柔軟全周囲クローラ RT04-NAGA について —NIST 規格フィールドにおける走行試験—

Development of a New Flexible Mono-tread Mobile Track “RT04-NAGA”

-Standard Test Methods for Response Robots by NIST-

○土師貴史(松江高専), 衣笠哲也(岡山理大), 藤井康平, Muhamad Haziq, 吉田浩治
林良太(鹿児島大学), 入部正継(大阪電通大), 徳田献一(和歌山大学)
天野久徳(消防研), 大須賀公一(大阪大学)

Takafumi HAJI, Matsue College of Technology
Tetsuya KINUGASA, Okayama University of Science (OUS),
Kohei FUJII, OUS, Muhamad HAZIQ, OUS, Koji YOSHIDA, OUS
Ryota HAYASHI, Kagoshima University
Masatsugu IRIBE, Osaka Electro-Communication University
Kenichi TOKUDA, Wakayama University
Hisanori AMANO, National Research Institute of Fire and Disaster
Koichi OSUKA, Osaka University

Abstract— It is expected that robotics is introduced into search and rescue activity, planetary explorer and investigation in extreme environment etc. The robots in such environment need high mobility against extremely rough terrain. Since it is difficult for usual tracked vehicle composed of a pair of tracks to change length/width ratio a lot from 1/1 because of its turning property, serially connected tracked vehicles and paddled tracked vehicles have been introduced in order to improve the mobility. We have proposed a tracked vehicle called flexible mono-tread mobile track (FMT). The body of FMT except both side walls is completely wrapped around only by a track belt, which is possible to prevent sharp or thin edges of obstacle and cloth from penetrating. However the prototypes have rail colliding and derailing problems of the track belt caused by flexion and surface profile of the ground. The objective of the paper is, therefore, to develop a new prototype of FMT called RT04-NAGA. RT04-NAGA adopts one degree of freedom rotational joint in stead of the flexible components and accurately designed guide rail system in order to prevent the belt from colliding or derailing. Rubber sponge grouser is also introduced against obstacle penetration and impact from the ground. Finally, standard test methods by National Institute of Standards and Technology validate the prototype.

Key Words: Rescue robot, Robot mobility, Flexible mono-tread mobile track.

1. 緒言

現在のロボット技術に期待されるものとして、災害現場でのレスキュー活動支援や惑星・高山など、人間にとって過酷な環境下で探査活動を代替するものがある。このような環境は高度な不整地であり、接地圧を分散させやすいクローラ機構が有効である場合が多い。我々は脊椎のように複数の剛体部(椎体)を柔軟体(椎間)で連結し、左右への湾曲が可能な履帯を用いることで、全体を柔軟に湾曲できる柔軟全周囲クローラ(FMT)を提案し、Fig.1に示す試作機“RT02-WORMY”(以下 WORMY)よりその有効性を検証してきた[1][2]。

Fig.1 RT02-WORMY

FMT は側面以外が履帯で被覆されるため、板や布、突起形状などの障害物の侵入の低減や、柔軟構造であることから、

段差降下時などでの受動的な衝撃緩和や悪路での転倒回避が期待できる。また、上下左右の湾曲は能動的に制御することが可能であり、体長の半分程度の段差の踏破や溝の乗越えなど、走行能力に関しても高いものが考えられ、実際に WORMY を用いた独自の試験においてもそれが確認されている[2]。しかし、これまでの試作機では大きな湾曲や路面形状に起因する椎間部の変形により、本体部と履帯の間で干渉や脱線が起こり、高度な不整地での長時間走行などは不可能であった。そこで、Fig.2に示す履帯と本体部をつなぐガイドレールを FMT の湾曲形状に対応させ脱線を防いだ新たな試作機“RT04-NAGA”(以下 NAGA)を作製し、その走行能力を WORMY と同様の試験を行うことで比較検討してきた[3]。しかしながら、独自の試験における結果だけでは、客観的な評価として見るには不十分であると考えられる。

そこで本報告は、National Institute of Standards and Technology (以下 NIST)にて提唱されているロボットの基礎的な運動能力の評価方法[4]を用いた試験を行うことで、NAGA の走行能力を評価したことについて述べる。

2. FMT 試作機 “RT04-NAGA”

Fig.2に新たに作製した試作機 NAGA を示す。これまでの試作機は椎間をゴムなどで連結していたため、湾曲に対応するためには比較的大きな空間を必要としていた。加えてガ

