操作し、その操作性や配管内に配置した擬似欠陥の検査性を検証する。車両前方には LED ライトを左右 2 個ずつ配置することにより、走行やカメラ撮影に必要な光量を十分に得られるようにしている。また、配管内部には長さ約 1cm 程度の黒のマジックインクで書いた模擬欠陥をところどころに配置した (Fig.15 参照)。

実際にモニターを見ながらの遠隔操作を行い、配管内部を走行させた結果、配管内の表面に配置した擬似欠陥を発見し、接近して観察することも可能であった。その様子を Fig.15 に示す。なお、本ロボットでは、カメラが本体に固定されている。このカメラを可動式にすれば、より詳しく配管内部を検査することが可能であると考えられ、オートフォーカスやズーム機能が付いているカメラを搭載すれば、ロボットを欠陥に接近させるために配管内部を動き回る必要が無く、より安

定した検査が可能であると考えられる。

本ロボットは配管内を自由に走行することに重点をおいたもので、欠陥検査については、カメラによる映像を用いているので、欠陥もある程度大きくなければならない等の制限あり、また、有線式であるため、クローラの自由な走行にも制限がある。したがって、実用にあたっては、無線式で、磁気探傷等の技術を組み合わせたロボットに改良していくことが望ましいと考えられる。



Fig.13 Geometry of piping used in the experiment.

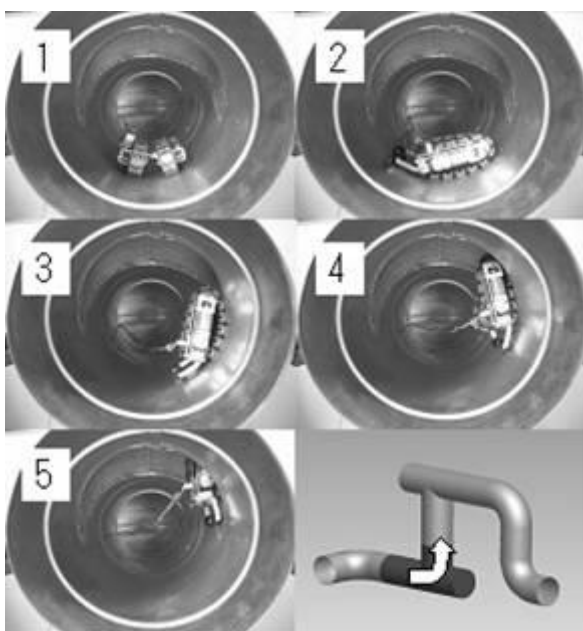


Fig.14 Climbing in T-piping.



Fig.15 Inspection of a defect in piping.

6. 結言

本研究では、磁気吸着力をクローラに有する配管内検査ロボットを提案し、実際に製作して実験によりその妥当性を検証した。その内容を要約すると、

- 1) 磁気吸着力をクローラに有する配管内検査ロボットを製作した。
- 2) 車両本体の中心部に、ストッパー付き回転ヒンジを装着したことにより、垂直管内や天井で垂直走行と旋回走行が可能になった。
- 3) 車両後方に補助車輪を装着することにより、垂直T字管の走行が可能になった。
- 4) 配管内の表面に疑似欠陥を配置して検査性を調べてみたところ、問題なく欠陥を確認することができた。

参考文献

- [1] Welding inspection robot in piping, CXR Corporation (under the sale).
- [2] K. Taguchi, T. Ohnishi, Development of mini-robot moving on walls, Preprint in 16-th Meeting of Japan Society of Robotics, (1998), pp.191-192.
- [3] M. Nagasawa, K. Nagaya, Y. Ando, Development of a Vehicle Moving Along Wall and Ceiling by Using Magnetic Adhesive Force, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.14, No.3, (2006), pp.317-324.
- [4] Magnetic-Crawler robot, Hitachi-Co.LTD (1992)
- [5] Atomic Bessel Inspection Robot using Magnetic wheels, IHI Co.LTD (under the sale).

(平成 19 年 10 月 10 日)