配管外側移動ロボットの開発

Development of Out-Pipe Robot

○学 濱田 実(富山大・院) 正 佐々木 基文(富山大・工) 正 小泉 邦雄(富山大・工)
正 笹木 亮(富山大・工) 正 木下 功士(富山大・工)

○Minoru HAMADA Motofumi SASAKI, Kunio KOIZUMI, Tohru SASAKI, Kohji KINOSITA,
Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Eng. Univ of Toyama., 3190 Gofuku, Toyama, 930-8555

Key Words: Out-pipe robot, Holding force

1 緒言と目的

石油・化学プラントなどの配管外側検査は人手に頼っている。人手に頼ることにより、高所や狭隘な空間といった悪環境下での作業は困難である。また、人手による作業は検査結果にばらつきがあり検査の均一性と信頼性にも問題がある。加えて、この種の仕事は3K(汚い, きつい, 危険)として敬遠されているので、物理的経済的にも難しい。検査の精度向上を図るためにも、ロボットによる検査作業の自動化が望まれており、配管外側を移動するロボットが必要である。

これまでにも一定の配管径において吸盤を用いて配管を把持するもの、アクチュエータで車輪を押し付ける方法、配管にゴム板を巻きワイヤで締め付ける把持方法といった配管外側を移動するロボットが製作されている。また、配管径が異なる場合においても正六角形の4辺を直進運動することにより配管を把持する機構がある。

しかし、配管が水平に設置された場合、過去に製作された配管外側を移動するロボットは頂上に乗せるか、底面に着いた状態での直進・スパイラル走行しか考慮されていない。配管の真横に設置した状態での走行は配管外周にロボットが存在しない空間を利用してT字管などといった配管の一部にある障害物を越えるための機構を使用せず走行することが望ましい。

本研究では、ある配管径の範囲内で配管を把持し、車輪を用いて移動する機構を考えた。ロボットが水平配管の真横に設置しても直進走行が可能であることを目指す。また、ロボットが配管を把持する際、どのような態勢でいても姿勢が保持するのに必要な把持力を求めた。

2 機構

今回製作した配管外側移動ロボット(Fig.1)は、ロボット移動機構とリンク機構に大きく分かれる。ロボット移動機構はアクチュエータ(DC モータ)と歯車群を用いて駆動輪に伝動することに配管軸方向に走行する。リンク機構はアクチュエータ(DC モータ)と歯車群を用いて左右のアームを直進運動させることにより配管を把持する役割を持つ。ロボット移動機構とリンク機構は共にロボット本体部に存在する。全長138[mm], 全幅87[mm], 全高53[mm], 総質量 $M=0.330$ [kg](ロボット本体 $m_B=0.286$ [kg], アーム $m_A=0.022$ [kg])となった。

この配管外側移動ロボットの特徴として、ある配管径の範囲内において配管軸方向から観察した場合、配管径が異なってもロボット本体とアームの把持位置が配管中心角を3等分するように把持する(Fig.2)。把持検出方法はリンク機構にあるアクチュエータ(DC モータ)に流れる電流を測定すること

により必要以上の電流が流れるとDCモータが停止するので、これを把持検出とする。また、配管外周にロボットの構造が存在しない空間を持つことにより、配管の一部に障害物があるときはその空間を利用して障害物を越えることができる。

3 把持力

ロボット自身の重力に対して、どのくらいの把持力があれば配管上においてどのような態勢でいても姿勢が保持できるか考えた。Fig.3は配管径 D が水平に設置され配管外側移動ロボットが配管中心に回転角 θ だけ傾いた図である。

Fig.1 Out-pipe robot

Fig.2 Holding

Fig.3 Out-pipe robot is holding

ロボットが姿勢を保持するとき、ロボット本体、各アームの重力によって発生するトルクと配管と各車輪間で生じる摩擦力によるトルクが等しい。摩擦力はリンク機構のアクチュエータによる締付($F_{Al}=F_{Ar}=F$, $F_B=f(F)$)とロボット本体・各アームの重力(m_Bg , m_Ag)によって生じる。配管中心からアーム重心までの距離 $l_A(=l_{Al}=l_{Ar})=f(D)$, ロボット本体における把持点から重心までの距離 $l_B=f(D)$, x_r 軸とアーム重心と原点 O との線分とのなす角 $\theta_A(=\theta_{Al}=\theta_{Ar})=f(D)$, そして配管と車輪との摩擦係数がすべての把持部分において等しいとき、ロボットが姿勢を保持するのに必要な把持力 F は Fig.4 のようになる。Fig.4 の縦軸 F/Mg は「総重力 Mg に対して把持力 F は何倍必要か」という意味を持つ無次元値で横軸が回転角 θ である。Fig.5 には $\theta=90[\text{deg}]$ における配管径が異なった場合の無次元値 F/Mg である。

Fig.4 において、 $0 \leq \theta \leq 4.5[\text{deg}]$ において $F/Mg < 0$ となっているが、この時はロボット本体、各アームの重力が把持力として十分に役割を果たしていることをさす。Fig.4, 5 で配管径 D が大きくなると姿勢を保持するのに必要な把持力 F が小さくなるのは、配管径が小さいとき、ロボット本体の重力位置と各アームの重力位置との距離が短くなり、ロボット本体の重力 m_Bg と各アームの重力 m_Ag が一体化するからである。配管径が大きいときは、ロボット本体の重力位置と各アームの重力位置との距離が長くなり、 x_r, y_r 座標において各アーム重心がロボット本体重心とは配管をはさんで逆の位置になり、各アームの重力によるトルクがロボット本体の重力によるトルクを軽減するからである。

Fig.4 F/Mg vs. θ ($\mu=0.3$)

Fig.5 F/Mg vs. D ($\mu=0.3$)

4 実験

今回、配管外側を移動させるのに配管直径 $D=65[\text{mm}]$ のアクリル管を用いた。ロボットが回転角 $\theta=0, 45, 90, 135, 180[\text{deg}]$ それぞれ傾いているときの移動実験をした。Fig.6 は実際の移動の様子を、Fig.7 は画像解析により把持完了時の位置を原点としたときの移動後のロボットの位置 $z[\text{mm}]$ と回転角 $\theta[\text{deg}]$ を示す。

Fig.7 の解析で z 軸から離れているとき、ロボットは本体部の重力によって配管外周を回転しながら移動していることを意味する。実験では配管軸方向の移動は確認できたが、Fig.7 のように特に $\theta=90[\text{deg}]$ ではロボット本体の重力 m_Bg によって不本意なスパイラル走行になってしまった。

5 結 言

今回の発表において以下のような結言を述べる。

- 1) $\theta=0, 180[\text{deg}]$ において配管外側移動を確認した。
- 2) ロボットが姿勢を保持するのに必要な把持力を求めた。

(a) $\theta=90[\text{deg}]$ (b) $\theta=180[\text{deg}]$

Fig.6 Move

(a) $\theta=90[\text{deg}]$

(b) $\theta=180[\text{deg}]$

Fig.7 Trace of movement