イドの設計精度が悪く履帯の進行を妨げている場合があった。

Fig.2 RT04-NAGA

そこで1自由度関節をヨー軸に7節、ピッチ軸に5節設けることで、全体としての広範な湾曲を維持しつつ、ガイドの設計精度を向上させ、履帯の円滑な動作を行える機構を採用した。また、各関節にバネとダンパを配置することで椎間の受動性は維持されている。これに加え、履帯周囲を覆うグラウザを天然ゴムスポンジによる幅広の形状のものとした。これにより履帯間の隙間を埋めると同時に、スポンジの柔軟性から湾曲による物理的干渉による問題を回避している。更に、駆動系の出力を上げることで、左右湾曲速度と駆動の速度を向上させることで、操作性の向上も図っている。

このNAGAとWORMYの仕様と独自の試験によって検証した走行能力の結果をTable.1に示す。

Table.1 Comparison between WORMY and NAGA

	RT02 WORMY	RT04 NAGA
Length	1200[mm]	1255[mm]
Width	200[mm]	220[mm]
Height	200[mm]	160[mm]
Wei	16[kg]	20[kg]
Battery	21.6[V] Ni-H	23.1[V] LF
Speed	0.5[m/s]	0.5~1.1[m/s]
Slope	45[deg]	41[deg]
Stairway	175[mm]x295[mm]	200[mm]x200[mm]
	31[deg]	45[deg]
Spiral stairway		190[mm]x22.5[deg] (r=1.3[mm])
Trench	550[mm]	660[mm]
Wall	455[mm]	510[mm]

これらの試験は岡山理科大学内で行い、階段などは学内に設備されているものを使用している。NAGAはWORMYに較べ全体的に結果が良くなっており、特にFig.2左に見るように螺旋階段の走行に成功したことから、悪路に対する走行性能と信頼性が向上していることが分かる[3]。

3. NISTによるロボットの基礎的な走行試験[4]

ロボットの運動性能などは、上にあるように各研究室内での独自の調査のみで評価されている場合がある。そのため、多種のロボットの性能を単純に比較評価することは難しかった。そこで技術革新や競争力向上を図るためにも、ある一定

の評価基準を用意するのが望ましい。その目的でNISTによりロボットの性能を計測するための規格フィールドが提唱されている。今回、神戸の国際レスキューロボットシステム研究機構(以下IRS)に再現されているNISTの評価試験フィールド[5]を用いて試験を行った。

IRSにて再現されている規格フィールドをFig.3に示す。

Fig.3 Experiments at IRS

3.1 試験条件

これらの試験における条件として以下のものがある。

- ロボットは各フィールドを10回往復させ、その総時間を計測する。
- Pipe StepとStairにて、ロープなどの補助を用いた踏破は不可とする。
- Pipe StepとStairにて、各踊り場で転回動作を挟み進行方向を変更する(Fig.4右)。
- Crossing PitchとRandom Stepにて、フィールドに設置されている2本のパイロンの周囲を8の字を描いて走行させる(Fig.4左)。
- ロボットは搭載カメラ映像を用いて遠隔操作することが望ましい。カメラの設置がない場合はロボットを目視しても構わないが、そのことを明記すること。

Fig.4 Apparatus of experiments

NAGAは試験開始時において光学センサ類を装備していなかったため、目視のみで試験を行った。また、階段などの踊り場での転回はNAGAの仕様上不可能であったため、転回せずそのまま後退することで測定を行っている。

試験は2011年8月19日と2011年11月27日の二回行った。内11月27日に行った試験の結果をTable.2に示す。

Table.2 Measured Times for each Experiments

	Measured Time for 10 rounds	Average Time
Pipe Steps (300mm)	5 minutes 03 seconds	30 seconds
35° Stair	3 minutes 53 seconds	23 seconds
40° Stair	6 minutes 16 seconds	37 seconds
45° Stair	Fault	- - -
Crossing Pitch	9 minutes 43seconds	58 seconds
Random Steps	Fault	- - -

3.2 試験結果

・ Pipe Steps

直径 100[mm]の円筒を複数用いて段差が作られる。独自の試験において、NAGA の段差昇降は 510[mm]と大きなものとなっている。そのため、今回の試験では 300[mm]のみの走行試験を行った。結果として、踊り場での転回を含んでいないことを差し引いても、十分に高速な結果を得たといえる。

・ Stairs

8 月 27 日での試験では 45[deg]の階段を滑りが生じつつも踏破している。その様子を Fig.5 に示す。

Fig.5 Stair 45[deg] Experiments

しかしながら、11 月 27 日の試験においては、階段途中で完全に滑りが生じ、踏破することができなかった。これは前試験から機構の信頼性向上のための改善を行ったことで、1[kg]弱の重量増加があり、それによる摩擦力の不足が原因と考えられる。加えて、Table.1 にあるように NAGA は、木の板で構成された斜面の踏破角度が 41[deg]であるため、45[deg]の階段を踏破するためには、階段のエッジに噛むようなグラウザ面が必要であると考えられる。

