

鉄道整備用ロボットの走行機構の設計

日大生産工(院) ○神保 洋太 日大生産工 内田 康之
日大生産工(学部) 高岸 英次 , 丸山 拓海

1. まえがき

私たちが普段から利用している鉄道のレールは保線と呼ばれる点検作業により安全が確認されている。保線作業は、保守技術員が24時間体制で行っており、深夜のレール交換や点検作業だけでなく、日中もレールの点検作業を行っている^{1) 2) 3)}。その点検は走行試験などを除けば大半を技術員の目と耳に頼ったものである。レールの交換作業はレールの切断から始まり溶接、研磨を行う。その後、表面をハンマーでたたき打音によってレールの幅、ボルトのゆるみ、曲面の状態を確認する。そして、最終的に目視で安全を確認する。これらは保守作業員による作業がほとんどであり、保守作業員に強い負担が大きく過酷な労働環境であるといえる。また、作業員の不足も問題となっており、作業の効率化が求められている。

そこで、レール上を走行しながら保線作業の一部を代行するロボットの開発に着手した。

2. 鉄道レールの調査

日本の鉄道に広く普及しているレールとして60kgレール、50kgNレール、40kgNレール、37kgレールがある⁴⁾。それぞれの頭部幅は順に0.065m、0.065m、0.064m、0.063mとなっており、大きな違いがない。Fig. 1及び表1には、レールの断面形状と寸法を示す。

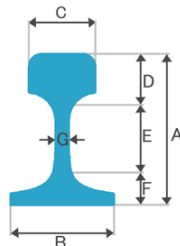


Fig. 1 レールの断面形状

表 1 レールの断面形状

種類	寸法(mm)						
	A	B	C	D	E	F	G
37kgレール	122.24	122.24	62.71	36.12	64.69	21.43	13.49
40kgNレール	140.00	122.00	64.00	41.00	73.50	25.50	14.00
50kgNレール	153.00	127.00	65.00	49.00	74.00	30.00	15.00
60kgレール	174.00	145.00	65.00	49.00	94.90	30.10	16.50

3. コンセプト

設計コンセプトを以下のように設定した。

- (1) 小型化: 持ち運び可能とし、保守作業員の負担とならない大きさとする。
- (2) 軽量化: 持ち運びの際に負担とならないように、質量は1.5 kg以下とする。
- (3) 機動性: 日本で最も普及している 50kgN レール上を走行可能なものとする。保守作業員との協働作業を前提とし、走行速度は人の歩行速度程度とする。
- (4) メンテナンス性: 保線作業後のメンテナンスに配慮し部品の種類を少なくする。
- (5) 多様性: ユニット化により用途に応じて連結数を増減できるものとする。搭載するセンサについても用途に応じて交換可能とする。これにより、同種のロボットにより多様な作業に対応できる。

4. プロトタイプ

コンセプトに基づき三次元 CAD により設計した。

4.1 駆動輪

レール上面に接地する直径 0.036m のタイヤであり、モータの動力によって回転する。また、Fig. 2に示すように両タイヤの側面にはモータから動力を伝えるための歯数 60 の平歯車が付いている。駆動輪はレール上でバランスよく走行できるように、レール外端から 0.01m の位置に接地させている。

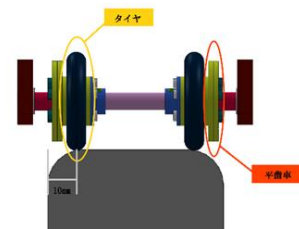
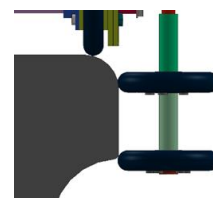


Fig. 2 駆動輪

4.2 案内輪



Fi. g3 案内輪

レールを挟み込み、走行時のバランスを保ち脱線を防ぐ部品である。車輪はクッション性のあるスポンジ製である。

The Design of Running Mechanism of Robot for Railroad Maintenance

Yota JIMBO, Yasuyuki UCHIDA , Eiji TAKAGISHI and Takumi MARUYAMA

ンジゴムタイヤを用いた。これはレール幅の細かい変化や段差に対して、サスペンションとして機能し騒音を抑えられるほか、レール表面の損傷を防ぐ。

4.3 案内輪幅調節機構

案内輪は、案内輪取り付け部を介しボルトとワッシャーでロボット本体と結合している。ボルト締め付け量を調節することで、挟む力と幅を調節できる。この機構によりレール幅が異なる場合にも対応できる。

