

グレーチング上におけるクローラ型移動ロボットの 旋回性能の考察

○市川サラ（東北大学） 松原和輝（東北大学） 永谷圭司（東京大学） 平田泰久（東北大学）

1. 緒言

近年、石油プラントでの火災などの事故件数が増加傾向にある。この原因として、プラント設備の老朽化が考えられる [1]。そこで、事故防止対策の一つとして、ロボットによるプラント点検の自動化に期待が高まっている。

この中でも、クローラ型移動ロボットは、その高い走破性能や積載能力から、プラント点検ロボットとして注目されている。クローラ型移動ロボットがプラント内を移動する際、プラントの床面のグレーチングが問題となる場合がある。グレーチングとは、図1に示すような格子状の鋼材でできた溝蓋であり、排水のために屋外プラントに設置されていることが多い。グレーチング上でクローラ型移動ロボットが旋回すると、図1に示すグロースがグレーチングに引っかかることで、目標経路から外れ、自律走行が不可能になる恐れがある。この問題を防止するためには、グレーチング上での経路追従性能を向上させることが必要である。そこで、グレーチング上でのクローラ型移動ロボットの挙動を明らかにし、これを考慮した走行制御を実現することが求められる。

本研究では、グレーチング上でクローラ型移動ロボットが旋回する際の現象を解明することを目的とする。本稿では、クローラ型移動ロボットの旋回走行試験を行い、通常の上とグレーチング上での旋回挙動の差異について報告する。

2. グレーチング上での経路追従性能の向上方法

グレーチング上において経路追従性能を向上させる方法としては、以下の2つが考えられる。

1. 経路追従をするフィードバック制御を改善する方法
2. 経路生成の段階で走行可能な経路を生成する方法

グレーチング上において、強制的に目標経路に追従させる制御を行うと、モーターへの負荷が大きくなることが考えられるため、本研究では、後者にて経路追従性能の向上を目指す。クローラ型移動ロボットのグレーチング上での旋回性能が明らかになれば、Dolgovら [2] の旋回半径を考慮した経路生成方法等を用いることで、グレーチング上でも走行可能な経路が生成できると考えられる。

3. 旋回試験

クローラ型移動ロボットがグレーチング上で旋回する際の挙動を確認するため、グレーチング上と通常床上において、クローラ型移動ロボットの旋回試験を行った。

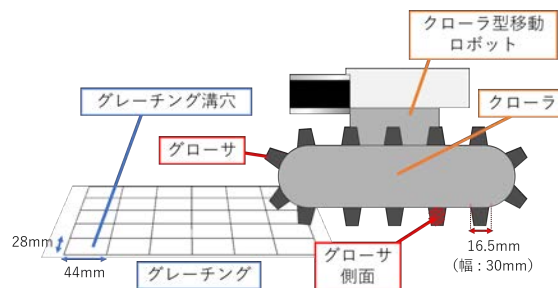


図1: グレーチングとクローラ型移動ロボット模式図



図2: グレーチング上の試験環境

3.1 試験方法

図1にグレーチングの溝穴とグロースの寸法を、図2に試験環境を示す。使用したグレーチングの溝穴は長さ44mm×幅28mm、グロースの根本は長さ16.5mm×幅30mm、ロボットの機体は横幅232mm×縦幅560mmである。

本試験では、グレーチング上において、機体がグレーチングの溝の長手方向と平行になる位置から、半円軌道を半時計回りに走行させた。

ロボットに与える並進速度 v は一定で 0.05 m/s とし、旋回速度については、旋回半径 r が 0.116 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m となる旋回角速度を与えることとした。ただし、 $r = 0.116$ m の場合、グロースに大きな力がかかり、これを破損させる恐れがあったため併進速度を $v = 0.02$ m/s とした。なお、使用したロボットは、旋回半径が 0.116 m のときに、信地旋回となる。また、通常床上においても、同様の試験を行った。

上記の試験では、モーションキャプチャーで取得したデータを真値とし、通常床上とグレーチング上で半円軌道を走行させたロボット軌跡を比較することで、グレーチング上での旋回動作の特徴を確認した。

3.2 試験結果

図3に目標経路軌跡，通常床上及びグレーチング上での走行軌跡を示す．図3a~3dは順に，旋回半径 r が0.116 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 mのときの結果である．

図3より，通常床上の走行軌跡は，いずれの条件でも，目標経路の内側に軌跡を描いており，特に図3a, 3bでは，誤差が大きくなるのがわかる．一方，グレーチング上の走行軌跡は，旋回半径によって挙動が異なる．図3a, 3bでは，どちらも振動が多く，特に図3aでは，半円軌道を描いていない．一方，図3bでは，最終位置は目標経路に近づいている．図3c, 3dからは，走行すると共に誤差が大きくなるものの，振動が少なく，半円軌道に近い軌跡を描くことがわかる．

3.3 考察

通常床上において全ての旋回半径 r で半円軌道の内側に軌跡を描く原因としては，左右クローラ速度差による滑りの影響が考えられる．特に左右クローラ速度差が大きい $r = 0.116\text{ m}, 0.2\text{ m}$ では，誤差が大きくなるが見てとれる．