しかしながら、踏破可能である 35[deg]、40[deg]の階段においては、40[deg]の昇りに多少の滑りが生じていたが、どちらも好結果が得られたといえる。これは受動的に姿勢が階段になじむことで、特に下りに際して操縦を意識する必要がなく、高速のまま下ることができたからであるからと考えられる。

Fig.6 Crossing Pitch Experiments

・ Crossing Pitch

この試験フィールドは Fig.4 左下にあるように、斜度 15[deg]のランプが交差するように配置されている。この試験における NAGA の走行の様子を Fig.6 に示す。

左右一対に無限軌道を配する従来のクローラ機構での移動に関しては、ランプが交差している間を目標に進行させることで、スムーズな移動ができるという経験則があり、NAGA もそれにならって走行を行ったが、1 周を走行するのに 7 分 30 秒と長い時間を要する結果となった。これは、交差部にて NAGA が挟まりこんでしまうこと、その後の転回に必要な空間が NAGA の旋回半径に較べ狭いということも相まって、操縦が困難になったためと考えられる。そこで、Fig.6 に示すように、傾斜がもっとも高い位置から低い位置へ下るように経路を選択することとした。これは、FMT が段差に強いことに加え、下り動作に関してある程度の受動性を持つため操縦が容易であり、その後の旋回動作の空間を広く取れるという利点がある。

この動作に切り替え、数度の練習を行うことで、最終的に Table.2 に示す 9 分 43 秒/10 回と高速な結果を得るに至った。このことから、従来のクローラ機構と FMT での経路選択の差異があることが分かる。また、このような路面に対しては、操縦の熟練が必要であることもわかった。

・ Random Steps

今回のフィールドは、100[mm]四方の角材を積み重ねた悪路となっている。この試験において NAGA は横転、挟みこみといった走行に支障のある状態に陥りやすく、最終的に障害物の突起部との負荷によって、外装の破壊が生じたため走行を中止した。その様子を Fig.7 に示す。

Fig.7 Random Steps Experiments

NAGA の外装は ABS 樹脂を成形したものであるため、横転からの姿勢復帰などの動作は慎重を期して行わなかった。また、Crossing Pitch に較べ各椎間に突起の負荷がかかるため、履帯と外装の間で干渉が生じていたと考えられる。また下り方向の動作は安定して行えるが、Fig.7 に見えるように昇りから下りといった転換時に、横転などの障害が生じている。横転の原因としては、NAGA の全長に較べ幅が狭く安定性を欠くためであると考えられる。

4. 結言

本報告において、新しく開発した試作機“RT04-NAGA”の走行性能を NIST の提唱する基礎的な運動性能評価試験により評価したことについて述べた。以下に得られた結果についてまとめる。

- Pipe Step, Stair 試験において NAGA の段差昇降能力が高いことが実証された。
- Crossing Pitch 試験において段差昇降能力を利用した経路を選択することで、円滑な動作が行えることが判明した。
- 複雑な路面での安定した走行には、操縦者の熟練が必要である。
- Random Steps 試験において、不安定な足場での横転が生じることが判明した。

また、カメラなどの遠隔操縦に必要な機能を搭載していない、階段や段差試験での転回を行っていないなど、今回の試験結果だけでは、評価が不十分な部分もある。

今後は、カメラを搭載し遠隔操縦を可能とすることに加え、NAGA の全長の見直しや外装の強化などを行い、より信頼性と走行性能を高めた機構として開発を行っていく。

謝 辞

本研究は国際レスキューシステム機構の所有の NIST 規格の試験場を用いて行われた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- [1] T.Kinugasa et al: “A Proposal of Flexible Mono-Tread Mobile Track (FMT)” ,Proc. of IROS2008, 1642-1647, 2008.
- [2] T.Kinugasa et al: “Flexible Mono-Tread Mobile Track (FMT)” ,J of the Robotics Society of Japan, 27 (1), 107-114, 2009.
- [3] 衣笠他: “柔軟全周囲クローラの設計方法について—ベルトガイド詳細設計と試作機RT04—”, 第17回ロボティクスシンポジウム予稿集 (掲載予定), 2012
- [4] National Institute of Standards and Technology, www.nist.gov
- [5] International Rescue System, www.rescuesystem.org