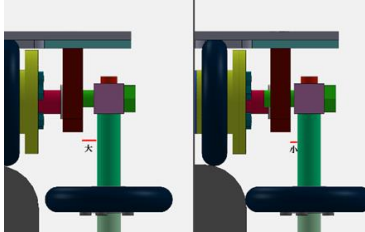


Fig. 4 案内輪幅調節機構

4.4 天板

天板の前方と後方部に三つずつ計6個穴を設けることで、この穴にボルトとナットを締結し簡単に連結することができる。天板の中央部にある4個の穴はセンサの取り換え等、作業に応じて部品を選択交換可能にしている。

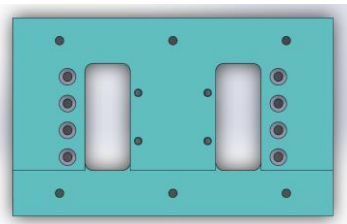


Fig. 5 天板

4.5 走行速度

使用したモータは maxon 社の DCX22L, 回転数は 4980rpm, ギアヘッドの減速比は 21:1, 伝達効率は 81%である。ロボットの最高速度を v とし、以下の手順で算出する。走行モータはモータ側の歯数 $S1=90$ と車輪側の歯数 $S2=60$ の歯車とつながっている。よって、ギア比 t は,

$$t = \frac{90}{60} = \frac{3}{2} \quad (1)$$

よって、車輪の回転数 p は,

$$p = [\text{モータの回転数}] \times t \times \text{ギアヘッドの減速比}$$

$$p = 4980 \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{21} = 355.7[\text{rpm}] \quad (2)$$

タイヤ直径 $d=0.036\text{m}$ より、ロボットの最高速度 v は,

$$v = 0.036\pi \times p \times 60 = 2.4[\text{km/h}] \quad (3)$$

となる。ただし、このロボットはモータを取り換えることが容易なので最高速度を変更できる。

4.6 推進力

ロボットの推進力 F を求める。走行用モータは DCX22L を 12V の適正電圧で使用したため、回転数は

4980rpm, モータトルクはギアヘッドを介すと, $29.5[\text{mNm}] \times 21 \times 0.81 = 501.8[\text{mNm}]$ である。

二つの動輪は同軸上で一体となって回転するが、片輪に平歯車を介して走行用モータを接続している。このことから、走行車輪のトルク T は,

$$T = 501.8 \times \frac{2}{3} \times 0.86 = 287.7[\text{mNm}] \quad (4)$$

これは、二つの動輪のトルクの総和であり推進力となる。ロボットの推進力 F は、車輪のトルクをタイヤの半径 0.018m で割った値で求まる。よって,

$$F = T \div 0.018 = 287.7 \div 0.018 = 16.0[\text{N}] \quad (5)$$

5. まとめ

以上の設計に基づき三次元CADにより、Fig. 6とFig. 7に示すロボットをモデリングした。今後は、実機の試作と各種評価試験を実施する。

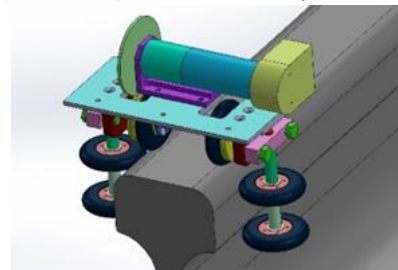


Fig. 6 モデリングされたロボット

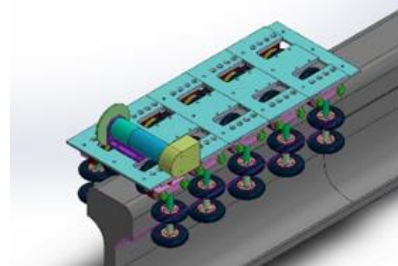


Fig. 7 多重連結状態のロボット

参考文献

- 1) 東京交通局, 地下鉄関連情報, (2016)
https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/subway/kanren/oedo_noisy.html, (参照2021-09-24)
- 2) 西日本鉄道株式会社, まちとともにN0.35, (2017)
<https://www.nishitetsu.co.jp/machitomo/no35/>, (参照2021-09-24)
- 3) 公共財団法人鉄道総合技術研究所, レール凹凸管理, (2021)
<https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd45/rd4530/rd45300105.html>, (参照2021-10-04)
- 4) JFEスチール株式会社, 普通レール, (2021)
https://www.jfe-steel.co.jp/products/katakou/rail/rail_a.html, (参照2021-10-05)