一方，グレーチング上での $r = 0.116\text{ m}$ で誤差が大きい原因としては，グレーチングに接触しているグローサを中心として信地旋回をすることが多いためであると考えられる．また， $r = 0.2\text{ m}$ では，最終位置付近で誤差が小さくなるが，これは旋回半径が小さいため， $r = 0.116\text{ m}$ と同様の現象が原因で，目標軌道に偶発的に近づいたと考えられる．以上より， $r = 0.116\text{ m}, 0.2\text{ m}$ では，グレーチングが大きく影響していると言える．一方， $r = 0.3\text{ m}, 0.4\text{ m}$ で，走行経路が伸びるとともに誤差が大きくなるのは，本試験ではフィードバックを行っていないため，誤差が累積したと考えられる．したがって，この機体では， $r = 0.3\text{ m}, 0.4\text{ m}$ は，グレーチングによる影響が小さいと考えられる．

旋回半径が小さいほどグレーチングの影響を受けるのは，グローサがグレーチングに引っかかりやすいからであると考えられる．この現象が生じる理由は以下のように考察する．

1. 図4にクローラの最後方のグローサが一定時間で描く軌跡の概念図を示す．旋回半径が小さいほど，角速度を持ち，横方向への移動が大きくなるため，図4左に示す軌跡を描くと考えられる．一方，旋回半径が大きい場合，横方向への移動に対して前進成分が大きいため，図4右のような軌跡を描くと考えられる．これにより，小さい旋回半径では，グローサがグレーチングに衝突するまでにかかる時間が短くなる．
2. クローラの回転により，グローサはグレーチングから抜け出す高さまで移動する．この移動にかかる時間は，旋回半径に関わらず一定であるのに対し，旋回半径が小さいほどグローサがグレーチングに衝突するまでの時間が短く，グレーチングに引っかかる時間が長くなる．

以上より，旋回半径が小さい場合，グレーチングの影響が大きく経路追従が困難だが，旋回半径が大きい場合には，グレーチングの影響が小さく経路に追従しやすくなると考えられる．また，グローサやグレーチング

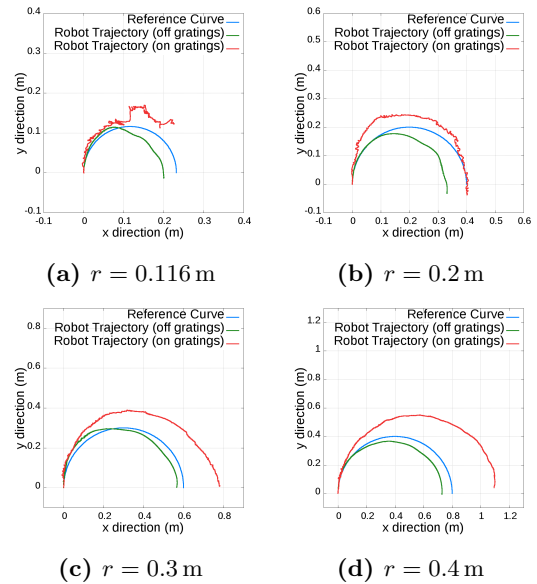


図3: 通常床上とグレーチング上での半円追従結果の誤差

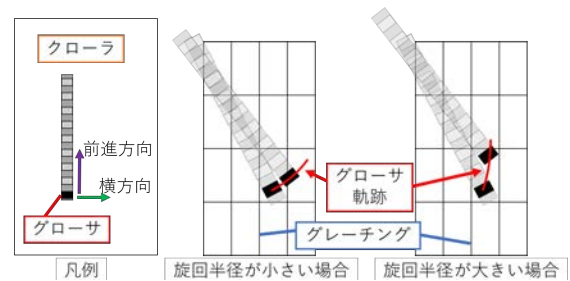


図4: 一定時間での一つのグローサの軌跡

のサイズも旋回性能に関係すると考えられるため，経路に追従しやすい旋回半径は，特定の機体に対し，定量的に求められると考えられる．

4. 結言

本研究では，グレーチング上でのクローラ型移動ロボットの旋回挙動の解明を目的とし，通常床上とグレーチング上での旋回試験を行った．試験結果より，旋回半径が小さいほどグレーチングから受ける影響が大きいが，旋回半径が大きければ，グレーチングの影響が小さいことがわかった．

今後は，複数種類のグレーチングとクローラ型移動ロボットを用いて同様の実験を行い，グローサやグレーチングの寸法等の関係から，グレーチングによる影響の少ない旋回半径を求める手法を考案する予定である．

5. 謝辞

本研究の一部は三菱重工業株式会社との共同研究によって実施された．

参考文献

- [1] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. Nedo ロボット白書 2014, 2014.
- [2] Dmitri Dolgov, Sebastian Thrun, Michael Montemerlo, and James Diebel. Path planning for autonomous vehicles in unknown semi-structured environments. *International Journal of Robotics Research*, Vol. 29, No. 5, pp. 485–501, 2010.